



Energetische upgrading van Nederlandse Wederopbouw flats

Frits Schultheiss

Energetische upgrading van Nederlandse Wederopbouw flats

Frits Schultheiss



A+BE | Architecture and the Built Environment | TU Delft BK

20#12

Design | Sirene Ontwerpers, Rotterdam

Foto omslag | Frits Schultheiss

ISBN 978-94-6366-302-1

ISSN 2212-3202

© 2020 Frits Schultheiss

Digitale versie vrij verkrijgbaar op abe.tudelft.nl

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur.

Energetische upgrading van Nederlandse Wederopbouw flats

Proefschrift

Ter verkrijging van de graad van doctor
aan de Technische Universiteit Delft,
op gezag van de Rector Magnificus prof. dr. ir. T.H.J.J. van der Hagen,
voorzitter van het College voor Promoties,
in het openbaar te verdedigen op
dinsdag 25 augustus 2020 om 10.00 uur

door

Frederik Gerrit SCHULTHEISS
Ingenieur in de Bouwkunde, Technische Hogeschool Delft
HBO-Ingenieur in de Bouwkunde, Hogere Technische School, Arnhem
geboren te Arnhem

Dit proefschrift is goedgekeurd door:

promotor: Em. prof. dr. ir. A.C.J.M. Eekhout

promotor: Prof. dr. ir. M. Mohammadi

Samenstelling promotiecommissie:

Rector magnificus,

Em. prof. dr. ir. A.C.J.M. Eekhout,

Prof. dr. ir. M. Mohammadi,

voorzitter

Technische Universiteit Delft, promotor

Technische Universiteit Eindhoven,

promotor

Onafhankelijke leden:

Prof. dr. P.J. Boelhouwer,

Em. prof. dr. ir. J.N.N. Lichtenberg,

Prof. dr. ir. D.M.J. Smeulders,

Prof. dr. ir. A. van Timmeren,

Prof. dr. ir. H.J. Visscher,

Technische Universiteit Delft

Technische Universiteit Eindhoven

Technische Universiteit Eindhoven

Technische Universiteit Delft

Technische Universiteit Delft

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door HAN University of Applied Sciences.

Inhoudsopgave

Samenvatting	9
Summary	13

1 Inleiding 17

1.1	Aanleiding en context	17
1.2	Probleemanalyse	19
1.3	Probleemstelling	36
1.4	Doelstelling	37
1.5	Onderzoeksvraag, deelvragen en onderzoeksmethode	37

2 Theoretisch kader 43

2.1	Inleiding	43
2.2	Systeem	44
2.2.1	Definitie 'systeem'	45
2.2.2	Woning en systeemgrens	47
2.2.3	Modulair en integraal	48
2.3	Lagenmodellen	50
2.3.1	Drager en inbouw	50
2.3.2	Snelle en trage lagen	54
2.3.3	Flexibiliteit	56
2.3.4	Aanpasbaarheid en verandering	57
2.4	Industrieel bouwen	60
2.4.1	'Industrieel' vanaf de Wederopbouwperiode	60
2.4.2	'Industrieel' en 'systeem'	61
2.4.3	Industrialisatie in de renovatie: het MATURA-systeem	61
2.4.4	Industrialisatie in de renovatie: Slimbouwen	65

2.5	Concepten en benaderingen	66
2.5.1	Inleiding	66
2.5.2	Trias energetica en Nieuwe Stappenstrategie	67
2.5.3	Passief bouwen	69
2.5.4	Circulaire economie en circulair bouwen	77
2.5.5	Active house	94
2.5.6	WarmBouwen	96
2.5.7	Energieneutraal bouwen	98
2.5.8	Zonering in plattegronden	98
2.5.9	Renovatieconcepten aannemers	102

2.6	Conclusie	105
-----	------------------	-----

3	Energie en woongebouw	107
---	------------------------------	-----

3.1	Inleiding	107
3.2	Life Cycle energie van een woongebouw	108
3.3	Gebouwebonden en gebruikersgebonden energiegebruik	111

3.4	Energieambities	113
3.4.1	Inleiding	113
3.4.2	Wereldwijde energieambities	114
3.4.3	Europese energieambities	114
3.4.4	Nederlandse energieambities	115
3.4.5	Energieambities op gebouwniveau	116

3.5	Electrische concepten voor woningen	117
-----	--	-----

3.6	Opwek-, opslag- en afgiftesystemen	120
3.6.1	Inleiding	120
3.6.2	Opweksystemen	121
3.6.3	Bodemenergie	124
3.6.4	Warmtepompen	128
3.6.5	Elektriciteit uit zonne-energie	132
3.6.6	Windenergie	158
3.6.7	Opslagsystemen	171
3.6.8	Exergie	183
3.6.9	Afgiftesystemen	184

3.7	Vorm, oriëntatie en locatie	186
-----	------------------------------------	-----

3.8	Conclusie	190
-----	------------------	-----

4 Flat 1.0: Gestapelde woningbouw uit de Wederopbouwperiode 191

- 4.1 Inleiding 191
- 4.2 Wederopbouw hoogbouw in Nederland 192
- 4.3 Hoogbouwsystemen uit de Wederopbouwperiode 194
- 4.4 Geslotenheid van gevels 216
- 4.5 Conclusie 230

5 Flat 2.0: Comfort upgrading 231

- 5.1 Inleiding 231
- 5.2 Best practices 232
- 5.3 Conclusie 258

6 Flat 3.0: Energetische upgrading 259

- 6.1 Inleiding 259
- 6.2 Rekenmodel 261
 - 6.2.1 Inleiding 261
 - 6.2.2 Methode 262
 - 6.2.3 Opwek energie door zonnestraling 263
 - 6.2.4 Gebruik van energie 272
 - 6.2.5 Gebruikersgebonden energieverbruik 277
 - 6.2.6 Een elektrische auto als apparaat? 279
 - 6.2.7 Gebouwmodel 310
 - 6.2.7.1 Inleiding 310
 - 6.2.7.2 Variabelen 310
 - 6.2.7.3 Voorbeeldberekening gebouwmodel 323
 - 6.2.7.4 Energiescenario's 328
 - 6.2.8 Upgrading bestaande gestapelde woningen richting energieneutraal 330
 - 6.2.9 Modulaire industriële upgrading 357
 - 6.2.10 Mogelijke uitwerkingen 371
- 6.3 Conclusie 394

7 Inhoudsopgave

7 Conclusie 397

- 7.1 **Onderzoeksvraag** 397
- 7.2 **Discussie** 403
- 7.3 **Aanbevelingen** 404

- Referenties 407
- Lijst van Tabellen 428
- Lijst van Figuren 431

Bijlagen

- Bijlage 1 **Lagenbenadering** 444
- Bijlage 2 **Embodied Energy** 446
- Bijlage 3 **Nederlandse energieambities** 448
- Bijlage 4 **Hernieuwbare elektriciteit** 458
- Bijlage 5 **Integrated/Added, Photovoltaic/Thermal modules en belemmering** 464
- Bijlage 6 **Gebouw gerelateerde windenergie** 474
- Bijlage 7 **Opslagsystemen** 479
- Bijlage 8 **Opslag thermische energie** 487
- Bijlage 9 **Woonenergieconcepten** 489
- Bijlage 10 **Opwekking, vraag en opslag van energie in tijd** 491
- Bijlage 11 **Arbeidsbesparend bouwen in de Wederopbouwperiode** 493
- Bijlage 12 **Aspecten voor analyse van galerijflats** 497
- Bijlage 13 **Verval van naoorlogse woningen** 499
- Bijlage 14 **Karakteristieken met waarden Flat 1.0, Flat 2.0 en Flat 3.0** 503

Samenvatting

Probleemstelling

De toekomst (2050) wordt volgens de Europese Unie volledig energieneutraal en circulair. Voor de verduurzaming van bestaande woningen zijn renovatieconcepten nodig, rekening houdend met de woningkwaliteiten van de bestaande voorraad, met veranderde eisen en woonwensen, met inzetbaarheid van de concepten op grote schaal en met gelijktijdigheid van de technische, sociale, energetische en circulaire renovatie.

Voor grondgebonden woningen zijn voor de energietransitie vele energetische concepten en strategieën beschikbaar richting energieneutraal, voor hoogbouw woningen is echter weinig kennis beschikbaar. Ook op het gebied van renoveren naar circulair, voor zover haalbaar is, is weinig kennis beschikbaar. Het onderzoek richt zich daarom op Nederlandse Wederopbouw hoogbouw systeemwoningen uit de periode 1950-1975 met focus op het ruimtelijk energetische deel van het renovatieconcept.

Doelstelling

Het doel van het onderzoek is het ontwikkelen van strategieën voor energetische upgrading van bestaande Nederlandse hoogbouw systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode naar CO₂-neutraal voor grootschalige toepassing met oog op circulariteit. Deze doelstelling heeft praktische relevantie: de maatschappij heeft baat bij grootschalige upgrades om de Europese doelstellingen op klimaatgebied te kunnen halen. Corporaties, die voor een groot deel de Wederopbouw hoogbouwflats in eigendom hebben voor sociale verhuur, VvE's en bewoners zijn gebaat bij nieuwe inzichten die een bijdrage kunnen leveren aan circulaire energetische upgrade van deze voorraad. De theoretische relevantie is het vergroten van de wetenschappelijke kennis op het gebied van energetisch en circulair upgraden.

Onderzoeksmethoden

Om een antwoord te kunnen geven op mogelijke strategieën voor de energetische upgrading wordt de bestaande hoogbouw woningvoorraad uit de Wederopbouwperiode (*Flat 1.0*) in kaart gebracht op basis van literatuuronderzoek en case studies. Het theoretisch kader bestudeert de algemene systeemtheorie en diverse lagenbenaderingen ter ondersteuning van het onderzoek. De essentiële begrippen worden door middel van literatuuronderzoek gedefinieerd. Energetische aanpassingen die gefocust zijn op 'comfort upgrading' worden onder *Flat 2.0* gecategoriseerd. De focus bij een nieuwe generatie aanpassingen van Wederopbouw hoogbouw flats (*Flat 3.0*) ligt op de ruimtelijk energetische upgrading naar energieneutrale flats en op welke ontwerpuitgangspunten en technische en energetische principes ze gebaseerd zijn.

Conclusies

De systeemtheorie geeft uitgangspunten voor het bepalen van de keuze voor een modulaire of integrale upgrading. Voor opschaling van upgrades heeft een modulaire aanpak de voorkeur vanwege weinig relaties buiten een bepaalde systeemgrens van upgrade-elementen. Bereikbaarheid van elementen en componenten voor losmaakbaarheid en een lagenbenadering zijn essentiële voorwaarden.

De gelijktijdigheid van de noodzakelijke technische, sociale, energetische en circulaire renovatie, met daarbij de ca. 650.000 portiekwoningen en 250.000 galerijwoningen die in korte tijd gerenoveerd moeten worden, zorgt voor een geheel andere benadering van het upgrade concept Flat 3.0. Dat dwingt tot een radicale aanpak waarbij een incrementele aanpak niet meer voldoende is. Voor schaalvergroting zijn industrieel gerichte innovatieve concepten nodig.

Flat 3.0 beschrijft 5 mogelijke strategieën in de vorm van posities ten opzichte van de thermische schil, en combinaties daartussen, om warmteverlies te beperken. Het verhelpen van bouwtechnische en bouwfysische gebreken van de bestaande voorraad (*Flat 1.0*) is een kans voor functionele upgrading op het gebied van toegankelijkheid en sociale veiligheid. Comfortupgrading (*Flat 2.0*) is hierbij het startpunt. De technische upgrading van de schil van het gebouw kan op een aantal wijzen plaatsvinden: de bestaande schil aanpassen of een nieuwe schil voor de bestaande schil plaatsen. Beide al dan niet in combinatie met een uitbreiding of met galerij/balkonvervanging in verband met thermische bruggen of slechte technische staat. Er worden hiervoor 16 strategieën beschreven. Een eenvoudig gebouwmodel laat de relatie zien tussen de energie-ambitie en de daarbij gestelde hoeveelheid zelf

op te wekken energie aan of op het gebouw. Uit het gebouwmodel is gebleken dat bij de energieambitie van 25 kWh_{th}/m² per jaar voor ruimteverwarming, waarbij gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie duurzaam opgewekt worden, dit boven 4 woonlagen, met de condities woongevel en ontsluitingsgevel 10 % PV en kopse gevels en dak 100 % PV, niet haalbaar is. Bij 40% PV in de woongevel en ontsluitingsgevel is dit haalbaar tot en met 10 lagen. Bij 50% PV in de woongevel en ontsluitingsgevel is dit haalbaar tot en met 12 lagen. Hierbij zijn externe belemmeringen voor zontoetreding niet meegenomen.

De vormgeving van de upgrade is afhankelijk van de bouwmethode waarbinnen een bouwsysteem is toegepast. Een bijzondere wijze is een geheel nieuwe energieleverende circulaire 'overcladding' rondom de bestaande gebouwmhulling. De nieuwe industrieel te ontwikkelen overcladding herstelt gebreken van de oude bouwschil. Functioneel betekent dit een betere rolstoeltoegankelijkheid, betere scheiding tussen openbaar en privé en ruimere balkons ter verhoging van het wooncomfort. De dakzone en de kopse gevelzone kunnen dienen als plaats voor extra huisvesting voor kleine gezinnen in de vorm van gestapelde en geschakelde tiny active flat house modules. Deze op circulariteit ontworpen modules verzorgen tegelijkertijd de energetische upgradering van de betreffende bestaande gevelvlakken.

Om energieneutraal te worden of zelfs energieleverend, en dus om ook aan de gebruikersgebonden energievraag te voldoen, kan in de gevel- en dakzone de opwekking van duurzame energie plaatsvinden. Vergroting van deze energieopwekkende vlakken, in 7 varianten, is een essentiële voorwaarde voor een lagere geslotenheid van de woongevel.

Aanbevelingen

De aangegeven principerichtingen voor de upgrade van hoogbouwflats kunnen omgezet worden in specifieke uitwerkingen voor specifieke hoogbouwflats in specifieke contexten met specifieke opdrachtgevers. De detaillering en materialisering ter ondersteuning van het modulaire circulaire upgradeprincipe staan hierin centraal.

Daarnaast is aanvullend onderzoek nodig voor financiële haalbaarheid op basis van circulaire businessmodellen en meervoudige waardecreatie.

Summary

Problem definition

According to the European Union, the future (2050) will be completely energy neutral and circular. Renovation concepts are needed for making existing homes more sustainable, taking into account the housing qualities of the existing stock, changed requirements and housing requirements, accessibility of the concepts on a large scale and simultaneous technical, social, energetic and circular renovation. For terraced houses, many energy concepts and strategies are available for the energy transition in the direction of energy neutral, while for high-rise houses, little knowledge is available. In the area of renovation to circular, as far as feasible, little knowledge is available. The research, therefore, focuses on high-rise system houses from the Reconstruction period 1950-1975, with a focus on the energetic spatial part of the renovation concept.

Aim

The research aims to develop possible strategies for energetically upgrading existing Dutch high-rise system houses from the Reconstruction period to energy-neutral for large-scale application with a view to circularity. This objective has practical relevance: society benefits from large-scale upgrades to achieve European climate objectives. Corporations, which primarily own the Reconstruction high-rise flats for social rental, owners' associations and residents, benefit from new insights that can contribute to the circular energy upgrade of this stock. The theoretical relevance is to increase scientific knowledge in the field of energetic and circular upgrading.

Research methods

The existing high-rise housing stock from the Reconstruction Period (Flat 1.0) is mapped based on literature research and case studies to provide an answer to possible strategies for energy upgrading. The theoretical framework studies general system theory and various layers approaches to support the research. The essential concepts are defined using literature research. Flat 2.0 categories energetic

adjustments focused on 'comfort upgrading'. The focus of a new generation of adaptations of Reconstruction of high-rise flats (Flat 3.0) is on spatial energy upgrading to energy-neutral apartments and on which design principles and technical and energetic principles they are based.

Conclusions

The system theory provides tools for determining the choice of modular or integral upgrading. The scale-up of upgrades requires a modular approach because of a few relationships beyond a specific system boundary of upgrade elements. Accessibility and a layered approach are essential conditions.

The simultaneity of the necessary technical, social, energetic and circular renovation, with the approximately 650,000 porch houses and 250,000 gallery houses that have to be renovated in a short time, provides an entirely different approach to the Flat 3.0 upgrade concept. This forces a radical approach in which an incremental approach is no longer sufficient. Scaling requires industrially oriented, innovative ideas.

Flat 3.0 describes five possible strategies in the form of positions relative to the thermal shell, and combinations between them, to limit heat loss.

Eliminating structural and building physical defects of the existing stock (Flat 1.0) is an opportunity for functional upgrading in the field of accessibility and social safety. Comfort upgrading (Flat 2.0) is the starting point.

The technical upgrading of the shell of the building can take place in several ways: adapt the existing shell or place a new shell for the current shell. Both whether or not in combination with an extension or with gallery/balcony replacement due to thermal bridges or poor technical condition. Sixteen strategies are described for this. A simple building model shows the relationship between energy ambition and the amount of self-generated energy on or on the building. The building model shows that with a closedness of at least 40 % of the sun-oriented facade, 40 % of the access facade and 100 % of both end facades and roof, the generation of standardized building-related and user-related energy can be met on an annual basis. The possible closedness of the facade consists of 5 principal variants. The design of the upgrade depends on the construction method within which a construction system has been applied. A unique way is an entirely new circular 'overcladding' around the existing building envelope. The new industrial overcladding repairs defects in the old building envelope. Functionally, this means better wheelchair accessibility, better separation between public and private and more spacious balconies for increased living comfort. The roof zone and the front wall zone can serve as a place for additional housing for small families in the form of stacked

and connected tiny active flat house modules. These modules designed for circularity simultaneously provide thermal upgrading of the relevant existing facade surfaces. To become energy-neutral or even energy-supplying, and thus also to meet the user-related energy demand, the façade and roof area sustainable can generate energy. Enlargement of these energy-generating surfaces is an essential condition for a lower closedness of the residential facade.

Recommendations

The indicated directions for the upgrade of high-rise flats can be converted into specific elaborations for specific high-rise flats in particular contexts with particular clients. The detailing and materialization in support of the modular circular upgrade principle are central to this.

Besides, financial feasibility based on circular business models and multiple value creation needs additional research.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en context

Vanwege de eindigheid van fossiele energie, een schadelijke uitstoot van broeikasgassen in de huidige omvang, het totale energiegebruik van de gebouwde omgeving en het zwaar onder druk staan van de betaalbaarheid van woningen en door de stijgende energielasten ziet de overheid de noodzaak om een energietransitie door te voeren (SEV, 2011). In de periode 2010-2020 is het gemiddelde elektriciteitsverbruik al gedaald met 24% en het gemiddelde gasverbruik met 26% door steeds energiezuinigere apparaten en verlichting en door betere isolatie (Hoebergen, & Van Middelkoop, 2020), maar dit is nog niet voldoende.

Het omlaag dringen van de uitstoot van antropogene broeikasgassen, veroorzaakt door menselijke activiteiten, tot minimaal 50 % in 2050 ten opzichte van 1990 is in wereldwijd verband vastgelegd in het Akkoord van Parijs in 2015 om de klimaatverandering tegen te gaan (United Nations, 2015). Het gebouwenbestand in Europa is verantwoordelijk voor ca. 36 % van de uitstoot van deze broeikasgassen en voor ca. 40 % van de energieconsumptie (European Commission, 2019a). De energietransitie, waaronder het energetisch renoveren van gebouwen, kan daarom een substantiële bijdrage leveren aan de verlaging van de uitstoot van deze gassen.

In 2017 besluit het kabinet dat, mede door de invloed van de schade door aardbevingen in Groningen, woningen in Nederland aardgasvrij worden. Dat betekent dat aardgas voor warmtevoorziening in een woning (ruimteverwarming, warmtapwater en koken) op termijn niet meer toegepast wordt wat van invloed is op toekomstige renovatieconcepten.

Nieuwbouw dient conform de Europese richtlijn 'Energy Performance of Buildings Directive' (EPBD) vanaf 2020 bijna energieneutraal (BENG) te worden gebouwd. In 2030 is de ambitie om het totale energiegebruik in de gebouwde omgeving gehalveerd te hebben. Medio deze eeuw is er een energieneutrale gebouwde

omgeving om de CO₂-uitstoot omlaag te dringen. De energetische renovaties van nu zorgen voor een levensduurverlenging van ca. 50 jaar zodat deze renovaties omstreeks 2070 opnieuw getoetst zullen worden. Als we in 2050 een energieneutrale gebouwde omgeving willen hebben, dan zouden de renovaties van nu daarop moeten anticiperen. Om deze doelstellingen te halen moet het renoveren naar energieneutraal van de bestaande woningvoorraad met bijna 8 miljoen woningen binnen 30 jaar uitgevoerd worden en is daarom een enorme opgave. Daarnaast is de economie in 2050 volledig circulair, wat nu al invloed heeft op de toe te passen materialen bij renovatie van woningen en daarmee op de impact op het milieu. Woonwensen verschuiven richting meer comfort, veiligheid en betaalbaarheid.

Nederland vergrijst en de bouw vergrijst mee. Deze vergrijzing leidt tot een tekort aan werkenden, afhankelijk van het aantal mensen dat werkt, het aantal uren dat mensen werken en de arbeidsproductiviteit. De potentiële beroepsbevolking krimpt. Bedrijven ervaren een personeelstekort dat het grootst is in de zakelijke dienstverlening, waaronder bouwnijverheid met 27,3 % (CBS, 2019a). Vanwege een dreigend tekort aan bouwvakkers is een andere aanpak van de omvangrijke uitvoering van renovaties nodig (Doodeman, 2018), zoals industrialisatie.

Een kenmerk van de huidige industrialisatie in de bouw is vooral het industrialiseren van de huidige bouwpraktijk zelf in plaats van het toepassen van nieuwe technologieën en mogelijk weglaten van traditioneel logische bouwcomponenten (Van de Groep, 2019).

Om grote aantallen woningen op dezelfde wijze te kunnen renoveren is de Wederopbouwperiode (1950-1975) in Nederland interessant. In deze periode zijn grote hoeveelheden systeemwoningen repeterend gebouwd. De woningbouw uit de deze periode is voor sommige aspecten aan het einde van de technische, functionele of economische levensduur. De technische levensduur betreft componenten en elementen die niet meer voldoen aan technische eisen van deze tijd of die door veroudering niet meer aan de gestelde eisen kunnen voldoen of zelfs gevaar opleveren. Voorbeelden daarvan zijn onvoldoende thermische isolatie van de buitengevel, ongewenste thermische bruggen, slechte ventilatie en betonrot. De functionele levensduur wordt beperkt door veranderende wensen van hedendaagse doelgroepen, zoals toegankelijkheid. De economische levensduur heeft een relatie met uitgebreide woningverbetering in combinatie met onderhoudbeperking waardoor de woningen langer verhuurbaar blijven voor corporaties. De verlenging van deze levensduren kan goed samengaan met de noodzakelijke energetische renovatie. Gewaakt moet worden voor lock-ins door tussentijdse aanpassingen die latere aanpassingen mogelijk blokkeren.

De conclusie is dat energetisch gezien het beperken van energie-armoede, het reduceren van CO₂-uitstoot, geen aardgas voor warmtevoorzieningen in woningen, de wens voor comfortabele energie-efficiënte woningen en een energieneutrale woningvoorraad in 2050 aanleiding vormen voor omvangrijk renoveren van de bestaande woningvoorraad, te starten met de woningvoorraad uit de Wederopbouwperiode.

1.2 **Probleemanalyse**

Inleiding

In de probleemanalyse wordt de woningvoorraad uit de Nederlandse naoorlogse Wederopbouw periode nader beschouwd. De opkomst van het gebruik van aardgas toentertijd zorgde voor een geheel verwarmde woning. Nu wordt gezocht naar alternatieven op aardgas. Nederland moet aan het Akkoord van Parijs voldoen door een energietransitie van fossiele brandstoffen naar duurzame energiebronnen. De toekomst wordt volgens de Europese Unie volledig energieneutraal en circulair. Voor deze verduurzaming zijn renovatieconcepten nodig, rekening houdend met de woningkwaliteiten van de bestaande voorraad, met veranderde eisen en woonwensen en met inzetbaarheid van de concepten op grote schaal.

De naoorlogse Wederopbouwperiode

Op 1 juli 1950 trad de Wederopbouwwet in werking. Daarin was een bouwprogramma uitgewerkt met een strikte planning door de omstandigheden van een grote bouwopgave, schaarse materialen, een deviezentekort en werkgelegenheid. Het bouwprogramma was een financiële verdeling van het regionale bouwvolume over de verschillende sectoren. De werkgelegenheid was een remmende factor op de bouwnijverheid. Er was een gebrek aan vakbekwame arbeidskrachten en een relatief lage arbeidsproductiviteit. Het gebrek aan deviezen leidde tot een gebrek aan bouwmaterialen die voor een belangrijk deel ingevoerd moesten worden (Ramakers, 1990).

In de Wederopbouwperiode zijn daarom veel woningen op een rationele wijze gebouwd. Er zijn diverse bouwsystemen ontwikkeld om met zo min mogelijk manuren snel woningen te kunnen bouwen. Het kenmerk van de bouwsystemen is dat zij in grote getalen identiek toegepast zijn. Het repetitie-effect was een belangrijke driver om rationeel te kunnen bouwen. De ontwikkelde rationele bouwsystemen zijn door Stichting Ratiobouw te Rotterdam toentertijd gemonitord ter goedkeuring voor het bouwen van grotere aantallen woningen. Goedgekeurde bouwsystemen ontvingen hiervoor een attest.

De naoorlogse Wederopbouw (1945-1975) kenmerkt zich door herhalende stedenbouwkundige eenheden, de zogenaamde stempels, als stedenbouwkundige ordening (Liebregts, 2011a). Een stempel is opgebouwd uit een aantal verschillende bouwblokken “die verschillen in bouwhoogte en in typologie en in een orthogonale compositie een aantal keren wordt herhaald. De bouwblokken staan in een open verkaveling in een parkachtige ruimte met bomen” (Baarda & Jung, 2016, p. 75).

Eenvormigheid en functioneel bouwen in de Wederopbouwperiode is een gevolg van de rationele bouwwijze die is ingegeven door de zeer grote woningnood. De drie belangrijkste aspecten voor de inrichting van vroeg-naoorlogse wijken in Nederland zijn centralisatie van de ruimtelijke ordening en volkshuisvesting, de inrichting van de wijken met als ordeningsprincipe de ‘wijkgedachte’ dat leidde tot een ruimtelijke en sociale ordening op basis van de hiërarchie woning- buurt – wijk – stadsdeel – stad – stadsgewest, en de herhaling van eenheden als gevolg van de toenemende industrialisatie en standaardisatie in de bouw (Blom, 2004, pp. 2-3).

In de Wederopbouwperiode werd de fysieke leefomgeving, waarin mensen wonen, werken en recreëren, sterk planmatig aangepakt. Een grote bouwopgave resulteerde in grootschalige aanpassingen in landschap en infrastructuur. Serieproductie en grootschaligheid werd mogelijk door machines en prefabricage met een bijbehorende vormgeving en esthetiek (Schultz van Haegen & Bussemaker, 2016). De opzet van nieuwe uitbreidingswijken in deze periode ademen de visie uit van het Nieuwe Bouwen volgens CIAM: meer licht, lucht, groen en ruimte, scheiding van wonen en werken en betaalbaar voor iedereen. De leefomgeving is ten opzichte van de Wederopbouwperiode sterk veranderd op het gebied van klimaatverandering, verduurzaming van energie en mobiliteit, verstedelijking, krimp en zorg.

Kenmerkend voor de maatschappelijke veranderingen tussen de start van de Wederopbouwperiode en de huidige tijd zijn de verandering van grote kinderrijke gezinnen naar 40 % alleenstaande huishoudens, de verandering van geboortegolf naar sterke vergrijzing, de verandering van de centrale rol kerk en verenigingsleven naar individualisering en vereenzaming, de verandering van een homogene maakbare

samenleving naar een maatschappelijke tweedeling, de verandering van een sterke verzorgingsstaat naar een groter beroep op zelfredzaamheid, de verandering van opvang in instituties naar sluiting zorginstellingen en leegstand daarvan en tenslotte de verandering van de auto als oplossing naar de auto als probleem. (Van Herk, 2017)

Portiek- en galerijflats behoren tot de primaire voorraad met een beperkte woonkwaliteit. Het gaat om woningen met een lage huur, en een woonlastencomponent waarin de energielast de huurcomponent passeert(!), en die daarom uiteindelijk onbetaalbaar zullen blijken. Een energetische ingreep is daarom in ieder geval noodzakelijk (Beemster, 2011).

Voor bestaande woningen is het de uitdaging om toekomstbestendig te worden door het verhogen van de kwaliteit en waarde van de woningen. Toekomstbestendigheid bestaat uit een hoog wooncomfort, duurzaam opgewekte energie, lage energielasten, geen gebruik van fossiele brandstoffen en circulair materiaalgebruik. Flexibiliteit en aanpasbaarheid van woningen is daarvoor een voorwaarde. Flexibiliteit heeft betrekking op veranderende bouwkundige omstandigheden, aanpasbaarheid heeft betrekking op veranderende functies (Geraedts, 2013).

Van aardgas in 1960 naar een volledig energieneutrale en circulaire gebouwde omgeving in 2050

In 1959 werd bij Slochteren een groot aardgasveld ontdekt. In 1963 werden de eerste woningen op het nationale aardgasnet aangesloten. Gas werd al wel geleverd, maar dit betrof stadsgas dat werd gemaakt in gasfabrieken vanuit steenkool en aardolie. De calorische waarde van het stadsgas was laag (ca. 4400 kcal/m³) en wisselend van kwaliteit, die van het aardgas was hoger (7980 kcal/m³) met constante kwaliteit. Bij de ombouw van stadsgas naar aardgas zijn alle gastoestellen omgebouwd (Alting, 1974).

Het systeem voor centrale verwarming bij etagewoningen eind jaren zestig was vrijwel altijd collectief in de vorm van blokverwarming of wijkverwarming. Vanaf 1966 werd aardgas toegepast voor vrijwel alle nieuwe collectieve verwarmingsinstallaties (Van Overbeeke, 2001, pp. 263-264). Vrijwel de gehele woningvoorraad heeft nu aardgas als primaire energievoorziening.

Het kabinet Rutte III heeft in oktober 2017 naar aanleiding van de aardbevingen door gaswinning in Groningen en daarmee samenhangende zakkingsproblemen en maatschappelijke onrust in het regeerakkoord besloten dat “aan het eind van de kabinetsperiode nieuwe woningen en andere nieuwe gebouwen in de regel niet meer

op gas verwarmd zullen worden. Stapsgewijs zal ook de markt voor verduurzaming van de bestaande woningvoorraad op gang gebracht worden" (VVD, CDA, D66, & ChristenUnie, 2017, p. 39). Concreet betekent dit om per jaar 50.000 gasloze nieuwbouwwoningen te bouwen en 30.000 tot 50.000 bestaande woningen per jaar van het gasnet af te halen (Doodeman, 2017). In januari 2018 is onder invloed van zwaardere aardbevingen door de regeringspartijen voorgesteld om alle nieuwbouw aardgasloos te gaan uitvoeren waarbij de aansluitplicht op aardgas vervangen wordt door een warmterecht.

Energie

Door het Klimaatakkoord in Parijs in 2015 heeft Nederland de Energieagenda opgesteld waarin wordt gestreefd naar een CO₂-arme energievoorziening in Nederland in 2050. Het nationale Energieakkoord voor duurzame groei heeft in 2013 doelen op korte termijn (2020 en 2023) vastgesteld. Hierin stijgt het aandeel van hernieuwbare energie van 4,5 % in 2013 naar 15,9 % in 2023 (SER, 2013). Na het Energieakkoord wil het kabinet zich uitsluitend richten op CO₂-reductiedoelen. De EU-lidstaten komen in de Europese Raad van oktober 2014 de komst van een nieuw klimaat- en energieraamwerk voor 2030 overeen. Hierin is opgenomen een broeikasgasemissiereductie van minimaal 40 % ten opzichte van 1990, minimaal 27 % hernieuwbare energie en minimaal 27 % energie-efficiëntie met eventueel een stijging tot 30 % na evaluatie.

In 2020 hebben volgens het in 2012 afgesloten Convenant Energiebesparing Huursector alle bestaande corporatiewoningen gemiddeld label B als opmaat naar energieneutraal in 2050 volgens de Europese Unie.

De bestaande bouw is ten opzichte van nieuwbouw een grote opgave om op een CO₂-neutrale wijze te gaan verwarmen. De levensduur voor infrastructuur voor de energievoorziening en gebouwen is lang (meer dan 40 jaar). Maatregelen kunnen aansluiten bij het wijzigen van de infrastructuur, bij de grootschalige renovatie van corporatiewoningen of bij investeringsmomenten zoals verhuizing of levensloopbestendig maken van particuliere woningen (Ministerie van Economische Zaken, 2016). Levensloopbestendig maken houdt in dat "mensen er gedurende verschillende fasen van hun leven in kunnen (blijven) wonen. Dit wordt bereikt door onder meer vrije indeelbaarheid en flexibiliteit, het voldoen aan woningeisen voor senioren, gebruiksgemak, veiligheid, toegankelijkheid en aanpasbaarheid" (Rijksoverheid, 2009, p. 24).

In 2050 moet de EU klimaatneutraal zijn. Een groot deel van de bestaande gebouwen van nu bestaan ook nog in 2050. Transformatie naar een energieneutrale omgeving moet daarom niet alleen gelden voor nieuwbouw, maar ook voor de bestaande bouw.

Circulair bouwen

Circulair bouwen is een strategie om tot een CO₂-neutrale gebouwde omgeving te komen.

In 2017 sluiten een groot aantal partijen en het kabinet het Grondstoffenakkoord waarin de ambitie naar een circulaire economie uitgangspunt is met als leidraad drie benoemde strategische paden in het Rijksbrede 'Nederland Circulair in 2050'. De drie strategische paden zijn:

- grondstoffen in bestaande ketens worden efficiënt en hoogwaardig benut;
- waar nieuwe grondstoffen nodig zijn, worden waar mogelijk fossiele, kritieke en niet-duurzaam geproduceerde grondstoffen vervangen door duurzaam geproduceerde, hernieuwbare en algemeen beschikbare grondstoffen;
- nieuwe productiemethodes en producten worden circulair ontworpen, gebieden anders ingericht en nieuwe manieren van consumeren bevordert waardoor de gewenste reductie, vervanging en benutting van grondstoffen ter versterking van de economie een extra impuls krijgt.

(Rijksoverheid, 2017a, p. 3)

Het regeerakkoord Rutte-3 geeft in 2017 aan dat een emissiereductiedoel van 49 % in 2030 ten opzichte van 1990 uitgangspunt wordt van een nieuw nationaal Klimaat- en energieakkoord. Voor de gebouwde omgeving betekent dat optimalisatie van energiegebruik kantoren, isolatie van woningen, warmtenetten en warmtepompen, en zuiniger nieuwbouw (VVD, CDA, D66, & ChristenUnie, 2017). In 2018 dient het Klimaatberaad onder voorzitterschap van Ed Nijpels een voorstel voor hoofdlijnen klimaatakkoord hiervoor in, gekoppeld aan het stoppen met de aardgaswinning in Groningen, minder energiekosten en een comfortabeler woning. Voor de gebouwde omgeving wordt de gasprijs duurder en de belasting op elektriciteit goedkoper. Voor woningen geldt bij aankoopmomenten dat isolatiemaatregelen met een positief rendement genomen kunnen of moeten worden. De prijs van het aanbod van isolatiemaatregelen en duurzame warmte (zoals geothermie of aquathermie) gaat drastisch omlaag (tot mogelijk 50 %) door een geordende uitvraag, standaardisatie en opschaling. Corporaties fungeren hierbij als startmotor van de transitie. Om de klimaatdoelen te behalen moeten in 2021 ca. 50.000 woningen per jaar verduurzaamd worden en in 2030 ca. 200.000 per jaar. De betaalbaarheid van de

verduurzaming kan worden gefinancierd uit de besparing die op de energierekening wordt gehaald. Door middel van een wijkgerichte benadering wordt de verduurzaming aangepakt. Voor het voldoen aan de warmtevraag zijn verschillende oplossingen. Bij dichte bebouwingen met woningen voor 1995 is een warmtenet de oplossing, voor woningen na 1995 in een ruimere opgezette wijk wellicht all electric. Het aanwezige aardgasnet kan zorgen voor hybride (tussen)oplossingen. Hergebruik van product- en afvalstromen leiden tot een circulair proces en productontwerp. (Nijpels, 2018) In 2019 wordt het nationale Klimaatakkoord ter besluitvorming aangeboden aan de Eerste en Tweede Kamer (Wiebes, 2019). Met dit akkoord worden de broeikasgassen in Nederland in 2030 met 49 % teruggedrongen in vergelijking met 1990.

Nederland beweegt zich richting een circulaire economie. Eén van de eerste definities van circulaire economie is gesteld door de Ellen MacArthur Foundation (2012):

A circular economy is an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. It replaces the 'end-of-life' concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse, and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems, and, within this, business models. (Ellen MacArthur Foundation, 2012, p. 7)

Figuur 1.1 toont een conceptueel schema met de eenvoudigste stadia van een circulair economisch model.

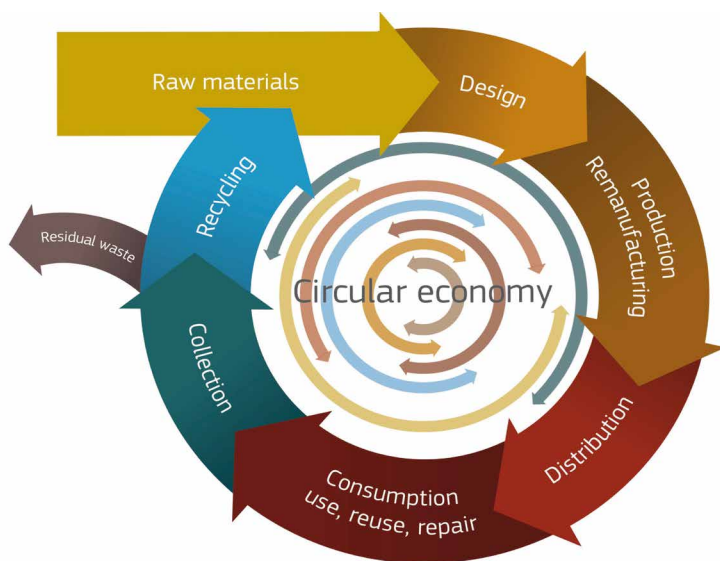


FIG. 1.1 Conceptueel schema met de eenvoudigste stadia van een circulair economisch model. Overgenomen uit *Naar een Circulaire economie: Een afvalvrij programma voor Europa* (p. 6) door Europese Commissie, 2014a, Brussel: Europese Commissie. Copyright 2014, Europese Commissie.

Traditionele oplossingen zijn volgens De Bouwagenda uit 2017 niet meer toereikend bij het streven naar een volledig energieneutrale en circulaire gebouwde omgeving in 2050.

De opgaven waarvoor Nederland nu staat zijn qua omvang, qua complexiteit, en qua impact zo groot dat alleen excelleren in het bestaande onvoldoende is om op de grote nieuwe maatschappelijke uitdagingen een tijdig antwoord te hebben. Radicaal nieuwe bouwtechnieken, -processen, -materialen en een omslag in het denken en houding zijn essentieel. Er is behoefte aan baanbrekende, grote en meer complexe innovaties. (Wientjes et al., 2017, p. 23)

Renovatie of vervangende nieuwbouw

Voor de bestaande hoogbouw woningen in de Wederopbouwperiode moeten elementen vervangen of aangepast worden vanwege einde van een bepaalde levensduur. Functioneel gezien zijn bestaande gestapelde woningen in hoogbouw moeilijk toegankelijk. De vraag is of deze woningen gerenoveerd of gesloopt moeten worden met vervangende nieuwbouw.

Volgens Durmisevic (2001, p. 3) faciliteren de technische karakteristieken van gebouwen uit de jaren 50 en 60 geen eenvoudige aanpassingen.

Mulder et al. (2015) beschrijven de voordelen van vervangende nieuwbouw en van renovatie.

Bij vervangende nieuwbouw benoemen zij als voordelen de energiedoelstellingen, wooncomfort, waarde van de woning, leefbaarheid in wijken, afstemming vraag en aanbod op de woningmarkt en tegengaan van verrommeling van het landschap. Onder energiedoelstellingen benoemen zij dat de energieprestatie veel beter is dan bij labelstaprenovatie. Het wooncomfort voldoet bij vervanging aan de hedendaagse maatstaven op het gebied van energieprestatie, geluidsisolatie, vochtregulatie, ventilatie en ICT. De WOZ-waarde van een nieuwbouwwoning is gemiddeld 17 % hoger dan een woning van voor 1980 met gelijkblijvende woningkenmerken. De leefbaarheid in de wijken wordt bij vervangende nieuwbouw verhoogd door het aanbrengen van meer differentiatie in het woningaanbod wat leidt tot gemengde wijken. Het woningaanbod kan worden afgestemd op vraag en aanbod op de woningmarkt als gevolg van demografische ontwikkelingen zoals vergrijzing, ontgroening, krimp en huishoudensverdunding. Het inpassen van nieuwbouw binnen de bestaande bebouwde omgeving en niet het uitbreiden door nieuwbouw in het landschap wordt gezien als het tegengaan van verrommeling van het landschap.

Bij renovatie benoemen Mulder et al. (2015) als voordelen ten opzichte van vervangende nieuwbouw investering, beperktere ingreep voor eigenaren en omwonenden, materiaalgebruik en behoud van de stedenbouwkundige aard. De investering bij renovatie is in het algemeen kleiner dan bij vervangende nieuwbouw. Volgens Mulder et al. zijn de energie-gerelateerde kosten per ingreep in 2014 voor een rijtjeshuurwoning bij een labelstaprenovatie naar label B tussen € 8000 en € 12.000, bij een NOM-renovatie tussen € 45.000 en € 75.000 en voor NOM-vervanging tussen € 95.000 en € 115.000 inclusief € 5000 sloopkosten en € 10.000 bouwproceskosten zoals kosten voor vergunningen, aansluitingen en leges. De overlast voor eigenaren en omwonenden is minder groot. Renovatie is minder materiaalintensief dan vervangende nieuwbouw en er ontstaat minder afval. Een specifieke stedenbouwkundige aard blijft behouden als het wenselijk is om bepaalde specifieke kenmerken van de woningen te behouden. Als indicatoren voor de mate van duurzaamheid benoemen Mulder et al. de energetische kwaliteit van de woning na de ingreep, de milieubelasting door productie en afvalverwerking van materialen en de te verwachten resterende levensduur.

Volgens Žegarac Leskovar en Premrov (2019) zijn er drie categorieën van renovatie: 'partial', 'deep' en 'comprehensive'. Partiële renovatie heeft één of een paar renovatie maatregelen voor een gedeeltelijke verbetering van fysieke en functionele prestaties. Diepe renovatie betreft een set van vereiste renovatiemaatregelen voor een grondige fysieke en functionele prestaties. De allesomvattende renovatie betreft alle vereiste renovatiemaatregelen ter verbetering van kwaliteit van het gebouw in technisch, functioneel, milieu, sociaal en economisch opzicht (Žegarac Leskovar & Premrov, 2019, p. 10).

Voor alleen een energetische upgrade van Wederopbouw flats is een diepe renovatie noodzakelijk die is opgebouwd uit een schilrenovatie met een renovatie van de installatiesystemen. De te renoveren schil van een gebouw bestaat uit de overgang van verwarmde ruimten naar onverwarmde ruimten zoals de gevels, dak, fundering-begane grond vloer en met de openingen daarin. Een holistische allesomvattende renovatie, de upgrade, verbetert meerdere criteria van de kwaliteit van het gebouw met bijbehorende duurzaamheidsaspecten.

Aspecten van kwaliteit kunnen volgens systems engineering gecategoriseerd worden in betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid, veiligheid, gezondheid, omgeving en life cycle costing (RAMSHEC). De diepe renovatie betekent een levensduurverlenging van het gebouw van weer 50 jaar (Kortman, Vis, & Moret, 2016, p. 11).

Gebouwde omgeving, woningvoorraad

Een deel van de gebouwde omgeving bestaat uit de woningvoorraad. Deze voorraad bestaat per 1 januari 2018 volgens CBS uit ruim 7,8 miljoen woningen. Hiervan is volgens CBS (2018) ca. 56 procent een koopwoning, 29 procent een huurwoning van een corporatie, 14 procent in bezit van overige verhuurders en is 1 procent met onbekend eigendom (zie Figuur 1.2). Ongeveer 4 miljoen Nederlanders wonen in een corporatiehuurwoning.

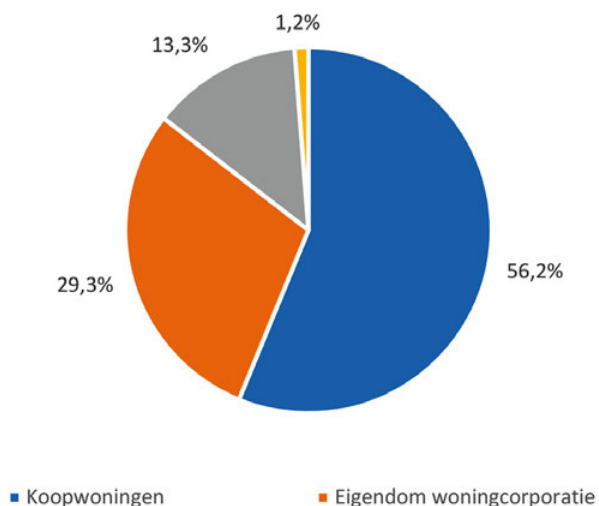


FIG. 1.2 Woningvoorraad naar eigendom/huur. Bewerking van data uit *Voorraad woningen; eigendom, type verhuurder, bewoning, regio* door CBS, 2018 (<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82900NED/table?ts=1519376771837>).

Verdeling Nederlandse woningvoorraad

De brochure 'Voorbeeldwoningen 2011 bestaande bouw' (Agentschap NL, 2011a) vermeldt een verdeling van de Nederlandse woningvoorraad in type woningen tot en met 2005. Het aantal woningen eind 2005 bedroeg volgens het Centraal Bureau voor de Statistiek 6.912.405. De woningvoorraad is door Agentschap NL percentueel verdeeld in de volgende typen en bouwjaarperioden (zie Tabel 1.1 en Figuur 1.3).

TABEL 1.1 Verdeling van de Nederlandse woningvoorraad t/m 2005 naar type woningen en bouwjaarperiodes met daarin in rood aangegeven de Wederopbouwperiode. Bewerking van data uit *Brochure voorbeeldwoningen 2011 bestaande bouw* door Agentschap NL, 2011a.

Type	t/m 1964	1965-1974	1975-1991	1992-2005	Totaal
Vrijstaande woning	6,5 %	1,8 %	3,3 %	2,6 %	14,2 %
2-onder-1-kap	4,2 %	2,1 %	3,3 %	2,6 %	12,2 %
Rijwoning	14,7 %	9,0 %	12,9 %	5,2 %	41,8 %
Maisonnette- woning	3,3 %	0,3 %	1,4 %	0,6 %	5,6 %
Galerijflat	1,0 %	2,6 %	1,6 %	1,7 %	6,9 %
Portiekwoning	7,7 %	1,7 %	2,1 %	1,0 %	12,5 %
Flatwoning (overige)	1,5 %	1,8 %	1,8 %	2,0 %	7,1 %
Totaal	38,9 %	19,3 %	26,4 %	15,7 %	~100 %

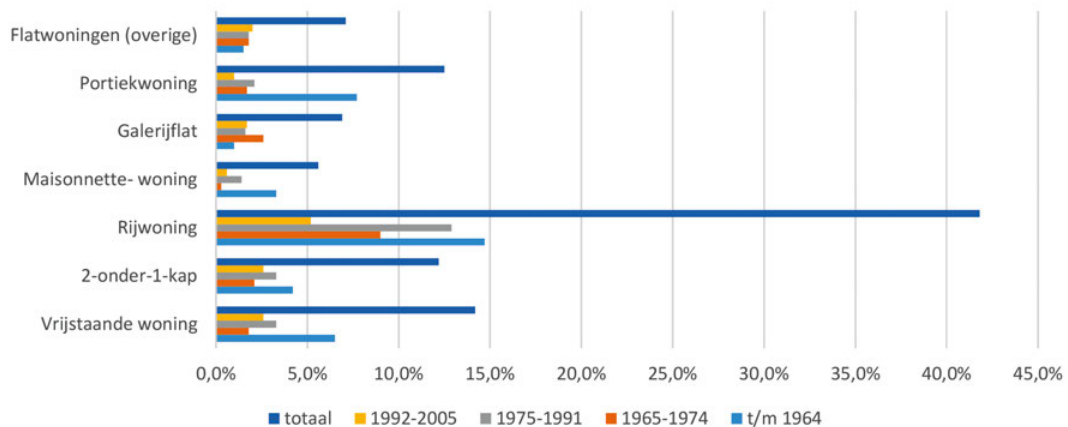


FIG. 1.3 Verdeling van de Nederlandse woningvoorraad t/m 2005 naar type woningen en bouwjaarperiodes. Bewerking van data uit *Brochure voorbeeldwoningen 2011 bestaande bouw* door Agentschap NL, 2011a.

De verdeling van de woningvoorraad eind 2005 laat zien dat rijwoningen in Nederland het meeste voorkomen (41,8 %, ca. 2,9 miljoen woningen).

Het aandeel portiekwoningen bedraagt 12,5 % (ca. 864.000 woningen) van de totale woningvoorraad. Het aandeel galerijflats bedraagt hierin 6,9 % (ca. 477.000 woningen). In de periode tot 1975 bedraagt het percentage portiekwoningen 9,4 % (ca. 650.000 woningen) en het percentage van galerijflats 3,6 % (ca. 249.000 woningen) van de totale woningvoorraad. (Agentschap NL, 2011a)

Verdeling woningvoorraad 1945-1975 naar bouwvoorschriften

De woningvoorraad in de bouwperiode tussen 1945 en 1975 kan volgens Lijbers, Thijssen en Westra (1984) in een zevental groepen onderverdeeld worden naar aanleiding van de toen geldende bouwvoorschriften. Deze bouwvoorschriften zijn tot 1951 de Voorlopige Wenken, van 1951 tot 1965 de Voorschriften en Wenken 1951 (V en W 1951) en na 1965 de V en W 1965. De onderverdeling is als volgt:

- 1 *traditioneel gebouwde woningen uit 1946 – 1952 (Voorlopige wenken);*
 - 2 *traditioneel gebouwde woningen 1953 – 1965 (Ven W 1951);*
 - 3 *traditioneel gebouwde woningen 1966 – 1975 (Ven W 1965);*
 - 4 *weinig toegepaste bouwsystemen uit 1948 en latere jaren (Voorlopige wenken en V en W 1951);*
 - 5 *de systeembouw van de continucontracten 1948 – 1961 (Voorlopige wenken en V en W 1951);*
 - 6 *de nieuwe bouwsystemen 1960 – 1970; (V en W 1951 en V en W 1965);*
 - 7 *de zgn. ‘nieuwe traditie’: gemengde bouwsystemen met prefab 1971 – 1975 (V en W 1965).*
- (Lijbers, Thijssen, & Westra, 1984, p. 25)*

De Voorschriften en Wenken (V&W) bevatten minimum bouw- en woontechnische kwaliteitseisen en een maatstaf ter bepaling van de woningcapaciteit. De V&W golden tot de afschaffing ervan in 1984 als voorwaarde voor het verkrijgen van financiële steun van het Rijk voor de bouw van een nieuwe woning. (Koffijberg, 1997, p. 7)

Verdeling woningvoorraad 1945-1975 naar bouwmethoden

Traditioneel gebouwde woningen zijn woningen die op ambachtelijke wijze zijn gebouwd. Lijbers, Thijssen en Westra (1984) onderscheiden zes groepen.

- De traditioneel gebouwde woningen uit 1946 tot 1952 (groep 1) worden gekenmerkt door “een draagconstructie van in het werk gemetselde baksteen of kalkzandsteen, meestal in combinatie met steenachtige of houten vloeren. De gevels van eengezinshuizen zijn meestal spouwmuur. Bij woningen in meergezinshuizen zijn de gevels vaak uitgevoerd als een spouwloze constructie”. (Lijbers et al., 1984, p. 48) Woontechnisch voldoen de woningen aan de in 1947 voor het eerst gepubliceerde Voorlopige Wenken.
- De traditioneel gebouwde woningen in de periode van 1953 tot 1965 (groep 2) worden gekenmerkt door dezelfde ambachtelijke bouwwijze als groep 1 waarbij de woningen technisch voldoen aan de Voorschriften & Wenken 1951. Na 1960 paste men voor de gevels van woningen in meergezinshuizen geen steens muren met klamp meer toe.

- De traditioneel gebouwde woningen uit 1966 tot 1975 (groep 3) zijn eveneens ambachtelijk gebouwd waarbij de houten vloeren in toenemende mate verdrongen worden door steenachtige vloeren. Deze woningen voldoen aan de Voorschriften en Wenken 1965.
- Groep 4 en groep 5 betreffen systeembouw vanaf 1948. Groep 4 betreft weinig toegepaste bouwsystemen die volgens een bouwkeur van Stichting Ratiobouw moest worden uitgevoerd. Lijbers et al. benoemen enkele van de tientallen bouwsystemen zoals Bredero en Bredero '55, Bron, Elementenbouw, Kossel, Welschen en Hensen. Groep 5 is de systeembouw van de continucontracten. Een zestal bedrijven heeft kunnen profiteren van de mogelijkheid om in de periode 1956/1957 met een gemeente een vijfjarencontract te sluiten. Lijbers, Thijssen en Westra benoemen de systemen Airey, Korrelbeton, RBM I, Rottinghuis, Bakker, Muwi, Pronto, Tramonta en BMB binnen deze groep. Met uitzondering van Tramonta zijn deze systemen ook nog actief in de jaren 60.
- Groep 6 is de groep van de nieuwe bouwsystemen. Hierin worden de grote elementensystemen en gietbouwsystemen onderscheiden. (Lijbers et al., 1984)

Grote elementensystemen zijn bouwmethoden waarbij grote bouwelementen op het werk worden aangevoerd. Priemus en Van Elk (1971) benoemen het als montagebouw en maken onderscheid tussen zware en lichte montagebouw. Zware montagebouw is “montagebouw met zware elementen van een steenachtig materiaal, die meestal nat verwerkt wordt”. Lichte montagebouw is “montagebouw met relatief lichte elementen van hout, metaal, kunststof of dergelijke, die meestal droog worden verwerkt” (Priemus & Van Elk, 1971, p. 11).

Gietbouwsystemen zijn systemen waarbij de bouwstoffen die op het werk worden aangevoerd nat worden verwerkt (Priemus & Van Elk, 1971, p. 11).

Priemus en Van Elk (1971) benoemen de indeling van bouwmethoden op basis van de Vereniging van Systeembouwers (gietbouw, stapelbouw en montagebouw) en op basis van de indeling van Naar (traditionele bouw, systeembouw en industriële bouw) en komt tot de indeling: Traditionele bouw, niet-traditionele bouw, semi-traditionele bouw met dwars daarop de verdeling van stapelbouw, gietbouw, montagebouw (zware en lichte montagebouw). De draagwandconstructie geldt als bepaling van de bouwmethode. (Priemus & Van Elk, pp. 10-11)

De grote elementensystemen zijn volgens Lijbers, Thijssen en Westra (1984) in begin jaren 60 Schokbeton-GBS, Coignet, Elementum, VAM, Simplex en Smit II. Vanaf 1966 worden deze aangevuld met Vaneg, Schokbeton-HI en Bouwvliet. De gietbouwsystemen zijn begin jaren 60 Bitcon en EBA. Later in deze tijdperiode komen daar tussen de tien en twintig gietbouwsystemen bij, waaronder Nijhuis en RBM II, Wilma II en ERA.

Na 1970 worden er nog nauwelijks nieuwe bouwsystemen op de markt gebracht. Rond 1974 worden de fabrieken van de grote elementensystemen gesloten. Bij woningbouwcomplexen van enige omvang wordt gietbouw in combinatie met prefab elementen toegepast (Lijbers, Thijssen, & Westra, 1984). De afnemende vraag naar nieuwe bouwsystemen heeft een relatie met de opkomende 'kneuterigheid' in de stedenbouwkunde met knusse kronkelige wijken als reactie op de open bouwblokken, herhalende patronen, prefab producties en de overgedimensioneerde verkeersstructuur.

Gebouwde omgeving, gestapelde koop- en huurwoningen

De woningvoorraad wordt door de Rijksoverheid (2016b) in drie tijdperiodes verdeeld: woningen van voor 1945, woningen tussen 1945 en 1975 en woningen na 1975. De woningen van voor 1945 maken deel uit voor iets meer dan 1/6 deel van de totale woningvoorraad, de woningen tussen 1945 en 1975 voor iets minder dan 1/3 deel en de woningen na 1975 voor iets minder dan de helft van de totale woningvoorraad. In Figuur 1.4 staat de hoeveelheid woningen in de tijdperiode 1945-1975 in relatie tot de andere tijdperiodes, met als totale woningvoorraad per 1 januari 2016 van ruim 7,6 miljoen woningen.

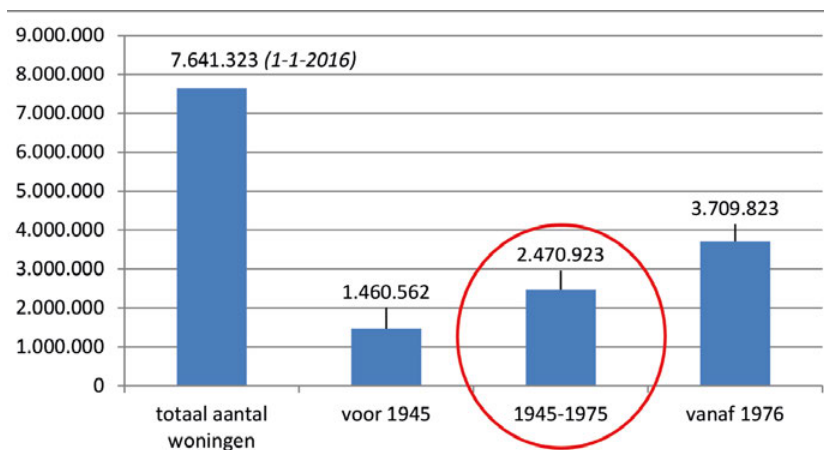


FIG. 1.4 Aantal woningen per 1 januari 2016 in Nederland uit de tijdperiode 1945-1975 ten opzichte van de overige tijdperiodes. Bewerking van data uit VOIS – woningen Nederland door Rijksoverheid, 2016b (<https://vois.datawonen.nl/>).

Gestapelde koop- en huurwoningen, eigendom

Gestapelde woningbouw kenmerkt zich door verschillende typen eigenaarschap. Een flat kan eigendom zijn van één eigenaar zoals een woningcorporatie of een particuliere of commerciële verhuurder of kan eigendom zijn van verschillende eigenaren die samen een vereniging van eigenaren (VvE) met appartementsrechten of een coöperatieve flatexploitatievereniging (cfv) met lidmaatschapsrechten en coöperatief eigenaar van het gehele gebouw vormen. De eigenaren hebben ieder een eigen regime met eisen. Een woningcorporatie heeft de verplichting om haar woningbestand minimaal op energielabel B te brengen in 2021 met daarbij het sociaal verhuurbaar houden van woningen. Een VvE behartigt de gemeenschappelijke belangen van haar leden en voert het beheer over het gemeenschappelijk bezit.

In Nederland bestaan 313 woningcorporaties (Autoriteit woningcorporaties, 2018, p. 22). Hiervan zijn 280 corporaties lid van Aedes (Aedes, z.d.).

Het appartementsrecht is geïntroduceerd in 1952, flatcoöperaties dateren van voor die tijd tot 1 januari 1989 (De Laat, 2014; CBS, 2016). Bij de Kamer van Koophandel staan 50 cfv's geregistreerd en bij het Kadaster 295 cfv's. Ten opzichte van de registratie in 2016 van 100.620 VvE's bij de Kamer van Koophandel en 143.835 VvE's bij het Kadaster zijn de aantallen cfv's gering en worden daarom door CBS buiten beschouwing gelaten (CBS, 2016). In Nederland zijn er volgens CBS (2016) 2.047.225 appartementsrechten waarvan ca. 90 % met een woonfunctie. Het aantal VvE's met tenminste 1 woning bedraagt 125.000. Het aantal van deze VvE's met een bouwjaar tussen 1945 en 1965 varieert per provincie en bedraagt voor Nederland ca. 10 % van het totaal aantal VvE's (CBS, 2016, p. 23) en daarmee ca. 10.000 VvE's. Dit geldt ook voor de VvE's met een bouwjaar tussen 1965 en 1985. Als binnen een VvE zowel huur- als koopwoningen aanwezig zijn, dan is er sprake van een gemengde VvE. De uitsplitsing van de VvE's over alle bouwjaren met tenminste één woning is ca. 50 % gemengde VvE's en ca. 50 % niet-gemengde VvE's. De gemengde VvE's in Nederland zijn onderverdeeld in ca. 58 % koopwoningen, 17 % in bezit van woningcorporaties, ca. 21 % in bezit van overige verhuurders en ca. 4 % onbekend (CBS, 2016, p. 20). Het totaal aantal zelfstandige meergezinswoningen (etagebouw zonder en met lift tot en met 4 etages en hoogbouw) in corporatiebezit over de periode 1945-1979 bedraagt 500.700 per 31 december 2017. Het aantal zelfstandige meergezinswoningen in bezit van woningcorporaties over die periode voor hoogbouw (hoger dan 4 etages) bedraagt 161.200 wooneenheden en bedraagt dus ca. 1/3 deel van de gestapelde woningbouw, zie Figuur 1.5 (BZK, 2019, p. 97).

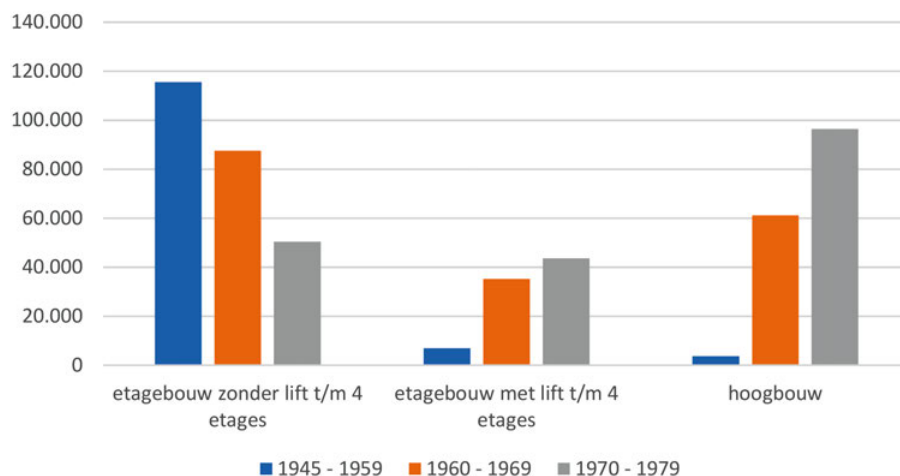


FIG. 1.5 Opbouw bezit corporaties naar type woning en bouwjaarklasse (aantallen) per 31 december 2017. Bewerking van data uit *Cijfers over wonen en bouwen 2019* door BZK, 2019.

Visie corporaties verduurzaming

Volgens Aedes-voorzitter Marnix Norder lopen de corporaties voorop bij verduurzaming (De Hoog, 2018a). Hierbij benoemt Norder technische middelen voor de verduurzaming van de woningvoorraad zoals energie uit mijnwater, wind en geothermie, waarbij de regionale en lokale verschillen voor diversiteit in oplossingen voor verduurzaming zorgen. Het verduurzamen volgens labelstappen met beperking door vooraf gedefinieerde maatregelen is volgens hem het zoeken naar de beste oplossing van nu met verkeerde investeringen in plaats van het zoeken naar innovatieve oplossingen voor de toekomst. Volgens Norder moeten de klimaatafspraken van Parijs (CO₂) en de nationale afspraken die zijn gemaakt in het Energieakkoord (petajoules) leidend zijn in een programmatische aanpak voor pilots met vijftig of honderd woningen naar de 2,5 miljoen woningen die verduurzaamd moeten worden. Innovatie bij consumentenproducten start volgens hem meestal in de duurdere segmenten waarna opschaling en betaalbaar maken volgt. Bij innovatie voor verduurzaming van woningen is het andersom. De meeste innovaties worden ontwikkeld bij de corporatiewoningen waarbij de mensen met een kleine beurs de innovatie betalen terwijl dit in mindere mate gebeurt bij de overige categorieën woningen: particuliere verhuurwoningen en koopwoningen. Norder stelt dat met name in de installatiesector nog veel innovatie moet plaatsvinden. Als voorbeeld noemt hij de verandering van cv-ketel naar WKO, warmteterugwinning en warmtepompen en teruglevering en opslag van

zelfopgewekte elektriciteit. Volgens Norder vraagt dit om “een doorontwikkeling naar compacte oplossingen voor warmte en energie, toegankelijk en eenvoudig in gebruik” (De Hoog, 2018a, p. 16).

Naar renovatieconcepten voor Wederopbouwflats

In de woningvoorraad worden grondgebonden en gestapelde woningen onderscheiden. Het maken van grote slagen in de verduurzaming van de woningen is van belang om doelstellingen voor 2050 te halen. Door de oliecrisis in 1973 worden de woningen in de periode daarna energetisch steeds beter gebouwd. In de voorgaande periode is dit niet het geval waardoor hier een grote energetische winst te behalen valt.

Om grote aantallen woningen op dezelfde wijze te kunnen renoveren is de Wederopbouwperiode (1950-1975) in Nederland interessant. Een ontworpen renovatieconcept voor een bepaalde systeemwoning uit de deze periode kan voor een groot aantal identieke woningen toegepast worden. Het repetitie-effect geeft hierbij kansen voor lagere bouwkosten (naast organisatorische, sociale en juridische factoren) met daardoor technisch gezien grotere kansen voor opschaling. Daarnaast zijn een hoge kwaliteit van de elementen en componenten met een snelle bouwtijd voorwaarden voor het renovatieconcept. Dit is mogelijk door bijvoorbeeld fabrieksmatig te prefabriceren met korte assemblagetijden op de bouwplaats.

Voor grondgebonden woningen uit deze periode zijn vele mogelijkheden bekend voor energetische, fysieke en functionele renovatie. Voor gestapelde woningen tot en met vijf woonlagen zijn de concepten om tot energieneutrale woningen te komen toereikend (Wientjes et al., 2017). Er is hier voldoende dakoppervlak aanwezig in relatie tot het aantal woningen om gestelde benodigde duurzaam opgewekte energie met bestaande technologie te kunnen oogsten. Echter bij gestapelde woningen boven vijf woonlagen is het dakoppervlak niet meer toereikend om de benodigde energie te kunnen oogsten waardoor andere vlakken, zoals gevelvlakken, en andere middelen ingezet moeten worden. Centraal daarin staat het wooncomfort van de bewoners “met nadruk op energieleverend, circulair materiaalgebruik en betaalbaar” (Wientjes et al., 2017, pp. 63-64). Daarover is nog weinig kennis beschikbaar.

De gekozen materialen en de samenstelling daarvan voor de renovatie bepaalt de duurzame waarde voor de toekomst. Voor circulair gebruik van materialen, elementen of componenten in de toekomst kan nu rekening worden gehouden. De systeemwoningen die zijn gebouwd in de Wederopbouwperiode zijn toentertijd niet op circulair gebruik ontworpen. Voorbereidende werkzaamheden voor renovatie van de bestaande systeemwoningen kunnen systematisch plaatsvinden, maar vergen

daardoor wel ambachtelijke werkzaamheden. Daarna kan wel op een duurzame en industriële wijze gerenoveerd.

Variabelen voor de mate van renovatie zijn het aantal renovaties als percentage van de woningvoorraad per jaar, de diepte van de renovatie (minor, moderate, deep, nZEB) en de kosten van de renovatie wat een relatie heeft met de diepte van de renovatie (Economidou et al., 2011, p. 109). Het aantal renovaties moet hoog zijn gezien de doelstellingen in 2050.

Woningkwaliteit

Bepaling van de kwaliteit van een bepaalde systeemwoning uit de Wederopbouwperiode met een bepaalde bouwmethode heeft een relatie met een renovatieconcept daarvoor. Elke bouwmethode heeft zijn beperkingen met daardoor invloed op de grootte en indeling van de woningen (Priemus & Van Elk, 1971, p. 7). Naast de technische en functionele kwaliteit van woningen, die met de Bouwbesluittermen bruikbaarheid, veiligheid, gezondheid, energiezuinigheid en milieuvriendelijkheid worden beschreven (Visscher, 2008), is ook een esthetische kwaliteit te onderscheiden (De Vreeze, 1993).

Veranderende eisen woningen

De woningkwaliteit ontwikkelt zich sinds de invoering van de Woningwet in 1901 met een toenemend ruimtegebruik en een toenemend technisch wooncomfort.

De uitgangspunten voor de stedenbouwkundige en architectonische invullingen in de Wederopbouwperiode waren licht, lucht en ruimte, scheiding van wonen en werken en veel groen volgens de internationaal tussen architecten en stedenbouwers overeengekomen uitgangspunten van de CIAM (Congrès Internationaux d'Architecture Moderne). De flats voldoen in die tijd aan de grote woningbehoefte en betaalbaar wonen.

De flats uit de Wederopbouwperiode zijn slecht toegankelijk voor rolstoelgebruik. Een sociaal gewenste afstand tussen openbaar en privé is bij een galerijontsluiting van appartementen is niet aanwezig.

Energieneutraal en CO₂-neutraal

Energieneutraal heeft per definitie alleen betrekking op gebouwgebonden energie. Als het gaat om CO₂-gerelateerd energiegebruik dan is naast gebouwgebonden energiegebruik ook gebruikersgebonden energiegebruik en embodied energie aan de orde. Klimaatneutraal of CO₂-neutraal heeft betrekking op netto nul uitstoot van CO₂. Rovers (2017b) ziet een gehele gesloten keten en benoemt dit als systeemneutraal. Operationele energie voor verwarmen en ventileren is volgens Rovers volledig irrelevant geworden vanwege gebruik van duurzame energie zoals zonne-energie en aardwarmte.

1.3 **Probleemstelling**

Uit de probleemanalyse volgt dat de Nederlandse naoorlogse Wederopbouw woningvoorraad toekomstbestendig gemaakt moet worden door Europese klimaat-eisen (energieneutraal voor 2050) en circulair voor 2050, rekening houdend met de technische staat van de woningen. Voor grondgebonden woningen zijn voor de energietransitie vele energetische concepten en strategieën beschikbaar richting energieneutraal, voor hoogbouw woningen is echter weinig kennis beschikbaar. Ook op het gebied van circulair renoveren met bijbehorende businessmodellen als strategie naar CO₂-neutraal, voor zover haalbaar, is weinig kennis beschikbaar. Het onderzoek richt zich daarom afgebakend op Wederopbouw hoogbouw systeemwoningen uit de periode 1950-1975. Als het totale speelveld van renoveren van bestaande woningbouw zich strekt over People, Planet, Prosperity en Project, dan focust dit onderzoek zich op het ruimtelijk energetische Planetdeel van het spectrum.

Uit de probleemstelling volgt de doelstelling en onderzoeksvraag van het onderzoek.

1.4 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is het ontwikkelen van mogelijke strategieën voor energetische upgrading van bestaande Nederlandse hoogbouw systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode naar energieneutraal voor grootschalige toepassing met oog op circulariteit. Deze doelstelling heeft praktische relevantie: de maatschappij heeft baat bij grootschalige upgrades om de Europese doelstellingen op klimaatgebied te kunnen halen. Corporaties, die voor een groot deel de Wederopbouw hoogbouwflats in eigendom hebben voor sociale verhuur, VvE's en bewoners zijn gebaat bij nieuwe inzichten die een bijdrage kunnen leveren aan circulaire energetische upgrade van deze voorraad. De theoretische relevantie is het vergroten van de wetenschappelijke kennis op het gebied van energetisch en circulair upgraden.

1.5 Onderzoeksvraag, deelvragen en onderzoeksmethode

Onderzoeksvraag

Vanuit de probleemstelling is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd: *Wat zijn mogelijke strategieën voor energetische upgrading van bestaande Nederlandse hoogbouw systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode naar CO₂-neutraal voor grootschalige toepassing?*

Er worden op het gebied van energetische upgrading van bestaande Nederlandse hoogbouw systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode drie categorieën onderscheiden:

- 1 Bestaande Wederopbouw hoogbouw flats (Flat 1.0)
- 2 Onderzoek naar energetische aanpassingen van de Wederopbouw hoogbouw flats die gefocust zijn op 'comfort upgrading' (Flat 2.0)
- 3 Een nieuwe generatie aanpassingen van Wederopbouw hoogbouw flats (Flat 3.0). De focus ligt op de ruimtelijk energetische upgrading naar energieneutrale flats 3.0 en op welke ontwerpuitgangspunten en technische en energetische principes ze gebaseerd zijn.

Het onderzoek neemt deze categorisering over en bestaat uit vier gedeelten: het theoretisch kader, Flat 1.0, Flat 2.0 en Flat 3.0.

Het theoretisch kader brengt de algemene systeemtheorie en lagenbenaderingen in kaart. De essentiële begrippen worden door middel van literatuuronderzoek gedefinieerd. De integrale samenhang tussen alle aspecten is hierbij van belang. De systeemtheorie kan hierbij ondersteuning bieden. Daarom is hierna gekozen voor het begrip upgrading in plaats van renovatie om deze samenhang te benadrukken. De technische ruimtelijke energietransitie leidt vervolgens tot een sociale transformatie die buiten beschouwing van deze dissertatie ligt.

Flat 1.0 onderzoekt de bouwtechnische, bouwfysische en functionele eigenschappen van bestaande hoogbouw Wederopbouw flats, waaronder de mate van geslotenheid van de gevels en dak in verband met de mate van energieopwekking door deze vlakken. Flat 2.0 heeft een tussentijdse 'comfort upgrading' en een beperkte energetische upgrading ondergaan en wordt beschreven door middel van casestudies. Flat 3.0 ondergaat een energetische upgrading richting energieneutraal of energieleverend met behulp van een gebouwmodel. Daarbij worden ontwerpuitgangspunten geformuleerd om tot nieuwe circulair en industrieel gerichte upgradestrategieën te komen.

Voor Flat 1.0 en 2.0 is het onderzoek beschrijvend en kwalitatief van aard. Dit gedeelte beschrijft de typerende kenmerken en aspecten van de 10 bouwsystemen als onderzoekseenheden (Flat 1.0) en beschrijft de state of the art upgrademethoden (Flat 2.0). Voor Flat 3.0 is het onderzoek ontwerpgericht en kwalitatief van aard. Het richt zich op verbetering of vernieuwing van huidige upgrademethoden op basis van de gestelde onderzoeksvariabelen uit Flat 1.0 en Flat 2.0.

Deelvragen

De deelvragen voor het theoretisch kader luiden (Hoofdstuk 2 en 3):

- 1 Hoe kan de systeemtheorie bijdragen aan het ontwikkelen van strategieën voor energetische upgrading van bestaande Nederlandse hoogbouw systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode naar CO₂-neutraal voor grootschalige toepassing?
- 2 Hoe kunnen aanpakken van diverse lagenmodellen, industrieel bouwen en circulair bouwen bijdragen aan het ontwikkelen van upgrade strategieën?
- 3 Hoe kunnen energetische concepten en benaderingen bijdragen aan het ontwikkelen van upgrade strategieën?

De deelvragen voor Flat 1.0 luiden (Hoofdstuk 4):

- 4 Waaruit bestaan de hoogbouw bouwsystemen uit de Wederopbouw per bouwmethode?
- 5 Wat zijn technische en functionele eigenschappen van de bouwsystemen?
- 6 Hoe staat de mate van geslotenheid van gevels en dak per bouwsysteem in relatie tot mogelijke energieopwekking?

De deelvragen voor Flat 2.0 luiden (Hoofdstuk 5):

- 7 Wat zijn energetische aanpassingen die gefocust zijn op 'comfort upgrading'?
- 8 Welke factoren van best practices van comfort upgradestrategieën kunnen bijdragen aan nieuwe upgrade strategieën?

De deelvragen voor Flat 3.0 luiden (Hoofdstuk 6):

- 9 Wat is de relatie tussen locatie en oriëntatie van een gebouw en de hoeveelheid te oogsten zonne-energie per jaar door dat gebouw uit te drukken in een energetisch gebouwmodel?
- 10 In welke mate kan de gebruikersgebonden energieambitie uitgebreid worden met benodigde energie voor een elektrische auto?
- 11 Wat is de relatie tussen opwek van energie uit het gebouwmodel en het energiegebruik in relatie tot energieambities?
- 12 Welke upgradestrategieën zijn per categorie bouwmethode mogelijk?

Door middel van een casestudy van de 10 onderzoekseenheden worden de onderzoeksvariabelen meetbaar gemaakt. Een model operationaliseert de variabelen in een bepaalde case.

Voor het onderzoek is een onderzoeksmodel samengesteld (zie Figuur 1.6).

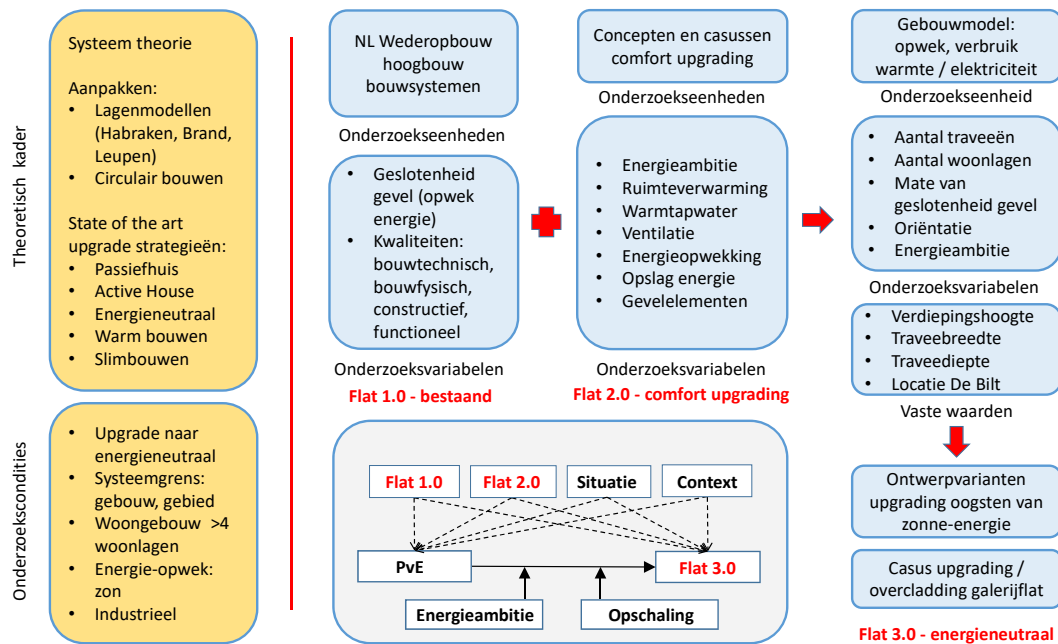


FIG. 1.6 Onderzoeksopzet en conceptueel schema.

In dit model zijn de volgende onderdelen te zien:

— Onderzoekscondities

Energetische upgrading strategieën worden als een systeem opgevat waarin zich elementen bevinden die relaties met elkaar hebben. De systeemgrens van het systeem is het gebouw als onderzoekseenheid. In de context worden aangrenzende systemen beschreven die zich in de omgeving buiten de systeemgrens bevinden en wel een relatie hiermee kunnen hebben. De invloeden van deze aangrenzende systemen worden vastgezet en beschreven ter afbakening van het onderzoek.

— Theoretisch kader

Vanuit de theorie worden kaders ontleend voor dit onderzoek. Omdat het gebouw een systeem is, kan de systeemtheorie elementen van de systemen, hun onderlinge relaties en systeemgrenzen beschrijven. Lagenmodellen zijn toegepast in de systeemontwerpen uit de Wederopbouwperiode. Het drager-inbouwprincipe van Habracken is veelvuldig toegepast. In het theoretisch kader worden de van invloed zijnde theorieën, strategieën (zoals de lagenmodellen) en de van toepassing zijnde literatuur beschreven. Het onderzoek is gebaseerd op het theoretisch kader.

— **Definities begrippen**

De kernbegrippen uit de onderzoeksvragen worden vanuit het theoretisch kader en vanuit de literatuur beschreven.

— **Onderzoekseenheden (algemeen)**

De onderzoekseenheden in het onderzoek worden de verschillende hoogbouwsystemen die worden geselecteerd uit de veelheid van bouwsystemen uit de Wederopbouwperiode (1945-1975). De selectie is gebaseerd op literatuuronderzoek en op onderzoek van het archief van Stichting Ratiobouw waarin de methoden beschreven staan.

— **Model**

Vanuit categorisering van de onderzoekseenheden en het benoemen van de kenmerken daarvan worden deze kenmerken meetbaar gemaakt door middel van indicatoren zodat algemene variabelen ontstaan. Deze variabelen worden gemodelleerd om de effecten bij het variëren van waarden te kunnen zien.

— **Casestudies van specifieke onderzoekseenheden**

De beschreven algemene patronen worden in hele specifieke situaties getest in de vorm van casestudies om tot specifieke strategieën te komen voor energetische upgrading. De aspecten die invloed hebben op het energiesysteem worden hierbij onderzocht.

— **State of the art**

State of the art upgrading strategieën zijn het vertrekpunt van het onderzoek voor Flat 3.0. Strategieën en scenario's worden hier beschreven en met elkaar vergeleken.

— **Energetische upgrading strategieën**

De uitkomst van het onderzoek is een overzicht van upgrading strategieën en scenario's met behulp van een energetisch model voor de categorieën van Wederopbouw hoogbouwsystemen.

Onderzoeksmethode

De onderzoeksmethode bestaat uit een theoretisch framework dat wordt opgebouwd door middel van een literatuurstudie en veldonderzoek. Vanuit het framework ontstaan variabelen voor de upgrade. Deze variabelen worden vervolgens gemodelleerd. De bestaande voorraad hoogbouwtypen wordt gecategoriseerd waarna in een casestudie de variabelen worden getest. Onderstaand wordt de onderzoeksmethode nader gespecificeerd.

- 1 Theoretisch framework:
 - a Literatuurstudie
 - Systeemtheorie
 - Lagenmodellen
 - Hoogbouw Wederopbouw systemen
 - State of the art upgrade strategieën
 - Industrieel upgraden
 - b Veldonderzoek

- 2 Vanuit theoretisch framework:
 - a Variabelen upgrade
 - b Modelleren variabelen in een gebouwmodel

- 3 Categoriseren van de bestaande voorraad hoogbouwtypen die op een eenduidige wijze verduurzaamd kunnen worden met variatie in karakteristieken

- 4 Testen variabelen in een casestudie

2 Theoretisch kader

2.1 Inleiding

Het theoretische kader vormt de theoretische achtergrond van het onderzoek. De literatuur vormt de basis voor het definiëren van de kernbegrippen uit de hoofdvraag *‘Wat zijn strategieën voor energetische upgrading van bestaande Nederlandse hoogbouw systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode naar energieneutraal voor grootschalige toepassing?’*. Eerdere onderzoeken vormen de basis van dit onderzoek. Een woning is een systeem van samenwerkende elementen met bepaalde levensduren. De algemene systeemtheorie geeft relaties aan tussen verschillende elementen binnen en buiten een bepaald systeem en is daarom ondersteunend aan dit onderzoek.

Dit hoofdstuk definieert belangrijke begrippen en geeft antwoord op de vragen:

- Hoe kan de systeemtheorie bijdragen aan het ontwikkelen van strategieën voor energetische upgrading van bestaande Nederlandse hoogbouw systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode naar CO₂-neutraal voor grootschalige toepassing?
- Hoe kunnen aanpakken van diverse lagenmodellen, industrieel bouwen en circulair bouwen bijdragen aan het ontwikkelen van upgrade strategieën?
- Hoe kunnen energetische concepten en benaderingen bijdragen aan het ontwikkelen van upgrade strategieën?

2.2 **Systeem**

“Nothing is as dangerous in architecture as dealing with separated problems. If we split life into separated problems, we split the possibilities to make good building art”
– Alvar Aalto

Een woongebouw kan worden beschouwd als een systeem. Een systeem bestaat uit elementen en uit relaties tussen die elementen. Een systeem heeft een bepaalde wisselwerking met de omgeving met een bepaalde systeemgrens. Een gesloten systeem wordt niet beïnvloed door de omgeving, een open systeem wel. Om het gebouw als systeem te analyseren wordt een model hiervan gemaakt. Het gebouwstelsel is ontstaan bij het ontwerp van het gebouw. Schön (1987) onderscheidt 5 domeinen in een ontwerp voor een gebouw. Het eerste domein is ruimte, vorm, beeld en compositie. Het tweede domein is materiaal, constructie en klimaat. Het derde domein is functie, gebruik, ritueel en beweging. Het vierde domein is de kavel en de stedelijke context. Het laatste domein is milieu en de sociale, historische, filosofische en financiële context. De verschillende domeinen hebben bij het ontwerp invloed op elkaar. Schön en Wiggins (1992, p. 143) concluderen: “a move informed by an intention, formulated within one domain, has consequences in all other domains” (Van Dooren, 2014).

Het gebouw als systeem is ontstaan onder invloed van bepaalde elementen uit bepaalde domeinen. De eigenschappen van de elementen bepalen in hoeverre het gebouw adaptief is bij veranderende behoeften, omstandigheden, uitgangspunten en inzichten. Volgens Hermans en Van Rijn (2014, p. 6) omvat het adaptief vermogen van een gebouw “alle eigenschappen die het mogelijk maken dat het gebouw op een duurzame en economisch rendabele wijze zijn functionaliteit behoudt gedurende zijn technische levensduur, bij veranderende behoeften en omstandigheden”. De wensen van de gebruikers wijzigen door een andere beleving van comfort zoals een prettiger thermisch binnenklimaat en minder geluidsoverlast. De omvang en de structuur van de gezinssamenstelling wijzigt na verloop van tijd. Ruimten krijgen gewijzigde bestemmingen of worden anders gebruikt. Gesloten keukens maken plaats voor open keukens. Bestaande woonruimten in gestapelde woningbouw uit het begin van de Wederopbouwperiode worden soms als krap ervaren. Het gebouw veroudert functioneel (het wat) of technisch (het waarmee) met verschillende tijden voor vervanging van elementen. Deze elementen zijn al dan niet ontworpen om in tijd gezien onafhankelijk van elkaar te kunnen vervangen.

“Energiegebruik en binnenklimaat zijn in feite de resultante van complexe, dynamische, thermische interacties tussen buitenklimaat, bouwkundige constructies, klimaatregelinstallaties en de gebruikers” (Hensen, 1995).

Volgens Hensen (1995) is een acceptabele omgeving voor haar gebruikers een belangrijke doelstelling van een gebouw. Het comfort is afhankelijk van de taken die in het gebouw uitgevoerd moeten worden en is afhankelijk van de verwachtingspatronen van de gebruikers. Het binnenklimaat van een gebouw wordt door een aantal bronnen bepaald. De belangrijkste bronnen zijn buitenklimaat, gebruikers en bewoners met interne warmtelast en installaties (verwarming, koeling en ventilatie).

Er zijn diverse subsystemen met elk hun eigen dynamisch thermische karakteristieken:

- Bewoners of gebruikers.
- Bouwkundige constructie, met relatief grote tijdconstanten (sommige klein zoals vertreklucht).
- Klimaatregelinstallatie, tijdconstanten van enkele seconden tot vele uren zoals opslagtank warm water.

“De oorzakelijke verbanden tussen gebouwvorm, en –constructie, klimaatregelinstallatie en –regeling, in termen van samenhang tussen prestatie en ontwerpparameters behoren tot het domein van verschillende beroepsgroepen en daardoor niet altijd goed begrepen” (Hensen, 1995).

2.2.1 Definitie ‘systeem’

Een systeem bestaat uit (sets van) *elementen* en *relaties* tussen die elementen (Alexander, 1966; Asbjørnsen, 1992; Von Bertalanffy, 1969). Een systeem heeft *systeemgrenzen* en is een *open* of een *gesloten* systeem (Asbjørnsen, 1992; In’t Veld, 1998; Von Bertalanffy, 1969).

Een *set* is een collectie van elementen die om een bepaalde reden bij elkaar horen (Alexander, 1966).

Een *element* is een niet verder op te splitsen deel van een systeem (Göpfert, 1998, p. 16).

Een systeem heeft een *systeemgrens* om zich te onderscheiden van de omgeving waarbij de systeemgrens door degene die het systeem vaststelt zelf wordt bepaald. Een systeem kan open of gesloten zijn. In een *open systeem* bestaan relaties tussen elementen buiten de systeemgrens met elementen binnen de systeemgrens en relaties tussen de elementen binnen de systeemgrens. In een *gesloten systeem* bestaan alleen relaties tussen elementen die zich binnen de systeemgrens bevinden (In't Veld, 1998). Volgens Glinz (2012) is de systeemgrens de scheiding tussen een systeem en de omringende systeemcontext. De *systeemcontext* wordt met een contextgrens gescheiden met de irrelevante omgeving (zie Figuur 2.1).

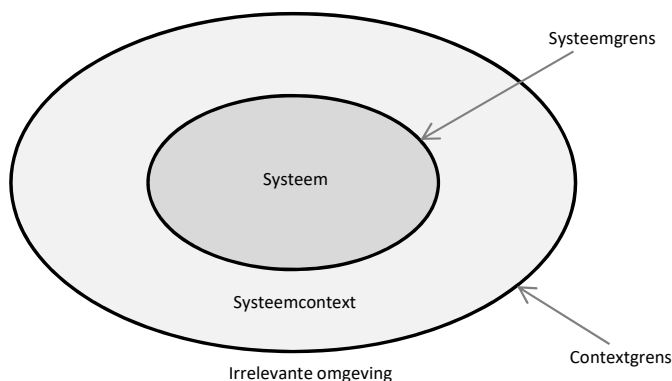


FIG. 2.1 Begrenzing van een systeem en systeemcontext. Overgenomen uit *Succes met requirements! Ontwikkeling validatie en beheer van requirements voor informatiesystemen* (p. 10) door M. Arendsen et al., 2012, Den Haag: Academic Service. Copyright 2012, Academic Service.

Om een systeem inzichtelijker te maken wordt onderscheid gemaakt tussen *subsystemen* en *aspectsystemen* met als kleinste eenheid een *black box*. Een *subsystem* is een deelverzameling van elementen in het systeem, waarbij alle oorspronkelijke relaties tussen deze elementen onveranderd behouden blijven. Een *aspectstelsysteem* is een deelverzameling van de relaties in het systeem, waarbij alle elementen onveranderd behouden blijven. Een *black box* is een systeem, of subsysteem, waarvan de interne elementen en relaties de onderzoeker (nog) niet bekend zijn of die hij (vooralsnog) buiten beschouwing laat. Een *black box* bestaat uit één element. (In't Veld, 1998)

Bij de interactie tussen de elementen in een systeem en met de omgeving speelt 'feedback' een cruciale rol. Zonder feedback (ook wel regelkringen genoemd) kunnen systemen in een steeds veranderende omgeving niet voortbestaan. Feedback kan positief of negatief zijn. Van positieve feedback is sprake als het gevolg de oorzaak versterkt. Van negatieve feedback is sprake als het gevolg de oorzaak corrigeert (Vernhout, 2012).

2.2.2 Woning en systeemgrens

Bij het verduurzamen van woningen zijn voor het energiesysteem van een woning twee maatregelen van belang. De eerste maatregel is het verminderen van de energievraag, de tweede maatregel is de resterende energievraag invullen met duurzame energie. Het energiesysteem levert energie, gebruikt energie, buffert energie, wisselt energie uit, zet energie om en verschuift het gebruik van energie in de tijd. De energetische verduurzaming is niet alleen energiezuinig, maar ook energie-intelligent. Het gewenste energiesysteem voor verduurzaming leidt tot woningmaatregelen, gebouwmaatregelen, gebiedsmaatregelen of een combinatie van deze maatregelen en is afhankelijk van de context. Het energiesysteem bestaat uit elektrische energie en warmte. (EnergyVille, 2017)

Binnen de woning als systeemgrens kan duurzame elektrische energie opgewekt worden door bronnen zoals gebouwgebonden zonne-energie en windenergie. Warmte kan opgewekt worden via zonne-energie en door hergebruik van afvalstromen. Binnen het gebied als systeemgrens kan duurzame elektrische energie opgewekt worden door middel van bronnen zoals zonne-energie. Duurzame warmte kan opgewekt worden door middel van geothermie, hergebruik van industriële afvalwarmte of door het uitwisselen van warmteoverschotten tussen gebouwen.

Een renovatiecyclus kan verticaal of horizontaal uitgevoerd worden. Bij een verticale renovatiecyclus wordt er pas gerenoveerd als de wijk en de woning er aan toe zijn (renoveren in één serie). Hierbij worden bij verandering van een segment altijd weefsel, drager en inbouw tegelijk aangepakt. Bij een horizontale upgrade kan de woning, apart en onafhankelijk van de wijk en de drager, gerenoveerd worden. Hierbij kan het natuurlijke veranderproces worden gevolgd zoals renoveren in een serie van één (Brinksma, 2017, p. 30; Kapteijns, 1989, p. 10). Bij een horizontale upgrade, een trapsgewijze renovatie, moeten lock-in's vermeden worden. Een lock-in is een verbetering die verdere verbeteringen in de toekomst blokkeert. Doordat grote hoeveelheden woningen energetisch geüpgraded moeten worden ligt een verticaal renovatiecyclus voor de hand. Het volgen van een natuurlijk horizontaal veranderproces, bijvoorbeeld mutatieonderhoud bij wisseling van huurders zoals toiletrenovatie, doucherenovatie, keukenrenovatie of vervangen van plafonds, is te eenzijdig. Het verticale proces biedt de kans om de woning als systeem te upgraden.

2.2.3 Modulair en integraal

De traditionele bouw kenmerkt zich door het samensmelten van allerlei disciplines om zodoende tot een samengesteld bouwwerk te komen. Aspecten van verschillende disciplines in de bouw zijn met elkaar verbonden en zijn fysiek afhankelijk van elkaar. Voorbeelden zijn componenten die in een betonvloer zijn ingestort zoals installatieleidingen. In dit geval is een verbinding tussen een aspect van de bouwtechniek (betonvloer als scheidende en dragende functie) en een aspect van de installatietechniek (leidingwerk als infrastructuur) aan de orde. Alles is met elkaar verbonden en functioneert als geheel. Echter wanneer één van de componenten groot onderhoud vergt of zelfs aan vervanging of vernieuwing toe is, dan heeft dat direct invloed op de componenten waarmee deze fysiek verbonden is. Om een bepaalde component toegankelijk te maken moet de verbonden component gelegenheid bieden. Dit gaat in de traditionele situatie vaak gepaard met sloopwerkzaamheden. Hiermee is veel arbeid gemoeid, materiaalverliezen en veel tijd, en daardoor kostbaar en niet duurzaam. Een betere optie is om de verschillende disciplines fysiek van elkaar te scheiden. Een wijziging of vernieuwing in een aspect van de ene discipline heeft dan veel minder invloed op het fysiek moeten wijzigen of aanpassen in de nabijgelegen discipline omdat de verbinding niet of veel minder afhankelijk is. De relatie tussen beide componenten is in dit geval in plaats van integraal nu modulair.

De begrippen integraal en modulair laten zich goed verklaren vanuit de systeemtheorie. Integraal betekent dat een of meerdere relaties tussen twee of meerdere elementen, subsystemen of systemen aanwezig zijn met als doel een optimalisatie naar een bepaalde eigenschap. Hier is dus sprake van een afhankelijkheid van elkaar door de relaties. De eigenschappen van de elementen beïnvloeden elkaar door een bepaalde relatie. Modulair betekent dat een element, subsysteem of systeem weinig of geen relatie heeft met andere elementen, subsystemen of systemen. In dit geval is dus sprake van een onafhankelijkheid van elkaar. Een relatie tussen elementen kan volgens Pimmler en Eppinger (1994, p. 4) bestaan uit een ruimtelijke interactie, een energie-interactie, een informatie-interactie en/of uit een materialeninteractie. Het type ruimtelijk interactie betreft behoefte aan nabijheid of oriëntatie tussen twee elementen. Het type energie-interactie betreft energieoverdracht tussen twee elementen. Het type informatie-interactie identificeert behoeften aan informatie- of signaaluitwisseling tussen twee elementen. Het type materiaalinteractie identificeert behoeften aan materiaal uitwisseling tussen twee elementen.

Om uitspraken te doen over integraliteit of modulariteit van elementen moet de soort relatie aangegeven worden waarbinnen dit geldig is. Het fysiek scheiden van elementen, de elementen hebben geen fysieke relatie met elkaar, kan los staan van andere soorten relaties, zoals een ruimtelijke relatie.

Integratie van componenten in een gebouw kan volgens Bachman (2003) op drie manieren plaatsvinden: fysiek, visueel en op gebied van prestatie. De fysieke integratie heeft betrekking op het delen van ruimte en onderling aansluiten van componenten, de visuele integratie heeft betrekking op het bereiken van visuele harmonie en de integratie van prestatie heeft betrekking op het delen van functies met andere componenten en systemen. (Ali & Armstrong, 2008, p. 3)

Modulaire constructiesystemen zijn gesloten systemen waarbinnen elementen worden geprefabriceerd door de leveranciers onafhankelijk van een bepaald gebouw. Een aantal elementen zijn hierbij vooraf bepaald die op verschillende wijzen gecombineerd kunnen worden binnen geometrische en constructieve regels. Een *module* (M) is een basis maatvoering van een geometrisch classificatiesysteem. In Europa is de basismodule M= 100 mm. Een *grid* is een geometrisch systeem dat de positie en afmetingen bepaalt van modulaire gebouwelementen.

Bij open systemen kunnen verschillende geprefabriceerde elementen van verschillende leveranciers gecombineerd worden. Hierbij is standaardisatie, classificatie en coördinatie van maatvoering noodzakelijk voor assemblage. (Staub, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008, pp. 43-44) Door de vermindering van de onderlinge afhankelijkheden tussen de modules wordt de coördinatie tussen deze modules minder complex, aan de andere kant wordt samenwerking tussen de modules tegengegaan door de specialisatie binnen de modules (Tee, Davies, & Whyte, 2019).

Modulaire architectuur heeft volgens Ulrich (1995) een 1-op-1 toewijzing van functionele elementen naar fysieke elementen. Integrale architectuur bestaat uit een complexe toewijzing van functionele elementen naar fysieke elementen (zie Figuur 2.2).

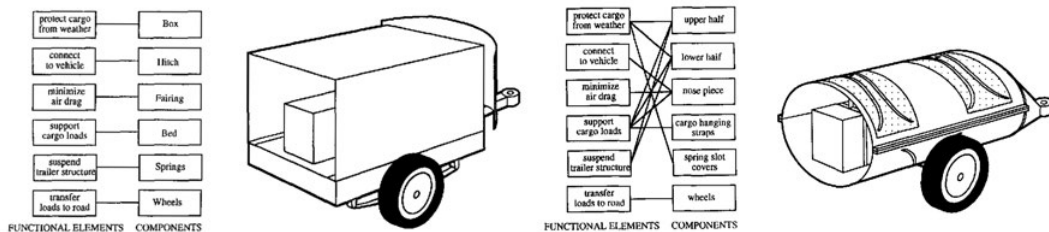


FIG. 2.2 Toewijzing van functionele elementen naar fysieke elementen op een modulaire en integrale wijze. Overgenomen uit *The role of product architecture in the manufacturing firm* (pp. 421-422) door K. Ulrich, 1995. Copyright 1995, Research Policy.

2.3 Lagenmodellen

Het toepassen van lagenmodellen is van belang bij circulair bouwen. Ieder bouwproduct kan dan benaderd worden binnen haar eigen omstandigheden. Aanpasbaarheid van een gebouw ten behoeve van flexibiliteit voor bijvoorbeeld veranderende bewonerswensen is hierdoor gemakkelijker. Nieuwe aanpassingen aan een gebouw hebben een circulair uitgangspunt, het bestaande gebouw laat dat maar ten dele toe. Het denken en ontwerpen in lagen is gedeeltelijk een uitgangspunt geweest voor de Wederopbouw hoogbouw flats. Hoe heeft het denken in lagen zich ontwikkelt? Het denken in lagen krijgt een revival vanwege de circulaire uitgangspunten van vandaag.

2.3.1 Drager en inbouw

Het gedachtengoed van Habraken kreeg gestalte en invloed in de tijd dat de hoogbouwflats rationeel en (gedeeltelijk) geprefabriceerd werden gebouwd in de Wederopbouwperiode. Om deze reden is het interessant om zijn gedachtengoed – ‘drager en inbouw’ en ‘Open Bouwen’ – uitgebreid te beschrijven.

De Wederopbouwperiode is de periode van de massawoningbouw. Habraken (1961) verzet zich tegen de massawoningbouw door de “controverse tussen mens en methode” en verdedigt medezeggenschap en initiatief van de bewoners (p. 7). Habraken ziet huisvesting als “een totaliteit van gebeurtenissen die niet straffeloos van elkaar te scheiden zijn” (p. 11). Huisvesting is volgens Habraken de actie van de onderling verbonden krachten uit de maatschappij. Steden en woningen zijn de tastbare resultaten daarvan (p. 11). De massawoningbouw daarentegen is een middel om tot huisvesting te komen waarbij de bemoeiing van het individu ongewenst wordt geacht. De woning wordt hierbij gereduceerd tot een consumptieartikel en de bewoner als consument (pp. 13-14,19).

Huisvesting heeft volgens Habraken te maken met “de behoefte aan een eigen omgeving waar men doen en laten kan wat men wil . . . het heeft te maken met de wil tot bezit” (p. 21). “De mens zelf bepaalt door zijn aanwezigheid wat een woning is” (p. 25). “Iets is een woning . . . wanneer er mensen in gaan wonen” (p. 25). Wonen is allereerst een relatie tussen mens en omgeving (de natuurlijke relatie) en juist “omdat deze relatie voortkomt uit de gewoonste handelingen van het dagelijkse leven is zij verankerd in de fundamente van ons bestaan” (p.29). “Wonen is onverbreekelijk verbonden met bouwen, met het maken van de beschutte omgeving. De beide begrippen zijn niet te scheiden maar omvatten samen de zich huisvestende mens; wonen is bouwen” (p. 29).

Bij een relatie gaat het altijd om tenminste twee factoren die op elkaar inwerken. Bij de natuurlijke relatie zijn dat bewoner en woning . . . Om de natuurlijke relatie mogelijk te maken is nodig dat de woning veranderd, verbouwd, afgebroken en gebouwd kan worden zonder dat daarmee een andere woning wordt aangetast . . . De woning van de natuurlijke relatie is de zelfstandige woning. (Habraken, 1961, p. 76)

Habraken neemt het onbekende als basis. “De onzekerheid van de toekomst is de basis van nu te nemen maatregelen” (p. 60). Dit wordt de basis voor het Open Bouwen. Habraken introduceert verschillende niveaus van besluitvorming in het bouwproces (zie Figuur 2.3): ‘tissue’, ‘support’ en ‘infill’. ‘Tissue’ refereert naar het stedelijke weefsel, ‘support’ is de basis van het gebouw en ‘infill’ is het inbouwpakket van het gebouw. Het hogere niveau (‘support’) ondersteunt en beperkt het lagere niveau (‘infill’). Elke niveau heeft haar eigen ‘ultieme klant’. Bij ‘infill’ is dit de woningcorporatie, bij ‘support’ de ontwikkelaar en bij ‘tissue’ de gemeente (Cuperus, 2001). In die tijd waren installaties nog niet erg van belang of maatgevend.

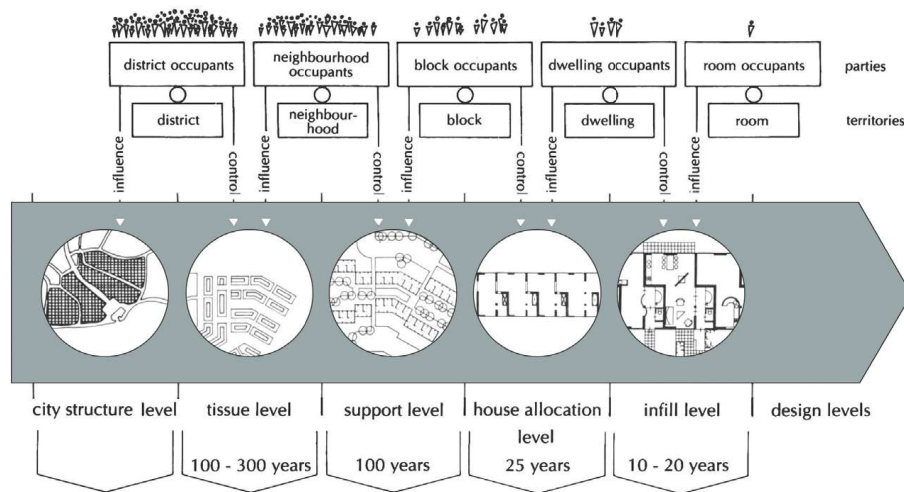


FIG. 2.3 Niveaus van besluitvorming volgens Habraken. Overgenomen uit *An introduction to open building* (p. 3) door Y. Cuperus, 2001, Singapore: 9th International Group for Lean Construction Conference. Copyright 2001, Y. Cuperus.

Volgens Habraken (1961) betekent prefabricatie dat “men op de ene plaats de onderdelen waaruit de woning bestaat vervaardigt om deze op een andere plaats tot een geheel samen te voegen” (p. 71). Daarbij stelt Habraken dat winst van machinale fabricatie niet ligt in “een absolute verlaging van kosten maar in een verhoging van de kwaliteit en een versnelling van de bouw” (p. 118).

Een drager is “een constructie waarin zich een aantal woningen laat samenstellen, die ieder voor zich – onafhankelijk van de andere woningen erin – gebouwd, verbouwd of afgebroken kunnen worden” (Habraken, 1961, p. 84). Het skelet is volgens Habraken specifiek voor een tot in detail bekend gebouw. Een drager daarentegen laat vrije invullingen toe en is “een op zichzelf afgerond geheel” (p. 86).

De drager is ruwbouw en kan ter plaatste geconstrueerd worden. Het heeft een niet-gecompliceerde detaillering, geen verfijnde afwerking en een langdurig bestaan. “De dragers hebben een simpele rationele grondslag en zij berusten op een heldere appreciatie van wat er nodig is om de machine in de woningbouw te introduceren” (Habraken, 1961, p. 87).

De drager zorgt volgens Habraken onder andere voor de verkaveling van bouwkundige en installatietechnische ontsluiting in horizontale en verticale richting, zoals trappenhuisen, liftschachten, leidingschachten en verticale en horizontale verdeelsystemen (Geraedts, 2013, p. 14).

Naarmate de arbeidsuren van de mens duurder worden zal het meer zin krijgen de machine in te schakelen en de arbeid ter plaatse tot een eenvoudige assemblage te beperken (Habraken, 1961, p. 89).

Habraken (1961) maakt een vergelijking tussen geprefabriceerde woningen en de auto-industrie. De overeenkomsten zijn massafabricage, research, ontwikkeling en de omvang van hun marktterrein. Er zal volgens hem een industrie ontstaan voor de woningbouw die in onderlinge concurrentie een verscheidenheid van elementengroepen op de markt brengen. De dragers ontstaan buiten het industriële gebied dat de dragerwoningen voortbrengen (pp. 90, 94). Er zijn twee eisen waaraan een drager moet voldoen vanwege aansluitingen: op ieder willekeurig punt zoveel mogelijk dezelfde doorsnede met verticale verbindingen buiten de drager en zo lang mogelijk “voor een gemakkelijke verkaveling van bebouwbare percelen” (pp. 95-96).

Habraken (1961) onderscheidt verplaatsbare binnenwanden in een kantoor en in een dragerwoning. In een kantoor zijn de verplaatsbare binnenwanden bedoeld om ieder moment gedemonteerd en ergens anders te kunnen worden opgebouwd met bijbehorende detaillering, in een woning is dat aanzienlijk minder (p. 106).

Volgens Habraken (1961) zijn dragerwoningen duurder dan massawoningbouw woningen. Maar “het geld dat in de dragers gestoken wordt zal goed besteed zijn. De woningen hoeven niet langer uniform te zijn, de bewoner kan de kwaliteit van de woning bepalen in overeenstemming met zijn verlangens en met zijn beurs”. Daarnaast kan de rangschikking van de woningen vrijelijk plaatsvinden (p. 123). Het profijt van de dragerwoningen komt echter slechts na één of meerdere generaties bewoningen.

De woningbouw herstelt met de dragers de menselijke relaties in combinatie met de technische mogelijkheden in tegenstelling tot de massawoningbouw waarin alleen de technische mogelijkheden worden gezien (Habraken, 1961, p. 129).

Habraken maakt een onderscheid tussen draagstructuur en inbouwpakket. De draagstructuur heeft betrekking op het bouwen en de gemeenschap. Het inbouwpakket heeft betrekking op de industrie en het individu (Priemus, 1969, p. 113).

In de publicatie *De dragers en de mensen: Het einde van de massawoningbouw* door Habraken (1961) ligt “de nadruk van de betekenis van de drager en inbouw binnen het industriële proces, terwijl dit in de latere publicaties ligt op de inbedding van de drager in de alledaagse gebouwde omgeving of het veld” (Zaaijer, 2011).

Habraken (1992) geeft een overzicht van de belangrijkste subsystemen in een gebouw in relatie tot de drager en de inbouw (zie Figuur 2.4).

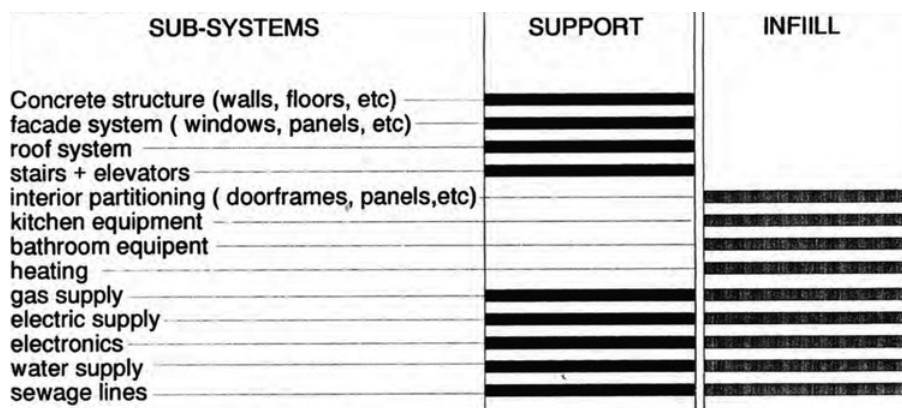


FIG. 2.4 Overzicht van de belangrijkste subsystemen in een gebouw en hun relatie tot support en inbouw. Overgenomen uit *An efficient response to user's individual preferences* door N.J. Habraken, 1992. Copyright 1992, N.J. Habraken.

De belangrijkste argumenten volgens Habraken voor het gescheiden houden van infill en gebouw zijn het onafhankelijk kunnen ontwerpen en produceren, een urenreductie op de bouwplaats, een gescheiden doorontwikkeling van producten, concurrerend aanbod voor gebruikers, groot afzetgebied en het installeren van een infill-systeem per unit, waardoor het niet meer belangrijk is om gelijke plattegronden te hebben. De individuele units kunnen worden veranderd en verbeterd in de tijd om tegemoet te komen aan de wensen van de gebruikers. (Habraken, 2002, p. 13)

De theorie van Habraken wordt verder uitgewerkt in het Open Bouwen door architect Frans van der Werf met zijn project Molenvliet te Papendrecht in 1974. Het Open Bouwen gaat uit van een scheiding tussen lagen in woningbouwproductie en design. Modulaire coördinatie wordt daarbij ingezet voor de coördinatie van het ontwerp bij verschillende partijen, niet voor de standaardisering van een component. (Habraken, 2002, p. 13) Modulaire coördinatie is coördinatie van maat en plaats van bouwonderdelen (Lichtenberg, Van Dartel, Zeiler, & Van Panhuys, 2005).

Vanuit circulariteitsstrategieën bezien blijkt het dragerprincipe van Habraken nu van waarde door mogelijkheden tot hergebruik door functionele veranderingen en door onafhankelijkheid van andere lagen zoals installatietechniek.

2.3.2 Snelle en trage lagen

Het 'drager en inbouw' principe van Habraken (1961) en het Open Bouwen (1974) kunnen beschouwd worden als lagenmodellen. Volgens Brand (1994) zag architect Duffy een gebouw als vier lagen: 'shell', 'services', 'scenery' en 'set'. De 'shell' is de structuur en heeft een levensduur van ongeveer 50 jaar. 'Services' betekent bekabeling, sanitair, airconditioning, liften, enz., en heeft een levensduur van ongeveer 15 jaar. 'Scenery' is de lay-out van scheidingswanden, plafonds, etc., en heeft een levensduur van ongeveer 5 tot 7 jaar. 'Set' is het verplaatsen van meubels, vaak de paar maanden of weken. Brand breidt de vier lagen van Duffy uit tot zes lagen, elk gedefinieerd door de snelheid waarmee het verandert: 'site', 'structure', 'skin', 'services', 'space plan', and 'stuff' (zie Figuur 2.5). De 'site' is een geografische omgeving, stedelijke locatie en de kavel, en heeft een eeuwig levensduur. De 'structure' betekent fundering en dragende elementen en heeft een levensduur van 30-300 jaar. 'Skin' heeft een levensduur van 20 jaar en 'services' 7-15 jaar. De laag 'space-plan', de interieur indeling, heeft een levensduur van 3 jaar (bij commercieel gebruik) tot 30 jaar (bij huiselijk gebruik). De laag 'stuff' betekent meubilair en bezittingen en heeft de kortste levensduur (Brand, 1994, pp. 12-13) die relatief onafhankelijk van de architectuur van het gebouw verandert (Flager, 2003,

p. 17). Volgens Brand is de meest interessante periode voor een gebouw wanneer het verandert tussen aanleg en sloop of instandhouding (Brand, 1994, p. 11). De verschillende lagen interacteren op de interfaces. Elke laag heeft haar eigen waarde met een eigen snelheid van verandering (Jisc, 2013). Een interface tussen technische systemen laat vervanging van een systeem met een ander systeem toe met behoud van dezelfde functie (Habraken, z.d.). Criteria voor de prestaties van de interface of verbinding zijn volgens Emmitt, Olie en Schmid (2004) de mate van geometrische nabijheid bij de ontmoeting van onderdelen (zoals positie, afmeting en vorm), de mate van fixatie van de onderdelen die bewegingsvrijheid van andere onderdelen beperken en de mate van controle van doorgegeven materie of informatie (Emmitt, Olie, & Schmid, 2004, pp. 148-149).

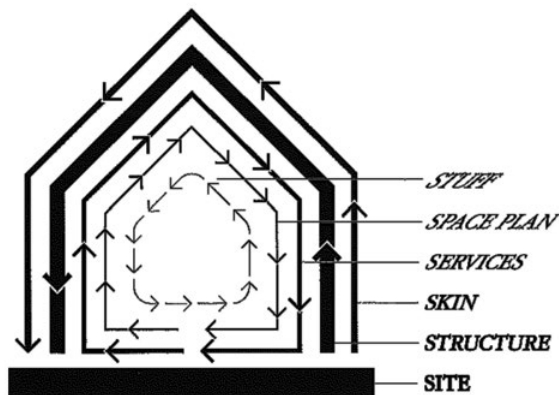


FIG. 2.5 Shearing layers of change. Overgenomen uit *How buildings learn: What happens after they're built* (p. 1) door S. Brand, 1994, New York: Penguin Books. Copyright 1994, Penguin Books.

Samenvoeging van lagen lijkt in eerste instantie efficiënt, maar na verloop van tijd is het volgens Brand (1994) het tegenovergestelde omdat bij samenvoeging “de trage lagen de stroom van snelle lagen blokkeren en snelle lagen de trage lagen verscheuren” (p. 20).

Voor circulair bouwen verschilt de focus voor circulariteit per laag. De snelheid van de laag beïnvloed positief de mate van ambitie voor circulariteit van die laag.

2.3.3 Flexibiliteit

Durmisevic (2001) legt een relatie tussen de lagen van Brand en de mate van flexibiliteit (zie Figuur 2.6). De mate van flexibiliteit van de lagen varieert van niet-flexibel (vast) tot flexibel waarbij de bijbehorende verbindingen tussen de lagen verlopen van afneembaar, vervangbaar, verwisselbaar tot los.

0 level	1 level	2 level	3 level	4 level
100 years	50-75 years	25 years	8-10 years	2-8 years
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">primar installations</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 10px;">foundering</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">core installations</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;">construction</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;">accessories</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">distribution of installations</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;">facade</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;">roof</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">separation walls</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;">electrical installations</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">end appliances</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;">finishing</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;">loose furniture</div>
FIXED				FLEXIBLE
	DEMOUNTABLE	EXCHANGEABLE	REPLACEABLE	LOOSE
<i>connections</i>	⊕	⊕	⊕	+

FIG. 2.6 Relatie tussen lagen van Brand en de mate van flexibiliteit. Overgenomen uit *From massive construction to decomposition of housing: A way to support further industrialization and customization of housing* (p. 7) door E. Durmisevic, 2001. Copyright 2001, Technische Universiteit Delft.

Later onderscheidt Durmisevic 9 typen verbindingen, zie Tabel 2.1, variërend van een directe chemische verbinding tot een verbinding onder invloed van de zwaartekracht (Mulhall, Braungart, & Hanse, 2019). De mate van losmaakbaarheid heeft een relatie met mogelijk circulair gebruik van elementen die met elkaar verbonden zijn tot een bepaalde component of componenten die met elkaar verbonden zijn tot een bepaald bouwdeel. Hoe beter losmaakbaar, des te gemakkelijker circulair gebruik.

TABEL 2.1 *Verbindingstypen*. Overgenomen uit *Creating buildings with positive impacts* (p. 22) door D. Mulhall, M. Braungart en K. Hanse, 2019. Copyright 2019, E. Durmisevic, Twente University BAMB project.

Connection Types	Description
Type I	Direct chemical connection. Two materials are permanently fixed by chemical connection (no reuse or upcycling).
Type II	Indirect connection with irreversible chemical connection, which is stronger than the connected elements/materials/products.
Type III	Direct connection with reversible chemical connection. Two elements are connected with softer chemical substances, which can be removed or delaminated (reuse by refurbishment is possible).
Type IV	Direct insert connection. Two elements are connected by upland insertion of accessories into the element (element is weaken after disassembly).
Type V	Direct connection with mechanical fixing devises. Two elements are connected with mechanical connection, which can be removed without damaging the elements (reuse and reconfiguration/adaptability is possible).
Type VI	Indirect connection via dependent third component. Two elements are separated with third element/component, but they have dependence in assembly (reuse is partly possible).
Type VII	Interlock connection. Two elements are connected without being damaged by fixing devises (direct reuse and reconfiguration/adaptability possible).
Type VIII	Intermediary connection. Two elements are connected by third element using dry/ mechanical connections. Disassembly of one element does not affect the other (direct reuse and reconfiguration/adaptability possible).
Type XI [<i>sic</i>]	Gravity. Two elements are connected only by gravity force.

2.3.4 Aanpasbaarheid en verandering

Bij upgrading van een flatgebouw is aanpasbaarheid en verandering aan de orde. Dit betreft zowel ruimtelijke, sociale, technische, fysieke als functionele aanpasbaarheid en verandering.

Volgens Priemus (1969) is aanpasbaarheid van de woning “de mogelijkheid de woning aan te passen aan veranderingen” (p. 28). Priemus onderscheidt drie hoofdcategorieën van aanpasbaarheid van de woning: *aanpassing door verhuizing, verbouwing en gebruik*. Daarnaast kan men *zichzelf* aanpassen. Aanpassing van de woning door verbouwing en door gebruik is voor het onderzoek naar upgrading van belang.

Aanpassing door verbouwing kan volgens Priemus plaatsvinden via *uitbreidbaarheid of inkrimpbaarheid, variabiliteit, flexibiliteit, verplaatsbaarheid van de woning en vervangbaarheid*. Bij *uitbreidbaarheid of inkrimpbaarheid* wordt de woninggrootte gewijzigd. Onder *variabiliteit* verstaat Priemus “de mogelijkheid om de woning zonder exorbitant hoge kosten aan te passen door het verplaatsen, verwijderen of

toevoegen van niet-dragende bouwkundige elementen door de vakman” (p. 36). *Flexibiliteit* is “de mogelijkheid de woning zonder of met geringe kosten aan veranderingen aan te passen door het verplaatsen, verwijderen en toevoegen van niet-dragende bouwkundige elementen door de bewoners zonder tussenkomst van de vakman” (p. 36). Hierin onderscheidt Priemus “enkelvoudige of meervoudige flexibiliteit (flexibiliteit die op één resp. meer plaatsen in de woning aanwezig is)” en “geprogrammeerde en niet-geprogrammeerde flexibiliteit (flexibiliteit op bepaalde plaatsen waar voorzieningen zijn getroffen resp. op elke willekeurige plaats)” (pp. 36-37). Bij enkelvoudige flexibiliteit is sprake van uitwisselbaarheid, bij meervoudige flexibiliteit is sprake van verplaatsbaarheid. Onder *verplaatsbaarheid* van de woning verstaat Priemus de verplaatsbaarheid van de woning zelf of die van het inbouwpakket. Bij *vervangbaarheid* van de woning kan de woning vervangen worden zodat sneller de woning aangepast kan worden aan wijzigingen in de eisen van bewoners.

Aanpassing door gebruik kan volgens Priemus plaatsvinden via *polyvalentie*, *neutraliteit*, *multifunctionaliteit*, *extra ruimte*, *extra voorzieningen* en *gebruikmaking van een flexibele component* (pp. 37-38). Onder *polyvalentie* verstaat Priemus “de mogelijkheid een woning aan veranderingen aan te passen door het wijzigen van de aard der contacten tussen de ruimten door de bewoners” (p. 37). Als deze mogelijkheid er niet of nauwelijks is dan is de woning monovalent. Dit betreft dus ruimtelijke aanpasbaarheid.

Hertzberger (2005) beschrijft in 1991 polyvalentie als meer gebruiksmogelijkheden van ruimten zonder bouwkundige aanpassingen. Een vorm die polyvalent is “can be put to different uses without having to undergo changes itself, so that a minimal flexibility can still produce an optimal solution” (p. 147). Gebouwen moeten volgens Hertzberger verscheidenheid en verandering kunnen verdragen zonder dat ze tot afbreuk en vernieuwing leiden. Flexibiliteit van een ruimte leidt volgens Hertzberger tot neutraliteit en gebrek aan identiteit. Flexibiliteit is volgens hem geen oplossing, polyvalentie wel.

Neutraliteit van de ruimte of de inrichting draagt volgens Priemus (1969) bij aan de mogelijkheid om de woning op verschillende manieren te gebruiken. Het begrip *multifunctionaliteit* gebruikt Priemus in de betekenis van “de mogelijkheid een woning aan te passen door toevoeging, verwijdering en verwisseling van de woonfuncties door de bewoners in de woning zonder dat hiervoor bouwkundige elementen of ruimtescheidende inrichtingsstukken behoeven te worden verplaatst, verwijderd of toegevoegd” (p. 37). Als deze mogelijkheid er niet of nauwelijks is, dan is de woning monofunctioneel. *Extra ruimte* zoekt Priemus in de maten van de woning en in de bezettingsgraad van de woning. *Extra voorzieningen* in de woning dan strikt noodzakelijk kunnen aanpassingsprocessen bevorderen.

Niet het veranderlijke, maar juist het permanente van een woning benoemt Leupen (2002) als kader waarbinnen een verandering kan plaatsvinden. Veranderingen vinden plaats door het mogelijk ingrijpend en bij herhaling veranderen van huishoudens en woonvormen. Het specifieke kader bepaalt voor lange tijd de architectuur. Volgens de Franse interieurarchitect en filosoof Bernard Cache is "architectuur de kunst van het kader" waarin Cache drie functies van het kader benoemt: het kader scheidt, selecteert en verbijzondert (p. 22). Leupen voegt daar "het kader bevrijdt" aan toe. Ontkoppeling van elementen is hierbij van belang. Als voorbeeld noemt Leupen de dragende kolom die de wand bevrijdt om te moeten dragen. De algemene ruimte binnen dit kader, die onbepaald in gebruik is, benoemt Leupen als "generieke ruimte".

Leupen onderscheidt vier kenmerken die het woningontwerp specifiek maken: compartimentering, ontsluiting, leidingsystemen en indeling van de ruimte.

Onder een 'laag' verstaat Leupen "de functie of de rol die een verzameling elementen in zijn geheel vervult". Een laag is "pas vrij om te veranderen indien deze ontkoppeld is van de laag die het kader vormt" (Leupen, 2002, p. 31).

Leupen heeft de volgende vijf lagen gedefinieerd aan de hand van teksten van onder meer Laugier, Semper, Loos, Duffy en Brand:

- De hoofddragconstructie (kolommen, balken, dragende wanden, spanten, constructieve vloeren). De draagconstructie voert de krachten af naar de ondergrond.
- De huid (gevel, onderkant en dak). De huid scheidt binnen en buiten, tegelijkertijd representeert de huid het gebouw naar buiten toe.
- De encenering van de ruimte (bekleding, binnendeuren en wanden, afwerking van vloeren, wanden en plafonds). De encenering definieert de ruimten inclusief de visuele en tactiele kwaliteiten.
- De dienende elementen (leidingen, apparaten en specifieke voorzieningen). De dienende elementen regelen aan- en afvoer van water, energie, verse lucht en omvatten daarmee onlosmakelijk verbonden apparaten en de daartoe geprepareerde ruimten.
- De ontsluiting (trappen, gangen, liften, galerijen). Deze laag zorgt voor de bereikbaarheid van de ruimten en/of zelfstandige woningen. (Leupen, 2002, p. 32)

Veranderbaarheid tijdens gebruik kan volgens Leupen plaatsvinden door verbouwing, uitbreidbaarheid en polyvalentie.

Bijlage 1 toont de verschillende gevonden categorieën met bijbehorende variabelen onder de term 'lagenbenadering'.

2.4 Industrieel bouwen

2.4.1 ‘Industrieel’ vanaf de Wederopbouwperiode

De definitie van ‘industrieel’ verandert in de loop van de tijd. Aan het begin van de Wederopbouwperiode stelt Stichting Ratiobouw (1948) dat voor geïndustrialiseerde bouw van volkswoningen de “productie- en handelsschema’s aangepast moeten worden door wijziging in de productie, door rationalisatie en normalisatie en door productie in grote series, door wijziging van de gebruikelijke gang van het artikel van producent naar consument en dergelijke” (p. 10). Aan het begin van de periode van de bouw van hoogbouw flats definieert Naar in 1962 het begrip ‘industrieel’ als grote-elementenbouw met als criterium het mechanisch in het werk brengen van elementen. Hier is arbeidsbesparing in het bouwproces op de bouwplaats een belangrijk element. Dat geldt overigens in de gehele Wederopbouwperiode als de belangrijkste doelstelling van Stichting Ratiobouw. C.B.S. verstaat onder ‘industrieel’ in 1965 “zware en lichte montagebouw en systeembouw” (Priemus & Van Elk, 1971, p. 20). Volgens Stichting Ratiobouw (1970) betekent industriële woningproductie enerzijds, dat vele bouwactiviteiten worden verplaatst van de bouwplaats naar de fabriek, waar het productieproces in sterke mate gemechaniseerd kan zijn, en anderzijds het toepassen van een industriële productieorganisatie op de bouwplaats (Stichting Ratiobouw, 1970). Ook Priemus en Van Elk (1971) zien ‘industrieel’ in dit kader: het industriële is de organisatie en gelijk aan niet-traditioneel. Eind jaren 80 vindt een omslag plaats van producent gerichte industrialisatie naar consumentgerichte flexibele industrialisatie of ‘mass customisation’ met Lean productie methoden (Da Rocha, Formoso, & Tzortzopoulos, 2015; Hentschke et al., 2019; Jensen, Nielsen, & Brunoe, 2015; Van den Thillard, 2002). De definities van ‘industrieel’ worden daarop aangepast. Consumentgerichte flexibele industrialisatie door digitalisering van het productieproces wordt in Nederland ook wel massaproductie “met een serie van één” genoemd (Brinksma, 2017; Ooms, 2017). De belemmering van seriegrootte in relatie tot kosten wordt minder. Het eindigt met het begrip ‘Industry 4.0’ met als kenmerken de volledige digitalisering van alle fysieke productiemiddelen en de integratie daarvan in digitale ecosystemen met externe partners in de waardeketen (Geissbauer, Lübben, Schrauf, & Pillsbury, 2018; Ślusarczyk, 2018). In de bouw van woningen komt Industry 4.0 nog sporadisch voor.

2.4.2 'Industrieel' en 'systeem'

Durmisevic (2006) behandelt transformatie van een gebouw als een systeem dat is samengesteld uit drie onderling afhankelijke subsystemen. Deze subsystemen zijn ruimtelijke transformatie, structurele transformatie en materiële transformatie. De ruimtelijke transformatie omvat gebruikseisen en functionele decompositie. Structurele transformatie betreft technische decompositie. Materiële transformatie betreft fysieke decompositie. (Durmisevic, 2006, p. 10)

De gewenste eindkwaliteiten van een upgrading van de flats kunnen daarom worden verdeeld in ruimtelijke kwaliteiten (gebruikseisen, functionele eisen), structurele kwaliteiten (technische eisen, manier waarop het wordt gerealiseerd) en materiele kwaliteiten. Daarnaast zijn esthetische kwaliteiten (bestaande architectuur versus gewenste architectuur wat door middel van een definitief ontwerp is vastgelegd) een doorsnijdende eindkwaliteit. De eindkwaliteiten bevinden zich binnen een bepaalde context; volgens Nijhuis et al. (2017, p. 261) binnen een wettelijke, politieke, culturele, functionele, economische en ecologische context.

Volgens Bertram et al. (2019) kan een verschuiving van de traditionele onsite projecten naar geprefabriceerde offsite producten invloed hebben op de tijdsduur van het project (20-50 % sneller), op kostenbesparingen (meer dan 20 %), op de duurzame footprint en op precisie en productiviteit in de productie door toepassing van nieuwe materialen en technologieën. Voorwaarden voor offsite productie zijn de vraag naar deze producten en de beschikbaarheid en kosten van geschoolde arbeidskrachten (Bertram et al., 2019, p. 1).

2.4.3 Industrialisatie in de renovatie: het MATURA-systeem

De Stichting Architecten Research ontwikkelde in de jaren 80 leidingsystematieken voor vier functiegroepen van installaties met als doel aanpasbaarheid van de woning. De functiegroepen zijn ventilatie/luchtbehandeling, gas/water, elektra en verwarming. Voor iedere functiegroep is onderzocht welke bouwkundige en technische voorzieningen per installatiedeel mogelijk zijn als infrastructuur voor de variabele ligging van leidingen. (SAR, 2000)

De bouwkundige en technische voorzieningen voor de infrastructuur voor de variabele ligging van leidingen per functiegroep is door Vreedenburgh (1990a) in Tabel 2.2 aangegeven.

TABEL 2.2 Opties voor vaste en variabele voorzieningen. Overgenomen uit *Leidingsystematiek in relatie tot flexibiliteit: Verslag IOP-onderzoek 'leidingen'* (pp. 16-18) door E. Vreedenburgh, 1990a, Delft: Publikatiebureau Bouwkunde. Copyright 1990, Publikatiebureau Bouwkunde.

	Opties voor vaste en variabele voorzieningen	Karakter voorziening
1.	Verhoogde vloer	Bouwkundig
2.	Verlaagd plafond	Bouwkundig
3.	Voorzetwand	Bouwkundig
4.	Mantelbuis	Bouwkundig
5.	Goot (boven en onder	Bouwkundig
6.	Koker	Bouwkundig
7.	Opbouwsysteem	Bouwkundig, leidingen in het zicht op de muur
8.	Plintstelsysteem	Bouwkundig, koker tegen binnenwand
9.	Puntraaster van leidingposities (knooppunten)	Bouwkundig, aantal gereserveerde posities in de vloer om leidingkokers door te kunnen voeren
10.	Voorzieningen in het (samengestelde toestel)	Tussenvorm, installatiedeel dat nodig is om één of meerdere functiegroepen aan te sluiten op de netten van de nutsbedrijven
11.	Haspelprincipe	Technische en aanvullende accessoires
12.	Zwakstroominstallatie	Technische en aanvullende accessoires
13.	Selfsupporting systemen (oplaadbaar, demontabel verzamel en afvoersysteem)	Technische en aanvullende accessoires
14.	Smart house	Technische en aanvullende accessoires
15.	Draadloos	Technische en aanvullende accessoires
16.	Overdruk systeem (lucht)	Technische en aanvullende accessoires
17.	Volledig apart systeem	Technische en aanvullende accessoires
18.	Gevelventilatie	Technische en aanvullende accessoires
19.	Flexibel leidingsysteem met flexibele koppeling	Technische en aanvullende accessoires

In 1989 ontwikkelen Habraken en Van Randen het Matura inbouwsysteem voor de ordening van inbouwleidingen (zie Figuur 2.7 en Figuur 2.8). Het is een rigoureuze scheiding van drager en inbouw. Het systeem heeft 5 uitgangspunten: het minimaliseren van interfaces, focus op technische systemen, gebruik van bestaande subsystemen, het maken van de enkele woning als een autonome unit van on-site productie en het systematiseren van de positie van componenten. (Cuperus, 2001, p. 8; Vreedenburgh, 1990a, p. 15)

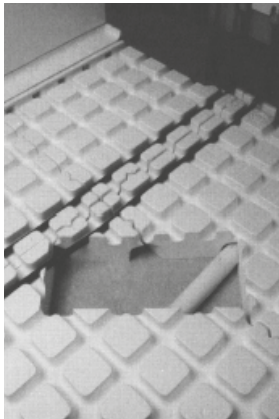


FIG. 2.7 Matura infill systeem. Overgenomen uit *De bouw uit de knoop* (p. 108) door E. Vreedenburgh, 1992. Delft: Publikatieburo Bouwkunde. Copyright 1992, Publikatieburo Bouwkunde.

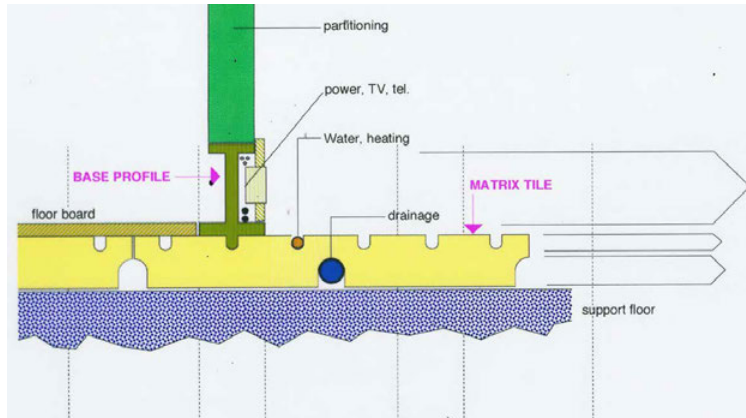


FIG. 2.8 Matura infill systeem, doorsnede. Overgenomen uit *Notes Toward a History of the Matura Infill System Development* (p. 140) door S. Kendall, 2015. Philadelphia: Ball State University. Copyright 2015, Ball State University.

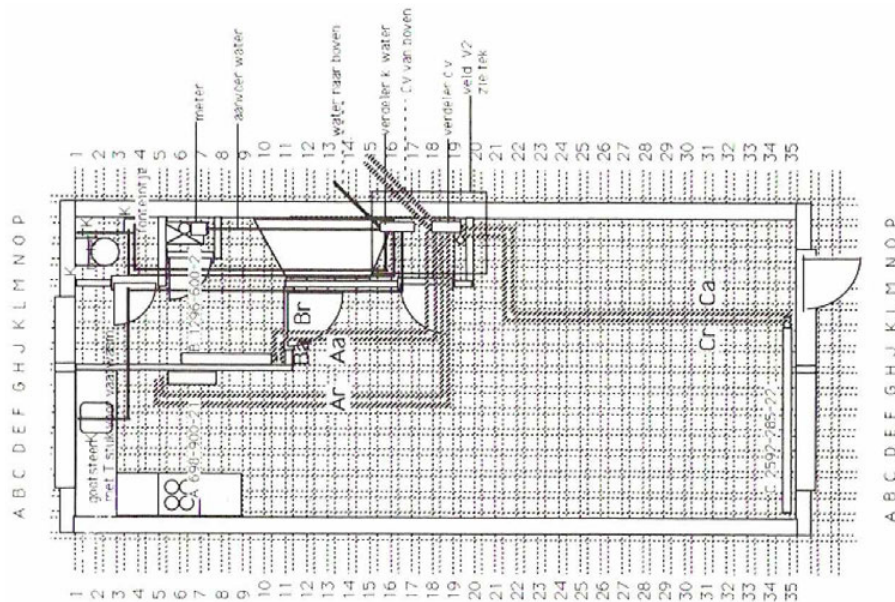


FIG. 2.9 Woningplattegrond met een ordening van leidingen volgens het Matura inbouwsysteem. Overgenomen uit *Studie: Flexibele inbouwsystemen* (p. 8) door D. Bloemen, 2007. Copyright, Matura.

Door het systeem kan de woningplattegrond onafhankelijk van de verticale leidingschachten worden ingedeeld (zie Figuur 2.9).

Het Matura systeem wordt verder ontwikkeld door Frans de Vries van Infill Systems B.V. te Delft. Volgens hem zou de Nederlandse overheid het voorbeeld moeten volgen van Japan: “Een Japanse ontwikkelaar krijgt een belastingvoordeel als hij aantoont dat zijn bouwwerk over tweehonderd jaar nog een functie heeft” (De Vries, 2014). Deze ‘Long Life Housing Law’ uit 2009 heeft volgens Minami (2016) als doel om de levensduur van een Japanse woning te verlengen met daarbij een hogere mate van aanpasbaarheid. In de toekomst zal Japan te weinig vakmensen hebben. Daarom is een eenvoudig installeerbaar en aanpasbaar inbouwsysteem nodig, zoals het concept van Open Bouwen (Minami, 2016, pp. 662, 672).

Het Matura systeem is een ‘Open Bouwen product’ en bestaat uit een verhoogde dekvloer met matrixtegels en plintbalken. Hierdoor is een variabel distributiesysteem van alle leidingen in een woning mogelijk. Het systeem wordt geïntegreerd met bestaande producten en is onafhankelijk van de draagstructuur van de woning. De leidingsystemen worden hierdoor verzelfstandigd. (Vreedenburg, 1990a, p. 35) Het systeem is een voorbeeld van “project ongebonden productontwikkeling voor het bouwen” (Vreedenburg, 1990b, p. 3). In de matrixtegel worden de leidingen geïnstalleerd: water- en cv-leidingen in de bovenzijde, gas- en afvoerleidingen en ventilatiekanalen aan de onderzijde. Elektra en communicatieleidingen worden onzichtbaar in het plintstelsel verwerkt (Bloemen, 2007).

In 1994 zijn door woningbouwvereniging Patrimonium Woningen te Voorburg 110 woningen gerenoveerd waarvan twee proefwoningen met het inbouwpakket Matura. De woningen met het inbouwpakket kunnen steeds aangepast worden aan de wensen van de nieuwe bewoners na een mutatie. Algemene bewonerswensen zijn in een eerder stadium geïdentificeerd: meer plaatsingsruimte voor huishoudelijke apparatuur, een extra ruimte voor het uitvoeren van huishoudelijke taken en een eigen hobby-, werk- of studieruimte voor vrouw en man. Een haalbaarheidsstudie gaat uit van een mutatiegraad van 10 % per jaar. Daarmee konden de woningen na ca. 10 jaar vernieuwd zijn. “Het project Beatrixlaan was zo’n succes dat de proef mislukt is. De opzet om de woningen steeds aan te passen aan de wensen van de nieuwe bewoners werd geen realiteit doordat de woningen enorm gewild waren na renovatie van het complex” (Bloemen, 2007, p. 16).

Een van de problemen met dit systeem was de industriële realisatie en de adoptie door de markt (Lichtenberg, 2004, p. 5).

Naast het Matura inbouwsysteem zijn toentertijd nog meer leidingsystematieken ontwikkeld. Deze zijn de Interlevel vloer (verhoogde vloer waarin kabels, pijpen en installaties kunnen worden opgenomen), het PCI-project (infrastructuur voor bewoonbare drager met complete inbouw als totaalproduct), de Unitwoning

(casco met daarin geprefabriceerde natte cel of 'unit') en de Media-eenheid (een koker van 105x150 mm met apparatuur voor verbruiksmeting van diverse media). (Vreedenburgh, 1990a, pp. 33-40)

Het Matura-systeem is ontwikkeld met als uitgangspunt het kunnen aanbrengen door één multi skilled team in plaats van verschillende onderaannemers en het later op een eenvoudige wijze kunnen wijzigen van leidingen. Helaas is het Matura-systeem niet door de markt opgenomen. In een interview met Habraken door Kendall (2015) wijst Habraken op de fout om het systeem in één keer voor de hele markt introduceren in plaats van een geleidelijke infiltratie in de markt. Oorzaak was volgens hem het ontbreken van een onderzoek naar de marktvraag voor een infill-systeem in plaats van de toenmalige overtuiging dat een infill-systeem nodig was. Andere bezwaren volgens Habraken waren de onzekerheid over het nog kunnen verkrijgen van nieuwe componenten voor het systeem over een groot aantal jaren en een benodigde lange termijn investering die niet gebruikelijk was in de bouwindustrie (Kendall, 2015, p. 12, 14, 27). Volgens Van Randen was het geen technisch probleem, maar het probleem van veranderen van attitude door de gebruikers (Kendall, 2015, p. 37).

Het ontwarren van de leidingknoop is door Lichtenberg (2005) verder ontwikkeld met Slimbouwen.

2.4.4 **Industrialisatie in de renovatie: Slimbouwen**

Lichtenberg (2005) benoemt knelpunten in de bouw: "overdreven materiaalgebruik, ruimteverspilling, afval, bouw als energieverstrijper, veel transport, stijgende bouwkosten, dalende capaciteit vaklieden, geringe invloed concurrent, lage efficiency, hoge faalkosten, bouwen voor een lange exploitatieperiode met de eisen van nu, zorgen over de voorraad" (p. 85).

Als een reactie op deze problematiek is Slimbouwen ontstaan. Slimbouwen heeft als primaire doelstelling om een goed geordend, georganiseerd en sneller (af)bouwproces mogelijk te maken (Lichtenberg, Van Dartel, Zeiler, & Van Panhuys, 2005, p. 1). Concrete doelstellingen voor Slimbouwen zijn "50 % lichter, 50 % compacter, 50 % energiebesparing, 50 % minder CO₂-emissie" (Lichtenberg, 2005, p. 84).

Slimbouwen is een visie, geen systeem. Lichtenberg (2005) benoemt daarbij als belangrijkste spelregel het realiseren van een sequentieel proces van opeenvolgende deelprocessen met minimale onderlinge afhankelijkheid door het ontwarren van

de leidingknoop en door het ontwerp een bouwkundige structuur die het mogelijk maakt om installatiesystemen afzonderlijk in één procesgang uit te voeren. Daarbij kiest Lichtenberg voor “die bouwtechnologie die de maximaal haalbare flexibiliteit biedt voor de positionering, bereikbaarheid en veranderbaarheid van installatiedelen gedistribueerd in permanente delen zoals de vloer en voorts de toepassing van een skeletstructuur dan wel een schijvenstructuur met geprogrammeerde doorbraakmogelijkheden” (pp. 69, 84). Door het gebouw op te delen in constructie (fundering, skelet en leidingvloeren), enveloppe (gevel en dak), installaties en invullingen (binnenafbouw en inrichtingsdelen) kunnen deze onafhankelijk van elkaar worden gerealiseerd (Lichtenberg, Van Dartel, Zeiler, & Van Panhuys, 2005, p. 1).

Het resultaat van Slimbouwen is samen te vatten in FRED: een flexibele woning (F), waarbij veel materiaal is bespaard (reductie van materiaal: R), een efficiënte en kosteneffectieve bouwwijze wordt gehanteerd (E) met als gevolg een duurzame woning (D) (Van de Ven, Peeters, & Nina, 2014).

2.5 Concepten en benaderingen

2.5.1 Inleiding

Er zijn een aantal concepten en benaderingen beschreven in de literatuur met betrekking tot energie en de life cycle of bouwproces die samen de basis vormen voor vernieuwing of uitbreiding van concepten of benaderingen voor upgradering van de bestaande woningbouw.

Energetische concepten of benaderingen zijn Trias energetica, de Nieuwe Stappenstrategie, Passief bouwen, Active House, Warm bouwen, energieneutraal bouwen en zonering in plattegronden.

2.5.2 Trias energetica en Nieuwe Stappenstrategie

De Trias Energetica (zie Figuur 2.10) is een strategie voor energiezuinig bouwen. De Nieuwe Stappenstrategie is een doorontwikkeling van Trias Energetica waarbij een extra stap is toegevoegd en fossiele energiebronnen vermeden worden.

In de eenvoudigste vorm ziet de Trias Energetica er zo uit:

- **Stap 1.** Beperk de energievraag
- **Stap 2.** Gebruik energie uit hernieuwbare bronnen
- **Stap 3.** Gebruik eindige (fossiele) energiebronnen efficiënt

De Trias Energetica is een belangrijke leidraad om een kostenefficiënt en duurzaam resultaat te bereiken. Wie echter energieneutraal wil bouwen, kan stap 3 - 'Gebruik eindige (fossiele) energiebronnen efficiënt' in feite helemaal vermijden door reststromen her te gebruiken (zie de Nieuwe Stappen Strategie).

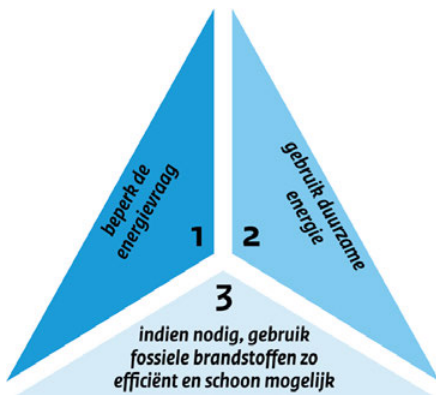


FIG. 2.10 Trias Energetica. Overgenomen uit *Infoblad trias energetica en energieneutraal bouwen* (p. 4) door Agentschap NL, 2015. Copyright 2015, Agentschap.nl.

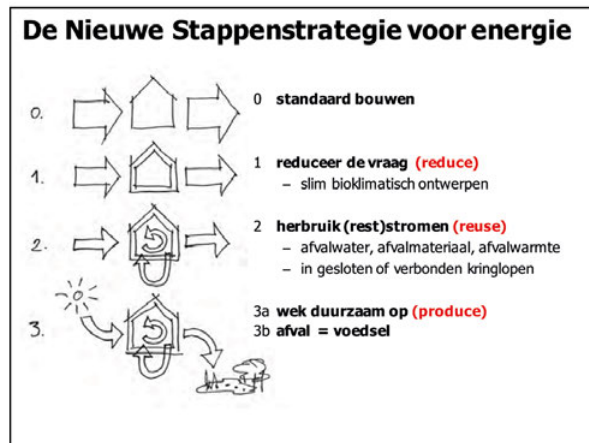


FIG. 2.11 Nieuwe stappenstrategie. Overgenomen uit *Presentatie KNAW-symposium 2016: Met wetenschap naar energieproducerende gebouwen* (p. 10) door A. van den Dobbelsteen, 2016. Copyright 2016, A. van den Dobbelsteen.

De Nieuwe Stappenstrategie bestaat uit vier stappen geredeneerd vanuit standaard bouwen (zie Figuur 2.11). Stap 1 is het reduceren van de vraag. Stap 2 is het hergebruik van reststromen (afvalwater, afvalmateriaal, afvalwarmte in gesloten of verbonden kringlopen). Stap 3a is opwekken van duurzame energie. Stap 3b is het creëren van gesloten kringlopen.

De isolatieopgave is afhankelijk van het toegepaste systeem om warmte op te wekken voor een bepaald thermisch comfort. Bij lage temperatuurverwarming is een hoge graad van thermische isolatie benodigd. Bij hoge temperatuursystemen is een lagere graad van thermische isolatie nodig om het hoge temperatuursysteem in stand te houden.

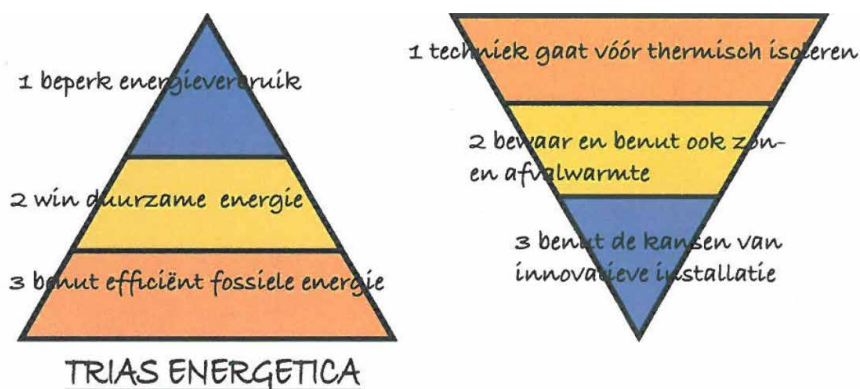


FIG. 2.12 Trias Energetica en elementen uit de Trias Energetica met een andere prioriteit volgens Kristinsson. Overgenomen uit *Kristinsson: 'Techniek is cruciaal bij de energietransitie'* door P. Scheerhoorn, 2018. Copyright 2018, Duurzaam Gebouwd.

Kristinsson kiest voor nieuwbouw voor de Trias Energetica (Scheerhoorn, 2018). Maar voor de verduurzaming van de bestaande woningvoorraad kiest hij niet voor de volgorde van de Trias Energetica omdat de eerste stap (isoleren) volgens hem heel arbeidsintensief is. Volgens Kristinsson “is het allerm minst zeker om de hele woningvoorraad op tijd te verduurzamen” en “ontbreekt het aan tijd en menskracht om het gekozen traject te volbrengen” (Scheerhoorn, 2018). Volgens hem kunnen de elementen van de Trias Energetica een andere volgorde krijgen waarbij de bestaande woningen eerst goed tocht dicht gemaakt worden met een beperkte thermische isolatie waar dat snel en eenvoudig kan (zie Figuur 2.12). De ventilatie geschiedt decentraal met een zeer hoge warmteterugwinning, bijvoorbeeld met het in 2005 door Kristinsson ontwikkelde *Fresh-r* wat als *Ademend Raam* op de markt is gebracht. Hierbij wordt 90 % van de warmte van de uitgaande binnenlucht via zeer fijn koperdraad doorgegeven aan de inkomende buitenlucht (ICDuBo, z.d.). De verwarming van de woning geschiedt met behulp van stralingswarmte al dan niet gecombineerd met een zeerlagetemperatuur luchtverwarming. Geschikte warmtebronnen zijn volgens Kristinsson bijvoorbeeld afvalwarmte, opgeslagen zonnwarmte en gemeentelijke warmtenetten.

Het ver doorvoeren van stap 1 van de Trias Energetica in de vorm van een zeer goede schilisolatie (zoals de schilisolatie van Passiefhuizen), lage lineaire warmtedoorgangscoefficienten tussen twee constructieonderdelen en kierdichting bij renovatie van woningen kent voor- en tegenstanders. Een goed nageïsoleerd kierdicht gebouw heeft in de winter lage energiekosten. Het inzetten van duurzame energie, wat in de winter door zonnepanelen minder te oogsten valt, is daardoor minder. Als de benodigde energie niet zelf wordt opgewekt, dan is door de lagere energievraag het systeem in de toekomst minder afhankelijk van hogere energiekosten. Een minder goed geïsoleerd kierdicht gebouw kent minder hoge initiële kosten voor de schilrenovatie. Daarbij moet wel meer duurzame energie opgewekt worden om aan de energievraag te kunnen voldoen. Als de benodigde energie niet zelf wordt opgewekt, dan is door de hogere energievraag het systeem in de toekomst meer afhankelijk van hogere energiekosten.

De eerste stap in de Trias Energetica is het reduceren van de energievraag. Indien een duurzame bron beschikbaar is (zoals warmtenetten), dan kan het in sommige gevallen kosteneffectiever zijn om minder te reduceren. Bij het vergaand doorvoeren van de eerste stap brengt het laatste gedeelte een geringe CO₂-reductie op terwijl het relatief veel kost ten opzichte van de opbrengsten. Uiteindelijk is een sluitende businesscase leidend voor de mate van ver doorvoeren van de Trias Energetica.

2.5.3 **Passief bouwen**

Onder passief bouwen worden twee begrippen verstaan. Het eerste begrip betreft passieve bouwtoepassingen en het tweede begrip betreft het bouwen volgens de Passiefhuistechnologie.

De gevel is een belangrijk object voor upgrading. De gevel heeft volgens Klein (2013) als hoofdfunctie de overgang en filter tussen binnen- en buitenruimten. De primaire functies van een gevel zijn volgens hem "Create a durable construction, Allow reasonable building methods, Provide a comfortable interior climate, Responsible handling in terms of sustainability, Support use of the building en Spatial formation of facade". Onder 'Responsible handling in terms of sustainability' verstaat Klein de secundaire functies: geminimaliseerd energiegebruik tijdens de gebruiksfase, geminimaliseerd embodied energy, geminimaliseerde energie voor productie, transport en assemblage en de mogelijkheid tot hergebruik en recycling en het opwekken en opslaan van energie (Klein, 2013, pp. 112-113). Figuur 2.43 toont het gedeelte 'Responsible handling in terms of sustainability' uit het totale schema 'The facade function tree' van Klein.

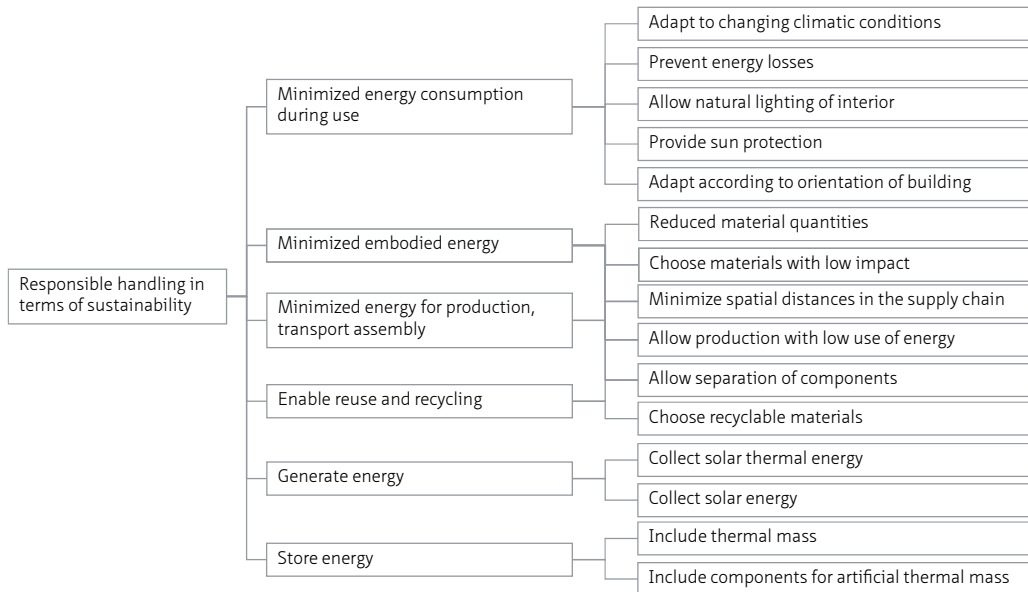


FIG. 2.13 The facade function tree: Responsible handling in terms of sustainability. Overgenomen (gedeeltelijk) uit *Integral façade construction: Towards a new product architecture for curtain walls* (p. 133) door T. Klein, 2013. Copyright 2013, T. Klein.

Passief bouwen: passieve bouwtoepassingen

Passief bouwen als passieve bouwtoepassing refereert naar het passief omgaan met daglichttoetreding, het passief gebruik van zonnewarmte voor verwarming, koeling en ventilatie, in tegenstelling tot actieve vormen hiervoor. Passieve toepassingen voor het oogsten van zonnewarmte zijn onder te verdelen in directe en indirecte toepassingen. Voorbeelden van directe passieve toepassingen zijn serres en kasconstructies. Voorbeelden van indirecte passieve toepassingen zijn het accumuleren van thermische energie in materialen, het weren van zoninstraling door bouwkundige elementen of nachtventilatie door middel van een natuurlijke trek om een gebouw af te koelen in de zomerperiode. De thermische isolatie van de gebouwschil heeft invloed op de energievraag in de koude perioden en is daarmee een passieve bouwtoepassing. Voorbeelden van accumulatie van thermische energie in een constructie is het toepassen van een zware constructie, of een lichte constructie met daarin warmte-accumulerende materialen zoals Phase Change Materials (PCM), die direct grenst aan het klimaat van het interieur. Dit leidt tot mindere temperatuurschommelingen die van positieve invloed zijn voor het gevoel van comfort in een woonruimte.

Actief omgaan met energie is bijvoorbeeld het toepassen van zonnepanelen om warmte of elektrische energie te oogsten en het regelen van zoninstralingswarmte door middel van zonwering.

Een voorbeeld van een hybride toepassing is een adaptieve gevel met thermisch geïsoleerde lamellen die in een geopende toestand in een situatie overdag zoninstraling toestaan wat leidt tot accumulatie van thermische energie in de constructie daarachter, in een geopende toestand in een nachtsituatie leidt tot afkoeling van de achterliggende constructie of in een gesloten toestand leidt tot thermische isolatie van de achterliggende constructie, zie Figuur 2.14 (Schwarzmayr, Greil, Berger, & Grünseis, 2018). Het aansturen van de isolatielamellen is een actieve toepassing, het accumuleren van thermische energie is een passieve toepassing hierin.

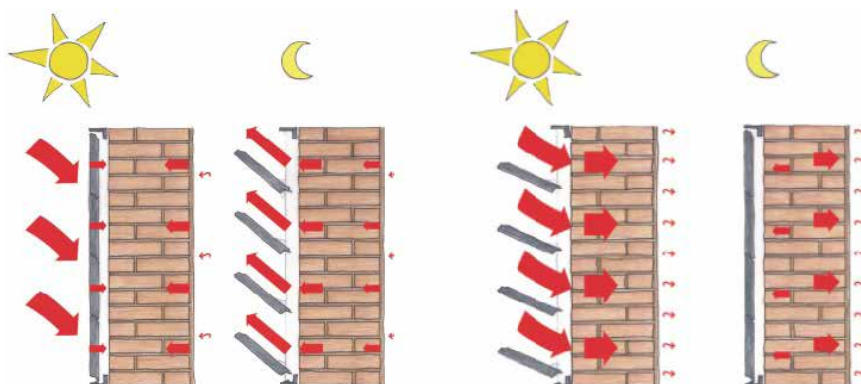


FIG. 2.14 Adaptieve gevel met thermisch geïsoleerde lamellen. Overgenomen uit *Plus-energie-Gebäude durch ein adaptives Fassadensystem: Thermocollect* (pp. 17-18) door R. Schwarzmayr, J. Greil, R. Berger en M. Grünseis, 2018, Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Copyright 2018, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Passief bouwen: zonnedaken en serres

Beddington Zero Energy Development (BedZED) in Wallington nabij London (Engeland) is een eco-village dat is ontwikkeld in 2002 (zie Figuur 2.15). Passieve zonne-energie (warmte) wordt hier geoogst in de vorm van serres als buffer tussen verwarmde en onverwarmde ruimtes. De warmtevraag van de woningen is 10 % van conventionele woningen. Actieve zonne-energie (elektriciteit) wordt opgewekt door PV-panelen in de daken van de serres (2/3 deel PV, 1/3 deel transparant dak) en in de zongerichte strook van het dak van de woning. Energie voor ventilatie wordt opgewekt uit windenergie in de vorm van 'windhappers' voor een passieve ventilatie.

Voor een grondgebonden woning met 2 woonlagen is de invloed van de opwekking van elektriciteit door PV-panelen in een serredak aanzienlijk groter dan de opwekking van elektriciteit door PV-panelen in de serredaken van serres toegepast bij flatgebouwen. De opwek bij toepassing van een serredak met PV bij een flatgebouw is de helft van het aantal woonlagen van het flatgebouw lager gerelateerd aan toekenning voor 1 woning en 1 appartement met dezelfde breedte.



FIG. 2.15 Beddington Zero Energy Development (BedZED) in Wallington, London. Overgenomen uit *BEDZED: Beddington Zero Energy Development in London* door Inhabitat, 2008 (<https://inhabitat.com/bedzed-beddington-zero-energy-development-london/>). Copyright 2008, Inhabitat.

ZEDfactory (2014) past grote semi-overdekte buitenruimten toe in hun ontwerpen. Figuur 2.16 toont het ontwerp voor Letaron Industrial Campus in Dongguan (China). Een enorm zonnedak overdekt de entreezone van de campus. In Figuur 2.17 is een ontwerp voor het Jingdezhen Ceramic Centre in Jingdezhen City (China) te zien met grote door zonnedak overdekte buitenruimten met de belangrijkste verkeersroutes. Dit geventileerde dak bestaat gedeeltelijk uit ca. 35 % semi-transparante PV-panelen.

The really big idea in this project is to move the solar farm from the valuable farmland outside the city into where electricity is needed in the city centre. Making the solar farm into a translucent ventilated glazed roof sheltering the main circulation routes from rain and sun creates pedestrian friendly streets in all weathers and increases the commercial value of plots farthest from the main city road. (ZEDfactory, 2014)



FIG. 2.16 Ontwerp voor Letaron Industrial Campus in Dongguan (China). Overgenomen uit *Letaron Industrial Campus* door ZEDfactory, 2018 (<https://www.zedfactory.com/copy-of-nanjing-mountain-park>). Copyright 2018, ZEDfactory.



FIG. 2.17 Ontwerp voor Jingdezhen Ceramic Centre te Jingdezhen City (China), zuidaanzicht. Overgenomen uit *Jingdezhen Ceramic Centre* door ZEDfactory, 2014 (<https://www.zedfactory.com/jingdezhen-ceramic-centre>). Copyright 2014, ZEDfactory.

Passief bouwen: kasconstructies tegen of over woongebouwen heen

Een nieuwe schil rondom het gehele gebouw in de vorm van een kasachtige constructie kan op twee wijzen geschieden: door het creëren van een tussenklimaat of door het creëren van een klimaat om langdurig te verblijven.

De eerste wijze is het creëren van een tussenklimaat als scheiding van het woonklimaat en het buitenklimaat. In principe kan dit bewerkstelligd worden door een enkele transparante huid (zoals enkel glas in een daarvoor bestemd element). Door de inschijnende zon ontstaat een tussenklimaat. Dit klimaat kan worden beïnvloed door het openen of sluiten van geveldelen zodat bijvoorbeeld te warme lucht op een eenvoudige wijze geventileerd wordt. Bouwfysisch gezien is een enkele transparante laag niet aan te bevelen in verband met kans op condensatie bij sterk wisselende binnen- en buitentemperaturen in combinatie met de luchtvochtigheid in het tussenklimaat. Doordat (minuscule) delen van organische stoffen zich op deze condensatievlakken kunnen vestigen kan schimmel ontstaan wat de gezondheid van de bewoners kan schaden. Condensatie op transparante delen (zoals enkel glas) is te voorkomen door een isolerende transparante laag (zoals eenvoudig isolatieglas met een U-waarde van $2,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Uit oogpunt van veiligheid dienen de toegepaste

transparante delen bij breuk geen gevaar op te leveren voor mens en dier. Bij toepassing van glas betreft dit dan gehard glas, gelaagd glas of andere soorten veiligheidsglas. In de kasindustrie wordt (beloopbaar bij aanbrengen) gehard glas van 4 mm dikte toegepast, condensatie is daar geen probleem.

Met het tussenklimaat, wat door de omhulling wordt gecreëerd, ontstaat een extra waarde voor de woonkwaliteit als de maat van deze ruimte ook functioneel gebruikt kan worden. Voorbeelden van deze lowtech benadering zijn zuidgerichte kasachtige omhullingen van gebouwen met begroende binnenruimten door het architectenbureau LOG ID van prof. Dieter Schempp in 1988 (McGill, 2001), zie Figuur 2.18.



FIG. 2.18 Research Laboratory for Experimental Traumatology (1988), Ulm, Germany. Figuur overgenomen uit *The architecture of Dieter Schempp (LOG ID)* door McGill, 2001.

De gevelzone kan als een thermische buffer fungeren. Deze buffers kunnen volgens Gosztanyi, Stefanowicz, Bernardo en Blomsterberg (2016) op drie wijzen geschieden: wintertuin, zonnewand en een multi-actieve gevel. Een wintertuin is een open balkon dat in een gesloten thermische buffer omgezet wordt. Een zonnewand is een voorverwarmer voor inkomende ventilatielucht. Een multi-actieve gevel is een combinatie tussen een wintertuin, een zonnewand en actieve opwek van elektrische energie in de gevel (zie Figuur 2.19).

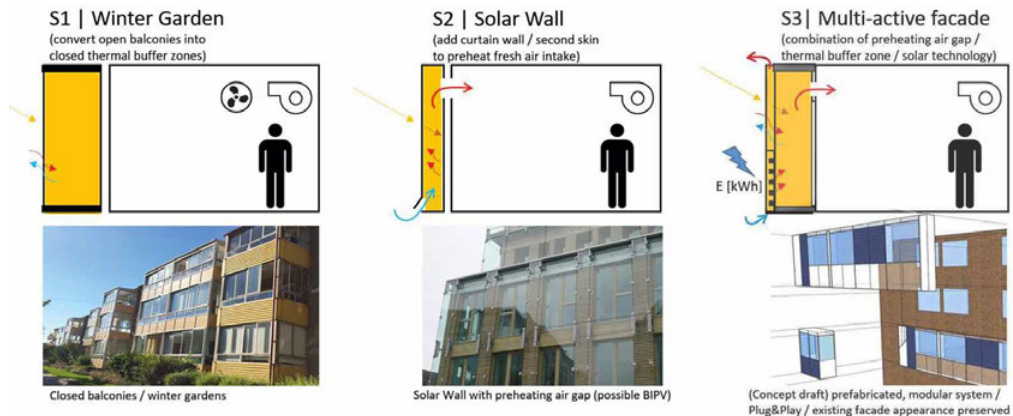


FIG. 2.19 Thermische buffers in de gevelzone. Overgenomen uit *Multi-active façade for Swedish multi-family homes renovation – evaluating the potentials of passive design measures* (p. 13) door S. Gosztanyi, M. Stefanowicz, R. Bernardo en Å. Blomsterberg, 2016.

Passief bouwen: Passiefhuis

Het Passiefhuis is een energiestandaard, een strategie voor energie-efficiëntie. De standaard is ontworpen door prof.dr. Wolfgang Feist, verbonden aan het Passive House Institute (PHI) te Darmstadt in Duitsland. De standaard kenmerkt zich door gebouwen met een hoog niveau van thermische isolatie en een minimum aan energiegebruik, zie Figuur 2.20 (Passive House Institute, 2017). De thermische schil heeft een continu doorlopende thermische isolatie en een continu doorlopende luchtdichte laag. Thermische bruggen komen bij Passiefhuis zo min mogelijk voor. Een thermische brug kan voorkomen bij een verbinding tussen bouwproducten of op plaatsen waar de structuur van het gebouw verandert. Een thermische brug uit zich in een gewijzigde warmtestroom of in een verandering van de oppervlaktetemperatuur van de warme zijde van de thermische schil.

Criteria voor het Passiefhuis zijn volgens Passive House Institute (2016) onder andere een maximale energievraag van een gebouw voor ruimteverwarming van $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, een zeer laag totaal energiegebruik (minder dan $120 \text{ kWh}/\text{m}^2$, inclusief gebruikersenergie), een luchtdichtheidswaarde n_{50} van 0,6/uur, een primair duurzaam energiegebruik (PER) van 60, 45, resp. $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ voor de Passiefhuisklassen Classic, Plus, resp. Premium en opwekking van duurzame energie van minimaal 0, 60, resp. $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ voor de Passiefhuisklassen Classic, Plus, resp. Premium. In het gevalideerde Passief Huis Plannings Pakket (PHPP) kunnen de waarden van de woning doorgerekend worden. Primair energiegebruik is het totale energiegebruik van het gebouw, vermeerderd met de verliezen van benodigde energie door generatie, transmissie en distributie van energie.

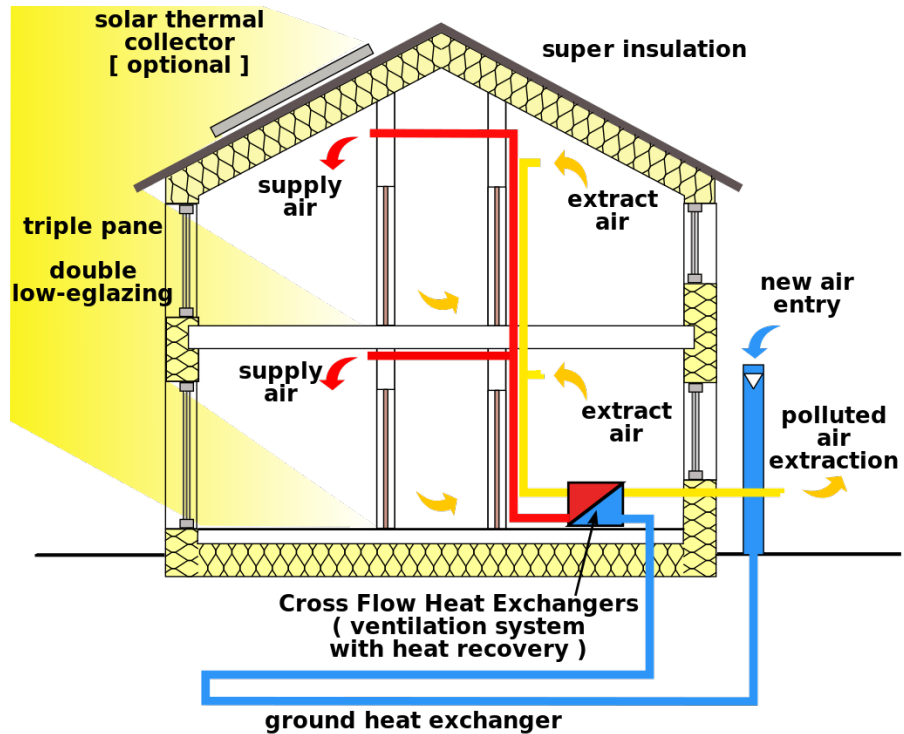


FIG. 2.20 Passiefhuis. Overgenomen uit *What is a passive house?* Door Passipedia, 2019 (https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house). Copyright 2019, Passipedia.

2.5.4 Circulaire economie en circulair bouwen

Cradle to Cradle

In 2002 presenteren Braungart en McDonough het begrip 'Cradle to Cradle'. Bij het circulaire Cradle to Cradle is de essentie om af te stappen van het lineaire Cradle to Grave principe. De producten worden zo (her)ontworpen dat deze volledig hergebruikt kunnen worden zonder dat er schadelijke afvalstoffen ontstaan: Afval is voedsel. Er is sprake van een biosfeer en een technosfeer. Producten in de biosfeer zijn zo ontworpen dat ze weer in de biologische kringloop kunnen worden opgenomen, producten in de technosfeer zijn zo ontworpen dat ze weer in de technische kringloop kunnen worden opgenomen. Drie Cradle to Cradle principes voor een eco-effectief businessmodel zijn 'Afval is Voedsel', het gebruik van hernieuwbare energie en het stimuleren van diversiteit. (Braungart & McDonough, 2002)

De belangrijkste boodschap van Braungart en McDonough is “het diepe besef dat minder goed bouwen simpelweg niet goed genoeg is, en dat we dus naar een volledig goede wijze van bouwen moeten” (Van den Dobbelsteen, 2008). Dus eco-effectief in plaats van eco-efficiënt. Eco-effectief is “het transformeren van producten en materiaalstromen om zo een werkbare relatie te creëren tussen ecologische systemen en economische groei”. Eco-efficiënt is “het minimaliseren van schadelijke impact van menselijke activiteiten op basis van meetbare parameters” (EPEA, z.d.).

Het Cradle to Cradle principe, gecombineerd met Circulaire Economie, vormt de start van circulair bouwen. Hierin zijn diverse kringlopen van materialenstromen gedefinieerd om de productontwikkeling, van materiaaldefinitie via productie van componenten, samenstellen van componenten tot service- of consumptieproducten, aan te vullen.

Circulaire economie

Er zijn verschillende definities van circulaire economie. Eén van de eerste definities is gesteld door de Ellen MacArthur Foundation (2012):

A circular economy is an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. It replaces the ‘end-of-life’ concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse, and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems, and, within this, business models. (Ellen MacArthur Foundation, 2012, p. 7)

The Ellen MacArthur Foundation (2017) maakt een onderscheid in het economische model tussen de natuurlijke en de technische kringloop (zie Figuur 2.21). De circulaire economie is volgens de Ellen MacArthur Foundation (2017) gestoeld op drie principes: het ontwerpen van producten zonder afval en vervuiling, het in gebruik houden van producten en materialen en het gebruik van zelfherstellende natuurlijke bronnen.

PRINCIPLE

1

Preserve and enhance natural capital by controlling finite stocks and balancing renewable resource flows

Renewables  Finite materials

Regenerate Substitute materials Virtualise Restore

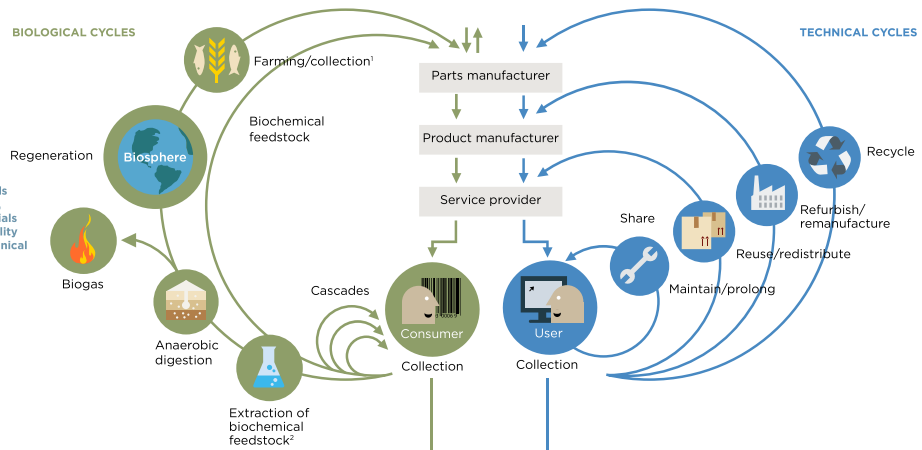
Renewables flow management

Stock management

PRINCIPLE

2

Optimise resource yields by circulating products, components and materials in use at the highest utility at all times in both technical and biological cycles



PRINCIPLE

3

Foster system effectiveness by revealing and designing out negative externalities

1. Hunting and fishing
 2. Can take both post-harvest and post-consumer waste as an input
 Source: Ellen MacArthur Foundation and McKinsey Center for Business and Environment; Adapted from Braungart & McDonough, *Cradle to Cradle* (2002).

FIG. 2.21 The circular economy—an industrial system that is restorative by design. Overgenomen uit *Circular economy system diagram* door Ellen MacArthur Foundation, 2017 (<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic>). Copyright 2017, Ellen MacArthur Foundation.

De Europese Commissie (2014) benoemt ook lineariteit in de definitie van circulaire economie: “Omdat er nog steeds nieuwe grondstoffen moeten worden gebruikt en restafval moet worden weggegooid blijft ook in een zeer circulaire economie nog lineariteit bestaan” (p. 2).

In 2015 benoemt de Europese Commissie (2015) de “circulaire economie, waarin de waarde van producten, materialen en hulpbronnen in de economie zo lang mogelijk kan worden behouden en de afvalproductie tot een minimum wordt beperkt” (p. 2).

De Rijksoverheid (2016a) omschrijft de Circulaire Economie als “slimmer omgaan met grondstoffen waarbij afval dé nieuwe grondstof is” (p. 2).

De SER (2016b) ziet een circulaire economie als “een economie die binnen ecologische randvoorwaarden efficiënt en maatschappelijk verantwoord omgaat met producten, materialen en hulpbronnen, zodat ook toekomstige generaties toegang tot materiële welvaart behouden” (p. 11). Hier wordt een link gelegd met de definitie van duurzame ontwikkeling volgens Brundtland (1987): “Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs” (p. 41).

In 2017 omschrijven Den Hollander, Bakker en Hultink (2017) de circulaire economie als het zo lang mogelijk behouden van economische en ecologische waarden door verlenging van de levensduur of door hergebruik in het systeem.

Jonker, Stegeman en Faber (2018) omschrijven de circulaire economie als “een economisch systeem gericht op de maximale herbruikbaarheid van producten, onderdelen en grondstoffen. Streven is waarde-vernietiging en grondstof c.q. materiaal ‘lekkage’ te minimaliseren door onder meer re-design, ‘re-fusal’, onderhoud, refurbishment en substitutie” (p. 10).

De oorspronkelijke definitie van de Ellen MacArthur Foundation (2012) wordt in de loop der tijd gewijzigd of uitgebreid met begrippen uit definities van duurzame ontwikkeling (SER, 2016) of afgezwakt door het opnemen van begrippen uit de lineaire economie (Europese Commissie, 2014a; Jonker, Stegeman, & Faber, 2018). Een eenduidige invulling van de definitie ‘circulaire economie’ ontbreekt.

Circulaire economie in Nederland

Nederland beweegt zich richting een circulaire economie. In 2016 wordt het Rijksbrede programma Circulaire Economie ‘Nederland circulair in 2050’ gepresenteerd aan de Tweede Kamer der Staten-Generaal als vervolg op onder andere het programma Van Afval Naar Grondstof (VANG).

Hieruit ontstaat het Grondstoffenakkoord, een intentieovereenkomst om de transitie naar de circulaire economie te versnellen door te komen tot transitieagenda’s voor de Circulaire Economie, waaronder Bouw (Rijksoverheid, 2017a).

Meervoudige waardecreatie

Voor businessmodellen in de circulaire economie is waardecreatie vanuit de interne of externe omgeving van belang in verband met haalbaarheid voor een opdrachtgever. In de lineaire economie wordt vaak alleen gekeken naar financiële waarden, zoals beleidswaarde, bedrijfswaarde, marktwaarde en fiscale waarde (Thomassen, 2009, p. 32) en naar materiële waarden. In de circulaire economie worden meervoudige waarden in beschouwing genomen volgens het Six Capital model, zie Figuur 2.22 (Adams et al., 2013; Gleeson-White, 2014).

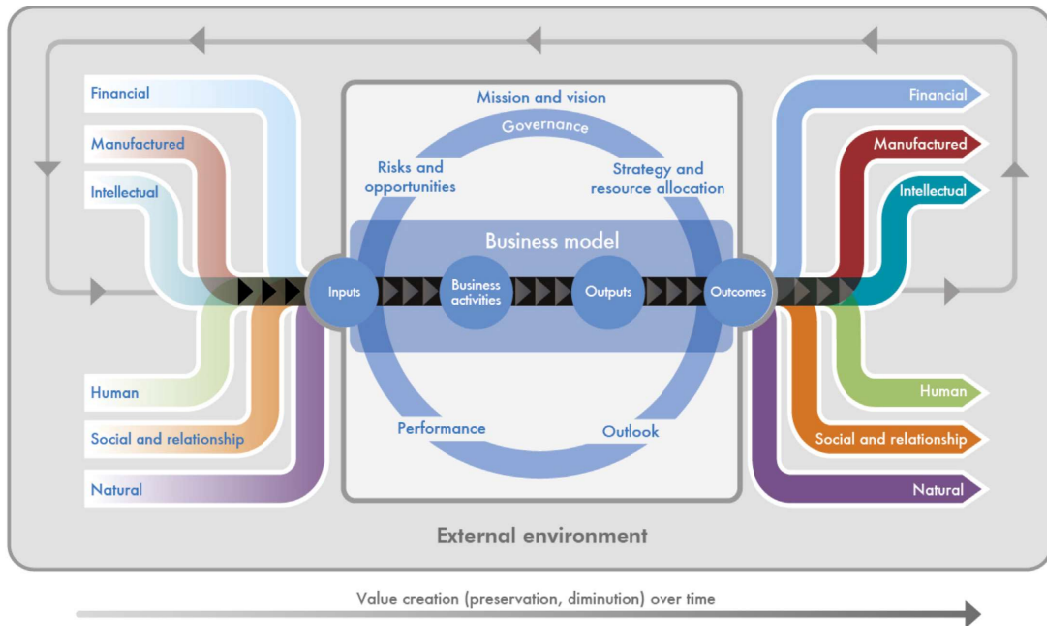


FIG. 2.22 Het Six Capital model. Overgenomen uit *Get to grips with the six capitals* door IIRC, z.d. (<https://integratedreporting.org/what-the-tool-for-better-reporting/get-to-grips-with-the-six-capitals/>). Copyright, IIRC.

Dit model laat zien hoe een organisatie waarden creëert (of behoudt of vermindert) na verloop van tijd. Deze zes kapitalen kunnen van kwantitatieve of van kwalitatieve aard zijn en zijn afhankelijk van elkaar. De kapitalen zijn voorraden van waarden (bronnen, relaties) die door activiteiten en resultaten van een organisatie worden beïnvloed (gecreëerd, vernietigd of getransformeerd). De zes kapitalen in het model zijn Financieel kapitaal, Materieel kapitaal, Intellectueel kapitaal, Menselijk kapitaal, Sociaal relationeel kapitaal en Natuurlijk kapitaal. Gezamenlijk vormen zij de basis voor waardencreatie van een organisatie. Organisaties kunnen rekenen met alle

kapitalen met nadruk op bepaalde kapitalen afhankelijk van haar activiteiten. Niet alle waarden die een organisatie gebruikt of beïnvloed zijn eigendom van die organisatie. De waarden kunnen eigendom zijn van anderen, of van niemand juridisch eigendom zijn (zoals toegang tot niet-vervuilde lucht). De waardecreaties vormen input voor het businessmodel van een organisatie, welke zelf ook weer waarden creëert als output. (Adams et al., 2013)

Deze meervoudige waarden zijn afhankelijk van de diverse stakeholders en afhankelijk van de mate van betrokkenheid en de mate van invloed per stakeholders in een bepaalde fase van het gebouw, zie Figuur 2.23.

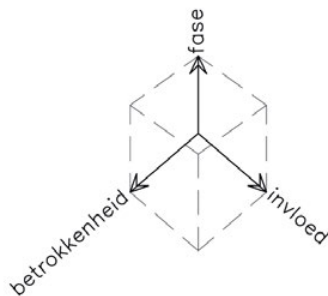


FIG. 2.23 Mate van betrokkenheid en invloed per fase van stakeholders.

Financiering kan gekoppeld worden aan gerealiseerde waarden voor de diverse stakeholders.

Meervoudige waardecreatie is een grote kans voor nieuwe circulaire business- en verdienmodellen ten behoeve van de circulaire renovatie van bestaande woningen.

Circulair bouwen

Bij circulair bouwen worden de modellen van de circulaire economie toegepast op de gebouwde omgeving.

“Gebouwen die zijn ontworpen en gebouwd om milieueffecten van de levenscyclus terug te dringen, leveren rechtstreeks economisch voordeel op, zoals lagere operationele en onderhoudskosten, lagere afschrijvingen en een hogere intrinsieke waarde” (Europese Commissie, 2014b, p. 3).

De mate van circulariteit kan door middel van prioriteiten in strategieën worden aangegeven in de negen niveaus van circulariteit voor het zo hoogwaardig mogelijk in de kringloop houden van grondstoffen, steeds in een nieuwe context (Cramer, 2014). Later is nog het niveau Renew is toegevoegd: het 10-R-model van Cramer. Het 10-R-model is een ladder van circulariteit. Deze ladder is een sterk gedetailleerde versie van de Ladder van Lansink (Bastein & Rietveld, 2016). De Ladder van Lansink, ontstaan in 1979, is vooral gericht op afvalbeheer en bestaat uit de opties Preventie – Hergebruik – Recycling – Energie – Verbranden – Storten. De ladder van Lansink prioriteert de opties naar milieuvriendelijkste verwerkingwijzen (Lansink, 2018). Het 10-R-model van Cramer bestaat uit een prioriteitsvolgorde van circulariteitsstrategieën:

- 1 Refuse: voorkomen van gebruik van grondstoffen
- 2 Reduce: verminderen van grondstoffen/eenheid
- 3 Renew: het herontwerpen van een product met circulariteit als uitgangspunt
- 4 Re-use: product hergebruik
- 5 Repair: onderhoud en reparatie
- 6 Refurbish: product opknappen, eindproducten worden weer teruggebracht naar de fase van samenstellen van producten tot nieuwe producten
- 7 Remanufacture: nieuw product van hergebruikt product
- 8 Re-purpose: producthergebruik met ander doel
- 9 Recycle: verwerking en hergebruik materialen, brengt materialen weer in het productieproces
- 10 Recover: energierterugwinning uit materialen
(Bastein & Rietveld, 2016; Cramer, 2014)

De laatste strategie is volgens Lansink Storten zonder energierterugwinning, maar hier keert niets terug in een kringloop en hoort dus niet thuis in de bovenstaande opsomming van circulariteitsstrategieën.

Als aanvulling kunnen door digitalisering (*Register*) alle eigenschappen van bouwproducten eenduidig vastgelegd worden (identificering en kwantificering), wat een voorwaarde is om deze bouwproducten weer op de markt te kunnen brengen. Daarnaast is *Redistributie* van belang omdat voor bouwwerken vaak teveel materiaal besteld wordt om een mogelijk tekort te voorkomen wat heel veel arbeid kost (Insert, 2019).

De strategieën kunnen nog onderverdeeld worden in hoogwaardige en laagwaardige oplossingen.

De optie *Refuse* heeft de hoogste mate van circulariteit volgens de volgorde. Bij renovatie van bestaande woningbouw kan dit een heel interessante optie zijn: wat als het bestaande in tact wordt gehouden met daar omheen een nieuwe circulair ontworpen schil die alle tekortkomingen van het bestaande volgens de huidige eisen en wensen oplost en ruimte biedt voor toekomstige wijzigingen? Bestaande, niet circulair ontworpen materialen, elementen en componenten, krijgen daardoor een langere levensduur.

Rethink en *Redesign* worden ook wel eens genoemd. Rethink heeft een relatie met sociale innovatie, duurzaam bewustzijn en handelen. Sociale innovatie gaat over een andere manier van organiseren zoals ketensamenwerking en nieuwe businessmodellen in de circulaire economie. Redesign is het op een andere manier ontwerpen van producten voor de circulaire economie, zoals ontwerpen met oog op een lange levensduur, modulair ontwerpen zodat onderdelen gemakkelijk vervangen kunnen worden of gebruik van duurzame materialen (Nudge, 2015).

De prioriteitsvolgorde wordt door Potting, Hekkert, Worrell en Hanemaaijer (2016) gecategoriseerd in stappen die het product slimmer gebruiken en maken (Refuse, Rethink, Reduce), in stappen die de levensduur van producten en onderdelen verlengen (Re-use, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose) en in stappen voor het nuttig toepassen van materialen (Recycle, Recover). Hoe hoger in de volgorde, des te meer innovatie in het productontwerp en in het verdienmodel mogelijk is en des te meer socio-institutionele verandering mogelijk is. Hoe hoger in de volgorde, des te minder gebruik van grondstoffen en des te minder milieudruk en daardoor des te meer circulariteit (Potting, Hekkert, Worrell, & Hanemaaijer, 2016).

Merrild (2016) benoemt in het boek *Building a circular future* drie thema's met elk vijf principes voor hergebruik en circulaire economie in de bouwsector. Het eerste thema is het ontwerp voor demontage (Design for Disassembly). Hiervoor gelden de principes dat (1) materialen gekozen worden met eigenschappen die hergebruik toelaten, (2) dat de gehele levensduur van het gebouw in beschouwing wordt genomen, (3) dat een eenvoudig gebouw wordt ontworpen dat past in een breder context systeem, (4) dat verbindingen herhaaldelijk gemonteerd en gedemonteerd kunnen worden en (5) dat naast het ontwerp voor constructie ook een ontwerp voor deconstructie wordt gemaakt. Het tweede thema is een materialenpaspoort. Dit paspoort bevat gegevens over documentatie, identificatie, onderhoud, veiligheid en gegevens over de periode van transitie voor hergebruik van materialen. Het derde thema is de circulaire economie. Onderdelen hierin zijn nieuwe bedrijven, economische voordelen, nieuwe modellen, partnerschappen en het houden in een technische of biologische cyclus van producten.

Cheshire (2016) vertaalt de uitgangspunten van de circulaire economie (Ellen MacArthur Foundation, 2013) naar de gebouwde omgeving. Het behouden (Retain) van bestaande gebouwen is volgens Cheshire de meest efficiënte optie voor wat betreft materiaalgebruik, daarna volgen Refit en Refurbish. Ontwerpprincipes hierin zijn volgens hem “Building in layers, Designing out waste, Design for adaptability, Design for disassembly en Selecting materials”.

Circulair bouwen wordt als overkoepelend thema benoemd in De Bouwagenda (Wientjes et al., 2017). Onder circulair bouwen wordt hier hergebruik van bouw- en sloopafval, de adoptie van de CO₂-Prestatieladder en Green Deals op het gebied van circulaire economie, duurzaam GGW 2.0, Cirkelstad en Circulaire Gebouwen verstaan. Circulair bouwen wordt in alle road maps van De Bouwagenda vertaald door het maken van ketenafspraken en het streven naar “het structureel opnemen van circulair in de uitvraag, naar het stimuleren en opschalen van innovatie en normering die de bouwindustrie uitdaagt” (p. 32). In 2050 moet de sector geheel circulair zijn in een energieneutrale gebouwde omgeving.

Nelissen et al. (2018, p. 6) zien in de Transitieagenda als einddoel een compleet circulaire bouw in 2050 met als voorwaarde behoud van zoveel mogelijk grondstoffen in de keten van de bouw en gebruik van biobased materialen.

Circulair bouwen worden door Nelissen et al. als volgt gedefinieerd:

Circulair bouwen betekent het ontwikkelen, gebruiken en hergebruiken van gebouwen, gebieden en infrastructuur, zonder natuurlijke hulpbronnen onnodig uit te putten, de leefomgeving te vervuilen en ecosystemen aan te tasten. Bouwen op een wijze die economisch verantwoord is en bijdraagt aan het welzijn van mens en dier. Hier en daar, nu en later. (Nelissen et al., 2018, p. 10)

Bestaande gebouwen geven vervuiling van de leefomgeving door energiegebruik. Daarom is energieneutraal bouwen een aspect van circulair bouwen.

Paauw en Drijfhout (2018) geven de kortste definitie van Circulair bouwen: “Geen nieuwe grondstoffen, geen afval” (p. 3). Echter afval zal door lekkage altijd blijven bestaan, zeker als er niet zuiver circulair wordt ontworpen of gebouwd. De eindigheid van materialen wordt daarmee alsnog aangetast. Door voor hernieuwbare materialen te kiezen is de aantasting en verspilling van deze materialen niet aan de orde.

Volgens Van den Berg (2019) kunnen ontwerpers en slopers rekening houden met sloop- en ontwerpinformatie uit vorige projecten ('a priori ontwerpinformatie') en volgende projecten ('a posteriori ontwerpinformatie'). A posteriori ontwerpinformatie kan worden gebruikt voor het beoordelen van de economische vraag naar bouwproducten, het verminderen van onzekerheid met betrekking tot milieu en om herbruikbare bouwproducten te labelen volgens de behoeften van andere projecten. A priori ontwerpinformatie kan dienen voor de bepaling uit welke objecten een gebouw bestaat, om in te schatten of deze naar behoren gedemonteerd kunnen worden en ter verbetering van de efficiency van sloopactiviteiten (p. 201). Zowel de ontwerper als de sloper kan dus vooruit en achteruit kijken. Volgens Van den Berg moeten managers van circulaire bouwprojecten "to deal with uncertainties from the past and anticipate developments in the future" (pp. 193-194). Circulair bouwen gaat volgens hem om demontabele verbindingen, daarbij passende materialen en de volgorde van het ontmantelen van een gebouw.

De Bouwagenda (Wientjes et al., 2017) stelt dat alle sectoren zowel circulair als energieneutraal worden. Het gebruik van fossiele energie moet drastisch ingeperkt worden ('energieneutraal'). Volgens Korbee (2018) hebben de begrippen *duurzaam bouwen*, *circulair bouwen* en *energieneutraal bouwen* een eenzijdige afhankelijke relatie met elkaar, zie Figuur 2.24. "Energie-neutraal is mogelijk zonder circulair te zijn, circulair zijn is niet mogelijk zonder energieneutraal te zijn". Circulair geeft energieneutraal een nieuwe dimensie. Duurzaamheid (People, Planet, Prosperity) voegen extra dimensies toe aan circulair. Volgens Korbee "zijn de begrippen niet strijdig, maar eenzijdig afhankelijk van elkaar en vormen als het ware een mooie reeks met een toenemende complexiteit". Energie-neutraal bouwen is een deelverzameling van circulair bouwen. Circulair bouwen is een deelverzameling van duurzaam bouwen.

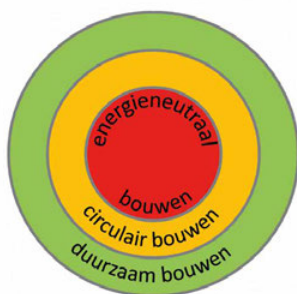


FIG. 2.24 Relatie tussen duurzaam bouwen, circulair bouwen en energieneutraal bouwen. Eigen figuur volgens *Circulair versus duurzaam versus energieneutraal bouwen* door H. Korbee, 2018 (<https://www.duurzaamgebouwd.nl/expertpost/20180112-circulair-versus-duurzaam-versus-energieneutraal-bouwen>).

Concluderend is de definitie van Circulair Bouwen de mate van het toepassen van circulariteitsstrategieën volgens het 10-R model onder invloed van bijbehorende circulaire businessmodellen, zonder afval, energieneutraal, zonder de leefomgeving te vervuilen en ecosystemen aan te tasten, waarbij de gehele levenscyclus van het gebouw in beschouwing wordt genomen en waarbij de eigenschappen van de toegepaste bouwmaterialen, bouwelementen, bouwcomponenten, bouwdelen en gebouw gedocumenteerd zijn (Cramer, 2014; Eekhout, 1997; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Korbee, 2018; Merild, 2016; Nelissen et al., 2018).

Metten van circulariteit

De Ellen MacArthur Foundation heeft in 2013 de bepalingsmethode Material Circularity Indicator (MCI) ontworpen voor bepaling van de mate van circulariteit van een materiaal. Madaster (z.d.) maakt als kadaster voor materialen voor het documenteren van gebouwen gebruik van de MCI-bepalingsmethode. Volgens Madaster behoudt een materiaal met identiteit altijd zijn waarde. Door materialen achteraf te registreren worden gebouwen een materialenmijn, door vooraf te registreren worden gebouwen een materialendepot en door de registratie te waarderen worden gebouwen een materialenbank. Ieder materiaal is te identificeren (Merrild, 2016; Rau, 2017).

Paauf en Drijfhout (2018, p. 15) stellen dat circulariteit niet gelijk is aan duurzaamheid. Eerst moet duurzaamheid, waaronder maatschappelijk verantwoord ondernemen (MVO), functionaliteit, gezondheid en groene energie in een gebouw, geborgd worden “vóórdat begonnen wordt met het bepalen van MCI-ambities”.

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RvO, z.d.) stelt de MilieuPrestatie Gebouwen (MPG) bij elke aanvraag voor een omgevingsvergunning verplicht. De MPG is een maatlat voor duurzaam materiaalgebruik. Hoe lager de waarde van de MPG, des te duurzamer het materiaalgebruik. Om de milieubelasting door materialen te bepalen wordt een levenscyclus analyse (LCA) uitgevoerd. Hierin worden bepaalde indicatoren aangegeven per toegepast materiaal of product die worden samengevoegd tot één waarde, uitgedrukt als schaduwkosten per eenheid van het materiaal of product (RvO, z.d.). Huijbregts et al. (2017) definieert LCA als een bepaling “in welke mate een productieproces van een product het milieu belast”.

Schaduwkosten zijn “kosten die gemaakt moeten worden om de schade aan het milieu, door het materiaalgebruik, ongedaan te maken” (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.d.-b.). Voor Nederland worden kenmerken van materialen uit LCA's verzameld in de Nationale MilieuDatabase (NMD). Producenten

en leveranciers moeten zorgen dat hun materialen of producten in deze database opgenomen worden. De MPG van een gebouw is “de som van de schaduwkosten van alle toegepaste materialen gedeeld door de levensduur en door het bruto vloeroppervlak van een gebouw, uitgedrukt in de schaduwkosten per vierkante meter bvo per jaar” (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.d.-b.). De MPG geldt alleen voor nieuwbouw en stelt geen eisen aan losmaakbaarheid van materialen, elementen of componenten ten behoeve van de recycle-fase.

De keuze van materialen in relatie tot LCA is afhankelijk van het gebouwonderdeel, architectuur en de technische vereisten (Piccardo, Dodoo, Gustavsson, & Tettey, 2019).

De mate van circulariteit heeft een relatie tot de keuze van de ‘R’ in het 10-R model van Cramer (Bastein & Rietveld, 2016; Cramer, 2014) en kan worden gemeten met Building Circularity Index - BCI (Den Hollander, 2019; Korbee, 2018), CirculariteitsPrestatie Gebouw - CPG (Stichting W/E adviseurs, 2017), Circulariteits Indicator - CI (Madaster, z.d.), met de met Material Circularity Indicator - MCI (Ellen MacArthur Foundation, 2015) of met de Milieuprestatie Gebouwen - MPG (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.d.-b.). De indicatoren van de verschillende meetmethoden zijn divers. Een eenduidige uitspraak over de mate van circulariteit is hierdoor niet te geven.

De levenscyclus van een gevelement kan in kaart worden gebracht door het Facade Identification System (FIS). Hierbij wordt digitale informatie aan gevelementen gekoppeld met behulp van passieve tags (zoals QR of NFC). Hierdoor is er zoveel mogelijk specifieke informatie verzameld over de gevel die blijvend beschikbaar is. Dit zijn productiegegevens, onderhoudsgegevens en omstandigheden. Productiegegevens beschrijven de metaal-, glas-, beton- of houtsoort. Onderhoudsgegevens beschrijven toegepaste materialen, onderhoudsfrequentie en het onderhoudsbedrijf. Omstandigheden beschrijven gebruiksfrequentie en gebruikintensiteit, en weersinvloeden (Van Gennip, 2018).

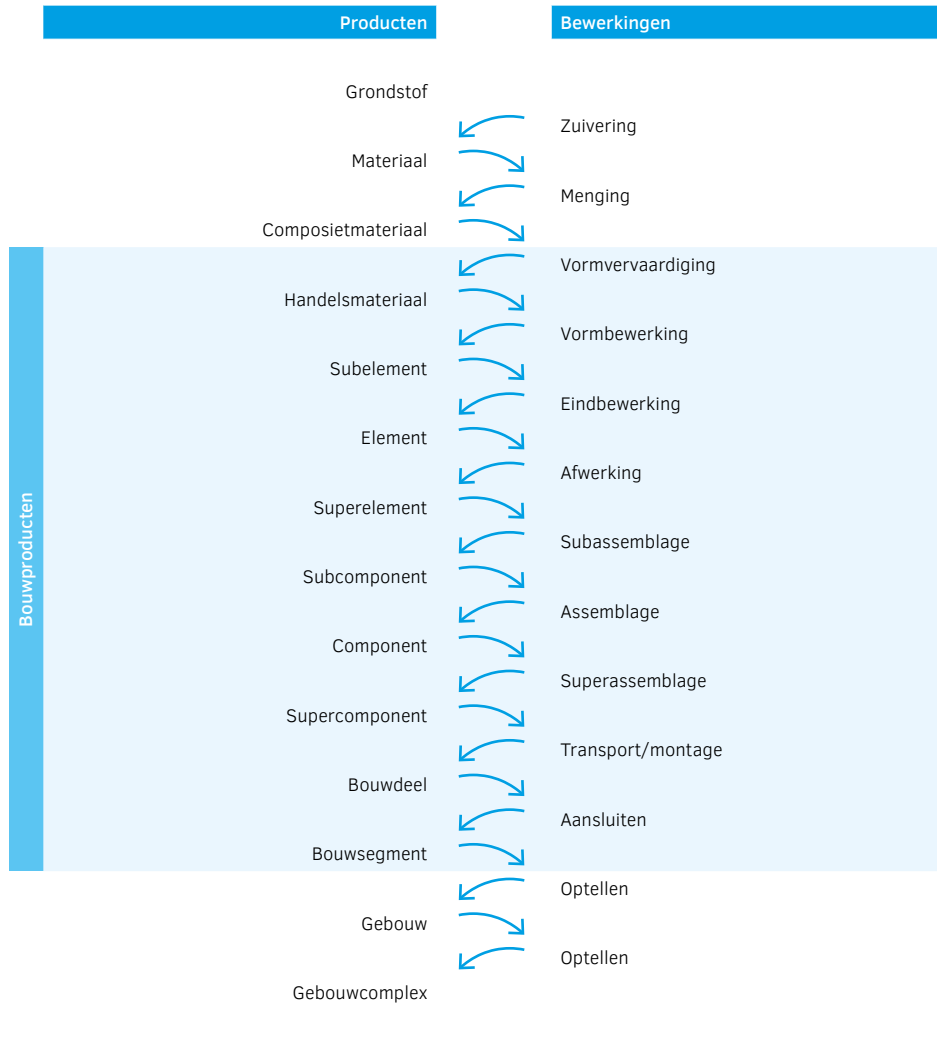
Voor upgradings van de Wederopbouw hoogbouwflats kunnen uitkomende bouwproducten op één van de laagste R-niveaus volgens Cramer (2014) verwerkt worden. Recycle (9: verwerking en hergebruik materialen) en Recover (10: energierugwinning uit materialen) zijn, behalve voor zeer zorgwekkende stoffen, mogelijk. Toepassingen die hoger in de reeks liggen, zoals Reuse (4), Refurbish (6) en Repurpose (8) zijn, na registratie, kansen voor een marktplaats (Insert, 2019). Het nieuwe aan te brengen systeem heeft wel alle kansen voor een hoge mate van circulariteit.

Losmaakbaarheid is één van de criteria voor het bepalen van de mate van circulariteit, met name bij BCI. Architect Rau spreekt over remontabel wat volledig demonteren inhoudt om elders te hergebruiken waarbij “alle toegepaste materialen zijn geregistreerd, gedocumenteerd en gearhiveerd in het Madaster-platform” (Giele, 2018). Bij losmaakbaarheid en flexibiliteit krijgen grondstoffen in een circulaire economie een andere dimensie. Een voorbeeld daarvan is een bouwproduct uit beton dat slecht scoort volgens de LCA. Maar als dit bouwproduct losmaakbaar is in combinatie met flexibiliteit in de toepassing van het product, dan is de materiaaltoepassing hiervan wel duurzaam.

Bouwproducten

Bouwproducten worden onderscheiden in een hiërarchische reeks volgens Eekhout (1997). In *POPO of ontwerpmethoden voor bouwproducten en bouwcomponenten* onderscheidt Eekhout bouwproducten van elkaar door een bepaalde bewerking. Na een bepaalde bewerking van een bepaald product ontstaat een nieuw bouwproduct met een lagere plaats in de hiërarchische reeks (zie Tabel 2.3). Het product Grondstof heeft de hoogste rang in de hiërarchische reeks omdat dit product aan de basis staat van overige producten na bewerkingen. Het product ‘Grondstof’ wordt na de bewerking ‘Zuivering’ het product ‘Materiaal’. Eekhout spreekt van bouwproducten als producten de bouwindustrie binnenkomen.

TABEL 2.3 Hiërarchische reeks van bouwproducten. Overgenomen uit *POPO of ontwerpmethoden voor bouwproducten en bouwcomponenten* (p. 27) door M. Eekhout, 1997, Delft: Delft University Press. Copyright 1997, Delft University Press.



De productontwikkeling van bouwproducten start volgens Eekhout bij het vormbewerken van handelsmateriaal en eindigt bij het product Bouwsegment. Bouwsegment, Gebouw en Gebouwencomplex behoort tot het domein van de projectarchitect.

Durmisevic (2006) onderscheidt drie fysieke hiërarchische niveaus: het gebouwniveau, het systeemniveau en het componentenniveau. Het gebouwniveau is de samenstelling van systemen van de hoofdfuncties van het gebouw zoals de draagconstructie, omhulling, indeling en installatietechniek. Het systeemniveau betreft de subfuncties van het gebouw en is de samenstelling van componenten als drager van de systeemfuncties zoals afwerking, isolatie en reflectie. Het componentenniveau betreft de subfuncties van het systeem en is de samenstelling van elementen en materialen. (Durmisevic, 2006, pp. 142-143).

De bouwproducten zijn door Eekhout (1997) gedefinieerd in Tabel 2.4.

TABEL 2.4 Definitie bouwproducten. Aangepast overgenomen uit *POPO of ontwerpmethoden voor bouwproducten en bouwcomponenten* (pp. 14-24) door M. Eekhout, 1997, Delft: Delft University Press.

Bouwproduct	Definitie
Grondstof	Materie in ongezuiverde, niet direct als zodanig in de bouw of industrie toepasbare vorm of toestand.
Materiaal	Gezuiverde en voor een verwerkingsindustrie gereede ongevormde materie.
Composietmateriaal	Een niet-homogene samenstelling van twee of meer materialen van wezenlijk verschillende aard.
Handelsmateriaal	Een product van de aan de bouw toeleverende industrie dat in haar vorm nog niet compleet kan worden gebruikt, maar eerst nog vormbewerkingen of vormaanpassingen moet ondergaan.
Element	Het kleinste onderdeel van een gebouw, vervaardigd uit een (=mono) materiaal of composiet met een eigen karakteristiek dat verder wordt geassembleerd in de fabriek of werkplaats tot het grotere geheel van een sub-component of een component. Het element is een zelfstandige eenheid in karakter. Het element zelf is van één materiaal gemaakt.
Subcomponent	Assemblage van verschillende elementen tot een eenheid die op haar beurt nog moet worden samengevoegd in de werkplaats of fabriek tot een groter geheel of component, alvorens transport naar de bouw kan plaats vinden.
Component	Een zelfstandig functionerend gebouwonderdeel, dat is opgebouwd uit een aantal samenstellende elementen en/of subcomponenten.
Supercomponent	Een samenstel van meerdere componenten tot een groter geheel, op de bouwplaats geassembleerd alvorens het wordt gemonteerd.
Bouwdeel	Een verzameling van componenten van een gebouw met identieke technische functies.
Bouwsegment	Een kunstmatig, apart beschouwd deel van een compleet gebouw, samengesteld uit ongelijksoortige componenten van verschillende bouwdelen.
Gebouw	Het totale geheel van alle bouwdelen in gemonteerde toestand.
Gebouwcomplex	Meerdere bouwdelen, waarmee telkens een compleet bij elkaar behorende verzameling identieke componenten wordt bedoeld.

De bewerkingen zijn door Eekhout (1997) gedefinieerd in Tabel 2.5.

TABEL 2.5 *Bewerkingen van producten. Aangepast overgenomen uit POPO of ontwerpmethoden voor bouwproducten en bouwcomponenten* (p. 28) door M. Eekhout, 1997, Delft: Delft University Press.

Bewerking bouwproduct	Definitie
Vormbewerken	Het vervaardigen van elementen uit handelsmaterialen door vervormen en/of verspanen.
Vormvervaardiging	Het vervaardigen van elementen via directe vormgevingstechnieken (zoals gieten en poederpersen).
Assemblage	Het ineenzetten van elders vervaardigde onderdelen tot een geheel.

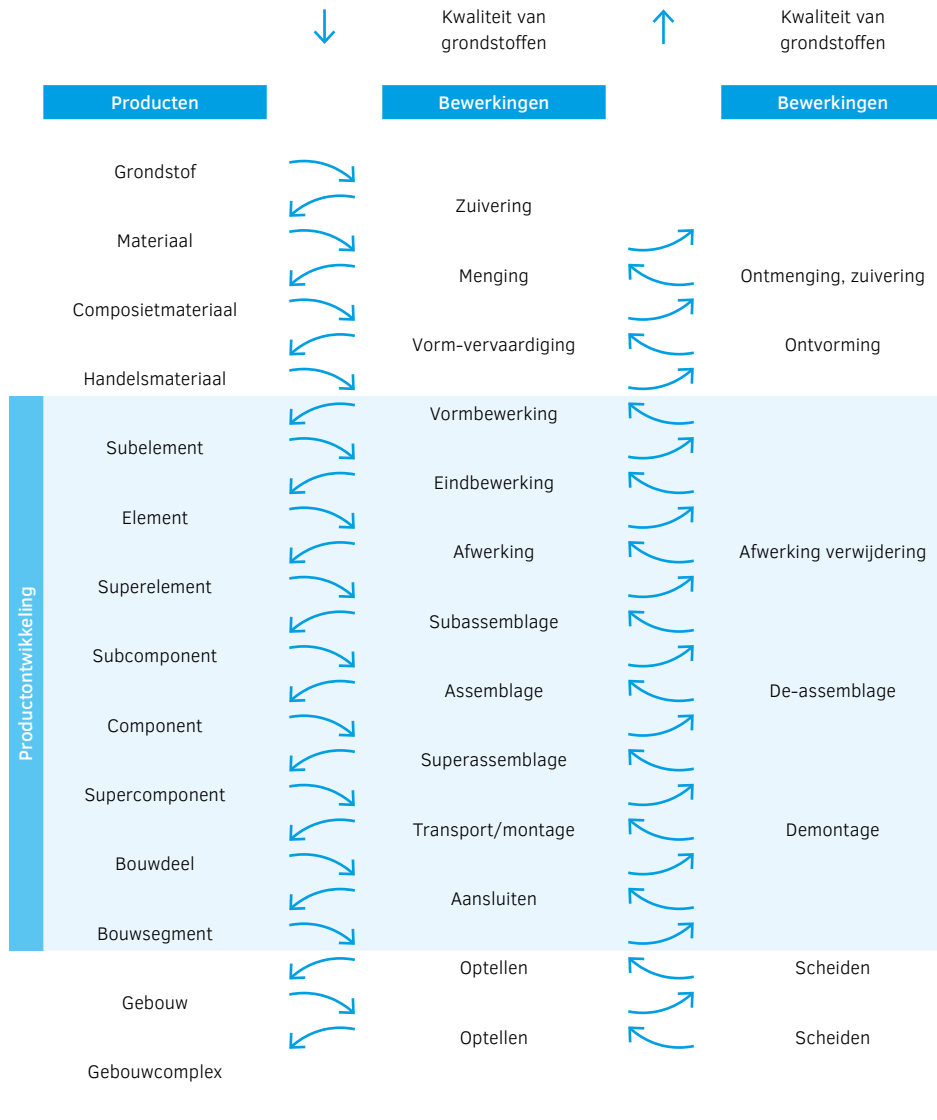
Een antoniem voor assemblage is de-assemblage. Hierbij wordt het geheel weer in verschillende vervaardigde onderdelen teruggebracht. Bijvoorbeeld het ontkoppelen van een component in meerdere elementen. De ontworpen interface als koppeling tussen de verschillende productonderdelen bepaalt de wijze van complexiteit van ontkoppeling of losmaakbaarheid van de verschillende productonderdelen.

Indien een product niet remontabel is, dan kan deze door een bewerking naar een product hoger in de hiërarchische reeks van Eekhout teruggebracht worden door de-, dis- of ont-bewerkingen (zie Tabel 2.6).

- *De-*: de door de grondwoord genoemde handeling (of het product of het resultaat daarvan) te niet doen (“De-”, z.d.).
- *Dis-*: voorvoegsel in bijvoeglijke naamwoorden en zelfstandige naamwoorden ter aanduiding van een scheiding of verwijdering of van het tegenovergestelde van het grondwoord (“Dis-“, z.d.).
- *Ont-*: van de door het grondwoord genoemde zaak ontdoen of de door het grondwoord genoemde eigenschap ongedaan maken (“Ont-“, z.d.).

Niet elke productbewerking kan weer ongedaan gemaakt worden. De 10-R reeks van Cramer (2014) kan hierbij behulpzaam zijn.

TABEL 2.6 Hiërarchische reeks van bouwproducten in twee richtingen. Aangepast overgenomen uit *POPO of ontwerpmethoden voor bouwproducten en bouwcomponenten* (p. 27) door M. Eekhout, 1997, Delft: Delft University Press.



De hiërarchie van producten van Eekhout (1997) laat een steeds verdere verdunning zien van materialen met steeds meer specifieke eigenschappen ten opzichte van de oorspronkelijke materialen. Bij de start van de productontwikkeling wordt handelsmateriaal met bijbehorende algemene eigenschappen door vormbewerking een bouwproduct met specifieke eigenschappen. Een stap terug in deze bewerking leidt tot een handelsmateriaal met de eigenschappen die zijn beperkt door de eerdere bewerking. Om weer tot een product met meer algemene eigenschappen te kunnen komen worden bewerkingen gedaan die hoger in de reeks staan.

Rovers (2018) stelt dat voor het evalueren van grondstoffenketens “gekeken moet worden naar grondstoffen, niet naar dat toevallige ene moment in de keten dat die verzameling grondstoffen een product of dienst oplevert (voor de mens)” (p. 279). Rovers vergelijkt het principe met dat van de thermodynamica waarbij bronnen van binnen een systeem naar grotere entropie evalueren. De kwaliteit van grondstoffen wordt steeds minder en moet hersteld worden binnen een bepaalde ruimte en binnen een bepaalde tijd. Volgens Rovers is de energie- en materiaalimpact van de hele (grondstofketen)keten de som van de embodied energie, de circulaire economie en de operationele energie. De embodied energie is daarbij de energie die nodig is “om de materialen voor gebruik geschikt te maken of te houden”, de circulaire economie is de energie om “die degradatie ongedaan te maken, de voorraad weer te herstellen” en de operationele energie is de energie die nodig is “als er om een functie te vervullen nog eens extra energie nodig is” (p. 282).

De hoeveelheid energie die nodig is om een keten van een bepaald materiaal te herstellen (maximaliseren van exergie) is volgens Rovers de maat voor circulaire energie van die grondstof. Voor mineralen en metalen komt deze waarde veel hoger uit dan voor organische of biobased materialen. Volgens Rovers moeten dan ook mineralen, maar vooral metalen, vermeden worden. (Rovers, 2018).

2.5.5 Active house

Active House is “een visie op gebouwen die de levens van hun bewoners gezonder en comfortabeler maakt, zonder het klimaat en het milieu negatief te beïnvloeden – op weg naar een schonere, gezondere en veiligere wereld” (Hasselaar, 2016). Active House kent de drie categorieën Comfort, Energie en Milieu met daarin negen kwantitatieve parameters. De parameters in de categorie Comfort zijn Daglicht, Thermisch klimaat en Binnenluchtkwaliteit. De parameters in de categorie Energie zijn Energievraag, Energievoorziening en Jaarlijkse energieprestatie. De parameters in de categorie Milieu zijn Milieubelasting, Drinkwatergebruik en Duurzaam

materiaalgebruik. De evaluatie van de parameters geschiedt door middel van een Active House Radar, waarbij de parameters worden onderverdeeld in vier niveaus. Niveau 1 is daarbij het hoogste niveau (zie Figuur 2.25).

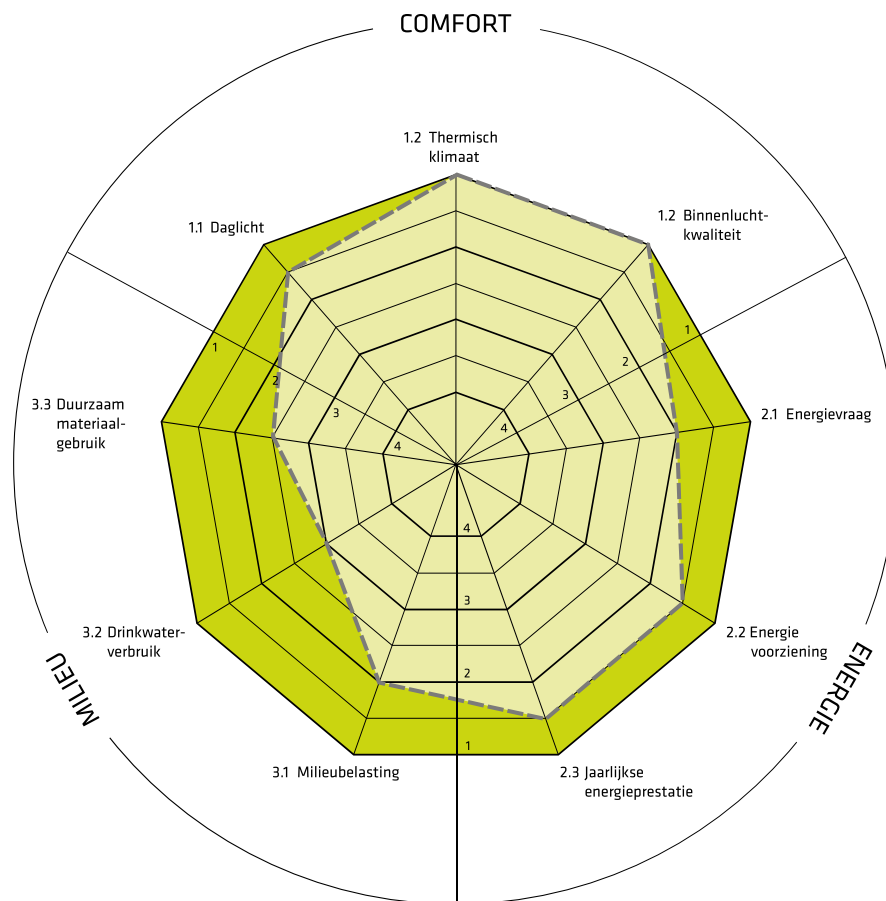


FIG. 2.25 Voorbeeld Active House Radar. Overgenomen uit *Active house: Ontwerprichtlijnen* (p. 7) door B. Hasselaar, 2016, Brussel: Active House Alliantie. Copyright 2016, Active House Alliantie.

Het begrip *comfort* is een samenstel van subjectieve gedefinieerde persoonlijke percepties van producten of omgevingen. De mentale, fysieke en psychologische percepties van comfort zijn afhankelijk van de persoon, product, gebruik en werk- of leefomgeving (Mansfield, Naddeo, Frohriep, & Vink, 2020). Het 'comfort' als kwaliteit van daglicht, thermisch klimaat en binnenlucht die door Active House worden gemeten is slechts een technisch onderdeel hiervan.

2.5.6 WarmBouwen

WarmBouwen gaat uit van “het op temperatuur brengen en houden van de buitenschil door middel van rijkelijk beschikbare, gratis én fossielvrije energie. De koudebrug is daarmee opgelost en bouwfysische gevaren vervallen, evenals de noodzaak om aan de buitenzijde te isoleren” (WarmBouwen, 2016). Door middel van capillaire watervoerende leidingen met grondwater van constante temperatuur in pleisterwerk op buitenwanden blijven de buitenwanden een constante temperatuur tussen 12°C en 20°C behouden. Thermische bruggen worden hiermee voorkomen. Bij grote warmteverschillen kan een warmtepomp ingezet worden (Struck et al., 2015, p. 1259). “Bij deze klimatiseringsmethode wordt de warmtecapaciteit van de gebouwomhulling benut en wordt gebruik gemaakt van een warmte/koudeopslagsysteem” (Weersink, & Van Dalen, 2011, p. 10), zie Figuur 2.26.

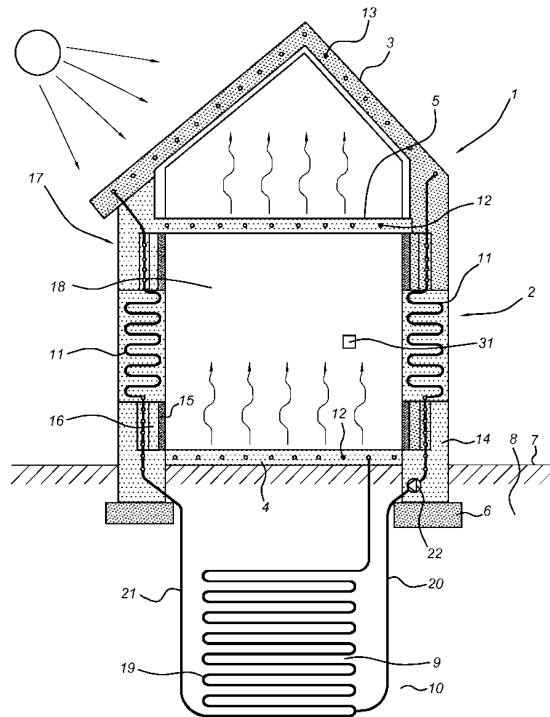


FIG. 2.26 Werkwijze voor het regelen van het klimaat in een gebouw. Overgenomen uit *Octrooi NL2001816* (p. 18) door E.W. Karthaus, J.E. Burggraaf en M.H.W de Gier, 2008. Copyright 2008, Stichting WarmBouwen.

Voor renovatie van woningen geldt dat bij WarmBouwen ook isolatie van de gebouwschil noodzakelijk is voor reductie op energiegebruik voor verwarming, hoewel met een lagere isolatiegraad dan een traditionele isolatie van de gevel (Weersink, & Van Dalen, 2011, p. 34). Weersink en Van Dalen concluderen dat “zonder aanvullende isolatie in wanden/vloeren/daken met watervoerende lagen het energetische effect beperkt is” in vergelijking tot traditioneel isoleren (pp. 34-37).

Een voorbeeld van WarmBouwen is de energieneutrale renovatie van het monumentale kantoorpand De Tempel in Den Haag. Hier zijn de gevels en dak zijn aan de binnenzijden geïsoleerd met daaronder watervoerende leidingen voor laagtemperatuur verwarmen en hoogtemperatuur koelen. Warmteopwekking geschiedt door middel van een warmtepomp en warmte-koudeopslag. (Agentschap NL, 2013).

In 2009 hebben Kristinsson en Van den Dobbelen gepubliceerd over dit principe, wat toen benaamd werd als ‘smartskin’ als studie voor renovatie van 400 woningen in plan De Hoogte te Groningen (zie Figuur 2.27).

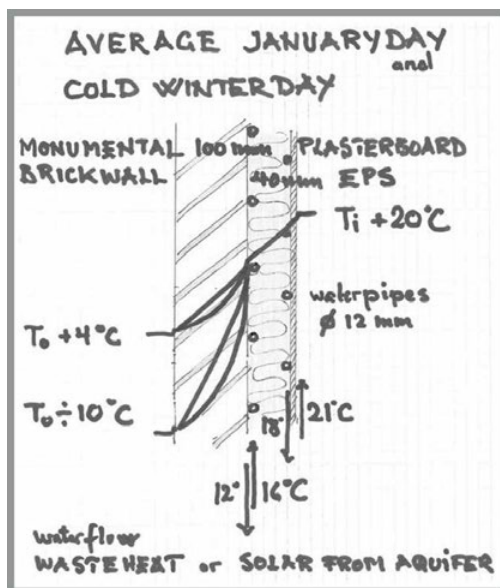


FIG. 2.27 Outline of an energetic ‘Smart Skin’ renovation of 400 listed half-brick houses called ‘De Hoogte’ in the city of Groningen, the Netherlands. Overgenomen uit *Smart skin: A step aside in zero-energy building* (p. 6) door J. Kristinsson en A. van den Dobbelen, 2009. Copyright 2009, J. Kristinsson en A. van den Dobbelen.

2.5.7 **Energieneutraal bouwen**

In een energieneutraal gebouw is het operationele gebouwgebonden energiegebruik op jaarbasis in evenwicht met de opwekking van duurzame energie. Gebouwwgebonden energiegebruik is energie die nodig is voor verwarmen, koelen, ventileren, opwekken van warmtapwater en verlichting. Dit energiegebruik is gedefinieerd in de Nederlands Technische Afspraak (NTA) 8800. Energieneutraal kan energetisch gezien het meest efficiënt worden bereikt door de methode van Trias Energetica toe te passen. Kostentechnisch gezien wordt bij renovatie de eerste stap minder ver doorgevoerd. De embodied energie van duurzaam geproduceerd materiaalgebruik moet daarbij zo laag mogelijk zijn, bijvoorbeeld door het gebruik van biobased materiaalgebruik (Rovers, 2017a).

Energieneutraal betekent in deze dissertatie dat het operationele gebouwgebonden energiegebruik op jaarbasis in evenwicht is met de opwekking van duurzame energie en waarbij duurzaam geproduceerd materiaalgebruik met zo min mogelijk embodied energie toegepast wordt.

Nul-op-de-meter is een energieneutraal concept waar ook gebruikersenergie is opgenomen. Een nul-op-de-meter gebouw is een gebouw waarbij “de in- en uitgaande energiestromen voor gebouwgebonden energie (o.a. ruimteverwarming, -koeling, warm tapwater gebruik) en het gebruik van huishoudelijke apparatuur op jaarbasis per saldo nul is, onder standaard klimaatcondities zoals die gelden in Nederland en bij gemiddeld gebruik van de woning, zoals vastgelegd in de ontwerpuitgangspunten en onderbouwd door Nederlandse normen” (EnergieInq, 2015, p. 3; Stofberg, 2016, p. 6).

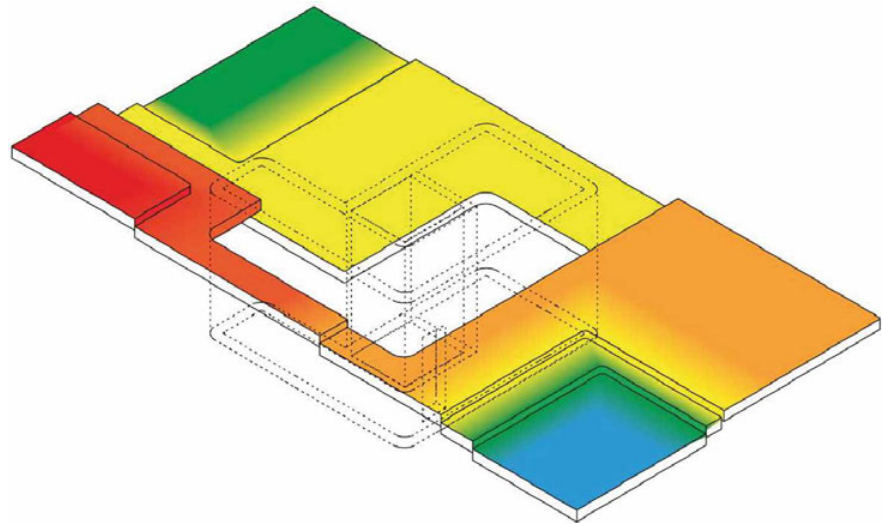
2.5.8 **Zonering in plattegronden**

Plattegronden kunnen invloed hebben op het energiegebruik van een woning.

Voor de warmwaterinstallatie geldt dat hoe dichter de plaatsing van warmwatertappunten zich bevinden bij de warmwaterbereiding, des te minder energieverlies door de lengte van de warmwaterleidingen optreedt.

Thermische zones in een plattegrond ontstaan door specifiek ingestelde ruimtetemperaturen, door gebruik te maken van verschillende vloerhoogten en vrije hoogten van ruimten, of door gebruik te maken van zoneringen van ruimten van warme binnenruimten naar koude buitenruimten.

Philippe Rahm brengt binnen de thermische zone hoogteverschillen aan in de woning die daarmee de temperatuur beïnvloeden (zie Figuur 2.28): hoe hoger de waargenomen warmte in een vertrek moet zijn, des te hoger het niveau van de vloer (Hovenier, 2014, p. 4; Rahm, 2010).



**LANDSCAPE OF APARTMENT
RELATED TO THERMAL ZONES**

FIG. 2.28 Warmteplattegrond van Philippe Rahm. Overgenomen uit *Energie besparen met de plattegrond* (p. 4) door J. Hovenier, 2014. Amsterdam: BNA Onderzoek. Copyright 2010, Philippe Rahm.

Thermische zones kunnen ook ontstaan door het aanbrengen van klimaatzones: van een verwarmde binnenruimte via een al dan niet verwarmde overgangsruijme naar een onverwarmde buitenruimte. Een voorbeeld van toepassing van klimaatzones in een plattegrond is House N van Sou Fujimoto Architects (zie Figuur 2.29) met verschillende klimaatzones van buiten naar binnen (Hovenier, 2014, p. 11).

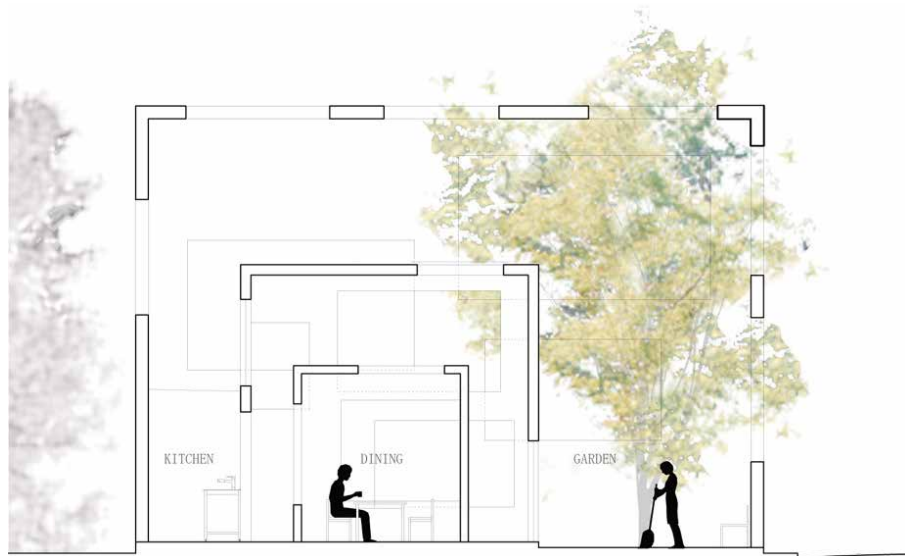


FIG. 2.29 Klimaatzones in House N. Overgenomen uit *House N* by Sou Fujimoto Architects door A. Frearson, 2012. Copyright 2012, Dezeen.

Een ander voorbeeld van klimaatzones is de toevoeging van serrekamers In het project Grand Parc te Bordeaux, ontworpen door Lacaton & Vassal, Druot en Hutin (zie Figuur 2.30 en Figuur 2.31). Bij de renovatie van hoogbouwflats zijn serrekamers toegevoegd waardoor de plattegronden een grotere vrijheid bieden voor de bewoners.

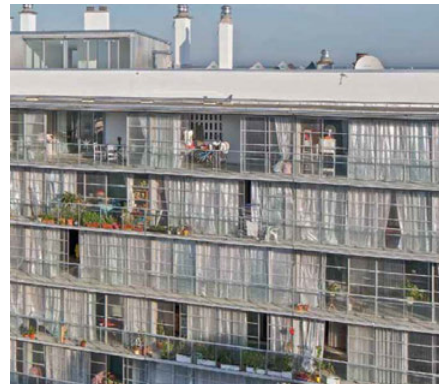


FIG. 2.30 Upgrading hoogbouwflats project Grand Parc te Bordeaux (F). Links: tijdens upgrding, rechts: na upgrding. Gecombineerd overgenomen uit *Die cité du Grand Parc in Bordeaux* door K. Dana, 2016. Copyright 2016, Bauwelt.

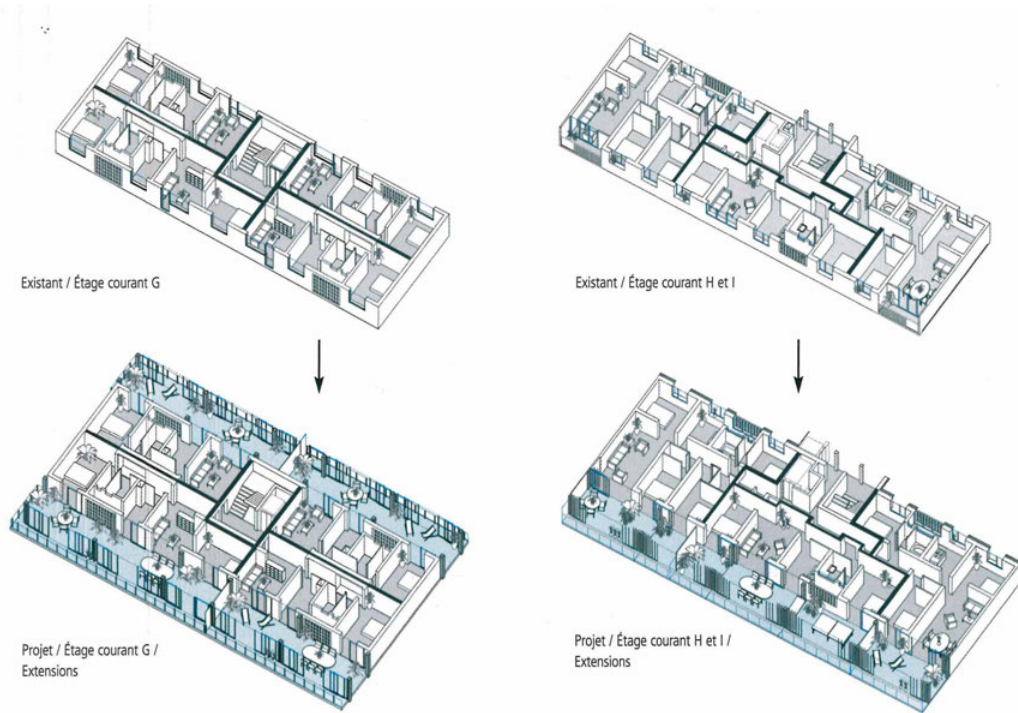
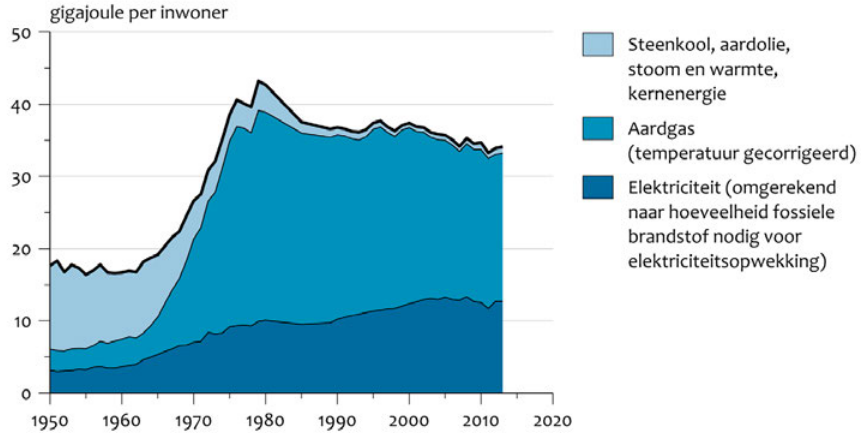


FIG. 2.31 Bestaande en uitgebreide plattegrond renovatie (2015) project Cité du Grand Parc te Bordeaux (F). Overgenomen uit *Transformation de 530 logements, cité du Grand-Parc à Bordeaux* (p. 64) door Karine Dana, 2015. Copyright 2015, D'Architectures.

De diepte van woningen, en daarmee de daglichttoetreding, is volgens Hovenier (2014) ook van invloed op het energiegebruik. Een diepe plattegrond ten opzichte van een minder diepe plattegrond bij een gelijkblijvend oppervlak heeft een positieve invloed op het energiegebruik door een relatief kleiner omhullend oppervlak.

Het begrip 'comfort' is geen vast gegeven, maar een variabel gegeven. Concessies in het gedrag en wensen van de bewoners, zoals niet meer 24 uur het huis verwarmen op 21 graden maar het laten dalen van de leeftemperatuur, kunnen leiden tot niet gebruikte of niet gevraagde energie (Rovers, 2018, p. 321; Rovers, 2019). We moeten volgens Rovers weer terug naar het energiegebruik uit de jaren 60 van de vorige eeuw (zie Figuur 2.32).

Huishoudelijk energieverbruik per inwoner



Bron: CBS.

CBS/okt14
www.clo.nl/nl003617

FIG. 2.32 Huishoudelijk energieverbruik per inwoner 1950-2013. Overgenomen uit *Huishoudelijk energieverbruik per inwoner, 1950-2013* door CBS, 2014.

2.5.9 Renovatieconcepten aannemers

Toekomstbestendige renovatieconcepten, waar het gaat om ecologische ontwikkelingen, kenmerken zich volgens Brinksma (2017) door bestand te zijn tegen een veranderende leefomgeving, door rekening te houden met verandering in en behoud van flora en fauna en door om te gaan met situaties van grondstoffenschaarste (Brinksma, 2017, p. 132). De renovatieconcepten hebben productkenmerken, proceskenmerken en staan onder invloed van omgevingsfactoren. Brinksma verdeelt de productkenmerken onder in prefabricage, uitvoeringstechniek en reversibiliteit. De proceskenmerken zijn onderverdeeld in beheer, ontwerp, productie, uitvoering, sloop en hergebruik en bewonersparticipatie (Brinksma, 2017, p. 144). De omgevingsfactoren zijn onderverdeeld in demografische factoren, economische factoren, sociaal-culturele factoren, technologische factoren, ecologische factoren, politieke factoren, juridische factoren, arbeidsmarktontwikkeling en media-aandacht (DESTEPJAM).

Voor grondgebonden woningbouw zijn, met name voor grondgebonden rijtjeshuizen die zijn gebouwd volgens veel voorkomende bouwsystemen uit

de Wederopbouwperiode, energetische renovatieconcepten ontwikkeld om te komen tot energieneutraal of nul-op-de-meter. Brinksma heeft er 25 beschreven. Aanbieders van deze concepten zijn vaak aannemingsbedrijven en zijn concepten voor een totale energetische renovatie, zoals renovatie naar nul op de meter of passiefhuisrenovatie, of concepten voor onderdelen, zoals alleen een gevelrenovatie of voor een badkamerrenovatie.

De factoren van 25 renovatieconcepten voor grondgebonden woningen zijn door Brinksma gecategoriseerd naar:

- *serie van één*: is het renovatieconcept te gebruiken in de serie van één waarbij iedere woning op elk moment verbeterd kan worden?
 - *prefabricage (productkenmerk)*: zijn de werkzaamheden van het renovatieconcept die binnenshuis moeten worden uitgevoerd binnen één werkdag te realiseren?
 - *uitvoeringstechniek (productkenmerk)*: zijn de aansluitingen en verbindingen geschikt om de bestaande inbouw te verwijderen, toegankelijk en te vervangen door andere inbouw voor gebruiksflexibiliteit?
 - *levensduur*: wat is de levensduur van het renovatieconcept, wat zijn de afzonderlijke levensduren van de elementen en zijn deze op elkaar afgestemd?
 - *reversibiliteit (productkenmerk)*: zijn elementen aan het einde van hun levensduur te vervangen en kunnen ze dan ook verwijderd en hergebruikt worden?
 - *participatie (proceskenmerk)*: hebben de bewoners invloed in het renovatieconcept?
 - *productie*: is productie van onderdelen op de bouwplaats mogelijk?
 - *sloop (proceskenmerk)*: zijn eenmalige sloopwerkzaamheden nodig om aan te sluiten op de bestaande situatie?
 - *inspelen op marktdynamiek*: Is het mogelijk om woningen samen te voegen tot grotere woningen of op te delen om kleinere wooneenheden te realiseren?
 - *inspelen op huishoudensdynamiek*: zijn plattegrondwijzigingen binnen de woning mogelijk bij dit renovatieconcept?
 - *geschied voor installatieveranderingen*: is het mogelijk installatieaanpassingen te maken tijdens en na de renovatie?
 - *voorbereid op klimatologische veranderingen*: is het mogelijk de gevolgen van de klimaatverandering (regenwater, nieuwe planten en dieren en een verhoging van de buitentemperatuur) op te vangen?
 - *beheer (proceskenmerk)*: zijn de elementen van het renovatieconcept makkelijk te onderhouden en schoon te maken?
- (Brinksma, 2017, pp. 21-22)

De 'serie van één' geeft bij renovatie van de schil van grondgebonden woningen de gelegenheid om woningen los van elkaar te renoveren of verschillen in eigenschappen van de renovatie-elementen en -componenten toe te staan.

Bij renovatie van gestapelde woningbouw is de invloed van de omvang betreffende het aantal woningen op de uitvoering van de renovatie sterker dan bij grondgebonden woningen. De 'serie van één' is daarom bij renovatie van gestapelde woningen alleen aan de orde als dit weinig of geen invloed heeft op de uitvoering.

De prefabricage volgens Brinksma is gekozen om binnen 1 dag een grondgebonden woning te kunnen renoveren. Bij gestapelde woningbouw is snelheid van renovatie ook van belang, maar nu binnen het renovatieproject als geheel.

De uitvoeringstechniek voor het aanbrengen van nieuwe componenten met het oog op losmaakbaarheid en bereikbaarheid is voor gestapelde bouw van belang in het kader van circulair bouwen. Dit wordt als een aparte categorie toegevoegd.

De levensduur en de onderlinge afstemming van elementen hebben bij renovatie van gestapelde woningbouw een relatie met losmaakbaarheid en volgens het lagenmodel van Brand (1994). In dit kader is reversibiliteit aan de orde.

Participatie van bewoners heeft invloed op het renovatieconcept in verband met het wel of niet bewoonbaar blijven van het appartement tijdens de renovatie.

Mitros (2016) beschrijft een aantal aanpakken voor de mate van aanpassing of vernieuwing van de woning:

- *Uitbreidingsnieuwbouw*. Dit betreft nieuwbouw wat niet voorafgegaan is door de sloop van bestaande bebouwing.
 - *Vervangende nieuwbouw*. Dit betreft nieuwbouw die volgt op (of gekoppeld is aan) sloop van de bestaande bebouwing.
 - *Renovatie in onbewoonde staat*. Dit betreft renovatie waarbij bewoners gedurende meerdere maanden de woning moeten verlaten.
 - *Renovatie in bewoonde staat met tijdelijke uitplaatsing*. Dit betreft renovatie waarbij bewoners in hun huis kunnen blijven, maar tijdelijk een logeeradres aangeboden krijgen.
 - *Groot onderhoud met woningverbetering*. Tijdens deze ingreep kunnen bewoners in hun woning blijven. Logeerwoningen worden alleen op medische of sociale gronden aangeboden.
- (Mitros, 2016, p. 7)

2.6 Conclusie

In dit hoofdstuk is de theoretische achtergrond van het onderzoek toegelicht.

De systeemtheorie draagt bij aan het ontwikkelen van strategieën voor energetische upgrading van bestaande Nederlandse hoogbouw systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode naar CO₂-neutraal voor grootschalige toepassing door inzicht in de begrippen integraal en modulair. Inzicht in verbindingen tussen systeemelementen binnen een bepaalde systeemcontext ondersteunen de keuze voor modulaire in plaats van integrale upgrade elementen en componenten.

Inzicht in diverse lagenmodellen, industrieel bouwen en circulair bouwen draagt bij aan het ontwikkelen van upgrade strategieën. Deze state of the art aanpakken vormen het startpunt voor de ontwikkeling van nieuwe strategieën.

Het gebouwtype, gebruiker, context en energieambitie bepalen in hoeverre van een bepaald concept gebruik kan worden gemaakt voor de ontwikkeling van nieuwe strategieën.

3 Energie en woongebouw

3.1 Inleiding

De levenscyclus van een woongebouw bestaat uit het vervaardigen van bouwproducten uit bouwmaterialen, het vervoer van de bouwproducten naar de bouwplaats, het oprichten van het gebouw, het gebruik van het gebouw, de sloop of demontage van het gebouw en het al dan niet hergebruik van bouwproducten of recycling van bouwmaterialen.

Energie voor de gehele levenscyclus van een gebouw (life cycle energie) bestaat uit embodied energie van materialen en bouwproducten en uit operationele energie voor het gebruik van het gebouw.

Bij gebruik van het woongebouw kan het gebouw energie verbruiken, energie opslaan en energie opwekken. Energie is thermische energie en elektrische energie. Thermische energie is energie betrekking hebbend op warmte ("Thermisch", z.d.), elektrische energie is arbeidsvermogen van de elektriciteit ("Elektrisch", z.d.).

Energie met betrekking tot het gebruik van het woongebouw wordt onderscheiden in gebouwgebonden energie en gebruikersgebonden energie.

3.2 Life Cycle energie van een woongebouw

De totale Life Cycle energie van een woongebouw gedurende haar levensduur bestaat uit embodied energie en operationele energie. Een Life Cycle Energy Analysis (LCEA) bepaalt deze energie.

De literatuur kent verschillende definities van embodied energie, de systeemgrens bepaalt hiervan de inhoud. Er worden drie systeemgrenzen genoemd: cradle-to-gate, cradle-to-site en cradle-to-grave. Cradle-to-gate definieert de embodied energie als “all activities starting with the extraction of materials from the earth (the cradle), their transportation, refining, processing and fabrication activities until the material or product is ready to leave the factory gate” (Circular Ecology, 2018; Koezjakov, Urge-Vorsatz, Crijns-Graus, & Van den Broek, 2018, p. 235).

Cradle-to-site is Cradle-to-gate inclusief het vervoer naar de site. Cradle-to-grave definieert de embodied energie als de energie die nodig is tijdens de levensduur van het gebouw bestaande uit energie om het gebouw te produceren (inclusief het winnen, produceren, vervoeren van materialen), energie om het gebouw in stand te houden tijdens de levensduur en energie om te slopen en af te voeren bij einde levensduur van het gebouw (Chastas, Theodosiou, Bikas, & Kontoleon, 2017; Densley, Tingley, & Davinson, 2011; McAlinden, 2015). De Cradle-to-grave benadering is hiervan de meest uitgebreide lineaire benadering en geeft alle aspecten van embodied energie weer.

Operationele energie van een woongebouw is gebouwgebonden energie voor ruimteverwarming, ruimtekoeling, ventilatie, verlichting, warmtapwaterbereiding en hulpenergie (McAlinden, 2015).

Casestudies wijzen uit dat het aandeel van de embodied energy bij passieve gebouwen tussen 11 % en 33 % bedraagt van de totale Life Cycle energie en oplopend bij bijna energieneutrale gebouwen tot 100 % wanneer de balans van energieneutraal bereikt is (Chastas, Theodosiou, Bikas, & Kontoleon, 2017, p. 560; Densley Tingley, Gieseckam, & Cooper-Searle, 2018).

Als de operationele energie duurzaam opgewekt wordt, bijvoorbeeld door middel van zonne-energie, dan wordt het aandeel van de embodied energie relatief van meer belang. De productie door de toeleverende industrie moet dan ook duurzaam geschieden. Als een woning naar energieneutraal gerenoveerd wordt, dan moet ook duurzaam geproduceerd materiaalgebruik met zo min mogelijk embodied

energie zoals biobased materialen toegepast worden. Materialen met zo min mogelijk embodied energie vragen minder investering in duurzame energie door de toeleverende industrie. (Rovers, 2017a) Embodied energie kan alleen verlaagd worden door het gebruik van laag energie intensieve materialen (Kumar Dixit, Fernández-Solís, Lavy, S., & Culp, 2010).

In de circulaire economie worden bouwproducten hergebruikt (Cradle to Cradle) waarbij de embodied energie in die producten in een nieuw gebouwstelsel komt, afhankelijk van de kwaliteit van het materiaal of product en de mate van hergebruik. De focus ligt hier bij het zo lang mogelijk in stand houden van de waarde van bouwmaterialen en bouwproducten waarbij een gebouw als materialendepot wordt gezien. Vier ontwerpstrategieën hangen hiermee samen: building reuse, material reuse, design for deconstruction en design for adaptability. (Densley Tingley, Gieseckam, & Cooper-Searle, 2018)

Van Herwijnen (2013) geeft in Tabel 3.1 een overzicht van Cradle to Gate tot Cradle to Cradle.

TABEL 3.1 Overzicht levensfasen bouwproducten. Overgenomen uit *Duurzaam construeren met materialen: Over de CO₂-emissie van beton, staal en hout* (p. 13) door F. van Herwijnen, 2013.

	Winning	Productie	Transport	Montage	Sloop/ demontage
Cradle-to-gate					
Cradle-to-site					
Cradle-to-grave					
Cradle-to-cradle					+ recycling

Embodied energie (EE) is volgens Kumar Dixit et al. (2010) “sequestered in building materials during all processes of production, on-site construction, and final demolition and disposal”. Deze definitie heeft als systeemgrens Cradle-to-Grave. Operationele energie (OE) is volgens Kumar Dixit et al. “expended in maintaining the inside environment through processes such as heating and cooling, lighting and operating appliances”.

Initial Embodied Energy is “energy used during production of materials and components of a building, including raw material procurement, building material manufacturing and final product delivery to construction-site”. Recurrent embodied energy is “energy used in various processes for maintenance and refurbishment of buildings (building materials and building components) during their useful life”. Demolition energy is “energy necessary for deconstruction of building and disposing of building materials”.

Operating energy is “energy required in the building for operating various electrical and mechanical services”. (Kumar Dixit et al., 2010, p. 1239)

Bij de definitie van embodied energie van diverse auteurs zijn verschillende systeemgrenzen gehanteerd: van Cradle to Gate, van Gate to Grave, van Cradle to Grave en van Cradle to Cradle. Door de verschillende gehanteerde systeemgrenzen kan er volgens Kumar Dixit et al. geen duidelijke vergelijking gemaakt worden tussen de inhoud van embodied energie berekeningen.

Koezjakov et al. (2018) hebben de tabel Inventory of Carbon and Energy (ICE) van Circular Ecology (2011) omgewerkt tot een database met embodied energie van veel toegepaste materialen voor Nederland. De embodied energiewaarden in ICE zijn bepaald van Cradle-to-Gate. De minimale en maximale waarden van de Initial Embodied Energy Intensity (IEEI) in de tabel laten zien dat er onzekerheid over de data bestaat. Initial Embodied Energy Intensity (IEEI) wordt door Koezjakov et al. gedefinieerd als Cradle-to-Gate energie. Embodied Energy Intensity (EEI) wordt gedefinieerd als “the initial energy required to produce the building materials plus transport energy required to transport the materials to the construction site” (van Cradle-to-site).

Het gewogen aandeel van embodied energie door transport komt volgens Koezjakov et al. op 0,1 MJ/kg (zie Bijlage 2 voor de Embodied energie van de meest voorkomende Nederlandse bouwmaterialen volgens Koezjakov et al.).

De Life Cycle Energy (LCE) is het totaal gebruik van energie. In een formule uitgedrukt:

$$\text{— LCE} = \text{Eei} + \text{OE} + \text{Eer} + \text{DE} \quad (1)$$

Life cycle energy = initial embodied energy (Eei)+ Operating energy (OE, Net energy use related to building operation) + Recurring embodied energy (Eer)+ Demolition energy (DE) (Berggren, Hall, & Wall, 2013, p. 382; Kumar Dixit, Fernández-Solís, Lavy en Culp, 2010, p. 1240; Ramesh, Prakash, & Shukla, 2010, p. 1593).

Energieambities, zoals die door de Europese Unie zijn gesteld, hebben (alleen) betrekking op de operationele energie (OE).

Buiten de gestelde systeemgrenzen van de benaderingen, en daarom niet opgenomen in embodied energy, zijn nog energielasten en energieopbrengsten, zoals productie van energie uit afvalmateriaal (Mourão, Gomes, Matias, & Niza, 2019, p. 39).

3.3 **Gebouwgebonden en gebruikersgebonden energiegebruik**

Gebouwgebonden energiegebruik

Het gebouwgebonden energiegebruik voor woningbouw is door NEN 7120 benoemd als het karakteristiek energiegebruik van een gebouw. Het aandeel van embodied energie en de gebruikersgebonden energiegebruik (zoals apparatuur) zijn daarin niet begrepen.

Het karakteristiek energiegebruik is door NEN 7120+C2 gedefinieerd als “de som van het naar primaire energie omgerekende gebruik aan fossiele brandstoffen voor verwarming, bevochtiging, ventilatoren, verlichting, koeling, ontvochtiging, warm tapwater en het totaal aan daarbij gebruikte hulpenergie, verminderd met de naar primaire energie omgerekende eventuele op eigen perceel geproduceerde (gebouwgebonden) energie, bijvoorbeeld zonnestroom en elektriciteitslevering van een gebouwgebonden warmtekrachtinstallatie” (Normcommissie 351 074, 2012, p. 57).

Het karakteristiek energiegebruik van een gebouw is volgens NTA 8800 genormeerd energiegebruik voor een standaard situatie en kan dus afwijken van specifiek energiegebruik voor een specifieke situatie onder invloed van externe factoren zoals een zachte of strenge winter, beschaduwing of belemmeringen door belendende percelen, een afwijkende belending en de locatie van het gebouw in Nederland. Het gebouwgebonden energiegebruik kan in de praktijk beïnvloed worden door gebruikersgedrag, “zoals het aantal bewoners of gebruikers van een gebouw, ventilatiegedrag, temperatuurstelling, gebruik van zonwering, onderhoud en instelling van de apparatuur” (Normcommissie 351 074, 2019, p. 20).

Gebruikersgebonden energiegebruik

Volgens Rijkdienst voor Ondernemend Nederland (z.d.) is gebruikersgebonden energiegebruik “het energieverbruik voor ‘huishoudelijke’ apparatuur (keuken- en kantineapparatuur, TV’s, computers, kopieerapparaten, printers enz.) maar exclusief (forfaitair) verlichting (verlichting hoort bij het gebouwgebonden energieverbruik)”.

De berekeningsmethode PHPP voor passiefhuizen (Feist et al., 2016) bepaalt het gebruikersgebonden energiegebruik met de volgende factoren:

- Afwassen
- Kleding wassen
- Wasdrogen
- Koelen/vriezen
- Koken
- Verlichting
- Consumentenelektronica
- Kleine apparaten
- Hulpenergie
 - Ventilatie (Ventilatie in winter, ontdooien WTW, (extra) ventilatie in zomer
 - Verwarmingssysteem (circulatiepomp, hulpenergie Cv-ketel/hout-/palletkachel)
- Warmtapwatersysteem (circulatiepomp, boilerlaadpomp, hulpenergie ketel, elektrische hulpenergie zon)
- Hulpenergie koelen
- Hulpenergie ontvochtigen

Bij renovatie kan echter ook het prebound- en reboundeffect optreden (Sunikka-Blank, & Galvin, 2012). Het prebound effect is het verschil tussen het gemodelleerde en feitelijke energiegebruik voor de renovatie. Hoe slechter de thermische kwaliteit van een woning, des te minder energie wordt gebruikt door de gebruikers. Het rebound effect is het hogere energiegebruik na de renovatie dan dat is voorspeld als gevolg van veranderingen in het gedrag van de bewoners na installatie van een maatregel en als gevolg van mogelijke technische problemen zoals ontwerpfouten, storingen en bouwfouten. Het prebound en rebound effect kan leiden tot substantiële verschillen tussen de voorspelde en daadwerkelijke energiebesparing. (Galiotto, Booth, & Choudhary, 2013; Galiotto, Heiselberg, & Knudstrup, 2015; Sunikka-Blank & Galvin, 2012)

Daarnaast is het energiegebruik afhankelijk van het type gebouw, het inkomensniveau, de bezetting, de mate van renovatie (Van den Brom, Meijer, & Visscher, 2019), bewonersgedrag en de mate van energiezuinigheid van huishoudelijke apparatuur.

Overig energiegebruik

De gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie voor een appartement worden via de energienota aan de eigenaren verrekend. Energie voor het gehele gebouw, zoals voor liften, algemene verlichting en hydrofoor (bij appartementen hoger dan 13 m) worden via servicekosten aan de eigenaar verrekend.

De energiepost voor een lift is afhankelijk van het type lift, het bouwjaar van de lift, stand-by energiegebruik en het aantal liftbewegingen per jaar.

Het gebruik van stand-by energie varieert daarbij tussen ca. 40 %-83 % van het totale energiegebruik van de lift (Nipkow & Schalcher, 2006, p. 8). Energie-efficiënte regeneratieve liften gebruiken ca. 20 % minder energie dan conventionele liften (Soni & Bhagat Singh, 2019, p. 7).

3.4 Energieambities

3.4.1 Inleiding

Voor het kunnen bepalen van de uitgangspunten van upgradering van woongebouwen naar energieneutraal wordt eerst een overzicht van de energieambities gegeven en een overzicht van de energetische begrippen om de probleemstelling toe te lichten.

In de literatuur is sprake van verschillende energieambities en minimale vereisten op het gebied van energiegebruik in relatie tot CO₂-uitstoot. De ambities bevinden zich op verschillende schaalgebieden, van wereldwijde energieambities tot ambities op gemeentelijk niveau. De energieambities worden door overheden wettelijk of als voornemen bepaald voor nu of in de toekomst en worden door opdrachtgevers bepaald gelijk aan of boven de wettelijke minimum bepaalde energienormen.

3.4.2 Wereldwijde energieambities

Klimaatakkoord van Parijs

Het Klimaatakkoord van Parijs is op 12 december 2015 gesloten tijdens de 21^e zitting van de Conference of the Parties (COP21) van de 'United Nations Framework Convention on Climate Change' die is gehouden in Parijs. In de periode van 22 april 2016 tot 21 april 2017 wordt dit akkoord door 168 van de 197 landen ondertekend. Op 4 november 2016 is het akkoord bekrachtigd, 30 dagen nadat op 5 oktober 2016 minimaal 55 % van alle landen het akkoord hebben geratificeerd. In het klimaatakkoord is vastgelegd dat in deze eeuw de bovengrens van 2 graden met een streven van niet meer dan 1,5 graad opwarming ten opzichte van het pre-industriële tijdperk niet wordt overschreden. (European Commission, 2016; United Nations, 2015; United Nations, 2017)

Nederland heeft (voor wat betreft het Europese deel van het koninkrijk) het akkoord op 28 juli 2017 geratificeerd waardoor het op 27 augustus 2017 voor Nederland in werking is getreden (United Nations, 2017). Het doel is om in 2050 80-95 % minder CO₂ uit te stoten om de temperatuurstijging te beperken (Rijksoverheid, 2017b). Maar volgens het rapport over de gevolgen van het klimaatakkoord voor het Nederlandse klimaatbeleid van het New Climate Instituut in opdracht van Greenpeace zou, door de grotere verantwoordelijkheid van rijke landen om broeikasgasuitstoot te verminderen, de uitstoot van CO₂ al in 2035 tot nul gedaald moeten zijn (Sterl, Höhne en Kuramochi, 2016).

Voor 1 januari 2018 hebben de lidstaten van de Europese Unie die voor akkoord hebben getekend hun nationale klimaatplannen gereed (European Commission, 2016).

3.4.3 Europese energieambities

EPDB

De Energy Performance of Buildings Directive (EPDB) is de Europese richtlijn voor energieprestatie van gebouwen die in januari 2003 is ingevoerd naar aanleiding van het 'Kyoto-protocol' uit 1997 waarin is besloten om de opwarming van de aarde te beperken. Vanuit de Europese invulling van de EPBD worden nationale invullingen gegeven, zoals BENG in 2020.

Green Deal

De Europese Commissie heeft in 2019 'The European Green Deal' vastgesteld. De einddoelstelling voor de Europese Unie is klimaatneutraal in 2050. Er worden hogere eisen aan de energieprestatie van gebouwen gesteld met hernieuwbare energie en een kleinere vraag naar energie. Voor de renovatie stelt de Green Deal voor om gebruik te maken van grotere hoeveelheden renovaties om zo beter te kunnen profiteren van financiële condities en van de economie van schaal. (European Commission, 2019b)

3.4.4 Nederlandse energieambities

Vanuit de Europese Unie is bepaald dat iedere lidstaat haar eigen invulling kan geven aan de EPBD. De Energieprestatie van Gebouwen (EPG) is in Nederland hier de uitwerking van. De EPG is de bepalingmethode voor de energieprestatie coëfficiënt van gebouwen (EPC). Een energieneutraal gebouw heeft een EPC-waarde van 0. De EPC-waarde wordt in de tijd steeds lager geformuleerd als minimum energetische eis waaraan bouwwerken moeten voldoen.

Een EPC wordt tot juli 2021 voor een bouwvergunning voor nieuwbouwwoningen opgesteld via de rekenmethode volgens NEN 7120 en wordt getoetst aan de eisen in het Bouwbesluit. Voor bestaande woningen, waarvan de exacte specificaties van onder andere constructies en details (zoals thermische bruggen) niet bekend zijn, wordt een Energie-Index berekend via de rekenmethode volgens NEN 7120 inclusief het Nader Voorschrift. (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.d.-c.)

NEN 7120 wordt in 2018 vervangen door de bepalingmethode Nederlandse Technische Afspraak 8800 (NTA 8800) waarin in plaats van een abstract EPC-getal een getalswaarde van de energieprestatie van gebouwgebonden energiegebruik wordt uitgedrukt in kWh/m² per jaar. Eisen hiervoor zijn de BENG-eisen (zie Bijlage 3). Gebruikersgebonden energiegebruik blijft in deze bepalingmethode buiten beschouwing. In tegenstelling tot eerdere versies van de energieprestatieberekening blijft ook verlichting buiten beschouwing. Het primaire energiegebruik wordt conform de EPBD berekend. Een vergelijking met meterkaststanden is hierdoor moeilijk te maken. De bepalingmethode geeft een benchmark om verschillende gebouwen met elkaar vergelijkbaar te maken. (Normcommissie 351 074, 2019)

De Nederlandse vastgestelde energieambities tot 2020 zijn Energieakkoord voor duurzame groei (2013), Energieagenda (2016) en Nationaal klimaatplan (2017),

Klimaatwet (2019) en Integraal Nationaal Energie- en Klimaatplan 2021-2030 (2019). Meetinstrumenten zijn Energielabel en Energie-index voor bestaande bouw en BENG voor nieuwbouw. De in de Klimaatwet wettelijk vastgestelde gestelde langetermijndoelstellingen zetten via de vijfjaarlijkse Klimaatplannen stappen naar “een klimaatneutrale samenleving en een betrouwbare, betaalbare, veilige en CO₂-arme energievoorziening in 2050” (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2019, p. 6).

In Bijlage 3 zijn deze energieambities nader toegelicht.

3.4.5 Energieambities op gebouwniveau

Op gebouwniveau betreffen de energieambities gebouwgebonden energie en/of gebruikersgebonden energie.

Energieambities voor ‘Nul op de meter’ houden in dat de genormeerde gebouwgebonden energie en de genormeerde gebruikersgebonden energie op jaarbasis evenveel is als de duurzaam opgewekte energie. In de *Regeling energieprestatievergoeding huur* (Blok, 2018) zijn vier ambitieniveaus aangegeven waarin de netto warmtevraag voor ruimteverwarming varieert (0-15, 15-30, 30-40 resp. 40-50 kWh_{th}/m² per jaar). De minimaal duurzaam op te wekken energie [kWh/m² per jaar] is:

$$\frac{\left(\frac{\text{Netto warmtevraag}}{0,975}\right) + \left(\frac{15}{0,65}\right) + 4,6}{2,14}$$

(Blok, 2018, p. bijlage 1) (3.1)

waarin de netto warmtevraag wordt gedeeld door de forfaitaire waarde van 0,975 uit de EPC als opwekkingsrendement, de hoeveelheid energie voor warm tapwater (15 kWh/m²) wordt gedeeld door de forfaitaire waarde van 0,65 uit de EPC als opwekkingsrendement, met daarbij de benodigde hoeveelheid energie voor kookgas (4,6 kWh). Deze drie posten bij elkaar opgeteld dienen te worden gedeeld door de primaire energie factor met de waarde van 2,14 (in 2018).

Daarnaast minimaal duurzaam op te wekken energie voor hulpenergie (Ehulp) + 23 kWh/m² per jaar voor het laten werken van installaties, zoals ventilatie, (comfort)

koeling en monitoring en eventuele input energie voor een installatie die warmte en/of warm tapwater opwekt) die niet groter hoeft te zijn dan Ehulp + 2400 kWh per woning per jaar en niet kleiner mag zijn dan Ehulp + 1600 kWh per woning per jaar. Energie voor verlichting valt niet onder Ehulp maar onder de energie die ter beschikking staat van de huurder (minimaal 23 kWh/m² per jaar). (Blok, 2018)

- Elektrische hulpenergie is elektrische energie die door gebouwinstallaties voor verwarming, koeling, ventilatie, bevochtiging, ontvochtiging, warmtapwaterbereiding en elektriciteitsopwekking wordt gebruikt om energietransformatie benodigd om de energiebehoefte te dekken, te ondersteunen. (Normcommissie 351 074, 2019, p. 36)

Het ambitieniveau met het laagste aandeel in energie voor ruimteverwarming ontvangt in de regeling de hoogste maximale energieprestatievergoeding [€/m²/maand].

3.5 **Electrische concepten voor woningen**

De meeste gebouwgebonden woonenergieconcepten richten zich op de reductie van de warmtevraag van de woning, zoals de energetische afstemming van de warmtevraag op de bouwdelen. Gebouwgebonden woonenergieconcepten die zich richten op het reduceren van de elektriciteitsvraag van de woning zijn weinig bekend. Elektriciteit kan onttrokken worden of teruggeleverd worden in het elektriciteitsnet waarbij dus gebruik gemaakt wordt van de opslag- en transportcapaciteit van de elektriciteitsnetten. (Leguijt, Groot, Koot, & Wielders, 2009)

In 2009 benoemt Leguijt et al. vier woonenergieconcepten gericht op elektriciteit. De vier energieconcepten zijn het Elektrisch zuinig woonconcept, het Piekverlagend woonconcept, het Elektriciteit leverend woonconcept en het Autarkisch woonconcept. De vier technische concepten met bijbehorende focusgebieden zijn volgens Leguijt et al. te beschouwen als steeds verder gaande stappen op weg naar een volledig duurzame energievoorziening.

Het *Elektrisch zuinig woonconcept* (zie Bijlage 9) bespaart maximaal op het elektriciteitsgebruik (kWh) door verschillende technische interventies zoals het verbeteren van de energie-efficiëntie van elektrische apparaten en feedbacksystemen die inzicht geven in het energiegebruik van apparatuur of van de totale woning. De woning is gekoppeld aan het distributienet voor elektriciteit (Leguijt et al., 2009).

Bij het *Piekverlagend woonconcept* wordt, naast besparing op het elektriciteitsgebruik (kWh), de focus gelegd op het afstemmen van de elektriciteitsvraag (kW) op het elektriciteitsaanbod (kW). De woning is gekoppeld aan het distributienet voor elektriciteit. Het verlagen van de piekbelasting kan een capaciteitsuitbreiding voorkomen van het elektrisch productievermogen en van de distributie- en transportnetten van elektriciteit. De piekbelasting is “de hoogste belasting of belasting bij het intensiefste gebruik” (“Piekbelasting”, z.d.). Door het verschuiven van het tijdstip van een elektriciteitsvraag kan deze vraag in overeenstemming worden gebracht met het beschikbare aanbod. (Leguijt et al., 2009)

Bij het *Elektriciteit leverend woonconcept* kan het overschot van de momentane elektriciteitsproductie (kW), als deze hoger is dan momentane elektriciteitsvraag (kW) in de woning, aan het elektriciteitsnet worden geleverd. De elektriciteitsproductie kan lokaal geproduceerde elektriciteit zijn of elektriciteit die gedurende een periode in of bij de woning is opgeslagen. De woning is gekoppeld aan het distributienet voor elektriciteit. (Leguijt et al., 2009)

Bij het *Autarkisch elektrische woonconcept* is de woning niet gekoppeld aan het distributienet voor elektriciteit, maar geheel zelfvoorzienend. Dit vergt opslagsystemen voor elektriciteit, en/of stuurbare elektriciteitsproductie op woningniveau (Leguijt et al., 2009).

De woonconcepten van Leguijt et al. gelden voor een enkele woning. Via smart grids kunnen ook meerdere woningen, of zelfs een hele wijk, met elkaar verbonden worden. In dit grid kan energie via slimme meters en slimme installaties geleverd, gebruikt, gebufferd, uitgewisseld, omgezet en het gebruik ervan in tijd verschoven worden.

Op woningniveau kan de bewoner ontzorgd worden door een smart energiesysteem dat kan bestaan uit microgenerators, energieopslag systemen slimme toepassingen, slimme/digitale meters, dynamische beprijzingen, energie monitoring en controlesystemen en domotica voor smart energiegebruik (Geelen, Reinders, & Keyson, 2013, p. 154).

Smart grid scenario's zijn gebaseerd op elektriciteit als energiedrager. Smart Energy of Smart Energy Systems zijn gebaseerd op cross-sectoraal gebruik van alle grids (Lund, 2018, p. 94).

Lund (2018) plaats drie scenario's voor de warmtevraag van woningen naast elkaar. Het eerste scenario is een *individuele elektrische verwarming* met behulp van een smart grid. Het tweede scenario zijn *individuele warmtepompen* met behulp van

een smart grid. Dit alternatief is meer efficiënt dan het eerste alternatief voor het voldoen aan een warmtevraag. Warmtepompen zorgen voor een basis verwarming, voor pieken in de warmtevraag worden elektrische boilers ingezet. Voor extra reductie kan PV en thermische opslag worden ingezet. Als de energievraag beperkt wordt, dan heeft dit voordelen voor de warmtepomp doordat de te overbruggen temperatuurverschillen door warmtepompen minder worden en daardoor een hoger rendement (COP). Het derde scenario is volgens Lund een *warmtenet en warmtepompen* als een geïntegreerd onderdeel van een hernieuwbaar energiesysteem ("smart energy systems"). Hierbij wordt lage temperatuur afvalwarmte van industrie, thermische elektriciteitsproductie en biomassa energieconversie hergebruikt, samen met integratie van verbranding van afval, geothermische energie en grootschalige thermische zonne-energie.

Lund concludeert dat vermindering van de warmtevraag een aanzienlijke invloed heeft op de noodzaak van een grid- en opslagstructuur. Vermindering van de warmtevraag die nauwelijks haalbaar is wordt zeer haalbaar als de verborgen kosten van de grid- en opslagstructuur in de analyse wordt meegenomen (Lund, 2018).

Renovatie scenario's

De scenario's zijn afhankelijk van de minimale eisen zoals opgesteld door de Europese Unie en de ambities voor langere termijn zoals internationaal overeengekomen.

In Nederland zijn een aantal verschillende energetische renovatie scenario's:

- Renovatie naar gemiddeld energielabel B voor corporatiewoningen in 2021 volgens de Woonagenda van Aedes (Aedes, 2017b).
- 'Van aardgas af' op korte termijn vanwege aardbevingen in Groningen. Nieuwbouwwoningen zijn sinds juli 2018 aardgasvrij volgens 'Wet voortgang energietransitie'. Voor de bestaande woningvoorraad geldt dat 25 % in 2030 aardgasvrij moet zijn en in 2050 alle woningen aardgasvrij. Hiervoor dient de transitie van bestaande wijken naar aardgasvrije wijken ('wijkgerichte energietransitie'). Alternatieven voor ruimteverwarming, warmtapwater en koken zijn groen gas of waterstof, warmtenetten of volledig overstappen op elektriciteit (all-electric) (Tigchelaar et al., 2019)
- Voor nieuwbouw geldt vanaf juli 2021 dat deze Bijna energieneutraal (BENG) zijn.
- In 2050 is de uitstoot van CO₂ met 95 % verminderd ten opzichte van 1990 volgens het akkoord van Parijs in 2015 en daardoor energieneutrale gebouwen.
- Circulair in 2050 met een lage LCA.

3.6 Opwek-, opslag- en afgiftesystemen

3.6.1 Inleiding

Witteveen+Bos (2017; 2018) heeft 13 stuks meest relevante bouwstenen voor de energietransitie geïdentificeerd. De bouwstenen bestaan uit energiebesparing, bronnen en distributie van energie die in een bepaald gebied wel of niet toegepast kunnen worden. Deze bouwstenen zijn:

- zon
 - wind
 - waterkracht
 - bio-energie
 - bodemenergie
 - omgevingswarmte
 - warmtenet
 - smart-grid
 - duurzame mobiliteit
 - energieopslag
 - energiebesparing gebouwen
 - energiebesparing industrie
 - radicale innovatie
- (Witteveen+Bos, 2017; Witteveen+Bos, 2018).

Tabel 3.2 toont de relevante bouwstenen met een relatie met energieopwek, energieopslag en energieafgifte systemen voor de upgradering van de bestaande woningbouw.

TABEL 3.2 *Bouwstenen voor energietransitie in relatie tot energieopwek, energieopslag en energieafgifte systemen voor de upgradering van de bestaande woningbouw.*

Bouwstenen*	Opwek energie	Opslag energie	Afgifte energie
zon	warmte, elektriciteit		warmte
wind	elektriciteit		
waterkracht	elektriciteit	elektriciteit	elektriciteit
bio-energie	warmte, elektriciteit		
bodemenergie	warmte, elektriciteit	warmte	warmte
omgevingswarmte	warmte		warmte
warmtenet		warmte	warmte
smart-grid		elektriciteit	elektriciteit
duurzame mobiliteit		elektriciteit	elektriciteit

*Bouwstenen volgens Witteveen+Bos (2017) en Witteveen+Bos (2018)

3.6.2 Opweksystemen

Elektrische energie kan worden opgewekt door Ocean Energy, Concentrated Solar Power (GSP), geothermie, biomassa, PV, wind, hydro, waterstof, nucleair, diesel, olie, gas, bruinkool en kolen. (Teske, 2015, p. 86)

De energiedichtheid, de hoeveelheid energie per massa- of volume-eenheid dat is opgeslagen in een stof, is per stof verschillend (zie Tabel 3.3).

TABEL 3.3 *Energiedichtheid van verschillende stoffen.*

	Stookolie (800s) ⁽¹⁾	Bruinkool briketten ⁽¹⁾	Steenkool ⁽²⁾	
Energie-dichtheid (verbranding)	42,4 MJ/kg	21,4 MJ/kg	30 MJ/kg	
CO ₂ -emissie	3,185 kg CO ₂ /liter			
-conversie	3,13 kg CO ₂ /kg	2,020 kg CO ₂ /kg	2,018 kg CO ₂ /kg	
	Aardgas ⁽¹⁾	Gasvormige waterstof (200 bar) ⁽²⁾	Gasvormige waterstof (1 bar) ⁽³⁾	Waterstof vloeibaar ⁽³⁾
Energie-dichtheid (verbranding)	35,17 MJ/m ³ (n)	1,9 MJ/liter = 1900 MJ/m ³	0,011 MJ/liter = 11 MJ/m ³	125 MJ/kg
CO ₂ -emissie		0 (bij elektrolyse van water met duurzame energie)	0 (bij elektrolyse van water met duurzame energie)	0 (bij elektrolyse van water met duurzame energie)
-conversie	1,791 kg CO ₂ /kg			

1) <https://www.energieconsultant.nl/energiemarkt/technische-informatie-energie/tabel-overzicht-verbrandingswarmte-brandstoffen/>

2) <http://www.davdata.nl/energie.html>

3) <https://www.gawalo.nl/energie/artikel/2018/12/waterstof-als-brandstof-over-de-energiedichtheid-en-kostprijs-1016909>

4) https://www.CO2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/#brandstoffen_energieopwekking

Energie door windkracht, waterkracht en zonne-energie heeft geen CO₂-uitstoot. Geothermie voor warmtelevering heeft een emissie van 25,05 kg CO₂ per GJ (CO₂-emissiefactoren, 2019).

De energiedichtheid van zonne-energie is erg laag: de hoeveelheid zonne-energie per vierkante meter per jaar is beperkt en een gering deel kan in elektriciteit of warmte omgezet worden. Daarom is hiervoor veel oppervlak nodig om in een energievraag te kunnen voorzien. Daarnaast vallen opwek en gebruik (dag/nacht, zomer/winter) van de energie vaak niet samen. Er is echter veel gevel- en dakoppervlak beschikbaar in de gebouwde omgeving om energie uit de zon te oogsten. De schil van het gebouw krijgt hiermee een dubbele functie. Naast de functie van een thermische en functionele schil kan de schil ook een energieopwekkende functie hebben in de vorm van elektriciteit en warmte uit zonne-energie.

In het Greenpeace-rapport *Energy [R]evolution* (Teske, 2015) worden energietechnologieën beschreven. Deze technologieën zijn gerubriceerd in technologieën met fossiele brandstoffen (kolen en gas), technologieën voor het reduceren, vangen en opslaan van CO₂, nucleaire technologieën, technologieën voor hernieuwbare energieën, warmtetechnologieën, technologieën op het gebied van power grid infrastructuur en technologieën voor hernieuwbare energie voor verwarming en koeling.

Fossiele energie, kolen en gas, is de meest toegepaste vorm van brandstof voor energieopwekking. Kolen kan worden verbrand door het te verpulveren en te blazen in een verbrandingskamer. Door het verbranden wordt met water stoom opgewekt die vervolgens een turbine aandrijft waaruit elektrische energie wordt gegenereerd. Een andere technologie is een reactie met zuurstof en waterstof met kolen waardoor een synthetisch gas bestaande uit waterstof en koolmonoxide ontstaat. Dit gas wordt verbrand in een gasturbine waarbij elektrische energie wordt gegenereerd en stoom. Deze stoom wordt eveneens omgezet in elektrische energie in een stoomturbine. Vervolgens zijn er technologieën om het rendement nog hoger te maken zoals het verbranden op een hogere temperatuur en verbranding onder een hogere druk ten opzichte van conventionele verbranding.

Elektrische energie uit gas wordt gegenereerd in verbranding van gas in gasturbines of via stoomturbines. Volgens het International Energy Agency ontstaat bij verbranding van gas ca. 45 % minder CO₂ dan bij verbranding van kolen en vormen kolen en gas samen 63 % van de wereldwijde opwekking van elektriciteit in 2015. (Teske 2015, p. 227)

Bij het verbranden van kolen en gas komt CO₂ vrij. Dit gas kan worden afgevangen en worden opgeslagen, bijvoorbeeld in de zoutlagen diep in de aardbodem. Plotselinge lekken door bijvoorbeeld seismologische activiteiten van deze opgeslagen CO₂

kunnen echter dodelijk zijn. De techniek van het opslaan is nog niet voldoende om het CO₂-probleem hiermee op te lossen.

Bij nucleaire technologie ontstaat hitte door nucleaire reacties die worden gekoeld met water dat via een conventionele stoomturbine elektriciteit genereert. Het aantal nieuw te bouwen kerncentrales neemt af vanwege nucleaire ongelukken (zoals in Chernobyl), de opslag van radioactief afval en het vrijkomen van radioactieve stoffen.

Den Ouden, Graafland en Warnaars (2018) beschrijven drie transitiepaden voor een CO₂-neutrale toekomst: 'Elektronen', 'Moleculen' en 'Warmtescenario' en combinaties daartussen.

Het 'Elektronen'-scenario brengt de CO₂-emissie in 2050 naar vrijwel nul door inzet van duurzame energie. Het 'Moleculen'-scenario bereikt dit door 'schoon fossiel'.

Het 'Elektronen'-scenario kenmerkt zich door:

- zeer grootschalig inzetten op hernieuwbare bronnen zon en wind;
- waterstof uit wind + elektrolyse voor de industrie en gas (waterstof) centrales;
- toepassen van volledig elektrificatie oplossingen in de industrie incl. E-boilers;
- inzet van all-electric warmtepompen in de bestaande gebouwde omgeving.

Het 'Moleculen'-scenario kenmerkt zich door:

- waterstof uit hoogcalorisch gas of LNG met precombustion CCS, voor industrie en gas(waterstof) centrales;
- post-combustion CCS staalindustrie, AVI's;
- toepassen van besparende (hoog-COP) elektrificatie oplossingen in de industrie;
- Hybridiseren in de bestaande gebouwde omgeving door middel van hybride warmtepompen en groen gas.

(Den Ouden, Graafland, & Warnaars, 2018, p. 10)

Naast zon en wind zijn er de hernieuwbare niet-fossiele bronnen "aerothermische, geothermische, hydrothermische energie en energie uit de oceanen, waterkracht, biomassa, stortgas, gas van rioolzuiveringsinstallaties en biogassen" (Buck et al, 2010; Van Beek, 2019, p. 18).

Het 'Warmtescenario' gaat uit van een potentieel in 2050 bestaande uit industriële restwarmte (ca. 100 PJ), geothermie (ca. 210 PJ) en zonthermisch (ca. 107 PJ). De inzet van warmte vraagt in dit scenario voor een grootschalige voorziening in warmtenetten. Als warmtebron zijn er vier opties: aardwarmte, restwarmte (uit duurzame productie), warmtepompen (eventueel in combinatie met zonnecollectoren

of oppervlaktewater) en verbrandingsketels (biomassa, waterstof of groen gas). (Den Ouden, Warnaars, Bianchi, & Lintmeijer, 2018)

Hernieuwbare elektriciteit

ECN (2013) beschrijft systemen voor hernieuwbare elektriciteit, hernieuwbare warmte en hernieuwbare warmtekrachtkoppeling. De systeemgrenzen voor opweksystemen voor warmte en elektrische energie zijn divers, van meren en zee tot gebied.

Bij systemen voor hernieuwbare elektriciteit heeft windenergie, met name op zee, de hoogste installatiegrootte. Kleinschalige waterkracht heeft het laagste output basisbedrag per systeem. Bij hernieuwbare elektriciteit zijn de grootste vermogens volgens data van ECN zichtbaar bij wind op zee.

Bij systemen voor hernieuwbare warmte is geothermische warmte interessant voor een stedelijke omgeving. Geothermische warmte, dieper dan 2700 m met een installatiegrootte van 18.000 kW heeft een outputbasisbedrag van 12,8 euro/GJ. Geothermische warmte met een installatiegrootte van 12.400 kW heeft een outputbasisbedrag van 11,9 euro/GJ. (ECN, 2013)

Bij systemen voor hernieuwbare warmtekrachtkoppeling kan geothermie zowel warmte als elektriciteit opwekken. Bij een installatiegrootte van 25.616 kW_{th} levert deze volgens ECN netto 50.000 kW_{th} aan warmte en 9500 kW_e aan elektriciteit. Het output basisbedrag voor warmte is 24 Euro/GJ en voor elektriciteit 8,6 eurocent/kWh. (ECN, 2013)

Zie Bijlage 4 voor de beschrijvingen van de diverse installaties voor hernieuwbare elektriciteit, hernieuwbare warmte en hernieuwbare warmtekrachtkoppeling.

3.6.3 Bodemenergie

Bodemenergie is “de verzamelnaam voor verschillende technieken die gebruik maken van de ondergrond om energie in op te slaan en te winnen. Bodemenergiesystemen worden onderverdeeld in diepe en ondiepe systemen. Beneden 500 meter ten opzichte van het maaiveld bevinden zich de diepe systemen, en daarboven de ondiepe systemen”. (Rijkswaterstaat Leefomgeving, z.d.) Geothermie of aardwarmte wordt gewonnen uit de diepe ondergrond.

Aardwarmte is “warmte-energie die is opgeslagen in de ondergrond en duurzaam kan worden gewonnen door middel van geothermische energiesystemen (aardwarmtesystemen)” (Limberger, 2018, p. xvii).

Er kunnen drie typen systemen onderscheiden worden: open systemen (warmte/koudeopslag), verticale bodem energiewisselaars en diepe geothermie welke in Tabel 3.4 door BodemenergieNL (2018) worden vergeleken.

Mogelijkheden voor toepassing zijn afhankelijk van de bodemgesteldheid en van omgevingsbelangen “zoals grondwaterbeschermingsgebieden, natuurgebieden en archeologie, die juridisch gezien een restrictie of aandachtspunt kunnen vormen” (Rijkswaterstaat Leefomgeving, z.d.).

Diepe geothermie voor woningbouw is financieel haalbaar vanaf 2500 woningen met een warmtevraag groter dan 2 miljoen m³ aardgas (BodemenergieNL, 2018), zie Tabel 3.4. Anderen schatten een hoger aantal bestaande woningen in: ca. 4000 aangesloten woningen (Expertise Centrum Warmte, 2019) of ca. 5000 woningen (IF Technology). Het aantal aan te sluiten woningen is afhankelijk van de warmtevraag van die woningen. Hoe hoger de grootte van de warmtevraag van de woningen, des te lager het aantal aan te sluiten woningen voor financiële haalbaarheid van dit systeem.

TABEL 3.4 *Overzicht bodemenergiesystemen.* Overgenomen uit *Type bodemenergiesystemen* door BodemenergieNL, 2018.

	Warmte/koude-opslag	Verticale bodemwisselaars	Diepe geothermie
Toepassingsvorm	Koelen of koelen en verwarmen vaak met warmtepomp	Verwarmen en koelen met warmtepomp	Alleen verwarmen
Marktsectoren	Utiliteitsbouw, glastuinbouw, woningbouw	Woningbouw, kleine utiliteitsbouw	Woningbouw, glastuinbouw, industrie
Minimale schaalgrootte	Gebouw > 2000 m ² , 50 woningen, koelvermogen > 100 kW	1 woning	2500 woningen, warmtevraag > 2 miljoen m ³ aardgas
Diepte in de bodem	30-150 meter	20-150 meter	1500-5000 meter
Vergunning	Grondwaterwet	(nog) geen vergunning nodig	Mijnbouwwet
Energiebesparing	50-80 % op koeling, 30-50 % op verwarmen, 50 % op de combinatie	30-50 % op verwarmen en koelen	60-70 % op verwarmen

Volgens Van Beek, De Boer, Braakhekke en Buik (2014) bestaan de volgende bodemenergiesystemen die zijn gericht als opslag of als warmtebron waarbij de aangegeven diepten afhankelijk zijn van de bodemgesteldheid:

- Open bodemenergiesystemen (WKO), opslag waarbij koude geleverd wordt in combinatie met warmtelevering tot ca. 30 °C en het systeem in basis in balans is, diepte ca. 0 – 300 meter.
- Lagetemperatuuropslagsystemen (LTO), opslag warmteoverschot, opslagtemperaturen max. 30 °C, diepte ca. 0 – 300 meter.
- Middelhogetemperatuuropslag (MTO), opslag, opslagtemperaturen tussen 30 – 60 °C, diepte ca. 100 – 350 meter.
- Hogetemperatuuropslag (HTO), opslag, opslagtemperaturen tussen 60 – 90 °C, diepte ca. 150 – 750 meter.
- Ondiepe geothermie (OGT), warmtebron, warmte tussen 20 – 40 °C, diepte ca. 150 – 750 meter.
- Geothermie (GT), warmtebron, warmte tussen 70 – 100 °C, diepte ca. 1500 – 4500 meter.
- Ultradiepe geothermie (UGT), warmtebron, diepte vanaf ca. 6000 meter, in principe bedoeld voor elektriciteitsproductie.

Randvoorwaarden voor warmtelevering met invloed op de inzetbaarheid van verschillende bodemenergietechnieken zijn volgens Van Beek et al. temperatuurniveaus, een stadswarmtenet en de Trias Energetica.

Temperatuurniveaus bij bestaande bouw liggen boven de 90 °C, terwijl geleverde warmte van bodemenergietechnieken tussen de 30 °C en 70 °C bedragen. Hierdoor moet het gebruikelijke afgiftesysteem worden gewijzigd naar een lage temperatuur verwarmingssysteem. De aanvoertemperatuur van warm tapwater moet volgens de Drinkwaterwet een minimumtemperatuur van 60 °C hebben. Voor systemen waarbij verwarmd wordt met lagere temperaturen moet het tapwater naverwarmd worden. Een stadswarmtenet vereist een hoge investering en een zeer lange afschrijftijd (>50 jaar). In plaats van de meestal individueel verwarmde bestaande woningen kunnen nu meerdere gebruikers op één bodemenergiesysteem met een distributienetwerk aangesloten worden. Een geothermieproject kan bijvoorbeeld 2000 tot 4000 woningen van warmte voorzien. De eerste stap van de Trias Energetica, beperking van de vraag naar energie, betekent een beperkte energievraag van de woning. Een goede businesscase voor een warmteleverend systeem is hierdoor moeilijk te maken tenzij minder kostenefficiënte besparingsmogelijkheden niet worden uitgevoerd. (Van Beek et al., 2014) Een hoogtemperatuur warmtenet kan daarom een lock-in zijn voor verduurzaming van woningen.

De bodem van Nederland is goed in kaart gebracht om te kunnen bepalen of deze geschikt is voor warmte en koudeopslag. De WKO Tool Nederland (Rijkswaterstaat Leefomgeving, z.d.) geeft in één oogopslag weer wat de mogelijkheden zijn voor de toepassing van open- en gesloten bodemenergiesystemen op iedere willekeurige locatie binnen Nederland. De tool geeft de geschiktheid aan van de bodem voor de toepassing van bodemenergiesystemen. In de tool worden verbodsgebieden en aandachtsgebieden aangegeven. Verbodsgebieden zijn bijvoorbeeld gebieden die beschermd zijn zoals grondwaterbeschermingsgebieden en specifiek provinciaal beleid. Onder aandachtsgebieden worden verstaan open systemen, gesloten systemen, grondwateronttrekkingen, natuur, aardkundige waarden, archeologie, bodemenergieplannen, interferentiegebieden, bodemonderzoek- en sanering en overige aandachtsgebieden.

De tool werkt voor grondgebonden woningen met een monovalent systeem waarbij warmte door het bodemwarmtesysteem in combinatie met een warmtepomp wordt geleverd en de koeling in zijn geheel door het systeem wordt geleverd. Voor gestapelde woningen is een bivalent systeem van toepassing waarbij warmte door het bodemwarmtesysteem in combinatie met een warmtepomp wordt geleverd en voor pieklasten extra warmte wordt geleverd door een cv-ketel. Koeling wordt hier in zijn geheel door een monovalent systeem geleverd. Voor woningen zijn de rekenwaarden voor de warmtevraag bepaald op 7MWh voor een grondgebonden tussenwoning en 6MWh voor een appartement, zie Tabel 3.5.

TABEL 3.5 Rekenwaarden in de WKO Tool voor de warmtevraag. Overgenomen uit WKO tool Nederland door Rijkswaterstaat Leefomgeving, z.d. (<http://www.wkotool.nl/>).

	Verwarmingsvermogen	Warmtevraag	Koelvermogen	Koudevraag
Grondgebonden woningen (tussenwoning)	6 kW	7 MWh	2 kW	2MWh
Appartementen	5 kW	6 MWh	2 kW	2 MWh

Er zijn open en gesloten bodemenergiesystemen. Een warmte-koudeopslag (WKO) is een open bronsysteem waarbij grondwater in de dieperliggende bodem wordt benut als energiebuffer. Het grondwater hieruit wordt gebruikt voor verwarmen of koelen waarna het grondwater weer in de bodem wordt geïnjecteerd. Bij gesloten systemen worden leidingen verticaal in de bodem ingebracht waardoor water circuleert. Energie-uitwisseling gebeurt hier door warmtegeleiding. (BodemenergieNL, 2018).

Rijkswaterstaat (z.d.-b) benoemt als belangrijkste factoren voor de omvang van het thermische invloedsgebied van WKO-systemen:

- *Omvang van de warmte- en de koudevraag van het gebouw en het aandeel levering van warmte en koude door de ondergrond.*
- *De mate en duur van de onbalans tussen koude- en warmtelevering vanuit de ondergrond.*
- *Aquiferdikte en filterlengte.*
- *Het gekozen type WKO.*
- *Gebruik van filters op verschillende dieptes.*
- *Heterogeniteit van de bodem.*
- *Grondwaterstroming.*
- *Afstand tussen de bronnen*
(Rijkswaterstaat, z.d.-a)

Soorten open bodemenergiesystemen

Open systemen kunnen bestaan uit een monobron, een doublet, meervoudige doubletten of uit een recirculatiesysteem. Een open bodemenergiesysteem of een warmte-koudeopslag bodemenergiesysteem kan op verschillende manieren worden aangelegd. Bij een monobron zijn de koude en warme bron boven elkaar gelegen, waardoor slechts één boorgat nodig is met een waterverplaatsingscapaciteit van maximaal 30 tot 50 m³ water per uur. Bij een doublet of meervoudige doubletten zijn twee of meer bronnen horizontaal uit elkaar gelegen en kan warmte en koude op afstand gescheiden worden. Een recirculatiesysteem heeft een vaste onttrekkingsbron en een vaste infiltratiebron waarbij de temperatuur van het opgepompte water de temperatuur van het natuurlijke grondwater heeft van circa 11°C tot 13°C. In de zomer wordt er warm water in de infiltratiebron gepompt, in de winter koud water, vaak in combinatie met grondwatersanering. (Rijkswaterstaat, z.d.-b)

3.6.4 Warmtepompen

Voor warmteopwekking kunnen warmtepompen worden ingezet. Warmtepompen kunnen geclassificeerd worden naar de bron waar de warmtepomp haar energie vandaan haalt en naar het afgiftesysteem:

- *Grond-waterwarmtepomp: grondwarmte als constante bron, met een horizontaal of verticaal leidingstelsel wordt overgezet op water van het afgiftesysteem.*
- *Water-waterwarmtepomp: warmte uit bijvoorbeeld grondwater, oppervlaktewater of een warmtewingevel (Van Capelleveen, 2019) met daarin leidingenwerk als bron wordt overgezet op water van het afgiftesysteem.*

- Lucht-luchtwarmtepomp: warmte uit lucht als bron wordt overgezet op lucht van het afgiftesysteem, bijvoorbeeld een 'airco'.
- Lucht-waterwarmtepomp: warmte uit lucht als bron wordt overgezet op water van het afgiftesysteem. Een warmtepompboiler is een specifieke toepassing hiervoor voor warmtapwaterbereiding met als bron bijvoorbeeld ventilatielucht.
- Hybride warmtepomp: warmtepomp in combinatie met een andere energiebron zoals een gasketel of in combinatie met thermodynamische panelen als bron.

Benodigde thermische energie wordt door middel van warmtepompen opgewekt met een bepaalde waarde van de Coefficient of Performance (COP) en van de Seasonal Performance Factor (SPF) bij een bepaald gebruik. De COP en de SPF van een warmtepomp definiëren de verhouding tussen de geproduceerde warmte en de geconsumeerde primaire energie. De COP refereert aan directe gestandaardiseerde waarden van de warmtepomp, de SPF refereert aan bepaalde jaarlijkse waarden van de warmtepomp (Sáez Blázquez, Borge-Diez, Martín Nieto, Farfán Martín & González-Aguilera, 2019, p. 133; Teptec, 2019).

Bij lucht-waterwarmtepompen speelt de geluidsproductie een rol wat kan leiden tot overschrijding van de geluidseisen. Het geluid in het buitendeel van een luchtwater-warmtepomp wordt volgens Grevers (2019) geproduceerd door de ventilator en de compressor. De ventilator en de compressor variëren in toerental wat afhankelijk is van buitencondities, de temperatuur in de woning, de modus van het systeem (ruimteverwarming, koeling of warm tapwater), het draaien van een legionellabeschermingsprogramma of een ontdooicyclus. In het ontwerptraject zijn daarbij de volgende factoren van invloed: het installatieontwerp, de uitvoering, de kwaliteit van het product, de opstelling van het buitendeel en het juist informeren van de eindgebruikers. Bij de ontwikkeling van een warmtepomp wordt volgens Grevers gezocht naar een evenwicht tussen energie-efficiëntie, compactheid, een zo laag mogelijk geluidsniveau binnen de betreffende maatvoering, de prijsstelling en de levensduur van de toegepaste componenten. Geluid in een lucht-waterwarmtepomp kan volgens Grevers gereduceerd worden door een omkasting, het vergroten van de wisselaar (verdampers), het vergroten van de diameter van de ventilator (met een lager toerental hetzelfde luchtvolume verplaatsen) of door de compressor geluiddempend te bekleden en als afzonderlijk component in het buitendeel te plaatsen. De grotere afmetingen kunnen esthetische gevolgen hebben. Omgevingsinvloeden (zoals reflectie van geluid door andere bouwwerken) zijn ook van invloed. Volgens Grevers moeten geluidseisen per dagdeel vastgesteld worden met capaciteitssturing op basis van temperatuur en/of tijd. Overdag kan een boiler geladen worden of legionellaspoeling plaatsvinden vanwege het al aanwezige achtergrondgeluid. De gestelde geluidseisen wordt gemeten 'op de erfgrans'. Geluidmetingen zullen echter in de praktijk vanwege verschillende omstandigheden telkens verschillen (Grevers, 2019).

De overheid stelt via het Bouwbesluit per 1 januari 2021 een geluidsniveau van ten hoogste 40 dB op de perceelgrens met een andere woonfunctie strengere geluidseisen voor buitengeplaatste warmtepompen en airco's (Rijksoverheid, 2019). Vanwege de tonaliteit in het lage geluidsspectrum moeten gemeten waarden met 5 dB verhoogd worden waardoor de maximaal te meten waarde 35 dB bedraagt.

Bij het toepassen van warmtepompen voor (hoogtemperatuur) warmtapwater zijn distributieverliezen maatgevend voor de keuze van individuele warmtepompen of een centrale warmtepomp. Bij grondgebonden woningen zijn de afstanden tussen warmwatertappunten groot, waardoor warmteverlies optreedt. Om deze reden wordt vaak voor individuele warmtepompen gekozen. Voor gestapelde bouw kan via zwaar thermisch geïsoleerde schachten het warmteverlies flink beperkt worden. De te overbruggen afstanden zijn korter dan bij grondgebonden woningen. Hierdoor kan een centrale warmtepomp eerder toegepast worden.

In Utrecht is het nieuwbouwcomplex De Trip in 2016 gerealiseerd waarin de bewoners het verlies aan warmte door de schil met elkaar betalen.

Het grootste woongebouw 'Briljant' bestaat uit 157 appartementen, gelegen rond een centraal binnenplein. Het energieconcept bestaat uit een centrale WKO-installatie en een centraal opgestelde combi-warmtepomp. In combinatie met vloer- en wandverwarming worden alle ruimten voorzien van warmte en koude. De woningen hebben allen een individuele warmtapwaterbereiding. Alle daken zijn voorzien van PV-cellen. Alle maatregelen bij elkaar bezien levert dit uiteindelijk een zeer lage EPC voor het project op van 0,14 . . . De bewoners van De Trip betalen relatief veel vastrecht en vrijwel geen variabele kosten. De kosten voor verwarming en koeling worden omgeslagen per m² vloeroppervlak. De bewoners betalen met elkaar het verlies aan warmte door de schil. Hiermee wordt voorkomen dat extreme verschillen in stookkosten ontstaan doordat een bewoner die 22°C wenst meerdere omliggende appartementen op temperatuur houdt, die bijv. 20°C wensen. Deze vaste kosten zijn echter veel lager dan een CV of stadsverwarmingssysteem. (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.-d).

In Duitsland is al veel ervaring opgedaan op het gebied van geothermie. München wil in 2040 geheel voor warmte op (ultradiepe) geothermie overgeschakeld zijn (Hecht, 2016).

Warmte en koude kan uit verschillende bronnen worden geogst, worden opgeslagen in een warmte-koude-opslagsysteem en uitgewisseld worden tussen partijen.

Oppervlakte- en afvalwater (aquathermie) kan een bron zijn voor warmte en koude (Kleiweg & De Co, 2018):

- Thermische energie uit het oppervlaktewater (TEO).
- Thermische energie uit afvalwater (TEA): uit capaciteit van riool, rioolgemalen, persleidingen en rioolwaterzuiveringsinstallaties.
- Thermische energie uit drinkwatervoorraden (TED) in de bodem: niet dieper dan tien meter.

Aquathermie heeft bodemenergie nodig om als seizoensopslag te dienen. Geogste warmte in de zomer kan worden opgeslagen voor gebruik in de winter voor ruimteverwarming via een warmtepomp. Vaak kan ook in de zomer gekoeld worden met winterkoude.

De energiedraagkracht, de hoeveelheid te ontsluiten warmte en de hoeveelheid beschikbare stroom, is afhankelijk van het gebied.

De economische potentie van TEO is volgens een studie door Tauw en IF Technology uit 2018 ca. 12 % van de warmtevraag en ca. 54 % van de koudevraag in Nederland en voor TEA ca. 16 % van de nationale warmtevraag. TED kan volgens de studie uit 2017 door Van Bel et al. voorzien in ca. 1,4 % van de nationale warmtevraag (Kleiweg & De Co, 2018, p. 10), zie Figuur 3.1.

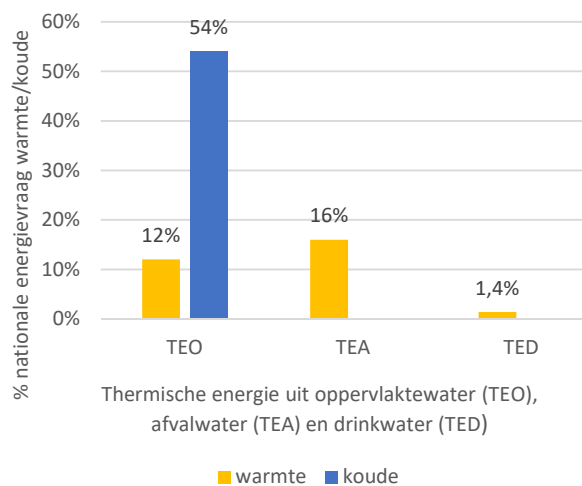


FIG. 3.1 Economische potentie van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) en drinkwater (TED) in relatie tot de nationale energievraag warmte/koude. Volgens data uit *Handreiking aquathermie: Hoe gaan we verder met TEO en TEA?* (p. 10) door E. Kleiweg en W. de Co, 2018.

Restwarmte van een nabijgelegen groot datacenter kan ook een plaatselijke bron zijn. Leveringszekerheid is echter niet gegarandeerd.

Om de gebouwde omgeving te verduurzamen is onder meer uitwisseling van warmte en koude tussen partijen en met de omgeving door middel van netwerken en warmte-koudeopslag systemen (WKO) wenselijk. Oppervlakte- en afvalwater kan binnen die uitwisseling een bron van warmte en koude zijn die in een WKO kan worden opgeslagen, of direct worden geleverd aan huizen, kantoren of andere gebouwen in de omgeving.

3.6.5 Elektriciteit uit zonne-energie

Zonnecellen

Sinds 1839 is het fotovoltaïsche effect als grondbeginsel voor de zonnecel bekend.

Photo Voltaïsche (PV) cellen wekken onder invloed van zonnestraling elektrische energie op. De PV-cellen kunnen uit verschillende materialen bestaan en zijn in verschillende uitvoeringen beschikbaar. PV-cellen wekken elektrische energie op onder invloed van directe straling, diffuse straling en gereflecteerde straling van de zon. Directe zonnestraling is straling die direct in één lijn van de zon door de atmosfeer het aardoppervlak bereikt waarbij een object deze straling kan tegenhouden. Diffuse zonnestraling is straling die in de atmosfeer is verstrooid onder invloed van luchtmoleculen en stofdeeltjes. Deze straling bereikt toch het aardoppervlak, maar van alle kanten. Diffuse straling is afhankelijk van de aanwezige zonnestraling, atmosferische omstandigheden, grondgesteldheid (zoals kleur) en topografie (Peterson & Dirmhirn, 1981). Gereflecteerde zonnestraling is straling die via een oppervlak weerkaatst wordt naar een ander oppervlak. De hoeveelheid van deze straling is meestal erg gering.

De hoeveelheid op te wekken energie door PV-cellen is afhankelijk van de kwaliteit, type en hoeveelheid van de PV-cellen en de hoeveelheid ingestraalde zonne-energie. De ingestraalde zonne-energie kan worden belemmerd, zoals door de schaduw van naastliggende gebouwen, begroeiingen of door vervuiling, dat de hoeveelheid op te wekken energie negatief beïnvloedt. De hoeveelheid zonne-energie op een willekeurig vlak is daarnaast afhankelijk van de ligging ten opzichte van de zon (hellingshoek en oriëntatie), de plaats (lengtegraad en breedtegraad wat resulteert in aantal zonuren per jaar), weertype en de grondreflectie. De hellingshoek is de hoek ten opzichte van

het horizontale vlak (horizontaal = 0°, verticaal = 90°). De oriëntatie is de hoek van het vlak ten opzichte van het zuiden (zuid = 0°, oost = 90°, west = -90°).

Geschiedenis van de zonnecel

Edmund Becquerel ontdekte als eerste in 1839 het fotonvoltaïsche effect als grondbeginsel voor de zonnecel. Nadat Werner von Siemens in 1875 een artikel over het fotonvoltaïsch effect in halfgeleiders publiceerde kon pas in 1923 Albert Einstein de principes hierachter verklaren. Einstein ontving hiervoor de Nobelprijs voor Natuurkunde. In 1877 tonen Adams en Day het fotonvoltaïsch effect als een solid state systeem. In 1883 beschrijft Charles Fritss de eerste zonnecel gemaakt uit selenium wafers, een soort dunne film zonnecel. In 1888 ontvangt Edward Weston het eerste Amerikaanse patent voor een zonnecel. In 1901 ontvangt Nikola Tesla een Amerikaans patent voor 'method of utilizing, and apparatus for the utilization of, radiant energy'. In 1939 werd een Silicon P-N Junction toevallig ontdekt door Russell Ohl wat de basis bleek te zijn voor de moderne zonnecel (PBS, 1999). Na de Tweede Wereldoorlog ontstond tijdens de periode van de koude oorlog een wapenwedloop en met name ook in de ruimtevaart zoals de ontwikkeling van satellieten. In 1959 kwam de Amerikaanse Vanguard 1, de eerste satelliet met fotonvoltaïsche cellen, in een baan om de aarde. Deze wedloop is een enorme stimulans geweest voor innovatieve oplossingen. De energiecrisis in 1973 is de start geweest om zonne-energie toe te gaan toepassen in de gebouwde omgeving. In 1973 wordt de eerste woning met zonne-energie gebouwd op het terrein van de University of Delaware. In 1983 rijdt de eerste wagen op zonne-energie 4000 km in Australië. In 1990 komt aandacht voor de opwarming van de aarde met als gevolg extra aandacht voor duurzame ontwikkeling waaronder ontwikkeling van fotonvoltaïsche producten. In 1995 ontstaan in Japan en Duitsland zonnedaken die door een grid aan elkaar gekoppeld zijn. (Bigot et al., 2010, Sunlightelectric, 2013)

Ontwikkelingen in zonnecellen

Er zijn drie categorieën te onderscheiden in zonnecellen: wafer based silicon (1^e generatie), dunne film (2^e generatie) en nieuwe opkomende technologie (3^e generatie). De 1^e generatie bestaat uit monokristallijne en polykristallijne zonnecellen. Deze cellen zijn geproduceerd op wafers. De 2^e generatie bestaat uit amorf silicium dunne film zonnecellen en CdTe dunne film zonnecellen. De 3^e generatie bestaat uit op nanokristal gebaseerde zonnecellen, op polymeer gebaseerde zonnecellen, Dye sensitized zonnecellen, op Perovskite gebaseerde zonnecellen en geconcentreerde zonnecellen. (Raut, Chopde, & Deshmukh, 2018).

Sinds 1993 wordt elk half jaar een state of the art overzicht gepubliceerd van de hoogste erkende efficiënties van fotonvoltaïsche cellen en module technologieën. Figuur 3.2 toont versie 08-02-2019 (NREL, 2019). Er zijn in dit overzicht vier categorieën zichtbaar: Multijunction Cells, Crystalline Si Cells, Thin-Film technologies en Emerging PV. In de categorie Multijunction Cells scoren de Four-junction or more Concentrator Cells met 47,1 % de hoogste efficiëntie, in de categorie Crystalline Si Cells scoren Silicon heterostructures (HIT) en Single crystal (concentrator) cells de hoogste efficiëntie met 27,6 %, in de categorie Thin-Film Technologies zijn CIGS (copper-indium-gallium-selenide) Cells met 23,4 % de hoogst scorende en in de categorie Emerging PV zijn dat perovskite-silicon tandem solar cells (monolithic) met 28 %.

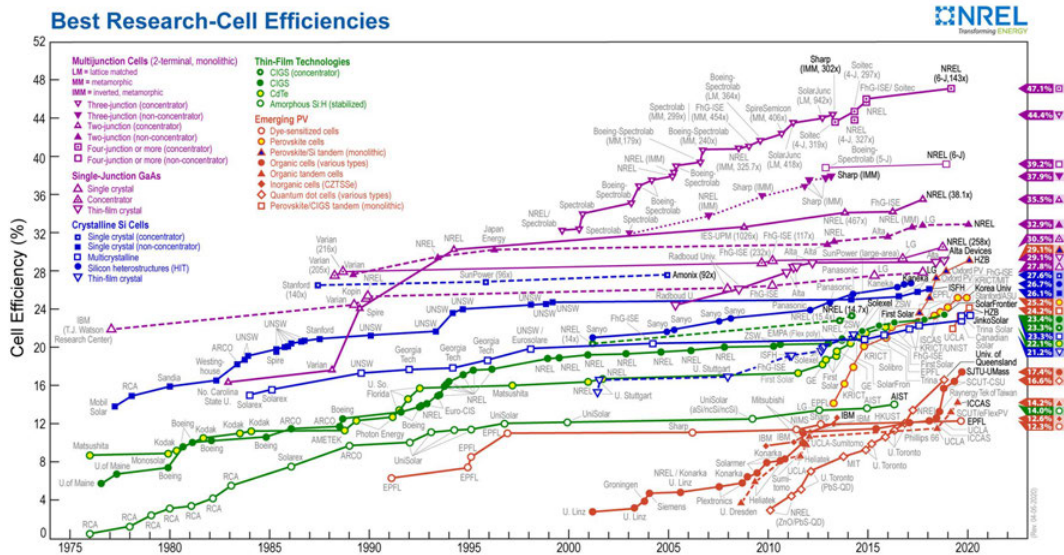


FIG. 3.2 Best Research-Cell Efficiencies. Overgenomen uit *Best research-cell efficiency chart* door NREL, 2019 (<https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>). Copyright 2019, NREL.

In de praktijk worden PV-dragers met een print ontwikkeld voor acceptatie van PV in de publieke ruimte. De PV-cellen bezitten een ‘back contact technology’ waardoor aan de voorzijde van de PV-drager een fullcolour print op een folie wordt gelamineerd als een additionele laag duurzaam achter glas. De print bestaat uit kleine stippen met een bepaalde kleur en een bepaalde transparantie. De relatie tussen energieverlies en de mate van transparantie is in Figuur 3.3 aangegeven (Van Roosmalen, 2017). De ‘Sweet spot’ is het optimum van 30 % gekleurde print met 80 % opbrengst (ECN, 2017).

Full coloured PV: Performance

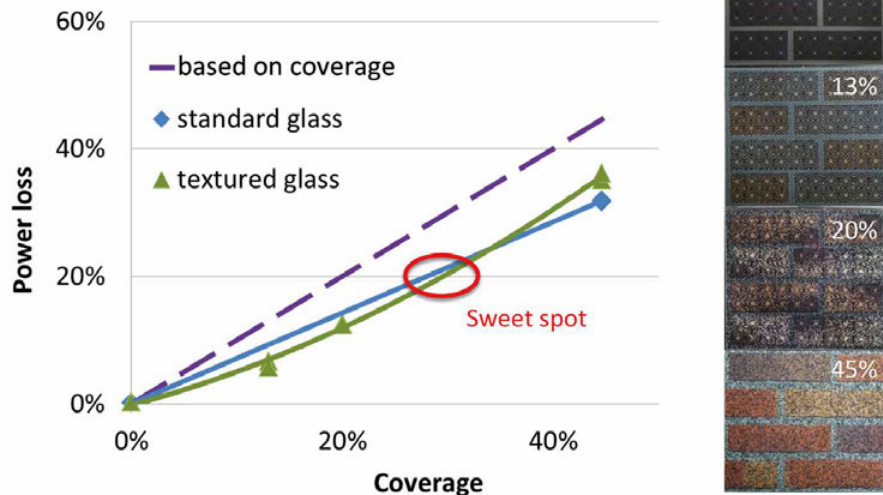


FIG. 3.3 Prestaties van Full coloured PV. Overgenomen uit *Dutch Solar Design BIPV solutions* (p. 13) door J. van Roosmalen, 2017 (http://www.dsd-pv.nl/uploads/1/1/1/7/111701705/dutch_solar_design_bipv_web.pdf). Copyright 2017, ECN.

Figuur 3.4 toont een toepassing van Full coloured PV in de architectuur door UNSTUDIO. (Dutch Solar Design, 2017)



FIG. 3.4 Full coloured PV in architectuur van UNSTUDIO. Overgenomen uit *Dutch Solar Design BIPV solutions* (p. 18) door J. van Roosmalen, 2017. (http://www.dsd-pv.nl/uploads/1/1/1/7/111701705/dutch_solar_design_bipv_web.pdf). Copyright 2017, ECN.

Zonnefilm

Heliatek (2018a, 2018b) ontwikkelt in de praktijk de organische zonnefilm als building integrated organic photovoltaic (BIOPV). De film is minder dan 1 mm dik en kan worden aangebracht op glas, beton, aluminium, staal, folies, polymeer en pvc-membraans. Waar PV-technologie te zwaar is kan de zonnefilm worden toegepast. HeliaFilm[®] wordt toegepast als film die als een actieve laag in constructiematerialen geïntegreerd kan worden. HeliaSol[®] wordt toegepast als film dat op een bestaand materiaal geplakt kan worden. De films zijn 300 mm breed met een maximale lengte van 6 meter. De CO₂ footprint van het materiaal is laag: 20 g CO₂/kWh. Er worden volgens Heliatek geen giftige materialen en geen zware metalen toegepast. De film kan bij einde levensduur gerecycled worden. De beschikbare kleuren variëren van donkerblauw tot turquoise, zie Figuur 3.5.



FIG. 3.5 Kleuren HeliaFil[™]© en HeliaSol[©]. Overgenomen uit *Technical Data* van Heliatek, 2018a (<https://www.heliatek.com/en/applications/buildings>). Copyright 2018, Heliatek.

De film heeft volgens Heliatek in de praktijk een maximale transparantie van 30 % met een efficiency van 6 %. In het laboratorium is inmiddels een 50 % transparantie bereikt (zie Figuur 3.6).



FIG. 3.6 Transparante HeliaFil[™]©. Overgenomen uit *Building envelopes powered by HeliaFilm® and HeliaSol®* door Heliatek, 2018b (<https://www.heliatek.com/en/applications/buildings>). Copyright 2018, André Wirsig, Dresden.

Volgens Husain, Hasan, Shafie, Hamidon en Pandey (2018) is de transparante zonnecel (transparent solar cell, TSC) een zeer gewenste uitvinding dat in de architectuur goed toegepast kan worden. Binnen de transparent photovoltaic (TPV) zijn er ca. 9 technologieën in ontwikkeling (zie Tabel 3.6). Er zijn echter 4 uitdagingen voor deze ontwikkeling: de selectie van materialen die het zichtbare licht van geabsorbeerd licht doorlaten en fotonen absorberen in het onzichtbare gedeelte van het licht, het fabricageproces, de architectuur van TSC en het substraat om de cel te beschermen, en de kosten van fabricage en materialen.

TABEL 3.6 Comparisons between different TPV based on process: transmission rate vs. efficiency percentage of the solar cell. Tabel gedeeltelijk overgenomen uit *A review of transparent solar photovoltaic technologies* (p. 786) door A.A.F. Husain et al., 2018. Copyright 2018, Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Name of Solar Cell	Year	T% ^a [%]	η% ^e [%]
Screen printing DSSC	2007	60 %	9.2 %
Near-Infrared OPV	2011	55 ± 3 %	1.7 ± 0.1 %
Polymer Solar cell	2012	66 %	4.02 %
Transparent luminescent solar concentrator (TLSC)	2014	86 ± 1 %	0.4 ± 0.03 %
Perovskite	2014	30 %	6.4 %
Tandem Semi-transparent Perovskite	2014	77 % peak	12.7 %
Electrophoretic Technique	2015	55 %	7.1 %
Dip-coater	2015	~70 %	8.22 %
Quantum Dot Solar cell	2016	22.74 %	3.88 %
Quantum Dot Solar cell	2016	24 %	5.4 %

a Transmission rate percentage of the light through the solar cell.

e The efficiency percentage of the solar cell.

The highest transparency reported was 86 % with a TLSC technology, but this was less than 1 % efficient. On the other hand, the highest efficiency to transparency ratio was 8.2 % : 70 % using a nanotube thin film of TiO₂ for transparent DSSC. TPV is not yet commercially available and is still under research.. (Husain et al., 2018, p. 788)

De ontwikkeling van transparante dunne zonnecellen is veelbelovend voor toepassing in de architectuur. Transparant glas met als functie daglichttoetreding en uitzicht voor de bewoner kan daarmee ook elektriciteit oogsten uit zonlicht.

Organische transparante zonnecellen lijken veelbelovend volgens Chang, Cheng, Li en Yang (2018):

Polymer photovoltaics are a promising alternative energy for visible-spectrum applications because the absorption spectra of organic semiconductors, including polymer and small-molecule types, are not continuous as in inorganic semiconductors. As a result, the design of organic materials is able to pass visible light and absorb non-visible light such as the infrared. According to the energy distribution of the solar spectrum, more than a half of solar light is distributed within the infrared region. The theoretical efficiency of polymer photovoltaics with only infrared absorption therefore can be as high as a device with only visible absorption. (Chang et al., 2018)

Elektrische energie opwekkend glas

Onyx Solar vervaardigd amorf silicon PV glas met als maximale afmetingen 2 m x 4 m. Donker glas (transparantheid 0 %) heeft een opbrengst van 57,6 Wp/m², laag transparant glas (10 %) heeft een opbrengst van 40 Wp/m², medium transparant glas (20 %) heeft een opbrengst van 34 Wp/m², hoog transparant glas (30 %) heeft een opbrengst van 28 Wp/m² (Onyx, z.d.). Figuur 3.7 toont deze relaties tussen de mate van transparantheid en de opbrengst.

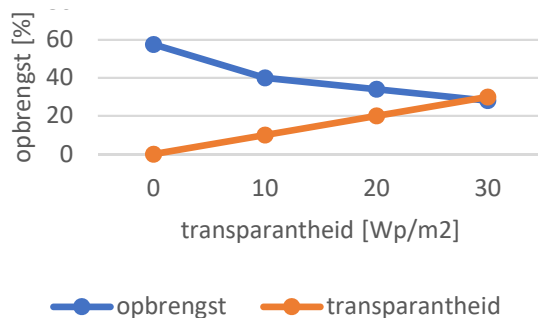


FIG. 3.7 Relatie tussen de mate van transparantheid en de opbrengst Onyx Solar. Volgens data Onyx Solar (z.d.).

Elektrische energie kan door dubbel glas opgewekt worden door middel van CIGS PV-stroken in de spouwzijanten van het glas. Via een spectrale laag op het binnenspouwblad van het dubbel glas wordt het zichtbare daglicht doorgelaten en het niet-zichtbare daglicht gereflecteerd in de glasspouw naar de PV-stroken. Vasiliev, Nur-E-Alam en Alameh (2019) beschrijven dit systeem als een 'hybrid concentrator-type photovoltaic window' (zie Figuur 3.8) en AbouElhamd, Al-Sallal en Hassan (2019) als een 'semi-transparent, colorless luminescent solar concentrator' (zie Figuur 3.9).

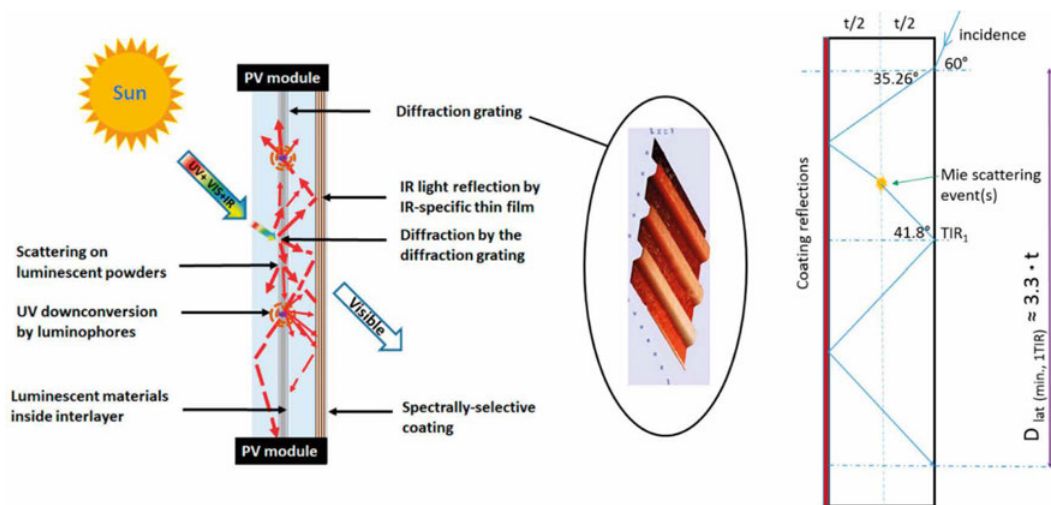


FIG. 3.8 Semitransparent hybrid concentrator-type photovoltaic (PV) windows. Overgenomen uit *Recent developments in solar energy-harvesting technologies for building integration and distributed energy generation* (p. 13) door M. Vasiliev, M. Nur-E-Alam en K. Alameh, 2019.

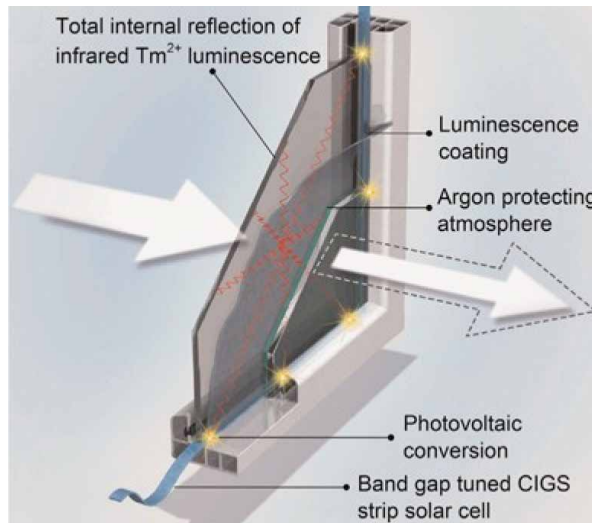


FIG. 3.9 Principe van een semi-transparante, kleurloze zonneconcentrator. Overgenomen uit *Review of Core/Shell quantum dots technology integrated into building's glazing* (p. 17) door A.R. AbouElhamd, K.A. Al-Sallal en A. Hassan, 2019.

Vasiliev, Nur-E-Alam en Alameh (2019) zien de praktische integratie van zonne-energie oogsttechnologieën in verschillende elementen in het stedelijk landschap, waaronder gebouwvensters, als een snel opkomende trend. Toepassing van integratie van deze technologieën betekent een trade-off tussen de gewenste visuele uitstraling, de mate van transparantie en de capaciteit van energieopwekking.

Het beursgenoteerde bedrijf ClearVue Technologies ziet de gebruiker als deel van de energieoplossing. De ramen worden zonne-energie ramen die elektriciteit opwekken (zie Figuur 3.10). Hierbij wordt het onzichtbare licht, infrarood (IR) en ultraviolet (UV), gereflecteerd naar zonnecellen in het frame. Het zichtbare licht wordt tot 70 % doorgelaten. De geproduceerde energie is minimaal 30Wp/m². De IR & UV wordt minimaal voor 90 % gecontroleerd (ClearVue-PV, 2018, Vasiliev, Nur-E-Alam, & Alameh, 2019).

Physee (2019) introduceert de commercieel verkrijgbare Smartskin die autonoom het binnenklimaat kan meten en regelen. Smartskin bestaat uit de concepten PowerWindow, SmartWindow en Eesy. De PowerWindow, met geïntegreerde zonnecellen en optimizers, gebruikt zonne-energie voor opwekking van elektriciteit. Sensoren in de SmartWindow meten de lichtniveaus binnen en buiten, klimaat en luchtkwaliteit. In Eesy worden de data geïnterpreteerd in combinatie met weersverwachtingen, voorspellingen over de gebruikers en met data van andere gebouwsensoren. Hiermee worden ventilatie, lichttoetreding en temperatuur geregeld in combinatie met elektriciteitsopslag en gebruik van het grid.

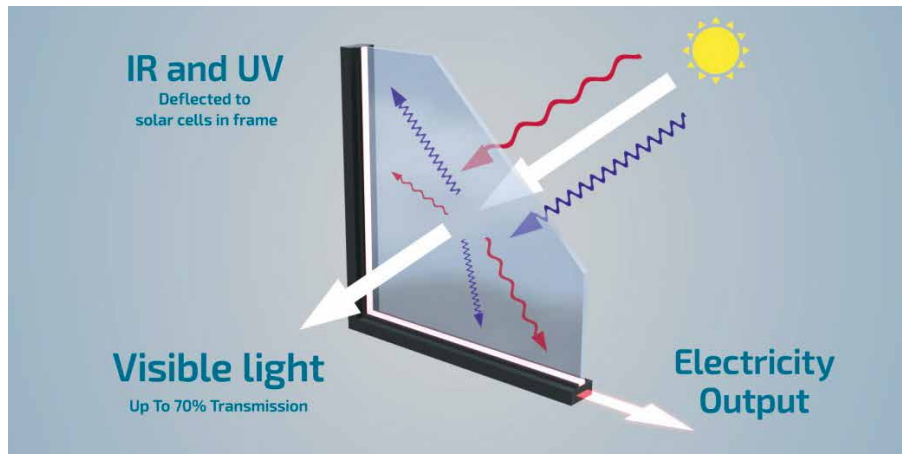


FIG. 3.10 ClearVue-PV venster. Overgenomen uit *ClearVue-PV* door ClearVue-PV, 2018 (<http://www.clearvuepv.com/wp-content/uploads/2018/07/ClearVue-PV-Brochure-v3.pdf>). Copyright 2018, Clearvue.

Oriëntatie PV-vlakken

De impact van het klimaat op het energieverbruik van een gebouw zijn temperatuur, relatieve vochtigheid, globale zonninstraling, directe straling en windsnelheid (Liu, Wang, & Liu, 2017).

De globale zonnestraling (G_T) kan worden ingedeeld in directe zonnestraling (G_{dir}) en diffuse zonnestraling (G_{dif}). Diffuse zonnestraling is de straling die een oppervlak op een indirecte manier bereikt. De totale straling, of ook genaamd globale straling, is de optelsom van de directe zonnestraling en de diffuse straling.

$$G_T = G_{dir} + G_{dif} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (3.3)$$

Een vlak met fotovoltaïsch materiaal kan elektrische energie uit de zon oogsten. Dit vlak kan een vast vlak zijn of een beweegbaar vlak. Een vast vlak kan geïntegreerd worden in of toegevoegd worden aan de huid van een gebouw. Een geïntegreerd onderdeel (building integrated photovoltaics of BIPV) vormt dan onderdeel van de eigenschappen van de gebouwschil.

Een toevoeging (building applied photovoltaics of BAPV) vormt onderdeel van de architectuur van het gebouw, maar vervangt geen gebouwelement of -component (zie Figuur 3.11). Een beweegbaar vlak kan een optimale stand ten opzichte van de zon aannemen en daardoor een optimale opbrengst hebben (zie Figuur 3.12).

In 2003 is de uit 1959 daterende torenflat Bieslandsekade te Delft van wooncorporatie Woonbron voorzien van 260 m² zonnepanelen, zie Figuur 3.11. De panelen zijn verwerkt als gevelbekleding, als bekleding van balkonhekken (transparante PV-panelen), als dakoverstek (transparante PV-panelen) en als dakbedekking (Evalon/amorf PV). De zonnestroom die wordt opgewekt “verzorgt bijna alle collectieve installaties in het tien verdiepingen hoge gebouw, zoals liften, verlichting en mechanische ventilatie” (Isso, 2015).

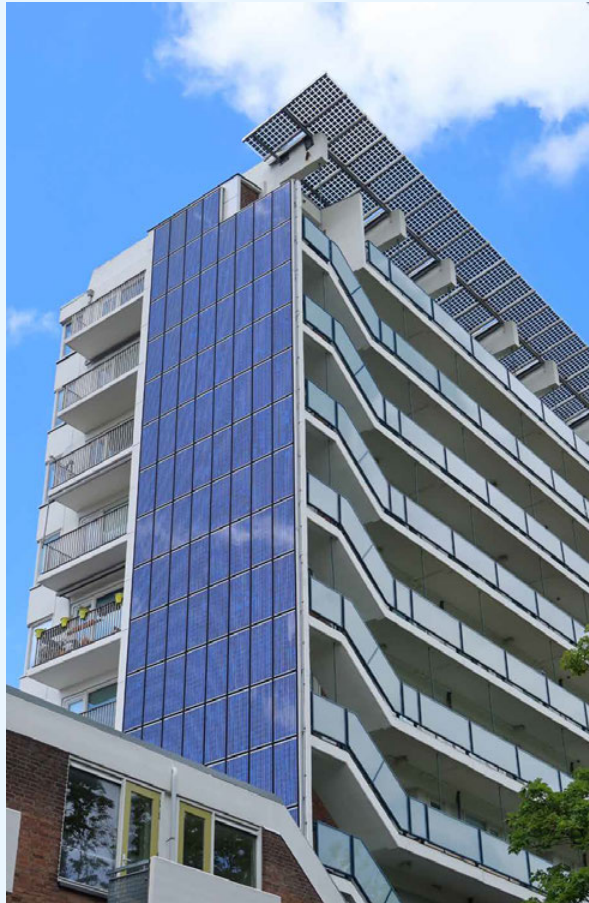


FIG. 3.11 Torenflat Bieslandsekade te Delft voorzien van zonnepanelen in 2003. .

BEWEEGBAAR PV-VLAK: HELIOTROOP

Een voorbeeld van een beweegbaar PV-vlak op woningniveau is de Heliotroop te Freiburg. Deze woning is ontworpen door de Duitse architect Rolf Disch in 1994 waar hij ook zelf in woont. De woning draait in zijn geheel mee met de zonnestand om optimaal zonne-energie te kunnen oogsten (zie Figuur 3.12).



FIG. 3.12 De Heliotroop in Freiburg. Overgenomen uit *Solar Architektur* door R. Disch, z.d. (<http://www.rolfdisch.de/en/architects-office/>). Copyright, R. Disch.

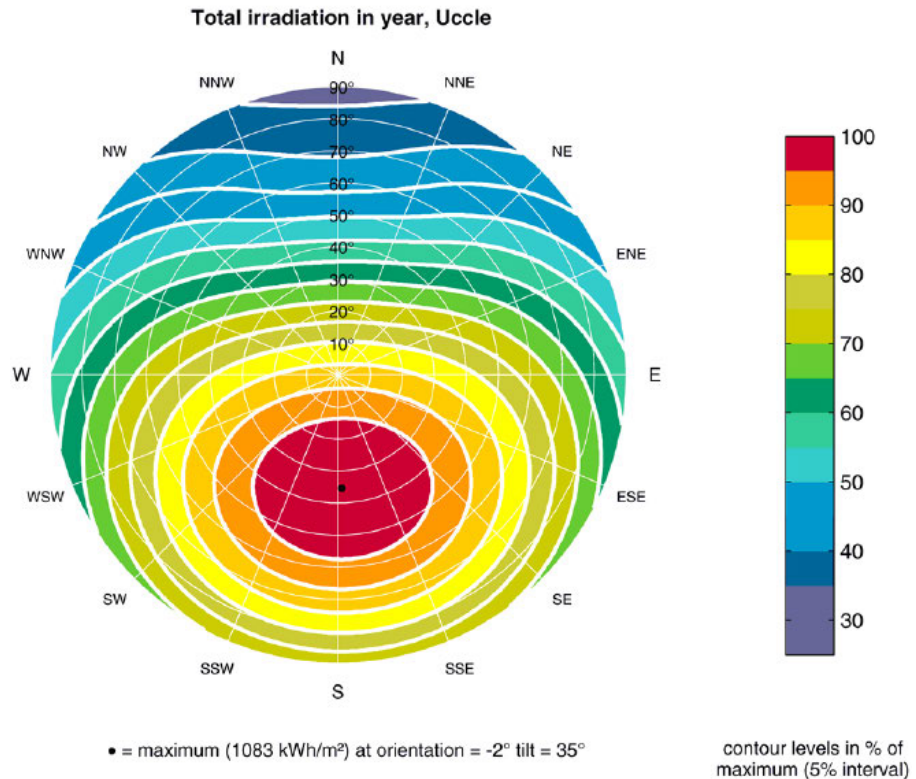


FIG. 3.14 Instralingschijf van Ukkel (B). Overgenomen uit *Loss due to non optimal panel angle over a year* door J. Treur, z.d. (https://www.researchgate.net/figure/Loss-due-to-non-optimal-panel-angle-over-a-year-eg-see-URL_fig2_237189541).

Sideria (2016) toont een instralingsdiagram voorzien van tiltfactoren voor locatie De Bilt. Een tiltfactor is 100 % voor het ontvangen daglicht op een horizontaal vlak (hellingshoek = 0 graden). Als de tiltfactor hoger dan 100 % is, dan ontvangt het vlak meer daglicht dan het horizontale vlak (zie Figuur 3.15).

Sideria heeft een instralingsdiagram (met een vrije horizon) en een opbrengsten-diagram (met 5 % horizon obstructie wat geldt voor woonwijken en bosgebieden) berekend, zie Figuur 3.16. Als de horizon obstructie percentueel hoger is, dan is de opbrengst evenredig percentueel lager.

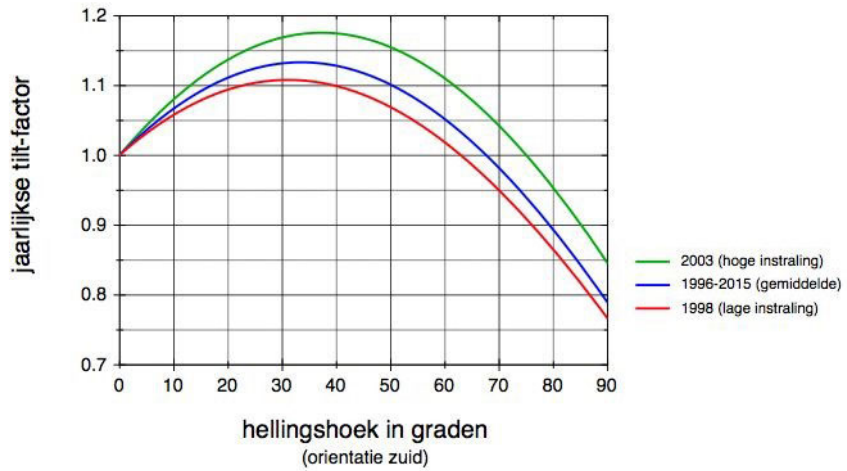


FIG. 3.15 De ideale hellingshoek, tiltfactoren voor zuidoriëntatie voor locatie De Bilt. Overgenomen van *Instralingsdiagram Nederland* door Sideria, 2016 (<http://www.sideria.nl/zonne-energie/zonne-energie/instralingsdiagram.html>). Copyright 2016, Sideria.

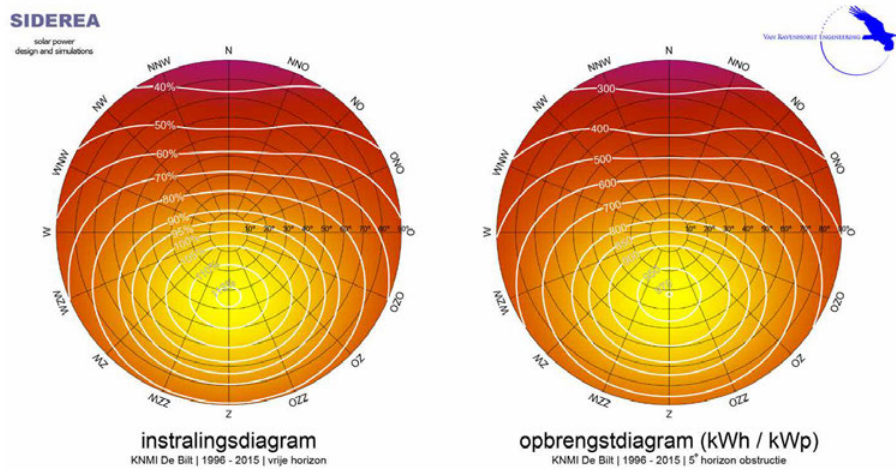


FIG. 3.16 Instralingsdiagram (vrije horizon) en opbrengstendiagram (5 % horizon obstructie), locatie De Bilt. Overgenomen van *Instralingsdiagram Nederland* door Sideria, 2016 (<http://www.sideria.nl/zonne-energie/zonne-energie/instralingsdiagram.html>). Copyright 2016, Sideria.

Opwekkingsrendement van fotovoltaïsche cellen

De opbrengst van een systeem wordt in een Performance Ratio uitgedrukt om het systeem te kunnen vergelijken met andere soortgelijke systemen. De Performance Ratio (PR) is een verhouding tussen de werkelijke opbrengst en de referentieopbrengst. De werkelijke opbrengst is de gemeten opbrengst (E) [Wh] gedeeld door het bekende geïnstalleerde vermogen (P) [W]. De referentieopbrengst is de verhouding tussen de werkelijke instraling (H) [W/m²] in het vlak van het zonnepaneel en de referentie instraling (G). De referentie instraling (G) is 1000 W/m² loodrecht op de zonnecel met een paneeltemperatuur van 25 graden Celsius en een maat van de lengte van de lichtweg door de atmosfeer (air mass, AM) van 1,5 zoals is bepaald in de Standard Test Conditions (STC, zie Tabel 6.22). Het geleverde vermogen wordt hier uitgedrukt in Wattpiek (Wp). 1 Wp is de productie van een elektrisch vermogen van 1 watt (W) onder STC-standaardomstandigheden. De werkelijke instraling (H) is een onbekende. Volgens Van Sark (2014) is systeem performance constant waarbij PR=0,85 een goede aanname is. De opbrengst van een PV-systeem (kWh) is daarmee het vermogen (Wp) vermenigvuldigd met de PR van 0,85. *Voorbeeld: een zonnepaneel van 200 Wp produceert jaarlijks 170 kWh.*

Het rendement (%) van een PV-paneel is het vermogen (Wp) gedeeld door de oppervlakte van het paneel vermenigvuldigd met de referentie zonnestraling (1000 W/m²) maal 100. *Voorbeeld: 225 Wp / (1,559 m x 0,798 m x 1000 W/m²) x 100 = 18,1 % (Zonnepanelenkennis, 2018).*

Naast de STC (Standard Test Conditions) wordt ook de NOCT (Normal Operating Cell Temperature) genoemd in specificaties van PV-panelen.

De STC zijn ideale omstandigheden maar komen niet overeen met de condities in de praktijk. Hiervoor zijn de NOCT-condities meer van toepassing. De referentie instraling is hier 800 W/m² (niet altijd zijn de PV-panelen op de zon gericht en de zonneshijn kan door atmosferische of geografische omstandigheden afnemen). De temperatuur van de PV-panelen wordt op 45 graden Celsius gesteld bij een windsnelheid van 1 m/s bij een luchttemperatuur van 20 graden Celsius. Het lichtspectrum is gelijk aan die van STC. Een specificatie volgens STC heeft hogere waarden dan een specificatie volgens NOCT. De waarden volgens NOCT benaderen de werkelijkheid beter. Beide specificaties worden door fabrikanten genoemd.

Het rendement van het gehele PV-systeem wordt bepaald door de instraling op het paneel (afhankelijk van zoals vervuiling en reflectie), het rendement van het paneel, de temperatuur van het paneel (afhankelijk van de hoeveelheid instraling op het paneel, de luchttemperatuur en de mate van ventilatie), de verliezen in de elektrische

bekabeling (afhankelijk van de lengte en de hoeveelheid stroom door de kabel), het rendement van de inverter (afhankelijk van het maximum rendement van de inverter en het aangeboden DC vermogen) en overige verliezen zoals niet precies gelijke panelen en regelfouten door de omvormer. (Siderea, 2017)

Het verwachte totale systeemverlies, zoals verliezen in kabels, power inverters, vervuiling (soms sneeuw op de modules) en teruggang in jaarlijkse output, bedraagt volgens PVGIS ca. 14 %. Verliezen door temperatuur en lage instraling bedraagt ca. 6,8 %. Verwachte verliezen als gevolg van reflectie bedraagt 4,5 %. Het totaal verlies komt daarmee op ca. 25,3 %. (European Commission, 2017b)

Grondreflectie

Licht kan via de grond reflecteren en daardoor de totale zinstraling op een PV-paneel positief beïnvloeden. De grondreflectiecoëfficiënt (albedo) is volgens NEN 5060 (bijlage E) afhankelijk van de situatie of grondsoort en varieert in waarde van 0,1 bij asfalt en grauwe natte aarde, 0,33 bij beton, 0,44 bij rode steen tot 0,98 bij verse witte sneeuw. De lineaire invloed van de verschillende grondreflectiecoëfficiënten op de totale zinstraling in De Bilt is in Tabel 3.7 aangegeven bij een bepaalde waarde voor locatie De Bilt (lengtegraad 5,18, breedtegraad 52,1), hellingshoek (30 graden) en oriëntatie (zuid). Het verschil tussen de gemiddelde waarde en verse witte sneeuw bedraagt ca. 4,6 % van de gemiddelde zinstraling. Het verschil tussen de gemiddelde waarde en rode steen is ca. 1,5 %.

TABEL 3.7 Invloed grondreflectiecoëfficiënt op de totale zinstraling, De Bilt, hellingshoek 30 graden, oriëntatie zuid volgens data uit NEN 5060: *Hygrothermische eigenschappen van gebouwen - referentieklimaatgegevens (bijlage E)* door Normcommissie 351 074 "Klimaatbeheersing in gebouwen", 2008. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

Lengtegraad	5,18	graden	De Bilt
Breedtegraad	52,1	graden	De Bilt
Hellingshoek vlak (0 graden is horizontaal, 90 graden is verticaal)	30	graden	
Oriëntatie vlak (0: zuid, 90: oost, -90: west)	0	graden	
			Totale zinstraling (kWh/jaar)
Grondreflectiecoëfficiënt	0,1	Grauwe natte aarde, asfalt	1083
Grondreflectiecoëfficiënt	0,20	Gemiddelde waarde	1089
Grondreflectiecoëfficiënt	0,33	Beton	1098
Grondreflectiecoëfficiënt	0,44	Rode steen	1105
Grondreflectiecoëfficiënt	0,98	Verse witte sneeuw	1139

Bij een hellingshoek van 45 graden is het verschil tussen de gemiddelde waarde en verse witte sneeuw ca. 9,9 % van de gemiddelde zoninstraling en tussen de gemiddelde waarde en rode steen ca. 2,9 %. Bij een hellingshoek van 90 graden is het verschil tussen de gemiddelde waarde en verse witte sneeuw ca. 47,4 % van de gemiddelde zoninstraling en het verschil tussen de gemiddelde waarde en rode steen is nu ca. 14,6 %. Een hellingshoek van 30 graden is gunstig ten opzichte van de zon en minder gunstig voor grondreflectie. Een hellingshoek van 90 graden is gunstig voor de grondreflectie, maar minder gunstig ten opzichte van de zon (zie Figuur 3.17). Als toch gekozen wordt voor 90 graden hellingshoek, dan heeft de mate van grondreflectie een grote invloed op de totale zoninstraling.

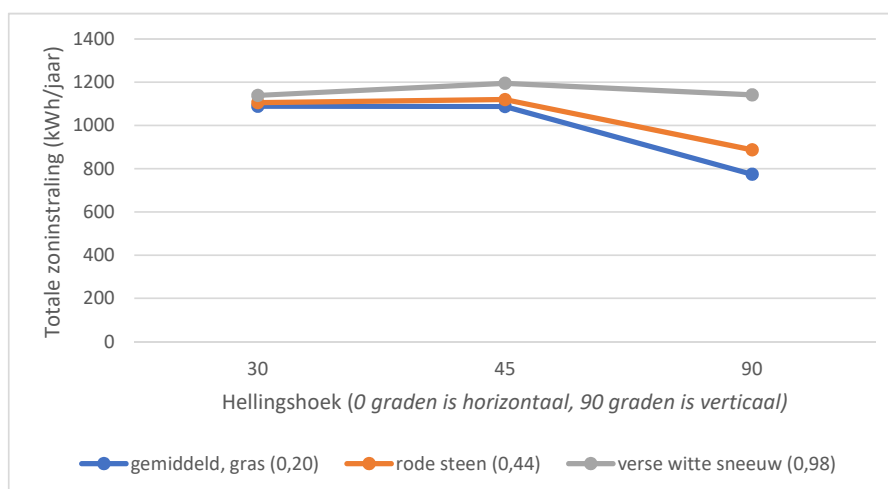


FIG. 3.17 Invloed van grondreflectie en de hellingshoek op de totale zoninstraling op een zuidgericht vlak in De Bilt.

Bij toepassing van PV-panelen is een hoge grondreflectiecoëfficiënt aan te bevelen. Daarbij is de invloed van de grondreflectiecoëfficiënt op de totale zoninstraling afhankelijk van de hellingshoek.

Gebouwreflectie

Direct zonlicht kan via een naastgelegen gebouw reflecteren en daardoor de totale zoninstraling op een PV-paneel positief beïnvloeden. De mate van reflectie is afhankelijk van de oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van elkaar, de afstand tussen de gebouwen, mogelijke belemmeringen (zoals begroeiingen), de oppervlakte en de reflectiecoëfficiënt van reflecterende vlakken.

Schaduw op zonnepanelen

Belemmering van licht op PV-panelen, zoals schaduw of vervuiling, levert rendementsverliezen op. De grootte van de verliezen is afhankelijk van de mate van de belemmeringen op het PV-paneel, het type PV-paneel en de schakeling en grootte van de PV-cellen in het pv-paneel. Met name de schakeling (serieel of parallel) bepaalt of een rij minder presteert of slechts één paneel bij een bepaalde belemmering van het licht. Zie verder Bijlage 5: Belemmering zonenpanelen.

Bomen in de gebouwde omgeving

In de groene zones van de omgeving van hoogbouw Wederopbouw flats zijn bij de bouw van de flats ook bomen gepland als 'beleefbaar groen' (Buchner, z.d.). Jonge bomen in de jaren 60 van de vorige eeuw zijn nu uitgegroeid tot forse exemplaren. Indien deze bomen te dicht op de woongevel staan kunnen zij het uitzicht belemmeren en kunnen zij ook het toetreden van zonlicht voor opwekking van elektrische energie door PV-gevelpanelen belemmeren.

De vraag is binnen welke zone de bomen invloed hebben op de opwekking van elektrische energie door de gevel van het gebouw. De gevel met PV-panelen start vanaf de 1^e verdieping in verband met lage begroeiingen. Als bomen zich binnen deze zone bevinden dan is de vraag of deze kunnen worden gesnoeid, verplaatst naar een plek buiten deze zone of gerooid.

Met behulp van een 3D-model wordt een bezonningsstudie gemaakt over de invloed van beschaduwing van bomen op de elektriciteit leverende gevel.

Als bomen een monumentale status hebben Landelijk Register van Monumentale Bomen dan zijn deze beschermd. Er zijn drie voorwaarden waaraan bomen moeten voldoen om in het Landelijk Register van Monumentale Bomen te worden opgenomen:

- 1 De boom moet een minimale leeftijd van 80 jaar hebben.
 - 2 De boom dient voldoende gezond te zijn en een levensverwachting te hebben van minimaal tien jaar.
 - 3 De boom moet verder voldoen aan een van de volgende criteria:
 - a Hij is beeldbepalend voor de omgeving.
 - b Hij is cultuurhistorisch waardevol: de standplaats is een belangrijk plek in de (lokale) geschiedenis.
 - c Hij is dendrologisch waardevol: van een zeldzame soort of variëteit.
 - d Hij is natuurwetenschappelijk of ecologisch waardevol: het is een moederboom, hij herbergt bijzondere planten en/of dieren.
 - e Hij heeft zeldzaamheidswaarde: hij is door zijn omvang, hoogte, ouderdom of anderszins opvallend in provinciaal of landelijk perspectief.
- (Bomenstichting, 2018).

Voor bomen in de Wederopbouw wijken (1945-1975) geldt dat, als deze toentertijd zijn aangeplant, deze nu een leeftijd hebben van ca. 45 tot 70 jaar. Vanwege de leeftijd kunnen zij geen monumentale status hebben, echter per geval moet bekeken worden of een betreffende boom de potentie heeft om een monumentale status te krijgen.

Van alle boomsoorten bereiken de douglasspar en de beuk in Nederland waarschijnlijk de grootste hoogte. Van beide soorten zijn exemplaren van meer dan 42 meter hoogte gemeten.

De groots bekende hoogte in Nederland van een douglasspar is 49,75 meter in Het Loo te Apeldoorn.

Een beukenboom kan tot een hoogte van ca. 40-45 meter groeien (Bomeninfo, 2012).

Voor de bepaling van de invloed van beschaduwing door bomen op het gevelvlak van een flat wordt een boomhoogte van 40 meter aangehouden.

Tabel 3.8 toont de schaduwen van de boom met een hoogte van 40 meter voor locatie De Bilt in Nederland (wintertijd UTC+1) weergegeven. De beschaduwing is berekend met behulp van SketchUp.

TABEL 3.8 *Schaduwlengthe op een plat maaiveld van een 40 meter hoge boom voor locatie De Bilt in Nederland (wintertijd UTC+1) [m] om 9.00 uur, 12.00 uur en 15.00 uur.*

Schaduwlengthe 40m hoge boom – De Bilt	9.00 uur	12.00 uur	15.00 uur
1 januari	-	150 m	240 m
1 april	85 m	48 m	60 m
1 juli	50 m	35 m	50 m
1 oktober	110 m	60 m	85 m

Uit Tabel 3.8 blijkt dat met name in de winterperiode ('1 januari') door de laagstaande zon de schaduwlengthe van een boom 4 tot 6 keer de eigen hoogte is. In de zomerperiode ('1 juli') bedraagt de schaduwlengthe 7/8 tot 10/8 keer de eigen hoogte. Indien de gevel van gestapelde woningbouw energie oogst uit de zon, dan kan (hoge) beplanting door beschaduwing invloed hebben op het rendement van de opwek van energie. Tegelijkertijd hebben (hoge) beplantingen door beschaduwing invloed op de zoninstraling door openingen in de schil van het gebouw waardoor ongewenste energie wordt tegengehouden. Ingestraalde energie is ongewenst als dit leidt tot oververhitting van de woning. Juist in het voor- en naseizoen en in de winter is zoninstraling gewenst. Hoge groenblijvende beplantingen houden de zon echter tegen door de lange schaduwen. Bladverliezende beplantingen vormen aanzienlijk minder beschaduwing in die periode waardoor dit effect gedeeltelijk teniet wordt gedaan.

De beschaduwing door bomen is afhankelijk van de hoogte van de boom, de afstand van de boom tot het gebouw, de omvang van de boom, de situering van het gebouw ten opzichte van de zon en de horizontale richting (azimut) en verticale hellingshoek (elevatie) van de zoninstraling (zie Figuur 3.18 en Figuur 3.19) onder een bepaalde datum, een bepaald tijdstip en onder bepaalde weersomstandigheden. Bij bladverliezende vegetatie is de mate beschaduwing in de zomerperiode hoger dan in de winter.

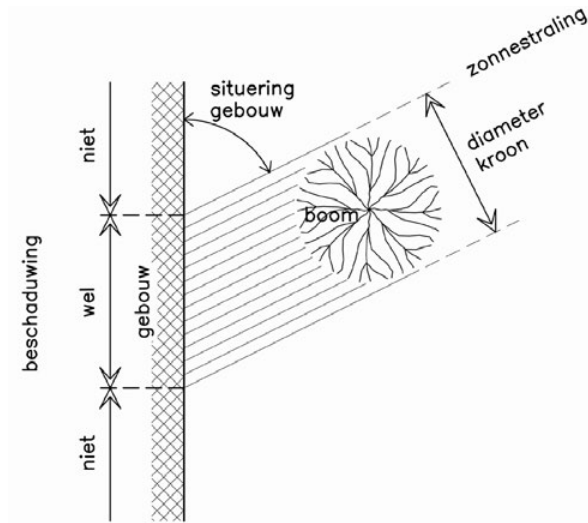


FIG. 3.18 Invloed beschaduwung door bomen op een horizontaal vlak op een bepaald tijdstip.

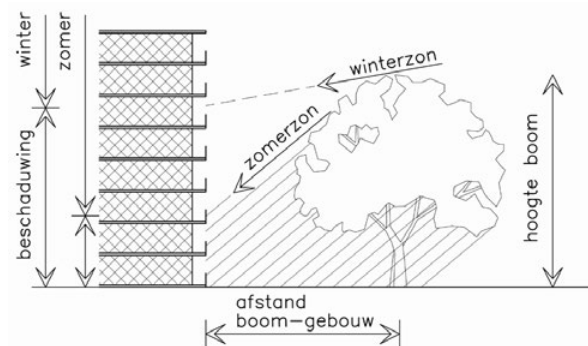


FIG. 3.19 Invloed beschaduwung door bomen op een verticaal vlak op een bepaald tijdstip.

Met name bij goed geïsoleerde gebouwen kan zonintreding zorgen voor ongewenste temperatuuroverschrijdingen (oververhitting) van de woning. In de zomerperiode kan de horizontale vroege morgenzon vanuit het noordoosten de woning al (ongewenst) vroeg opwarmen. Bepantingen/bomen die in de zomer groen zijn kunnen deze ongewenste instraling voorkomen. In de winterperiode schijnt de vroege morgenzon vanuit het zuidoosten in en kan dan de woning (gewenst) opwarmen.

De late zomeravondzon kan ook instralen, maar de overlast van lange temperatuuroverschrijdingen is minimaal. Daarbij kan een teveel aan ingestraalde energie door zomernachtventilatie weggeventileerd worden uit de woning.

De hoge zomerzon kan tegen gehouden worden door middel van een overstek met een bepaalde maat boven de glaskozijnen. Winterzon wordt door het overstek niet belemmerd en kan instralen.

Het gewenste instralen van de zon op geveleppervlakken met PV-panelen voor opwekking van duurzame energie verhoudt zich niet met het ongewenste instralen van de zon in de woning met als gevolg oververhitting in de zomerperiode.

De beschaduwing door objecten zoals bomen geven plaatselijk met de stand van de zon mee bewegende beschaduwing. Voor het overige deel dus geen beschaduwing.

In plaats van bomen in de gebouwde omgeving voor het (gedeeltelijk) belemmeren van zonstraling in woningen door beschaduwing kunnen draaibare PV-lamellen met een bepaalde mate van transparantie aangebracht worden, zeker voor de appartementen die zich buiten de invloed van bomen bevinden, zie Figuur 3.20. Bij toepassing van de lamellen kan het contact met de situatie behouden blijven. De stand van de lamellen kan vast zijn of instelbaar. Bij een instelbare stand kunnen de lamellen in elevatie optimaal op de zon gericht worden, al dan niet aanpasbaar door de bewoner. Bij een vaste stand is voldoende daglichttoetreding in een verblijfsruimte wel een voorwaarde.

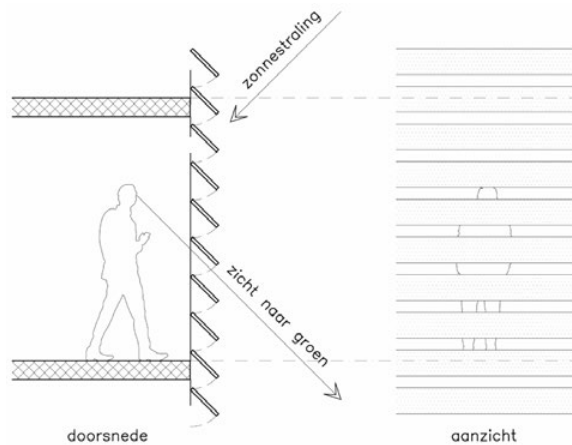


FIG. 3.20 Belemmering ongewenste zonstraling met behulp van PV-lamellen.

Integrated/Added, Photovoltaic/Thermal modules

Een PV-module is een element met PV-cellen die gezamenlijk elektrische energie opwekken. PV-modules kunnen op twee wijzen in de architectuur van een gebouw verwerkt worden: building integrated photovoltaics (BIPV) en building applied photovoltaics (BAPV). BIPV vervangt de conventionele gebouwschil en genereert elektrische energie. BAPV wordt tegen of op een bestaande gebouwschil aangebracht en genereert elektrische energie. De parameters voor architectonische integratie van PV-technologie zijn de esthetische mogelijkheden, architectonische functies, PV-technologie, veiligheidscondities, bevestigingsstructuur en potentiële applicaties zoals dak of façade (Cerón, Caamaño-Martín, & Neila, 2013, pp. 127-128).

Photovoltaic/thermal (PVT) modules zijn modules die naast elektrische energie ook thermische energie opwekken, dit kan ook in de vorm van concentrating PVT (CPVT) en building integrated PVT (BIPVT). Building-integrated solar thermal (BIST) of building-added solar thermal (BA Solar Thermal) modules zijn modules die alleen thermische energie opwekken (Lamnatou, Mondol, Chemisana, & Maurer, 2015).

Zie bijlage 5 voor meer aspecten van Integrated/Added, Photovoltaic/Thermal modules.

Criteria voor PV-integratie

Aspecten voor het integreren van PV in bestaande hoogbouw zijn volgens Kosorić, Lau, Tablada en Lau (2018) energieprestatie, kosten, functionaliteit, ruimtelijk/stedelijk, bouwkunde en constructie, esthetisch, sociaal, psychologisch, omgeving en cultureel.

- Om tot ontwerpdoelen te komen analyseren Kosorić, Lau, Tablada en Lau (2018) de omgeving en het gebouw. Analyse van de omgeving van het gebouw bestaat uit drie onderdelen:
 - 1 Beschaduwning vanwege de context (naastgelegen gebouwen of objecten, bomen en vegetatie).
 - 2 Historische, architectonische of culturele waarden van de locatie.
 - 3 Architectuur van de gebouwen in de directe omgeving.

- Analyse van het gebouw bestaat uit 13 onderdelen:
 - 1 Oriëntatie van de gebouwschiloppervlakken (geveloppervlakken en dakoppervlakken).
 - 2 Hellingshoek van de gebouwschiloppervlakken (geveloppervlakken en dakoppervlakken).
 - 3 Beschaduwning door het gebouw zelf.
 - 4 Hoogte van het gebouw, aantal lagen zonder beschaduwning.
 - 5 Functionele analyse en identificatie van gunstige/geschikte gevel- of dakgebieden voor integratie PV.
 - 6 Gunstige gebouwschil delen/oppervlakken (m²).
 - 7 Esthetische aspecten, visueel dominante delen van de gebouwschil.
 - 8 Mogelijkheden of gemak voor bevestiging van PV op dak op gevelconstructie (conditie van de bouwstructuur, draagvermogen van het dak en PV-gewicht op het dak).
 - 9 Gemak van montage, demontage en onderhoud van PV (bereikbaar voor bewoner en voor onderhoud).
 - 10 Elektriciteitsvraag van het gebouw.
 - 11 Capaciteit van het gebouw (aantal appartementen).
 - 12 Leeftijd van het gebouw.
 - 13 Identificatie van behoeften of vereisten van het gebouw of van de gebruikers (energieproductie van hernieuwbare bronnen, verbetering van thermisch comfort, verbetering van esthetiek, ...).
- (Kosorić, Lau, Tablada, & Lau, 2018, p. 76)

Kosorić, Lau, Tablada en Lau hebben twee categorieën van criteria gedefinieerd om varianten van PV-integratie te evalueren: architectonische waarden en technisch-economische prestaties. Architectonische waarden bestaan uit functioneel-constructieve kwaliteiten en esthetische kwaliteiten. Technisch-economische prestaties bestaan uit energieprestatie en financiële aspecten. Tabel 3.9 toont de door hen gevonden individuele criteria. (Kosorić, Lau, Tablada, & Lau, 2018, p. 79)

TABEL 3.9 Criteria voor evaluatie PV-integratie. Gedeeltelijk overgenomen uit *General model of photovoltaic (PV) integration into existing public high-rise residential buildings in Singapore – challenges and benefits* (p. 79) door V. Kosorić, S. Lau, A. Tablada en S.S. Lau, 2018.

Categorie	Funcatiegroepen	Criteria
Architectonische waarden	Functioneel-constructieve kwaliteiten	Functionele toevoeging aan het gebouw
		Toegankelijkheid voor bewoners
		Complexiteit van de vereiste interventies en gemak van installatie
		Robuustheid/fysiek-mechanische kwaliteit
	Esthetische kwaliteiten	Compatibiliteit van positie en oppervlak van PV-modules in relatie tot de gebouwschil
		Compatibiliteit van vorm, kleur en materiaal van PV-panelen in relatie tot de gebouwschil
		Algemene esthetiek (succes van algemeen ontwerp in relatie tot het gebouw en de omgeving)
Motiverende effecten op bewoners		
Technisch-economische prestaties	Energieprestatie	Elektriciteit-opwekking per jaar
	Financiële aspecten	Totale investering
		Operationele- en onderhoudskosten

Zonne-energie en systeemgrenzen

In Tabel 3.10 zijn voor verschillende systeemgrenzen de mogelijkheden voor zonne-energie aangegeven.

TABEL 3.10 Toepassing van elektriciteit uit zonne-energie per systeemgrens.

Systeemgrens	Zonne-energie (elektriciteit)
Gebouw	BIPV/BIPVT/BAPV eigen gebouw
Directe omgeving	BIPV/BAPV andere gebouwen
Wijk	Kleinschalig zonnepark
Stad	Grootschalig zonnepark
Landsdeel	-

Na einde levensduur door defect of (te) weinig opwek van elektrische energie van PV-modules kunnen deze modules mogelijk hergebruikt worden in een andere toepassing. Aannemelijker is echter dat de modules in grote hoeveelheden gerecycled worden. Fabrikanten van de pv-modules zouden deze moeten recyclen voor commerciële terugwinning van materialen hieruit (Chowdhury et al., 2020).

Windenergie

Nederland kent een lange historie van opwekken van energie vanuit wind. Complexe werktuigbouwachtige houten molenconstructies met daarop afgestemd materiaalgebruik in combinatie met vakmanschap hebben geleid tot de beroemde Hollandse molens. Deze molens stonden vaak aan de rand van een dorp of een stad zonder belemmering door de gebouwde omgeving of beplantingen. “In de Zaanstreek, het oudste industriegebied van West-Europa, waren ooit tegelijkertijd zo’n zeshonderd windmolens actief. Dit was een direct gevolg van de handel in de Hollandse Gouden Eeuw (17e eeuw)” (Zaanse Schans, 2016).

Landheren waren tot het eind van de 18^e eeuw eigenaar van de wind. Een jaarlijkse windpacht voor recht van vrije wind leidde tot een vergunning om de molen te laten draaien, het zogenaamde windrecht. Na afschaffing van de ‘heerlijke rechten’ in 1798 werden verordeningen of keuren uitgevaardigd om de windtoetreding te waarborgen. In huidige bestemmingsplannen worden molenbeschermingszones opgenomen met regels voor maximale hoogte van aanliggende bebouwingen en beplantingen (molenbiotoop). (De Hollandsche Molen, z.d.) Traditionele molens komen ook voor in stedelijke gebieden. Om toch voldoende windvang te hebben zijn de molens verhoogd ten opzichte van de omliggende bebouwing, voorzien van een houten omloop (stelling).

Een voorbeeld van een traditioneel uitzijnde molen die elektriciteit oplevert is de Noletmolen te Schiedam (zie Figuur 3.21). De volautomatische molen is in feite een moderne windturbine, vermomd als traditionele molen. De wieken hebben een modern aerodynamisch profiel, ontworpen door Gerard van Bussel van TU Delft, voorzien van een hekwerk zodat de wieken lijken op klassieke Dekkerwieken. De molenbiotoop van de Noletmolen is goed. (De Hollandsche Molen, z.d.-b; Molendatabase, 2019)

WINDTURBINE: NOLETMOLEN

De hoogste stellingmolen in traditioneel model in Nederland (en ter wereld) is de ultramoderne molen 'De Nolet' aan de Hoofdstraat te Schiedam (zie Figuur 3.21).



FIG. 3.21 Stellingmolen 'De Nolet' te Schiedam. Overgenomen uit *Noletmolen, Schiedam* (database ID 1280) door Molendatabase, 2019 (<https://www.molendatabase.nl/nederland/molen.php?nummer=1280>). Copyright 2011, Jan Puts.

De molen is gebouwd in 2005 en heeft een hoogte van de stelling van 25 meter en een vlucht van de wieken van 29,85 meter. De molen wordt gebruikt om energie op te wekken voor de naastgelegen distilleerderij. Het molenvermogen van 150 kW, het dubbele van een traditionele molen, levert per jaar ca. 250.000 kWh op.

Ter vergelijking: een appartement in een geüpgraded flatgebouw volgens het rekenmodel (zie hoofdstuk 6) gebruikt per jaar 4231 kWh. De opbrengst van de Noletmolen is dus voldoende voor de jaarlijkse gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie van $250.000/4231 = 59,1$ appartementen. Een flatgebouw bestaande uit 8 traveeën met 7 woonlagen (56 appartementen) gebruikt per jaar ca. 237.000 kWh. *De opbrengst van de Noletmolen is voldoende voor de jaarlijkse gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie van een geüpgraded flatgebouw van 8 traveeën en 7 woonlagen zonder gebruik van zonne-energie.*

Stel dat *alleen* het dak van een flatgebouw voor 90 % uit PV-panelen volgens het rekenmodel bestaat, dus geen PV-panelen in de gevels van de flat, dan is de hoeveelheid benodigde gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie voor een flat bestaande uit 8 traveeën en 10 woonlagen (80 appartementen) 338.480 kWh en de hoeveelheid opgewekte energie door de PV-panelen op het dak 123.655 kWh. Het tekort is dan 214.825 kWh wat door de Noletmolen met 250.000 kWh ruim kan worden opgewekt. Bij 11 woonlagen heft dit elkaar op.

Windgebieden in Nederland

In Nederland worden volgens de Nationale bijlage van NEN-EN-1991-1-4 drie windgebieden onderscheiden, zie Figuur 3.22 (Normcommissie 351 001, 2011a).

In de kustgebieden is de windsnelheid en stuwdruk hoger dan in het binnenland.

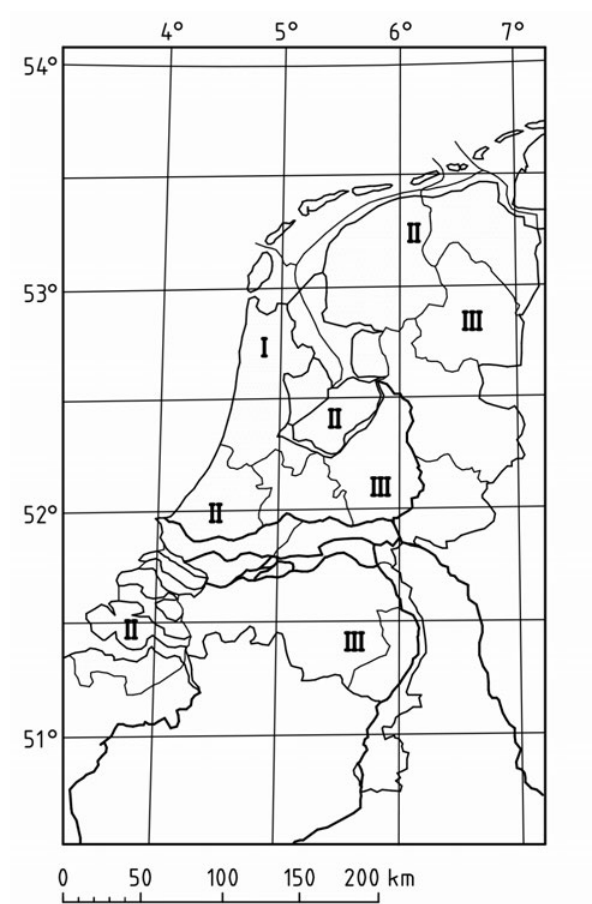


FIG. 3.22 Indeling van Nederland in windgebieden. Overgenomen uit Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies – deel 1-4: Algemene belastingen – windbelasting (p. 4) door Normcommissie 351 001, 2011a. Copyright 2011, Nederlands Normalisatie-instituut.

De fundamentele waarden van de basiswindsnelheid behorende bij deze windgebieden bedragen 29,5, 27,0 resp. 24,5 m/s.

Sinds de komst van NEN-EN 1991-1-4 is er sprake van 5 terreincategorieën. Een terreincategorie is een categorisering van de ruwheid van de omgeving van een bouwwerk met bepaalde terreinparameters (ruwheid en minimale hoogte). De ruwheid heeft invloed op de gemiddelde windsnelheid op de locatie. Hoe hoger de terreincategorie des te hoger de waarde van de ruwheid van de omgeving van een bouwwerk.

Terreincategorie 0 betreft zee of kustgebied met wind aanstromend over zee (zie Figuur 3.23).

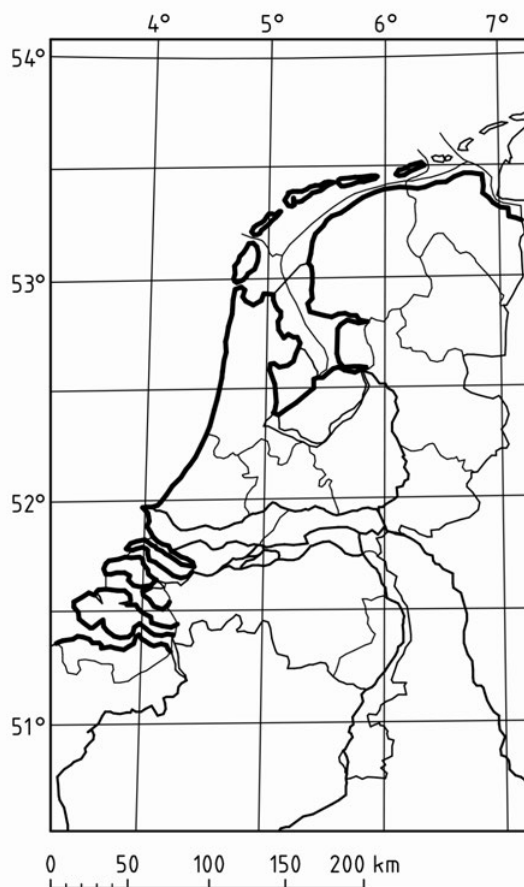


FIG. 3.23 Mogelijke locaties met terreincategorie 0. Overgenomen uit *Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies – deel 1-4: Algemene belastingen – windbelasting* (p. 8) door Normcommissie 351 001, 2011. Copyright 2011, Nederlands Normalisatie-instituut.

Terreincategorie I: meren of vlak en horizontaal gebied met verwaarloosbare vegetatie en zonder obstakels.

Terreincategorie II: Gebied met lage begroeiing als gras en vrijstaande obstakels (bomen, gebouwen) met een tussenruimte van ten minste 20 obstakelhoogtes.

Terreincategorie III: Gebied met regelmatige begroeiing of gebouwen of geïsoleerde obstakels met tussenruimte van ten hoogste 20 obstakelhoogtes (zoals dorpen, voorstedelijk terrein, blijvend bos).

Terreincategorie IV: Gebied waar ten minste 15 % van de oppervlakte is bedekt met gebouwen met een gemiddelde hoogte boven 15 m.

Extreme stuwdruk op gebouwen is door de NEN-EN 1991-1-4 aangegeven als functie van de hoogte. Voor flatgebouwen geldt dat de hoogte van een gebouw is opgebouwd uit een plint met een verdiepingshoogte van 2,60 m en een aantal woonverdiepingen met een verdiepingshoogte van 2,80 m met een dakafwerking. Hierdoor ontstaat de gebouwhoogte die op hele meters wordt afgerond. In combinatie met de 4 windgebieden en 2 kustgebieden worden hiermee de extreme stuwdrukken bepaald (zie Tabel 3.11 en Figuur 3.24). Voor een flatgebouw met 12 woonlagen in windgebied I kust ten opzichte van windgebied I bebouwd is de stuwdruk aan de kust ca. 35 % hoger. Het verschil tussen een flat met 12 woonlagen en een flat met 4 woonlagen in windgebied I aan de kust bedraagt ca. 16 %. Het verschil tussen een flat met 12 woonlagen en een flat met 4 woonlagen in windgebied I, niet aan de kust, bedraagt ca. 29 %.

TABEL 3.11 Door wind veroorzaakte extreme stuwdruk als functie van de hoogte. Opgesteld volgens data van *Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies - deel 1-4: Algemene belastingen - windbelasting* (p. 10) door Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies", 2011a. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

gebouwhoogte		door wind veroorzaakte extreme waarde van de stuwdruk							
aantal woonlagen	afgeronde gebouwhoogte met plint [m]	gebied I (kust) [kN/m ²]	gebied I (bebouwd) [kN/m ²]	gebied II (kust) [kN/m ²]	gebied II (bebouwd) [kN/m ²]	gebied III (bebouwd) [kN/m ²]	gebied I kust vs. gebied I bebouwd	gebied II kust vs. gebied II bebouwd	gebied I bebouwd vs. gebied III bebouwd
4	14	1,68	0,93	1,41	0,78	0,64	45 %	45 %	31 %
6	19	1,78	1,05	1,49	0,88	0,72	41 %	41 %	31 %
8	25	1,88	1,16	1,57	0,97	0,80	38 %	38 %	31 %
10	31	1,95	1,24	1,64	1,04	0,86	36 %	37 %	31 %
12	36	2,01	1,31	1,68	1,10	0,90	35 %	35 %	31 %
4 vs. 12 woonlagen		16 %	29 %	16 %	29 %	29 %			

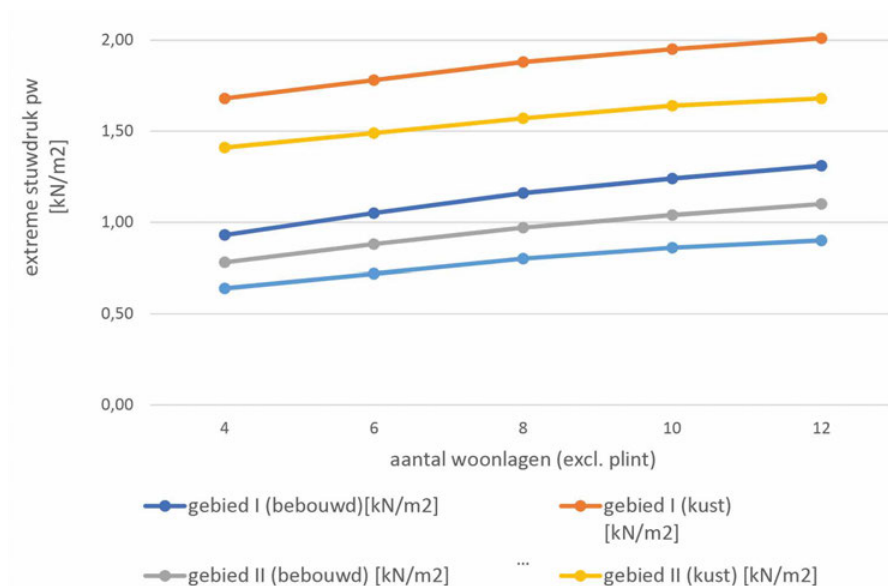


FIG. 3.24 Door wind veroorzaakte extreme waarde van de stuwdruk als functie van het aantal woonlagen boven het aansluitende terrein. Opgesteld volgens data van *Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies - deel 1-4: Algemene belastingen - windbelasting* (p. 10) door Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies", 2011a. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

Conclusie uit de windgebieden en extreme stuwdrukken is dat voor het oogsten van windenergie in de gebouwde omgeving de hoogte van het gebouw en de locatie in een windgebied, al dan niet aan de kust, van grote invloed is.

Het oogsten van windenergie in de gebouwde omgeving door kleine windturbines is volgens KC, Whale en Urmee (2019) complex vanwege optredende wervelingen in de wind die zorgen voor vibraties en ongelijke krachten op de windturbine en lagere windsnelheden die prestaties van de windturbines beïnvloeden. Er zijn nog geen goede windmodellen beschikbaar in de internationale ontwerpregels voor kleine windturbines (IEC 41400-2) voor toepassing in de gebouwde omgeving. (KC, Whale, & Urmee, 2019).

Objecten, zoals de gebouwde omgeving, zorgen voor turbulentie in de luchtstroom. In Figuur 3.25 is de turbulentie aangegeven. Aan de grond is de windsnelheid laag door wrijving. Het turbulentiegebied strekt zich indicatief uit tot een hoogte van ca. twee keer de gebouwhoogte, een 'upwind' gebied voor het gebouw van ca. twee keer de gebouwhoogte en een 'downwind' gebied van ca. 15 tot 20 keer de gebouwhoogte (Suchada, 2012).

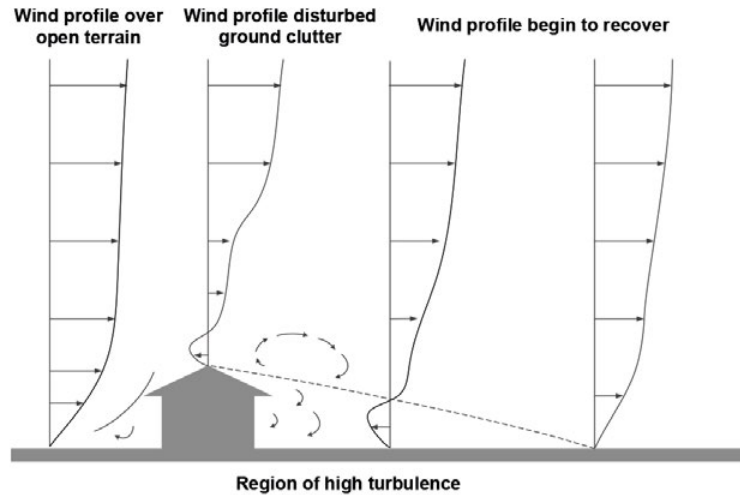


FIG. 3.25 Gebied met hoge turbulentie. Overgenomen uit *Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review* (p. 270) door A. KC, J. Whale en T. Urmeë, 2019. Copyright 2012, Suchada.

Mertens (2006) onderscheidt drie verschillende basisprincipes van gebouwen die wind concentreren: windturbines op het dak of aan de zijkant van een gebouw, windturbines tussen twee vleugelvormige gebouwen en windturbines in gaten door het gebouw. In het geval van upgradering van bestaande hoogbouw flats zijn windturbines tussen twee vleugelvormige gebouwen en windturbines in gaten door het gebouw niet aan de orde, maar windturbines op het dak of aan de zijkant van een gebouw zou mogelijk zijn.

Conversie van windenergie is alleen haalbaar voor hogere windsnelheden. De gebouwde omgeving heeft echter een hoge ruwheid dat zorgt voor lagere windsnelheden. Volgens Mertens is de combinatie van conversie van windenergie en gebouwde omgeving niet optimaal vanuit energieoogpunt gezien. Ook ziet Mertens mogelijke overlast van windenergie in de gebouwde omgeving door geluid, trillingen, schaduwflikkeringen door windturbines en veiligheid in het geval van disfunctioneren. De ruwheid van de omgeving bepaalt de horizontale windsnelheid, zie Figuur 3.26. In deze figuur is 'Roughness 1' een lage ruwheid en 'roughness 2' een hoge ruwheid ten gevolge van bebouwing. (Mertens, 2006)

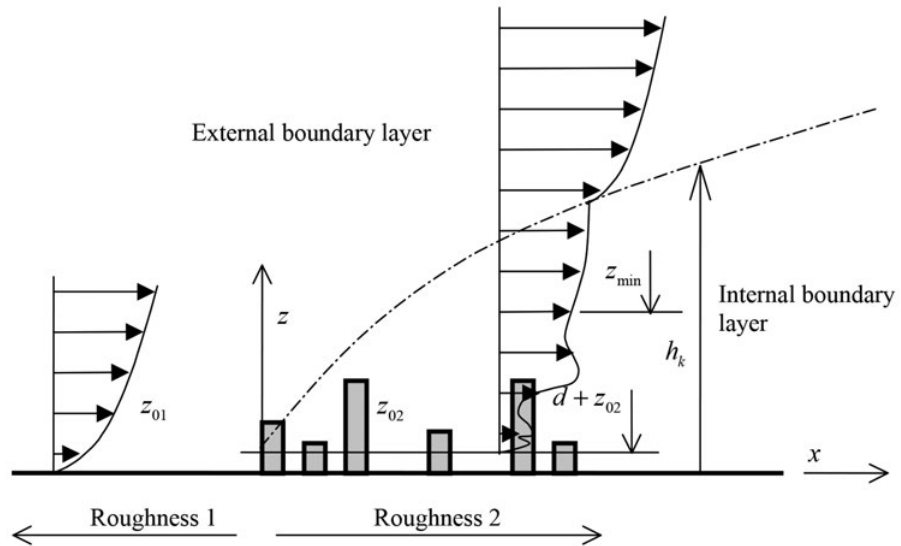


FIG. 3.26 Sketch of a boundary layer profile change due to a step in roughness height. Overgenomen uit *Wind energy in the built environment: Concentrator effects of buildings* (p. 19) door S. Mertens, 2006. Copyright 2012, Technische Universiteit Delft.

Bij een scherpe rand van het dak van een gebouw vormen zich wervelingen en recirculatie van de luchtstroom wat nadelig is voor het plaatsen van een windturbine, zie Figuur 3.27. De hoek van de opgaande wind ('skew angle') varieert onder andere met de positie op het dak, de ruwheid van de omgeving en de afmetingen van het gebouw. (Mertens, 2006, pp. 33-34)

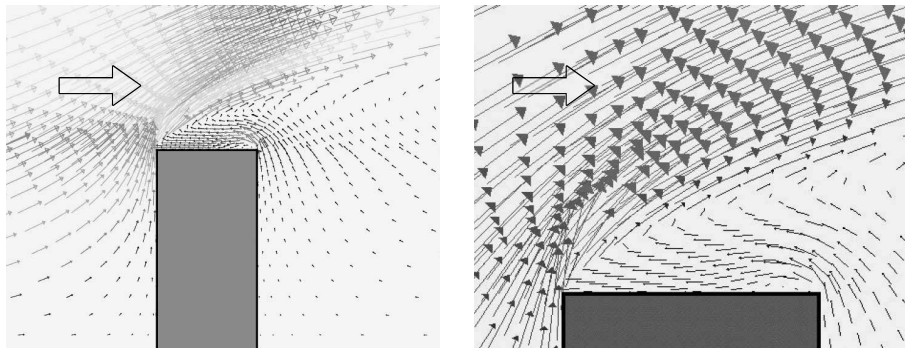


FIG. 3.27 CFD calculation of the velocity vectors around a 2D building (left) and zoomed in at the roof (right). Overgenomen uit *Wind energy in the built environment: Concentrator effects of buildings* (p. 33) door S. Mertens (2006).

Mertens adviseert windturbines, zoals een HAWT of een H-Darrieus, in de 'skewed flow' te plaatsen zoals in Figuur 3.28 is aangegeven.

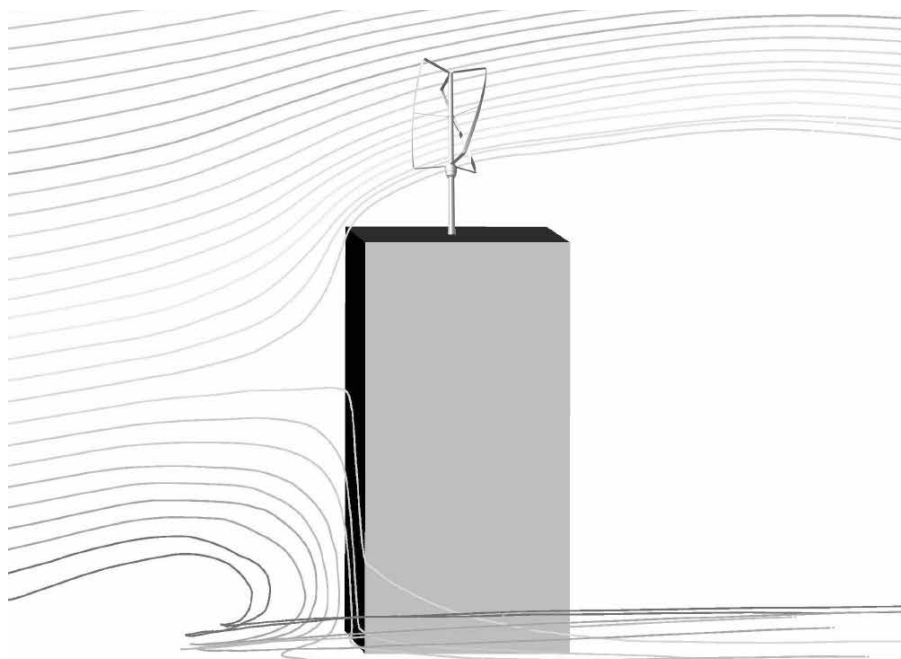
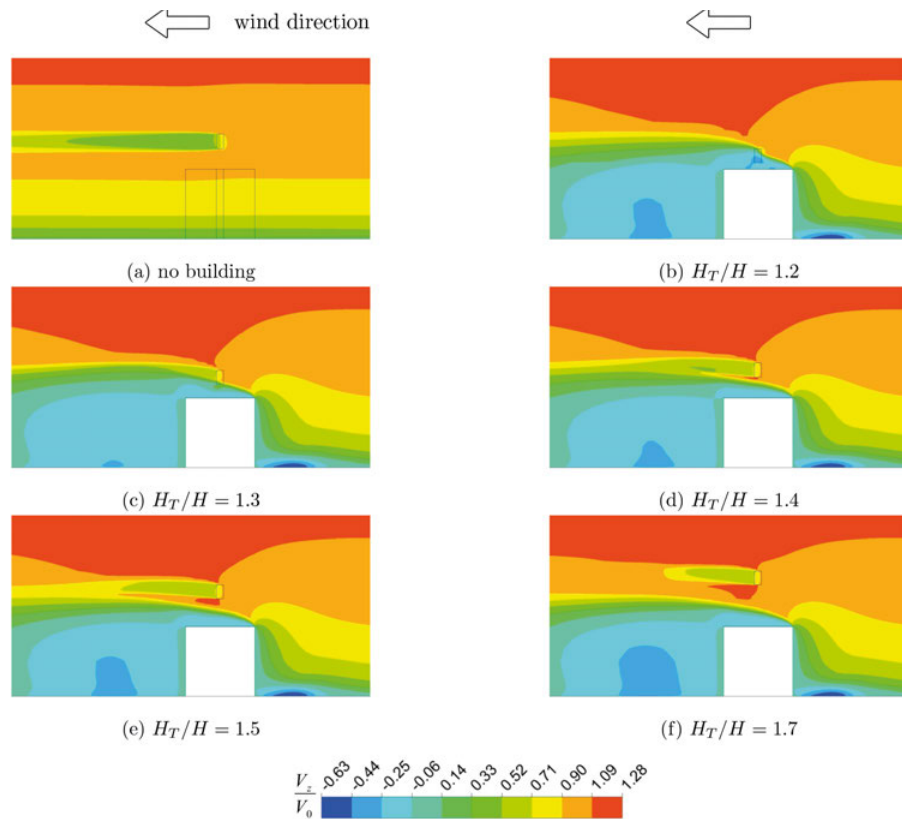


FIG. 3.28 An H-Darrieus (Turby) in the flow above the recirculation region of the roof (streamlines found by a CFD calculation). Overgenomen uit *Wind energy in the built environment: Concentrator effects of buildings* (p. 74) door Mertens (2006).

Het onderzoek 'The influence of a cubic building on a roof mounted wind turbine' door Micallef, Sant en Simao Ferreira (2016) concludeert dat het opwekken van energie uit wind door kleine windturbines afhankelijk is van de turbinehoogte boven het dakoppervlak van een gebouw en van de invloed van het gebouw zelf. Hoe hoger de turbinehoogte boven het dakvlak, des te meer gebruik kan worden gemaakt van hogere windsnelheden die in hogere luchtlagen aanwezig zijn. De minimale turbinehoogte, voordat de energieopbrengst dramatisch omlaaggaat, is niet alleen afhankelijk van de separatiezone (de scheiding van de zone boven het dakvlak met de heersende luchtstromen) boven het dakvlak, maar ook afhankelijk van de aanwezigheid van de hoogte van het onderliggende rechthoekige gebouw. De bovenzijde van de separatiezone bevindt zich ongeveer op $1,3 \times$ gebouwhoogte. Bij een turbinehoogte/gebouwhoogte van $1,4$ is geen invloed meer van de separatiezone (zie Figuur 3.29). Daarbij is niet de invloed onderzocht van het effect van atmosferische turbulentie, van het effect van andere structuren of gebouwen en van het effect van variërende windrichtingen.



Velocity V_z (in the wind direction) normalized with the reference free stream velocity of 6m/s. The wind direction is from right to left. Results are shown for the isolated turbine at a reference height of 1.4 times the building height and also for the turbine-building configurations with the turbine being at different heights from the roof.

FIG. 3.29 Minimale turbinehoogte boven een dakvlak op een rechthoekig gebouw. Overgenomen met toevoeging van windrichting uit *The influence of a cubic building on a roof mounted wind turbine* (p. 6) door D. Micallef, T. Sant en C. Simao Ferreira (2016). Copyright 2016, Journal of Physics: Conference Series.

Integrated Roof Wind Energy System

Suma, Ferraro, Dano en Moonen (2012) hebben een Integrated Roof Wind Energy System (IRWES) met een verticale windturbine ontwikkeld. Het systeem wordt op een hoogbouw plat dak geplaatst. Inkomende wind wordt via het Venturi principe versneld naar de turbine geleid (zie Figuur 3.30).

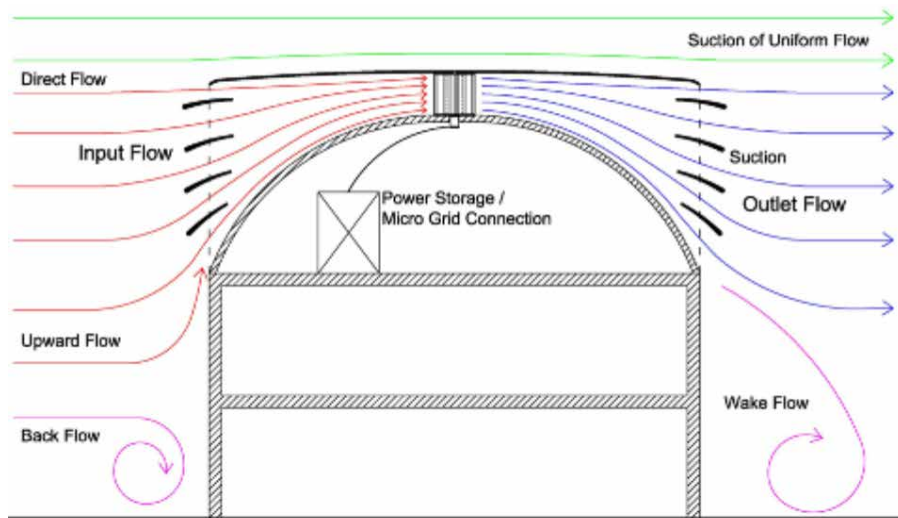


FIG. 3.30 IRWES conceptual design section with flattened dome shaped roof. Overgenomen uit *Integrated roof wind energy system* (p. 03002:3) door A.B. Suma, Ferraro, B. Dano en S.P.G. Moonen, 2012.

In 2016 wordt dit principe (PowerNEST) geëvalueerd. Doel is om de winden met lage snelheid te accelereren voor betere energieopbrengsten. Er wordt een gemiddelde acceleratie met een factor 1,4 en bij hoge gebouwen een factor 1,7 vastgesteld (Patankar, Tyagi, Kiss, & Suma, 2016).

De opbrengst van PowerNEST 1.0, geplaatst op een 30 meter hoog gebouw, is volgens IBISpower 270-610 kWh/m²/jaar, afhankelijk van de windlocatie. PowerNEST2.0 heeft een opbrengst van 280-385 kWh/m²/jaar. Reguliere PV heeft ter vergelijking een opbrengst van 120 kWh/m²/jaar. Voorwaarden zijn hierbij plaatsing op een gebouw van minimaal 5 lagen hoog en maximaal 50 km vanuit de kust (IBISpower, z.d.). Onduidelijk is wat de opbrengst uit windenergie is en wat de opbrengst is uit welk type en kwaliteit PV wat als dak op de PowerNEST is uitgevoerd. In 2017 wordt een testopstelling van het PowerNEST principe geplaatst op een plat dak van een 10-laagse hoogbouwflat aan de Henriëttedreef in Utrecht (zie ook Hoofdstuk 4).

Typen gebouwgebonden windturbines

Volgens Haase en Löffström (2015) hebben grote windturbines (Large Wind Turbines, LWT) een vermogen van meer dan 100 kW. Kleine windturbines (Small Wind Turbines, SWT) hebben een vermogen tussen 10 kW en 100 kW en micro windturbines (MWT) hebben een vermogen kleiner dan 10 kW.

Building Integrated Wind Turbine

Er zijn twee conventionele mogelijkheden voor een Building Integrated Wind Turbine (BIWT) in een hoogbouw situatie (Park, Jung, Lee, & Park, 2015). De eerste is het aanbrengen van een of meerdere windturbines van grote afmetingen. Deze kunnen drie locaties hebben: op het dak, tussen twee gebouwen en in een gat in het gebouw (zie Figuur 3.31a). Kleinere windturbines kunnen plaats hebben op het dak of aan de zijkant van een gebouw (zie Figuur 3.31b).

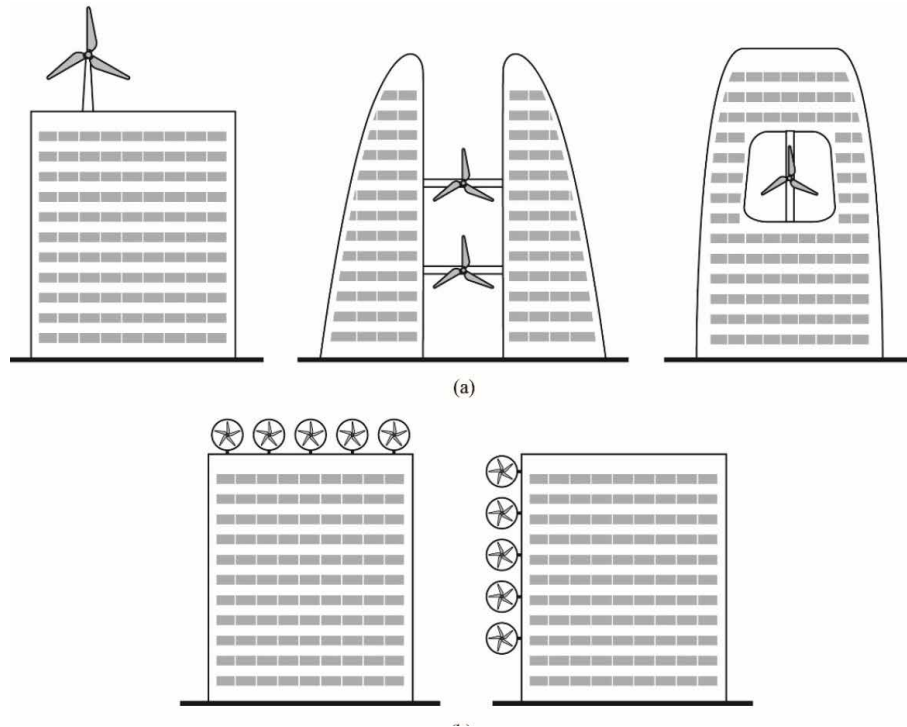


FIG. 3.31 Building-integrated wind turbine system using wind turbines: (a) three possible installation locations of large-size wind turbines; and (b) two possible installation locations of small-size wind turbines. Overgenomen uit *A new building-integrated wind turbine system utilizing the building* (p. 11848) door J. Park, H. Jung, S. Lee en J. Park, 2015.

Daarnaast hebben Park, Jung, Lee en Park een gevelmodule ontwikkeld met kleine windturbines met een diameter van ca. 300 mm, zie Figuur 3.32 en Figuur 3.33.

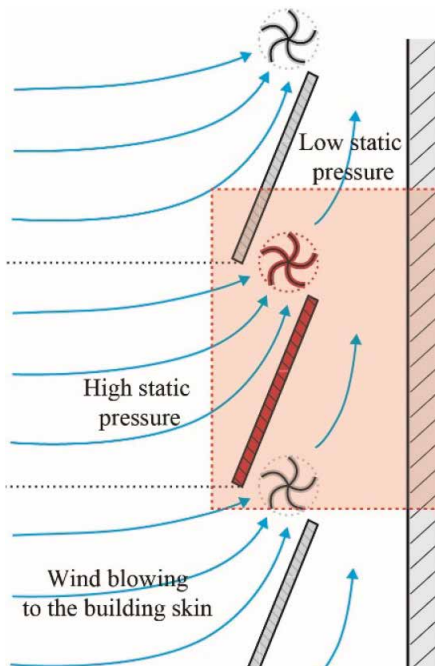


FIG. 3.32 Schematische weergave BIWT-module. Afbeelding overgenomen uit *A new building-integrated wind turbine system utilizing the building* (p. 11849) door J. Park, H. Jung, S. Lee en J. Park, 2015. Copyright 2015, Energies.

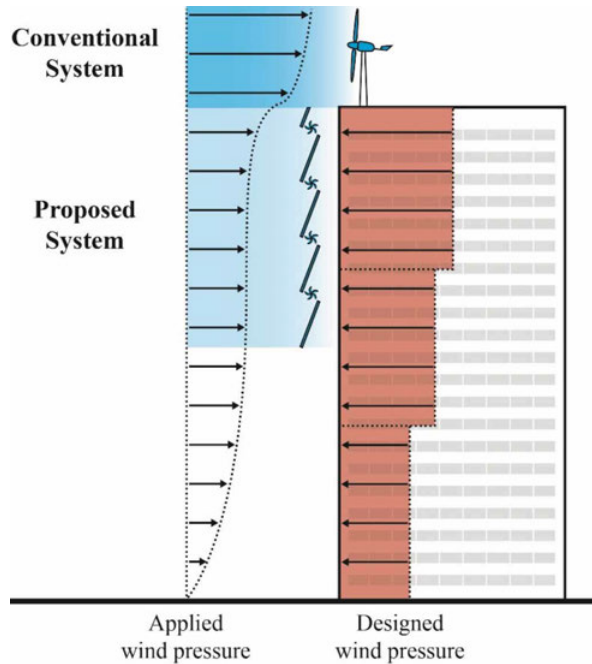


FIG. 3.33 Structural aspect of the BIWT-module. Afbeelding overgenomen uit *A new building-integrated wind turbine system utilizing the building* (p. 11851) door J. Park, H. Jung, S. Lee en J. Park, 2015. Copyright 2015, Energies.

Vereisten voor een windturbine in stedelijke gebieden zijn volgens Arora (2016):

- Hoge efficiëntie voor conversie en lage initiële kosten
- Goede prestaties in complexe winden, wind neemt vaak de weg met de laagste weerstand
- Veilige operationalisatie in stedelijke omgevingen
- Lage geluidsniveau
- Simpel, robuust systeem
- Minimaal onderhoud
- Esthetische verschijning

Een eigenschap van wind is dat de opgewekte elektrische energie hieruit variabel is, afhankelijk van windsnelheden, belemmeringen en locatie. Als deze elektrische energie wordt toegepast voor bijvoorbeeld elektrische verwarming van woningen, dan is het noodzakelijk dat deze energie aanwezig is ten tijde van de energievraag. Vaak is er geen goede match in tijd tussen opgewekte energie en gebruikte energie.

Daarom is een opslag van deze elektrische energie nodig. Bij opslag van energie treden opslagverliezen op die extra opgewekt moeten worden voor een netto resultaat.

Windenergie en systeemgrenzen

In Tabel 3.12 zijn voor verschillende systeemgrenzen de mogelijkheden voor windenergie aangegeven.

TABEL 3.12 Toepassing van elektriciteit uit windenergie per systeemgrens.

Systeemgrens	Windenergie (elektriciteit)
Gebouw	Kleinschalige gebouwgebonden windturbine (kustgebied)
Directe omgeving	Kleinschalige niet-gebouwgebonden windturbine (kustgebied)
Wijk	Windturbine
Stad	Kleinschalig windturbinepark
Landsdeel	Grootschalig windturbinepark (kustgebieden)

Bijlage 6 geeft een nader overzicht over gebouw gerelateerde windenergie.

3.6.7 Opslagsystemen

Inleiding

Duurzame energie die voor gebouwen wordt opgewekt uit de stralingsenergie van de zon bestaat uit elektrische energie en warmte.

Opslag van energie kan zorgen voor het uitvlakken van variaties in energievraag en energieaanbod door variabele hernieuwbare energiebronnen, zoals zonne- en windenergie. De flexibiliteit van het energiesysteem verbetert hierdoor. Het oogsten van energie en het gebruik daarvan geschiedt vaak niet op dezelfde plaats en niet op de juiste tijd voor de eindgebruiker. Opslagmethoden kunnen energie opslaan voor kortere of langere tijd waardoor de benodigde opwekking van energie efficiënter kan verlopen.

Energie die opgeslagen kan worden is elektrische energie en warmte. Opslag van elektrische energie kan op chemische of elektrochemische, mechanische, elektrische of thermische wijze plaatsvinden. Warmteopslag kan actief geschieden in bijvoorbeeld water, al dan niet ondergronds. Passief kan warmte opgeslagen worden in de constructie van een gebouw. Deze paragraaf geeft hiervan een overzicht met voorbeelden.

Opslag elektrische energie

Opslag van elektrische energie kan op een chemische of elektrochemische, mechanische, elektrische of thermische wijze plaatsvinden (Ould Amrouche, Rekioua, Rekioua, & Bacha, 2016).

Elektrische energie kan worden opgeslagen in diverse systemen, afhankelijk van de tijdsduur van opslag, de spanning (V) en het vermogen (W) van de opslag. Bij netgekoppelde systemen kan elektrische energie in het net worden opgeslagen en uit het net worden gebruikt (saldering). Daarbij wordt echter niet gekeken hoeveel primaire energie aan de bron nodig is om de elektrische energie weer te leveren. Primaire energie is volgens NTA 8800 de energie die nodig is aan de bron om het uiteindelijk energiegebruik te dekken of “energie die niet is onderworpen aan enig conversie- of transformatieproces” (Normcommissie 351 074, 2019, p. 41). De primaire energiefactor is “de conversiefactor per energiedrager waarmee de berekende hoeveelheid energie ‘op de meter’ omgerekend wordt naar primaire energie” (Normcommissie 351 074, 2019, p. 41). De primaire energiefactor voor fossiel energiegebruik van een gebouw is voor de energiedrager elektriciteit vastgesteld op de waarde 1,45 voor aangeleverde energie, op eigen perceel gebruikte zelfgeproduceerde energie en geëxporteerde energie. Voor de energiedrager aardgas bedraagt de primaire energiefactor voor aangeleverde energie 1,0 (Normcommissie 351 074, 2019, p. 89). Voor gebiedsmaatregelen bedraagt de primaire energiefactor van de energiedrager elektriciteit 2,14 en van aardgas 1,0 (Normcommissie 351 074, 2017, p. 101).

Het opslaan van elektrische energie voor een woning heeft diverse redenen:

- Duurzaam opgewekte energie is op de juiste tijd (voor een kortere of langere tijd) en op de juiste plaats beschikbaar voor eigen gebruik bij niet-netgekoppelde systemen.
- De opgeslagen elektrische energie kan als back-up worden gebruikt bij uitval van een energievoorziening.
- Het gebruik van elektrische energie vanuit een grid met variabele energieprijzen, afhankelijk van het uur van de dag en van het jaargetijde, kan geoptimaliseerd worden door het gebruiken of ontladen van de accu op piekmomenten wanneer de energieprijzen hoog zijn (On peak, zoals overdag) en opladen op momenten waarbij de energievraag minder is en daardoor lagere energieprijzen (Off peak, zoals 's nachts).
- Voorkomen van bijbetaling bij het overschrijden van een maximum overeengekomen piekenergiegebruik. Het gebruik hierboven kan door de batterij opgevangen worden. (Aquion, 2018).

Opslag van elektrische energie in batterijen kan dienst doen om pieken af te vlakken in het eigen gebruik, om voor een betere balans in het net te zorgen of om in perioden van goedkope stroom deze te kunnen opslaan. Door het afvlakken van pieken in energiegebruik voor eigen gebruik kunnen de netbeheerskosten minder worden door een lagere aansluitwaarde met de financiële voordelen daaraan. Een batterijsysteem gekoppeld aan het net kan zorgen voor minder overbelasting, en daarmee degradatie, van transformatoren. Gedurende korte tijd kunnen batterijsystemen hiervoor vermogen leveren via de APX elektriciteitsmarkt. Ook kan in perioden met goedkope stroom deze stroom ingekocht en opgeslagen worden om deze in perioden met dure stroom te gebruiken. (Iwell, 2019)

Opslag voor elektrische energie kan met de volgende criteria beoordeeld worden: System Life, Maintenance, Partial State of Charge, Temperature Tolerance, Safety, Sustainability, Energy Density, Power Delivery en Installed System Price (Aquion, 2018).

Opslagssystemen voor elektrische energie (Electrical Energy Storage, EES) zijn volgens Energy Storage Association (2018) gecategoriseerd in Solid State Batteries, Flow Batteries, Flywheels, Compressed Air Energy Storage (CAES), Thermal en Pumped Hydro-Power.

Een overzicht van opslagtechnologieën, hun capaciteit en opslagduur is door FME (2017) in kaart gebracht, zie Figuur 3.34.

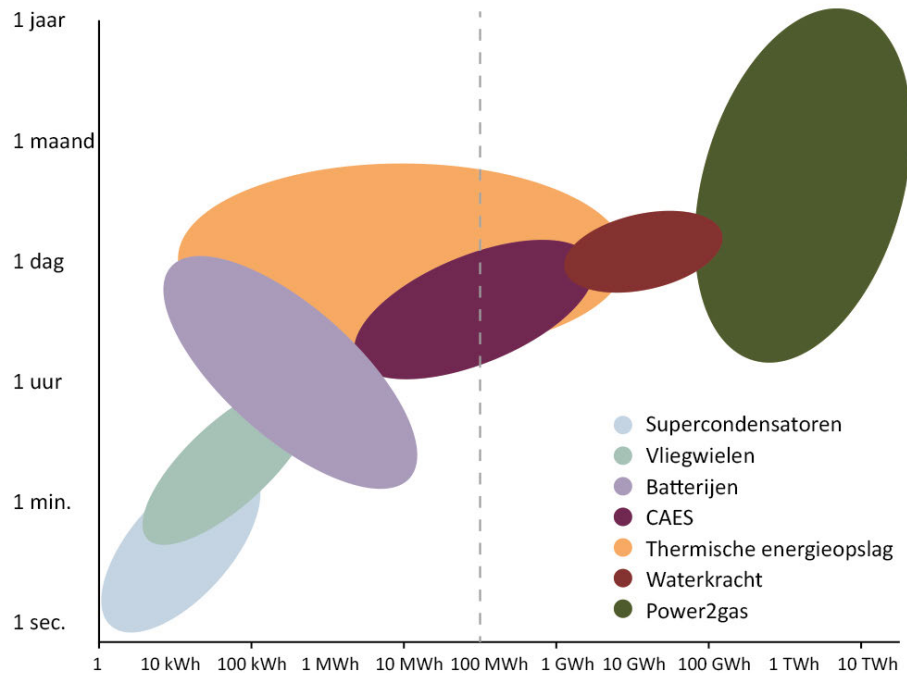


FIG. 3.34 Overzicht van opslagtechnologieën, hun capaciteit en opslagduur. Overgenomen uit *Grootschalige energieopslag* (p. 6) door FME, 2017. Copyright 2015, PWC.

Elektrische energie kan gedistribueerd worden via het conventionele elektriciteitsnet en/of via een smart grid. Een smart grid “intends to include bidirectional communication infrastructure to conventional grids in order to enable information and communication technologies (ICTs) at any stage of generation, transmission, distribution, and even consumption sections of utility grids” (Kabalci, & Kabalci, 2018). Volgens Dileep (2020) is een smart grid “an advanced digital two-way power flow power system capable of self-healing, adaptive, resilient and sustainable with foresight for prediction under different uncertainties”.

Bij net- of smart grid gekoppelde gebouwen kan elektrische energie in het net of smart grid opgeslagen worden en daaruit gehaald worden. Als de koppeling niet aanwezig is, dan zijn energieopslagsystemen per gebouw van belang.

Een overschot van elektrische energie kan worden opgeslagen in oude autoaccu's (zie Bijlage 7 - Opslagsystemen).

Actieve opslag van elektrische energie

Flatgebouwen met meer dan 4 woonlagen kenmerken zich onder andere door een lift als transportsysteem. De liftkoker bevindt zich, afhankelijk van het bouwsysteem, in het bouwblok of los van het bouwblok. Als de lift vernieuwd wordt in combinatie met een verplaatsing naar een andere plek in verband met architectonische wensen, dan kan de voor stabiliteit benodigde oude liftkoker nu voor andere doeleinden worden gebruikt (afhankelijk van maximaal toegestane belastingen in verband met bestaande fundering van de liftschacht).

Om elektrische energie op te slaan voor gebruik later op de dag, week, maand, seizoen zijn diverse opslagsystemen mogelijk. Eén van de mogelijkheden is om elektrische energie om te zetten naar potentiële energie door middel van een gewicht in de liftschacht die naar boven wordt getakeld bij het oogsten van elektrische stroom en het laten dalen van dit gewicht in combinatie met een dynamo om elektrische energie op te wekken. De vraag is of dit een zinvolle opslagmethode voor deze situatie is. Het volgende rekenvoorbeeld geeft hierin uitsluitsel.

Stel: 10.000 kg wordt 30 m omhoog getakeld. Hiervoor is de volgende arbeid nodig:

— Kracht = gewicht x gravitatieversnelling: $F = m \times g$ [N] (1)

— Waarin:

$$F = \text{kracht [N]}$$

$$m = \text{massa [kg]}$$

$$g = \text{gravitatieversnelling} = 9,8 \text{ N/kg}$$

$$F = 10.000 \times 9,8 = 98.000 \text{ N}$$

— Arbeid = kracht x afgelegde hoogte: $W = F \times h$ [J] (2)

— Waarin:

$$W = \text{arbeid [Nm] [J]}$$

$$F = \text{kracht [N]}$$

$$h = \text{hoogte [m]}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$$

$$W = 98.000 \times 30 = 2.940.000 \text{ J} = 2940 \text{ kJ} = 0,82 \text{ kWh}$$

Door een gewicht van 10.000 kg 30 meter omhoog te brengen is 2940 kJ benodigd (waarbij geen rekening is gehouden met extra benodigde energie ten gevolge van wrijving en warmteontwikkeling). Als dit gewicht weer 30 meter omlaag wordt gebracht, dan kan deze potentiële energie aangewend worden om elektrische energie te genereren. Als geen rekening gehouden wordt met energieverlies door wrijving en dergelijke, dan levert dit 0,82 kWh op. Stel dat elektrische energie voor

een tijdsverschuiving van 12 uur opgeslagen wordt, dan betreft dit op jaarbasis $365 \times 0,82 \text{ kWh} = 299,3 \text{ kWh}$. In vergelijking met een flatgebouw met 10 woonlagen en 8 traveeën volgens het rekenmodel (zie Paragraaf 6.2.7) met gebouwgebonden energiegebruik van ca. 257.000 kWh en gebouw- en gebruikersgebonden energiegebruik van ca. 361.360 kWh op jaarbasis staat dit in geen verhouding. Conclusie is dat deze methode geen zinvolle vorm van energieopslag is in deze situatie. Zie voor andere vormen van opslag door het toepassen van kinetische en potentiële energie Bijlage 7 – Opslagsystemen.

Flow-batterij

Een flow-batterij (hydrogen bromine flow battery, HBFB), ook wel Redox-batterij genoemd, werkt met een elektrochemische cel als opslagsysteem (zie Figuur 3.35). In 2018 ontwikkelt Elestor een koppelbare 50kW-module bestaande uit “een membraan met aan een zijde een waterstoftank en aan de andere zijde HBr-vloeistof onder atmosferische druk” (De Hoog, 2018b). Volgens Elestor zijn de kosten van opslag door middel van flowbatterijen 5 eurocent per kWh en blijven daarmee onder de bovengrens van opslag van opgewekte energie van 6 tot 7 eurocent.

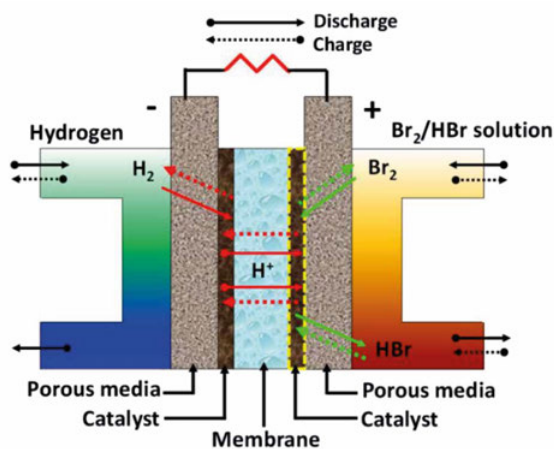


FIG. 3.35 Schematisch diagram van een HBFB-cel. Figuur overgenomen uit *The hydrogen bromine flow battery for a large-scale integration of variable renewable electricity: State-of-the-art review* (p. 3) door Y.A. Hugo, W. Kout en G. Dalessi, 2016. Arnhem: Elestor.

Het Elestor systeem bestaat volgens CEO Guido Dalessi (persoonlijke communicatie, 8 januari 2019) uit een aantal powermodules die het vermogen [kW] leveren en 2 tanks met actieve materialen - waterstof resp. broom - die de capaciteit [kWh] bepalen. Door het combineren van een bepaald aantal powermodules en een bepaald aantal capaciteitsmodules, kan elke willekeurige combinatie van vermogen en

capaciteit gerealiseerd worden. De afmetingen van een compleet systeem worden met name bepaald door de capaciteit, ofwel de volumes van de tanks voor waterstof en broom. De powermodules zijn klein ten opzichte van de tanks, en hebben de afmetingen van een motorblok van een middenklasse auto. Het schakelen van powermodules geeft daarom geen ruimtelijke voordelen.

Een systeem wordt kleiner naarmate de waterstof onder hogere druk gebracht wordt of door een broom oplossing te gebruiken die een maximale concentratie heeft. Comprimeren van waterstof kost echter geld, energie en onderhoud wat ten koste van de overall efficiency van het systeem gaat. Om die reden werkt Elestor daarom bij voorkeur met een waterstofdruk tot 20 Bar, omdat het systeem die druk nog zelf kan opbouwen en dus geen compressor nodig heeft. Daarboven is die compressor wél nodig. Een systeem wordt kleiner door een broom oplossing te gebruiken met een maximale concentratie. Elestor heeft daar echter nog geen grenzen van bepaald.

Vuistregel voor de grootte van een compleet systeem (zonder waterstof compressor) met een capaciteit van ca 1,000 kWh is de grootte van een 40 foot container. Stel dat de cyclus van laden en ontladen 1 dag duurt, dan kan 365.000 kWh elektrische energie op jaarbasis opgeslagen worden, wat globaal overeenkomt met een flatgebouw met 10 woonlagen en 8 traveeën volgens het gebouwmodel (zie Paragraaf 6.2.7) met een gebouw- en gebruikersgebonden energiegebruik van ca. 361.360 kWh. Als de te overbruggen tijden langer moeten zijn, dan zijn meer opslagsystemen nodig. Bij het toepassen van dit soort systemen moeten noodzakelijke veiligheidsmaatregelen in acht genomen worden.

Elektrolyse van water, waterstofopslag

De Zweedse firma Nilsson Energy ontwikkelt het opslagsysteem RE8760 voor elektriciteit dat door middel van elektrolyse van water zorgt voor een opslag van energie in waterstof (Nilsson Energy, z.d.). Bij een elektrische energievraag wordt waterstof in een brandstofcel omgezet naar elektriciteit en warmte. In project Agnesberg te Gotenburg (Zweden) genereren demowoningen ca. 3000 Nm³ waterstof per jaar met behulp van elektriciteit uit zonnepanelen met een vermogen van 23 kWp (MacDermott, 2019). Bij een locatie in Nederland geldt globaal een factor van 0,85 om Wp naar kWh/jaar om te rekenen. Een PV-vermogen van 23.000 Wp betekent dus een opbrengst van $23.000 \times 0,85 = 19.550$ kWh/jaar. In Gotenburg (Zweden) bedraagt de zoninstraling ca. 1,2 % meer dan locatie De Bilt (Nederland) volgens berekeningen met PVGIS. Daar levert 23 kWp dus ca. $19.550 \times 1,012 = 19.784$ kWh/jaar. Voor de generatie van 1 Nm³ waterstof is dus ca. $19.784/3000=6,6$ kWh aan elektriciteit nodig.

Volgens Hans-Olof Nilsson van Nilsson Energy is 5 kWh en 1 liter water benodigd om 1 Nm³ (1 m³ bij 0 °C en een atmosferische druk van 1 bar) waterstof te produceren. 1 Nm³ waterstof levert 3 kWh aan energie op waarvan ca. 50 % elektriciteit en ca. 50 % warm water van 65 ∅. Om 1 kWh elektriciteit uit een brandstofcel te genereren is ca. 3,3 - 4 kWh elektriciteit uit PV-panelen nodig. De efficiëntie van het opslagsysteem voor elektriciteit met behulp van conversie van en naar waterstof is volgens Nilsson ca. 25 - 30 %. Componenten met waterstof hebben een *ATmosphères Explosibles* (ATEX) omgeving nodig. De hoeveelheid opslag van waterstof is afhankelijk van een risico-inventarisatie (persoonlijke communicatie Hans-Olof Nilsson, 12 januari 2019). Het Clear Renewable Energy System van Nilsson Energy gebruikt waterstof voor opslag van energie en een brandstofcel voor het opwekken van elektrische energie.

Opslag warmte

Warmte kan zowel op actieve als op passieve wijze worden opgeslagen. Warmte kan zich verplaatsen door geleiding, convectie en straling van hogere naar lagere energietoestanden. Actief opslaan van energie is het opslaan van energie door middel van een daarvoor bestemd apparaat. Passief opslaan van energie is het direct opslaan van energie ter plaatse van de inkomende energiestroom.

Warmteopslag kan de leemte tussen opwekking en gebruik van warmte overbruggen. Deze opslag kan plaatsvinden door accumulatie in de constructie van het gebouw (gevel, vloeren, wanden), in systeemplafonds, in ventilatiesystemen, in externe zonnegevels, in thermische zonnecollectoren, in thermisch management van PV-systemen en in volumineuze heetwater opslagtanks als seizoensopslag in of buiten het gebouw (Navarro et al., 2016). Daarnaast kan warmte in de bodem worden opgeslagen (WKO). Opslag van warmte (Thermal Energy Storage, TES) kan voor korte of voor langere termijn geschieden. Opslag van warmte kan plaatsvinden door voelbare warmte opslag, warmte opslag met gebruik van faseovergangsmaterialen (PCM) en thermochemische warmte opslag. Bij voelbare warmte opslag wordt gebruik gemaakt van de warmtecapaciteit van het opslagmateriaal. Bij PCM wordt gebruik gemaakt van de faseovergang van materialen bij een bepaalde temperatuur met een grote energiedichtheid. Bij thermochemische opslag wordt energie opgeslagen door endotherme reacties (door scheiden van stoffen) en exotherme reacties (door samenvoegen van stoffen) (Akbari et al., 2018, p. 1; Looman, 2004, p. 14). Een voorbeeld van thermochemische opslag zijn gehydrateerde zouten waarbij inkomende warmte de zouten droogt en waarbij door toevoeging van water weer warmte vrijkomt, zoals de warmtebatterij (TNO, 2017).

Actieve warmteopslag in water

Door het laten verhogen van de temperatuur van water, of door het laten veranderen van fase, door inkomende energie wordt warmte in water opgeslagen. De capaciteit van een materiaal als opslagmedium voor warmte is verbonden aan de soortelijke warmte. De soortelijke warmte (c , in $J/(kg.K)$) is de hoeveelheid warmte (in J) om een 1 kg materiaal 1 graad in temperatuur te laten stijgen. Voor vaste stoffen en vloeistoffen geldt dat de soortelijke warmte bij constant volume of bij constante druk vrijwel aan elkaar gelijk zijn. Voor gassen verschilt de soortelijke warmte bij constante druk van de soortelijke warmte bij een constant volume.

Voor water als vloeistof bedraagt de soortelijke warmte $4186\text{ J}/(\text{kg.K})$.

Toepassing is een thermisch geïsoleerd vat met water waarmee warmte (en koude) kan worden opgeslagen. Voorbeeld is een warmwaterboiler (in kleine afmetingen) of een ondergronds buffervat (in grote afmetingen).

Opslag van energie is ook mogelijk in faseovergangen van stoffen waar relatief meer energie nodig is of vrijkomt ten opzichte van verhogen of verlagen in temperatuur van een stof.

De hoeveelheid warmte die nodig is om van ijs met een temperatuur van 0°C water te maken (latente warmte) bedraagt $334.000\text{ J}/\text{kg}$. De soortelijke warmte van ijs bedraagt $2060\text{ J}/\text{kg.K}$. De latente warmte om van kokend water naar gas over te gaan bedraagt bij een druk van 1 atmosfeer $2.257.000\text{ J}/\text{kg}$. De soortelijke warmte van waterdamp bedraagt bij een constant volume $1410\text{ J}/(\text{kg.K})$ en bij een constante druk $2080\text{ J}/(\text{kg.K})$. In Tabel 3.13 zijn deze waarden samengevat.

TABEL 3.13 Soortelijke warmte en latente warmte van ijs, water en waterdamp.

	Soortelijke warmte bij constant volume in $J/(\text{kg.K})$	Soortelijke warmte bij constante druk in $J/(\text{kg.K})$	Latente warmte in $J/(\text{kg})$
Ijs	2060	2060	
Faseovergang ijs-water, 0°C			334.000
Water	4186	4186	
Faseovergang kokend water-waterdamp (gas), 100°C			2.257.000
Waterdamp (gas)	1410	2060	

De beide faseovergangen laten relatief hoge benodigde energiehoeveelheden zien om van fase te kunnen veranderen. De latente warmte van de faseovergang van water naar gas ten opzichte van de faseovergang van ijs naar water verschilt met een factor 6,76. Om energie uit de warmteopslag te krijgen voor gebruik in woningen worden warmtepompen toegepast. Voor het toevoeren van warmte naar de warmteopslag ter regeneratie wordt warmte uit bijvoorbeeld zonnecollectoren toegepast. Om deze reden is het gebruik van latente warmte bij de faseovergang van kokend water naar waterdamp niet bruikbaar omdat de regeneratiewarmte deze temperaturen niet haalt.

De opslag in de faseovergang van water naar ijs is wel bruikbaar in de woningbouw. Door energie uit water te halen met een warmtepomp zal dit in de faseovergang uiteindelijk ijs worden. Warmte met een lage energie-inhoud in bepaalde hoeveelheden kan het ijs weer regenereren naar water.

De opslag van warmte in de faseovergang van ijs naar water ten opzichte van de opwarming van eenzelfde hoeveelheid gewicht of eenzelfde hoeveelheid volume kan voordelen hebben met betrekking tot een benodigd volume.

Tabel 3.14 laat de relatie zien tussen de verhouding van het volume ijs van 0 K met faseovergang ten opzichte van opwarming van water (4186 J/(kg.K)) bij een bepaalde hoeveelheid energieopslag.

TABEL 3.14 *Verhouding volume ijs ten opzichte van water bij een bepaalde hoeveelheid energieopslag.*

Water [liter]	Temperatuurstijging [K]	Hoeveelheid energie [J]	Ijs benodigd [kg]	Ijs benodigd [liter]	Verhouding volume water/ijs
1	10	41.860	0,13	0,14	7,34
1	20	83.720	0,25	0,27	3,67
1	30	125.580	0,38	0,41	2,45
1	40	167.440	0,50	0,54	1,84
1	50	209.300	0,63	0,68	1,47
1	60	251.160	0,75	0,82	1,22
1	70	293.020	0,88	0,95	1,05
1	73,41	307.280	0,92	1,00	1,00
1	80	334.880	1,00	1,09	0,92

Afhankelijk van de temperatuurstijging van water door toevoeging van energie varieert de verhouding tussen het volume opgewarmde water ten opzichte van het volume faseveranderend ijs met eenzelfde energieopslag van een factor 7,34 bij 10

K temperatuurstijging van water tot een factor 1,05 bij 70 K temperatuurstijging van water. Hierbij is rekening gehouden dat het volume van 1 kg ijs ten opzichte van 1 kg water een factor 1000/920 bedraagt.

De benodigde energie om 1 liter ijs te laten smelten is gelijk aan het verhogen van de temperatuur van 1 liter water met 73,41 K.

Het ruimtegebruik van eenzelfde hoeveelheid energieopslag in ijs/water van 0 °C door faseverandering is minder ten opzichte van temperatuurverhoging in water tot een temperatuurstijging van 73,41 K.

Warmteopslag in water door middel van faseverandering vereist zowel bij 0 °C als bij 100 °C een goede thermische isolatie om energieverliezen te voorkomen.

In de praktijk is het principe van ijs-energieopslag al toegepast voor grotere complexen en op kleinere schaal voor woningbouw (zie Bijlage 8).

Ondergrondse thermische opslag

Opslag in de ondergrond kan op vier wijzen plaatsvinden met een gegarandeerde levensduur tussen 30-50 jaar: Tank thermal energy storage (TTES, 60-80 kWh/m³), Pit thermal energy storage (PTES, 60-80 kWh/m³), Borehole thermal energy storage (BTES, 15-30 kWh/m³) en Aquifer thermal energy storage (ATES, 30-40 kWh/m³), zie Figuur 3.36 (SHC, 2015).

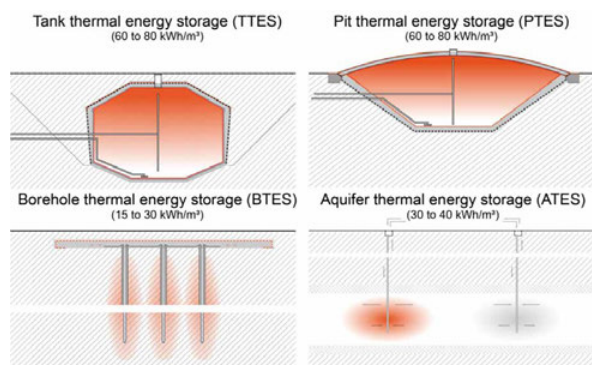


FIG. 3.36 Figuur 3.36. De vier seizoengebonden opslagtechnieken. Overgenomen uit *SHC Task 45 large systems: Seasonal thermal energy storage* (p. 9) door SHC, 2015. Copyright 2015, SHC International Energy Agency.

Een voorbeeld van een ondergrondse thermische TTS-seizoensopslag is Ecovat (zie Bijlage 8).

Passieve warmteopslag in de constructie

Thermische isolatie aan de buitenzijde of aan de binnenzijde van de gebouwschil heeft invloed op de warmteaccumulatie in deze constructie ten behoeve van het binnenklimaat. Bij een geringe warmteaccumulatie in de gebouwschil ten behoeve van comfort, zoals bij thermische isolatie aan de binnenzijde van de constructie, heeft verwarming van het gebouw een kortere opwarmingstijd. Een hoge warmteaccumulatie door de gebouwschil, zoals bij thermische isolatie aan de buitenzijde van de constructie, betekent een gelijkmatig binnenklimaat wat bijdraagt aan comfort. De opwarmingstijd is in deze situatie echter langer.

De vloeren en binnenwanden binnen de thermische schil vormen ook een thermische massa. Deze massa is vaak groter dan die van de gebouwschil en dus meer van invloed. De tijd (in s) die nodig is om de constructie op te warmen is bij benadering de hoeveelheid geaccumuleerde energie (in J/m^2) gedeeld door de hoeveelheid aan de constructie toegevoerde energie (in W/m^2) (Van der Linden, Kuijpers-van Gaalen, & Zeegers, 2016, p. 17).

Het opslaan van thermische energie op korte termijn kan door middel van buffervaten en warmtebatterijen. Voor de langere termijn benoemt Schilt (2015) drie verschillende vormen voor het opslaan van energie van de zomer naar de winter (seizoensopslag) voor warmte voor ruimteverwarming (minimaal 35 graden Celsius) en warmtapwater (minimaal 65 graden Celsius) in woningen. De eerste vorm is opslag op basis van het verhogen van de temperatuur van een bepaald medium (voelbare warmte). De tweede vorm is opslag op basis van latente warmte door faseovergangen van stoffen (Phase Change Materials, PCM). De laatste vorm is opslag op basis van energie die nodig is voor chemische reacties (Thermo Chemical Materials, TCM). PCM is bedoeld voor de kortere termijn opslag. TCM, met als voordeel een relatief beperkt volume en laag opslagverlies, bevindt zich nog in de ontwikkelfase (Schilt, 2015, p. 3). In de zomer kan de warmteopslag geladen worden door middel van zonnecollectoren of restwarmte en in de winter kan deze warmte benut worden voor ruimteverwarming of tapwaterverwarming. PCM en TCM kunnen ook een rol spelen bij vervoer van warmte zoals bij benutting van restwarmte. PCM kan de thermische massa en de thermische traagheid van bouwmaterialen beïnvloeden, daardoor de thermische energieopslag in een constructie verhogen en daarmee de energie efficiëntie van een gebouw positief beïnvloeden. TCM-systemen slaan warmte op in reversibele chemische processen, zoals in zeolieten of in zouthydraten. (Rathore & Shukla, 2019; Schilt, 2015)

Als voordelen van een TCM-systeem benoemt Schilt (2015) het relatief kleine benodigde opslagvolume per woning en het niet optreden van warmteverliezen tijdens de opslagperiode (wel bij het op- en afladen van het systeem). Als nadelen

benoemt hij dat TCM zich nog in de ontwikkelingsfase bevindt met relatief hoge kosten van het opslagmedium.

Opslagssystemen van voelbare warmte systemen zijn al toegepast in de vorm van grote watermassa's in de buurt van een woonwijk en in de vorm van opslag van warmte in de diepe bodem op midden temperatuur (40-50 °C) of op hoge temperatuur (70-80 °C). Seizoensopslag van voelbare warmte in water dat is gebufferd in een geïsoleerde container heeft volgens Schilt (2015) als voordelen een goed bekend principe, direct toepasbaar en relatief lage kosten voor het opslagmedium. Als nadelen benoemt hij het grote benodigde volume per woning, de grote hoeveelheid isolatie en het optreden van relatief veel warmteverlies. Een opslagvat van duizenden kubieke meters, ergens centraal in de wijk, met aansluiting op een warmtenet kan de efficiency van dit systeem verhogen.

Voor opslag van warmte in PCM ziet Schilt als voordelen dat opslag en afgifte op een gelijkblijvende temperatuur mogelijk is en dat er meer warmte per volume-eenheid opgeslagen kan worden dan in voelbare warmte. De reductie van de benodigde grootte ten opzichte van opslag in water bedraagt ca. 30 %. Als nadelen benoemt hij een goede isolatie om warmteverliezen te verminderen en het relatief grote benodigde volume per woning. PCM is ook toepasbaar voor ondersteuning van warmteopslag in het algemeen of voor stabilisatie van het regelen van de temperatuur.

3.6.8 Exergie

Het gebruik van energie is het meest effectief als exergie, de kwaliteit van energie, in beschouwing wordt genomen. Energie kan volgens de wet van behoud van energie, de eerste wet van de thermodynamica, niet verloren gaan. Wel kan de kwaliteit van de energie afnemen volgens de tweede wet van de thermodynamica (Jansen, Terés-Zubiaga, & Luscuere, 2012, p. 693).

Jansen, Terés-Zubiaga en Luscuere (2012) hebben vijf principes beschreven voor een exergetische benadering van de gebouwde omgeving.

- 1 Gebruik hernieuwbare energiestromen en andere stromen van gratis energie of afvalwarmte. Op basis hiervan worden exergetische maatregelen genomen.
- 2 Breng de niveaus van vraag en aanbod bij elkaar. Gebruik de laagste energiekwaliteit als input die nodig is.
 - a Pas lagetemperatuurverwarming toe en hogetemperatuurkoeling.
 - b Minimaliseer temperatuurverschillen bij uitwisselen van energie.
 - c Gebruik lage temperatuurstromen die in en rondom het gebouw aanwezig zijn, zoals warmte uit ventilatielucht of energie uit warmwaterafvoer, energie uit oppervlaktewater of uit afvalwater van industrie.
 - d Gebruik het principe van cascadering op gebouwniveau en wijkniveau. Bijvoorbeeld op gebouwniveau het verschil tussen warmtapwater (60 °C) en ruimteverwarming (30 °C).
- 3 Optimaliseer de opslagmogelijkheden. Er is een verschil in tijd tussen opwekking van duurzame energie en het gebruik daarvan. De opslag van warmte met verschillende temperatuurniveaus is daarbij optimaal.
- 4 Gebruik de energie van hoge kwaliteit zo slim mogelijk. Voor de gebouwde omgeving betekent dat bijvoorbeeld het gebruik van warmtepompen die meer energie leveren dan de input van elektrische energie.
- 5 Vermijd processen die bekend zijn om exergieverliezen zoals verbranden, weerstandsverwarming, mixen van energie, verstikking en grote temperatuurverschillen.
(Jansen et al., 2012, pp. 695-696)

3.6.9 Afgiftesystemen

De warmtevraag voor ruimteverwarming in een appartementen die is omgeven door andere appartementen is lager dan woningen die aan de randen van een gebouw gesitueerd zijn. De alzijdig omgeven appartementen hebben alleen een transmissie warmteverlies aan beide gevelzijden, er vanuit gaande dat er geen transmissieverlies tussen verwarmde woningen onderling plaatsvindt. De flatwoningen aan de randen van een gebouw hebben per definitie een hoger transmissieverlies. Om deze reden zou het sociaal aanvaardbaar kunnen zijn om de kosten voor energie voor ruimteverwarming te socialiseren over alle appartementen. Daarbij worden eventuele transmissieverliezen naar een buurman die de thermostaat laag heeft staan afgewenteld over alle bewoners binnen een flatgebouw.

De afgiftesystemen voor ruimteverwarming zijn gebaseerd op laag temperatuurverwarming bij een goed geïsoleerde schil. Dit kan in de vorm van vloer- of wandverwarming of in de vorm van lagetemperatuurradiatoren. Omdat een vloer- of wandverwarmingssysteem door massa een traag systeem is kan

een optie zijn om dit verwarmingssysteem als basis toe te passen voor een gelijke temperatuur dag en nacht. Het variëren in de warmtevraag voor gewenst comfort kan dan met een sneller reagerend verwarmingssysteem worden ingevuld, zoals elektrische stralingspanelen. Bewoners kunnen dan zelf of via sensoren hun persoonlijk gewenste ruimtetemperatuur per ruimte of plaats in een ruimte instellen op bepaalde tijden van een dag op basis van aanwezigheid en afhankelijk van kleding. Uiteraard is dat alleen duurzaam als de benodigde elektrische energie duurzaam opgewekt wordt. Elektrische stralingspanelen op basis van langgolvlige infraroodverwarming hebben een COP van maximaal 1 terwijl lage temperatuurwarmte, opgewekt via warmtepompen en bodem- of luchtwarmte, een COP heeft met een factor 3 tot 4 hoger, dus een factor 3 tot 4 minder energiegebruik. De basis laagtemperatuurverwarming verzorgt daarom het grootste aandeel in de ruimteverwarming met een lichte variatie met elektrische stralingspanelen voor extra comfort naar wensen van de bewoner. Omdat de gehele verwarmingsinstallatie wordt aangepast bij upgrade van de appartementen in de vorm van aanpassing van de schil is het handig als de watervoerende verwarmingselementen in de gevelzone aanwezig zijn door de relatie met een warmtepomp al dan niet met warmte-koudeopslag in de bodem. In de gevelzone treedt ook het energieverlies door transmissie op. In een bestaand, bewoond, appartement is het aanbrengen van elektrische verwarmingspanelen in en door de woning voor extra comfort eenvoudig. De verwarmingspanelen kunnen een asset van het appartement zijn, maar kunnen ook bij een bewoner horen. De combinatie tussen convectieve warmte in het geval van laagtemperatuur radiatoren in combinatie met stralingswarmte kan leiden tot een lagere ruimtetemperatuur bij eenzelfde behaaglijkheidsniveau.

Op basis van Total Cost of Ownership over 30 jaar is alleen een warmtepomp met een bodemlus de goedkoopste en alleen infraroodpanelen de duurste optie per woning voor de warmtevoorziening (DWA, 2018).

Alternatief is persoonlijke kleding plaatselijk te laten verwarmen voor gewenst comfort. De kleding kan verwarmingselementen bevatten en kunnen dan wellicht via zitplekken draadloos opgeladen worden.

Energieopwek en energiegebruik in tijd

De opwekking van energie en het gebruik daarvan verschilt volgens HAN lector Aart-Jan de Graaf (persoonlijke communicatie, 3 april 2017, zie Bijlage 10) vaak in tijd. Bij daglicht kan bijvoorbeeld elektrische energie en warmte geoogst worden. In de nacht bij heldere hemel kan koude geoogst worden. Energiegebruik is de hele dag aan de orde. De warmtevraag van een woning is tijdafhankelijk. Deze tijdafhankelijkheid is

per dag (dag-nachtritme) en per seizoen (verschil binnen- en buitentemperaturen bij dag - nacht). De mate van de warmtevraag is afhankelijk van het optredende warmteverlies onder invloed van de mate van thermische isolatie, de mate van warmteverlies door ventilatie en de mate van warmteopbrengst door apparatuur, verlichting en aanwezige personen. Opslag is het op termijn verschuiven van energie qua vraag en aanbod.

3.7 Vorm, oriëntatie en locatie

De vorm van een hoogbouw flatgebouw is een compacte vorm in vergelijking tot vrijstaande woningen met dezelfde woonoppervlakken. Compactheid (C) is de verhouding tussen het verwarmde volume (V) en het verliesoppervlak (A_T) er omheen. Hoe hoger de compactheid van een gebouw, des te minder energieverliezen bij gelijkblijvende thermische eigenschappen. Daarnaast zijn grotere volumes per definitie compacter dan kleine volumes (D'Haeseleer, 2005, p. 135).

Een appartement heeft in een flatgebouw heeft een bepaalde ligging ten opzichte van de verliesgevende oppervlakken (begane grond vloer, voor-, zij- en achtergevels, dak van woonlagen). Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de scheidingsoppervlakken (vloeren, wanden) tussen 2 appartementen niet als verliesgevend aangemerkt wordt. In de praktijk kunnen scheidingswanden en -vloeren tussen appartementen wel verliesgevend zijn. Bijvoorbeeld als een appartement niet verwarmd wordt in de winter door afwezigheid van bewoners. In dat geval is er een onbedoelde warmtestroom naar dit appartement vanuit de omliggende appartementen (wat sociaal gezien onwenselijk is). Wellicht moet de ruimteverwarming van appartementen bij een goede schilisolatie en daardoor een lage warmtevraag in een flatgebouw als VvE gesocialiseerd worden zodat onbedoelde warmtestromen in het geval van minder verwarmde appartementen en de ongunstige liggingen van appartementen ten opzichte van verliesgevende oppervlakken genivelleerd worden.

Er zijn 6 liggingen te onderscheiden met verschillende verliesgevende oppervlakken, zie Figuur 3.37.

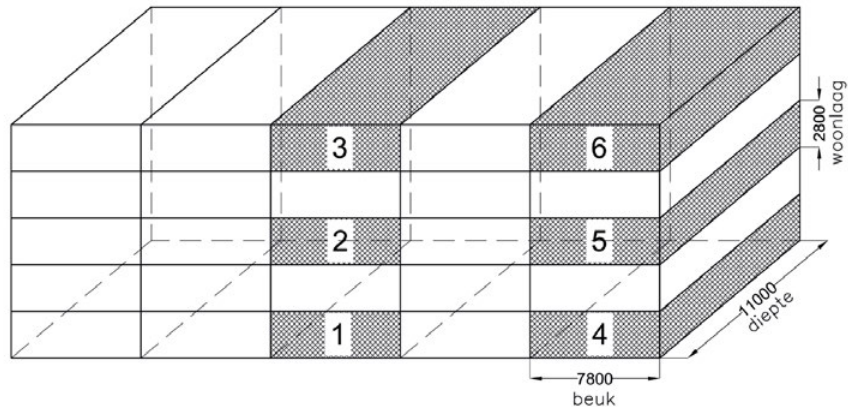


FIG. 3.37 Ligging appartement in relatie tot verliesgevende oppervlakken.

De compactheid van typen appartementen variëren. Het type met de meest gunstige compactheid met een waarde van 5,5 (en daardoor de minst verliesgevende oppervlakken) is type 2 (zie Tabel 3.15 en Figuur 3.38).

TABEL 3.15 Compactheid van verschillende liggingen van appartementen.

type	verliesgevende oppervlakken bij appartementen [m ²] bij afmetingen appartement b x d x h = 7,8 x 11 x 2,8 m.						compactheid V/A _T
	entreegevel	woongevel	kopse gevel	begane grond vloer	dakvloer	totaal A _t	
1	21,8	21,8		85,8		129,5	1,9
2	21,8	21,8				43,7	5,5
3	21,8	21,8			85,8	129,5	1,9
4	21,8	21,8	30,8	85,8		160,3	1,5
5	21,8	21,8	30,8			74,5	3,2
6	21,8	21,8	30,8		85,8	160,3	1,5

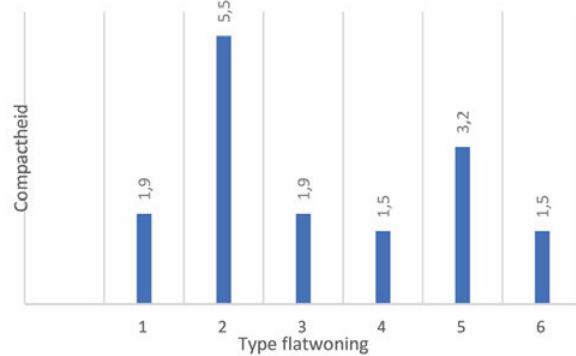


FIG. 3.38 Compactheid type appartement.

Stel dat hetzelfde volume van het appartement als grondgebonden rijwoning uitgevoerd zou worden, dan is de compactheid van de grondgebonden woningen aanzienlijk slechter. De compactheid van type 2 appartementen ten opzichte van een rijwoning in de rij (type ggb-r) is een factor 5 beter (zie Tabel 3.16 ten opzichte van Tabel 3.15).

TABEL 3.16 Compactheid van grondgebonden rijwoningen met hetzelfde volume als de appartementen.

type	verliesgevende oppervlakken [m ²] bij grondgebonden rijwoningen aan de kopse gevel (ggb-k) of in de rij (ggb-r) bij afmetingen woning b x d x h = 7,8 x 11 x 2,8 m.						compactheid V/A _T
	entreegevel	woongevel	kopse gevel	begane grond vloer	dakvloer	totaal At	
ggb-r	21,8	21,8		85,8	85,8	215,3	1,1
ggb-k	21,8	21,8	30,8	85,8	85,8	246,1	1,0

TABEL 3.17 Hoeveelheid per type appartement in een flatgebouw bij 2 beuken of meer en bij 2 woonlagen of meer.

Type appartement	Hoeveelheid per type - algemeen	Bij 10 beuken en 8 woonlagen	Bij 10 beuken en 10 woonlagen	Bij 10 beuken en 12 woonlagen
1	aantal beuken -2	8	8	8
2	(aantal beuken -2) x (aantal woonlagen -2)	48	64	80
3	aantal beuken -2	8	8	8
4	2	2	2	2
5	(aantal woonlagen -2) x 2	12	16	20
6	2	2	2	2

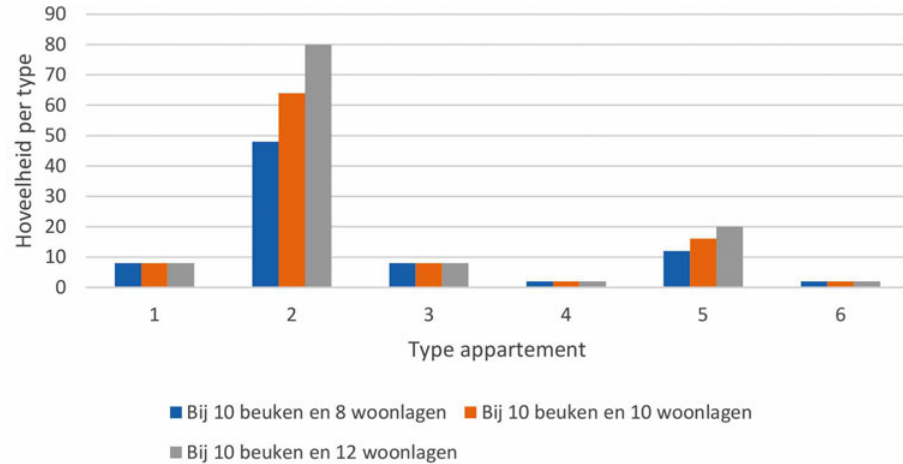


FIG. 3.39 Hoeveelheid per type appartement in een flatgebouw bij 10 beuken met 8, 10 of 12 woonlagen.

Type 2 komt het meest voor in een flatgebouw en is afhankelijk van het aantal beuken en het aantal woonlagen (zie Tabel 3.17 en Figuur 3.39).

Type 2 kan met relatief minder schilaanpassingen worden geüpgraded dan de overige typen. Een voorkomend concept is om een flat op NOM-niveau te renoveren wat betreft type 2 en de overige typen aan de grenzen van het flatgebouw te renoveren met een lagere energieambitie (en daardoor voor deze bewoners hogere energiekosten voor ruimteverwarming).

Type 2 heeft een compactheid met een waarde van 5,5. Ten opzichte van grondgebonden woningen is de compactheid met een factor 5 beter. De compactheid van de thermische schil is een belangrijk kenmerk van een zeer energiezuinig gebouw.

3.8 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn diverse energieambities benoemd. De energieambitie van een energieneutrale gebouwenvoorraad in 2050 betekent dat bij de upgrading van nu daar al rekening mee moet worden gehouden.

Om een bepaalde energieambitie te kunnen realiseren is inzicht gegeven in diverse opwek-, opslag- en afgiftesystemen. De toepassing van bepaalde systemen is afhankelijk van het bouwtype, de energievraag, de locatie en de energieambitie.

De compactheid van een gebouw is mede bepalend voor warmteverliezen: hoe hoger de compactheid van een gebouw, des te minder warmteverliezen bij gelijkblijvende thermische eigenschappen. De compactheid kan per gebouw beschouwd worden of per appartement. Appartementen die niet grenzen aan een begane grondvloer, gevels of dak hebben het minst verliesgevend oppervlak waardoor een bepaalde energieambitie eenvoudiger te realiseren is.

4 Flat 1.0: Gestapelde woningbouw uit de Wederopbouw- periode

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de opkomst van de Wederopbouw hoogbouw en beschrijft relevante technische en functionele eigenschappen van diverse hoogbouwsystemen in relatie tot de bijbehorende bouwmethoden. Voor mogelijke energieopwekking uit gevel- en dakvlakken is de mate van geslotenheid van belang. Hoe meer gesloten een bepaald vlak is, des te beter deze kan worden toegepast om zonne-energie te oogsten. Per hoogbouwsysteem wordt bepaald wat de mate van geslotenheid van bepaalde gevels en dak is.

4.2 Wederopbouw hoogbouw in Nederland

De hoogbouw in Nederland na de Tweede Wereldoorlog start omstreeks 1960 en eindigt omstreeks 1975. Oorzaak van de hoogbouw was de grote behoefte aan woningen door het tekort wat ontstaan was door de oorlog. Daarnaast groeide de populatie van de Nederlandse bevolking na de oorlog snel vanwege een hoog aantal geboortes en een laag aantal sterfgevallen tot eind jaren 60. Van 1950 tot 1960 zijn met name grondgebonden laagbouwoningen en gestapelde woningbouw tot en met vier woonlagen gerealiseerd. Het Nieuwe Bouwen volgens de CIAM-gedachte, met gebruik van veel licht, lucht en ruimte en scheiding van wonen en werken, is veelvuldig in de stedenbouwkundige ontwerpen toegepast. Het merendeel van deze woningen met als doelgroep jonge gezinnen hebben drie tot vier leefruimten met een totaal netto woonoppervlak van 50 tot 60 m².

De ontwikkeling van bouwmethoden verloopt van traditionele bouw naar grotere blokken bouw (stapelbouw) naar groter wordende elementen (montagebouw) en uiteindelijk naar gietbouw.

Het rationeel bouwen was van meer belang dan de kwaliteit van de woningen en de bewonersvoorkeuren. Heden ten dage verwachten mensen meer kwaliteit van de woning waarvoor ze willen betalen. De hoogbouw flats sluiten echter niet meer aan bij sommige hedendaagse wensen. Ongeveer 6,7 % van de woningbouw in Nederland is gebouwd als hoogbouw, de meeste in de sociale huursector. Uit de volkstelling in 1947 bleek een tekort van ca. 300.000 woningen. Het aantal woningen in de sociale huursector steeg van 140.000 woningen (10 % van de woningvoorraad) in 1945 tot 540.000 woningen in 1960 (25 % van de woningvoorraad). De reden voor het ontstaan van de vele hoogbouwoningen in de jaren 60 waren de bouwprogramma's uit de jaren 50 die nog te weinig bouwproductie opleverden. De bouwcondities werden steeds onvoordeliger. Er waren hoge rentetarieven voor langdurige leningen en de bouwkosten stegen. De overheid subsidieerde daarom meer dan driekwart van de 1 miljoen woningen die tussen 1961 en 1970 zijn gebouwd. (Wassenberg en Van Kempen, 2004, pp. 129-131)

In 1963 kondigde het Ministerie van Volkshuisvesting en Bouwnijverheid een drastische uitbreiding van de woningproductie aan. Minister Bogaers (1964a, p.1) benoemde hiervoor "het bevorderen van arbeidsbesparend bouwen, het scheppen van continu-verlopende productiestromen, een volledig gebruik van industriële bouwcapaciteit en het gebruik van efficiënte woningplannen". De woningnood bleef echter urgent (zie Bijlage 11).

Ontsluitingen woningen

Toegang tot gestapelde woningen kan plaatsvinden via vijf ontsluitingsprincipes: de portiek-, de galerij- en de corridorontsluiting, het trappenhuis en de lift (Leupen, 2012).

De portiekontsluiting kent een beperkte mate van gemeenschappelijke verkeersruimten. Daartoe behoort een gezamenlijk trappenhuis tot en met 4 woonlagen of een gezamenlijk trappenhuis voorzien van een lift voor hogere woongebouwen. De woningplattegronden zijn hierbij gericht op zowel de voorgevel als de achtergevel. De galerijontsluiting kent naast gezamenlijke trappenhuisen, al dan niet voorzien van een liftinstallatie, ook galerijvoorzieningen voor de ontsluiting van de daaraan gelegen woningen. De woningplattegronden zijn hierbij zowel op de galerijgevel als op de tegenoverliggende gevel gericht. De oriëntatie van de woningplattegrond op de galerijgevel kent een geringe overgang tussen de openbare galerij en de privévertrekken van de woning. De corridorontsluiting vergt als gemeenschappelijke verkeersruimte het minste ruimte ten opzichte van het aantal te ontsluiten woningen. De woningplattegronden zijn echter alleen op één buitengevel gericht en dus ook inpandig gericht.

In de plattegronden van de gestapelde woningbouw uit de Wederopbouwperiode zijn alle beschreven ontsluitingen toegepast. Een bijzonder type is de sterflat waar de ontsluiting vanuit een kern plaatsvindt.

Aspecten voor analyse van galerijflats

Verhoeks et al. (1995, p. 33) hebben aspecten voor analyse van bestaande galerijflats in vier hoofdgroepen onderscheiden (zie Bijlage 12):

- 1 *Sociale en sociaal-ruimtelijke aspecten.*
- 2 *Functioneel-ruimtelijke aspecten, zoals de toegankelijkheid van het gebouw en de oppervlakte van de woning.*
- 3 *Bouwtechnische en bouwfysische aspecten en brandveiligheid.*
- 4 *Vormaspecten, zoals bijv. vormwaarneming van de gevel.*

Stedenbouwkundige aspecten zijn hierin niet meegenomen.

4.3 Hoogbouwsystemen uit de Wederopbouwperiode

Inleiding

Per bouwmethode zijn verschillende hoogbouwsystemen ontwikkeld. De kwaliteit van deze systemen is wisselend. Verval treedt in. De constructieve veiligheid is soms in het geding, zoals de kwaliteit van het casco en van uitkragende balkons en galerijen.

Hoogbouwsystemen

Priemus en Van Elk (1971) hebben 32 niet-traditionele bouwmethoden uit de Wederopbouwperiode onderverdeeld in stapelbouw, gietbouw, zware montagebouw en lichte montagebouw. Onder stapelbouw worden de volgende bouwsystemen genoemd: Muwi, Pronto, Bakker V.B., Pé-Gé, Huco, Airey en B.B.B.-Z-65. Onder gietbouw worden de volgende bouwsystemen genoemd: Korrelbeton, Bitcon, EBO II, RBM, PGB, Lisman, Heykamp L, Heykamp H, EBA-gietbouw, Wilma II, Breda, Sanders en ERA. Onder zware montagebouw worden de volgende bouwsystemen genoemd: B.M.B., Simplex, Rottinghuis, Vam, Vaneg, Coignet-groep, Elementum-Larsen & Nielsen, Smit II, Schokbeton H-I, GBS en Bouwvliet. Onder lichte montagebouw wordt B.G. genoemd. De genoemde bouwsystemen betreffen grondgebonden woningbouw en/of gestapelde woningbouw.

In dit onderzoek wordt gestapelde woningbouw beschouwd met meer dan vier woonlagen. Traditionele bouwmethoden en lichte montagebouw komen hier niet voor. Bouwmethoden die veel werden toegepast bij hoogbouw worden onderverdeeld in stapelbouw, gietbouw en zware montagebouw.

Volgens de 'documentatie systeemwoningen '50-'75' van de BouwhulpGroep (2013) vindt hoogbouw met name plaats in de periode 1966-1974 met 8 woonlagen of meer (zie Figuur 4.1 en Figuur 4.2).

In de *Voorschriften en wenken voor het ontwerpen van woningen* (V en W, 1965) zijn 'woningkwaliteit', 'standaardisatie en normalisatie' en 'woningproject' drie belangrijke aspecten. Aanbevolen wordt "in meergezinshuizen liften toe te passen indien de vloer van één der hoofdwoonkamers meer dan 8,60 m boven

het bij de hoofdtoegang aansluitende terrein is gelegen, althans indien een economische liftexploitatie mogelijk is”. In ieder geval moeten volgens V en W liften toegepast worden “indien de vloer van één der hoofdwoonkamers meer dan 10 m boven het bij de hoofdtoegang aansluitende terrein is gelegen” (p. 19). De bruto verdiepingshoogte wordt bepaald op 2,80 m indien de bouwlaag een hoofdwoonkamer bevat. Voor andere bouwlagen, bestemd voor woondoeleinden, moet de bruto verdiepingshoogte 2,60 m bedragen.

Voor een gebouw met 4 woonlagen zonder lift en een plint met bergingen geldt dat, als de vierde woonlaag op maximaal 10 m boven het aansluitende terrein is gelegen, de bergingenlaag verdiept aangelegd is. Deze oplossing komt veel voor bij portiekwoningen met vier woonlagen.

In Figuur 4.1 en Figuur 4.2 staat het percentage van aantal bouwlagen in relatie tot de bouwperiodes 1949-1952, 1953-1965 en 1966-1974 vermeld voor de woningwetsector resp. de premiesector. In de periode 1949-1952 komt met name gestapelde woningen met 3 of 4 bouwlagen voor. In de periode 1953-1965 is het merendeel 4 bouwlagen hoog. De periode 1966-1974 is de periode van de hoogbouw met meer dan 8 bouwlagen. (BouwhulpGroep, 2013)

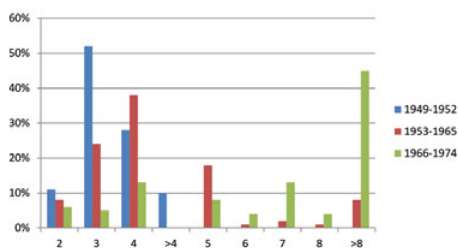


FIG. 4.1 Aantal bouwlagen in de woningsector. Opgesteld volgens data uit *Documentatie systeemwoningen '50-'75* door BouwhulpGroep, 2013.

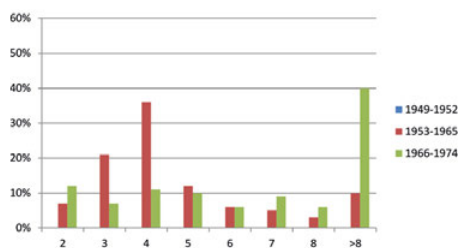


FIG. 4.2 Aantal bouwlagen in de premiesector. Opgesteld volgens data uit *Documentatie systeemwoningen '50-'75* door BouwhulpGroep, 2013.

De verdeling van niet-traditionele woningbouwssystemen naar bouwhoogte per bouwmethode is door Priemus en Van Elk (1971) in aantallen en in percentages (zie Figuur 4.3) aangegeven over de periode 1945-1970. Hieruit blijkt dat in gietbouw het hoogst wordt gebouwd. Volgens Priemus en Van Elk zijn de stabiliteitsproblemen bij gietbouw het eenvoudigst. Bij niet-grote hoogten zijn de voordelen van stapelbouw groter.

De liftgrens ligt bij een woonlaag hoger dan 10 meter (5 woonlagen of hoger).

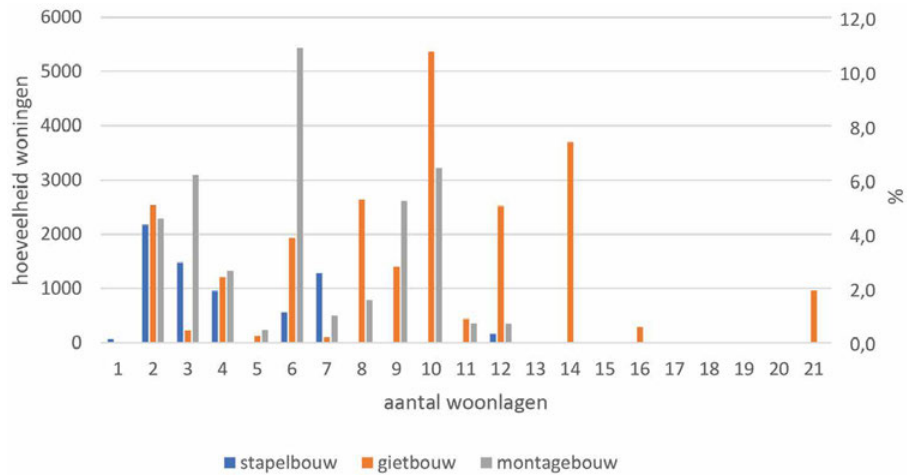


FIG. 4.3 Verdeling bouwsystemen naar bouwhoogte per bouwmethode (in aantallen en in percentage). Opgesteld volgens data uit *Niet-traditionele woningbouwmethoden in Nederland* door H. Priemus en R.S.F.J. van Elk, 1971, p. 38.

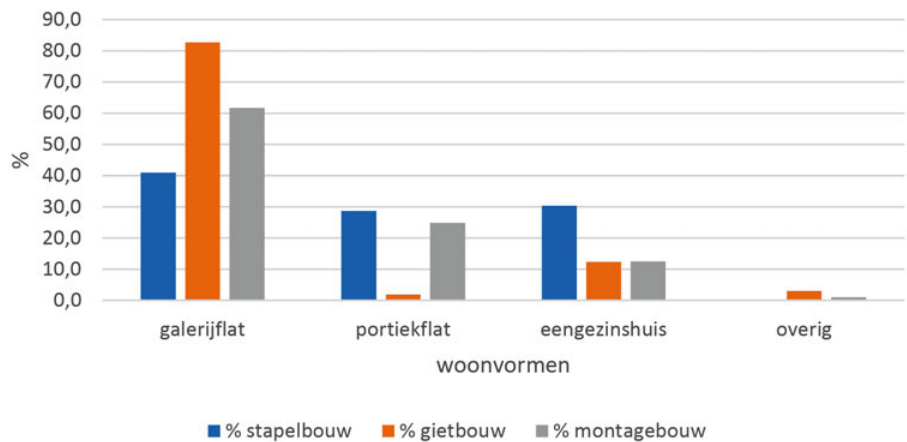


FIG. 4.4 Verdeling bouwmethoden naar woonvorm. Opgesteld volgens data uit *Niet-traditionele woningbouwmethoden in Nederland* door H. Priemus en R.S.F.J. van Elk, 1971, p. 38.

Figuur 4.4 laat de verdeling van bouwmethoden naar woonvorm zien. Opvallend hierbij is dat portiekflats vrijwel niet in gietbouw zijn uitgevoerd. Het merendeel in aantal galerijflats is in gietbouw uitgevoerd. De galerijflats die zijn uitgevoerd in stapelbouw komen volgens Figuur 4.3 met name bij 7 woonlagen voor en in geringere mate bij 6 woonlagen.

De veel voorkomende bouwsystemen uit de Wederopbouwperiode voor gestapelde woningbouw met meer dan vier woonlagen zijn Muwi (galerij), Pronto, BMB, Coignet, Rottinghuis/IBC, VAM, EBA II, ERA, RBM II en Wilma II.

Het aantal woningen binnen deze bouwsystemen variëren van bijna 10.000 in het ERA-systeem tot 31.000 woningen in het Coignet-systeem (zie Tabel 4.1).

TABEL 4.1 Hoogbouwsystemen.

Bouwsysteem	Bouwmethode	Woningaantallen (Bouwhulpgroep, 2013)	Producent
Muwi (galerij)	stapelbouw	14.000	Bouw en aannemingsbedrijf Muijs & De Winter N.V.
Pronto	stapelbouw	18.000	Van Vliet en Van Dulst's Bouwbedrijf
BMB	stapelbouw	30.500	Baksteen-Montage-Bouw, N.V. Nederlands Bouwsyndicaat
Coignet	zware montagebouw	31.000	Verdeeld in Dura-, Indico- en Neduco-Coignet.
Rottinghuis / IBC	zware montagebouw	17.000	Aannemingsbedrijf Rottinghuis / Bouwbedrijf IBC, Internationale Bouw Compagnie
VAM	zware montagebouw	14.000	NV Intervam
EBA II	gietbouw	19.291	Bouwbedrijf EBA N.V.
ERA	gietbouw	9.810	Van Eesteren Rationele Aanpak
RBM II	gietbouw	20.000	Rijnlandse Betonbouwmaatschappij
Wilma II	gietbouw	12.000	Wilma Bouw

De bouwsystemen uit de Wederopbouw, de 'rationele bouwsystemen', zijn door Stichting Ratiobouw te Rotterdam toentertijd gemonitord ter goedkeuring voor het bouwen van grotere aantallen woningen. Goedgekeurde bouwsystemen ontvingen hiervoor een attest. Deze hoogbouw bouwsystemen zijn uitgebreid gedocumenteerd door Priemus en Van Elk (1971), Thijssen en Meijer (1988), Thijssen (1990), Andeweg (2013) en door BouwhulpGroep (2013).

Figuur 4.5 toont het overzicht van de bouwsystemen, bouwmethoden en bouwjaren van hoogbouwflats in de Wederopbouwperiode.

Bouwsysteem	Bouwmethode	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Muwi	stapelbouw																												
Pronto	stapelbouw																												
BMB	zware montagebouw																												
Rottinghuis - IBC	zware montagebouw																												
Dura Cointet	zware montagebouw																												
RBM 1	zware montagebouw																												
RBM 2	gietbouw (InterVAM)																												
InterVAM	zware montagebouw																												
Wilma 2	gietbouw																												
EBA	gietbouw																												
ERA	gietbouw																												

FIG. 4.5 Overzicht van hoogbouwflats in de Wederopbouwperiode: bouwsystemen, bouwmethoden en bouwjaren.

Verval van de naoorlogse woningen

Hoenderbos, Prak en Priemus (1986) verwoorden verval van naoorlogse woningen. Naar aanleiding van de sloop van het naoorlogse complex Noble Street in Newcastle geven zij aan dat “rond dezelfde tijd het duidelijk werd dat de bewoning van de Bijlmermeer op zijn zachtst gezegd anders was dan destijds gepland” (p. 1). Er moest veel en snel gebouwd worden waarbij er “niet altijd over nagedacht werd of een flatgebouw in een gemeente van overwegend eengezinshuizen op den duur wel verhuurbaar zou blijven” (p. 1). Ook onderhoud was volgens hen onderbelicht. Systeembouw was door Stichting Ratiobouw goedgekeurd, maar “sommige belastingen konden niet worden gesimuleerd, en werden verkeerd ingeschat” (p. 1). Bijlage 13 licht het verval van naoorlogse woningen verder toe.

Technische staat, constructie

De grondslagen van de beoordeling van de constructieve veiligheid en de aan te houden veiligheidsniveaus van bestaande gebouwen bij verbouw zijn vastgelegd in de Nederlandse norm NEN 8700 en dient toegepast te worden in samenhang met de Eurocodes NEN-EN 1990 en volgende.

Verbouw is te beschouwen als bouwen en daarvoor gelden de nieuwbouwnormen (artikel 1, eerste lid, onderdeel a, van de Woningwet) waarbij alleen de fysiek veranderde onderdelen onder de nieuwbouweis vallen (artikel 4 van de Woningwet).

De restlevensduur van de constructie is van belang. Restlevensduur is “de veronderstelde periode gedurende welke een bestaande of verbouwde constructie of een deel ervan is te gebruiken voor het beoogde doel” (Normcommissie 351 001, 2011b, p. 8). Het minimumveiligheidsniveau mag in deze levensduur niet onderschreden worden en hangt samen met de menselijke veiligheid. Een referentieperiode is “tijdsperiode gekozen en gebruikt als grondslag voor statistische waardebeoordeling van veranderlijke belastingen en eventueel voor buitengewone belastingen” (p. 9) en is dus anders van betekenis dan de restlevensduur. Voor verbouw moet de restlevensduur zodanig zijn gekozen, dat deze niet eindigt voor het einde van de oorspronkelijke ontwerplevensduur van de overige constructiedelen met een minimum van 15 jaar met een voorkeur voor minimaal 30 jaar. Een fundamentele eis is onder andere dat de bestaande constructie voldoende constructieve weerstand moet bezitten. Een constructie die deel uitmaakt van een verbouwing moet voldoende constructieve weerstand, bruikbaarheid en duurzaamheid bezitten (pp. 10, 12). Een bestaande constructie kan onder invloed van huidige en vroegere belastingen al dan niet zichtbare verschijnselen vertonen, zoals doorbuigingen of verzakkingen, scheuren, losse stenen, roestvorming en uitbloeiingen (p. 17) waarbij getoetst moet zijn dat geen grenstoestand is overschreden. Aanleiding tot beoordeling van een bestaande constructie is onder andere ‘einde planduur’ en ‘geconstateerde en/of vermoede schade’ waarbij het Bouwbesluit minimale ondergrenzen stelt voor de constructieve betrouwbaarheid bij verbouwing voor alle bouwwerken (pp. 3, 42).

De stabiliteit van hoogbouwflats wordt ontleend aan dichte vlakken, zoals stabiliteitswanden in twee richtingen, en/of een stabiliteitskern in de vorm van een trappenhuis met liften. Bij de hoogbouwssystemen Rottinghuis, BMB en Dura-Coignet treden volgens Andeweg (2013) stabiliteitsproblemen op waardoor deze constructies zich minder goed lenen voor optopping.

Case casco bestaande flat met Muwi-bouwstelsel

Een bestaande flat in Poptahof-Zuid te Delft met 11 woonlagen, die is gebouwd met het Muwi- bouwstelsel in 1964, is in de periode 2007-2009 getransformeerd door middel van aftoppen, uitplinten en aankoppen. Tijdens dit proces blijkt dat de kwaliteit van het casco, dat vooraf als redelijk was ingeschat, in slechte staat was. De betrokken architect Joris Molenaar zegt hierover in een artikel in Bouwwereld (2010): “Het is systeembouw uit de late wederopbouw, destijds heel zuinig uitgetekend met marges die nu niet meer zouden mogen. Volgens de huidige normen zou zo'n structuur niet blijven staan”.

Cases bezwijken van uitkragende balkons en galerijen

In juni 1988 is in Wormerveer is de eerste verdieping van een galerijplaat van een flat (bouwjaar 1968) bezwaken (zie Figuur 4.6). Een te lage positie van de bovenwapening in de galerijplaat is oorzaak geweest van de instorting. In mei 2011 is een gedeelte van de galerijen van de 10 verdiepingen hoge Antillenflat (gietbouw, bouwjaar 1965) in Leeuwarden bezwaken (zie Figuur 4.7 en 4.8). Een galerijplaat van de vijfde woonlaag breekt af zonder voorafgaande waarschuwing en neemt in de val onderliggende galerijplaten mee. Putcorrosie op de wapening in vrij uitkragende in combinatie met een hogere permanente belasting op de galerijvloerplaten dan volgens ontwerp en een te lage ligging van bovenwapening in de galerijen is de oorzaak geweest dat een gedeelte van de galerijen van de Antillenflat is bezwaken (Jonker, De Jonker, Mans, & Wijte, 2014). Het ontwerp van de Antillenflat is van architectenbureau Van den Broek en Bakema.

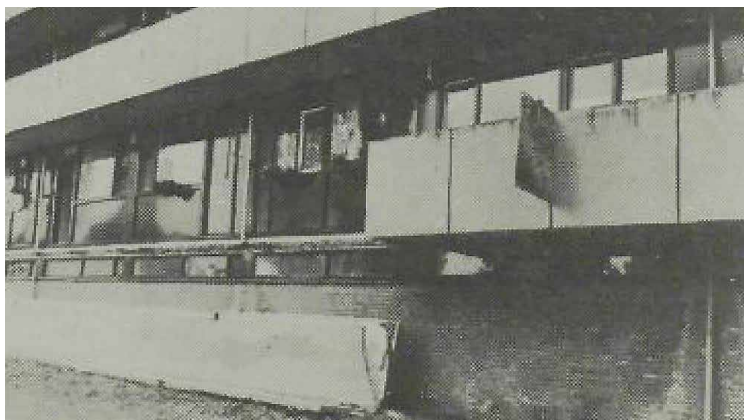


FIG. 4.6 Bezwaken uitkragende vloer te Wormerveer. Overgenomen uit *Flatgebouw zonder onderhoud levert gevaar* op door J. Hoekman, 2011 (<https://www.rd.nl/meer-rd/wetenschap-techniek/flatgebouw-zonder-onderhoud-levert-gevaar-op-1.616847>). Copyright 1988, ANP.



FIG. 4.7 Bezwaken uitkragende vloeren Antillenflat te Leeuwarden (2011). Overgenomen uit *Uitkragende vloeren* door M. Poelert, z.d. (<https://www.nebest.nl/producten/uitkragende-vloeren>). Copyright, Nebest.

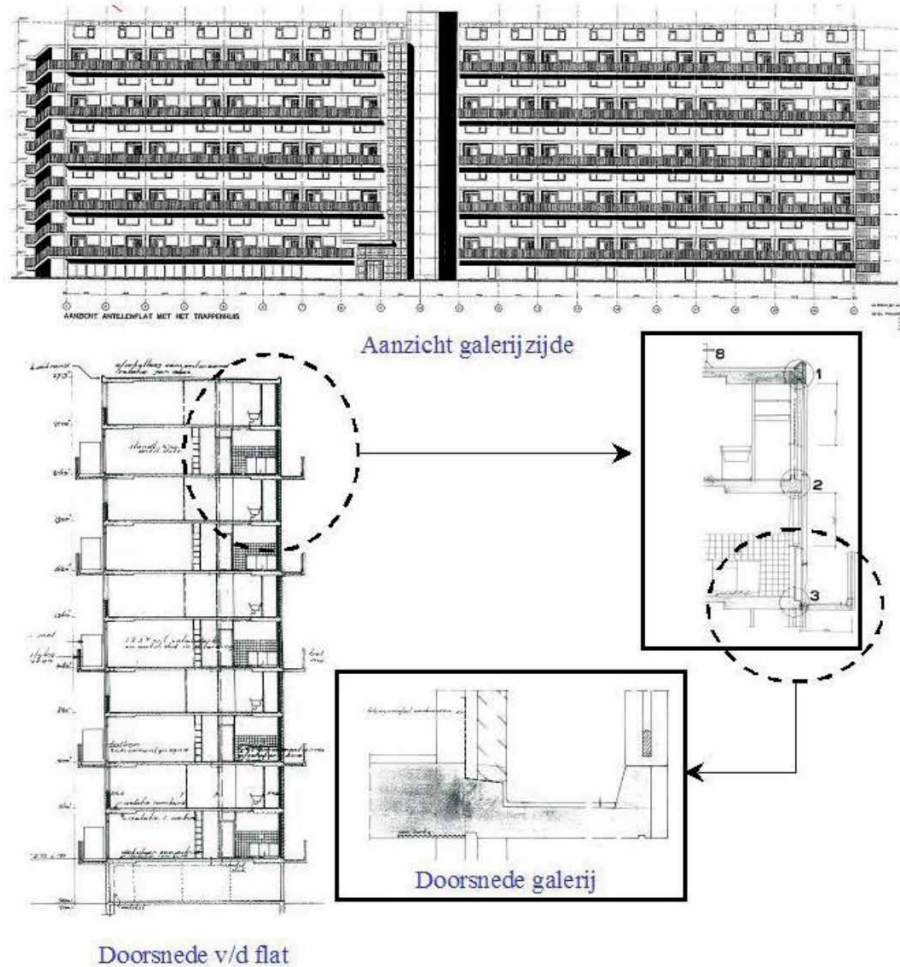


FIG. 4.8 Antillenflat te Leeuwarden, aanzicht, doorsnede, details galerij. Overgenomen uit *Uitkragende betonnen galerijplaten van de Antillenflat* (p. 27) door M. Meek, 2016, Delft: Technische Universiteit Delft. Copyright 2016, Technische Universiteit Delft.

Uitkragende balkons en galerijen zijn monoliet verbonden aan de betonnen verdiepingvloeren of gevelbalken. “Water met daarin opgeloste chloriden, aanwezig door het gebruik van dooizouten voor gladheidbestrijding, is in de buigscheuren gedrongen en heeft reeds vele jaren geleden de wapeningsstaven bereikt. Door deze chloriden zijn de wapeningsstaven, juist op de plaats waar de wapeningsstaven maximaal worden belast, gaan corroderen” (Jonker, De Jonker, Mans, & Wijte, 2014 p. 31), zie Figuur 4.9.

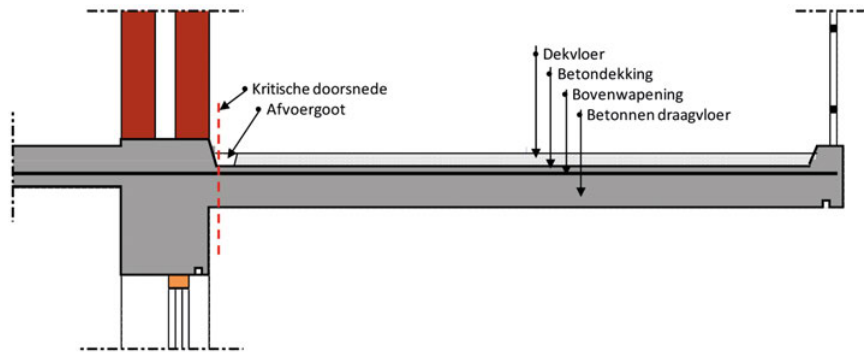


FIG. 4.9 Schematische weergave van uitragende betonnen vloeren. Overgenomen uit *CUR 248: Onderzoek naar en beoordeling van de constructieve veiligheid van uitragende betonnen vloeren van galerijflats* (p. 11) door F. Jonker, M. De Jonker, D.G. Mans en S.N.M. Wijte, 2014, Rotterdam: SBRCURnet en Platform Constructieve Veiligheid. Copyright 2014, SBRCURnet en Platform Constructieve Veiligheid.

Putcorrosie bij uitragende balkons door ingedrongen chloriden komt minder vaak voor omdat hier dooizouten slechts sporadisch worden gebruikt, tenzij het flatgebouw zich bevindt direct aan de kustlijn. De kustlijn is een zone tot 10 km vanaf de zee (De Jonker, Mans, & Wijte, 2016, p. 1).

Minister Blok heeft eind 2015, met een wijziging van de Regeling Bouwbesluit 2012 (artikel 5.11), een verplichting ingesteld, om “de staat van galerijflats met uitragende betonnen galerij- of balkonvloeren, die monoliet zijn verbonden aan de betonnen verdiepingvloeren of gevelbalken, te (laten) onderzoeken” (De Jonker, Mans, & Wijte, 2016, p. 1). Het gaat om ongeveer duizend galerijflats en de controle moest gereed zijn voor 1 juli 2017.

Deze fysieke onvolkomenheden in de draagstructuur zijn van belang voor de concepten voor upgradering van hoogbouw flats.

Sloop van flattypen

Liebregts (2013d) heeft de kenmerken architectuur, grootte en comfort van systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode '50-'75 onderzocht. De architectuur van de verschillende methoden geeft een tijdbeeld die soms een monumentenstatus krijgt, maar soms ook oorzaak is van sloop vanwege de uitstraling die niet meer past bij de wensen van huidige en toekomstige bewoners.

De afmetingen van de woningen, met name de beschikbare ruimte en de indeelbaarheid, zijn volgens Liebregts van belang. De meeste systeemwoningen

kenmerken zich “door een grote mate van flexibiliteit door de toepassing van kastenwanden, glazen interne puien en dubbele deuren. En in sommige gevallen door de toegepaste constructie, bestaande uit kolommen” (Module 1 p. 6). Volgens Liebrechts zijn in totaal “ca. 450 duizend systeemwoningen gebouwd in de periode 1945-1975 en dat is circa 20 % van de totale woningproductie uit deze periode” (Module 1 p. 7).

De sloop van systeemwoningen is afhankelijk van het bouwmethod. De volgende sloopcategorieën zijn volgens Liebrechts te onderscheiden:

- 1 Nauwelijks sloop: <5 %
 - 2 Beperkte sloop: 5-20 %
 - 3 Gemiddelde sloop: 20-30 %
 - 4 Veel sloop: 30-50 %
 - 5 Structurele sloop: >50 %
- (Module 1 p. 7)

Liebrechts geeft een indicatie van het aantal gesloopte woningen per bouwsysteem. Voor hoogbouwsystemen zijn dit:

- Portiek Coignet: 50 % - structurele sloop
 - Wilma: 20 % - beperkte tot gemiddelde sloop
 - BMB: <5 % - nauwelijks sloop
 - Pronto: <5 % - nauwelijks sloop
- (Module 1 p. 7).

Woningkwaliteit

Woningkwaliteit is technische kwaliteit, functionele kwaliteit en esthetische kwaliteit. Technische kwaliteit is het streven naar degelijkheid en duurzaamheid, functionele kwaliteit is het streven naar bruikbaarheid en comfort, esthetische kwaliteit is het streven naar schoonheid en allure (De Vreeze, 1993, p. 28).

Functionele kwaliteit van een bouwsysteem wordt bepaald door wat het systeem moet doen en hoe goed (Pioneering, z.d.) . Functionele kwaliteit is woontechnische kwaliteit waar het gaat om “de mate van bruikbaarheid, om de vraag in hoeverre woningen geschikt zijn voor en afgestemd op het gebruik door specifieke groepen; de afmetingen, de relaties tussen vertrekken in een woning, de veranderbaarheid en de aanwezigte voorzieningen zijn hier bepalend” (Koffijberg, 1997, p. 5).

De kwaliteit van de functionele staat en technische staat van een hoogbouwsysteem is afhankelijk van de bouwmethode en bouwsysteem, de mate van onderhoud en gebruik van het systeem en de context.

Functionele eisen aan een woongebouw zijn bijvoorbeeld flexibiliteit, aanpasbaarheid en toegankelijkheid. Voor veranderende functie-eisen of woonwensen is flexibiliteit een functionele kwaliteit. Deze flexibiliteit kan ruimtelijke flexibiliteit, gebruiksflexibiliteit of technische flexibiliteit zijn, waarbij de technische flexibiliteit de ruimtelijke en gebruiksflexibiliteit mogelijk maakt. Technische flexibiliteit is de mate van de mogelijkheid “om bouw- en installatiedelen gemakkelijk te kunnen vervangen, te verplaatsen, uit te breiden of aan te passen aan gewijzigde functie-eisen” (Geraedts, 2013, p. 23) met als factoren bouwtechnische flexibiliteit, installatietechnische flexibiliteit, verkavelbare drager, ontkoppelbaar, zoneerbaar, demonteerbaar, instelbaar, uitwisselbaar, verplaatsbaar, uitbreidbaar, vervormbaar, capaciteit, dimensionering, leidingloos, intelligent, universeel-standaard, geïntegreerd en combineerbaar (Geraedts, 2013). Het losmaakbaar zijn van elementen en componenten is vanwege de circulaire economie een extra factor.

Technische staat, thermische bruggen

Hoogbouwflats uit de Wederopbouwperiode hebben vaak door fysieke verbindingen tussen de constructie in de warme zone en koude buitenspouwbladen ter hoogte van vloeren grote thermische bruggen, zie de verticale geveldetails van diverse Wederopbouw bouwsystemen door Potjer (2018) in Figuur 4.10. Kleine thermische bruggen, zoals de bestaande spouwankers, vormen een risico vanwege aantasting van de kwaliteit van deze ankers door condensatie. Deze condensatie wordt versterkt door naïsolatie van de bestaande spouwen waardoor de ventilatiefunctie en daarmee vochtafvoer wegvalt. Grote thermische bruggen worden gevormd door dragers voor verticale dilatatie van buitenspouwbladen, die gekoppeld zijn aan de warme constructie. Soms wordt een gedeelte ter plaatse van een thermische brug minimaal geïsoleerd met doorstekende wapening (zoals het VAM-portiek detail).

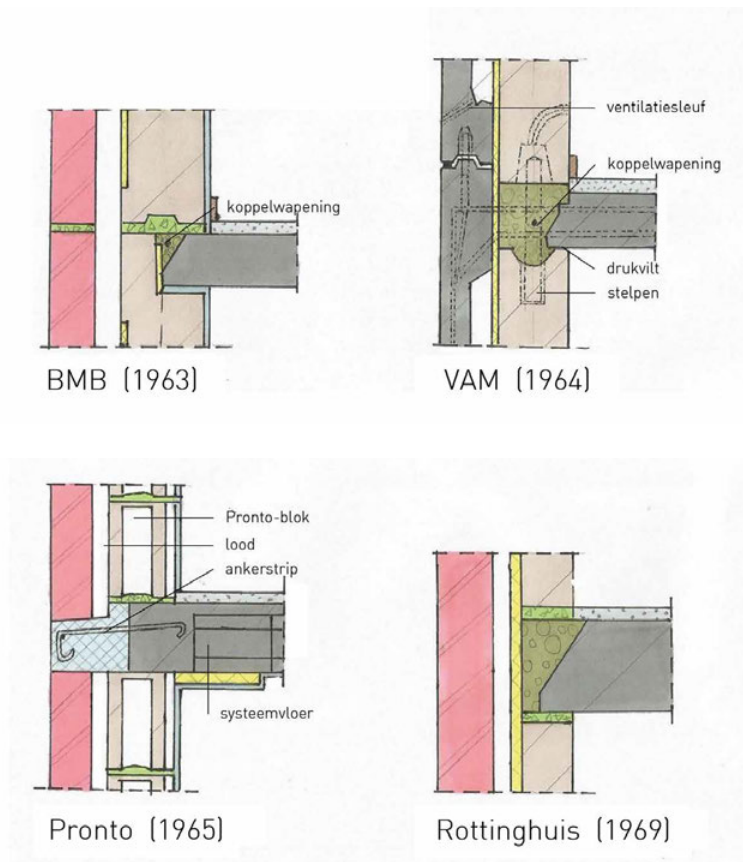


FIG. 4.10 Thermische bruggen in kopgevels en langgevels bij galerijflats en portiekflats uit de Wederopbouwperiode, verticale geveldetails. Overgenomen uit *Een hoogwaardige toekomstbestendige NOM-flatrenovatie* (pp. 48-50) door J. Potjer, 2018, Arnhem: HAN. Copyright 2018, HAN.

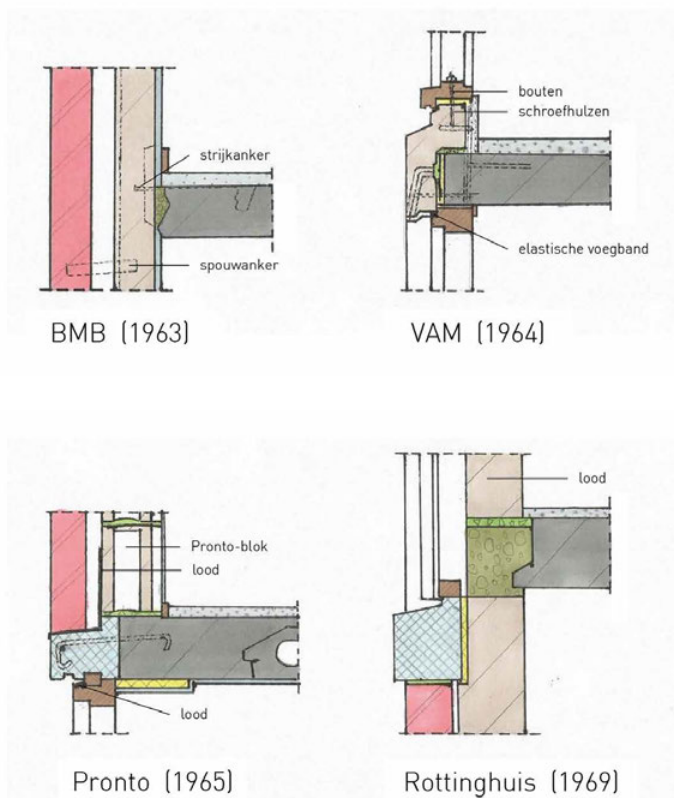


FIG. 4.10 (VERVOLG) Thermische bruggen in kopgevels en langsgevels bij galerijflats en portiekflats uit de Wederopbouwperiode, verticale geveldetails. Overgenomen uit *Een hoogwaardige toekomstbestendige NOM-flatrenovatie* (pp. 48-50) door J. Potjer, 2018, Arnhem: HAN. Copyright 2018, HAN.

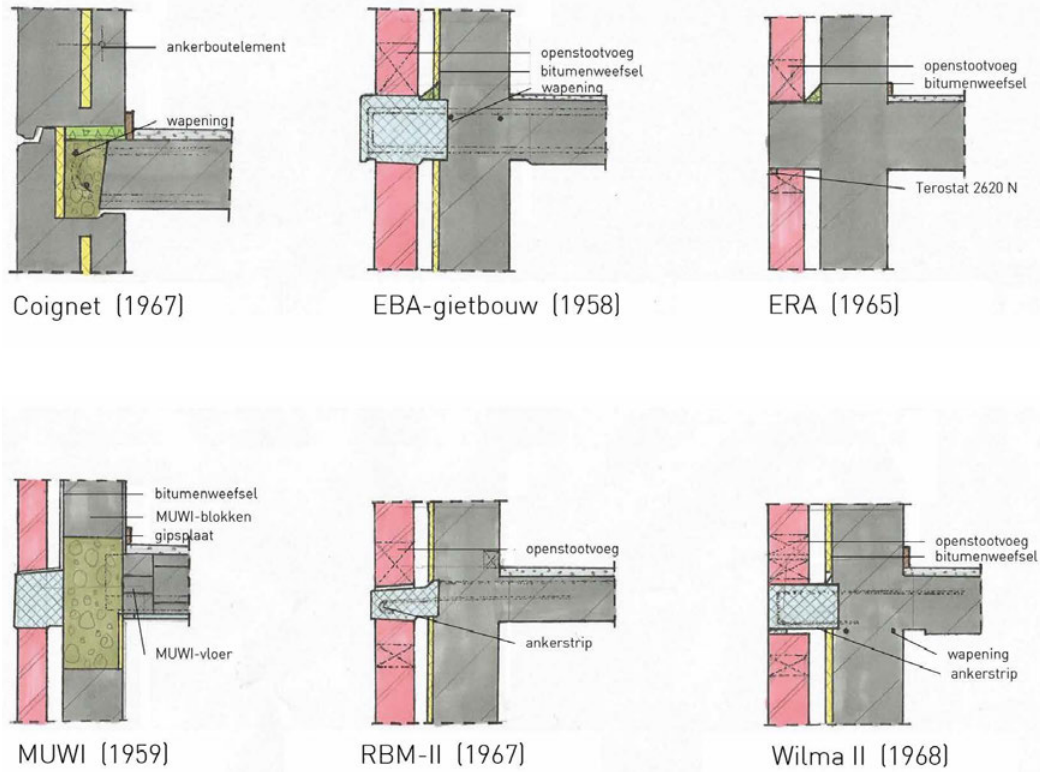


FIG. 4.10 (VERVOLG) Thermische bruggen in kopgevels en langsevels bij galerijflats en portiekflats uit de Wederopbouwperiode, verticale geveldetails. Overgenomen uit *Een hoogwaardige toekomstbestendige NOM-flatrenovatie* (pp. 48-50) door J. Potjer, 2018, Arnhem: HAN. Copyright 2018, HAN.

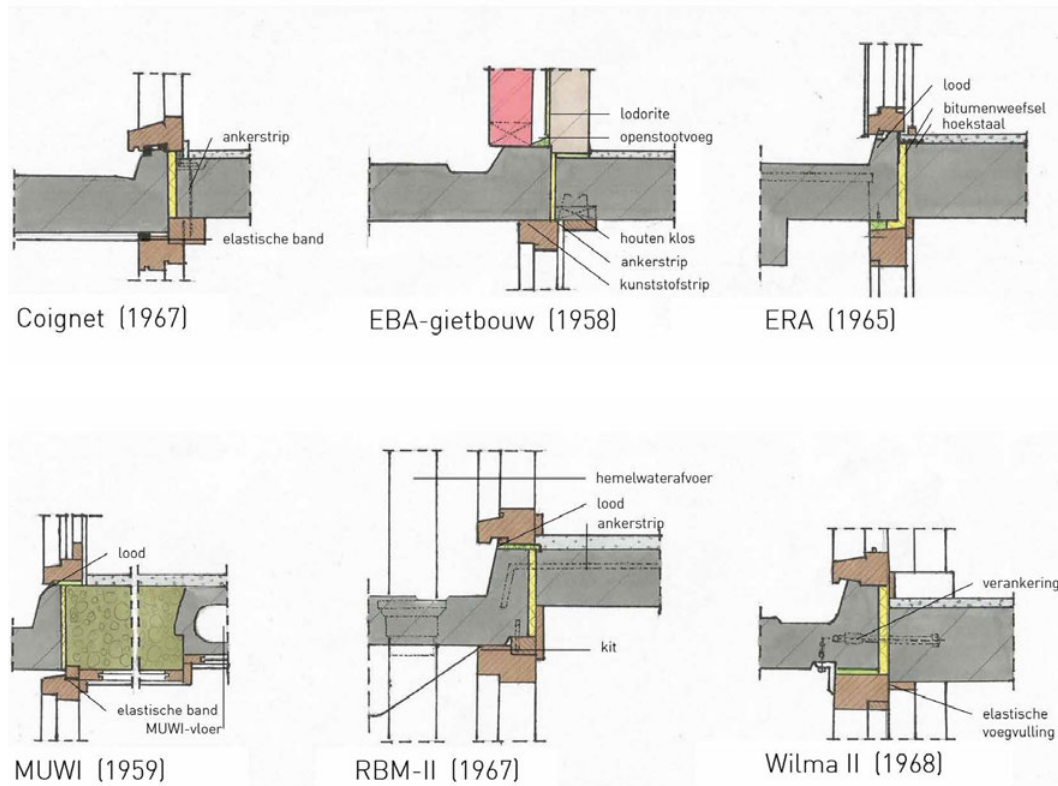


FIG. 4.10 (VERVOLG) Thermische bruggen in kopgevels en langsgevels bij galerijflats en portiekflats uit de Wederopbouwperiode, verticale geveldetails. Overgenomen uit *Een hoogwaardige toekomstbestendige NOM-flatrenovatie* (pp. 48-50) door J. Potjer, 2018, Arnhem: HAN. Copyright 2018, HAN.

Technische staat, thermische isolatie, ventilatie, kierdichting

De thermische isolatie van de buitenschil voldoet niet aan de hedendaagse wensen voor warmteweerstand in relatie tot energiekosten en comfort. De mate van de toegepaste warmteweerstand is afhankelijk van de minimaal geëiste warmteweerstand in de vigerende voorschriften bij indiening van de bouwvergunning.

De bouwvoorschriften geven minimale eisen aan die leidend zijn voor het bouwen en vormen daarmee de grenzen van bouwperiodes. Deze regelgevingen kwamen in 1965 tot meer eenheid door invoering van de Modelbouwverordening. De eisen voor de kwaliteiten van energie, geluid, brandveiligheid en gezondheid van het binnenklimaat nemen vanaf dat moment steeds meer toe (Van Nunen, 2017, p. 55).

Figuur 4.2 en Tabel 4.11 laten de nieuwbouweisen zien volgens Voorschriften en Wenken 1965 (kwaliteitsklasse 'matig' en 'voldoende', voor woningen met een vloer die hoger is gelegen dan 11,20 m boven het maaiveld ter plaatse van de hoofdtoegang van het gebouw, volgens NEN 1068:1964, ingekleurd) afgezet tegen de nieuwbouweisen volgens Bouwbesluit 2012.

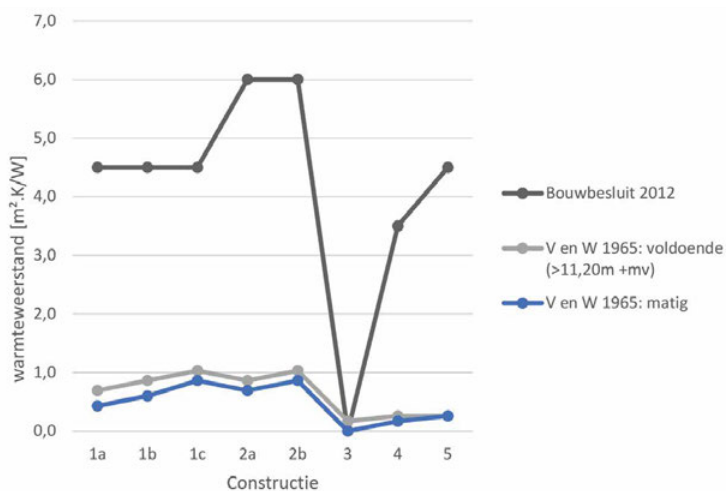


FIG. 4.11 Minimale warmteweerstand van constructies bij nieuwbouw in m².K/W volgens NEN 1068:1964. Volgens data uit *Verbeterde graaddagenmethode* (p. 6) door P.J.J. Hoen en R.V.L.M. Thijs, 1981 en uit Bouwbesluit 2012.

TABEL 4.2 Minimale warmteweerstand van constructies bij nieuwbouw in m².K/W volgens NEN1068:1964 (data volgens Hoen & Thijs, 1981, p. 6 en Bouwbesluit 2012).

minimale warmteweerstand [m ² .K/W]		volgens NEN1068:1964				volgens Bouwbesluit 2012	verschil Bouwbesluit 2012 vs. V en W 1965	
		massa [kg/m ²]	kwaliteitsklasse				matig (1964) [%]	voldoende (1964) >11,20m +mv [%]
Constructie	matig (1964)		voldoende (1964) >11,20 m +mv	goed (1964)				
1a	buitenwanden van de woning	>250	0,43	0,69	1,29	4,5	1047 %	652 %
1b		250-100	0,60	0,86	1,29	4,5	750 %	523 %
1c		<100	0,86	1,03	1,29	4,5	523 %	437 %
2a	daken; vloeren	>100	0,69	0,86	1,29	6,0	870 %	698 %
2b	boven buitenlucht of niet-verwarmde en vaak openstaande ruimten, zoals garages	≤100	0,86	1,03	1,29	6,0	698 %	
3	wanden en vloeren die de scheiding vormen tussen twee woningen	onafhankelijk van de massa	(geen eis)	0,17	0,34	(geen eis)		
4	vloeren boven kelders of kruipruimten of direct op de grond gestort	onafhankelijk van de massa	0,17	0,26	0,52	3,5	2059 %	
5	wanden en vloeren die de scheiding vormen tussen een woning en een trappenhuis of een andere niet tot een woning behorende ruimte	onafhankelijk van de massa	0,26	0,26	0,52	4,5	1731 %	

De minimaal geëiste warmteweerstanden van constructies door het Bouwbesluit 2012 ten opzichte van die volgens V&W 1965 en NEN1068:1964 variëren van een factor 5,23 hoger (voor buitenwanden met een massa kleiner dan 100 kg/m²) tot een factor 20,59 hoger (bij begane grond vloeren).

Volgens V en W 1965 zijn de thermische isolatie-eisen afhankelijk van de hoogte van de vloer van de hoofdwoonkamer. Vloeren boven 11,20 m boven maaiveld hebben niveau 'voldoende' nodig zoals vermeld in NEN 1068-1964. Als er een centrale verwarming aanwezig is, dan wordt aanbevolen om de thermische isolatie op een hoger niveau te brengen.

Ventilatie-eisen werden in de Modelbouwverordening (MBV) gesteld. De MBV heeft als doel om door de gemeenteraad van een Nederlandse gemeente een gemeentelijke bouwverordening vast te kunnen stellen.

De bestaande ventilatiesystemen zijn vaak gebaseerd op mechanische afzuiging en natuurlijke luchttoevoer als gevolg van de eisen van toentertijd. Mechanische afzuiging is ter plekke van de kookplek, wc en badkamer. Door de mechanische afzuiging ontstaat een onderdruk in de woning waardoor via ventilatieroosters, kieren en spleten buitenlucht in de woning komt, al dan niet in combinatie met winddruk en thermische krachten. Kieren en spleten geven echter ook onbedoelde luchtbewegingen en kunnen schadelijk zijn voor constructiematerialen bij inwendige condensatie.

Technische staat, degradatie van bouwproducten

Veroudering van bouwproducten treedt op door onder andere inwerking van zon, wind, regen, thermische belastingen zoals veranderingen door uitzetting en krimp, uitdroging, schade door bouwfysische processen zoals condensatie, wijzigende fysieke belastingen, trillingen en door gebrek aan onderhoud. Door deze veroudering kunnen bouwproducten degraderen. Voortschrijdend inzicht over eigenschappen van bouwmaterialen geeft aanleiding om zeer zorgwekkende stoffen te vervangen door stoffen die minder schadelijk zijn, zoals het vervangen van asbesthoudende materialen die degraderen door weersinvloeden.

Het managen van verouderen van materialen, elementen of componenten heeft drie aspecten: weerstand bieden tegen veroudering, uitstellen van veroudering en omkeren van veroudering (Den Hollander, 2018). Oorzaken van veroudering kunnen fysiek, economisch, functioneel, technologisch, sociaal en/of wettelijk zijn (Langston, Wong, Hui & Shen, 2008; Žegarac Leskovar & Premrov, 2019).

Functionele staat, zelfredzaamheid en gezondheid

Het functioneel aanpassen van woningen voor zelfredzaamheid en gezondheid van bewoners heeft psychische, fysieke en sociale aspecten. Gezondheid wordt gedefinieerd als “een toestand van lichamelijk, geestelijk en sociaal welzijn en niet alleen de afwezigheid van ziekte of gebrek” (WHO, 1948, p. 1) en aangevuld door Huber et al. (2011) met “het vermogen zich aan te passen en een eigen regie te voeren, in het licht van de fysieke, emotionele en sociale uitdagingen van het leven” (p. 1). Van der Stel (2016) stelt dat hierbij gezondheid als toestand en als gedrag

niet verward mogen worden en herdefinieert gezondheid als “het mede door eigen inspanning en naar welbevinden kunnen behouden en ontwikkelen van de gezien de levensfase en levensomstandigheden noodzakelijke lichamelijke, psychische en sociale functies”.

De mate van zelfredzaamheid heeft een relatie met de mate van ‘algemene dagelijkse levensverrichtingen’ (ADL) en ‘huishoudelijke activiteiten van het dagelijkse leven’ (HDL). De zelfredzaamheid voor mensen met een beperking kan een grote invloed hebben op de gewenste woningplattegronden en voor de gewenste ontsluiting daarvan. Beperking (disability) “vloeit voort uit de wisselwerking tussen personen met functiebeperkingen en sociale en fysieke drempels die hun volledige en effectieve participatie aan de samenleving belemmeren op gelijke basis met anderen” (WHO, 2011, p. 4).

Slecht toegankelijke omgevingen zorgen voor beperkingen voor mensen door het creëren van belemmeringen voor participatie en integratie (WHO, 2011, p. 4). In het algemeen zijn woningen in hoogbouwflats uit de Wederopbouwperiode slecht toegankelijk voor mensen met rolstoelgebruik. Er zijn veel hinderlijke niveauverschillen aanwezig voor rolstoelgebruik, zoals dorpels die hoger dan 2 cm zijn. De verkeersruimte binnen de woning is te smal voor comfortabel rolstoelgebruik, zoals het kunnen draaien om deuren te bedienen. Natte ruimten hebben niet de juiste afmetingen en sanitair voor rolstoelgebruik. Afhankelijk van de aanwezige ruimten en constructies kunnen verbeteringen en wijzigingen hierin worden aangebracht.

Om de mate van technische en functionele flexibiliteit voor het wijzigen van de plattegronden van de verschillende hoogbouwsystemen te kunnen beoordelen zijn reductietekeningen gemaakt (zie Figuur 4.12). Deze tekeningen vermelden de dragende wanden en gestippelde de niet-dragende scheidingswanden.

De huidige functionele staat van de plattegronden staat toegankelijkheid in de weg. De ontsluitingen van de appartementen in een hoogbouwflat zijn slecht toereikend voor de huidige wensen. Een galerijbreedte voor het omkeren van een rolstoel is minimaal 1,50 m. Voor het omkeren van een scootmobiel is minimaal 2,10 m nodig. Voor rolstoelgebruik is een minimale doorgangsbreedte van de galerij nodig van 1,20 m. Voor het passeren van twee rolstoelen is ter plaatse een doorgangsbreedte van minimaal 1,80 m nodig (Ongehinderd, 2019). De galerijbreedten van de bestaande Wederopbouw hoogbouw variëren van 1,25 m (Muwi) tot 1,52 m (Coignet), zie Figuur 4.12. Deze galerijen zijn daarom voor rolstoelgebruik en gebruik van scootmobielen slecht toegankelijk.

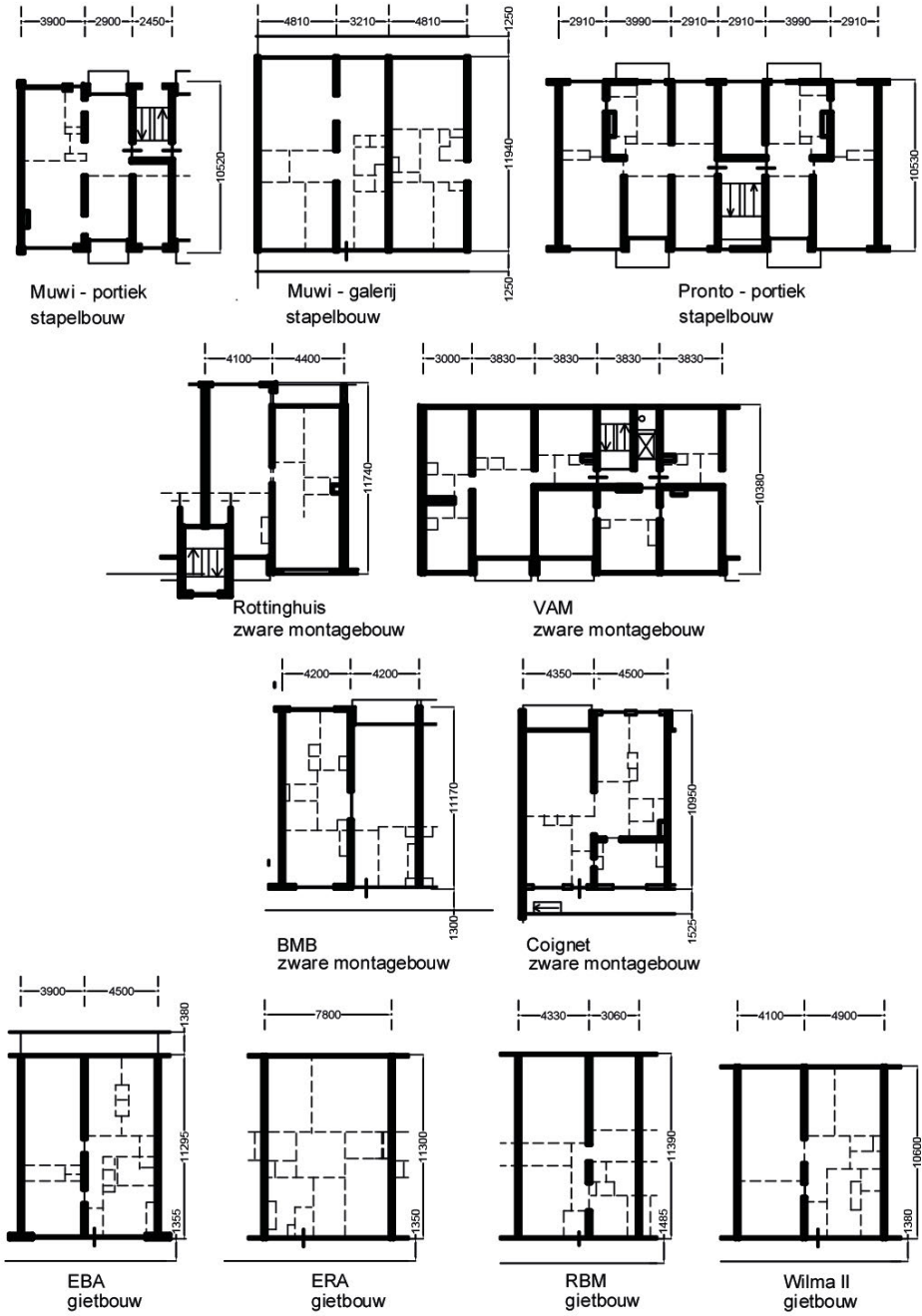


FIG. 4.12 Reductietekeningen structuur van de 10 Wederopbouw hoogbouwssystemen.

Fysieke toegankelijkheid van en in een appartement kan volgens RIGO verbeterd worden door afwezigheid van drempels die hoger zijn dan 2 cm, voor mensen met een visuele of fysieke beperking, psychische aandoening, verstandelijk beperking of mensen met niet-aangeboren hersenletsel (Van der Reijden, Bakker, & De Wildt, 2019).

Een sociaal gewenste afstand tussen openbaar en privé is bij een galerijontsluiting van appartementen is niet aanwezig. Een nieuwe ontsluitingsstructuur met een overgangsgebied tussen openbaar en privé, zowel sociaal als functioneel in combinatie met een eigen draagconstructie is hiervoor een kans.

De maten van vloeroverspanningen hebben een relatie met de technische mogelijkheden van een bouwsysteem voor het maken van een overspanning, de minimale geëiste ruimtematen volgens de toen geldende bouwregels en het te realiseren programma. Hoe groter de vloeroverspanning, des te meer flexibiliteit mogelijk is in woningplattegronden.

De grootste beukmaat, de hart-op-hart-afstand van de dragende wanden van een vloeroverspanning, komt bij de onderzochte bouwsystemen voor bij het ERA-bouwsysteem. Dit is een gietbouwsysteem met een beukmaat van 7,80 m. Figuur 4.13 toont een overzicht van de grootste beukmaten per bouwsysteem.

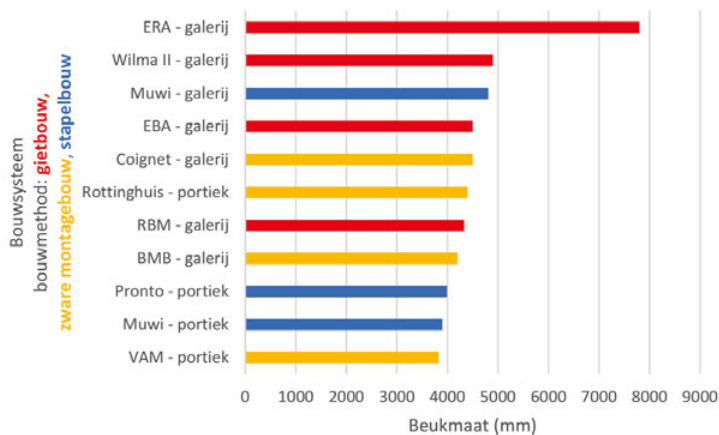


FIG. 4.13 Overzicht grootste beukmaten per bouwsysteem en bouwmethode.

Plaats van de lift in het bouwblok met galerij-ontsluiting

In de vroege galerij-hoogbouwsystemen is het centrale trappenhuis met liften binnen het bouwblok gesitueerd. Bij de latere bouwsystemen is de opzet voor het bouwen van het bouwblok maatgevend voor de plaats van het centrale trappenhuis met liften. De ontsluitingskolom wordt hier buiten het bouwblok geplaatst zodat effectiever het bouwblok gebouwd kan worden.

Plaats vaste elementen

De plaats van de badkamer, toilet en meterkast is door verknoping van installaties en door de verticale relatie tussen de leidingschachten (communicatie-, elektra-, gas-, en water-, mechanische afvoer-, en rioleringsleidingen) in de appartementen moeilijk te verplaatsen. Gezien de leeftijd van de sanitaire ruimten en keuken kan door einde technische of functionele levensduur vernieuwing aan de orde zijn. Dit is dan een moment om de functionele indeling van de plattegrond te verbeteren naar de maatstaven van nu, zoals een goede toegankelijkheid voor minder-validen. Vanwege de eenvormigheid van appartementen in een bouwsysteem kan de vernieuwing van sanitaire ruimten met behulp van prefab elementen op een systematische wijze geschieden. Omdat de installaties aangepast of vervangen moeten worden geeft dit de kans om de oude installatieknoop te ontwarren en tevens geschikt te maken voor eenvoudige aanpassingen later. Verlaagde plafonds in gangruimten bieden ruimte voor de extra installatieleidingen. De vrije hoogte van ca. 2,60 m laat deze flexibiliteit toe. De vernieuwingen kosten echter veel ambachtelijke manuren ter voorbereiding en daardoor veel overlast voor de bewoners. Een geschikt moment zou daarvoor een mutatieperiode kunnen zijn, wellicht per verticale streng als dit verplaatsing van leidingkokers betreft.

Warmteopwekking voor verwarming van ruimten en tapwater

Oorspronkelijk zijn hoogbouwflats uit de Wederopbouwperiode voorzien van een technische ruimte in de plint voor collectieve opwekking van warmte voor ruimteverwarming uit een bepaalde brandstof zoals olie en later aardgas. Via een verdeelsysteem komt warm water voor ruimteverwarming naar de diverse appartementen waarbij de hoeveelheid gemeten wordt door digitale of ouderwetse verdampingsmeters op de radiatoren. Warm tapwater wordt door een gasgeiser in de keuken van het appartement zelf verzorgd. Bij latere renovaties van de flats zijn deze installaties vaak vervangen door individuele gasketels voor de opwekking van warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater.

4.4 Geslotenheid van gevels

De 10 hoogbouwsystemen in relatie tot mogelijke energieopwekkende gevels

De bestaande hoogbouwflats worden geüpgraded tot energieleverende flats. De gevels en dak bieden hiervoor gelegenheid om elektrische energie en warmte uit de zon te oogsten met behulp van PV-panelen en zonnecollectoren (T) of combinaties hiervan. In het geval van niet-transparante energieleverende gevelpanelen kan dit in strijd zijn met functionele eisen van de gevel, zoals daglichttoetreding en uitzicht. De gesloten delen van de gevel vormen geen belemmering voor deze eisen, de open delen wel (afhankelijk van de mate van transparantie van energieleverende panelen).

Omdat de gesloten vlakken van gevels de mogelijkheid bieden voor directe zonne-energieoogst in de vorm van elektrische energie en warmte wordt is de *geslotenheid* van de zongerichte gevel een variabele in dit onderzoek. De literatuur benoemt de reciproke variabele *openheid* van een gevel ('window-to-wall ratio'). De invloed van instraling door de zon door transparante onderdelen van de bestaande gevel wordt voor het bepalen van de geslotenheid van gevels buiten beschouwing gelaten.

De mate van geslotenheid van een gevel geeft de verhouding aan tussen niet-transparante en transparante vlakken in de gevel. De niet-transparante vlakken kunnen dienen als vlak voor niet-transparante PV- en PV/T-technologie voor het opwekken van elektrische energie en warmte. De transparante vlakken kunnen daarnaast dienen voor transparante PV-technologie voor het opwekken van elektrische energie.

De mate van geslotenheid van de gevels is bepaald aan de hand van bouwtekeningen uit bouwarchieven van Stichting Ratiobouw in het Algemeen Rijksarchief te Den Haag, bouwtekeningen en gevelaanzichten van internet (funda.nl, maps.google.com) en uit gemaakte foto's. De zongerichte woongevel, gericht op het oosten, zuiden of westen, is hierbij richtinggevend.

Geslotenheid hoogbouwsysteem per bouwmethode

De geslotenheid van zongerichte woongevels wordt per bouwmethode (stapelbouw, zware montagebouw en gietbouw) bepaald.

Stapelbouw

De bouwsystemen Muwi en Pronto behoren tot de stapelbouwmethoden.

Muwi

Voor het bouwsysteem Muwi aan Klarenstraat te Amsterdam geldt dat de gesloten vlakken van de woongevel ca. 36 % van het totale woongeveloppervlak bedraagt (zie Figuur 4.14).

Een ander voorbeeld van Muwi-woningen zijn de galerijwoningen aan de Jan Ligthartstraat in Heemskerk (zie Figuur 4.15). Om de geslotenheid van de woongevel te bepalen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De verdiepingshoogte is 2,80 m.
- Balkonranddikte 0,20 m.
- Balustradehoogte: 1 m met buis (op 1,20 m hoogte). De balustrade bestaat uit een open spijlenhekwerk.

De zongerichte woongevel van de Muwi-galerijwoningen in Heemskerk bestaat uit circa 42 % dichte delen met een open balkonbalustrade. Het balkon geeft een relatie met de woonkamer.

Indien de balustrade gesloten zou zijn, dan is de geslotenheid van de gevel ca. 53 %.

De kopse gevels zijn 100 % gesloten.



FIG. 4.14 Muwi, Klarenstraat te Amsterdam.



FIG. 4.15 Muwi-woningen met galerijontsluiting aan de Jan Ligthartstraat te Heemskerk. Overgenomen uit *Google Maps*, 2016. Copyright 2016, Google Maps.

Pronto

Om de geslotenheid van de woongevel van de portiekflat aan Karel de Grotelaan te Eindhoven-Blaarthem met het Pronto-bouwsysteem (zie Figuur 4.16) te bepalen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De verdiepingshoogte van de woningen bedraagt 2,80 m, die van de plint 2,80 m waarbij ca. 1,40 m in het maaiveld is verzonken. De balkonrand heeft een dikte van 0,20 m.
- Balustradehoogte: 1,20 m. De balustrade van het balkon bestaat uit een gesloten plaatwerk.



FIG. 4.16 Pronto-woningen met portiekontsluiting aan Karel de Grotelaan te Eindhoven-Blaarthem. Overgenomen van *Google Maps*, 2016. Copyright 2016, Google Maps.

De woongevel van deze portiekflat bestaat uit circa 68 % dichte delen. De kopse gevels zijn 100 % gesloten. In het geval dat bij gespiegelde plattegronden een dichte verticale strook met een breedte van ca. 1 m ter plaatste van de ontmoeting van beide balkons is aangebracht wordt het dichte oppervlak totaal 72 % van het totale woongeveloppervlak van het appartement. Dit komt voor bij sommige Pronto-flats in Blaarthem.

Zware montagebouw

De bouwmethoden BMB, Coignet en Rottinghuis/IBC zijn zware montagebouwmethoden met een galerijontsluiting. VAM is een zware montagebouwmethode die vaak is voorzien van een portiekontsluiting.

BMB

Een voorbeeld uitgevoerd in het BMB-bouwsysteem is de flat met galerijontsluiting in Woenselse Heide te Eindhoven, bouwjaar 1972 (zie Figuur 4.17 en 4.18).



FIG. 4.17 BMB-woningen met galerijontsluiting in Woenselse Heide te Eindhoven, woongevel.



FIG. 4.18 BMB-woningen met galerijontsluiting in Woenselse Heide te Eindhoven, ontsluitingsgevel.

Om de geslotenheid van de gevel te bepalen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De verdiepingshoogte is 2,80 m.
- Balkonranddikte 0,20 m.
- Balustradehoogte: 1 m met buis (op 1,20 m hoogte). De balustrade is gesloten.

De zongerichte woongevel van de BMB-woningen te Eindhoven bestaat uit circa 37 % dichte delen. De kopse gevels zijn 100 % gesloten. De ontsluitingsgevel heeft een geslotenheid van 50 %, uitgaande van een balustradehoogte van 1,20 m met een galerijdikte van 0,20 m en een gesloten balustrade.

Coignet

Voor het zware montagebouw bouwsysteem Indico Coignet aan Amerbos te Amsterdam (Figuur 4.19) bedraagt het gesloten woongevelgedeelte ca. 48 % van het totale woongeveloppervlak.



FIG. 4.19 Indico Coignet aan Amerbos te Amsterdam, woongevel.

Rottinghuis/IBC

Een voorbeeld is de IBC-flat met galerijontsluiting in Geeren-Noord te Breda (zie Figuur 4.20 en Figuur 4.21).



FIG. 4.20 IBC-flat in Geeren-Noord te Breda, ontsluitingsgevel. Overgenomen uit *Google Maps*. Copyright 2018, Google.



FIG. 4.21 IBC-flat in Geeren-Noord te Breda, woongevel. Overgenomen uit *Google Maps*. Copyright 2018, Google.

Om de geslotenheid van de gevel te bepalen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De verdiepingshoogte is 2,80 m.
- Balkonranddikte 0,20 m.
- Balustradehoogte: 1 m met buis (op 1,20 m hoogte). De balustrade bestaat uit een open spijlenhekwerk.

De zongerichte woongevel van de IBC-flat te Breda bestaat uit circa 27 % dichte delen.

De kopse gevels zijn 100 % gesloten.

VAM

Een voorbeeld van een VAM-flat met portiekontsluiting is de flat aan de Henriëttedreef te Utrecht. Op het dak van deze flat is in juli 2017 als proef de PowerNEST van IBIS Power (zie Figuur 3.30 en Figuur 4.22) gemonteerd om naast zonne-energie ook windenergie in de gebouwde omgeving te onderzoeken. Een gedeelte van de kopse gevel is voorzien van PV-panelen (zie Figuur 4.22 en Figuur 4.23).



FIG. 4.22 VAM-flat aan de Henriëttedreef te Utrecht, woongevel. Overgenomen uit *Google Maps*. Copyright 2018, Google.



FIG. 4.23 VAM-flat aan de Henriëtterdreef te Utrecht. Overgenomen uit *Google Maps*. Copyright 2018, Google.

Om de geslotenheid van de gevel te bepalen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De verdiepingshoogte is 2,80 m. De eerste woonvloer bevindt zich op 1,75 m boven maaiveld.
- Balkonranddikte 0,20 m.
- Balustradehoogte: 1 m met buis (op 1,20 m hoogte). De balustrade bestaat uit een open spijlenhekwerk.

De zongerichte woongevel bestaat uit circa 20 % dichte delen.

De kopse gevels zijn 100 % gesloten.

Gietbouw

De bouwsystemen EBA II, ERA, RBM II en Wilma II zijn gietbouwmethoden.

Kenmerkend voor de gietbouwmethode is het aanbrengen van de gevel na het maken van het skelet: een scheiding van skelet en gevel. De gevelopbouw is daardoor niet rechtstreeks afhankelijk van het skelet. Wel is er een maatgevoeligheid vanwege het plaatsen van de gevel tussen of tegen de skeletranden (Bouwcentrum Ratiobouw, 1970, p. 9).

ERA is hierbij de bouwmethode met de grootste vloeroverspanning (h.o.h. 7800 mm).

EBA II

Voor het EBA-gietbouwsysteem aan Bijlmerdreef te Amsterdam bedraagt het gesloten woongevelgedeelte ca. 10 % (Figuur 4.24). Uitgaande van gesloten borstweringen tot 1 m boven balkon (met daarboven leuning) wordt dit 43 % van het totale woongeveloppervlak.



FIG. 4.24 EBA, Bijlmerdreef, Amsterdam.

ERA

Voor het ERA-gietbouwsysteem aan Robert Kochplaats te Rotterdam bedraagt het gesloten woongevelgedeelte ca. 10 % (Figuur 4.25). Uitgaande van gesloten borstweringen tot 1 m boven balkon (met daarboven leuning) wordt dit 43 % van het totale woongeveloppervlak.



FIG. 4.25 ERA, Robert Kochplaats, Rotterdam. Overgenomen van *Google Maps*, 2019. Copyright 2019, Google.

RBM II

Voor het RBM-gietbouwsysteem aan Klarenburg te Amsterdam bedraagt het gesloten woongevelgedeelte ca. 10 % bij een transparante balustrade en ca. 43 % van het totale woongeveloppervlak uitgaande van een gesloten balustrade (zie Figuur 4.26).

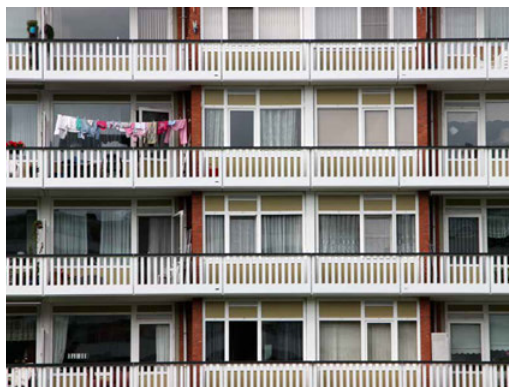


FIG. 4.26 RBM, Klarenburg, Amsterdam.

Voor het RBM-gietbouwsysteem aan Lederambachtstraat te Amsterdam bedraagt het gesloten woongedeelte ca. 32 % van het totale woongevloppervlak (Figuur 4.27).



FIG. 4.27 *Figuur 4.28.* RBM, Lederambachtstraat Amsterdam.

Wilma II

Voor het Wilma II-gietbouwsysteem aan Bomansdreef te Eindhoven bedraagt het gesloten woongedeelte ca. 26 % van het totale woongevloppervlak (zie Figuur 4.28).



FIG. 4.28 Wilma II, Bomansdreef te Eindhoven.

Mate van geslotenheid van de gevels

Conclusie uit de mate van geslotenheid van zongerichte gevels van diverse bouwsystemen is dat er veel variatie zit in de afmetingen van daglichtopeningen en de wijze van afscheidingen.

Bij de stapelbouwmethoden en de grote elementenbouwmethoden of zware montagebouwmethoden bestaan de daglichtopeningen in het algemeen ter plaatse van een balkon uit een pui met daarnaast ramen in het dichte gevelvlak. Het aandeel van de gesloten geveldelen bedraagt 36 % tot 48 %.

Bij de gietbouwmethoden zijn de woongevels vaak voorzien van een woningbrede pui met daarvoor een balkon met borstwering. De hoogte van de borstwering bedraagt 1,20 m boven het balkon. Het gesloten deel van de borstwering bedraagt 0,90 m – 1,00 m boven het balkon. Dit betekent dat het gesloten deel (met balkondikte) 1,10 m – 1,20 m bedraagt. Bij de standaard verdiepingshoogte van 2,80 m bedraagt het gesloten deel dan ca. 39 % tot 43 %.

In een nieuwe geüpgradede situatie kan de mate van openheid van de gevel ook bepaald worden door eisen op het gebied van Welstand, zoals het behouden van het karakter van de Wederopbouw flats. Dit wordt nu buiten beschouwing gelaten. De minimale openheid van de gevel voor daglichttoetreding en uitzicht wordt bepaald door eisen uit het Bouwbesluit 2012 en NEN 2057 voor een equivalente daglichtoppervlakte van 10 % van de vloeroppervlakte van het achterliggende verblijfsgebied. Het equivalente daglichtoppervlakte is een grootheid, die volgens NEN 2057 (Normcommissie 351 005, 2011) als maat voor de daglichttoetreding wordt gehanteerd. Deze oppervlakte in m² bedraagt de waarde van het product van de daglichtoppervlakte van de doorlaat, de belemmeringsfactor van de doorlaat, de uitwendige reductiefactor van de doorlaat en de reductiefactor voor lichtdoorlatende materialen.

Tabel 4.3 en Figuur 4.29 tonen de variatie in de mate van geslotenheid van de woongevels per bouwmethode en bouwsysteem. De geslotenheid van de zongerichte woongevels geven een indicatie voor de mate van opwek van zonne-energie als de gesloten vlakken worden toegepast voor energieopwekking bij behoud van bestaande daglichtopeningen en uitzichten (bijvoorbeeld door een spijlenhekwerk).

TABEL 4.3 Geslotenheid woongevel van de 10 hoogbouwssystemen.

Bouwmethode	Bouwsysteem	Geslotenheid woongevel (originele geslotenheid balustrade)	Geslotenheid woongevel (bij een gesloten balustrade)
Stapelbouw	Muwi (portiek)	36 %	
	Muwi (galerij)	53 %	
	Pronto	68 %	
Zware montagebouw	BMB	37 %	
	Coignet	48 %	
	Rottinghuis/IBC	27 %	
	VAM	20 %	
Gietbouw	EBA	10 %	43 %
	ERA	10 %	43 %
	RBM II	10 %	43 %
	Wilma II	26 %	

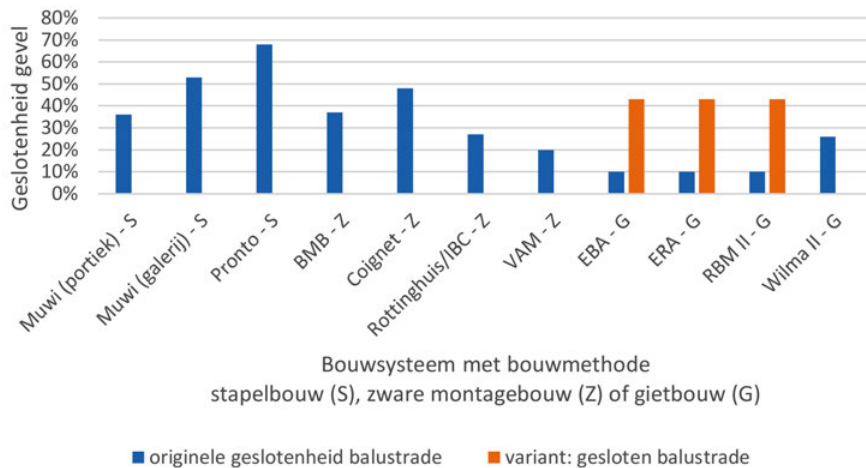


FIG. 4.29 Geslotenheid zongerichte woongevel per bouwsysteem.

Gevels die uit metselwerk bestaan hebben de hoogste percentages van geslotenheid van de gevel. Dat komt het meest voor bij de stapelbouwmethode. Daglichtopeningen bestaan bij deze methode uit 'gaten' in de gevel.

Balkonbalustraden kunnen open, halfopen, semi-gesloten of gesloten zijn. Balkonbalustraden met een relatie tot achterliggende slaapkamers zijn vaak gesloten. Bij invullingen van de langsgewel met complete puien, zoals bij de gietbouwmethoden, is de onderzijde van de pui soms gesloten. De voorliggende balustrade is om deze reden dan ook gesloten. Ook komen situaties voor met glazen puien tot aan de vloer waarbij de balustrade gedeeltelijk is dichtgezet ter voorkoming van inkijk. De geslotenheid van balustraden van balkons heeft een relatie met zicht op de omgeving vanuit de woonkamer. Balkonbalustraden met zicht vanuit de woonkamer zijn vaak voorzien van een spijlenhekwerk waardoor de omgeving op maaiveld zichtbaar blijft, de woonkamerpui naar het balkon is dan niet voorzien van een dichte borstwering. De voorbeelden van de drie gietbouwsysteem EBA, ERA en RBM II laten een extreme situatie zien. De geslotenheid van de woongewel is hier slechts ca. 10 % en bevat alleen de dichte balkonrand.

Concluderend varieert de geslotenheid van de zongerichte woongewels van 10 % tot 26 % bij de gietbouwmethoden, van 20 % tot 48 % bij de zware montagebouwmethoden en van 36 % tot 68 % bij stapelbouwmethoden. Hieruit blijkt dat de stapelbouwmethoden de hoogste mate van geslotenheid van de gewel hebben en daarom het meest geschikt zijn als indicatie voor de mate van opwek van zonne-energie vanuit die gesloten geweldelen. De gietbouwmethoden zijn het minst geschikt voor de opwek van zonne-energie uit de woongewels, tenzij de balustraden aan die gewels meer gesloten kunnen worden uitgevoerd.

4.5 Conclusie

Het hoofdstuk Flat 1.0 heeft bouwfysische, bouwtechnische, constructieve, functionele en architectonische eigenschappen van 10 geselecteerde hoogbouwsystemen in 3 bouwmethoden beschreven.

De bestaande bouwtechnische, constructieve en functionele kwaliteiten van de hoogbouwsystemen zijn soms niet voldoende.

De geslotenheid van woon- en ontsluitingsgewels voor mogelijke energieopwekking vanuit deze vlakken varieert per bouwmethode: stapelbouw heeft de hoogste mate van geslotenheid en gietbouw heeft de laagste mate van geslotenheid van de gewels.

5 Flat 2.0: Comfort upgrading

5.1 Inleiding

In de laatste jaren zijn flats gerenoveerd, deels richting energieneutraal door labelsprongen van energielabel E naar energielabel B wat corporaties gemiddeld minimaal moeten halen voor hun woningbezit in 2021. Deze energetische renovatie zou een lock-in kunnen zijn voor vergaande renovatie naar energieneutraal of energieleverend. Naast de energetische renovatie, met oogpunt op thermisch comfort van de bewoner en energiekosten, is door esthetische renovatie het uiterlijk van de flat positief gewijzigd door nieuw materiaalgebruik als gevolg van isolerende maatregelen aan de buitenzijde van de flat.

Sociale veiligheid van de plint van het gebouw en de entreezone van het gebouw en van de bergingen worden soms sterk verbeterd. De woonbeleving wordt daarmee positief beïnvloed. Dit type energetische renovatie is comfort upgrading.

Dit hoofdstuk onderzoekt energetische aanpassingen die gefocust zijn op 'comfort upgrading' en onderzoekt welke factoren van de best practices van comfort upgradestrategieën kunnen bijdragen aan nieuwe upgrade strategieën.

5.2 Best practices

Upgrading van bestaande gestapelde Wederopbouw woningbouw met energielabel D, E of F naar energielabel B

De woningcorporaties moeten hun voorraad aan sociale huurwoningen volgens het Energieakkoord in 2021 op gemiddeld label B-niveau hebben. Het energielabel B is op weg naar energieneutraal, maar is het nog lang niet. De vraag is of deze energetische upgrading van nu zonder veel desinvestering naar energieneutraal kan worden omgezet in de toekomst, uitgaande van de wens om de totale gebouwen voorraad in 2050 energieneutraal te hebben. Als rekening gehouden is met de toekomstige upgrading naar energieneutraal, dan spreekt men over de zogenaamde *no regret* benadering. Hierbij is dan rekening gehouden met de samenhang tussen opwekking, warmtebronnen, isolatie, kierdichting, ventilatie en gedrag (Van Gemen, Sijphee, Roossien, & Opstelten, 2016). De *no regret* benadering is een upgradewijze door upgrading in delen die uiteindelijk leidt tot de beoogde totaal upgrading.

Voor het opstellen van best practices is door middel van literatuuronderzoek gezocht naar concepten en gerealiseerde projecten op het gebied van renovatie naar energielabel B van gestapelde bouw in combinatie met een meer eigentijdse uitstraling van het gebouw. Breeam heeft in 2019 geen gecertificeerde in-use woningbouwprojecten.

Voor de landen binnen de Europese Unie geldt vanaf 2021 voor nieuwbouw de Europese nearly zero-energy buildings (NZEB) norm. Per deelstaat wordt hier een eigen invulling aan gegeven, afhankelijk van de specifieke klimatologische omstandigheden, de primaire energiefactoren, ambities, berekeningsmethodieken en bouwtradities (European Commission, z.d.). De NZEB uitwerkingen kunnen daarom per land verschillen. Om deze reden zijn met name Nederlandse best practices bestudeerd.

BEST PRACTICE FLAT 2.0: ENDIS (CONCEPT)

ENDIS (Energie neutraal en duurzaam in staal) is een samenwerkingsverband om de seriematig gebouwde portiekflats uit de jaren vijftig-zestig seriematig te renoveren uitgaande van industrieel, flexibel en demontabel bouwen. Volgens O. van der Meulen moeten we “op naar een ‘wederrenovatieperiode’ die sociaal noodzakelijk en economisch realistisch is” met daarbij de opmerking “slopen is plunderen van het verleden” (ENDIS, 2012, p. 1). Door sloop verdwijnen goede en goedkope woningen, verdwijnen de ruime, groene naoorlogse wijken en wordt het milieu onnodig belast. De ENDIS-renovatie bestaat uit een nieuwe schil voor een bestaande portiekflat. Daarin bevindt zich in de nieuwe gevel een schacht voor verticaal transport van installatieleidingen (zie Figuur 5.1). De woning wordt voorzien van een goed en effectief ventilatiesysteem met een lage temperatuurverwarming. De demontabele gevel wordt op een industriële wijze vervaardigd voor een kortere bouwtijd en minder faalkosten. Afhankelijk van het bestaande bouwcasco is een optopping mogelijk met toevoeging van een lift. De ambities voor de renovatie stelt de corporatie vast in overleg met de bewoners en de gemeente op het vlak van energiegebruik, levensloopbestendigheid, woonlasten, comfortverbetering, levensduurverlenging, stedenbouwkundige reikwijdte en financiën. (ENDIS, 2012, pp. 1-2)



FIG. 5.1 Impressie ENDIS-renovatie van portiekflat Klaverweide te Breda. Overgenomen uit *ENDIS* (p. 3) door ENDIS, 2012, Tilburg: ENDIS. Copyright 2012, ENDIS.

BEST PRACTICE FLAT 2.0: PEROSIFLAT TILBURG

Het renovatieproject van de 105 galerijwoningen in de Perosiflat te Tilburg is in 2014 afgerond en de in oorspronkelijk 1970 gebouwde flat is veranderd van een energielabel C-E naar A-B, zie Figuur 5.2. Hierbij zijn de gevels volledig kierdicht en geïsoleerd, voorzien van HR++ glas en is de ventilatie voorzien van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer. De bereiding van warmtapwater wordt centraal door 2,1 m² zonneboiler per woning ondersteund. Ruimteverwarming geschiedt door middel van stadsverwarming. Keukens, badkamers en toiletten zijn vervangen, inclusief rioleringen. De uitstraling van de flat is sterk verbeterd door nieuwe hekwerken en aangepaste entrees en trappenhuisen. De renovatiekosten per woningen bedragen in 2014 € 55.000. (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014)



FIG. 5.2 Perosiflat Tilburg, bestaande situatie en gewijzigde situatie. Overgenomen uit *Renovatie Perosistraat Tilburg, Noord-Brabant* door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014 (<https://www.rvo.nl/initiatieven/energiezuiniggebouwd/renovatie-perosistraat>). Copyright, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.



'Nieuwe kansen voor de galerijflat'

Brouwers, De Gunst en Van Heeswijk (2013) hebben in hun boek *Nieuwe kansen voor de galerijflat: Ideeën en aanbevelingen voor de komende vijftig jaar* hun visie over de integrale opwaardering van een galerijflat neergezet. Galerijflatgebouwen zijn altijd weer anders door bouwperiode, omgeving, bewoners en uiteenlopende constructies. Principes kunnen overeenkomen, maar karakters lopen uiteen. Daardoor ontstaan specifieke oplossingen bij opwaardering.

Kwaliteiten van galerijflats worden door hen benoemd op het gebied van architectuur, stedenbouw en techniek. Positieve architectonische kwaliteiten van een bestaand galerijflatgebouw betreffen de nadrukkelijke horizontale geleiding door de galerijen en doorlopende balkonstroken, ruime plattegronden en een ruim uitzicht. Negatieve architectonische kwaliteiten van bestaande galerijflatgebouwen betreffen de vaak lage en benauwde hoofdentrees met een groot blok postkasten daarin verwerkt met een inpandige lifthal. Ook anonimiteit met een ongemakkelijke vorm van dicht op elkaar zitten in relatie tot de galerij wordt als negatief ervaren. De te verbeteren architectonische kwaliteiten zijn entrees, trappen en liften, de galerijen en balkons die veel meer allure kunnen krijgen. Entrees krijgen volgens De Gunst en Van Heeswijk een eigen identiteit door grote, lichte, dubbelhoge entrepaviljoens waardoor de entree gemarkeerd is en uitnodigend, herkenbaar en sociaal veilig is. Door het toevoegen van een serrekamer ter plaatse van het balkon ontstaat een bruikbare buitenkamer bij een gesloten pui en een windluwe loggia bij een opengeschoven pui (zie Figuur 5.3).

De verbeteringen aan de flatgebouwen zijn vooral gericht op verhoging van comfort in de zin van beleving van het wonen. Energetische verbeteringen zijn minder ambitieus gesteld.

Een attractieve gelaagdheid (maatschappelijk, sociaal, cultureel, architectonisch en/of cultuurhistorisch) ontstaat volgens De Gunst en Van Heeswijk door verder te werken aan de gebouwen in de stad.

Negatieve stedenbouwkundige kwaliteiten van bestaande galerijflats worden veroorzaakt door de stedenbouwkundige inpassing: “ze staan er vanaf hun geboorte wat verweesd bij, wachten bij wijze van spreken nog steeds op een liefdevolle omarming” (Brouwers, De Gunst en Van Heeswijk, 2013, p. 16). Aan de voet van gebouwen liggen meestal grote parkeervelden met restgroen. Er is niet veel aandacht besteed waarop de gebouwen in hun omgeving staan.

De woongebouwen kunnen beter in de omgeving ingepast worden door een nieuwe invulling van onderste bouwlagen met bedrijvigheid en door entreegebieden, serres, buitenkamers en aanvullende bebouwing. Bij de 'Brandaris' te Zaandam is een plein aangelegd met een riante oprijlaan met een voorplein bij de entree van het flatgebouw waarbij groen is ingekaderd in perken met banken rondom.

BEST PRACTICE FLAT 2.0: SERREGEVEL

Het flatgebouw De Meidoorn te Weesp stond in 2003 op de nominatie gesloopt te worden in verband met onder andere slechte isolatie en betonnen balkonhekken met betonrot. Wegens het ontbreken van vervangende woningbouw is uiteindelijk gekozen voor renovatie van het gebouw. Bij het flatgebouw is gevelisolatie aangebracht in de vorm van een serregevel (zie Figuur 5.3). Hierdoor ontstond extra woonruimte en tijdelijke huisvesting van de bewoners is niet noodzakelijk. De serregevel bestaat uit licht naar voren hellende verdiepingshoge schuifpuien met zonwering en ventilatie zodat de serre in de zomerperiode bij de woning betrokken kan worden. (De Gunst & Van Heeswijk, 2017)

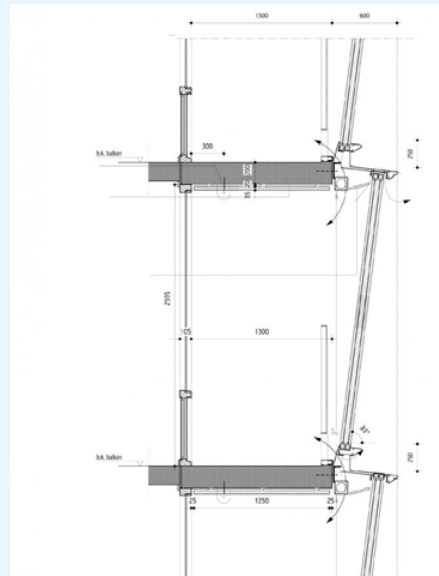
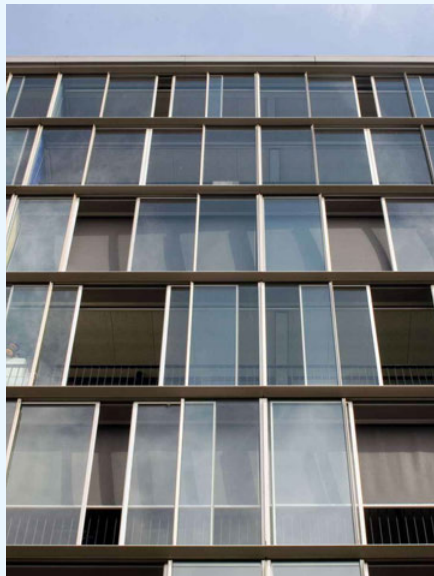


FIG. 5.3 Serregevel flatgebouw De Meidoorn te Weesp. Overgenomen uit *Opwaardering en renovatie flatgebouw De Meidoorn* door D. de Gunst en H. van Heeswijk, 2017, Amsterdam: NDCC Publishers. Copyright 2017, NDCC Publishers.

De galerijflatgebouwen zijn bouwsystemen uit de jaren 60 van de vorige eeuw. ERA-1 start als bouwsysteem in 1965 met balkonelementen uit de fabriek, kant-en-klare 'grote elementen', casco's op bouwplaats gegoten in mallen ('tunnels') en afbouwpakketten inclusief binnenwanden uit productiehallen in Bergambacht. Het bouwsysteem levert ruime woningen met een kolomvrije overspanning met een binnenmaat van 7,60 m en verplaatsbare binnenwanden die tot op zekere hoogte vrij indeelbaar zijn. Vanaf 1970 besluit ERA onder invloed van toenmalig gebruik van negatieve termen als horizonvervuiling en flatneurose de term 'bouwsysteem' te wijzigen in 'benaderingswijze' met onderscheid tussen casco en afbouw naar het gedachtengoed van Habraken (Brouwers, De Gunst en Van Heeswijk, 2013, p. 18).

Het boek 'Nieuwe kansen voor Galerijflat' is vooral gericht op comfort upgrading, "die bewoners een behoorlijke uplift in hun woonbeleving" geeft (Eekhout, 2014). Het energieneutraal of energieleverend maken is hierin onderbelicht.

De kenmerken van het bestaande bouwsysteem, zoals repetitie, gelden als uitgangspunt voor een geoptimaliseerd tweede leven van het gebouw. Betonrot, de kwaliteit van spouwankers in kopgevels, thermische bruggen en contactgeluid zijn nu negatieve kenmerken. Een gietbouwsysteem, zoals ERA, zijn vaak eenvoudiger te renoveren dan flats gemaakt met prefab bouwmethoden, vaak met dunne vloeren. Gietbouw methoden hebben meer massa en minder naden, het wordt eenvoudiger om tot een goed geluidsniveau te komen na renovatie (Da Conceição van Nieuwenhuizen, 2015).

Energetisch wordt de galerijflat opgewaardeerd van energielabel D naar label B door het aanbrengen van thermische kopgevelisolatie en dakisolatie, isolatieglas en door het aanbrengen van een nieuw ventilatiesysteem en een blok-cv met individuele bemetering. Op het dak zijn warmtecollectoren aangebracht met opslag in buffervaten in loze ruimten in knikken van het gebouw. De met een schuifpui af te sluiten balkons helpen mee om energie te besparen.

Ook plattegronden worden aangepast. Kenmerken van de bestaande plattegronden zijn vaak gesloten keukens, een kleine woonkamer, een los toilet en een smalle gang. In de vernieuwde plattegrond is de woonkamer ruimer, in combinatie met een open keuken. De losse toilet is in een nieuwe badruimte ondergebracht. De gang is breder uitgevoerd waardoor de woningen beter geschikt zijn voor ouderen of mindervaliden.

Bestaande flatgebouwen hebben vaak een plint met bergingen. Als de plint meer transparant moet worden in verband met sociale veiligheid op het maaiveld, dan kunnen bergingen een andere plaats in het gebouw krijgen. Een functioneel voorbeeld daarvan zijn de aan de gevel gehangen bergingen in het project Schiecentrale 4B te Rotterdam uit 2008 (zie Figuur 5.4).



FIG. 5.4 Aan de galerijgevel gehangen bergingen in Schiecentrale 4B te Rotterdam. Overgenomen uit *Schiecentrale 4B: multifunctioneel woon- en werkgebouw* door Mei architects and planners, z.d. (<https://mei-arch.eu/projecten-archief/schiecentrale-4b/>).

Upgrading richting energieneutraal

De best practices op het gebied van upgrading van bestaande woningbouw richting energieneutraal zijn in te delen in vijf groepen voor wat betreft energetische ambities. De eerste groep is de upgrading van bestaande woningbouw met energielabel D, E of F naar energielabel B (volgens de Aedes-agenda te bereiken in 2021). De tweede groep is de upgrading van bestaande woningbouw naar Passiefhuis niveau. De derde groep is de upgrading van bestaande woningbouw naar energieneutraal waarbij energieneutraal de gebouwgebonden energie betreft waarbij de EPC-waarde nul bedraagt. In plaats van de EPC wordt per 1 januari 2021 het begrip 'Bijna energieneutrale gebouwen' (BENG) toegepast. De vierde groep is de upgrading van bestaande woningbouw naar Nul op de Meter (NOM) waarbij gebouwgebonden energie en gebruikersgebonden energie bij een normaal leefpatroon op jaarbasis in evenwicht zijn met lokale duurzaam opgewekte energie. De vijfde groep is de upgrading van bestaande woningbouw naar energieleverend waarbij de lokale duurzaam opgewekte energie op jaarbasis meer bedraagt dan de gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie. Materiaalgebonden energie, dat voortkomt uit de oprichting, het onderhoud en de sloop van de woning of het gebouw, blijft in de definities van deze groepen buiten beschouwing.

Upgrading van bestaande gestapelde woningbouw naar Passiefhuis niveau

Het passief bouwen is een ver doorgedreven eerste stap van de trias energetica. De eerste stap is het verminderen van de energievraag. Het passief bouwen heeft hoge isolatiewaarden van wanden, vloeren en daken in de thermische schil. Aansluitingen worden met een dubbele dichting uitgevoerd. De luchtdichtheid is zeer goed. Beglazingen in de thermische schil worden met 3-laags isolatieglas uitgevoerd. De warmtevraag is zeer gering en warmtewinst wordt gemaximaliseerd. Oververhitting van de woning bij te veel zoninstraling in de zomer kan een probleem zijn. Om deze reden wordt zonwering toegepast. Vaak wordt een nachtventilatie toegepast om de opgebouwde accumulatie van warmte in de constructie overdag in de nacht op een natuurlijke wijze weg te koelen. Het passief bouwen houdt ook rekening met gebruikersgebonden energie. De energiebalans wordt berekend met het Passiefhuis Plannings Pakket (PHPP). De maximale vraag voor ruimteverwarming en koeling is gesteld op 15 kWh/m² per jaar en een maximaal primair energieverbruik (inclusief elektrische huishoudelijke apparaten) van 120 kWh/m² per jaar.

Een Nederlands voorbeeld van een passiefhuis renovatie van bestaande gestapelde woningbouw zijn de vierlaagse portieketageflats aan de Floriszstraat in de wijk Presikhaaf te Arnhem (zie Figuur 5.5) van woningcorporatie Volkshuisvesting te Arnhem.



FIG. 5.5 Portieketageflat, Floriszstraat te Arnhem - situatie voor upgrading in 2014 en tijdens upgrading in 2015.



Kenmerken:

- *Passiefhuis door thermische isolatie aan buitenzijde in HSB, portiek binnen thermische zone.*
- *Geen thermische bruggen.*
- *Ruimteverwarming: ventilatielucht, langs plafond ingeblazen.*
- *Ventilatie: gebalanceerd ventilatiesysteem met WTW, nachtventilatie.*
- *Duurzame energieopwekking: zonnepanelen mogelijk op dak.*
- *Warmwater: gas.*

Upgrading van bestaande gestapelde woningbouw naar Nul op de Meter (NOM)

Ontwikkelingen van upgrading van hoogbouw woningbouw naar Nul op de Meter (NOM) worden door ambitieuze woningcorporaties en door het innovatieprogramma Energiesprong (tot eind 2016) gestimuleerd.

De volgende vijf best practices illustreren NOM-renovaties.

Woningstichting Mitros te Utrecht heeft met 'Flat met Toekomst' in 2015 een all-electric NOM-upgrading van een flat met vier woonlagen aan de Camera Obscuradreef te Utrecht gerealiseerd inclusief vernieuwing van de keuken, badkamer en toilet (zie Figuur 5.6). De portieketageflat is vervaardigd met het bouwsysteem Intervam.

Het consortium voor de uitvoering van de upgrading is gevormd door Nieuw Utrechts Peil (NUP), een consortium van Vios Bouwgroep BV, Op ten noort blijdenstein architecten en Nieman Raadgevende Ingenieurs. (DuurzaamGebouwd.nl, 2017)



FIG. 5.6 Flat met Toekomst. Overgenomen uit *Selectie Flatmettoekomst gewonnen* door Op ten noort blijdenstein architecten en adviseurs, 2015 (<http://www.onb.nl/selectie-flatmettoekomst-gewonnen/>).

Het concept 'Flatmettoekomst' richt zich op portiekflats met 4 woonlagen. Vanuit het dakvlak kan voldoende elektrische energie opgewekt worden voor een all-electric concept. Bij meer dan 4 woonlagen is het dakoppervlak echter te beperkt en zou elektrische energie uit PV in de gevels geogost kunnen worden.

Flatmettoekomst kenmerken:

- *NOM door thermische isolatie aan buitenzijde in HSB-uitvoering, galerij binnen thermische zone, optimale kierdichting.*
- *Geen thermische bruggen, 3-laags isolatieglas.*
- *All-electric.*
- *Ruimteverwarming: bodemwarmtepomp.*
- *Ventilatie: gebalanceerd ventilatiesysteem met WTW.*
- *Duurzame energieopwekking: zonnepanelen op dak.*

Renolution heeft in samenwerking met IBIS Power in 2017 een voorlopig concept ontwikkeld voor de upgradering van een bestaande hoogbouw galerijflatgebouw uit de Wederopbouwperiode naar Nul op de Meter (NOM), zie Figuur 5.7. Hierbij wordt onder andere windenergie geogost met IBIS PowerNEST verticale windturbines op het bestaande dak. De turbines zijn voorzien van een 4 meter boven het bestaande dak gelegen zonnedak met PV-panelen. De buitenste ring van appartementen in de flat zijn NOM-ready, de overige appartementen zijn NOM.



FIG. 5.7 Renovatiemodel volgens Renolution en IBIS Power. Overgenomen uit *NOM renovatie galerijflat, Rijswijk* door Renolution, 2018 (<https://renolution.nl/project/nom-renovatie-galerijflat-rijswijk/renolution-renovatie-appartementen-rijswijk-ocarinalaan-nom-keur-5/>). Copyright 2018, COM_zone_ARCHITECT.

Renolution concept kenmerken:

- *Ambitie: NOM.*
- *All-electric, geen thermische bruggen, thermische isolatie aan buitenzijde in prefab staalframe-gevelelementen.*
- *Ruimteverwarming: luchtverwarming.*
- *Ventilatie: gebalanceerd ventilatiesysteem met WTW.*
- *Duurzame energieopwekking: zonnepanelen in combinatie met IBIS Power windturbine.*
- *Warmwater: lucht/water-warmtepomp.*

BEST PRACTICE FLAT 2.0: 2ND SKIN (CONCEPT)

Bij de modulaire renovatiemethode 2nd Skin (zie Figuur 5.8) van BAM Woningbouw voor portieketagewoningen wordt de renovatie zoveel mogelijk aan de buitenkant van de woningen gerealiseerd, inclusief combinatie van functionaliteiten in de gevelzone zoals nieuwe installaties voor verwarming, ventilatie en warmtapwaterbereiding. Bouwdelen worden industrieel geproduceerd. (Spee architecten, 2014)

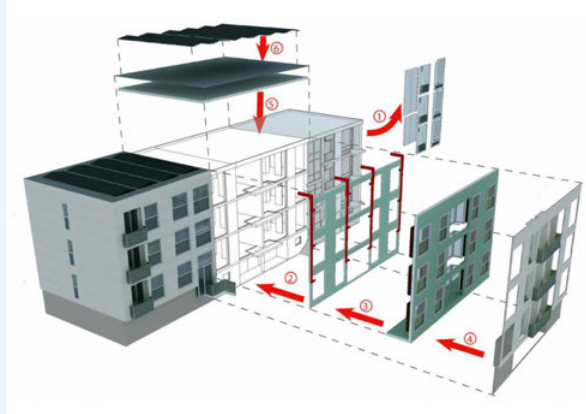


FIG. 5.8 2nd skin: renovatie van buitenaf, energieneutraal en nieuwe identiteit. Overgenomen uit *2nd skin* door Spee Architecten, 2014.

In de gevel zit een schacht voor de centrale bodemwarmtepompen (per 3 woningen) met bijbehorend leidingwerk. Op elk balkon wordt een plug & play installatie-unit geplaatst met wtw-ventilatiesysteem en boilervat voor warmtapwater, het balkon wordt uitgebreid zodat geen ruimteverlies voor de bewoners optreedt (Wilms, 2018).

2nd skin concept kenmerken:

- *All-electric, modulair, NOM door zeer goed thermisch geïsoleerde gevels, kwalitatief hoogwaardige 3-laagse beglazing.*
- *Ruimteverwarming: bodemwarmtepomp, samen met warmwater (1 per 3 woningen).*
- *Ventilatie: gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning.*
- *Duurzame energieopwekking: thermische zonne-energie, fotovoltaïsche zonne-energie.*
- *Warmwater: bodemwarmtepomp samen met ruimteverwarming, boilervat op balkon.*
- *Gecombineerde functionaliteiten in verdiepingshoge gevelelementen (installatietechniek en ventilatieleidingen). Installatie losgekoppeld van de woning).*

BEST PRACTICE FLAT 2.0: FLAT SSW AAN MR. S. VAN HOUTENWEG TE UTRECHT

In 2017 renoveert Woonstichting SSW in De Bilt haar flat met als bouwjaar 1962 aan Mr. S. van Houtenweg te Utrecht van energielabel 'F' naar het predicaat 'Nul op de meter' doordat de installaties in de woningen en op het flatgebouw net zoveel energie genereren als ze verbruiken (Verduurzamers, z.d.). Volgens Provincie Utrecht (2017) is dat het eerste energieneutrale flatgebouw in die provincie. Het flatgebouw bestaat uit 28 portieketageflats (zie Figuur 5.9. De renovatie bestaat uit isolatie van de bestaande gevels, driefvoudig glas, individuele balansventilatie met warmteterugwinning en 266 zonnepanelen op het dak. Tijdens de renovatie blijven de huurders in hun flats wonen.



FIG. 5.9 Vooraanzicht flat aan Mr. S. van Houtenweg te Utrecht, oude situatie en nieuwe situatie. Links: overgenomen van Google Maps, 2019. Copyright 2019, Google Maps. Rechts: overgenomen uit *Van Erpweg & Van Houtenweg, De Bilt (NL)* door Sto z.d. (https://www.sto.nl/nl/referenties/referenties-detail_76480.html).

Flat SSW aan Mr. S. van Houtenweg te Utrecht, kenmerken:

- *NOM door zeer goed thermisch geïsoleerde gevels, 3-laagse beglazing, lichtgewicht sLide overschuifbalkons.*
- *All-electric, modulair.*
- *Ruimteverwarming: collectieve bodemwarmtepomp.*
- *Ventilatie: gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning.*
- *Duurzame energieopwekking: thermische zonne-energie, fotovoltaïsche zonne-energie in combinatie met 2 stuks 1,5 kWe BlueGEN-brandstofcel wkk's op (aard) gas (warmte en stroom).*
- *Warmwater: bodemwarmtepomp met elektrische naverwarmer*
- *Dak met 266 zonnepanelen.*

Het TKI Urban Energy onderzoeksproject 'Inside Out' (2018) is gericht op de energieleverende renovatie van Intervam flats (in totaal 55.000 appartementen). Het ontwerp voor de renovatie volgt de Trias Energetica. De eerste stap, vraagreductie, geschiedt door isolatie van de gevels en het dak, door het plaatsen van energiezuinige apparatuur, door ventilatie met warmteterugwinning en door bewonersbetrokkenheid. De tweede stap, opwekken van duurzame energie, geschiedt door het oogsten van zonnestroom aan de (kop)gevels en door een zonnedak, mogelijk geïntegreerd met een IBIS Power windturbine. Opslag van duurzame energie wordt gecombineerd met netflexibiliteit via zongeladen Vehicle-to-grid technologie. De derde stap, efficiënt energieverbruik, geschiedt door het toepassen van warmtepompen, een warmtepompbooster in combinatie met lage temperatuur-radiatoren en ventilatie met warmteterugwinning. Alle apparatuur komt buiten de woning in de gevel.

Het energieconcept wat wordt toegepast is een slimme gevel. De gevel zorgt dat iedere ruimte wordt verwarmd met laagtemperatuur radiatoren met vraaggestuurde ventilatievoorzieningen met warmteterugwinning daarin geïntegreerd. De gevel wekt met zonnepanelen duurzame energie op en is voorzien van zonwering. Uit de testfase bleek dat de geluidproductie van warmtepompen nabij de woonruimte te hoog is. Om deze reden zijn de warmtepompen verplaatst naar de zone van de kopgevel. Bouwkundig gezien worden de gevels uit prefab houtskeletbouw elementen, voorzien van PV en een verwarmingsunit, opgebouwd. Installatiecomponenten worden van binnen naar buiten gehaald en grotendeels collectief opgelost. De componenten zijn met horizontale strangen in langsgevelmodules met elkaar verbonden in plaats van verticale strangen in de flat. Deze verbindingen zijn generiek toepasbaar. (Bo-Ex, 2019; Inside Out, 2018; Looijen, 2018)

Inside Out concept, kenmerken:

- *Ambitie: energieleverend.*
- *All-electric.*
- *Ruimteverwarming: Lucht/water warmtepompen met laagtemperatuurverwarming.*
- *Ventilatie: vraaggestuurde ventilatievoorzieningen met WTW.*
- *Duurzame energieopwekking: zonne- en windstroom op dak, zonne-energie op kopgevels en langsgevels.*
- *Opslag energie m.b.v. Vehicle-to-grid technologie.*

Energieleverende gevels

Behalve uit het dakoppervlak kan ook energie geoogst worden uit andere zongerichte vlakken zoals uit dichte gevelvlakken, balustraden en overkappingen met PV-panelen (elektriciteit) en zonnecollectoren (warm water). Figuur 5.10 toont het ontwerp PortZED van Zedfactory (2012).



FIG. 5.10 PortZED (2012). Overgenomen uit *PortZED*, door ZEDfactory, 2012 (<https://www.zedfactory.com/portzed>). Copyright 2012, Zedfactory.

Voorbeelden van gevels die grotendeels bestaan uit zonnepanelen zijn het ontwerp Black Lady Delftse Schie te Delft, ontwikkeld in 2019 door prof.dr. Mick Eekhout Associates bv (zie Figuur 5.11) en de NOM-flats De Willem en De Zwijger te Best, ontwikkeld in 2016 door NBArchitecten en opgeleverd in 2018 (zie Figuur 5.12). De maatsystemen van de PV-panelen hebben een directe relatie met de maatsystemen van de plattegronden.



FIG. 5.11 Black Lady hoek Delftse Schie/Nieuwe Haven te Delft. Beeld door prof.dr. Mick Eekhout Associates bv. Copyright 2019, prof.dr. Mick Eekhout Associates bv.



FIG. 5.12 NOM-flats De Willem en De Zwijger te Best. NBArchitecten, ontwerp 2016, oplevering 2018. Copyright 2018, NBArchitecten.

De gebogen PV-vlakken in de gevels van De Willem en De Zwijger te Best zorgen voor een gerelateerde maatvoering tussen PV-panelen en de beukmaatvoering van de plattegronden. Door de buiging van de gevel zijn deze twee maatvoeringen onafhankelijk van elkaar, maar kunnen toch in relatie met elkaar gebracht worden.

BEST PRACTICE FLAT 2.0: KAPFENBERG (OOSTENRIJK)

In Kapfenberg (Oostenrijk) aan de Johann-Böhm-Straße is een bestaande portiekflat uit 1959 met vier woonlagen (zie Figuur 5.13) in 2013 geüpgraded naar 'Plusenergie' waarbij het gebouw meer energie oplevert dan het zelf gebruikt (zie Figuur 5.14). Een expressief zonnedak vouwt zich om het volume en de uitkragende balkons en galerijen heen. De oorspronkelijke tentkap is verwijderd. Aan de oostzijde is de ontsluiting gewijzigd van een portiekontsluiting naar een galerijontsluiting met transparante balustraden waarbij de galerij op afstand is gezet van de verblijfsruimten in de woningen in verband met privacy wat in de plattegrond goed zichtbaar is. De onderste laag woningen worden direct vanaf het maaiveld ontsloten. Het vlindervormige dak als toevoeging op een bestaand volume is een concept voor opwekking van elektrische energie en warmte.



FIG. 5.13 Portieketageflat Kapfenberg (AT), bestaande situatie. Overgenomen uit *Sanierung Johann Boehmstrasse* door Ennstal, 2012. Copyright 2012, Nussmüller Architekten ZT GmbH.



FIG. 5.14 Plus-energie upgrading Kapfenberg (AT), westgevel – oostgevel. Overgenomen uit *Sanierung Johann Boehmstrasse* door Ennstal, 2012. Copyright 2012, Nussmüller Architekten ZT GmbH.



Kapfenberg (O) concept, kenmerken:

- Plusenergie door all-electric, goed thermisch geïsoleerde gevels, kwalitatief hoogwaardige 3-laagse beglazing, automatische zonwering.
- Ruimteverwarming: afvalwarmte van de biomassa en warmte van stadsverwarming.
- Ventilatie: gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning.
- Duurzame energieopwekking: thermische zonne-energie, fotovoltaïsche zonne-energie.
- Nieuwe expressieve architectuur door gewijzigde ontsluitingsstructuur.
- Nieuwe sanitaire ruimten gekoppeld aan nieuwe gevelelementen. Gecombineerde functionaliteiten in flathoge gevelelementen (installatietechniek en standleidingen).

BEST PRACTICE FLAT 2.0: HOOG LINDODUIN, SCHEVENINGEN

Het woongebouw Lindoduin (zie Figuur 5.15) van corporatie Vestia te Scheveningen uit 1963 met 14 verdiepingen met 143 sociale huurwoningen en 39 vrije sector huurwoningen wordt in de periode 2018-2021 gerenoveerd. Aanleiding is betonrot in de galerijplaten en consoles. Vanaf het betonnen casco (gietbouw) wordt de flat geheel vernieuwd. De ruimteverwarming en bereiding warm tapwater is aardgasloos door individuele warmtepompen, verbonden met een WKO met 60 bronnen en een diepte van 240 m.



FIG. 5.15 Lindoduin, Scheveningen. Oude en nieuwe situatie. Overgenomen uit *Vestia en BAM Wonen geven Hoog Lindoduin in Scheveningen een duurzaam tweede leven* door BAM Wonen, 2018 (<https://www.bamwonen.nl/nieuws/2018/10/vestia-en-bam-wonen-geven-hoog-lindoduin-in-scheveningen-een-duurzaam-tweede-leven>). Copyright 2018, BAM.

Hoog Lindoduin concept, kenmerken:

- *Vanaf betonnen casco geheel vernieuwd.*
- *Vervangen balkons, galerijen, met consoles en gevels. Nieuwe breedte galerijen en balkons 1,50 m.*
- *Nieuwe gevelementen $R_c=4,5$, HR++ dubbelglas.*
- *Vervanging keuken, toilet, badkamer.*
- *Vervanging lift (3 liften naar alle etages, kelder met plateau lift bereikbaar), vernieuwing hoofdentree.*
- *Begane grond stalling scooters/scootmobiels. Op etages afgesloten scootmobielruimten.*
- *Verbeterde geluidwering tussen woningen door een zwevende dekvloer.*
- *Lage temperatuur vloerverwarming.*
- *Aardgasloos.*
- *Individuele warmtepomp op WKO, warmwaterboiler 150 liter en ventilatie-unit met WTW, koeling in zomer mogelijk, monitoring.*
- *Renovatie in onbewoonde toestand.*

WATERSTOF ALS OPSLAG VAN ZONNE-ENERGIE: FLATS MERCATUS IN EMMELOORD

Mercatus verduurzaamt de drielaagse flats Hulkesteijn, Nijenbeek, Verlehorst en Old Putten aan de Urkerweg in Emmeloord naar all-electric (zie Figuur 5.16). Hierbij is er geen gasaansluiting meer en energieopslag voor het bufferen van zonne-energie voor de wintermaanden gebeurt met waterstof verkregen door middel van elektrolyse met energie uit de zonnepanelen.



FIG. 5.16 Verduurzaming drielaagse flats te Emmeloord. Overgenomen uit *Flats Emmeloord voorbereid op de toekomst* door Talen, 2018 (<https://talen.nl/flats-emmeloord-voorbereid-op-de-toekomst/>). Copyright 2018, Talen vastgoedonderhoud.

Circulaire upgrading gevel

In 2016 werken Azcarate-Aguerre, Klein en Den Heijer (2016) een leasegevel uit, zie Figuur 5.17. Veerman (2018) van Alkondor werkt het concept van een circulaire aluminium gevel als dienst verder uit. Het gaat hierbij “om de functie en prestatie in plaats van het product”. De aangeboden dienst wordt met behulp van kwantitatieve kritische prestatie-indicatoren (KPI's) gemonitord en geanalyseerd.

Bij het gevel-leaseconcept is niet de klant maar blijft de leverancier eigenaar van de gevel en de hierin geïntegreerde installatietechniek. De klant huurt de energieprestatie en comfort voor de gebruiker als dienst (Azcarate-Aguerre & Klein, 2018). Risico's, zoals faillissement van de leverancier, zijn bij langcyclische producten echter groter.

De EnergyCampus in Utrecht wordt uitgevoerd met het gevel-leaseconcept. Voor deze specifieke gevels zijn de gevelbouwers Alkondor Hengelo en Hermeta Gevelbouw leverancier-eigenaar van hun product en is Eneco de gebouweigenaar.

Doordat de producenten eigenaar blijven van de gevels kunnen zij de onderdelen en grondstoffen later hergebruiken waardoor geen kapitaalvernietiging optreedt. Daarnaast kiezen zij voor de hoogste kwaliteit waardoor de onderhoudskosten en de vervangingskosten vaak lager zijn. De focus bij circulair bouwen “verschuift van bezit naar gebruik en daarmee van aankoopprijs naar gebruikskosten” (Van der Plank & De Jong, 2019, p. 64). De gebouweigenaar leaset de gevel van de gevelbouwer als erfpachter gedurende de volledige levensduur volgens vooraf overeengekomen specificaties. De gevelbouwer is daarbij verantwoordelijk voor het onderhoud en eventuele vervanging van de gevel. Volgens Van der Plank en De Jong (2019) is dit juridisch mogelijk door verzelfstandiging van de gevel via een erfpachtconstructie.

De regeling omtrent erfpacht maakt het . . . mogelijk voor de erfpachter om de onroerende zaak waarvan hij het genot heeft, middels een leaseovereenkomst in gebruik aan een ander te geven. Ook biedt het erfpachtrecht voldoende mogelijkheden om afspraken te maken over de gevolgen van het tenietgaan van het recht. Men kan hierbij denken aan verlengingsmogelijkheden, wegneemrechten of wegneemplichten, al dan niet met vergoedingsplichten voor de gebouweigenaar (Van der Plank & De Jong, 2019, p. 66).

TU Delft werkt het leaseconcept van een gevel in de periode 2016–2018 uit in de vorm van een pilot project. De gevel bestaat uit decentrale geveltechnieken die onafhankelijk van centrale regelsystemen werken zoals daglichtselectieve zonwering, monitoring en decentrale ventilatie per ruimte (zie Figuur 5.17).

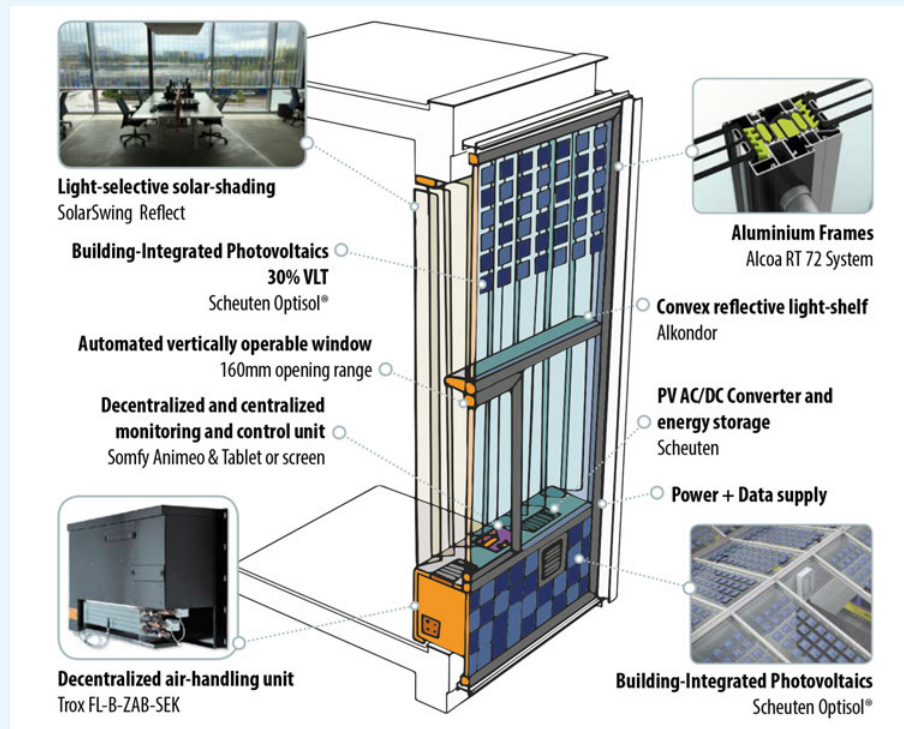


FIG. 5.17 Technological breakdown of Panel 2 of the TU Delft pilot project, showing decentralized building support services. Overgenomen uit *A business-oriented roadmap towards the implementation of circular integrated facades* door J. Azcarate-Aguerre, T. Klein en A. den Heijer, 2016.

Voor Van der Plank en De Jong (2019, p. 66) is het de vraag of het “mogelijk is middels een recht van erfpacht het genot te verschaffen van een bestanddeel van een gebouw, in dezen: de gevel”. Volgens hen geldt voor het recht van erfpacht niet het vereiste uit het opstalrecht dat het gedeelte waarop het genot ziet een voldoende mate van zelfstandigheid moet hebben. Het erfpachtrecht ziet op het verschaffen van genot van de onroerende zaak. De demarcatie tussen het bestanddeel (zoals een gevel) en gebouw moet daarbij duidelijk weergegeven worden evenals juridische contractuele bedingen.

Samenvatting concepten en cases

De voorbeelden van concepten voor en cases van upgrading van gestapelde woningbouw zijn samengevat in Tabel 5.1 en gerangschikt naar concept/case, energetisch concept, variabelen en uitvoering.

De concepten en cases laten energetische upgrades zien, vaak ook tegelijkertijd met een functionele upgrade (zoals wijziging van de ontsluitingsstructuur) en met bouwtechnische en installatietechnische upgrades (zoals vervanging van een verouderde badkamer, toilet en keuken).

De situering, zeker van belang als zonne-energie door de gevels wordt opgewekt, en mogelijke belemmeringen door stedelijke en sociaalhistorische context zijn buiten beschouwing gelaten.

TABEL 5.1 Samenvatting concepten en cases voor upgrading van gestapelde woningbouw

		Inside Out	Flatmetoekomst	Renolution	2nd skin	Façade leasing pilot	Flat SSW	Flat Mercatus	Kapfenberg	VHV Arnhem
concept of case										
concept		X	X	X	X	X				
case							X	X	X	X
passiefhuis, NOM of energieleverend										
passiefhuis										X
NOM			X	X	X					
energieleverend		X							X	
variabelen										
all electric			X	X	X		X	X		
ruimteverwarming	luchtverwarming			X						X
	bodemwarmtepomp		X		X		X			
	lucht/water warmtepomp	X								
	biomassa								X	
	stadsverwarming								X	
ventilatie	gebalanceerd met WTW		X	X	X		X		X	X
	vraaggestuurd met WTW	X								
	decentraal					X				
energieopwekking	PV op dak	X		X	X			X	X	X
	PV in gevels	X				X				
	windenergie	X		X						
	zonnecollectoren				X				X	
	zonwering	X				X			X	
opslag energie	Vehicle-to-grid	X								
	waterstof							X		
warmwater	gas									X
	warmtepomp	X	X	X	X		X			
uitvoering										
gevelelementen	prefab verdiepingshoog	X	X	X	X	X				X
	prefab flathoog								X	
	traditioneel						X			

X = aanwezigheid van genoemde variabelen.

5.3 Conclusie

Flat 2.0 heeft een relatie gelegd tussen bouwtechnische en functionele verbeteringen wat het wooncomfort sterk verbeterd. Daarom is Flat 2.0 bestempeld als comfort upgrading.

De energetische en functionele renovatie (Flat 2.0) van de hoogbouw flats uit de Wederopbouwperiode heeft architectonisch gezien interessante voorbeelden opgeleverd, zoals de flat met serregevels. De ontsluitingen zijn daarin verbeterd, de sociale veiligheid ter plaatse van de overgang van het gebouw naar de omliggende buitenruimte ruimte is op gebouwniveau verbeterd, het gebouw heeft een betere aansluiting in de omliggende omgeving gekregen en de levensduur van de gebouwschil is weer verlengd met ca. 40 jaar. Kwaliteiten van het wonen in een flat, zoals het uitzicht, zijn benadrukt en versterkt door grotere balkons. Het comfort voor de bewoners is sterk verbeterd door onder andere het verminderen van thermische bruggen ('koudebruggen') en betere ventilatie. Energetisch gezien zijn verbeteringen aangebracht, echter niet naar het gewenste niveau voor een CO₂-neutrale bebouwde omgeving. Hierdoor zal in een later stadium alsnog een energetische aanpassing moeten plaatsvinden. De vraag is of hierin reeds voorzien is. Door de nieuwe levensduur van de gebouwschil betekent dit waarschijnlijk een lock-in om deze alsnog energetisch te gaan upgraden. Sommige concepten hebben echter al een verdergaande upgrading laten zien naar NOM met modulaire renovatiemethoden en industrieel geproduceerde bouwdelen. Dat is het startpunt van Flat 3.0.

6 Flat 3.0: Energetische upgrading

6.1 Inleiding

Ten behoeve van de energetische upgrading van bestaande hoogbouw kan de systeemtheorie ondersteuning bieden. Bij de upgrading wordt een nieuw systeem gekoppeld aan een bestaand systeem. De koppeling kan op een integrale of op een modulaire wijze plaatsvinden. Het nieuwe technische systeem bestaat uit een nieuwe thermische en luchtdichte schil, nieuwe warmteopwekking en warmtelevering voor ruimteverwarming en warmtapwater, een nieuw ventilatiesysteem en een nieuw rioleringsstelsel. Het bestaande systeem bestaat uit de draagstructuur, ruimte-indelingen en ontsluitingen. Voor de mate van aanpasbaarheid van het bestaande systeem kunnen de lagenbenaderingen ondersteuning bieden. De draagstructuur en ontsluitingen zijn 'langzame lagen' en minder goed aan te passen zonder consequenties voor de 'snellere lagen'. Ruimte-indelingen zijn 'snellere lagen' en kunnen beter worden aangepast zonder grote consequenties voor de 'langzame lagen'.

Een integrale benadering voor de koppeling van het bestaande systeem en het nieuwe systeem betekent veel onderlinge relaties en daarmee afhankelijkheden. Geveleaanpassingen en installatiesystemen betreffen de meer langzamere lagen en daarmee met meer consequenties voor de snellere lagen. Een integrale oplossing daarom niet wenselijk, maar juist wel een modulaire aanpak.

Een modulaire aanpak geeft ook betere kansen voor de gewenste losmaakbaarheid ten behoeve van circulair hergebruik van materialen, elementen of componenten in de fase van demontage bij einde levensduur hiervan in het bouwwerk.

De gestapelde woningen uit de Wederopbouwperiode kenmerken zich door seriematige systeembouw in een tiental bouwsystemen met meer dan vier woonlagen. Dit hoofdstuk behandelt de seriematige aanpak per type bouwmethode en bouwsysteem voor energetische upgrading. De voorwaarden voor technische en energetische upgrading zijn gezonde leefomstandigheden, beheersbare woonlasten, geen extra ruimtebeslag in de woningen ten behoeve van de upgrading en snelle tijd van upgrading van de woningen in verband met ongemak voor de bewoners.

Studies tonen aan dat bij renovaties naar energieneutraal een aantal belemmeringen zijn gesignaleerd. De belangrijkste zijn het beslisproces en de financiering van de investeringen. Daarnaast zijn er technische uitdagingen zoals warmteterugwinning uit ventilatielucht, lage temperatuurverwarming wat wenselijk is bij warmtepomptechnologie, verbetering van geluidsisolatie en mogelijke aanpassing van de fundering bij het aanbrengen van een extra gebouwschil. Sociale aspecten, zoals het wijzigen van bestaand gedrag, worden ook als mogelijke belemmering benoemd. (TECNALIA, 2015, p. 26)

Er zijn financiële modellen opgezet op basis van vermeden energiekosten om deze om te zetten in investeringsbudget. Voor de corporatiehuurwoningen is de energieprestatievergoeding (EPV) hiervoor ontwikkeld. Bij particuliere woningen in een vereniging van eigenaren (VvE) is een model ontwikkeld waarbij de VvE een lening aangaat met de gemeente met een waarborgfonds van de gemeente of provincie. Hierbij wordt de lening afbetaald via verhoogde servicekosten en verminderde onderhoud- en energiekosten. Voorbeeld hiervan is het Asser Service model dat voor VvE Ellen te Assen toegepast is (Goossen, 2018). De EPV-regeling is alleen van toepassing op woningen die op eigen grond in hun energiebehoefte voorzien en is daarmee volgens Stroomversnelling geen stimulans om hoogbouw-appartementen te renoveren naar nul-op-de-meter. Hiervoor zouden nieuwe duurzame warmtebronnen administratief aan NOM-projecten gekoppeld kunnen worden (allocatie van duurzame warmte) of zou de EPV kunnen worden uitgebreid naar NOM-woningen met een aansluiting op een duurzaam warmtenet (Roos, 2019).

Technisch gezien wordt de Flat 3.0 upgrading volgens de principes van circulair bouwen uitgevoerd.

Energetisch gezien geeft een rekenmodel per energieambitie en afhankelijk van de locatie en ligging ten opzichte van de zon en de mate van geslotenheid van een gevelvlak haalbaarheid aan. Bij een gesloten gevelvlak wordt gebruik gemaakt van zonne-energie in de vorm van opwekking van elektrische energie door PV-materiaal met een bepaald rendement. Zongerichte vlakken (zonnestraling en diffuus licht) zijn hierbij effectiever dan niet-zongerichte vlakken (alleen diffuus licht).

Een functionele upgrade, zoals aanpassing van woningplattegronden of ontsluitingen, kan bij sommige bouwsystemen gecombineerd worden met de technische en energetische upgrade.

6.2 Rekenmodel

6.2.1 Inleiding

Bij de upgradage van bestaande Nederlandse Wederopbouw hoogbouw flats naar energieneutraal is het van belang om te kunnen bepalen hoeveel elektrische energie en warmte-energie geogst kan worden vanuit de zonnestraling over een jaar gezien op een bepaald vlak in een bepaalde situatie. Een ideale situatie is als de opgewekte energie in balans is met de gebruikte energie.

Er zijn vele definities rondom het begrip gebruik van energie. Het begrip energieneutraal beschouwt alleen de gebouwgebonden energiegebruik, maar niet het gebruikersgebonden energiegebruik. Nul-op-de-meter daarentegen beschouwt beide wel.

Om het rekenmodel voor de energetische upgradage van een bestaand woongebouw te kunnen opstellen is inzicht nodig in de opwekking van energie uit zonnestraling en in gestelde energieambities met betrekking tot het gebruik van energie.

In het gebouwrekenmodel wordt de gebruikte energie afgezet tegen het benodigd oppervlak voor opwekking van zonne-energie. Hierin worden de ambities 'energieneutraal' en 'nul-op-de-meter' naast elkaar gezet. Bij overschrijding van een ambitie wordt het gebouw 'energieleverend' volgens beide definities.

Uitgangspunt van het model is een all-electric upgrading van gestapelde woningen uit Wederopbouwperiode. Het gebruik van fossiele energie of aansluiting op warmtenetten is in dit model niet aan de orde. Het model rekent de warmtevraag en elektrische energievragen om naar een totaal elektrische energievraag die in de schil van de flat wordt opgewekt door fotovoltaïsche elementen om in balans te blijven behorende bij een gestelde ambitie in relatie met het bouwvolume. De mismatch tussen vraag (overdag en niet-overdag) en aanbod (alleen overdag) van energie is op basis van saldering oplosbaar. Saldering is een nu nog wettelijke verplichting dat de energieleverancier de verbruikte elektriciteit onder voorwaarden verrekent met de duurzaam opgewekte elektriciteit die werd teruggeleverd aan het net. Indien saldering niet meer mogelijk is in de toekomst, dan kan de mismatch tussen vraag en aanbod van energie door middel van vraagbeperking (zowel op het gebied van bouw- en installatietechniek als op het gebied van gebruikersgedrag, al dan niet ondersteund door 'smart buildings' die verschillende systemen aan elkaar kunnen verbinden) en daarna door middel van opslag van energie geregeld worden.

6.2.2 Methode

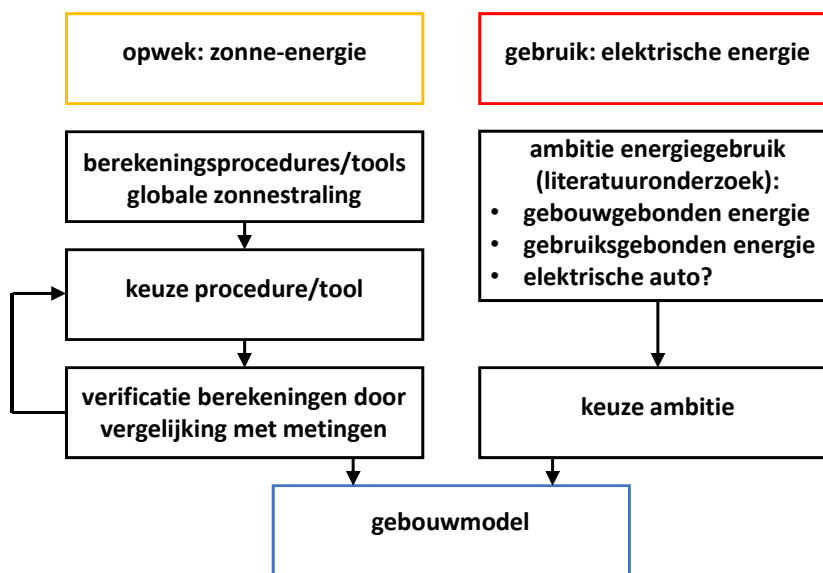


FIG. 6.1 Methode bepaling opwek en gebruik van energie ten behoeve van het gebouwmodel.

De methode voor het bepalen van de hoeveelheid energie uit globale zonnestraling op een bepaald vlak in Nederland is literatuuronderzoek en het analyseren van relevante tools en procedures voor de berekening daarvan. Ter verificatie van uitkomsten van berekende waarden worden deze vergeleken met gemeten waarden van globale zonnestraling door KNMI. Op basis daarvan wordt een keuze gemaakt voor de procedure of tool voor het berekenen van zonne-energie op een bepaald vlak in een bepaalde situatie op een bepaald tijdstip.

De methode voor het bepalen van de hoeveelheid te gebruiken energie door het gebouw en door de bewoners is een analyse van diverse energetische ambities met behulp van literatuuronderzoek, zie Figuur 6.1.

Nadat de hoeveelheid energie door opwek en voor gebruik is vastgesteld wordt door middel van het gebouwmodel de invloed van de onafhankelijke variabelen (aantal traveeën, aantal woonlagen, situering en de mate van geslotenheid van de schil) getest ten opzichte van het benodigd opwekoppervlak (de afhankelijke variabele) bij een bepaalde energieambitie (zie Paragraaf 6.2.7).

6.2.3 **Opwek energie door zonnestraling**

Voor het bepalen van de opwek van energie door de globale zonnestraling per jaar en het gebruik van energie in de woning zijn verschillende bepalingsmethoden en ambities beschikbaar. Een overzicht van de methoden en een keuze hierin is bepalend voor de invoer van gegevens in het gebouwmodel. Het gebouwmodel dient als basis voor het bepalen van energieopwekkende vlakken ten opzichte van de gestelde ambitie van de elektrische energievraag om in balans te zijn.

Voor de opwek van energie uit zonnestraling worden verschillende berekeningsmethoden besproken en een selectie gemaakt. Op basis van een verificatie met meetgegevens wordt een definitieve keuze gemaakt voor de bepalingsmethode van globale zonnestraling voor toepassing in het gebouwmodel.

Voor het gebruik van elektrische energie in de woningen worden diverse ambities naast elkaar gezet. Deze ambities worden in het gebouwmodel vertaald naar een energievraag.

Berekeningsmethoden globale zonnestraling

De directe zonnestraling op een bepaald vlak laat zich eenvoudig berekenen, maar voor de berekening van de diffuse straling is dat lastiger. Deze straling komt van alle kanten en is niet homogeen. Daarin worden aannames gedaan over welk deel van de straling waar vandaan komt. Er zijn ook onzekerheden over omgevingsfactoren zoals aanwezige bomen en bewolkingstype. (Van der Sluys, 2016) Vele methoden zijn op basis van empirisch onderzoek beschreven.

PVGIS

Het *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS) is een tool uit 2010 en vernieuwd in 2017 van de European Commission Joint Research Centre die via een website toegankelijk is (Huld & Dunlop, 2010). Door de geografische coördinaten (breedtegraad of latitude en lengtegraad of longitude) via een kaart in te voeren en de hellingshoek en azimut in te voeren berekent de tool op basis van een bepaalde stralingsdatabase de totale jaarlijkse globale zonnestraling [kWh/m^2]. Databases met zonnestralingsdata zijn niet perfect. De grootste onzekerheid in het voorspellen van zonnestraling is de databron. Elke databron heeft sterkten en zwakten. Er zijn twee bronnen voor data: metingen en berekeningen op basis van data van satellieten. Zonnestraling wordt plaatselijk door een pyranometer gemeten. Satellieten kunnen een uniforme dekking van grote gebieden geven. De originele PVGIS-database voor Europa zijn langdurig maandelijks gemiddelden van globale en diffuse zonnestraling met 10 jaar aan data. De Classic PVGIS-database is gebaseerd op een interpolatie van grondstation metingen (1981–1990). De nieuwere Climate-SAF PVGIS database is gebaseerd op data van satellieten met 12 jaar aan data (1998–2011).

In 2017 is PVGIS vernieuwd met de vernieuwde datasets PVGIS-CMS, PVGIS-SARAH, PVGIS-ERA5 en PVGIS-COSMO die geldig zijn voor bepaalde geografische gebieden (zie Figuur 6.2). De dataset PVGIS-NSRDB is niet geldig voor Europa (European Commission, 2017a).

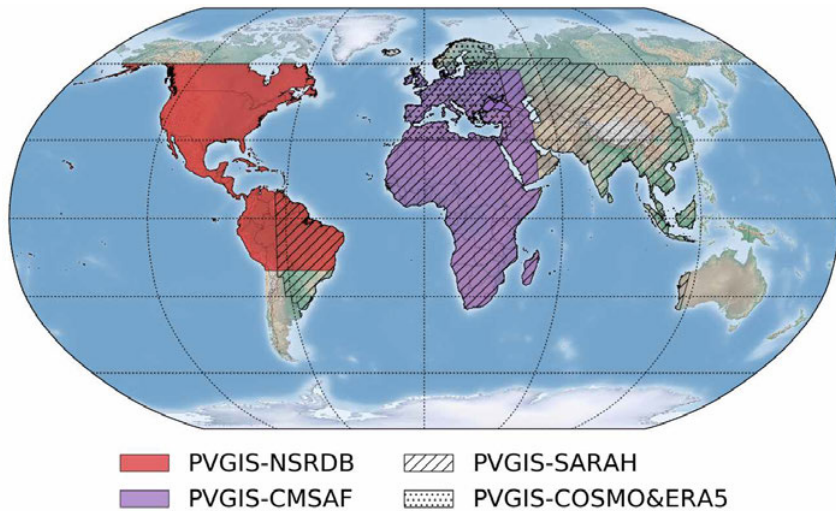


FIG. 6.2 Geographical extent of the solar radiation data sets in PVGIS. Overgenomen uit *Getting started with PVGIS* door European Commission, 2017a.

De verschillende reanalysis-based zonnestraling datasets zijn door PVGIS gevalideerd door middel van het gebruik van metingen van grondstations. Nederlandse metingen zijn daarbij nauwelijks betrokken, een (afwijkende) meting in Cabauw in het uiterste noorden van Nederland wordt vermeld.

NEN 5060

De NEN 5060:2008 (Normcommissie 351 074 “Klimaatbeheersing in gebouwen”, 2008) heeft referentieklimaatgegevens geselecteerd op basis van klimaatgegevens over de periode 1986 tot en met 2005 van meteorologisch station De Bilt voor energie-gerelateerde toepassingen in Nederland volgens de Finkelstein-Schafermethode.

In bijlage E van deze norm staat de *Procedure voor de omrekening van gegeven zonnestralingsgegevens naar verticale en hellende vlakken* beschreven.

Voor het berekenen van de diffuse straling wordt in deze procedure het model van Perez et al. (1987) toegepast. Van der Sluys heeft echter een aantal onvolkomenheden in de toepassing van het model in de procedure ontdekt en beschreven (Van der Sluys, 2016). De procedure is voor de vergelijking met PVGIS hierop aangepast.

Voor berekeningen van energie uit zonnestraling benoemt de norm de uurgemiddelde waarden van de variabelen globale zonnestraling, directe zonnestraling en directe normaalstraling, specifiek voor een dag en tijdstip in het jaar onder een bepaalde hellingshoek en in een bepaalde oriëntatie. De norm definieert de variabelen als volgt. Globale zonnestraling is op een horizontaal vlak vallende directe en diffuse zonnestraling. Directe zonnestraling is direct van de zon afkomstige zonnestraling. Directe normaalstraling is direct van de zon afkomstige, op een vlak loodrecht op de zonnestraling vallende, zonnestraling. Diffuse straling is zonnestraling afkomstig uit andere richtingen. Gereflecteerde zonnestraling is het quotiënt van de globale straling onder een bepaalde hellingshoek met een bepaalde grondreflectiecoëfficiënt (zie Paragraaf 3.6.5).

Uitkomsten van PVGIS met verschillende datasets en uitkomsten van de methode uit NEN 5060 worden in Figuur 6.3 met elkaar vergeleken met als uitgangspunt een verticaal vlak met een hellingshoek van 90° met verschillende oriëntaties. Ten opzichte van PVGIS toont NEN 5060 weinig zonnestraling op noordelijk gerichte vlakken (op het noorden geheel niet) terwijl er invloed van diffuse straling zichtbaar zou kunnen zijn. De variatie in waarden tussen de datasets laat zien dat nauwkeurige voorspellingen van energie uit zonnestraling op basis van berekeningen moeilijk mogelijk zijn.

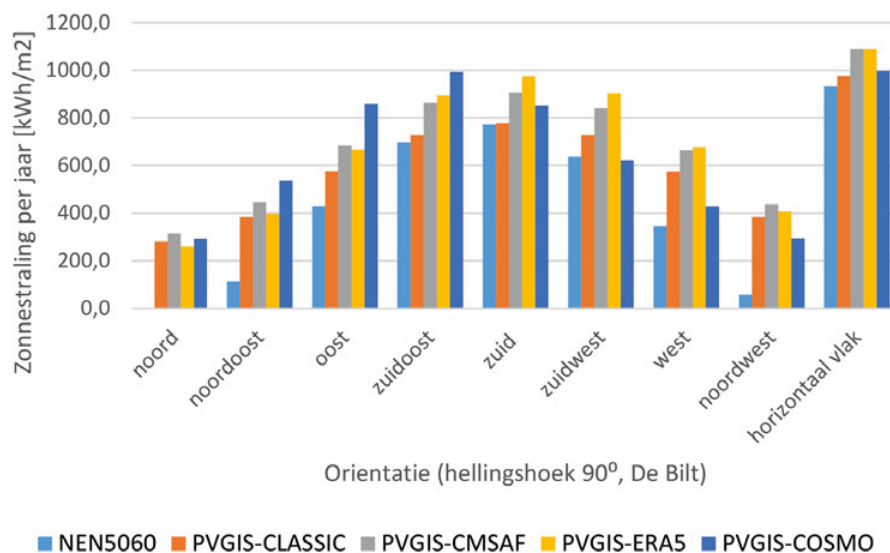


FIG. 6.3 Vergelijking berekende waarden tussen NEN 5060 en PVGIS.

Overige rekenmodellen

Mousavi Maleki, Hizam en Gomes (2017) hebben modellen voor het berekenen van globale zonne-energie op hellende vlakken uit de literatuur onderzocht. Doel was om te kunnen bepalen wat de meest accurate modellen zijn voor het voorspellen van energie uit zonnestraling door het testen van deze modellen. Globale zonnestraling op uurbasis kan worden berekend met behulp van een model. Voor horizontale vlakken betreft dit directe en diffuse zonnestraling. Voor hellende vlakken betreft dit directe, diffuse en een grondreflectie straling (zie Paragraaf 3.6.5). De inkomende zonnestraling is sterk afhankelijk van de hoek en oriëntatie. Directe zonnestraling kan gemeten worden in W/m^2 met een pyrheliometer. Directe zonnestraling kan volgens Mousavi Maleki et al. voorspeld worden met modellen zoals het Bird model, METSTAT, het YANG-model, REST en het Ineichen model. Diffuse zonnestraling kan gemeten worden in W/m^2 met een pyranometer. Voor het bepalen van diffuse zonnestraling wordt gebruik gemaakt van parametrische modellen en decompositie modellen. Parametrische modellen vereisen specifieke informatie over milieuomstandigheden zoals atmosferische troebelheid, gedeeltelijke zonneschijn en luchtvochtigheid.

Voorbeelden van parametrische modellen zijn volgens Mousavi Maleki et al. het ASHRAE Model, Machler and Iqbal's Model, Parishwad's Model en Nijegorodov's Model. Decompositie modellen gebruiken data van globale zonnestraling op een horizontaal vlak om diffuse zonnestraling te voorspellen. Voorbeelden van decompositie modellen zijn volgens hen Chandrasekaran and Kumar's Model, Erbs' Model, Hawlader's Model, Jacovides' Model, Karatasou's Model, Lam and Li's Model, Louche's Model, Miguel's Model, Orgill and Hollands' Model, Boland's Model, Liu and Jordan's Model, Spencer's Model, Reindl's Model, Oliveira's Model, Soares' Model en Muneer's Model (Mousavi Maleki et al., 2017).

Metingen globale zonnestraling op een horizontaal vlak

Er is een netwerk van meetpunten die klimaatdata meten en verzamelen. In de Nederlandse situatie beschikt het KNMI over meetgegevens over zonnestralingstotalen.

KNMI meetgegevens

Het KNMI heeft meetgegevens over globale straling per jaar in Nederland van 50 meetstations door heel Nederland. De globale straling is de som van de directe en diffuse zonnestraling op een horizontaal vlak en wordt weergegeven in Joule/cm² (1 Joule/cm² = 2,7772x10⁻³ kWh/m²) (KNMI, 2017a, p. 17).

Met behulp van deze meetgegevens kunnen berekende globale stralingsdata op een horizontaal vlak van PVGIS en NEN 5060 in een Nederlandse situatie worden gevalideerd. Op basis hiervan wordt een keuze gemaakt voor de toepassing van de dataset voor berekeningen in Nederland ten behoeve van het gebouwmodel.

De gemeten globale straling varieert afhankelijk van de locatie en per jaar. In de kustregio is op jaarbasis de globale straling hoger dan regio in het oosten van het land (zie Figuur 6.4).

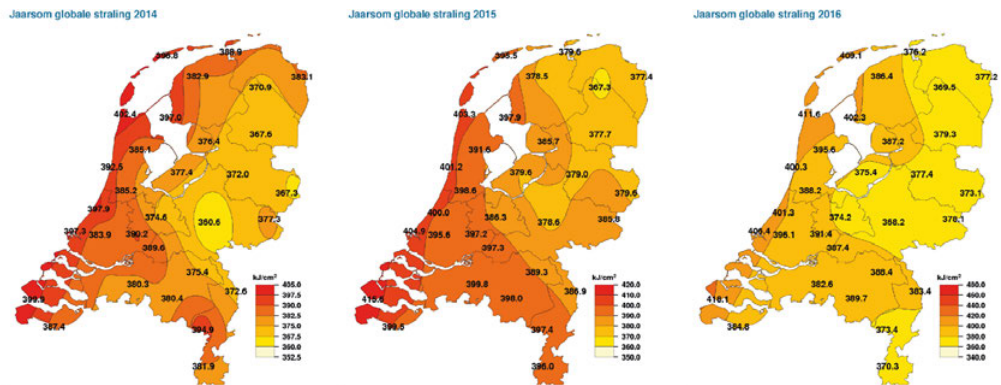


FIG. 6.4 Jaarsom globale straling in Nederland 2014, 2015 en 2016 in kJ/cm². Gecombineerd overgenomen uit *Jaaroverzicht van het weer in Nederland, 2014* (p. 6), *2015* (p. 6) en *2016* (p. 7) door KNMI, 2015a; KNMI, 2016; KNMI, 2017a. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut.

In de loop der tijd wordt de gemeten jaarlijkse zonnestraling aan het oppervlak in De Bilt steeds hoger (zie Figuur 6.5). Oorzaken daarvoor zijn het schoner worden van de lucht en daardoor transparanter en het transparanter worden van de bewolking door minder vervuiling. (KNMI, 2015b, p. 18)

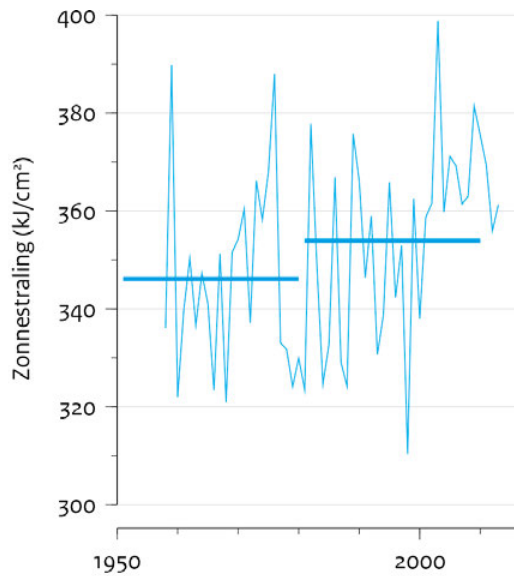


FIG. 6.5 Jaarlijkse zonnestraling aan het oppervlak in De Bilt. Overgenomen uit *KNMI'14 – klimaatscenario's voor Nederland: Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie* (p. 18) door KNMI, 2015b. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut.



FIG. 6.6 Dwarsdoorsnede over Nederland (Voorschoten - De Bilt - Deelen). Aangepast overgenomen uit *Jaaroverzicht van het weer in Nederland: 2016* (p. 17) door KNMI, 2017a. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut.

Het KNMI heeft metingen van globale straling beschikbaar. Voor meetstation De Bilt is dat vanaf 1 juli 1957.

De jaarlijkse globale straling varieert per locatie en per jaar. Een dwarsdoorsnede over Nederland (Voorschoten – De Bilt – Deelen), zie Figuur 6.6, maakt verschillende waarden van de globale zonnestraling zichtbaar.

De gemeten KNMI zonnestralingsdata over de dwarsdoorsnede van Nederland zijn in een grafiek samengevat (zie Figuur 6.7). De waarden van de zonnestraling aan de kust is op jaarbasis ca. 10 % hoger dan die in het binnenland.

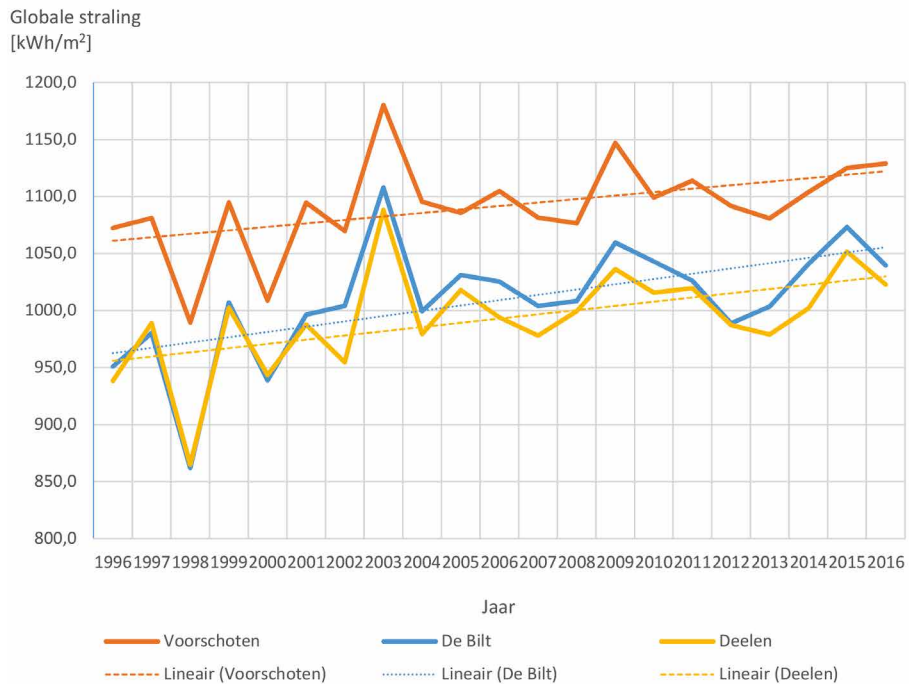


FIG. 6.7 Dwarsdoorsnede over Nederland: gemeten globale straling per jaar in de periode 1996-2016, meetstations De Bilt, Voorschoten en Deelen met lineaire trendlijnen. Aangepast volgens data uit *Klimatologie: Daggegevens van het weer in Nederland* door KNMI, 2017b.

Deze meetgegevens zijn toegepast om te kunnen vergelijken met de berekende gegevens uit het PVGIS-model en uit het NEN 5060-model om zo een indicatie te krijgen over de nauwkeurigheid van de berekende waarden.

Meetgegevens KNMI en berekeningen zonnestraling

De globale zonnestraling per jaar [kWh/m²] op een horizontaal vlak in locatie De Bilt in de jaren 1996 t/m 2016 is door de KNMI gemeten en is in PVGIS met verschillende datasets en in het rekenmodel van NEN 5060 berekend (zie Figuur 6.8). Hierdoor zijn afwijkingen zichtbaar tussen de berekende waarden uit de modellen en de gemeten waarden door het KNMI.

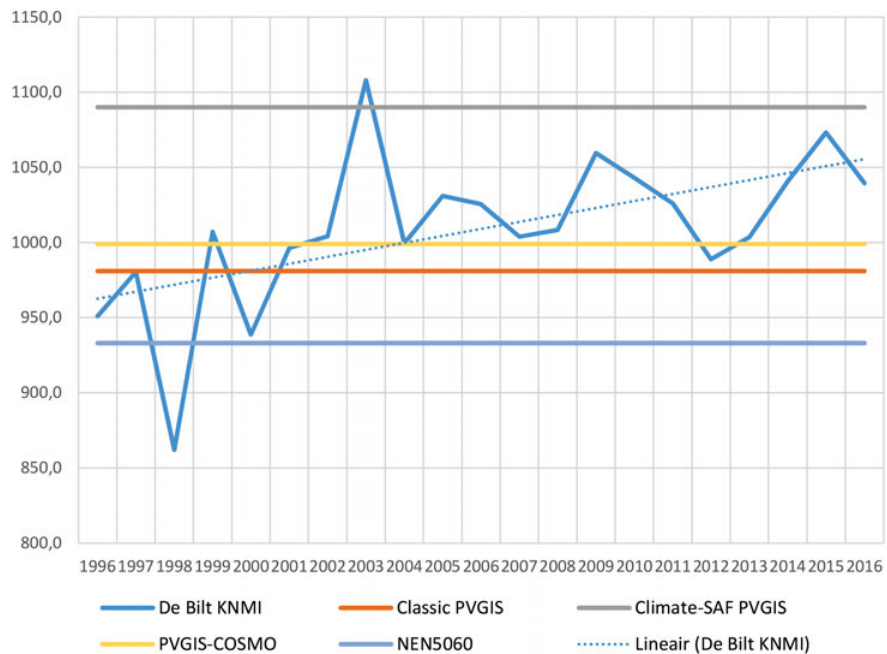


FIG. 6.8 Berekende en gemeten globale zonnestraling per jaar [kWh/m²] op horizontaal vlak in De Bilt.

De drie verschillende datasets in PVGIS geven verschillende afwijkingen ten opzichte van de meetgegevens van het KNMI in locatie De Bilt. De datasets zijn langdurig gemiddelden, de meetgegevens van het KNMI zijn op basis van 1 jaar. De berekeningen volgens NEN 5060 wijken steeds meer af van de trendlijn van waarden zoals gemeten door het KNMI. Dat valt te verklaren door de ouderdom van de dataset die NEN 5060 toepast (1986-2005). De dataset van Classic PVGIS en van PVGIS-COSMO komen dichterbij de trendlijn van het KNMI. Er kunnen grote verschillen optreden zoals te zien is in het jaar 1998 (862 kWh/m²) ten opzichte van het jaar 2003 (1108 kWh/m²). Uitschieters met circa 10 % afwijking naar boven en naar beneden ten opzichte van de trendlijn zijn in deze periode zichtbaar.

PVGIS met de dataset PVGIS-COSMO lijkt voor de nabije toekomst veilige data te kunnen genereren zodat eventuele grote afwijkingen in de werkelijke zonnestraling niet een negatieve invloed hebben op de conclusies uit het gebouwmodel. De Climate-SAF dataset is voor De Bilt nu nog te rooskleurig en zal, als de trendlijn zich op de zelfde wijze voortzet, pas vanaf 2025 de werkelijke waarden benaderen.

Op basis van de grafiek met globale zonnestraling op een horizontaal vlak wordt de methode PVGIS met de PVGIS-COSMO dataset toegepast om het gebouwmodel te voorzien van data voor zonnestraling op een bepaald vlak. Een bepaald vlak is een vlak in een bepaalde situatie in Nederland, met een bepaalde oriëntatie (azimut) en onder een bepaalde hoek (elevatie).

Het model volgens NEN 5060 wordt toegepast in het gebouwmodel om uitspraken te kunnen doen over de invloed van zonnestraling ten gevolge van grondreflectie [W/m^2] oftewel de gereflecteerde zonnestraling onder invloed van een bepaalde grondreflectiecoëfficiënt.

Beschaduwing en andere belemmeringen voor zonlichttoetreding op het geveleppervlak zijn in dit model buiten beschouwing gelaten. Beschaduwing kan optreden door uitkragende of uitstekende bouwkundige elementen, door andere bebouwingen in de directe omgeving, door natuurlijke elementen zoals bomen en door vervuiling.

6.2.4 **Gebruik van energie**

De embodied energie, de in materialen opgeslagen energie, in het bestaande gebouw bestaat uit de initiële embodied energie, de recurrent (ook wel genoemd recurring) embodied energie en de energie die later nodig is voor de sloop van onderdelen. De embodied energie en het gebouwgebonden energiegebruik bepalen samen het totale energiegebruik door het gebouw. Het gebouwgebonden energiegebruik voor berekeningen wordt door middel van energieambities bepaald. Daarnaast wordt hiervoor ook het gebruikersgebonden energiegebruik door middel van energieambities bepaald.

'Embodied energie' gebouw

De bestaande initiële embodied energie van de woongebouwen blijft voor het grootste gedeelte gehandhaafd bij upgrading naar energieneutraal. De draagstructuur, bestaande uit fundering, betonnen wanden en betonnen vloeren, blijft gehandhaafd. Ontsluitingen, zoals betonnen galerijvloeren en betonnen balkons met bijbehorende oplegconsole's, worden gesloopt bij einde fysieke of functionele levensduur. De initiële embodied energie van deze technische elementen gaat hierbij verloren als er geen hergebruik mogelijk is. Recurrent embodied energie wordt toegevoegd bij reparaties aan het bestaande gebouw en bij mogelijk gewijzigde indelingen in plattegronden. In de vorm van nieuwe gevelelementen en nieuwe

installaties wordt nieuwe initiële embodied energie toegevoegd aan het gebouw. Deze toegevoegde energie moet zo laag mogelijk zijn in relatie met de keuze van materialen, de benodigde recurrent embodied energie en herbruikbaarheid of recyclebaarheid van de elementen.

Embodied energie (EE) is volgens Ramesh, Prakash en Shukla (2010) de energie die gebruikt is voor het produceren van het gebouw. Het is de energie-inhoud van alle toegepaste materialen van het gebouw en van de technische installaties en de energie voor de bouw, in stand houden en renovatie van het gebouw. Energie-inhoud van materialen is het winnen van grondstoffen, het produceren en vervoeren naar de bouwplaats (van Cradle-to-Gate).

De Life Cycle Energie (LCE) is door Ramesh et al. (2010) gedefinieerd als de som van initiële embodied energie, recurrent embodied energie, operationele energie en energie voor het slopen van het gebouw. *Initiële embodied energie* is de gebruikte energie voor het oprichten van de oorspronkelijke constructie van het gebouw; *recurrent embodied energie* is energie die extra is toegevoegd tijdens de levensduur van het gebouw voor reparatie en vervanging van materialen; *operationele energie* is de hoeveelheid energie die nodig is voor het behouden van comfortwaarden en onderhoud van het gebouw over de levensduur van het gebouw; *energie voor het slopen van het gebouw* is de benodigde energie voor het slopen van het gebouw en het transporteren van de sloopmaterialen naar stort of recycling (Ramesh et al., 2010, p. 1593).

Het aandeel van de operationele energie bedraagt 80 % tot 90 % van de life cycle energie van gebouwen (Ramesh et al., 2010, p. 1593). Het aandeel van embodied energie in de life cycle energie is 20 % tot 10 %. Het aandeel van de energie voor sloop is nihil. Volgens Berggren, Hall en Wall (2013, p. 381) is het aandeel van de operationele energie in het algemeen 70 % tot 90 % van de life cycle energie.

Als de operationele energie daalt door upgrading naar energieneutraal of energieleverend (daling van gebouwgebonden energie) en door minder gebruik van energie door de gebruikers door ander gedrag (daling gebruikersgebonden energie), dan neemt het aandeel van embodied energie relatief sterk toe.

De energie-efficiëntie wordt verhoogd naarmate het evenwicht tussen de energievraag en het energieaanbod kleiner wordt (zie Figuur 6.9).

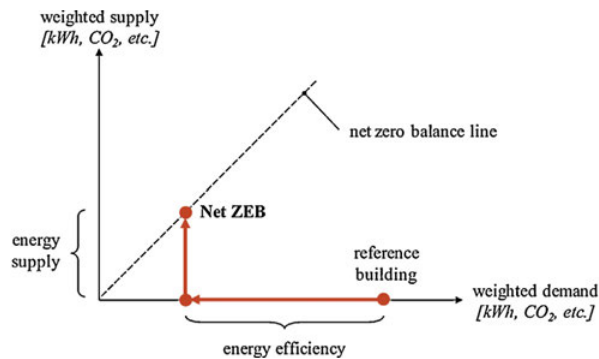


FIG. 6.9 Schematische presentatie van de vraag/aanbod balans van een Net Zero Energy Building. Overgenomen uit *LCE analysis of buildings: Taking the step towards Net Zero Energy Buildings* (p. 382) door B. Berggren, M. Hall en M. Wall, 2013.

‘Embodied energy’ is de hoeveelheid energie die verbruikt wordt bij de totstandkoming van een gebouw (Van Herwijnen, 2013, p. 12). De totale CO₂-emissie van een product is volgens Van Herwijnen de totale hoeveelheid CO₂ die vrijkomt bij de totstandkoming (winning, productie, transport, montage), in de gebruiksfase (onderhoud, reparaties, renovaties en vervanging) en bij sloop, demontage en recycling van dat product.

Gebouwgebonden energiegebruik

Het gebouwgebonden energiegebruik, ook wel genoemd volgens NEN 7120 de energieprestatie of het zogenaamde karakteristiek energiegebruik, wordt bepaald door de warmtevraag voor ruimteverwarming, de energie voor warm tapwater, verlichting, koeling, bevochtiging en ontvochtiging en elektrische hulpenergie die verbonden zijn aan een gestandaardiseerd gebruik van het gebouw. De energieprestatiecoëfficiënt (EPC) volgens NEN 7120 is de verhouding tussen het karakteristieke energiegebruik en het genormeerde energiegebruik van een woning.

De waarden, behorende bij bepaalde ambities van de onderdelen van het gebouwgebonden energiegebruik, worden ten behoeve van het gebouwmodel bepaald. Bevochtiging en ontvochtiging komt in de moderne woningbouw zelden voor. Koeling zou een extra energiebelasting kunnen zijn, afhankelijk van het aantal warmte-overschrijdingsuren per jaar in relatie tot interne warmtelast, spuiomogelijkheden, buitenzonwering, geometrie (raam- en dakoppervlakte) en gebouwmassa (W/E adviseurs, 2018). Uitgangspunt is dat eventuele warmte-overschrijding weggeventileerd kan worden door spuiventilatie of nachtventilatie. In het gebouwmodel wordt daarom energie voor koeling, bevochtiging en ontvochtiging buiten beschouwing gelaten.

In 2020 wordt NEN 7120 vervangen door de nieuwe benchmark methode NTA 8800. Verlichting maakt geen onderdeel meer uit in deze methode.

De energie voor algemene onderdelen van het gehele gebouw, zoals voor liften, algemene verlichting en hydrofoor is niet opgenomen in het gebouwgebonden energiegebruik. Deze algemene energie wordt via servicekosten of huur verrekend en niet via de energierekening van een gebruiker en wordt niet meegenomen in het gebouwmodel.

Warmtevraag voor ruimteverwarming

De warmtevraag voor ruimteverwarming wordt uitgedrukt in thermische energie Q_v [$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2$] met bepaalde waarden. Deze benodigde thermische energie wordt door middel van warmtepompen met een bepaalde waarde van de Seasonal Performance Factor (SPF) bij een bepaald gebruik, opgewekt en omgerekend naar benodigde elektrische energie voor de ruimteverwarming.

Er worden verschillende ambities gesteld aan de hoogte van de waarde van de maximale hoeveelheid thermische energie voor ruimteverwarming (Q_v) per jaar. De ambitie volgens passief bouwen is $Q_v < 15 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2$ per jaar. Om gebruik te kunnen maken van de Energieprestatievergoeding (EPV) zijn 4 categorieën bepaald met maximale waarden voor energie voor ruimteverwarming (maximale Q_v per jaar van 15, 20, 25 en 30 $\text{kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2$ en als de warmte niet volledig duurzaam is of als de warmte niet volledig op de woning wordt opgewekt een maximale Q_v per jaar van 15, 30, 40 en 50 $\text{kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2$). Hoe lager de klasse, des te meer energieprestatievergoeding gevraagd kan worden. De norm voor bijna energieneutrale gebouwen (BENG) stelt in 2015 een maximum van $Q_v = 25 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2$ voor ruimteverwarming.

Met de drie waarden voor de warmtevraag voor ruimteverwarming per jaar ($Q_v = 15, 20$ en $25 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2$) wordt daarom in het gebouwmodel gerekend om daarvan de effecten te kunnen bepalen. De gestelde waarde voor de maximale hoeveelheid thermische energie voor ruimteverwarming heeft een directe relatie met de bouwfysische eigenschappen van de bouwschil. Hoe lager de warmtevraag voor ruimteverwarming, des te hoger de minimaal benodigde warmteweerstandwaarde (R_c) van de schil en des te hoger de eisen aan isolatieglas in een daarbij behorend kozijnsysteem. Een zeer goede kierdichting om ongewenste infiltratie te voorkomen (met bijvoorbeeld als gevolg condensatie op koudere gedeelten in de constructie), een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning (die beter te sturen is bij minder infiltratie) en geen thermische bruggen zijn daarbij noodzakelijk. Hoe hoger de luchtdichtheid, des te lager de benodigde R_c -waarde van een gevel bij een gelijkblijvende warmtevraag.

Per 1 januari 2021 worden de BENG-eisen gewijzigd op basis van een andere rekenmethodiek (NTA 8800 in plaats van NEN7120). De eisen uit 2015 zijn daarom niet vergelijkbaar met die uit 2021. Het rekenmodel houdt de waarden uit 2015 aan.

Energie voor warm tapwater

NEN7120 stelt dat de specifieke warmtebehoefte voor warm tapwater voor keuken en badruimte voor de categorie woningbouw met woonfunctie 3081 MJ per persoon per jaar bedraagt (Normcommissie 351 074, 2012, p. 256). Dit is een genormeerde waarde. In de praktijk kunnen waarden hiervan afwijken door gedragsaspecten.

Omgerekend naar kWh (1 kWh=3,6MJ) wordt de specifieke warmtebehoefte voor warm tapwater 855,8 kWh per persoon per jaar. Deze waarde wordt in het gebouwmodel toegepast.

Zonnecollectoren kunnen een bijdrage leveren aan de beperking van energie voor warm tapwater. Warmtepompen voor warmtapwater met een Seasonal Performance Factor (SPF_{tap}) van bijvoorbeeld 2,0 gebruiken daarbij elektrische energie.

Het toepassen van een douchewater warmtewisselaar met een bepaald rendement (in de praktijk vaak 40 %) draagt bij aan vermeden energiegebruik. Het gebruik van de warmtewisselaar is alleen mogelijk bij badkamerrenovatie.

Elektrische hulpenergie en verlichting

De elektrische hulpenergie inclusief verlichting bedraagt 536 kWh per jaar voor een galerijflat met een gebruiksoppervlak van 82 m² en gebouwd in de periode tussen 1965 en 1974 (Agentschap NL, 2011a, p. 61). Daarbij wordt nog opgeteld de elektrische energie voor de opwek van warmte voor ruimteverwarming en de opwek van warm tapwater met behulp van warmtepompen.

Aantal personen per huishouden

Volgens Nibud (2017) bedraagt het gemiddelde huishoudelijk en gebouwgebonden energiegebruik voor 2 personen 2930 kWh per jaar en voor 3 personen 3590 kWh/jaar. In de galerijflat met een gebruiksoppervlak van 82 m² wonen gemiddeld 2,8 mensen (Agentschap NL, 2011a, p. 61). Voor het gebouwmodel betekent dat dan een gemiddeld gebruikersgebonden energiegebruik van 3458 kWh/jaar minus de gebouwgebonden energie.

Overzicht gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie

Bij een galerijflat met een gebruiksoppervlak van 82 m² en gemiddeld 2,8 personen per huishouden gelden de volgende overzichten. Hierin zijn varianten van de ambitie voor energie voor ruimteverwarming naast elkaar gezet.

Figuur 6.10 toont de relatie tussen verschillende ambities voor de warmtevraag voor ruimteverwarming per jaar (15, 20, 25 en 30 kWh_{th}/m²) uitgedrukt in elektrische energie van warmtepompen voor ruimteverwarming [kWh] ten opzichte van gebouwgebonden elektrische energie voor warm tapwater [kWh] en gebouwgebonden elektrische energie voor hulpenergie en verlichting [kWh] per jaar. Het aandeel van elektrische energie voor ruimteverwarming is respectievelijk 24,9 %, 30,7 %, 35,6 % en 39,9 % van de totale gebouwgebonden elektrische energie.

In Figuur 6.11 blijkt dat het gebruikersgebonden aandeel in de elektrische energie hoger is dan het gebouwgebonden aandeel in de elektrische energie.

De totaal gebouwgebonden energievraag en de totaal gebruikersgebonden energievraag vormen de finale elektrische energievraag.

In het geval dat de energievraag voor ruimteverwarming en warm tapwater duurzaam wordt geleverd door een hoog temperatuur warmtenet (zoals stadsverwarming met een duurzame bron), dan vervalt de vraag naar elektriciteit voor warmtepompen ten behoeve van ruimteverwarming en opwekking van warmtapwater.

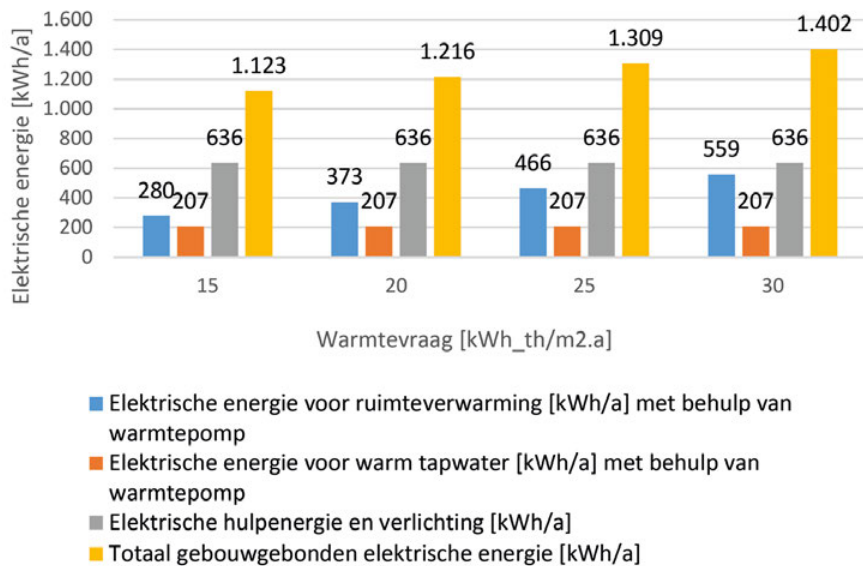


FIG. 6.10 Relatie tussen onderdelen van gebouwgebonden elektrische energie per jaar [kWh/a] bij verschillende ambities voor thermische warmtevrraag voor ruimteverwarming per jaar [kWh_th/m².a].

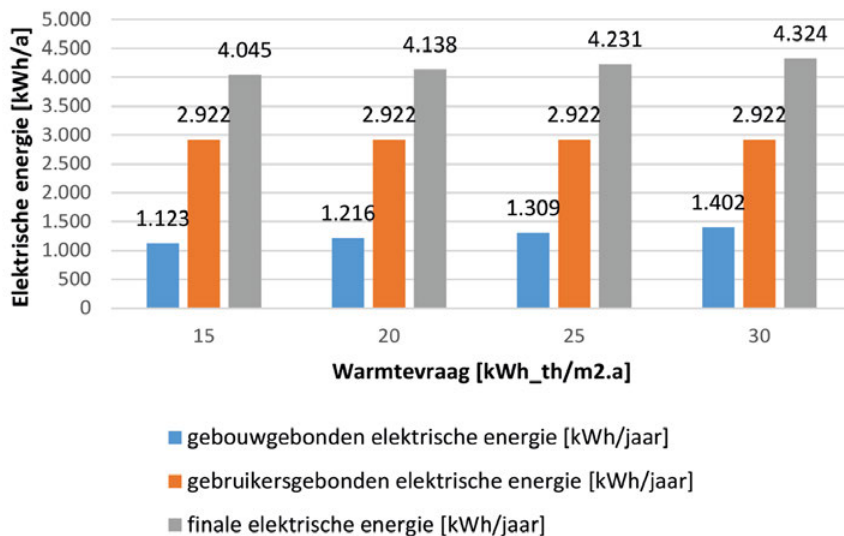


FIG. 6.11 Relatie tussen de hoeveelheid gebouwgebonden en gebruikersgebonden elektrische energie.

6.2.6 Een elektrische auto als apparaat?

Inleiding

Gebouwwebonden energiegebruik en gebruikersgebonden energiegebruik zijn gedefinieerd als energiegebruik door en in de woning. Mobiliteit is hierbij niet meegerekend. De mogelijkheid bestaat echter om een elektrische auto als 'apparaat' toe te voegen binnen de systeemgrens van het gebruikersgebonden energiegebruik. De vraag is nu of dit een reële optie is. Hoeveel bedraagt dan het energiegebruik van een gemiddelde elektrische auto en hoe kan de auto als energievragers en als energieleverancier worden ingezet? Wat is de ruimtelijke impact van energieopwekking voor een elektrische auto? Het energiegebruik van een gemiddelde elektrische auto wordt in het rekenmodel vergeleken met de bepaalde hoeveelheden gebouwgebonden en gebruikersgebonden energiegebruik.

Energiegebruik van een elektrische auto

Het energiegebruik van een particuliere elektrische personenauto per jaar is onder andere afhankelijk van het aantal gereden kilometers per jaar en het type auto.

Het aantal gereden kilometers per jaar (jaarkilometrage) van particuliere personenauto's in 2016 is voor Nederland gemiddeld 11.800 km, variërend van 14.200 km in Flevoland tot 11.200 km in Limburg, zie Figuur 6.12. Ten opzichte van 2015 is het aantal gereden kilometers in 2016 met 1,5 % toegenomen door toename van het aantal auto's met 1,5 % (CBS, 2017a). Echter eerdere studies melden dat het mobiliteitsgedrag van jongvolwassenen verandert door minder gebruik te maken van de auto en meer van de fiets en openbaar vervoer (Jorritsma & Berveling, 2014).



FIG. 6.12 Gemiddeld jaarkilometrage particuliere personenauto's per provincie. Opgesteld volgens data uit *Forse groei autokilometers* door CBS, 2017a (<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/41/forse-groei-autokilometers>).

Voor het rekenmodel worden daarom drie scenario's toegepast (zie Tabel 6.1). Scenario A vanwege mogelijke afname van het aantal gereden kilometers per jaar, scenario B (jaarkilometrage onder de laagste waarde volgens Figuur 6.12) als gemiddeld jaarkilometrage en scenario C als toename van het aantal gereden kilometers per jaar (jaarkilometrage boven de hoogste waarde volgens Figuur 6.12).

TABEL 6.1 Scenario's jaarkilometrage particuliere personenauto's ten behoeve van rekenmodel.

Scenario jaarkilometrage		Aantal gereden kilometers per jaar
A	Laag jaarkilometrage	10.000
B	Gemiddeld jaarkilometrage	11.800
C	Hoog jaarkilometrage	15.000

Elektrisch energieverbruik van type personenauto

Het elektrisch verbruik van personenauto's is onder andere afhankelijk van het type auto.

De Elektrische Voertuigen Database (EVDB) heeft in haar versie 2.1 een overzicht van elektrische auto's met elektrisch energieverbruik per 100 km. Dit verbruik is bepaald met de NEDC-normering, de WLTP-normering en met de EVDB Real Range. De NEDC-normering is de verplichting voor een fabrikant om zelf verbruik gegevens te publiceren op basis van laboratoriumomstandigheden. Deze verouderde NEDC-normering wordt door EVDB niet geschikt bevonden om toe te passen in de praktijk. De WLTP-normering is als opvolger van de NEDC-normering sinds 2018 verplicht voor fabrikanten en sluit beter aan bij de realiteit. Volgens EVDB is ook deze normering te optimistisch voor de praktijk. Het Real Range model is door EVDB ontwikkeld en benadert de praktijk zo goed mogelijk. Het model wordt continu gevoed met data uit praktijktesten. Hierbij wordt bij het berekenen van het elektrisch verbruik gebruik gemaakt van het praktijkbereik en de daadwerkelijk bruikbare accucapaciteit of, bij gebrek aan informatie van de fabrikant, van schattingen. Daarnaast is een schatting gemaakt van het Praktisch Energieverbruik waarbij gerekend is met Stad-winter, Stad-zomer, Snelweg-winter, Snelweg-zomer en Gecombineerd-winter en Gecombineerd-zomer rijden. Het daadwerkelijke energieverbruik hangt hierbij sterk af van snelheid, rijgedrag, klimaat en route. Bij bijvoorbeeld een Hyundai IONIQ Electric met een genormeerd NEDC-verbruik van 11,5 kWh/100 km en een verbruik van 14,4 kWh/100 km volgens EVDB Real Range varieert het Praktisch Energieverbruik van 9,7 – 20,7 kWh/100 km. (EVDB, 2018)

Het verbruik van de 43 elektrische auto's in de database volgens de EVDB Real Range varieert van 14,4 kWh/100km voor een Hyundai IONIQ Electric tot 22,9 kWh/100 km voor een Tesla Model X P100D. Het gemiddelde energieverbruik volgens de EVDB-range per 100 km bedraagt 17,8 kWh (zie Figuur 6.13).

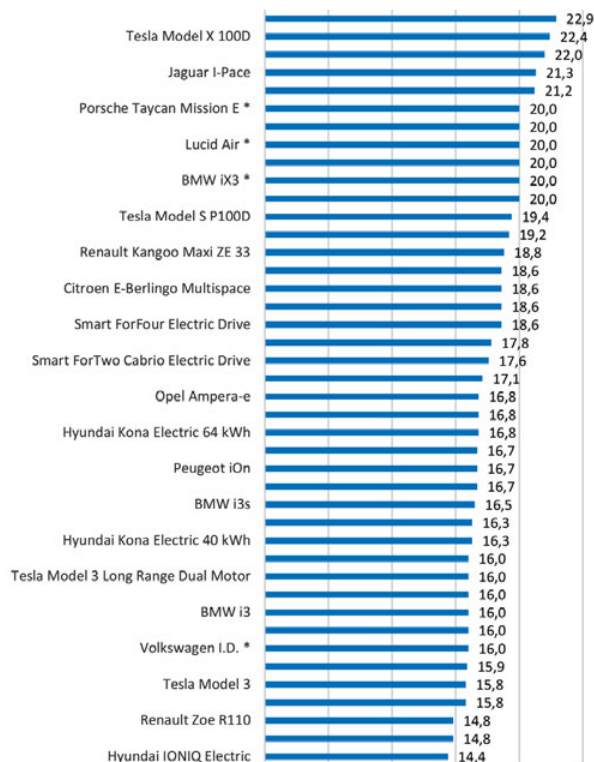


FIG. 6.13 Overzicht energieverbruik elektrische auto's volgens de EVDB-range per 100 km [kWh]. Opgesteld volgens data uit *Elektrische voertuigen database* door EVDB, 2018 (<https://ev-database.nl/>).

Omdat deze beschouwing in het kader van renovatie van gestapelde woningbouw plaatsvindt is het aannemelijk dat de elektrische personenauto's uit het goedkopere segment een beter beeld geeft dan de keuze voor elektrische personenauto's uit het dure segment, of van een gemiddelde van alle beschouwde type personenauto's. De relatie met het elektrisch energieverbruik volgens het overzicht volgens Figuur 6.13 en de prijs van de auto is niet geheel lineair (zie Figuur 6.14). Andere eigenschappen van de elektrische auto in relatie tot prijs, zoals grootte en comfort, zijn hierbij niet in beschouwing genomen.

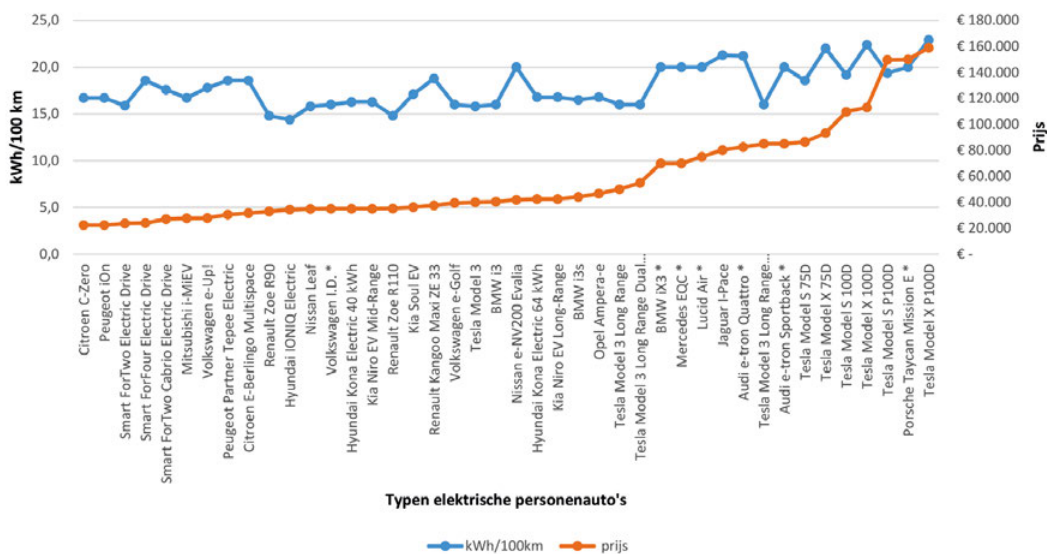


FIG. 6.14 Overzicht energieverbruik elektrische auto's volgens de EVDB-range per 100 km [kWh] in relatie tot prijs. Opgesteld volgens data uit *Elektrische voertuigen database* door EVDB, 2018 (<https://ev-database.nl/>).

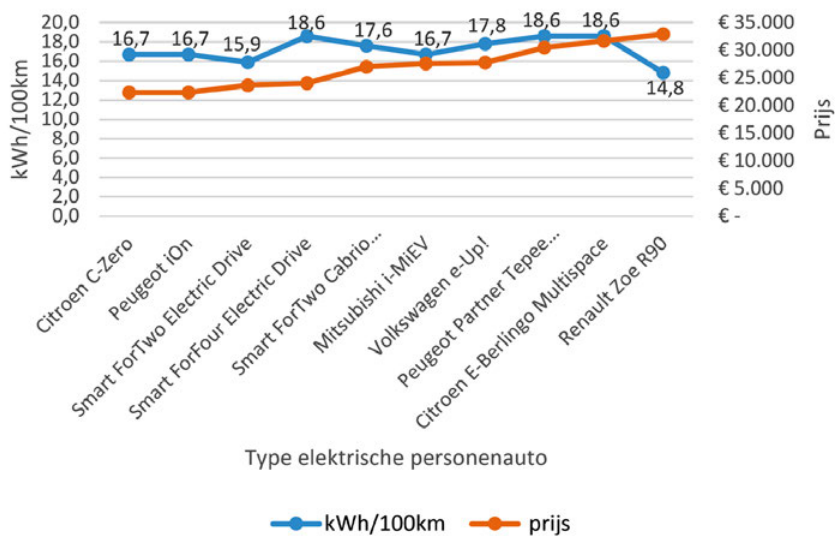


FIG. 6.15 Overzicht energieverbruik goedkoopste elektrische auto's volgens de EVDB-range per 100 km [kWh] in relatie tot prijs. Opgesteld volgens data uit *Elektrische voertuigen database* door EVDB, 2018 (<https://ev-database.nl/>).

Het gemiddelde elektrisch verbruik van de 10 goedkoopste elektrische personenauto's volgens Figuur 6.15 bedraagt 17,2 kWh/100km. Tot een prijs voor een elektrische auto van € 55.000 bedraagt het energieverbruik 15-20 kWh/100 km. In het rekenmodel wordt het energieverbruik van 20 kWh/100 km aangehouden. In Tabel 6.2 is hiermee het totale energieverbruik per jaar per scenario aangegeven, wat varieert tussen 2000 en 3000 kWh per jaar per particuliere personenauto.

TABEL 6.2 Scenario's jaarkilometrage particuliere personenauto ten behoeve van rekenmodel.

Scenario jaarkilometrage		Aantal gereden kilometers per jaar	Energieverbruik [kWh/ 100 km]	Totaal energieverbruik [kWh per jaar]
A	Laag jaarkilometrage	10.000	20	2000
B	Gemiddeld jaarkilometrage	11.800	20	2360
C	Hoog jaarkilometrage	15.000	20	3000

Aantal voertuigen per huishouden

Naast het aantal gereden kilometers per jaar, het type auto is ook het gemiddeld aantal auto's per huishouden van invloed op de energievraag door de elektrische auto ten opzichte van gebouwgebonden en gebruikersgebonden energiegebruik.

Het aantal voertuigen per huishouden kan op drie wijzen worden bepaald. De eerste wijze is volgens het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) die een overzicht geeft van het aantal voertuigen per gezinsgrootte. De tweede wijze is het aantal voertuigen aan de hand van de mate van 'stedelijkheid'. De derde wijze is het aantal voertuigen aan de hand van parkeerkencijfers die per gemeente vastgesteld worden.

Aantal voertuigen per huishouden - CBS

CBS (2017a) toont een overzicht van het percentage huishoudens met een bepaalde huishoudgrootte in het bezit van één voertuig, twee voertuigen of drie of meer voertuigen (zie Figuur 6.16).

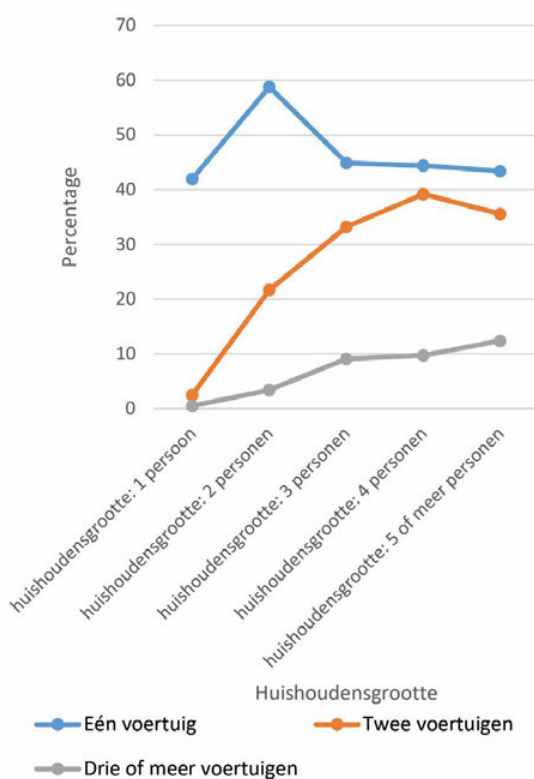


FIG. 6.16 Aantal voertuigen per gezinsgrootte in 2015. Opgesteld volgens data uit *Huishoudens in bezit van auto of motor; huishoudkenmerken* door CBS, 2017b (<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81845NED/table?ts=1528112933457>)

Het aantal voertuigen per gezinsgrootte van 2,8 personen is lineair geïnterpoleerd uit data in Figuur 6.16 (zie Tabel 6.3).

Het gemiddelde aantal voertuigen per huishoudensgrootte van 2,8 personen is bij benadering uit te rekenen als ‘drie of meer voertuigen’ op ‘drie voertuigen’ wordt gesteld. Het aantal huishoudens zonder voertuig is dus 13,4 %. Het gemiddelde aantal voertuigen is daarmee $(47,7 \times 1 + 30,9 \times 2 + 8 \times 3 + 13,4 \times 0) / 100 = 1,3$ stuks.

TABEL 6.3 Aantal voertuigen per gezinsgrootte van 2,8 personen in 2015. Opgesteld volgens geïnterpoleerde data uit *Huishoudens in bezit van auto of motor; huishoudkenmerken* door CBS, 2017b.

Huishoudensgrootte:	Eén voertuig (%)	Twee voertuigen (%)	Drie of meer voertuigen (%)
2,8 personen	47,7	30,9	8,0

Aantal voertuigen per huishouden - Stedelijkheid

Het aantal voertuigen per stedelijkheid is afhankelijk van de toegepaste stedelijkheid ten behoeve van het rekenmodel. Het CBS definieert stedelijkheid van een gebied op het niveau van rastervierkanten van 500 bij 500 meter waarbij de omgevingsadressendichtheid van het betrokken rastervierkant 1500 of meer adressen per vierkante kilometer is. Figuur 6.17 toont de relatie tussen de mate van stedelijkheid en het percentage voertuigen uitgedrukt in één, twee of drie of meer voertuigen.

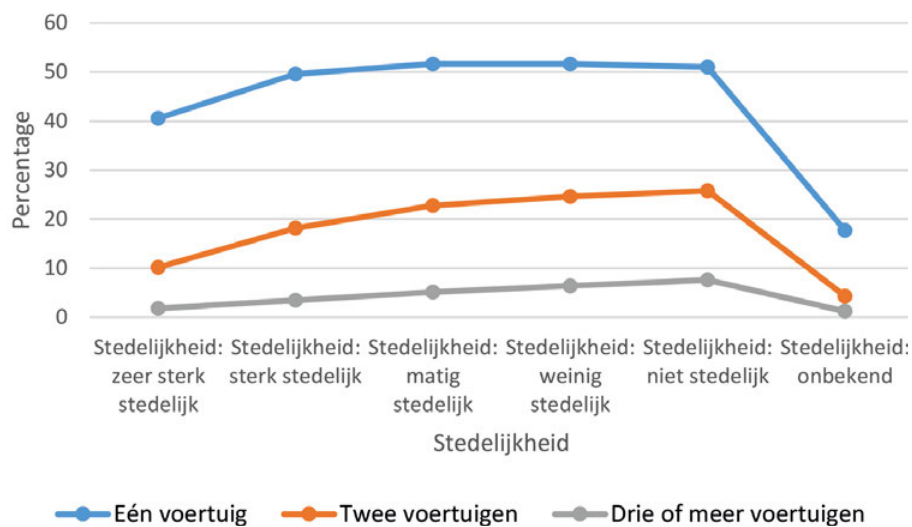


FIG. 6.17 Aantal voertuigen per huishouden per stedelijkheid in 2015. Opgesteld volgens data uit *Huishoudens in bezit van auto of motor; huishoudkenmerken* door CBS, 2017b (<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81845NED/table?ts=1528112933457>)

Omgevingsadressendichtheid (oad) is “het aantal adressen binnen een cirkel met een straal van één kilometer rondom een adres, gedeeld door de oppervlakte van de cirkel” (CBS, z.d.). Er zijn vijf categorieën onderscheiden, van zeer sterk stedelijk tot niet stedelijk (zie Tabel 6.4).

TABEL 6.4 Stedelijkheid in relatie tot omgevingsadressendichtheid (oad) volgens CBS (z.d.)

Stedelijkheid	Oad
Zeer sterk	>2500
Sterk	1500-2500
Matig	1000-1500
Weinig	500-1000
Niet	<500

Voor de bepaling van de mate van stedelijkheid volgens CBS wordt een kenmerkend stedenbouwkundige opzet, uitgaande van de stedenbouwkundige CIAM-uitgangspunten licht, lucht en ruimte en scheiding van wonen en werken, toegepast. De omgevingsdichtheid is op postcodeniveau door CBS per 2014 bepaald (Van Andel, Guldemond, & Faqiri, 2016). Een voorbeeld voor een Wederopbouwwijk met grondgebonden woningen en gestapelde galerijwoningen is woningbouwplan 'Noord II' in de gemeente Pijnacker (zie Figuur 6.18).

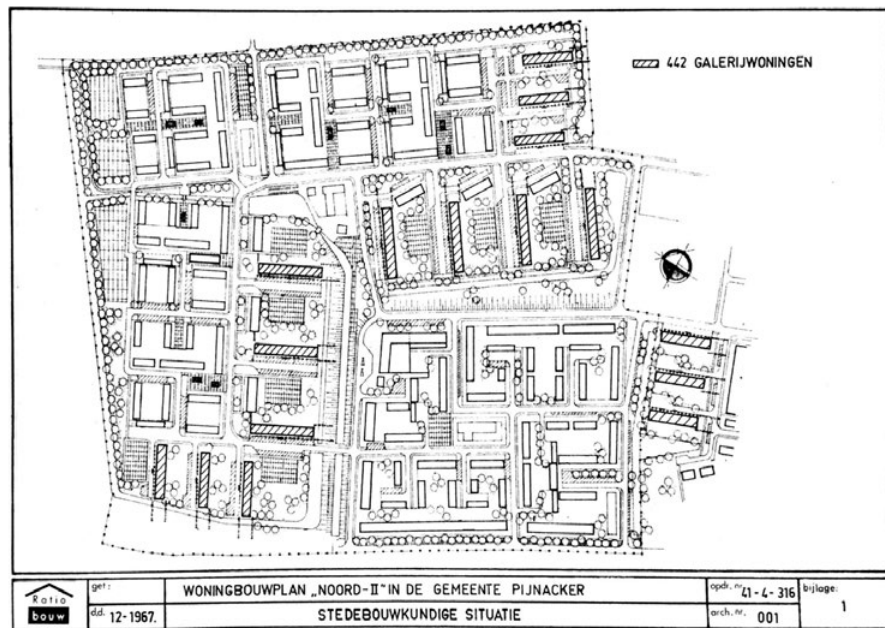


FIG. 6.18 Woningbouwplan 'Noord II' te Pijnacker. Overgenomen uit *Woningbouwplan 'Noord II' in de gemeente Pijnacker: Nakalkulatie 442 galerijwoningen in Franse gietbouwmethode* (p. 17) door Stichting Ratiobouw, 1968a.

De omgevingsdichtheid voor dit woningbouwplan (postcode 2641) bedraagt volgens CBS gemiddeld 1148 adressen/km². De stedelijkheid is daardoor volgens Tabel 6.11 bepaald op 'matig' (1000 < oad < 1500).

Het gemiddelde aantal voertuigen per stedelijkheid (zie Figuur 6.17) komt hierbij op de waarden volgens Tabel 6.5.

TABEL 6.5 Percentage aantal voertuigen bij een omgevingsadressendichtheid 'matig'.

Oad: 'matig'	
Een voertuig	51,7 %
Twee voertuigen	22,8 %
Drie of meer voertuigen	5,1 %

Het gemiddelde aantal voertuigen per huishouden bij oad 'matig' is bij benadering uit te rekenen als 'drie of meer voertuigen' op 'drie voertuigen' wordt gesteld. Het aantal huishoudens zonder voertuig is dus 20,4 %. Het gemiddelde aantal voertuigen is daarmee $(51,7 \times 1 + 22,8 \times 2 + 5,1 \times 3 + 20,4 \times 0) / 100 = 1,1$ stuks.

Aantal voertuigen per huishouden – Parkeernormen

Parkeernormen worden door gemeenten vastgesteld als bedoeld in art. 2.5.30 van de bouwverordening. De parkeernormen zijn vaak gebaseerd op de CROW-publicatie 182 'Parkeerkencijfers – basis voor parkeernormering' (CROW, 2008) en vervolgens afgestemd op het plaatselijke parkeerbeleid en op lokale kenmerken van autobezit en autogebruik.

Voor de gemeente Arnhem is per functie een parkeernorm vastgesteld waarin rekening is gehouden met bezoekers. Voor de functie Wonen gelden voor gemeente Arnhem de waarden zoals vermeld in Tabel 6.6. Voor een appartement van 120 m² geldt een parkeernorm van 1,3 parkeerplaatsen.

TABEL 6.6 Parkeernormen functie Wonen. Overgenomen uit *Parkeernormen: Bijlage* door Gemeente Arnhem, 2014.

Functie Wonen	Parkeernorm
Rijwoning	1,5 / woning
Halfvrijstaande, vrijstaande woning	1,8 / woning
Appartement met gebruiksoppervlakte tot 75 m ²	1,0 / appartement
Appartement met gebruiksoppervlakte van 75 tot 120 m ²	1,3 / appartement
Appartement met gebruiksoppervlakte vanaf 120 m ²	1,6 / appartement

CROW (2008) heeft parkeerkencijfers opgesteld voor diverse functies met een onderscheid naar gebied binnen een plaats. Voor de functie wonen gelden de prijsklassen 'duur', 'midden' en 'goedkoop'. Een stedelijke zone kan zijn 'zeer sterk stedelijk', 'sterk stedelijk', 'matig stedelijk', 'weinig stedelijk' en 'niet stedelijk'. Het gebied binnen een plaats kan zijn 'centrum', 'schil/overloopgebied' en 'rest bebouwde kom'. Gestapelde (goedkope) woningbouw komt vaak voor in een matig stedelijke zone aan de rand van een dorp of stad. Het basis parkeerkencijfer voor dit type woning bedraagt minimaal 1,3 en maximaal 1,5 parkeerplaatsen inclusief bezoekersparkeren van 0,3 parkeerplaatsen (CROW, 2008, p. 15).

Conclusie aantal voertuigen per huishouden

Het aantal voertuigen per huishouden is bepaald volgens aantal voertuigen per gezinsgrootte, aantal voertuigen per stedelijkheid en aantal voertuigen volgens parkeernormen of -kencijfers (zie Tabel 6.7).

TABEL 6.7 Bepaling aantal voertuigen per huishouden.

Methode bepaling aantal voertuigen	Aantal voertuigen per huishouden
Aantal voertuigen per gezinsgrootte	1,3
Aantal voertuigen per stedelijkheid	1,1
Aantal voertuigen volgens parkeernormen	1,3 – 1,5 incl. 0,3 bezoekersparkeren

Het gemiddeld aantal voertuigen per huishouden komt, zonder bezoekersparkeren, uit op 1,2 voertuigen per huishouden met gezinsgrootte van 2,8 personen.

Gebruik van elektrische deelauto's voor de wijk is niet opgenomen in de bepaling van het aantal voertuigen per huishouden, maar kan wel een kans zijn om het aantal voertuigen per huishouden te verlagen. Het aantal benodigde voertuigen per huishouden gaat hierdoor gemiddeld lager worden. Bij verbetering van de opwekking van duurzame elektrische energie, verbetering van prestaties van autoaccu's, minder autogebruik door ander gedrag, andere werkwijzen (zoals thuis werken), uitgebreider of specifieker op een doelgroep gericht openbaar vervoer of andere vervoerswijzen (lopen, fietsen) kan het aantal benodigde auto's nog meer verminderd worden. Uiteindelijk is een situatie wenselijk dat de energie voor gebouwgebonden energiegebruik, gebruikersgebonden energiegebruik en energiegebruik door woon-werkmobiliteit duurzaam opgewekt wordt binnen de systeemgrenzen van het woningblok of buurt. Mobiliteit voor vakanties en dergelijke zou dan een extra te betalen optie kunnen zijn.

Conclusie energiegebruik van een elektrische auto

In vergelijking met elektrisch gebouwgebonden energieverbruik bij een galerijflat zoals wordt berekend van 1309 kWh per jaar bij een warmtevraag van 25 kWh_{th}/m² per jaar en met gebruikersgebonden elektrische energie van 2922 kWh per jaar (en daarmee het totaal elektrisch energieverbruik van 4231 kWh per jaar) is het energieverbruik van een elektrische auto bij scenario C (15.000 km per jaar) 1,9 keer zo hoog als het gebouwgebonden energieverbruik en 23 % meer dan het gebruikersgebonden energieverbruik (zie Figuur 6.19). Het energieverbruik van de elektrische auto volgens scenario C is ca. 88 % van het totale elektriciteitsverbruik van een nul-op-de-meter woning en vormt daarmee een belangrijk aandeel in de totale lasten.

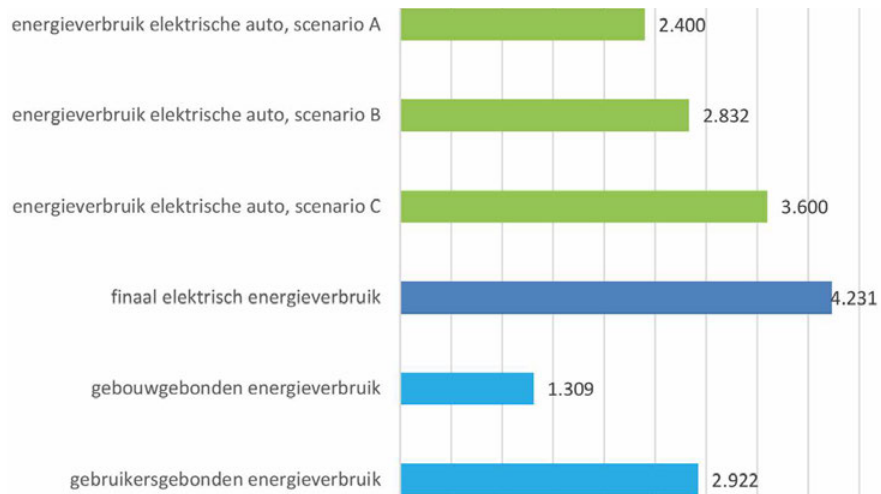


FIG. 6.19 Elektrisch energieverbruik van 1,2 elektrische auto's ten opzichte van totaal elektrisch energieverbruik [kWh] van het bepaalde huishouden in de bepaalde galerijflat bestaande uit gebouwgebonden en gebruikersgebonden energieverbruik [kWh/a] bij een warmtevraag van 25 kWh_{th}/m².

Voor het bereiken van de energieneutrale woning is het energieverbruik van een elektrische auto niet van belang. De definitie betreft immers alleen het gebouwgebonden energieverbruik (1309 kWh per jaar). Echter voor het bereiken van de nul-op-de-meter modelwoning (4231 kWh per jaar) met daarbij het gebruik van 1,2 elektrische auto's volgens de drie scenario's (2400 – 2832 – 3600 kWh per jaar) betekent dit een extra duurzame energieopwekking van 57 %, resp. 67 % en 85 % als het energieverbruik van een elektrische auto hieronder ook wordt begrepen! Vanwege het beperkte oppervlak van de gebouwschil voor opwek van elektrische energie kan dit slechts voor een gering deel door de gebouwschil opgewekt worden, afhankelijk van het aantal woonlagen en de mate van geslotenheid van de gevel om elektrische energie te oogsten uit zonne-energie. Een alternatief is om de energieopwek voor elektrisch autogebruik buiten de systeemgrens van het woningblok te plaatsen, bijvoorbeeld door PV-pergola over parkeerplaatsen.

Stel dat de energie voor ruimteverwarming en warmtapwater volgens het gebouwmodel aangeleverd wordt door middel van warmtenetten met een levering van minimaal 70 °C aan de woning, dan biedt de gebouwschil extra mogelijkheden om energie op te wekken voor het elektrisch autogebruik.

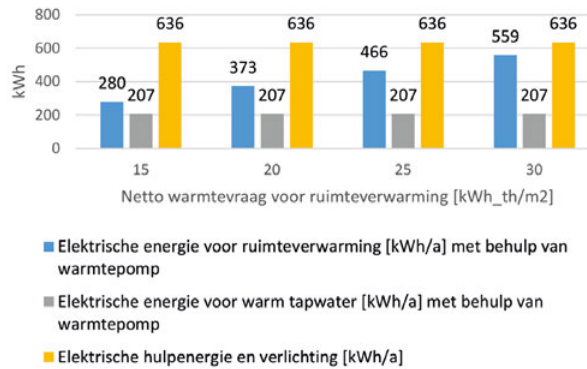


FIG. 6.20
Gebouwwebonden elektrische energie bij 4 scenario's voor netto warmtevraag voor ruimteverwarming.

Het aandeel van elektrische gebouwgebonden energie varieert in onderdelen bij verschillende warmtevraagambities en is constant voor warmtapwater en elektrische hulpenergie en verlichting (zie Figuur 6.20). Als het warmtenet de warmtelevering voor haar rekening neemt, dan is het aandeel van elektrische energie in ruimteverwarming bij een warmtevraag van 25kWh_th/m² per jaar (466 kWh voor warmtepomp) en in bereiding warmtapwater (207 kWh voor warmtepomp) in het gebouwmodel totaal 673 kWh per jaar, wat nu ingezet kan worden voor elektrische energie ten behoeve van elektrische auto's. Bij een energievraag van 2400 – 3600 kWh per jaar voor elektrisch autogebruik per huishouden kan, bij een warmtevraag van 25kWh_th/m² per jaar en een warmtenet voor ruimteverwarming en warmtapwater, voor 28 % tot 19 % voldaan worden aan die vraag.

Energieopwek en energiegebruik, plaats en tijd

De opwek van elektrische energie uit zonne-energie en het gebruik daarvan lopen voor een groot deel niet parallel in plaats en in tijd.

Energieopwek en energiegebruik - plaats

Wonen en werken in de Wederopbouw wijken zijn gescheiden van elkaar in de initiële opzet volgens de CIAM-gedachte in Het Nieuwe Bouwen. Dit betekent dat elektrische auto's als woon-werkverkeer voor een groot deel tijdens de werkdagen overdag niet aanwezig zijn bij de betreffende woning. De gelijktijdigheid van energieopwek door de gebouwschil en het daarmee laden van accu's van de elektrische auto's verloopt niet op dezelfde plaats. Niet gebruikte opgewekte energie in de zomerperiode moet daarom gedeeltelijk en tijdelijk worden geleverd aan het net, smart grid of

opgeslagen worden in opslagmiddelen. De eerdere conclusie dat de gebouwschil slechts voor een klein deel de benodigde energie voor de elektrische auto kan verzorgen versterkt het idee om de opwekking van de benodigde elektrische energie autogebonden te laten zijn. Dit betekent duurzame opwekking van energie ter plaatse van parkeerplaatsen door energieleverende overkappingen van parkeerplaatsen of opwekking van elektrische energie door energieleverende wegverhardingen. Het verschil in plaats van opwek en gebruik wordt dan door het net of smart grid vereffend. Een auto staat globaal gezien overdag 5 dagen per week op een parkeerterrein bij de werkplek, bij de woning maar 2 dagen per week. Dus er is meer behoefte om een PV-pergola over de parkeerplaatsen van het kantoor te maken dan bij de woningen.

Energieopwek en energievraag – tijd

De opwek van elektrische energie uit zonne-energie en het gebruik daarvan verlopen voor wonen en elektrisch autogebruik vaak niet parallel in tijd.

De opwek van elektrische energie uit zonne-energie is afhankelijk van de hoeveelheid globale straling van de zon in relatie tot datum (ritme over een of meerdere dagen en seizoensritme), locatie, weersomstandigheden en van mogelijke belemmeringen.

In Figuur 6.21 is de normale verdeling van globale straling (direct en diffuse straling) over het door het KNMI gemeten tijdvak 1981-2010 weergegeven in decaden (tien aaneengesloten dagen). Het langjarig gemiddelde voor de globale instraling voor locatie De Bilt over dit tijdvak is 370 – 375 kJ/cm² (KNMI, z.d.-b), wat overeenkomt met 1028 – 1042 kWh/m² per jaar ($1 \text{ kJ/cm}^2 = 2,78 \text{ kWh/m}^2$). Als wordt gerekend, over een jaar gezien, met de opbrengst van energie uit de zon als het gebruik van energie voor de woning en voor het wonen, dan wordt in de zomerperiode te veel energie geproduceerd en in de winterperiode te weinig energie.

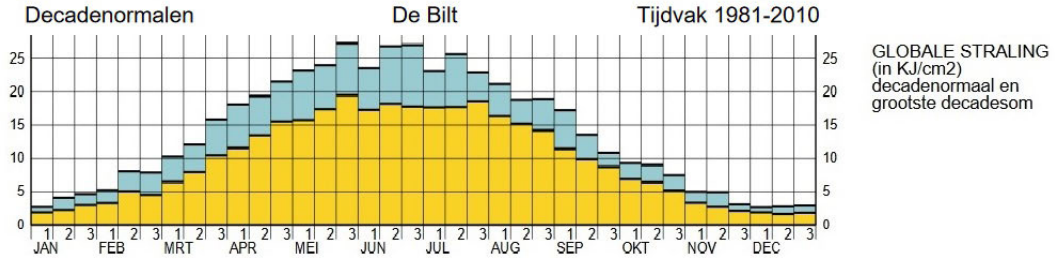


FIG. 6.21 Decadenormalen globale straling [kJ/cm²] (KNMI, z.d.-a).

In Figuur 6.22 is de globale straling weergegeven per uur van het jaar (totaal 933 kWh/m² per jaar) volgens berekeningen met behulp van het model in bijlage E van NEN 5060.

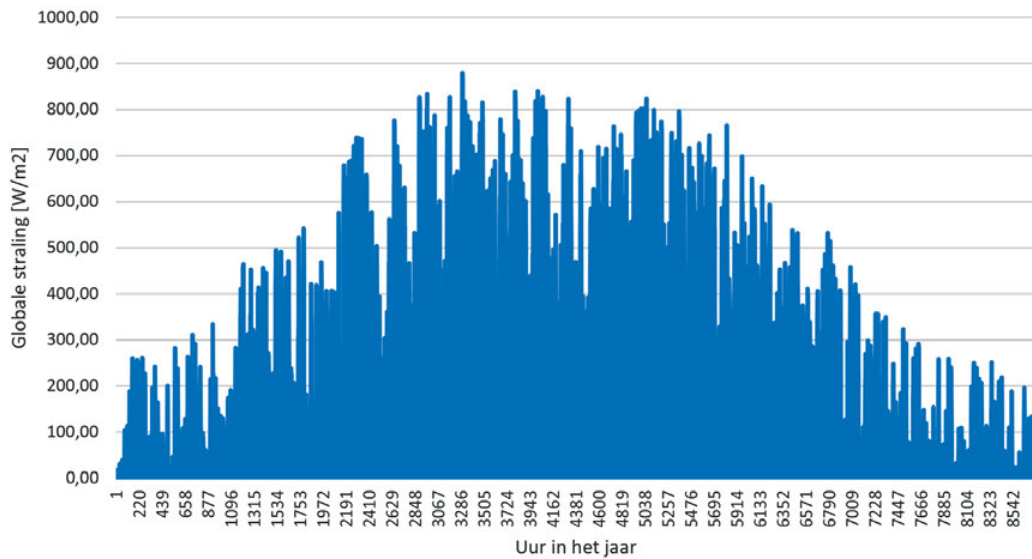


FIG. 6.22 Globale straling [W/m²] op een plat vlak in De Bilt per uur van het jaar volgens NEN 5060: *Hygrothermische eigenschappen van gebouwen - referentieklimaatgegevens* (bijlage E) door Normcommissie 351 074 "Klimaatbeheersing in gebouwen", 2008. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

In figuur 6.23 is de globale straling per dag van weerstation De Bilt weergegeven over het jaar 2017 met een gemiddelde dagstraling over het jaar 2017.

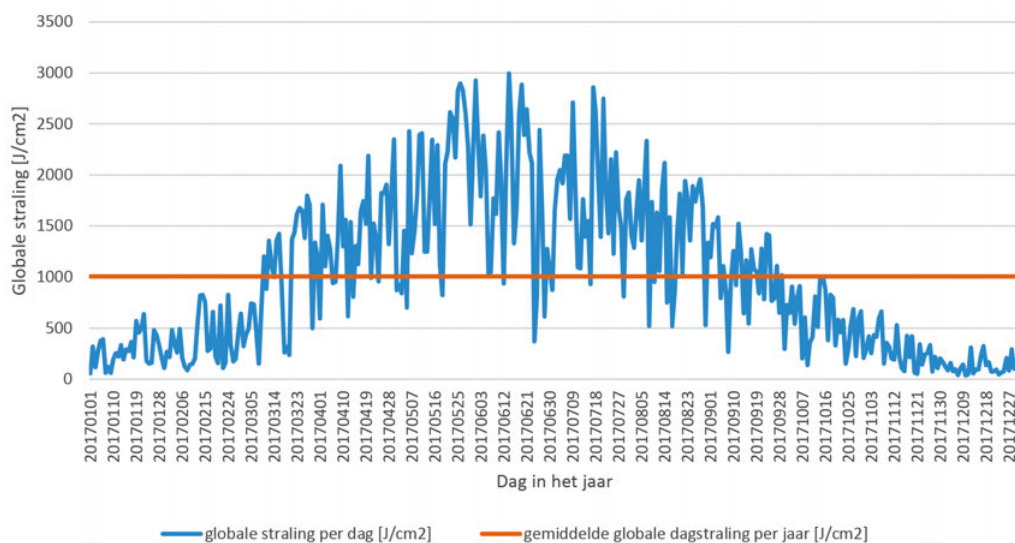


FIG. 6.23 Globale straling [J/cm^2] op een plat vlak in De Bilt per dag in 2017. Volgens data uit *Klimatologie: Daggegevens van het weer in Nederland* door KNMI, 2018. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut.

Beide figuren geven een grillig patroon van de globale straling waarin de straling per uur of per dag niet constant is. Uit Figuur 6.23 blijkt dat in De Bilt in 2017 de globale straling in de periode tot begin maart en vanaf eind september gemiddeld onder de jaargemiddelde globale dagstraling komt. Als over een jaar gezien de opgewekte elektrische energie uit de globale straling gelijk is aan de vraag naar elektrische energie, dan kan in deze periode niet geheel voorzien worden uit eigen elektrische energieopbrengst uit zonne-energie. In de periode maart-september zijn negatieve pieken onder de gemiddelde globale dagstraling aanwezig waarbij tijdelijke opslag een buffer kan vormen om het energietekort aan te vullen.

De globale straling is afhankelijk van de locatie in Nederland, de datum, de weersomstandigheden en eventuele belemmeringen en kan beschouwd worden per dag, per aaneengesloten aantal dagen en per seizoen.

De hoeveelheid globale straling in het dagritme is afhankelijk van de datum en de weersomstandigheden. In de zomerperiode kan overtollige elektrische energie die overdag wordt opgewekt uit zonne-energie als elektrische energie worden

opgeslagen in het net, grid of in batterijen ten behoeve van energie voor de auto en voor de woning. Elektrische auto's kunnen via de zogenaamde Vehicle-to-grid-technologie energie van het elektriciteitsnet afnemen, maar ook in tijd gestuurd terugleveren. Hiermee wordt de auto een tijdelijke buffer om (lokale) piekbelastingen in het netwerk op te kunnen vangen, zoals te veel energie door de zon overdag of te veel energie door wind in de nacht. (Nederland elektrisch, 2017) Ook kan door middel van Smart Charging het tijdstip, de snelheid en de laadmethode (laden/ontladen) worden afgestemd op de voorkeuren van de e-rijder en de dan geldende marktomstandigheden (PwC, 2017).

Overtollige elektrische energie kan ook worden omgezet in thermische energie voor de woning in een voorraadvat (boiler) ten behoeve van warmtapwater. Met een warmtepomp kan efficiënt thermische energie gemaakt worden uit elektrische energie, afhankelijk van de COP-waarde van de pomp voor de opwekking van warm water.

In de zomerperiode kan het grootste deel aan zonne-energie geoogst worden, terwijl in de winterperiode dit aanzienlijk minder is (zie Figuur 6.21, 6.22 en 6.23). Als de hoeveelheid door het gebouw duurzaam opgewekte energie gelijk is aan de hoeveelheid benodigde energie op jaarbasis, dan is in de zomerperiode een overschot en in de winterperiode een tekort aan opwekking van benodigde elektrische energie. Het opslaan van elektrische energie over de seizoenen heen is mogelijk met Compressed air energy storage (CAES) en is mogelijk voor grotere hoeveelheden opgeslagen energie (van ca. 5 MWh tot 5 GWh, zie Figuur 3.34). Deze techniek maakt gebruik van constante volume opslag zoals luchtopslag in ondergrondse uitgeputte gasreservoirs of in ondergrondse zoutkoepels of maakt gebruik van constante druk opslag zoals drukvaten op enkele honderden meters diep in water. CAES lijkt voor de gebouwde omgeving nog te complex. Bij Power2Gas wordt (duurzaam) opgewekte elektriciteit omgezet naar synthetisch aardgas voor levering aan huishoudens (Stedin, z.d.). Power2Gas is een grootschalige lange termijn opslagmogelijkheid van opgewekte energie.

Pieken in overschot van duurzaam opgewekte energie kunnen ook als thermische energie opgeslagen worden om later daaruit weer thermische energie te kunnen putten in combinatie met warmtepompen voor energie voor ruimteverwarming en warmtapwater bereiding. In het geval van warmtenetten voor levering van energie voor ruimteverwarming en warm tapwater is deze opslag niet aan de orde.

Overdag wordt, als de zon schijnt, door middel van zonne-energie elektrische energie opgewekt, terwijl in de avond extra elektrisch verbruik plaatsvindt door huishoudelijke apparaten zoals elektrisch koken of televisie. In gevallen dat de zon

niet schijnt zou geput kunnen worden uit opslag van elektrische energie. Deze korte termijnopslag (1 tot enkele dagen) kan plaatsvinden in de vorm van opslag in het net, of opslag in batterijen zoals de Tesla Powerwall met een opslagcapaciteit van 13,5 kWh (Tesla, 2018). Opslag van elektrische energie komt bij batterijopslag vrij als laagspanning gelijkstroom. Om deze reden kan de gebruikersgerelateerde energie als laagspanning gelijkstroomnet van 24–48 VDC voor lichte belastingen (zoals tv, desktopcomputer, verlichting) en als USB (voor telefoons, tablets en laptops) binnen de flat aangeboden worden naast een mogelijk 400 VDC gelijkstroomnet voor zware belastingen (zoals wasmachine).

In de wintermaanden wordt aanzienlijk minder elektrische energie uit de zon geoogst dan in de zomerperiode. Het tekort in het winterseizoen en het overschot aan opgewekte energie in het zomerseizoen wordt van het net afgenomen respectievelijk teruggeleverd. Op grote schaal kan door middel van lange termijn opslag deze onbalans worden vereffend. Hierbij kan worden gedacht aan een grootschalige opslag van energie door middel van bijvoorbeeld biobrandstoffen (Mulder, 2014).

Energievraag

Voor gebruikersgebonden energiegebruik volgens het eerder beschreven gebouwmodel geldt een elektrische energievrage van totaal 2513 kWh per jaar. Het gebruik hiervan is gecategoriseerd in eten/drinken (zoals koelkast, vriezer, kookplaat, oven, magnetron vaatwasser, koffiezetapparaat en waterkoker), schoonmaken (zoals wasmachine, droger, strijkijzer, stofzuiger, vaatwasser), gadgets/vrije tijd (zoals LED-TV, mobiel opladen, laptop) en uiterlijke verzorging (zoals scheerapparaat, föhn), zie Figuur 6.24.

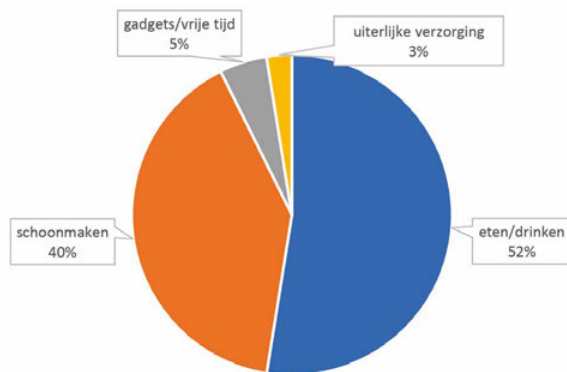


FIG. 6.24 Gebruikersgebonden energiegebruik naar categorie.

Het energiegebruik is constant gedurende de gehele dag (14 %) of variabel gedurende bepaalde momenten per dag (86 %), zie Figuur 6.25. Het constante gebruik van gebruikersgebonden energie wordt voornamelijk veroorzaakt door een koeler/vriezer en door stand-by gebruik van apparaten.

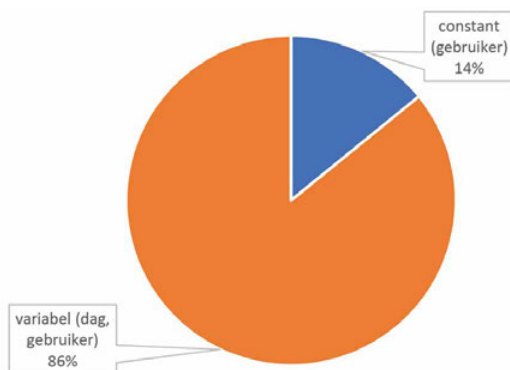


FIG. 6.25 Gebruikersgebonden constant en variabel energiegebruik.

Het gebruik van gebouwgebonden energie, volgens het gebouwmodel 1594 kWh per jaar, betreft energiegebruik ten behoeve van hulpenergie (waaronder ventilatie en energie voor zonnecollectoren), voor ruimteverwarming en voor de bereiding van warmtapwater. De hoeveelheid energie voor ruimteverwarming wisselt per seizoen. In de winterperiode is meer elektrische energie nodig ten behoeve van opwekking van thermische energie voor ruimteverwarming dan in de zomer. Over 1 jaar gezien is het aandeel van de elektrische energie in de hulpenergie 40 %, in ruimteverwarming 32 % en in warmtapwater 28 %, zie Figuur 6.26.

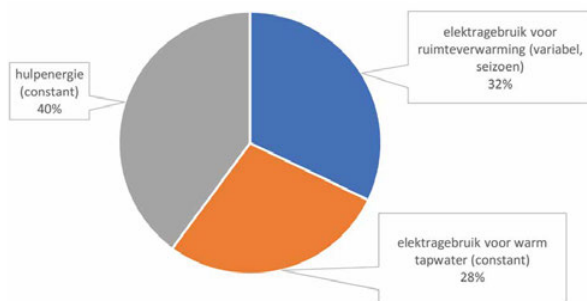


FIG. 6.26 Gebouwgebonden elektrische energie naar constant en variabel energiegebruik (in tijd) over 1 jaar.

De gebouwgebonden energie en de gebruikersgebonden energie vormen samen het totale energiegebruik van een woning en bestaat over 1 jaar gezien uit een constante energievraag van 39 %, een dagvariabel gebruik van 47 % en een seizoensvariabel energiegebruik van 14 % (zie Figuur 6.27).

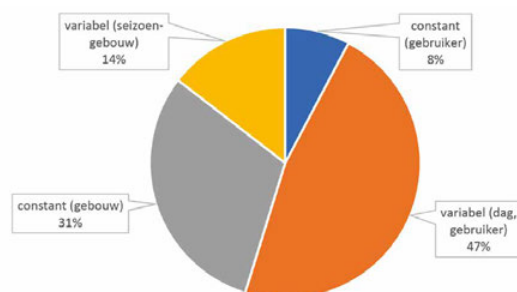


FIG. 6.27 Gebouwgebonden en gebruikersgebonden elektrisch energiegebruik, constant en variabel in tijd over 1 jaar.

Het variabele gebruikersgerichte elektrische energiegebruik op bepaalde momenten per dag kan in tijd gezien gestuurd worden door verschil in vraag- en aanbod en beprijzing daarvan. Door slim om te gaan met gebruikstijden van gebruikersgebonden energie kunnen fluctuaties door energievraag en energieaanbod afgevlakt worden. Het opladen of ontladen van autoaccu's, als onderdeel van een smart grid, kan hierin een rol spelen.

Ruimtegebruik opwek autogebonden elektrische energie

Wat is het ruimtegebruik van een parkeerplaatsoverkapping met minimaal afschot (vrijwel horizontaal) om op jaarbasis 2000 kWh, 2360 kWh of 3000 kWh te kunnen opwekken?

Uitgangspunten voor de berekening hiervan zijn:

- Locatie: De Bilt.
- Minimaal afschot voor hemelwaterafvoer is 16 mm per meter, dat betekent een hellingshoek van $0,92^\circ$. Voor deze berekening wordt uitgegaan van een horizontaal vlak. De situering van het dakvlak is daarmee onafhankelijk ten opzichte van de zon.
- Totale zoninstraling per jaar op een horizontaal vlak volgens model PVGIS-COSMO: 997 kWh/m².
- PV-rendement: 20 %.
- Performance Ratio: 90 %.
- Zontoetreding van parkeerplaatsoverkappingen worden niet belemmerd door beschaduwing (bomen, hoge gebouwen).

Het minimaal benodigde opwekoppervlak voor scenario A, B of C is 11,1 m², 13,2 m², resp. 16,7 m² (zie Tabel 6.8). Hierbij is uitgegaan dat niet-gebruikte opgewekte energie aan het net of smart grid geleverd wordt en dat deze in perioden van te weinig energieopbrengst uit het net gehaald wordt.

TABEL 6.8 Minimaal benodigd onbelemmerd horizontaal opwekoppervlak per scenario.

	Energiegebruik bij 20 kWh/100 km [kWh/jaar]	Minimaal benodigd onbelemmerd horizontaal opwekoppervlak (De Bilt) [m ²]
Scenario A (10.000 km/jaar)	2.000	11,1
Scenario B (11.800 km/jaar gemiddeld)	2.360	13,2
Scenario C (15.000 km/jaar)	3.000	16,7

De minimale afmetingen van parkeerstroken zijn bepaald in NEN 2443 (Normcommissie 351 041, 2013). Een parkeerstrook kan bestaan uit een parkeervak voor het parkeren van een personenauto of uit een uitstap- en personenautovak (zie Figuur 6.28).

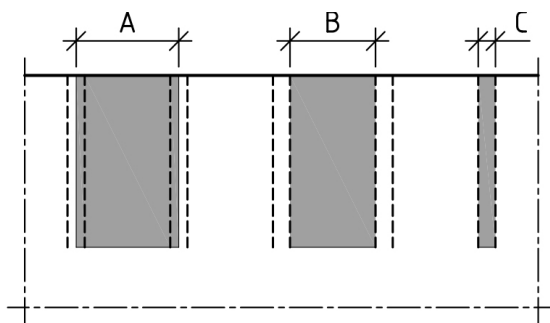


FIG. 6.28 Parkeervak met autovak en uitstapvak. Overgenomen uit NEN 2443: *Parkeren en stallen van personenauto's op terreinen en in garages* (p. 26) door Normcommissie 351 041 "Parkeergarages", 2013. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

Een parkeervak heeft een bepaalde lengte, breedte en diepte. De parkeerhoek kan 90° bedragen (zoals in Figuur 6.28) of kleiner dan 90°.

De minimale netto afmeting van de parkeervakbreedte volgens NEN 2443 voor openbaar intensief gebruik bedraagt 2,50 m en voor openbaar gebruik 2,40 m. Voor deze berekening is een parkeervakbreedte van 2,50 m toegepast.

De parkeervakdiepte en de wegbreedte (zie Figuur 6.29) is afhankelijk van de parkeerhoek en is als overzicht weergegeven in Tabel 6.9. Een parkeerhoek die geringer is dan 90° betekent dat een parkeervak slechts vanuit één rijrichting benut kan worden. De lay-out van het parkeerterrein wordt hierdoor beïnvloed.

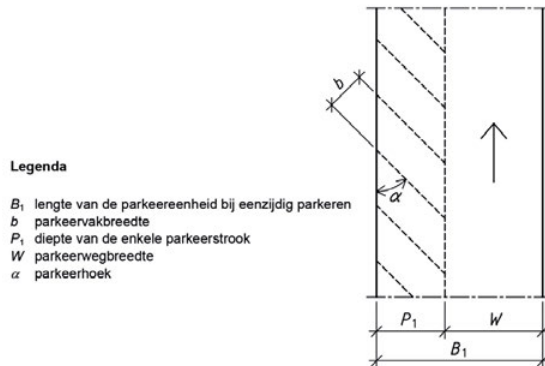


FIG. 6.29 Afmetingen parkeereenheid, afhankelijk van de parkeerhoek. Overgenomen uit NEN 2443: *Parkeren en stallen van personenauto's op terreinen en in garages* (p. 64) door Normcommissie 351 041 "Parkeergarages", 2013. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

TABEL 6.9 Afmetingen van de parkeerstrookdiepte en de parkeerwegbreedte bij verschillende parkeerhoeken onder een parkeervakbreedte (b) van 2,50 m. Volgens data uit NEN 2443: *Parkeren en stallen van personenauto's op terreinen en in garages* (p. 63) door Normcommissie 351 041 "Parkeergarages", 2013. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

Parkeerhoek (α) [Graden]	Diepte parkeerstrook (P1) [m]	Parkeerweg-breedte (W) [m]
30	4,19	2,75
45	4,95	2,75
60	5,38	2,75
65	5,44	2,75
70	5,46	3,20
80	5,37	4,17
90	5,13	5,29

Het dakoppervlak boven een parkeerplaats als eenheid, of boven een parkeerplaats en de helft van de parkeerwegbreedte als rekeneenheid, moet de benodigde elektrische energie opwekken. Het minimaal benodigde oppervlak is, afhankelijk van het scenario voor kilometrage, $11,1 \text{ m}^2$, $13,2 \text{ m}^2$ of $16,7 \text{ m}^2$. Hierbij is geen rekening gehouden met extra benodigde ruimte voor constructieonderdelen van het dakvlak, zoals dragende kolommen. Dit extra benodigde oppervlak beïnvloed de uitkomst van het benodigde dakoppervlak op een positieve wijze: er is meer dakvlak nodig dan netto noodzakelijk voor het parkeervak. Stel dat per parkeervak een extra zone van

100 mm over de parkeervakbreedte voor constructieonderdelen wordt toegepast dan betekent dit een toename van het dakvlak van $0,1 \times 2,50 = 0,25 \text{ m}^2$ bij een parkeerhoek van 90° .

Bij een parkeervakbreedte van 2,50 m zijn daardoor de dakoppervlakken bepaald (zie Tabel 18) onder scenario A, B en C (zie Tabel 6.10, 6.11 en 6.12). De groene getallen voldoen aan het minimaal vereiste oppervlak, de rode getallen niet.

TABEL 6.10 Afmetingen van elektrische energie opwekkende dakoppervlakken bij een bepaalde parkeerhoek en parkeerwegbreedte, met een parkeervakbreedte van 2,50 m bij scenario A (10.000 km/jaar).

Parkeer-hoek (α)	Diepte parkeerstrook (P1) [m]	Parkeer-weg breedte (W) [m]	Dakoppervlak boven parkeerstrook [m^2]	Afwijking ten opzichte van het minimaal benodigde dakoppervlak [%]	Dakoppervlak boven parkeerstrook en halve parkeerweg breedte [m^2]	Afwijking ten opzichte van het minimaal benodigde dakoppervlak [%]
30	4,19	2,75	10,48	-6	13,91	25
45	4,95	2,75	12,38	11	15,81	42
60	5,38	2,75	13,45	21	16,89	52
65	5,44	2,75	13,60	22	17,04	53
70	5,46	3,20	13,65	22	17,65	58
80	5,37	4,17	13,43	20	18,64	67
90	5,13	5,29	12,83	15	19,44	74

Voldoet niet / Voldoet

TABEL 6.11 Afmetingen van elektrische energie opwekkende dakoppervlakken bij een bepaalde parkeerhoek en parkeerwegbreedte, met een parkeervakbreedte van 2,50 m bij scenario B (11.800 km/jaar).

Parkeer-hoek (α)	Diepte parkeerstrook (P1) [m]	Parkeer-weg breedte (W) [m]	Dakoppervlak boven parkeerstrook [m^2]	Afwijking ten opzichte van het minimaal benodigde dakoppervlak [%]	Dakoppervlak boven parkeerstrook en halve parkeerweg breedte [m^2]	Afwijking ten opzichte van het minimaal benodigde dakoppervlak [%]
30	4,19	2,75	10,48	-20	13,91	6
45	4,95	2,75	12,38	-6	15,81	20
60	5,38	2,75	13,45	2	16,89	28
65	5,44	2,75	13,60	3	17,04	30
70	5,46	3,20	13,65	4	17,65	34
80	5,37	4,17	13,43	2	18,64	42
90	5,13	5,29	12,83	-2	19,44	48

Voldoet niet / Voldoet

TABEL 6.12 Tabel 6.20. Afmetingen van elektrische energie opwekkende dakoppervlakken bij een bepaalde parkeerhoek en parkeewegbreedte, met een parkeervakbreedte van 2,50 m bij scenario C (20.000 km/jaar).

Parkeer-hoek (α)	Diepte parkeerstrook (P1) [m]	Parkeer-weg breedte (W) [m]	Dakoppervlak boven parkeerstrook [m ²]	Afwijking ten opzichte van het minimaal benodigde dakoppervlak [%]	Dakoppervlak boven parkeerstrook en halve parkeeweg breedte [m ²]	Afwijking ten opzichte van het minimaal benodigde dakoppervlak [%]
30	4,19	2,75	10,48	-37	13,91	-17
45	4,95	2,75	12,38	-26	15,81	-5
60	5,38	2,75	13,45	-20	16,89	1
65	5,44	2,75	13,60	-19	17,04	2
70	5,46	3,20	13,65	-18	17,65	6
80	5,37	4,17	13,43	-20	18,64	11
90	5,13	5,29	12,83	-23	19,44	16

Voldoet niet / Voldoet

Het eerdergenoemde extra dakoppervlak bij een parkeerhoek van 90° voor constructie van 0,25 m² betekent bij een dakoppervlak van 19,44 m² een toename van 1,3 %.

De conclusie voor de ruimtelijke impact voor het duurzaam opwekken van elektrische auto-gebonden energie door de overkapping van de parkeerplaatsen die behoren tot een arbeidsplaats (globaal 5 dagen per week) of behoren tot een woonplek (globaal 2 dagen per week) is dat zowel de rijbaan als de parkeervakken van de parkeerplaatsen overkapt worden. De parkeerhoek van de parkeervakken is hierbij groter of gelijk zijn aan 60°. Bij het toepassen van een parkeerhoek van 90° kan het parkeervak onafhankelijk van de rijrichting benut worden. In dat geval laat de berekening een overwaarde zien van ca. 16 % ten opzichte van het minimaal noodzakelijk dakoppervlak uitgaande van alle uitgangspunten. Vanwege wellicht toch mogelijke (gedeeltelijke) belemmeringen voor opwek van elektrische energie (zoals beschaduwning door bomen en door hoge gebouwen, belemmeringen door sneeuw op het dak en door vervuiling) is overwaarde gewenst.

Er is gemiddeld over 1 jaar een niet belemmerd horizontaal dakvlak van minimaal 11,1 m², 13,2 m² of 16,7 m² nodig met fotovoltaïsch materiaal met de eerdergenoemde eigenschappen voor de opwek van elektrische energie voor het bepaalde autogebruik met een energiegebruik van 20 kWh/100 km. Indien de horizontale vlakken van de auto zelf energieleverend zijn door een bedekking met fotovoltaïsch materiaal, uitgaande van dezelfde eigenschappen als die van een overkapping, dan zou de opwekking van de benodigde energie aan de auto zelf gekoppeld zijn in plaats van aan de overkapping. Een auto zou door zijn

grondoppervlak eenzelfde oppervlak aan horizontaal dakoppervlak kunnen hebben voor opwekking van elektrische energie met behulp van zonne-energie, zo nodig met uitschuivende vlakken ter plaatse van autoruiten of energieleverende autoruiten. De totale horizontale oppervlakken van elektrische auto's lopen uiteen van 4,5 m² (Smart ForTwo Electric Drive met een energiegebruik van 18,6 kWh/100 km) tot 9,7 m² (Citroen E-Berlingo Multispace met een energiegebruik van 18,6 kWh/100 km). Een van de auto's met het laagste energiegebruik per 100 km, de Hyundai IONIQ Electric met een energiegebruik van 14,4 kWh/100 km, heeft een horizontaal oppervlak van 8,1 m². Specifiek voor deze auto bedraagt het energiegebruik bij het meest gunstige scenario (10.000 km per jaar) 1440 kWh per jaar. Een onbelemmerd horizontaal PV-oppervlak van 8,1 m² levert per jaar $8,1 \cdot 997 \cdot 0,2 \cdot 0,9 = 1453$ kWh per jaar. Op jaarbasis zou dat net voldoende zijn om het energiegebruik te dekken. Maar op basis van seizoenen wordt in de zomerperiode te veel opgewekt en in de winterperiode te weinig zodat energieopslag noodzakelijk blijft.

Energieleverende auto-oppervlakken dragen bij aan het invullen van de energievraag van elektrische auto's. Deze vlakken kunnen statische vlakken zijn, zoals de bekleding van de auto-oppervlakken met PV-materiaal (zie Figuur 6.30, Figuur 6.31 en Figuur 6.32). In parkeersituaties zouden, naast statische vlakken, ook dynamische vlakken aanwezig kunnen zijn zoals uitschuifbare vlakken voor extra opwekking van elektrische energie uit zonne-energie zodat het volledige grondvlak van de auto benut kan worden.



FIG. 6.30 Nuna9 in World Solar Challenge 2017, gedeeltelijke bekleding auto-oppervlakken met maximaal toegestaan PV-materiaal. Gedeeltelijk overgenomen uit *Nuna9 start in Australië* door D. van Gorp, foto: Jorrit Lousberg, 2017 (<https://www.delta.tudelft.nl/article/nuna9-start-australie>). Copyright 2017, Delta.

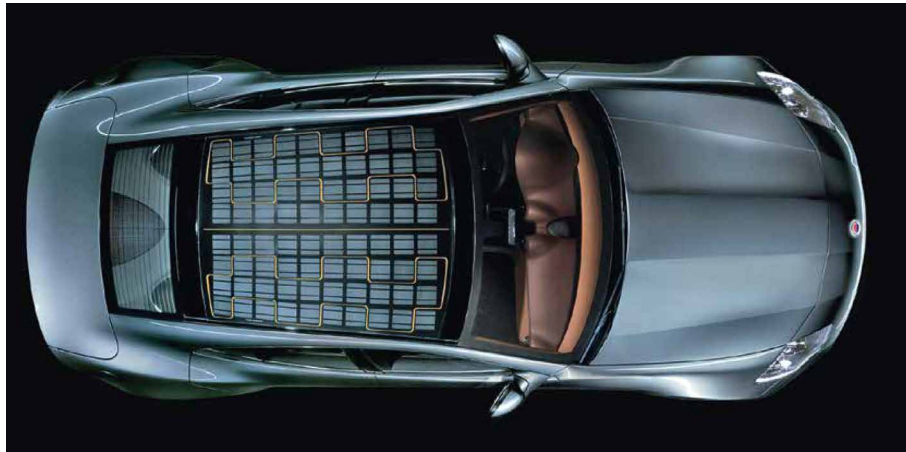


FIG. 6.31 Geïntegreerd zonnedak. Gedeeltelijk overgenomen uit *When design meets functionality: 30 years of expertise in spherically curved solar modules* (p. 2) door a2-solar, 2016. Copyright 2016, a2-solar Advanced and Automotive Solar Systems GmbH.

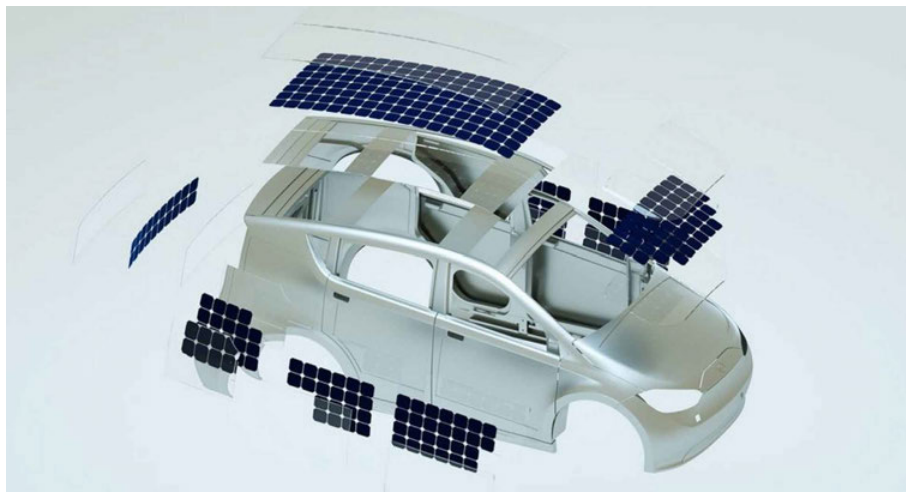


FIG. 6.32 Geïntegreerde zonnecellen in lichtgewicht carrosserie van de Sion. Overgenomen uit *Sion - endless mobility* door Sono, 2018.

Indien de opwek van elektrische energie in het dakvlak van de overkapping van parkeerplaatsen toegepast wordt voor het laden van elektrische auto's bij een gemiddeld gebruik van 20 kWh/100 km, dan kan dit dakvlak in beperkte mate worden toegepast voor de opwekking van elektrische energie ten behoeve van het bijbehorende woongebouw.

Leveren van elektrische energie aan elektrische auto's

De actieradius van een elektrische auto heeft een causale relatie met de capaciteit van het accupakket. 42 elektrische auto's uit de EV Database (EVDB, 2018) zijn in een overzicht bij elkaar gebracht om deze relatie aan te tonen (zie Figuur 6.33).

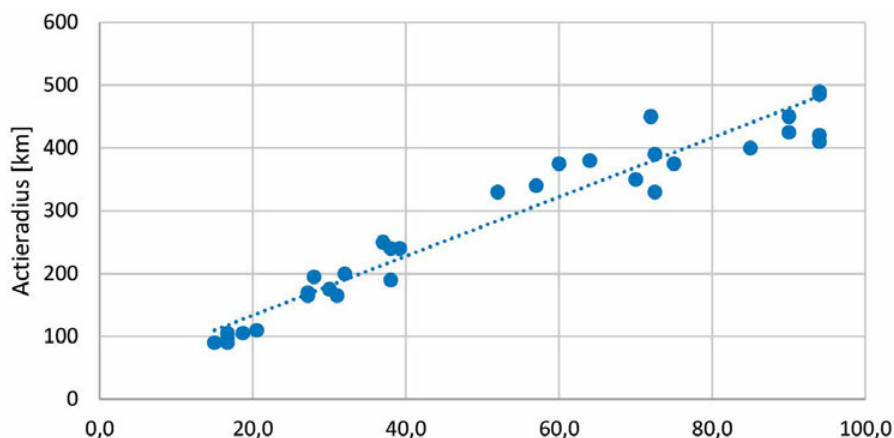


FIG. 6.33 Relatie tussen actieradius [km] en accupaciteit [kWh].

Bij een accupaciteit van ca. 70 kWh is een opvallende afwijking zichtbaar ten opzichte van de trendlijn van ca. 15 % naar boven en naar beneden. Bij een accupaciteit van 94 kWh is een opvallende afwijking zichtbaar ten opzichte van de trendlijn van ca. 15 % naar beneden.

De snelheid van opladen [km/uur] heeft een causale relatie met de accupaciteit, het maximale laadvermogen van een elektrische auto en met het type laadpunt.

De accupaciteit varieert van 15 kWh (Citroen C-Zero) tot 94 kWh (Tesla Model X P110D). Het laadvermogen van een auto is de maximale snelheid van laden. Dit maximale laadvermogen kan bij snellaadpunten het laadvermogen beperken. Er zijn 3 hoofdtypen laadpunten: stopcontact 2,3 kW, oplaadpunten van 3,7-22 kW en snellaadpunten van 50-150 kW. Snellaadpunten zijn publieke snelladers die een accu snel kunnen opladen van 10-80 %. (EVDB, 2018)

Er zijn 8 subtypen laadpunten:

- Stopcontact (2,3 kW: 230 V, 1x10 A)
- Opladpunt 1-fase 16A (3,7 kW: 230 V, 1x16 A)
- Opladpunt 1-fase 32A (7,4 kW: 230 V, 1x29 A)
- Opladpunt 3-fase 16A (11 kW: 230 V, 1x16 A)
- Opladpunt 3-fase 32A (22 kW: 230 V, 1x29 A)
- Snellader CCS (50 kW dc)
- Snellader CCS (100 kW dc)
- Snellader CCS (150 kW dc)

Voor de auto's met de geringste accucapaciteit (15,0 kW: Citroen C-Zero, Mitsubishi i-MiEV en Peugeot iOn) geldt bij een maximaal vermogen van 3,7 kW een oplaadtijd van 5 uur met een snelheid van 19 km/u. Voor hogere beschikbare laadvermogens zijn de auto's beperkt door de lader in het voertuig.

Voor de auto's met de hoogste accucapaciteit (94,0 kW: Tesla Model S 100D, X 100D, S P100D en S X100D) geldt bij een laadvermogen van 11 kW (3-fase huisaansluiting) een laadtijd (van 0 km naar 485 km) van 10 u 15 min en een laadsnelheid van 48 km/u. Bij een snellaadvermogen van 120 kW DC bedraagt de snellaadtijd (van 49 km naar 388 km) 35 minuten met een snellaadsnelheid van 580 km/u.

De lange laadtijd bij lage laadsnelheden kunnen 's nacht plaatsvinden. Met name bij auto's met een lage accucapaciteit is dit praktisch. Hier is dus sprake van een verschuiving in tijd tussen de opwek van elektrische energie en het gebruik daarvan. De tijdelijk opslag van opgewekte elektrische energie in het net of door middel van andere opslagmogelijkheden is daarom nodig.

Een normale hoofdzekering van een woning bedraagt soms 1 x 25 A en meestal 1 x 35 A (1 fase). Dat betekent in het geval van een 1 x 35 A aansluiting dat maximaal $35 \times 230 = 8050$ Watt (8,05 kW) aan vermogen beschikbaar is. Auto's met een geringe accucapaciteit kunnen hiervan gebruik maken. Voor de genoemde Tesla-modellen lukt dit niet en is een verzwaring van de woningaansluiting voor elektra nodig, bijvoorbeeld 3 x 25 A (3 fase) waardoor $3 \times 25 \times 230 = 17.250$ W (17,2 kW) beschikbaar is. Een verzwaring van de huisaansluiting betekent financieel echter ook een eenmalige verzwaring in de groepenkast en een verhoging van het jaarlijks terugkerende vastrecht.

Gezamenlijk kan men ervoor kiezen om autogebonden elektrische energie op te wekken en te verbruiken door het opladen, wellicht in combinatie met netopslag of

met (lokale) smart grid mogelijkheden, waaronder het onderling verhandelen van energie door middel van block chain technologie voor zover het verhandelen van energie wettelijk is toegestaan. Het opwekken van de benodigde energie en het laden van de accu's van elektrische auto's moet om deze reden niet gekoppeld worden aan het netgerelateerde gebruikersgebonden elektrisch energieverbruik van de woning.

De autoaccu's kunnen op vier wijzen toegepast worden als opslagcapaciteit: via Smart Charging, via Vehicle to Grid, door Battery Swap en door hergebruik van autoaccu's. Bij Smart Charging kan de oplaadtijd afgestemd worden met vraag naar energie. Bij Vehicle to Grid wordt gebruik gemaakt van de opslagcapaciteit door onderlinge energiestromen tussen de auto en het grid. Bij Battery Swap kan snel een accu gewisseld worden en kan een stationaire accu geladen of ontladen worden afhankelijk van de energievraag. Als accu's aan het eind van de levensduur zijn voor autogebruik, dan kunnen deze worden ingezet voor opslag van energie op 70-80 % van de capaciteit van nieuwe accu's (Jian, Zechun, Banister, Yongqiang, & Zhongying, 2018).

De accu van de elektrische auto als energievragers en als energieleverancier voor het afvlakken van energiefuctuaties in het net of in het smart grid kan daarbij ingezet worden als extra waardecreatie. Door het regelmatig laden en ontladen van een accu blijft daarmee tevens de opslagcapaciteit behouden.

Conclusie

Het opwekken van elektrische energie ten behoeve van het gebruik van elektrische auto's heeft ruimtelijke consequenties. Niet-beschaduwde parkeerplaatsen worden gedeeltelijk of geheel overdekt, afhankelijk van het scenario in kilometrage, met elektriciteit opwekkende dakvlakken waarmee de energiebehoefte van een gedefinieerde elektrische auto onder gedefinieerde omstandigheden voldaan kan worden, waaronder energieopslag voor de overbrugging van de tijden van opwek en gebruik van de energie. Dit betekent dat de mogelijkheid voor het overdekken van parkeerplaatsen ten behoeve van de opwekking van elektrische energie ten behoeve van het woongebouw daarmee voor een gering deel aan de orde kan zijn.

Het opwekken van de benodigde energie voor elektrisch autogebruik wordt vanwege de grote vraag niet door het woongebouw verzorgd, maar door overdekking van de parkeerplaatsen. Door de energieopwekking en de energievraag met betrekking tot het gebruik van elektrische auto's niet te verbinden met woninggebonden energie (gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie) ontstaan mogelijkheden om dit als apart systeem te beschouwen.

Alternatief zijn energieleverende gebouwen waarbij elektrische energie opgewekt wordt voor gebouwgebonden energie, gebruikersgebonden energie en voor het gebruik van elektrische auto's. De drie scenario's zijn dan van belang. Het verschil tussen scenario A (10.000 km = 2000 kWh per jaar per auto) en scenario C (15.000 km = 3000 kWh per jaar per auto) betekent in de energievraag een verschil van 50 %. Bij scenario C, uitgaande van gemiddeld 1,2 auto's per huishouden, moet 85 % extra elektrische energie worden opgewekt ten opzichte van het totale energiegebruik van 4231 kWh voor de woning, bij scenario A bedraagt dat 57 % extra.

Het aandeel van elektrische gebouwgebonden energie varieert in onderdelen bij verschillende warmtevraagambities en is constant voor warmtapwater en elektrische hulpenergie en verlichting. Als een duurzaam warmtenet van minimaal 70 °C de warmtelevering voor haar rekening neemt, dan is het aandeel van elektrische energie in ruimteverwarming bij een warmtevraag van 25kWh_{th}/m² per jaar (466 kWh voor warmtepomp) en in bereiding warmtapwater (207kWh voor warmtepomp) in het gebouwmodel totaal 673 kWh per jaar, wat nu ingezet kan worden voor elektrische energie ten behoeve van elektrische auto's. Bij een energievraag van 2400 – 3600 kWh per jaar voor elektrisch autogebruik per huishouden kan, bij een warmtevraag van 25kWh_{th}/m² per jaar en bij een warmtenet voor ruimteverwarming en warmtapwater, voor 28 % tot 19 % voldaan worden aan die vraag.

Per woongebouw met een bepaald aantal woningen, met een bepaald aantal woonlagen, met een bepaalde geslotenheid van de gevels, met een bepaalde ligging ten opzichte van de zon in een bepaalde locatie kan vastgesteld worden wat het maximale aandeel van opwekking van elektrische energie is zodat geheel, gedeeltelijk of geen bijdrage geleverd kan worden aan de opwekking van elektrische energie ten behoeve van elektrisch autogebruik. Een alternatieve opwekking van energie voor het elektrisch autogebruik is dan het gedeeltelijk of geheel overkappen van parkeerplaatsen wat ook afhankelijk is van de situatie van de parkeerplaatsen in relatie tot belemmeringen voor zontoetreding zoals beschaduwing door bomen of door hoge gebouwen.

Een aanbeveling is om de energievraag door elektrisch autogebruik zo laag mogelijk te laten zijn. Mogelijkheden hiervoor zijn om minder kilometers per jaar te gaan rijden door meer gebruik te maken van alternatieve vervoersmiddelen als fiets en openbaar vervoer, door het zelf opwekken van elektrische energie door geïntegreerd PV-materiaal aan de buitenzijde van de carrosserie van de auto op te nemen, om andere werkwijzen zoals thuiswerken toe te passen, om het aantal voertuigen per huishouden te verminderen door bijvoorbeeld het autogebruik te delen en om zo min mogelijk energie per gereden kilometer te gebruiken door zuinige aandrijving en zuinig rijden.

Het aantal auto's per huishouden kan verminderen met behulp van elektrische deelauto's voor de wijk. In plaats van bezit van een auto kan bij het gebruik van een gezamenlijke auto de auto effectiever worden ingezet. Het bezit van een auto resulteert in lange stilstandtijden van deze auto met de benodigde parkeerruimte. Bij gebruik van een deelauto, op basis van huur of deelauto abonnement, wordt het gebruik van de auto als vervoersmiddel veel effectiever. Meer mensen kunnen gebruik maken van de deelauto waardoor het totaal aantal benodigde auto's daalt waarmee het aantal benodigde parkeerplekken daalt. In plaats van bezit van een auto is mobiliteit op maat als dienst veel effectiever in benodigd materiaal, onderhoud, energie en ruimtelijke consequenties zoals parkeerplaatsen. Het draagt daarmee bij aan de circulaire economie.

Kansen van elektrisch autogebruik zijn het afvlakken van pieken in het net in vraag- en aanbod van elektrische energie door gebruik te maken van slim laden en ontladen van auto-accu's.

Een discussiepunt kan zijn dat mobiliteit zich op een andere energetische wijze gaat ontwikkelen, bijvoorbeeld door waterstof aangedreven auto's met brandstofcellen in plaats van elektriciteit opgeslagen in accu's als energie. In 2019 spreekt het kabinet zich uit dat uiterlijk in 2030 alle nieuwe auto's emissieloos zijn (Wiebes, 2019).

Ook het veranderen van een parkeernorm naar een mobiliteitsnorm kan het gebruik van de auto terugdringen. Een mobiliteitsnorm beziet naast de parkeernorm ook het openbaar vervoer en de mobiliteitsinfrastructuur. Volgens Larsen, Urry en Axhausen (2006, p. 4) kan 'mobiliteit' vijf verschillende vormen aannemen: fysieke reizen van mensen, fysieke bewegingen van objecten, verbeeldend reizen, virtueel reizen en communicatief reizen.

Andere (elektrische) vervoersmiddelen, zoals lopen, de (deel)fiets, openbaar vervoer of taxi kunnen het gebruik van de elektrische auto terugdringen.

Door het op voorhand niet verbinden van het woninggebonden energiesysteem en het vervoersgebonden energiesysteem blijft flexibiliteit in keuze voor elektrische vervoersgebonden energiesystemen mogelijk.

6.2.7 **Gebouwmodel**

6.2.7.1 **Inleiding**

De input voor het rekenmodel voor het gebouw (gebouwmodel) zijn de gegevens van de opwek van energie uit zonnestraling en energieambities op het vlak van gebouwgebonden energie (energie voor ruimteverwarming, energie voor opwekking van warmtapwater, hulpenergie voor ventilatie en voor warmtepompen). Een bijkomende energievraag kan distributieverlies van energie zijn, afhankelijk van de specifieke uitvoering in een bepaalde situatie. Met deze energievraag is geen rekening gehouden in dit model.

Daarnaast kan ook gebruikersgebonden energie in het model opgenomen worden om de consequenties te onderzoeken bij het uitgangspunt om een balans te vinden tussen de opwek en gebruik van energie. Het gebouwmodel wordt in een bepaalde situatie en een bepaalde oriëntatie geplaatst.

6.2.7.2 **Variabelen**

Het gebouwmodel kent onafhankelijke variabelen, afhankelijke variabelen en vastgestelde waarden. Uitgangspunt in het gebouwmodel zijn vaste waarden voor verdiepingshoogte, traveebreedte en traveediepte. Voor bouwlagen die een hoofdwoonkamer hebben bedraagt de verdiepingshoogte 2,80 meter vanwege de eisen vanuit de toenmalige Voorschriften en Wenken 1965. Een traveebreedte van 7,80 m in combinatie met een traveediepte van 11 m geeft een gebruiksoppervlak van 82 m². De vaste locatie is De Bilt.

In het gebouwmodel wordt de invloed van varianten in de oriëntatie, het aantal traveeën, het aantal woonlagen en de mate van geslotenheid van de schil getest op het benodigde schiloppervlak voor de opwek van benodigde energie uit zonnestraling om de opwek en het gebruik van energie in balans te krijgen over een periode van een jaar (zie Figuur 6.34).

De bestaande mate van geslotenheid van de Wederopbouw hoogbouw flats zijn bepaald in Paragraaf 4.3.

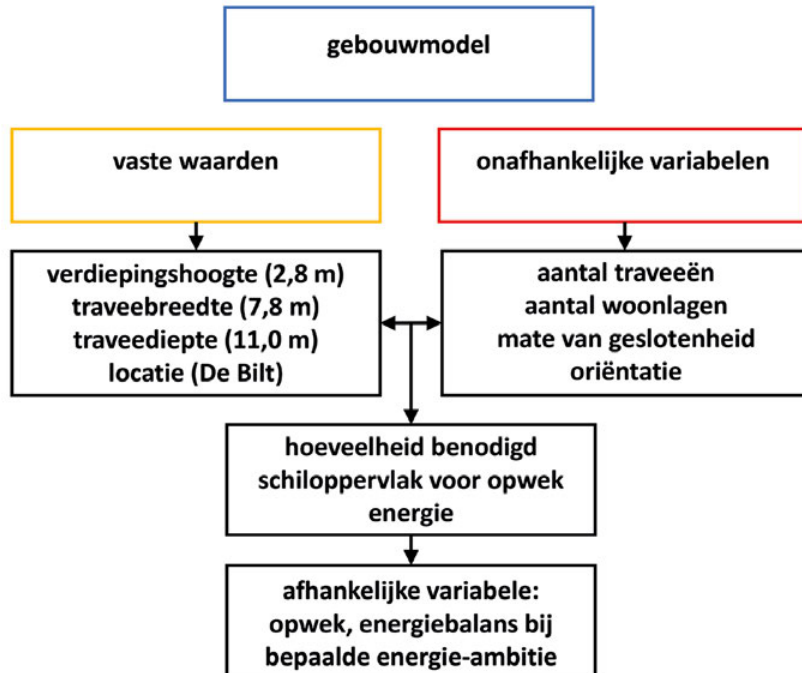


FIG. 6.34 Opzet gebouwmodel.

Energieambities in relatie tot gebouwgebonden energie

Uitgangspunt voor het gebouwmodel zijn gestelde energieambities op het gebied van de netto energievraag voor ruimteverwarming van 15, 20, 25 of 30 kWh_{th}/m² per jaar. De hoeveelheid primair (fossiel) energiegebruik van 25 kWh_{th}/m² per jaar is maximaal voor BENG-1, 30 kWh_{th}/m² per jaar is maximaal voor het verkrijgen van EPV. Deze toegepaste BENG-waarde geldt tot 1 januari 2021, daarna wordt de BENG-waarde volgens de berekeningsmethode NTA 8800 vastgesteld met daarmee een afwijkende waarde en niet van toepassing in het gebouwmodel. De energieambitie voor ruimteverwarming heeft een directe relatie met de mate van thermische isolatie van de gevel, met de mate van luchtdichtheid en met de wijze van ventilatie. Het gebouwmodel gaat uit van een verwarmd woningoppervlak van 82 m². Hiermee kan de grootte van de energievraag voor ruimteverwarming worden bepaald en met een bepaalde COP van de warmtepomp de daarvoor benodigde hoeveelheid elektrische energie.

De totaal gebouwgebonden elektrische energie is de som van de energie voor ruimteverwarming, warmtapwater en hulpenergie. Elektrische energie voor koeling is in het rekenmodel niet aan de orde.

Locatie en oriëntatie

De mate van de hoeveelheid zonne-energie wordt bepaald door een bepaalde locatie waarbij de oriëntatie van het bouwblok 5 varianten (A t/m E) kent, zie Figuur 6.35. Stedenbouwkundig uitgangspunt is dat de woonzijde aan de zonzijde gesitueerd is en de ontsluitingszijde aan de niet-zonzijde. De architectuur van de schil van het bouwsysteem van een gebouw bepaalt de mate van geslotenheid van de gevel (zie Paragraaf 4.3). Op gesloten vlakken kan met PV-technologie actief zonne-energie geogst worden. De open vlakken, bedoeld voor daglichttoetreding en uitzicht, zijn minder effectief als actieve energieopwekker.

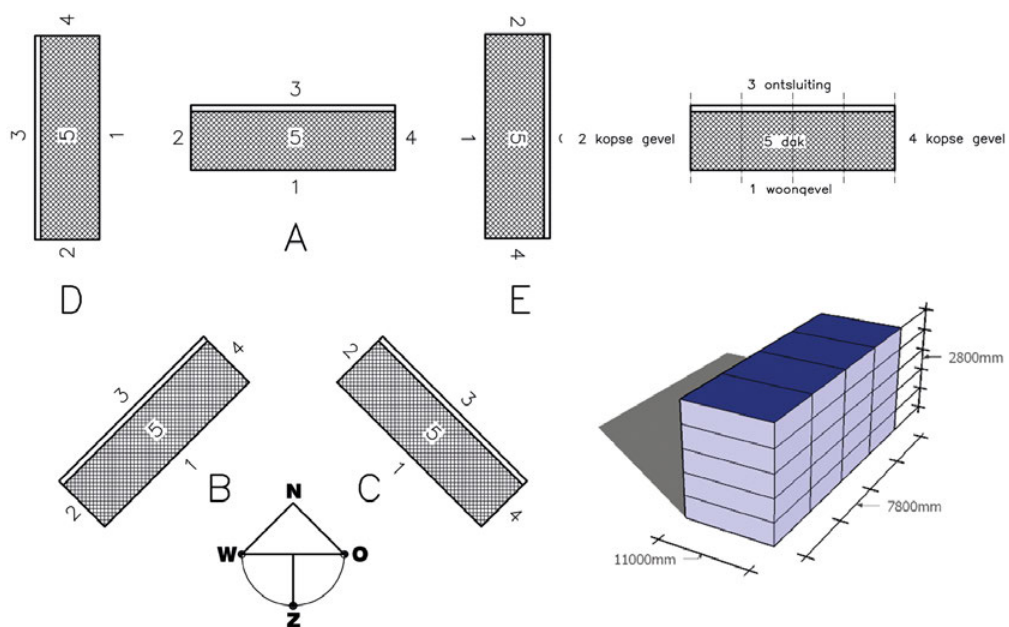


FIG. 6.35 Oriëntatie A t/m E, aantal traveeën en aantal woonlagen als onderzoeksvariabelen in het gebouwmodel.

Het gebouwmodel laat de verhouding zien tussen energieopwekkende vlakken en het energiegebruik bij een bepaalde energieambitie.

In het rekenmodel kunnen waarden van diverse onafhankelijke variabelen gevarieerd worden. Deze variabelen worden onderverdeeld in ambities voor te rekenen energiegebruik, de situatie, oriëntatie, gebouwgebonden variabelen, toepassing van zonneboilers voor opwek van thermische energie, besparing energie warm tapwater door warmteterugwinning, het toepassen van warmtepompen en opwekkingsrendementen van fotovoltaïsche cellen. Beschaduwning op energieopwekkende vlakken wordt buiten beschouwing gelaten.

Op basis van de instralingsgegevens kan berekend worden hoeveel elektrische energie geogost kan worden op een bepaald vlak in een bepaalde situatie. Voor de berekening van de hoeveelheid specifieke elektrische energie wordt een relatie gelegd met de kenmerken van de hoogbouwflats. De hoeveelheid op te wekken energie heeft een relatie met het woonoppervlak en daarmee met het oppervlak van de omhullende gevels en dakvlak. Het woonoppervlak varieert in de diverse flatsystemen. De opwekking via het omhullende geveleppervlak heeft ook een relatie met de mate van geslotenheid van de gevel. De mate van geslotenheid van een gevel is de mate waarin lichtdichte vlakken in de gevel aanwezig zijn. De mate van geslotenheid van de gevel varieert in de diverse flatsystemen. Het gevelvlak wat kan worden ingezet voor niet-transparante PV is het totale geveleppervlak minus daglichtopeningen en vaste draaiende delen.

Voor een specifiek flatgebouw (met als variabelen de grootte van het woonoppervlak, de situering ten opzichte van de zon en de mate van geslotenheid van het omhullend geveleppervlak) kan met dit model een specifieke theoretische energieopbrengst berekend worden.

De locatie van het gebouw heeft een vaste waarde. De bijbehorende lengtegraad en breedtegraad is onderdeel van de bepaling van de waarde van de totale zonnestraling op een bepaald vlak. Om de invloed van de situatie in Nederland op de totale zonnestraling te bepalen wordt voor de ligging van het gebouw de locatie als constante bepaald in De Bilt (vanwege de ligging in het midden van het land met een representatief gemiddelde voor het Nederlandse klimaat met een bijbehorende lengtegraad van 5,18 graden en een breedtegraad van 52,1 graden).

De instraling op een plat vlak volgens het model in de locatie De Bilt verandert per maand. Figuur 6.36 toont het percentage instraling per maand op jaarbasis.

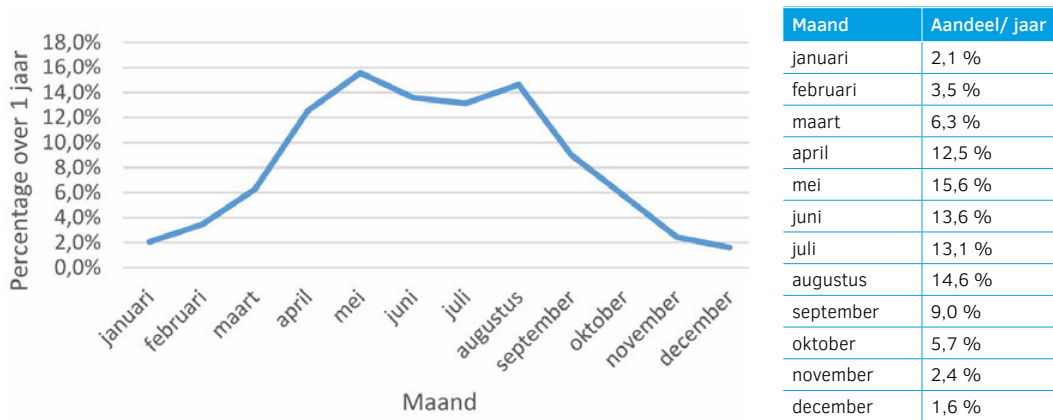


FIG. 6.36 Instraling op een plat vlak (De Bilt).

Opwekkingsrendementen van fotovoltaïsche cellen

Als het gebouwmodel het energieopwekkend vlak berekend heeft bij een bepaalde energieambitie, een bepaald gebouwvolume, in een bepaalde situatie met een bepaalde oriëntatie, dan kan bepaald worden welk PV-systeem toegepast kan worden met een bepaalde opbrengst.

Energie voor ruimteverwarming

De hoeveelheid verwarmd gebruiksoppervlak heeft een relatie met de hoeveelheid energie voor ruimteverwarming. Hoe meer verwarmd oppervlak, des te meer energie voor ruimteverwarming nodig is. Deze relatie wordt beïnvloed door de energieambitie voor de hoeveelheid ruimteverwarming (zie Figuur 6.37).

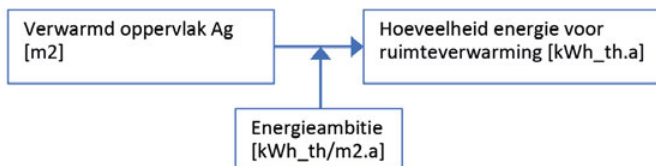


FIG. 6.37 Relatie tussen verwarmd gebruiksoppervlak en energie voor ruimteverwarming onder invloed van de energieambitie.

De variabelen krijgen de volgende waarden:

- Het verwarmd gebruiksoppervlak van een galerijwoning uit de periode 1965-1974 bedraagt 82 m^2 (Agentschap NL, 2011a, p. 61).
- De maximale benodigde energie (warmte) voor ruimteverwarming (na upgradings) bedraagt maximaal $25 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2$ per jaar volgens de BENG 1 ambitie tot 1 januari 2021. Dit betekent dat de schil thermisch geïsoleerd moet worden, met een bepaalde luchtdichting en zonder thermische bruggen om deze waarde te kunnen bereiken. Hoe lager de energieambitie, des te hoger de waarden voor isolatie en luchtdichting noodzakelijk zijn.

Hieruit volgt dat de hoeveelheid warmte voor ruimteverwarming: $82 \times 25 = 2050 \text{ kWh}_{\text{th}}$ per jaar.

Energie voor warmtapwater

De hoeveelheid thermische energie (warmte) voor het opwekken van warmtapwater is afhankelijk van het gemiddeld aantal personen in de modelwoning (zie Figuur 6.38).



FIG. 6.38 Relatie tussen aantal bewoners en de hoeveelheid benodigde energie voor de opwekking van warmtapwater.

Hoe groter het aantal bewoners, des te evenredig groter de hoeveelheid benodigde energie voor warmtapwater. De hoeveelheid energie voor warmtapwater volgens NEN 7120 bedraagt $3,081 \text{ GJ}$ per persoon (Smoor, 2014, p. 8) oftewel $3,081 / 0,036 = 856 \text{ kWh}_{\text{th}}$ per persoon ($1 \text{ kWh}_{\text{th}} = 0,0036 \text{ GJ}$). Het gemiddeld aantal bewoners in een galerijwoning uit de periode 1965-1974 bedraagt $2,8$ personen (Agentschap NL, 2011a, p. 61) Daarmee komt de hoeveelheid netto energie voor warmtapwater in het rekenmodel op $856 \times 2,8 = 2396 \text{ kWh}_{\text{th}}$.

Warmtapwater wordt toegepast in de badkamer (80 %) en in de keuken (20 %) (Agentschap NL, 2012, p. 3).

Zonneboiler voor warmtapwater

Voor het gebouwmodel wordt een vlakke plaat zonneboiler toegepast met een collectoroppervlak van 2,4 m² met een jaarlijkse warmteopwekking van 330 kWh_{th}/m² per jaar. De jaarlijkse warmteopwekking komt daarmee op $2,4 \times 330 = 792$ kWh_{th}. Het bijbehorend elektriciteitsgebruik van de pomp en de regeling bedraagt 100 kWh per jaar (Isso, 2015).

Verlichting

De energiepost voor gebouwgebonden verlichting is opgenomen in de post Hulpenergie (Agentschap NL, 2011a, p. 61).

Elektriciteitsgebruik

De hoeveelheid huishoudelijk en gebouwgebonden elektrisch energiegebruik bedraagt voor 2 personen 2930 kWh en voor 3 personen 3590 kWh per jaar (Nibud, 2017). Voor het gemiddeld aantal bewoners van 2,8 bedraagt het energiegebruik daarmee 3458 kWh per jaar.

De hoeveelheid gebouwgebonden elektrische energie (voor hulpenergie en verlichting) bedraagt 536 kWh per jaar (Agentschap NL, 2011a, p. 61). De hoeveelheid netto elektrische gebruiksgebonden energie in het gebouwmodel bedraagt daarmee 2922 kWh per jaar (zie Tabel 6.13).

TABEL 6.13 Gebouwgebonden en huishoudelijk elektrische energie voor 2,8 bewoners.

Bron	Gebouwgebonden	Gebruiksgebonden	Totaal
Nibud, 2017			3458 kWh
Agentschap NL, 2011a, p. 61	536 kWh		
Daarmee gebruiksgebonden		2922 kWh	

Douchewater warmteterugwinning

Door het toepassen van warmteterugwinning uit het douchewater door middel van een douchegoot-WTW kan een besparing worden bereikt van 45,2 % (KIWA, 2012) tot 53,9–55,8 % voor class 3 en 59,3 % voor class 2 (KIWA, 2019) op de warmte

voor warmtapwaterbereiding. In het gebouwmodel wordt 54 % aangehouden van 80 % (badkamer) van 2396 kWh_{th} waarmee de vermeden warmte voor warmtapwaterbereiding 1035 kWh_{th} per jaar bedraagt. De totale hoeveelheid benodigde warmte voor warmtapwater wordt daarmee $2396 - 1035 = 1361$ kWh_{th} per jaar. Een douchegoot-WTW is in gestapelde bouw toepasbaar, een douchepijp-WTW niet vanwege de verticale inbouw met een lengte onder de douchevloer van ca. 2 m.

Warmtepompen

In het gebouwmodel wordt een centrale brine/waterwarmtepomp, met als energiebron een gesloten aardwarmtesonde, toegepast voor ruimteverwarming met een Coefficient of Performance (COP) van 4,4 en per appartement een water/water boosterwarmtepomp voor warmtapwaterbereiding met een COP van 4,4. De COP is de verhouding tussen de hoeveelheid afgegeven energie ten opzichte van de hoeveelheid verbruikte energie. Over een geheel jaar (4 seizoenen) gezien is dit de Seasonal Performance Factor (SPF).

Gebouwmodel uitgangspunten

In het gebouwmodel worden de energiesoorten warmte en elektriciteit gesplitst (zie Tabel 6.14 en Tabel 6.15). Warmte wordt in de geüpgradede situatie omgerekend naar benodigde elektriciteit (via warmtepompen) voor een all electric oplossing.

Gebouwmodel, bestaande situatie: benodigde elektrische energie

Een indicatie voor het energiegebruik in de bestaande situatie, omgerekend naar benodigde elektriciteit, heeft de volgende uitgangspunten.

- Het elektrisch energieverbruik voor gebruiksgebonden en gebouwgebonden energieverbruik bedraagt 2930 kWh per jaar voor 2 personen en 3590 kWh per jaar voor 3 personen (Nibud, 2017). Voor 2,8 personen komt daarmee het huishoudelijk en gebouwgebonden elektrische energieverbruik uit op 3458 kWh per jaar.
- Het gasgebruik voor koken (5 %), ruimteverwarming en warmtapwater bedraagt totaal 1339 m³ per jaar voor een galerij tussenwoning met een woonoppervlak van 82 m² (Agentschap NL, 2011a, p. 61). Omgerekend naar kWh minus 5 % energie voor koken bedraagt de hoeveelheid gebouwgebonden energie 12.427 kWh per jaar. De 5 % benodigde energie voor koken bedraagt 654 kWh per jaar, zie Tabel 6.14 en Figuur 6.39.

1 m³(n) aardgas heeft een bovenwaarde van 35,17 MJ.

1 kWh heeft een energie-inhoud van 3,6 MJ.

1 m³(n) aardgas komt daarmee overeen met 35,17 MJ/3,6 MJ = 9,769 kWh

(De Energieconsultant, z.d.; Gasunie, z.d.).

1339 m³(n) aardgas -5 % = 1272 m³(n) = 1272 x 9,769 = **12.427 kWh** per jaar.

Voor koken is 5 % van 1339 m³ = 66,95 m³(n) aardgas = 66,95 x 9,769 = **654 kWh** per jaar.

TABEL 6.14 Bestaande situatie: benodigde warmte en elektriciteit voor galerijwoning met een woonoppervlak van 82 m² en gemiddeld 2,8 bewoners.

	Warmte (kWh_th)	Elektriciteit (kWh)
Totaal gebouwgebonden en gebruikersgebonden elektriciteitsgebruik voor 2,8 personen		3458
Gebouwgebonden energie (aardgas): ruimteverwarming en warmtapwater	12.427	
Gebruikersgebonden energie (aardgas): koken	654	(654 + COP)

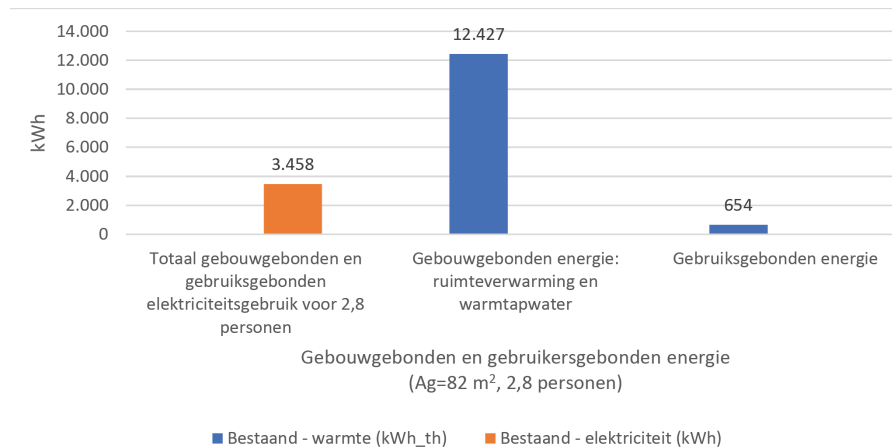


FIG. 6.39 Gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie voor een niet-geüpgradede galerijwoning met een woonoppervlak van 82 m² en gemiddeld 2,8 bewoners.

In de bestaande situatie is 5 % van de totale warmtevraag uit aardgas voor koken nodig. Het overgaan naar elektrisch koken heeft dus een gering effect op vermindering van het totale gasgebruik van deze woning. In de bestaande situatie kan de benodigde warmte voor ruimteverwarming niet worden opgewekt door inzet van warmtepompen omdat de bestaande situatie uitgaat van een hoogtemperatuur verwarmingssysteem en een warmtepomp een laagtemperatuur verwarmingssysteem voor optimaal functioneren nodig heeft.

Gebouwmodel, nieuwe situatie: benodigde elektrische energie

In het gebouwmodel (zie Tabel 6.15) wordt de warmtevraag omgerekend naar een elektriciteitsvraag. De vraag wordt in negatieve cijfers uitgedrukt, opbrengsten in positieve cijfers. De uiteindelijke elektriciteitsvraag moet door duurzaam opgewekte elektriciteit worden opgewekt. De locatie, oriëntatie en type gebouw geven aan in hoeverre dit mogelijk is bij welke energieambitie.

TABEL 6.15 *Gebouwmodel, nieuwe situatie: benodigde elektrische energie.*

		Warmte (kWh_th)	Elektriciteit (kWh)
Algemeen			
Verwarmd gebruiksoppervlak	Ag = 82 m ²		
Gemiddeld aantal bewoners	2,8 personen		
Ambitie hoeveelheid warmte voor ruimteverwarming	-25 kWh_th/m ²	$(-25 \times 82) = -2050$	
Warmtapwater			
Netto warmtapwatergebruik	-3,081 GJ per persoon		
Voor 2,8 personen (1 kWh = 0,0036 GJ)		$(-3,081 / 0,0036 \times 2,8) = -2396,33$	
Zonneboiler	2,4 m ² , +330 kWh_th/m ² .a		
Jaarlijkse opwekking		$(2,4 \times 330) = +792$	
Elektriciteitsgebruik pompen			-100
Douche WTW			
Vermeden energie warmtapwater (douche 80 % warmtapwatergebruik)	54 %	$((-2396,33 + 792) \times 0,54 \times 0,8) = +693,07$	
Totaal energie voor warm tapwater		$(-2396,33 + 792 + 693,07) = -911,26$	
Warmtepompen (WP)			
Brine/water WP ruimteverwarming, COP	4,4		$(-2050 / 4,4) = -465,91$
Booster WP warmtapwater, COP	4,4		$(-2396,33 + 792 + 693,07) / 4,4 = -207,1$
Gebouwgebonden en huishoudelijk elektriciteitsgebruik			
Totaal gebouwgebonden en gebruikersgebonden elektriciteitsgebruik voor 2,8 personen			-3458
Gebouwgebonden hulpenergie ventilatie, verlichting			-536
Gebruikersgebonden elektriciteitsgebruik voor 2,8 personen			$(-3458 + 536) = -2922$
Totaal benodigde elektriciteit			
Gebouwgebonden			-1309
Gebruikersgebonden			-2922
Totaal			-4231

De gestelde energieambitie is de netto warmtevraag voor ruimteverwarming. Bij de energieambitie van 25 kWh_th/m² per jaar is de hoeveelheid gebouwgebonden energie ca. 31 % en de gebruikersgebonden energie ca. 69 % van de totaal benodigde elektriciteit (zie Figuur 6.40).

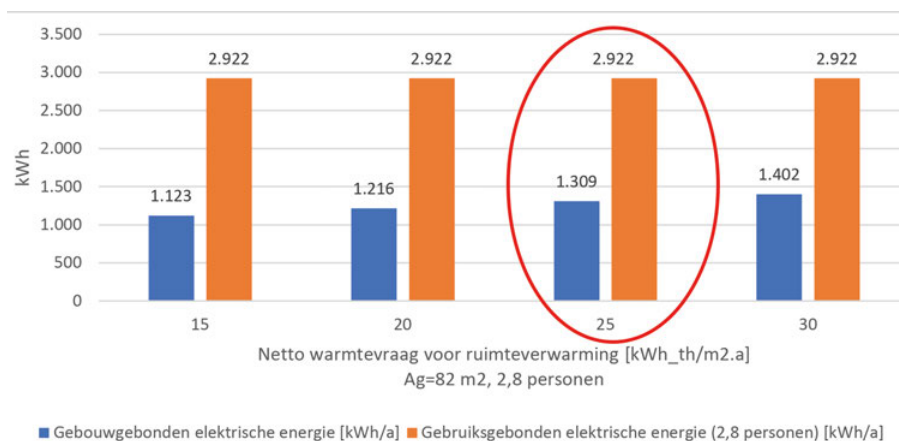


FIG. 6.40 Relatie tussen gebouwgebonden en gebruikersgebonden elektrische energie met de energieambitie voor de warmtevraag voor ruimteverwarming.

Bij de energieambitie van 25 kWh_th/m² per jaar is de hoeveelheid elektrische energie voor hulpenergie/verlichting/pomp/regeling van de zonnecollector ca. 95 % van de benodigde elektrische energie voor beide warmtepompen (zie Figuur 6.41).

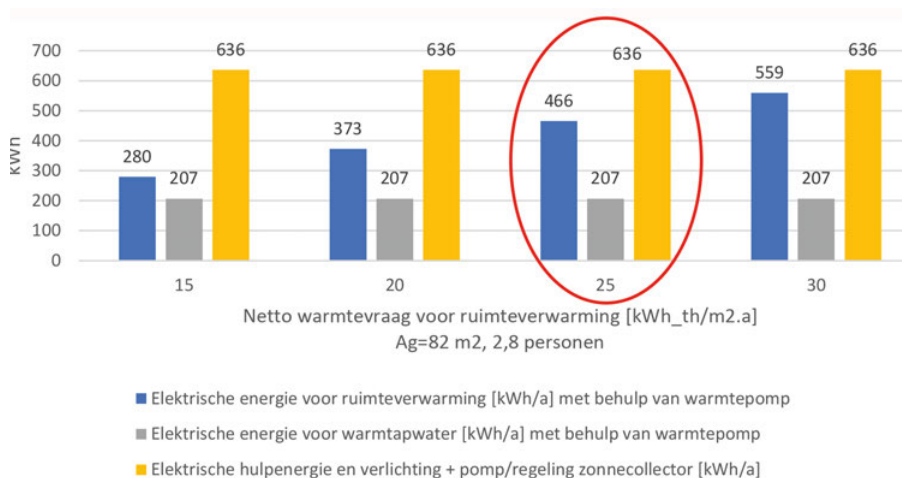


FIG. 6.41 Relatie tussen de hoeveelheid elektrische energie voor ruimteverwarming en warmtapwater met de energieambitie voor de warmtevraag voor ruimteverwarming.

Door het bepalen van de vraag naar elektrische energie kan de benodigde opwek vanuit de schil van het gebouw berekend worden voor een bepaalde locatie, situatie en de mate van mogelijkheden in de schil.

Bestaand ten opzichte van de nieuwe situatie

Het gebouwmodel laat een verschuiving zien van de warmtevraag naar de elektriciteitsvraag op basis van een energieambitie voor de hoeveelheid energie (25 kWh_{th}/m² per jaar) voor ruimteverwarming.

Tabel 6.16 en Figuur 6.42 tonen de beide energiesoorten uit de bestaande en nieuwe situatie naast elkaar. De totaal hoeveelheid benodigde hoeveelheid elektriciteit stijgt met 22 %. De benodigde warmte uit aardgas in de bestaande situatie wordt nu door middel van oogsten van zonnewarmte, warmteterugwinning en warmtepompen verzorgd in de nieuwe situatie in combinatie met de energie-ambitie van 25 kWh_{th}/m² per jaar.

TABEL 6.16 Overzicht bestaande en nieuwe energievragen voor een galerijwoning met een woonoppervlak van 82 m² en gemiddeld 2,8 bewoners.

Energievraag	Bestaand - warmte (kWh _{th})	Bestaand - elektriciteit (kWh)	Nieuw - elektriciteit (kWh)
Totaal gebouwgebonden en gebruiksggebonden elektriciteitsgebruik voor 2,8 personen		3458	4231
Gebouwgebonden energie: ruimteverwarming en warmtapwater	12.427		1309
Gebruiksggebonden energie	654		2922

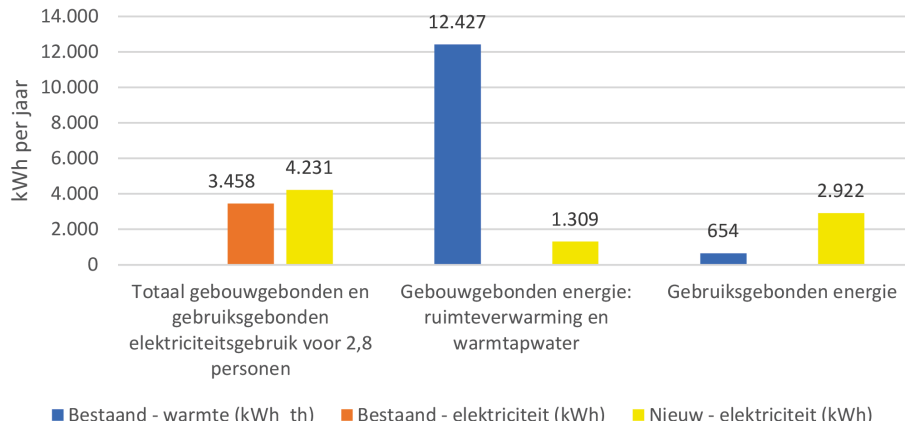


FIG. 6.42 Overzicht bestaande en nieuwe energievragen voor een galerijwoning met een woonoppervlak van 82 m² en gemiddeld 2,8 bewoners.

De energievraag is een netto vraag. Het bepalen van energieverliezen is afhankelijk van veel variabelen. Dit is in de bovenstaande berekening niet meegenomen, maar in de praktijk wel aanwezig. Voor de energievraag betekent dit dat de vraag groter kan worden. Voor de energieoogst betekent dit dat de opbrengst minder hoog kan worden.

6.2.7.3 Voorbeeldberekening gebouwmodel

Uitgangspunten voor deze berekening zijn percentages gesloten vlak in de schil:

- Locatie De Bilt.
- Geslotenheid woongevel: 40 % en 10 % (hiermee wordt in dit voorbeeld gevarieerd).
- Geslotenheid kopgevel: 100 %.
- Geslotenheid ontsluitingsgevel: 40 % en 10 % (hiermee wordt in dit voorbeeld gevarieerd).
- Geslotenheid Dak: 100 %.
- Aantal woonlagen: 4 – 6 – 8 – 10 – 12 (hiermee wordt in dit voorbeeld gevarieerd).
- Aantal traveeën: 8.
- Energieambitie voor ruimteverwarming: 25 kWh_{th}/m².a.

Vaste waarden zijn:

- Traveebreedte 7,80 m (beukmaat).
- Traveediepte: 11 m.
- Verdiepingshoogte: 2,80 m.
- Gebruiksoppervlak woning: 82 m².
- Rendement PV: 20 %.
- Systeemverliezen: 10 %.

Niet gerekend:

- Beschaduwning door bomen of andere gebouwen.
- Functionele starthoogten PV boven maaiveld in verband met beschadigingen/ vandalisme.

Deze waarden zijn in de 5 verschillende oriëntaties A t/m E doorgerekend (zie Figuur 6.43 en Tabel 6.17).

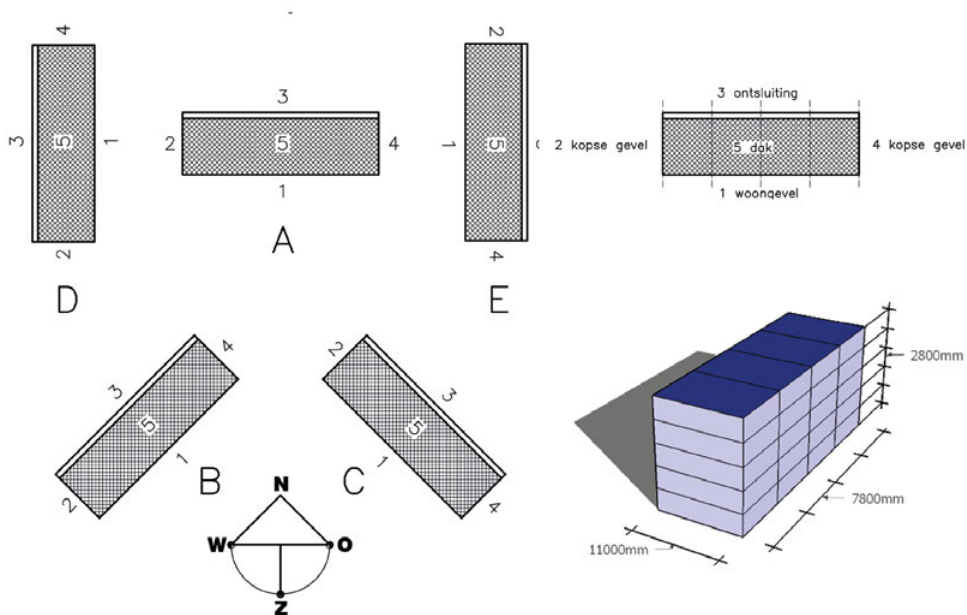


FIG. 6.43 Oriëntaties ten behoeve van gebouwmodel.

TABEL 6.17 Voorbeeld uitkomst gebouwmodel met 5 oriëntaties (A t/m E) bij 4 woonlagen bij woongevel en ontsluitingsgevel 40 % PV , dak en kopgevels 100 % PV.

oriëntatie	percentage				oppervlak gesloten gevel [m ²]	zonnestraling op gesloten gevel [kWh/a]	rendement PV [%]	PR [%]	elektrische energie uit zonnestraling [kWh/a]	benodigd gebouwgebonden [kWh/a]	benodigd gebouwgebonden + huishoudelijk [kWh/a]
	gevel 1	gevel 2	gevel 3	gevel 4							
A	gevel 1	40 %	woongevel	Z	279,6	238.458					
	gevel 2	100 %	kopgevel	W	123,2	52.853					
	gevel 3	40 %	ontsluiting	N	279,6	81.629					
	gevel 4	100 %	kopgevel	O	123,2	106.075					
	dak 5	100 %	dak		686,4	684.341					
totaal						1.163.356	20 %	90 %	209.404	41.888	135.392
B	gevel 1	40 %	woongevel	ZO	279,6	277.875					
	gevel 2	100 %	kopgevel	ZW	123,2	36.221					
	gevel 3	40 %	ontsluiting	NW	279,6	82.188					
	gevel 4	100 %	kopgevel	NO	123,2	66.158					
	dak 5	100 %	dak		686,4	684.341					
totaal						1.146.783	20 %	90 %	206.421	41.888	135.392
C	gevel 1	40 %	woongevel	ZW	279,6	174.161					
	gevel 2	100 %	kopgevel	NW	123,2	36.221					
	gevel 3	40 %	ontsluiting	NO	279,6	150.119					
	gevel 4	100 %	kopgevel	ZO	123,2	122.461					
	dak 5	100 %	dak		686,4	684.341					
totaal						1.167.303	20 %	90 %	210.114	41.888	135.392
D	gevel 1	40 %	woongevel	O	279,6	240.694					
	gevel 2	100 %	kopgevel	Z	123,2	105.090					
	gevel 3	40 %	ontsluiting	W	279,6	119.928					
	gevel 4	100 %	kopgevel	N	123,2	35.974					
	dak 5	100 %	dak		686,4	684.341					
totaal						1.186.027	20 %	90 %	213.485	41.888	135.392
E	gevel 1	40 %	woongevel	W	279,6	119.928					
	gevel 2	100 %	kopgevel	Z	123,2	105.090					
	gevel 3	40 %	ontsluiting	O	279,6	240.694					
	gevel 4	100 %	kopgevel	N	123,2	35.974					
	dak 5	100 %	dak		686,4	684.341					
totaal						1.186.027	20 %	90 %	213.485	41.888	135.392

In onderstaande Tabel 6.18 staan de uitkomsten van de 25 berekeningen (4, 6, 8, 10 en 12 lagen hoog met 5 oriëntaties) bij woongevel en ontsluitingsgevel 40 % PV (met kopse gevels 100 % PV en dak 100 % PV). De conclusie is dat bij de energieambitie, waarbij alleen gebouwgebonden energie vanuit de gevels en dak duurzaam opgewekt wordt, dit haalbaar is onder de gestelde condities. De conclusie bij de energieambitie waarbij gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie duurzaam opgewekt wordt is dat dit tot en met 10 woonlagen onder de gestelde condities haalbaar is.

TABEL 6.18 Relatie tussen aantal woonlagen, oriëntatie en energieambitie – bij woongevel en ontsluitingsgevel 40 % PV, kopse gevels 100 % PV en dak 100 % PV.

aantal woonlagen	oriëntatie	elektrische energie uit zonne-straling [kWh/a]	benodigd (kWh/a) gebouwge-bonden	verschil [kWh/a]	verschil [%]	benodigd gebouwge-bonden + gebruikersge-bonden [kWh/a]	verschil [kWh/a]	verschil [%]
4	A	209.404	41.888	167.516	80 %	135.392	74.012	35 %
4	B	206.421	41.888	164.533	80 %	135.392	71.029	34 %
4	C	210.114	41.888	168.226	80 %	135.392	74.722	36 %
4	D	213.485	41.888	171.597	80 %	135.392	78.093	37 %
4	E	213.485	41.888	171.597	80 %	135.392	78.093	37 %
6	A	252.515	62.832	189.683	75 %	203.088	49.427	20 %
6	B	248.041	62.832	185.209	75 %	203.088	44.953	18 %
6	C	253.581	62.832	190.749	75 %	203.088	50.493	20 %
6	D	258.637	62.832	195.805	76 %	203.088	55.549	21 %
6	E	258.637	62.832	195.805	76 %	203.088	55.549	21 %
8	A	295.627	83.776	211.851	72 %	270.784	24.843	8 %
8	B	289.661	83.776	205.885	71 %	270.784	18.877	7 %
8	C	297.048	83.776	213.272	72 %	270.784	26.264	9 %
8	D	303.788	83.776	220.012	72 %	270.784	33.004	11 %
8	E	303.788	83.776	220.012	72 %	270.784	33.004	11 %
10	A	338.738	104.720	234.018	69 %	338.480	258	0 %
10	B	331.280	104.720	226.560	68 %	338.480	-7.200	-2 %
10	C	340.514	104.720	235.794	69 %	338.480	2.034	1 %
10	D	348.940	104.720	244.220	70 %	338.480	10.460	3 %
10	E	348.940	104.720	244.220	70 %	338.480	10.460	3 %
12	A	381.849	125.664	256.185	67 %	406.176	-24.327	-6 %
12	B	372.900	125.664	247.236	66 %	406.176	-33.276	-9 %
12	C	383.981	125.664	258.317	67 %	406.176	-22.195	-6 %
12	D	394.092	125.664	268.428	68 %	406.176	-12.084	-3 %
12	E	394.092	125.664	268.428	68 %	406.176	-12.084	-3 %

In Tabel 6.19 staan de uitkomsten van de 25 berekeningen (4, 6, 8, 10 en 12 lagen hoog met 5 oriëntaties) bij woongevel 10 % PV en ontsluitingsgevel 10 % PV (met kopse gevels 100 % PV en dak 100 % PV).

TABEL 6.19 Relatie tussen aantal woonlagen, oriëntatie en energieambitie – bij woongevel en ontsluitingsgevel 10 % PV, kopse gevels 100 % PV en dak 100 % PV.

aantal woonlagen	oriëntatie	elektrische energie uit zonnestraling [kWh/a]	benodigd (kWh/a) gebouwgebonden	verschil [kWh/a]	verschil [%]	benodigd gebouwgebonden + gebruikersgebonden [kWh/a]	verschil [kWh/a]	verschil [%]
4	A	166.192	41.888	124.304	75 %	135.392	30.800	19 %
4	B	157.812	41.888	115.924	73 %	135.392	22.420	14 %
4	C	166.337	41.888	124.449	75 %	135.392	30.945	19 %
4	D	164.801	41.888	122.913	75 %	135.392	29.409	18 %
4	E	164.801	41.888	122.913	75 %	135.392	29.409	18 %
6	A	187.698	62.832	124.866	67 %	203.088	-15.390	-8 %
6	B	175.128	62.832	112.296	64 %	203.088	-27.960	-16 %
6	C	187.914	62.832	125.082	67 %	203.088	-15.174	-8 %
6	D	185.611	62.832	122.779	66 %	203.088	-17.477	-9 %
6	E	185.611	62.832	122.779	66 %	203.088	-17.477	-9 %
8	A	209.203	83.776	125.427	60 %	270.784	-61.581	-29 %
8	B	128.256	83.776	108.668	56 %	270.784	-78.340	-41 %
8	C	209.492	83.776	125.716	60 %	270.784	-61.292	-29 %
8	D	206.420	83.776	12.644	59 %	270.784	-64.364	-31 %
8	E	206.420	83.776	12.644	59 %	270.784	-64.364	-31 %
10	A	230.709	104.720	125.989	55 %	338.480	-107.771	-47 %
10	B	209.759	104.720	105.039	50 %	338.480	-128.721	-61 %
10	C	231.070	104.720	126.350	55 %	338.480	-107.410	-46 %
10	D	227.230	104.720	122.510	54 %	338.480	-111.250	-49 %
10	E	227.230	104.720	122.510	54 %	338.480	-111.250	-49 %
12	A	252.214	125.664	126.550	50 %	406.176	-153.962	-61 %
12	B	227.075	125.664	101.411	45 %	406.176	-179.101	-79 %
12	C	252.647	125.664	126.983	50 %	406.176	-153.529	-61 %
12	D	248.040	125.664	122.376	49 %	406.176	-158.136	-64 %
12	E	248.040	125.664	122.376	49 %	406.176	-158.136	-64 %

Bij de energieambitie van 25 kWh_{th}/m² per jaar voor ruimteverwarming, waarbij alleen gebouwgebonden energie duurzaam opgewekt wordt ('energieneutraal'), kan het gebouw in haar eigen energie op jaarbasis voorzien bij alleen 100 % PV op het dakvlak tot en met 12 woonlagen.

Bij de energieambitie van 25 kWh_{th}/m² per jaar voor ruimteverwarming waarbij gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie duurzaam opgewekt worden ('Nul-op-de-meter') is dit boven 4 woonlagen, met de condities woongevel en ontsluitingsgevel 10 % PV en kopse gevels en dak 100 % PV, niet haalbaar. Bij 40% PV in de woongevel en ontsluitingsgevel is dit haalbaar tot en met 10 lagen. Bij 50% PV in de woongevel en ontsluitingsgevel is dit haalbaar tot en met 12 lagen.

6.2.7.4 Energiescenario's

Er zijn diverse energiescenario's mogelijk op basis waarvan, bij de gestelde systeemgrens en een gestelde energieambitie, aanvullend benodigde energie moet worden opgewekt.

Bij toepassing van duurzaam opgewekte warmte die wordt aangevoerd naar de woningen via een warmtenet is eigen opwekking van warmte niet nodig bij aanvoer van hoogtemperatuur warmte. Bij aanvoer van laagtemperatuur warmte is voor ruimteverwarming geen extra bron nodig, voor de bereiding van warmtapwater wordt echter een warmtepomp toegepast binnen de systeemgrens van de woning. Bij een ruimere systeemgrens zou het laagtemperatuur (hybride) warmtenet zelf kunnen zorgen voor extra energie als de vraag hiernaar is door bijvoorbeeld het leveren van elektriciteit of groen gas. Slimme warmtenetten kunnen sturen tussen de individuele warmtevraag en het collectieve warmteaanbod. Als het warmtenet verschillende temperatuurniveaus heeft, dan kunnen verschillende warmtebronnen ingezet worden voor het warmtenet. Systeemgrenzen bepalen de plaats van de op te wekken energie.

Warmtenetten kunnen volgens Roos (2019) van Stroomversnelling door vier mogelijkheden bijdragen aan CO₂-reductie. De eerste mogelijkheid is het verlagen en normeren van de aanvoertemperatuur van nieuwe warmtenetten naar maximaal 70 °C en liefst lager. Hierdoor moeten woningen fors thermisch geïsoleerd worden om de warmtevraag af te laten nemen. Lokale duurzame warmtebronnen zoals een datacenter of supermarkt kunnen warmte met een lage temperatuur opleveren. De tweede mogelijkheid is om de energieprestatievergoeding (EPV) aan te passen zodat een warmtenet ook een stimulans is voor hoogbouw-appartementen waarbij opwekking van energie op de eigen grond volgens de EPV niet of moeilijk

mogelijk is. Hierbij kunnen nieuwe duurzame warmtebronnen administratief gekoppeld worden aan NOM-projecten (allocatie) of kunnen NOM-woningen worden aangesloten op een duurzaam warmtenet. De derde mogelijkheid is om netbeheerders verantwoordelijk te maken voor de aanleg van grote nieuwe open kostentransparante warmte-distributienetwerken wat een stimulans vormt voor toetreding van nieuwe marktpartijen, innovatie en prijsverlaging bij aanleg van nieuwe warmtenetten. De laatste mogelijkheid volgens Stroomversnelling is het bouwen van nieuwe warmtenetten in wijken waar deze het meest rendabel zijn. Nieuwe warmtenetten in wijken met relatief veel hoogbouw en collectieve gasketels zijn volgens Stroomversnelling effectiever door een lager liggende onrendabele top dan gemiddelde stedelijke wijken waarin veel grondgebonden woningen voorkomen. Grondgebonden woningen zijn relatief duur om aan te sluiten op een warmtenet in vergelijking met hoogbouw (Roos, 2019).

Indien warmte voor ruimteverwarming duurzaam wordt opgewekt dan bepaalt de capaciteit van de warmtelevering de minimaal benodigde thermische isolatie en mate van kierdichting van de woning bij een bepaald comfort. Ver doorgedreven thermische isolatiewaarden, zoals die van het passiefhuisniveau, zijn dan niet nodig.

Duurzaam opgewekte warmte kan uit geothermie, aquathermie, zonnewarmte in combinatie met warmtekuudeopslag (WKO) systemen, omgevingswarmte, biomassa, warmtekrachtkoppeling (WKK) of uit 'restwarmte' uit andere sectoren worden opgewekt.

Een voorbeeld van benutting van 'restwarmte' uit een andere sector is restwarmte uit een datacenter. Anno 2017 kunnen ca. 2 miljoen goed geïsoleerde woningen via een warmtenet worden verwarmd op basis van laagcalorische warmte met een relatief constante temperatuur tussen de 25 °C en 33 °C uit datacenters. Met de koude retourstroom kunnen vervolgens de processen in het datacenter worden gekoeld. Het aanleggen van een WKO kan dit proces versterken. Leveringszekerheid van warmte zou een obstakel kunnen vormen bij stroomuitval (Unica, 2017, p. 5).

Er zijn diverse energietypen en energiestromen nodig voor diverse functies bij de woning als systeemgrens:

- 1 Thermische energie voor ruimteverwarming
- 2 Thermische energie voor warm tapwater
- 3 Thermische energie in combinatie met elektrische energie voor ruimteverwarming
- 4 Thermische energie in combinatie met elektrische energie voor warm tapwater
- 5 Elektrische energie voor hulpenergie
- 6 Elektrische energie voor ventilatie

- 7 Elektrische energie voor huishoudelijke apparatuur
- 8 Thermische energie voor huishoudelijke apparatuur (hott-fill)
- 9 Elektrische energie voor verlichting
- 10 Elektrische energie voor koeling

Een energiescenario kan opgesteld worden op basis van compactheid van de appartementen in een bouwblok. Zoals in Paragraaf 3.7 is berekend zijn 6 verschillende compactheden van appartementen te onderscheiden. Compactheid is het volume ten opzichte van verliesgevende oppervlakken. De meest ongunstige appartement zijn in de randen van het bouwblok te vinden die aan de buitenlucht/maaiveld grenzen. Deze appartementen krijgen daarom hogere isolatiewaarden van de gevels ten opzichte van de appartementen in de kern van het gebouw. Of, bij gelijkblijvende isolatiewaarden van de gevels, een randzone van appartementen die niet voldoet aan de gewenste energieambitie terwijl de kernappartementen hier wel aan voldoen. Bijvoorbeeld een kern van NOM-appartementen (betreft zowel gebouwgebonden als gebruikersgebonden energie) en een rand om het gehele bouwblok van BENG-appartementen (betreft alleen gebouwgebonden energie).

6.2.8 **Upgrading bestaande gestapelde woningen richting energieneutraal**

Inleiding

Het vraagstuk om de gestapelde woningvoorraad uit de Wederopbouwperiode te upgraden naar wenselijke niveaus van deze tijd heeft drie lagen. De eerste laag betreft de technische upgradering vanwege einde levensduur van onderdelen van gebouwen. De tweede laag betreft functionele upgradering vanwege gewijzigde woonwensen. De derde laag betreft energetische upgradering naar energieneutraal van de bestaande woningvoorraad wat in 2050 moet zijn gerealiseerd. Deze drie lagen worden afzonderlijk of in combinatie met elkaar uitgevoerd. De lagen hebben een relatie met elkaar en kunnen elkaar positief of negatief beïnvloeden.

Technisch fysieke upgrading

Een aantal onderdelen van de appartementen uit de Wederopbouwperiode zijn aan het einde van de fysieke of technische levensduur. De fysieke levensduur is “the time in which the product breaks down beyond economic repair”, de technische levensduur is “the time at which advances in technology have made the product unacceptably obsolete” (Ashby, 2012, p. 80). Voorbeelden van einde fysieke levensduur zijn betonrot in draagconstructies en galerijvloeren of doorgeroeste spouwankers in metselwerkwallen aan de kopse zijden van (hoge) woonblokken. Een aantal schadegevallen hebben zich inmiddels aangediend. Ook technische uitgangspunten van toentertijd passen niet meer in de huidige tijd. Een voorbeeld hiervan is, afhankelijk van de toegepaste bouwmethode, problemen met geluid tussen de appartementen. Technische installaties, zoals opwekking van warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater, de mechanische ventilatie en de elektrische installatie voldoen vaak niet meer aan de huidige eisen en wensen. Thermische uitgangspunten van toen voldoen niet meer aan de huidige comforteisen en vormen een aanslag op de woonlasten. De zeer geringe thermische kwaliteit van de schil van de woning geeft comfortklachten zoals koudeval bij ramen. Thermische bruggen, zoals constructieonderdelen die van binnen naar buiten doorlopen, geven kans op condensatie aan de binnenzijde van de woning wat schimmelvorming tot gevolg kan hebben met kans op gezondheidsklachten. De condensatie kan ook degeneratie van bouwmaterialen tot gevolg hebben zoals houtrot. Ventilatie is vaak ongecontroleerd. Door kieren die zijn gevormd door zettingen tussen bouwdelen, maatafwijkingen, krimp of uitzettingen van materialen, enkelvoudige afsluitingen en/of slordige detailleringen gaat lucht naar binnen of naar buiten, afhankelijk van de loefzijde of de lijzijde van het gebouw. Ongecontroleerde ventilatie van warme vochtige binnenlucht door de constructie naar buiten kan ook condensatie in de constructie ten gevolg hebben met mogelijke degeneratie van bouwmaterialen tot gevolg. De rioleringsinstallatie is wat standleidingen betreft aan vervanging toe. Doorgerotte gietijzeren standleidingen geven soms geuroverlast en vormen een risico voor de gezondheid.

De technische upgrading is vaak een onderdeel van de meerjarenplanning voor groot onderhoud (MJOP) van de woningcorporaties.

Mogelijkheden aanpassing woning

Een woning kan op 5 posities, en combinaties daartussen, worden aangepast om warmteverlies te beperken (zie Figuur 6.44):

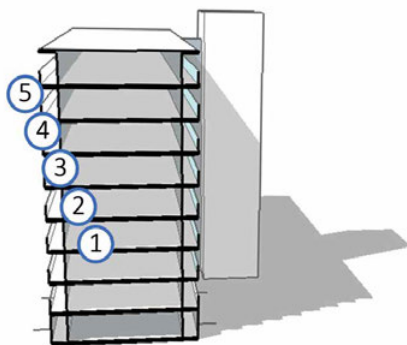


FIG. 6.44 Mogelijke posities voor thermische upgrademogelijkheden in, aan en rondom een doorsnede van gestapelde appartementen.

- Positie 1, binnen de woning, betreft zonering in de plattegrond en box-in-box-constructies met eigen thermische eigenschappen. Deze positie heeft functionele en/of thermische eigenschappen.
- Positie 2, aan de binnenzijde van de schil, betreft maatregelen ter verlaging van warmteverlies door de schil aan de binnenzijde van de schil. De buitenzijde blijft hierdoor in tact, bijvoorbeeld voor renovatie van gevels met beschermde gevelaanzichten. Deze positie heeft thermische eigenschappen en in functionele eigenschappen (bijvoorbeeld vermindering van ruimtediepte).
- Positie 3, in de schil zelf, betreft schilvervanging of maatregelen in de schil ter verlaging van warmteverlies door de schil. Deze positie heeft bij schilvervanging esthetische en thermische eigenschappen. Bij maatregelen in de schil heeft deze thermische eigenschappen.
- Positie 4, aan de buitenzijde van de schil, betreft een uitbreiding van de bestaande gevel in de vorm van voorzetgevels al dan niet vast aan de bestaande gevel. Deze positie heeft zowel constructieve, esthetische, functionele als thermische eigenschappen. De context, zoals bestaande rooilijnen, mag geen belemmeringen vormen.
- Positie 5, buiten de woning, betreft extra voorzieningen ter verlaging van warmteverlies door de schil. Deze positie heeft zowel constructieve, functionele, esthetische als thermische eigenschappen. De context, zoals bestaande rooilijnen, mag geen belemmeringen vormen.

Daarbij kan door bewonersgedrag de energievraag positief of negatief beïnvloed worden.

Mogelijkheden upgrade gevels

De technische upgrading van de *schil* van het gebouw kan op een aantal wijzen plaatsvinden: de bestaande schil aanpassen of een nieuwe schil voor de bestaande schil plaatsen. Beide al dan niet in combinatie met een uitbreiding of met galerij/balkonvervanging in verband met thermische bruggen of slechte technische staat. De galerijplaten en balkonplaten kunnen binnen ('warm') of buiten ('koud') de thermische schil van de woning liggen. Het bestaande bouwblok kan bij de upgrading een opbouw krijgen (verticaal), een uitbouw (horizontaal) of een combinatie daarvan (zie Tabel 6.20, Figuur 6.45 en Figuur 6.46).

Bij de beide kopse gevels van het bouwblok kan de bestaande schil aangepast worden of kan een nieuwe schil voor de bestaande schil geplaatst worden. Bij een nieuwe schil kan afstand worden gehouden tot de bestaande schil ten behoeve van installatietechniek zoals ruimte voor opslag van elektrische energie (flat als buurtbatterij), in dat geval bevindt de thermische scheiding zich aan de flatzijde van de opslagruimte en de esthetische gevel aan de buitenzijde. De context (zoals rooilijnen en bestemmingsplan) mag geen belemmering vormen bij aanbouw en opbouw.

TABEL 6.20 Overzicht mogelijke varianten upgrading bestaand bouwblok, aanbouw, opbouw.

Varianten bestaand blok	balkon koud	galerij koud	balkon warm	galerij warm
balkon koud		1.1		1.3
galerij koud	1.1		1.2	
balkon warm		1.2		1.4
galerij warm	1.3		1.4	

Varianten opbouw wonen	balkon koud	galerij koud	balkon warm	galerij warm
balkon koud		1.5		1.7
galerij koud	1.5		1.6	
balkon warm		1.6		1.8
galerij warm	1.7		1.8	

Varianten aanbouw wonen	balkon koud	galerij koud	balkon warm	galerij warm
balkon koud		1.9		1.11
galerij koud	1.9		1.10	
balkon warm		1.10		1.12
galerij warm	1.11		1.12	

Varianten opbouw + aanbouw wonen	balkon koud	galerij koud	balkon warm	galerij warm
balkon koud		1.13		1.15
galerij koud	1.13		1.14	
balkon warm		1.14		1.16
galerij warm	1.15		1.16	

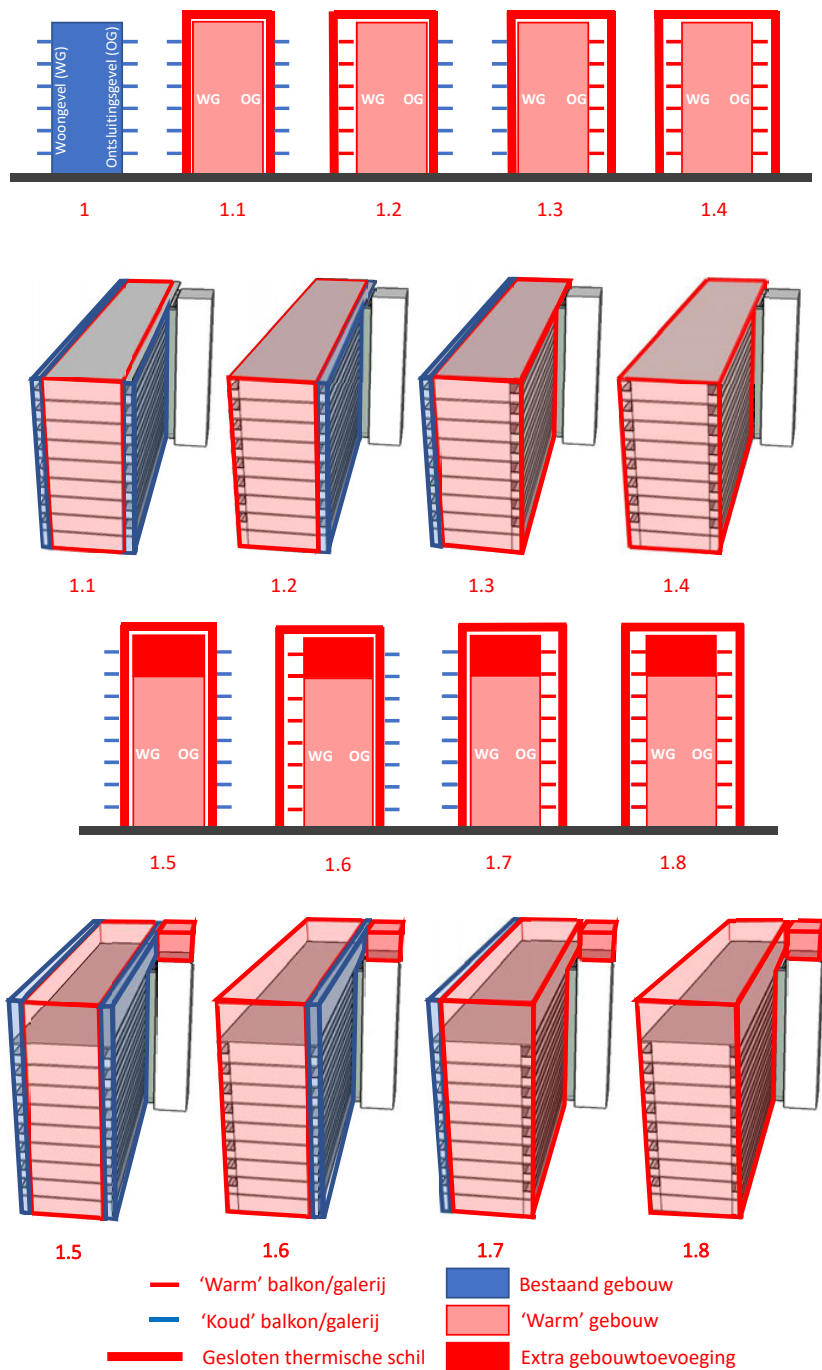


FIG. 6.45 Overzicht mogelijke varianten upgrading bestaand bouwblok, opbouw.

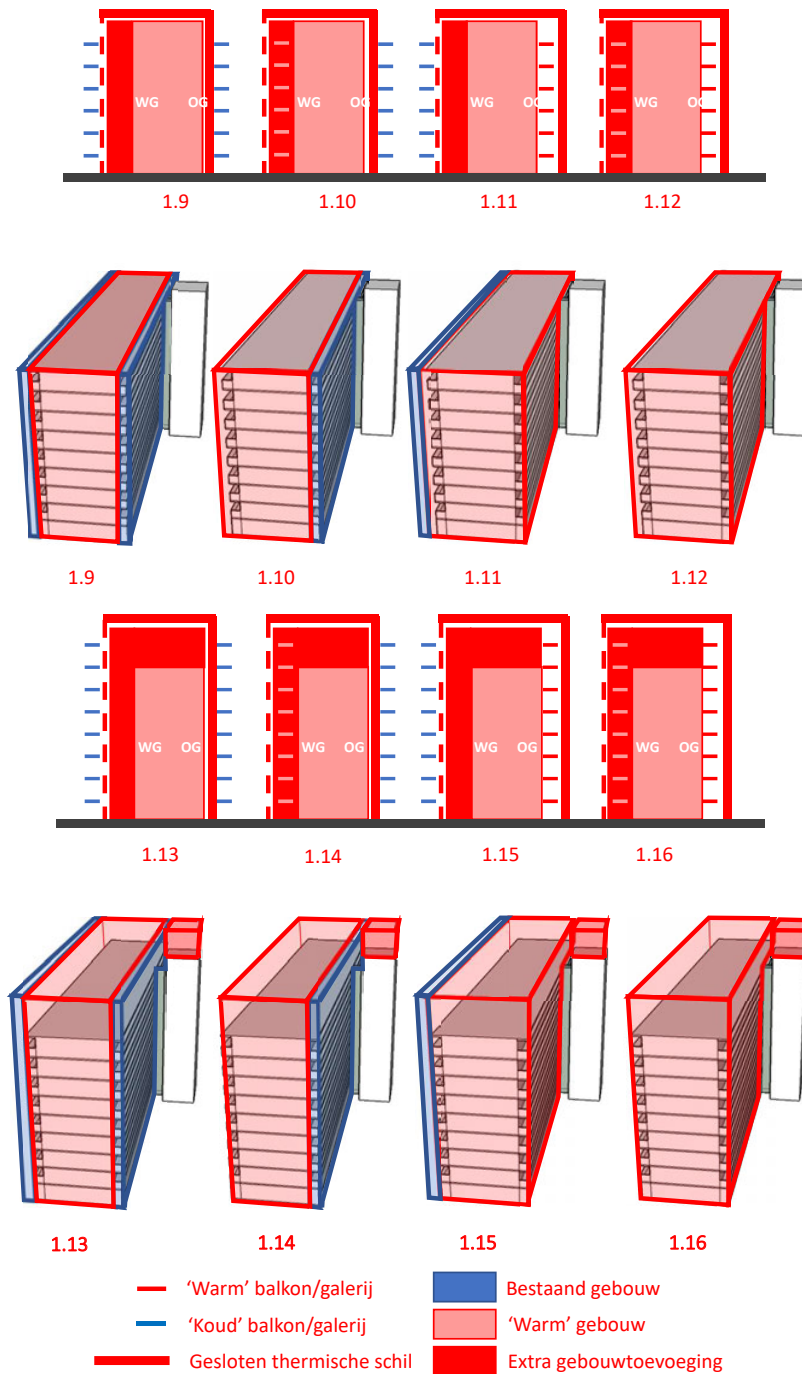


FIG. 6.46 Overzicht mogelijke varianten upgrading aanbouw, aanbouw + opbouw.

Nieuwe gevels, geslotenheid

De mate van geslotenheid van nieuwe gevels varieert van geheel open tot een bepaalde mate van geslotenheid. Hierbij varieert de mate van geslotenheid in horizontale en verticale geleiding van de gevel. De gesloten vlakken dienen ter opwekking van zonne-energie. Figuur 6.47 toont gevels van het rekenmodel. Variant A1 is transparant, variant A2 is geheel gesloten. Variant A1 is alleen mogelijk indien de transparante vlakken ook zonne-energie kunnen oogsten. Variant A2 is niet mogelijk vanwege eisen voor daglichttoetreding in de woning. In het platte vlak zijn daarom principevarianten A t/m E mogelijk met waarbij de mate van geslotenheid, fijnheid van indeling, vlaktype en vlakrichting kan variëren. Varianten B t/m E2 zijn getekend met 50 % geslotenheid. Variant F is een willekeurige indeling. De rechte lijnen kunnen gedraaid of gebogen worden waarbij het principe in stand blijft.

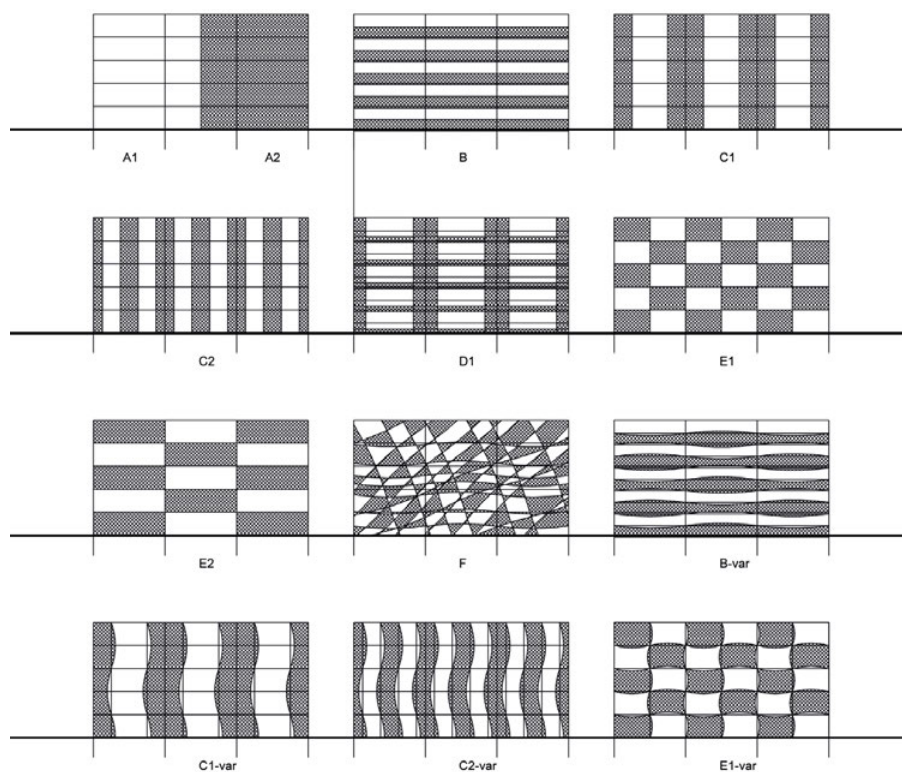


FIG. 6.47 Mate van geslotenheid van vlakke nieuwe gevels, principes.

Uit berekeningen van het gebouwmodel met diverse oriëntaties blijkt dat bij 40 % geslotenheid van de zongerichte en ontsluitingsgevel en bij 100 % geslotenheid van de kopse gevels en dak tot en met 10 woonlagen kan worden voldaan aan de genormeerde gebouwgebonden en gebruikersgebonden energiebehoefte over een jaar gezien zonder overige belemmeringen. In bovenstaande voorbeelden is 50 % aangehouden.

In variant B kan de maatvoering als volgt zijn: gesloten borstwering 1200 mm boven vloer en 200 mm onder bovenkant vloer maakt een totaal vlak van 1400 mm. Bij een verdiepingshoogte van 2800 mm betekent dit 50 % geslotenheid.

In variant C1 kan de maatvoering als volgt zijn: verticale stroken van 3900 mm geeft bij een beukmaat van 7800 mm 50 % geslotenheid, in C2 verticale stroken van 2175 mm.

In variant D kan de horizontale geslotenheid op sommige plekken transparant worden door verticale stroken om gezamenlijk tot 50 % geslotenheid te komen.

In variant E1 en E2 worden in een dambordpatroon vakken gevuld wat leidt tot 50 % geslotenheid.

De nieuwe zongerichte gevels kunnen ook in andere vormen worden ontworpen, zoals vertande gevels waarbij dichte PV-vlakken een zongerichte hoek hebben ten opzichte van het oorspronkelijke gebouw (zie Figuur 6.48). Bij de zongerichte vertande gevels is 50 % van de gevel energieleverend en 50 % transparant voor daglichttoetreding en uitzicht. Door de vertandingsstructuur kan wel beschaduwing optreden. Deze structuur heeft een relatie met de beukmaat van de flat. Het energieopwekkend oppervlak van een vertande gevel is bij een verdraaiing van 45 graden echter $\sqrt{2}$ groter dan een bij een niet-vertande gevel, beide met een geslotenheid van 50 %.

Het aantal vertandingen per beuk is onafhankelijk van de te oogsten energie, de totale oppervlakken blijven immers gelijk. Wel is de schaal van de vertanding van invloed op de architectuur (zie Figuur 6.49).

De vertande gevel heeft in de architectuur twee uitgesproken verschijningsvormen, afhankelijk van de kijkrichting. Dit principe heeft kunstenaar Yaacov Agam in de jaren 80 al onderzocht (Merken, 1981). Van links naar rechts vormt het een gesloten PV-gevel. Van rechts naar links vormt het een open balkongevel.

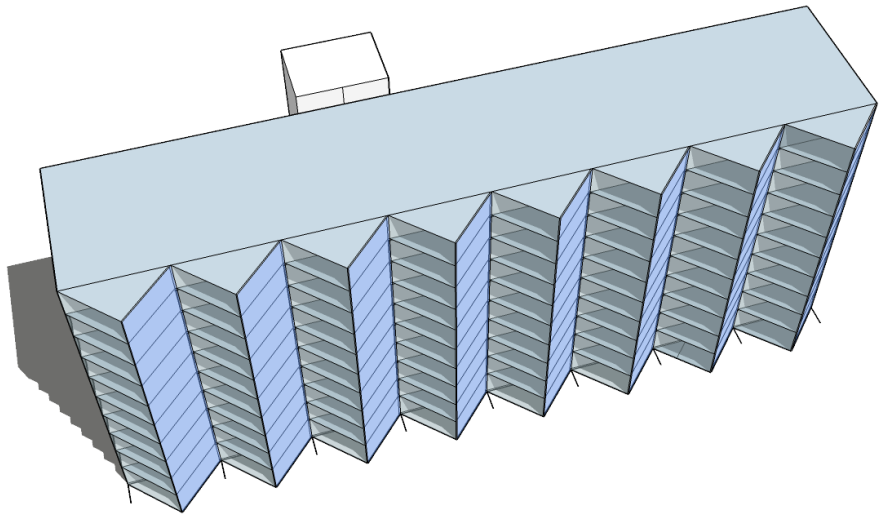


FIG. 6.48 Energieleverende verticale gevel met uitbreiding buitenruimte appartement.

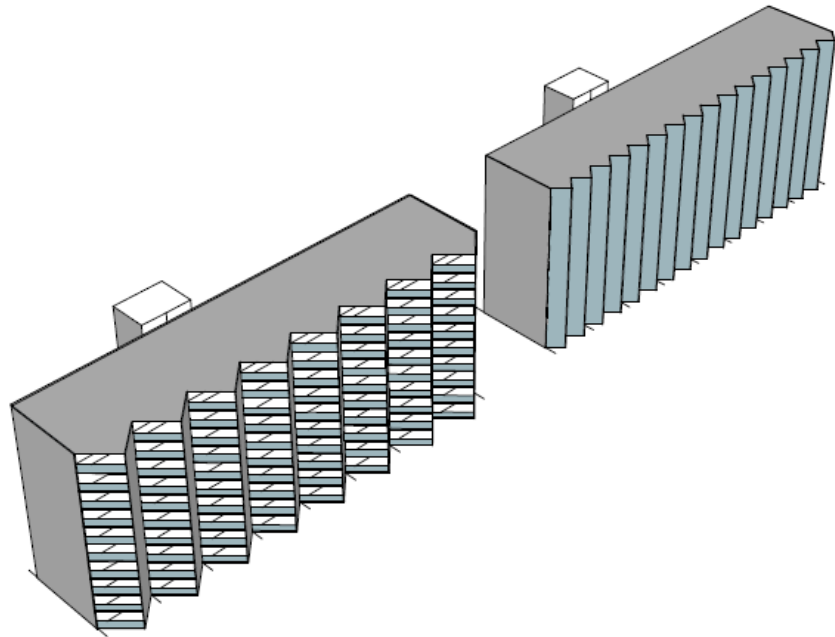


FIG. 6.49 Energieleverende verticale gevel in gebouwmodel in grove en fijne vertanding.

Figuur 6.50 toont het effect van de kijkrichting. De geslotenheid van de gevel bedraagt 50 %. Het linker gedeelte toont een open karakter van de gevel, noodzakelijk voor daglichttoetreding en uitzicht. Het rechter gedeelte van de figuur toont een gesloten gevel. Deze vlakken zijn op het zuiden gericht en zijn energieleverend.

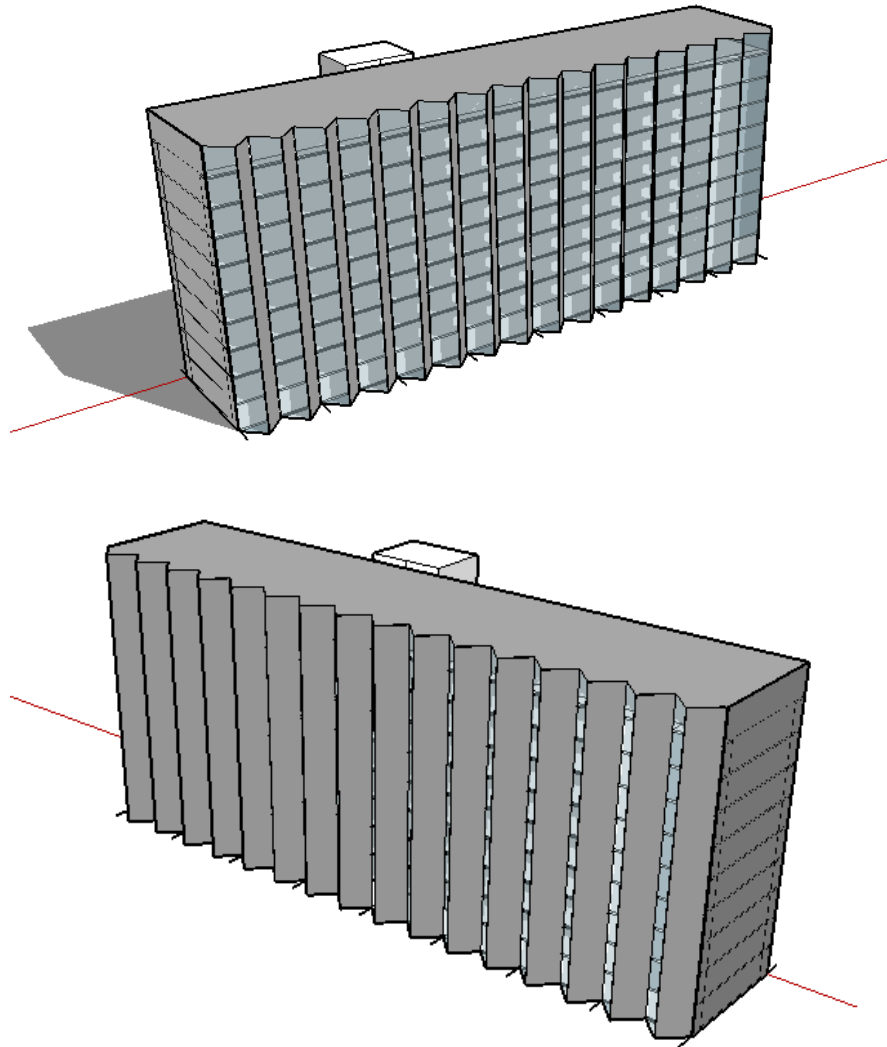


FIG. 6.50 Energieleverende vertande gevel in gebouwmodel. Boven: open karakter, onder: gesloten karakter. Afhankelijk van kijkrichting.

De schaal van de energieopwekkende vertande gevel, grof of fijn zoals in Figuur 6.49 is aangegeven, is onafhankelijk van de mate van geslotenheid van de gevel. Functioneel en architectonisch gezien maakt dit echter wel een groot verschil.

De vertande gevel kan zowel aan de woonzijde als aan de ontsluitingszijde worden toegepast. Aan de woonzijde betekent dit een ruim balkon met een transparante gevel, door de bewoner te openen of te sluiten waardoor het balkon dienst kan doen als onverwarmde serre. Het gesloten deel is aan de buitenzijde voorzien van PV materiaal om energie uit de zon te oogsten. De gevel kan uit prefab bouwdelen in elkaar worden gezet. De breedte van een bouwdeel is de helft van de beukmaat van de flat, de hoogte is verdiepingshoog.

Aan de ontsluitingszijde wordt elektrische energie geoogst uit diffuus licht. Hier zijn beide zijden van de vertanding gesloten zodat per appartement een berging/ technische ruimte ontstaat voor plaatsing van installatietechniek. De nieuwe ontsluitingsstructuur heeft respect voor de overgangszone openbaar-privé en houdt daarom afstand van de bestaande gevel.

Vlakke zonnedaken en serres

Naast de gevels kunnen ook de daken van flatgebouwen dienen als energieleverende vlakken. De grootte van de vlakken kunnen een relatie hebben met de upgradering van de gevel zoals een uitbreiding van de zone met galerijen en de zone met balkons.

Vlakke energieleverende overkappingen voor flatgebouwen worden onderverdeeld in 7 varianten (zie Figuur 6.51):

- D1. Energieleverend dak gelijk aan dak flatgebouw, ca. 100 % PV oppervlak.
- D2. Energieleverend dak gelijk aan flatgebouw met uitkragingen (balkons), ca. 120 % PV oppervlak ten opzichte van D1.
- D3. Energieleverend dak gelijk aan flatgebouw met uitkragingen (galerijen), ca. 120 % PV oppervlak ten opzichte van D1.
- D4. Energieleverend dak gelijk aan flatgebouw met uitkragingen (balkons en galerijen), ca. 140 % PV oppervlak ten opzichte van D1.
- D5. Energieleverend dak overkragend aan ontsluitingszijde flatgebouw. Ca. 140+ % PV oppervlak als variant D4 met een overkraging met een bepaalde mate van transparantie aan de ontsluitingszijde.
- D6. Energieleverend dak overkragend aan ontsluitingszijde flatgebouw. Ca. 140+ % PV oppervlak als variant D4 met een overkraging met een bepaalde mate van transparantie aan de woonzijde.

- D7. Energieleverend dak overkragend zowel aan de ontsluitingszijde als aan de woonzijde van het gebouw. Ca. 140++ % PV oppervlak als variant D4 met twee overkragingen met een bepaalde mate van transparantheid

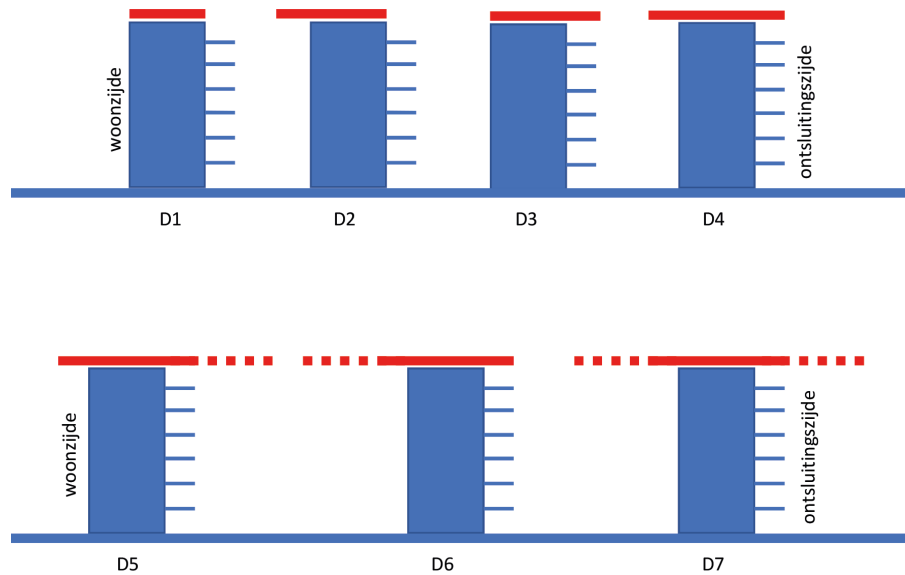


FIG. 6.51 Doorsnede flatgebouw met 7 varianten van energieleverende overkappingen.

De volgende percentages aan energieleverend dakoppervlak toegekend aan 1 appartement bij 4, 6, 8, 10 en 12 woonlagen staat vermeld in Figuur 6.52. De genoemde percentages zijn constant en onafhankelijk van de varianten en afmetingen van het flatgebouw.

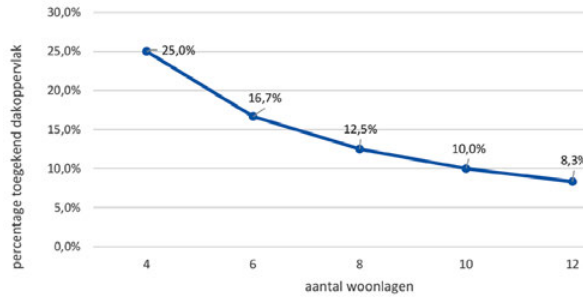


FIG. 6.52 Relatie tussen aantal woonlagen bij een gelijkblijvend toegekend dakoppervlak per appartement.

Een appartementengebouw tot en met 4 woonlagen kan door gebruik te maken van energieopwekking op het dakvlak voorzien in de benodigde opwek van duurzame energie voor een NOM-uitvoering van de renovatie. Daarboven is het dakvlak te klein om voldoende duurzame energie te kunnen opwekken.

Als het benodigd dakoppervlak bij 4 woonlagen 100 % is, dan neemt voor dezelfde hoeveelheid toe te kennen energie bij meer dan 4 woonlagen het benodigd dakoppervlak toe met 25 % per extra woonlaag, zie Figuur 6.53.

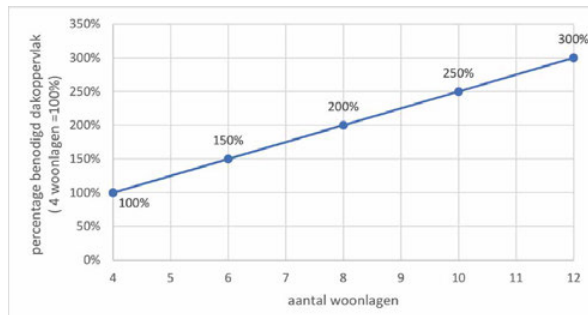


FIG. 6.53 Relatie tussen aantal woonlagen en het benodigd dakoppervlak bij een gelijkblijvend toegekend dakoppervlak per appartement.

De zongerichte (woon)gevels kunnen ook dienen als energieleverende oppervlakken. In combinatie met de 7 varianten van energieleverende overkappingen levert dit de volgende 3 energieleverende gevelposities op:

- G1 Geveloppervlak energieleverend aan zongerichte (woon)gevel.
- G2 Geveloppervlak serrezone energieleverend aan zongerichte (woon)gevel.
- G3 Geveloppervlak serrezone ten dele energieleverend aan zongerichte (woon)gevel door bschaduwung van overkapping.

De posities van energieleverende overkappingen (D1-D7) bepalen welke gevelposities toegepast kunnen worden (G1-G3), zie Figuur 6.54.

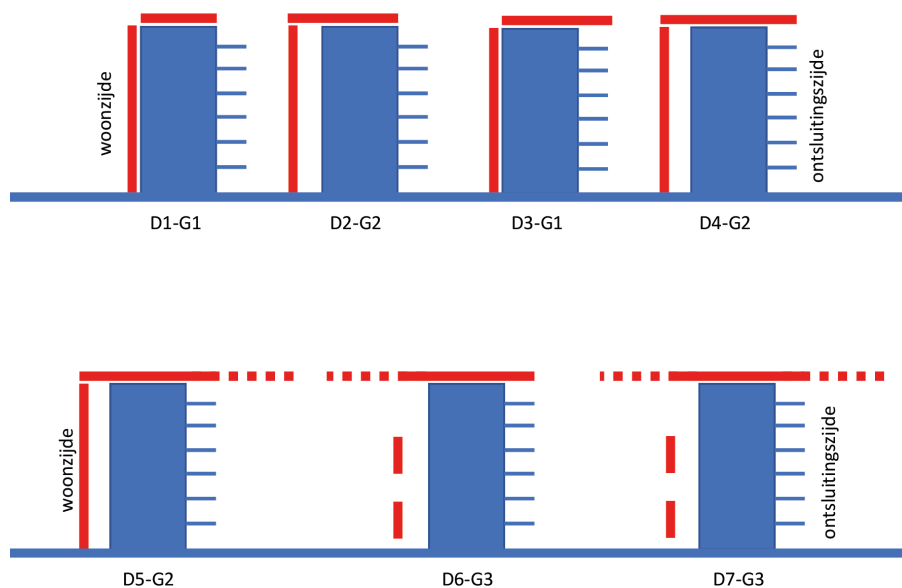


FIG. 6.54 Doorsnede flatgebouw met 7 posities van energieleverende overkappingen (D1-D7) in combinatie met 3 posities energieleverende gevels (G1-G3).

De geveloppervlakken kunnen vlak zijn of andere vormen hebben zoals golfvormen of vertande vormen voor opvang van zonne-energie in combinatie met uitzicht vanuit het appartement.

Daarnaast kunnen kopgevels ingezet worden voor energieopwekking.

Buiten de systeemgrens van het gebouw kunnen objecten voor beschaduwing zorgen, zoals andere nabij gelegen gebouwen en bomen. De opwekking op geveloppervlakken kan hierdoor belemmerd worden.

De vormgeving van de daken kan vlak (horizontaal of schuin) of gebogen (waaronder gegolfd) zijn.

Schuine zonstralingsvlakken

Het vergroten van zonstralingsvlakken heeft een positieve invloed op de hoeveelheid op te wekken energie. Vergroting van instralingsvlakken kan op diverse wijzen plaatsvinden ten opzichte van het huidige instralingsvlak.

Dakvlakken kunnen breder en/of langer worden gemaakt in hetzelfde vlak als het bestaande dakvlak. Het vervormen van dakvlakken kan een extra instralingsoppervlak geven. De mate van vervorming is afhankelijk van de mate van optredende schaduwvlakken wat de extra zonne-energieopbrengst negatief kan beïnvloeden. Bij vergroting van een horizontaal dakvlak door verbreding en/of verlenging is de energiewinst recht evenredig met het extra beschikbare oppervlak. Bij vervormde dakvlakken kan extra oppervlak worden bereikt door het vouwen of golven van de dakvlakken. Hierbij kunnen echter dakvlakken ontstaan die geen optimale ligging ten opzichte van de positie van de zon hebben.

Figuur 6.55 presenteert een optimale positie van energieleverende vlakken ten opzichte van de positie van de zon waarbij schaduwwerking wordt vermeden door de horizontale afstand tussen de vlakken onderling tussen bepaalde tijdstippen. Deze positie wordt veel toegepast bij zonnepanelen.

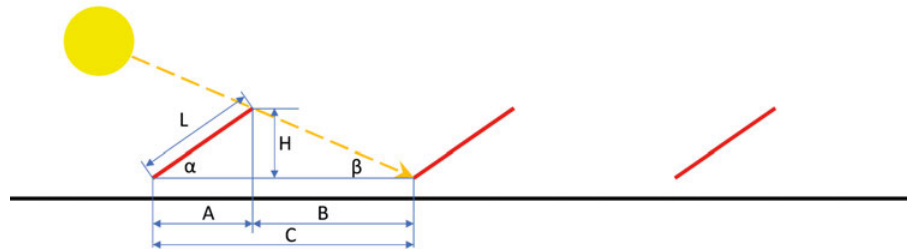


FIG. 6.55 Positie van hellende energieleverende vlakken op een horizontaal vlak ten opzichte van de positie van de zon en ten opzichte van elkaar.

De hoek α is de hellingshoek van het zonnepaneel ten opzichte van het horizontale vlak. De hoek β is de hoek van de zon ten opzichte van het horizontale vlak. De hoogte H wordt berekend als gevolg van de hoek α en de paneellengte of -breedte L . De horizontale afstanden A , B en C worden als volgt berekend:

$$A = L \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$H = L \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

$$B = H / \tan \beta = L \cdot \sin \alpha / \tan \beta \quad (3)$$

$$C = A + B \quad (4)$$

De meest gunstige hoek α onder een bepaalde oriëntatie wordt bepaald aan de hand van de Tabel van Hespul. Een hellingshoek α tussen 35 graden en 40 graden in combinatie met een oriëntatie van -15 graden tot 5 graden ten opzichte van het zuiden is voor locatie Utrecht optimaal. De hellingshoek β heeft een relatie met beschaduwing door de panelen op achterliggende panelen. Figuur 6.56 toont de zonshoogten bij zomer (21 juni), winter (22 december) en de gemiddelde periode (21 maart tot en met 23 september).

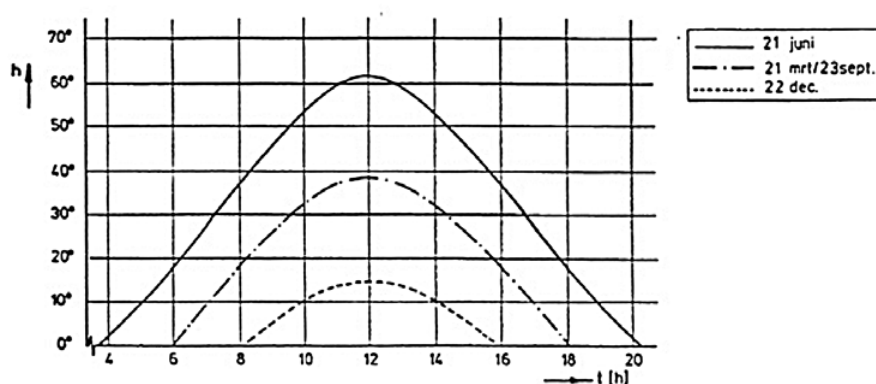


FIG. 6.56 Zonshoogte op drie kenmerkende data voor 52° N.B. Overgenomen uit *Zonnestralingsrichting* door E. van het Schip, 2015 (<http://wiki.bk.tudelft.nl/bk-wiki/Zonnestralingsrichting>).

Bij een schaduwvrije tijd van 10.00 uur tot 14.00 uur op 22 december geldt een laagste waarde van de zonshoogte h (hellingshoek β) van 10°, bij een schaduwvrije tijd van 10.00 uur tot 14.00 uur in de periode van 21 maart tot en met 23 september geldt een laagste waarde van de zonshoogte h (hellingshoek β) van 32°. Op 22 december om 12.00 uur is het hoogste punt van de zonshoogte 14°32'. Bij deze zonshoogte zijn alle achterliggende panelen niet beschaduwd bij de berekening van de minimale maten B en C.

Voor de breedtegraad 52° N.B. gelden, voor geen beschaduwing van achterliggende panelen bij een paneellengte van 1 m (liggend formaat) met een hellingshoek (α) van 37°, de data, tijdstippen en maten volgens Tabel 6.21 en Figuur 6.57.

TABEL 6.21 Minimale afstand tussen zonnepanelen met een lengte van 1 m bij een elevatie van 37° op twee kenmerkende data voor 52° N.B.

datum	tijdstip	zonnehoek β	A ($\alpha=37^\circ$)	B	C
22 december	10:00-14:00	10°	0,80 m	3,41 m	4,21 m
22 december	12:00	14°32'	0,80 m	2,32 m	3,12 m
21 maart-23 september	10:00-14:00	32°	0,80 m	0,96 m	1,76 m

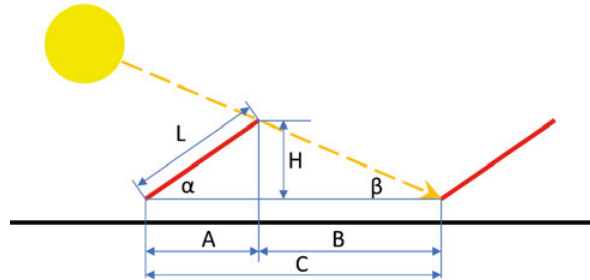


FIG. 6.57 Minimale afstand tussen zonnepanelen met een lengte van 1 m bij een elevatie van 37° op twee kenmerkende data voor 52° N.B.

Hoe groter de afstand tussen de hellende zonnepanelen, des te kleiner beschaduwing van panelen op achterliggende panelen in de winterperiode, maar des te minder aantal toe te passen panelen.

Figuur 6.58 toont energieopwekkende vlakken in een horizontaal vlak. Omdat de vlakken niet in een gunstige hoek staan ten opzichte van de zon is de opbrengst minder. Volgens de Tabel van Hespul bedraagt dit 86 % ten opzichte van 100 % bij een hellingshoek van 37°. Het aantal horizontale zonnepanelen dat kan worden toegepast is beduidend hoger (312 %). Het verschil in opbrengst is dan $3,12 \times 86 \% : 1 \times 100 \% = 2,68$ meer opbrengst bij 3,12 keer meer panelen binnen hetzelfde grondoppervlak. Bij een horizontale ligging is meer kans op vervuiling van het PV-materiaal.

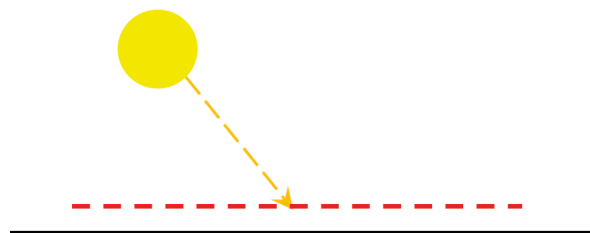


FIG. 6.58 Energieopwekkende vlakken in een horizontaal vlak.

Oppervlakken voor oogsten van energie kunnen vergroot worden door deze te vouwen of te buigen.

Figuur 6.59 toont een gevouwen vlak. Bij een hellingshoek α met een vouwlengte van L bedraagt de waarde van A :

$$A = L \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

$$\text{Als } \alpha = 0^\circ \text{ dan } A = L \quad (6)$$

Bij een hellingshoek $>0^\circ$ bedraagt de *extra* vouwlengte $L-A$

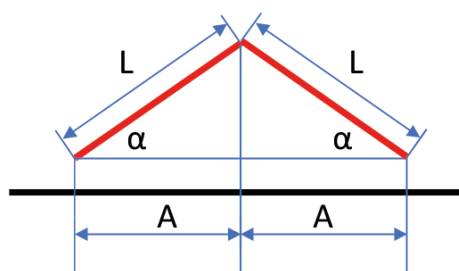


FIG. 6.59 Energieopwekkende vlakken in een gevouwen vlak.

Stel:

$$L = 1000 \text{ mm,}$$

$$\alpha = 15^\circ,$$

$$\text{dan } A = L \cdot \cos \alpha = 1000 \cdot \cos 15^\circ = 1000 \cdot 0,966 = 966 \text{ mm}$$

De extra vouwlengte ten opzichte van een plat vlak is $1000-966 = 34 \text{ mm} = 3,4 \%$.

Stel:

$$L = 1000 \text{ mm,}$$

$$\alpha = 30^\circ,$$

$$\text{dan } A = L \cdot \cos \alpha = 1000 \cdot \cos 30^\circ = 1000 \cdot 0,866 = 866 \text{ mm}$$

De extra vouwlengte ten opzichte van een plat vlak is $1000-866 = 134 \text{ mm} = 13,4 \%$.

Het vouwen van dakvlakken kan beschaduwing geven bij lage zonnestanden. Een oost-west oriëntatie van dakvlakken geeft volgens de tabel van Hespul (zie Figuur 3.13) onder een hellingshoek van 15° en 30° een opbrengst van 84% resp. 80% ten opzichte van een zuidgericht vlak onder $35-40^\circ$.

Een noord-zuid oriëntatie van gevouwen dakvlakken geeft volgens de tabel van Hespul onder een hellingshoek van 15° en 30° een opbrengst van 84 % resp. 80 % ten opzichte van een zuidgericht vlak onder 35-40°. De noordgerichte panelen leveren ca. 30 % op ten opzichte van een zuidgericht vlak onder 35-40°. De zuidgerichte panelen geven volgens de tabel van Hespul onder een hellingshoek van 15° en 30° een opbrengst van 95 % resp. 99 % ten opzichte van een zuidgericht vlak onder 35-40°. Gezamenlijk komt daarmee de opbrengst op 62 % resp. 65 %. Een oost-west gevouwen dak is daarom aan te bevelen.

Het golven van dakvlakken

De golven worden als sinusoiden beschreven met de wiskundige formule:
 $y = b \sin(cx)$.

De sinusoiden wordt bepaald door de amplitude (b) en de lengte van de periode ($2\pi/c$).

De booglengte die door het golven ontstaat ten opzichte van de oorspronkelijke (rechte) lengte geeft extra lengte van het vlak.

Voor de berekening van de booglengte wordt een numerieke benaderingsmethode van een integraal toegepast omdat de meeste integralen met wortel niet analytisch te berekenen zijn.

Een stukje booglengte (ds) wordt berekend door middel van dx en dy: $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ (zie Figuur 6.60).

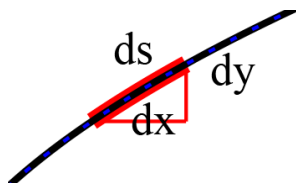


FIG. 6.60 Stukje booglengte. Overgenomen uit *Toepassing integraalrekening: Booglengte* door Wisnet-HBO, 2009 (<http://www.wisnet.nl/courses/WisnetMetha/HBOWISKUNDE/Integraalrekening/Booglengte/booglengte.pdf>).

Met de parameters *integraal* (die numeriek in 2000 stappen wordt bepaald), *amplitude* en *periode* wordt de lengte van de golf bepaald.

Als voorbeeld (zie Figuur 6.61) wordt de booglengte bepaald met de volgende parameters:

- Golfengte: 10 m.
- Periode: 1 m.

De booglengte over 1 hele golf bedraagt daarmee 10,92 m op een lengte van 10 m. Dus het vervormen van het dakvlak met bovengenoemde parameters geeft 9,2 % meer oppervlak bij gelijkblijvende breedte.

De golfengte (periode) en amplitude bij een gebouw met beukmaten van 7,80 m geeft in verhouding het beeld volgens Figuur 6.62 en Figuur 6.63. Een golf met een kleine periode en een hoge amplitude geeft uiteraard een grotere booglengte dan een golf met een grotere periode en een lagere amplitude. De golven zijn bedoeld om extra PV-oppervlak te genereren. Bij diepe kleine golven treedt snel beschaduwing op en zullen daarom minder efficiënt zijn. Door middel van een bezonningsstudie kan een optimum bepaald worden afhankelijk van de gewenste periode van de golf in maatrelatie met de beukmaat van het gebouw, de amplitude van de golf, de ligging in Nederland en de situering van de golven ten opzichte van de zon. De opbrengst is daarbij afhankelijk van de efficiency van het type PV-paneel/folie dat wordt toegepast.

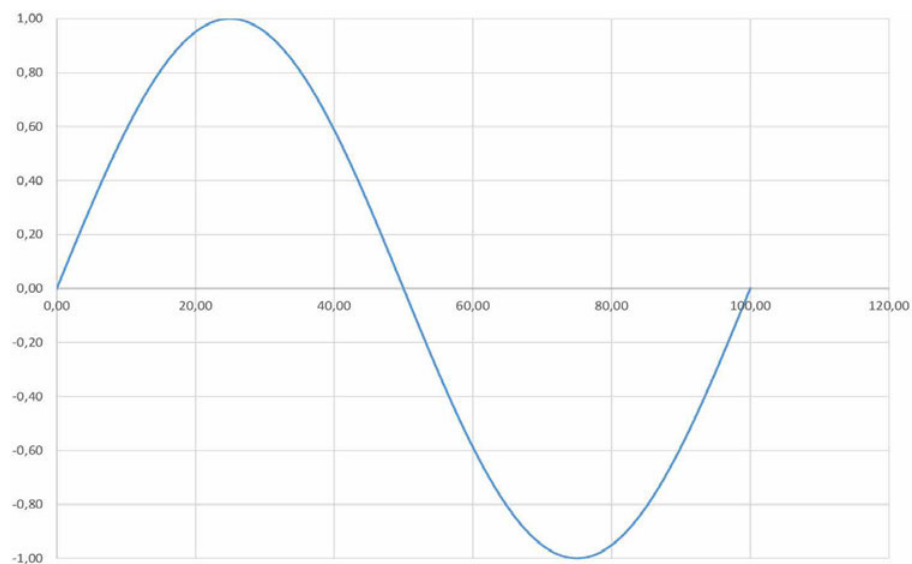


FIG. 6.61 Bepaling booglengte bij een amplitude van 1 m en een golfengte van 10 m (let op: amplitude en golfengte zijn weergegeven in verschillende schalen).

Een golvend dak als beëindiging van een flatblok kan architectonische kwaliteiten hebben.

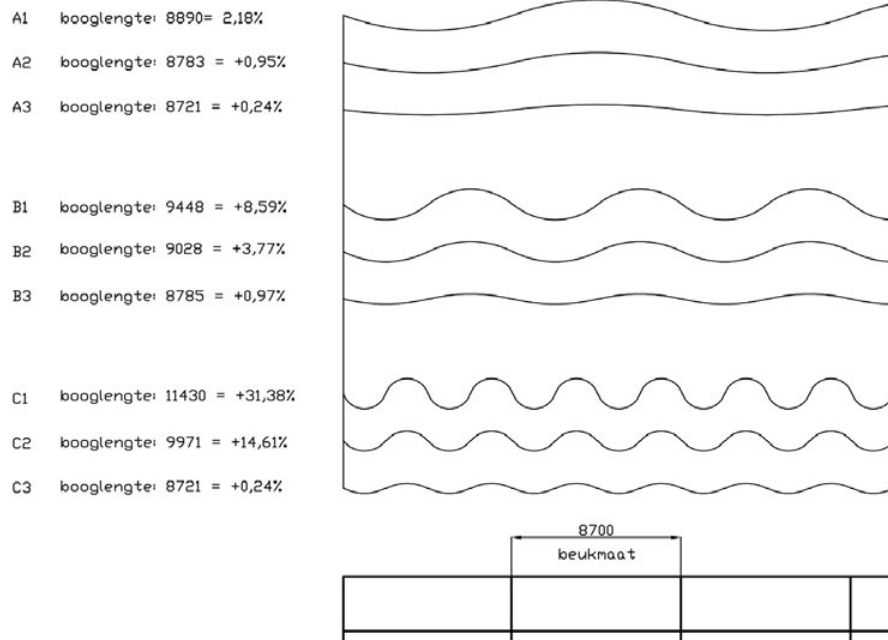


FIG. 6.62 Golfengten A, B en C met wisselende amplitudes ten opzichte van beukmaat gebouw.

Bij verscalen van een golf blijft de totale booglengte, beschouwd over een gelijkblijvende beukmaat, hetzelfde (zie Figuur 6.63: B1-v en B1).

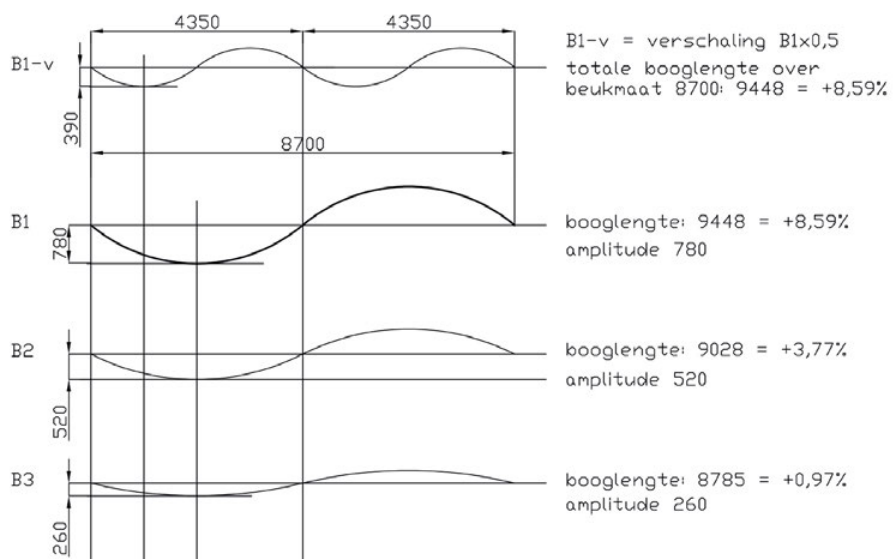


FIG. 6.63 Golf lengten B met wisselende amplitudes ten opzichte van beukmaat gebouw.

Figuur 6.64 toont schuine dakvlakken voor PV-toepassing.

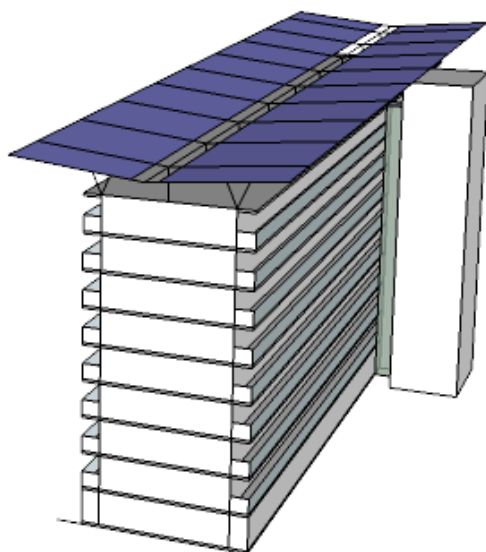


FIG. 6.64 Schuine PV-daken op een bestaand volume als extra energieopwekker.

Overcladding

Een gebouw leeft. Het wordt geboren, ondergaat allerlei veranderingen, gaat met zijn tijd mee en vertoont ouderdomsgebreken. Een gebouw voor de eeuwigheid behouden is slechts voor enkele weggelegd. Wederopbouw hoogbouw kan nog een tweede kans krijgen door het ondersteunen van het bestaande. Ondersteunen van tekortkomingen van gebouwen en behoud van bestaande kwaliteiten geeft meer waarde dan vernieuwen als plastische chirurgie. De verbinding tussen interieur en exterieur blijft immers bestaan. De ondersteuning voor een verlengd leven is als een exoskelet: de overcladding. Aan de buitenzijde worden tekortkomingen weer geüpgraded in de vorm van amoveren van ontsluitingselementen met einde fysieke levensduur, soms een gedeelte van de draagstructuur, van de ontsluitingsstructuur zonder oog op het overgangsgedebied openbaar/privé en met functionele tekortkomingen en van ongezonde elementen door een nieuwe structuur. Moderne installatietechnieken, met oog op gezondheid en wooncomfort, worden toegevoegd: het initiële ontwerp heeft hier weinig rekening mee gehouden. De overcladding biedt aan de zongerichte woonzijde ruimere buitenruimten met energieopwekkende

vlakken en overgangszones die door de bewoners zelf geklimatiseerd kunnen worden door het wel of niet dichtschuiven van transparante vlakken in de nieuwe schil. Aan de ontsluitingszijde herbergt de overcladding de nieuwe installatietechniek, onderhoudbaar zonder bewoners lastig te vallen, en vervangt het bestaande niet-sociale overgangsgebied openbaar-privé door een nieuwe overgangszone met een socialer en interactievere respectvolle benadering hiervan. Het ontwerp van de overcladding houdt rekening met hergebruik van het skelet als de oorspronkelijke flat haar einde gebruiksduur nadert door de nieuwe materiaalkeuze met zo laag mogelijke embodied energie en met elementen en componenten die gemakkelijk uit elkaar te halen, bereikbaar en overgedimensioneerd zijn voor later flexibeler hergebruik. Het materiaalgebruik veroorzaakt een zo laag mogelijke CO₂ uitstoot. Gematerialiseerd kan dit bestaan uit cross laminated timber (CLT) houten draagconstructie met galerij- en balkonplaten van ultrahogesterktebeton (UHSB), voorzien van uitwisselbare veiligheidsglazen borstweringen met energieopwekkende delen. De CLT-elementen houden CO₂ vast over de levensduur van het materiaal. Doordat CLT-elementen goed her te gebruiken zijn en te recyclen wordt de CO₂ als onderdeel van vorming van het hout voor langere tijd opgeslagen.

De energetische upgrade van de Wederopbouw hoogbouwflats geschiedt optimaal circulair en zo veel mogelijk energieleverend. Optimaal voor dit moment houdt in dat nog niet circulaire materialen nog onderdeel zijn van de upgrade, zoals PV-panelen. Aanbeveling is om ook voor PV-panelen circulaire kwaliteiten te ontwikkelen. Dit in combinatie met een meer sociale en toegankelijke ontsluitingsstructuur bij flats met galerijontsluiting en een toegankelijke plattegrondindeling.

Functionele en technische upgrading

In functioneel opzicht vertonen de appartementen indelingen die niet meer bij de wensen van de bewoners van deze tijd passen. Vaak zijn de keukens als een gesloten keuken uitgevoerd met een relatief kleine woonkamer. Gangen in de woningen zijn niet breed genoeg voor comfortabel rolstoelgebruik. De toilet en badruimten met bijbehorende riolering en ventilatie zijn verouderd en aan vernieuwing toe. Entrees van hoge flatgebouwen zijn esthetisch benauwd en niet uitnodigend. De plinten van hoge flatgebouwen als overgang van het flatgebouw naar de directe omgeving zijn vaak gesloten en kunnen mensen een sociaal onveilig gevoel geven. De galerijen beschermen vaak niet tegen weer en wind en anonimiteit is een laag gewaardeerde eigenschap van hoge woongebouwen met galerijontsluiting. Een positieve eigenschap is het vaak prachtige uitzicht vanuit de woonzijde over een meestal groen gebied.

Vanwege het rationele bouwsysteem van het bestaande gebouw met veel herhaling kunnen de ambachtelijke voorbereidende werkzaamheden planmatig, herhalend en rationeel uitgevoerd worden. De nieuw aan te bouwen modulaire componenten kunnen vervolgens door deze voorbereiding extreem efficiënt aangebracht worden waardoor een acceptabele totale kostprijs kan ontstaan.

Door het in het algemeen ontbreken van leidingsystematieken in Wederopbouwflats (zoals Matura of Slimbouwen, zie Paragraaf 2.4.3 resp. 2.4.4) kosten bijvoorbeeld badkamerrenovaties nu meer arbeid en geld met meer overlast voor de bewoners dan wanneer een dergelijke systematiek wel aanwezig was geweest.

De kans op het aantreffen van Zeer Zorgwekkende Stoffen ('Zorgstoffen') in de voorbereidingsfase, zoals asbesthoudende materialen, is zeker aanwezig. De Wederopbouwflats zijn immers gebouwd voor het Asbestbesluit in 1978 waarmee de productontwikkeling met asbesthoudende materialen aan banden werd gelegd (Harmsma, & Mulder, 2006; Thijssen, 1990). Een renovatiescenario kan zijn om vermoedelijke plaatsen met asbesthoudende materialen (zoals asbesthoudende kisten, kozijnvullingen en afvoerbuizen) ongeroerd te laten.

De diverse lagenbenaderingen zijn ontwerphulpmiddelen voor nieuwbouw. Bij upgradering van de bestaande woningvoorraad kan de kwaliteit van woningplattegronden voor verandering aan de hand van de diverse lagenbenaderingen worden gedefinieerd. Een bestaande woningplattegrond kan al dan niet gewenste verscheidenheid en verandering verdragen. Bij upgradering door aanpassing of vernieuwing kunnen de lagenbenaderingen worden toegepast, nu met respect voor bereikbaarheid en losmaakbaarheid van elementen of componenten voor later hergebruik of recycling. De lagenbenaderingen kunnen nu ook circulair materiaal-, element-, of componentgebruik dienen.

Een primaire voorwaarde voor de technische upgradering is volgens de lagenbenadering het voldoende functioneren van de bestaande hoofddraagconstructie volgens de huidige eisen aan de constructie. Indien de hoofddraagconstructie niet meer voldoende functioneert en niet kan worden aangepast of gerepareerd, dan is sloop van de draagconstructie, en daarmee van het gehele het gebouw, onvermijdelijk. De laag 'schil' wordt geüpgraded, de laag 'installaties' geheel vernieuwd. Een technische upgradering is de samenhang tussen een bouwtechnische upgradering en een installatietechnische upgradering binnen de context van gewenste architectuur.

Energetische upgrading

De energiehuishouding van flatgebouwen uit de Wederopbouwperiode moet worden gemoderniseerd. Bij de totstandkoming van de flatgebouwen waren de energetische eisen zeer laag ten opzichte van nu wenselijk geacht wordt. Thermische isolatie in de schil van het gebouw met een dikte van 10 of 20 mm uitgevoerd in polystyreen was normaal. Tegenwoordig zijn thermische isolatiedikten, afhankelijk van de gekozen kwaliteit, van 200 mm heel normaal en bij energetische upgrades volgens de passiefhuis methode nog veel dikker. De thermische isolatie is een onderdeel van de te behalen BENG 1-eis. Ingrijpend te renoveren woningen moeten ook aan deze minimale nieuwbouweisen voldoen. Duidelijk is dat het isoleren van bestaande spouwmuren met een diepte van ca. 70 mm niet voldoende is om aan gewenste thermische isolatie-eisen te voldoen. Het Bouwbesluit stelt minimale warmteweerstanden (R_c) voor de constructie van de gevels, vloeren en daken in de thermische schil van ingrijpend te renoveren woningen (de R_c -waarde voor een gevel heeft een waarde van minimaal $4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$, voor vloeren $3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ en voor daken $6,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ volgens het Bouwbesluit 2012 met de aanscherping per 1 januari 2015). Beperking van de energievraag door onder andere thermische isolatie, kierdichting, energieteerugwinning en benodigde installatietechniek voor ruimteverwarming en ventilatie bepalen in grote mate de totaal benodigde gebouwgebonden energievraag. Hoe hoger de thermische isolatie, des te lager de energievraag voor ruimteverwarming. Een R_c -waarde voor de gevel van $7,5 \text{ m}^2\text{K/W}$, voor de vloer van $7,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ en voor het dak van bijna $10 \text{ m}^2\text{K/W}$ bij uitvoering volgens Passief Bouwen is daarvoor een normale waarde (zoals toegepast in de case Arnhem Presikhaaf, zie Paragraaf 5.2). De benodigde dikte van het isolatiemateriaal als onderdeel van de totale gevelconstructie is afhankelijk van de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ -waarde) van het isolatiemateriaal. Hoe lager de λ -waarde, des te minder dikte het isolatiemateriaal heeft bij een gelijkblijvende isolatiewaarde.

Een energetische upgrade van bestaande woningbouw bestaat uit de upgrading van de schil van de woning en van installaties in de woning.

De volgende mogelijke maatregelen zijn van toepassing voor de schil van een woning:

- Vorm/compactheid (compactere vorm door dicht trappenhuis, afgeschermd galerijen, balkon serre).
- Upgrade isolatiewaarde vloer, wand, dak.
- Vervangen bestaande kozijnen in kozijnen met thermische onderbrekingen, voorzien van hoogrendement dubbel- of triple glas.
- Betere luchtdichtheid door betere kierdichting.

- Extra zonwering ter voorkoming van oververhitting.
- Groendak.
- Eventueel aanpassen hoeveelheid daglichttoetreding in relatie tot architectuur.

Bij een energetische upgrade van bestaande woningbouw zijn de volgende maatregelen van toepassing in de woning zelf:

- Verlichting met hoge efficiëntie.
- Mechanische ventilatie met warmteterugwinning.
- Verwarmingsinstallatie (evt. koelinstallatie).
- Ruimtetemperatuurcontrole.
- Monitoring met feedback.
- Warmwaterinstallatie.
- Elektrische installatie voor koken.
- Elektrische installatie.
- Duurzame energieopwekking (water-water/water-lucht warmtepomp, PV, zonnecollector, warmwateropslag).
- Energie-efficiënte apparaten.
- Rioleringsysteem met warmterugwinning (zoals een douche-wtw).

Gevolgen van deze maatregelen zijn kosten, de duur van de terugverdientijd en extra gevolgen voor het milieu (Hong, Deng, Ezeh, & Peng, 2019).

De toe te passen materiaaleigenschappen voor bepaling van het gebouwgebonden energiegebruik zijn afhankelijk van de gestelde te behalen energieambitie in het gebouwmodel en kan met conventionele berekeningsmethoden, zoals de BENG-methode, worden bepaald.

Thermische zonering in plattegronden (zie Paragraaf 2.5.8) betekent dat de temperatuur in de verschillende vertrekken niet gelijk hoeft te zijn. Slaapkamers kunnen lager van temperatuur zijn dan woonkamers. Er kunnen zelfs ongeïsoleerde vertrekken naast geïsoleerde vertrekken voorkomen, zoals een ongeïsoleerde serre aan een verblijfsruimte. De scheidingsconstructies benodigen daarbij dan wel een bepaalde mate van thermische isolatie. Voor grondgebonden woningen kan de woonverdieping een hogere temperatuur hebben dan de slaapverdieping. De woonverdieping kan daarom thermisch beter geïsoleerd zijn dan de slaapverdieping. Voor een gelijkvloerse galerijflatwoning zou de ontsluitingszone met daaraan gelegen slaapkamers een andere temperatuur kunnen hebben dan de zongerichte woonkamer, of een slaapkamerbeuk een andere temperatuur dan de woonkamer/keuken beuk, afhankelijk van de plattegrond.

Het energetisch renoveren en het functioneel renoveren wordt vaak losstaand beschouwd van elkaar. Echter een woning die voldoende energetisch gerenoveerd is vanwege de beperking van CO₂, maar die tegelijkertijd functioneel niet aangepast is ondanks zich wijzigende doelgroepen, is door de lock-in mogelijk een verloren kans.

Voor de energetische upgrading is de beperking van de energievraag, hergebruik van reststromen, duurzame energieopwekking en energieopslag aan de orde. Voor de functionele upgrading (volgens veranderde gebruikseisen) gelden de kwaliteiten van de bestaande plattegronden en de mogelijkheden tot verandering hierin. Zo nodig kan door vernieuwing de gewenste kwaliteit bereikt worden.

6.2.9 Modulaire industriële upgrading

Industrieel upgraden van een bestaand woongebouw is complexer dan alleen industrieel nieuw bouwen. Industriële upgrade van een bestaand woongebouw is de combinatie tussen het technische en ruimtelijke systeem van het bestaande gebouw en een nieuw industrieel vervaardigd technisch systeem met een interface als koppeling tussen beide systemen. De interface heeft een relatie met de eigenschappen van de te koppelen systeemelementen binnen elk van de systemen binnen een bepaalde systeemcontext (zie Figuur 6.65). De interface geeft het bestaande gesloten systeem nieuwe systeemeigenschappen voor de relatie met het nieuwe upgradesysteem. Het is daarom van belang dat de interface goed gedefinieerd is om optimaal aan te sluiten op het bestaande systeem en op het nieuwe upgradesysteem.



FIG. 6.65 De relatie tussen een nieuw systeem en een bestaand systeem bij upgrading van een bestaand gebouw als systeem.

Het aanpassen van bestaande systeemelementen en het aansluiten van de interface aan het bestaande systeem kosten veel ambachtelijke uren in situ. Vervolgens kan het overige proces van de upgrading plaatsvinden. Hoe minder relaties tussen beide systemen, des te sneller geüpgraded kan worden en des te betere kansen voor de gewenste losmaakbaarheid van de nieuw toegevoegde upgrade ten behoeve van circulair hergebruik van materialen, elementen of componenten hiervan in

de fase van demontage bij einde levensduur van de upgrade. Als een gebouw als een materialenbank gezien wordt, dan kan op basis van de lagenbenadering met bijbehorende tijdcyclussen een voorspelling worden gedaan in tijd voor aanbod van geïdentificeerd materiaal zodat de vraag te zijner tijd zich daarop kan aansluiten. Voorwaarde daarvoor is Design for Disassembly of toepassing van bereikbare modulaire elementen en componenten.

Bij upgrading van een Wederopbouwflat hebben de volgende subsystemen van het bestaande systeem een relatie met de interface tussen het bestaande en het nieuwe systeem:

- De draagconstructie: om het nieuwe upgradesysteem aan te kunnen brengen moeten verouderde of volgens de huidige eisen niet-functionerende systeemelementen van de draagconstructie hersteld of aangepast worden. Een voorbeeld is het verhelpen van bouwfysische gebreken (zoals ongewenste thermische bruggen ter plaatse van aangestorte consoles of doorgestorte vloeren) en het herstellen van aangetaste wapening in betonconstructies.
- Het façadesysteem: daglichtvoorzieningen zijn opgenomen in de bestaande façade. Bij een dragende façade met vaste daglichtopeningen betekent dit voor de nieuwe façade een maatrelatie met de daglichtopeningen in de bestaande façade. Bij een niet-dragende bestaande façade kan de gehele façade vernieuwd worden met een eigen maatsysteem binnen het kader van het maatsysteem van het totale façadeonderdeel. Het ventilatiesysteem kan een relatie hebben met het façadesysteem. De thermische schil van het gehele gebouw wordt aangepast of vernieuwd om de energievraag te beperken en om duurzame energie op te wekken.
- De bestaande technische installaties zijn vaak niet toereikend voor de nieuwe wensen voor de warmtevraag zoals voor ruimteverwarming en warmtapwater. De bereikbaarheid van leidingen is vaak slecht, bijvoorbeeld door de integratie met de constructie. De woningplattegronden zijn technisch slecht voorbereid voor het toelaten van nieuwe installatietechnieken zoals lage temperatuur ruimteverwarming en gebalanceerde ventilatie. Dit betekent inbreuk op andere bestaande lagen om hiervoor ruimte te creëren. Vanwege de vele kieren die aanwezig zijn in de gevels is de oorspronkelijk aangebrachte ventilatievoorziening minimaal. Natuurlijke toevoer met mechanische afvoer is een veelvoorkomend bestaand ventilatieprincipe. Bij upgrading, waarbij kierdichting in de schil van belang is vanwege het voorkomen van ongewenste schadelijke lucht- en dampstromen in de constructie, is een nieuw ventilatiesysteem nodig waarbij elke verblijfsruimte bereikt moet worden. De vrije hoogte van 2,60 m in Wederopbouw appartementen laten in gangzones verlaagde plafonds toe ten behoeve van ventilatie-installaties.

- De elektriciteitsinstallatie moet worden voorzien van aarding. Het aantal beschikbare elekdragroepen in de meterkast moet voldoen aan nieuwe wensen, zoals voor elektrisch koken. De bereikbaarheid van leidingen is slecht door de integratie met de constructielag. Een eventuele wijziging van een woningplattegrond betekent een (gedeeltelijke) nieuwe aanleg van het elektraleidingsysteem. Elektrisch koken eist een aparte elektriciteitsleiding naar een aparte zekeringsgroep in de meterkast.
- Keukens, badkamers en toiletten kunnen gerenoveerd, aangepast of vernieuwd worden vanuit een bestaande situatie in combinatie met aangepaste ventilatievoorzieningen en vernieuwing van vuilwater afvoeren waarvan de technische levensduur eindigt. De scheidingswanden van deze ruimten moeten een andere indeling toe kunnen staan.
- De galerijontsluitingen van de appartementen in een flat zijn onvoldoende toegankelijk ten opzichte van de huidige wensen (zie Paragraaf 4.2 Hoogbouw-systemen uit de Wederopbouwperiode, functionele staat). Een nieuwe ontsluitings-structuur in combinatie met een eigen draagconstructie hiervoor is een kans.
- De indelingen van de plattegronden in Wederopbouwflats kunnen, afhankelijk van de toegepaste bouwsystemen, aangepast worden door de aanwezige scheiding van drager en inbouw. Vaste leidingschachten, daglichtvoorzieningen, dragende of vloerondersteunende binnenwanden zijn inflexibel en vormen daarmee het kader en beperken andere indelingen of gaan gepaard met hak- en breekwerk. De mate van meer gebruiksmogelijkheden van ruimten zonder bouwkundige aanpassingen (polyvalentie) is minimaal.

De nieuwe componenten, met vergaande integratie van bouw- en installatietechniek, worden in de toekomst vervaardigd in megafabrieken, zoals in de geplande Future Factory van Factory Zero. Future Factory heeft een Lean uitvoeringsproces en Lean productietechnieken met modificatiemogelijkheden waarmee ook individuele eigenaren bediend kunnen worden. Knooppunten tussen bouwdelen worden stekkerbaar uitgevoerd. Prefab gevels zijn kozijnloos. Het doel van Future Factory is een “integrale propositieontwikkeling (bouwkundig, installatietechnisch, productietechniek, proces in de hele keten van toeleverancier, conceptaanbieder afnemer/gebruiker, via verkoop tot levering en service)” (Van de Groep, 2019). De Future Factory wordt geïnspireerd door het Building Platform van Kattera. In dit platform worden elementen en componenten Lean vervaardigd tot installatie- en bouwsystemen. Uitgangspunt is het minimaliseren van het aantal onderdelen, het maximaliseren van herhaling van gebruik van deze onderdelen, verhoging van voltooiing in de fabriek en het minimaliseren van aansluitingen in het veld. De kern van de installatie- en bouwsystemen is standaard met daarom heen een breed scala van configureerbare ontwerpelementen (Kattera, 2019). De losmaakbaarheid van elementen in de nieuwe componenten voor circulair gebruik is een aandachtspunt.

Vanuit de overheid werd in de Wederopbouwperiode het ontwikkelen van nieuwe bouwsystemen ondersteund wat uitmondde in rationeel traditionele bouwsystemen (jaren 50) tot semi-industriële bouwsystemen (jaren 60) met zo min mogelijk arbeidsuren op de bouwplaats. Het was in principe geprefabriceerde seriebouw zonder bewoners als hinderlijke obstakels.

De bouwopgave van de Wederopbouwperiode is anders dan de renovatieopgave van nu, maar het tekort aan bouwvakkers toentertijd en het dreigende tekort aan bouwvakkers nu, het tekort aan materialen toen en het duurzamer willen inzetten van materialen nu, en de gewenste snelle bouwtijd van toen in verband met het grote tekort aan woningen en de gewenste snelle renovatietijd van nu vanwege de noodzakelijke verlaging van de CO₂-uitstoot hebben veel parallellen met elkaar.

Op de huidige traditionele wijze is grootschalige renovatie door veel ambachtelijke arbeid op de bouwplaats erg kostbaar en langdurig. Er kan moeilijk worden voldaan aan de strenge kwaliteitseisen gezien de hoge faalkosten. Daarnaast vermindert het aantal beschikbare arbeidskrachten (Doodeman, 2018). Het huidige traditionele lineaire proces kan omgebogen worden naar circulaire processen waarin de repareerbaarheid, verbeterbaarheid, duurzaamheid en recyclebaarheid van producten bevorderd wordt (Europese Commissie, 2015). Hergebruik door renovatie van een woning is hiervan een goed circulair voorbeeld. Het is daarom van belang dat upgradering van de bestaande woningvoorraad naar energieneutraal op een industriële wijze plaats gaat vinden met oog op snelheid en kwaliteit van renoveren, circulariteit beschikbare arbeidskrachten.

Ook vereist het nu een zorgvuldig sociaal proces ter instemming van minimaal 70 % van de huurders voor de upgrade en ter begeleiding van de bewoners door het gehele upgradeproces. De mate van ongemak voor de bewoners is afhankelijk van de mate van de impact van de upgrade. Bij een upgradering van de gevels van een flat kunnen bewoners in hun woning verblijven met aanpassingen. Bij plattegrondvernieuwing, zoals het aanpassen van natte cellen en keukens, geeft dit extra overlast. In het geval de ontsluitingsstructuur wordt vervangen zouden bewoners zelfs tijdelijk hun woningen moeten verlaten.

De technische voorbereiding van de upgradering kan op een industriële wijze plaatsvinden in fabrieken. De uitvoering van de upgradering vereist echter een zorgvuldige ambachtelijke technische voorbereiding aan het gebouw. Dit is een proces van het verwijderen van bestaande materialen, elementen of componenten (zoals constructieonderdelen die einde fysieke levensduur zijn, die functioneel niet meer voldoen of bouwfysische tekortkomingen hebben), het aanpassen van bestaande materialen, elementen of componenten op de gestelde nieuwe

upgradekwaliteit, het gereedmaken van bestaande elementen of componenten voor aansluiting op nieuwe componenten, het afwerken van aangepaste materialen, elementen of componenten en het wijzigen, aanpassen en voorbereiden van bestaande installaties voor de aansluiting op nieuwe installaties. Deze voorbereidende werkzaamheden worden ambachtelijk in situ uitgevoerd met alle risico's van dien, zoals maatafwijkingen, ondeugdelijke constructies en (onvoorziene) aanwezigheid van zeer zorgwekkende stoffen (zoals asbesthoudende materialen).

De woningen kunnen echter verschillen van elkaar door afwijkingen in maatvoering bij de uitvoering, door verschillen in oriëntatie en door stedenbouwkundige mogelijkheden.

Bij de upgrading van bestaande Wederopbouw hoogbouwflats is sprake van bouwsystemen met een zekere mate van industrialisatie. Dit uit zich in eenvormigheid ten behoeve van snelle uitvoering. Door eenvormigheid van de bestaande systemen kunnen deze systemen op een systematische wijze voorbereid worden, echter wel ambachtelijk en niet op een industriële wijze. De nieuwe upgradingssystemen kunnen volledig volgens Industry 4.0 (zie Paragraaf 2.4.1) ontwikkeld worden.

Conclusie is dat het industrieel upgraden van een portiek- of galerijflat mogelijk is, als daarvoor eerst een ambachtelijk voorbereidingsproces heeft plaatsgevonden. Het industrieel upgraden heeft vooral te maken met een nieuwe schil rondom het gebouw, waarin al dan niet nieuw benodigde installaties zijn geïntegreerd, en met een nieuwe ontsluitingsstructuur. Deze upgrade kan gekoppeld worden aan vernieuwing van de keuken, wc en badkamer omdat de technische installatie hiervoor vernieuwd wordt. Een gebouw kan snel worden voorzien van een nieuwe schil, een langzamer ambachtelijk voorbereidingsproces is hiervoor echter een voorwaarde. Dit voorbereidingsproces kan gestandaardiseerd worden per bouwsysteem.

Circulair upgraden

Upgraden is in principe een circulaire strategie. Een gebouw is aan het eind van bepaalde levensduren. In plaats van sloop-nieuwbouw wordt gekozen voor upgraden. Als 85 % van het gebouw blijft staan, ervan uitgaande dat de materialen, elementen en componenten toentertijd niet ontworpen zijn op circulair gebruik, dan is dat een enorme materiaalwinst ten opzichte van sloop. Upgraden is daarom circulair bouwen in optima forma door het voorkomen van gebruik van grondstoffen (Refuse) en verminderen van grondstoffen per eenheid (Reduce). De nieuwe toevoegingen kunnen daarbij optimaal ontworpen worden op circulair gebruik. Het ontwerp hiervoor houdt rekening met optimaal waardebehoud van de nieuwe bouwproducten

in de toekomst. De producten worden vastgelegd in een materialenpaspoort ter identificering en kwantificering. De tijdsduur voor het hergebruik van bouwproducten volgt het lagenmodel van Brand.

Bij de upgradering van de Wederopbouwflats ontmoeten de twee systemen elkaar: de lineaire en de circulaire systemen. Modulaire detaillering van interfaces tussen de verschillende oude en nieuwe bouwproducten in de diverse lagen en bereikbaarheid daarvan bepalen de losmaakbaarheid.

De bestaande flats zijn lineair ontworpen zonder expliciet rekening te houden met circulaire principes. De materialen, elementen, componenten of bouwdelen die vrijkomen bij de voorbereiding voor de upgradering moeten zo hoog mogelijk hergebruikt worden in de prioriteitsvolgorde van circulariteitsstrategieën om zo maximale waarde te behouden. Omdat deze bouwproducten niet circulair ontworpen zijn zal slechts een lage prioriteit in de vorm van recycling mogelijk zijn. Zeer zorgwekkende stoffen zoals asbest kunnen alleen gestort worden.

De sloopbedrijven van nu worden de grondstoffendelvers van de toekomst. De restwaarde van een gebouw wordt mede bepaald door losmaakbaarheid en duurzaam materiaalgebruik. Hoe hoger de circulaire ambitie, des te meer waardebehoud. Reuse betekent meer waardebehoud dan recycle. In de bouwnijverheid met zijn ruim 79.000 bedrijven in de algemene bouw en projectontwikkeling (CBS, 2019b) en de relatief korte levensduur van die (bouw)bedrijven zal een bouweigen alternatief moeten worden ontwikkeld voor hergebruik van bouwdelen, bouwcomponenten en bouwelementen en een gerobotiseerd reststoffencentrum ('hub') met een marktplaats en een reserveringssysteem op basis van big data. Dat nieuwe upgrade eigendom kan niet anders dan uiteindelijk worden afgewenteld op de gebruiker. Design, Construct, Finance, Maintain & Operate (DBFMO) contracten, die verstrekt zijn door de overheid, hebben aantoonbaar tot grote financiële afschrijvingen van grote aannemers geleid door gebeurtenissen afkomstig uit de stakeholderomgeving van het project (Reynaers, & Verweij, 2014). Deze zijn daardoor steeds minder populair en nagevolgd.

Proces van upgradering

Aanbestedingen voor upgradering van gestapelde Wederopbouw woningbouw per type systeem binnen een bepaalde bouwmethode, waarbij woningcorporaties samenwerken om tot gezamenlijke projectdefinities te komen en waardoor schaalvoordelen optreden, kan de grootschalige toepassing van upgradering bevorderen. De schaalvoordelen hebben betrekking tot leereffecten bij upgradering

waardoor de kostprijs omlaag kan gaan. Aanbieders kunnen economischer aanbieden. Stichting Ratiobouw (1968b, p. 9) heeft in de Wederopbouwperiode al geconcludeerd door metingen dat bij een voldoende seriegrootte de arbeidsproductiviteit wordt verhoogd bij nieuwbouw van woningen. Onder 'voldoende seriegrootte' verstaat de stichting "een minimum van 300 woningen van 1 type bij laagbouw, 400 woningen van 1 type bij middelhoogbouw en 600 woningen van 1 type bij hoogbouw" met als opmerking dat bij toepassing van een moderne bouwmethode met hoge investeringen aan materieel een seriegrootte van 600 nieuwbouwwoningen voor alle bovengenoemde typen als absoluut minimum moet worden gezien.

Voor upgrading van de huidige hoogbouw komt hierbij een tweede component: het gereedmaken van de bestaande woningen voor upgrading met nieuwe industriële componenten. Dit voorbereidende proces wordt ambachtelijk uitgevoerd in situ en wijkt af van de processen uit de Wederopbouwperiode.

De energetische upgrade van een gebouw is afhankelijk van de energieambitie, de gebouwkarakteristieken in combinatie met de fysieke omgeving en de beschikbare upgrade technologie (Tan, Liu, Zhang, Shuai, & Shen, 2018, p. 91). Gebouwkarakteristieken zijn onder meer de specifieke kenmerken per bouwmethode zoals bouwsysteem, bouwkwaliteit, woningtype, geveltype en type ontsluiting. De specifieke context bepaalt de mate van zonne-energiewinning uit de gevel.

De prestatie van de energetische upgrade van Wederopbouw hoogbouw flats kunnen gemeten worden door middel van de criteria energieopwek, gebouwgebonden energiegebruik, gebruikersgebonden energiegebruik, materiaalgebonden energiegebruik (embodied energy), recurrent energie en de mate van circulariteit en kosten.

Upgrading in relatie tot bouwmethode

De bestaande hoogbouwflats zijn traditioneel en semi-industrieel gebouwd. Als voorbereiding op een industriële upgrading moeten eerst onderdelen worden vervangen, gesloopt of verwijderd worden voordat nieuwe onderdelen aangebracht kunnen worden tot de gewenste upgradekwaliteit. Dat dient planmatig, herhalend, rationeel, disciplinair en extreem efficiënt te gebeuren om een kostprijs te veroorzaken die acceptabel is. Dit is mogelijk omdat bouwsystemen zijn toegepast met een grote mate van herhaling.

Een kwaliteit van de bestaande flats is het drager-inbouw principe. Voor de gietbouwmethode houdt dit in dat de invulling van de gevels van het gebouw modulair van aard zijn. De gevels kunnen daardoor, los van de draagconstructie, geheel vervangen worden.

Voor de stapelbouwmethode geldt dat de gevels door meer verbindingen met de draagconstructie meer integraal van aard zijn. Dat betekent dat het meer arbeid kost om een gevel geheel te vervangen: een aanpassing van de gevel of het uitbreiden van het gevelpakket is daarom aan te bevelen. Bij de grote elementenbouwmethode heeft een gevelement ook meerdere verbindingen met de constructie en met andere gevelementen. Ook voor deze bouwmethode geldt dat aanpassen van de gevel of uitbreiden van het gevelpakket aan te bevelen is.

Voor alle bouwmethoden geldt dat de technische installatie geheel aangepast moet worden. De benodigde installatietechniek kan in het nieuwe gevelpakket worden geïntegreerd of als losse (gestapelde) units aan de buitenzijde van de gevel worden aangebracht.

Upgrading en energetische ambitie

De upgrading van een flat zou integraal en holistisch benaderd kunnen worden. Zowel technische, functionele als sociale upgrading zijn aspecten in de holistische benadering. De energetische upgrading vormt een onderdeel van de genoemde integrale upgrading. Voorkomen moet worden dat er lock-ins gaan ontstaan voor latere aanpassingen door keuzen die nu wel of juist niet gemaakt worden.

De ambitie van upgrading van een flat uit de Wederopbouwperiode is toekomstbestendigheid:

- Energieleverend.
- Nieuwe toevoegingen met een zo laag mogelijke CO₂-belasting, een zo laag mogelijke embodied en recurrent energie en hernieuwbaar als niet gebruik gemaakt kan worden van de uitstroom van materialen, elementen of componenten volgens zo hoog mogelijke plaats op de R-ladder volgens Cramer.
- Van drager-inbouw naar lagenprincipe voor circulair hergebruik door Design for Disassembly of toepassing van toegankelijke modulaire elementen en componenten.
- Veranderende bewonerswensen: flexibiliteit in de bestaande plattegrond, mogelijkheid tot flexibiliteit voor (latere) uitbouw in de gevelzone: raster van gevelvlakken die ingewisseld kunnen worden voor ruimtelijke uitbouwen.

- Alle gevelvlakken zijn energieleverend en hebben een technische, economische en esthetische levensduur. De vlakken kunnen uitwisselbaar zijn met andere materialen/elementen of componenten.
- Zo min mogelijk vereist onderhoud aan de buitengevel, alleen reiniging, door transparante glazen vlakken al dan niet voorzien van PV vlakken.
- Uitbouwen met PV-vlakken gericht op zon.
- Een nieuwe lift aan buitenzijde noordzijde in plaats van een inpandige lift geeft mogelijkheden tot hergebruik van de oude liftschacht. Dit is afhankelijk van het type flat (gietbouw heeft vaak al een lift buiten het bouwblok staan). Bij typen met een inpandige lift is de liftschacht opslag voor volumineuze opslag van warmte. Wateropslag is echter te zwaar voor de bestaande funderingsconstructie. Een watergevulde liftschacht weegt $2 \times 2 \times 30$ (10 hoog) = $120 \text{ m}^3 = 120.000 \text{ kg}$: fundering is hierop niet berekend!
- Bij vervanging van de lift in portiekflats kan een nieuwe lift aan de buitenzijde van het blok geplaatst worden. De bestaande liftschacht kan vervolgens dienen als installatieschacht (opwekking warmte voor warmtapwater, ventilatie met WTW, distributie via warmte-koudeopslag (WKO) van warmte voor ruimteverwarming), deze schacht is bereikbaar voor service zonder de woning te behoeven betreden.
- Dakzone vernieuwen: lichte overkragende opbouw met PV-dak.
- Zone kopse gevels toepassen voor opslag van elektrische energie (flat als buurtbatterij).
- Gemeentelijke regelgeving, zoals een bestemmingsplan, heeft mogelijk invloed op het buiten het bestaande bouwblok kunnen plaatsen van een lift en het verbreden, verlengen of verhogen van een bestaand bouwblok.

Upgrading en functionele ambitie

De bestaande systeemwoningvoorraad uit de Wederopbouwperiode kenmerkt zich door snelle bouw van veel gelijksoortige woningen voor een bepaalde doelgroep, gezinnen met kinderen, met behulp van industriële bouwsystemen. De mate van flexibiliteit voor het mogelijk aanpassen van de woningplattegrond is afhankelijk van de toegepaste bouwmethode met het toegepaste bouwsysteem. Voor de komende bewoning van deze huisvesting is differentiatie van de doelgroep aan de orde. De generatie verandert in woonwensen. Het gewenste comfort is van een hoger niveau dan het comfortniveau waarmee de woningen toentertijd ontworpen zijn. Oudere bewoners die zorgbehoevend zijn blijven tot een bepaalde zorgbehoefte thuis wonen. Betere toegankelijkheid, voor bijvoorbeeld rolstoelgebruik, benodigt een herinrichting van de ontsluitingen en een herinrichting van de woningplattegronden. Woningen worden wisselend bewoond en hebben een individueel karakter. De energetische upgrading van de woningen is een kans om de kwaliteit van de woningen op deze aspecten aan te passen voor levensloopbestendigheid.

De upgradering voor levensloopbestendigheid bestaat uit een functionele upgradering (toegankelijkheid) en bestaat uit “een slimme technologie die naadloos geïntegreerd is in de woon(zorg)omgeving en die zich optimaal aanpast aan de behoeften van de bewoner en hem ondersteunt bij zijn (zelfstandig) leven” (Mohammadi, 2017, p. 7).

De plint van gestapelde woningen uit de Wederopbouwperiode bestaat vaak uit een gesloten laag met bergingen en de entree van het gebouw. De nu gewenste sociale overzicht interactie met de directe omgeving wordt hierdoor niet versterkt. Beter is om bij upgradering van het woongebouw de plint interactief met de omgeving te laten zijn door bijvoorbeeld transparantie en zichtlijnen voor een sociaal veiligere omgeving.

Op het gebied van geluid wordt de geluidoverdracht van buiten naar binnen door een nieuwe schil sterk verbeterd. Echter contactgeluid via wanden en vloeren blijft een aandachtspunt. Door middel van zwevende dekvloeren, met daarin een laagtemperatuur verwarmingssysteem, kan geluidoverdracht door contactgeluid verminderd worden. Dit kan echter niet in bewoonde staat uitgevoerd worden.

Upgradering in relatie tot systeem, aanpakken en concepten

Elementen of componenten zijn uitwisselbaar als de vorm, de geschiktheid en de functie identiek zijn. De vorm richt zich op de fysieke eigenschappen (vorm, afmetingen, massa). De fysieke interface bepaalt de verbinding tussen interne en externe elementen of componenten. De functie bepaalt wat mogelijk moet zijn onder een bepaalde set van condities. (Criscimagna, 2005, pp. 9-10)

Voor de mate van integratie van PV in het gebouw (BIPV) worden door Adami, Lovati, Maturi en Moser (2018, p. 833) drie criteria genoemd. Het eerste criterium is esthetische integratie. Dit is het vermogen van de PV-oplossing “om in harmonie met de architectuur van het gebouw te zijn”. Het tweede criterium is de technische integratie. Deze integratie beschouwt de bouwkundige en constructieve aspecten. Het laatste criterium is de energetische integratie. De energetische integratie verwijst naar “het vermogen van een PV-systeem om te communiceren met het gebouw en het omliggende energiesysteem om het lokaal gebruik van de geproduceerde energie te maximaliseren”.

Bestaand gebouw

De specifieke karakteristieken van een bestaand gebouw worden gevormd door de locatie, situatie, bouwsysteem, afmetingen woning (lengte, breedte, hoogte), aantal woningen per woonlaag, aantal woonlagen, type en plaats van de draagstructuur, wijze van horizontale en verticale ontsluiting, compositie en materiaalgebruik van de gevels, plattegrondindeling en de dakvorm. Het bouwsysteem bepaalt daarbij de interface tussen de draagstructuur en de gevel. Die interface bepaalt de mate van mogelijk hergebruik van materialen, elementen of componenten om de embodied energy van de toegepaste materialen zo laag mogelijk te houden.

Bij de upgradering van de schil van het gebouw bestaat de mogelijkheid om interventies te doen in het bouwvolume. Bijvoorbeeld het samenvoegen van woningen, uitbreiden van buitenruimten behorende bij een woning, vergroten van woonoppervlak door optoppen, uitbuiken of uitplinten, en aanpassingen van de ontsluitingen. Een slim klimaatconcept is “een combinatie van gevelhardware (materialen, detaillering, assemblage) en technische installaties” (Bilow in Beemster, 2011, p. 5).

De bouwmethode van de upgradering bestaat uit industrieel gepreassembleerde elementen. Preassemblage, in tegenstelling tot prefabricage, betekent dat componenten, elementen, of materialen weer gescheiden kunnen worden na einde levensduur in een bepaalde situatie. Door middel van ‘reversible connections’ tussen onderdelen kan geassembleerd en gedeassembleerd worden (Merrild, 2016, p. 76).

Upgradering per bouwmethode

Uitgangspunt bij upgradering van de Wederopbouw hoogbouw is dat de draagconstructie geen constructieve gebreken vertoont, behoudens af te zagen galerijvloeren en balkons. Als er wel constructieve problemen zijn die niet reparabel of vervangbaar zijn, dan betekent het sloop van het gebouw.

De drie bouwmethoden hebben elk door hun eigen constructieve opzet en architectuur specifieke mogelijkheden voor upgradering. Technisch gezien gaat het om een bepaalde hoeveelheid gebouwgebonden energie en gebruikersgebonden energie. Het gebouwmodel geeft aan wat de mogelijkheden zijn om vanuit het dak en vanuit de gevel met een bepaald percentage zonne-energie te oogsten over een geheel jaar gezien. De architectuur van de stapelbouw en van de zware montagebouw geven aanleiding om de gevel zelf te verbeteren door een nieuwe isolerende gevel aan de buitenzijde aan te brengen, met respect voor de bestaande ‘gaten’ in de gevel. Hiervoor kunnen de reeds bekende energetische concepten worden toegepast zoals passiefhuis en NOM.

De architectuur van de gietbouw biedt mogelijkheden tot een echte upgrade van het gebouw. Omdat bij hoogbouw gietbouw vaak een galerijontsluiting aanwezig is kan de flat energetisch worden geüpgraded in combinatie met een functionele upgrading. Thermische bruggen zijn niet wenselijk. Daarom komt er een nieuwe galerij- en balkonstructuur met een zelfstandige draagstructuur.

Aan de ontsluitingszijde zorgt een nieuwe galerijstructuur voor een goede toegankelijkheid, met respect voor het overgangsgebied openbaar-privé door het letterlijk afstand nemen van de gevel.

Aan de zongerichte zijde worden de smalle balkons verwisseld voor ruime balkons in de nieuwe balkonstructuur. De balkons zijn in de gevel voorzien van zongerichte PV-panelen onder een bepaalde hoek.

De optie *Refuse* heeft de hoogste mate van circulariteit volgens de 10-R ladder, zoals al eerder is vastgesteld. Bij upgrade van bestaande woningbouw is dit een heel interessante optie: het bestaande wordt in tact gehouden met daar omheen een nieuwe circulair ontworpen schil die alle tekortkomingen van het bestaande volgens de huidige eisen en wensen oplost en ruimte biedt voor toekomstige wijzigingen. Bestaande, niet circulair ontworpen materialen, elementen en componenten, krijgen daardoor een langere levensduur. Met name op het gebied van de embodied energie van de bestaande materialen is dit positief door de verlengde levensduur.

De nieuwe schil dient als ondersteuning van de bestaande flat. De galerijen en balkons worden vervangen (thermische bruggen, einde fysieke levensduur, functioneel verouderd door maatvoering). Deze zijn direct gekoppeld aan de draagstructuur (uitkragende vloeren of dragende wanden met consoles). De draagstructuur krijgt daarom een extra ondersteuning die lang in tijd meegaat volgens de lagenbenadering van Brand. Het is een 'overcladding' wat om de bestaande draagstructuur heen wordt gezet. De overcladding kan modulair (met zo min mogelijk relaties tussen elementen van bestaand en nieuw) of integraal (met een verwevenheid van relaties tussen elementen van bestaand en nieuw) uitgevoerd worden. De overcladding heeft een eigen fundering. Door overmaat kan het voorzien in nu nog niet bekende wensen en eisen in de toekomst. Bij einde van een levensduur van het bestaande waardoor het bestaande geamoveerd gaat worden kan de overcladding door het circulaire ontwerp opnieuw toegepast worden in een nieuw gebouw.

Het bestaande gebouw kan ook gezien worden als een tijdelijke opslag van bouwmaterialen. Echter de circulariteit van deze materialen is niet geënt op circulaire ontwerppunten. Op materiaalniveau kan recycling plaatsvinden zoals hout

uit houten kozijnen met vingerlas- en verlijmingstechnieken tot nieuwe houten balken. Dit kost echter wel veel manuren.

De overcladding biedt ruimte voor nieuwe functionaliteiten, zoals galerijen met trappen, ruimere balkons, een buitenschil met lamellen van PV-panelen aan de zonzijde en inpluggen van extra naar buiten uitkragende ruimten.

PV-gevel of groene gevel?

In plaats van toepassing van PV, die door de duurzame opwek van elektriciteit CO₂ bespaart ten opzichte van conventionele elektriciteit, zou ook plantengroen in de gebouwgevels kunnen worden geplaatst voor opname van CO₂ door fotosynthese (maar ook weer geringere uitstoot van CO₂ door dissimilatie) en door vermindering van CO₂-uitstoot van het gebouw door thermische isolatie van het groen. Het omslagpunt voor opwekking van CO₂-arme stroom door PV of opname van CO₂ door plantengroen is afhankelijk van de CO₂-emissiefactor van stroom, de situering van PV-modulen, het rendement van deze modulen en het type begroening.

Stel:

- de CO₂-emissiefactor van grijze stroom bedraagt 0,56 kg CO₂/kWh per jaar, de factor van stroom uit zonne-energie bedraagt 0 kg CO₂/kWh per jaar (CO₂-emissiefactoren, 2020)
- de afmeting van een PV-paneel van 300 Wp bedraagt 0,99 m x 1,65 m = 1,64 m²
- de opbrengst voor dunne film PV bedraagt 75 Wp/m²
- de opbrengst van een zuidgericht PV-paneel bedraagt 970 kWh/kWp (Sideria, 2016). Voor een paneel van 300 Wp bedraagt dit $300 / 1000 \times 970 = 291$ kWh per paneel per jaar = $291 / 1,64 = \mathbf{178,0}$ kWh/m² per jaar en voor zuidgerichte dunne film $75 / 1000 \times 970 = \mathbf{72,8}$ kWh/m² per jaar
- de opbrengst van een noordgerichte PV-paneel bedraagt 200 kWh/kWp (Sideria, 2016) en bedraagt $300 / 1000 \times 200 / 1,6 = \mathbf{36,7}$ kWh/m² per jaar en voor noordgerichte dunne film $75 / 1000 \times 200 = \mathbf{15,0}$ kWh/m² per jaar
- de CO₂-opname door een groene gevel bedraagt 2,3 kg CO₂/m² per jaar (Sempergreen, z.d.) en voor een groendak door extra gebouwisolatie een besparing van 2,3 – 2,6 kg CO₂/m² per jaar aan elektriciteit en 0,24 – 0,97 kg CO₂/m² aan gas (Hop, & Hiemstra, 2013, p. 38). Voor dit rekenvoorbeeld wordt 2,3 kg CO₂/m² per jaar voor een groene gevel aangehouden
- geen rekening gehouden met de CO₂-uitstoot bij de vervaardiging van PV-elementen, bij recycling PV-elementen bij einde levensduur en bij onderhoud groen/PV-elementen.

Dan is de besparing door een 300 Wp PV-paneel op uitstoot van CO₂ door de zelf opgewekte stroom:

- $178,0 \times 0,56 = 99,7$ kg CO₂ per m² zuidgericht PV-paneel per jaar en
- $36,7 \times 0,56 = 20,5$ kg CO₂ per m² noordgericht PV-paneel per jaar.

De besparing door een 75 Wp dunne film op uitstoot van CO₂ door de zelf opgewekte stroom bedraagt:

- $72,8 \times 0,56 = 40,7$ kg CO₂ per m² zuidgerichte dunne film per jaar en
- $15,0 \times 0,56 = 8,4$ kg CO₂ per m² noordgerichte dunne film per jaar.

Daarmee is de besparing/opname bij toepassing van 300 Wp PV-paneel op een zuidgerichte gevel ruim $99,7 / 2,3 = 43,3$ keer meer CO₂ dan toepassing van een groene gevel en de toepassing van PV op een noordgerichte gevel $20,5 / 2,3 = 8,9$ keer meer CO₂ besparing/opname. Voor dunne film folie bedraagt dit voor een zuidgerichte gevel $40,7 / 2,3 = 17,7$ keer meer en voor een noordgerichte gevel $8,4 / 2,3 = 3,7$ keer meer.

Op basis van CO₂-besparing heeft de toepassing van PV in de schil van de woning daarom voorkeur boven een groene gevel.

Elektriciteitsopwekking door middel van PV is een transitie-middel om CO₂-arme elektriciteit te produceren. Als op grote schaal CO₂-arme elektriciteit wordt geproduceerd door nieuwe opwektechnieken, dan zal de balans doorslaan naar groene gevels voor vermindering van CO₂. Op basis van dit rekenvoorbeeld ligt het omslagpunt van een CO₂-emissiefactor van stroom voor zuidgerichte 300 Wp PV-panelen en zuidgerichte 75 Wp dunne film bij waarden die 43,3 resp. 17,7 keer lager liggen dan het gestelde niveau. Voor de noordgerichte zijden zijn deze omslagpunten 8,9 resp. 3,7 keer lager dan het gestelde niveau. Bij toepassing van zuidgerichte vlakken bedragen de waarden van de CO₂-emissiefactoren 0,013 resp. 0,03 kg CO₂/kWh per jaar. Voor noordgerichte 300 Wp PV-panelen en 75 Wp dunne film ligt het omslagpunt voor deze waarden op 0,06 resp. 0,15 kg CO₂/kWh per jaar.

Vanwege een mogelijk omslagpunt zouden de PV-modulen modulair aangebracht kunnen worden in plaats van integraal zodat deze later inwisselbaar zijn voor groene modulen.

Stel dat optimaal ten opzichte van de zon gesitueerde zonneparken worden aangelegd voor CO₂-arme opwekking van benodigde elektriciteit, dan kunnen gebouwen vergoed worden voor extra CO₂ opname, voor extra kansen voor biodiversiteit en voor extra kansen voor een nieuwe architectonische uitstraling. Bij beschaduwde gevels ten opzichte van de zon zou de toepassing van groene gevels voor extra CO₂-opname een optie kunnen zijn.

6.2.10 Mogelijke uitwerkingen

Deze paragraaf toont mogelijke principes van uitwerkingen van upgradings van Wederopbouw portieketageflats en galerijflats met een noord-zuidoriëntatie en een oost-westoriëntatie op basis van geselecteerde ontwerpoverwegingen uit dit onderzoek.

De reductietekeningen in paragraaf 4.2 over de portieketageflats en galerijflats en mogelijkheden voor upgradings van gevels en ontsluitingen laten in Tabel 6.22 onderlinge verschillen zien.

TABEL 6.22 Verschillen hoogbouw portieketageflats en galerijflats.

		portieketageflat	galerijflat	
Bestaand	Ontsluiting	Portiek/lift	Galerij/lift	
	Bouwmethode	Stapelbouw	28,7 %	40,9 %
		Gietbouw	1,9 %	82,7 %
		Zware montagebouw	24,8 %	61,7 %
	Gevelzone wonen (O-, Z-, W-gevel)	Geslotenheid gevel t.b.v. opwekking elektriciteit door PV: stapelbouw en zware montagebouw	20 - 68 %	
			10 - 26 %	
Kopgevels (alle oriëntaties)		Geslotenheid gevel t.b.v. opwekking elektriciteit door PV: alle betreffende bouwmethoden	ca. 100 %	
Upgrade	Alle gevels, begane grond vloer	Thermische isolatie en kierdichting		
	Gevelzone ontsluiting (W-,N-,O-gevel)	Installatietechniek warmte voor ruimteverwarming, warmte voor warm tapwater, ventilatie met WTW	Gestapelde installatiemodules aan gevel, onderhoudbaar vanuit woning	Gestapelde installatiemodules in verbindingzone nieuwe galerij – bestaande flat, onderhoudbaar buiten woning
			nieuwe lift buiten bouwblok, bestaande liftschacht met installatiemodules: onderhoudbaar buiten woning	
	Alle gevels	Oogsten zonne-energie		

De principes voor beide oriëntaties verschillen van elkaar aan de zongerichte zijde.

Het gebouwmodel berekent de verwachte opwek van elektriciteit vanuit *vlakke* gevels in de bepaalde oriëntaties A t/m E (zie Figuur 6.66). Hierin is geen rekening gehouden met mogelijke andere oriëntaties van woongevelvlakken ten opzichte van de zon.

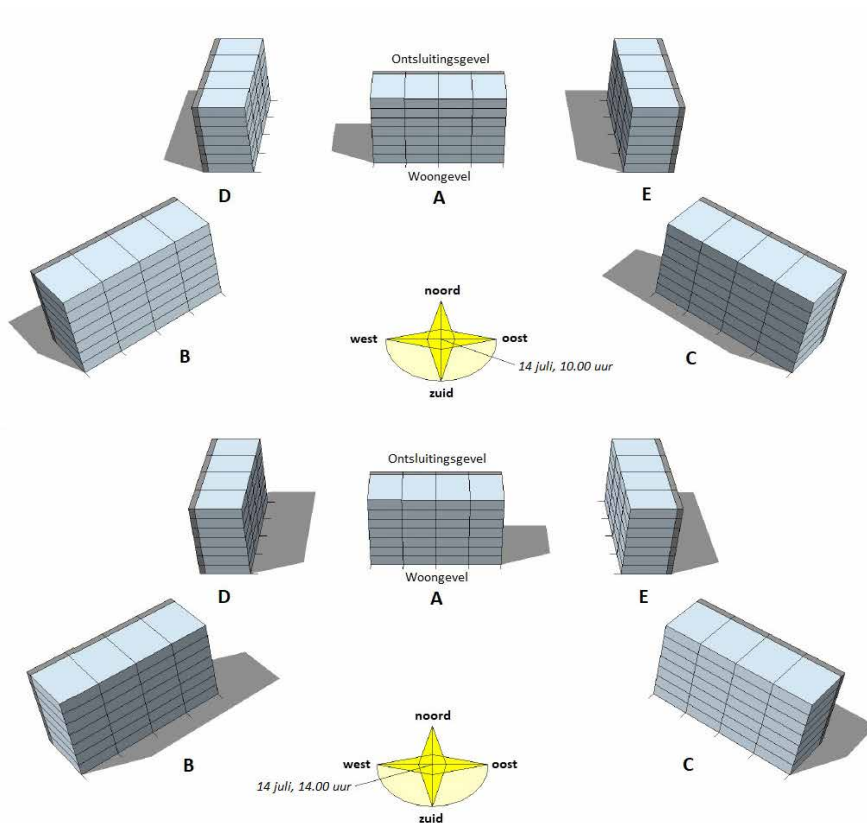


FIG. 6.66 Oriëntaties bouwblokken A t/m E, bezonning op 14 juli om 10.00 uur en 14.00 uur.

Het oogsten van energie uit de vroege morgenzon en de late avondzon brengt relatief weinig op. De zongerichte woongevelvlakken, die naast diffuus daglicht ook direct daglicht ontvangen, kunnen voor oriëntatie D en E beter op de zon gericht worden door het verdraaien van deze gevelvlakken. Hierdoor krijgt het gevelbeeld een vertand uiterlijk (zie Figuur 6.48 en Figuur 6.49 in Paragraaf 6.2.8). Het geveloppervlak wordt bij een vertanding van 45 graden met $\sqrt{2}$ vergroot, echter schaduwvorming door de vertanding heeft invloed op de hoeveelheid op te wekken zonne-energie uit deze vlakken.

Voor de woongevels (1) met oriëntatie A (zuid gericht), oriëntatie (oost gericht) of oriëntatie E (west gericht) kunnen de energieopwekkende gevelvlakken beter op de zon in het zuiden gericht worden door het draaien van gevelvlakken (zie Figuur 6.67).

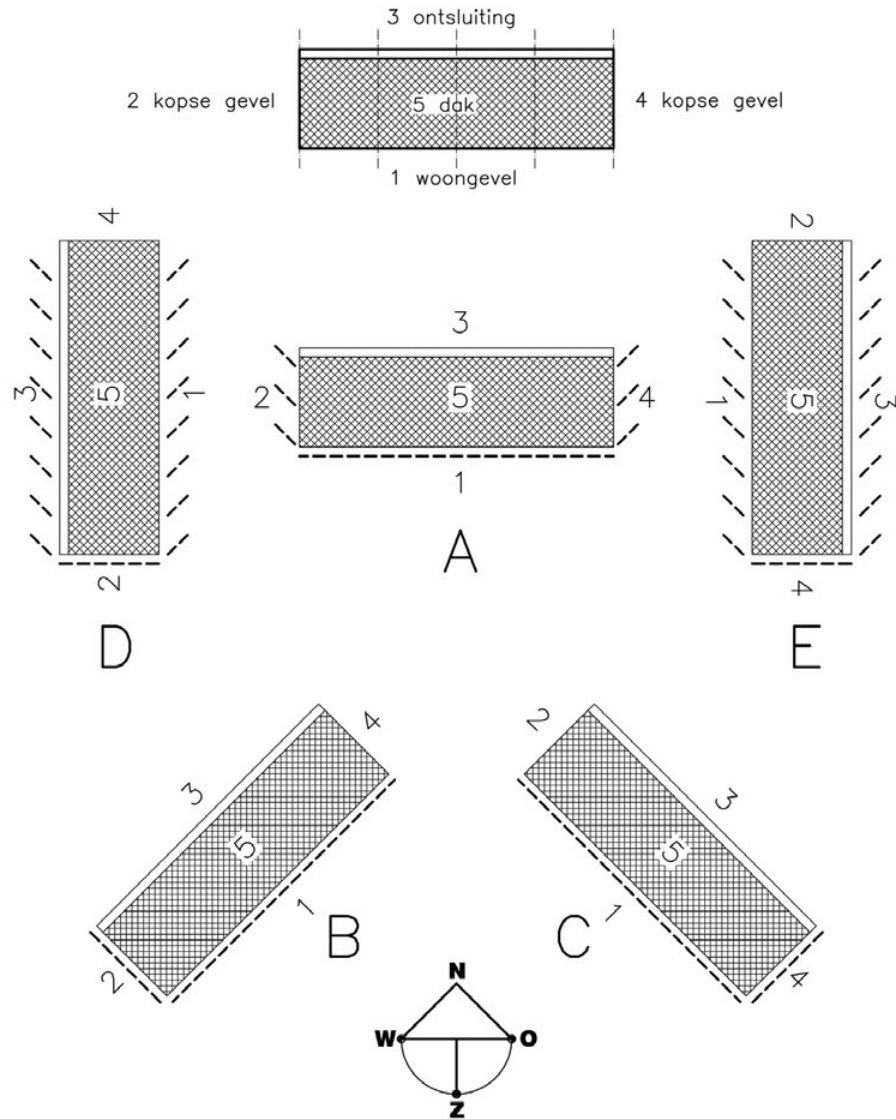


FIG. 6.67 Oriëntaties bouwblokken met (gedraaide) zongerichte energieleverende gevelvlakken.

De definitie van de opgave voor de *mogelijke* uitwerking voor een bepaalde flat naar Flat 3.0 is op basis van een bepaalde bestaande situatie met bestaand gebruik, een interpretatie daarvan (ruimtelijk, sociaal, functioneel, wettelijk, politiek) en een programma van eisen (ruimtelijk-functioneel, technisch, financieel).

Door middel van literatuuronderzoek is kennis verworven als input voor het PvE. Figuur 6.68 toont de relatie tussen het PvE als onafhankelijke variabele en Flat 3.0 als afhankelijke variabele. Deze relatie wordt beïnvloed door de eigenschappen van Energieambitie en door de eigenschappen van Opschaling.

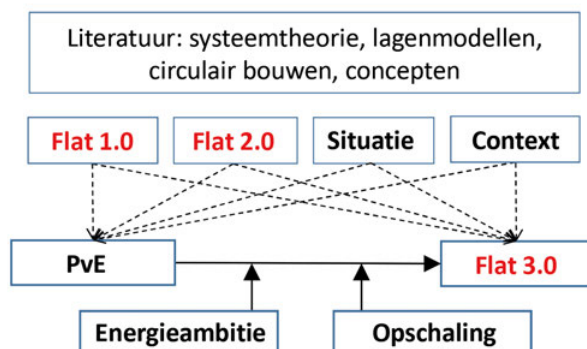


FIG. 6.68 Conceptueel model voor upgradatie van een bepaalde flat naar Flat 3.0.

Ten behoeve van een mogelijk ontwerp van de upgradatie van een bepaalde flat naar Flat 3.0 worden de variabelen voorzien van eigenschappen die voor het ontwerpconcept van belang zijn.

De bestaande karakteristieken van een specifiek gebouw (Flat 1.0), de karakteristieken voor comfort upgradatie (Flat 2.0), de bestaande stedenbouwkundige situatie, de overige bestaande context, het programma van eisen en de gewenste energieambitie zijn van invloed op een specifiek concept voor energetische upgradatie van dat gebouw (Flat 3.0).

De bestaande karakteristieken van de hoogbouw Wederopbouw flats zijn bepaald in Hoofdstuk 4 (Flat 1.0). Voor een specifieke flat bestaan deze uit:

- een bepaalde bouwmethode;
- een bepaald bouwsysteem;
- een bepaald installatiesysteem;
- een bepaald rioleringsstelsel;

- bepaalde kwaliteiten;
- een bepaalde flexibiliteit;
- een bepaalde ontsluiting;
- een bepaald woningtype;
- een bepaalde plattegrond;
- bepaalde bouwfysische eigenschappen;
- een bepaalde energieambitie;
- bepaalde afmetingen van het bouwblok;
- een bepaald geveltype;
- een bepaalde gebouwworm;
- bepaald gebruik van materialen;
- een bepaalde identiteit, belevingswaarde, beeldkwaliteit, architectuur;
- een bepaald gebruik;
- een bepaalde woonkwaliteit;
- een bepaalde energetische kwaliteit;
- een bepaalde comfortkwaliteit;
- een bepaalde milieukwaliteit;
- bepaalde wettelijke minimumeisen.

Voor een specifieke flat bestaat de bestaande stedenbouwkundige ruimtelijke context uit:

- een bepaalde situatie in Nederland;
- een bepaalde ruimtelijke ordening (een autonoom gebouw of onderdeel van een bepaalde 'stempel'-wijkstructuur);
- een bepaalde stedenbouwkundige inpassing;
- een bepaalde omgeving (bebouwingen en landschappelijke elementen zoals 'beleefbaar groen');
- een bepaalde verkeersstructuur;
- een bepaalde parkeerruimte volgens een bepaalde parkeernorm ten behoeve van de flat;
- een bepaalde stedenbouwkundige beeldkwaliteit;
- een bepaalde woningdichtheid;
- een bepaalde nabijheid van andere gebouwen;
- een bepaalde binding van het gebouw met de omgeving;
- een bepaalde sociale veiligheid;
- een bepaalde hoofdentree van de flat;
- een bepaalde oriëntatie ten opzichte van de zon;
- een bepaalde oriëntatie ten opzichte van wind;
- een bepaald geluidniveau;
- bepaalde stedenbouwkundige en architectonische (vorm, beeld, compositie) randvoorwaarden.

Overige contexten (politieke, culturele, economische, historische en filosofische context) zijn niet beschouwd.

Voor een specifieke flat 3.0 kan de gewenste energieambitie bestaan uit:

- energieneutraal, NOM of energieleverend;
- de maximale genormeerde hoeveelheid energie voor gebouwgebonden energie (BENG, energieneutraal);
- de maximale hoeveelheid energie voor gebouwgebonden en gebruiksgebonden energie (NOM, energieleverend);
- de maximale hoeveelheid gebouwgebonden, gebruikersgebonden, embodied en recurrent energie;
- hoeveelheid zelf op te wekken duurzame energie in relatie tot systeemgrens (gebouw, wijk, stadsdeel, stad);
- de visie van de eigenaar met betrekking tot investeringen naar CO₂-neutraal en circulair in 2050;
- de balans tussen financiële kosten en baten in relatie tot economische levensduur van het gebouw in relatie met de overige waarden;
- de bodemgesteldheid voor toepassing van opslag van warmte/koude of voor toepassing van geothermie (zie Paragraaf 3.6.3);
- de mogelijkheid voor thermische energie uit oppervlaktewater, afvalwater of drinkwater (zie Paragraaf 3.6.3);
- de aanwezigheid van (duurzame) stadsverwarming voor de energievraag voor ruimteverwarming en/of warm tapwater;
- de aanwezigheid van externe duurzame energiebronnen;
- een politieke context zoals 'van aardgas af';
- het oogsten van zonne-energie met maximale inzet van de gevels en dak van de flat;
- vergroten van de energieleverende vlakken door een nieuwe functionele toegankelijke overcladding (nieuwe ontsluitingsstructuur, nieuwe balkonstructuur), modulair en circulair van aard met materiaalgebruik met een lage LCA en lage embodied en recurrent energie.

Het programma van eisen heeft een relatie met de bestaande (onvoldoende) kwaliteiten van het gebouw, energie-ambitie, functionele aanpassingen en ruimtelijke aanpassingen. Het meer toegankelijk maken van flatwoningen, een Flat 2.0-aspect, heeft geen relatie met de energie-ambities, maar kan alsnog een aanleiding zijn om beide in uitvoering te brengen. Dit heeft tevens een relatie met verhuurbaarheid en waardebehoud.

Alle bovengenoemde factoren hebben diverse waarden. Via een morfologisch schema kan een keuze worden gemaakt uit deze waarden als bouwstenen voor een specifiek concept voor upgrading naar Flat 3.0 (zie Bijlage 14).

Door middel van plananalyse van de Wederopbouw flats zijn ontwerpbeginselen bepaald. Door het ontwerp worden mogelijkheden geëxploreerd, geïdentificeerd en in beeld gebracht. Het gaat hierbij niet om het ontwerp zelf, maar om problemen op te lossen door het ontwerp-denken. Kenniselementen in deze ontwerpogave voor Flat 3.0 zijn integrale nieuwe duurzame ruimtelijke en technische oplossingen met bijzondere aandacht voor klimaatbestendigheid, energie en leefbaarheid. De ontwerpen laten specifieke toepassingen zien in een specifieke context in een specifieke situatie.

Varianten van gevel- en dakvormen voor het oogsten van zonne-energie

Om zo maximaal mogelijk oppervlak in te kunnen zetten voor het oogsten van zonne-energie kan het geveloppervlak vergroot worden door uitbreiding en door vervorming. Figuur 6.69 toont varianten van dakvormen voor het oogsten van zonne-energie.

Figuur 6.70 toont varianten van gevelvormen voor het oogsten van zonne-energie. De aangegeven varianten hebben een geslotenheid van de gevel van 50 %. Het geveloppervlak voor het oogsten van zonne-energie kan worden vergroot door uitbreiding en vervorming. De weergegeven principes kunnen parametrisch aangepast worden: van rechte lijn tot kriskras door elkaar lopende lijnen.

Figuur 6.71 toont varianten van gevelvormen voor het oogsten van zonne-energie. De aangegeven varianten hebben een geslotenheid van de gevel van 50 %. Het geveloppervlak voor het oogsten van zonne-energie kan worden vergroot door uitbreiding en vervorming.

VARIANTEN VAN DAKVORMEN VOOR HET OOGSTEN VAN ZONNE-ENERGIE

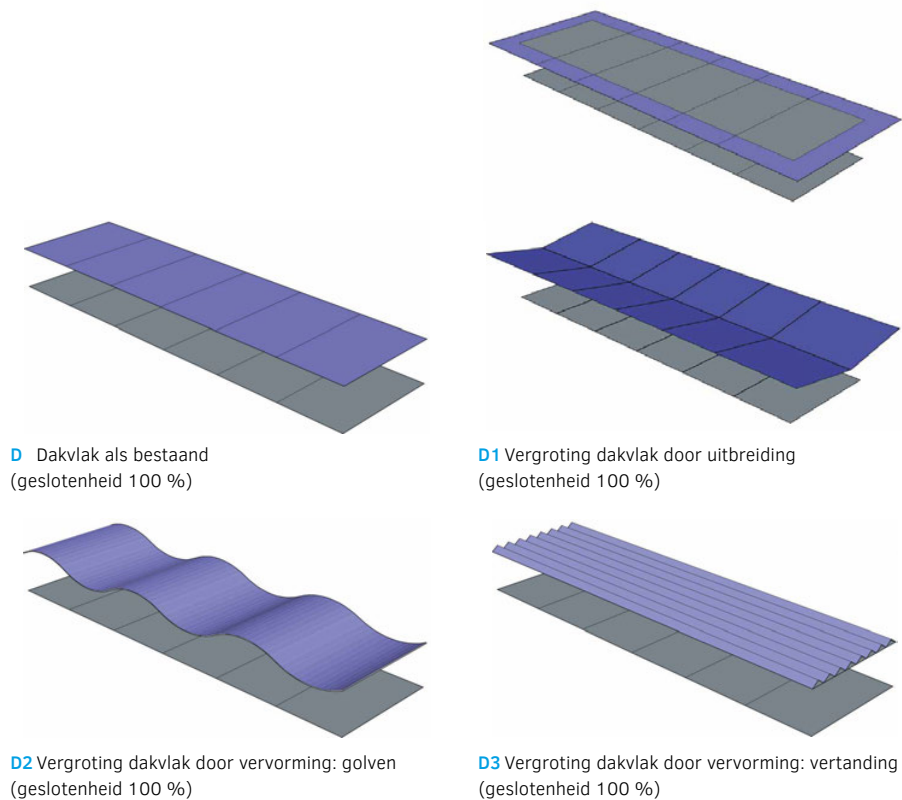
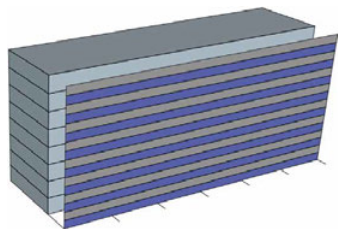
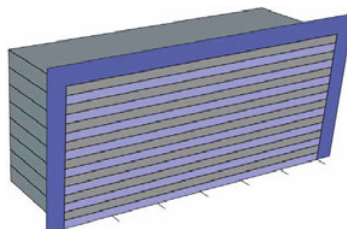


FIG. 6.69 Varianten van dakvormen voor het oogsten van zonne-energie.

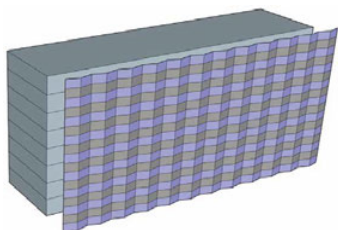
VARIANTEN VAN GEVELVORMEN WOONGEVEL VOOR HET OOGSTEN VAN ZONNE-ENERGIE



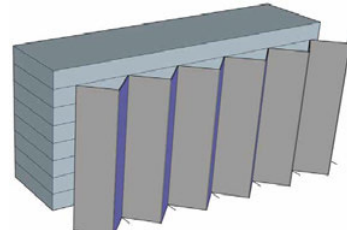
G Woongevel als bestaand
(geslotenheid 50 %)



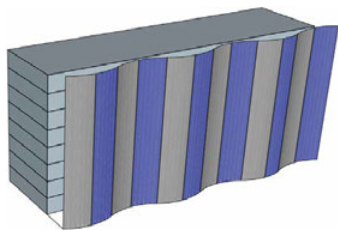
G1 Vergroting woongevel door uitbreiding
(geslotenheid 50 %, excl. uitbreiding)



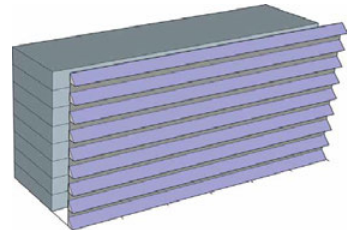
G2 Vergroting woongevel door vervorming: verticale vertanding met horizontale daglichtopeningen
(geslotenheid 50 %, horizontaal)



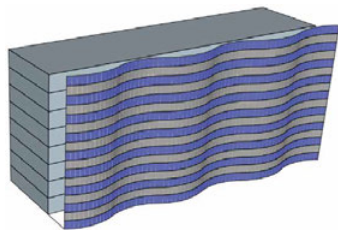
G3 Vergroting woongevel door vervorming: verticale vertanding met verticale daglichtopeningen
(geslotenheid 50 %, verticaal)



G4 Vergroting woongevel door vervorming: verticale golven met verticale daglichtopeningen
(geslotenheid 50 %, verticaal)



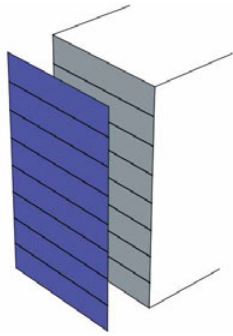
G5 Vergroting woongevel door vervorming: horizontale vertanding (geslotenheid 50 %)



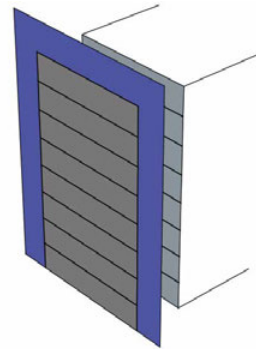
G6 Vergroting woongevel door vervorming: golven
(geslotenheid 50 %)

FIG. 6.70 Varianten van gevelvormen woongevel voor het oogsten van zonne-energie.

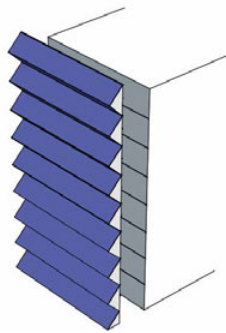
VARIANTEN VAN GEVELVORMEN KOPGEVEL VOOR HET OOGSTEN VAN ZONNE-ENERGIE



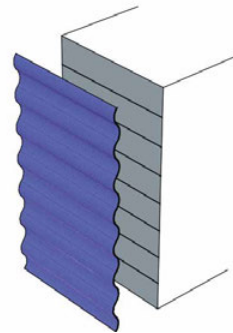
KG Kopgevel als bestaand
(geslotenheid 100 %)



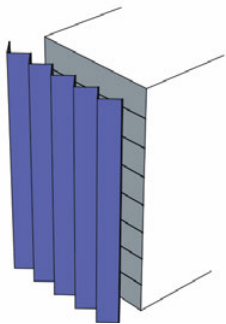
KG1 Vergroting kopgevel door uitbreiding
(geslotenheid 100 %)



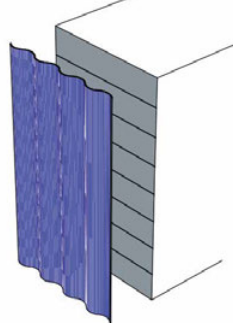
KG2-a Vergroting kopgevel door vervorming:
horizontale vertanding / golven
(geslotenheid 100 %, horizontaal)



KG2-b Vergroting kopgevel door vervorming:
verticale vertanding / golven
(geslotenheid 100 %, verticaal)



KG3-a Vergroting kopgevel door vervorming:
verticale vertanding / golven
(geslotenheid 100 %, verticaal)

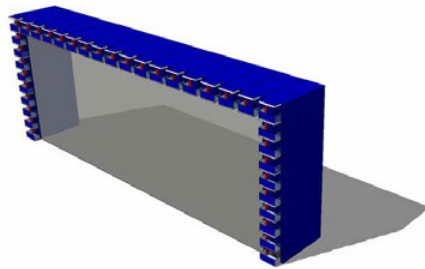


KG3-b Vergroting kopgevel door vervorming:
verticale vertanding / golven
(geslotenheid 100 %, verticaal)

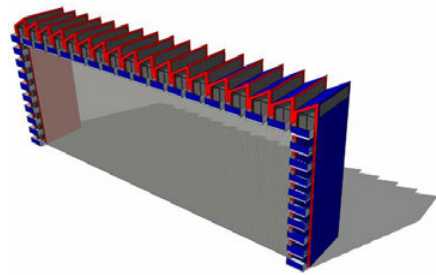
FIG. 6.71 Varianten van gevelvormen woongevel voor het oogsten van zonne-energie.

Vergroting van gevelvlakken van woongevel, ontsluitingsgevel, kopgevels en dak door uitbreiding vormen volumes. Deze volumes kunnen functionele eigenschappen hebben. Dit is een kans voor lichte bewoonbare op- en aanbouwmodules voor **één- en tweepersoons huishoudens**. Zones voor plaatsing van deze modules zijn het dak en de beide kopgevels. De modules kunnen uitkragen over de woon- en ontsluitingsgevel. De aard van de modules is modulair, op industriële wijze vervaardigd en circulair. Figuur 6.72 toont een aantal varianten hiervoor.

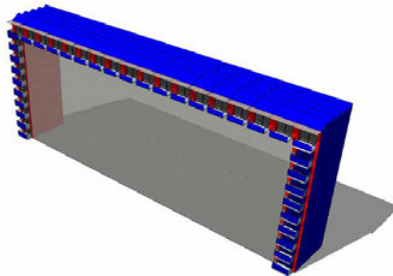
VARIANTEN VAN GEVEL- EN DAKVORMEN VOOR HET OOGSTEN VAN ZONNE-ENERGIE



Modules (plat dak) gestapeld en geschakeld



Modules (plat dak) gestapeld en (hellend dak) geschakeld



Modules (plat dak) gestapeld en (hellend dak) geschakeld

FIG. 6.72 Varianten van toevoegen van volumes voor het oogsten van zonne-energie.

Casus: upgradng portiekflat woningstichting Domus te Roermond

Een deel van de voorraad woningen van woningstichting Domus te Roermond moet ingrijpend energetisch, technisch en functioneel worden gerenoveerd om te voldoen aan eisen voor zorggeschikte woningen voor de toekomst. Met name haar gestapelde woningvoorraad ziet Domus als uitdaging. Domus brengt als bijdrage een specifiek gestapeld woningbouwplan in als case voor het project. Het betreft een vierlaagse portiekflat te Roermond uit 1958 (zie figuur 6.73) die gerenoveerd moet worden naar energieneutrale zorggeschikte woningen, voorzien van een extra lift en voorzien van twee extra woonlagen als optopping.

In het kader van de Warmtewet wil de woningstichting niet als energieleverancier maar als verhuurder aangemerkt blijven. Dit houdt in dat de warmte per appartement opgewekt moet worden in plaats van een blokverwarming. Het kunnen onderhouden van technische installaties zonder de bewoners daarin te belasten is een belangrijke eis van de woningstichting. Daarnaast is de acceptatie door de gebruikers van de energetisch renovatie een belangrijke vraag.

Een wens van woningstichting Domus is tevens om essentiële distributiecomponenten installatietechnisch te ontsluiten voor onderhoud en monitoring zonder de bewoners hiervoor te belasten. Een systematische industriële aanpak voor deze renovatie naar energieneutraal versterkt het verlagen van kosten bij het uitvoeren van grote series van renovaties.

De hoogwaardig thermisch geïsoleerde gevels vervangen/verbeteren de huidige gevels en bestaan uit een woongevel (zonzijde), een ontsluitingsgevel, kopse gevels en het dak. In de woongevel zijn, naast daglicht- en ontsluitingsvoorzieningen, onder andere PV-technologie en installatietechniek geïntegreerd. In de ontsluitingsgevel is daarnaast de installatietechniek van buiten de woning toegankelijk voor onderhoud en monitoring. De kopse gevels en het dak zijn voorzien van PV-technologie. Alle schillen vormen samen één systeem.

Energiewinsten uit de gevel zijn bij hoogbouw noodzakelijk waarbij esthetica van de energieleverende panelen een belangrijke rol speelt voor acceptatie van deze renovatie.

De gewenste oplossing is de “Geïntegreerde Hoogbouw Opwek En Distributie Envelop (GHOEDE)” waarbij de volgende elementen worden geïntegreerd in een multifunctioneel bouwdeel (zie Figuren 6.73, 6.74, 6.75 en 6.76):

- 1 *Beperking van de energievraag door zeer goede thermische isolatie van wanden, glas, daken en begane grond vloeren in combinatie met het wegwerken van thermische bruggen, luchtdichte detailleringen en bouwfysisch benodigde dampschermen en waterkerende lagen;*
- 2 *Energie opwekking door gebruik van dunne film PV in de gevel (BIPV) met een architectonisch gewenste uitstralingen (zoals het voorkomen van eenvormigheid), op het dak PV, zonnecollectoren en/of PVT. Windenergie wordt niet toegepast vanwege de geringe opbrengsten in verband met de windlocatie;*
- 3 *Hergebruik van energie door warmtewisselaars in de ventilatietechniek (+ onderhoud filters);*
- 4 *Opwekking warm tapwater en ruimteverwarming door water-water warmtepompen met energieaanvoer door middel van een centrale verwarmde waterleiding met een temperatuur van 200 C door het hele gebouw. Door de gebouwtemperatuur van ca. 200 C en de temperatuur van het aangevoerde water als energiebron voor de individuele warmtepompen treden vrijwel geen leidingverliezen op.*
- 5 *All electric uitvoering van de woning;*
- 6 *Leidingen die vanuit de schil in de woning worden gedistribueerd. Denk bijvoorbeeld aan kabelbomen die via plinten of anderszins vanuit de gevel naar het interne van de woning kunnen worden gedistribueerd;*
- 7 *Voor de exploitatie van de woningen is het onderhoud en monitoren van de distributiesystemen losgekoppeld van de vraag of bewoners toegang willen of kunnen verlenen tot de woning. Hiervoor spelen de principes van slimbouwen een rol. Niet alleen wordt hiermee de woning energiezuiniger, ook wordt het bouwproces en exploitatie slimmer en efficiënter;*
- 8 *De vervangbaarheid van samenstellende delen volgens de lagenbenadering van Brand (1995) en Slimbouwen (2005). (Schultheiss, 2017)*



FIG. 6.73 Bestaande situatie portiekflat. Overgenomen uit *Projectplan Urban Energy tender 2017: Geïntegreerde hoogbouw opwek en distributie envelop (GHOEDE)* door F.G. Schultheiss, 2017. Afbeelding: ir. H.H. Koolen.



FIG. 6.74 Gewijzigde situatie portiekflat. Overgenomen uit *Projectplan Urban Energy tender 2017: Geïntegreerde hoogbouw opwek en distributie envelop (GHOEDE)* door F.G. Schultheiss, 2017. Afbeelding en ontwerp: ir. H.H. Koolen.

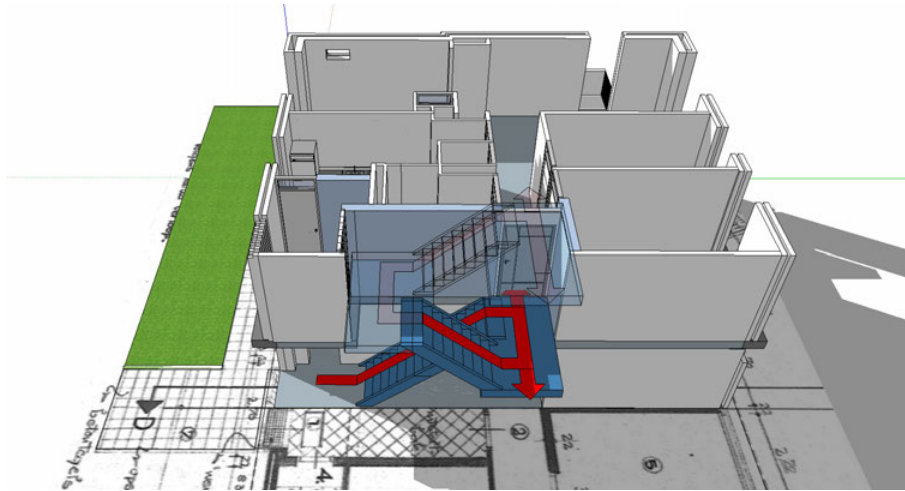


FIG. 6.75 Bestaande situatie begane grond/verdieping portiekflat. Overgenomen uit *Projectplan Urban Energy tender 2017: Geïntegreerde hoogbouw opwek en distributie envelop (GHOEDE)* door F.G. Schultheiss, 2017. Afbeelding en ontwerp: ir. H.H. Koolen.

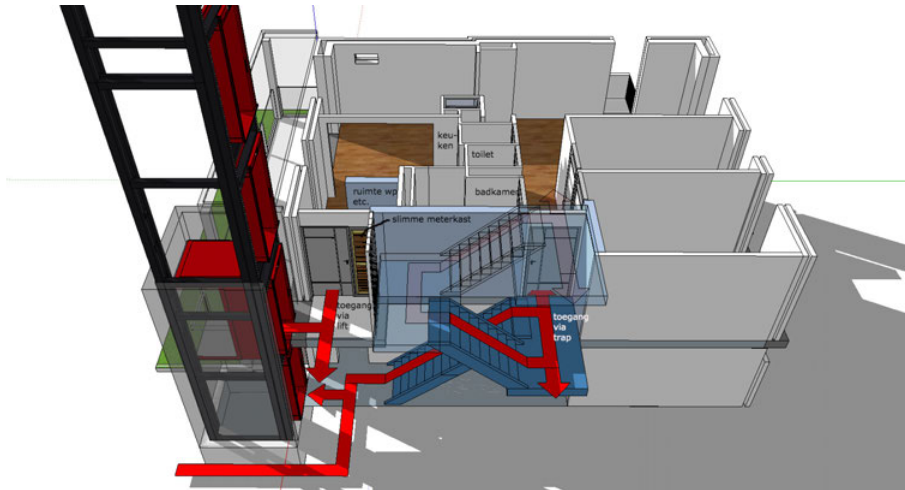


FIG. 6.76 Gewijzigde situatie begane grond/verdieping portiekflat. Overgenomen uit *Projectplan Urban Energy tender 2017: Geïntegreerde hoogbouw opwek en distributie envelop (GHOEDE)* door F.G. Schultheiss. Afbeelding en ontwerp: ir. H.H. Koolen.

Casus: upgradering galerijflat, vernieuwing ontsluitingszone en woongevel

De casus voor upgradering van een galerijflat naar een galerijflat 3.0 heeft de volgende uitgangspunten:

- De bestaande galerijontsluitingen worden vervangen door een nieuwe modulaire galerijontsluiting.
- De bestaande gevels worden thermisch geïsoleerd, kierdicht, minimale thermische bruggen.
- In de overgangszone tussen de nieuwe galerijontsluiting en de bestaande flat is ruimte voor de verticale ontsluiting van installatietechniek (energiemodule). Per verticale strang wordt door een centrale warmtepomp, aangesloten op WKO-systeem, energie verzorgd voor ruimteverwarming. Per appartement wordt via een boosterwarmtepomp warmte opgewekt voor warmtapwater. Een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning wordt via de energiemodule verzorgd. Doordat deze installatiezone direct aansluit op de gevel kan de woning aangesloten worden op het nieuwe installatiesysteem. Omdat de installatiezone zich buiten de woning bevindt en toegankelijk is via de nieuwe galerijstructuur, kan deze onderhouden worden zonder de woning te betreden. Dit draagt bij aan comfort voor de bewoners. De energiemodules zijn modulair en kunnen geüpgraded of vervangen worden.
- De overgangszone zorgt voor extra manoeuvre- en parkeer ruimte voor scootmobielen. Door een 'eigen' overgangsgebied per appartement is de afstand openbaar-privé verbeterd.
- De balkongalerijen aan de woongevels worden vervangen door nieuwe modulaire balkongalerijen. Deze galerijen zijn ruimer van maat voor meer comfort in deze overgangsruimte. De nieuwe thermische scheiding bevindt zich tegen de bestaande woongevel. De nieuwe balkongalerijen zijn zongericht en daarom bekleed met PV-modules. Afhankelijk van de oriëntatie van het bouwblok is de oriëntatie van de nieuwe gevels van de balkongalerijen parallel aan de bestaande gevels of gedraaid voor optimale energie.

Figuur 6.77 toont de bestaande situatie van de ontsluitingsgevel, Figuur 6.78 die van de woongevel.

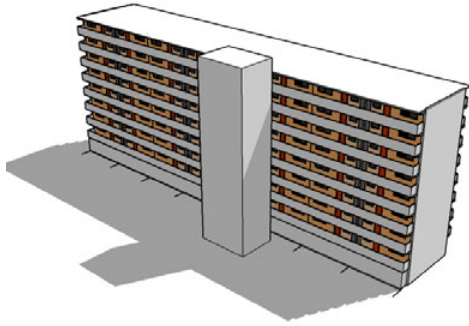


FIG. 6.77 Galerijflat – bestaande situatie – ontsluitingsgevel.

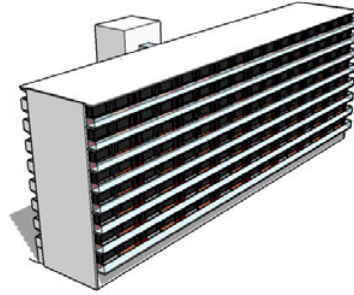


FIG. 6.78 Galerijflat – bestaande situatie – woongevel gietbouw.

Naast de galerijflats met transparante woongevels (gietbouw) zijn er ook galerijflats met meer gesloten gevels met daglichtopeningen (zware montagebouw), zie Figuur 6.79. De ontsluitingszijde van beide typen worden op dezelfde wijze geüpgraded: vervangen van de galerijconstructie door een nieuwe galerijconstructie.



FIG. 6.79 Galerijflat – bestaande situatie – woongevel zware montagebouw.

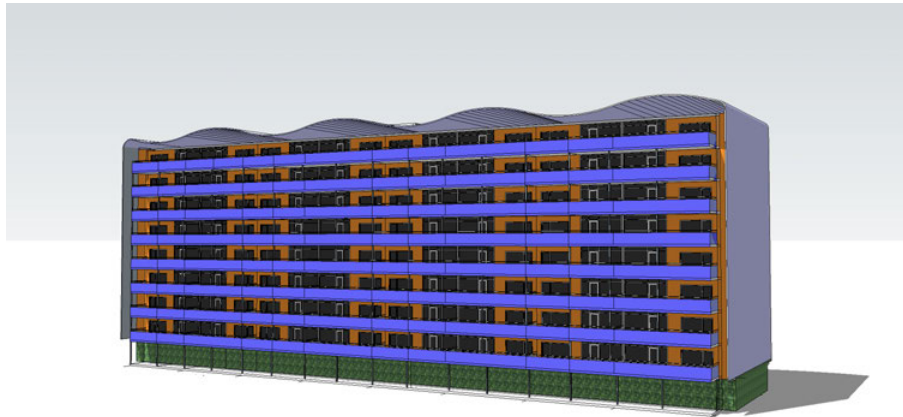


FIG. 6.80 Galerijflat – gewijzigde situatie – woongevel zware montagebouw.

De gewijzigde situatie na upgradering van de grote elementenbouw woongevel toont Figuur 6.80. Hierbij worden de uitkragende gedeelten van de balkons met thermische bruggen verwijderd en de overblijvende gedeelten aangepast als woningscheidende vloer en binnen de thermische schil gebracht. De bestaande gevel wordt voorzien van thermische isolatie en isolerend glas met goede kierdichting volgens de gestelde energieambitie. Een nieuwe balkonstructuur draagt zorg voor een ruime buitenruimte en voorziet in het oogsten van zonne-energie door de gesloten balustraden. De nieuwe balkonstructuur geeft kansen voor vergroting van het dakoppervlak ten behoeve van het oogsten van zonne-energie.

Figuur 6.81 toont de gewijzigde situatie van de ontsluitingsgevel. Uitgangspunt is een nieuwe ontsluitingsstructuur die, na einde levensduur van de flat, hergebruikt kan worden voor een nieuw te bouwen flat. De negatieve aspecten van de bestaande flat (bouwfysisch slecht, geen direct aan het appartement gelegen technische ruimte die van buitenaf onderhoudbaar is geen overgangsgebied openbaar naar privé, geen goede toegankelijkheid voor bewoners) worden door de overcladding opgelost. Door een nieuwe thermische schil met een goede kierdichting tegen de bestaande gevels (gevel ontsluitingszijde, gevel woonzijde, kopgevels) wordt de energievraag voor ruimteverwarming sterk verminderd. De overgangszone tussen het bestaande gebouw en de ontsluitingsstructuur zorgt voor de extra maat voor ruimte voor de installatieschacht met energiemodules en extra maat voor ruimte voor manoeuvreren met rolstoel of scootmobiel. De overgangszone zorgt voor een betere scheiding tussen openbaar en privé (zie Figuur 6.82 en Figuur 6.83). De installatieschacht is nodig voor de verbinding tussen WKO in de bodem

met warmtepomp als gemeenschappelijke warmtebron en nodig per ruimte per appartement voor de plaats van een energiemodule met boosterwarmtepomp voor warmtapwaterbereiding en een nieuw ventilatiesysteem met warmteterugwinning. De nieuwe installatieschacht met energiemodules is modulair van aard. Benodigde kanalen steken het appartement in. De apparatuur is van buiten het appartement te onderhouden, dus zonder overlast voor de bewoners. Het vervangen van apparatuur, bijvoorbeeld door einde levensduur, kan geheel los van het appartement plaatsvinden door het ontwarren van de installatieknoop. De gevels en dak oogsten zonne-energie volgens een bepaalde energieambitie met behulp van het rekenmodel. Het dakoppervlak is door de toevoeging van de nieuwe ontsluitingszone en woonzone uitgebreid ('vergroting dakvlak door uitbreiding') en in dit voorbeeld door vervorming (golven) vergroot.



FIG. 6.81 Galerijflat – gewijzigde situatie – ontsluitingsgevel.



FIG. 6.82 Galerijflat – gewijzigde situatie – ontsluitingsgevel: nieuwe galerijstructuur met overgangszone waarin installatietechniek (gele energiemodules) en manoeuvreerimte.



FIG. 6.83 Galerijflat – gewijzigde situatie – ontsluitingsgevel: nieuwe galerijstructuur met overgangszone waarin installatietechniek (gele energiemodules) en manoeuvreerimte.

Overcladding galerijflat door tiny active flat house modules

Naast de woongevel en ontsluitingsgevel worden ook beide kopgevels en dakgevel geüpgraded. Bij de mogelijkheden voor uitbreiding van gevelzone, kopgevelzone en dakzone (zie Figuur 6.72) ontstaat een ruimtelijk volume dat functioneel gebruikt kan worden, afhankelijk van de context. In deze variant vormen bewoonbare modules, tiny active flat house modules, een nieuwe schil rondom de bestaande flat. Deze modules worden op elkaar gestapeld en aan elkaar geschakeld. De breedtemaat van de module is een halve stramienmaat van de bestaande flat, de diepte is die van de bestaande flat. Bij een stramienmaat van 8,40 m bedraagt de breedte van de module 4,20 m, de diepte is hier 10,00 m. De module is opgebouwd uit 3 submodules: twee modules met verblijfsruimten en daartussen een installatiemodule met keukenblok, badruimte, wc en technische ruimte met aan- en afvoeren.

In deze overcladding komen alle gewenste waarden voor upgrading samen. De modules zorgen voor een nieuwe thermische en esthetische schil rondom het bestaande flatgebouw. Bij einde levensduur van het flatgebouw krijgen de modules een tweede leven. De voorziene deassemblage is door de modulaire aard eenvoudig. Daarom zijn juist deze modules als energieleverend uitgevoerd met hoogwaardig materiaalgebruik in plaats van het hoogwaardig verbeteren van bestaande gevels. Figuur 6.84 toont een tiny active flat house module met plat dak (type 1).

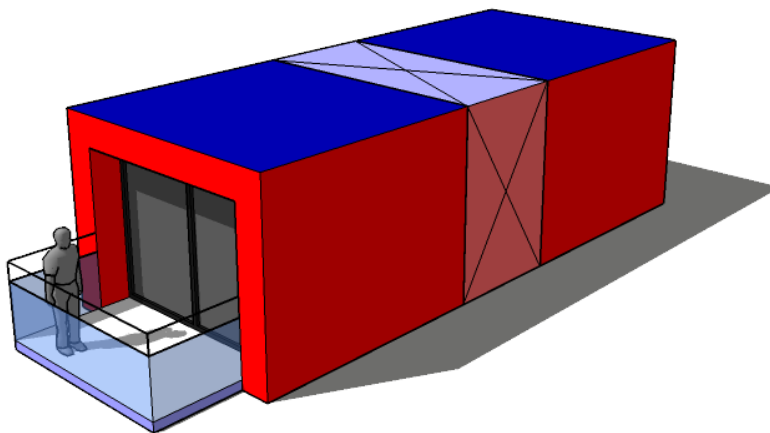


FIG. 6.84 Tiny active flat house module type 1.

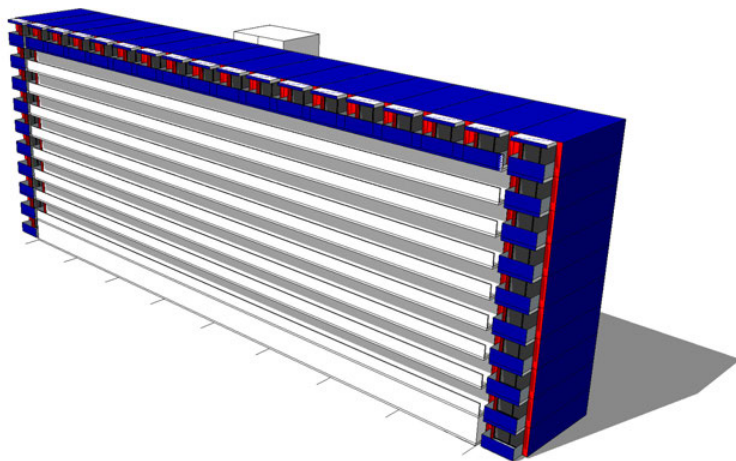


FIG. 6.85 Upgrading flat met gestapelde en geschakelde tiny active flat house modules type 1.

De modules met een plat dak zijn stapelbaar of kunnen aaneengeschakeld worden. Modules met een hellend dak over de diepte (zie Figuur 6.86 en Figuur 6.87) of over de breedte (zie Figuur 6.88 en Figuur 6.89) kunnen aaneengeschakeld worden in de dakzone. De dakvorm is afhankelijk van de oriëntatie van de energieleverende dakvlakken.

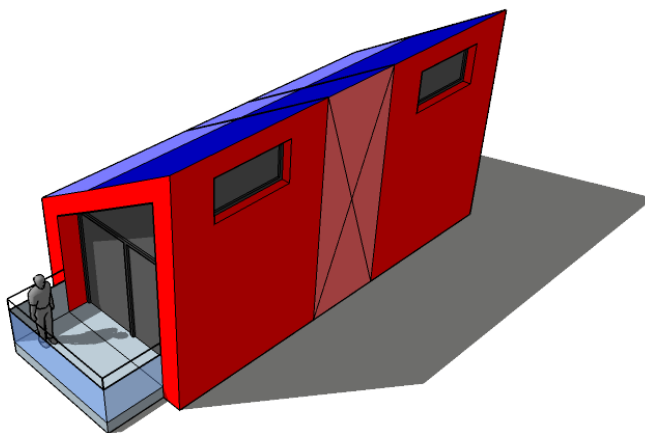


FIG. 6.86 Tiny active flat house module type 2.

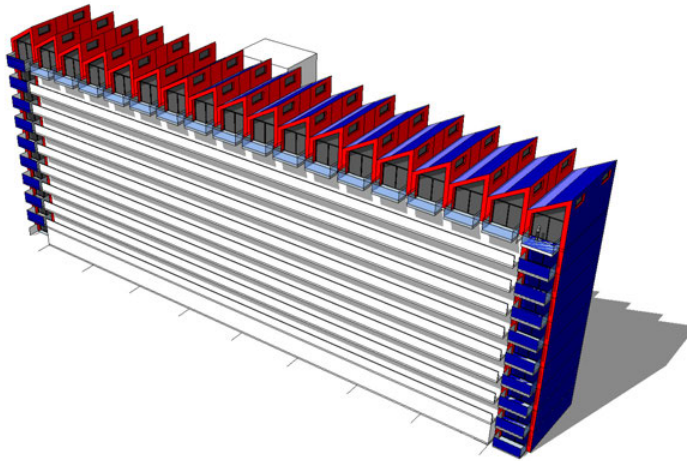


FIG. 6.87 Upgrading flat met gestapelde tiny active flat house modules type 1 in kopgevelzones en geschakelde modules type 2 in dakzone.

De modules zijn modulair, circulair (reuse) en als Active House ontworpen met materiaalgebruik met een lage LCA-waarde en met een lage embodied en recurrent energy. Laagonderdelen in submodulen met verschillende levensduren (zoals installatietechniek) zijn toegankelijk voor onderhoud, reparatie of vervanging.

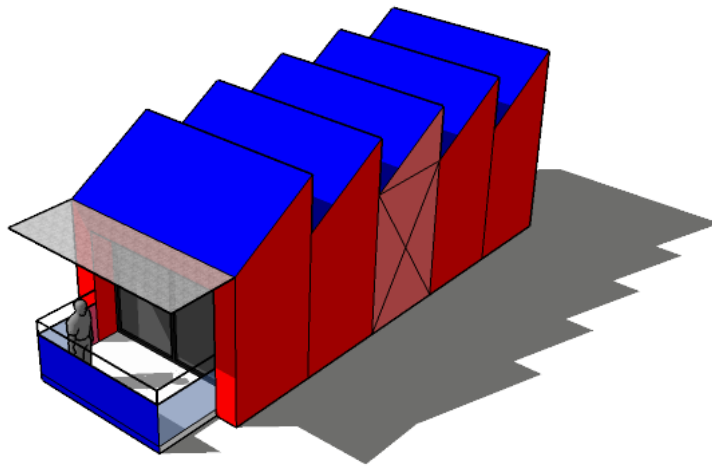


FIG. 6.88 Tiny active flat house module type 3.

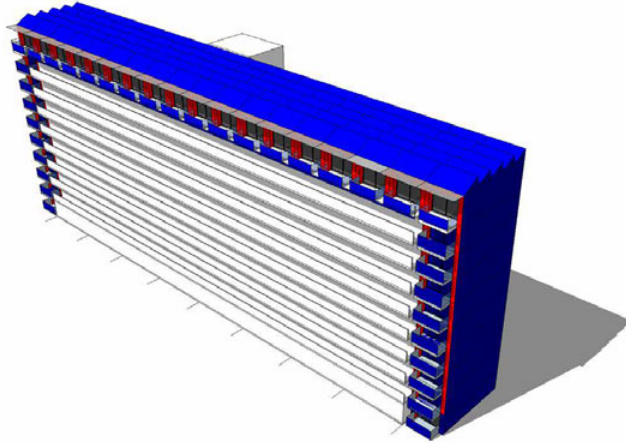


FIG. 6.89 Upgrading flat met gestapelde tiny active flat house modules type 1 in kopgevelzones en geschakelde modules type 3 in dakzone.

De upgrading van de kopse gevels en het dak kan in een variant samengaan met de upgrading van de woongevel en de ontsluitingsgevel.

6.3 Conclusie

Het uitgangspunt voor Flat 3.0 is de ontwikkeling van strategieën voor energetische upgrading van bestaande Nederlandse hoogbouw systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode naar CO₂-neutraal voor grootschalige toepassing. Circulariteit is een strategie richting CO₂-neutraal voor de upgrading van Flat 2.0 naar Flat 3.0.

De systeemtheorie heeft de keuze voor de modulaire verbinding tussen het bestaande integrale bouwsysteem en het nieuwe modulaire upgradesysteem ondersteund. De aanpakken volgens lagenmodellen hebben strategieën ondersteund door het scheiden van trage en snelle lagen en het bereikbaar zijn van upgrade-elementen. Een modulaire aanpak heeft betere kansen laten zien voor de gewenste losmaakbaarheid ten behoeve van circulair hergebruik van materialen, elementen of componenten in de fase van demontage bij einde levensduur hiervan in het

bouwwerk. De seriematigheid van de onderzoekseenheden zijn uitgangspunt geweest voor een industriële aanpak.

Flat 3.0 bewijst met een energetisch gebouwmodel dat bij woningen met een geslotenheid van de woon- en ontsluitingsgevel van 40 % en de kopse gevels en dak van 100 % bij een warmtevraag van 25 kWh_{th}/m² op jaarbasis het gebouw tot 10 woonlagen in de bepaalde gebouwgebonden en bepaalde gebruikersgebonden energie kan voorzien. Bij 50% PV in de woongevel en ontsluitingsgevel is dit haalbaar tot en met 12 lagen. Hierbij zijn externe belemmeringen voor zontoetreding niet meegenomen.

Een elektrische auto als mogelijke toevoeging aan gebruikersgebonden energie is niet haalbaar, hiervoor is bijna een verdubbeling van energieopwekking noodzakelijk op jaarbasis.

Bij de stapelbouwmethode met een relatief hoge geslotenheid van de gevel kunnen de gesloten delen worden toegepast voor energieopwekking. Bij de gietbouwmethode is de mate van geslotenheid het laagste. Een mogelijkheid is om de nu nog transparante balustraden gesloten te maken of te zoeken naar vergroting van energieopwekkende vlakken. Vergroting van energieleverende vlakken kan plaatsvinden door uitbreiding of vervorming door vertanding of buiging.

Om warmteverlies te beperken zijn posities van de thermische schil beschreven. Er zijn 8 upgradingmogelijkheden van gevels in combinatie met warme of koude balkons en galerijen.

De mate van geslotenheid kan in architectuur vertaald worden in 11 principevarianten.

Een circulaire overcladding met industriële modulaire tiny active flat house modules inclusief een vernieuwde balkon- en toegankelijke galerijstructuur met installatietechniek is een nieuwe upgradingstrategie voor energetische en functionele upgrading en voor extra wooneenheden voor kleine huishoudens.

7 Conclusie

7.1 Onderzoeksvraag

Deze dissertatie zocht het antwoord op de vraag: ‘Wat zijn mogelijke strategieën voor energetische upgrading van bestaande Nederlandse hoogbouw systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode naar CO₂-neutraal voor grootschalige toepassing?’. Om deze vraag te beantwoorden is het onderzoek gecategoriseerd in Flat 1.0 (bestaande situatie), Flat 2.0 (comfortupgrading) en Flat 3.0 (functionele en CO₂-neutrale upgrading). Het theoretisch kader heeft samen met Flat 1.0 en Flat 2.0 het uitgangspunt gevormd van het onderzoek. Flat 3.0 heeft oplossingsrichtingen beschreven.

Theoretisch kader

De systeemtheorie en lagenmodellen zijn het uitgangspunt geweest voor het bestuderen van het gebouw als een technisch en functioneel product. Industrieel bouwen is het uitgangspunt geweest voor een bouw- en realisatieproces voor grootschalige toepassing in verband met faalkosten, betaalbaarheid en beschikbare arbeidskrachten. De systeemtheorie en lagenmodellen zijn ook uitgangspunt geweest voor het ontwikkelen van industriële bouwproducten en het mogelijk verbeteren van energetische concepten en benaderingen. De systeemtheorie heeft bijgedragen aan het ontwikkelen van strategieën door inzicht in de begrippen modulair en integraal. Een circulaire aanpak heeft bijgedragen aan een CO₂-neutrale upgradestrategie. De lagenmodellen hebben de factor tijd en bereikbaarheid voor onderhoud of vervanging van onderdelen geïntroduceerd. De energetische concepten en benaderingen, energieambities en opwek-, opslag- en afgiftesystemen hebben de state of the art getoond, als vertrekpunt voor de energetische upgrading.

Flat 1.0

De eigenschappen van de bouwsystemen van Flat 1.0 kunnen in 3 categorieën verdeeld worden: bouwfysische, bouwtechnische en constructieve eigenschappen, functionele eigenschappen en architectonische eigenschappen.

Flat 1.0 heeft 10 hoogbouwsystemen geselecteerd en gecategoriseerd in 3 bouwmethoden. De meeste hoogbouwflats hebben een galerijontsluiting met trappenhuis en liften, een enkele een portiekontsluiting met lift.

De bestaande bouwtechnische en constructieve kwaliteiten van de hoogbouwsystemen zijn soms niet voldoende, zoals aantasting van de verankering van het buitenspouwblad in metselwerkgevels, aantasting van wapening in monoliet verbonden galerijvloeren en balkonplaten en minimale constructieve marges. Aspecten van de bouwfysische kwaliteit van de thermische schil van alle beschouwde flats zijn onvoldoende. De thermische isolatiewaarden en kierdichtingen zijn niet voldoende voor de gestelde energieambities. Met name de vele aanwezige thermische bruggen vormen een condensatieprobleem als de thermische schil sterk wordt verbeterd.

De functionele kwaliteiten van de ontsluitingen en plattegronden zijn vaak onvoldoende voor comfortabel gebruik door mensen met beperkingen. Een overgangsgebied tussen openbaar en privé, zowel sociaal als functioneel, is bij een galerijontsluiting van de appartementen niet aanwezig.

De mate van flexibiliteit in het aanpassen van plattegronden heeft een positieve relatie met de beukmaten. De beukmaten van de bouwsystemen variëren van 3,83 m tot 7,80 m. Het gietbouwsysteem ERA scoort met de grootste breedtemaat van de woning hierin het beste

Geslotenheid van de zongerichte gevels als architectonisch aspect is een belangrijke variabele geweest in verband met de mate van opwekking van zonne-energie vanuit die gesloten delen door middel van PV bij upgrading. De geslotenheid van de woongevels varieert van 10 % tot 68 %. De stapelbouwmethoden hebben de hoogste mate van geslotenheid van de zongerichte gevels, de gietbouwmethoden de laagste.

Flat 1.0 heeft hiermee als uitgangspunt antwoord gegeven op de vragen over eigenschappen van verschillende hoogbouwsystemen, over de technische en functionele kwaliteiten daarvan en over de mate van geslotenheid van de zongerichte

gevels als architectonische eigenschap van de diverse bouwsystemen in relatie tot mogelijke opwekking van zonne-energie vanuit de gevel.

Flat 2.0

Flat 2.0 heeft een relatie gelegd tussen bouwtechnische en functionele verbeteringen wat het wooncomfort sterk verbeterd. Daarom is Flat 2.0 bestempeld als comfort upgrading.

Vanuit de lagenbenadering is het drager-inbouw principe herkenbaar. Er zijn echter veel ongewenste integrale oplossingen met veel relaties met andere elementen volgens de systeemtheorie. Bouwelementen uit een bepaalde laag zijn vaak moeilijk bereikbaar en vast verbonden met elementen en componenten uit andere lagen, leidingknopen zijn niet ontward en daardoor moeilijk aanpasbaar volgens Slimbouwen.

Bouwtechnische en installatietechnische verbeteringen zijn vaak energetisch van aard door de verplichte labelsprong naar energielabel B voor corporatiewoningen. De vraag is of geen lock-ins zijn ontstaan om verder naar CO₂-neutraal en daarmee naar een bepaalde mate van circulair upgraden te kunnen gaan. Aan circulair upgraden is hier nog weinig aandacht besteed. Nieuwe circulaire concepten, zoals het leasen van een gevel, ontstaan sporadisch en zijn een kans voor nieuwe businessmodellen ten behoeve van Flat 3.0.

Flat 2.0 heeft functionele verbeteringen laten zien als een kans om de flats geschikt te maken voor hedendaagse woonwensen. De aanpassing van de ontsluitingsstructuur voor betere toegankelijkheid, vergroting van balkons en aanpassing van verouderde badkamers, keuken en toiletten hebben het wooncomfort verhoogd. Ruimtelijk beschouwd hebben enkele casussen verbetering van de sociale veiligheid laten zien, met name in het plintgebied van het gebouw door toepassing van transparante gevels in plaats van gesloten gevels. Deze functionele en ruimtelijke factoren uit Flat 2.0 dragen daarom bij aan nieuwe upgrade strategieën in Flat 3.0.

Bouwtechnisch en installatietechnisch gezien is Flat 2.0 nog niet voldoende uitgerust voor een toekomstige CO₂-neutrale gebouwde omgeving in een circulaire economie. Sommige concepten hebben echter al een verdergaande upgrading laten zien naar NOM met modulaire renovatiemethoden en industrieel geproduceerde bouwdelen. Dat is het startpunt van Flat 3.0.

Flat 3.0

Het uitgangspunt voor Flat 3.0 was de ontwikkeling van strategieën voor energetische upgradering van bestaande Nederlandse hoogbouw systeemwoningen uit de Wederopbouwperiode naar CO₂-neutraal voor grootschalige toepassing. Circulariteit is een CO₂-neutraal antwoord voor de upgradering van Flat 2.0 naar Flat 3.0. De systeemtheorie heeft de keuze voor de modulaire verbinding tussen het bestaande integrale bouwsysteem en het nieuwe modulaire upgradesysteem ondersteund. De aanpakken volgens lagenmodellen hebben strategieën ondersteund door het scheiden van trage en snelle lagen en het bereikbaar zijn van upgrade-elementen. Een modulaire aanpak heeft betere kansen laten zien voor de gewenste losmaakbaarheid ten behoeve van circulair hergebruik van materialen, elementen of componenten in de fase van demontage bij einde levensduur hiervan in het bouwwerk. De seriematigheid van de onderzoekseenheden zijn uitgangspunt geweest voor een industriële aanpak.

Flat 3.0 heeft op basis van een ontwikkeld gebouwmodel de mogelijkheden beschreven voor upgradering van de Wederopbouw hoogbouwflats naar CO₂-neutraal op basis van energetische ambities onder bepaalde omstandigheden. Het gebouwmodel heeft als eigenschappen een meerlaags woongebouw met bepaalde afmetingen, een galerijontsluiting, diverse oriëntaties ten opzichte van de zon, gesitueerd in De Bilt en bepaalde energieambities.

Uit het gebouwmodel is gebleken dat bij de energieambitie van 25 kWh_{th}/m² per jaar voor ruimteverwarming, waarbij gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie duurzaam opgewekt worden, dit boven 4 woonlagen, met de condities woongevel en ontsluitingsgevel 10 % PV en kopse gevels en dak 100 % PV, niet haalbaar is. Bij 40% PV in de woongevel en ontsluitingsgevel is dit haalbaar tot en met 10 lagen. Bij 50 % PV in de woongevel en ontsluitingsgevel is dit haalbaar tot en met 12 lagen. Hierbij zijn externe belemmeringen voor zontoetreding niet meegenomen.

Bij stapelbouw en zware montagebouw met galerijontsluiting is de geslotenheid van de gevels relatief hoog. Daarom is het energetisch aanpassen van de gevel zelf door thermische isolatie aan de buitenzijde van de bestaande gevel aanbevolen. Thermische bruggen moeten wel weggenomen worden. Installatietechniek wordt in het opbouwpakket in de ontsluitingszijde verwerkt. Bij gietbouw zijn mogelijkheden beschreven aan de zongerichte gevel door het pui-karakter van de gevel. Hier kan een nieuwe energieleverende gevelconstructie voor geplaatst worden met ruimere balkons en een uitgebreid dakvlak en vlakken van de kopse gevels. Indien er belemmeringen zijn kunnen de oppervlakken van de nieuwe gevels vergroot worden

door deze te vertanden, te vouwen of te buigen of door uitbreiding. De benodigde mate van geslotenheid heeft 5 principevarianten waarbij de fijnheid van indeling, vlaktype en vlakrichting varieert.

De vraag is gerezen of een elektrische auto als mogelijk gebruikersgebonden apparaat in het gebouwmodel kon worden opgenomen. Er is aangetoond dat het energieverbruik van een elektrische auto met een bepaalde capaciteit en een bepaald jaarkilometrage 2000 tot 3000 kWh/jaar bedraagt. Bij een gemiddeld aantal auto's van 1,2 - behorende bij het rekenmodel - ten opzichte van de hoeveelheid van de totale benodigde elektriciteit van ruim 4000 kWh/jaar uit het energiemodel voor gebouwgebonden en gebruiksgebonden energie betekent dit in het uiterste geval bijna een verdubbeling van de opwek van de benodigde elektrische energie. Dit is onmogelijk in verband met het beschikbare oppervlak aan het gebouw voor energieopwekking. Daarom kon een elektrische auto niet in de gebruikersgebonden energie in het gebouwmodel worden opgenomen. Wel kunnen ruimtelijke maatregelen genomen worden zoals PV-overkappingen boven parkeervakken of PV op andere dakvlakken om op jaarbasis de benodigde energie voor de auto te kunnen oogsten, los van de flatgevels en -daken.

Flat 3.0 heeft 5 strategieën in de vorm van posities van de thermische schil, en combinaties daartussen, beschreven om warmteverlies te beperken. De technische upgraden van de schil van het gebouw kan op een aantal wijzen plaatsvinden: de bestaande schil aanpassen of een nieuwe schil voor de bestaande schil plaatsen. Beide al dan niet in combinatie met een uitbreiding of met galerij/balkonvervangings in verband met thermische bruggen of slechte technische staat. Er zijn hierbij 16 strategieën beschreven.

In de nieuwe upgradestructuur is bereikbaarheid en losmaakbaarheid in verband met onderhoud, vervanging en hergebruik op diverse tijdstippen uitgangspunt en daarom modulair van opzet.

Een andere wijze van upgraden is een geheel nieuwe 'overcladding' rondom de bestaande gebouwomhulling. De gelijktijdigheid van de noodzakelijke circulaire, energetische, functionele, sociale en technische renovatie, met daarbij het grote aantal gestapelde woningen dat in korte tijd gerenoveerd moet worden, hebben voor een geheel andere benadering van het upgrade concept Flat 3.0 gezorgd. Het dwingt tot een radicale aanpak. Incrementeel is niet meer voldoende. Voor schaalvergroting zijn industrieel gerichte innovatieve concepten nodig. Op circulariteit en industriële productie ontworpen modulaire tiny active flat house modules, wooneenheden voor kleine huishoudens, zorgen voor de energetische overcladding van de dakzone en de kopse gevels. In combinatie met een vernieuwde toegankelijke galerijstructuur met

installatietechniek en een vernieuwde balkonstructuur zorgen deze modules voor de gewenste upgrading.

De upgrade van nu betekent een levensduurverlenging van het gebouw van weer 50 jaar. Er kan dus nu, na 60 tot 70 jaar gebruik, ook al rekening gehouden worden met tussentijds hergebruik of recycling van gebouwen, bouwcomponenten, bouwelementen of bouwmaterialen bij einde van een bepaalde levensduur daarvan. Het upgradesysteem en het materiaalgebruik daarvoor heeft in elk geval rekening gehouden met circulair gebruik met hoge ambitie in relatie tot de verschillende levensduren.

Flat 3.0 heeft upgrade strategieën beschreven. Een ontwikkeld gebouwmodel heeft inkomende zonne-energiestromen op basis van architectonische eigenschappen van een flatgebouw met een bepaald bouwsysteem (geslotenheid van gevels, aantal woonbeuken, aantal woonlagen), locatie en situering en bepaalde uitgaande gebouwgebonden energiestromen op basis van een gestelde energieambitie en bepaalde gebruikersgebonden energiestromen beschreven. De energetische haalbaarheid is aangetoond door middel van dit gebouwmodel. De overcladding met circulaire, industrieel vervaardigde, op de systeemtheorie gebaseerde, modulaire tiny active flat houses in combinatie met een vernieuwing van de balkon- en toegankelijke galerijstructuur met installatietechniekmodules is een nieuw energetisch upgradeconcept. De systeemtheorie en lagenmodellen hebben bijgedragen aan deze upgrade strategieën. Concepten en benaderingen vormden de basis hiervoor. De wetenschappelijke kennis is met dit onderzoek uitgebreid. De onderzoeksvraag is daarmee beantwoord.

De voor ons liggende opgave van noodzakelijke upgrading van flats uit de jaren 50 en 60 is groot en complex. Veel gebouwen die in korte tijd geüpgraded moeten worden, woningnood, een aarzelende financiering, een tekort aan bouwvakkers, een dreigend materialentekort, nieuwe circulaire bouwmethoden met bijbehorende verdienmodellen. Een déjà vu van de Wederopbouwperiode, een ware renaissance dient zich aan.

7.2 Discussie

Discussie over ruimtegebruik

Een woning gebruikt altijd energie in de vorm van snelle actieve operationele gebouwgebonden energie en langzame indirecte passieve energie (zoals tijdelijke warmteopslag door accumulatie in de constructie). De gebruiker in de woning gebruikt gebruikersgebonden energie. De woning kan zelf energie (elektriciteit en warmte) opwekken. De snelle energiestromen hebben een specifiek ritme, afhankelijk van tijdstippen van douchen en koken (warmtapwatergebruik, ventilatie en hulpenergie), ruimteverwarming (overdag hoog, in de nacht laag), overdag of nacht, weersomstandigheden (zon, wind) en seizoen. De verschillende ritmen in vraag en aanbod van actieve en passieve energie (elektriciteit en warmte) kunnen op elkaar afgestemd worden. Bijvoorbeeld door slimme regelingen in de woning zelf, tussen woningen, in een bouwblok, een wijk, stadsdeel of stad of daarbuiten, of door het opslaan van energie voor een dagdeel, dag, week, maand, seizoen of jaar. De invloed van het afstemmen van energiestromen binnen bepaalde systeemgrenzen op upgrade-modellen vergt nader onderzoek.

Recycling van PV panelen

De technische recyclebaarheid van PV-panelen is nog zeer laag. De panelen bestaan uit integraties

van allerlei materialen op elementniveau. Gezocht kan worden naar her te gebruiken elementen of materialen in de technosfeer door een minder integrale en meer modulaire opzet tot componenten van deze elementen. Een andere optie is het doorontwikkelen van PV-panelen op basis van biosfeer (biobased) materialen. Na einde levensduur van het paneel kan dit dan opgenomen kunnen worden in de biosfeer. Dat vereist meer fundamenteel materiaalonderzoek.

7.3 Aanbevelingen

Uitwerken principerichtingen

De aangegeven principerichtingen voor de upgrade van hoogbouwflats kunnen omgezet worden in specifieke uitwerkingen voor specifieke hoogbouwflats in specifieke contexten met specifieke opdrachtgevers. Hierin staat de detaillering en materialisering ter ondersteuning van het modulaire circulaire upgradeprincipe centraal. Daarnaast is onderzoek nodig voor onder andere financiële haalbaarheid op basis van circulaire businessmodellen. Het upgraden van de hoogbouwflats kan zo veel mogelijk op basis van hergebruik bij einde levensduur van de betreffende elementen of componenten volgens een bepaalde lagenbenadering in de flats geschieden. Alle nieuw aan te brengen elementen en componenten kunnen circulair ontworpen worden. Het behoud van waarde hiervan is daardoor hoger en is onderdeel van het circulaire businessmodel.

Van lineaire verdienmodellen naar circulaire businessmodellen

Meervoudige waardecreatie is een grote kans voor nieuwe circulaire business- en verdienmodellen ten behoeve van circulaire renovatie van bestaande woningen.

Dat vergt onder andere een aangepaste mindset van de stakeholders, zoals woningcorporaties, onderhoudsbedrijven en banken, om van lineaire bedrijfsmodellen naar circulaire bedrijfsmodellen te kunnen gaan.

Kosten, exploitatie of een terugverdienmodel zijn nu nog lineaire waarden. Als we naar een circulair businessmodel gaan, dan worden ook andere waarden (voor alle stakeholders) in beschouwing genomen. Dit kan voor uitruil van waarden zorgen en geeft daarmee nieuwe kansen voor een corporatie.

Het circulaire businessmodel heeft zeker invloed op de uitwerking van het technische renovatieconcept, bijvoorbeeld het technisch comfort (zoals ventilatie, temperatuur en domotica) als serviceconcept.

De haalbaarheid van circulaire upgrades van Wederopbouw flats, zeker in relatie tot de langdurigheid van de cycli, voor een corporatie benodigt lange termijn visies en nader onderzoek naar meervoudige waardecreatie.

Embodied energie door materiaalgebruik

Bij energetische upgradings van woningen wordt vaak de gebouwgebonden en gebruikersgebonden energie benoemd. Echter de embodied energie door materiaalgebruik heeft weinig aandacht.

Vanwege eindigheid van sommige materialen wordt circulair bouwen gezien als een gewenste bouwmethode. In theorie klopt het dat alle materialen in korte of lange tijdcirkels worden vastgehouden. Nieuwe materialen zijn over de gehele cyclus gezien niet nodig. Maar de cycli in gebouwen belopen vele decennia, in dit geval al 60 tot 70 jaar. Met daarin op dit moment niet goed overzichtelijke effecten.

Vanwege het feit dat altijd 'lekkage' ofwel verlies en afschrijving van gebruikte materialen optreedt, materialen kunnen toch niet in de materialencirkel blijven, blijven virgin materialen nodig. Als deze materialen hernieuwbaar zijn, dus biobased, dan is de cirkel echt gesloten. De biobased materialen mogen de materialencirkel verlaten omdat deze hernieuwbaar zijn. Niet-hernieuwbare materialen dus alleen toepassen als deze volledig in de cirkels kunnen blijven. Het echte circulair bouwen is daarom biobased. Hierover bestaat nog weinig onderzoek. Een aanbeveling is om te onderzoeken wat de invloed is van biobased materiaalgebruik voor de energetische upgradings van de bestaande woningvoorraad.

Referenties

- AbouElhamd, A. R., Al-Sallal, K. A., & Hassan, A. (2019). Review of Core/Shell quantum dots technology integrated into building's glazing. *Energies*, 12(1058), 1-22. doi:10.3390/en12061058
- Adami, J., Lovati, M., Maturi, L., & Moser, D. (2018). An integrated approach for the BIPV optimization since early design: A case study analysis. *13th Conference on Advanced Building Skins*, Bern. 832-839.
- Adams, C., Coulson, A. B., Emmelkamp, T., Greveling, R., Klüth, G., & Nugent, M. (2013). *Capitals: Background paper for <IR>*. The Technical Task Force of the International Integrated Reporting Council (IIRC).
- Aedes. (2017a). Label B gelijk aan nieuwe energie-index 1,2 – 1,4. Geraadpleegd op 1 juli 2018 van <https://www.aedes.nl/artikelen/bouwen-en-energie/energie-en-duurzaamheid/samenwerking-en-programmas/label-b-gelijk-aan-nieuwe-energie-index-1-2---14.html>
- Aedes. (2017b). *Woonagenda 2017-2021: Onze bijdrage aan de toekomst*. Den Haag: Aedes.
- Aedes. (z.d.). Over / about Aedes. Geraadpleegd op 1 juli 2019 van <https://www.aedes.nl/algemeen/over-aedes>
- Agentschap NL. (2011a). *Brochure voorbeeldwoningen 2011 bestaande bouw*. (No. 2KPWB1034). Sittard: Agentschap NL.
- Agentschap NL. (2011b). *Voorbeeldwoningen 2011: Onderzoeksverantwoording*. (No. 2KPWB1036). Sittard: Agentschap NL.
- Agentschap NL. (2012). Warmtapwater in de herziene EPC-bepaling: Wat gaat er veranderen? Geraadpleegd op 1 september 2019 van <https://www.nen.nl/web/file?uuid=00e9d40f-81bd-441f-897d-4f7b2a7ce2d3&owner=661f2b5a-9c3b-4e79-a9f9-5420b26f8bf4>
- Agentschap NL. (2013). *De Tempel gebouwd voor de toekomst*. (No. 2EGOU1308). Utrecht: Agentschap NL.
- Agentschap NL. (2015). *Infoblad trias energetica en energieneutraal bouwen*. (Infoblad No. RVO-072-1401/FD-DUZA). Utrecht: Agentschap NL, NL Energie en Klimaat. Geraadpleegd op 22 augustus 2018 van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/Infoblad%20Trias%20Energetica%20en%20energieneutraal%20bouwen-juni%202013.pdf>
- Akbari, H., Browne, M. C., Ortega, A., Huang, M. J., Hewitt, N. J., Norton, B., & McCormack, S. J. (2018). Efficient energy storage technologies for photovoltaic systems. *Solar Energy*, <<in press>> doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.052>
- Alexander, C. (1966). A city is not a tree. *Design*, (206), 46-55.
- Ali, M., & Armstrong, P. J. (2008). Overview of sustainable design factors in high-rise buildings. *CTBUH 2008 8th World Congress*, Dubai. 1-9.
- Alting, W. A. (1974). *Energiegebruik in de huishouding: Een literatuurstudie over het energieverbruik in de huishouding en de mogelijkheden tot besparing van energie*. (Huishoudkunde nr. 4). Wageningen: Landbouwhogeschool Wageningen.
- Al-Waeli, A. H. A., Sopian, K., Kazem, H. A., & Chaichan, M. T. (2017). Photovoltaic/Thermal (PV/T) systems: Status and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 109-130.
- Andeweg, M. T. (2013). *Niet-traditionele bouwmethoden uit de periode 1945-1965*.
- Aquion. (2018). Energy storage, clean and simple. <http://aquionenergy.com/technology/deep-cycle-battery/>
- Arendsen, M., Cannegieter, J. J., Grund, A., Heck, P., De Klerk, S., & Zandhuis, J. (2012). *Succes met requirements!: Ontwikkeling validatie en beheer van requirements voor informatiesystemen* (3e herziene druk ed.). Den Haag: Academic Service.
- Arora, R. (2016). Energy producing buildings. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.slideshare.net/rohitara7798/energy-producing-buildings-63982043>
- Asbjørnsen, O. (1992). *Systems engineering principles and practice*. Arnold, Maryland, USA: Skarppod Forlag.
- Ashby, M. F. (2012). *Materials and the environment* (2nd ed.) Butterworth-Heinemann.
- Autoriteit woningcorporaties. (2018). *Sectorbeeld 2018*. Utrecht: Inspectie Leefomgeving en Transport ILT/ Autoriteit woningcorporaties.

- Azcarate-Aguerre, J., & Klein, T. (2018). Façade leasing pilot project at TU Delft. Geraadpleegd op 19 april 2019 van <https://www.tudelft.nl/en/architecture-and-the-built-environment/research/projects/green-building-innovation/facade-leasing/facade-leasing-pilot-project-at-tu-delft/>
- Azcarate Aguerre, J., Klein, T., & den Heijer, A. (2016). A business-oriented roadmap towards the implementation of circular integrated facades. In P. Bertoldi (Ed.), 9th International Conference Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings and Smart Communities (pp. 463-473). JRC Science Hub. <https://doi.org/10.2790/290244>
- a2-solar. (2016). *When design meets functionality: 30 years of expertise in spherically curved solar modules*. (Brochure). Erfurt: a2-solar.
- Baarda, F., & Jung, M. (2016). Welstandsnota Dordrecht. Geraadpleegd op 1 oktober 2019 van https://cms.dordrecht.nl/Inwoners/Overzicht_Inwoners/Bouwen_en_verbouwen/Welstand
- Bachman, L. L. (2003). *Integrated buildings: The systems basis of architecture*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Balendonck, J., Sonneveld, P. J., Morshuis, P. H. F., & Bruins, M. A. (2008). *EWICON II: De ontwikkeling van een elektrostatische windenergie converter II*. (No. Nota 503). Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw.
- BAM Wonen. (2 oktober, 2018). Vestia en BAM wonen geven hoog lindoduin in scheveningen een duurzaam tweede leven. Geraadpleegd op 1 oktober 2019 van <https://www.bamwonen.nl/nieuws/2018/10/vestia-en-bam-wonen-geven-hoog-lindoduin-in-scheveningen-een-duurzaam-tweede-leven>
- Bastein, T., & Rietveld, E. (2016). *Circulaire potentie voor Utrecht*. Utrecht: TNO.
- Beemster, W. (2011). Optoppen, uitbuiken of renoveren? *Stedebouw En Architectuur*, (Gevels), 4-11.
- Benato, A., & Stoppato, A. (2018). Pumped thermal electricity storage: A technology overview. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 301-315.
- Berggren, B., Hall, M., & Wall, M. (2013). LCE analysis of buildings – taking the step towards net zero energy buildings. *Energy and Buildings*, 62, 381-391. [Doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.063](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.063)
- Bertram, N., Fuchs, S., Mischke, J., Palter, R., Strube, G., & Woetzel, J. (2019). *Modular construction: From projects to products*. New York City: McKinsey & Company.
- Bigot, D., Miranville, F., Fakra, A. H., Ingar, I., Guichard, S., & Boyer, H. (2010). Thermal performance of photovoltaic systems integrated in buildings. *Solar collectors and panels, theory and applications* (pp. 405-428). Rijeka, Croatia: InTech Europe.
- Biyik, E., Araz, M., Hepbasli, A., Shahrestani, M., Yao, R., Shao, L., . . . Atli, Y. B. (2017). A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20, 833-858.
- Bloemen, D. (2007). Studie: Flexibele inbouwsystemen. Geraadpleegd op 18 oktober 2018 van http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgo/open_bouwen_27_drager_inbouw_flexibele_inbouwsystemen_1994_door_danny_bloemen_2007.pdf
- Blok, S.A. (2018). Regeling energieprestatievergoeding huur. Geraadpleegd op 27 juli 2018 van <http://wetten.overheid.nl/BWBR0038455/2018-07-01>
- Blom, A. (2004). *Brochure Cultuurhistorie: Vroeg-naoorlogse woonwijken*. (No. 2014). Zeist: Rijksdienst voor de Monumentenzorg. Geraadpleegd op 7 juni 2019 van <http://www.cultureelerfgoed.nl/sites/default/files/publications/gids-05-cultuurhistorie-vroeg-naoorlogse-woonwijken-2004.pdf>
- Blom, A., Jansen, B., & Van der Heide, M. (2004). *De typologie van de vroeg-naoorlogse woonwijken*. Zeist: Rijksdienst voor de Monumentenzorg.
- BodemenergieNL. (2018). Type bodemenergiesystemen. Geraadpleegd op 7 januari 2018 van <https://bodemenergienl.nl/bodemenergie/type-bodemenergiesystemen/>
- Bo-Ex. (18 december, 2019). Utrechtse hoogbouwflat wordt energieleverend. Geraadpleegd op 30 december 2019 van <https://boex.nl/News/2766/>
- Bogaers, P. C. W. M. (1963). *Nota betreffende een pluriform en expansief bouwbeleid*. 's-Gravenhage: Ministerie van Volkshuisvesting en Bouwnijverheid.
- Bogaers, P. C. W. M. (1964a). *Uitbreiding van de woningproductie*. (Circulaire No. M.G. 64-1). 's-Gravenhage: Ministerie van Volkshuisvesting en Bouwnijverheid. Centrale Directie van de Volkshuisvesting en de Bouwnijverheid.
- Bogaers, P. C. W. M. (1964b). *Additionele bouwcapaciteit*. (Circulaire No. M.G. 64-3). 's-Gravenhage: Ministerie van Volkshuisvesting en Bouwnijverheid. Centrale Directie van de Volkshuisvesting en de Bouwnijverheid.

- Bogaers, P. C. W. M. (1964c). *Industriële woningbouw en additionele woningbouwcapaciteit*. (Circulaire No. M.G. 64-13). 's-Gravenhage: Ministerie van Volkshuisvesting en Bouwnijverheid. Centrale Directie van de Volkshuisvesting en de Bouwnijverheid.
- Bomeninfo. (2012). Hoge bomen in Nederland. Geraadpleegd op 22 januari 2018 van <http://www.bomeninfo.nl/hobo.htm>
- Bomenstichting. (2018). Landelijk register van monumentale bomen. Geraadpleegd op 22 januari 2018 van <http://www.bomenstichting.nl/monumentale-bomen/monumentale-bomen.html>
- Bouwcentrum Ratiobouw (1970). *Rapport: "Enige principiële punten bij gietbouw"*. (Nr. 4163). Den Haag: Algemeen Rijksarchief, Tweede Afdeling, Archief van Rapport van de Stichting Ratiobouw.
- Bouwcentrum Ratiobouw (1970). *Rapport: "Enige principiële punten bij gietbouw"*. (Nr. 4163). Den Haag: Algemeen Rijksarchief, Tweede Afdeling, Archief van Rapport van de Stichting Ratiobouw.
- Bouwens, C. (9 februari, 2017). Woningbouw volgens BENG: Do's en don'ts voor bijna energieneutraal bouwen. Geraadpleegd op 1 mei 2019 van <https://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2017/02/Lente-akkoord-Woningbouw-volgens-BENG.pdf>
- BouwhulpGroep. (2013). *Documentatie systeemwoningen '50-'75*. (No. Eindrapport B12.069). Den Haag: Platform31.
- Bouwmeester, H. (21 februari, 2019). Wat doet de nieuwe BENG met de woningbouw?: Verslag van de plenaire sessie over een nieuwe BENG-norm met Harm Valk (Nieman RI) tijdens de ZEN Platformbijeenkomst op 19 februari 2019. Geraadpleegd op 1 mei 2019 van <https://www.lente-akkoord.nl/wat-doet-de-nieuwe-beng-met-de-woningbouw/>
- Bouwwereld. (10 mei, 2010). Wederopbouwflat krijgt nieuwe vorm: Veel staal toegepast aan zwak casco. Geraadpleegd op 1 oktober 2018 van <https://www.bouwwereld.nl/project/wederopbouwflat-krijgt-nieuwe-vorm/>
- Brand, S. (1994). *How buildings learn: What happens after they're built*. New York: Penguin Books.
- Braun, C., & Winter, R. (2005). *A comprehensive enterprise architecture metamodel and its implementation using a metamodeling platform*. St. Gallen: Institute for Information Management University of St. Gallen.
- Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*. New York: North Point Press.
- Brinksma, H. (2017). *Toekomstbestendig renoveren* (Proefschrift). Delft: Technische Universiteit Delft.
- Brouwers, R., De Gunst, D., & Van Heeswijk, H. (2013). *Nieuwe kansen voor de galerijflat: Ideeën en aanbevelingen voor de komende vijftig jaar*. Amsterdam: NDCC publishers.
- Brundtland, G. H. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future*. United Nations. Geraadpleegd op 7 juni 2017 van <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Buchner, F. (z.d.). Groen in wederopbouw wijken. Geraadpleegd op 1 oktober 2018 van <https://praktijkvoorbeelden.cultureelerfgoed.nl/praktijkvoorbeelden/groen-wederopbouw wijken>
- Buck, S. T., Van Keulen, B., Bosselaar, L., & Gerlagh, T. (2010). *Protocol monitoring hernieuwbare energie, update 2010*. (No. 2DENB1013). Agentschap NL.
- BZK. (2019). *Cijfers over wonen en bouwen 2019*. Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- CBS. (z.d.). Begrippen. Geraadpleegd op 18 mei 2018 van <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen?tab=s#id=stedelijkheid--van-een-gebied-->
- CBS. (2014). Energie en milieu: Indicatoren: Huishoudelijk energieverbruik per inwoner, 1950-2013. Geraadpleegd op 1 november 2018 van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl003617-huishoudelijk-energieverbruik-per-inwoner>
- CBS. (2016). *Aantallen en kenmerken van verenigingen van eigenaren: Een verkennend onderzoek*. Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek.
- CBS. (2017a). Forse groei autokilometers. Geraadpleegd op 18 mei 2018 van <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/41/force-groei-autokilometers>
- CBS. (2017b). Huishoudens in bezit van auto of motor; huishoudkenmerken. Geraadpleegd op 18 mei 2018 van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81845NED/table?ts=1528112933457>

- CBS. (2018). Voorraad woningen en niet-woningen; mutaties, gebruiksfunctie, regio. Geraadpleegd op 23 februari 2018 van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82900NED/table?ts=1519376771837>
- CBS. (15 augustus, 2019a). Kwart bedrijven ervaart personeelstekort. Geraadpleegd op 6 september 2019 van <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/33/kwart-bedrijven-ervaart-personeelstekort>
- CBS. (29 augustus, 2019b). Bedrijven; bedrijfs grootte en rechtsvorm. Geraadpleegd op 6 september 2019 van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81588ned/table?fromstatweb>
- Cerón, I., Caamaño-Martín, E., & Neila, F. J. (2013). 'State-of-the-art' of building integrated photovoltaic products. *Renewable Energy*, 58, 127-133.
- Chang, S., Cheng, P., Li, G., & Yang, Y. (2018). Transparent polymer photovoltaics for solar energy harvesting and beyond. *Joule*, 2(6), 1039-1054.
- Chastas, P., Theodosiou, T., Bikas, D., & Kontoleon, K. (2017). Embodied energy and nearly zero energy buildings: A review in residential buildings. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 554-561. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.123>
- Cheshire, D. (2016). *Building revolutions: Applying the circular economy to the built environment*. Newcastle upon Tyne: RIBA Publishing.
- Chowdhury, M. S., Rahman, K. S., Chowdhury, T., Nuthammachot, N., Techato, K., Akhtaruzzaman, M., . . . Amin, N. (2020). An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. *Energy Strategy Reviews*, 27, 100431. doi:<https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100431>
- Circular Ecology. (2011). Embodied energy and carbon: The ICE database. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <http://www.circularecology.com/embodied-energy-and-carbon-footprint-database.html#W1HKw7gyVPY>
- Circular Ecology. (2018). Glossary of terms and definitions. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <http://www.circularecology.com/glossary-of-terms-and-definitions.html#W1HXFLgyVPY>
- ClearVue-PV. (2018). ClearVue-PV. Geraadpleegd op 1 mei 2019 van <http://www.clearvuepv.com/wp-content/uploads/2018/07/ClearVue-PV-Brochure-v3.pdf>
- CO₂-emissiefactoren. (2019). Lijst emissiefactoren. Geraadpleegd op 1 mei 2019 van https://www.co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/#brandstoffen_energieopwekking
- CO₂-emissiefactoren. (januari, 2020). Lijst emissiefactoren. Geraadpleegd op 21 januari 2020 van <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/#elektriciteit>
- Cramer, J. (2014). Milieu. (Elementaire Deeltjes: 16). Amsterdam: Amsterdam University Press B.V.
- Criscimagna, N. H. (2005). Form, fit, function, and interface - an element of an open system strategy. *The Journal of the Reliability Analysis Center*, (First quarter), 7-14.
- CROW. (2008). *Parkeerkencijfers - basis voor parkeernormering*. (Publicatie 182). Ede: CROW.
- Cuperus, Y. (2001). An introduction to open building. Paper presented at the *9th International Group for Lean Construction Conference*. Singapore. Geraadpleegd op 30 mei 2018 van <http://cic.vtt.fi/lean/singapore/CuperusFinal.pdf>
- Da Conceição van Nieuwenhuizen, J. (2015). Galerijflats, de naakte waarheid: Interview met Hans van Heeswijk en Dick de Gunst. *Stedenbouw & Architectuur*, (5), 36-39.
- Da Rocha, C. G., Formoso, C. T., & Tzortzopoulos, P. (2015). Adopting product modularity in house building to support mass customisation. *Sustainability*, 7(5), 4919-4937. Geraadpleegd op 1 september 2019 van <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/5/4919/htm>
- Dana, K. (2015). Transformation de 530 logements, Cité du Grand-parc à Bordeaux. *D'Architectures*, 240, 62-67.
- Dana, K. (2016). Die cité du Grand Parc in Bordeaux. *Bauwelt*, (39), 38-47.
- De Boer, W. W., Verheij, F. J., Moldovan, N., Van der Veen, V., Groeman, V., Schrijner, V., . . . Quist, A. (2007). *Energie-eiland, de haalbaarheid van drie verschillende opties van energieopslag voor Nederland*. (No. 30620183-Consulting 07-0770). Arnhem: KEMA.
- De Energieconsultant. (z.d.). Omrekening van m3 (n) naar kWh. Geraadpleegd op 1 september 2019 van <https://www.energieconsultant.nl/energiemarkt/energie-berekeningen-uit-de-praktijk/omrekening-van-m3-n-naar-kwh/>
- De Gunst, D., & Van Heeswijk, H. (2017). *Opwaardering en renovatie flatgebouw De Meidoorn*. (Brochure). Amsterdam: Hans van Heeswijk architecten.
- De Hollandsche Molen. (z.d.-a). Geschiedenis: Van windrecht naar molenbeschermingszone. Geraadpleegd op 30 juli 2018 van <http://www.molenbiotoop.nl/content.php?page=6.1&menu=3>

- De Hollandsche Molen. (z.d.-b). Nolet te Schiedam. Geraadpleegd op 30 juli 2018 van <https://www.molens.nl/molen/zoek-een-molen/molendetail/?molenid=1322>
- De Hoog, T. (2018a). Corporaties lopen voorop bij verduurzaming. *Duurzaam Gebouwd*, 39, 12-17.
- De Hoog, T. (2018b). Opschalen van opslag is de missie. *Duurzaam Gebouwd*, (41), 98-99.
- De Jonker, M., Mans, D. G., & Wijte, S. N. M. (2016). *Toelichting onderzoeksverplichting zorgplicht: Duidelijkheid over onderzoeksverplichting galerijflats*. Gouda: Stichting CURNET.
- De Laat, R. P. M. (17 april, 2014). Wetsgeschiedenis: Waarom de coöperatieve flatvereniging nog bestaat. Geraadpleegd op 21 november 2019 van <https://www.vvrecht.nl/2014/04/wetsgeschiedenis-waarom-de-cooperatieve-flatvereniging-nog-bestaat/>
- De Vreeze, A. S. G. (1993). *Woningbouw, inspiratie & ambities: Kwalitatieve grondslagen van de sociale woningbouw in Nederland* (Proefschrift).
- De Vries, F. (22-10, 2014). Overheid moet wél toekomstseisen stellen aan gebouwen. Geraadpleegd op 18 oktober 2018 van https://www.infillsystems.nl/sites.php?fb=fb_news_showitem&sid=4
- De-. (z.d.). In *Van Dale Online*. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.vandale.nl/zoeken/zoeken.do#>
- Debbarma, M., Sudhakar, K., & Baredar, P. (2017). Comparison of BIPV and BIPVT: A review. *Resource-Efficient Technologies*, 3(3), 263-271.
- Den Hollander, M. C., Bakker, C. A., & Hultink, E. J. (2017). Product design in a circular economy: Development of a typology of key concepts and terms. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 517-525.
- Den Hollander, M. C. (2018). *Design for managing obsolescence: A design methodology for preserving product integrity in a circular economy* (Doctoral thesis). Delft: Delft University of Technology.
- Den Hollander, J. P. (2019). Circulair meten. *Bouwen Met Staal*, (268), 48-52.
- Den Ouden, B., Graafland, P., & Warnaars, J. (2018). *Elektronen en/of moleculen: Twee transitiepaden voor een CO₂-neutrale toekomst*. (Verkenning). Utrecht: Berenschot Groep B.V.
- Den Ouden, B., Warnaars, J., Bianchi, R., & Lintmeijer, N. (2018). *Het 'warmtescenario': Beelden van een op warmte gerichte energievoorziening in 2030 en 2050*. (Eindrapport). Utrecht: Berenschot Groep B.V.
- Densley Tingley, D., & Davison, B. (2011). Design for deconstruction and material reuse. *Proceedings of the ICE – Energy*, 164, 195-204
- Densley Tingley, D., Giesekam, J., & Cooper-Searle, S. (2018). Applying circular economic principles to reduce embodied carbon. In F. Pomponi, C. De Wolf & A. Moncaster (Eds.), *Embodied carbon in buildings* (pp. 265-285). Cham: Springer.
- D'Haeseleer, W. (2005). *Energie vandaag en morgen: Beschouwingen over energievoorziening en -gebruik*. Leuven (B): Uitgeverij Acco.
- Dileep, G. (2020). A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, 146, 2589-2625.
- Direct Current. (2016). *Innovatief DC-systeem op gelijkstroom*. Geraadpleegd op 12 september 2016, van <http://www.directcurrent.eu/nl/projecten/stroomversnelling>
- Dis-. (z.d.). In *Van Dale Online*. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.vandale.nl/zoeken/zoeken.do#>
- Disch, R. (z.d.). Solar Architektur. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <http://www.rolfdisch.de/en/architects-office/>
- Doepel, D. (z.d.). Maak kennis met de Dutch Windwheel. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://dutchwindwheel.com/>
- Doyle, T., Erion-Lorico, T. & Desharnais, R. (2018). 2018 PV module reliability scorecard. Geraadpleegd op 20 augustus 2019 van <https://www.dnvgl.com/news/2018-pv-module-reliability-scorecard-121786>
- Doodeman, M. (11 oktober, 2017). Rutte III neemt afscheid van woningen op gas. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.cobouw.nl/woningbouw/nieuws/2017/10/rutte-iii-nieuwe-en-bestaande-woningen-van-gas-los-101253396>
- Doodeman, M. (29-03, 2018). Personeelstekort in de bouw: De stand van zaken. Geraadpleegd op 18 oktober 2018 van <https://www.cobouw.nl/bouwbreed/artikel/2018/03/personeelstekort-in-de-bouw-101259475>
- Durmisevic, E. (2001). From massive construction to decomposition of housing: A way to support further industrialization and customization of housing.
- Durmisevic, E. (2006). *Transformable building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction* (Doctoral thesis). Delft: Technische Universiteit Delft.

- DuurzaamGebouwd.nl. (2017). Gasloze flat met toekomst in Utrecht. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van DWA. (18 september, 2018). Infraroodverwarming; een kostbaar alternatief. Geraadpleegd op 7 januari 2020 van <https://www.dwa.nl/actueel/infraroodverwarming-minder-gunstig-dan-beloofd/>
- ECN. (2013). Hernieuwbare energie - projecten. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.ecn.nl/nl/samenwerking/sde/hernieuwbare-energie-projecten/>
- ECN. (2015). Van zonnepaneel tot schaduwpaneel. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.ecn.nl/nl/nieuws/item/van-zonnepaneel-tot-schaduwpaneel/>
- ECN. (2017). Dutch Solar Design Façade module optimises appearance, yield and sustainability. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.ecn.nl/news/item/dutch-solar-design-facade-module-optimises-appearance-yield-and-sustainability/>
- Economidou, M., Atanasiu, B., Despret, C., Maio, J., Nolte, I., & Rapf, O. (2011). *Europe's buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings*. Brussel: Buildings Performance Institute Europe (BPIE).
- Ecovat. (2018). Ondergrondse thermische seizoensopslag helpt pieken in het net te voorkomen. Geraadpleegd op 9 maart 2019 van <https://www.ecovat.eu/nieuws/ondergrondse-thermische-seizoensopslag-helpt-pieken-in-het-net-voorkomen/>
- Edepartment. (2017). Extra: Innovaties op gebied van windenergie. Geraadpleegd op 30 juli 2018 van <http://www.edepartment.nl/belangrijkste-energetrends-2017/>
- Eekhout, M. (1997). *POPO of ontwerpmethoden voor bouwproducten en bouwcomponenten*. Delft: Delft University Press.
- Eekhout, M. (2014). De galerijflat 3.0? Geraadpleegd op 1 mei 2014 van <https://www.cobouw.nl/bouwbreed/artikel/2014/03/de-galerijflat-3-0-101242906>
- Elektrisch. (z.d.). In *Van Dale Online*. Geraadpleegd op 12 september 2016, van <https://www.vandale.nl/zoeken/zoeken.do#>
- Ellen MacArthur Foundation. (2012). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Cowes (UK): Ellen MacArthur Foundation.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Circularity indicators: An approach to measuring circularity, methodology*. Ellen MacArthur Foundation.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). What is a circular economy?: A framework for an economy that is restorative and regenerative by design. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). Circular economy system diagram. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic>
- Emmitt, S., Olie, J., & Schmid, P. (2004). *Principles of architectural detailing*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- ENDIS. (2012). *ENDIS: Portiekflatrenovatie*. (Brochure). Tilburg: ENDIS.
- Energie. (z.d.). In *Van Dale Online*. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.vandale.nl/zoeken/zoeken.do#>
- Energielinq. (2015). Definities kennispapers nul op de meter. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van http://energielinq.nl/uploads/attachment/file/5/90/00_Definities_1.01-1448981426.pdf
- EnergyVille. (2017). Opiniestuk: Energiezuinige gebouwen of energie-intelligente gebouwen? Geraadpleegd op 17 maart 2017 van <http://www.energyville.be/nieuwsbericht/opiniestuk-energiezuinige-gebouwen-energie-intelligente-gebouwen>
- Energy Storage Association. (2018). Energy storage technologies. Geraadpleegd op 10 juli 2018 van <http://energystorage.org/energy-storage/energy-storage-technologies>
- EnergyVille. (2017). Opiniestuk: Energiezuinige gebouwen of energie-intelligente gebouwen? Geraadpleegd op 7 maart 2017 van <http://www.energyville.be/nieuwsbericht/opiniestuk-energiezuinige-gebouwen-energie-intelligente-gebouwen>
- Ennstal. (2 april, 2012). *Sanierung Johann Boehmstrasse*. Geraadpleegd op 22 augustus 2016 van https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/120328_presseunterlagen_kapfenberg.pdf
- EPEA. (z.d.). Cradle to Cradle: visie. Geraadpleegd op 30 mei 2017 van <http://www.epea.nl/visie/>
- Europese Commissie. (2014a). *Naar een circulaire economie: Een afvalvrij programma voor Europa*. Brussel: Europese Commissie.
- Europese Commissie. (2014b). *Mededeling van de commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de regio's over mogelijkheden voor hulpbronnen-efficiëntie in de bouwsector*. (No. COM(2014) 445 final). Brussel: Europese Commissie.

- Europese Commissie. (2015). *Maak de cirkel rond: Een EU-actieplan voor de circulaire economie*. (No. COM (2015) 614 final). Brussel: Europese Commissie.
- European Commission. (2016). Paris Agreement. Geraadpleegd op 1 augustus 2017 van http://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris/index_en.htm
- European Commission. (2017a). Getting started with PVGIS. Geraadpleegd op 11 december 2017 van <http://re.jrc.ec.europa.eu/PVGIS5-release.html>
- European Commission. (2017b). Photovoltaic Geographical Information System. Geraadpleegd op 11 december 2017 van https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR
- European Commission. (6 december, 2019a). Energy performance of buildings. Geraadpleegd op 22 december 2019 van <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/overview>
- European Commission. (2019b). *The European green deal*. (No. COM(2019) 640 final). Brussels: European Commission.
- European Commission. (z.d.). NZEB. Geraadpleegd op 22 december 2019 van https://ec.europa.eu/energy/content/nzeb-24_en
- EVDB. (2018). Elektrische voertuigen database. Geraadpleegd op 18 mei 2018 van <https://ev-database.nl/>
- Expertise Centrum Warmte. (30 september, 2019). Geothermie: Factsheet voor het maken van de transitievisie warmte door gemeenten. Geraadpleegd op 21 december 2019 van <https://expertisecentrumwarmte.nl/kennis/factsheets/techniefactsheets+energiebronnen/factsheet+geothermie/default.aspx>
- Feist, W., Pluger, R., Schnieders, J., Kah, O., Kaufman, B., Krick, B., . . . Steiger, J. (2016). *Handboek nZEB-tool: Voor het ontwerpen van een (nearly) zero energy building: Het internationale PHPP (versie 9) vertaald voor de Nederlandse markt* (C. Rose Trans.).
- Flager, F. L. (2003). *The design of building structures for improved life-cycle performance* (Master). Geraadpleegd op 1 juli 2018 van http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/29552/52723360.pdf?sequence=1&origin=publication_detail
- FME. (2017). *Grootschalige energieopslag*. (Visiedocument). Zoetermeer: FME.
- Frearson, A. (2012). House N by sou fujimoto architects. Geraadpleegd op 1 november 2018 van <https://www.dezeen.com/2012/01/19/house-n-by-sou-fujimoto-architects/>
- Galiotto, N., Heiselberg, P., & Knudstrup, M. (2015). Integrated renovation process: Overcoming barriers to sustainable renovation. *Journal of Architectural Engineering*, 22(1), 1-12.
- Gasunie. (z.d.). Gasunie unit-converter. Geraadpleegd op 1 september 2019 van <https://unit-converter.gasunie.nl/>
- Geelen, D., Reinders, A., & Keyson, D. (2013). Empowering the end-user in smart grids: Recommendations for the design of products and services. *Energy Policy*, 61, 151-161.
- Geissbauer, R., Lübken, E., Schrauf, S., & Pillsbury, S. (2018). *Digital champions: How industry leaders build integrated operations ecosystems to deliver end-to-end customer solutions*. (No. Strategy&: Global Digital Operations Study 2018). Munich: PwC.
- Gemeente Arnhem. (2014). *Parkeernormen: Bijlage*. Arnhem: gemeente Arnhem.
- Geraedts, R. P. (2013). *Adaptief vermogen*. (Eindrapportage fase 1). Delft: CPI.
- Giele, M. (15 oktober, 2018). Triodos III in Driebergen-Zeist door RAU: Een remontabele bank in een bank. Geraadpleegd op 1 december 2018 van <https://www.dearchitect.nl/architectuur/artikel/2018/10/triodos-iii-in-driebergen-zeist-door-rau-een-remontabele-bank-in-een-bank-101201738>
- Gleeson-White, J. (2014). *Six Capital: The Revolution Capitalism has to have – or can accountants save the planet?* Sydney (AU): Allen & Unwin.
- Glinz, M. (2012). *A glossary of requirements engineering terminology*. (No. Version 1.4). Fürth (D): International Requirements Engineering Board.
- Google Maps. (2018). Geraadpleegd op 18 mei 2018 van <https://www.google.nl/maps/@52.0263008,4.4249961,1030m/data=!3m1!1e3?hl=en>
- Goossen, C. (2018). Asser servicekostenmodel, 28 galerijappartementen te Assen. Geraadpleegd op 28 juli 2018 van http://www.bouwnext.nl/project/asser_servicekostenmodel/
- Göpfert, J. (1998). *Modulare Produktentwicklung: Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

- Gosztanyi, S., Stefanowicz, M., Bernardo, R., & Blomsterberg, Å. (2016). Multi-active façade for Swedish multi-family homes renovation – evaluating the potentials of passive design measures. *Journal of Facade Design & Engineering*, 4(3)
- Grevers, R. (2019). Het geluid van lucht/water-warmtepompen: Is de wetgever horende doof? Geraadpleegd op 14 juni 2019 van <https://www.duurzaamgebouwd.nl/expertpost/20190613-het-geluid-van-lucht-water-warmtepompen-is-de-wetgever-horende-doof/1/rnxRXmSy>
- Haase, M., & Löfström, E. (2015). *Building augmented wind turbines – BAWT: Integrated solutions and technologies of small wind turbines*. Oslo: SINTEF Academic Press.
- Habraken, N. J. (1961). *De dragers en de mensen: Het einde van de massawoningbouw*. Amsterdam: Scheltema & Holkema N.V.
- Habraken, N. J. (1992). An efficient response to user's individual preferences. *Housing Design 2000 Conference*, Singapore.
- Habraken, N. J. (2002). The uses of levels. *Open House International*, 27(2)
- Habraken, N. J. (z.d.). Open building; brief introduction. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.habraken.com/html/introduction.htm>
- Harmsma, S., & Mulder, H. F. H. M. (2006). *Asbest in kaart: Historisch onderzoek asbestgebruik: Methode asbestkansenkaart*. Groningen: ReGister Historisch onderzoeksbureau bv.
- Hasselaar, B. (2016). *Active house: Ontwerprichtlijnen*. Brussel: Active House Alliantie.
- Hecht, C. (2016). Die Wärmewende in Großstädten: Ambitioniertes München. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.tiefegeothermie.de/top-themen/die-waermewende-in-grosstaedten-ambitioniertes-muenchen>
- Heliatek. (2018a). Technical Data. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.heliatek.com/en/solar-films/technical-data>
- Heliatek. (2018b). Building envelopes powered by HeliaFilm® and HeliaSol®. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.heliatek.com/en/applications/buildings>
- Hensen, J. L. M. (1995). Energie in gebouwen: Ontwerpbeslissingen verdienen computersimulatie. *TVVL Magazine*, 24(3), 37-41.
- Hentschke, C. S., Amorim, L. G., Formoso, C. T., Tzortzopoulos, P., & Echeveste, M. E. (2019). Connections between mass customisation practices in housing and lean production. *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Dublin, Ireland. 1369-1380.
- Hermans, M., & Van Rijn, E. (2014). *Gebouwen met toekomstwaarde: Het bepalen van de toekomstwaarde van gebouwen vanuit het perspectief van adaptief vermogen, financieel rendement en duurzaamheid*. (Eindrapport No. 001644.001.01/13002053/EvR/ISO:MH/SMT). Rotterdam: Brink Groep, CPI.
- Hertzberger, H. (2005). *Lessons for students in architecture* (5th ed.). Rotterdam: Nai010 Uitgevers/Publishers.
- Hoebbergen, A., & Van Middelkoop, M. (2020). *Statistische trends: Huishoudens betalen bijna 10 procent minder voor energie*. Den Haag: CBS.
- Hoekman, J. (15 juni, 2011). Flatgebouw zonder onderhoud levert gevaar op. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.rd.nl/meer-rd/wetenschap-techniek/flatgebouw-zonder-onderhoud-levert-gevaar-op-1.616847>
- Hoën, P. J. J., & Thijs, R. V. L. M. (1981). *Verbeterde graaddagenmethode*. (No. 80-16-K, herziene druk). Eindhoven: Technische Hogeschool Eindhoven.
- Hoenderbos, A. L. M., Prak, N. L., & Priemus, H. (1986). *Verval van naoorlogse woningen: Een probleemschets*. Delft: Delftse Universitaire Pers.
- Hong, Y., Deng, W., Ezeh, C. I., & Peng, Z. (2019). Attaining sustainability in built environment: Review of green retrofit measures for existing buildings. *The Third International Conference on Energy Engineering and Environmental Protection (EEEEP)*, At Sanya, China. , 227
- Hop, M. E. C. M., & Hiemstra, J. A. (2013). *Ecosysteemdiensten van groene daken en gevels: Een literatuurstudie naar diensten op het niveau van wijk en stad*. (No. PPO Projectnummer: 32 361 165 11). Wageningen: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR, Business Unit Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit.
- Hovenier, J. (2014). *Energie besparen met de plattegrond*. (Brochure). Amsterdam: BNA Onderzoek.
- Hugo, Y. A., Kout, W., & Dalessi, G. (2016). *The hydrogen bromine flow battery for a large-scale integration of variable renewable electricity: State-of-the-art review*. Arnhem: Elestor.

- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., . . . Van Zelm, R. (2017). *ReCiPe 2016 v1.1: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level: Report I: Characterization*. (RIVM Report 2016-0104a). Bilthoven: National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- Huld, T., & Dunlop, E. D. (2017). Photovoltaic geographical information system - interactive maps. Geraadpleegd op 11 december 2017 van <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- Husain, A. A. F., Hasan, W. Z. W., Shafie, S., Hamidon, M. N., & Pandey, S. S. (2018). A review of transparent solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *94*, 779-791.
- IBISpower. (z.d.). Powernest. Geraadpleegd op 30 juli 2018 van <http://www.ibispower.eu/products/powernest-2/>
- ICDuBo. (z.d.). Ventilieren decentraal WTW Fresh-r. Geraadpleegd op 22 augustus 2018 van <https://www.icdubo.nl/oplossing/ventilieren-decentraal-wtw-fresh-r/>
- IIRC. (z.d.). Get to grips with the six capitals. Geraadpleegd op 9 november 2018 van <https://integratedreporting.org/what-the-tool-for-better-reporting/get-to-grips-with-the-six-capitals/>
- Inhabitat. (2008). BEDZED: Beddington zero energy development in london. Geraadpleegd op 9 november 2018 van <https://inhabitat.com/bedzed-beddington-zero-energy-development-london/>
- Insert. (2019). 12R model. Geraadpleegd op 11 september 2019 van <https://insert.nl/12r-model/>
- In't veld, J. (1998). *Analyse van organisatieproblemen: Een toepassing van denken in systemen en processen* (7e druk ed.). Groningen: Noordhoff Uitgevers B.V.
- Inside Out. (2018). *Inside out, op weg naar energieleverende hoogbouwflats: Rapportage fase 1: proof-of-principle*. (Openbare samenvatting No. TKI Urban Energy 1407302). TKI Urban Energy.
- Isso. (2015). EnergieVademecum energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen: 10.2.1 PV-systemen. Geraadpleegd op 12 april 2018 van [https://kennisbank.isso.nl/docs/overig/energievadecum/2015/10/10.2/10.2.1\[1\]](https://kennisbank.isso.nl/docs/overig/energievadecum/2015/10/10.2/10.2.1[1])
- Iwell. (2019). Grootschalige opslagsystemen. Geraadpleegd op 1 augustus 2019 van <https://iwell.nl/producten/grootschalige-opslagsystemen/>
- Jansen, S. C., Terés-Zubiaga, J., & Luscuere, P. G. (2012). The exergy approach for evaluating and developing an energy system for a social dwelling. *Energy and Buildings*, *55*, 693-703. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.049>
- Jelle, B.P., Breivik, C., & Røkenes, H.D. (2012). Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *100*(0), 69-96.
- Jensen, K., Nielsen, K., & Brunoe, T. (2015). Application of mass customization in the construction industry. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS)*, Tokyo, Japan. 161-168.
- Jian, L., Zechun, H., Banister, D., Yongqiang, Z., & Zhongying, W. (2018). The future of energy storage shaped by electric vehicles: A perspective from China. *Energy*, *154*, 249-257.
- Jisc. (2013). Pace layering. Geraadpleegd op 1 juli 2018 van <http://www.jiscinfonet.ac.uk/tools/pace-layering/>
- Jonker, F., De Jonker, M., Mans, D. G., & Wijte, S. N. M. (2014). *Constructieve veiligheid van uitkragende galerijplaten: Tweede, herziene uitgave van CUR-publicatie 248*. (No. 248). Rotterdam: SBRCURnet en Platform Constructieve Veiligheid.
- Jonker, J., Stegeman, H. & Faber, N. (2018). De circulaire economie: Denkbeelden, ontwikkelingen en business modellen: Whitepaper. Geraadpleegd op 7 juni 2018 van <https://www.circulairebusinessmodellen.nl/dl/WhitePaperCirculaireEconomie2017V3ebook.pdf>
- Jorritsma, P., & Berveling, J. (2014). *Niet autoloos, maar auto later: Voor jongvolwassenen blijft de auto een aantrekkelijk perspectief*. (No. KIM-14-A02). Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KIM).
- Joshi, S. S., & Dhoble, A. S. (2018). Photovoltaic -thermal systems (PVT): Technology review and future trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *92*, 848-882.
- Kabalci, E., & Kabalci, Y. (2018). Introduction to smart grid architecture. In E. Kabalci, & Y. Kabalci (Eds.), *Smart grids and their communication systems: Energy systems in electrical engineering*. Singapore: Springer.
- Kapteijns, J. H. M. (1989). *Open bouwen buurtvernieuwing: Een verkennend onderzoek naar de toepassing van open bouwen in het kader van IOP-bouw*. Delft: OBOM.

- Karthus, E. W., Burggraaf, J. E., & De Gier, M. H. W. (2008). *Werkwijze voor het regelen van het klimaat in een gebouw, alsmede bijbehorend gebouw*. (Octrooi NL2001816 ed.). Den Haag: Octrooicentrum Nederland: F24F5/00.
- KC, A., Whale, J., & Urmee, T. (2019). Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review. *Renewable Energy*, 131, 268-283.
- Katerra. (2019). Building platforms: A new combination of manufacturing efficiency and design freedom for the built environment. Geraadpleegd op 1 december 2019 van <https://www.katerra.com/products/building-platforms/>
- Kendall, S. (2015). *Notes toward a history of the Matura infill system development*. Philadelphia: Ball State University.
- KIWA. (2012). Declaration regarding the efficiency of a shower heat recovery unit. Geraadpleegd op 1 september 2019 van <http://www.brieswaterenergie.nl/douche-wtw.html>
- KIWA. (2019). Declaration regarding the efficiency of a shower heat recovery unit. Geraadpleegd op 1 september 2019 van <https://www.technea.nl/product/joulia-twinline-douchegoot-wtw/#omschrijving>
- Klein, T. (2013). *Integral façade construction: Towards a new product architecture for curtain walls* (Doctoral thesis). Delft: Architecture and the Built Environment.
- Kleiweg, E., & De Co, W. (oktober 2018). Handreiking aquathermie: Hoe gaan we verder met TEO en TEA? Geraadpleegd op 1 augustus 2019 van <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-47%20handreiking%20aquathermie.pdf>
- Klimaatwet. (2019). Geraadpleegd op 21 december 2019 van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0042394/2020-01-01>
- Klugmann-Radziemska, E., & Wcisło-Kucharek, P. (2017). Photovoltaic module temperature stabilization with the use of phase change materials. *Solar Energy*, 150, 538-545.
- KNMI. (z.d.-a). Klimaatatlas: Klimatogram, per station: De Bilt. Geraadpleegd op 18 mei 2018 van <http://www.klimaatatlas.nl/klimaatatlas.php>
- KNMI. (z.d.-b). Klimaatatlas: Langjarig gemiddelde 1981-2010: Gemiddelde jaarlijkse globale straling. Geraadpleegd op 18 mei 2018 van <http://www.klimaatatlas.nl/klimaatatlas.php>
- KNMI. (2015a). *Jaaroverzicht van het weer in Nederland: 2014*. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut.
- KNMI. (2015b). *KNMI'14 – klimaatscenario's voor Nederland: Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. (Herziene uitgave 2015). De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.
- KNMI. (2016). *Jaaroverzicht van het weer in Nederland: 2015*. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut.
- KNMI. (2017a). *Jaaroverzicht van het weer in Nederland: 2016*. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut.
- KNMI. (2017b). Klimatologie: Daggegevens van het weer in Nederland. Geraadpleegd op 12 december 2017 van <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>
- KNMI. (2018). Klimatologie: Daggegevens van het weer in Nederland. Geraadpleegd op 18 mei 2018 van <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>
- Koezjakov, A., Urge-Vorsatz, D., Crijns-Graus, W., & Van den Broek, M. (2018). The relationship between operational energy demand and embodied energy in Dutch residential buildings. *Energy and Buildings*, 165, 233-245.
- Koffijberg, J. J. (1997). *Kwaliteit met beleid: Voorschriften en wenken ter discussie: Deelstudie vijftig jaar DGVH*. (No. OTB-Werkdocument 97-02). Delft: Delft University Press.
- Korbee, H. (2018). Circulair versus duurzaam versus energieneutraal bouwen. Geraadpleegd op 14 mei 2019 van <https://www.duurzaamgebouwd.nl/expertpost/20180112-circulair-versus-duurzaam-versus-energieneutraal-bouwen>
- Kortman, J., Vis, A., & Moret, E. (2016). *Winst en waardecreatie bij energie renovaties: Eindrapport waardecreatie bij energie renovatieprojecten in de woningbouw*. Amsterdam: IVAM UvA BV.
- Kosorić, V., Lau, S., Tablada, A., & Lau, S. S. (2018). General model of photovoltaic (PV) integration into existing public high-rise residential buildings in singapore – challenges and benefits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 70-89.
- Kristinsson, J., & Van den Dobbelsteen, A. (2009). Smart skin: A step aside in zero-energy building. *3rd International Conference on Smart and Sustainable Built Environments (SASBE 2009)*, Delft.

- Kumar Dixit, M., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., & Culp, C. H. (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings*, 42, 1238-1247.
- Lamnatou, C., Mondol, J. D., Chemisana, D., & Maurer, C. (2015). Modelling and simulation of building-integrated solar thermal systems: Behaviour of the system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45(0), 36-51.
- Langston, C., Wong, F. K. W., Hui, E. C. M., & Shen, L. (2008). Strategic assessment of building adaptive reuse opportunities in Hong Kong. *Building and Environment*, 43, 1709-1718.
- Lansink, A. (2018). Ladder van Lansink. Geraadpleegd op 1 december 2018 van <http://www.adlansink.nl/voorbeeld-pagina/>
- Larsen, J., Urry, J., & Axhausen, K. (2006). *Mobilities, networks, geographies*. Hampshire, U.K.: Ashgate Publishing.
- Leguijt, C., Groot, M. I., Koot, M., & Wielders, L. M. L. (2009). *Elektrische concepten voor woningen*. (No.09.3884.23). Delft: CE Delft.
- Leupen, B. A. J. (2002). *Kader en generieke ruimte: Een onderzoek naar de veranderbare woning op basis van het permanente*. (PhD Thesis).
- Leupen, B., & Mooij, H. (2012). *Housing design. A manual*. NAI Publishers.
- Lichtenberg, J. (2004). Slimbouwen©, a rethinking of building, a strategy for product development. Paper presented at the *21st Conference on Passive and Low Energy Design, Eindhoven, the Netherlands*, 19-22. Geraadpleegd op 18 oktober 2018 van <http://alexandria.tue.nl/openaccess/635611/p0830final.pdf>
- Lichtenberg, J. (2005). *Slimbouwen*. Boxtel: Aeneas.
- Lichtenberg, J. J. N., Van Dartel, H. A. J., Zeiler, W., & Van Panhuys, O. T. H. (2005). Het integraal ontwerpen van gevel en installatie, slimbouwen. *TVVL Magazine*, 34(7/8), 44-50.
- Liebrechts, M. (27 april, 2011a). De jaren zestig wijk (5): De stempels als stedenbouwkundige ordening. Geraadpleegd op 1 oktober 2019 van <http://www.bestaandewijk.nl/de-jaren-zestig-wijk-5-de-stempels-als-stedenbouwkundige-ordening/>
- Liebrechts, M. (2011b). Technische eigenschappen van het woningcasco in de tijd: Regelgeving en technische kwaliteit. Geraadpleegd op 1 juli 2018 van <http://www.bestaandewoningbouw.nl/technische-eigenschappen-van-het-woningcasco-in-de-tijd/>
- Liebrechts, M. (2013d). Systeemwoningen en het verleden als eigenschap: Een serie over systeemwoningen. *Documentatie systeemwoningen '50-'75* (Module 1, pp. 6-7). Den Haag: Platform 31.
- Lijbers, R., Thijssen, C. C. F., & Westra, H. (1984). *Woningvoorraad 45-75*. Delft: Delftse Universitaire Pers.
- Limberger, J. (2018). *Thermo-mechanical characterization of the lithosphere: Implications for geothermal resources* (Doctoral thesis). Utrecht: Universiteit van Utrecht.
- Liu, D., Wang, W., & Liu, J. (2017). Sensitivity analysis of meteorological parameters on building energy consumption. *Energy Procedia*, 132, 634-639.
- Looijen, L. (2018). *Renovatieconcept Inside Out*. (Presentatie opening HU Techlabs). Utrecht: Hogeschool Utrecht.
- Looman, R. H. J. (2004). *Zeoliet, vochtbuffering met behulp van hygroscopische materialen: Deel 1, toepassingsmogelijkheden in de bouw*. (Master scriptie). Delft: TU Delft.
- Lund, H. (2018). Renewable heating strategies and their consequences for storage and grid infrastructures comparing a smart grid to a smart energy systems approach. *Energy*, 151, 94-102.
- MacDermott, C. (2019). Off-grid Swedish housing block to be supplied 100% by PV, hydrogen. Geraadpleegd op 5 januari 2019 van https://www.pv-magazine.com/2019/01/04/off-grid-swedish-housing-block-to-be-supplied-100-by-pv-hydrogen/?utm_source=dlvr.it&utm_medium=twitter
- Madaster. (z.d.). Afval is materiaal zonder identiteit. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.madaster.com/nl>
- Mansfield, N., Naddeo, A., Frohriep, S., & Vink, P. (2020). Integrating and applying models of comfort. *Applied Ergonomics*, 82, 102917. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102917>
- McGill. (2001). The architecture of Dieter Schempp (LOG ID). Geraadpleegd op 1 november 2018 van http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpk/arch304/winter2001/plin8/passive_solar/schempp.html
- McAlinden, B. (2015). Embodied energy and carbon. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.ice.org.uk/knowledge-and-resources/briefing-sheet/embodied-energy-and-carbon>
- Mecanoo. (2013). Ewicon. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <http://www.mecanoo.nl/Projects/project/61/Ewicon?t=6>

- Meek, M. (2016). *Uitkragende betonnen galerijplaten van de Antillenflat*. (BSc Eindwerk: Eindrapport). Delft: Technische Universiteit Delft.
- Mei architects and planners. (z.d.). Schiecentrale 4B: Multifunctioneel woon- en werkgebouw. Geraadpleegd op 10 september 2019 van <https://mei-arch.eu/projecten-archief/schiecentrale-4b/>
- Merken, G. (1981). Yaacov Agam. (Española ed.). Barcelona: Ediciones Polígrafa, S.A
- Merrild, H. (2016). In Jensen K. G., Sommer J. (Eds.), *Building a circular future*. Denmark: 3XN_GXN.
- Mertens, S. (2006). *Wind energy in the built environment: Concentrator effects of buildings* (Doctoral thesis). Delft: Technische Universiteit Delft.
- Micallef, D., Sant, T., & Simao Ferreira, C. (2016). The influence of a cubic building on a roof mounted wind turbine. *Journal of Physics: Conference Series*, 753(2), 1-10.
- Milieu Centraal. (z.d.). *Nieuwe energielabels*. Geraadpleegd op 12 september 2016, van <https://www.energielabel.nl/apparaten/nieuwe-energielabels/>
- Minami, K. (2016). The efforts to develop longer life housing with adaptability in Japan. *Energy Procedia*, 96, 662-673. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.124>
- Ministerie van Economische Zaken. (2016). *Energieagenda: Naar een CO₂-arme energievoorziening*. Den Haag: Rijksoverheid.
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2019). *Integraal nationaal energie- en klimaatplan 2021-2030*. (No. 19410647). Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat. (1980). *Plan Lieveense: Waterloopkundige en geohydrologische aspecten bij diverse lokaties van energiebekkens in het markermeer en IJsselmeer*. (No. Nota WWNO-N 80-0005). Directie waterhuishouding en waterbeweging, district noord.
- Mitros. (2016). *Sociaal huren in Utrecht: Prestatieafspraken 2016-2019: Gemeente Utrecht, corporatie Mitros en huurdersorganisatie Huurdersnetwerk Mitros (HNM)*. Utrecht: Mitros.
- Mohammadi, M. (2017). *Empathische woonomgeving*. (Intreerede). Eindhoven: TU Eindhoven
- Molendatabase. (25 januari, 2019). Noletmolen, Schiedam. Geraadpleegd op 30 juni 2019 van <https://www.molendatabase.nl/nederland/molen.php?nummer=1280>
- Mourão, J., Gomes, R., Matias, L., & Niza, S. (2019). Combining embodied and operational energy in buildings refurbishment assessment. *Energy and Buildings*, 197, 34-46. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.033>
- Mousavi Maleki, S. A., Hizam, H., & Gomes, C. (2017). Estimation of hourly, daily and monthly global solar radiation on inclined surfaces: Models re-visited. *Energies*, 10(1), 134.
- Mulder, F. M. (2014). Implications of diurnal and seasonal variations in renewable energy generation for large scale energy storage. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 6(033105), 1-13.
- Mulder, G., Koops, O., Kamphuis, V., Willems, M., Vos-Effting de, S., Donkervoort, R., & Dijkmans, T. (2015). *Vervangende nieuwbouw*. (No. R10515). Delft: TNO.
- Mulder, F. M., Weninger, B. M. H., Middelkoop, J., Ooms, F. G. B., & Schreuders, H. (2017). Efficient electricity storage with a battolyser, an integrated Ni-Fe battery and electrolyser. *Energy & Environmental Science*, 10(3), 756-764. doi:10.1039/c6ee02923j
- Mulhall, D., Braungart, M., & Hanse, K. (2019). *Creating buildings with positive impacts*. München: Technische Universität München, in association with BAMB. Geraadpleegd op 2 augustus 2019 van <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/02/Creating-Buildings-with-Positive-Impacts.pdf>
- Munoz, M. A., Alonso-García, M. C., Vela, N., & Chenlo, F. (2011). Early degradation of silicon PV modules and guaranty conditions. *Solar Energy*, 85(9), 2264-2274. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.06.011>
- Navarro, L., de Gracia, A., Colclough, S., Browne, M., McCormack, S. J., Griffiths, P., & Cabeza, L. F. (2016). Thermal energy storage in building integrated thermal systems: A review. Part 1. Active storage systems. *Renewable Energy*, 88, 526-547.
- Nederland elektrisch. (2017). V2G (vehicle-to-grid). Geraadpleegd op 18 mei 2018 van <https://nederlandelektrisch.nl/technologie/opladen/v2g-vehicle-to-grid?page=65>
- Nelissen, E., Van de Griendt, B., Van Oppen, C., Pallada, I., Wiedenhoff, J., Van der Waal, J., . . . Bögl, T. (2018). *Transitie-agenda circulaire economie 2018: Samen bouwen aan de circulaire economie voor Nederland in 2050*.
- Nibud. (2017). Energie en water: Elektriciteitsverbruik. Geraadpleegd op 12 december 2017 van <https://www.nibud.nl/consumenten/energie-en-water/>

- Nijhuis, S., De Vries, J., & Noortman, A. (2017). Ontwerpend onderzoek. *Praktijkgericht onderzoek in de ruimtelijke planvorming: Methoden voor analyse en visievorming* (pp. 257-263). Wageningen: Uitgeverij Landwerk.
- Nijpels, E. (2018). *Voorstel voor hoofdlijnen van het klimaatakkoord*. Den Haag: Sociaal-Economische Raad.
- Nilsson Energy. (z.d.). Energy solutions: Off-grid, on-site and emission free with RE8760. Geraadpleegd op 4 januari 2019 van <https://nilssonenergy.com/energy-solutions/>
- Nipkow, J., & Schalcher, M. (2006). *Energy consumption and efficiency potentials of lifts*. Zurich (S): Swiss Agency Energy Efficiency Use S.A.F.E.
- Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies". (2011a, december). *Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies - deel 1-4: Algemene belastingen - windbelasting*. (Nederlandse norm No. NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB:2011). Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies". (2011b, december). *NEN 8700: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren - grondslagen*. (Nederlandse norm No. NEN 8700:2011). Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Normcommissie 351 005 "Verlichting". (2011, juni). *NEN 2057: Daglichtopeningen van gebouwen - bepaling van de equivalente daglichtoppervlakte van een ruimte*. (Nederlandse norm No. NEN 2057:2011). Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Normcommissie 351 041 "Parkeer garages". (2013, maart). *NEN 2443: Parkeren en stallen van personenauto's op terreinen en in garages*. (Nederlandse norm No. NEN 2443:2013). Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Normcommissie 351 074 "Klimaatbeheersing in gebouwen". (2008, december). *NEN 5060: Hygrothermische eigenschappen van gebouwen - referentieklimaatgegevens*. (Nederlandse norm NEN 5060:2008). Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Normcommissie 351 074 "Klimaatbeheersing in gebouwen". (2012, oktober). *NEN 7120+C2: Energieprestatie van gebouwen - bepalingmethode*. (Nederlandse norm NEN 7120+C2). Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Normcommissie 351 074 "Klimaatbeheersing in gebouwen". (2017, juni). *NEN 7125: Energieprestatienorm voor maatregelen op gebiedsniveau (EMG) - bepalingmethode*. (No. ICS 91.120.10; 91.140.30). Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Normcommissie 351 074 "Klimaatbeheersing in gebouwen". (2019, juni). *NTA 8800: Energieprestatie van gebouwen: Bepalingmethode*. (No. NTA 8800:2019-06). Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Normteq. (z.d.). Overschuif balkon. Geraadpleegd op 24 mei 2019 van <https://www.normteq.nl/assortiment/slide/>
- NOS. (19 juni 2018). Johan Cruijff arena wordt superbatterij voor elektriciteitsnet. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://nos.nl/artikel/2239009-johan-crujff-arena-wordt-superbatterij-voor-elektriciteitsnet.html>
- NREL. (2 augustus 2019). Best research-cell efficiency chart. Geraadpleegd op 20 augustus 2019 van <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- Nudge. (2015). De R-en in de circulaire economie. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.nudge.nl/blog/2015/09/01/de-r-en-de-circulaire-economie/>
- NUON. (2016). Superbatterij magnum-centrale een stap dichterbij. Geraadpleegd op 27 augustus 2018 van <https://www.nuon.com/nieuws/nieuws/2016/superbatterij-magnum-centrale-eeen-stap-dichterbij/>
- Ongehinderd. (2019). Toegankelijkheid van gangen en paden. Geraadpleegd op 1 oktober 2019 van <https://www.ongehinderd.nl/toegankelijke-gangen-en-paden/>
- Ont-. (z.d.). In *Van Dale Online*. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.vandale.nl/zoeken/zoeken.do#>
- Onyx. (z.d.). Technical specifications: Amorph silicon PV glass. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.onyxsolar.com/product-services/technical-specifications>
- Ooms, P. (2017). Massaproductie met een seriegrootte van 1. Geraadpleegd op 16 april 2019 van <https://www.valuechain.be/nl/nieuws/detail/5624/massaproductie-met-eeen-seriegrootte-van-1>
- OP Oost. (2017). Wind mee voor EWICON-R. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <http://www.op-oost.eu/Actueel/Nieuwsberichten/Wind-mee-voor-EWICON-R.html>
- Op ten noort blijdenstein architecten en adviseurs. (10 december 2015). Selectie Flatmettoekomst gewonnen! Geraadpleegd op 8 januari 2016 van <http://www.onb.nl/selectie-flatmettoekomst-gewonnen/>

- Ould Amrouche, S., Rekioua, D., Rekioua, T., & Bacha, S. (2016). Overview of energy storage in renewable energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(45), 20914-20927. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.243>
- Ouwehand, J., Papa, T., Entrop, B., & De Geus, J. (2017). *Duurzame energietechniek* (4^e druk ed.). Amsterdam: Boom uitgevers Amsterdam.
- Paauw, J., & Drijfhout, R. (2018). *Omgaan met een gebouw als materiaaldepot: Circulariteit: De volgende schakel in duurzaam bouwen*. (Whitepaper). DGMR.
- Park, J., Jung, H., Lee, S., & Park, J. (2015). A new building-integrated wind turbine system utilizing the building. *Energies*, 8, 11846-11870.
- Passipedia. (21 februari 2019). What is a passive house? Geraadpleegd op 30 juli 2019 van https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house.
- Passive House Institute. (2016). *Criteria for the passive house, EnerPHit and PHI low energy building standard*. (No. version 9f). Darmstadt: Passive House Institute.
- Passive House Institute. (2017). The passive house institute (PHI). Geraadpleegd op 07-06-2017 van <https://passivehouse.com>.
- Patankar, B., Tyagi, R., Kiss, D., & Suma, A. B. (2016). Evaluation of an integrated roof wind energy system for urban environments. Paper presented at the *Journal of Physics: Conference Series*, , 753(10) 102007. Geraadpleegd op 30 juli 2018 van <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/753/10/102007/pdf>.
- PBS. (1999). Russell Ohl accidentally discovers the silicon P-N junction. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <http://www.pbs.org/transistor/science/events/pnjunc.html>.
- Pern, F. J. (1996). Factors that affect the EVA encapsulant discoloration rate upon accelerated exposure. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 41-42, 587-615. doi:[https://doi.org/10.1016/0927-0248\(95\)00128-X](https://doi.org/10.1016/0927-0248(95)00128-X)
- Peterson, W. A., & Dirmhirn, I. (1981). The ratio of diffuse to direct solar irradiance (perpendicular to the sun's rays) with clear skies - A conserved quantity throughout the day. *Journal of Applied Meteorology*, 20, 826-828.
- Physee. (2019). Introducing Smartskin: The future-proof glass facade for next generation sustainable buildings. Geraadpleegd op 28 april 2019 van <https://www.physee.eu/>
- Piccardo, C., Dodoo, A., Gustavsson, L., & Tettey, U. Y. A. (2019). Energy and carbon balance of materials used in a building envelope renovation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(Conference 1)
- Piekbelasting. (z.d.). In *Van Dale Online*. Geraadpleegd op 12 september 2016, van <https://www.vandale.nl/zoeken/zoeken.do#>
- Pierce, B. K., Neeld, C. J., Shipulski, E. E. & Ciliberto, F. R. (2019). Small-scale vortex-induced vibration wind energy harvesters. Geraadpleegd op 20 juli 2019 van <https://digitalcommons.wpi.edu/mqp-all/6751>
- Pimmler, T. U., & Eppinger, S. D. (1994). *Integration analysis of product decompositions*. (No. Working Papers 3690-94). Cambridge Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Pioneering. (z.d.). Toolkit systems engineering. Geraadpleegd op 1 oktober 2018 van <http://www.pioneering.nl/projecten/innovatieve-processen/se-toolkit/overzicht>
- Planbureau voor de Leefomgeving. (2017). Uitstoot broeikasgassen in 2016 wereldwijd opnieuw gestegen. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <http://www.pbl.nl/nieuws/nieuwsberichten/2017/uitstoot-broeikasgassen-in-2016-wereldwijd-opnieuw-gestegen>
- Poelert, M. (z.d.). Uitkragende vloeren. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.nebest.nl/producten/uitkragende-vloeren>
- Potjer, J. (2018). *Een hoogwaardige toekomstbestendige NOM-flatrenovatie*. (Bachelor afstudeerscriptie). Arnhem: HAN.
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2016). *Circulaire economie: Innovatie meten in de keten*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Priemus, H. (1969). *Wonen, creativiteit en aanpassing: Onderzoek naar voorwaarden voor optimale aanpassingsmogelijkheden in de woningbouw*. Den Haag: Mouton.
- Priemus, H., & Van Elk, R. S. F. J. (1971). *Niet-traditionele woningbouwmethoden in Nederland*. Alphen aan den Rijn: Stichting Bouwresearch.

- Proton Ventures. (2018). Persbericht: Eerste battolyser voor elektriciteitsopslag en waterstofproductie in Groningen dankzij waddenfonds. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <http://www.protonventures.com/nl/news/>
- Provincie Utrecht. (2017). Eerste energieneutrale flatgebouw in provincie Utrecht. Geraadpleegd op 24 mei 2019 van <https://www.provincie-utrecht.nl/@317550/eerste-energieneutrale-flatgebouw-provincie-utrecht/>
- PwC. (2017). *Smart charging van elektrische voertuigen: Institutionele knelpunten en mogelijke oplossingen*. Amsterdam: PwC.
- Rahm, P. (2010). Convective apartments. Geraadpleegd op 1 november 2018 van <http://www.philipperahm.com/data/projects/convectiveapartments/>
- Ramakers, J. (1990). Wederopbouw en volkshuisvesting: De prioriteiten in het beleid '48-'51.
- Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42, 1592-1600.
- Raut, K. H., Chopde, H. N., & Deshmukh, D. W. (2018). A review on comparative studies of diverse generation in solar cell. *International Journal of Electrical Engineering and Ethics*, 1(3), 1-9.
- Rathi, A. (2018). Stacking concrete blocks is a surprisingly efficient way to store energy Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://qz.com/1355672/stacking-concrete-blocks-is-a-surprisingly-efficient-way-to-store-energy/>
- Rathore, P. K. S., & Shukla, S. K. (2019). Potential of macroencapsulated pcm for thermal energy storage in buildings: A comprehensive review. *Construction and Building Materials*, 225, 723-744. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.221>
- Rau, T. M. (2017). Afval is materiaal zonder identiteit: Materialenpaspoort. Geraadpleegd op 28 februari 2018 van <http://turntoo.com/nl/materialenpaspoort/>
- Reynaers, A., & Verweij, S. (2014). De schaduwzijden van DBFMO. *Ruimtelijke Ontwikkeling, Infrastructuur En Milieu*, 32(4), 32-34.
- Renolution. (mei, 2018). NOM renovatie galerijflat, Rijswijk. Geraadpleegd op 1 april 2019 van <https://renolution.nl/project/nom-renovatie-galerijflat-rijswijk/renolution-renovatie-appartementen-rijswijk-ocarinalaan-nom-keur-5/>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.-a). Algemene begrippen gebouwen. Geraadpleegd op 30 oktober 2018 van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/algemene-begrippen>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.-b). Milieuprestatie gebouwen – MPG. Geraadpleegd op 7 juni 2018 van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/nieuwbouw/milieuprestatie-gebouwen>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.-c). Verschil energie-index en energie prestatie coëfficiënt. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/bestaande-bouw/energie-index/verschil-energie-index-en-epc-on-23-10-2017>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.-d). Appartementen de trip: Utrecht, Utrecht. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.rvo.nl/initiatieven/energiezuiniggebouwd/appartementen-de-trip>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2014). Renovatie Perosistraat Tilburg, Noord-Brabant. Geraadpleegd op 9 november 2017 van <https://www.rvo.nl/initiatieven/energiezuiniggebouwd/renovatie-perosistraat>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2017). Wettelijke eisen: BENG. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/nieuwbouw/energieprestatie-beng/wettelijke-eisen-beng>
- Rijksoverheid. (2009). Verklarende begrippenlijst duurzaam bouwen en verbouwen. Geraadpleegd op 1 juli 2018 van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/brochures/2009/08/31/verklarende-begrippenlijst>
- Rijksoverheid. (2016a). *Nederland circulair in 2050: Rijksbreed programma circulaire economie*. Den Haag: Rijksoverheid.
- Rijksoverheid. (2016b). VOIS – woningen Nederland. Geraadpleegd op 1 augustus 2016 van <https://vois.datawonen.nl/>
- Rijksoverheid. (2017a). *Grondstoffenakkoord: Intentieovereenkomst om te komen tot transitieagenda's voor de circulaire economie*. Den Haag: Rijksoverheid.

- Rijksoverheid. (2017b). Uitwerking energieagenda. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/uitwerking-energieagenda> on 23-10-2017
- Rijksoverheid. (22 mei, 2019). Strengere geluidseisen voor buitengeplaatste warmtepompen en airco's. Geraadpleegd op 31 juli 2019 van <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2019/05/21/strengere-geluidseisen-voor-buitengeplaatste-warmtepompen-en-airco's>
- Rijkswaterstaat. (z.d.-a). Checklist kansen en beperkingen WKO systemen. Geraadpleegd op 7 januari 2018 van https://www.bodemplus.nl/publish/pages/155125/08_checklist_kansen_en_belemmingen_wko_systemen_midden_limburg.pdf
- Rijkswaterstaat. (z.d.-b). Welke bodemsystemen. Geraadpleegd op 7 januari 2018 van <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/activiteiten/grondwater-ander/bodemenergiesystemen/welke/>
- Rijkswaterstaat Leefomgeving. (z.d.). WKO tool Nederland. Geraadpleegd op 7 januari 2018 van <http://www.wkotool.nl/>
- Roos, J. (2019). Stroomversnelling blijft veel van warmte verwachten: Hoe warmtenetten meer CO₂-reductie kunnen opleveren. Geraadpleegd op 1 juni 2019 van <https://stroomversnelling.nl/wp-content/uploads/2019/05/Warmtenetten.pdf>
- Rovers, R. (8 februari, 2017a). Renoveren is end of pipe benadering....(qua CO₂). *Cobouw*, 2.
- Rovers, R. (17 april, 2017b). Circular: Energieneutraal - klimaatneutraal - systeemneutraal. Geraadpleegd op 1 mei 2017 van <http://ronaldrovers.nl/?p=410>
- Rovers, R. (2018). *Gebroken kringlopen: Naar een volhoudbaar gebruik van bronnen*. Delft: Eburon.
- Rovers, R. (11 januari 2019). 'De leeftemperatuur dient te dalen'! Lubbers, 1974. Geraadpleegd op 15 mei 2019 van <http://ronaldrovers.nl/de-leeftemperatuur-dient-te-dalen-lubbers-1974/>
- RWS. (2016). IJs van columbus, hoe werkt het? Geraadpleegd op 1 november 2018 <https://www.rwsgoes.nl/ijsvancolumbus/hoe-werkt-het/>
- Sáez Blázquez, C., Borge-Diez, D., Martín Nieto, I., Farfán Martín, A., & González-Aguilera, D. (2019). Technical optimization of the energy supply in geothermal heat pumps. *Geothermics*, 81, 133-142. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.04.008>
- SAR. (2000). *Stichting Architecten Research (SAR) / Archief*. (No. SARE). Rotterdam: Het Nieuwe Instituut.
- Scheerhoorn, P. (2018). Kristinsson: 'techniek is cruciaal bij de energietransitie'. Geraadpleegd op 22 augustus 2018 van <https://www.duurzaamgebouwd.nl/artikel/20180822-kristinsson-techniek-is-cruciaal-bij-de-energietransitie->
- Schilt, R. (2015). *Een toekomst voor seizoenopslag: Een kwalitatieve analyse van de huidige ontwikkelingen en toekomstige verwachtingen voor seizoensopslag in de woningen*. (No. 1357). Bodegraven: Merosch.
- Schön, D.A. (1987). *Educating the Reflective Practitioner: Toward a New Design for Teaching and Learning in the Professions*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Schön, D.A., & Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing and their functions in designing. *Design studies* 13 (2) pp. 135-156
- Schultheiss, F. G. (2017). *Projectplan urban energy tender 2017: Geïntegreerde hoogbouw opwek en distributie envelop (GHOEDE)*. Arnhem: Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.
- Schultz van Haegen, M. H., & Bussemaker, J. (2016). *Samen werken aan ontwerpkracht: Actieagenda ruimtelijk ontwerp 2017-2020*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Schwarzmayr, R., Greil, J., Berger, R., & Grünseis, M. (2018). *Plus-Energie-Gebäude durch ein adaptives Fassadensystem: Thermocollect*. (Berichte aus Energie- und Umweltforschung No. 11-2018). Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Sempergreen. (z.d.). Voordelen van een groene gevel. Geraadpleegd op 15 januari 2020 van <https://www.sempergreen.com/nl/oplossingen/groene-gevel/voordelen-groene-gevel>
- SER. (2013). *Energieakkoord voor duurzame groei*. Den Haag: Sociaal-Economische Raad.
- SER. (2016). *Werken aan een circulaire economie: Geen tijd te verliezen*. (Advies No. 5). Den Haag: Sociaal-Economische Raad.
- SEV. (2011). Energiesprong. Geraadpleegd op 1 augustus 2015 van <http://sev.platform31.nl/programma/Energiesprong>
- SHC. (2015). *Task 45 large systems: Seasonal thermal energy storage*. (Report on state of the art and necessary further R+D). Solar Heating and Cooling Programme.

- Sideria. (2016). Instralingsdiagram. Geraadpleegd op 16 augustus 2019 van <http://www.sideria.nl/zonne-energie/zonne-energie/instralingsdiagram.html>
- Sideria. (2017). De verliezen in een pv-systeem. Geraadpleegd op 12 december 2017 van http://www.sideria.nl/zonne-energie/pvsim/pvsim_0.html
- Silverman, T. J., Deceglie, M. G., Subedi, I., Podraza, N. J., Slauch, I. M., Ferry, V. E., & Repins, I. (2018). Reducing operating temperature in photovoltaic modules. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 8(2), 532-540.
- Silvester, S., Klein, T., Boess, S., Guerra Santi, O., Konstantinou, T., Steensma, S., . . . Van Oort, F. (2016). *2nd skin: Zero energy apartment renovation via an integrated façade approach*. (No. TKI/ENERGO TEGB 113029). Delft: Technical University.
- Sim, D. (2019). *Soft city: Building density for everyday life*. Washington: Island Press.
- Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0 - are we ready? *Polish Journal of Management Studies*, 17(1), 232-248.
- Smoor, P. M. (2014). Energiekosten nieuwbouw woningen: Uniforme bepalingsmethodiek. Geraadpleegd op 1 september 2019 van <https://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2014/05/20140429-rapport-energiekosten-nieuwbouw-bepalen.pdf>
- Solar Frontier. (2014). *CIS modules by Solar Frontier*. Solar Frontier.
- Soni, K. M., & Bhagat Singh, P. (2019). First onsite net zero energy green building of India. *International Journal of Environmental Science and Technology*
- Sono. (2018). Sion - endless mobility. Geraadpleegd op 22 september 2018 van <https://sonomotors.com/>
- Spee architecten. (2014). 2nd skin. Geraadpleegd op 1 oktober 2018 van <http://www.speearchitecten.nl/projecten/woningen/#234>
- Staib, G., Dörrhöfer, A., & Rosenthal, M. (2008). *Components and systems: Modular construction - Design, structure, new technologies*. Basel: Edition Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation.
- Stedin. (z.d.). Power2Gas: Elektriciteit omzetten in aardgas. Geraadpleegd op 18 mei 2018 van <https://www.stedin.net/over-stedin/duurzaamheid-en-innovaties/een-nieuw-energiesysteem/power2gas>
- Sterl, S., Höhne, N., & Kuramochi, T. (2016). *What does the Paris agreement mean for climate policy in the Netherlands?* (No. 16040). Cologne: NewClimate Institute.
- Stichting Ratiobouw (1948). *Voorlopige rapport betreffende de geïndustrialiseerde bouw van volkswoningen*. (Nr. 26). Den Haag: Algemeen Rijksarchief, Tweede Afdeling, Archief van Rapport van de Stichting Ratiobouw.
- Stichting Ratiobouw. (1968a). *Woningbouwplan "Noord II" in de gemeente Pijnacker: Nakalkulatie 442 galerijwoningen in Franse gietbouwmethode*. (Nr. 2775). Den Haag: Algemeen Rijksarchief, Tweede Afdeling, Archief van Rapport van de Stichting Ratiobouw.
- Stichting Ratiobouw. (1968b). *Definitief-rapport betreffende een door een bouwteam voorbereid plan van 288 galerijwoningen*. (Nr. 2528). Den Haag: Algemeen Rijksarchief, Tweede Afdeling, Archief van Rapport van de Stichting Ratiobouw.
- Stichting Ratiobouw (1970). *Industriële woningproductie in stedenbouwkundige plannen*. (Nr. 3042). Den Haag: Algemeen Rijksarchief, Tweede Afdeling, Archief van Rapport van de Stichting Ratiobouw.
- Stichting W/E adviseurs. (2017). *Circulair met GPR meetbaar zonder extra moeite*. Utrecht: Stichting W/E adviseurs.
- Sto. (z.d.). Van Erpweg & Van Houtenweg, De Bilt (NL). Geraadpleegd op 30 juli 2018 van https://www.sto.nl/referenties/referenties-detail_76480.html
- Stofberg, F. (2016). *RVO begrippenlijst gebouwen*. Delft: BOOM.
- Stoichkov, V., Sweet, T. K. N., Jenkins, N., & Kettle, J. (2019). Studying the outdoor performance of organic building-integrated photovoltaics laminated to the cladding of a building prototype. *Solar Energy Materials and Solar Cell*, (191), 356-364.
- Struck, C., Almeida, M., Silva, S., Mateus, R., Lemarchand, P., Petrovski, A., . . . De Wit., J. (2015). Adaptive facade systems – review of performance requirements, design approaches, use cases and market needs. *Advanced Building Skins*, Bern. 1254-1264.
- Suchada, J. (2012). Friction, turbulence and smart siting. Geraadpleegd op 30 juli 2018 van <https://newgreenbusinessideas.blogspot.com.au/search/label/Turbulence>
- Suma, A. B., Ferraro, R. M., Dano, B., & Moonen, S. P. G. (2012). Integrated roof wind energy system. *2nd European Energy Conference*, Maastricht. *EPJ Web of Conferences* (33) 03002:1-03002:8.
- Sunikka-Blank, M., & Galvin, R. (2012). Introducing the prebound effect: The gap between performance and actual energy consumption. *Building Research & Information*, 40(3), 260-273.

- Sunlightelectric. (2013). Photovoltaic history. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <http://www.sunlightelectric.com/pvhistory.php>
- Talen. (22 november, 2018). Flats Emmeloord voorbereid op de toekomst. Geraadpleegd op 1 augustus 2019 van <https://talen.nl/flats-emmeloord-voorbereid-op-de-toekomst/>
- Tan, Y., Liu, G., Zhang, Y., Shuai, C., & Shen, G. Q. (2018). Green retrofit of aged residential buildings in Hong Kong: A preliminary study. *Building and Environment*, 143, 89-98. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.058>
- TECNALIA. (2015). *Intervention criteria and packaged solutions for buildings renovation towards a NZEBR*. NeZeR.
- Tee, R., Davies, A., & Whyte, J. (2019). Modular designs and integrating practices: Managing collaboration through coordination and cooperation. *Research Policy*, 48(1), 51-61. doi:<https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.07.017>
- Teptec. (2019). COP en SPF. Geraadpleegd op 1 augustus 2019 van <http://www.teptec.be/nl/24/COP-en-SPF>
- Teske, S. (2015). *Energy [R]evolution: A sustainable world energy outlook 2015*. (No. revised Nov. 2015). Amsterdam: Greenpeace.
- Tesla. (2018). Powerwall: The Tesla home battery. Geraadpleegd op 18 mei 2018 van <https://www.tesla.com/powerwall>
- Thijssen, C. C. F. (1990). *Technische kwaliteiten van etagewoningen. Deel A: Bouwconstructieve analyse van naaorlogse meergezinshuizen in de non-profit huursector 1966-1980* (Proefschrift). Delft: Technische Universiteit Delft.
- Thijssen, C. C. F., & Meijer, C. J. (1988). *Bouwconstructieve analyse van naaorlogse meergezinshuizen in de non-profit huursector 1946-1965*. Delft: OTB Research Institute.
- Thomassen, M. H. J. (2009). Financial business framework helpt woningcorporatie. Tijdschrift Controlling, (6), 30-33.
- Tigchelaar, C., Kooger, R., Van Lidt de Jeude, M., Niessink, R. J. M., Paradies, G. L., & De Koning, N. M. (2019). *Alle bestaande woningen aardgasvrij in 2050. Wie moet wat, wanneer en hoe doen?* (No. 060.33973). Amsterdam: TNO
- Tissink, A. (2018). Grote batterij voor de arena. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.cobouw.nl/infra/nieuws/2018/05/grote-batterij-voor-de-arena-101261201?vakmedianet-approve-cookies=1>
- TNO. (2017). Warmtebatterij: Doorbraak opslag duurzame energie. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/bouw-infra-maritiem/roadmaps/buildings-infrastructure/energiepositieve-gebouwe-omgeving/warmtebatterij-doorbraak-opslag-duurzame-energie/>
- Treur, J. (z.d.). Loss due to non optimal panel angle over a year. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van https://www.researchgate.net/figure/Loss-due-to-non-optimal-panel-angle-over-a-year-eg-see-URL_fig2_237189541
- TU Delft. (2013). Windenergy converter EWICON animation, TU delft. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.youtube.com/watch?v=tqksCHWROBU>
- Ulrich, K. (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy*, 24(3), 419-440. Geraadpleegd op 29 mei 2016 van <http://www.ktulrich.com/uploads/6/1/7/1/6171812/ulrich-architecture.pdf>
- Uneto-Vni. (2016). *Checklist: Meting en beproeving pv-installaties*. Zoetermeer: Uneto-Vni.
- Unica. (2017). *Benutting restwarmte uit datacenters: Hoe datacenters in 2030 2 miljoen woningen gaan verwarmen*. (Whitepaper). Hoevelaken: Unica Ecopower.
- United Nations. (2015). Paris agreement. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf
- United Nations. (2017). Paris agreement – status of ratification. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van http://unfccc.int/paris_agreement/items/9444.php on 23-10-2017
- Van Andel, W., Guldmond, T., & Faqiri, F. (2016). *Stedelijkheid, WOZ-waarde en uitkeringen per postcode, 2014*. (Excel-werkblad). Den Haag: CBS.
- Van Beek, D., De Boer, S., Braakhekke, M., & Buik, N. (2014). *Kansen voor hogetemperatuuropslag en geothermie: Oriëntatiedocument diepe bodemenergie Drenthe*. (No.63301/GB/20140124). Arnhem: IF Technology.

- Van Beek, F. A. (2019). *Hernieuwbare energie voor iedereen: Een multitheoretisch analyse- en raamwerk voor bestuurders en ontwikkelaars voor sturing op publieke waarde in duurzame ontwikkeling en transities* (Proefschrift).
- Van Capelleveen, D. (2019). Warmte opwekken met gekleurde coatings op gevelbeplating. *Bouwwereld*, (6), 16-17.
- Van de Groep, J.W. (2019). *Future factory: Systeem innovatie van een fabriek: Openbare samenvatting*. (Innovatieplan MMIP's gebouwde omgeving 2019 No. DEF-10.1). Tiel: Factory Zero b.v.
- Van de Ven, A., Peeters, E. & Nina, B. (2014). Venco campus. Geraadpleegd op 17 oktober 2018 van http://www.phadviseurs.nl/wp-content/uploads/2014/03/5000i0603_Venco-Campus-Eersel-slim-en-duurzaam.pdf
- Van den Berg, M.C. (2019). *Managing circular building projects* (Doctoral thesis). Enschede: University of Twente.
- Van den Brom, P., Meijer, A., & Visscher, H. (2019). Actual energy saving effects of thermal renovations in dwellings—longitudinal data analysis including building and occupant characteristics. *Energy and Buildings*, 182, 251-263.
- Van den Dobbelsteen, A. (2008,). De Nieuwe Stappenstrategie. Geraadpleegd op 30 mei 2017 van <http://www.duurzaamgebouwd.nl/20080520-de-nieuwe-stappenstrategie>
- Van den Dobbelsteen, A. (2016). Presentatie KNAW-symposium 2016: Met wetenschap naar energieproducerende gebouwen. Geraadpleegd op 22 augustus 2018 van <https://knav.nl/shared/resources/actueel/bestanden/20161214-energiepositiefbouwen-andy-dobbelsteen>
- Van den Thillard, C. C. A. M. (2002). *Consumentgerichte industrialisatie in de woningbouwsector* (Proefschrift). Delft: Technische Universiteit Delft.
- Van der Linden, A. C., Kuipers-van Gaalen, I. M., & Zeegers, A. (2016). *Bouwfysica* (8th ed.). Amsterdam: ThiemeMeulenhoff.
- Van der Plank, P. J., & De Jong, D. (2019). Instrumenteel gebruik van het recht van erfpacht in het kader van circulair bouwen. *Weekblad Voor Privaatrecht, Notariaat En Registratie*, (7224), 64-70.
- Van der Reijden, H., Bakker, Wilma, & De Wildt, R. (8 april, 2019). *Toegankelijkheid voor mensen met een beperking: Knelpunten en oplossingen in de praktijk*. (Rapportage No. P38350). Amsterdam: RIGO.
- Van der Sluis, M. (2016). *Errata NEN 5060: Hygrothermische eigenschappen van gebouwen — referentieklimaatgegevens*. Arnhem: Lectoraat Duurzame Energie, Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.
- Van der Stel, J. (2016). Definitie 'gezondheid' aan herziening toe. Geraadpleegd op 1 december 2019 van <https://www.medischcontact.nl/nieuws/laatste-nieuws/artikel/definitie-gezondheid-aan-herziening-toe.htm>
- Van der Voordt, T. (1986). Le Corbusier c.s. in the dock: Review of Alice Coleman utopia on trial visions and reality in planned housing. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van https://www.researchgate.net/profile/Theo_Van_der_Voordt2/publication/236341784_Le_Corbusier_cs_in_the_dock_Review_of_Alice_Coleman_Utopia_on_trial_-_Visions_and_reality_in_planned_housing/links/Oc960517bec8a84b47000000/Le-Corbusier-cs-in-the-dock-Review-of-Alice-Coleman-Utopia-on-trial-Visions-and-reality-in-planned-housing.pdf
- Van Dooren, E. (2014). Making explicit in design education: Generic elements in the design process. *International Journal of Technology and Design Education*, 24(1)
- Van Gemen, F., Sijppeer, N., Roossien, B. & Opstelten, I. (2016). Handleiding voor de No Regret Rekentool. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.energielinq.nl/document/handleiding-no-regret-rekentool/>
- Van Gennip, H. (2018). Levenscyclus gevelelementen in kaart gebracht. *Bouwwereld*. Geraadpleegd op 6 februari 2018 van <https://www.bouwwereld.nl/nieuws/levenscyclus-gevelelementen-in-kaart-gebracht/>
- Van Gorp, D. (6 oktober, 2017). Nuna9 start in Australië. Geraadpleegd op 22 september 2018 van <https://www.delta.tudelft.nl/article/nuna9-start-australie>
- Van Herk, G. (2017). Alles is anders geworden, behalve nog onze woonwijken. Geraadpleegd op 1 juli 2018 van <http://www.stichtinghumanitas.nl/home/wp-content/uploads/2017/05/Presentatie-zorgontbijt-23-2.pdf>
- Van Herwijnen, F. (2013). *Duurzaam construeren met materialen: Over de CO₂ emissie van beton, staal en hout*. (Reader). Gorinchem: Vereniging Nederlandse constructeurs.
- Van het Schip, E. (2015). Zonnestreringsrichting. Geraadpleegd op 19 augustus 2019 van <http://wiki.bk.tudelft.nl/bk-wiki/Zonnestreringsrichting>

- Van Nunen, H. (2017). #DuurzaamRenoveren: Hoe het wonen stap voor stap duurzaam wordt. (Openbare les). Rotterdam: Hogeschool Rotterdam Uitgeverij.
- Van Overbeeke, P. (2001). *Kachels, geisers en fornuizen : Keuzeprocessen en energieverbruik in Nederlandse huishoudens 1920-1975* (Doctoral thesis). Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- Van Roosmalen, J. (2017). Dutch Solar Design BIPV solutions. Geraadpleegd op 6 februari 2018 van http://www.dsd-pv.nl/uploads/1/1/1/7/111701705/dutch_solar_design_bipv_web.pdf
- Van Sark, W. (2014). *Opbrengst van zonnestroomsystemen in Nederland*. (No. CIER-E-2014-1). Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Vasiliev, M., Nur-E-Alam, M., & Alameh, K. (2019). Recent developments in solar energy-harvesting technologies for building integration and distributed energy generation. *Energies*, 12(1080), 1-23. doi:doi:10.3390/en12061080
- Veerman, M. (2018). *Circulaire gevels als een service: De gevel van de toekomst*. (PowerPointpresentatie). Hengelo: Alkondor.
- Verduurzamers. (z.d.). De Bilt – Van Erpweg & Van Houtenweg. Geraadpleegd op 24 mei 2019 van <http://www.verduurzamers.nu/projecten/64-woningen-mr-s-van-houtenweg-en-h-van-erpweg-de-bilt/>
- Verhoeks, M. M. E. A., Schut-Baak, P. A., Van Rongen, C. T. H., Schuur, A., Thijssen, C. C. F., & Verhoef, L. G. W. (1995). *Architectonische en technische waardering van bestaande galerijflats: Mogelijke aanpassing van gebouw en gevel*. Delft: Publikatieburo Bouwkunde.
- Vernhout, A. (2012). *Duurzaam ondernemen met strategisch competentiedenken: Een integrale strategische management theorie voor continue waardecreatie en waardedistributie*. Lulu.com.
- Viessmann. (2017). *Eis-energiespeichersysteme für Großanlagen: Innovative Energiequelle für Sole/Wasser-Wärmepumpen*. (No. 9442 363 - 1). Ludwigsburg (D): Viessmann Eis-Energiespeicher GmbH.
- Vijian, P. (2018). Review paper on vibrowind system (aerofoil). *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research (IJRTER)*, (March - Conference on Electronics, Information and Communication Systems (CELIC'S'18)), 214-217.
- Visscher, H. J. (2008). *Woningkwaliteit onder controle?* (Intreerede). Delft: Technische Universiteit Delft.
- Von Bertalanffy, L. (1969). *General system theory*. New York: George Braziller, Inc.
- Vreedenburgh, E. (1990a). *Leidingsystematiek in relatie tot flexibiliteit: Verslag IOP-onderzoek 'leidingen'*. Delft: Publikatiebureau Bouwkunde.
- Vreedenburgh, E. (1990b). Fixaties in beweging: Non-stop architecture. *Boosting Nieuwsbrief*, 1(4), 2-3.
- Vreedenburgh, E. (1992). *De bouw uit de knoop*. Delft: Publikatieburo Bouwkunde.
- VVD, CDA, D66, & ChristenUnie. (2017). *Vertrouwen in de toekomst: Regeerakkoord 2017-2021*. Den Haag: Tweede Kamer.
- WarmBouwen. (2016). WarmBouwen: Robuust, fossielvrij en duurzaam. Geraadpleegd op 26 juli 2017 van <http://warmbouwen.nl/>
- Warnaars, J., Kooiman, A., & Den Ouden, B. (2018). *Systeemconsequenties van Ecovat: Kwantificering van kosten voor netverzwaring en piekcentrales*. (No. 59593–Openbaar). Utrecht: Berenschot Groep B.V.
- Wassenberg, F., & Van Kempen, R. (2004). The Netherlands: Modernist housing in a developed welfare state. In R. Turkington, R. Van Kempen & F. Wassenberg (Eds.), *High-rise housing in Europe: Current trends and future prospects* (pp. 129-146). Delft: Delft University Press.
- Wassink, J. (2008). Plan Lievense eigenlijk bedoeld voor kernenergie. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.delta.tudelft.nl/article/plan-lievense-eigenlijk-bedoeld-voor-kernenergie>
- Weersink, A. M. S., & Van Dalen, J. J. P. (2011). Eindrapport onderzoek Warm Bouwen: Onderzoek naar de mogelijkheden van Warm Bouwen voor de bestaande woningbouw. (No. CORP100034). Zwolle: Adviesburo Nieman B.V.
- WELL. (2018). WELL v2™ pilot: The next version of the WELL building standard™. Geraadpleegd op 7 juni 2018 van <https://v2.wellcertified.com/v2.1/en/overview>
- WHO. (1948). Constitution of the World Health Organization. Geraadpleegd op 1 december 2019 van <http://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd47/EN/constitution-en.pdf>
- WHO. (2011). World report on disability. Geraadpleegd op 1 december 2019 van https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/en/
- Wiebes, E. (2019). *Kamerbrief voorstel voor een Klimaatakkoord*. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- Wientjes, B., Buitendijk, G., Meyboom, J., Verhagen, M., Nelissen, E., Reiner, C., . . . Van Wingerden, R. (2017). *De bouwagenda: Bouwen aan de kwaliteit van leven*. Delft: Taskforce Bouwagenda.

- Wilms, T. (2018). Renovatiemethode 2nd skin maakt portieketagewoningen energieneutraal. Geraadpleegd op 1 oktober 2018 van <https://www.gawalo.nl/klimaattechniek/artikel/2018/03/renovatiemethode-2nd-skin-maakt-portieketagewoningen-energieneutraal-1015894>
- Wisnet-HBO. (2009). Toepassing integraalrekening: Booglengte. Geraadpleegd op 12 december 2017 van <http://www.wisnet.nl/courses/WisnetMetha/HBOWISKUNDE/Integraalrekening/Booglengte/booglengte.pdf>
- Witteveen+Bos. (2017). Energiestrategie bij gebiedsontwikkeling. Geraadpleegd op 10 juli 2019 van https://issuu.com/witteveenbos/docs/witteveenbos_nieuws_104
- Witteveen+Bos. (2018). Energiecollege energietransitie-bouwstenen. Geraadpleegd op 10 juli 2019 van <https://vimeo.com/273506124>
- W/E adviseurs. (2018). *Temperatuuroverschrijding in nieuwe woningen in relatie tot voorgenomen BENG-eisen*. (No. W/E 9604). Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
- Zaaijer, L. (2011). Is de tijd rijp voor het open bouwen? Geraadpleegd op 30 mei 2018 van <https://www.archined.nl/2011/06/is-de-tijd-rijp-voor-het-open-bouwen>
- Zaanse Schans. (2016). Bloeiperiode: De 18e en 19e eeuw. Geraadpleegd op 1 oktober 2019 van <https://www.dezaanseschans.nl/historie/bloeiperiode/>
- ZEDfactory. (2012). PortZED. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.zedfactory.com/portzed>
- ZEDfactory. (2014). Jingdezhen Ceramic Centre. Geraadpleegd op 1 augustus 2018 van <https://www.zedfactory.com/jingdezhen-ceramic-centre>
- ZEDfactory. (2018). Letaron Industrial Campus. Geraadpleegd op 10 juli 2019 van <https://www.zedfactory.com/copy-of-nanjing-mountain-park>
- Žegarac Leskovar, V., & Premrov, M. (2019). Classification of renovation approaches. *Integrative approach to comprehensive building renovation* (pp. 7-34). Cham (S): Springer Nature Switzerland AG.
- Zonnepanelenkennis. (2018). Rendement zonnepanelen. Geraadpleegd op 15 december 2018 van <https://www.zonnepanelenkennis.nl/rendement-zonnepanelen/>

Lijst van Tabellen

- 1.1 *Verdeling van de Nederlandse woningvoorraad t/m 2005 naar type woningen en bouwjaarperioden met daarin in rood aangegeven de Wederopbouwperiode.* Bewerking van data uit *Brochure voorbeeldwoningen 2011 bestaande bouw* door Agentschap NL, 2011a. 28
- 2.1 *Verbindingstypen.* Overgenomen uit *Creating buildings with positive impacts* (p. 22) door D. Mulhall, M. Braungart en K. Hanse, 2019. Copyright 2019, E. Durmisevic, Twente University BAMB project. 57
- 2.2 *Opties voor vaste en variabele voorzieningen.* Overgenomen uit *Leidingsystematiek in relatie tot flexibiliteit: Verslag IOP-onderzoek 'leidingen'* (pp. 16-18) door E. Vreedenburgh, 1990a, Delft: Publikatiebureau Bouwkunde. Copyright 1990, Publikatiebureau Bouwkunde. 62
- 2.3 *Hiërarchische reeks van bouwproducten.* Overgenomen uit *POPO of ontwerpmethoden voor bouwproducten en bouwcomponenten* (p. 27) door M. Eekhout, 1997, Delft: Delft University Press. 90
- 2.4 *Definitie bouwproducten.* Aangepast overgenomen uit *POPO of ontwerpmethoden voor bouwproducten en bouwcomponenten* (pp. 14-24) door M. Eekhout, 1997, Delft: Delft University Press. 91
- 2.5 *Bewerkingen van producten.* Aangepast overgenomen uit *POPO of ontwerpmethoden voor bouwproducten en bouwcomponenten* (p. 28) door M. Eekhout, 1997, Delft: Delft University Press. 92
- 2.6 *Hiërarchische reeks van bouwproducten in twee richtingen.* Aangepast overgenomen uit *POPO of ontwerpmethoden voor bouwproducten en bouwcomponenten* (p. 27) door M. Eekhout, 1997, Delft: Delft University Press. 93
- 3.1 *Overzicht levensfasen bouwproducten.* Overgenomen uit *Duurzaam construeren met materialen: Over de CO₂-emissie van beton, staal en hout* (p. 13) door F. van Herwijnen, 2013. 109
- 3.2 *Bouwstenen voor energietransitie in relatie tot energieopwek, energieopslag en energieafgifte systemen voor de upgrading van de bestaande woningbouw.* 121
- 3.3 *Energiedichtheid van verschillende stoffen.* 121
- 3.4 *Overzicht bodemenergiesystemen.* Overgenomen uit *Type bodemenergiesystemen* door BodemenergieNL, 2018. 125
- 3.5 *Rekenwaarden in de WKO Tool voor de warmtevraag.* Overgenomen uit *WKO tool Nederland* door Rijkswaterstaat Leefomgeving, z.d. (<http://www.wkool.nl/>). 127
- 3.6 *Comparisons between different TPV based on process: transmission rate vs. efficiency percentage of the solar cell.* Tabel gedeeltelijk overgenomen uit *A review of transparent solar photovoltaic technologies* (p. 786) door A.A.F. Husain et al., 2018. Copyright 2018, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 137

- 3.7 *Invloed grondreflectiecoëfficiënt op de totale zoninstraling, De Bilt, hellingshoek 30 graden, oriëntatie zuid volgens data uit NEN 5060: Hygrothermische eigenschappen van gebouwen - referentieklimaatgegevens (bijlage E) door Normcommissie 351 074 "Klimaatbeheersing in gebouwen", 2008. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut. 148*
- 3.8 *Schaduwlengte op een plat maaiveld van een 40 meter hoge boom voor locatie De Bilt in Nederland (wintertijd UTC+1) [m] om 9.00 uur, 12.00 uur en 15.00 uur. 152*
- 3.9 *Criteria voor evaluatie PV-integratie. Gedeeltelijk overgenomen uit General model of photovoltaic (PV) integration into existing public high-rise residential buildings in Singapore – challenges and benefits (p. 79) door V. Kosorić, S. Lau, A. Tablada en S.S. Lau, 2018. 157*
- 3.10 *Toepassing van elektriciteit uit zonne-energie per systeemgrens. 157*
- 3.11 *Door wind veroorzaakte extreme stuwdruk als functie van de hoogte. Opgesteld volgens data van Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies - deel 1-4: Algemene belastingen - windbelasting (p. 10) door Normcommissie 351 001 "Technische Grondslagen voor Bouwconstructies", 2011a. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut. 162*
- 3.12 *Toepassing van elektriciteit uit windenergie per systeemgrens. 171*
- 3.13 *Soortelijke warmte en latente warmte van ijs, water en waterdamp. 179*
- 3.14 *Verhouding volume ijs ten opzichte van water bij een bepaalde hoeveelheid energieopslag. 180*
- 3.15 *Compactheid van verschillende liggingen van appartementen. 187*
- 3.16 *Compactheid van grondgebonden rijwoningen met hetzelfde volume als de appartementen. 188*
- 3.17 *Hoeveelheid per type appartement in een flatgebouw bij 2 beuken of meer en bij 2 woonlagen of meer. 188*
- 4.1 *Hoogbouwsystemen. 197*
- 4.2 *Minimale warmteweerstand van constructies bij nieuwbouw in m².K/W volgens NEN1068:1964 (data volgens Hoen & Thijs, 1981, p. 6 en Bouwbesluit 2012). 210*
- 4.3 *Geslotenheid woongevel van de 10 hoogbouwsystemen. 229*
- 5.1 *Samenvatting concepten en cases voor upgrading van gestapelde woningbouw 257*
- 6.1 *Scenario's jaarkilometrage particuliere personenauto's ten behoeve van rekenmodel. 280*
- 6.2 *Scenario's jaarkilometrage particuliere personenauto ten behoeve van rekenmodel. 283*
- 6.3 *Aantal voertuigen per gezinsgrootte van 2,8 personen in 2015. Opgesteld volgens geïnterpoleerde data uit Huishoudens in bezit van auto of motor; huishoudkenmerken door CBS, 2017b. 284*
- 6.4 *Stedelijkheid in relatie tot omgevingsadressendichtheid (oad) volgens CBS (z.d.) 286*
- 6.5 *Percentage aantal voertuigen bij een omgevingsadressendichtheid 'matig'. 287*
- 6.6 *Parkeernormen functie Wonen. Overgenomen uit Parkeernormen: Bijlage door Gemeente Arnhem, 2014. 288*
- 6.7 *Bepaling aantal voertuigen per huishouden. 288*
- 6.8 *Minimaal benodigd onbelemmerd horizontaal opwekoppervlak per scenario. 299*

- 6.9 *Afmetingen van de parkeerstrookdiepte en de parkeerwegbreedte bij verschillende parkeerhoeken onder een parkeervakbreedte (b) van 2,50 m. Volgens data uit NEN 2443: Parkeren en stallen van personenauto's op terreinen en in garages (p. 63) door Normcommissie 351 041 "Parkeergarages", 2013. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.* 300
- 6.10 *Afmetingen van elektrische energie opwekkende dakoppervlakken bij een bepaalde parkeerhoek en parkeerwegbreedte, met een parkeervakbreedte van 2,50 m bij scenario A (10.000 km/jaar).* 301
- 6.11 *Afmetingen van elektrische energie opwekkende dakoppervlakken bij een bepaalde parkeerhoek en parkeerwegbreedte, met een parkeervakbreedte van 2,50 m bij scenario B (11.800 km/jaar).* 301
- 6.12 *Tabel 6.20. Afmetingen van elektrische energie opwekkende dakoppervlakken bij een bepaalde parkeerhoek en parkeerwegbreedte, met een parkeervakbreedte van 2,50 m bij scenario C (20.000 km/jaar).* 302
- 6.13 *Gebouwgebonden en huishoudelijk elektrische energie voor 2,8 bewoners.* 316
- 6.14 *Bestaande situatie: benodigde warmte en elektriciteit voor galerijwoning met een woonoppervlak van 82 m² en gemiddeld 2,8 bewoners.* 318
- 6.15 *Gebouwmodel, nieuwe situatie: benodigde elektrische energie.* 320
- 6.16 *Overzicht bestaande en nieuwe energievragen voor een galerijwoning met een woonoppervlak van 82 m² en gemiddeld 2,8 bewoners.* 322
- 6.17 *Voorbeeld uitkomst gebouwmodel met 5 oriëntaties (A t/m E) bij 4 woonlagen bij woongevel en ontsluitingsgevel 40 % PV, dak en kopgevels 100 % PV.* 325
- 6.18 *Relatie tussen aantal woonlagen, oriëntatie en energieambitie – bij woongevel en ontsluitingsgevel 40 % PV, kopse gevels 100 % PV en dak 100 % PV.* 326
- 6.19 *Relatie tussen aantal woonlagen, oriëntatie en energieambitie – bij woongevel en ontsluitingsgevel 10 % PV, kopse gevels 100 % PV en dak 100 % PV.* 327
- 6.20 *Overzicht mogelijke varianten upgrading bestaand bouwblok, aanbouw, opbouw.* 333
- 6.21 *Minimale afstand tussen zonnepanelen met een lengte van 1 m bij een elevatie van 37° op twee kenmerkende data voor 52° N.B.* 346
- 6.22 *Verschillen hoogbouw portieketageflats en galerijflats.* 371

Lijst van Figuren

- 1.1 Conceptueel schema met de eenvoudigste stadia van een circulair economisch model. Overgenomen uit *Naar een Circulaire economie: Een afvalvrij programma voor Europa* (p. 6) door Europese Commissie, 2014a, Brussel: Europese Commissie. Copyright 2014, Europese Commissie. 24
- 1.2 Woningvoorraad naar eigendom/huur. Bewerking van data uit *Voorraad woningen; eigendom, type verhuurder, bewoning, regio* door CBS, 2018 (<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82900NED/table?ts=1519376771837>). 27
- 1.3 Verdeling van de Nederlandse woningvoorraad t/m 2005 naar type woningen en bouwjaarperiodes. Bewerking van data uit *Brochure voorbeeldwoningen 2011 bestaande bouw* door Agentschap NL, 2011a. 28
- 1.4 Aantal woningen per 1 januari 2016 in Nederland uit de periode 1945-1975 ten opzichte van de overige tijdperiodes. Bewerking van data uit *VOIS – woningen Nederland* door Rijksoverheid, 2016b (<https://vois.datawonen.nl/>). 31
- 1.5 Opbouw bezit corporaties naar type woning en bouwjaarklasse (aantallen) per 31 december 2017. Bewerking van data uit *Cijfers over wonen en bouwen 2019* door BZK, 2019. 33
- 1.6 Onderzoekopzet en conceptueel schema. 40
- 2.1 Begrenzing van een systeem en systeemcontext. Overgenomen uit *Succes met requirements: Ontwikkeling validatie en beheer van requirements voor informatiesystemen* (p. 10) door M. Arendsen et al., 2012, Den Haag: Academic Service. Copyright 2012, Academic Service. 46
- 2.2 Toewijzing van functionele elementen naar fysieke elementen op een modulaire en integrale wijze. Overgenomen uit *The role of product architecture in the manufacturing firm* (pp. 421-422) door K. Ulrich, 1995. Copyright 1995, Research Policy. 49
- 2.3 Niveaus van besluitvorming volgens Habraken. Overgenomen uit *An introduction to open building* (p. 3) door Y. Cuperus, 2001, Singapore: 9th International Group for Lean Construction Conference. Copyright 2001, Y. Cuperus. 51
- 2.4 Overzicht van de belangrijkste subsystemen in een gebouw en hun relatie tot support en inbouw. Overgenomen uit *An efficient response to user's individual preferences* door N.J. Habraken, 1992. Copyright 1992, N.J. Habraken. 53
- 2.5 Shearing layers of change. Overgenomen uit *How buildings learn: What happens after they're built* (p. 1) door S. Brand, 1994, New York: Penguin Books. Copyright 1994, Penguin Books. 55
- 2.6 Relatie tussen lagen van Brand en de mate van flexibiliteit. Overgenomen uit *From massive construction to decomposition of housing: A way to support further industrialization and customization of housing* (p. 7) door E. Durmisevic, 2001. Copyright 2001, Technische Universiteit Delft. 56
- 2.7 Matura infill systeem. Overgenomen uit *De bouw uit de knoop* (p. 108) door E. Vreedenburgh, 1992. Delft: Publikatieburo Bouwkunde. Copyright 1992, Publikatieburo Bouwkunde. 63

- 2.8 Matura infill systeem, doorsnede. Overgenomen uit *Notes Toward a History of the Matura Infill System Development* (p. 140) door S. Kendall, 2015. Philadelphia: Ball State University. Copyright 2015, Ball State University. 63
- 2.9 Woningplattegrond met een ordening van leidingen volgens het Matura inbouwsysteem. Overgenomen uit *Studie: Flexibele inbouwsystemen* (p. 8) door D. Bloemen, 2007. Copyright, Matura. 63
- 2.10 Trias Energetica. Overgenomen uit *Infoblad trias energetica en energieneutraal bouwen* (p. 4) door Agentschap NL, 2015. Copyright 2015, Agentschap.nl. 67
- 2.11 Nieuwe stappenstrategie. Overgenomen uit *Presentatie KNAW-symposium 2016: Met wetenschap naar energieproducerende gebouwen* (p. 10) door A. van den Dobbelsteen, 2016. Copyright 2016, A. van den Dobbelsteen. 67
- 2.12 Trias Energetica en elementen uit de Trias Energetica met een andere prioriteit volgens Kristinsson. Overgenomen uit *Kristinsson: 'Techniek is cruciaal bij de energietransitie'* door P. Scheerhoorn, 2018. Copyright 2018, Duurzaam Gebouwd. 68
- 2.13 The facade function tree: Responsible handling in terms of sustainability. Overgenomen (gedeeltelijk) uit *Integral façade construction: Towards a new product architecture for curtain walls* (p. 133) door T. Klein, 2013. Copyright 2013, T. Klein. 70
- 2.14 Adaptieve gevel met thermisch geïsoleerde lamellen. Overgenomen uit *Plus-energie-Gebäude durch ein adaptives Fassadensystem: Thermocollect* (pp. 17–18) door R. Schwarzmayr, J. Greil, R. Berger en M. Grünseis, 2018, Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Copyright 2018, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. 71
- 2.15 Beddington Zero Energy Development (BedZED) in Wallington, London. Overgenomen uit *BEDZED: Beddington Zero Energy Development in London* door Inhabitat, 2008 (<https://inhabitat.com/bedzed-beddington-zero-energy-development-london/>). Copyright 2008, Inhabitat. 72
- 2.16 Ontwerp voor Letaron Industrial Campus in Dongguan (China). Overgenomen uit *Letaron Industrial Campus* door ZEDfactory, 2018 (<https://www.zedfactory.com/copy-of-nanjing-mountain-park>). Copyright 2018, ZEDfactory. 73
- 2.17 Ontwerp voor Jingdezhen Ceramic Centre te Jingdezhen City (China), zuidaanzicht. Overgenomen uit *Jingdezhen Ceramic Centre* door ZEDfactory, 2014 (<https://www.zedfactory.com/jingdezhen-ceramic-centre>). Copyright 2014, ZEDfactory. 74
- 2.18 Research Laboratory for Experimental Traumatology (1988), Ulm, Germany. Figuur overgenomen uit *The architecture of Dieter Schempp (LOG ID)* door McGill, 2001. 75
- 2.19 Thermische buffers in de gevelzone. Overgenomen uit *Multi-active façade for Swedish multi-family homes renovation – evaluating the potentials of passive design measures* (p. 13) door S. Gosztanyi, M. Stefanowicz, R. Bernardo en Å. Blomsterberg, 2016. 76
- 2.20 Passiefhuis. Overgenomen uit *What is a passive house?* Door Passipedia, 2019 (https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house). Copyright 2019, Passipedia. 77
- 2.21 The circular economy—an industrial system that is restorative by design. Overgenomen uit *Circular economy system diagram* door Ellen MacArthur Foundation, 2017 (<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic>). Copyright 2017, Ellen MacArthur Foundation. 79

- 2.22 *Het Six Capital model*. Overgenomen uit *Get to grips with the six capitals* door IIRC, z.d. (<https://integratedreporting.org/what-the-tool-for-better-reporting/get-to-grips-with-the-six-capitals/>). Copyright, IIRC. 81
- 2.23 Mate van betrokkenheid en invloed per fase van stakeholders. 82
- 2.24 Relatie tussen duurzaam bouwen, circulair bouwen en energieneutraal bouwen. Eigen figuur volgens *Circulair versus duurzaam versus energieneutraal bouwen* door H. Korbee, 2018 (<https://www.duurzaamgebouwd.nl/expertpost/20180112-circulair-versus-duurzaam-versus-energieneutraal-bouwen>). 86
- 2.25 Voorbeeld Active House Radar. Overgenomen uit *Active house: Ontwerprichtlijnen* (p. 7) door B. Hasselaar, 2016, Brussel: Active House Alliantie. Copyright 2016, Active House Alliantie. 95
- 2.26 Werkwijze voor het regelen van het klimaat in een gebouw. Overgenomen uit *Octrooi NL2001816* (p. 18) door E.W. Karthaus, J.E. Burggraaf en M.H.W. de Gier, 2008. Copyright 2008, Stichting WarmBouwen. 96
- 2.27 Outline of an energetic 'Smart Skin' renovation of 400 listed half-brick houses called 'De Hoogte' in the city of Groningen, the Netherlands. Overgenomen uit *Smart skin: A step aside in zero-energy building* (p. 6) door J. Kristinsson en A. van den Dobbelsteen, 2009. Copyright 2009, J. Kristinsson en A. van den Dobbelsteen. 97
- 2.28 Warmteplaattegrond van Philippe Rahm. Overgenomen uit *Energie besparen met de plaattegrond* (p. 4) door J. Hovenier, 2014. Amsterdam: BNA Onderzoek. Copyright 2010, Philippe Rahm. 99
- 2.29 Klimaatzones in House N. Overgenomen uit *House N by Sou Fujimoto Architects* door A. Frearson, 2012. Copyright 2012, Dezeen. 100
- 2.30 Upgrading hoogbouwflats project Grand Parc te Bordeaux (F). Links: tijdens upgradering, rechts: na upgradering. Gecombineerd overgenomen uit *Die cité du Grand Parc in Bordeaux* door K. Dana, 2016. Copyright 2016, Bauwelt. 100
- 2.31 Bestaande en uitgebreide plaattegrond renovatie (2015) project Cité du Grand Parc te Bordeaux (F). Overgenomen uit *Transformation de 530 logements, cité du Grand-Parc à Bordeaux* (p. 64) door Karine Dana, 2015. Copyright 2015, D'Architectures. 101
- 2.32 Huishoudelijk energieverbruik per inwoner 1950-2013. Overgenomen uit *Huishoudelijk energieverbruik per inwoner, 1950-2013* door CBS, 2014. 102
- 3.1 Economische potentie van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) en drinkwater (TED) in relatie tot de nationale energievraag warmte/koude. Volgens data uit *Handreiking aquathermie: Hoe gaan we verder met TEO en TEA?* (p. 10) door E. Kleiweg en W. de Coö, 2018. 131
- 3.2 Best Research-Cell Efficiencies. Overgenomen uit *Best research-cell efficiency chart* door NREL, 2019 (<https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>). Copyright 2019, NREL. 134
- 3.3 Prestaties van Full coloured PV. Overgenomen uit *Dutch Solar Design BIPV solutions* (p. 13) door J. van Roosmalen, 2017 (http://www.dsd-pv.nl/uploads/1/1/1/7/111701705/dutch_solar_design_bipv_web.pdf). Copyright 2017, ECN. 135
- 3.4 Full coloured PV in architectuur van UNSTUDIO. Overgenomen uit *Dutch Solar Design BIPV solutions* (p. 18) door J. van Roosmalen, 2017. (http://www.dsd-pv.nl/uploads/1/1/1/7/111701705/dutch_solar_design_bipv_web.pdf). Copyright 2017, ECN. 135

- 3.5 Kleuren HeliaFil[™] en HeliaSol[©]. Overgenomen uit *Technical Data* van Heliatek, 2018a (<https://www.heliatek.com/en/applications/buildings>). Copyright 2018, Heliatek. 136
- 3.6 Transparante HeliaFil[™]. Overgenomen uit *Building envelopes powered by HeliaFilm[®] and HeliaSol[®]* door Heliatek, 2018b (<https://www.heliatek.com/en/applications/buildings>). Copyright 2018, André Wirsig, Dresden. 136
- 3.7 Relatie tussen de mate van transparantie en de opbrengst Onyx Solar. Volgens data Onyx Solar (z.d.). 138
- 3.8 Semitransparent hybrid concentrator-type photovoltaic (PV) windows. Overgenomen uit *Recent developments in solar energy-harvesting technologies for building integration and distributed energy generation* (p. 13) door M. Vasiliev, M. Nur-E-Alam en K. Alameh, 2019. 139
- 3.9 Principe van een semi-transparante, kleurloze zonneconcentrator. Overgenomen uit *Review of Core/Shell quantum dots technology integrated into building's glazing* (p. 17) door A.R. AbouElhamd, K.A. Al-Sallal en A. Hassan, 2019. 140
- 3.10 ClearVue-PV venster. Overgenomen uit *ClearVue-PV* door ClearVue-PV, 2018 (<http://www.clearvuepv.com/wp-content/uploads/2018/07/ClearVue-PV-Brochure-v3.pdf>). Copyright 2018, Clearvue. 141
- 3.11 Torenflat Bieslandsekade te Delft voorzien van zonnepanelen in 2003. . 142
- 3.12 De Heliotroop in Freiburg. Overgenomen uit *Solar Architektur* door R. Disch, z.d. (<http://www.rolfdisch.de/en/architects-office/>). Copyright, R. Disch. 143
- 3.13 Tabel van Hespul. Overgenomen uit *Checklist: Meting en beproeving PV-installaties* (p. 4) door Uneto-Vni, 2016. 144
- 3.14 Instralingssschijf van Ukkel (B). Overgenomen uit *Loss due to non optimal panel angle over a year* door J. Treur, z.d. (https://www.researchgate.net/figure/Loss-due-to-non-optimal-panel-angle-over-a-year-eg-see-URL_fig2_237189541). 145
- 3.15 De ideale hellingshoek, tiltfactoren voor zuidoriëntatie voor locatie De Bilt. Overgenomen van *Instralingsdiagram Nederland* door Sideria, 2016 (<http://www.siderea.nl/zonne-energie/zonne-energie/instralingsdiagram.html>). Copyright 2016, Sideria. 146
- 3.16 Instralingsdiagram (vrije horizon) en opbrengstendiagram (5 % horizon obstructie), locatie De Bilt. Overgenomen van *Instralingsdiagram Nederland* door Sideria, 2016 (<http://www.siderea.nl/zonne-energie/zonne-energie/instralingsdiagram.html>). Copyright 2016, Sideria. 146
- 3.17 Invloed van grondreflectie en de hellingshoek op de totale zoninstraling op een zuidgericht vlak in De Bilt. 149
- 3.18 Invloed beschaduwing door bomen op een horizontaal vlak op een bepaald tijdstip. 153
- 3.19 Invloed beschaduwing door bomen op een verticaal vlak op een bepaald tijdstip. 153
- 3.20 Belemmering ongewenste zoninstraling met behulp van PV-lamellen. 154
- 3.21 Stellingmolen 'De Nolet' te Schiedam. Overgenomen uit *Noletmolen, Schiedam* (database ID 1280) door Molendatabase, 2019 (<https://www.molendatabase.nl/nederland/molen.php?nummer=1280>). Copyright 2011, Jan Puts. 159
- 3.22 *Indeling van Nederland in windgebieden*. Overgenomen uit *Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies – deel 1-4: Algemene belastingen – windbelasting* (p. 4) door Normcommissie 351 001, 2011a. Copyright 2011, Nederlands Normalisatie-instituut. 160

- 3.23 *Mogelijke locaties met terreincategorie 0*. Overgenomen uit *Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies – deel 1-4: Algemene belastingen – windbelasting* (p. 8) door Normcommissie 351 001, 2011. Copyright 2011, Nederlands Normalisatie-instituut. [161](#)
- 3.24 Door wind veroorzaakte extreme waarde van de stuwdruk als functie van het aantal woonlagen boven het aansluitende terrein. Opgesteld volgens data van *Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies – deel 1-4: Algemene belastingen – windbelasting* (p. 10) door Normcommissie 351 001 “Technische Grondslagen voor Bouwconstructies”, 2011a. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut. [163](#)
- 3.25 Gebied met hoge turbulentie. Overgenomen uit *Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review* (p. 270) door A. KC, J. Whale en T. Urmeë, 2019. Copyright 2012, Suchada. [164](#)
- 3.26 Sketch of a boundary layer profile change due to a step in roughness height. Overgenomen uit *Wind energy in the built environment: Concentrator effects of buildings* (p. 19) door S. Mertens, 2006. Copyright 2012, Technische Universiteit Delft. [165](#)
- 3.27 CFD calculation of the velocity vectors around a 2D building (left) and zoomed in at the roof (right). Overgenomen uit *Wind energy in the built environment: Concentrator effects of buildings* (p. 33) door S. Mertens (2006). [165](#)
- 3.28 An H-Darrieus (Turby) in the flow above the recirculation region of the roof (streamlines found by a CFD calculation). Overgenomen uit *Wind energy in the built environment: Concentrator effects of buildings* (p. 74) door Mertens (2006). [166](#)
- 3.29 Minimale turbinehoogte boven een dakvlak op een rechthoekig gebouw. Overgenomen met toevoeging van windrichting uit *The influence of a cubic building on a roof mounted wind turbine* (p. 6) door D. Micallef, T. Sant en C. Simao Ferreira (2016). Copyright 2016, Journal of Physics: Conference Series. [167](#)
- 3.30 IRWES conceptual design section with flattened dome shaped roof. Overgenomen uit *Integrated roof wind energy system* (p. 03002:3) door A.B. Suma, Ferraro, B. Dano en S.P.G. Moonen, 2012. [168](#)
- 3.31 Building-integrated wind turbine system using wind turbines: (a) three possible installation locations of large-size wind turbines; and (b) two possible installation locations of small-size wind turbines. Overgenomen uit *A new building-integrated wind turbine system utilizing the building* (p. 11848) door J. Park, H. Jung, S. Lee en J. Park, 2015. [169](#)
- 3.32 Schematische weergave BIWT-module. Afbeelding overgenomen uit *A new building-integrated wind turbine system utilizing the building* (p. 11849) door J. Park, H. Jung, S. Lee en J. Park, 2015. Copyright 2015, Energies. [170](#)
- 3.33 Structural aspect of the BIWT-module. Afbeelding overgenomen uit *A new building-integrated wind turbine system utilizing the building* (p. 11851)) door J. Park, H. Jung, S. Lee en J. Park, 2015. Copyright 2015, Energies. [170](#)
- 3.34 Overzicht van opslagtechnologieën, hun capaciteit en opslagduur. Overgenomen uit *Grootschalige energieopslag* (p. 6) door FME, 2017. Copyright 2015, PWC. [174](#)
- 3.35 Schematisch diagram van een HBFB-cel. Figuur overgenomen uit *The hydrogen bromine flow battery for a large-scale integration of variable renewable electricity: State-of-the-art review* (p. 3) door Y.A. Hugo, W. Kout en G. Dalessi, 2016. Arnhem: Elestor. [176](#)

- 3.36 *Figuur 3.36. De vier seizoensgebonden opslagtechnieken. Overgenomen uit SHC Task 45 large systems: Seasonal thermal energy storage* (p. 9) door SHC, 2015. Copyright 2015, SHC International Energy Agency. 181
- 3.37 Ligging appartement in relatie tot verliesgevende oppervlakken. 187
- 3.38 Compactheid type appartement. 188
- 3.39 Hoeveelheid per type appartement in een flatgebouw bij 10 beuken met 8, 10 of 12 woonlagen. 189
- 4.1 Aantal bouwlagen in de woningsector. Opgesteld volgens data uit *Documentatie systeemwoningen '50-'75* door BouwhulpGroep, 2013. 195
- 4.2 Aantal bouwlagen in de premiesector. Opgesteld volgens data uit *Documentatie systeemwoningen '50-'75* door BouwhulpGroep, 2013. 195
- 4.3 Verdeling bouwsystemen naar bouwhoogte per bouwmethode (in aantallen en in percentage). Opgesteld volgens data uit *Niet-traditionele woningbouwmethoden in Nederland* door H. Priemus en R.S.F.J. van Elk, 1971, p. 38. 196
- 4.4 Verdeling bouwmethoden naar woonvorm. Opgesteld volgens data uit *Niet-traditionele woningbouwmethoden in Nederland* door H. Priemus en R.S.F.J. van Elk, 1971, p. 38. 196
- 4.5 Overzicht van hoogbouwflats in de Wederopbouwperiode: bouwsystemen, bouwmethoden en bouwjaren. 198
- 4.6 Bezweken uitkragende vloer te Wormerveer. Overgenomen uit *Flatgebouw zonder onderhoud levert gevaar op* door J. Hoekman, 2011 (<https://www.rd.nl/meer-rd/wetenschap-techniek/flatgebouw-zonder-onderhoud-levert-gevaar-op-1.616847>). Copyright 1988, ANP. 200
- 4.7 Bezweken uitkragende vloeren Antillenflat te Leeuwarden (2011). Overgenomen uit *Uitkragende vloeren* door M. Poelert, z.d. (<https://www.nebest.nl/producten/uitkragende-vloeren>). Copyright, Nebest. 200
- 4.8 Antillenflat te Leeuwarden, aanzicht, doorsnede, details galerij. Overgenomen uit *Uitkragende betonnen galerijplaten van de Antillenflat* (p. 27) door M. Meek, 2016, Delft: Technische Universiteit Delft. Copyright 2016, Technische Universiteit Delft. 201
- 4.9 Schematische weergave van uitkragende betonnen vloeren. Overgenomen uit *CUR 248: Onderzoek naar en beoordeling van de constructieve veiligheid van uitkragende betonnen vloeren van galerijflats* (p. 11) door F. Jonker, M. De Jonker, D.G. Mans en S.N.M. Wijte, 2014, Rotterdam: SBRCURnet en Platform Constructieve Veiligheid. Copyright 2014, SBRCURnet en Platform Constructieve Veiligheid. 202
- 4.10 Thermische bruggen in kopgevels en langsggevels bij galerijflats en portiekflats uit de Wederopbouwperiode, verticale geveldetails. Overgenomen uit *Een hoogwaardige toekomstbestendige NOM-flatrenovatie* (pp. 48-50) door J. Potjer, 2018, Arnhem: HAN. Copyright 2018, HAN. 205
- 4.11 Minimale warmteweerstand van constructies bij nieuwbouw in m².K/W volgens NEN 1068:1964. Volgens data uit *Verbeterde graaddagenmethode* (p. 6) door P.J.J. Hoen en R.V.L.M. Thijs, 1981 en uit Bouwbesluit 2012. 209
- 4.12 Reductietekeningen structuur van de 10 Wederopbouw hoogbouwssystemen. 213
- 4.13 Overzicht grootste beukmaten per bouwstelsel en bouwmethode. 214
- 4.14 Muwi, Klarenstraat te Amsterdam. 218
- 4.15 Muwi-woningen met galerijontsluiting aan de Jan Ligthartstraat te Heemskerk. Overgenomen uit *Google Maps*, 2016. Copyright 2016, Google Maps. 218

- 4.16 Pronto-woningen met portiekontsluiting aan Karel de Grotelaan te Eindhoven-Blaarthem. Overgenomen van *Google Maps*, 2016. Copyright 2016, Google Maps. [219](#)
- 4.17 BMB-woningen met galerijontsluiting in Woenselse Heide te Eindhoven, woongevel. [220](#)
- 4.18 BMB-woningen met galerijontsluiting in Woenselse Heide te Eindhoven, ontsluitingsgevel. [220](#)
- 4.19 Indico Coignet aan Amerbos te Amsterdam, woongevel. [221](#)
- 4.20 IBC-flat in Geeren-Noord te Breda, ontsluitingsgevel. Overgenomen uit *Google Maps*. Copyright 2018, Google. [221](#)
- 4.21 IBC-flat in Geeren-Noord te Breda, woongevel. Overgenomen uit *Google Maps*. Copyright 2018, Google. [222](#)
- 4.22 VAM-flat aan de Henriëttedreef te Utrecht, woongevel. Overgenomen uit *Google Maps*. Copyright 2018, Google. [223](#)
- 4.23 VAM-flat aan de Henriëttedreef te Utrecht. Overgenomen uit *Google Maps*. Copyright 2018, Google. [224](#)
- 4.24 EBA, Bijlmerdreef, Amsterdam. [225](#)
- 4.25 ERA, Robert Kochplaats, Rotterdam. Overgenomen van *Google Maps*, 2019. Copyright 2019, Google. [226](#)
- 4.26 RBM, Klarenburg, Amsterdam. [226](#)
- 4.27 *Figuur 4.28*. RBM, Lederambachtstraat Amsterdam. [227](#)
- 4.28 Wilma II, Bomansdreef te Eindhoven. [227](#)
- 4.29 Geslotenheid zongerichte woongevel per bouwsysteem. [229](#)
- 5.1 Impressie ENDIS-renovatie van portiekflat Klaverweide te Breda. Overgenomen uit *ENDIS* (p. 3) door ENDIS, 2012, Tilburg: ENDIS. Copyright 2012, ENDIS. [233](#)
- 5.2 Perosiflat Tilburg, bestaande situatie en gewijzigde situatie. Overgenomen uit *Renovatie Perosistraat Tilburg, Noord-Brabant* door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014 (<https://www.rvo.nl/initiatieven/energiezuiniggebouwd/renovatie-perosistraat>). Copyright, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. [234](#)
- 5.3 Serregevel flatgebouw De Meidoorn te Weesp. Overgenomen uit *Opwaardering en renovatie flatgebouw De Meidoorn* door D. de Gunst en H. van Heeswijk, 2017, Amsterdam: NDCC Publishers. Copyright 2017, NDCC Publishers. [236](#)
- 5.4 Aan de galerijgevel gehangen bergingen in Schiecentrale 4B te Rotterdam. Overgenomen uit *Schiecentrale 4B: multifunctioneel woon- en werkgebouw* door Mei architects and planners, z.d. (<https://mei-arch.eu/projecten-archieff/schiecentrale-4b/>). [238](#)
- 5.5 Portieketageflat, Floriszstraat te Arnhem - situatie voor upgradering in 2014 en tijdens upgradering in 2015. [240](#)
- 5.6 Flat met Toekomst. Overgenomen uit *Selectie Flatmettoekomst gewonnen* door Op ten noort blijdenstein architecten en adviseurs, 2015 (<http://www.onb.nl/selectie-flatmettoekomst-gewonnen/>). [242](#)
- 5.7 Renovatiemodel volgens Renolution en IBIS Power. Overgenomen uit *NOM renovatie galerijflat, Rijswijk* door Renolution, 2018 (<https://renolution.nl/project/nom-renovatie-galerijflat-rijswijk/renolution-renovatie-appartementen-rijswijk-ocarinalaan-nom-keur-5/>). Copyright 2018, COM_zone_ARCHITECT. [243](#)
- 5.8 2nd skin: renovatie van buitenaf, energieneutraal en nieuwe identiteit. Overgenomen uit *2nd skin* door Spee Architecten, 2014. [244](#)

- 5.9 Vooraanzicht flat aan Mr. S. van Houtenweg te Utrecht, oude situatie en nieuwe situatie. Links: overgenomen van Google Maps, 2019. Copyright 2019, Google Maps. Rechts: overgenomen uit *Van Erpweg & Van Houtenweg, De Bilt (NL)* door Sto z.d. (https://www.sto.nl/nl/referenties/referenties-detail_76480.html). 245
- 5.10 PortZED (2012). Overgenomen uit *PortZED*, door ZEDfactory, 2012 (<https://www.zedfactory.com/portzed>). Copyright 2012, Zedfactory. 247
- 5.11 Black Lady hoek Delftse Schie/Nieuwe Haven te Delft. Beeld door prof.dr. Mick Eekhout Associates bv. Copyright 2019, prof.dr. Mick Eekhout Associates bv. 248
- 5.12 NOM-flats De Willem en De Zwijger te Best. NBArchitecten, ontwerp 2016, oplevering 2018. Copyright 2018, NBArchitecten. 249
- 5.13 Portieketageflat Kapfenberg (AT), bestaande situatie. Overgenomen uit *Sanierung Johann Boehmstrasse* door Ennstal, 2012. Copyright 2012, Nussmüller Architekten ZT GmbH. 250
- 5.14 Plus-energie upgradering Kapfenberg (AT), westgevel – oostgevel. Overgenomen uit *Sanierung Johann Boehmstrasse* door Ennstal, 2012. Copyright 2012, Nussmüller Architekten ZT GmbH. 251
- 5.15 Lindoduin, Scheveningen. Oude en nieuwe situatie. Overgenomen uit *Vestia en BAM Wonen geven Hoog Lindoduin in Scheveningen een duurzaam tweede leven* door BAM Wonen, 2018 (<https://www.bamwonen.nl/nieuws/2018/10/vestia-en-bam-wonen-geven-hoog-lindoduin-in-scheveningen-een-duurzaam-tweede-leven>). Copyright 2018, BAM. 252
- 5.16 Verduurzaming drielaagse flats te Emmeloord. Overgenomen uit *Flats Emmeloord voorbereid op de toekomst* door Talen, 2018 (<https://talen.nl/flats-emmeoord-voorbereid-op-de-toekomst/>). Copyright 2018, Talen vastgoedonderhoud. 253
- 5.17 Technological breakdown of Panel 2 of the TU Delft pilot project, showing decentralized building support services. Overgenomen uit *A business-oriented roadmap towards the implementation of circular integrated facades* door J. Azcarate-Aguerre, T. Klein en A. den Heijer, 2016. 255
- 6.1 Methode bepaling opwek en gebruik van energie ten behoeve van het gebouwmodel. 262
- 6.2 Geographical extent of the solar radiation data sets in PVGIS. Overgenomen uit *Getting started with PVGIS* door European Commission, 2017a. 265
- 6.3 Vergelijking berekende waarden tussen NEN 5060 en PVGIS. 266
- 6.4 Jaarsom globale straling in Nederland 2014, 2015 en 2016 in kJ/cm². Gecombineerd overgenomen uit *Jaaroverzicht van het weer in Nederland, 2014* (p. 6), *2015* (p. 6) en *2016* (p. 7) door KNMI, 2015a; KNMI, 2016; KNMI, 2017a. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut. 268
- 6.5 Jaarlijkse zonnestraling aan het oppervlak in De Bilt. Overgenomen uit *KNMI'14 – klimaatscenario's voor Nederland: Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie* (p. 18) door KNMI, 2015b. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut. 269
- 6.6 Dwarsdoorsnede over Nederland (Voorschoten - De Bilt - Deelen). Aangepast overgenomen uit *Jaaroverzicht van het weer in Nederland: 2016* (p. 17) door KNMI, 2017a. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut. 269
- 6.7 Dwarsdoorsnede over Nederland: gemeten globale straling per jaar in de periode 1996-2016, meetstations De Bilt, Voorschoten en Deelen met lineaire trendlijnen. Aangepast volgens data uit *Klimatologie: Daggegevens van het weer in Nederland* door KNMI, 2017b. 270
- 6.8 Berekende en gemeten globale zonnestraling per jaar [kWh/m²] op horizontaal vlak in De Bilt. 271

- 6.9 Schematische presentatie van de vraag/aanbod balans van een Net Zero Energy Building. Overgenomen uit *LCE analysis of buildings: Taking the step towards Net Zero Energy Buildings* (p. 382) door B. Berggren, M. Hall en M. Wall, 2013. [274](#)
- 6.10 Relatie tussen onderdelen van gebouwgebonden elektrische energie per jaar [kWh/a] bij verschillende ambities voor thermische warmtevraag voor ruimteverwarming per jaar [kWh_th/m².a]. [278](#)
- 6.11 Relatie tussen de hoeveelheid gebouwgebonden en gebruikersgebonden elektrische energie. [278](#)
- 6.12 Gemiddeld jaarkilometrage particuliere personenauto's per provincie. Opgesteld volgens data uit *Forse groei autokilometers* door CBS, 2017a (<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/41/forse-groei-autokilometers>). [279](#)
- 6.13 *Overzicht energieverbruik elektrische auto's volgens de EVDB-range per 100 km [kWh]*. Opgesteld volgens data uit *Elektrische voertuigen database* door EVDB, 2018 (<https://ev-database.nl/>). [281](#)
- 6.14 *Overzicht energieverbruik elektrische auto's volgens de EVDB-range per 100 km [kWh] in relatie tot prijs*. Opgesteld volgens data uit *Elektrische voertuigen database* door EVDB, 2018 (<https://ev-database.nl/>). [282](#)
- 6.15 *Overzicht energieverbruik goedkoopste elektrische auto's volgens de EVDB-range per 100 km [kWh] in relatie tot prijs*. Opgesteld volgens data uit *Elektrische voertuigen database* door EVDB, 2018 (<https://ev-database.nl/>). [282](#)
- 6.16 Aantal voertuigen per gezinsgrootte in 2015. Opgesteld volgens data uit *Huishoudens in bezit van auto of motor; huishoudkenmerken* door CBS, 2017b (<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81845NED/table?ts=1528112933457>) [284](#)
- 6.17 Aantal voertuigen per huishouden per stedelijkheid in 2015. Opgesteld volgens data uit *Huishoudens in bezit van auto of motor; huishoudkenmerken* door CBS, 2017b (<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81845NED/table?ts=1528112933457>) [285](#)
- 6.18 Woningbouwplan 'Noord II' te Pijnacker. Overgenomen uit *Woningbouwplan 'Noord II' in de gemeente Pijnacker: Nakalkulatie 442 galerijwoningen in Franse gietbouwmethode* (p. 17) door Stichting Ratiobouw, 1968a. [286](#)
- 6.19 Elektrisch energieverbruik van 1,2 elektrische auto's ten opzichte van totaal elektrisch energieverbruik [kWh] van het bepaalde huishouden in de bepaalde galerijflat bestaande uit gebouwgebonden en gebruikersgebonden energieverbruik [kWh/a] bij een warmtevraag van 25 kWh_th/m². [290](#)
- 6.20 *Gebouwgebonden elektrische energie bij 4 scenario's voor netto warmtevraag voor ruimteverwarming*. [291](#)
- 6.21 Decadenormalen globale straling [kJ/cm²] (KNMI, z.d.-a). [293](#)
- 6.22 Globale straling [W/m²] op een plat vlak in De Bilt per uur van het jaar volgens *NEN 5060: Hygrothermische eigenschappen van gebouwen - referentieklimategevens* (bijlage E) door Normcommissie 351 074 "Klimaatbeheersing in gebouwen", 2008. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut. [293](#)
- 6.23 Globale straling [J/cm²] op een plat vlak in De Bilt per dag in 2017. Volgens data uit *Klimatologie: Daggegevens van het weer in Nederland* door KNMI, 2018. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologische Instituut. [294](#)
- 6.24 Gebruikersgebonden energiegebruik naar categorie. [296](#)
- 6.25 Gebruikersgebonden constant en variabel energiegebruik. [297](#)
- 6.26 Gebouwgebonden elektrische energie naar constant en variabel energiegebruik (in tijd) over 1 jaar. [297](#)

- 6.27 Gebouwbonden en gebruikersgebonden elektrisch energiegebruik, constant en variabel in tijd over 1 jaar. 298
- 6.28 Parkeervak met autovak en uitstapvak. Overgenomen uit *NEN 2443: Parkeren en stallen van personenauto's op terreinen en in garages* (p. 26) door Normcommissie 351 041 "Parkeergarages", 2013. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut. 299
- 6.29 Afmetingen parkeereenheid, afhankelijk van de parkeerhoek. Overgenomen uit *NEN 2443: Parkeren en stallen van personenauto's op terreinen en in garages* (p. 64) door Normcommissie 351 041 "Parkeergarages", 2013. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut. 300
- 6.30 Nuna9 in World Solar Challenge 2017, gedeeltelijke bekleding auto-oppervlakken met maximaal toegestaan PV-materiaal. Gedeeltelijk overgenomen uit *Nuna9 start in Australië* door D. van Gorp, foto: Jorrit Lousberg, 2017 (<https://www.delta.tudelft.nl/article/nuna9-start-australie>). Copyright 2017, Delta. 303
- 6.31 Geïntegreerd zonnedak. Gedeeltelijk overgenomen uit *When design meets functionality: 30 years of expertise in spherically curved solar modules* (p. 2) door a2-solar, 2016. Copyright 2016, a2-solar Advanced and Automotive Solar Systems GmbH. 304
- 6.32 Geïntegreerde zonnecellen in lichtgewicht carrosserie van de Sion. Overgenomen uit *Sion - endless mobility* door Sono, 2018. 304
- 6.33 Relatie tussen actieradius [km] en accu-capaciteit [kWh]. 305
- 6.34 Opzet gebouwmodel. 311
- 6.35 Oriëntatie A t/m E, aantal traveeën en aantal woonlagen als onderzoeksvariabelen in het gebouwmodel. 312
- 6.36 Instraling op een plat vlak (De Bilt). 314
- 6.37 Relatie tussen verwarmd gebruiksoppervlak en energie voor ruimteverwarming onder invloed van de energieambitie. 314
- 6.38 Relatie tussen aantal bewoners en de hoeveelheid benodigde energie voor de opwekking van warmtapwater. 315
- 6.39 Gebouwbonden en gebruikersgebonden energie voor een niet-geüpgradede galerijwoning met een woonoppervlak van 82 m² en gemiddeld 2,8 bewoners. 318
- 6.40 Relatie tussen gebouwbonden en gebruikersgebonden elektrische energie met de energieambitie voor de warmtevraag voor ruimteverwarming. 321
- 6.41 Relatie tussen de hoeveelheid elektrische energie voor ruimteverwarming en warmtapwater met de energieambitie voor de warmtevraag voor ruimteverwarming. 321
- 6.42 Overzicht bestaande en nieuwe energievragen voor een galerijwoning met een woonoppervlak van 82 m² en gemiddeld 2,8 bewoners. 323
- 6.43 Oriëntaties ten behoeve van gebouwmodel. 324
- 6.44 Mogelijke posities voor thermische upgrademogelijkheden in, aan en rondom een doorsnede van gestapelde appartementen. 322
- 6.45 Overzicht mogelijke varianten upgradering bestaand bouwblok, opbouw. 334
- 6.46 Overzicht mogelijke varianten upgradering aanbouw, aanbouw + opbouw. 335
- 6.47 Mate van geslotenheid van vlakke nieuwe gevels, principes. 336
- 6.48 Energieleverende verticale gevel met uitbreiding buitenruimte appartement. 338
- 6.49 Energieleverende verticale gevel in gebouwmodel in grove en fijne vertanding. 338
- 6.50 Energieleverende verticale gevel in gebouwmodel. Boven: open karakter, onder: gesloten karakter. Afhankelijk van kijkrichting. 339
- 6.51 Doorsnede flatgebouw met 7 varianten van energieleverende overkappingen. 341

- 6.52 Relatie tussen aantal woonlagen bij een gelijkblijvend toegekend dakoppervlak per appartement. 342
- 6.53 Relatie tussen aantal woonlagen en het benodigd dakoppervlak bij een gelijkblijvend toegekend dakoppervlak per appartement. 342
- 6.54 Doorsnede flatgebouw met 7 posities van energieleverende overkappingen (D1-D7) in combinatie met 3 posities energieleverende gevels (G1-G3). 343
- 6.55 Positie van hellende energieleverende vlakken op een horizontaal vlak ten opzichte van de positie van de zon en ten opzichte van elkaar. 344
- 6.56 Zonshoogte op drie kenmerkende data voor 52° N.B. Overgenomen uit *Zonnestralsingsrichting* door E. van het Schip, 2015 (<http://wiki.bk.tudelft.nl/bk-wiki/Zonnestralsingsrichting>). 345
- 6.57 *Minimale afstand tussen zonnepanelen met een lengte van 1 m bij een elevatie van 37° op twee kenmerkende data voor 52° N.B.* 346
- 6.58 Energieopwekkende vlakken in een horizontaal vlak. 346
- 6.59 Energieopwekkende vlakken in een gevouwen vlak. 347
- 6.60 Stukje booglengte. Overgenomen uit *Toepassing integraalrekening: Booglengte* door Wisnet-HBO, 2009 (<http://www.wisnet.nl/courses/WisnetMetha/HBOWISKUNDE/Integraalrekening/Booglengte/booglengte.pdf>). 348
- 6.61 Bepaling booglengte bij een amplitude van 1 m en een golflengte van 10 m (let op: amplitude en golflengte zijn weergegeven in verschillende schalen). 349
- 6.62 Golflengten A, B en C met wisselende amplitudes ten opzichte van beukmaat gebouw. 350
- 6.63 Golflengten B met wisselende amplitudes ten opzichte van beukmaat gebouw. 351
- 6.64 Schuine PV-daken op een bestaand volume als extra energieopwekker. 352
- 6.65 De relatie tussen een nieuw systeem en een bestaand systeem bij upgradering van een bestaand gebouw als systeem. 357
- 6.66 Oriëntaties bouwblokken A t/m E, bezonning op 14 juli om 10.00 uur en 14.00 uur. 372
- 6.67 Oriëntaties bouwblokken met (gedraaide) zongerichte energieleverende gevelvlakken. 373
- 6.68 Conceptueel model voor upgradering van een bepaalde flat naar Flat 3.0. 374
- 6.69 *Varianten van dakvormen voor het oogsten van zonne-energie.* 378
- 6.70 Varianten van gevelvormen woongevel voor het oogsten van zonne-energie. 379
- 6.71 Varianten van gevelvormen woongevel voor het oogsten van zonne-energie. 380
- 6.72 Varianten van toevoegen van volumes voor het oogsten van zonne-energie. 381
- 6.73 Bestaande situatie portiekflat. Overgenomen uit *Projectplan Urban Energy tender 2017: Geïntegreerde hoogbouw opwek en distributie envelop (GHOEDE)* door F.G. Schultheiss, 2017. Afbeelding: ir. H.H. Koolen. 384
- 6.74 Gewijzigde situatie portiekflat. Overgenomen uit *Projectplan Urban Energy tender 2017: Geïntegreerde hoogbouw opwek en distributie envelop (GHOEDE)* door F.G. Schultheiss, 2017. Afbeelding en ontwerp: ir. H.H. Koolen. 384
- 6.75 Bestaande situatie begane grond/verdieping portiekflat. Overgenomen uit *Projectplan Urban Energy tender 2017: Geïntegreerde hoogbouw opwek en distributie envelop (GHOEDE)* door F.G. Schultheiss, 2017. Afbeelding en ontwerp: ir. H.H. Koolen. 385

- 6.76 Gewijzigde situatie begane grond/verdieping portiekflat. Overgenomen uit *Projectplan Urban Energy tender 2017: Geïntegreerde hoogbouw opwek en distributie envelop (GHOEDE)* door F.G. Schultheiss. Afbeelding en ontwerp: ir. H.H. Koolen. [385](#)

- 6.77 Galerijflat – bestaande situatie – ontsluitingsgevel. [387](#)

- 6.78 Galerijflat – bestaande situatie – woongevel gietbouw. [387](#)

- 6.79 Galerijflat – bestaande situatie – woongevel zware montagebouw. [387](#)

- 6.80 Galerijflat – gewijzigde situatie – woongevel zware montagebouw. [388](#)

- 6.81 Galerijflat – gewijzigde situatie – ontsluitingsgevel. [389](#)

- 6.82 Galerijflat – gewijzigde situatie – ontsluitingsgevel: nieuwe galerijstructuur met overgangszone waarin installatietechniek (gele energiemodules) en manoeuvruimte. [390](#)

- 6.83 Galerijflat – gewijzigde situatie – ontsluitingsgevel: nieuwe galerijstructuur met overgangszone waarin installatietechniek (gele energiemodules) en manoeuvruimte. [390](#)

- 6.84 Tiny active flat house module type 1. [391](#)

- 6.85 Upgrading flat met gestapelde en geschakelde tiny active flat house modules type 1. [392](#)

- 6.86 Tiny active flat house module type 2. [392](#)

- 6.87 Upgrading flat met gestapelde tiny active flat house modules type 1 in kopgevelzones en geschakelde modules type 2 in dakzone. [393](#)

- 6.88 Tiny active flat house module type 3. [393](#)

- 6.89 Upgrading flat met gestapelde tiny active flat house modules type 1 in kopgevelzones en geschakelde modules type 3 in dakzone. [394](#)

Bijlagen

Lagenbenadering

Overzicht lagenbenadering

Tabel Bijl.1.1 toont de verschillende gevonden categorieën met bijbehorende variabelen onder de term 'lagenbenadering'.

TABEL BIJL.1.1 Variabelen 'lagenbenadering'.

Visie/ concept	Categorie	Variabele	Waarde	Bron
Lagen	Lagen benadering, stedenbouw	Stedelijk weefsel	Schaalgrootte	Habraken, 1961
	Lagen benadering, technisch	Drager	Tijd	Habraken, 1961
	Lagen benadering, sociaal	Inbouw	Tijd, mogelijkheid voor bewoner	Habraken, 1961
	Aanpasbaarheid	Polyvalentie (vs. monovalent)	Mogelijkheid een woning aan veranderingen aan te passen door het wijzigen van de aard der contacten tussen de ruimten door de bewoners	Priemus, 1969
	Aanpasbaarheid	Neutraliteit	Woning op verschillende manieren te gebruiken	Priemus, 1969
	Aanpasbaarheid	Multifunctionaliteit	Aanpassing door toevoeging, verwijdering en verwisseling woonfuncties zonder verplaatsing, verwijdering, toevoeging van bouwkundige elementen of ruimtescheidende inrichtingsstukken	Priemus, 1969
	Aanpasbaarheid	Aanpassing	Extra ruimte	Priemus, 1969
	Aanpasbaarheid	Aanpassing	Extra voorzieningen	Priemus, 1969
	Aanpasbaarheid	Aanpassing	Flexibele component	Priemus, 1969
	Aanpasbaarheid	Aanpasbaarheid	Aanpassing door verhuizing, verbouwing en gebruik	Priemus, 1969
	Aanpasbaarheid	Flexibiliteit	Enkelvoudige of meervoudig	Priemus, 1969
Aanpasbaarheid	Flexibiliteit	Geprogrammeerd of niet-geprogrammeerd	Priemus, 1969	

>>>

TABEL BIJL.1.1 Variabelen 'lagenbenadering'.

Visie/ concept	Categorie	Variabele	Waarde	Bron
Lagen	Veranderbaarheid	Polyvalente ruimte	Verdragen van verscheidenheid en verandering met behoud van identiteit van een ruimte	Hertzberger, 1991
	Veranderbaarheid	Flexibiliteit van een ruimte	Leidt tot neutraliteit en gebrek aan identiteit.	Hertzberger, 1991
	Lagenbenadering, technisch	6 technische lagen: 'site', 'structure', 'skin', 'services', 'space plan', 'stuff'	Tijd, snelheid van verandering dat verschilt per laag, van traag tot snel.	Brand, 1994
	Flexibiliteit	Mate van flexibiliteit	Type verbinding; type laag. Hoe langzamer een laag, des te minder flexibel	Durmisevic, 2001
	Veranderingen	Kader waarbinnen veranderingen plaatsvinden	Het permanente	Leupen, 2002
	Lagenbenadering, technisch, functioneel	Lagen: hoofd-draagconstructie, huid, encenering, dienende elementen, ontsluiting		Leupen, 2002
	Veranderbaarheid	Veranderbaarheid	Plaatsvinden door verbouwing, uitbreidbaarheid en polyvalentie	Leupen, 2002

Embodied Energy

Embodied energie

Volgens Koezjakov et al. is de gemiddelde embodied energie door het transport (weighted average transport embodied energy intensity, WA- TEEI) van de fabriek naar de bouwplaats in Nederland 0,08 MJ/kg (Koezjakov et al., 2018, p. 236). Uitgangspunten voor de Transport Embodied Energy Intensity (TEEI) is het gemiddelde brandstofgebruik van een vrachtwagen (0,32 l/km), het gemiddelde transport in Nederland (96 km), de energie-inhoud van diesel als brandstof (36 MJ/l) en het maximumtransportgewicht (40 ton) wat volgens Koezjakov et al. leidt tot een TEEI voor vrachtwagentransport van 0,028 MJ/kg.

Voor transport per schip is de brandstof ook diesel. Het gemiddelde brandstofgebruik van een schip is 0,065 l/ton.km, het gemiddelde transport in Nederland 123 km, het maximumtransportgewicht 1200 ton (Koezjakov et al., 2018, p. 236). Dit leidt tot een TEEI van transport per schip van 0,288 MJ/kg. Het aandeel van transport per vrachtwagen in Nederland is 72 % en per schip 28 % (Koezjakov et al., 2018, p. 236). Het gewogen aandeel van embodied energie door transport komt hiermee op 0,1 MJ/kg.

In de tabel Bijl.2.1 wordt de Embodied Energy Intensity (EEI) bepaald uit de som van de Initial Embodied Energy Intensity (IEEI, van Cradle-to-Gate) en de gemiddelde embodied energie door het transport (WA- TEEI, van Gate-to-Site).

TABEL BIJL.2.1 Embodied energie van de meest voorkomende Nederlandse bouwmaterialen. Overgenomen uit *The relationship between operational energy demand and embodied energy in Dutch residential buildings* (p. 236) door A. Koezjakov, D. Urge-Vorsatz, W. Crijns-Graus en M. van den Broek, 2018. Copyright 2018, Energy & Buildings.

Material name	Label	Minimum IEEI [MJ/kg]	Standard IEEI [MJ/kg]	Maximum IEEI [MJ/kg]	EEI [MJ/kg]	Density [kg/m ³]
Aluminium	Al	58.0	108.6	184.0	108.7	2700
Polyurethane foam	PUR	71.1	101.5	132.0	101.6	45
Expanded polystyrene	EPS	62.0	88.6	115.2	88.7	27.5
Extruded polystyrene	XPS	61.2	87.4	113.6	87.5	37.5
Polyvinylchloride	PVC	47.3	67.5	87.8	67.6	1380
Zinc	Zi	8.5	53.1	105.8	53.2	70 0 0
Bitumen	Bi	2.4	51.0	51.0	51.1	2400
Mineral wool	MW	10.0	16.6	23.2	16.7	140
Wood fibre	WF	15.0	16.0	35.0	16.1	750
Plywood	Pl	10.0	15.0	20.0	15.1	540
Primary glass	PG	10.5	15.0	19.5	15.1	2500
Ceramics	Ce	2.5	12.0	19.5	12.1	20 0 0
Hardwood	HW	0.72	10.4	16.0	10.5	750
Softwood	SW	0.72	7.4	13.0	7.5	560
Argon	Ar	6.80	6.8	6.80	6.9	1.66
Aerated concrete	AC	1.97	3.5	4.76	3.6	750
Gypsum plaster	Gy	0.90	3.48	8.64	3.6	1120
Brick, clay	Br	1.00	3.0	5.00	3.1	1700
Reinforced concrete	RC	1.76	2.07	2.20	2.15	2300
Precast concrete	PC	1.20	1.27	3.80	1.35	2200
Sand cement	SC	0.54	0.99	1.28	1.07	2200
Gravel	Gr	0.01	0.01	0.50	0.16	2240
Sand	Sa	0.01	0.01	0.15	0.014	2240

Nederlandse energieambities

Energieakkoord voor duurzame groei

In 2013 is het Energieakkoord voor duurzame groei gesloten met 47 partijen. Kern van het akkoord zijn breed gedragen afspraken over energiebesparing, schone technologie en klimaatbeleid. De gemaakte afspraken en maatregelen zijn verdeeld over twaalf domeinen, waaronder het domein Energiebesparing in de gebouwde omgeving. Het streven is om in internationaal verband in 2050 een volledig duurzame energievoorziening te realiseren wat moet leiden tot minstens 80 procent minder CO₂ uitstoot. (SER, 2013)

De SER-Commissie Borging Energieakkoord houdt toezicht op de uitvoering van de afspraken in dit akkoord. Deze commissie wordt gevormd door vertegenwoordigers van alle partijen die het Energieakkoord voor duurzame groei hebben ondertekend. Naast de rol van lokale overheden zijn afspraken op het gebied van energiebesparing woonconsument, koopwoningen, huurwoningen en de vastgoedsector gemaakt. De rol van lokale overheden is als facilitator van de Vereniging Nederlandse Gemeenten (VNG) op lokaal en regionaal niveau door middel van een ondersteuningsstructuur inclusief regionale energieloketten. Voor energiebesparing door de woonconsument worden voorlichtingsprogramma's ontwikkeld over energiebesparing, een grootschalige uitrol van slimme meters, een indicatief label van woningen voor alle woningeigenaren en (ver)huurders, een borging berekeningssystematiek energieprestatiecertificaat, gebouw- en gebiedsgebonden specificaties in energieprestatiecertificaat, nationale aanpak vervanging oude apparatuur, aanscherping energie-efficiëntienormen in het kader van Ecodesign-maatregelen, leningen energiebesparing verrekenen met energierekening en regionale energieloketten als onderdeel van de VNG ondersteuningsstructuur. Voor koopwoningen zijn de volgende afspraken gemaakt: verruiming leencapaciteit voor energiebesparing, instellen van een revolverend fonds energiebesparing en verkenning aansluiting met Europese en regionale fondsen, integrale aanpak ontzorging particulieren incl. energieprestatie-garantie, werkgroep ontwikkelt integrale aanpak voor VVE's en implementeert oplossingen

uiterlijk medio 2014 en onderzoek voor- en nadelen van aan de woning gekoppelde lening voor energiebesparing. Voor huurwoningen gelden de volgende afspraken: uitvoering Convenant Energiebesparing Huursector, woonlastenbenadering bij beoordeling investeringsplannen, onderzoek mogelijkheid woonlastengarantie particuliere verhuurders, verspreiding aanpak Stroomversnelling voor 'NotaNul'-renovaties, onderzoek mogelijkheden voor realisatie van energienotuloze woningen in bestaande voorraad en een subsidieregeling van € 400 miljoen voor verhuurders in de sociale huursector. Voor de vastgoedsector zijn ontwikkeling repeteerbare aanbestedingsaanpak verduurzaming energievoorziening vastgoed en versnelde renovatie openbare verlichting afgesproken. (SER, 2016)

Energieagenda

Het kabinet publiceerde in 2016 de Energieagenda (Ministerie van Economische Zaken, 2016). Het doel is om in 2050 80-95 procent minder CO₂ uit te stoten. Hierin zijn vier functionele opgaven richting 2050 uitgewerkt. Deze opgaven zijn Kracht en Licht, Hoge temperatuur warmte, Lage temperatuur warmte en Vervoer.

De opgave Kracht en Licht betreft de elektriciteitssector waarin drie elementen centraal staan: het CO₂-arm maken van de productie van elektriciteit, de verbetering van de werking van de (Noordwest) Europese elektriciteitsmarkt en het aanpassen van het elektriciteitssysteem vanwege een toenemend decentraal aanbod en de noodzakelijke flexibilisering van het systeem.

Het elektriciteitssysteem kan op een aantal manieren met CO₂-vrije regelbare productie worden gevoed: met elektriciteit uit CO₂-vrije waterstof of uit andere hernieuwbare bronnen zoals biomassa en groen gas, uit kernenergie, of uit fossiele bronnen waarbij CO₂ wordt afgevangen . . . kernenergie is een van de opties voor de toekomstige energiemix. (Wiebes, 2019, p. 16).

De opgave Hoge temperatuur warmte betreft de energie-intensieve industrie. Hier is de opgave om CO₂-uitstoot te voorkomen door een ambitieuze inzet op energiebesparing en door het ontwikkelen en uitrollen van alternatieve warmte-opties. Daarnaast het afvangen en opslaan van CO₂ (carbon capture and storage, CCS) in gevallen waarbij er geen CO₂-arme alternatieven beschikbaar zijn.

De opgave Lage temperatuurwarmte betreft de gebouwde omgeving. De inzet is het verminderen van de warmtevraag door energiebesparing. Dit wordt bereikt door het verplichten van een minimum energielabel, het stimuleren van besparing door middel van voorlichting, subsidies, laagrentende leningen en ondersteuning van innovatieve

aanpakken. Daarnaast wordt het aardgasgebruik sterk verminderd door het inzetten op CO₂-arme elektriciteit en warmte. Er wordt geen nieuwe gasinfrastructuur meer aangelegd in nieuwe wijken door aanpassing van de Gaswet. De aansluitplicht voor gas wordt vervangen door een breder aansluitrecht op een energie-infrastructuur voor verwarming waarbij gemeenten verantwoordelijkheden en bevoegdheden krijgen om op lokaal niveau te besluiten over de lokale energievoorziening. Grootschalige warmtenetten worden op vergelijkbare wijze gereguleerd als elektriciteits- en gasnetten.

De opgave Vervoer betreft de sector mobiliteit en transport. Hier is kosteneffectief besparen van CO₂ het uitgangspunt met een inzet op zero-emissie, elektrificatie en hernieuwbare brandstoffen. (Ministerie van Economische Zaken, 2016)

Nationaal klimaatplan

Eind 2017 biedt Nederland de Europese Commissie het conceptvoorstel aan van een nationaal energie- en klimaatplan (Ministerie van Economische Zaken, 2016).

Het kabinet Rutte III heeft in het regeerakkoord in 2017 een aanzet voor een nationaal klimaatplan beschreven. Over bestaande woningen beschrijft het regeerakkoord dat deze worden verduurzaamd door deze gasvrij te maken als “eerste stap op weg naar een verduurzaming van 200.000 huizen per jaar, een tempo dat nodig is om in de 30 jaar tot 2050 de hele voorraad van 6 miljoen woningen te verduurzamen” (VVD, CDA, D66 en ChristenUnie, 2017, p. 32).

Het kabinet Rutte III wil in 2030 een reductie van 49 procent bereikt hebben van broeikasgassen ten opzichte van 1990, vooruitlopend op een aanscherping in 2019 van bepaalde 40 procent in het klimaatverdrag van Parijs uit 2015 (VVD, CDA, D66 en ChristenUnie, 2017, p. 37).

Broeikasgassen bestaan uit CO₂ (ca. 72 %) en overige niet-CO₂ broeikasgassen (ca. 28 %) zoals methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en de niet-natuurlijke gefluoreerde gassen (F-gassen) zoals fluorkoolwaterstoffen (HFK's), perfluorkoolstoffen (PFK's) en zwavelhexafluoride (SF₆). Het aandeel methaan is ca. 19 % van de broeikasgassen en wordt voornamelijk uitgestoten bij de productie van fossiele brandstoffen (25 %), door vee (23 %) en in de rijstproductie (10 %). (Planbureau voor de Leefomgeving, 2017)

In juli 2019 presenteert het ministerie van Economische Zaken en Klimaat het voorstel Klimaatplan waarmee het politieke reductiedoel van 49 % CO₂-reductie

in 2030 wordt gerealiseerd (Wiebes, 2019). In de Klimaatwet is een reductiedoel van 95 % broeikasgasemissies in 2050 ten opzichte van 1990 verankerd met een tussendoel van 49 % broeikasgasemissies in 2030. De ambitie van het kabinet (2019) ligt bij minimaal 55 % reductie van broeikasgasemissies in 2030. Naast CO₂-reductie zijn ook het zo snel mogelijk stoppen met de aardgaswinning in Groningen, een minder hoge energierekening en een comfortabeler woning redenen voor de transitieopgave.

Deze transitieopgave, met als grootste uitdaging een sociale opgave, is volgens het ministerie betaalbaar, eerlijk en haalbaar. Betaalbaar doordat de nationale meerkosten minder dan 0,5 % van het bbp in 2030 bedragen. Eerlijk door een rechtvaardige verdeling van de lasten voor het draagvlak van de transitie. En haalbaar door 31 jaar tijd voor het realiseren van de transitie naar 2050. Meer cascadering, recycling en substitutie van materialen en minder afvalverbranding leiden volgens het ministerie tot CO₂-reductie op korte en langere termijn. Het uitgangspunt in de gebouwde omgeving bij het treffen van verduurzamingsmaatregelen is woonlastenneutraliteit door kostenreductie (20-40 %), door een betaalbare energierekening als gevolg van verschuiving in de energiebelasting, door subsidies en door een aantrekkelijke financiering. Hiervoor is integraliteit en samenhang tussen de sectoren nodig met “intensieve sector-overstijgende samenwerking op onder andere systeemintegratie, circulaire stromen, CO₂-levering voor de gewasgroei in de glastuinbouw, (rest)warmte en werkgelegenheid” (Wiebes, 2019, p. 19).

Klimaatwet

De Klimaatwet uit 2019 is “een kader voor het ontwikkelen van beleid gericht op onomkeerbaar en stapsgewijs terugdringen van de Nederlandse emissies van broeikasgassen teneinde wereldwijde opwarming van de aarde en de verandering van het klimaat te beperken” en is geldig vanaf 1 januari 2020. Volgens de Klimaatwet wordt iedere vijf jaar een Klimaatplan vastgesteld voor klimaatbeleid voor de aankomende 10 jaar. (Klimaatwet, 2019)

Integraal Nationaal Energie- en Klimaatplan 2021-2030

Het Integraal Nationaal Energie- en Klimaatplan (INEK) 2021-2030 stelt onder andere voor de gebouwde woonomgeving vast dat Nederland van het aardgas af gaat: 1,5 miljoen woningen in 2030 en alle ruim 7 miljoen woningen in 2050. De methode hiervoor is het ondersteuning en ontzorging van individuele

woningeigenaren met daarbij een wijkgerichte aanpak. In 2021 hebben gemeenten voor de wijkgerichte aanpak een richtinggevend warmteplan met eisen aan de duurzaamheid van de geleverde warmte aan de woningen. Daarnaast wordt ingezet op een volledig circulaire economie in 2050. In 2030 wordt als tussentijds doel een reductie van 50 % van het primair grondstoffengebruik in 2030 gesteld. Via Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's worden energierenovaties in de gebouwde omgeving versneld door enthousiasme van gebouweigenaren en gebruikers voor energierenovatie, door robotisering, digitalisering en integratie van installatietechniek in bouwelementen en door energieconcepten waaronder optimalisatie in de keten. (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2019)

Energielabel en Energie-index

Vanuit het EPDB is een Energieprestatiecertificaat (energielabel) verplicht gesteld bij verkoop of verhuur van een woning. Vanaf 1 januari 2015 is het 'vereenvoudigd energielabel' verplicht bij de verkoop of verhuur en oplevering van woningen. Dit energielabel laat de energieprestatie van een woning zien en welke energiebesparende maatregelen mogelijk zijn. De labelklasse loopt van A (weinig besparingsmogelijkheden) naar G (nog veel besparingsmogelijkheden) en is maximaal 10 jaar geldig. Het energielabel wordt vernieuwd en gebaseerd op de nieuwe bepalingmethode NTA8800.

In 2021 hebben volgens de Woonagenda van Aedes alle bestaande corporatiewoningen gemiddeld label B als opmaat naar energieneutraal in 2050 volgens de Europese Unie (Aedes, 2017b) Label B heeft na de invoering van de nieuwe meetmethode (Nader Voorschrift) in 2015 een Energie-Index (EI) waarde tussen 1,2 en 1,4 (Aedes, 2017a). De EI is een maat die de energiezuinigheid van bestaande woningen uitdrukt in een getal en berekend volgens NEN 7120 aangevuld met het Nader Voorschrift voor bestaande bouw. (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.d.-a).

Voor bestaande woningbouw wordt ten behoeve van het energielabel de energie-index (EI) bepaald. De EI wordt op basis van ca. 150 kenmerken van een woning opgesteld door een gecertificeerd energieadviseur. Het geeft details over de energiezuinigheid van een woning en hoe een woning nog energiezuiniger gemaakt kan worden. De Energie-Index is nauwkeuriger dan een Energielabel en is gebaseerd op de werkelijke energetische kwaliteit van de woning. De Energie-Index bepaalt mede het aantal huurpunten van de woning voor het Woningwaarderingstelsel (WWS). Het aantal huurpunten bepaalt vervolgens de maximale huur die de verhuurder mag vragen bij gereguleerde huurwoningen.

De gemiddelde energie-index voor Nederlandse woningbouw met bouwjaren van 1950-2005 is door Agentschap NL (2011b) bepaald (zie Figuur Bijl.3.1). Hierin zijn duidelijk de nieuwe energie-eisen te zien als gevolg van de oliecrisis in 1973 waardoor de eisen voor de warmteweerstand van buitenwanden zijn verhoogd.

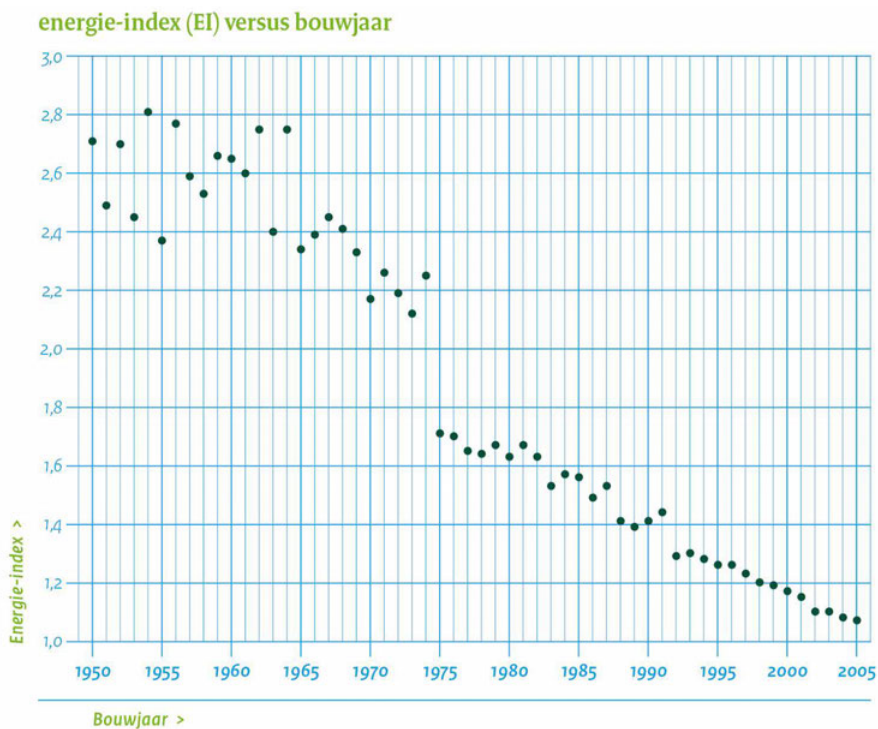


FIG. BIJL.3.1 Energie-index woningbouw per jaar. Overgenomen uit *Voorbeeldwoningen 2011 bestaande bouw* (p. 9) door Agentschap NL, 2011b, Sittard: Agentschap NL.

De gemiddelde energie-index van woningen is sinds 1975 daardoor gedaald. De eisen aan de minimale warmteweerstand van constructieonderdelen worden steeds hoger (zie Figuur Bijl.3.2). De minimale warmteweerstand van een nieuwbouw dak is in 2015 ten opzichte van 1965 bijna 7 keer zo hoog, die van de buitenwand 10 keer zo hoog en de warmteweerstand van de begane grondvloer 20 keer zo hoog.

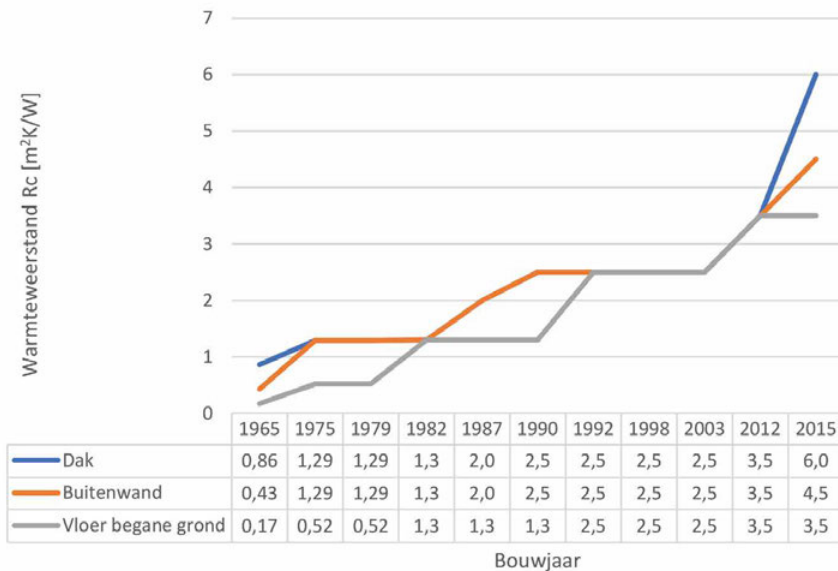


FIG. BIJL.3.2 Minimumisolatie-eisen voor de sociale woningbouw volgens de Voorschriften en Wenken 1965, de Modelverordening 1976-1990 en het Bouwbesluit 1992-2015 uitgedrukt in de warmteweerstand van constructiedelen (Rc) in m²K/W. Samengesteld uit gegevens van M. Liebrechts (2011b) en uitgebreid.

BENG

Vanaf 1 januari 2021 moeten alle nieuwe gebouwen in Nederland bijna energieneutrale gebouwen (BENG) zijn. Voor nieuwe overheidsgebouwen geldt dit vanaf 1 januari 2019. Met deze methode wordt per 1 januari 2021 ook het nieuwe energielabel berekend dat gebaseerd is op primair fossiel energiegebruik in kWh per m² per jaar.

In Nederland wordt de energieprestatie voor bijna energieneutrale gebouwen vastgelegd aan de hand van drie BENG-eisen per gebouwfunctie: de maximale energiebehoefte, het maximaal primair fossiel energiegebruik en het minimale aandeel in hernieuwbare energie (zie Figuur Bijl.3.3).

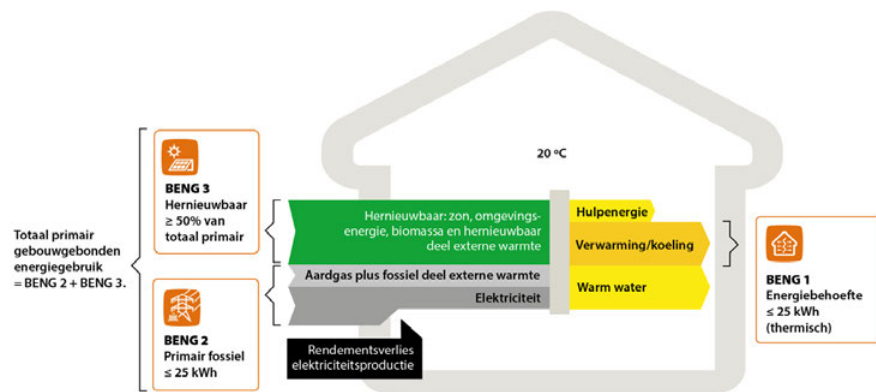


FIG. BIJL.3.3 Schema van de BENG-eisen (2015). Overgenomen uit *Woningbouw volgens BENG: Do's en don'ts voor bijna energieneutraal bouwen* door C. Bouwens, 2017.

De waarden van de eisen worden in 2018 definitief vastgesteld voor de periode 2019-2021. De eerste eis (BENG 1) is de maximale energiebehoefte. De energiebehoefte is een optelling van de energiebehoefte voor verwarming en de energiebehoefte voor koeling en kan worden ingevuld met hernieuwbare of fossiele energie. In tegenstelling tot utiliteitsgebouwen telt de energiebehoefte voor verlichting bij woningbouw niet mee. De maximale energiebehoefte voor de gebouwfunctie woningen en woongebouwen bedraagt 25 kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar. In 2018 wordt de concepteis voor BENG 1 uitgebreid met het energiegebruik voor ventilatie en berekend volgens NTA 8800 in plaats van NEN 7120 waarmee de BENG 1-eis op minimaal 70 kWh/m².a komt (Bouwmeester, 2019). De tweede eis (BENG2) is het maximale primair fossiel energiegebruik. Het primair fossiel energiegebruik is een optelling van het primair energiegebruik voor verwarming, koeling, warmtapwaterbereiding en ventilatoren. Primaire energie is energie die niet is onderworpen aan enig conversie- of transformatieproces (Nederlands Normalisatie-instituut, 2012, p. 29). Bij primair fossiel energiegebruik worden de systeemverliezen (zoals leidingverliezen bij verwarming), hulpenergie (zoals pompen) en het rendement van de opwekkers (zoals de cv-ketel) meegenomen. Bij energiebehoefte is dat niet het geval (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2017). Primair energiegebruik voor verlichting en voor bevochtiging (indien aanwezig) wordt bij woningbouw niet meegeteld. Opgewekte energie door hernieuwbare energiebronnen (zoals PV-panelen) wordt afgetrokken van het primair fossiel energiegebruik. Het maximale primair fossiel energiegebruik voor de gebouwfunctie woningen en woongebouwen bedraagt 25 kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar. In 2018 wordt voor de concepteis voor BENG 2 een onderscheid gemaakt tussen woongebouwen en grondgebonden

woningen. Daarnaast wordt de primaire energiefactor voor elektriciteit verlaagd van 2,56 (39 %) naar 1,45 (69 %) en berekend volgens NTA 8800 in plaats van NEN 7120 waarmee de BENG 2-eis voor woongebouwen minimaal 50 kWh/m².a en voor grondgebonden woningen minimaal 30 kWh/m².a bedraagt. De laatste eis (BENG 3) is een minimaal aandeel in hernieuwbare energie dat wordt bepaald door de hoeveelheid hernieuwbare energie te delen door het totaal van hernieuwbare energie en primair fossiel energiegebruik. Het minimale aandeel in hernieuwbare energie voor de gebouwfunctie woningen en woongebouwen bedraagt 50 % (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2017), wat in 2019 wordt genuanceerd in het voorstel voor minimaal 50 % voor grondgebonden woningen en 40 % voor woongebouwen. Volgens Harm Valk van Nieman Raadgevend Ingenieurs is voor hoogbouw zonder warmtenet de nieuwe BENG 3-eis makkelijk haalbaar met een warmtepomp. “De bodemwarmte of de andere omgevingswarmte die de warmtepomp benut, telt dan mee als hernieuwbare energie en dat komt dan al snel in de buurt van de 40 procent die BENG 3 voorschrijft” (Bouwmeester, 2019).

NTA 8800 toont de samenhang tussen de verschillende energiehoeveelheden. De energiedragers (gas, elektriciteit e.d.) worden in deze methode omgerekend naar primaire energie. De primaire energiefactor voor de energiedrager elektriciteit volgens NTA 8800 heeft de waarde van 1,45 voor zowel elektriciteit als aangeleverde energie, op eigen perceel gebruikte zelfgeproduceerde energie als voor geëxporteerde energie. De CO₂-emissiecoëfficiënt bedraagt in deze gevallen 0,34 kg/kWh. (Normcommissie 351 074, 2019, p. 89, 92)

Bij de omrekening van op eigen perceel geproduceerde energie naar het vermeden primaire energiegebruik, wordt onderscheid gemaakt tussen gebruik op eigen perceel (vermeden afgenomen energie) en vermeden energiegebruik buiten het eigen perceel (het deel van de geproduceerde energie dat wordt geëxporteerd). Vermeden afgenomen energie kan ook meteen in de gebouwinstallatie zijn verrekend en is dan geen expliciete term in de berekening van het karakteristieke energiegebruik. (Normcommissie 351 074, 2019, p. 81)

NTA 8800 merkt een aantal energiebronnen aan als hernieuwbare energie. Dit betreft “zonne-energie, geothermische energie, bodemenergie, seizoensopslag (warmte en koude zoals bij WKO), windenergie, energie uit buitenlucht en vaste biomassa”. Deze hernieuwbare energiegebruiken worden omgerekend naar “primaire hernieuwbare energie”. Warmte uit het gebouw (zoals ventilatieretourlucht), inkoop van groene stroom, groen (bio)gas en vloeibare biobrandstoffen en passieve (zonne)warmte en passieve koeling (zoals zomernachtventilatie) worden binnen de NTA niet als hernieuwbare energie beschouwd. (Normcommissie 351 074, 2019, p. 94)

Figuur Bijl.3.4 toont de samenhang tussen de verschillende energiebehoeften volgens NTA 8800.

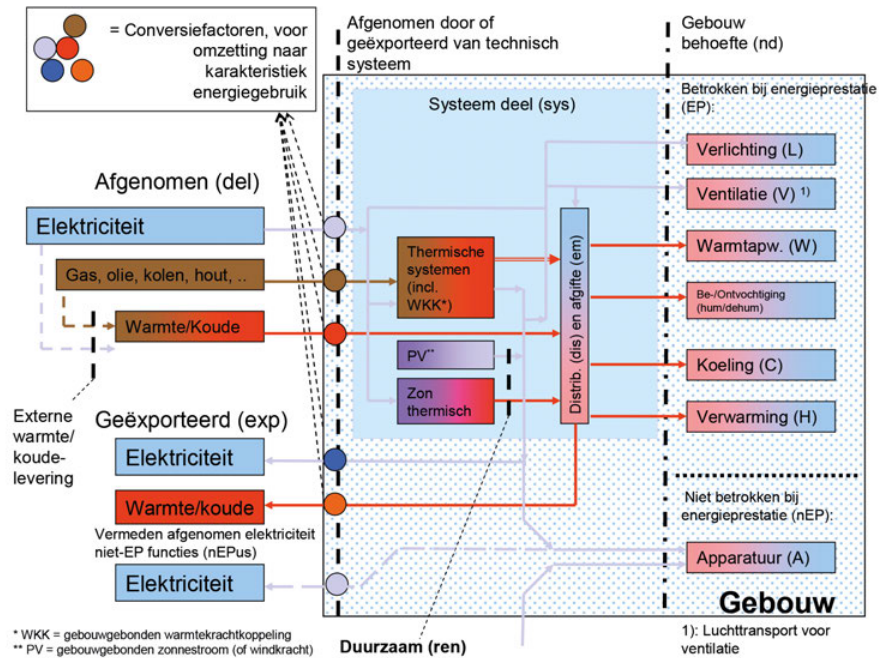


FIG. BIJL.3.4 Samenhang tussen de verschillende energiebehoeften volgens NTA 8800. Overgenomen uit NTA 8800: Energieprestatie van gebouwen: Bepalingsmethode (p. 81) door Normcommissie 351 074' Klimaatbeheersing in gebouwen', 2019. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

Hernieuwbare elektriciteit

ECN (2013) beschrijft systemen voor hernieuwbare elektriciteit, hernieuwbare warmte en hernieuwbare warmtekrachtkoppeling. De systeemgrenzen voor opweksystemen voor warmte en elektrische energie zijn divers, van meren en zee tot gebied.

De systemen voor hernieuwbare elektriciteit volgens ECN zijn:

- Wind op land (turbines > 6MW en turbines <6MW: uiterst windrijk, zeer windrijk, windrijk, weinig windrijk)
- Wind in meer (de fundering van een windturbine wordt hierbij geplaatst in het water van een meer van minimaal één vierkante kilometer)
- Wind op zee
- Kleinschalige waterkracht, renovatie
- Kleinschalige waterkracht, laag verval
- Waterkracht, energie uit vrije stroming
- Zon-PV > 15 kW
- Thermische-drukhydrolyse
- Osmose
- Mestmonovergisting

Figuur Bijl.4.1 laat de relatie zien tussen de installatiegrootte en output basisbedrag per systeem hernieuwbare elektriciteit op basis van EIA-subsidie. Windenergie, met name op zee, heeft de hoogste installatiegrootte.

Kleinschalige waterkracht heeft het laagste output basisbedrag per systeem.

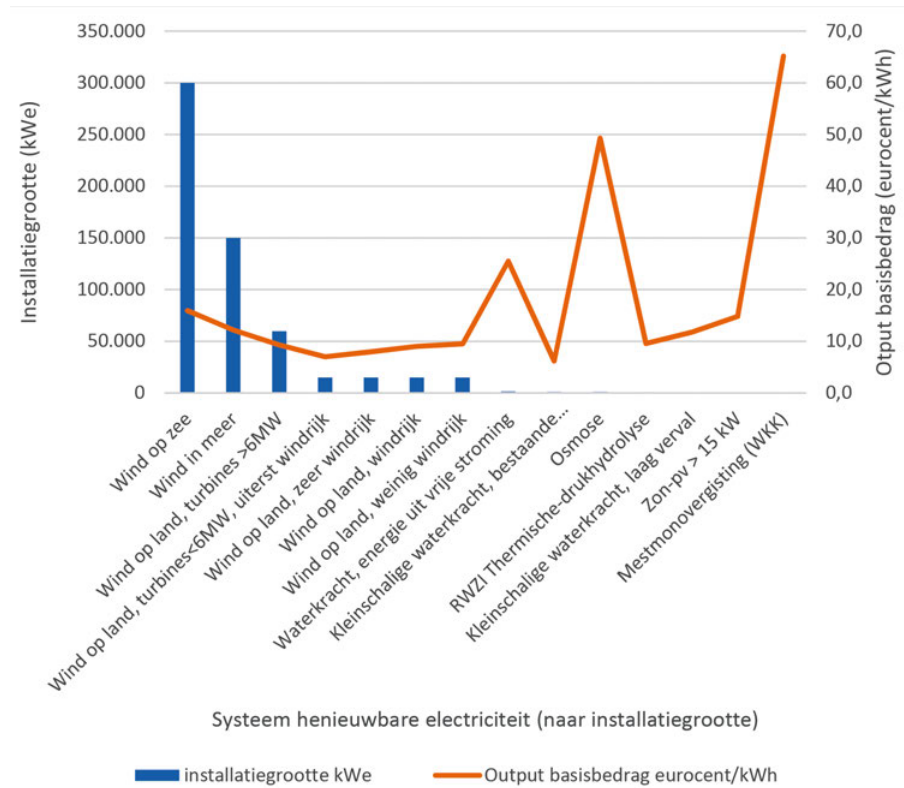


FIG. BIJL.4.1 Installatiegrootte versus output basisbedrag per systeem hernieuwbare elektriciteit. Opgezet op basis van data uit *Hernieuwbare energie – projecten* door ECN, 2013.

Bij hernieuwbare elektriciteit zijn de grootste vermogens volgens data van ECN zichtbaar bij wind op zee. Figuur Bijl.4.1 laat de trendlijn zien waarin het output basisbedrag in eurocent/kWh hoger wordt bij een afnemende installatiegrootte in kW_e . Specifiek, en in afwijking van de trendlijn, hebben de 4 installaties 'Wind op land < 6MW' weliswaar de laagste output basisbedragen (van 7,0 bij 'uiterst windrijk' tot 9,5 eurocent/kWh bij 'weinig windrijk', met een vermogen per installatie van 15.000 kW_e), maar de te leveren vermogens zijn een fractie van het vermogen van de installatie 'Wind op zee' (16 eurocent/kWh, met een vermogen per installatie van 300.000 kW_e). Wind op land kan een regionale betekenis hebben, waarbij het verschil in basis outputbedragen tussen zeer windrijk (kustgebieden) en weinig windrijk ca. 35 % bedraagt.

Hernieuwbare warmte

ECN (2013) beschrijft systemen voor hernieuwbare warmte. Deze systemen zijn:

- Mestcovergisting
- Mestmonovergisting
- Geothermische warmte
- Allesvergisting
- Zonthermisch
- Warmtebenutting bij bestaande projecten (uitkoppeling, afvalverbrandingsinstallatie (AVI))
- Warmtebenutting bij bestaande mestcovergisting (uitkoppeling)
- Warmtebenutting bij bestaande compostering (uitkoppeling)
- Ketel vloeibare biomassa
- Ketel vaste biomassa
- Hub (aangeleverd biogas ingezet voor de productie van elektriciteit of warmte)

Figuur Bijl.4.2 laat de relatie zien tussen de installatiegrootte en het output basisbedrag per systeem hernieuwbare warmte op basis van EIA-subsidie.

Warmtelevering door een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) zal misschien in de circulaire toekomst minder gaan worden.

Interessant voor een stedelijke omgeving is geothermische warmte. Geothermische warmte, dieper dan 2700 m met een installatiegrootte van 18.000 kW heeft een outputbasisbedrag van 12,8 euro/GJ. Geothermische warmte met een installatiegrootte van 12.400 kW heeft een outputbasisbedrag van 11,9 euro/GJ.

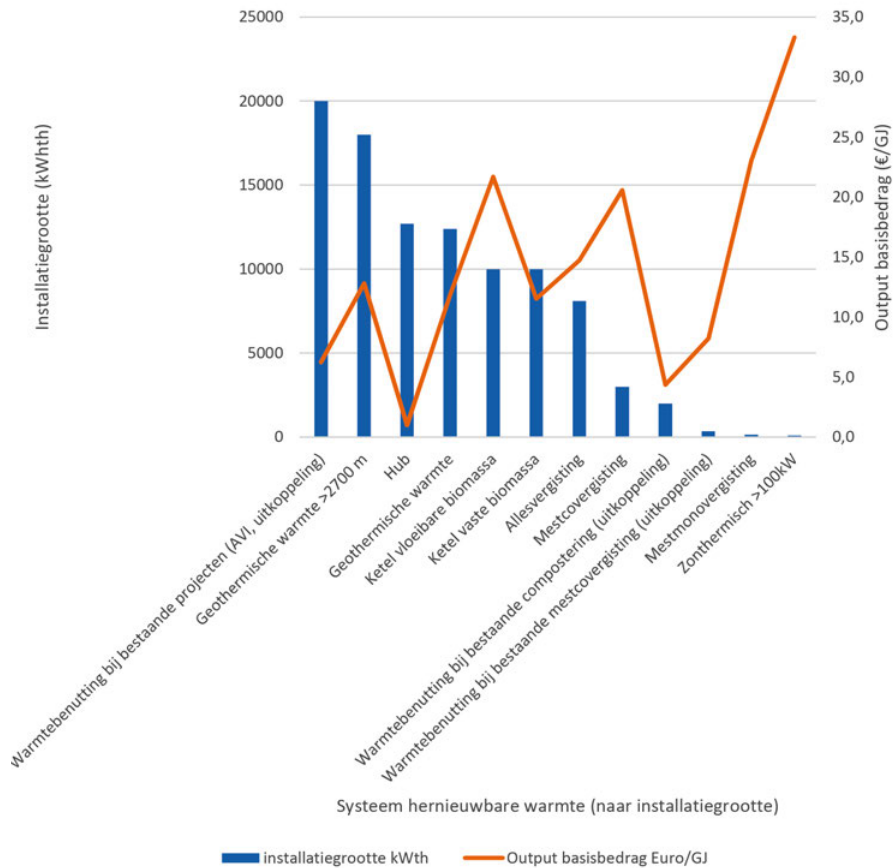


FIG. BIJL.4.2 Installatiegrootte versus output basisbedrag per systeem hernieuwbare warmte. Opgezet op basis van data uit *Hernieuwbare energie – projecten* door ECN, 2013.

Hernieuwbare warmtekrachtkoppeling

ECN (2013) beschrijft systemen voor hernieuwbare warmtekrachtkoppeling (WKK). Bij deze systemen wordt zowel warmte als elektriciteit opgewekt. De systemen zijn:

- Verbranding verlengde levensduur
- Thermische conversie van vaste biomassa $>10\text{MW}_e$
- Geothermie
- Hub (aangeleverd biogas ingezet voor de productie van elektriciteit of warmte)
- Thermische conversie van vaste biomassa $<10\text{MW}_e$
- Allesvergisting
- Mestcovergisting
- Mestcovergisting verlengde levensduur
- Allesvergisting verlengde levensduur
- Afvalwaterzuiveringsinstallatie/Rioolwaterzuivering (AWZI/RWZI) vervanging gasmotor

Figuur Bijl.4.3 laat de relatie zien tussen de installatiegrootte en output basisbedrag per systeem WKK op basis van EIA-subsidie. Verbranding heeft de hoogste installatiegrootte. De hub heeft het laagste output basisbedrag.

Geothermie kan zowel warmte als elektriciteit opwekken. Bij een installatiegrootte van 25.616 kW_{th} levert deze volgens ECN netto 50.000 kW_{th} aan warmte en 9500 kW_e aan elektriciteit. Het output basisbedrag voor warmte is 24 Euro/GJ en voor elektriciteit 8,6 eurocent/kWh.

Diepe geothermie voor woningbouw is financieel haalbaar vanaf 2500 woningen met een warmtevraag groter dan 2 miljoen m³ aardgas (BodemenergieNL, 2018), ca. 4000 aangesloten woningen (Expertise Centrum Warmte, 2019) of ca. 5000 woningen (IF Technology). Het aantal aan te sluiten woningen is afhankelijk van de warmtevraag van die woningen. Hoe groter de warmtevraag, des te minder aan te sluiten woningen voor financiële haalbaarheid van dit systeem.

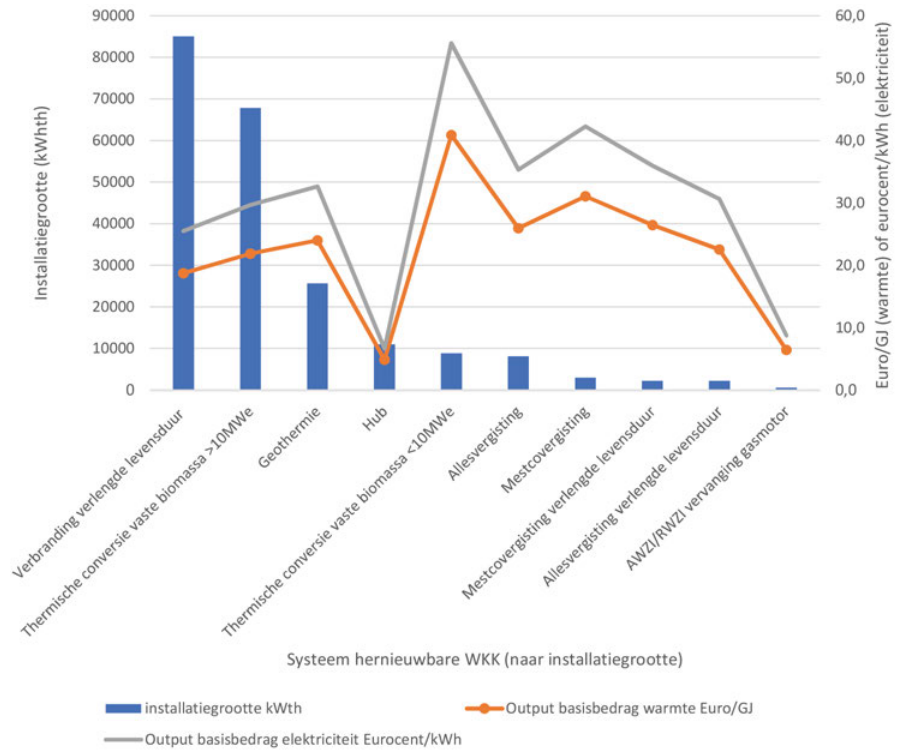


FIG. BIJL.4.3 Installatiegrootte versus output basisbedrag per systeem WKK. Opgezet op basis van data uit *Hernieuwbare energie – projecten* door ECN, 2013.

Integrated/Added, Photovoltaic/ Thermal modules en belemmering

Integrated/Added, Photovoltaic/Thermal modules

Een PV-module is een element met PV-cellen die gezamenlijk elektrische energie opwekken. PV-modules kunnen op twee wijzen in de architectuur van een gebouw verwerkt worden: Building Integrated Photovoltaic (BIPV) en Building Applied Photovoltaic (BAPV). BIPV vervangt de conventionele gebouwschil en genereert elektrische energie. BAPV wordt tegen of op een bestaande gebouwschil aangebracht en genereert elektrische energie. De parameters voor architectonische integratie van PV-technologie zijn de esthetische mogelijkheden, architectonische functies, PV-technologie, veiligheidscondities, bevestigingsstructuur en potentiële applicaties zoals dak of façade (Cerón, Caamaño-Martín, & Neila, 2013, pp. 127-128).

Photovoltaic/Thermal (PVT) modules zijn modules die naast elektrische energie ook thermische energie opwekken, dit kan ook in de vorm van Concentrating PVT (CPVT) en Building Integrated PVT (BIPVT). Building-Integrated Solar Thermal (BIST) of Building-Added Solar Thermal (BA Solar Thermal) modules zijn modules die alleen thermische energie opwekken (Lamnatou, Mondol, Chemisana, & Maurer, 2015).

PVT-modules converteren tegelijkertijd zonne-energie in elektrische en thermische energie. De zonne-energie wordt geoogst door middel van PV-cellen die elektrische energie opwekken en door middel van een vloeistoflaag onder de PV-cellen die thermische energie opneemt. Door het afkoelen van de pv-cellen door de vloeistoflaag daaronder neemt de effectiviteit van de PV-cellen toe (Al-Waeli, Sopian, Kazem, & Chaichan, 2017).

Zonne-energie technologieën kunnen in drie segmenten worden verdeeld: fotovoltaïsch (PV) , zonthermisch (T) en een combinatie daartussen (PVT). Zonthermische energie wordt toegepast om op een passieve wijze een woning te verwarmen en om water te verwarmen. Bij fotovoltaïsch wordt zonne-energie omgezet in elektrische energie. De hoeveelheid opgewekte energie is afhankelijk van het lokale klimaat en van de hoeveelheid zonnestraling. Van belang voor BIPV-systemen is de temperatuur van de PV-module, beschaduwing, installatie hoek en oriëntatie. De zoninstraling en de PV-module temperatuur worden als meest belangrijke factoren beschouwd omdat deze de efficiëntie van het BIPV-systeem en de energieprestatie van het gebouw bepalen waarin de BIPV-systemen zijn geïnstalleerd. De relatie tussen de efficiëntie van een PV-module en de temperatuur wordt uitgedrukt in de Temperatuur Coëfficiënt die afhankelijk is van de type PV-cellen.

In plaats van warmte verloren te laten gaan worden bij PVT-panelen zowel elektrische energie als thermische energie geogst. Een koelmedium achter het PV-paneel neemt de warmte op waardoor het paneel afkoelt en daardoor betere prestaties levert. (Debbarma, Sudhakar, & Baredar, 2017)

Tabel Bijl.5.1 en Figuur Bijl.5.1 laten de relatie zien tussen de waarden van verscheidene type PV-modulen met bijbehorende module-efficiënties ($\eta_{T_{ref}}$) onder standaard test condities met een referentietemperatuur van 25°C en temperatuur coëfficiënten (β_{ref}) (Li et al., 2018). Een temperatuur coëfficiënt is een energieverliesfactor per graad stijging boven de standaardtemperatuur van 25°C. In Tabel 1.16 varieert de temperatuur coëfficiënt van 1,1 % voor a-Si PV-technologie tot 0,035 % voor CdTe PV-technologie.

TABEL BIJL.5.1 *Temperature coefficients of different PV cell technologies. Overgenomen uit A review of solar photovoltaic-thermoelectric hybrid system for electricity generation (p. 43) door G. Li et al., 2018. Copyright 2018, Energy.*

PV technology	T_{ref} (°C)	$\eta_{T_{ref}}$ (%)	β_{ref} (C ⁻¹)
Mono-cSi	25	16-24	0.0041
Poly-cSi	25	14-28	0.004
a-Si	25	4-10	0.011
CIS	25	7-12	0.0048
CdTe	25	10-11	0.00035

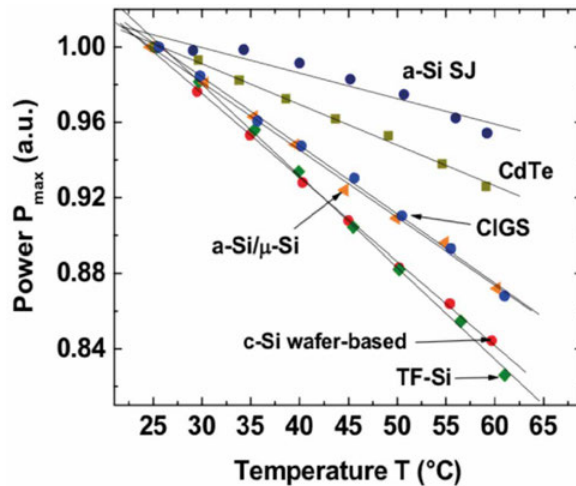


FIG. BIJL.5.1 Impact of temperature on PV maximum power output. Overgenomen uit *A review of solar photovoltaic-thermoelectric hybrid system for electricity generation* (p. 43) door G. Li et al., 2018. Copyright 2018, Energy.

Omdat de lange termijn degradatie van een PV-module thermisch geactiveerd wordt, is het verlagen van de operationele temperatuur een effectieve wijze om de levensduur van een PV-module te verlengen (Silverman et al., 2018, p. 532). De afkoeling kan door middel van een open of een gesloten PV-systeem. Bij een open PV-systeem komt buitenlucht achter de PV-panelen. De verwarmde buitenlucht kan vervolgens dienen als ruimteverwarming, voorverwarming voor ventilatielucht of via een warmtepomp voor het verwarmen van tapwater. Bij een gesloten systeem bevindt zich achter de PV-cellen aansluitend het watergedragen koelsysteem om thermische energie te oogsten. (Debbarma, Sudhakar, & Baredar, 2017)

Om temperaturen van het PV-paneel te verlagen zonder (zware) watergekoelde koelsystemen met pompsystemen en mogelijke corrosie is het aanbrengen van Phase Change Materials (PCM) aan de achterzijde van de PV-module een mogelijkheid. Klugmann-Radziemska en Wcisło-Kucharek (2017) tonen aan dat met toepassing van 42–44 paraffin PCM een PV-module 7°C gekoeld kan worden tijdens de piekuren van de PV-module waardoor de efficiëntie stijgt. Het stollende PCM geeft door gelijkblijvende temperaturen in de overige uren weliswaar een hogere temperatuur ten opzichte van een systeem zonder PCM, maar door de lagere zonintensiteit zijn de energieverliezen kleiner. De toepassing van PCM is een simpele en goedkope methode om de temperatuur van een PV-paneel te verlagen waardoor de efficiëntie op een acceptabel niveau blijft (Klugmann-Radziemska en Wcisło-Kucharek (2017, p. 545).

Een PVT-systeem dat is geïntegreerd in de gebouwschil (BIPVT) bestaat uit twee typen: een dicht en een semi-transparant systeem. Het dichte systeem wordt toegepast in daken en wanden. Het semi-transparante systeem wordt toegepast in

situaties met daglichttoetreding en zonder daglichttoetreding. Met daglichttoetreding betreft dit wanden, ramen en daken. Zonder daglichttoetreding betreft dit wanden en daken. Figuur Bijl.5.2 toont de architectonische classificatie van het BIPVT-systeem. (Debbarma, Sudhakar, & Baredar, 2017)

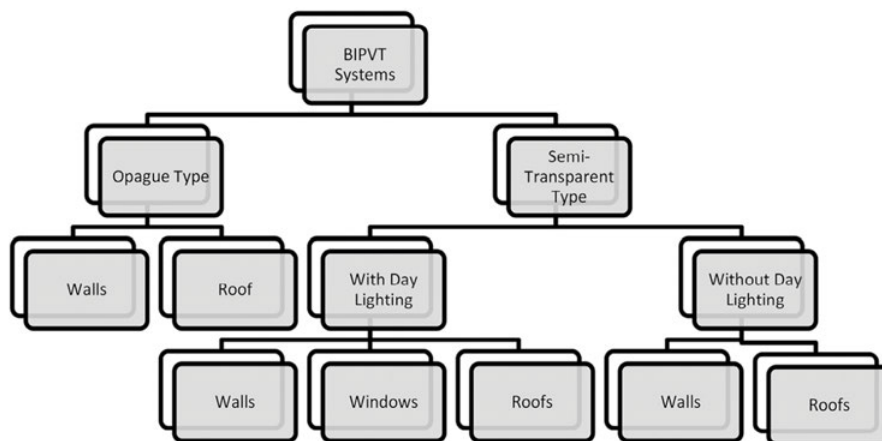


FIG. BIJL.5.2 Classificatie van het BIPVT systeem. Overgenomen uit *Comparison of BIPV and BIPVT: A review* (p. 264) door M. Debbarma, K. Sudhakar en P. Baredar, 2017. Copyright 2017, Resource-Efficient Technologies.

Joshi en Dhoble (2018) classificeren PVT-systemen naar verschillende technische factoren, zie Figuur Bijl.5.3.

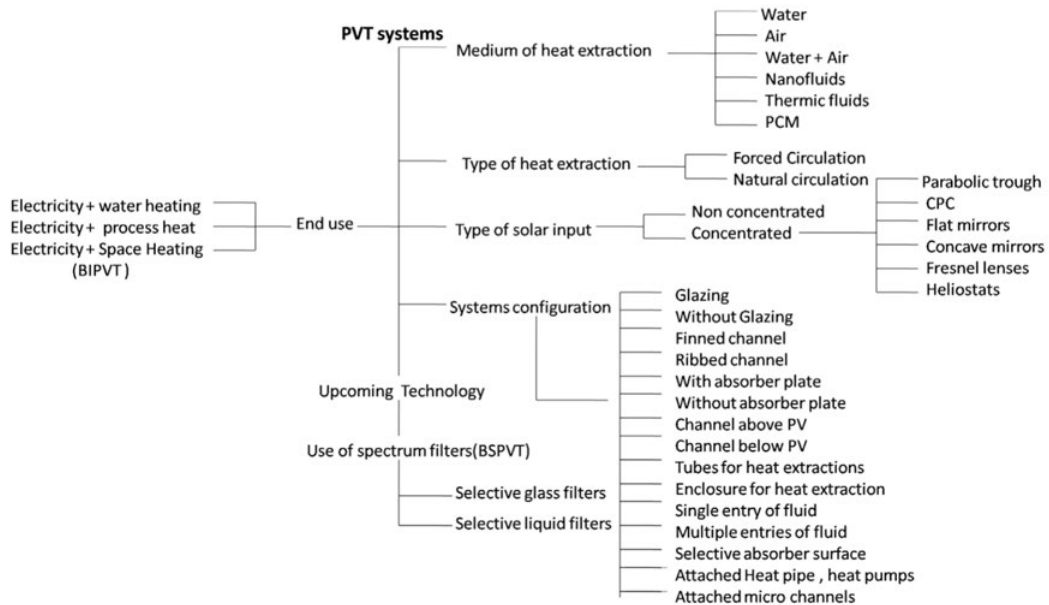


FIG. BIJL.5.3 Classificatie van PVT-systemen. Overgenomen uit *Photovoltaic -thermal systems (PVT): Technology review and future trends* (p. 850) door S.S. Joshi en A.S. Dhoble, 2018. Copyright 2018, Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Zonnecellen kunnen volgens Li et al. (2018) alleen bepaalde foton-energie absorberen uit het zonnespectrum. De overige energie wordt omgezet in thermische energie (zie Figuur Bijl.5.4). Een thermo-elektrische generator kan thermische energie omzetten in elektrische energie. Een combinatie hiervan levert een hybride Photovoltaic-thermoelectric (PV-TE) module. Er zijn twee technologieën voor het combineren van PV en een Thermoelectric Generator (TEG): 'spectrum splitting photovoltaic-thermoelectric system' en 'integrated photovoltaicthermoelectric system'. Beide technologieën zijn in ontwikkeling (Li et al., 2018).

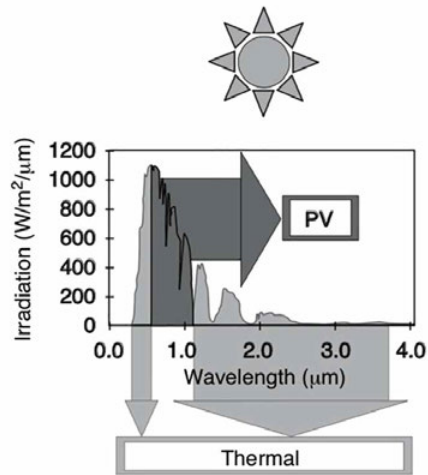


FIG. BIJL.5.4 Splitting the solar spectrum into components for PV and thermal energy conversion. Overgenomen uit *A review of solar photovoltaic-thermoelectric hybrid system for electricity generation* (p. 42) door G. Li et al., 2018. Copyright 2018, Energy.

Elektriciteit uit zonne-energie kan volgens Ouwehand, Papa, Entrop en De Geus (2017) op 4 wijzen gegeneerd worden. De eerste wijze is elektriciteit uit zonnecellen. Zonnecellen bestaan uit twee soorten: de fotovoltaïsche cel die wordt gebruikt in zonnepanelen en de foto-elektrochemische cel die wordt gebruikt in foto-elektrochemische generatoren. De tweede wijze is elektriciteit genereren door middel van Concentrating Parabolic Collectors (CPS). De derde wijze zijn zonnetorens waarbij door zon opgewarmde lucht stijgt waarmee windturbines worden aangedreven. De vierde wijze is kunstmatige fotosynthese waarbij CO_2 wordt omgezet in brandstof onder invloed van zonlicht. Deze wijze bevindt zich nog in een experimenteel stadium. (Ouwehand, Papa, Entrop, & De Geus, 2017)

BI modules

Modules kunnen volgens Cerón, Caamaño-Martín en Neila (2013) op de diverse wijzen geïntegreerd worden in een gebouw (Building Integrated, BI):

- *BI, solar thermal: warmte uit de zon*
- *BI, skin facade: modules geïntegreerd in de façade*
- *BI, solar chimney: warmteschoorsteen*
- *BI, Trombe wall: opslag en afgifte van warmte*
- *BI, PVT: PV met warmtewinning (T)*
- *BI, CPV: Concentrating Photovoltaic*
- *BI, pipes*
- *BI, several systems*

Jelle, Breivik en Røkenes (2012) categoriseren BIPV in PV-folies, PV-tegels, PV-modules en zonnecel beglazingen. Voor gebouwintegratie zijn er vier opties: hellende daken, platte daken, gevels en zonweringen. Mono- en polykristallijne modules vertonen een mindere efficiëntie bij stijgende temperaturen, dunne-filmproducten hebben hier minder last van. De twee hoofdcategorieën in gevels zijn geventileerde en niet-geventileerde gevels en stelt daarmee eisen voor de keuze van het zonnecelmateriaal.

Het ontwerp van de PV-cellen/modules heeft grote invloed op het bereiken van een hoge efficiëntie en energieopbrengst. Factoren die van invloed zijn voor de opbrengst van PV-modules zijn onder andere beschaduwing, omgevingstemperatuur en de richting en helling van de modules ten opzichte van de zon. Gekleurde panelen, zoals de Dye-sensitized solar cell (DSC of Grätzel-zonnecel) om de panelen koeler te houden, kunnen ook de adaptatie door eindgebruikers bevorderen (Biyik et al., 2017). DSC-zonnecellen kunnen als flexibel zonnepaneel uitgevoerd worden. De cellen hebben nog een laag rendement ten opzichte van een gewone siliciumzonnecel. Per augustus 2019 zijn de hoogst gemeten laboratorium efficiënties voor Dye-sensitized solar cells vastgesteld op 11,9 % en van non-concentrator kristallijne siliciumzonnecellen op 26,7 % (NREL, 2019).

PV-panelen degraderen in de loop van de tijd. De degradatie is afhankelijk van het klimaat en van de toegepaste materialen. Degradatie wordt veroorzaakt door verkleuring (discoloration), backsheet delamination, corrosie, Potential Induced Degradation (PID) en micro cracks in PV-cellen onder invloed van hitte, UV-straling en vochtigheid (snail trails) (Pern, 1996). Daarnaast kunnen ook defecten in de anti-reflectie coating (ARC) voorkomen (Munoz, Alonso-García, Vela, & Chenlo, 2011). Doyle, Erion-Lorico en Desharnais (2018) categoriseren de mogelijke fouten in No

defect detected, Cell/interconnect, Backsheet, Encapsulant en Other. Volgens Figuur Bijl.5.5 uit de *2018 PV Module Reliability Scorecard* van DNV.GL zijn de veroudering van de module en foutmechanismen te verdelen in Infant-failure, Midlife-failure en Wear-out-failure.

Typische garantievoorwaarden voor de efficiëntie van een PV-paneel zijn 97 % voor het eerste jaar en een jaarlijkse vermindering van 0,6-0,7 % gedurende de volgende 24 jaar (Doyle, Erion-Lorico, & Desharnais, 2018, p. 9). Dus na 25 jaar zou een PV-paneel nog een efficiëntie hebben van ca. 80 % volgens deze voorwaarden.

Biyik et al (2017) categoriseert BIPV-systemen volgens PV techniek, type applicatie en marktnamen (zie Figuur Bijl.5.6).

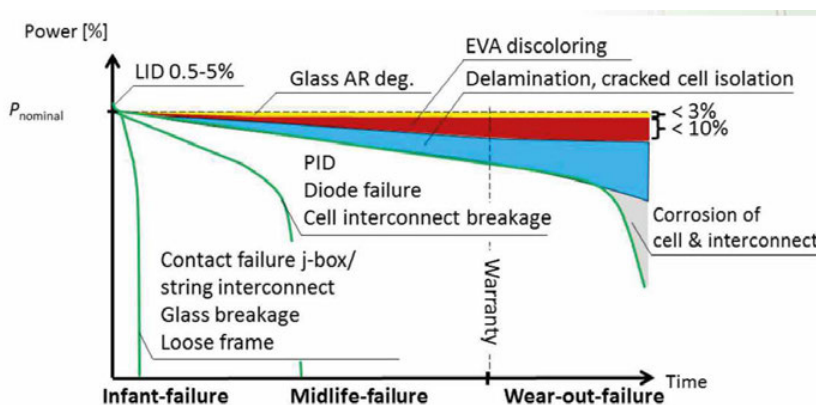


FIG. BIJL.5.5 Leading PV module aging and failure mechanisms. Overgenomen uit *2018 PV Module Reliability Scorecard* (p. 8) door T. Doyle, T. Erion-Lorico en R. Desharnais, 2018 (<https://www.dnvgl.com/news/2018-pv-module-reliability-scorecard-121786>). Copyright 2018, DNV.GL.

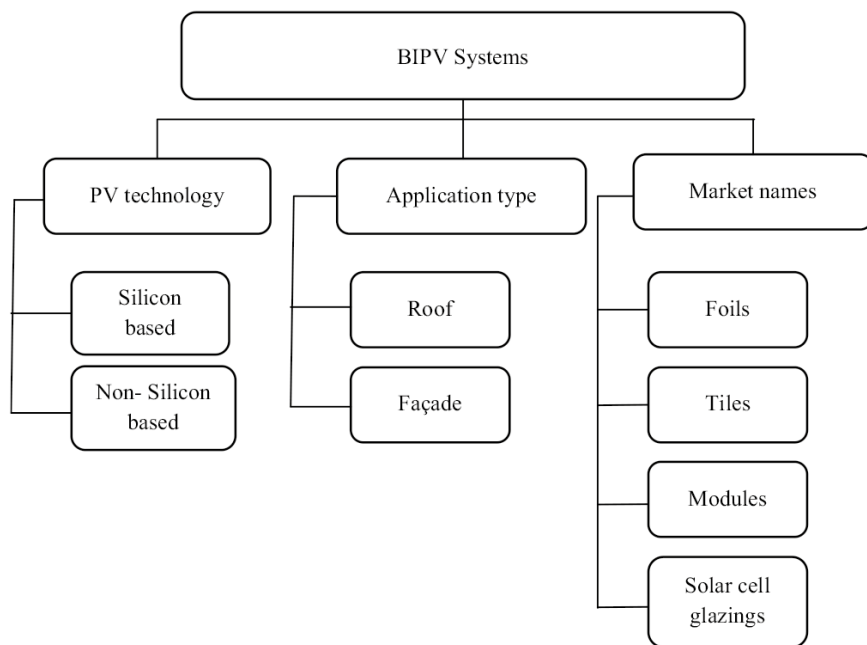


FIG. BIJL.5.6 Categorisering BIPV-systemen. Overgenomen uit *A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems* (p. 4) door E. Biyik et al., 2017. Copyright 2017, Engineering Science and Technology, an International Journal.

Belemmering zonnepanelen

Belemmeringen van zonlicht, zoals schaduw, op PV-panelen levert rendementsverliezen op. De grootte van de verliezen is afhankelijk van de mate van belemmering van het zonlicht op het PV-paneel, het type PV-paneel en de schakeling en grootte van de PV-cellen in het pv-paneel. Met name de schakeling (serieel of parallel) bepaalt of een rij uitvalt of slechts één paneel.

ECN heeft in 2015 samen met Eurotron B.V., Heliox B.V. en Stafier Solar Systems een schaduwtolerante module Tessara® met een back-contact technologie ontwikkeld. Anders dan bij een conventionele zonnecel zijn de contacten bij een back-contact module aan de achterkant van de cel met elkaar verbonden (ECN, 2015). Slooff et al. (2017) beschrijven de in 2015 ontwikkelde Tessara® Si-module met een hoge schaduwtolerantie voor esthetische toepassing in gedeeltelijk beschaduwde vlakken. De integreerbaarheid van de panelen is verbeterd door de vrijheid van moduleafmetingen, vorm en een hoge schaduwtolerantie. Bij standaard PV-panelen kan een schaduw van 10 % van een module zorgen voor 30 % verlies van output. Het Tessara® concept heeft een lineair gedrag. (Slooff et al., 2017)

Solar Frontier (2014) laat in een grafiek de invloed van schaduw zien bij een c-Si-module en een Solar Frontier dunne film CIS-module. De invloed van schaduw op CIS-modules verloopt lineair, de invloed van schaduw op c-Si-modules is exponentieel (zie Figuur Bijl.5.7). Bij 30 % schaduw is de opbrengst van een c-Si module 0 % en de opbrengst van een CIS-module 70 %.

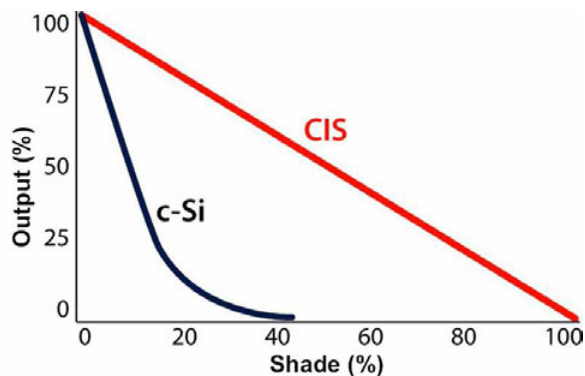


FIG. BIJL.5.7 Invloed van schaduw op de relatieve output van c-Si modules en CIS modules. Aangepast overgenomen uit *CIS modules by Solar Frontier* (p. 5) van Solar Frontier, 2014. Copyright, Solar Frontier.

Gebouw gerelateerde windenergie

Gebouw gerelateerde windturbines

Haase en Löffström verdelen gebouw gerelateerde windturbines in vier categorieën. De eerste categorie zijn rotor typen die zijn onderverdeeld in Horizontal Axis Wind Turbines (HAWT) en Vertical Axis Wind Turbines (VAWT). Een HAWT heeft de rotor en de energiegenerator in de top van een mast, gericht op de wind. Bij een VAWT is de rotor verticaal opgesteld en hoeft de rotor niet op de wind te zijn gericht wat effectiever is bij veel draaiende windrichtingen.

De tweede categorie zijn Building Mounted Wind Turbines (BMWT). Een BMWT is een turbine die fysiek aan een gebouw verbonden is en typisch geplaatst op het dak.

De derde categorie zijn Building Integrated Wind Turbines (BIWT). Een BIWT is een turbine die geïntegreerd is vanuit bouwkundig oogpunt, architectonisch oogpunt of vanuit energetisch oogpunt.

De laatste categorie zijn Building Augmented Wind Turbines (BAWT). Een BAWT is een turbine die speciaal ontworpen is voor de gebouwde omgeving ('urban wind turbine') en kan winddrukken en turbulentie weerstaan. Het vermogen van een BAWT is vaak tussen 1 en 20 kW. (Haase en Löffström, 2015)

Piëzo-elektrische, elektrostatisch of elektromagnetisch windenergie

Windenergie kan worden geogst met behulp van piëzo-elektrische, elektrostatische of elektromagnetische systemen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen micro- en macroschaal. Daarnaast zijn er roterende en aero-elastische systemen.

Naast elektromagnetische windturbines bestaan ook 'vibro' wind systemen. Deze systemen werken met mechanische trillingen die via een piëzo-elektrische proces naar elektrische energie worden omgezet (Vijian, 2018). De efficiëntie van deze elektriciteits-opwekking is echter nog zeer laag (Pierce, Neeld, Shipulski, & Ciliberto, 2019).

Een ander type is de Elektrostatische Windenergie Converter (EWICON), een wiekloze windmolen waarbij windenergie via een directere weg door middel van bewegende elektrisch geladen deeltjes door verneveling van water wordt omgezet in gelijkspanning, zonder gebruik te maken van bewegende delen. In 2013 heeft Mecanoo een ontwerp gemaakt van EWICON dat als niet werkend schaalmodel is geplaatst op de TU-campus in Delft (zie Figuur Bijl.6.1).

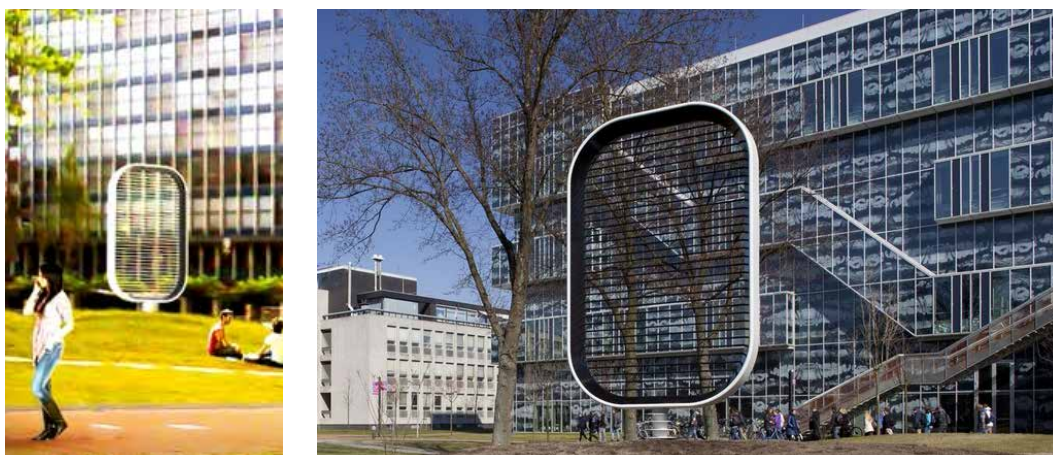


FIG. BIJL.6.1 EWICON. Linker foto overgenomen uit *Ewicon* door Mecanoo, 2013. Copyright 2013, Mecanoo. Rechter screenshot overgenomen uit *Windenergy converter EWICON animation*, TU Delft door TU Delft, 2013 (<https://www.youtube.com/watch?v=tqksCHWROBU>). Copyright 2013, YouTube NL.

De EWICON is volgens Balendonck, Sonneveld, Morshuis en Bruins (2008) robuust, eenvoudig, geruisloos en bevat geen bewegende delen. Daarnaast is de Converter potentieel geschikt voor grotere vermogens en heeft weinig last van vervuiling, weinig onderhoud, geen problemen met windvlagen en een potentieel hoog rendement. EWICON is echter het prototype-stadium nog niet voorbij.

Alvorens grootschalige toepassing kan starten, moet het rendement nog verbeterd worden door optimalisatie van het vernevelingsprincipe, het verhogen van de lading per deeltje en het terugdringen van het waterverbruik. Verder moeten praktijkstudies aangeven in hoeverre de EWICON gevoelig zal zijn voor wisselende weersinvloeden, en vooral hoge luchtvochtigheid en lage temperaturen (vorst). Daarnaast moet een economisch interessante productiemethode ontwikkeld worden om de vernevelaar op te schalen naar vermogens in de orde van 1kW. Pas dan zal kleinschalige, en decentrale energieopwekking, een interessante markt kunnen vormen. (Balendonck et al., 2008, p. 5)

Dutch Windwheel heeft het EWICON-principe toegepast in een architectonisch ontwerp als beoogde landmark in Rotterdam (zie Figuur Bijl.6.2).



FIG. BIJL.6.2 Dutch Windwheel met het EWICON-principe. Overgenomen uit *Maak kennis met de Dutch Windwheel* door D. Doepel, z.d. (<https://dutchwindwheel.com/>). Copyright, Dutch Windwheel.

Een vervolgonderzoek op de EWICON is EWICON-R. Het principe hierachter is het opvangen van elektrostatische ladingen om windenergie geruisloos en zonder slagschaduw om te zetten in elektrische energie.

Er worden elektrisch geladen deeltjes in de wind gebracht en daarna door de wind naar een stroomcollector geblazen. De aanwezige elektrostatische lading wordt met een stroomcollector opgevangen waardoor hoge spanningen opgewekt worden. Door de EWICON-R als module uit te voeren, kan deze zowel in 'windmolens op land' als 'windmolens op zee' ingebouwd worden. EWICON-R staat voor 'Elektrostatische Windenergie Converter met Recirculatie van de deeltjes'. (OP Oost, 2017).

Innovaties windenergie

Innovaties op het gebied van windenergie, maar moeilijk bruikbaar bij upgrading van bestaande flats, zijn de Makani Wind Kite, de Windstalk, de Windharvester, de Dutch Windwheel en de BAT zeppelin.

1 Makani Wind Kite

'De wind kite is niet zomaar een windturbine. Het systeem bestaat uit de vlieger zelf die een spanwijdte heeft van een middelgroot vliegtuig en is uitgerust met acht rotors die fungeren als de turbines. Het is uitgerust met een computersysteem voorzien van GPS en andere geavanceerde technologie. Zodra de wind kite in de lucht is wordt er tot 600 kW aan stroom opgewekt. Vergeleken met traditionele windmolens genereert de Makani windvlieger 50 % meer energie en gebruikt hij tot 90 % minder materialen.'

2 De Windstalk

'Windstalk is een windturbineproject dat ook fungeert als kunstinstallatie en toeristische attractie in Masdar City in Abu Dhabi. Het project is geïnspireerd door de manier waarop tarwe en rietstengels heen en weer zwaaien in de wind. Het bestaat uit meer dan duizend aan de grond verankerde koolstofvezel-sprieten van 55 meter hoog. De toppen van de stengels zijn voorzien van ledverlichting die de stengels feller of zwakker doen oplichten, afhankelijk van de intensiteit waarmee ze heen en weer zwaaien.'

3 De Wind Harvester

'De horizontale windturbine is nagenoeg geruisloos en werkt in verschillende windcondities op slechts een halve meter boven de grond waardoor hij niet alleen efficiënt is maar ook geen horizonvervuiling veroorzaakt. De Wind Harvester kan geplaatst worden op locaties waar de installatie van een traditionele windturbine een uitdaging zou zijn, zoals bovenop een gebouw of op een heuvel.'

4 De Dutch Windwheel

'De Dutch Windwheel werd ontworpen door Doepel-Strijkers architecten. Hij is 174 meter hoog en geïnspireerd op de Londen Eye. Het moet naast het nieuwe icoon van Rotterdam ook de meest innovatieve windmolen ter wereld worden, met een reuzenrad met cabines die uitkijken over de Rotterdamse haven. De molen maakt gebruik van het EWICON-concept (Elektrostatische Windenergie convector) van de TU Delft. Daarmee worden door een raamwerk van horizontale buizen waar spanning op staat, elektrisch geladen waterdruppels gecreëerd. Dit maakt het mogelijk om geruisloos en zonder bewegende onderdelen stroom op te wekken.'

5 De BAT zeppelin

'Mitsubishi Heavy Industries en de Suhail Bahwan Group hebben onlangs geïnvesteerd in de ontwikkeling van de luchturbines die door het Amerikaanse bedrijf Altaeros Energies Inc gemaakt worden. De BAT of Buoyant Airborne Turbine is het best te omschrijven als een met helium gevulde ballon, een futuristische zeppelin, waarvan de kern is uitgerust met een windturbine. De BAT wekt op honderden meters hoogte windenergie op, waar windsnelheden groter zijn en tot acht keer meer vermogensdichtheid hebben.'

- 6 Italiaanse ontwerpers transformeren oude viaducten in futuristische windturbines. 'Als de Italiaanse regering alle oude viaducten en bruggen in het zuiden van Italië zou moeten slopen, zou dat rond de \$50 miljoen kosten. Maar omdat in bergachtige gebieden snel zijwinden ontstaan, zijn de hooggelegen bruggen op die plekken bijzonder geschikt om windenergie op te wekken. In de 'Solar Park South'-competitie werden ingenieurs en ontwerpers gevraagd om manieren te bedenken om de oude bruggen op een duurzame manier te hergebruiken. De tweede prijs ging naar Luisa Saracino, Giovanna Saracino en Francesco Colarossi, het designteam dat het 'Solar Wind'-concept creëerde. In het concept komen er tussen de steunpilaren van een brug 26 windturbines van verschillende afmetingen die 36 miljoen kilowattuur elektriciteit per jaar kunnen produceren. Het oppervlak van de brug zou worden bedekt met zonnecellen, die een verdere 11,2 miljoen kilowattuur stroom produceren. Gecombineerd zouden deze twee energiebronnen voldoende genereren om 15.000 huishoudens van stroom te voorzien.'
- (Edepartment, 2017)

Opslagsystemen

Opslag elektrische energie

Opslag van elektrische energie kan op een chemische of elektrochemische, mechanische, elektrische of thermische wijze plaatsvinden (Ould Amrouche, Rekioua, Rekioua, & Bacha, 2016). Ould Amrouche et al. beschrijven deze wijzen als volgt.

Een chemische of elektrochemische wijze van opslaan van elektrische energie is opslag in diverse typen batterijen zoals nikkel-cadmium (NiCd), nikkel-zink (NiZn) en lood-zuur accu's. De eigenschappen van deze batterijen zijn onder andere hoge efficiëntie van opladen of ontladen, lage zelfontlading en een lange levensduur onder invloed van het cyclisch laden en ontladen. Een ander type van elektrochemische opslag is de opslag van energie in de vorm van waterstof (Hydrogen Energy Storage, HES) bestaande uit een electrolyzer, een opslagtank voor waterstofgas en een brandstofcel. Bij energieoverschot wordt door middel van elektrolyse van water waterstof gevormd en opgeslagen in de tank. Bij een tekort aan energie verloopt het proces andersom en wordt in de brandstofcel elektrische energie opgewekt door de reactie van waterstof en zuurstof uit de lucht, waarbij weer water ontstaat.

Een mechanische wijze van opslaan van elektrische energie is opslag in bijvoorbeeld een vliegwiel (Flywheel Energy Storage, FES), in Pumped Hydro Energy Storage (PHES) of in Compressed Air Energy Storage (CAES).

Een elektrische wijze van opslaan van elektrische energie is bijvoorbeeld opslag in Super capacitor Energy Storage (SES) of opslag in Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES).

Een thermische wijze van opslag van elektrische energie (Thermal Energy Storage, TES) is door verhitten of koelen van verschillende media om de opgeslagen energie in te zetten voor verwarming, koeling en elektriciteitsopwekking. (Ould Amrouche et al, 2016)

Opslagsystemen voor elektrische energie (Electrical Energy Storage, EES) zijn volgens Energy Storage Association (2018) gecategoriseerd in Solid State Batteries, Flow Batteries, Flywheels, Compressed Air Energy Storage (CAES), Thermal en Pumped Hydro-Power.

Solid State Batteries zijn batterijen met elektrochemische cellen die opgeslagen chemische energie kunnen omzetten naar elektrische energie. Voorbeelden hiervan zijn Electrochemical Capacitors, Lithium Ion (LI-ION) Batteries, Nickel-Cadmium (NiCd) Batteries en Sodium Sulfur (NAS) Batteries. Flow Batteries zijn oplaadbare batterijen waarbij twee in vloeistof opgeloste chemische componenten (meestal) gescheiden zijn door middel van een membraam. Voorbeelden van Flow Batteries zijn Redox Flow Batteries, Iron-Chromium (ICB) Flow Batteries, Vanadium Redox (VRB) Flow Batteries en Zinc-Bromine (ZNBR) Flow Batteries. Flywheels zijn roterende mechanische apparaten die de rotatie-energie via een motor kan omzetten in elektrische energie. Compressed Air Energy Batteries zijn opslagmethoden om energie op te slaan voor later gebruik door middel van het opslaan van energie in samengeperste lucht. Voorbeelden hiervan zijn Compressed Air Energy Storage (CAES), Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage (AA-CAES) en Isothermal CAES. Thermal is een energieopslag voor thermische energie in de vorm van warmte of koude. Voorbeelden hiervan zijn Pumped Heat Electrical Storage (PHES), Hydrogen Energy Storage en Liquid Air Energy Storage (LAES). Pumped Hydro-Power maakt gebruik van de zwaartekracht waarbij water opgepompt wordt naar een reservoir en waarbij door middel van turbines elektriciteit door vrijkomend water vervaardigd kan worden. Voorbeelden hiervan zijn Pumped Hydroelectric Storage, Sub-Surface Pumped Hydroelectric Storage, Surface Reservoir Pumped Hydroelectric Storage en Variable Speed Pumped Hydroelectric Storage. (Energy Storage Association, 2018)

Opslag elektrische energie in oude autoaccu's

Een overschot van elektrische energie kan worden opgeslagen in oude autoaccu's. Een voorbeeld hiervan is de opslag van energie uit 4200 zonnepanelen op het dak van de Amsterdam Arena door middel van 148 gebruikte accu's uit elektrische Nissans Leaf, zie Figuur Bijl.7.1. Deze megabatterij heeft een vermogen van 3 MW, een capaciteit van 2,8 MWh en helpt met het ontlasten van het energienet door pieken die tijdens bijvoorbeeld concerten ontstaan af te vlakken. (NOS, 2018; Tissink, 2018)



FIG. BIJL.7.1 Zonnepanelen en energieopslag voor de Arena. Foto overgenomen uit *Grote batterij voor de Arena* door A. Tissink, 2018. Copyright 2018, Cobouw.

Battolyser

Voor grootschalige energieopslag is de Battolyser ontwikkeld die naast opslag van elektrische energie in een nikkel-ijzer batterij ook waterstof kan opslaan in de vorm van ammoniak wat een hoge energiedichtheid bezit, zie Figuur Bijl.7.2 (Mulder et al., 2017).

De battolyser kan op een efficiënte manier elektriciteit opslaan of leveren als een batterij, én water splitsen in waterstof en zuurstof door elektrolyse. De waterstof die bij dit proces vrijkomt kan worden gebruikt om ammoniak te maken. Deze ammoniak kan dienen als CO₂-vrije brandstof in Nuon Magnum . . . Door gascentrale Nuon Magnum gebruik te laten maken van ammoniak, verduurzaamt de elektriciteitsproductie . . . Hierbij komen alleen stikstof en waterdamp vrij, geen CO₂ (NUON, 2016).

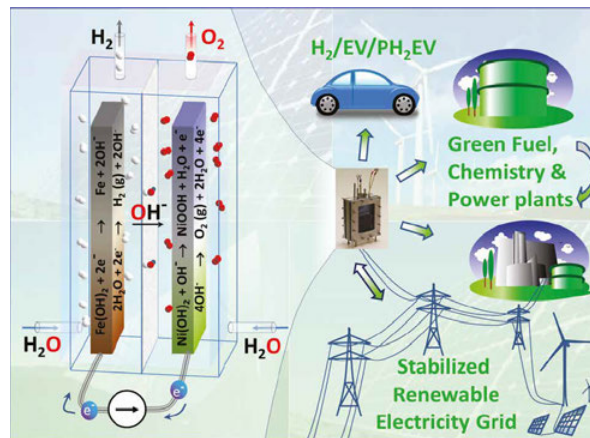


FIG. BIJL.7.2 The Battolyser. Figuur overgenomen uit *Efficient electricity storage with a Battolyser, an integrated Ni-Fe battery and electrolyzer* (p. 2) door F.M. Mulder et al., 2017.

In 2019 komt volgens een persbericht van Proton Ventures een eerste battolyser van 15kW/60kWh in de Eemshaven, ontwikkeld door een joint venture van TU Delft en Proton Ventures, en wordt opgeschaald naar 1 en 10 MW (Proton Ventures, 2018).

Opslag door potentiële en kinetische energie

Het idee van de startup Energy Vault (2018) om betonnen vaten van elk 35.000 kg met behulp van een 120 m hoge kraan op elkaar te stapelen en te laten zakken om zodoende energie op te slaan of energie te fabriceren is een wijze om energie voor langere tijd op te kunnen slaan, zie Figuur Bijl.7.3.

Het concept van Energy Vault kan totaal 20.000 kWh opslaan. Deze hoeveelheid kan voorzien in het gebouw- en gebruikersgebonden energiegebruik van het flatgebouw volgens het rekenmodel met 10 woonlagen en 8 traveeën voor ca. 20 dagen. Ruimtelijk gezien is dit geen zinvolle opslag van energie.



FIG. BIJL.7.3 Opslag van energie door stapelen van betonnen vaten. Figuur overgenomen uit *Stacking concrete blocks is a surprisingly efficient way to store energy* door A. Rathi, 2018. Copyright 2018, Quartz.

Opslag van energie door middel van water wat omhoog gepompt wordt naar een spaarbekken en wat energie oplevert door middel van een turbine bij het omlaag laten stromen van het water is in Nederland moeilijk haalbaar.

Naar aanleiding van de tweede oliecrisis in 1979 is het plan Lievense uit 1981 ontstaan met het Markermeer als spaarbekken met een hoge ringdijk dat wordt gevuld met behulp van windmolens. “Het plan Lievense is een project dat ten doel heeft – om door middel van geaccumuleerde wind- en reststroomenergie – de pieken en dalen in het dagstroomgebruik op een brandstoftechnisch rendabele wijze te kunnen volgen” (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, p. 2, 1980). Bij een stijghoogte van 10 m met een oppervlakte van 700 km² kan 350 TJ opgeslagen worden. Het plan is niet doorgegaan door bezwaren vanwege kosten en landschappelijke en ecologische gevolgen.

Volgens H. Vrijling was het plan Lievense eigenlijk bedoeld voor de opslag van goedkope kernenergie, kerncentrales draaien het goedkoopst op vol vermogen. Na de ontploffing van de kerncentrale in Tsjernobyl in 1986 was deze optie van de baan. (Wassink, 2008)

In 2007 heeft KEMA samen met bureau Lievense een omgekeerd stuwmeer bedacht met een Pomp Accumulatie Centrale (PAC), een zogenaamde valmeercentrale. Het valmeer heeft bentoniet wanden en een bestaande kleilaag als bodem. De oppervlakte bedraagt 40 km² waarin zeewater tot een diepte van 32-40 m onder zeespiegel opgepompt wordt bij energie-overschot en toegelaten wordt tot het meer bij de wens tot levering via waterturbines. Hierbij kan tot 20 gWh (ca. 70TJ) aan energie opgeslagen kan, zie Figuur Bijl.7.4. (De Boer et al., 2007)



FIG. BIJL.7.4 Schets van het Energie-eiland. Figuur overgenomen uit *Energie-eiland, de haalbaarheid van drie verschillende opties van energieopslag voor Nederland* (p. 7) door W.W. De Boer et al., 2007. Copyright 2007, KEMA.

Andere door De Boer et al. beschreven grootschalige opslagtechnieken zijn Compressed Air Energy Storage (CAES), zoals samengeperste lucht in een lege zoutkoepel, en een tweede NorNed-verbinding naar hydro-opslagcapaciteit in Noorwegen.

De Boer et al. concluderen dat bij hoge gasprijzen en relatief veel opgesteld windvermogen, een situatie die op middellange of lange termijn in Nederland van toepassing is, het Energie-eiland een van de aantrekkelijke opties is voor energieopslag.

De benodigde optimale grootte van het energieopslagsysteem zijn bepaald aan de hand van de toepassingsmogelijkheden voor een opslagsysteem. Dit zijn:

1. *Regel- en reservevermogen (RRV) voor onbalansreductie met of zonder windenergie voor PV's en/of TenneT (variabel in te zetten) . . . Onbalans ten gevolge van windenergie is het gerealiseerde windvermogen minus het voorspelde windvermogen . . . De technische noodzaak van RRV heeft vooral te maken met de toename van windenergie en de balanshandhaving.*

2. 'Download' capaciteit 's nachts voor basislasteenheden gekoppeld aan extra productiecapaciteit tijdens piekbelasting . . . Deze toepassing heeft vooral economische voordelen en is in principe niet nodig voor de verbetering van de balanshandhaving.
 3. 'Download' capaciteit 's nachts bij veel windenergie . . . Deze toepassing is vanwege zowel economisch als milieutechnisch van belang.
 4. Extra productiecapaciteit bij koelwater problemen . . . Deze situatie treedt slechts incidenteel op en speelt daardoor slechts een kleine rol in de economische waarde van opslag.
 5. Het leveren van primaire actie . . . De primaire actie onderhoudt de balans tussen vraag en aanbod in het elektriciteitsnet gebruikmakend van machinegebonden regeling . . . Deze toepassing heeft vanwege het relatief geringe aandeel op het totale vermogen een ondergeschikte rol.
- (De Boer et al., 2007, pp. 27-41)

Volgens Benato en Stoppato (2018) biedt een diepe (mijn)schacht in de grond kansen. Een voorbeeld hiervan is de Gravity Power Module. Deze Module bestaat uit een gesloten watercircuit met een diameter van 30-100m in een diepe schacht (500 m-1000 m) in de grond met een omkeerbare pomp-turbine (zie Figuur Bijl. 7.5). De ontwikkelaar Gravity Power verwacht een rendement van hoger dan 80 % voor opslag van energie. De energiedichtheid van dit systeem wordt verwacht in de reeks 0,5-1,5 Wh/l (of 0,5-1,5 Wh/kg) en de vermogensdichtheid 3,13 W/l (of 3,13 W/kg) (Benato & Stoppato, 2018, p. 305).

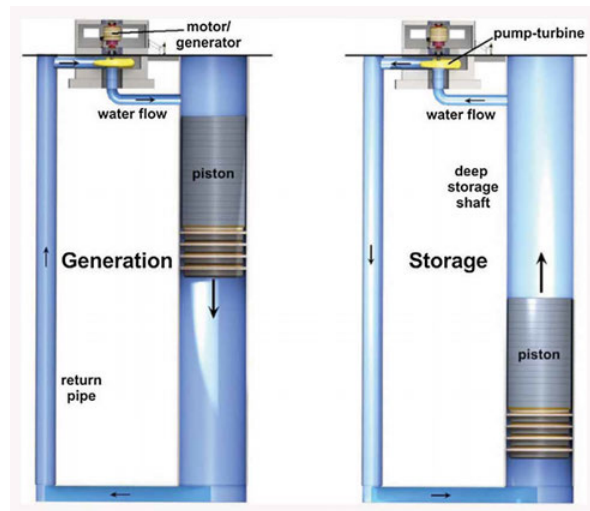


FIG. BIJL.7.5 Gravity Power Module. Figuur overgenomen uit *Pumped thermal electricity storage: A technology overview* (p. 305) door A. Benato en A. Stoppato, 2018. Copyright 2018, Elsevier.

Opslag thermische energie

In de praktijk is het principe van ijs-energieopslag al toegepast voor grotere complexen en op kleinere schaal voor woningbouw.

In het project 'IJs van Columbus' in Proeftuin Slimme Energie Goes-West 21 zijn woningen van woningcorporatie RWS in 2016 voorzien van ondergrondse ijsbuffers voor opslag van energie. Hierbij wordt gebruik gemaakt door opslag van energie in de faseverandering van ijs naar water en bij onttrekking van warmte de faseverandering van water naar ijs. Een zonneluchtcollector zorgt voor het toevoegen van nieuwe energie. In de zomer kan het systeem koelen door de lage temperatuur in de opslag (RWS, 2016).

In Duitsland heeft de firma Viessmann ervaring met energieopslag in ijs bij grotere systemen. Als voorbeeld noemt Viessmann een ijs-energieopslagsysteem van 120 m³ (zie Figuur Bijl.8.1) uit 2017. Door middel van warmtepompen wordt energie uit de faseverandering van ijs gewonnen voor gebouwverwarming. In de zomer kan het gebouw gekoeld worden met behulp van het ijssysteem. Toevoeging van energie voor regeneratie van het ijssysteem gebeurt door middel van PVT-zonne/luchtcollectoren op het dak van het gebouw waarbij warmte wordt gewonnen van de zon en uit de lucht, samen met elektriciteit voor de warmtepompen.

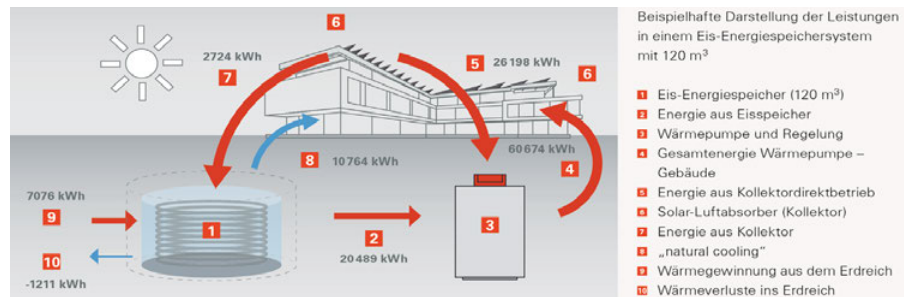


FIG. BIJL.8.1 Ijs-energieopslagsysteem met een ijsopslag van 120 m³. Overgenomen uit *Eis-energiespeichersysteme für Großanlagen: Innovative energiequelle für Sole/Wasser-wärmepumpen* (p. 2) door Viessmann, 2017. Copyright 2017, Viessmann.

Ecovat

Het Ecovat is een grote ondergrondse thermische TTS-seizoensopslag met water tot 90 °C die gevoed wordt door 100 % duurzame warmte uit zonthermische panelen (50 %) en door warmtepompen op windstroom (50 %), zie Figuur Bijl.8.2. Warmte en koude worden via de wand door geleiding aan het vat toegevoegd of onttrokken. Het aanbod aan warmte is onregelmatig, de vraag naar warmte is weersafhankelijk. De vraag naar seizoensopslag is in de praktijk ca. 2,5x kleiner dan de geleverde warmte. Voor renovatie volstaat een labelsprong naar label B, liefst met vloerverwarming of lage temperatuur radiatoren.

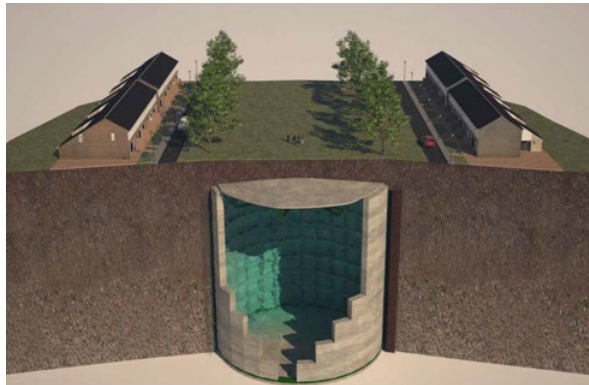


FIG. BIJL.8.2 Ecovat.
Overgenomen uit *Ondergrondse thermische seizoensopslag helpt pieken in het net te voorkomen* door Ecovat, 2018. Copyright 2018, Ecovat.

Warnaars, Kooiman en Den Ouden (2018) hebben we een voorbeeld Ecovat-project gedefinieerd voor 1000 nieuwbouwappartementen met een warmtevraag per appartement van 10 GJ/jaar voor ruimteverwarming en 7 GJ/jaar voor warm tapwater. Bij verliezen van 15 % per jaar in warmtetransport, 7 % per jaar in warmteopslag en 2,5 laadcycli per jaar leiden de uitgangspunten tot een Ecovat met een volume van 32.750 m³. Dit is ca. 36 meter doorsnede en 36 meter diep. (Warnaars, Kooiman, & Den Ouden, 2018, p. 7).

Een extra kans voor de businesscase voor toepassing van het Ecovat ligt in vermeden systeemkosten “door een verminderde piekvraag naar elektriciteit, waardoor minder back-up centrales en een minder verzwaard elektriciteitsnet nodig is”. Systeemkosten zijn “kosten voor het elektriciteitssysteem die momenteel indirect bij de samenleving terechtkomen; netverzwaring en piekcentrales worden aangelegd, gesocialiseerd en daarmee door alle gebruikers betaald” (Warnaars, Kooiman, & Den Ouden, 2018, pp. 4, 15).

Woonenergieconcepten

In 2009 benoemt Leguijt et al. vier woonenergieconcepten gericht op elektriciteit. De vier energieconcepten zijn het Elektrisch zuinig woonconcept, het Piekverlagend woonconcept, het Elektriciteit leverend woonconcept en het Autarkisch woonconcept. De vier technische concepten met bijbehorende focusgebieden zijn volgens Leguijt et al. te beschouwen als steeds verder gaande stappen op weg naar een volledig duurzame energievoorziening.

Het *Elektrisch zuinig woonconcept* bespaart maximaal op het elektriciteitsgebruik (kWh) door verschillende technische interventies zoals het verbeteren van de energie-efficiëntie van elektrische apparaten en feedbacksystemen die inzicht geven in het energiegebruik van apparatuur of van de totale woning. De woning is gekoppeld aan het distributienet voor elektriciteit (Leguijt et al., 2009).

Leguijt et al. benoemen zes opties voor het verbeteren van de energie-efficiëntie binnen dit woonconcept. Ten eerste is dat het verbeteren van de energie-efficiëntie van niet-gebouwgebonden elektrische apparaten zoals in energielabels aangegeven. Het energielabel geeft informatie over het energieverbruik van het apparaat en heeft een schaal variërend van label A+++ tot en met label G. De energielabels zijn verplicht voor koel- en vriesapparatuur, vaatwassers, wasmachines, wasdrogers, airconditioners, televisies, verlichting, ovens en afzuigkappen. (Milieu Centraal, z.d.) Ten tweede kan elektriciteitsbesparing plaatsvinden door middel van feedbacksystemen over het energiegebruik van apparatuur waardoor bewoners regelmatig geconfronteerd worden met hun elektriciteitsgebruik en de kosten daarvan wat tot elektriciteitsbesparing leidt. Ten derde kan elektriciteitsbesparing plaatsvinden door te werken met gebruikersadaptieve regelingen. Een gebruikersadaptieve regeling is een regeling die zich aanpast aan het gedrag van de bewoners, zoals stand-by killers en bewegingssensoren die reageren op aanwezigheid waardoor elektriciteitsvragers automatisch uitgaan indien geen aanwezigheid wordt gedetecteerd. Ten vierde kan elektriciteitsbesparing plaatsvinden door substitutie. Daarbij wordt elektriciteit vervangen door een andere energiedrager. Een voorbeeld van substitutie is een gaswasdroger of een hott-fill vaatwasser. Beide apparaten zijn gebouwgebonden apparaten vanwege

installatietechnische aanpassingen die aan de woning gedaan moeten worden om deze apparaten te kunnen plaatsen. Ten vijfde kan elektriciteitsbesparing plaatsvinden door de vraag naar verlichting terug te brengen via (bouwkundige) maatregelen die zorgen voor optimale lichtinval in de woning. Als laatste kan er sprake zijn van energie-efficiëntie door een concept met een gelijkspanningsnet (DC-net) op woningniveau (Leguijt et al., 2009).

In het innovatieprogramma Stroomversnelling werkte Direct Current bv samen met BAM om een centraal DC-systeem in een nul-op-de-meter (NOM) woning te implementeren. Op het DC-net worden DC USB-wandcontactdozen aangesloten. Deze wandcontactdozen worden gevoed met gelijkspanning waarop alle elektronica die werken op gelijkstroom, zoals bijvoorbeeld de computer, mobiele telefoon en tv, aangesloten kunnen worden (Direct Current, 2016).

Opwekking, vraag en opslag van energie in tijd

De opwekking van energie en het gebruik daarvan verschilt volgens HAN lector Aart-Jan de Graaf (persoonlijke communicatie, 3 april 2017) vaak in tijd. Bij daglicht kan bijvoorbeeld elektrische energie en warmte geogst worden. In de nacht bij heldere hemel kan koude geogst worden. Energiegebruik is de hele dag aan de orde.

Als op korte termijn energie verschoven moet worden qua vraag en aanbod, dan is een beperkte opslag noodzakelijk. Voor opslag van warmte kan de warmtecapaciteit van de materialen van de woning gebruikt worden. De warmtecapaciteit van een materiaal is het vermogen om energie in de vorm van thermische energie op te slaan. De soortelijke warmtecapaciteit van een materiaal is de hoeveelheid warmte die aan een massa van 1 gram van dat materiaal moet worden toegevoegd om de temperatuur met 1 K te verhogen. Het gebruik van de warmtecapaciteit van de woning dempt de dynamiek van uitersten in warmteaanbod en warmtevraag en vermindert daarmee de totale warmtevraag.

Met name de warmtevraag van een woning is tijdafhankelijk. Deze tijdafhankelijkheid is per dag (dag-nachtritme) en per seizoen (verschil binnen- en buitentemperaturen bij dag - nacht). De mate van de warmtevraag is afhankelijk van het optredende warmteverlies onder invloed van de mate van thermische isolatie, de mate van warmteverlies door ventilatie en de mate van warmteopbrengst door apparatuur, verlichting en aanwezige personen.

Het warmteaanbod door de zon is afhankelijk van het tijdstip per dag en afhankelijk van het seizoen (de stand van de zon). Het warmteaanbod is ook afhankelijk van de weersomstandigheden (bewolkt - onbewolkt) en eventuele belemmeringen (groen, screens, bouwkundige belemmeringen). In de zomerperiode wordt overtollige warmte afgevoerd met behulp van ventilatie. Bij opwarming van de woning overdag accumuleert warmte in de materialen van de woning, deze warmte komt in de avond vrij en wordt weggeventileerd met behulp van een nachtventilatie. Deze

nachtventilatie geschiedt door roosters die worden geopend beneden in de woning en bovenin de woning op basis van stijgende warme lucht. Hierdoor kan zonder hulpenergie warmte afgevoerd worden. Voor appartementen in een flatgebouw is deze mogelijkheid minder goed aanwezig en moet hulpenergie toegepast worden voor nachtventilatie.

Als op lange termijn warmte verschoven moet worden, bijvoorbeeld over een jaar gezien perioden van schaarste in aangeboden warmte, dan is uitgebreide opslag nodig. Robuuste opslag van warmte en koude over langere perioden geschiedt bijvoorbeeld met behulp van bodemenergie. Warmte en koude wordt hierbij in de bodem opgeslagen en vormen een bron voor warmtepompen om warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater te produceren en een bron om in de zomer de woning te koelen.

Bij elektriciteitsaanbod door middel van zonnepanelen is ook sprake van een verschil in tijd voor opwekking en gebruik. In het algemeen geven zonnepanelen de grootste productie drie maanden na de grootste vraag naar elektriciteit (zoals door warmtepompen voor warmteopwekking voor ruimteverwarming in de koude winterperiode). Het aanbod van elektrische energie wordt door middel van saldering in het net opgeslagen en uit het net gehaald bij elektrische energievraag. Voor het net betekent dit dat een back-up aanwezig moet zijn om bij veel vraag en weinig aanbod toch in de energievoorziening te kunnen voldoen. Vaak gebeurt dat door de inzet van (fossiele) energiecentrales. Opslag van elektrische energie in het net op basis van saldering ruïneert op korte termijn de businesscase van fossiele energieopwek, maar voor de lange termijn is dit geen goede oplossing. Beter is om zoveel mogelijk gebruik te maken van zoninstraling voor ruimteverwarming en de teveel opgewekte elektrische energie toe te passen voor actieve koeling van de woning.

Bron: interview met HAN lector Aart-Jan de Graaf (persoonlijke communicatie, 3 april 2017)

Arbeidsbesparend bouwen in de Wederopbouwperiode

In 1963 kondigde het Ministerie van Volkshuisvesting en Bouwnijverheid een drastische uitbreiding van de woningproductie aan. In de circulaire M.G. 64-1 van het Ministerie van Volkshuisvesting en Bouwnijverheid aan de colleges van burgemeester en wethouders van gemeenten meldde minister Bogaers op 2 januari 1964 de te volgen methodiek gericht op de expansie van de woningproductie. Hij benoemde hiervoor “het bevorderen van arbeidsbesparend bouwen, het scheppen van continue verloopende productiestromen, een volledig gebruik van industriële bouwcapaciteit en het gebruik van efficiënte woningplannen” (Bogaers, 1964, p. 1). De woningnood bleef echter urgent.

Het arbeidsbesparend bouwen werd in de vorm van het geven van een contingentstoeslag van 25 % in 1964 door minister Bogaers bevorderd. Hierdoor kregen de gemeenten de mogelijkheid meer woningen te laten bouwen. Van elke vier gebouwde systeemwoningen telde er één niet mee voor het toegewezen woningbouwcontingent van het Rijk (Duijvendak & De Vries, 2003, p. 185). “Het belang van deze stimulans moest niet alleen worden gezien in de extra woningen die gebouwd werden, maar eerder in het bevorderen van een moderne produktiewijze die bouwbedrijven zich eigen moesten maken” (Lijbers, Thijssen, & Westra, 1984, p. 40). Een contingent is een door het Rijk aan een gemeente toegewezen aantal woningen dat in een bepaald tijdperk (meestal een jaar) in die gemeente gebouwd mag worden. Contingentering was uit kostenbeheersing een jaarlijkse opstelling van een woningbouwprogramma door het Rijk met de verdeling daarvan over de gemeenten; eerst gebaseerd op behoefte per gemeente, vanaf 1956 gebaseerd op verdeling naar bouwcapaciteit (Blom, Jansen, & Van der Heide, 2004, p. 10). Voorwaarden voor een contingentstoeslag in 1964 waren een efficiënte bouw (zonder storende factoren in bereikbaarheid, terreingesteldheid en aanwezigte

bouwcapaciteit), een efficiënte werkwijze (de aannemer diende over voldoende organisatie, materieel en personeel te beschikken) en een volledige administratie met een door een erkend efficiency-bureau geverifieerde nacalculatie van bestede manuren. Voor de toeslag moest een arbeidsbesparing van tenminste 30 % ten opzichte van vergelijkbare traditionele projecten aangetoond te worden. Tot de arbeidsbesparende bouw werden woningbouw volgens industriële bouwmethoden en de zogenaamde systeembouw gerekend. Hierbij was een lijst van opgenomen bouwsystemen als bijlage (zie Tabel Bijl. 11.1 en Tabel Bijl. 11.2) aan de circulaire toegevoegd waar de 30 % arbeidsbesparing niet afzonderlijk aangetoond hoefde te worden. Indien uit nacalculatie bleek dat aanzienlijk meer arbeidsbesparing was bereikt, dan werd de toeslag op het contingent hoger (Bogaers, 1964a). Later wordt de lijst met industriële woningbouw aangevuld met fabrieken. Daarbij wordt de opmerking gemaakt dat voor de faciliteiten van industriële woningbouw alleen die fabrieken in aanmerking komen die op deze lijst vermeld staan (zie Tabel Bijl. 11.1) (Bogaers, 1964c). Voor additionele woningbouw kunnen in speciale gevallen ook een extra contingentstoewijzing gegeven worden, zoals medewerking van bedrijven van buiten de bouwnijverheid die hun productiecapaciteit richten op het vervaardigen van woningen (Bogaers, 1964b).

De productiestromen konden worden opgezet met contracten voor beperkte of lange termijn (Bogaers, 1963, p. 18). Voor productiestromen werd een continuïteitsgarantie verstrekt in de vorm van het anticiperen op contingentsmogelijkheden of extra toewijzingen in de komende jaren met als voorwaarden dat de aantallen woningen in redelijke verhouding staan tot de capaciteit van het betrokken bouwbedrijf, dat de voorbereiding van de plannen moet geschieden in teamverband (gemeente, opdrachtgever, architect, aannemer, evt. organisatiedeskundige) en dat de voorbereiding van de vervolgpunten tijdig ter hand genomen worden. (Bogaers, 1964a, p. 5)

Voor de industriële woningbouw (zie Tabel Bijl. 11.1) was een behoorlijk productieapparaat nodig. Industriële woningbouw was in het algemeen slechts mogelijk “als er complexen van tenminste 200 à 250 woningen, op één bouwplaats te bouwen, worden aanbesteed” met uitzondering van het systeem Smit II (elementen van Schokbeton) en het systeem B.G., die meer verspreid verwezenlijkt konden worden (Bogaers, 1964a, p. 6). Daarom werden afzetgaranties gegeven onder toezegging van prijzen en kwaliteit. Provinciale besturen werden verplicht om “binnen hun contingent een bepaald aantal volgens deze industriële bouwmethode te bouwen woningen tot uitvoering te doen brengen” (Bogaers, 1963, p. 18; Bogaers, 1964a, p. 5). Een belangrijk deel van de woning werd in speciaal daarvoor ingerichte fabrieken geproduceerd (Bogaers, 1964a, p. 5).

TABEL BIJL. 11.1 *Overzicht industriële woningbouw in 1964. Gecombineerd overgenomen uit *Uitbreiding van de woningproductie (Bijlage 1)* door P.C.W.M. Bogaers, 1964a en uit *Industriële woningbouw en additionele woningbouwcapaciteit (Bijlage)* door P.C.W.M. Bogaers, 1964c.*

Industriële woningbouw (1964)			
Volgnummer	Aanduiding van de bouwwijze	Promotor	Uitvoerend bouwbedrijf
1	'B.G.'	N.V. Bouwfonds Nederlandse Gemeenten te Assen	Bouwbedrijf welke in staat geacht wordt arbeidsbesparend te bouwen.
2	'B.M.B.'	N.V. Nederlandsch Bouwsyndicaat te 's-Gravenhage	N.V. Nederlandsch Bouwsyndicaat-'s-Gravenhage (fabriek te Amsterdam), N.V. Kinsan-Arnhem (fabriek te Lochem), N.V. Heymans Bouw Maatschappij 'Heboma'-Rosmalen (fabriek te 's-Hertogenbosch)
3	'Dura-Coignet'	Dura-Coignet N.V. te Rotterdam	Dura-Coignet N.V.-Rotterdam (fabriek te Rotterdam), Indeco-Coignet N.V.-Zaandam (fabriek te Zaandam), Neduco-Coignet N.V.-Beringen (L) (fabriek te Beringen)
4	'Larsen en Nielsen'	Industriële Bouwmaatschappij 'Elementum' N.V. te Maassluis	Industriële Bouwmaatschappij 'Elementum' N.V.-Maassluis (fabriek te Maassluis), N.V. Noordelijke Bouwelementen Industrie-Kootstertille (Frsl.) (fabriek te Kootstertille)
5	'Rottinghuis'	Rottinghuis Aannemings Mij. te Groningen	Rottinghuis Aannemingsbedrijf-Groningen (fabriek te Groningen), N.V. Gembouw-'s-Gravenhage (fabriek te Rotterdam), N.V. Internationale Bouw Compagnie v/h Firma H. van Heeswijk-Best (fabriek te Best)
6	'Schokbeton'	N.V. Schokbeton te Zeist	N.V. Aannemersbedrijf v/h P.A. van Wijnen-Dordrecht (fabrieken te Zwijndrecht en Kampen), N.V. Aannemersbedrijf v/h/ J. van Egteren-Enschede (fabrieken te Kampen en Hasselt) N.V. Coördinatiebouw-Hilversum (fabriek te Vianen)
7	'Smit II'	Nationaal Grondbezit N.V. te 's-Gravenhage	Nationaal Grondbezit N.V.-'s-Gravenhage (fabriek te Vianen)
8	'V.A.M.'	Intervam N.V. te 's-Gravenhage	Intervam N.V.-'s-Gravenhage (fabriek te Utrecht)

TABEL BIJL.11.2 *Overzicht systeembouw in 1964. Overgenomen uit Uitbreiding van de woningproductie (Bijlage 2) door P.C.W.M. Bogaers, 1964a.*

Systeembouw (1964)			
Volgnummer	Aanduiding van de bouwwijze	Promotor	Uitvoerend bouwbedrijf
1	'Airey'	N.V. Nederlandse Mij. Voor Volkshuisvesting te Amsterdam	Airey Bouwcombinatie N.V.-Amsterdam
2	'Bakker'	Architectenbureau B. Bakker te Dordrecht	Bouwbedrijf welke in staat geacht wordt arbeidsbesparend te bouwen.
3	'Bitcon'	N.V. Aannemingsbedrijf M.Th. Looschelder te Arnhem	N.V. Aannemingsbedrijf M.Th. Looschelder-Arnhem
4	'E.B.A.'	N.V. E.B.A. te Amstelveen	N.V. E.B.A.-Amstelveen
5	'Korrelbeton'	N.V. Aannemersbedrijf v/h P.A. van Wijnen te Dordrecht	N.V. Aannemersbedrijf v/h P.A. van Wijnen-Dordrecht
6	'Muwi'	Muys en De Winter's Bouw- en aannemingsbedrijf te Rotterdam	Muys en De Winter's Bouw- en aannemingsbedrijf- Rotterdam
7	'PéGé'	Verkoop en Exploitatie Mij. Guelen N.V. te Wijchen	Aannemings Mij. Guelen N.V.-Wijchen
8	'Pronto'	Van Vliet en Van Dulst's Bouwbedrijf N.V. te Rotterdam	Van Vliet en Van Dulst's Bouwbedrijf N.V.-Rotterdam
9	'R.B.M.'	Intervam N.V. te 's-Gravenhage	Rijnlandse Betonbouw Mij. N.V.-Amsterdam
10	'Simplex'	N.V. Montagebouw Simplex te De Bilt	N.V. Bouwmaatschappij 'Leeuwarden'-Leeuwarden, Aannemingsbedrijf Gebr.Both-Rotterdam

Aspecten voor analyse van galerijflats

Verhoeks et al. (1995) hebben aspecten voor analyse van bestaande galerijflats in vier hoofdgroepen onderscheiden:

- 1 *Sociale en sociaal-ruimtelijke aspecten.*
- 2 *Functioneel-ruimtelijke aspecten, zoals de toegankelijkheid van het gebouwen en de oppervlakte van de woning.*
- 3 *Bouwtechnische en bouwfysische aspecten en brandveiligheid.*
- 4 *Vormaspecten, zoals bijv. vormwaarneming van de gevel.*
(Verhoeks et al., 1995, p. 33)

Stedenbouwkundige aspecten zijn hierin niet meegenomen.

De sociale en sociaal-ruimtelijke aspecten worden door Verhoeks et al. (1995) onderverdeeld in Doelgroepen, Imago van het gebouw en Sociale veiligheid. Onder Doelgroepen verstaan Verhoeks et al. de verandering van de oorspronkelijke doelgroepen (gezinnen met lage inkomens, 1- en 2-persoons huishoudens en migranten) naar een grotere verscheidenheid aan huishoudenstypen, onder meer door toenemende vergrijzing. Door gewijzigde behoeften en wensen betekent dit het verbeteren van het uiterlijk van het complex en het verbeteren van de woontechnische kwaliteit. Deze kwaliteit kan verbeterd worden door grotere afmetingen van bepaalde ruimten, een beter afwerkingsniveau, het wijzigen van de woningdifferentiatie door herstructurering (woningsplitsing of woningsamenvoeging), door wijziging van de woningindeling, door sloop van een deel van de woningen of een woonlaag (aftopping) of door het bijbouwen van woningen op de begane grond (in plaats van bergingen en gemeenschappelijke ruimten). Daarnaast worden maatregelen genomen die rekening houden met de doelgroep ouderen zoals met betrekking tot de toegankelijkheid (toevoegen van meer liften), rolstoeltoegankelijk maken van de galerijen en maatregelen met betrekking tot de sociale veiligheid (zoals afsluitbaarheid van entrees). (Verhoeks et al., 1995, p. 35)

Onder Imago van het gebouw verstaan Verhoeks et al. het uiterlijk van het gebouw, beveiliging en bouwkundige maatregelen ten behoeve van een bepaalde doelgroep (Verhoeks et al., 1995, p. 35).

Onder Sociale veiligheid verstaan Verhoeks et al. 'Aanwezigheid van sociale ogen', 'Zichtbaarheid', 'Betrokkenheid/verantwoordelijkheid' en 'Attractiviteit'. 'Aanwezigheid van sociale ogen' is de voelbare aanwezigheid van omstanders en zicht vanuit de woningen op de openbare buitenruimte en omgekeerd. 'Zichtbaarheid' is zicht en overzicht vanuit de bebouwing op de (semi-) openbare ruimten en omgekeerd. 'Betrokkenheid/verantwoordelijkheid' van de bewoners bij de woonomgeving vergroot het gevoel van verantwoordelijkheid en daarmee de kans op sociale controle en ook op daadwerkelijk ingrijpen. 'Attractiviteit' van de gebouwde omgeving kan preventief werken op het voorkomen van verloedering, criminaliteit en kan een positief effect hebben op het zich veilig voelen.

Een makkelijke fysieke toegankelijkheid en aanwezigheid van veel vluchtwegen "vergroten de kans dat een potentiële dader overgaat tot een delict. Anderzijds is het van belang dat potentiële slachtoffers gemakkelijk kunnen vluchten". Checkpunten hierbij zijn onder andere duidelijk onderscheid in openbaar en privé, afsluiting van privéruimten en semiopenbare ruimten zoals portieken, berginggangen en galerijen; deugdelijk hang- en sluitwerk en vluchtwegen voor potentiële slachtoffers. (Verhoeks et al., 1995, p. 42)

Functioneel-ruimtelijke aspecten zijn Toegankelijkheid, Ontsluiting, Ontsluitingsstructuur, Oriëntatievermogen, Woontechnische aspecten van een woning, Bouwtechnische en bouwfysische aspecten en Brandveiligheid (Verhoeks et al., 1995).

Verval van naoorlogse woningen

Verval van de naoorlogse woningen

Hoenderbos, Prak en Priemus (1986) verwoorden verval van naoorlogse woningen. Naar aanleiding van de sloop van het naoorlogse complex Noble Street in Newcastle geven zij aan dat “rond dezelfde tijd het duidelijk werd dat de bewoning van de Bijlmermeer op zijn zachtst gezegd anders was dan destijds gepland” (p. 1). Er moest veel en snel gebouwd worden waarbij er “niet altijd over nagedacht werd of een flatgebouw in een gemeente van overwegend eengezinshuizen op den duur wel verhuurbaar zou blijven” (p. 1). Ook onderhoud was volgens hen onderbelicht. Systeembouw was door Stichting Ratiobouw goedgekeurd, maar “sommige belastingen konden niet worden gesimuleerd, en werden verkeerd ingeschat” (p. 1).

Hoenderbos, Prak en Priemus beschrijven voorbeelden van technische onvolkomenheden van systeembouw zoals doorgeroeste verbindingsdraden waarmee Aireyblokken aan het skelet vastzitten, te kleine isolatielagen bij Coignet-woningen ten opzichte van een later aangebrachte verwarmingsinstallatie met als gevolg veel condens in de badcellen, verhardingsversnellers in beton wat in een aantal gevallen heeft geleid tot poreus beton en daarmee roestvorming op de wapening en drastische bezuinigingen op bouwplannen om de kurveprijs te halen met als gevolg minimale houtmaten van kozijnen en wandtegels vervangen door betonemail die na 25 jaar allemaal vervangen moeten worden. (Hoenderbos, Prak, & Priemus, 1986, p. 2)

In die jaren treden er ook woontechnische en sociale problemen op zoals vandalisme en leegstand. Doordat vele corporaties buiten spel waren gezet bij de ontwikkeling van woningen door rechtstreekse onderhandelingen door het ministerie met de dienst volkshuisvesting van grote gemeenten werden exploitatie-ervaringen volgens hen onvoldoende bij ontwerp en uitvoering betrokken.

Het verval van de naoorlogse woningen hebben Hoenderbos, Prak en Priemus uitgewerkt in een vervaltheorie met daarin drie aspecten: sociaal verval, financieel verval en technisch verval. Bijlage

Hoenderbos, Prak en Priemus benoemen een aantal ingrepen:

- A *Bouwkundige ingrepen, zoals betonherstel, verbetering bouwfysische- of woontechnische kwaliteit, algehele renovatie.*
- B *Ontwerpingsgrepen, zoals het opdelen van galerijen, het privatiseren van openbare en semi-openbare ruimten.*
- C *Beheeringrepen, zoals het aanstellen van huismeesters, het inschakelen van huurders bij het beheer (tenant management) of verkoop van appartementen, eventueel in Maatschappelijk Gebonden Eigendom of aan koöperaties.*
- D *Sociale ingrepen zoals huisuitzetting van raddraaiers, meer surveillance van politie of veiligheidsfunctionarissen.*
- E *Doelgroepverandering, bijv. overdracht aan een stichting voor studentenhuysvesting, flatsplitsing t.b.v. jongerenhuysvesting.¹*
- F *Financiële ingrepen, zoals huurverlaging en beperking van servicekosten.*
- G *Verbetering van de stedenbouwkundige kwaliteit.*
(Hoenderbos, Prak, & Priemus, 1986, p. 11)

Woontechnische analyse wordt volgens Hoenderbos, Prak en Priemus gedaan met behulp van de 'design disadvantage' score van Coleman (1985). Daarin benoemt Coleman 15 ontwerpvariabelen: vier variabelen betreffende de grootte (aantal woningen per blok, aantal woningen per entree, aantal woonlagen per blok, aantal lagen per woning), vier variabelen betreffende de circulatie (aantal 'overhead walkways', 'interconnection exits', verticale routes zoals lift en trappenhuis, 'corridor type'), drie variabelen betreffende de entree (positie van de entree, entree type, 'blocks raised above stilts or garages') en vier variabelen betreffende de situatie (ruimtelijke organisatie, 'blocks in the site', 'access points', 'play areas'). Coleman concludeert ten eerste dat de eerste verbeteringen originele ontwerp modificaties moeten zijn die de 'design disadvantage' score verlagen. Ten tweede moeten de bewoners de functie van de modificaties begrijpen en daarvan overtuigd zijn. Ten derde moeten de verbeteringen op een significante schaal gedaan worden. (Hoenderbos, Prak, & Priemus, 1986; Van der Voordt, 1986)

1

Bouwtechnische en bouwfysische aspecten en brandveiligheid worden gerubriceerd in casco, gevel en binnenpakket, of algemener naar drager en inbouw waaronder installaties. Aan bouwdelen zitten gebruiksaspecten, architectonische aspecten, fysische aspecten en technische aspecten.

Thijssen (1990) heeft een bouwconstructieve analyse van naoorlogse meergezinshuizen in de non-profit huursector 1966-1980 gemaakt en beschrijft een aantal bouwtechnische aspecten die ondeugdelijk, gebrekkig, twijfelachtig of neutraal zijn binnen zijn selectie van onderzochte gebouwen. Hij gebruikt daarvoor de indeling Onderbouw, Skelet, Buitenwanden, Buitenkozijnen, Binnenwanden, Vloeren, Galerijen en balkons, Balustrades, Trappen, Daken, Afwerkingen en Afvoervoorzieningen.

Van de door Thijssen ondeugdelijke gekwalificeerde aspecten betreft dit 5 keer de bouwschil en 1 keer de draagstructuur. Van de gebrekkig gekwalificeerde aspecten betreft dit 17 keer de draagstructuur, 7 keer de bouwschil, 4 keer installaties en 2 keer de inbouw.

Volgens Thijssen kenmerkt de woningbouw zich na 1965 door de ontwikkeling van gietbouw en door de kwalitatieve ontwikkeling. De gietbouwmethode steeg van een aandeel van 17 % in de periode 1946-1965 naar een aandeel van 69 % in de periode van 1966 tot 1980. Als nadeel benoemt hij het verschil tussen de erkende gietbouwsystemen (met attest) en de ongeautoriseerde toepassing van gietbouw. Bij de ongeautoriseerde toepassing werden soms noodzakelijke isolaties achterwege gelaten. De kwalitatieve ontwikkeling kenmerkt zich na 1966 door toepassing van meer duurzame materialen zodat toekomstig onderhoud beperkt wordt, een verschuiving ingegeven door de snelle stijging van de loonkosten. Daarnaast is een kwalitatieve ontwikkeling zichtbaar onder invloed van de energiecrisis van eind 1973 door een snelle stijging van de energieprijzen. Gebouwen worden beter geïsoleerd met aandacht voor tocht dichtheid en vochtkering bij de aansluiting van kozijnen aan het metselwerk van de gevel. Pas in 1980 wordt een begin gemaakt met de isolatie van de begane-grondvloer. Opmerkelijk is volgens Thijssen (1990) “de traagheid waarmee in de bouw de juiste kennis over de toepassing van nieuwe materialen en nieuwe constructies weet door te dringen” (p. 217) met allerlei bouwfouten als gevolg. Onjuiste constructies komen volgens Thijssen voort uit “verkeerde zuinigheid, niet-verholpen systeemgebreken, slordige uitvoering, te veel pietluttigheid (bijvoorbeeld het achterwege laten van afstandsblokjes in schoon betonwerk) en het bouwen op daarvoor minder geschikte plaatsen” (p. 218).

De betonkwaliteit van consoles kan minder zijn als geen drukvilt is aangebracht onder de opleggingen van de balkon- en galerijplaten op de consoles met als gevolg dat scheurvorming en afgesprongen betondekking aan de bovenkant van de consoles optreedt. (Thijssen, 1990, p. 190).

Vanuit zijn analyse is een selectie gemaakt van relevante aspecten voor 2019. Relevante aspecten zijn aspecten die extra zorg of aandacht nodig hebben bij de upgrading van de meergezinshuizen. De selectie is onderverdeeld in de lagen volgens Brand (1994) bestaande uit draagstructuur, gevel, installaties en inbouw en onderverdeeld in de thema's akoestisch, thermisch, ventilatie, vocht, materiaalgebruik, stabiliteit en kwaliteit. Het maken van een nieuwe hoogwaardige luchtdichte thermische schil en het voorkomen van thermische bruggen maakt de relevante selectie nog kleiner. Veel door Thijssen genoemde aspecten betreffen de thermische schil of betreffen thermische bruggen die door het aanbrengen van een nieuwe thermische schil niet meer relevant zijn. Daarnaast zijn de woningen in de loop der tijd onderhouden, verbeterd of aangepast. Door Thijssen gekwalificeerde ondeugdelijkheden of gebrekkigheden betreffende de bouwschil is voor upgrading niet interessant, maar wel de aanleiding tot vernieuwing van de bouwschil.

Karakteristieken met waarden Flat 1.0, Flat 2.0 en Flat 3.0

Bijlage 14 laat overzichten zien van karakteristieken met mogelijke waarden voor Flat 1.0 (zie Tabel Bijl.14.1), Flat 2.0 (zie Tabel Bijl.14.2) en Flat 3.0 (zie Tabel Bijl.14.3).

TABEL BIJL.14.1 Karakteristieken met waarden Flat 1.0.

FLAT 1.0	
Karakteristieken van de hoogbouw Wederopbouw flats	Mogelijke waarden bestaande flats
een bepaalde bouwmethode	stapelbouw, grote elementenbouw, gietbouw
een bepaald bouwsysteem	Muwi (galerij), Pronto, BMB, Coignet, Rottinghuis/IBC, VAM, EBA II, ERA, RBM II en Wilma II.
een bepaald installatiesysteem	ruimteverwarming: collectieve blokverwarming. Warmtapwater: geiser in appartement. Ventilatie: natuurlijke toevoer, mechanische afvoer.
een bepaalde rioleringsinstallatie	De rioleringsinstallatie is wat standleidingen betreft aan vervanging toe. Doorgerotte gietijzeren standleidingen geven soms geuroverlast en vormen een risico voor de gezondheid.
een bepaalde kwaliteit	Kwaliteit draagstructuur, ontsluitingen, gebouwschil, dienende elementen (installaties), encenering van de ruimte. Ruimtelijke kwaliteiten (gebruikseisen, functionele eisen), structurele kwaliteiten (technische eisen), Materiële kwaliteiten, esthetische kwaliteiten. De kwaliteiten bevinden zich in een wettelijke, culturele, functionele, economische en ecologische context.
een bepaalde flexibiliteit	ruimtelijke, sociale, technische, fysieke, functionele aanpasbaarheid en verandering. Ruimtelijke flexibiliteit, gebruiksflexibiliteit, technische flexibiliteit.
een bepaalde ontsluiting	portiek (trappen), galerij, lift, gangen
een bepaald woningtype	eengezinswoning
een bepaalde plattegrond	afhankelijk van bouwsysteem en vigerende ontwerpeisen bouwjaar
bepaalde bouwfysische eigenschappen	koudebruggen, kieren en naden, thermisch slecht
een bepaalde energieambitie	
bepaalde afmetingen van het bouwblok	Bestemmingsplan
een bepaald geveltype	Onderdeel van bouwsysteem
een bepaalde gebouwvorm	
een bepaald gebruik van materialen	onderhoudskosten en vervangingskosten
een bepaalde identiteit, belevingswaarde, beeldkwaliteit, architectuur	eenvoudige bouwblokken, architectuur afhankelijk van bouwsysteem. Architectonische waarden bestaan uit functioneel-constructieve kwaliteiten en esthetische kwaliteiten. Galerijflats, positieve kwaliteiten: nadrukkelijke horizontale geleiding door de galerijen en doorlopende balkonstroken, ruime plattegronden en een ruim uitzicht. Negatieve kwaliteiten: lage en benauwde hoofdentrees met een groot blok postkasten daarin verwerkt met een inpandige lifthal en anonimiteit met een ongemakkelijke vorm van dicht op elkaar zitten in relatie tot de galerij.
een bepaald gebruik/woonkwaliteit	Gezinnen. Woningkwaliteit is technische kwaliteit, functionele kwaliteit en esthetische kwaliteit. Technische kwaliteit is het streven naar degelijkheid en duurzaamheid, functionele kwaliteit is het streven naar bruikbaarheid en comfort, esthetische kwaliteit is het streven naar schoonheid en allure.
een bepaalde energetische kwaliteit	Kwaliteit in technisch, functioneel, milieu, sociaal en economisch opzicht. Betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid, veiligheid, gezondheid, omgeving en life cycle costing (RAMSHEC). Bouw- en woontechnische kwaliteitseisen volgens V&W.

>>>

TABEL BIJL.14.1 Karakteristieken met waarden Flat 1.0.

FLAT 1.0	
Karakteristieken van de hoogbouw Wederopbouw flats	Mogelijke waarden bestaande flats
een bepaalde technische kwaliteit	Betonrot, de kwaliteit van spouwankers in kopgevels, thermische bruggen en contactgeluid zijn nu negatieve kenmerken.
een bepaalde comfortkwaliteit	De zeer geringe thermische kwaliteit van de schil van de woning geeft comfortklachten zoals koudeval bij ramen. Thermische bruggen, zoals constructieonderdelen die van binnen naar buiten doorlopen, geven kans op condensatie aan de binnenzijde van de woning wat schimmelvorming tot gevolg kan hebben met kans op gezondheidsklachten. De condensatie kan ook degeneratie van bouwmaterialen tot gevolg hebben zoals houtrot. Ventilatie is vaak ongecontroleerd. Door kieren die zijn gevormd door zettingen tussen bouwdelen, maatafwijkingen, krimp of uitzettingen van materialen, enkelvoudige afsluitingen en/of slordige detailleringen gaat lucht naar binnen of naar buiten, afhankelijk van de loefzijde of de lijzijde van het gebouw. Ongecontroleerde ventilatie van warme vochtige binnenlucht door de constructie naar buiten kan ook condensatie in de constructie ten gevolg hebben met mogelijke degeneratie van bouwmaterialen tot gevolg.
een bepaalde milieukwaliteit	
bepaalde wettelijke minimumeisen	Kwaliteiten van energie, geluid, brandveiligheid en gezondheid van het binnenklimaat

>>>

TABEL BIJL.14.1 Karakteristieken met waarden Flat 1.0.

FLAT 1.0	
Karakteristieken van de hoogbouw Wederopbouw flats	Mogelijke waarden bestaande flats
Voor een specifieke flat bestaat de bestaande stedenbouwkundige ruimtelijke context uit:	
een bepaalde situatie in Nederland	
een bepaalde ruimtelijke ordening (een autonoom gebouw of onderdeel van een bepaalde 'stempel'-wijkstructuur)	Licht, lucht en ruimte, scheiding van wonen en werken en veel groen volgens CIAM.
een bepaalde stedenbouwkundige inpassing	
een bepaalde omgeving (bebouwingen en landschappelijke elementen zoals 'beleefbaar groen')	
een bepaalde verkeersstructuur	
een bepaalde parkeerruimte volgens een bepaalde parkeernorm ten behoeve van de flat	
een bepaalde stedenbouwkundige beeldkwaliteit	Ensemble van bebouwingen.
een bepaalde woningdichtheid	
een bepaalde nabijheid van andere gebouwen	
een bepaalde binding van het gebouw met de omgeving	
een bepaalde sociale veiligheid	
een bepaalde hoofdentree van de flat	Lage benauwde entrees.
een bepaalde oriëntatie ten opzichte van de zon	Woongevels gericht op zon, ontsluitingsgevels niet gericht op de zon.
een bepaalde oriëntatie ten opzichte van wind	
een bepaald geluidniveau	
bepaalde stedenbouwkundige randvoorwaarden	
Voor een specifieke flat bestaat de overige bestaande context uit:	
een politieke context	<niet beschouwd>
een culturele context	<niet beschouwd>
een economische context	<niet beschouwd>
een historische context	<niet beschouwd>
een filosofische context	<niet beschouwd>

Strategieën om warmteverlies te beperken

Zeer minimaal en ten dele niet aanwezig. Thermische bruggen veel voorkomend.

TABEL BIJL.14.2 Karakteristieken met waarden Flat 2.0.

FLAT 2.0	
Karakteristieken van de hoogbouw Wederopbouw flats	Mogelijke waarden met betrekking tot comfort upgrading
een bepaalde bouwmethode	
een bepaald bouwsysteem	Traditionele upgrading.
een bepaald installatiesysteem	Individuele ruimteverwarming en bereiding warmtapwater.
een bepaalde rioleringsinstallatie	Als Flat 1.0.
een bepaalde kwaliteit	
een bepaalde flexibiliteit	Als Flat 1.0.
een bepaalde ontsluiting	Als Flat 1.0.
een bepaald woningtype	
een bepaalde plattegrond	Door het toevoegen van een serrekamer ter plaatse van het balkon ontstaat een bruikbare buitenkamer bij een gesloten pui en een windluwe loggia bij een opengeschoven pui.
bepaalde bouwfysische eigenschappen	Verhoging thermisch comfort; kierdichting.
een bepaalde energieambitie	Energetische renovatie naar label B.
bepaalde afmetingen van het bouwblok	
een bepaald geveltype	
een bepaalde gebouwworm	
een bepaald gebruik van materialen	
een bepaalde identiteit, belevingswaarde, beeldkwaliteit, architectuur	
een bepaald gebruik/woonkwaliteit	Gezinnen, tweeverdieners, alleenstaanden. Verhoging woonkwaliteit. Woontechnische kwaliteit. Deze kwaliteit kan verbeterd worden door grotere afmetingen van bepaalde ruimten, een beter afwerkingsniveau, het wijzigen van de woningdifferentiatie door herstructurering (woningsplitsing of woningsamenvoeging), door wijziging van de woningindeling, door sloop van een deel van de woningen of een woonlaag (aftopping) of door het bijbouwen van woningen op de begane grond (in plaats van bergingen en gemeenschappelijke ruimten).
een bepaalde energetische kwaliteit	De energetische kwaliteit van de woning na de ingreep, de milieubelasting door productie en afvalverwerking van materialen en de te verwachten resterende levensduur. Bouw- en woontechnische kwaliteitseisen volgens Bouwbesluit (bruikbaarheid, veiligheid, gezondheid, energiezuinigheid en milieuvriendelijkheid). Energievraag, Energievoorziening en Jaarlijkse energieprestatie.
een bepaalde technische kwaliteit	
een bepaalde comfortkwaliteit	Kwaliteit van daglicht, thermisch klimaat en binnenluchtkwaliteit. De mentale, fysieke en psychologische percepties van comfort zijn afhankelijk van de persoon, product, gebruik en werk- of leefomgeving.
een bepaalde milieukwaliteit	Milieubelasting, Drinkwatergebruik en Duurzaam materiaalgebruik.
bepaalde wettelijke minimumeisen	Bouwbesluit

>>>

TABEL BIJL.14.2 Karakteristieken met waarden Flat 2.0.

FLAT 2.0	
Karakteristieken van de hoogbouw Wederopbouw flats	Mogelijke waarden met betrekking tot comfort upgrading
Voor een specifieke flat bestaat de bestaande stedenbouwkundige ruimtelijke context uit:	
een bepaalde situatie in Nederland	
een bepaalde ruimtelijke ordening (een autonoom gebouw of onderdeel van een bepaalde 'stempel'-wijkstructuur)	Licht, lucht en ruimte, veel groen, plint met sociale functies.
een bepaalde stedenbouwkundige inpassing	Inbedding in omgeving.
een bepaalde omgeving (bebouwingen en landschappelijke elementen zoals 'beleefbaar groen')	
een bepaalde verkeersstructuur	
een bepaalde parkeerruimte volgens een bepaalde parkeernorm ten behoeve van de flat	
een bepaalde stedenbouwkundige beeldkwaliteit	
een bepaalde woningdichtheid	
een bepaalde nabijheid van andere gebouwen	
een bepaalde binding van het gebouw met de omgeving	
een bepaalde sociale veiligheid	Verbetering sociale veiligheid: 'Aanwezigheid van sociale ogen', 'Zichtbaarheid', 'Betrokkenheid/verantwoordelijkheid' en 'Attractiviteit'.
een bepaalde hoofdentree van de flat	Eigen identiteit door grote, lichte, dubbelhoge entreepaviljoens waardoor de entree gemarkeerd is en uitnodigend, herkenbaar en sociaal veilig is.
een bepaalde oriëntatie ten opzichte van de zon	
een bepaalde oriëntatie ten opzichte van wind	
een bepaald geluidniveau	Geluidisolatie t.b.v. comfort.
bepaalde stedenbouwkundige randvoorwaarden	
Voor een specifieke flat bestaat de overige bestaande context uit:	
een politieke context	
een culturele context	
een economische context	
een historische context	
een filosofische context	
Strategieën om warmteverlies te beperken	
Minimaal energielabel B	

TABEL BIJL.14.3 Karakteristieken met waarden Flat 3.0.

FLAT 3.0	
Karakteristieken van de hoogbouw Wederopbouw flats	Mogelijke waarden met betrekking tot energetische upgrading
een bepaalde bouwmethode	
een bepaald bouwsysteem	Industriële upgrading, assemblage op de bouwplaats, planmatige ambachtelijke voorbereiding.
een bepaald installatiesysteem	Lage temperatuurverwarming, balansventilatie met warmterugwinning. Opwekking en opslag duurzame energie op/aan eigen gebouw. Verticale ontsluiting installatietechniek aan ontsluitingsgevel bij galerijflats.
een bepaalde rioleringsinstallatie	Als Flat 1.0.
een bepaalde kwaliteit	Alle toevoegingen gebaseerd op toegankelijke lagenbenadering, modulair en circulair van aard.
een bepaalde flexibiliteit	Losmaakbaar in verband met circulariteit.
een bepaalde ontsluiting	Galerij: nieuwe galerijstructuur ter verbetering van overgang privé-openbaar, betere toegankelijkheid rolstoel en scootmobielgebruik, modulair en circulair van aard. Interface gebied voor betere bereikbare en onderhoudbare verticale ontsluiting installaties.
een bepaald woningtype	Toegankelijkheid, eengezinswoning, kleine huishoudens.
een bepaalde plattegrond	
bepaalde bouwfysische eigenschappen	Geen koudebruggen, geen kieren, hoog thermisch comfortniveau.
een bepaalde energieambitie	Energieneutraal, energieleverend, NOM; de maximale genormeerde hoeveelheid energie voor gebouwgebonden energie (BENG, energieneutraal); de maximale hoeveelheid energie voor gebouwgebonden en gebruiksgebonden energie (NOM, energieleverend); de maximale hoeveelheid gebouwgebonden, gebruikersgebonden, embodied en recurrent energie; hoeveelheid zelf op te wekken duurzame energie systeemgrens gebouw, wijk, stadsdeel, stad; de visie van de eigenaar met betrekking tot investeringen naar CO ₂ -neutraal en circulair in 2050; de balans tussen financiële kosten en baten in relatie tot economische levensduur van het gebouw; de bodemgesteldheid voor toepassing van opslag van warmte/koude of voor toepassing van geothermie (zie Paragraaf 3.6.3); de mogelijkheid voor thermische energie uit oppervlaktewater, afvalwater of drinkwater (zie Paragraaf 3.6.3); de aanwezigheid van (duurzame) stadsverwarming voor de energievraag voor ruimteverwarming en/of warm tapwater; de aanwezigheid van externe duurzame energiebronnen; 'van aardgas af'.
bepaalde afmetingen van het bouwblok	
een bepaald geveltype	Een bepaalde mate van geslotenheid van de gevels t.b.v. energieopwekking. Een bepaalde oriëntatie van het gevelvlak, een bepaalde hellingshoek van het gevelvlak, de mate van beschaduwing op het gevelvlak, de temperatuur van de PV-module. Opwekking elektrische energie. Oogsten van warmte. Oogsten van koude.
een bepaalde gebouwworm	
een bepaald gebruik van materialen	

>>>

TABEL BIJL.14.3 Karakteristieken met waarden Flat 3.0.

FLAT 3.0	
Karakteristieken van de hoogbouw Wederopbouw flats	Mogelijke waarden met betrekking tot energetische upgrading
een bepaalde identiteit, belevingswaarde, beeldkwaliteit, architectuur	Extra belevingswaarde door zongerichte PV-vlakken: golvende PV-dakvlakken, getrapte PV-gevelvlakken, Circulaire toevoegingen. Groenwanden bij externe opwek van duurzame energie.
een bepaald gebruik/woonkwaliteit	Verhoging woonkwaliteit door betere toegankelijkheid. Bij galerijontsluiting sociale afstand openbaar-privé.
een bepaalde energetische kwaliteit	De energetische kwaliteit van de woning na de ingreep, de milieubelasting door productie en afvalverwerking van materialen en de te verwachten resterende levensduur. Nieuwe circulaire toevoegingen voor waardebehoud en verlengde LCA. Herstellen van de kwaliteit van grondstoffen (embodied energy) door circulaire economie.
een bepaalde technische kwaliteit	Amoveren van slecht functionerende onderdelen onder invloed van thermische bruggen, betonrot.
een bepaalde comfortkwaliteit	
een bepaalde milieukwaliteit	Nieuwe elementen en componenten: ontworpen op circulariteit en modulariteit.
bepaalde wettelijke minimumeisen	Energieneutraal en circulair in 2050.
Voor een specifieke flat bestaat de bestaande stedenbouwkundige ruimtelijke context uit:	
een bepaalde situatie in Nederland	
een bepaalde ruimtelijke ordening (een autonoom gebouw of onderdeel van een bepaalde 'stempel'-wijkstructuur)	als Flat 2.0
een bepaalde stedenbouwkundige inpassing	
een bepaalde omgeving (bebouwingen en landschappelijke elementen zoals 'beleefbaar groen')	Bezinning, beschaduwning, (grond)reflectiecoëfficiënt.
een bepaalde verkeersstructuur	
een bepaalde parkeerruimte volgens een bepaalde parkeernorm ten behoeve van de flat	Parkeerruimte met PV-overkappingen voor opladen elektrische auto's.
een bepaalde stedenbouwkundige beeldkwaliteit	
een bepaalde woningdichtheid	
een bepaalde nabijheid van andere gebouwen	Bezinning, beschaduwning.
een bepaalde binding van het gebouw met de omgeving	
een bepaalde sociale veiligheid	
een bepaalde hoofdentree van de flat	
een bepaalde oriëntatie ten opzichte van de zon	PV-gevels gericht op de zon.
een bepaalde oriëntatie ten opzichte van wind	Windenergie: systeemgrens gebouw, wijk, stadsdeel, stad, provincie, landelijk (zee).
een bepaald geluidniveau	
bepaalde stedenbouwkundige randvoorwaarden	

>>>

TABEL BIJL.14.3 Karakteristieken met waarden Flat 3.0.

FLAT 3.0	
Karakteristieken van de hoogbouw Wederopbouw flats	Mogelijke waarden met betrekking tot energetische upgrading
Voor een specifieke flat bestaat de overige bestaande context uit:	
een politieke context	
een culturele context	
een economische context	
een historische context	
een filosofische context	

Strategieën om warmteverlies te beperken	
Positie 1	Binnen de woning, betreft zonering in de plattegrond en box-in-box-constructies. Deze positie heeft functionele en/of thermische eigenschappen.
Positie 2	Aan de binnenzijde van de schil, betreft maatregelen ter verlaging van warmteverlies door de schil aan de binnenzijde van de schil. De buitenzijde blijft hierdoor in tact, bijvoorbeeld voor renovatie van gevels met beschermde gevelaanzichten. Deze positie heeft thermische eigenschappen en in functionele eigenschappen (bijvoorbeeld vermindering van ruimtediepte).
Positie 3	In de schil zelf, betreft schilvervanging of maatregelen in de schil ter verlaging van warmteverlies door de schil. Deze positie heeft bij schilvervanging esthetische en thermische eigenschappen. Bij maatregelen in de schil heeft deze thermische eigenschappen.
Positie 4	Aan de buitenzijde van de schil, betreft een uitbreiding van de bestaande gevel in de vorm van voorzetgevels al dan niet vast aan de bestaande gevel. Deze positie heeft zowel constructieve, esthetische, functionele als thermische eigenschappen. De context, zoals bestaande rooilijnen, mag geen belemmeringen vormen.
Positie 5	Buiten de woning, betreft extra voorzieningen ter verlaging van warmteverlies door de schil. Deze positie heeft zowel constructieve, functionele, esthetische als thermische eigenschappen. De context, zoals bestaande rooilijnen, mag geen belemmeringen vormen.

Energetische upgrading van Nederlandse Wederopbouw flats

Frits Schultheiss

Introductie | De gebouwde omgeving wordt energieneutraal en circulair, daarvoor zijn renovatie-concepten nodig. Voor hoogbouw woningen is hierover weinig kennis beschikbaar. Het onderzoek richt zich op Nederlandse Wederopbouw hoogbouw systeemwoningen uit de periode 1950-1975 met focus op het ruimtelijk energetische deel van een industrieel gericht upgradeconcept.

Methoden | Het onderzoek is ingedeeld in Flat 1.0 (bestaande hoogbouwsystemen), Flat 2.0 (comfort upgrades) en Flat 3.0 (gebouwmodel, upgrading en overcladding met ontwerpprincipes).

Resultaten | Uit Flat 1.0 toont technische, bouwfysische, sociale en functionele onvolkomenheden. De geslotenheid van woon- en ontsluitingsgevels voor energieopwekking varieert per bouwmethode: voor stapelbouw 36-68 %, voor zware montagebouw 20-48 % en voor gietbouw 10-26 %. Flat 2.0 laat oplossingen zien die echter vaak suboptimaal zijn om tot een energieneutraalgebouw te kunnen komen. Flat 3.0 bewijst met een energetisch gebouwmodel dat bij woningen met een geslotenheid van de woon- en ontsluitingsgevel van 40 % en de kopse gevels en dak van 100 % op jaarbasis het gebouw en gebruiker in haar eigen energie kan voorzien. Boven de 10 woonlagen is daarvoor een geslotenheid van 50 % vereist. Een elektrische auto als mogelijke toevoeging aan gebruikersgebonden energie is niet haalbaar. Een circulaire overcladding met industriële modulaire tiny active flat house modules inclusief een vernieuwde balkon- en toegankelijke galerijstructuur is een kans voor energetische en functionele upgrading en voor extra wooneenheden voor kleine huishoudens.

Conclusie | Een circulaire industriële overcladding met de tiny active flat house modules in combinatie met een vernieuwde balkon- en galerijstructuur met installatietechniek en upgrading van de bestaande gevels is een nieuw technisch energieneutraal upgrade concept.

A+BE | Architecture and the Built Environment | TU Delft BK