



EnergieVademecum

Energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen

2020



Colofon

Uitgave

Klimapedia, kennisbank voor bouwfysica, binnenmilieu, installaties en duurzaamheid (www.klimapedia.nl), zesde, herziene uitgave, 2020.

ISSO, kennisinstituut voor de installatiesector (kennisbank.issو.nl), 2020.

Versie 6.00

Tekst en samenstelling

BOOM-SI, Milieukundig Onderzoek-& OntwerpBuro, Delft

ir. Ernest Israëls †

ir. Frank Stofberg

ir. Ieke Kuijpers - van Gaalen (DGMR)

Klankbordgroep

ir. Claudia Bouwens (NEPROM, Lente-akkoord)

ir. Leo Gommans (Faculteit Bouwkunde TU Delft, Hogeschool Zuyd, Heerlen)

ir. Kees van der Linden (Klimapedia, AaCee Bouwen en Milieu)

drs. ing. Harry Nieman (Instituut voor Bouwkwaliteit / Hogeschool Windesheim-Zwolle)

dr. ir. Noortje Alders (ISSO)

ing. Klaas de Vries (RVO.nl)

ir. Harry van Weele (ISSO)

drs. Ruud van Wordragen (RVO.nl)

Opdrachtgever

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl)

De uitgave 2015 is op verzoek van de partners van het Lente-akkoord gerealiseerd, de actualisaties van 2017 en 2020 op verzoek van RVO.

Illustraties

ISSO en BOOM-SI, tenzij anders vermeld

Fotografie

BOOM-SI, tenzij anders vermeld

Vormgeving

ISSO, Rotterdam

Verkrijgbaarheid

Online te raadplegen en te downloaden via www.klimapedia.nl

Online te raadplegen via <https://kennisbank.issو.nl>

Uitgeverij

Delft Digital Press

ISBN 978905291381

info@delftdigitalpress.com

Omslag

Project Professor Schoemaker Plantage in Delft, NOM - woningen. Gebiedsontwikkeling AM Wonen, architect: Bedaux de Brouwer architecten

© 2020 Stichting Kennisbank Bouwfysica

Aan deze uitgave kunnen geen rechten worden ontleend. Ofschoon deze uitgave met de grootst mogelijke zorg is samengesteld, kunnen de opdrachtgever, de samenstellers en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele fouten.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd of opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand zonder schriftelijke toestemming van Klimapedia.

Met dank aan de personen, bedrijven en instanties die ideeën, informatie en/of illustraties verschaffen. In het bijzonder dank aan de leden van de klankbordgroep voor hun opbouwende kritiek. RVO, Klimapedia en de auteurs houden zich aanbevolen voor op- en aanmerkingen van de gebruikers van het EnergieVademecum.

Introductie

De energetische kwaliteit van Nederlandse nieuwbouwwoningen heeft de volle aandacht van de bouwpraktijk. De aanscherping van de energieprestatie-eisen zorgen voor ontwikkeling, verbetering en toepassing van steeds meer energiebesparende technieken. Om deze technieken goed tot hun recht te laten komen, is het belangrijk dat ze op een juiste wijze gebruikt worden zodat het comfort gewaarborgd blijft. Talloze rapporten, brochures en sites met handige 'tools' over energiebesparing zijn inmiddels verschenen. De daarin opgeslagen kennis blijkt niet altijd even toegankelijk voor de dagelijkse bouwpraktijk.

Doel

Het Vademecum beoogt om de kennis over energiebewust ontwerpen te bundelen tot een overzichtelijk en samenhangend geheel. De nadruk ligt op concrete, direct toepasbare richtlijnen en hulpmiddelen voor het ontwerp van nieuwbouwwoningen. Het Vademecum geeft ook aanwijzingen voor uitvoering, beheer en bewonerszaken. Voor achtergrondinformatie, 'tools' en dergelijke wordt verwezen naar literatuur en sites. Het Vademecum bevat ook nuttige informatie voor woningrenovatie, maar bedacht moet worden dat daarbij regelgeving en technische mogelijkheden vaak anders zijn.

Doelgroep

Het Vademecum is bedoeld voor ieder die betrokken is bij het ontwerpen en realiseren van nieuwbouwwoningen, zoals architecten, opdrachtgevers, aannemers, installateurs en beoordelende instanties. Maar ook studenten zullen het Vademecum veelvuldig kunnen gebruiken bij studiecases en scripties.

Uitgave 2020 (zesde uitgave)

Deze uitgave is een herziening van de update van 2017 waarin de recente internationale en nationale ontwikkelingen rond het energiebeleid aan de orde zijn gekomen en o.a. sites en 'links' geactualiseerd zijn.

De belangrijkste wijzigingen in deze uitgave betreffen de nieuwe wetgeving op het gebied van energieprestatie, de NTA 8800, die per 1 januari 2021 de NEN 7120 vervangt. Hierin zal de energieprestatie voor nieuwbouw (voorheen EPC) niet in 1 maar in 3 (BENG) indicatoren uitgedrukt worden.

1. Energiebehoefte [kWh/m^2];
2. Primair energiegebruik [kWh/m^2];
3. Aandeel hernieuwbare energie [%].

Daarnaast wordt een nieuwe vangnet-eis geïntroduceerd in de bouwregelgeving, de temperatuuroverschrijdingsindicator TO_{juli} . Deze wordt gelijktijdig met de energieprestatie-indicatoren berekend volgens NTA 8800.

De referentiewoningen van RVO (bijlage 4) zijn ook geactualiseerd naar de BENG.

Verder zijn alle cijfers, tabellen en figuren geactualiseerd waar nodig en de recente ontwikkelingen in energiebeleid wereldwijd en in de EU in het bijzonder worden omschreven.

Leeswijzer

Er zijn een 3-tal 'aanvliegroutes' mogelijk om de gewenste informatie in het Vademecum te vinden:

1. Via de 'Checklist Energiebewust ontwerpen';
2. Via hoofdstukken gericht op een specifiek onderwerp;
3. Via illustraties zoals foto's, tabellen en grafieken.

Ad 1 'Checklist Energiebewust ontwerpen'

In de checklist staan de belangrijkste onderwerpen die van invloed zijn op het energieverbruik in een woningontwerp. In paragraaf 3.3 staat de checklist op hoofdpunten, in de hoofdstukken 3 t/m 10 is deze

gedetailleerd uitgewerkt in deelchecklisten voor het betreffende hoofdstuk. De checklists zijn onderverdeeld in de bouwfasen:

- Initiatief / Haalbaarheid / Projectdefinitie;
- Structuurontwerp / Voorontwerp;
- Definitief ontwerp / Technisch Ontwerp;
- Uitvoering;
- Gebruik / Exploitatie.

Ad 2 Hoofdstukken

Het Vademeicum is opgebouwd uit 10 hoofdstukken en een aantal bijlagen. De hoofdstukken 1 t/m 3 geven achtergrondinformatie over energieverbruik, beleid en energiebewust ontwerpen.

Hoofdstuk 1 geeft een beeld van het energieverbruik wereldwijd en in Nederland en de consequenties daarvan. Hoofdstuk 2 gaat in op de hoofdlijnen van het Nederlandse energiebeleid en de bijbehorende regelgeving. Ook wordt een relatie gelegd met de Europese regelgeving op het gebied van energiebesparing (Energy Performance Building Directive: EPBD) die daarop van grote invloed is. Hoofdstuk 3 behandelt energiebewust ontwerpen en gaat in op het proces om te komen tot energiezuinige woningbouw (ambitie, programma van eisen, strategie). Dit hoofdstuk geeft o.a. een checklist met relevante onderwerpen (per fase in het bouwproces, met verwijzingen naar gerelateerde onderwerpen in het Vademeicum) en voorbeeldpakketten die voldoen aan de BENG-eisen.

De hoofdstukken 4 t/m 10 gaan in op de ontwerpaspecten en concrete maatregelen die het energieverbruik van een woning beïnvloeden. Ze worden per thema behandeld.

Hoofdstuk 4 beschrijft het ruimtelijk ontwerp in relatie tot het energieverbruik. Het ontwerp heeft grote invloed op het energieverbruik (denk aan de omvang van het buitenoppervlak) en op de mogelijkheden voor de toepassing van duurzame energie. De bouwkundige materialisering is beschreven in hoofdstuk 5. Warmte-isolatie, detaillering, het voorkomen van koudebruggen, een goede naad- en kierdichting en de thermische massa krijgen veel aandacht. In de hoofdstukken 6 t/m 10 komen de diverse installaties aan de orde die samen van grote invloed zijn op het energieverbruik en het comfort. Ook wordt het belang van goede bewonersinstructies behandeld om installaties op de juiste wijze te gebruiken.

In hoofdstuk 6 komen ventilatiesystemen aan de orde. Ook hier ruime aandacht voor een goede detaillering, maar ook voor de regeling en het onderhoud. Voor bewonersinstructies wordt verwezen naar specifieke sites. In dit hoofdstuk komt ook passieve nachtkoeling aan de orde met het oog op een comfortabel binnenklimaat in de zomer zonder dat mechanische koeling (airco) nodig is.

Hoofdstuk 7 behandelt de systemen voor (collectieve) ruimteverwarming (en soms koeling) met eveneens veel aandacht voor detaillering, regeling en onderhoud. Aan bod komt de samenhang met de bouwkundige constructie en de mogelijkheden voor (hoge temperatuur) koeling via vloer- en wandverwarmingssystemen.

In hoofdstuk 8 wordt kort ingegaan op 'actieve' koeling. Een dergelijke koeling moet vanuit het oogpunt van energiebesparing vermeden worden. Er zijn diverse alternatieven zoals 'passieve' koeling (zie paragraaf 6.8) en vrije koeling met behulp van de bodem als koudebron. Neem altijd eerst maatregelen om te hoge temperaturen te voorkomen zoals het toepassen van zonwering.

Hoofdstuk 9 behandelt de opwekking van warmtapwater. Ook het beperken van de vraag naar warmwater komt aan de orde; een belangrijk aandachtsveld omdat het aandeel van warmwater in het totale energieverbruik in een nieuwbouwwoning globaal gelijk is aan dat van ruimteverwarming.

Hoofdstuk 10 gaat in op het elektriciteitsverbruik zowel voor de installaties, verlichting als huishoudelijke apparatuur. Daarnaast komt duurzame opwekking van elektriciteit (PV-cellen) aan bod voor zover dat op of rond de woning of het bouwblok interessant is.

Verdiepings- en achtergrond informatie:

In de literatuurlijst is een overzicht opgenomen met relevante literatuur en sites.

In de bijlagen is informatie te vinden over o.a. bouwfysische begrippen, energie-eenheden en referentiewoningen.

Ad 3 Illustraties

Het Vademecum is rijkelijk voorzien van foto's en andere illustraties die de tekstblokken visueel ondersteunen. Op basis hiervan is het mogelijk om een snelle indruk te krijgen van de behandelde onderwerpen. Het Vademecum geeft op die manier een letterlijke doorkijk naar de praktijk.

Het Energie Vademecum is alleen in digitale vorm beschikbaar. Wel is er een pdf-versie die eenvoudig te printen is.

Verwijzingen

In de tekst wordt de volgende verwijzing gebruikt:

- [..] naar literatuur of andere bron die opgenomen zijn in de literatuurlijst: dus bijvoorbeeld [32];

Inhoudsopgave

Introductie.....	1
Inhoudsopgave	5
1 Energieverbruik.....	9
1.1 Maatschappelijke aspecten energieverbruik	9
1.1.1 Voorzieningszekerheid.....	9
1.1.2 Milieudruk en energieverbruik	10
1.2 Ontwikkeling energieverbruik	11
1.2.1 Wereldenergieverbruik	11
1.2.2 Energieverbruik Nederland.....	13
1.3 Energieverbruik Nederlandse huishoudens	16
2 Energiebeleid	21
2.1 Grondslagen	21
2.1.1 Kyoto-Protocol verlengd, Klimaatakkoord Parijs	21
2.1.2 Diverse visie/beleidsrapporten, het Energieakkoord en het Klimaatakkoord	22
2.2 Regelgeving	24
2.2.1 Bouwbesluit.....	24
2.2.2 Energielabel	25
2.3 Beleidsinstrumenten	26
2.3.1 Energieprestatie van Gebouwen - NTA 8800 en NEN 7120	26
2.3.2 Energie-eenheden in NEN 7120 en NTA 8800	31
2.3.3 NEN 7125: Energieprestatienorm voor Maatregelen op Gebiedsniveau (EMG)	32
3 Energiebewust ontwerpen	33
3.1 Ambitie en programma van eisen	34
3.2 Strategie energiebewust ontwerpen	35
3.3 Checklist bij ontwerp energieuwige nieuwbouwwoning	36
3.4 Energiebesparende maatregelen en pakketten.....	39
3.5 Zeer energieuwige (woning)concepten	40
3.6 Passiefhuis	44
4 Ruimtelijk ontwerp	47
4.1 Vorm en oriëntatie van bebouwing	48
4.1.1 Compactheid bouwblok	48
4.1.2 Oriëntatie dak en gevel	49
4.1.3 Belemmering van zoninstraling en daglichttoetreding	53
4.2 Passief gebruik van zonne-energie (PZE).....	54
4.2.1 Zoninstraling door ramen	55
4.2.2 Woningplattegrond	58
4.2.3 Onverwarmde serre	59
4.2.4 Atrium	62
4.2.5 Gevelcollectoren en Trombemuren	64
4.3 Daglicht	64
4.4 (Opstellings)ruimte installaties	67
4.5 Verkeersontsluiting en stimuleren langzaam verkeer.....	68
5 Bouwkundige elementen woningschil	71
5.1 Thermische isolatie, thermische bruggen en luchtdichtheid	73
5.1.1 Fundering, kruipruimte en begane grondvloer.....	78
5.1.2 Dak	83

5.1.3	'Gesloten' gevelddelen.....	87
5.1.4	Woningscheidende wand en vloer.....	93
5.1.5	Kozijnen, ramen en deuren	95
5.2	Beglazing	99
5.2.1	Warmteverlies	100
5.2.2	Zonwering	102
5.2.3	Daglichttoetreding	105
5.3	Bouwkundige 'massa': zwaar of licht bouwen?	105
6	Ventilatie	107
6.1	Binnenluchtkwaliteit.....	109
6.1.1	'Luchtverontreinigende' bronnen.....	110
6.1.2	Kwaliteit toegevoerde buitenlucht.....	110
6.2	Benodigde ventilatie	112
6.2.1	Capaciteit.....	112
6.2.2	Effectiviteit en efficiency ventilatiesystemen	115
6.2.3	Bruikbaarheid.....	117
6.3	Ventilatiesystemen.....	119
6.4	Natuurlijke toe- en afvoer (systeem A).....	122
6.5	Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (systeem C).....	125
6.6	Gebalanceerde ventilatie met WTW (systeem D)	128
6.7	Hybride ventilatie.....	134
6.8	Zomernacht- en grondbuiskoeling (passieve koeling)	135
6.9	Bediening en regelingen.....	137
7	Ruimteverwarming	139
7.1	Verwarmingsvraag	141
7.2	Afgiftesysteem.....	142
7.2.1	Hoge/lage temperatuur	143
7.2.2	Lage temperatuur radiatoren en convectoren.....	145
7.2.3	Vloerverwarming en wandverwarming.....	148
7.2.4	Luchtverwarming (en koeling)	153
7.2.5	Lokale verwarming	156
7.2.6	Distributie en regeling.....	158
7.3	Warmte-opwekking.....	163
7.3.1	Energie.....	163
7.3.2	CV-ketel	164
7.3.3	Warmtepomp	169
7.3.4	Warmte/kracht-koppeling (WKK).....	176
7.3.5	Biomassa ketel	177
7.3.6	Geothermie of aardwarmte	178
7.3.7	Cascade opstelling	178
7.3.8	Zonneboilercombi.....	180
7.3.9	Warmte-opslag (en koudeopslag - WKO)	180
7.4	Collectieve verwarming	183
7.4.1	Regeling.....	186
7.4.2	Bemetering	187
8	Koeling	189
8.1	Koelvraag	190
8.2	Afgiftesystemen	191
8.2.1	Hoge/lage temperatuur	191
8.2.2	Vloer- en wandkoeling.....	192
8.2.3	Betonkernactivering	193
8.2.4	'Airconditioningsystemen'	193
8.3	Koude-opwekking	195
8.3.1	Compressiekoelmachine	195

8.3.2	Absorptiekoelmachine	196
8.3.3	Warmtepomp in zomerbedrijf	196
8.3.4	Vrije koeling	196
9	Warmtapwater.....	197
9.1	Tapwatervraag, tappunten.....	198
9.1.1	Waterbesparende voorzieningen	199
9.1.2	Watertemperatuur	200
9.1.3	Warmteterugwinning (WTW) uit douchewater	201
9.1.4	Hot-fill was- en vaatwasapparatuur.....	203
9.2	Leidingen (tapwaterdistributie)	203
9.2.1	Leidingen in de woning	203
9.2.2	(Circulatie)leidingen collectieve installaties	204
9.2.3	Leidingisolatie.....	205
9.3	Warmwatertoestellen.....	206
9.3.1	Doorstroomtoestellen	209
9.3.2	Voorraadtoestellen.....	210
9.3.3	Combigasketels.....	211
9.3.4	Collectieve installaties tapwaterverwarming	211
9.3.5	Zonneboiler	213
9.3.6	Warmtepompboiler	219
9.3.7	Combiwarmtepomp	221
9.3.8	Boosterwarmtepomp.....	221
10	Elektriciteit	223
10.1	Beperken elektriciteitsverbruik	224
10.1.1	Besparing bij woning- en gebouwontwerp en installaties.....	227
10.1.2	Huishoudelijke apparaten en verlichting.....	227
10.2	Duurzame elektriciteit.....	228
10.2.1	PV-systemen.....	228
10.2.2	Windturbines.....	237
Bijlage 1 Bouwfysische begrippen.....	239	
1.1	Behaaglijkheid.....	239
1.2	Transmissie	241
1.3	Ventilatie en luchtdoorlatendheid.....	244
1.4	Zon- lichttoetreding	246
1.5	Vocht	247
Bijlage 2 Energie-eenheden	248	
Bijlage 3 Soortelijke massa en λ-waarde van bouwmaterialen	249	
Bijlage 4 BENG referentiewoningen van RVO	251	
Bijlage 5 Indicatie energietarieven	253	
Bijlage 6 Informatie energiebesparing bestaande bouw	254	
Bijlage 7 Zonnebaan en zonne-instralingsdiagram.....	255	
Literatuurlijst	257	

1 Energieverbruik

Het energieverbruik groeit wereldwijd sterk: De laatste 45 jaar verdrievoudigde dit totale verbruik ruim. Landen als China, India en Brazilië gaven in die periode een nog veel sterkere stijging te zien. Alleen in 2009 daalde het totale verbruik licht als gevolg van de economische crisis die in veel landen optrad. De algemene verwachting is dat het totale wereldenergieverbruik de komende decennia nog zal toenemen, evenals de emissie van CO₂. Wat er daarna gebeurt is erg afhankelijk van het energiebeleid op korte en langere termijn.

Iets wat ook speelt is de voorzieningszekerheid voor energie: Energiebronnen zijn de inzet geworden van een internationaal politiek spel, wat leidt tot toenemende spanningen en onzekerheden.

In paragraaf 1.1 komen o.a. milieueffecten van het energieverbruik aan bod en in paragraaf 1.2 de ontwikkeling van de energievraag op landelijk en wereld niveau. In paragraaf 1.3 wordt het energieverbruik van huishoudens in ons land verder uitgediept.

1.1 Maatschappelijke aspecten energieverbruik

De economieën van de geïndustrialiseerde landen zijn vrijwel volledig afhankelijk van betaalbare en direct beschikbare energie. Die energie is op dit moment vooral afkomstig uit de fossiele brandstoffen zoals olie, aardgas en kolen. Het gebruik van deze fossiele brandstoffen heeft ingrijpende consequenties. Niet alleen stijgt de milieudruk (paragraaf 1.1.2), ook is door politieke verhoudingen de levering van voldoende energie niet zeker (paragraaf 1.1.1).

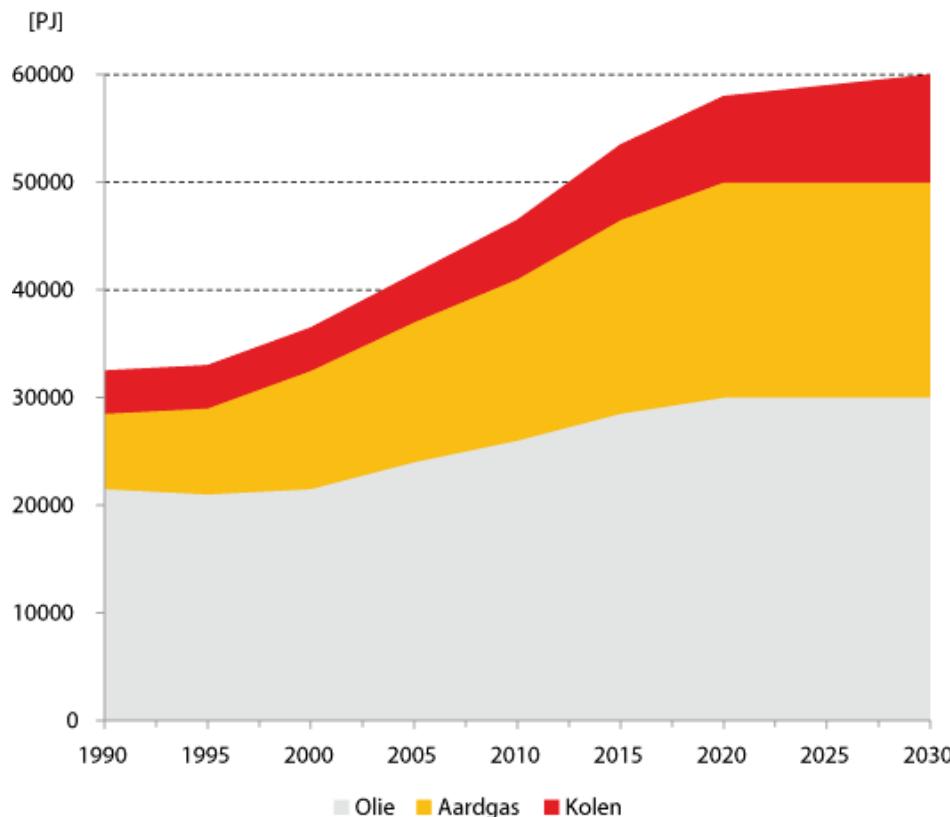
1.1.1 Voorzieningszekerheid

'Voorzieningszekerheid' houdt in de mate van zekerheid die er is over de beschikbaarheid van voldoende energiebronnen nu en in de toekomst. Daarvoor wordt o.a. gekeken naar de mondiale energievoorraadden in relatie tot het verbruik en naar de geografische spreiding van de energiebronnen.

Op wereldschaal is op kortere termijn niet zozeer schaarste aan energie een probleem maar de verkrijgbaarheid van die energie. Daarbij komt dat zeker tot 2030 fossiele energie in ruim 80% van de mondiale energievraag zal voorzien. De olie- en gasbronnen bevinden zich nogal eens in gebieden waarvan de politieke en/of economische stabiliteit te wensen overlaat.

Voor de Europese Unie (EU) ziet deze voorzieningszekerheid er niet rooskleurig uit: De EU beschikt zelf over beperkte olie- en gasvoorraaden en is op dit moment al voor 50% afhankelijk van OPEC-landen en Rusland (bron: Eurostat juli 2018). Deze afhankelijkheid zal vermoedelijk nog aanzienlijk stijgen ondanks het EU besluit (juni 2018) dat in 2030 ruim 30% van het energieverbruik duurzaam moet zijn.

Het gebruik van fossiele brandstof zal tot 2030 zeker nog toenemen. Afhankelijk van de realisatie van energiebesparende maatregelen en inzet van duurzame energie zal dit gebruik mogelijk gaan afvlakken en uiteindelijk afnemen.



Afb. 1.1 Afhankelijkheid van import energiebronnen voor het 'Baseline'-scenario voor de EU; (Bron: Europese Commissie, Commission staff working document EU energy policy data, SEC(2007) 12)

1.1.2 Milieudruk en energieverbruik

Het huidige gebruik van fossiele energie en kernenergie heeft ingrijpende milieu-consequenties: De aantasting en vervuiling van landschappen spelen vooral lokaal. De emissie van broeikasgassen en de dreigende schaarste aan energiebronnen hebben wereldwijd gevolgen.

Aantasting en vervuiling

De winning en het transport van fossiele brandstoffen veroorzaken diverse vormen van aantasting en verontreiniging. Zo veroorzaakt de winning van aardgas bodemdaling in het noorden van ons land en treden bij het transport van olie per schip of pijpleiding soms ernstige verontreinigingen op. Bij de productie van elektriciteit komt veel warm koelwater vrij en bij kernenergie speelt o.a. de problematiek van het radioactieve afval. Bij de verbranding van kolen, olie en aardgas komen stikstoxyde (NO_x) en kooldioxide (CO_2) vrij. Bij kolen en olie komen bovendien ook zwaveldioxide (SO_2) en koolwaterstoffen vrij. NO_x en SO_2 dragen bij aan de verzuring van het milieu en CO_2 draagt sterk bij aan het broeikaseffect (bron: www.clo.nl).

Klimaatverandering

De toegenomen uitstoot van 'broeikasgassen' levert, zo is nu wel erkend, ernstige problemen op ten aanzien van het klimaat op wereldschaal. De problemen worden nog vergroot door de voortgaande grootschalige ontbossing. Sinds 1990 is de mondiale uitstoot van CO_2 door gebruik van fossiele brandstoffen en cementproductie met circa 60% toegenomen [6]. In het Klimaatakkoord van Parijs (december 2015) is afgesproken er alles aan te doen om de temperatuur met ruim minder dan 2 °C te laten stijgen ten opzichte van het niveau van voor de industriële revolutie. Gestreefd wordt naar niet meer dan 1,5°C. Om deze temperatuurdoelstelling te halen moeten de wereldwijde emissies van broeikasgassen sterk afnemen, nog sterker dan tot voor kort gedacht [2].

In de laatste 100 jaar was er een temperatuurstijging van gemiddeld 1 °C wereldwijd (KNMI, nieuwsbericht 19-1-2017) en van 1,7 °C in Nederland [16]. Een stijging van de gemiddelde temperatuur van 1 à 2 °C kan voor ons land al grote gevolgen hebben, zoals een grotere kans op overstromingen in de kustgebieden, hoge rivierafvoeren en hete droge zomers [16]. Zelfs bij een sterke vermindering van de

emissies van broeikasgassen gaan klimaatveranderingen nog heel lang door vanwege de vertraagde reactie van het klimaatsysteem.

Zie ook '[Klimaatverandering](#)' [5], '[dossier klimaatverandering](#)' [17] en [www.klimaatscenarios.nl](#).

Uitputting

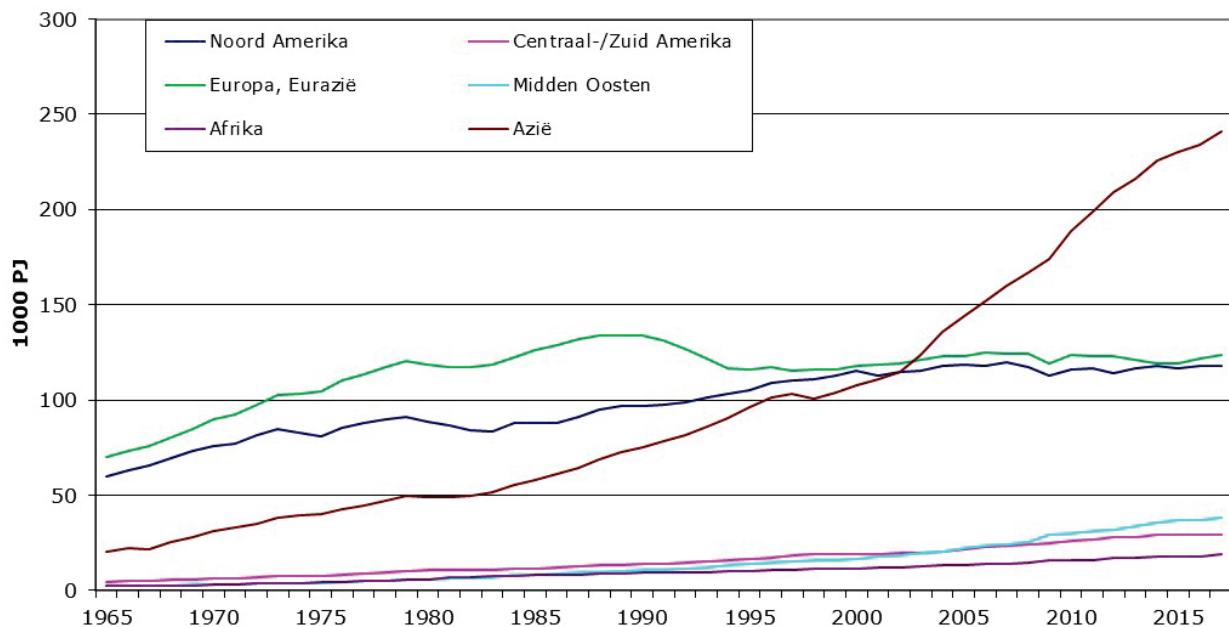
Met name de olie- en gasvoorraadden zijn beperkt. De thans bewezen mondiale reserves van aardolie en aardgas zijn genoeg voor ruim 50 jaar [3]. Bij steenkool ligt dat nog rond de 135 jaar. Hierbij wordt uitgegaan van het verbruik in 2017. Het is wel aannemelijk dat er nog meer winbare voorraaden zijn [2]. De reserves zullen door nieuwe vondsten en verbeterde winningstechnieken toenemen. Het verbruik zal echter de komende decennia blijven stijgen (zie paragraaf 1.1). Genoemde periodes moeten dus met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd.

Datzelfde geldt ook voor uranium, de brandstof voor kerncentrales. Uitgaande van het wereldverbruik anno 2011 is er volgens [18] nog een voorraad voor meer dan 100 jaar. Als het gebruik van kernenergie wereldwijd echter sterk zou toenemen, is de voorraad slechts voldoende voor globaal 20 jaar uitgaande van de situatie in 2007 [7].

1.2 Ontwikkeling energieverbruik

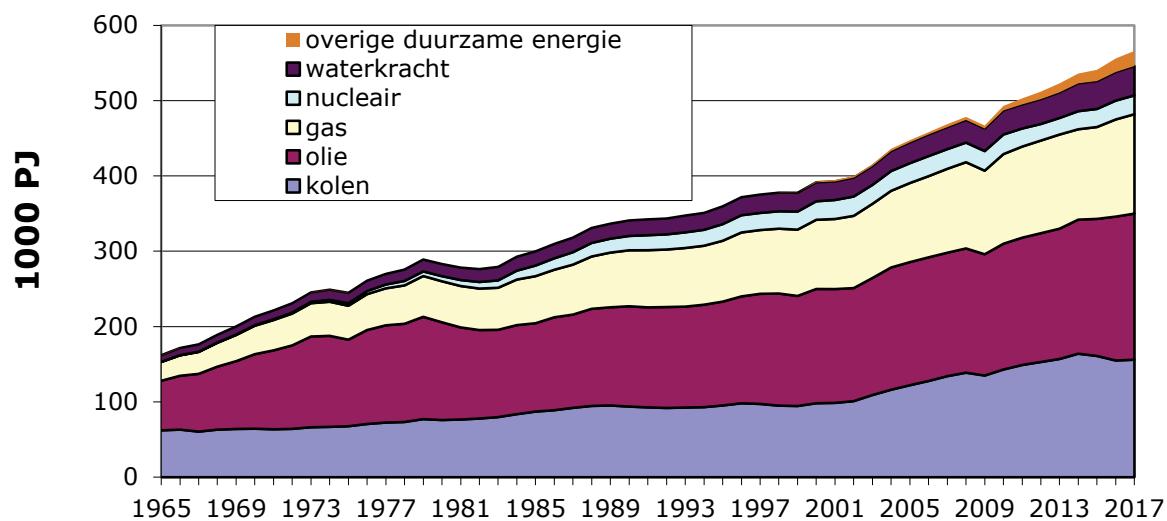
1.2.1 Wereldenergieverbruik

Het wereldenergieverbruik is in de afgelopen 50 jaar ruim verdrievoudigd. Hiervoor zijn vooral Noord Amerika, Europa en Azië verantwoordelijk (afbeeldingen 1.2 en 1.3). Het energieverbruik van Azië valt hierin op door de extreme stijging vanaf het jaar 2000 [3]. In Europa en Noord-Amerika blijft de laatste jaren de vraag naar energie vrij stabiel.



Afb. 1.2 Het wereldenergieverbruik (primaire energie) per werelddeel [3]

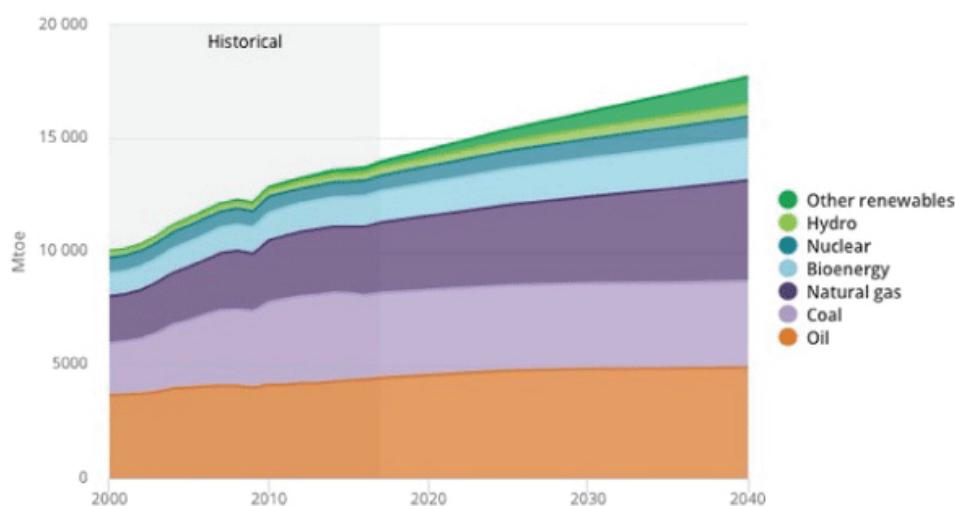
Olie, gas en kolen zijn de belangrijkste energiedragers in de wereld (afbeelding 1.3). Het aandeel duurzame energie is nog zeer beperkt, maar neemt snel toe.

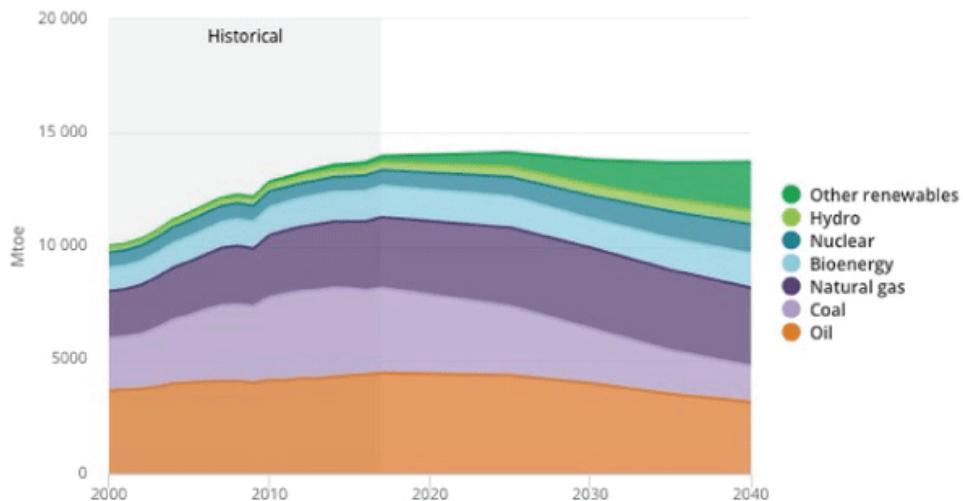


Afb. 1.3 Het primaire wereldenergieverbruik per energiedrager [3]

Toekomstig verbruik: scenario's

Met behulp van scenario's is inzicht te krijgen in mogelijke ontwikkelingen in het energieverbruik voor de komende decennia. Er zijn diverse scenario's in omloop die bijvoorbeeld contrasteren in de mate van internationale verwevenheid (globalisering versus regionalisering), in de keuze tussen efficiëntie en solidariteit of in de inzet van de verschillende energiebronnen. Al die scenario's hebben gemeen dat fossiele brandstoffen nog jarenlang een belangrijk aandeel zullen hebben. Zie afbeelding 1.4 voor 2 voorbeelden van scenario's. Afhankelijk van de realisatie van energiebesparende maatregelen en inzet van duurzame energie kan dit verbruik van fossiele brandstof gaan afvlakken en uiteindelijk afnemen. Het Klimaatakkoord van Parijs (2015) vraagt echter om een drastische reductie van het gebruik van fossiele energie, tot dichtbij nul in 2050!



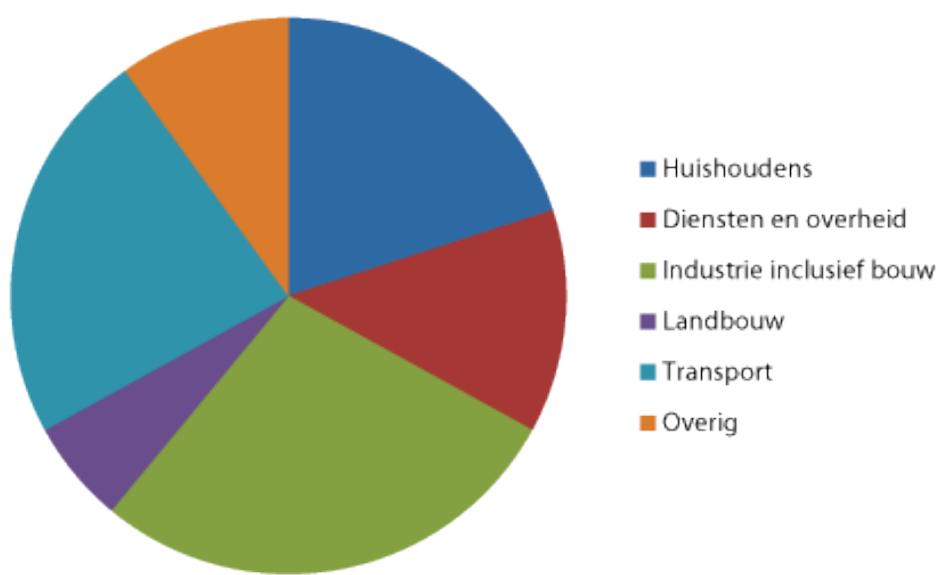


Afb. 1.4 De (mogelijke) ontwikkeling van het wereldenergieverbruik tot 2040 volgens 2 scenario's: de bovenste (NPS) geeft het verbruik weer volgens het huidige beleid, de onderste (SDS) het verbruik volgens een integrale duurzame aanpak (Bron: IEA [8])

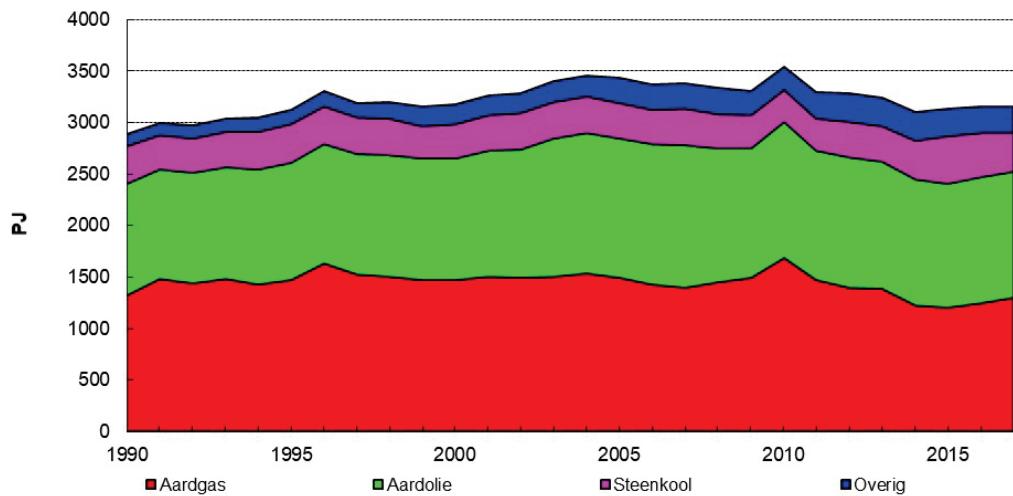
1.2.2 Energieverbruik Nederland

Het totale energieverbruik bedroeg in 2017 in Nederland 3150 PJ, in 2014 bijna 3100 PJ (bron: CBS). Hiervan verbruikten de huishoudens ruim 20% (afbeelding 1.5). Het totale verbruik steeg in de periode 1990-2017 met bijna 10% (afbeelding 1.6). Het totale verbruik door huishoudens bleef in die periode echter min of meer gelijk (afbeelding 1.8), uitgezonderd enkele pieken in tussenliggende jaren. Aardgas en aardolie zijn de belangrijkste energiedrageren in Nederland (afbeelding 1.6).

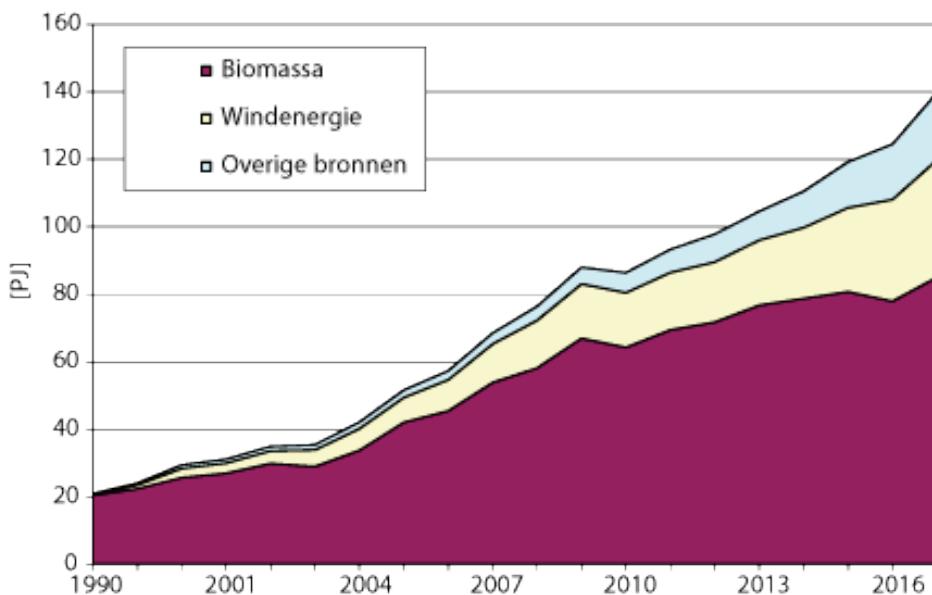
Duurzame energie draagt steeds meer bij aan de Nederlandse energievoorziening. Daarbij zijn biomassa en wind verreweg het belangrijkst (afbeelding 1.7a en b). In 'Hernieuwbare energie in Nederland 2017' [10] is veel informatie hierover te vinden. In 2019 is 8,6% duurzaam in ons land opgewekt (bron: Netbeheer Nederland).



Afb. 1.5 Verdeling van het totale Nederlandse primaire energieverbruik naar sector in 2014; het gaat alleen om verbruik voor energetische toepassingen, dus niet bijvoorbeeld om olie voor plastics. Onder 'overig' valt o.a. het energieverbruik voor internationaal vliegverkeer, voor eigen gebruik van elektriciteitsproductiebedrijven en netverliezen. Bron: Nationale Energieverkenning 2016 [261].



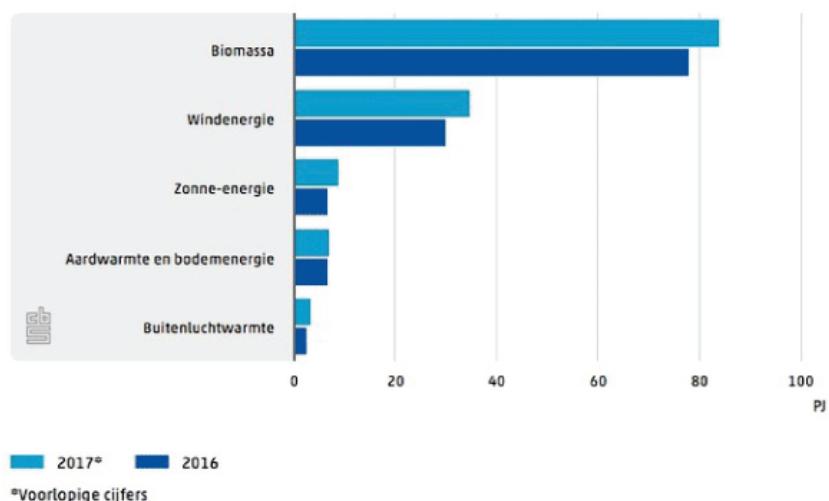
Afb. 1.6 Nederlands energieverbruik per energiedrager in de periode 1990-2017 (bron: CBS, 2017 betreft voorlopige cijfers) [9]. Onder 'overig' valt o.a. duurzame energie, kernenergie, invoersaldo elektriciteit en afval



Afb. 1.7a Verdeling van de diverse duurzame ('hernewbare') bronnen in ons land in PJ [10]; Onder 'overige bronnen' vallen waterkracht , zonne-energie, bodemenergie en buitenluchtwarmte.

Verbruik van hernieuwbare energie naar energiebron (Petajoule)

☰



Afb. 1.7b Opbrengst van de diverse duurzame bronnen in PJ in Nederland voor 2016 en 2017* (*voorlopige cijfers). Bron: CBS.

Toekomstig verbruik

In 'Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving' [11] zijn voor Nederland twee referentiescenario's beschreven met onder andere aandacht voor klimaat en energie. Ondanks de aanname van een aanzienlijke groei van het aandeel hernieuwbare energie in 2030 en 2050, daalt het gebruik van fossiele energie maar langzaam. De uitstoot van CO₂ daalt in 2050 met 45% of 65%, afhankelijk van het scenario. Beide scenario's voldoen daarom niet aan het overheidsbeleid (anno 2017) dat gericht is op een CO₂-daling van 80 tot 95% in 2050 ten opzichte van 1990 [12]. Waarschijnlijk wordt dit beleid nog verder aangescherpt volgens het voorstel voor de Klimaatwet, in december 2018 door de Tweede Kamer aangenomen. Hierin is vastgelegd hoe het Nederlandse beleid invulling geeft aan het Klimaatakkoord van Parijs. In het wetsontwerp staat dat de uitstoot van broeikasgassen in 2030 met minimaal 55% en in 2050 met minimaal 95% moet zijn afgenumten ten opzichte van 1990. De elektriciteitsproductie moet 100% CO₂-neutraal zijn.

Uitgaande van een CO₂-reductie van 80% en een bepaald toekomstbeeld voor Nederland, is een andere serie scenario's gemaakt [14]. In deze scenario's wordt gevarieerd met de bijdrage van diverse hernieuwbare energiebronnen en fossiele bronnen met afvang en opslag van CO₂ (carbon capture and storage - afgekort CCS) en zonder. Conclusie uit [14]: 'Op basis van de huidige beschikbare kennis is de inzet van vrijwel alle nu bekende CO₂-arme energiebronnen en technologieën vereist voor het bereiken van de gewenste CO₂-reductie. Energiebesparing, biomassa, schone elektriciteitsproductie, en afvang en opvang van CO₂ zullen richting 2050 waarschijnlijk robuuste elementen in de energiemix zijn. De mate waarin is afhankelijk van zowel de vraag naar energie als het aanbod van diverse (deels nog te ontwikkelen) energieopties en de betaalbaarheid daarvan.'

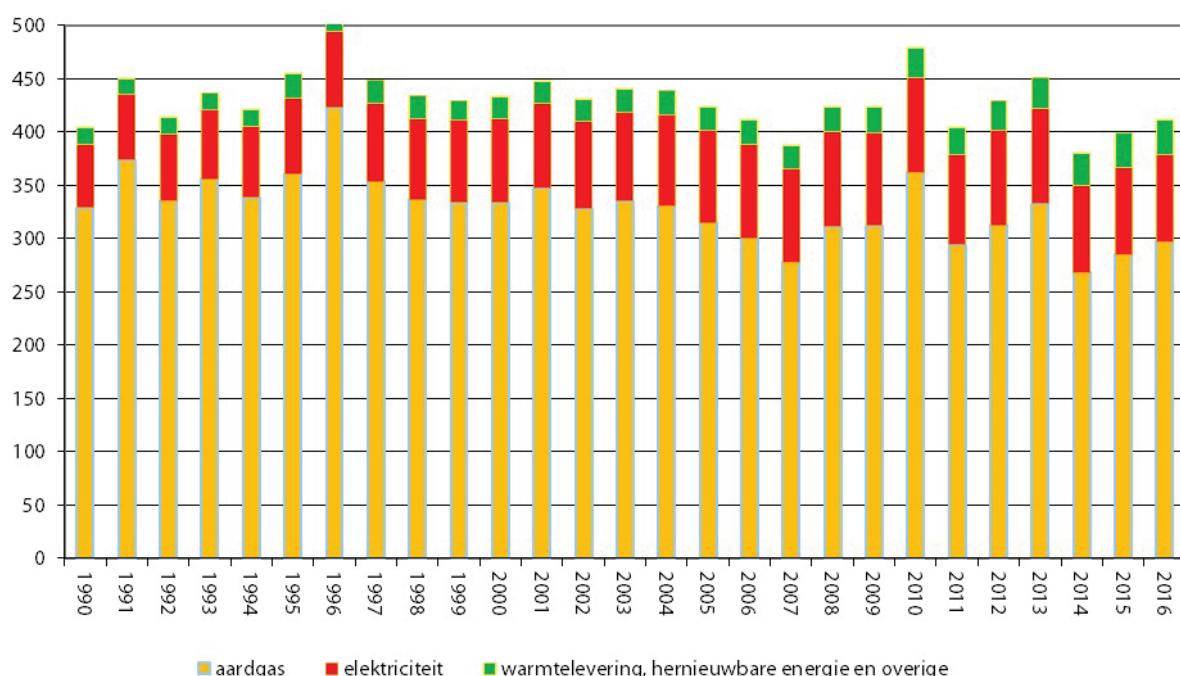
Een geheel ander beeld schept het scenario van Urgenda [18]. Hierin wordt geschatst hoe ons land in 2030 geheel kan zijn overgestapt op duurzame energie en dus dan al CO₂-vrij is. Belangrijk uitgangspunt hierbij is dat dan de energiebehoefte met 50% is afgenumten ten opzichte van het huidige energieverbruik, dit door een groot aantal maatregelen. Zo moeten dan ook bijna alle bestaande woningen en overige gebouwen energieneutraal zijn. Wind en zon zijn de belangrijkste energiebronnen, aangevuld met biomassa.

1.3 Energieverbruik Nederlandse huishoudens

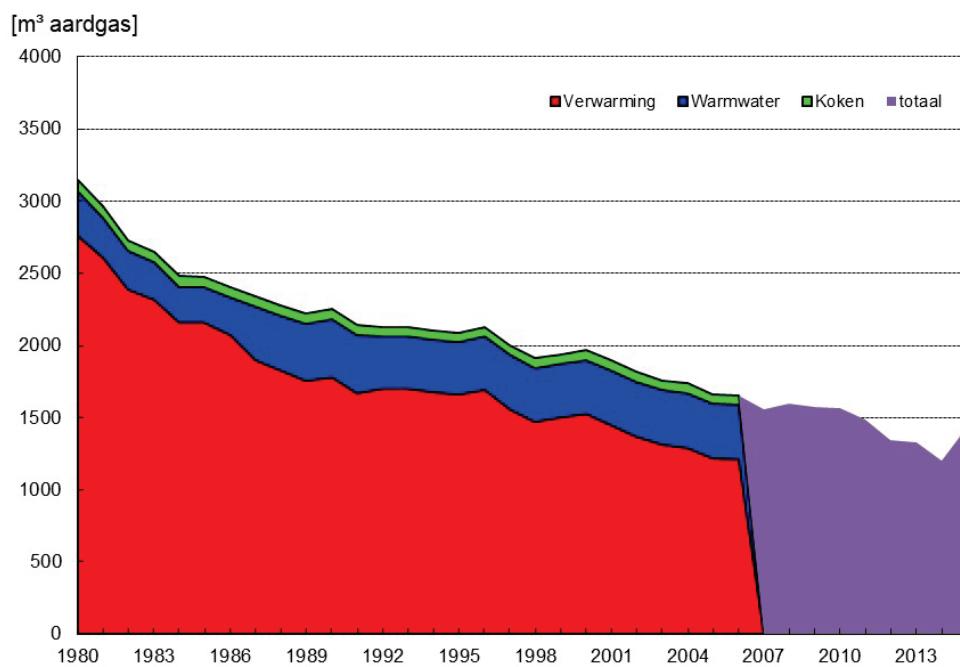
Het jaarlijkse totale energieverbruik van alle huishoudens schommelt al jaren (1990 - 2016) rond 430 PJ (afbeelding 1.8). Dit ondanks de toename in die periode van het aantal huishoudens van 6 naar ruim 7,5 miljoen. Pieken en dalen in het verbruik zijn grotendeels te verklaren door koude en zachte stookseizoenen. Het min of meer constante totale energieverbruik is te verklaren door de sterke daling van het gemiddelde jaarlijkse energieverbruik voor ruimteverwarming per huishouden (afbeelding 1.9). Het gemiddelde energieverbruik voor warmtapwater per huishouden is in die periode echter meer dan verdubbeld.

In afbeelding 1.10 is het gasverbruik voor alleen ruimteverwarming voor een gemiddelde nieuwbouwrijtjeswoning naar bouwjaar aangegeven. Vooral door de toename van warmte-isolatie en kierdichting vanaf 1973, het jaar van de eerste 'energiecrisis', daalt het energieverbruik sterk. Het gemiddelde elektriciteitsverbruik per huishouden daalde vanaf 1980 eerst nog en begon vanaf 1989 te stijgen tot 2008 waarna het verbruik weer ging dalen. Dit komt waarschijnlijk door o.a. zuiniger huishoudelijke apparaten, zuiniger verlichting [20] en door zelf opgewekte zonnestroom (afbeelding 1.11).

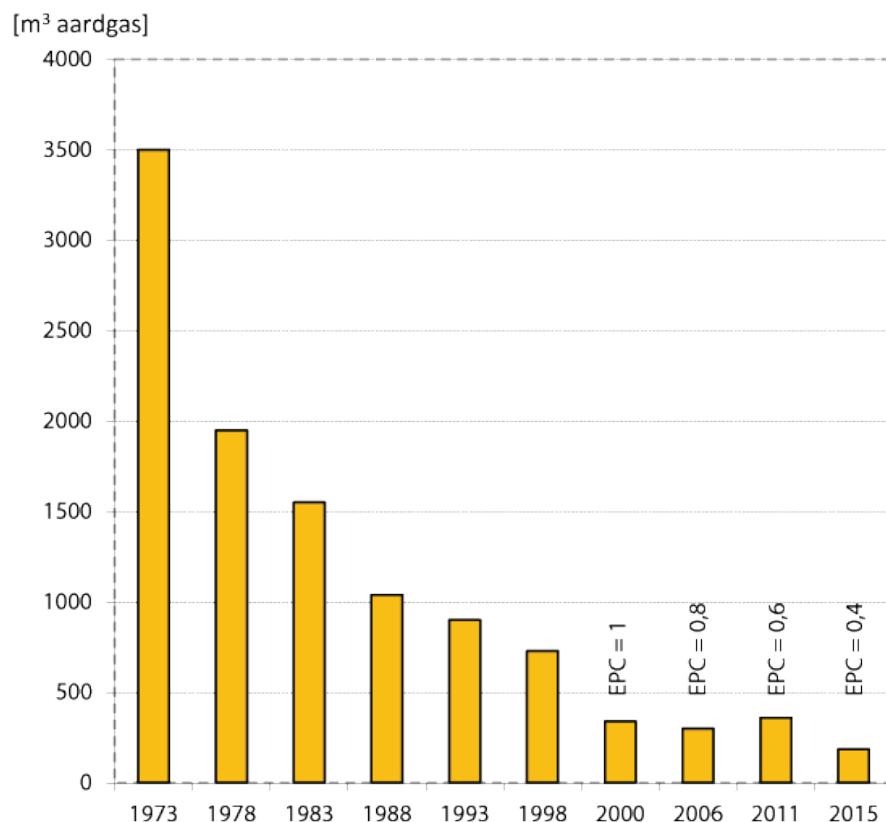
Gaan we terug tot 1950, dan is te zien dat het gemiddelde totale energieverbruik toen aanzienlijk lager lag (afbeelding 1.12). Rond 1965 begon de opmars van de centrale verwarming en de overschakeling van steenkool en olie naar aardgas.



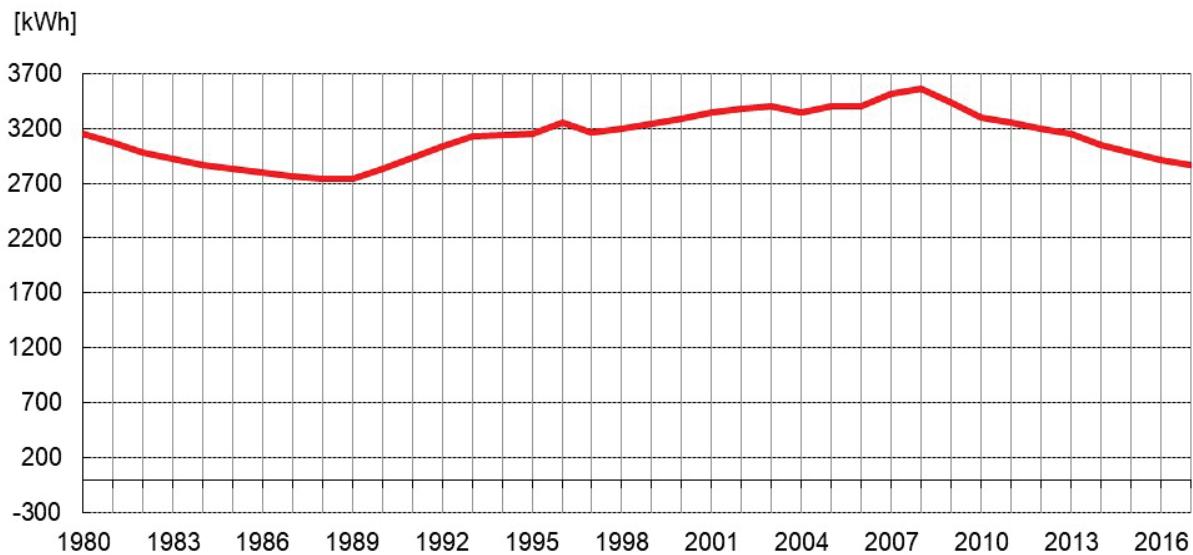
Afb. 1.8 Het totale energieverbruik van huishoudens in de periode 1990-2016 in PJ exclusief vervoer (bron: [9] en vanaf 2012 CBS [262]). Van het elektriciteitsverbruik geleverd via het net is afgetrokken teruglevering van 'eigen opwek' en is bijgeteld gebruik 'eigen opwek'.



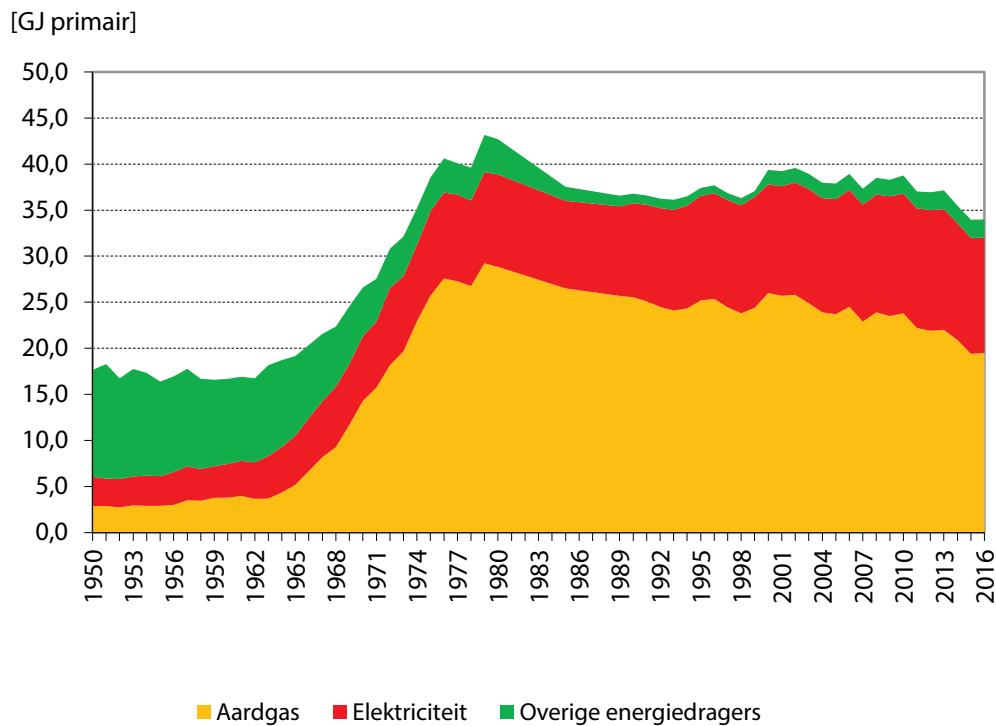
Afb. 1.9 Het gemiddelde aardgasverbruik voor verwarming, warmtapwater en koken per huishouden in de periode 1980-2015; (Bron: CBS met bewerking ECN, [19] en [20], 2013 en 2014 zijn geschat. Vanaf 2007 is alleen het totale verbruik bekend)



Afb. 1.10 Jaarlijks energieverbruik in m³ aardgas voor ruimteverwarming (excl. elektriciteit voor cv-pomp) van een gemiddelde nieuwbouwrijtjeswoning gespecificeerd naar bouwjaar. Het gaat hierbij om berekende waarden. De waarden voor 2011 en 2015 zijn berekend met NEN 7120 (EPG). Het gasverbruik (alleen voor ruimteverwarming!) in 2011 is hoger dan dat in 2006 ondanks een min of meer vergelijkbaar pakket aan maatregelen. Dit hogere verbruik is waarschijnlijk een gevolg van verschillen in rekenmethodiek tussen de EPN en de EPG. Bron: [13] en referentiewoningen van RVO vanaf 1993.



Afb. 1.11 Het gemiddelde elektriciteitsverbruik per huishouden in de periode 1980-2017; 2017 is voorlopig; (bron: [19], [20], [22] en vanaf 2010 CBS)

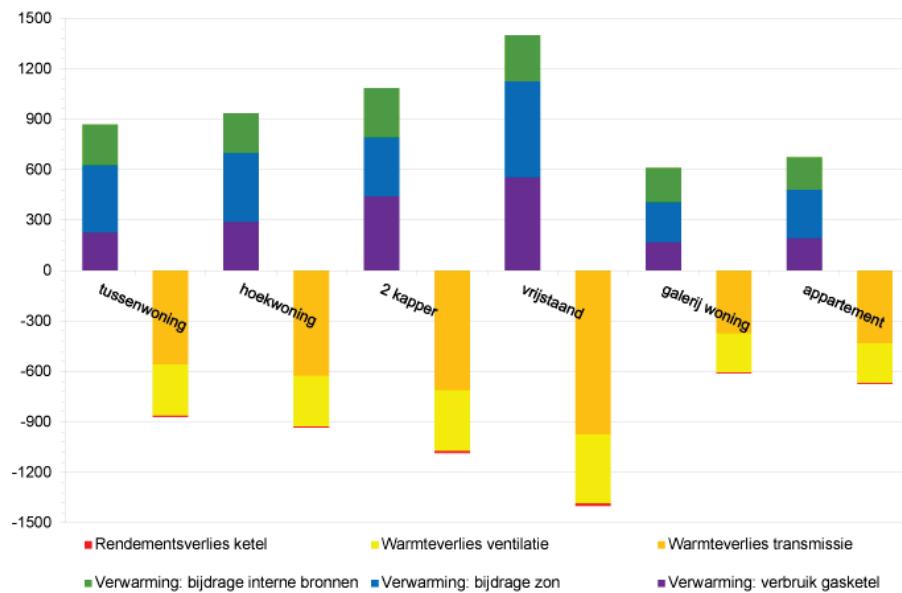


Afb. 1.12 Het gemiddelde energieverbruik per inwoner (exclusief het energieverbruik voor vervoer) in primaire energie voor de periode 1950-2016; bij elektriciteit is dus rekening gehouden met de energieverliezen voor productie en transport.

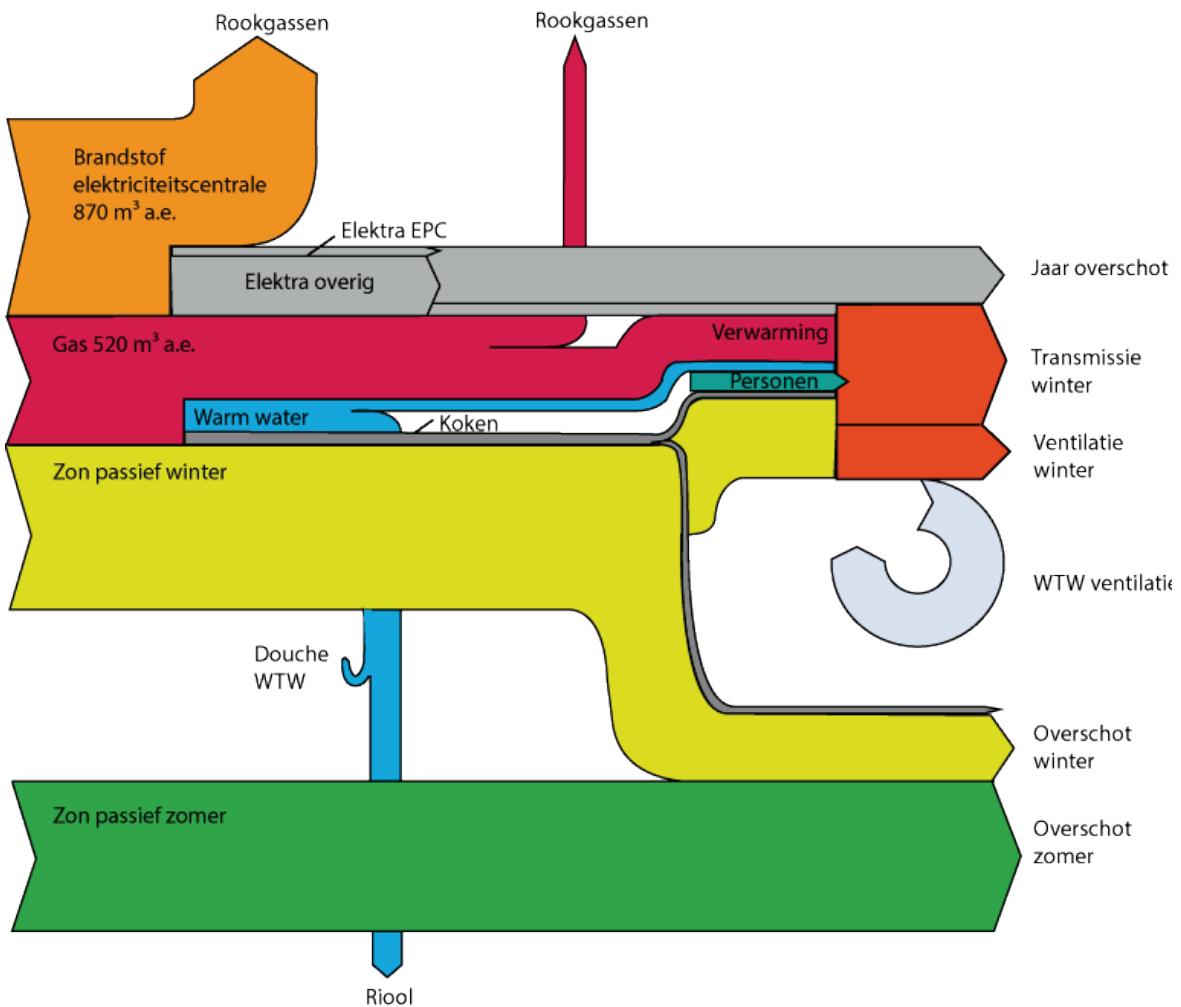
Het gaat om het totale energieverbruik voor ruimteverwarming, tapwater, ventilatie en elektriciteit voor verlichting en (huishoudelijke) apparatuur. Het aardgasverbruik is gecorrigeerd voor de gemiddelde jaartemperatuur. Onder 'overige energiedragers' vallen steenkool, stoom, warmte en kernenergie en vanaf 2000 ook hernieuwbare energie (Bron: CBS)

Warmte- en energiestromen

In afbeelding 1.13 zijn de berekende warmtestromen van de zes referentiewoningen (zie bijlage 4) in een grafiek weergegeven. Duidelijk te zien is dat de transmissieverliezen door gevels, dak en begane grondvloer nog steeds, ondanks de goede isolatie, duidelijk van invloed zijn op het energieverbruik. In afbeelding 1.14 zijn voor de tussenwoning niet alleen de warmtestromen aangegeven, maar alle energiestromen. Het gaat om een indicatie van de diverse stromen voor een gemiddeld huishouden in zo'n woning. Duidelijk te zien is dat verwarming en ventilatie (incl. elektriciteit voor pompen en ventilatoren) slechts een beperkt aandeel hebben in het totaal: globaal een kwart.



Afb. 1.13 De grafiek illustreert voor de zes RVO referentiewoningen met EPC van circa 0,4 de relevante warmtestromen voor ruimteverwarming (in m³ aardgasequivalent)



Afb. 1.14 Een indicatie van de energiestromen in de referentie tussenwoning voor een gemiddeld huishouden op basis van EPC-berekening en statistische gegevens (met name voor elektriciteitsverbruik voor huishoudelijke apparaten) in m³ aardgasequivalent per jaar. Een dergelijk stromendiagram wordt wel een Sankey-diagram genoemd

2 Energiebeleid

'Door het mondial stijgende gebruik van (fossiele) energie neemt de uitstoot van CO₂ sterk toe, met klimaatverandering als gevolg. Als niet fors wordt ingegrepen stijgt op wereldschaal de uitstoot van energiegerelateerde CO₂ de komende 25 jaar met ongeveer 60%.' Dit is een citaat uit het Energierapport 2008 [1]. Het rapport spreekt van de noodzaak tot een trendbreuk en de transitie (= overgang) naar een duurzame energiehuishouding.

Het Energierapport 2011, het Energieakkoord voor duurzame groei (2013), het Energierapport - Transitie naar duurzaam (2016), de Energieagenda (2016) en het Klimaatakkoord (2019) borduren hierop voort.

Niet alleen de rijksoverheid is doordrongen van de ernst van de situatie, ook allerlei marktpartijen in de bouw hebben zich uitgesproken voor vergaande maatregelen. Zo is in april 2008 het 'Lente-akkoord' [32] ondertekend door het toenmalige ministerie van VROM, Neprom, NVB en Bouwend Nederland. In dit akkoord is o.a. afgesproken dat alle partijen streven naar energieneutrale nieuwbouw in 2020 en zich daar ook voor willen inzetten. Het akkoord is in juni 2012 herijkt.

Ook voor de bestaande bouw zijn, in 2007, plannen opgesteld door diverse marktpartijen. Zij hebben in de nota 'Meer met minder' [33] een aanpak gepresenteerd om tot een hogere energiebesparing te komen dan met het beleid volgens de rijksoverheid het geval zou zijn. In 2008 is hierover [een covenant gesloten](#) dat in 2012 geactualiseerd is. Ook is in 2012 het (geactualiseerde) [Covenant Energiebesparing Huursector](#) [34] gesloten.

Het Energieakkoord (paragraaf 2.1.2) heeft geleid tot onder andere een nationaal energiebesparingsfonds ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de bestaande bouw (koopsector) en een stimuleringsregeling voor de energieprestatie in de huursector. Deze laatste regeling is per december 2018 gesloten. Per 1 januari 2019 is de Regeling Vermindering Verhuurderheffing Verduurzaming voor bestaande huurwoningen gestart.

In paragraaf 2.1 is een korte schets opgenomen van energiebeleid, zowel internationaal als nationaal. In paragraaf 2.2 komt regelgeving aan de orde en in paragraaf 2.3 beleidsinstrumenten waaronder BENG (bijna-energieneutrale gebouwen) volgens NTA 8800.

2.1 Grondslagen

2.1.1 Kyoto-Protocol verlengd, Klimaatakkoord Parijs

Het broeikaseffect kan het beste worden aangepakt als landen samenwerken om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Nederland heeft zich verbonden aan verschillende internationale klimaatafspraken, zoals het VN-klimaatverdrag en het Kyoto-Protocol. Het Nederlandse klimaatbeleid is gebaseerd op deze afspraken.

Kyoto-Protocol

Het Kyoto-Protocol (verdrag) werd in 1997 opgesteld. Industrielanden verbonden zich hierin om de uitstoot van broeikasgassen in 2012 met (over de landen) gemiddeld 5% te verminderen ten opzichte van het niveau in 1990. Per land golden uiteenlopende reductiepercentages, Nederland moest een 6% lagere uitstoot hebben. In Kyoto is ook besloten dat industrielanden een deel van hun reductieverplichting via maatregelen in het buitenland mogen realiseren. Het protocol is op 16 februari 2005 in werking getreden.

In 2012 is het Kyoto-protocol verlengd tot 2020 [29]. De verplichting voor de reductie van gemiddeld 5% broeikasgassen werd verwaard tot 18% in 2020 ten opzichte van 1990. Nieuw was ook dat er aandacht kwam voor de gevolgen van de klimaatverandering (zoals overstromingen) en hoe hierop kan worden ingespeeld. Helaas deden minder landen mee aan het verdrag dan voorheen.

Klimaatakkoord Parijs

Het Klimaatakkoord van Parijs (december 2015) is het vervolg op het Kyoto-protocol en gaat per 2020 in. Het akkoord is in de loop van 2016 door een groot aantal landen geratificeerd waaronder India, de Verenigde Staten (heeft inmiddels weer opgezegd per 2020) en China. Het akkoord is voor alle deelnemende landen juridisch bindend.

In het Klimaatakkoord is afgesproken er alles aan te doen om de gemiddelde mondiale temperatuurstijging tot ruim beneden de 2°C te beperken ten opzichte van het niveau van voor de industriële revolutie. Gestreefd wordt naar niet meer dan 1,5°C [12]. Alle partijen moeten hun best doen om zo snel mogelijk de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Daarbij wordt rekening gehouden met verschillen tussen landen.

Het Klimaatakkoord betekent in de praktijk dat een drastische reductie van het gebruik van fossiele energie nodig is. Door de EU wordt het akkoord vertaald naar concrete doelstellingen voor 2030 en 2050. Ook deze doelen zijn voor Nederland juridisch bindend.

2.1.2 Diverse visie/beleidsrapporten, het Energieakkoord en het Klimaatakkoord

NMP4

Het NMP4 [25], het Vierde Nationaal Milieubeleidsplan, verscheen in 2001 en vormt nog steeds de algemene basis van het nationale milieubeleid, samen met het NMP3. In 2006 bracht het Kabinet de 'Toekomstagenda Milieu: schoon, slim, sterk' [38] uit. Deze nota is een nadere invulling van het beleid om de doelen uit het NMP4 daadwerkelijk te gaan halen. Zo werd voor de bestaande bouw het plan voor de energielabeling aangekondigd die per 1 januari 2008 is ingevoerd. Voor nieuwbouw werd duidelijkheid toegezegd over de verzwaring van de EPC-eisen tot 2016.

Energierapport 2011

Als vervolg op het Energierapport 2008 [1] verscheen drie jaar later het Energierapport 2011 [14]. Energiebesparing en duurzame ('hernewbare') energie blijven de hoekstenen van het energiebeleid. Beide verkleinen de afhankelijkheid van import van fossiele brandstoffen en beide zijn nodig om in 2050 een CO₂-arme economie te hebben. Wat duurzame energie betreft, wordt veel verwacht van windenergie en bio-energie (afkomstig van biomassa [35] en [36]). Nieuwe kernenergiecentrales blijven echter ook mogelijk [37].

In navolging van het Europese beleid (EPBD, zie paragraaf 2.1.1) is het beleid van ons land gericht op 14% duurzame energie in 2020 en 16% in 2023. Nieuwbouwwoningen, evenals alle andere nieuwe gebouwen, moeten vanaf 1 januari 2021 'bijna energieneutraal' (BENG) zijn; nieuwe overheidsgebouwen moeten zelfs per 1 januari 2019 'bijna energieneutraal' zijn. Het 'Nationale Plan bijna-energieneutrale gebouwen' [43] beschrijft hoe dit te bereiken is, zie paragraaf 2.2.1. Beide data gelden voor de indiening van de omgevingsvergunning.

Energieakkoord

In 2013 is het 'Energieakkoord voor duurzame groei' [39] gesloten als invulling van het kabinetsbeleid naar aanleiding van de beleidsbrief 'Groene Groei: voor een sterke, duurzame economie' [40]. Een belangrijk verschil met veel overheidsbeleidsrapporten is dat het bij het Energieakkoord gaat om een akkoord tussen veel partijen met een grote diversiteit zoals de rijksoverheid, Bouwend Nederland, werkgeversorganisaties, vakbonden, woningcorporaties en natuur-en milieuorganisaties. Belangrijke doelen zijn energiebesparing, toename van het aandeel duurzame energie en extra werkgelegenheid. Het akkoord is vooral gericht op de periode tot 2023, maar er worden ook enkele doelen gesteld voor de lange termijn.

Het akkoord bestaat uit tien pijlers waarbij veel aandacht is voor de gebouwde omgeving. Uitgangspunt is dat burgers en bedrijfsleven zelf belang hebben bij en verantwoordelijkheid nemen voor energiebesparing en toepassing duurzame energie. Een groot nationaal besparingsfonds stimuleert o.a. eigenaar-bewoners tot het nemen van maatregelen. Ook is er extra geld voor isolatie van huurwoningen. Het Klimaatakkoord is per juni 2019 definitief geworden.

Voor meer en de meest actuele informatie over de stand van zaken rond het Energieakkoord zie www.energieakkoordser.nl.

Energierapport 'Transitie naar duurzaam'

Begin 2016 verscheen het Energierapport 'Transitie naar duurzaam' [2]. Het richt zich op de periode 2023 - 2050, dus aansluitend op de periode waar het Energieakkoord het zwaartepunt legt. Het beleid is gericht op een energievoorziening die in 2050 CO₂-arm is, dit in navolging van het Europese beleid. Het

kabinet kiest voor uitsluitend sturing op CO₂-reductie. Energiebesparing en de inzet van hernieuwbare energie volgen hieruit en krijgen geen eigen doelstellingen voor de langere termijn. In het rapport wordt per toepassing ingegaan op de toekomstige vraag naar en aanbod van (duurzame) energie. De inzet van vrijwel alle nu bekende CO₂-arme energiebronnen en technologieën is noodzakelijk, naast natuurlijk een aanzienlijke energiebesparing. Om zoveel mogelijk gebruik te kunnen maken van technologische vooruitgang en lokale oplossingen, heeft het kabinet alleen het einddoel benoemd, maar schrijft het niet voor hoe dit exact moet worden bereikt.

Energieagenda 'Naar een CO₂-arme energievoorziening'

Eind 2016 verscheen de Energieagenda 'Naar een CO₂-arme energievoorziening' [12]. De Energieagenda van het kabinet geeft een verdere invulling van de visie zoals beschreven in het Energierapport 'Transitie naar duurzaam'. Niet alleen het einddoel wordt beschreven, ook de route daarnaartoe. De Energieagenda wordt samen met maatschappelijke partijen verder uitgewerkt. Opgemerkt wordt dat het van groot belang is dat de transitie, ook bij wisseling van politieke kleur van kabinetten, wordt voortgezet. Het mondiale einddoel (temperatuurstijging ruim onder 2°C) ligt al juridisch vast dankzij het Klimaatakkoord van Parijs, met voor de EU-landen tussendoelen via de EU in de vorm van reductie CO₂-emissies. De kans bestaat dat na mondial overleg, de uitstoot van CO₂ in de energievoorziening voor de EU in 2050 tot nul moet dalen. Dit omdat de mogelijkheden voor reductie van broeikasgassen buiten de energievoorziening, zoals door landbouw, beperkter zijn.

In navolging van het Energierapport worden in de Energieagenda per toepassing ingegaan op de toekomstige vraag naar en aanbod van (duurzame) energie. Zo wordt voor de verwarming in de gebouwde omgeving ingezet op een vergaande energiebesparing en inzet van CO₂-arm opgewekte elektriciteit, warmte en hernieuwbaar gas. Per locatie moet worden bekeken wat de beste oplossing is. Voor gemeenten zal hier een belangrijke taak komen te liggen. Opvallend is de maatregel om in nieuwbuwwijken in beginsel geen gasnet meer aan te leggen; de Gaswet is hierop aangepast. Per 1 juli 2018 is via de wet 'Voortgang Energietransitie' (wet VET) de aansluitplicht voor de netbeheerder van aardgas voor nieuwe woningen en gebouwen vervallen. De datum geldt voor de aanvraag van een omgevingsvergunning. Omdat netbeheerders alleen wettelijke taken mogen uitvoeren, betekent deze wetswijziging in feite een verbod op aardgas bij nieuwbouw. Een gemeente kan bij zwaarwegende redenen van algemeen belang uitzonderingen maken. De publicatie 'Switch naar aardgasvrij - Wat doen we met woningen in de pijplijn?' [63] geeft informatie over het alsnog aardgasvrij maken van nieuwbuwprojecten waarvan de bouwaanvraag vòòr 1 juli 2018 is ingediend en die nog een aardgasaansluiting gepland hebben.

Ook worden in de Energieagenda enkele mogelijk interessante innovaties genoemd die meer aandacht vragen zoals duurzaam geproduceerde waterstof: 'power-to-gas' - een overschot aan wind- en zonne-energie kan dienen om waterstof te produceren. Dit gas zou een aanvulling kunnen zijn op ander hernieuwbaar gas, ter vervanging van aardgas. Vooruitlopend op dergelijke ontwikkelingen moeten per 1 januari 2017 alle nieuwe gasapparaten zowel op hoog- (zoals het huidige aardgas) als op laagcalorisch gas kunnen functioneren.

In aanvulling op de Energieagenda: Partijen uit o.a. de gassector pleiten er voor om de bestaande gasinfrastructuur in ieder geval te behouden om toekomstige ontwikkelingen op gasgebied mogelijk te maken [23]. [In een klimaatneutrale warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving - update 2016](#) [45] is een beeld geschetst welke rol hernieuwbaar gas in een klimaatneutrale gebouwde omgeving kan spelen.

Daarbij komt nog de vraag of een snelle overschakeling van aardgas naar elektriciteit bij woningen tot een belangrijke verlaging van de CO₂-uitstoot leidt. Uit een onderzoek [107] van de Rijksuniversiteit Groningen blijkt dat dat niet het geval zal zijn, in ieder geval voorlopig niet. Als woningen grootschalig overschakelen op warmtepompen stijgt immers de vraag naar elektriciteit aanzienlijk. Deze elektriciteit zal voorlopig nog voor een belangrijk deel niet duurzaam kunnen worden opgewekt. De daling van de CO₂-uitstoot door de afname van het gasverbruik in woningen zal grotendeels teniet worden gedaan door de toename van de CO₂-uitstoot bij de elektriciteitsproductie.

Klimaatakkoord

In het najaar van 2018 zijn in het ontwerp Klimaatakkoord [258] door een groot aantal partijen voor vijf sectoren pakketten maatregelen samengesteld met één groot doel: in ons land in 2030 bijna de helft (49%) minder broeikasgassen uitstoten in vergelijking met 1990. Het belangrijkste broeikasgas is CO₂. Daarom richt Nederland zich vooral op het verminderen van de CO₂-uitstoot in de lucht. Ook is nagedacht over aanvullende maatregelen met het oog op een mogelijke verhoging van de Europese doelstelling naar 55%. De plannen moeten zowel technisch, sociaal als financieel haalbaar zijn.

Eén van de sectoren is de gebouwde omgeving. Een belangrijk idee is om wijk voor wijk te gaan kijken welke (collectieve) duurzame energievormen mogelijk en wenselijk zijn. Ook kan gedacht worden aan tijdelijke oplossingen met een combinatie van duurzame en fossiele energie. Ook zullen voor de bestaande bouw per woningtype en bouwperiode standaards (streefwaarden) worden vastgesteld voor de jaarlijkse warmtevraag in kWh/m² en voor het isolatieniveau van afzonderlijke bouwdelen. Ook worden maatregelpakketten ontwikkeld.

Daarnaast zullen er financiële regelingen komen ter stimulering van het nemen van energiebesparende en andere duurzame maatregelen, zowel voor koop- als huurwoningen. Zie voor actuele ontwikkelingen www.klimaatakkoord.nl.

2.2 Regelgeving

2.2.1 Bouwbesluit

In het Bouwbesluit [26] staan eisen voor energieuinigheid.

Nieuwbouwwoningen moeten vanaf 2020 voldoen aan de BENG-eisen. BENG staat voor Bijna EnergieNeutrale Gebouwen. In het Bouwbesluit zijn per gebruiksfunctie eisen opgenomen voor de drie energieprestatie-indicatoren. Deze energieprestatie-indicatoren moeten berekend worden met NTA 8800 [30], zie paragraaf 2.3.1. Deze drie indicatoren zijn:

1. Maximale energiebehoefte voor verwarming en koeling, in kWh/m² per jaar;
2. Maximale primaire fossiele energiegebruik voor verwarming, koeling, verlichting, ventilatie, tapwater, bevochtiging, PV, in kWh/m² per jaar;
3. Minimum aandeel gebruikte hernieuwbare energie, uitgedrukt in een %.

Voor alle drie de indicatoren zijn in het Bouwbesluit grenswaarden opgenomen die variëren per gebruiksfunctie. Een nieuw te bouwen gebouw zal moeten voldoen aan de eisen van alle drie de indicatoren. Door het stellen van deze drie eisen wordt bewerkstelligd dat het gebouw een zo laag mogelijke energievraag heeft (eerste indicator), en dat die energievraag zo energie-efficiënt mogelijk ingevuld wordt (tweede indicator), waarbij er aanvullend ook nog de verplichting is om op het eigen perceel gebruik te maken van hernieuwbare energie (derde indicator).

De energieprestatie-indicatoren moeten berekend worden met NTA 8800. De indicatoren heten daar Ewe_{H+Cnd;ventsys=C1} (eerste indicatior), Ewe_{Ptot} (tweede indicator) en RER_{PrenTot} (derde indicator). Maar aangezien deze indicatoren in het spraakgebruik vaak aangeduid worden als BENG 1, 2 en 3, gebruiken we die termen hier ook.

Het Bouwbesluit geeft naast de grenswaarden voor de energieprestatie-indicatoren nog vijf 'vangnet' eisen:

- Warmteweerstand van 'dichte' constructies (vanaf 2020):
 - Begane grondvloer: R_c ≥ 3,7 m²·K/W;
 - Gevels: R_c ≥ 4,7 m²·K/W;
 - Dak: R_c ≥ 6,3 m²·K/W;
- Warmtedoorgangscoëfficiënt van ramen en deuren (beide inclusief kozijnen): gemiddelde U-waarde ≤ 1,65 W/(m²·K) (gemiddeld naar rato van het oppervlak); voor een raam of deur (inclusief kozijn) afzonderlijk geldt een U-waarde ≤ 2,2 W/(m²·K). De eis van gemiddeld 1,65 betekent dat de keuze voor kozijnen, deuren en glassoort veel aandacht vraagt (zie paragraaf 5.1.5). Diverse tot voor kort gebruikelijke materialen, profielen en glassoorten zijn namelijk niet meer mogelijk;

- Warmtedoorgangscoëfficiënt voor constructies die met ramen en deuren gelijk te stellen zijn: U-waarde $\leq 1,65 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$;
- Luchtdoorlatendheid, q_{v10} -waarde $\leq 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (oftewel $\leq 200 \text{ dm}^3/\text{s}$); deze eis geldt voor het totaal aan verblijfsgebieden, toilet- en badruimten; volgens de meetmethodiek in NEN 2686 gaat het daarbij in de praktijk om de hele woning;
- Temperatuuroverschrijding - TO_{juli} -indicator $\leq 1,0$: deze eis geldt alleen voor woningen waarin geen koelsysteem aanwezig is. Achtergrond van deze eis is dat woningen steeds beter geïsoleerd worden, maar dat daarmee ook het risico bestaat dat deze woningen in de zomer oververhit raken. Bij woningen waarin een koelsysteem aanwezig is, is dit risico niet aanwezig omdat de koeling de warmte dan weg kan koelen. Maar woningen waarin geen koeling aangebracht wordt, hebben wel een potentieel risico op oververhitting. De TO_{juli} -indicator wordt berekend met NTA 8800 en geeft per rekenzone aan of er sprake is van een risico op oververhitting. Als de waarde onder 1,0 blijft, wordt geacht dat het risico op oververhitting beperkt is. Bij een waarde boven 1,0 moeten ofwel maatregelen getroffen worden om de oververhitting te beperken (bijvoorbeeld aanbrengen van buitenzonwering) waardoor de TO_{juli} indicator daalt (onder 1,0). Een ander alternatief is dat met een uitgebreidere (gedetailleerdere) dynamische temperatuuroverschrijdingsberekening aangetoond wordt dat de woning toch zo ontworpen is dat deze niet te warm wordt in de zomerperiode.

Een klein deel van de constructies hoeft niet te voldoen aan de eisen voor warmte-isolatie en is bedoeld om brievenbus, ventilatieroosters e.d. mogelijk te maken. Dat deel mag maximaal de omvang hebben van 2% van de gebruiksoppervlakte van de woning of het woongebouw (art. 5.3.8 Bouwbesluit). Verder is men vrij op welke wijze men aan de energieprestatie-eisen voldoet (zie paragraaf 2.3.1).

Europese Richtlijn energieprestatie van gebouwen (EPBD)

De Nederlandse wet- en regelgeving over de energieprestatie van o.a. woningen is gebaseerd op de Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). Deze EU-richtlijn, in het Nederlands: de Richtlijn energieprestatie van gebouwen, is in 2003 gepubliceerd met als doel een sterke daling van het energieverbruik te bereiken. De richtlijn is zowel gericht op nieuwbouw als op de bestaande bouw. In 2010 en 2018 is de richtlijn herzien.

De EPBD heeft geleid tot o.a. de nieuwe energieprestatiemethode (NTA 8800), de introductie van de drie energieprestatie-indicatoren (in plaats van de EPC-indicator die vanaf 1995 - 2020 werd gebruikt), de energielabeling en de periodieke keuring van bepaalde installaties. In de EPBD is vastgelegd dat alle nieuwe gebouwen (in alle lidstaten) vanaf 2020 'bijna energieneutraal' (BENG) moeten zijn. De EPBD schrijft niet in detail voor wat een BENG gebouw is, ieder land moet daar een eigen definitie en bijbehorende eisen voor opstellen. In Nederland is er voor gekozen om de rekenmethode vast te leggen in NTA 8800, die grotendeels gebaseerd is op Europese normen, en de eisen in het Bouwbesluit vast te leggen.

2.2.2 Energielabel

Als gevolg van de EPBD moeten zowel nieuwe woningen als bestaande woningen bij een transactiemoment (verhuur of verkoop) beschikken over een energielabel. Het energielabel van een woning wordt uitgedrukt in een labelletter die varieert van A (zeer energieuwig) tot G (zeer energie onzuinig).

De rekenmethode voor het bepalen van het energielabel is, net als voor de nieuwbouw, de NTA 8800 [30]. Voor bestaande gebouwen zijn niet altijd alle gegevens meer beschikbaar (bijvoorbeeld de dikte en kwaliteit van de isolatie is niet meer te achterhalen), daarvoor zijn in NTA 8800 forfaitaire waarden opgenomen die speciaal voor bestaande gebouwen bedoeld zijn. Bij nieuwe gebouwen is over het algemeen alle informatie vorhanden, en kan een gedetailleerde(re) berekening gemaakt worden dan voor oudere bestaande gebouwen.

Wettelijk worden er (nog) geen eisen gesteld aan de energieprestatie van bestaande woningen. Het is goed mogelijk dat dit in de toekomst gaat veranderen, en dat er ook voor bestaande woningen minimum eisen gaan gelden. Voor kantoren is een dergelijke maatregel al aangekondigd: kantoren moeten vanaf

2023 beschikken over een energielabel C of beter. Veel woningbouwcorporaties zijn al bezig met het verbeteren van de energetische kwaliteit van hun woningvoorraad, en leggen zichzelf doelen op t.a.v. de verbetering van de (gemiddelde) energetische kwaliteit van hun bezit.

Meer informatie over het energielabel is te vinden op de website van rvo: www.rvo.nl.

2.3 Beleidsinstrumenten

De energieprestatiemethode van gebouwen (NTA 8800) is ontwikkeld als beleidsinstrument en is specifiek bedoeld om eisen te kunnen stellen aan de energie efficientie van het gebouwgebonden energiegebruik van een gebouw. Met de energie-inhoud van materialen en installaties wordt in de NTA 8800 geen rekening gehouden, zie daarvoor www.milieudatabase.nl.

Naast de NTA 8800 kan ook de EMG (Energieprestatienorm voor Maatregelen op Gebiedsniveau, de NEN 7125, zie paragraaf 2.3.3) van belang zijn. Met deze norm is het mogelijk om energiebesparende maatregelen op gebiedsniveau in de energieprestatie van woningen te verwerken waardoor de tweede en derde energieprestatie indicator verbeterd worden. Het gaat hierbij om allerlei vormen van collectieve voorzieningen zoals stadsverwarming, stadskoeling en collectieve warmte/koudeopslag.

Andere beleidsinstrumenten:

- Energielabel, zie paragraaf 2.2.2;
- Regulerende energiebelasting: stimuleert energiegebruikers om bewust met energie om te gaan;
- Regeling groenprojecten: een woningproject met [groenverklaring](#), kan in aanmerking komen voor een lagere rente van (een deel van) de hypotheek;
- Tijdelijke regeling hypothecair krediet: hiermee kan een koper een hogere hypotheek krijgen voor een energieuwige woning. Zie hiervoor de kamerbrief over leennormen op de website van de rijksoverheid. Ieder jaar wordt hiervoor een nieuwe kamerbrief opgesteld.

2.3.1 Energieprestatie van Gebouwen - NTA 8800 en NEN 7120

De NTA 8800 [30] is de vervanger van NEN 7120.

De voorgangers van de NTA 8800, de NEN 7120 en de NEN 5128, drukten de energieprestatie van een gebouw uit in één getal: EPC (energieprestati郭efficient). De EPC is een dimensieloosgetal. De EPC is in 1995 ingevoerd en in de loop der tijd zijn de EPC-eisen in het Bouwbesluit steeds verder aangescherpt: van 1,4 in 1995 tot 0,4 in 2015. In 2020 wordt de EPC vervangen door de drie energieprestatie-indicatoren.

EPC-methode (1995 - 2020)

Voordat we ingaan op de NTA-methode eerst kort nog iets over de EPC-methode op basis van de NEN 7120 en zijn voorganger NEN 5128.

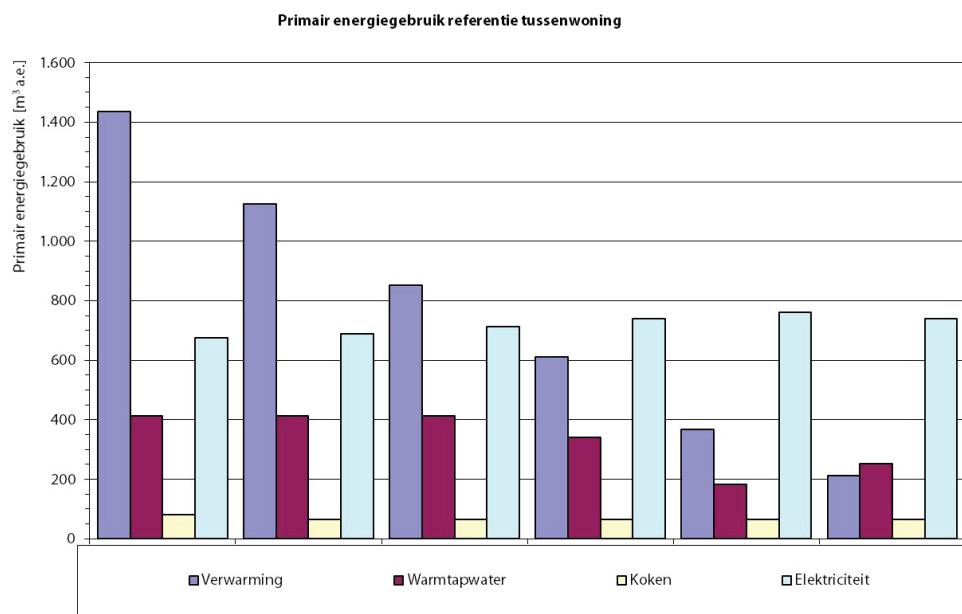
De EPC geeft de mate van energie-efficientie aan van een gebouw, uitgedrukt in een dimensieloos getal. Om de EPC te kunnen berekenen wordt het gebouwgebonden primaire energiegebruik van een gebouw berekend (uitgaande van standaard bewonersgedrag en standaard klimaat) en vervolgens wordt dit energiegebruik dimensieloos gemaakt door het vergelijken met een energiebudget dat gebaseerd is op de grootte van de woning (het gebrugsoppervlak) en de compactheid van de woning (het verliesoppervlak). De verhouding tussen het berekende primaire energiegebruik en het energiebudget is de EPC.

De essentie van de dimensieloze EPC als indicator is dat in een rijtje woningen de hoekwoning ten opzichte van een tussenwoning wat meer energiebudget krijgt (want meer verliesoppervlak bij de hoekwoning) zodat de hele rij woningen met hetzelfde maatregelenpakket (vrijwel) dezelfde EPC heeft. Ookal gebruikt de hoekwoning meer energie dan een tussenwoning, ze hebben toch dezelfde EPC. Met deze aanpak wordt dus bewerkstelligd dat woningen met eenzelfde EPC ook ongeveer eenzelfde maatregelenpakket hebben. Maar gevoelsmatig vinden mensen dat vreemd: de hoek- of de vrijstaande woning gebruikt tenslotte meer energie dan een tussenwoning. In de praktijk bleek de EPC een lastige indicator, daarom is bij de introductie van de NTA 8800 besloten om afscheid te nemen van de dimensieloze EPC en over te stappen op een indicator in kWh/m² per jaar.

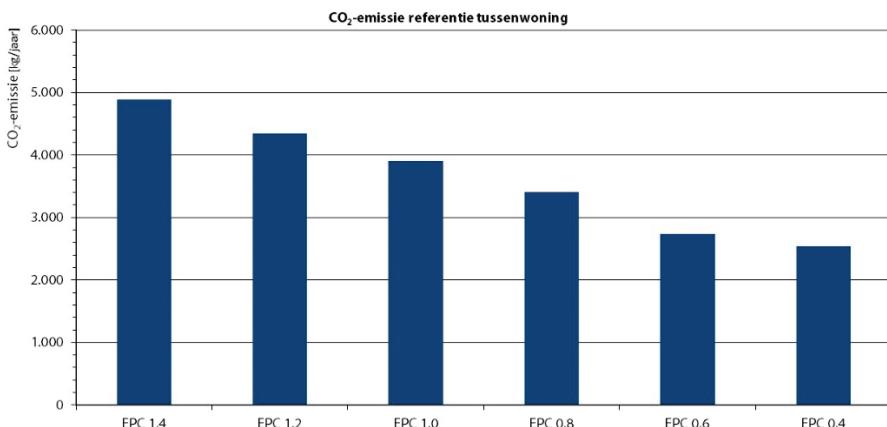
Voor de berekening van de EPC wordt het gebouwgebonden energiegebruik bepaald voor de energieposten verwarming, koeling, ventilatie, verlichting, tapwater, bevochtiging en de opbrengst van PV/WKK. Daarbij wordt uitgegaan van een opgelegd standaard gebruikersprofiel en een standaard klimaatjaar. Het berekende energiegebruik is dus niet hetzelfde als het werkelijke energiegebruik omdat bewonersgedrag en klimaat in de praktijk kunnen afwijken van de vaste waarden in NEN 7120 en er daarnaast in woningen ook nog sprake is van een aanzienlijk energiegebruik voor apparatuur (zoals televisies, koelkast, koken etc.). Het met de NEN 7120 berekende gebouwgebonden energiegebruik wordt uitgedrukt in primaire energie in MJ per jaar.

Primaire energie is de hoeveelheid fossiele energie die nodig is 'aan de bron', dat is dus niet hetzelfde als de hoeveelheid energie die 'aan de voordeur' van een woning geleverd wordt. Voor het gebruik van aardgas in een woning wordt er in NEN 7120 vanuit gegaan dat er vrijwel geen energieverlies optreedt tussen winning van het gas in het veld en de levering aan de woning. Met andere woorden de hoeveelheid fossiele energie die aan de voordeur geleverd wordt, is hetzelfde als de hoeveelheid fossiele energie die aan de bron wordt gewonnen. Bij elektriciteit ligt dit anders. De elektriciteit die bij ons thuis geleverd wordt, wordt opgewekt in elektriciteitscentrales, windparken en zonneenergieparken. Daarnaast treden er bij het transport van de elektriciteit naar de woningen verliezen in het elektriciteitsnet op. Om 1 kWh elektriciteit thuis te leveren is daarom (veel) meer dan 1 kWh aan fossiele brandstof nodig. In de NEN 7120 (en NEN 5128) wordt gerekend met een efficiëntie van het elektriciteitsnet van 39% (het gemiddelde rendement van het elektriciteitsnet anno 1995). Dat betekent dat er voor het leveren van 1 kWh elektriciteit aan een woning, 2,56 kWh fossiele energie gewonnen moet worden. Met het oog op de landelijke verduurzaming van het elektriciteitsnet is deze factor in NTA 8800 aangepast naar 69%. In dat geval is er nog maar 1,45 kWh fossiele energie nodig om 1 kWh elektriciteit aan een woning te leveren. In 2017 bedroeg het rendement van de totale landelijke elektriciteitproductie op bovenwaarde (inclusief duurzame opwekking) net iets boven de 50% (bron: CBS, 21-2-2019). NTA 8800 loopt dus nog ver voor op de huidige efficiëntie.

In afbeelding 2.1 is het effect van de daling van de EPC-eis op het primaire energieverbruik te zien van een tussenwoning sinds de invoering van de EPC.



Afb. 2.1 De afbeelding geeft het primaire energieverbruik aan voor verwarmen, warmtapwater, koken en het huishoudelijke elektriciteitsverbruik (na aftrek van opbrengst PV) van de referentie tussenwoning (zie bijlage 4) met een EPC aflopend van 1,4 naar 0,4. Het verbruik voor ruimteverwarming en warmtapwater is berekend met NEN 5128:2004 voor de EPC's van 1,4 t/m 0,8 en met NEN 7120:2011 voor de EPC van 0,6 t/m 0,4. Het verbruik voor elektriciteit (na aftrek van hulpenergie voor de installaties) en koken is het gemiddelde verbruik per Nederlands huishouden (dus niet specifiek voor nieuwbouwwoningen) in respectievelijk 1996, 1998, 2000, 2006, 2011 en aanneme voor 2015 op basis van 2012 (bron: Energie Trends 2014 [19]).



Afb. 2.2 De staafdiagrammen geven de CO₂-emissie behorend bij het energieverbruik uit afbeelding 2.1

NTA-methode (vanaf 2020)

De NTA 8800 is de opvolger van de NEN 7120 en lijkt in hoofdlijnen nog sterk op zijn voorgang. Zo berekenen beide methoden de energieprestatie van een gebouw op basis van het gebouwgebonden primaire energiegebruik voor de energieposten verwarming, koeling, ventilatie, warmtapwater, verlichting en de opbrengst van PV/WKK onder standaardcondities. Maar er zijn ook opvallende verschillen: de EPC als indicator is komen te vervallen, en is vervangen door de drie energieprestatie-indicatoren. Daarnaast worden in de NTA 8800 energiegebruiken consequent uitgedrukt in kWh, terwijl dit in NEN 7120 altijd MJ was (zie ook paragraaf 2.3.2).

De NTA 8800 is ontwikkeld voor de Nederlandse bouwregelgeving maar de methode heeft een duidelijke Europese basis. In CEN verband werd jarenlang gewerkt aan het ontwikkelen van een set Europese normen die gebruikt moeten worden in het kader van de EPBD-plicht van de lidstaten van de EU. Deze set van ongeveer 50 verschillende normen is in 2018 gereed gekomen. Vanaf dat moment konden de lidstaten aan de slag met deze set normen.

In Nederland is er voor gekozen om de set Europese normen te verwerken in de NTA 8800. Het voordeel hiervan is dat er voor de Nederlandse markt één norm is waarin de volledige berekening van de energieprestatie beschreven staat (i.p.v. de aansturing van allemaal losse stukjes normen). Ook heeft dit als voordeel dat ontbrekende stukjes norm toegevoegd konden worden, of specifieke Nederlandse toepassingen toegevoegd konden worden. De NTA 8800 is volledig in het Nederlands geschreven om de methode zo toegankelijk mogelijk te maken voor marktpartijen. Het resultaat is een methode die geschikt is voor nieuwbouw en bestaande bouw voor zowel woningbouw als utiliteitsbouw.

De belangrijkste kenmerken van de NTA 8800:

- Europese normen zijn als onderlegger gebruikt. Formules en benamingen zijn overgenomen uit de Europese normen zodat de link met de CEN-normen op formulenniveau te herleiden is;
- Maandmethode: dat betekent dat de methode een statische methode is waarbij energiegebruiken op maandbasis berekend worden en vervolgens gesommeerd worden tot jaargebruiken;
- Energiegebruiken worden uitgedrukt in kWh (conform Europese normen). Let daarbij wel goed op dat er verschillende soorten kWh-en zijn: zie paragraaf 2.3.2 voor een toelichting;
- Uitgangspunt is een vastgelegd standaard gebruik van het gebouw en een standaard klimaatjaar waar niet van afgeweken mag worden in het kader van de berekening voor het Bouwbesluit;
- Energieposten: verwarming, koeling, verlichting (niet voor woningbouw), tapwater, ventilatie. Alle energieposten zijn inclusief energiegebruik voor hulpenergie (zoals pompen). Elektriciteitsopbrengst door WKK of PV kan in mindering gebracht worden op het berekende energiegebruik (wat leidt tot een gunstige score).

Met de NTA 8800 worden de drie energieprestatie-indicatoren berekend:

- BENG 1 (Ewe_{H+Cnd;ventsys=C1}): Maximale energiebehoefte voor verwarming en koeling, in kWh/m² per jaar;

- BENG 2 ($E_{we,pr_{tot}}$): Maximale primaire fossiele energiegebruik voor verwarming, koeling, verlichting, ventilatie, tapwater, bevochtiging, PV, in kWh/m² per jaar;
- BENG 3 ($RER_{pr_{tot}}$): Minimum aandeel gebruikte hernieuwbare energie, uitgedrukt in een %.

De termen BENG 1, 2 en 3 komen niet voor in de NTA 8800. De markt gebruikt deze termen omdat ze makkelijker zijn dan de officiële termen. In het vademecum gebruiken we, vanwege de aansluiting met de markt, daarom de termen BENG 1, 2 en 3.

De berekening van de BENG 2 indicator vertoont grote gelijkenissen met de berekening van de EPC in NEN 7120, de andere twee indicatoren zijn volledig nieuw ten opzichte van de NEN 7120.

BENG 1: Maximale energiebehoefte voor verwarming en koeling

De eerste energieprestatiemeter heeft als doel om ontwerpers van woningen te stimuleren om een ontwerp te maken dat een zo laag mogelijke energiebehoefte heeft voor zowel verwarmen als koelen. Het gaat hierbij om de optelling van de warmtebehoefte (thermische energie!) en de koudebehoefte (thermische energie) op ruimteniveau uitgedrukt in kWh_{th}/m² per jaar.

De BENG 1 indicator is zo vormgegeven dat het in feite een schilindicator is die niet beïnvloed wordt door de keuze van de installaties en het ventilatiesysteem. Aspecten die wel van invloed zijn op de BENG 1 indicator zijn de mate van isolatie, geometrie, oriëntatie, zonwering, verhouding open/dicht van de schil en de thermische massa van de woning.

De BENG 1 indicator wordt, ongeacht het daadwerkelijk in de woning toegepaste ventilatiesysteem, altijd berekend met een vast ventilatiesysteem C1 om de invloed van het ventilatiesysteem uit te schakelen. Het gevolg van deze beleidsmatige keuze om te rekenen met een vast ventilatiesysteem is dat de berekende energiebehoefte voor BENG 1 niet de werkelijke energiebehoefte van de woning zal zijn. Men moet dus niet de fout maken om het verwarmingssysteem de dimensioneren op de BENG 1 indicator!

Doordat de BENG 1 indicator uitgedrukt wordt in kWh_{th}/m² zal deze indicator voor een tussenwoning altijd lager (beter) zijn dan die van de naastgelegen hoekwoning omdat de hoekwoning een extra gevel heeft waar warmteverliezen over optreden. In een rijtje woningen is de hoekwoning dus de maatgevende woning voor BENG 1 (en BENG 2).

BENG 2: Maximale fossiele primaire energiegebruik

De tweede BENG indicator is de meest complete berekening. In deze berekening worden alle aspecten meegenomen: van energiebehoefte tot en met opwekkers die in deze energiebehoefte moet voorzien. Ook worden in deze berekening alle energieposten meegenomen: verwarming, koeling (indien aanwezig), ventilatie, warmtapwater, verlichting en de opgewekte elektriciteit met PV en/of WKK. De BENG 2 indicator wordt uitgedrukt in primaire energie per m² per jaar. De primaire energie wordt daarbij uitgedrukt in kWh. Zoals hiervoor al beschreven is de hoeveelheid primaire energie niet hetzelfde als de hoeveelheid energie die op de (elektriciteits)meter afgelezen kan worden. Bij de berekening van primaire energie wordt er rekening mee gehouden dat er ook nog verliezen op kunnen treden bij de opwekking en het transport van de energie naar de woning.

In NTA 8800 worden voor gasgebruiken geen verliezen in rekening gebracht voor het transport en de opwekking bij de bron (primaire energiefactor 1), bij elektriciteitsgebruiken moet rekening gehouden worden met een gemiddeld rendement van het elektriciteitsnet van 69% (primaire energiefactor 1.45).

De BENG 2 indicator wordt uitgedrukt in kWh/m² per jaar. Dat betekent dat ook bij deze indicator een tussenwoning beter zal scoren dan de naastgelegen hoekwoning die uitgevoerd is met hetzelfde maatregelpakket. De hoekwoning is dus maatgevend.

BENG 3: Minimaal aandeel hernieuwbare energie

Om te stimuleren dat in iedere nieuwbouw woning in Nederland gebruik gemaakt wordt van duurzame (hernieuwbare) energie is de BENG 3 indicator ontwikkeld. In de NTA 8800 worden de volgende posten gezien als hernieuwbare energie:

- Elektriciteit die opgewekt is met PV-panelen op de woning;
- Warmte die opgewekt is met zonnecollectoren op de woning;

- De warmte die als bron in een warmtepomp gebruikt wordt (grondwater/bodem/oppervlaktewater/buitenlucht) m.u.v. warmte die uit het gebouw zelf afkomstig is;
- Koude uit vrije koeling (bijvoorbeeld bij gebruik van een WKO);
- Warmte die opgewekt is met een op vaste biobrandstoffen gestookt toestel (bijvoorbeeld houtpelletketel) die voldoet aan bepaalde minimale emissie-eisen;
- (Een gedeelte van de) warmte die afkomstig is uit een stadsverwarmingsnet dat gevoed wordt door hernieuwbare energiebronnen.

Om te voldoen aan de eisen in het Bouwbesluit zal iedere woning in Nederland dus gebruik moeten maken van een (of meerdere) van de hiervoor genoemde technieken.

Een gebouw waarin geen gebruik gemaakt wordt van hernieuwbare energie, heeft een BENG 3 score van 0%. Een gebouw met een BENG 2 indicator van 0 kWh/m² heeft een BENG 3 score van 100% en een gebouw met een negatieve BENG 2 indicator heeft een BENG 3 scoren van meer dan 100%.

De inkoop van groene stroom of groen gas telt niet mee in de bepaling van de BENG 3 indicator omdat dit geen gebouwgebonden voorzieningen zijn.

TO_{juli}-indicator: Temperatuuroverschrijdingsindicator

We worden geconfronteerd met steeds warmere zomers. Hiermee neemt de noodzaak om maatregelen te treffen tegen oververhitting toe. Doordat nieuwe woningen zeer goed geïsoleerd worden, houden ze hun warmte meer vast. In de zomer kan dat problemen opleveren. Hogere binnentemperaturen leiden tot gezondheidsrisico's en overlast.

Om te voorkomen dat er woningen opgeleverd worden die in de zomermaanden veel te warm worden, is er de TO_{juli}-indicator. Deze indicator geeft aan of er een risico op oververhitting bestaat. Als de TO_{juli}-indicator onder 1,0 blijft, wordt verwacht dat de woning niet te warm wordt in de zomerperiode. Komt de indicator boven 1,0 uit, dan is een aanpassing van het ontwerp de eerste logische stap: kleinere ramen, ramen op andere oriëntaties, buitenzonwering, overstekken, zomernachtventilatie zijn voorbeelden van maatregelen die getroffen kunnen worden om het risico op oververhitting te verkleinen. Een ander alternatief is uiteraard het aanbrengen van een koelsysteem in de woning: maar dat heeft als nadeel dat het energieverbruik van de woning omhoog gaat.

Voor nieuw te bouwen woningen zal in de bouwregelgeving een grenswaarde worden opgenomen voor TO_{juli}. Dit is een indicatiegetal waarmee per rekenzone per oriëntatie van het gebouw inzicht gegeven wordt in het risico op temperatuuroverschrijding. De TO_{juli} volgt automatisch uit de energieprestatieberekening conform NTA8800.

Een temperatuuroverschrijdingsberekening met een dynamisch simulatieprogramma kan specifieker voorspellen wat het risico op temperatuuroverschrijding is. Indien de TO_{juli} de grenswaarde van 1,0 overstijgt mag aan de hand van een dynamisch simulatieprogramma alsnog aangetoond worden dat het risico op oververhitting acceptabel blijft. In dat geval mogen de Gewogen Temperatuuroverschrijdinguren (GTO-uren) niet hoger zijn dan 450 GTO-uren.

Forfaitaire waarden

In de NTA 8800 zijn voor een groot aantal voorzieningen en constructies vaste rekenwaarden (forfaitaire waarden) opgenomen. Voorbeelden hiervan zijn het rendement van verwarmingsinstallaties en de U-waarden van de diverse kozijntypen (hout, kunststof en metaal). Met een (erkende) kwaliteitsverklaring voor een voorziening of constructie mogen ook gelijke of betere waarden gebruikt worden dan de standaard waarden.

In de '[Databank gecontroleerde kwaliteitsverklaringen](#)' is een groot aantal goedgekeurde kwaliteits- en gelijkwaardigheidsverklaringen opgenomen. Deze kunnen door iedereen gratis worden geraadpleegd. De verklaringen zijn natuurlijk ook verkrijgbaar bij de betreffende fabrikanten of leveranciers.

Voorbeeld forfaitaire waarde

NTA 8800 geeft in tabel 11.18 het energetisch rendement voor warmteterugwinning in

ventilatiesystemen. Het forfaitaire, in de norm opgenomen, rendement voor een tegenstroomwarmtewisselaar van kunststof bedraagt 0,80. Wanneer zo'n zelfde warmtewisselaar van een bepaald merk een hoger rendement heeft volgens een (erkende) kwaliteits- of gelijkwaardigheidsverklaring, dan mag dit hogere rendement in de berekening gebruikt worden. De verklaring moet bij de indiening van de bouwaanvraag overlegd worden.

CO₂-emissieberekening

De BENG 2 indicator wordt berekend op basis van het primaire energieverbruik (in kWh). Het energiebeleid is voor een belangrijk deel gericht op CO₂-emissiereductie. Als informatieve bijlage in de norm en in de bijbehorende software, is daarom een CO₂-emissieberekening toegevoegd. De CO₂-emissie per kWh verschilt immers per type brandstof zodat bij eenzelfde BENG 2-waarde toch verschillende CO₂-emissies kunnen voorkomen.

Berekenen energieprestatie-indicatoren van schetsontwerp

Ook in de eerdere fasen van een ontwerp, zoals het schetsontwerp, is het aan te bevelen al berekeningen uit te voeren. Dit is mogelijk door een aantal aannames te doen, waarbij een ruimtelijk ontwerp, situering en gevelindeling de basis vormen. Met name de BENG 1 indicator is gevoelig voor het bouwkundige ontwerp en de oriëntatie van de woning waardoor het noodzakelijk is om al in een vroege fase deze indicator te berekenen.

Niet in NTA 8800 opgenomen

Een aantal maatregelen dat in de praktijk energie kan besparen, is niet in de energieprestatie-berekening in te voeren. Dit is gedaan omdat deze maatregelen of in strijd zijn met het Bouwbesluit-principe van vrije indeelbaarheid of omdat deze maatregelen niet met zekerheid gehandhaafd blijven. Dit omdat zo'n maatregel bijvoorbeeld door bewoners gewijzigd kan worden zoals bij het vervangen van een waterbesparende (dus ook energiebesparende) douchekop door een 'normale' douchekop. Ook speelt soms het bewonersgedrag mee. Zo gaat de energieprestatie-berekening er van uit dat de binnentemperaturen in aangrenzende woningen gelijk zijn. Het isoleren van bijvoorbeeld woningscheidende wanden heeft dus geen effect op de energieprestatie-indicatoren, terwijl in werkelijkheid dit isoleren zeker energie kan besparen (als buren wél verschillend stoken).

De niet opgenomen maatregelen kunnen echter wel degelijk zinvol zijn. Vaak bieden ze bewoners de kans extra energiezuinig te handelen en soms vergroten ze bovendien het comfort.

Voorbeelden:

- Afsluitbare keuken (zie paragraaf 4.2.2);
- Tochtportalen (zie paragraaf 4.2.2);
- Warmte-isolatie van verdiepings- en zoldervloer (zie paragraaf 4.2.2);
- Warmte-isolatie van woningscheidende wanden en vloeren (zie paragraaf 5.1.4);
- Vensterbank boven radiatoren of convectoren zodat (in het stookseizoen) de opgaande warme luchtstroom niet achter eventuele gordijnen kan terechtkomen; zie paragraaf 7.2.2 voor de juiste detailering want de vensterbank mag ook de warmteafgifte aan de kamer niet belemmeren;
- Sterk voor bewonersgedrag gevoelige energiebesparende regelingen van de installatie, zoals thermostatische radiatorknoppen en een regeling waarbij de temperatuur in de slaap/werkvertrekken geheel onafhankelijk is van de woonkamer (zie paragraaf 7.7.3, 7.2.6 en 7.4.1);
- (Warm)waterbesparende douchekop (zie paragraaf 9.1.1);
- (Warm)waterbesparende kranen (zie paragraaf 9.1.1);
- Hot-fill aansluitpunten voor huishoudelijke apparatuur (zie paragraaf 9.1.4);
- Energiezuinige apparatuur, verlichting, liften, et cetera (zie paragraaf 10.1).

2.3.2 Energie-eenheden in NEN 7120 en NTA 8800

Bij het rekenen aan energiegebruiken moet altijd goed opgelet worden om welke energiegebruiken het nu precies gaat. In de berekening van de energiegebruiken in zowel de NEN 7120 als de NTA 8800 onderscheiden we drie verschillende energiegebruiken die alle drie in dezelfde eenheid uitgedrukt worden, maar toch niet met elkaar te vergelijken zijn. We leggen dit verschil hier aan de hand van de energiepost verwarming hieronder uit, maar deze methodiek geldt in principe voor alle energieposten:

- Energiebehoefte: dit is de energiehoeveelheid die door een verwarmingstoestel aan de ruimtes geleverd moet worden. De energiehoeveelheid wordt in de NEN 7120 uitgedrukt in MJ, en in de NTA 8800 in kWh. Het betreft hier een hoeveelheid warmte die geleverd moet worden. Het is dus thermische energie;
- Energiegebruik op de meter: dit is de energiehoeveelheid (meestal gas of elektriciteit) die het verwarmingstoestel nodig heeft om de gevraagde hoeveelheid warmte te leveren. In het geval van een HR107 ketel is dit dus het gasverbruik van de ketel, en bij een warmtepomp is dit de hoeveelheid elektriciteit die de warmtepomp gebruikt. Wanneer de energiebehoefte (zie vorige bolletje) bekend is, en het rendement van het verwarmingstoestel is bekend, dan kan het energiegebruik op de meter berekend worden door de energiebehoefte te delen door het rendement. In de NEN 7120 wordt als eenheid MJ gebruikt, in NTA 8800 kWh;
- Primaire fossiele energiegebruik: dit is de hoeveelheid fossiele energie die gewonnen moet worden om de gevraagde hoeveelheid elektriciteit of gas aan de woning te leveren. In het geval van gas wordt er vanuit gegaan dat de primaire energiefactor 1 is (geen verliezen in transport of opwekking), en bij elektriciteit is de primaire energiefactor 2,56 (in NEN 7120) of 1.45 (in NTA 8800). Dit betekent dat er bij de opwekking van elektriciteit wel sprake is van verliezen in opwekking (in de elektriciteitscentrale) en tijdens transport. Door de verduurzaming van het landelijke elektriciteitsnet is de primaire energiefactor sinds 1995 (2,56) wel aanzienlijk verbeterd (In NTA 8800 gaat men uit van de factor 1,45. In 2020 ligt deze factor in werkelijkheid naar schatting net iets onder de 2,0). Het primaire fossiele energiegebruik wordt eveneens uitgedrukt in MJ (NEN 7120) of kWh (NTA 8800).

Bij het omrekenen van energiegebruiken zijn ook de volgende rekenregels nog van belang:

- Verbrandingswaarde (op bovenwaarde) van aardgas: 35,17 MJ/m³ aardgas;
- Omrekening van MJ naar kWh en vice versa: 1 kWh = 3,6 MJ.

Afb. 2.3 Voorbeeld van de omrekening van energiegebruiken in NTA 8800 en NEN 7120. In de NTA 8800 en de NEN 7120 wordt voor gasverbruiken een primaire energiefactor van 1 gehanteerd. Bij elektriciteitsgebruik is de primaire energiefactor 2,56 (in NEN 712) en 1.45 (in NTA 8800)

		Energiebehoefte	Energie op de meter	Primaire energie
NEN 7120	HR 107 ketel (95% rendement)	Y MJ _{th}	Y / 0,95 MJ _{gas} (= (Y/0,95)/35,17 m ³ aardgas)	Y / 0,95 MJ _{primair}
	Elektrische warmtepomp (COP 3,2)	Y MJ _{th}	Y / 3,2 MJ _{el} (= (Y/3,2)/3,6 kWh elektriciteit)	2,56*Y / 3,2 MJ _{primair}
NTA 8800	HR 107 ketel (95% rendement)	Z kWh _{th}	Z/0,95 kWh _{gas} (= (Z/0,95)/35,17 m ³ aardgas)	Z/0,95 kWh _{primair}
	Elektrische warmtepomp (COP 3,2)	Z kWh _{th}	Z/3,2 kWh _{el} (= Z/3,2 kWh elektriciteit)	1,45*Z/3,2 kWh _{primair}

2.3.3 NEN 7125: Energieprestatienorm voor Maatregelen op Gebiedsniveau (EMG)

Gebiedsgerichte voorzieningen zoals stadsverwarming en stadskoeling worden met behulp van NEN 7125 (de EMG) [47] gewaardeerd. De resultaten hiervan kunnen vervolgens in de energieprestatieberekening ingebracht worden.

De NEN 7125 methode wordt in principe alleen gebruikt door energiebedrijven om voor hun stadsverwarmings- en stadskoelingsnetten kwaliteitsverklaringen op te stellen. Deze kwaliteitsverklaringen worden vervolgens door bureau BCRG getoetst. De getoetste verklaringen worden in de 'Databank gecontroleerde kwaliteitsverklaringen' <http://www.bcrg.nl> opgenomen.

3 Energiebewust ontwerpen

Energiebewust ontwerpen is gericht op een comfortabel en gezond binnenklimaat met een zo laag mogelijk energieverbruik. Om dit te bereiken is een optimale afstemming nodig van het ruimtelijk ontwerp met de bouw- en installatietechniek. Die afstemming wordt des te belangrijker bij de realisatie van energiezuinige woningen die voldoen aan de BENG-eisen.

In dit hoofdstuk staan energiezuinige woningconcepten centraal. De begrippen energieneutraal en nul-op-de-meter zijn in het kort beschreven. Verder wordt er verwezen naar handige sites met o.a. gerealiseerde voorbeeldprojecten. Ook is een checklist opgenomen als hulpmiddel bij het ontwerpen van energiezuinige woningen.

Al vroeg in het ontwerpproces worden keuzes gemaakt die effect hebben op de energie-efficiëntie van de woning. Het programma van eisen moet daarom al energie-eisen bevatten. Deze kunnen aansluiten bij de wettelijke eisen of kunnen scherper zijn door strengere BENG-eisen (paragraaf 2.3.1) na te streven. Dat is afhankelijk van de ambitie voor het betreffende project (paragraaf 3.1). Ook kunnen er energiebesparende maatregelen genomen worden die (nog) niet gewaardeerd worden in de NTA 8800 (zie paragraaf 2.3.1 - 'Niet in EPC opgenomen').

Woningen kunnen op verschillende manieren aan de energie-eisen en energie-ambities voldoen (zie paragraaf 3.2) Ter ondersteuning van het ontwerpproces is een 'checklist energiebewust ontwerpen' opgenomen die een overzicht biedt van de meest relevante onderwerpen per bouwfase (paragraaf 3.3). Aan het begin van de hoofdstukken 3 t/m 10 is de checklist verder uitgewerkt voor specifieke zaken uit de betreffende hoofdstukken.

In paragraaf 3.4 is voor een aantal maatregelen het effect op de energieprestatie-indicatoren gegeven en laten een aantal voorbeeldpakketten zien hoe verschillende BENG-niveaus bereikt kunnen worden.

Deelchecklist Energiebewust ontwerpen: inleiding en PvE

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Ga bij het opstellen van energie-ambities voor een project altijd na of er voor de betreffende locatie specifieke energie-afspraken gelden (paragraaf 3.1). Het kan gaan om bijvoorbeeld een bepaalde energie-infrastructuur, maar ook om extra 'eisen' bovenop het Bouwbesluit (bijv. via convenant).
- Laat voor een plangebied (zoals een woon/werk wijk) een Energievisie opstellen (paragraaf 3.1). Zo kan optimaal gebruik gemaakt worden van de mogelijkheden van een locatie met betrekking tot energiebesparing, energie-infrastructuur en duurzame energie;
- Maak ter inspiratie bij het samenstellen van het PvE gebruik van energie-concepten en energiepakketten (paragraaf 3.4). In de Database Energiezuinig Gebouwd op www.rvo.nl zijn tal van (zeer) energiezuinige voorbeeldprojecten opgenomen.
- Stel een helder PvE (Programma van Eisen) (paragraaf 3.1, 3.2) op, zodanig dat de eisen tussentijds, gedurende het ontwerp- en bouwproces, en bij oplevering te toetsen zijn. Sprek ook af wie toetst en reserveer daarvoor tijd (in planning en financiën).

Structuurontwerp / Voorontwerp

- --

Definitief Ontwerp / Technisch ontwerp

- --

Uitvoering / Gebruik / Exploitatie

- --

In paragraaf 3.3 staat de checklist op hoofdlijnen

3.1 Ambitie en programma van eisen

Ambitie

Ga bij het opstellen van energie-ambities voor een project altijd na of er voor de betreffende locatie specifieke energie-afspraken gelden die zijn gemaakt tussen betrokken partijen zoals de gemeente, corporatie, ontwikkelaar of particuliere opdrachtgever. Het kan gaan om afspraken over bijvoorbeeld:

- Strengere energieprestatie-eisen dan het Bouwbesluit vraagt;
- Welke energienetten aangelegd gaan worden; zo kan het verplicht zijn om aan te sluiten op een collectief warmtenet;
- Of om extra inzet van duurzame energie.

Er zijn allerlei mogelijke vormen van afspraken gangbaar zoals een convenant, een projectovereenkomst, een grondcontract of een exploitatieovereenkomst.

In veel gevallen zal voordat zo'n afspraak gemaakt wordt, eerst een Energievisie worden opgesteld. Zo'n Energievisie geeft voor die specifieke locatie de technische en economische mogelijkheden aan voor een optimale energie-infrastructuur. En dit op basis van de 'Drie-Stappen-Strategie'. Als de betrokken partijen de Energievisie onderschrijven en ondertekenen, dan kan deze als contractstuk dienen bij de verdere ontwikkeling van het project. Meestal zullen in zo'n Energievisie ook afspraken zijn opgenomen over de uitvoerings- en beheerfase. Met de '[Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving](#)'; [49] zijn verschillende warmtemaatregelen (zowel collectief als individueel) op een gelijkwaardige wijze te beoordelen.

Zie voor meer informatie over energiebesparing op een locatie op www.rvo.nl bij Energie in gebiedsontwikkeling.

Programma van eisen, toetsing en borging

In het programma van eisen (PvE) worden de uitgangspunten en de (energie-)ambities van het project weergegeven en waar mogelijk gekwantificeerd. Het is belangrijk om het PvE zo op te stellen, dat de eisen tussentijds, gedurende het ontwerp- en bouwproces, en bij oplevering te toetsen zijn. Maak ruimte vrij om deze toetsing ook werkelijk uit te voeren, zowel procesmatig als financieel. Hier is een duidelijke rol weggelegd voor de installatie- en bouwfysisch-adviseur.

Ook Bouwtoezicht heeft een belangrijke rol, maar dan wel specifiek voor die aspecten die met de bouwvergunning te maken hebben zoals de energieprestatie-eisen. Het is de bedoeling dat de toetsing van een plan aan het Bouwbesluit door de gemeente geheel vervalt. De bouwpartners zullen er dan zelf voor moeten zorgen dat aan het Bouwbesluit voldaan wordt. De gemeente blijft wel kijken naar welstand, ruimtelijke ordening en de veiligheid van derden. Meer informatie over de Wet kwaliteitsborging voor het bouwen: www.stichtingibk.nl.

Voor nieuwbouwwoningen in Nederland leggen we de energieprestatie vast aan de hand van 3 energieprestatie-eisen voor Bijna EnergieNeutrale Gebouwen: de BENG-eisen. Deze drie indicatoren zijn:

1. BENG 1: Maximale energiebehoefte voor verwarming en koeling, in kWh/m² per jaar;
2. BENG 2: Maximale primaire energiegebruik voor verwarming, koeling, verlichting, ventilatie, tapwater, PV, in kWh/m² per jaar;
3. BENG 3: Minimum aandeel gebruikte hernieuwbare energie, uitgedrukt in een %.

Voor alle drie de indicatoren zijn in het Bouwbesluit grenswaarden opgenomen die variëren per gebruiksfunctie. Een nieuw te bouwen gebouw zal moeten voldoen aan alle drie de indicatoren. Door het stellen van deze drie eisen wordt bewerkstelligd dat het gebouw een zo laag mogelijke energievraag heeft (eerste indicator), en dat die energievraag zo energie-efficiënt mogelijk ingevuld wordt (tweede indicator), waarbij aanvullend ook nog de verplichting is om op het eigen perceel gebruik te maken van hernieuwbare energie (derde indicator).

De energieprestatie-indicatoren moeten berekend worden met NTA 8800. In die rekenmethode komen de termen BENG 1, 2 en 3 overigens niet voor. De indicatoren heten daar $E_{we,H+Cnd;ventsyst=C1}$ (BENG 1), $E_{we,PTot}$ (BENG 2) en RER_{PrenTo} (BENG 3). Maar aangezien in het spraakgebruik gesproken wordt over BENG 1, 2 en 3, gebruiken we die termen hier ook.

Bij bovenwettelijke energieambities kunnen strengere energieprestatie-eisen dan in het Bouwbesluit, worden afgesproken. Zo is er bij o.a. gemeenten en opdrachtgevers een stijgende belangstelling voor nul-op-de-meter projecten. Aanvullend kunnen energie gerelateerde eisen worden gesteld op het gebied van bijvoorbeeld emissies, comfort en binnenmilieu. De CO₂-emissie is af te lezen uit de energieprestatie-berekening.

Als men ook eisen in het PvE wil opnemen over andere thema's dan energie, kunnen o.a. de volgende digitale instrumenten en bronnen nuttig zijn:

- GPR Gebouw (www.gprgebouw.nl);
- BREEAM (www.breeam.nl);
- Bouwbesluit (www.bouwbesluitonline.nl).

KopStaart aanpak

De '[KopStaart aanpak](#)' is gericht op de verbetering van de kwaliteit van nieuwbouwwoningen. De aanpak bestaat uit twintig praktische aandachtspunten in het bouwproces voor opdrachtgevers om aan het begin (Kop), tijdens de uitvoering en aan het einde (Staart) van het bouwproces de opleverkwaliteit van gezonde, energiezuinige woningen te borgen. De aanpak is een goede aanvulling op de checklisten in dit Energievademecum (aan het begin van elk hoofdstuk).

In de KopStaart aanpak wordt o.a. voor een integrale aanpak gepleit waarbij men bouwfysica en installatietechniek samen met het ruimtelijk en bouwkundig ontwerp uitwerkt. Een concrete aanbeveling is bijvoorbeeld om het leidingverloop en opstelplaats van het ventilatiesysteem al in de bestekfase volledig uit te tekenen zodat de aannemer en installateur tijdens de uitvoering niet voor verrassingen komen te staan. Een andere aanbeveling is om de kwaliteit van isolatie en luchtdichtheid te controleren met behulp van thermo(foto)grafie (paragraaf 5.1) en luchtdichtheidsmetingen ('opblaasproef') (paragraaf 5.1) en dit ook bij aanvang van de bouw aan te kondigen (bij aanbesteding).

Ontwikkeld zijn een te downloaden [brochure](#) [44] en een [voorbeeldenboek](#) [66] over deze aanpak..

3.2 Strategie energiebewust ontwerpen

Een energiebewust ontwerp kan op verschillende manieren worden gerealiseerd. In deze paragraaf zijn kort vier strategieën beschreven, waarmee, op basis van de prestatie-eis, energiemaatregelen kunnen worden gekozen.

Deze beschreven strategieën leggen de nadruk bij het maken van keuzes achtereenvolgens bij de energetische kwaliteit (Trias Energetica), de levensduur van maatregelen (levensduur), de relatie met overige kwaliteiten (integraal) en de financiële aspecten (kosten). Bij al deze strategieën moet bedacht worden hoe de toekomstige bewoner de woning zal gaan gebruiken en hoe een energiezuinig gebruik gestimuleerd kan worden. Monitoring van het energieverbruik is daarbij één van de mogelijkheden (zie paragraaf 7.2.6 bij Regeling).

Strategie:

Drie-stappen-strategie of Trias Energetica:

De Drie-stappen-strategie [50] voor energie of Trias Energetica gaat uit van een getrapte aanpak voor energiebewust ontwerpen en bestaat uit drie opeenvolgende stappen:

1. Voorkom onnodig gebruik van energie. (Voorbeelden: compact bouwen, isoleren, luchtdicht bouwen, 'natuurlijk' ventileren, warmteterugwinning (ventilatielucht, douchewater), natuurlijke koeling, warmwaterbesparende maatregelen);
2. Gebruik duurzame energiebronnen. (Voorbeelden: passieve zonne-energie, zonneboiler, bodemwarmte ten behoeve van een warmtepomp, gebruik van daglicht);
3. Gebruik de eindige energiebronnen zo efficiënt mogelijk. (Voorbeelden: HR-verwarmingssysteem, restwarmte via warmtekachtkoppeling, optimale regelingen van pompen en gelijkstroomventilatoren).

Zie voor de zg. 'Nieuwe stappenstrategie' het Themablad [Innovatieve Energieconcepten](#) [51]. In deze strategie wordt meer nadruk gelegd op het hergebruik van reststromen.

Strategie: levensduur

De keuze voor energiebesparende maatregelen wordt gemaakt op basis van de verwachte levensduur van componenten. Voor het behalen van de energieprestatie krijgen de componenten met de langste levensduur de hoogste energetische kwaliteit. De energetische kwaliteit van deze componenten ligt voor lange tijd vast. Vervolgens worden de maatregelen voor componenten met aflopende levensduur ingevuld tot de vereiste energieprestatie is bereikt. Bij vervanging van de delen met een relatief korte levensduur kan worden gekozen voor nieuwe en/of meer efficiënte technieken.

Strategie: integraal

Bij een integrale benadering van het ontwerp van de woning, worden bij de keuze van energiebesparende maatregelen alle kwaliteitsaspecten gewogen. Niet alleen de energetische kwaliteit is van belang, maar ook bijvoorbeeld levensduur, duurzaamheid, comfort, kosten, gezondheid, veiligheid en verkoopbaarheid. Zo is een oriëntatie pal op het zuiden optimaal voor passieve zonne-energie. Maar vanuit een stedenbouwkundig plan kan een minder gunstige oriëntatie gewenst zijn. De lagere zon-opbrengst is te compenseren door andere maatregelen te nemen.

In de brochure '[Energiezuinige woningen ontwikkelen: de basis](#)' [67] worden de vier belangrijkste 'robuuste' maatregelen benoemd om tot een integraal ontwerp te komen.

Strategie: economisch

Hier zijn twee benaderingen mogelijk: Men kan kiezen voor de laagste investering of voor de laagste woonlasten.

3.3 Checklist bij ontwerp energiezuinige nieuwbouwwoning

De checklist (afbeelding 3.1) geeft een overzicht van onderwerpen die van invloed zijn op het energieverbruik van een woning. Per onderwerp is een paragraafnummer gegeven, waar het betreffende onderwerp inhoudelijk behandeld wordt. Aan het begin van de hoofdstukken 3 t/m 10 is de checklist verder uitgewerkt voor specifieke zaken uit de betreffende hoofdstukken.

Enkele opmerkingen:

- Veel van de in de checklist genoemde aandachtspunten kunnen in het bestek (of andere contractvorm) worden vermeld. Er kunnen eisen worden gesteld aan de uitvoerende partij(en), bijvoorbeeld in de vorm van de verplichting om vooraf een berekening te maken of achteraf controlemetingen uit te laten voeren naar o.a. de luchtdichtheid en de ventilatievouden. Gelet op de problemen die de afgelopen jaren geconstateerd zijn met de kwaliteit van o.a. ventilatiesystemen in nieuwbouwwoningen (zie [54] en [55]), vraagt deze controle veel meer aandacht. De metingen zullen ook echt, eventueel steekproefsgewijs, uitgevoerd moeten worden. Het uitvoeren van metingen zal bovendien preventief werken (als ze inderdaad als verplichting in het bestek zijn opgenomen) waardoor de kwaliteit verhoogd wordt. Daarnaast blijft natuurlijk (meer) controle tijdens de bouw van bouwtechniek en installaties van groot belang;
- Uit onderzoek [65] blijkt dat het noodzakelijk is om installaties altijd zorgvuldig in te regelen en regelmatig te blijven controleren. Hiervoor zijn, zeker bij de complexere installaties, extra investeringen nodig voor ingebouwde meters, sensoren en overige voorzieningen voor monitoring. Houd bij het PvE en het ontwerp hiermee rekening. Maak duidelijke afspraken over de monitoring na de ingebruikname;
- Neem in het bestek exacte informatie op over de gewenste energiebesparende voorzieningen en maatregelen. Noem prestatie-eisen of gewenst merk met volledige typeaanduiding (en indien nodig [de vermelding](#): of gelijkwaardig product). Alleen de aanduiding 'energiebesparend' is niet voldoende. Een andere mogelijkheid is om eisen te stellen aan het werkelijke energieverbruik zoals bijvoorbeeld bij nul-op-de-meter-projecten waarbij op jaarbasis het totale energieverbruik op nul uitkomt (zie paragraaf 3.5);
- Bij de selectie van energiebesparende maatregelen is het aan te bevelen om de energetische consequenties ook tussentijds te volgen met NTA 8800 berekeningen (paragraaf 2.3.1).

Afb. 3.1 Checklist met belangrijke onderwerpen voor het energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen. Per onderwerp is het paragraafnummer gegeven waar het inhoudelijk behandeld wordt

	Initiatief & projectdefinitie	Structuurontwerp & voorontwerp	Definitief & technisch ontwerp	Uitvoering & gebruik & exploitatie
Ruimtelijk ontwerp	3.1 Bouwprogramma	4 Oriëntatie gevels (zon / daglicht)		
	4.1 Verkaveling	4 Daglichtopeningen (zon / daglicht)		
	4.1.1 Woningtypologie (compactheid)	4.1.1 Verliesoppervlak/gebruiksoppervlak		
	4.1.3 Belemmering (groen, gebouwen)	4.1.1 Potentiële koudebruggen / kieren		
	7.4 Wel/geen warmtenet	4.1.2 Oriëntatie schuine daken (collectoren, pv)		
	7.4 Duurzame collectieve verwarming	4.2 Onverwarmde ruimtes (berging, serre)		
		4.2 Zonwering		
		4.2.2 Organisatie plattegronden (zonbenutting)		
		4.4 Korte leidinglengtes tapwater		
		4.4 Toestellen verwarming/tapwater		
		4.4 Optimale plek installaties		
		4.4 Ruimte voor installaties en leidingen		
Bouwtechnisch ontwerp	5.1 Minimum isolatie-eisen	4.4 Optimale plek installaties	5.1 Isolatiewaarde gebouwschil	5.1 Controle isolatie en kier-/naaddichting
	5.1 Eisen detaillering	5.1 Isolatiewaarde gebouwschil	5.1 Isolerende kozijnen	5.1 Controle damprem
	5.1.1 Wel of geen kruipruimte	6.8 Bouwkundige voorzieningen nachtventilatie	5.1 Detaillering (warmte, geluid)	
	5.2 Eisen zon-, daglichttoetreding	9.2 Korte leidinglengtes	5.1 Zwevende dekvloeren	
	5.3 Bouwmassa	9.3.5 Integratie zonnecollectoren in dak	5.2 g-en TL-factoren glas	
		10.2 Integratie PV in dak	5.2 Zonwering	
Ventilatie	7.2 Afgiftesystemen	4.4 Ruimtebeslag installaties	7.2 Detaillering afgiftesysteem	7 Opleveringscontrole verwarmingssysteem
	7.3.1 Duurzame energie	7.2 Keuze afgiftesysteem	7.2.5 Luchttoevoer houtkachel	7 Gebruiks-, onderhoudsinstructie
	7.4	7.3 Keuze toestelsoort (wp,	7.2.6 Regelingen	7.2.3 Keuze

	Individueel/collectief	Waterketel, ..)	individuele installatie	vloerbedekking bij vloerverwarming
	7.4 Duurzaame collectieve verwarming	7.3.3 Bij toepassing WP: onderzoek bron	7.2.6 Isolatie leidingen in onverwarmde ruimten	7.2.6 Inregelen installatie
		7.3.8 Zonneboilercombi	7.3 Type toestel	
			7.3.8 m ² collector	
			7.4 Regeling en bemetering collectieve installatie	
Koeling	8.1 Koelvraag voorkomen	6 Overweeg passieve koeling	6 Bypass WTW	8 Opleveringscontrole koelingssysteem
	8.2 Afgiftesystemen	8.2 Keuze afgiftesysteem	8.2.2 Regeling per vertrek	8 Gebruiks-, onderhoudsinstructie
	8.3 Toesteltype	8.3 Keuze toestel (samenvatting verwarming)	8.2.4 Regeling airco	
			8.3 Type toestel (samenvatting verwarming)	
Tapwater-verwarming	9.1 Comfortklasse	9.1 Douchewater warmteterugwinning	9.1.1 Waterbesparende kranen, douchekoppen	9 Opleveringscontrole tapwatersysteem
	9.3 Zonneboiler	9.2 Leidingverliezen	9.1.3 Detailleren douche-WTW	9 Gebruiks-, onderhoudsinstructie
		9.2 Korte leiding naar de keuken	9.2 Naar keuken geïsoleerde en kleine ø	
		9.3 Soort toestel	9.3 Type toestel	
		9.3.5 Zonneboiler	9.3.5 Detaillering zonneboiler	
Elektriciteit	10.1 verlichting (daglicht)	10.1 verlichting (daglicht)	10.1 regelingen installaties	10 handleiding energieuwige apparatuur
	10.2 mogelijkheden pv, wind	10.2 mogelijkheden pv, wind	10.1 elektriciteitsgebruik installaties	
			10.2 detaillering pv in dak/gevel	

3.4 Energiebesparende maatregelen en pakketten

Voor drie RVO-referentiegebouwen (de tussenwoning S, en vrijstaande woning L en woongebouw M) zijn in afbeelding 3.2 een aantal voorbeeldpakketten gepresenteerd om een beeld te geven van diverse mogelijkheden om te voldoen aan BENG-niveaus. De verschillende energieprestatie-indicatoren van deze voorbeeldpakketten zijn berekend met NTA 8800 [30].

Per referentiewoning is gekozen voor vijf verschillende warmte opwekkingssystemen en twee verschillende isolatienniveau's. Bij het Basis isolatie pakket zijn natuurlijke en mechanische gebalanceerde ventilatie meegenomen. Het Extra isolatiepakket kent alleen een gebalanceerd ventilatiesysteem.

In de voorbeeldpakketten is gebruik gemaakt van de volgende technieken en uitgangspunten:

- Bouwkundige uitgangspunten:
 - Isolatie Basis: R_c waarden vloer/gevel/dak: 3.7/4.7/6.3 m^2K/W , HR++glas met $U_w = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ en een infiltratie van $0.4 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$;
 - Isolatie Extra: R_c waarden vloer/gevel/dak: 6.0/6.0/10.0 m^2K/W en 3voudigglas met $U_w = 0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ en een infiltratie van $0.25 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$;
 - Zonwering: bedoeld wordt de af/aanwezigheid van buitenzonwering.
- Verwarming, koeling en tapwater:
 - WP bodem: warmtepomp die gebruik maakt van bodemwarmtewisselaar. Bij de individuele woningen is dit een combiwarmtepomp voor verwarming, koeling en tapwater (combi WP), bij het woongebouw is er sprake van een collectieve warmtepomp met als bron een bodemwisselaar. Voor tapwater is in dat geval uitgegaan van een boosterwarmtepomp per appartement;
 - WP buiten: combiwarmtepomp met als bron buitenlucht voor verwarming en tapwater van de grondgebonden woningen;
 - SV forf: stadsverwarming waarbij gerekend is met het forfaitaire rendement uit de NTA 8800;
 - SV kwal: stadsverwarming waarbij gerekend is met een rendement van een kwaliteitsverklaring (beter rendement dan forfaitair);
 - Houtpellet: Houtpelletketel voor verwarming en tapwater bij de grondgebonden woningen. Bij het woongebouw is uitgegaan van een collectieve houtpelletketel voor verwarming in combinatie met elektrische doorstroomtoestellen in de appartementen voor tapwater;
 - Elektrische verwarming: in het woongebouw is ook een concept doorgerekend met elektrische verwarming (zoals bijvoorbeeld stralingsverwarming).
- Ventilatie:
 - C4c systeem is een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer via roosters, en mechanische afvoer op basis een CO_2 sturing in woonkamer en slaapkamer;
 - D2 systeem is een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning (95% rendement);
 - D5a systeem is een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning (95%) en CO_2 sturing.
- Zonne-energie:
 - ZB is een zonneboiler voor tapwater met een collectoroppervlak van 2.3 m^2 bij de grondgebonden woningen en 13.8 m^2 bij het woongebouw;
 - PV: zonnepanelen met een Wp -vermogen van 200 Wp/m^2 . In de tabel staat per pakket aangegeven hoeveel m^2 PV benodigd zijn om aan de BENG eisen te voldoen.

woningtype	zonwering	verwarming	koeling	tapwater	isolatie	glas	infil	ventilatie	ZB	m2 PV	BENG1	BENG2	BENG3
tussenwoning S	nee	WP bodem	bodem koeling combi WP	Basis	HR++ 0,4	C4c	-	0	50	26	59%		
					Extra	3v 0,25	D5a	-	2	50	23	56%	
	ja	WP buiten	nee combi WP	Basis	HR++ 0,4	C4c	-	6	52	29	61%		
					Extra	3v 0,25	D5a	-	6	44	21	54%	
	ja	SV forf	nee SV forf	Basis	HR++ 0,4	C4c	ZB	13	52	28	58%		
					Extra	3v 0,25	D5a	ZB	10	52	27	54%	
vrijstaande woning L	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	nee SV kwal (fpdel 0,5)	Basis	HR++ 0,4	C4c	-	8	52	23	58%		
					Extra	3v 0,25	D5a	D2	7	52	23	56%	
	ja	Houtpellet (fpdel 0,5)	nee houtpellet	Basis	HR++ 0,4	C4c	-	10	52	28	65%		
					Extra	3v 0,25	D5a	D2	8	52	28	59%	
	ja	SV forf	nee SV forf	Basis	HR++ 0,4	C4c	ZB	30	68	30	61%		
					Extra	3v 0,25	D5a	ZB	25	68	29	57%	
woongebouw 33 woningen	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	nee SV kwal (fpdel 0,5)	Basis	HR++ 0,4	C4c	-	13	68	30	52%		
					Extra	3v 0,25	D5a	D2	13	68	28	52%	
	ja	Houtpellet (fpdel 0,5)	nee houtpellet	Basis	HR++ 0,4	C4c	-	21	68	29	69%		
					Extra	3v 0,25	D5a	D2	18	68	29	65%	
	ja	coll. houtpellet (fpdel 0)	nee el doorstroom	Basis	HR++ 0,4	C4c	-	8	56	21	50%		
					Extra	3v 0,25	D5a	-	0	50	27	57%	

Afb. 3.2 Overzicht van voorbeeldpakketten met verschillende energieprestatie-indicatoren voor de tussenwoning, en vrijstaande woning en het woongebouw (zie bijlage 4)

In woningen zijn nog tal van energiebesparende maatregelen te treffen, die niet in de energieprestatierekening meegenomen worden. Deze maatregelen zijn niet in de bijgaande voorbeeldpakketten opgenomen, maar horen (deels) zeker thuis in energieuwige woningbouw (zie paragraaf 2.3.1 - Niet in de energieprestatie opgenomen).

3.5 Zeer energieuwige (woning)concepten

Het overheidsbeleid is er op gericht dat vanaf 2020 alle nieuwbouwwoningen bij aanvraag omgevingsvergunning 'bijna-energieneutraal' moeten zijn (zie paragraaf 2.2), in navolging van Europees beleid.

De koplopers in de bouwwereld lopen daarop vooruit en bieden allerlei zeer energieuwige woningconcepten aan. Daarbij worden diverse begrippen gebruikt zoals 'energieneutraal', 'nul-op-de-meter' en 'energie-nota-nul'. Ook de begrippen 'CO₂-neutraal' en 'klimaatneutraal' komen voor, maar dan vooral bij organisaties en grotere locaties.

Bij al deze begrippen is het van belang welke energiestromen worden meegeteld (zie voor achtergrondinformatie [56] en [57]):

- 'Woninggebonden energie': de energie nodig voor ruimte- en tapwaterverwarming (inclusief hulpenergie), ventilatie en koeling¹ min de opbrengst van bij de woning gewonnen (ofwel 'lokale') duurzame energie;
- 'Gebruikersgebonden energie' : de energie nodig voor verlichting¹ en huishoudelijke apparaten zoals witgoed inclusief kookapparatuur, computers, TV's en hobby;
- 'Materiaalgebonden energie': de energie nodig voor de bouw inclusief productie en vervoer van de bouwmaterialen, het onderhoud en de sloop van de woning.

1) In de berekening van de energieprestatie-indicatoren en het energielabel is de energiebehoefte voor verlichting voor het voorzien in de noodzakelijke verlichtingsniveau's altijd nul. Bij maatwerkadvies kan een eigen waarde worden gehanteerd, een richtwaarde is 5 kWh/m². De verlichting valt daarmee onder het 'gebruikersgebonden energieverbruik'.

Zie voor meer informatie "[Begrippenlijst gebouwen](#)" [53] en het [Infoblad Energieneutraal bouwen: definitie & ambitie](#) [68].

(Bijna) Energie Neutrale gebouwen

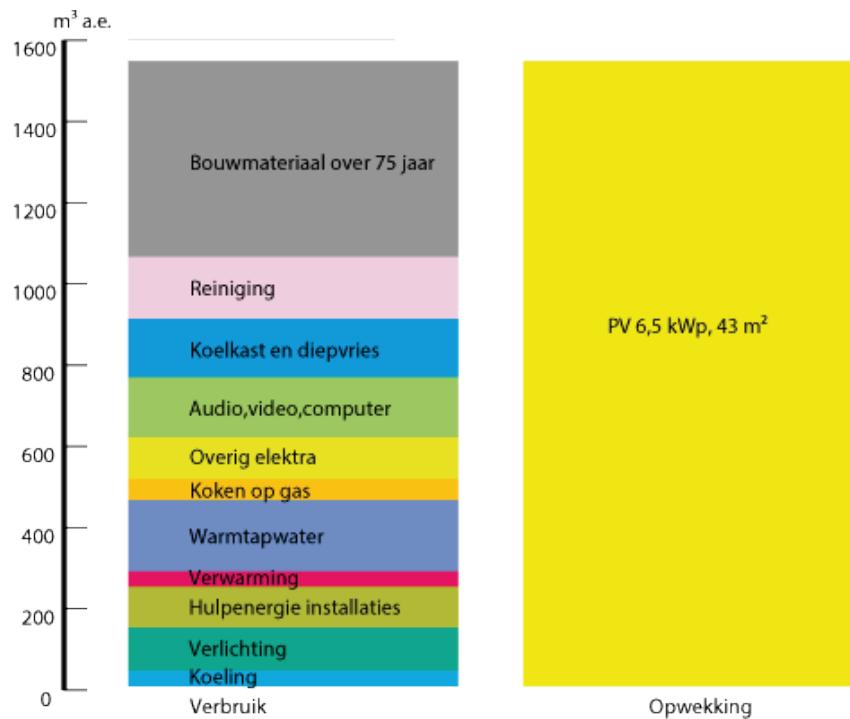
Wanneer er gesproken wordt over (bijna) energieneutrale gebouwen, dan worden vaak deze uitgangspunten gehanteerd:

- Alleen het gebouw- of woninggebonden energieverbruik wordt beschouwd. Het gaat hierbij om ruimteverwarming, warmtapwater, koude en elektriciteit voor pompen, ventilatoren en elektrische warmtepompen en (forfaitair) verlichting;
- Gebiedsgebonden maatregelen zoals bijv. warmtelevering via de EMG (zie paragraaf 2.3.2) worden gewaardeerd; de opwekking van energie kan dus in en buiten de woning plaatsvinden mits de maatregelen bij de omgevingsvergunning (bouwvergunning) worden meegenomen;
- Het netto energieverbruik (totale energievraag min opbrengst lokale duurzame energie) wordt bepaald over een jaar.

Bovenstaande definitie betekent dat het huishoudelijk elektriciteitsverbruik (wasmachine, tv, etc) en het energiegebruik voor verlichting buiten beschouwing gelaten worden. Een woning die, op basis van bovenstaande definitie, energieneutraal is, heeft dus nog wel een energierekening. Het primair fossiel energiegebruik (BENG 2 indicator) van een dergelijke woning bedraagt 0 kWh/m².

Het begrip 'energieneutraal' wordt ook wel anders gebruikt, bijvoorbeeld in de betekenis van 'nul-op-de-meter'; dit kan de nodige verwarring opleveren.

Meer informatie: [Infoblad Energieneutrale woningbouw](#) [69] en [Infoblad Energie-eisen en woonwensen](#) [70]. [In de Database Energiezuinig gebouwd](#) [73] zijn tal van gerealiseerde energieuze woningbouwprojecten te vinden.



Afb. 3.3 Indicatie van de diverse posten in de energiebalans bij een nul-op-de-meter-rijtjeswoning waarbij als extra ook de materiaalgebonden energie (bouw, onderhoud en sloop van de woning) gecompenseerd wordt door duurzame energie. Links de vraagzijde, rechts een mogelijke invulling van energiebronnen. Het materiaalgebonden verbruik is verrekend over de levensduur van het gebouw (75 jaar). Voor het huishoudelijke elektriciteitsverbruik is een relatief laag verbruik genomen. Dit kan worden bereikt door een bewust energieuwig gedrag, het gebruik van zuinige apparatuur + verlichting en door minder apparaten te gebruiken, zie ook hoofdstuk 10 Elektriciteit. (Bron: mede op basis van [56])



Afb. 3.4 Voorbeeld van energieneutrale en nul-op-de-meter woningen: het project De tuinen van Sion in Rijswijk (ZH) met 32 laagbouwwoningen (6 twee-onder-één-kapwoningen en 26 rijtjeswoningen). De woningen zijn voorzien van o.a. drievoudige beglazing, een combi-warmtepomp met warmte-koudeopslag in de bodem, vloerverwarming/koeling, gebalanceerde ventilatie met WTW en CO₂-regeling met meerdere zones, douche-WTW en bijna 20 m² PV-panelen. Vijf woningen zijn voorzien van extra PV-panelen waardoor ze het niveau 'nul-op-de-meter' bereiken; bovendien zijn aan de bewoners zeer energieuwig huishoudelijke apparatuur meegeleverd. De eerste werkelijke energieverbruikscijfers (2013-2014) geven aan dat deze vijf woningen aan de verwachtingen qua energieverbruik voldoen (Betrokken partijen: adviesbureau Merosch; architect: Inbo; opdrachtgever: Gemeente Rijswijk; aannemer/ontwikkeling Dura Vermeer; realisatie: 2013)

Nul-op-de-meter

De term 'nul-op-de-meter' (NOM-woning) wordt in de praktijk gebruikt als het totale energieverbruik op jaarbasis op nul uitkomt. Het gaat hierbij om alle energieverbruiken die op de energiemeter(s) in de woning zichtbaar worden. Het energieverbruik voor huishoudelijke apparatuur ('gebruikersgebonden' energieverbruik) wordt dus hierbij meegenomen. Bij een 'nul-op-de-meter woning' zal het primair fossiel energiegebruik (energieprestatie-indicator BENG 2) lager zijn dan nul (negatief). Globaal is zo'n 2.300 Wattpiek aan extra PV-panelen nodig om het huishoudelijk verbruik te compenseren. Dat kan geleverd worden door 15 à 20 m² PV-panelen.

Om ook de benodigde energie voor de bouw, onderhoud en sloophandelingen van een woning te compenseren, zijn globaal nog 15 m² PV-panelen extra nodig (afbeelding 3.3). Deze hoeveelheid energie wordt o.a. bij een nul-op-de-meter-woning buiten beschouwing gelaten.

Bij nul-op-de-meter-woningen wordt door de bouwer/ontwikkelaar meestal gegarandeerd dat het energieverbruik inderdaad op nul uitkomt. Hiervoor worden uitgebreide energieprestatiecontracten opgesteld waarin duidelijk de uitgangspunten en voorwaarden zijn omschreven. Voor banken kan de garantie extra zekerheid bieden om extra financieringsruimte aan kopers te verlenen; zie hiervoor de kamerbrief over leennormen op de website van de rijksoverheid. Ieder jaar wordt hiervoor een nieuwe kamerbrief opgesteld.

Energie-nota-nul

Bij 'Energie-nota-nul' (ENN-woning) heeft de woning op jaarbasis per saldo een gemiddelde energienota van € 0,-. Hierbij wordt niet alleen gerekend met de kosten voor het totale energieverbruik, maar ook met de kosten voor vastrecht en met de terugval van de energiebelasting. Onder het totale energieverbruik wordt verstaan het woninggebonden plus het gebruikersgebonden energieverbruik minder de opbrengst van lokale duurzame bronnen. Tussen een ENN-woning en een NOM-woning zitten enkele verschillen. Een NOM-woning heeft (wanneer geen gebruik wordt gemaakt van een gastoestel) op jaarbasis een gemiddeld elektriciteitsgebruik van nul. De kosten voor netbeheer, het vastrecht, moeten nog wel worden betaald. De bewoner mag gebruik maken van de Heffingskorting Energie, waardoor per saldo de bewoner geld terug krijgt. Bij de ENN-woningen komt de uiteindelijke energierekening op nul uit. Dit is dus inclusief vastrecht en de heffingskorting. Dit betekent dat een ENN-woning niet (per se) de energiemeter op nul heeft. Ook bij een ENN-woning mag een uitgebreid energieprestatiecontract niet ontbreken. Het primair fossiel energiegebruik (energieprestatie-indicator BENG 2) is ook bij deze woning lager dan nul (negatief). Een voorbeeld van energie-nota-nul-woningen is te vinden in het project Maurikse Gaarden (afbeelding 3.5).



Afb. 3.5 Voorbeeld van Energie-nota-nul-woningen: de vijf 'energienataloze' woningen in het project Maurikse Gaarden in Maurik voldoen hieraan. De woningen zijn naar het oosten en westen gericht, zodat ook de beide schuine dakvlakken een oost- en west-oriëntatie hebben. Hierop liggen in totaal ruim 50 m² PV-panelen. De woningen zijn naast de PV-panelen ook voorzien van o.a. driebouwige beglazing, HR-combiketel en een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer. Er is aan de bewoners een energieprestatiегarantie voor 10 jaar door de ontwikkelaar afgegeven. (Betrokken partijen: architect: AGS Arnhem; bouwer/ontwikkelaar: Trebbe; opdrachtgever: Stichting Woningbeheer Betuwe; realisatie: 2013. Foto's: Trebbe)

Energieleverend

Als er op jaarbasis een energie-overschot is, spreekt men van energieleverend. Hoe groot het positieve saldo moet zijn, is nergens (officieel) omschreven. Het begrip wordt niet eenduidig gebruikt, maar het ligt voor de hand om uit te gaan van het saldo van het woninggebonden plus gebruikersgebonden energieverbruik min de opbrengst van lokale duurzame energie.

Autarkisch

Een woning is volledig autarkisch qua energie wanneer de woning geheel zelfvoorzienend is. Er wordt alleen gebruik gemaakt van lokale duurzame energiebronnen. De woning is noch aangesloten op het gasnet noch op het elektriciteitsnet. Dit betekent dat de woning zelf pieken in elektriciteitsverbruik moet kunnen opvangen, en ook in staat moet zijn om op dagen dat er weinig aanbod is van lokale duurzame energie (denk aan de veel lagere opbrengst van zonne-energie in de winter) toch voldoende energie te kunnen leveren aan de woning. Gebruik van buffers (bijvoorbeeld in de vorm van accu's) is hiervoor noodzakelijk.

CO₂-neutraal / klimaatneutraal

Om wildgroei van begrippen te voorkomen, wordt aanbevolen om CO₂- en klimaatneutraal niet voor woningen en gebouwen te gebruiken, maar voor organisaties in brede zin. Zo kan bijvoorbeeld een bedrijf, stad of regio streven naar klimaatneutraliteit. Beide begrippen omvatten veel meer dan het energieverbruik voor verwarmen, koelen, ventileren en voor het gebruik van apparaten: zo tellen bijvoorbeeld mee de benodigde energie voor het produceren en leveren van producten, diensten en voedsel, voor mobiliteit en voor de bouw/aanleg en sloop van de gebouwde omgeving inclusief infrastructuur. Meer informatie: [Lokaal Energie- en Klimaatbeleid](#).

3.6 Passiefhuis

Niet energieneutraal of energienul, maar wel energiezuinig, zijn concepten zoals Passiefhuis.

Passiefhuis

Een passiefhuis is een zeer energiezuinige woning met een erg comfortabel en gezond binnenklimaat. Bij passiefhuis ligt de focus op het realiseren van een zeer lage warmtebehoefte met als een gevolg een extreem laag energiegebruik.

Het idee voor het concept is afkomstig uit Zweden. Intussen zijn er in Duitsland, Zweden, Oostenrijk en Zwitserland meer dan 10.000 Passiefhuizen gebouwd [58], in ons land enkele honderden (afbeelding 3.6). Op [www.passiefbouwen.nl](#) [59] en op [www.rvo.nl/energiezuiniggebouwd](#) staan voorbeelden uit Nederland. Op [www.passiv.de](#) [60] en [www.pixii.be](#) (Kennisplatform Energieneutraal Bouwen) [62] staan voorbeelden uit respectievelijk Duitsland en België. Op [www.passivhausprojekte.de](#) [75] staan bijna 3000 projecten uit een groot aantal landen.



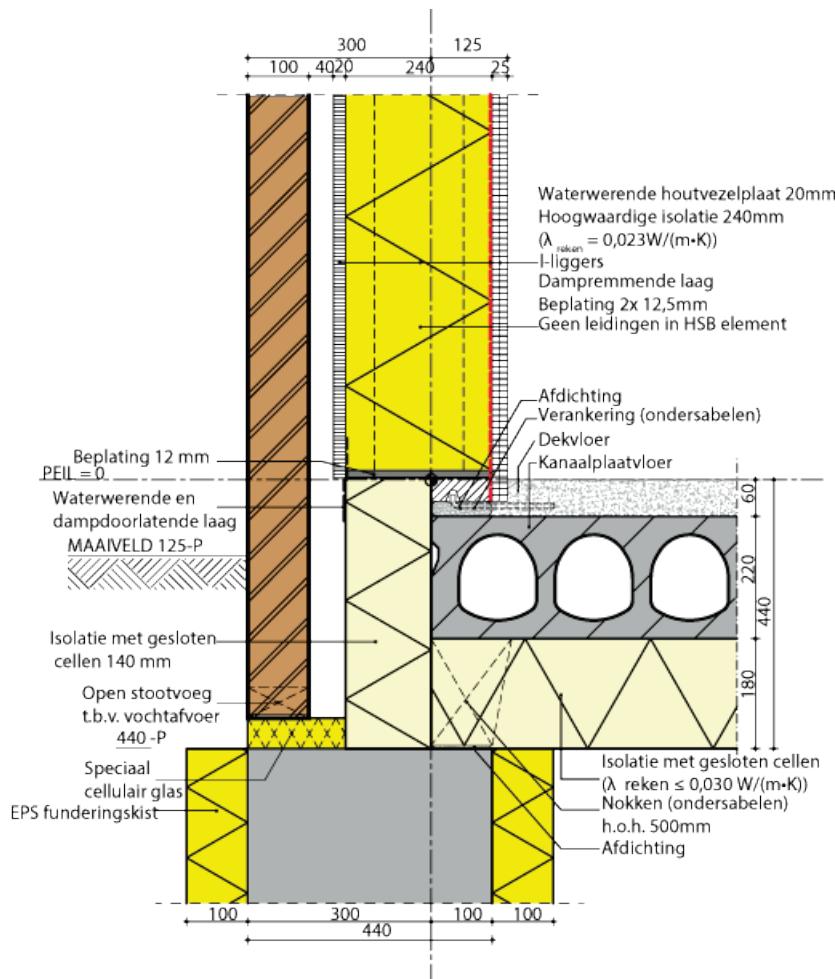
Afb. 3.6 Het project [Velve-Lindenhof](#) in Enschede bestaat uit ruim 210 woningen, waarvan 82 houtskeletbouw 'passiefhuizen' (met Passiefhuis-certificaat). De woningen zijn voorzien van o.a. een zeer goede warmte-isolatie, HR-combiketel en zonneboiler, CO₂ gestuurde gebalanceerde ventilatie met WTW en zomernachtventilatie (zie de roosters op de foto). (Betrokken partijen: opdrachtgever: corporatie De Woonplaats, architect: Beltman Architecten, bouwer/ontwikkelaar: bouwcombinatie De Groot

Vroomshoop en Goosen Te Pas Bouw, energieadviseur Nieman; realisatie 2013. In het project zijn ook 5 woningen gerealiseerd die 'bijna energieneutraal' zijn. Bron: Laurens Kuipers Fotografie)

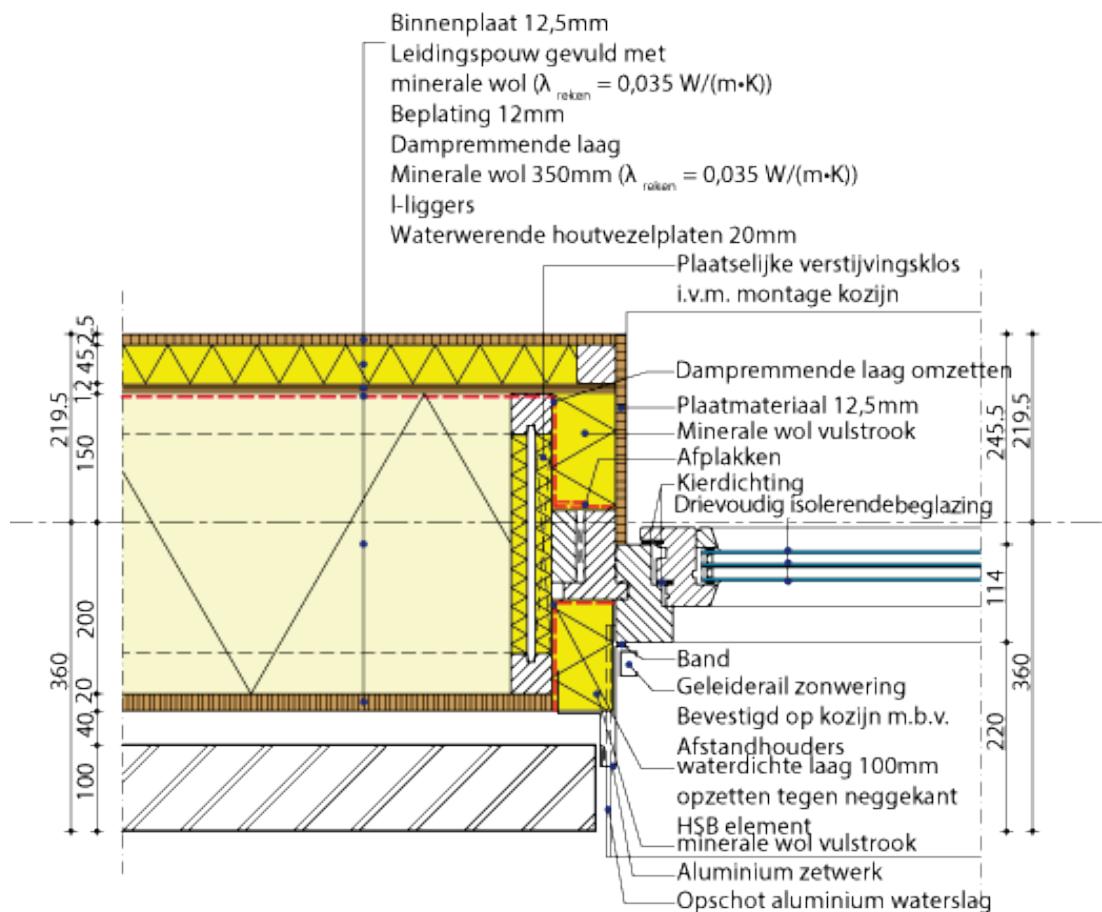
Het passiefhuis gaat er vanuit dat wat je niet verbruikt je ook niet hoeft op te wekken, te salderen of op te slaan. De warmtevraag is zo gering dat een kleine eenvoudige installatie toereikend is. De kernbeginselen van passief bouwen zijn:

- Optimaal gebruik maken van passieve zonne-energie (gebouw wordt op het zuiden georiënteerd en heeft grote ramen aan de zuidzijde en vaak kleinere aan de noordzijde);
- Een compacte en goede thermische schil, waarbij thermische bruggen (koudebruggen) worden voorkomen;
- Passiefhuis kozijnen met 3-voudige beglazing;
- Door goede kierdichting weinig luchtfiltratie;
- Een gebalanceerd ventilatiesysteem met wtw.

Het keurmerk PassiefBouwenKeur wordt uitgereikt als een passieve woning aan bepaalde minimumeisen voldoet. Dit certificaat is afgestemd op de Nederlandse markt en is vergelijkbaar met de Duitse certificering van het PassivHaus Institut. Voor een PassiefBouwenKeur certificering van passieve projecten is een PHPP-berekening in een actuele versie vereiste. Hiermee kan men bepalen of aan de criteria voor een Passiefhuis wordt voldaan. Bij de aanvraag voor een bouwvergunning, moet natuurlijk wel een energieprestatie-berekening worden toegevoegd. Zie voor de Duitse versie van het rekenmodel: [61].



Afb. 3.7 Verticale doorsnede. Voorbeeld van de aansluiting fundering met langsgevel in een Passiefhuis. In het binnenspouwblad is een isolatiemateriaal gebruikt met een λ -waarde van 0,23 (bijv. PIR-schuim); als er minerale wol met een λ -waarde van 0,035 wordt gebruikt, neemt de isolatiedikte toe van 240 mm naar ca. 340 mm. Om de koudebrug van de constructie in het binnenspouwblad te beperken is een houten I-ligger gebruikt. Het gemetselde buitenspouwblad staat op cellulair glas, eveneens om de koudebrug via de fundering te minimaliseren. Bron [63].



Afb. 3.8 Horizontale doorsnede. Voorbeeld van de aansluiting kozijn met het gesloten deel van de langsgevel in houtskeletbouw. Aan de binnenzijde (nog binnen de dampremmende laag) is een kleine spouw (gevuld met minerale wol) opgenomen waarin leidingen kunnen worden opgenomen. Deze spouw voorkomt dat de dampremmende laag onderbroken wordt waardoor vocht in de constructie kan komen en de luchtdichtheid afneemt. Bron [63].

Om tegemoet te komen aan de vraag naar labels als 'energieneutraal', 'zero carbon' of 'nul op de meter' zijn er naast Classic Passiefhuis klasse twee extra varianten, PassiefhuisPlus en Premium. Bij de bekende Classic, wordt alleen gekeken naar het maximale energieverbruik voor ruimteverwarming per m²/jaar met een maximum aan primaire energie op jaarbasis. De Plus en Premium variant nemen ook het tapwater, verlichting en consumptieve energieverbruik mee.

In het praktijkboek voor Passiefhuizen [63] staat veel aanvullende informatie over o.a. installatievarianten, voorzieningen voor 'passieve' zomernachtkoeling en bouwkundige details (afbeelding 3.7 en 3.8).

4 Ruimtelijk ontwerp

Na het vaststellen van een energiebewust Programma van Eisen (zie paragraaf 3.1) is het maken van een integraal ruimtelijk ontwerp de volgende stap bij de realisatie van een energiezuinig project.

Net zoals bij een gangbaar ontwerp, is de samenhang tussen het stedenbouwkundig plan en dat van de woning erg belangrijk. Al in het stedenbouwkundige ontwerp zijn, als het goed is, belangrijke randvoorwaarden opgenomen om op woningniveau tot zeer energiezuinige woningen te kunnen komen.

Zo maakt een 'oost-west'-verkaveling (de straten lopen oost-west) het gebruik van passieve zonne-energie optimaal mogelijk. Maar dan moet het woningontwerp daar wel gebruik van maken door in de zuidgevel relatief veel ramen te hebben en aan die zijde ook de vertrekken te leggen die relatief veel warmte nodig hebben in het winterseizoen. Tegelijkertijd vraagt de zomersituatie aandacht: zonwering en passieve koeling (al of niet uit de bodem) zijn nodig om de kans op te hoge binnentemperaturen zo klein mogelijk te maken en te voorkomen dat bewoners airco's gaan aanschaffen met een relatief hoog energieverbruik als gevolg.

Streef naar een aangenaam microklimaat: beperk bijvoorbeeld windhinder en stimuleer het toepassen van veel 'groen' (zoals bomen en vegetatiedaken) ter beperking van o.a. het 'warmte-eiland-effect'. Maar voorkom beschaduwing van ramen, zonnecollectoren en PV-panelen.

In dit hoofdstuk komen de volgende ruimtelijke aspecten aan bod:

- Vorm en oriëntatie (zie paragraaf 4.1);
- Passief gebruik van zonne-energie (zie paragraaf 4.2);
- Daglichttoetreding (zie paragraaf 4.3);
- (Opstellings)ruimte installaties (o.a. plaatsingsmogelijkheden zonneboilers, PV en beperken leidinglengtes warmtapwater) (zie paragraaf 4.4);
- Verkeersontsluiting en stimuleren langzaam verkeer (zie paragraaf 4.5).

Deelchecklist Energiebewust ontwerpen: ruimtelijk ontwerp

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Houd bij het ruimtelijk ontwerp rekening met:
- Maak een afweging tussen het wel of niet toepassen van een kruipruimte i.v.m. leidingen (bijv. voor warmte-/koudenet) en de grondbalans bij het bouwrijp maken (zie paragraaf 5.1.1);
- Stimuleer lopen en het fietsgebruik door aantrekkelijke, snelle, routes vanaf de woning naar diverse bestemmingen te maken; maak de fietsenberging of garage voldoende ruim voor het gemakkelijk stallen van fietsen en maak de stalling goed toegankelijk (zie paragraaf 4.5).

Structuurontwerp / Voorontwerp

- Bouw compact om transmissieverliezen te beperken; in speciale gevallen kan het gebruik van een atrium interessant zijn (zie paragraaf 4.2.4); laat dit punt niet ten koste gaan van een goed integraal ontwerp, houd dus rekening met o.a. logische plattegronden, gebruik van daglicht enzovoort;
- Leg de vertrekken die 's winters relatief veel warmte nodig hebben aan de zon zijde (zie paragraaf 4.2) en neem altijd maatregelen om te hoge binnentemperaturen in de zomer te voorkomen; overweeg een serre, maar alleen wanneer het voorkomen van verkeerd gebruik veel aandacht krijgt (zie paragraaf 4.2.3);
- Ontwerp de gevel zodanig dat er voldoende ruimte is voor een goede zonwering zoals overstekken en beweegbare zonwering (jaloezie-schermen, rolschermen, uitklapschermen) (zie paragraaf 4.2.1); soms is zonwerende beglazing te overwegen;
- Maak 'passieve' zomernachtkoeling mogelijk: reserveer bijv. voldoende ruimte in gevels en dak om te spuien door middel van grote ventilatieopeningen met goede anti-inbraakvoorzieningen; zie voor passieve koeling via grondbuizen (zie paragraaf 6.8) of vrije koeling via warmte-/koudeopslag (zie paragraaf 8.3.4);

- Maak optimaal gebruik van daglicht. Denk aan onder andere de juiste vorm en plek van de ramen, daklichten en (bijv. bij een atrium) daglichtreflectoren (zie paragraaf 4.3);
- Maak een keuze tussen individuele of collectieve installaties (zie paragraaf 7.4);
- Kies de optimale plek voor de installaties (zie paragraaf 4.4): denk hierbij aan:
 - Zo kort mogelijke leidingen, zeker voor warm tapwater en luchtkanalen;
 - Het voorkomen van geluidhinder, bijv. van warmtepomp, CV-ketel, ventilatieunit en zonnecollector-circuit;
 - Voldoende ruimte, bijv. voor opslagvat warmwater voor ruimteverwarming en tapwater; houd ook rekening met ruimte voor onderhoud en vervanging;
 - De situering van (verticale) leidingkokers van voldoende formaat; denk aan luchtkanalen met ruime diameters om de weerstand te verkleinen, warmte- en geluidisolatie van leidingen en bij gestapelde bouw ook aan brandoverslag en geluidabsorptie.
- Ga na of de gevel zodanig geluidbelast is dat er geluidwerende maatregelen genomen moeten worden; overweeg of een serre of extra glasgevel een oplossing is (zie paragraaf 4.2.3);
- Stem de dikte van constructies af op de gewenste isolatiewaarden.

Definitief Ontwerp / Technisch ontwerp

- --

Uitvoering / Gebruik / Exploitatie

- --

In paragraaf 3.3 staat de checklist op hoofdlijnen.

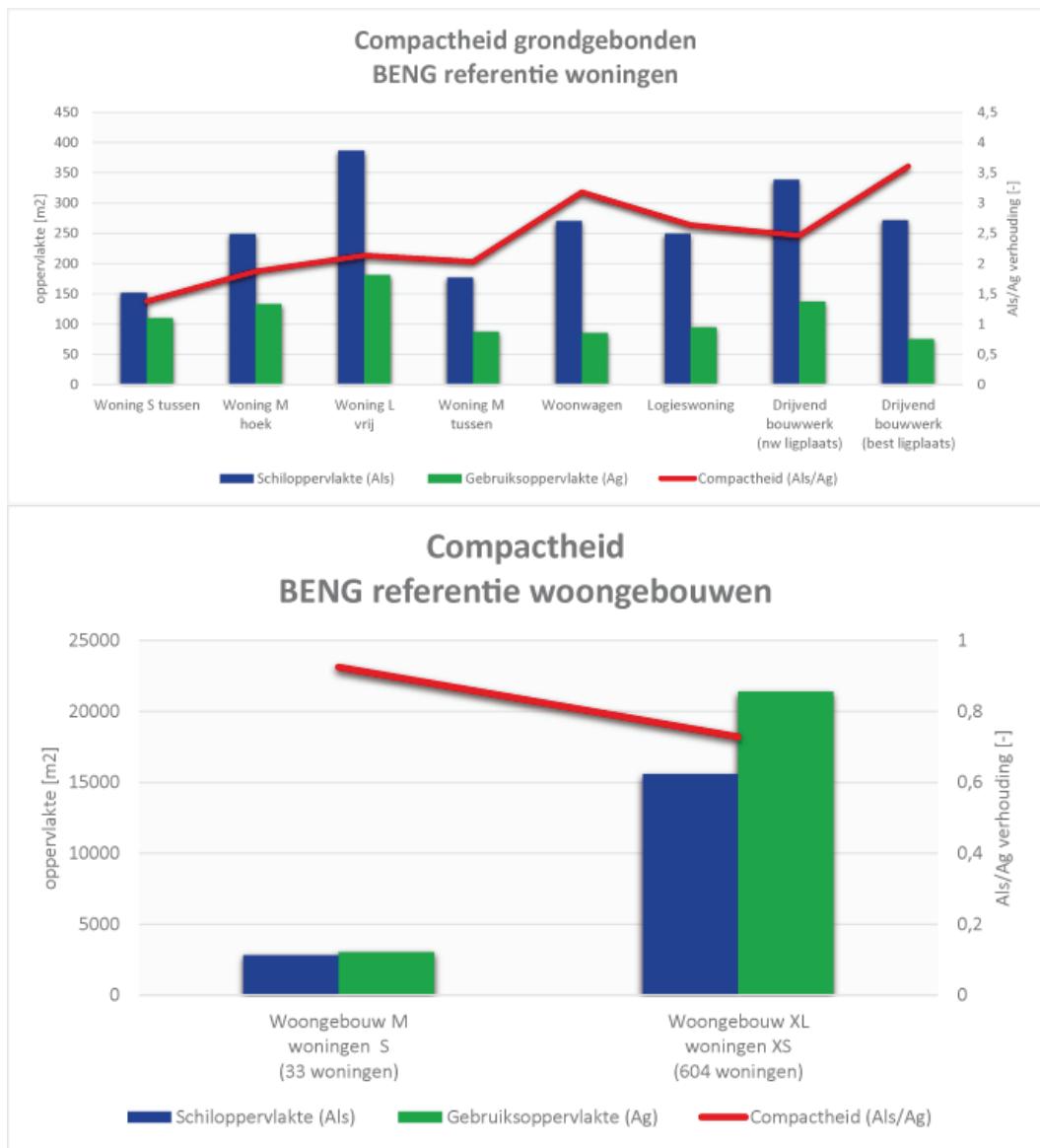
4.1 Vorm en oriëntatie van bebouwing

4.1.1 Compactheid bouwblok

Hoe 'compacter' een woning of woongebouw is, des te lager zullen de transmissieverliezen kunnen zijn. 'Compact' staat hier voor de verhouding tussen het schiloppervlak (A_{ls}) en het gebruikoppervlak A_g (zie afbeeldingen 4.1 en 4.2). Ook de complexiteit van de gebouwvorm speelt een rol: zo geven minder aan-en uitbouwen niet alleen een compactere bouwvorm, ze leveren ook minder bouwkundige aansluitingen op in de gebouwschil. En hoe minder aansluitingen, hoe kleiner de kans is op koudebruggen en luchtlekken met als positief resultaat: minder transmissie- en infiltratieverliezen.

Overige kwaliteiten

Compact bouwen mag natuurlijk niet ten koste gaan van goede gebruiksmogelijkheden en daglichttoetreding. Het verkleinen van bijvoorbeeld de breedte van een rijtjeswoning bij gelijkblijvende woninggrootte, maakt de woning compacter, maar verkleint de indelingsmogelijkheden. Bovendien komt er minder daglicht, èn zon, binnen.



Afb. 4.1 De compactheid van woningen wordt uitgedrukt in de factor A_{ls}/A_g . Hoe hoger deze factor is, hoe minder compact. Tussenwoningen en woongebouwen hebben een gunstige (lage) A_{ls}/A_g -verhouding.

4.1.2 Oriëntatie dak en gevel

Oriëntatie daken

Dakvlakken bieden plaats aan zonnecollectoren en PV-panelen. Houd in het ontwerp rekening met de benodigde ruimte en met de optimale oriëntatie en hellingshoek van beide systemen, ook al worden ze nog niet direct toegepast. Gelet op de energieprestatie-eisen, nu en in de nabije toekomst èn de ontwikkeling in woonlasten, is het toepassen van deze systemen zeker aantrekkelijk. Ontwikkelaars bieden steeds vaker allerlei energiebesparende of duurzame energie opties aan.

Enkele richtlijnen:

- De optimale oriëntatie voor beide systemen is zuid;
- De optimale hellingshoek voor zonnecollectoren voor tapwater (zie paragraaf 9.3.5) ligt rond 45°, als ze specifiek voor ruimteverwarming gebruikt worden, ligt het optimum rond 55° à 60°; voor collectoren die voor beide doelen (zie paragraaf 7.3.5) gebruikt worden, ligt het optimum daar tussenin, dus (ruim) 50°;
- De optimale hellingshoek voor PV (zie paragraaf 10.2.1) ligt rond de 35°;
- Afwijken van de optimale oriëntatie en helling is natuurlijk mogelijk, maar levert per m² collector of PV-paneel minder energie op.

Voor informatie over de benodigde oppervlakken, zie bij de desbetreffende systemen.

PV kan ook in het glas in glasdaken zijn opgenomen. Vaak gebeurt dit in de vorm van z.g. doorzichtpanelen: beglazing met een combinatie van PV en daglichttoetreding. Voor doorzichtpanelen gelden dezelfde richtlijnen.

Voorkom beschaduwing door bijvoorbeeld omliggende bebouwing, daken, dakkapellen, rookgasafvoeren en vegetatie. Vooral PV-systemen zijn daar erg gevoelig voor (zie paragraaf 4.1.3).

Platte daken

Bij platte daken is de optimale oriëntatie van collectoren en PV-panelen altijd te realiseren door plaatsing op een frame. De mogelijkheden van plaatsing zijn daarmee onafhankelijk van de oriëntatie van de bouwblokken.

Voor PV-panelen geldt dat ook gekozen kan worden voor de combinatie van oost en west ligging (rug aan rug) van de panelen. De opbrengst per m² paneel neemt weliswaar af, maar de energie-opbrengst van het totale dak kan dan hoger zijn doordat er meer panelen geplaatst kunnen worden dan bij een zuid-oriëntatie waarbij onderlinge beschaduwing van de panelen zo veel mogelijk moet worden vermeden. Zo'n oost-west opstelling levert bovendien meer verspreid over de dag de energie op ten opzichte van zuid gerichte PV-panelen hetgeen soms interessant kan zijn.

Schuine daken

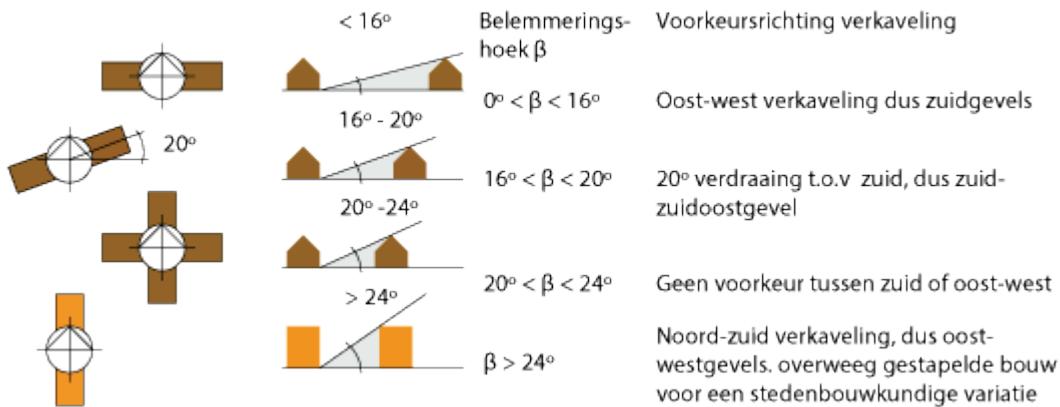
Collectoren en PV-panelen op schuine daken hebben meestal dezelfde hellingshoek als het dak. De oriëntatie en helling van het dakvlak zijn daarmee bepalend voor de mogelijkheden voor toepassing van zonneboilers en/of PV-cellen. Een dakvlak kan een andere oriëntatie hebben dan het onderliggende bouwblok. Daardoor is in het stedenbouwkundige plan nog veel mogelijk (zie afbeelding 4.2).



Afb. 4.2 Woningen met zonnecollectoren op platte daken in Nieuwland, Amersfoort. Alle collectoren zijn op het zuiden gericht ondanks de wisselende oriëntatie van de woningen. (Bron: ontwerp: Olga Architecten)

Oriëntatie gevels

De oriëntatie van gevels is energetisch van belang voor het passief benutten van zonne-energie (PZE) via ramen. Voor een goede zonbijdrage hoeft de oriëntatie niet pal zuid te zijn. Een kleine verdraaiing in oriëntatie ten opzichte van zuid, tot circa 20° oost- of westwaarts, levert slechts een beperkte afname aan zonnewarmte (zie paragraaf 4.2). Afwijking van de zuidverkaveling is zelfs aan te bevelen als de belemmeringshoeken groter zijn (afbeelding 4.3). PZE hoeft geen eentonige verkaveling op te leveren. Bij de verkaveling in het project EVA-Lanxmeer in Culemborg is onder andere rekening gehouden met bestaande structuren, waterwegen, een menging van wonen en werken en zonne-energie (afbeelding 4.4).



Afb. 4.3 Verkavelingsrichting voor eengezinswoningen bij een bepaalde belemmeringshoek



Afb. 4.4 De verkaveling van het project EVA-Lanxmeer (www.eva-lanxmeer.nl). De noordpijl wijst precies naar boven.

Volledige zuidoriëntatie

In een verkaveling waar alle tuinen zuidgericht zijn, is extra aandacht voor het beperken van de infrastructuur aan te bevelen. In plaats van elke strook woningen te voorzien van een straat, kan bijvoorbeeld een deel van de woningen aan een rustig, relatief smal, woonpad komen te liggen (afbeelding 4.5) waardoor de hoeveelheid verharding aanzienlijk kan afnemen. Ook de erfscheiding van de achtertuinen die aan het woonpad grenzen, vraagt aandacht. Zaken als privacy, sociale veiligheid (bijv. Politiekeurmerk Veilig Wonen) en architectonische vormgeving spelen een rol (afbeelding 4.6).

Het is aan te bevelen, en soms is het verplicht, deze erfscheiding in het ontwerp mee te nemen. Informeer de toekomstige bewoners over:

- Het achterliggende idee van het ontwerp van de erfscheiding;
- Eventuele eisen die (bijv. door de gemeente) gesteld worden aan die erfscheiding;
- Onderhoudstips voor de toegepaste erfscheiding, bijvoorbeeld klimplanten;
- Mogelijkheden voor snelgroeende vegetatie, dit om een groen karakter te stimuleren.



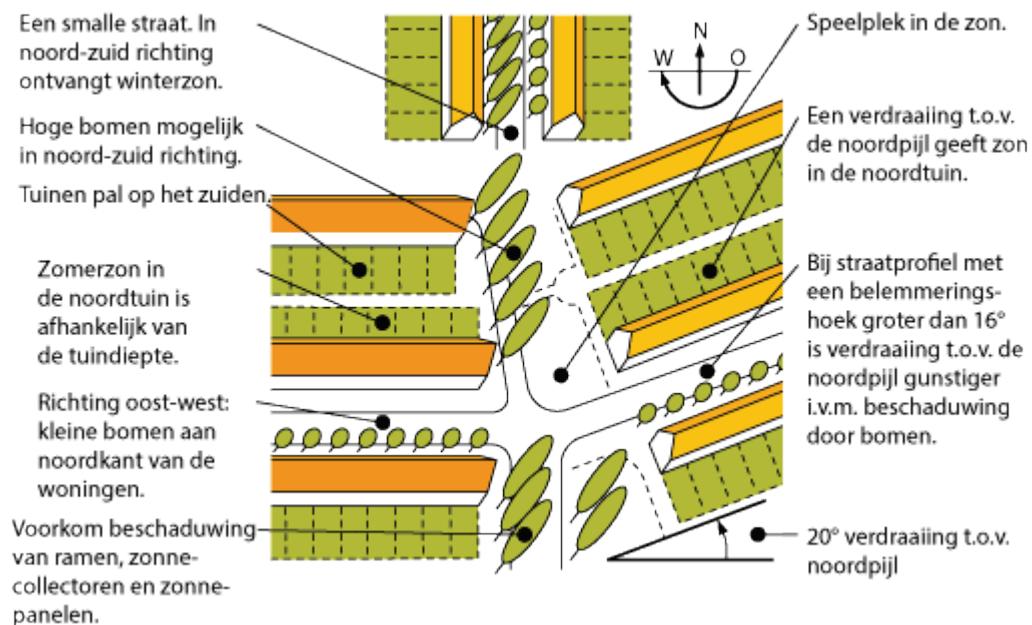
Afb. 4.5 Een woonpad levert een kindvriendelijke woonomgeving op; project Ecodus met een oost-west 'strokenverkaveling' in Delft



Afb. 4.6 Bij deze z.g. 'strokenverkaveling' in de wijk Roomburg in Leiden is gekozen voor een standaard gaashekwerk als erfscheiding in combinatie met de snelgroeiende klimop. Deze erfscheiding is geplaatst om te voorkomen dat er een wildgroei van schuttingen ontstaat en om te bereiken dat er toch voldoende privacy is en tegelijkertijd de buurt een groen uiterlijk krijgt. Bewoners zijn via de erfpachttoevenskomst verplicht om deze erfscheidingen in stand te houden. Er is een boeteclausule om het verwijderen van de erfscheiding tegen te gaan. (Betrokken partijen: planontwikkeling: Gemeente Leiden, architect: Geurst & Schulze Architecten, ontwikkelaar: du Prie bouw & ontwikkeling; realisatie 2004)

Bezonning en windluwte in stedenbouwkundige ruimten

Buitenruimten als tuinen, speelplekken en routes voor langzaam verkeer zijn gebaat bij goede bezonning, groen en windluwte in alle seizoenen. Deze variabelen hebben geen directe invloed op het energieverbruik van woningen, maar kunnen conflicteren met de wens om de woningen optimaal te bezonnen. De bezonning van buitenruimten kan om een andere verkaveling vragen dan optimale bezonning van woningen. Overweeg daarom bij een belemmeringshoek tussen circa 16° en 20° een zuidverkaveling iets naar het oosten te draaien. Dit geeft zowel bij laagbouw als bij gestapelde bouw een betere bezonning van de buitenruimten. Bij een belemmeringshoek van meer dan 24° is het te overwegen om een verkaveling toe te passen met oost- en westgevels. Passieve zonne-energie levert dan toch weinig op en de buitenruimten krijgen nog enige zon midden op de dag (afbeelding 4.7).



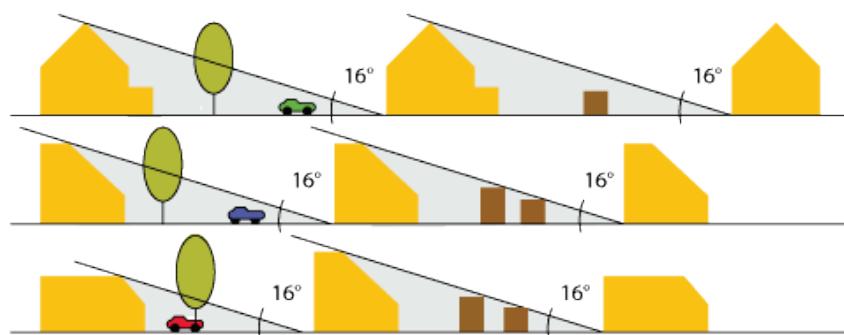
Afb. 4.7 Diverse ontwerpkeuzes voor de verkaveling gelet op bezonning [78]

4.1.3 Belemmering van zoninstraling en daglichttoetreding

Zoninstraling kan worden belemmerd door bebouwing en begroeiing. Voor optimale benutting van zoninstraling is dit onwenselijk. Vooral de opbrengst van PV-panelen wordt sterk beïnvloed door belemmeringen. Hanteer als richtlijn voor de maximale belemmeringshoek (gemeten vanaf de onderzijde van het raam, collector of paneel):

- Passieve zonne-energie: circa 16° (zie paragraaf 4.2); vanaf zo'n 24° is de zonbijdrage aan de ruimteverwarming in de wintermaanden vrijwel te verwaarlozen;
- Zonnecollectoren: circa 20° (zie paragraaf 7.3.5 en 9.3.5);
- PV-panelen: circa 12° (zie paragraaf 10.2.1); minimaliseer ook gedeeltelijke beschaduwing van de panelen.

Voor goede passieve benutting van zonne-energie mag de belemmeringshoek niet te groot zijn. Tot circa 16° blijft de invloed van beschaduwing op het energieverbruik vrij gering. Boven de 20° stijgt de invloed snel. Beperk de beschaduwing door de optimale keuze in het ontwerp van kapvorm, bouwhoogte en situering van bergingen en aanbouwen (afbeelding 4.8).



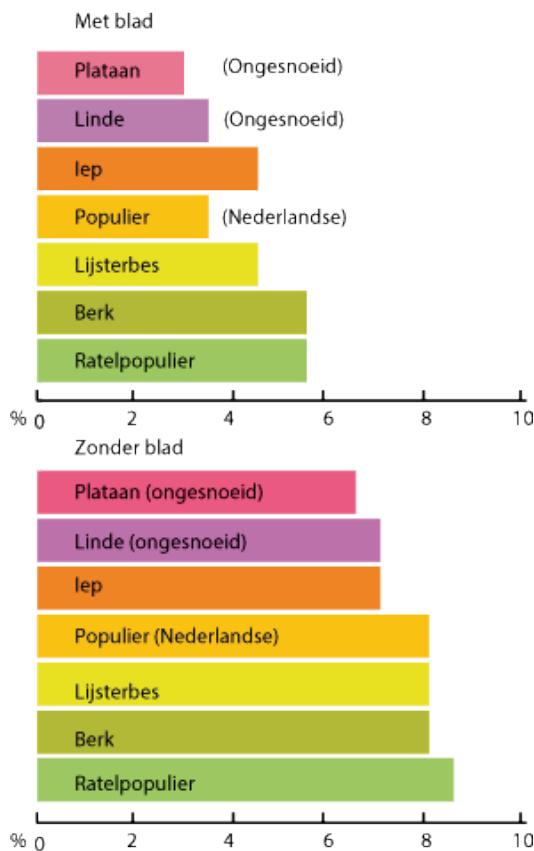
Afb. 4.8 Door verandering van de kapvorm en/of bouwvolume wijzigt de straatbreedte die nodig is om de belemmeringshoek tot 16° te beperken [78]

Beplanting in stedenbouwkundige ruimten

Houd in het stedenbouwkundige ontwerp rekening met de effecten van beplanting op beschaduwing en wind, ook op de langere termijn. Beplanting kan de gebruikskwaliteit van een buitenruimte verbeteren door wind te vangen en natuurlijk door de belevingswaarde te vergroten en in stedelijke gebieden [het](#)

warmte-eiland-effect te verkleinen. Zie ook de (digitale) publicatie 'Tegen de hitte - Groen en de opwarming van de stad'. De beschaduwing kan effect hebben op het gebruik van zonne-energie en daglicht in woningen.

Om te voorkomen dat begroeiing zoninstraling belemmt, kan deze bijvoorbeeld aan de noordzijde van bebouwing worden geplaatst. Houd daarbij ook rekening met het effect op de daglichttoetreding. 'Transparante' bomen hebben daarom de voorkeur boven bomen die dicht bebladerd en vertakt zijn (afbeelding 4.9).



Afb. 4.9 De doorgelaten hoeveelheid zonnestraling in procenten t.o.v. de totale hoeveelheid opvallende zonnestraling. Zonder blad wordt 65 tot 85% van de op de bomen vallende zon doorgelaten. Een ratelpopulier laat dus de meeste zon door [78]

In bijlage 6 is een afbeelding opgenomen van de zonnebaan langs de hemelkoepel gedurende de dag in de diverse jaargetijden. Met deze afbeelding is een schatting te maken van de slagschaduw die een object gedurende het jaar geeft.

4.2 Passief gebruik van zonne-energie (PZE)

Onder het passief gebruik van zonne-energie (PZE) verstaat men de zonnestraling die in het stookseizoen de woning binnenkomt en bijdraagt aan de verwarming van de woning. Bij de referentierijtjeswoning dragen de zonnewarmte, interne bronnen (personen, verlichting en apparatuur in de woning) en de verwarmingsinstallatie elk ongeveer een derde bij aan het verwarmen van de woning (zie paragraaf 1.3).

In het ontwerp bepalen vooral de oriëntatie, beschaduwing, raamgrootte en woningplattegrond de zonbijdrage (zie paragraaf 4.2.1 en 4.2.2). Bij de materialisering (zie hoofdstuk 5.2) komen daar nog de zontoetredende eigenschappen van de beglazing bij. Soms worden serres of atria toegepast voor nog hogere bijdrage van PZE (zie paragraaf 4.2.3 en 4.2.4). Gevelcollectoren en 'trombemuren' bieden in het Nederlandse klimaat voor de woningbouw weinig mogelijkheden (zie paragraaf 4.2.5).

Uit bewonersonderzoek [79], [80] en [76] blijkt dat bewoners PZE zeer waarderen, niet alleen vanwege de zonnewarmte, maar ook vanwege het daglicht. De waardering neemt nog verder toe als er bovendien een zuidgerichte achtertuin is. Maar neem altijd voldoende maatregelen (zonwering, passieve zomernachtventilatie, bypass bij WTW-unit enz.) om te hoge binnentemperaturen te voorkomen!

4.2.1 Zoninstraling door ramen

Berekeningen met o.a. NTA 8800 [30] geven aan dat een op zuid georiënteerde woning de hoogste zonbijdrage heeft. De zonbijdrage hangt o.a. af van het glasoppervlak in de gevels, de oriëntatie en in welke mate de woningen zijn geïsoleerd.

Als voorbeeld de BENG referentiehoekwoning met een HR107 ketel:

- De glasverdeling is in de referentiewoning vrijwel gelijk verdeeld over de noordoost- en zuidwestgevel (58% noordoost en noordwest / 42% zuidwest). Als glas van noordoost/west naar zuidwest (75% zuidwest / 25% noordoost/west) wordt verplaatst, dan levert dat een besparing op van ruim 1,5 kWh/m² per jaar (BENG indicator 2). BENG 1 indicator, energiebehoefte neemt af met 1,4 kWh/m² per jaar;
- Als de glasverdeling 25% zuidwest en 75% noordoost/west wordt, neemt het energieverbruik met 0,8 kWh/m² per jaar (BENG indicator 2) toe ten opzichte van de referentieverdeling. BENG 1 indicator, energiebehoefte neemt toe met 0,7 kWh/m² per jaar.

Voorkom oververhitting

Om in de zomer (te) hoge binnentemperaturen te voorkomen, is zonwering noodzakelijk. Zonwering wordt bovendien in NTA 8800 gewaardeerd, maar moet dan wel deel uitmaken van het project. Zonwering kan ook meehelpen voorkomen dat men airco's gaan gebruiken.

Er zijn allerlei mogelijkheden voor zonwering zoals overstekken, beweegbare zonwering (jaloezieluik, verticale doeken screens, uitvalscherf, knikarmscherf, rolluik) of vegetatie. Een goed regelbare buitenzonwering is het meest effectief omdat deze in het stookseizoen geen belemmering voor de zon vormt en buiten het stookseizoen de maximale belemmering kan geven, mits goed bediend. Houd bij het (schets)ontwerp en de detaillering van de gevel rekening met zonwering; denk aan:

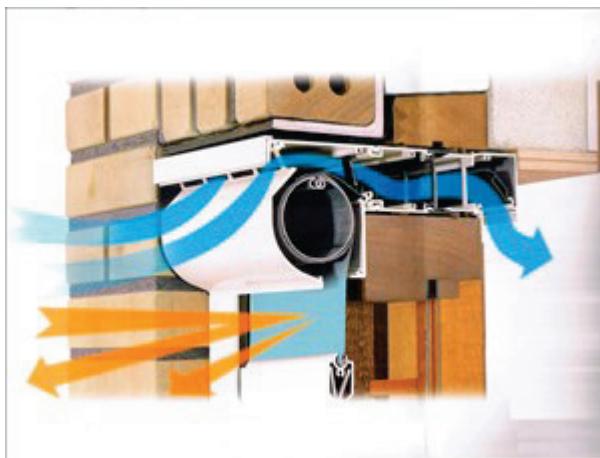
- De oriëntatie van de gevel: zo werkt een overstek alleen goed bij een zuidgevel en vragen oost- en westgevels om beweegbare zonwering; bij de zuidgevel met een overstek zal beweegbare zonwering meestal ook als aanvulling gewenst zijn;
- Voldoende ruimte voor de zonwering; dit speelt vooral bij jaloezieluiken (zie afbeelding 4.10) in verband met het opzij schuiven of inklappen;
- Bevestigingspunten voor de zonwering; zo zal een houten gevelpui mogelijk extra verstevigd moeten worden bij een uitvalscherf;
- Integratie van de zonwering met ventilatieroosters; diverse fabrikanten leveren kant-en-klare producten (zie afbeelding 4.11); let op de maatvoering (van het kozijn zelf en van de situering van het kozijn in de gevel) in verband met de inbouw in het kozijn en zorg voor ventilatie tussen screen en beglazing (zie volgende punt);
- Voldoende ventilatie van de luchtlag tussen de zonwering en de beglazing; vooral bij screens kan er te weinig ventilatie zijn: kies daarom voor screens waarbij aan de zij- en/of bovenkant een ruime spleet zit; zij geleiding via een roestvrije staalkabel is een oplossing (zie afbeelding 4.12);
- Bereikbaarheid voor onderhoud;
- Een lage g-factor (of ZTA-waarde) bij toepassing van screens: hoe lager de g-factor hoe minder zon er binnenkomt. Zorg tegelijk ook voor een tenminste redelijke lichtdoorlatendheid (TL-factor: hoe hoger, hoe meer licht) om het gebruik van kunstlicht te beperken; informeer altijd naar deze beide waarden bij de leverancier;
- Behoud van ventilatie via ventilatieroosters of andere voorzieningen; zorg er voor dat zonwering de vrije doorstroom niet belemmt.

Soms is zonwerende beglazing te overwegen, bijvoorbeeld als de locatie te kwetsbaar is voor zonwering of als de windbelasting te hoog is.

Zorg er voor dat bewoners informatie krijgen over het risico van thermische breuk. Die ontstaat door temperatuurverschillen van zo'n 30 °C en meer in het oppervlak van het glas. Thermische breuk kan als gevolg van zonwering optreden wanneer beglazing slechts gedeeltelijk beschaduwd wordt en de afstand tussen de zonwering en het glas klein is zoals bij screens. Meer informatie: www.kenniscentrumglas.nl.



Afb. 4.10 Jaloezieluiken of schuifschermen: één van de vele mogelijkheden voor zonwering. De lamellen kunnen zowel vast als draaibaar zijn, afhankelijk van het lameltype en fabrikaat. Op de foto het project Delfts Blauw in Delft met luiken opgebouwd uit een frame en lamellen van aluminium; (Betrokken partijen: Limelight; architectenbureau: Architecten Cie en ontwikkelaar Eurowoningen)

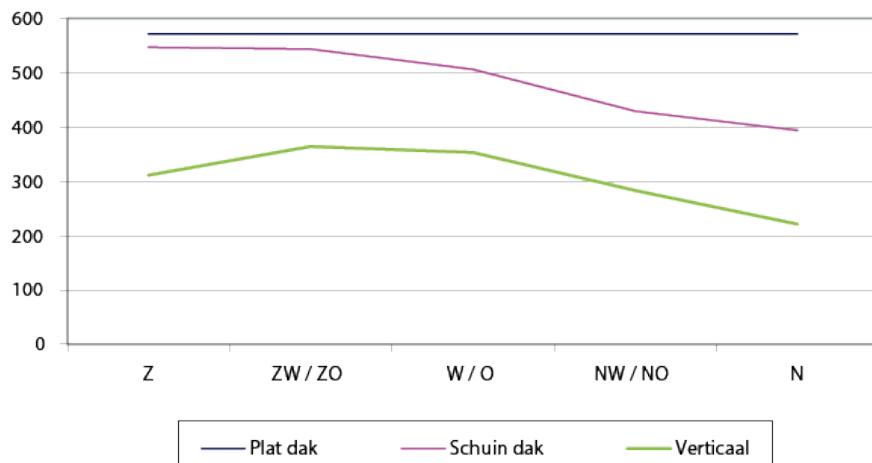


Afb. 4.11 Voorbeeld van een zonwerende screen geïntegreerd met een ventilatierooster (Bron: Duco)



Afb. 4.12 Zorg er voor dat de spouw tussen screen en raam geventileerd is. Dit kan bijvoorbeeld door een zijgeleiding van roestvrije staalkabel toe te passen

[MJ/m²]



Afb. 4.13 De grafiek geeft de zonnestraling op een vierkante meter glas in de maand juni

Glas in de zuidgevel

Bij PZE-woningen hoort een asymmetrische glasverdeling: relatief veel glas in de zuidgevel en relatief weinig in de noordgevel. Bij veel extra glas op het zuiden, ten opzichte van de referentiewoningen, neemt het energiebesparende effect af en het risico op te hoge temperaturen in de zomer toe. Om dat risico te voorkomen, is het aan te bevelen niet veel meer glas te gebruiken dan in de referentiewoningen al toegepast is. Denk aan hoogstens 2 à 3 m² extra. Uiteraard is de toepassing van een goede buitenzonwering ook sterk aan te bevelen, zeker bij de toepassing van grotere glasoppervlakken op de zonbelaste gevels.

Glas in de noordgevel

In de noordgevel hoort zoals gezegd niet te veel glas. Extra glas laat het energieverbruik toenemen, tenzij er zeer goed isolerende beglazing gebruikt wordt. In dat geval compenseert de diffuse straling door het noordraam het transmissieverlies in een stookseizoen. Het omslagpunt (van energieverlies naar energiewinst) ligt globaal bij een raamconstructie met een totale u-waarde van 0,9 (dus van glas en kozijn samen).

Berekening met NTA 8800 geeft voor de BENG referentie hoekwoning (gedraaid naar noord-zuid orientatie) met een HR 107 ketel de volgende resultaten bij vervanging van 1 m² dichte noordgevel door 1 m² noordraam:

- Bij HR⁺⁺-glas in een houten kozijn met u-totaal (glas + kozijn) van 1,40: extra energieverbruik van 0,2 kWh per m² per jaar (BENG 2);
- Bij drievoudig glas in een houten kozijn met thermische onderbreking met u-totaal (glas + kozijn) van 0,8: het energieverbruik blijft bijna gelijk, er is een zeer geringe energieafname van 0,03 kWh per m² per jaar (BENG 2).

Let op:

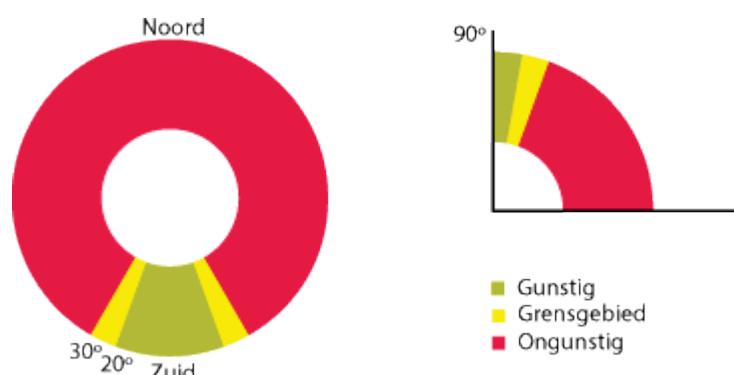
De resultaten gelden alleen voor een beperkt aantal m² raam.

Glas in de oost- en westgevel

Bij woningen met een oost- en westgevel ligt een min of meer gelijke verdeling van het glas over de gevels voor de hand. Maak het glasoppervlak in deze gevels vooral niet te groot om 's zomers te hoge binnentemperaturen te voorkomen. De zon staat op deze oriëntaties relatief laag en is daardoor moeilijker te weren dan op het zuiden. De zonbelasting op beide gevels is 's zomers hoger dan op de zuidgevel.

Glas in hellende of platte daken

Ramen in hellende daken vangen meer zon in het stookseizoen dan ramen in gevels. Dakramen in platte daken vangen maar net iets minder dan ramen in zuidgerichte gevels, maar meer dan ramen in anders georiënteerde gevels. Beide typen ramen hebben als voordeel dat er relatief veel daglicht binnen komt (zie paragraaf 4.3). Het grote nadeel is dat schuine en horizontale ramen een grote zonbelasting hebben (zie afbeelding 4.14). Bovendien hebben ze in heldere winternachten extra warmte-uitstraling.



Afb. 4.14 Optimale oriëntatie en hellingshoek voor ramen. Een hellingshoek van 90° heeft de voorkeur om te hoge temperaturen in de zomer te voorkomen. Bovendien is de nachtelijke uitstraling bij verticale ramen het geringst. Als er houten kozijnen gebruikt worden, is het uit het oogpunt van onderhoud sowieso ongewenst om ze onder een hellingshoek aan te brengen

4.2.2 Woningplattegrond

Door het compartimenteren en zoneren van woningen verminderen de transmissie- en ventilatieverliezen en kan zonnewarmte beter worden benut.

Compartimenteren

Door vertrekken onderling van elkaar te scheiden, te compartimenteren, kan men voorkomen dat bepaalde vertrekken onnodig worden verwarmd en/of geventileerd. De genoemde besparingen zijn indicatief (sterk afhankelijk van bewonersgedrag) en gelden voor de referentie tussenwoning met een HR 107 ketel.

- Een gesloten of afsluitbare keuken kan ten opzichte van een open keuken de volgende besparingen per jaar opleveren:
 - 20 m³ gas door de afname van de transmissieverliezen;
 - 30 m³ gas door de afname van de ventilatieverliezen (kookstand wordt minder gebruikt); de besparing geldt niet als een (al of niet motorloze) afzuigkap op een gebalanceerd ventilatiesysteem met WTW is aangesloten; aanbeveling: installeer een mechanische afzuigkap altijd met een eigen afvoer rechtstreeks naar buiten, zie paragraaf 6.5 en 6.6.

- Een dampscherm (of dampdrempel) tussen de keuken en de woonkamer levert in de woonkamer een betere luchtkwaliteit op;
- Tochtportalen bij de voor- en achterdeur besparen elk maximaal zo'n 20 m³ aardgas per jaar;
- Het isoleren van de verdiepings- en zoldervloer (bij een onverwarmde zolder) bespaart maximaal ca. 40 m³ aardgas per jaar per vloer; bij gebalanceerde ventilatie met wtw globaal de helft daarvan. Een geïsoleerde verdiepingsvloer heeft als voordeel dat de temperatuur op de (slaap)verdieping relatief laag kan worden gehouden; bij gebalanceerde ventilatie lukt dat minder goed doordat de toegevoerde verse buitenlucht door de warmteterugwinning al enigszins is opgewarmd;
- Het isoleren van woningscheidende wanden en vloeren maakt het energieverbruik minder afhankelijk van het bewonersgedrag van buren. Zeker in zeer goed geïsoleerde woningen kan dit zeer veel uitmaken, zie paragraaf 5.1.4.

Zoneren

Onder zoneren wordt verstaan het bij elkaar situeren van vertrekken met min of meer dezelfde gewenste temperatuur. Algemene aanbeveling: situeer 'warmere' vertrekken zoals de woonkamer en kinderkamers zoveel mogelijk aan de zon zijde van de woning en leg de 'koelere' vertrekken zoals de entree, de gesloten keuken en de berging aan de niet-zon zijde.

Bij een relatief grote bebouwingsdichtheid bij laagbouw, met grote belemmeringshoeken, is het te overwegen de woonkamer op de verdieping te leggen. Dit verbetert de bezetting van deze woonkamer aanzienlijk.

Om optimaal te kunnen profiteren van compartimenteren en zoneren is een goed regelbare verwarmingsinstallatie per vertrek of per zone een vereiste.

Voorkom relatief smalle beukmaten bij rijtjeswoningen die aan de noordzijde van een straat liggen. Er is dan te weinig ruimte om de ingang en de woonkamer aan de zuidzijde te situeren, tenzij de woonkamer op de verdieping komt te liggen. Geef de aan de noordzijde gelegen woningen een zodanige vorm, dat noordtuinen een zo gunstig mogelijke bezetting krijgen. Kies bijvoorbeeld voor een asymmetrische doorsnede.

4.2.3 Onverwarmde serre

Een energiebesparende serre is een onverwarmde, gesloten 'buiten'ruimte die aan de woning grenst. De serre is grotendeels door glas omgeven om zonnewarmte te benutten. Praktische informatie is te vinden in [88] en [91].

Waarschuwing: Weeg zorgvuldig de voor- en nadelen van het toepassen van een serre af. Besteel veel aandacht aan het voorkomen van een verkeerd gebruik door de bewoners! Wanneer deze namelijk een serre verwarmen of bij de woonkamer trekken, kan de energiebesparing geheel verdwijnen en kan de serre zelfs energie gaan kosten. In deze paragraaf staan enkele suggesties om de kans op een verkeerd gebruik te verkleinen. Zie o.a. onder het kopje 'Materialisering en uitvoering'.

Gebruik en binnenklimaat

De serre is vooral een extra gebruiksruimte bij de woning. Het biedt een beschutte zitplaats in voor- en najaar, een goede speelplek op regenachtige zomerdagen en een goede plaats om was te drogen. Geef de serre een maat die voldoende gebruiksmogelijkheden biedt, minimaal zo'n 3,5 x 2,5 meter. Een serre kan bovendien worden toegepast als geluidbuffer (verkeer, industrie) (afbeelding 4.15) en kan onder bepaalde voorwaarden energie besparen.

Een serre heeft een sterk wisselend binnenklimaat: 's zomers warm, 's winters koud. Een serre is zeker niet altijd vorstvrij. Uit metingen blijkt dat de gemiddelde serretemperatuur in het stookseizoen zo'n 4 a 6 °C hoger is dan de buitentemperatuur.

Een serre kan het comfort van de woning verhogen. Zeker als een deel van de benodigde (door de zon opgewarmde) ventilatielucht van de woning via de serre wordt aangevoerd. Nadeel van een serre is dat de daglichttoetreding van de aangrenzende vertrekken door de serre wordt verminderd, zeker als het

serredak niet doorzichtig is. In paragraaf 4.3 is aangegeven hoe de toetreding van daglicht via een serre naar de achterliggende vertrekken berekend moet worden.

Energiebesparing

Een zuidgerichte serre geeft de grootste energiebesparing. Deze is afhankelijk van vorm, grootte en materiaalgebruik van de serre èn vooral van de mate van benutting van de warmte voor het voorverwarmen van ventilatielucht. De energiebesparing, uitgaande van een juist gebruik van de serre waarbij de onverwarmde serre gebruikt wordt voor beperken van het transmissieverlies en het voorverwarmen van de ventilatielucht, ligt bij een woning met een HR 107 ketel in de orde grootte van zo'n 100 tot 150 m³ ae per jaar.

De winst van zonnewarmte door onverwarmde serres mag alleen in rekening worden gebracht als alle lineaire koudebruggen (van de woning en de serre) worden bepaald met de uitgebreide methode, dus niet forfaitair. Deze eis volgt uit paragraaf 8.4.1 van NTA 8800 [30].

De combinatie van voorverwarming van de ventilatielucht via een serre en gebalanceerde ventilatie met wtw heeft vanuit het oogpunt van energiebesparing weinig zin: het zijn concurrerende systemen. Alleen bij extreem zuinige woningen is de combinatie te overwegen.

In [91] zijn ervaringen met serres uit de praktijk geïnventariseerd. Het rapport constateert dat het direct meten van de gerealiseerde besparing van een serre erg lastig is. Daarbij komt dat de invloed van het bewonersgedrag (met name het ventilatiegedrag) van grote invloed is op de gerealiseerde besparing. Uit berekeningen blijkt dat de effectiviteit van de onverwarmde serre afneemt met een toenemende isolatiegraad van de woning.

Dit is ook logisch omdat er minder warmtebehoefte is. Maar ook bij zeer zuinige woningen blijft de serre energetisch interessant, mits de serre gebruikt wordt voor de voorverwarming van de ventilatielucht bij een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer. De opbrengst van een serre kan verhoogd worden door in plaats van enkel glas HR⁺⁺-glas te gebruiken. Mogelijk nadeel: de kans dat bewoners de serre bij de woonkamer trekken of gaan verwarmen neemt toe.

Belangrijk aandachtspunt:

Pas alleen een serre toe als de woonkamer voldoende ruim is. Dit verkleint de kans dat bewoners de serre bij de woonkamer trekken of gaan verwarmen met extra energieverbruik tot gevolg. Een alternatief voor de serre waarbij deze beide problemen niet bestaan is het 'klimaatraam': een extra raam dat aan de buitenzijde van het normale raam wordt aangebracht met brede spouw tussen beide raamconstructies. In de spouw wordt ventilatielucht (vooral door de zon) voorverwarmd en naar de woning toegevoerd. Klimaatramen zijn vooral bekend door de toepassing in utiliteitsbouw en dan meestal in de vorm van een 'klimaatgevel'.

Investering en terugverdientijd

De investering van een serre is zo hoog dat deze niet met een verlaging van het energieverbruik van de woning is terug te verdienen. De meerwaarde is vooral te vinden in de extra gebruiksmogelijkheden in combinatie met energiebesparing.

Materialisering en uitvoering

Voor de ramen in de scheidingswand tussen de serre en de achterliggende ruimte(n) moet men altijd goed isolerend glas kiezen.

Enige massa in de serre, zoals een stenen vloer, werkt gunstig op het energiebesparende effect: Een deel van de zonnewarmte wordt voor 1 à 2 uur in de massa opgeslagen en kan zodoende gebruikt worden wanneer de zoninstraling verdwenen is (zie paragraaf 5.3). Het is energetisch gunstig om alleen 'verticaal' glas in een serre toe te passen, dus geen glazen (hellend) dak. Voordelen: 's winters minder uitstraling, 's zomer minder kans op hoge temperaturen, geen vervuiling van het hellend glas en minder hinder van condens. Nadeel van een 'dicht' dak: de serre wordt eerder als onderdeel van de woonkamer beschouwd en verminderen van de daglichttoetreding in de aangrenzende woonruimten. Vergroot desgewenst de daglichttoetreding in achterliggende vertrekken door bijvoorbeeld daklichten in het serredak (zie afbeelding 4.17) of ramen in de gevel (boven de serre) van die vertrekken aan te brengen.

Wordt wel hellend (veiligheids)glas gebruikt, maak dan voorzieningen voor de opvang van condens.

Nachtisolatie in de vorm van bijvoorbeeld een isolatie-rolgordijn uit de kassenbouw, is zeker aan te bevelen bij enkel glas; de isolatievoorziening kan ook als zonwering dienen. Door de extra isolatie kan het energieverbruik van de woning per jaar afnemen.

Detailleer serres als een buitenruimte. Gebruik bijvoorbeeld stoeptegels voor de vloer en schoon metselwerk voor penanten en borstweringen. Maak spleten tussen het glas. Dergelijke details moeten mede duidelijk maken dat een serre een buitenruimte is. Bij een zeer vochtige ondergrond is een dampdichte vloer aan te bevelen. Tref voorzieningen om de beglazing van de serre schoon te kunnen maken.

Door voldoende ventilatie en zonwering toe te passen, zijn in de zomer te hoge temperaturen te vermijden. Uit bewonersonderzoek [76] blijkt dat in de praktijk dergelijke voorzieningen vaak niet in voldoende mate zijn aangebracht. Let op een eenvoudige bediening van zonwering en ventilatieopeningen, zeker bij hoge serres. Regel de bediening van de ventilatieopeningen bij voorkeur automatisch.

Richtlijn voor ventilatie serre:

- Maak een vaste spleet van netto 5 mm over de volledige breedte van de serre aan zowel de onder- als bovenzijde van de serrewand; detailleer de spleten zodanig dat ze spatwaterdicht, regendicht en ongediertewerend (art. 3.69 Bouwbesluit) zijn;
- Maak regelbare ventilatieopeningen: per 15 m³ serre-inhoud of per 15 m² glasoppervlakte circa 1 m² voor de toevier en circa 1 m² voor de afvoer. Plaats de toevieropeningen zo laag mogelijk en de afvoeropeningen zo hoog mogelijk. Maak meerdere openingen verspreid over de serre (zie ook [89]).

Voorschriften

Let op de voorschriften t.a.v. ventilatie van de aangrenzende vertrekken, zie ook [88].

Verbetering bij renovatie

Bij renovatie van gestapelde bouw kunnen serres in de vorm van een vliesgevel, extra voordelen bieden. Naast energiebesparing en verhoging van de woonkwaliteit, zijn verbeteringen op het bouwtechnische vlak te behalen. Het apart 'inpakken' van koudebruggen kan bijvoorbeeld achterwege blijven.



Afb. 4.15 Renovatie en nieuwbouwproject De Leeuw van Vlaanderen met 72 huurwoningen voorzien van nieuwe vliesgevel als geluidbuffer. Om geluid en stank van het verkeer op de A10 (Amsterdam) te weren is de vriesgevel geplaatst voor de bestaande oostgevel. De ruimte achter deze vriesgevel dient voor de ontsluiting van de woningen en wordt geventileerd met schone buitenlucht afkomstig van de westgevel. Vanwege de brandveiligheid is de verglaasde ruimte voorzien van een stuwwachtventilatie om bij brand rook te verspreiden en te verdunnen (Betrokken partijen: Nieman Raadgevende Ingenieurs, opdrachtgever: Far West, architect Heren 5 architecten, aannemer Coen Hagedoorn, realisatie 2005)



Afb. 4.16 Serres bij huurwoningen in Banne-Oost in Amsterdam-Noord. Het dak van de serre is deels voorzien van (doorzichtige) beglazing in verband met daglichttoetreding. Op het dak zijn ook zonnecollectoren aangebracht. (Betrokken partijen: ontwerp: Tjerk Reijenga, voorheen BEAR Architecten, Gouda. Realisatie: 1995)

4.2.4 Atrium

Een atrium is een grote glasoverkapte ruimte (GGR) buiten de geïsoleerde gebouwschil van woningen [81]. In de woningbouw zal een GGR meestal toegangen naar woningen bevatten. Een GGR kan zinvol zijn bij woningen op locaties waar geen aantrekkelijke buitenruimte te realiseren is, of waar een beschutte buitenruimte wenselijk is, zoals bij ouderenhuisvesting (zie afbeelding 4.17).

Waardering bewoners

Uit diverse evaluaties blijkt dat bewoners een GGR als overdekte buitenruimte zeer positief waarderen. Mits er voldoende maatregelen (ventilatie, zonwering, geluiddemping) zijn getroffen, is het klimaat in de GGR goed beheersbaar.

Energiebesparing

Een atrium kan energiebesparend zijn, vergelijkbaar met een serre. Ook hier geldt dat een GGR alleen energiebesparend is als deze niet actief verwarmd wordt. De warmteverliezen door transmissie via de gevel en via koudebruggen worden verlaagd en ventilatielucht wordt voorverwarmd.

Het energiebesparende effect van een GGR is sterk afhankelijk van de technische opzet van het project (isolatie woningen en GGR, ventilatie, zoninstraling).

Gebruik in de GGR zo veel mogelijk natuurlijke ventilatie om het elektriciteitsverbruik te beperken. Aanvullend kan mechanische ventilatie gewenst zijn.

Gezien de kosten van een GGR zullen andere kwaliteiten dan energiebesparing sturend zijn voor de realisatie van een GGR.

Geluid

Een atrium kan geluidwerend werken tegen bijvoorbeeld verkeerslawaai. Ook geluid dat in de GGR zelf ontstaat, vraagt de nodige aandacht. Realiseer in de GGR voldoende demping en verstrooiing van het geluid. Een goede nagalmtijd is te realiseren door diverse bouwdelen zoals binnengevels en galerijen akoestisch dempend uit te voeren. Voldoende verstrooiing is te bereiken door bijvoorbeeld beplanting aan te brengen en gevels niet precies evenwijdig aan elkaar te laten lopen.

Zorg voor voldoende geluidsisolatie tussen de GGR en de woningen. Vooral het voorkomen van hinder door contactgeluiden vraagt aandacht. Aangeraden wordt galerijen akoestisch te scheiden van de woningen.

Daglicht achterliggende woningen

Zorg voor voldoende daglichttoetreding in de woningen die aan het atrium grenzen. Elementen die een rol spelen zijn zonwering, beschaduwing (kapconstructie, galerijen, trappen en dergelijke) en de kleuren en lichtreflectie van materialen. In de praktijk valt de hoeveelheid daglicht via een GGR, vooral op de onderste bouwlagen, tegen. Paragraaf 4.2.2 gaat in op het effect van serres en atria op de daglichttoetreding in woningen.

Ventilatie en zonwering

Het is sterk aan te bevelen systemen voor ventilatie (afbeelding 4.18) en zonwering te voorzien van een automatische regeling. Handbediening (door een beheerder) moet altijd mogelijk blijven.

Breng voor een prettig binnenklimaat aan- en afvoerroosters niet te dicht aan bij zitplekken of looproutes. Plaats bijvoorbeeld roosters voor de toevoer van relatief koele ventilatielucht (zomersituatie) bij voorkeur enige meters boven dergelijke plekken of routes, maar wel relatief laag in de GGR.

Goede luchtdichtheid tussen woningen en de GGR. Zeker bij een gebalanceerd ventilatiesysteem moet deze luchtdichtheid ruime aandacht krijgen. Een goede luchtdichting voorkomt bovendien (mits er geen keukenraam geopend kan worden naar de GGR) dat kookluchtjes vanuit de woning naar de GGR stromen.

Regelgeving

Om de woningen aan de ventilatie-eisen in het Bouwbesluit te laten voldoen moet de minimale hoeveelheid ventilatielucht in een woning formeel voor minstens 50% direct van buiten komen. De luchtkwaliteit in de GGR is zeker niet zondermeer vergelijkbaar met die van buitenlucht. Een 'gelijkwaardigheidsverklaring' zal vaak nodig zijn om 'verse' lucht vanuit de GGR als ventilatielucht te mogen gebruiken. De gelijkwaardigheid wordt niet vanzelfsprekend door bouw- en woningtoezicht geaccepteerd. Er zijn verschillende interpretaties mogelijk. Overleg daarom in een zo vroeg mogelijk stadium met een adviseur en de betreffende instanties!

Brandveiligheid

Bij brand is het van groot belang dat de vluchtwegen via de GGR lang genoeg bruikbaar blijven en dat het vuur en de rook zich niet te snel kunnen verspreiden. Mogelijke maatregelen zijn:

- Een rook- en warmte-afvoerinstallatie (RWA);
- Rookmelders voor algemeen alarm en voor de RWA, rookschermen;
- Het kiezen voor materialen voor galerijen, trappen, afwerking en inrichting met een zo laag mogelijke vuurbelasting;
- Een goede brandwerendheid van de gevel tussen de GGR en de woningen [81].

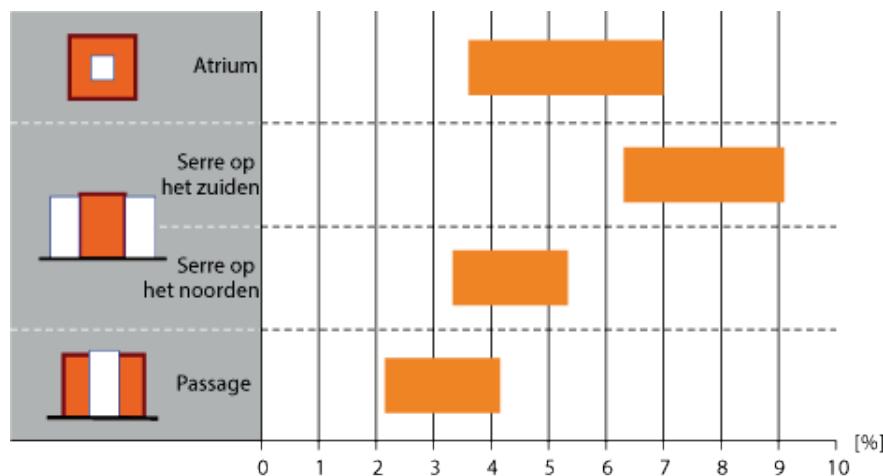
Reinigbaarheid

De gehele GGR moet voor reiniging en onderhoud goed bereikbaar zijn, zowel aan de binnen- als de buitenzijde. Het gaat hierbij niet alleen om de bereikbaarheid van de glazen omhulling, maar ook van installaties zoals ventilatoren, rookmelders en verlichting.



Afb. 4.17 Het Woongebouw Emerald te Delfgauw met honderden woningen, heeft een centraal atrium en is bedoeld voor senioren. De verbreding van de galerijen bij de woningentree nodigt uit tot sociaal contact. Het glazen dak is afkomstig uit de kassenbouw. (Betrokken partijen: Initiatief Woningcorporatie

Vestia Delft, architect: Kees Christiaanse Architects & Planners, uitvoering: Bouwcombinatie Delfgauw. Realisatie 2001)



Afb. 4.18 Ventilatie zomersituatie. Globale indicatie van het gedeelte van de ventilatie-openingen (als functie van de vloeroppervlakte) dat benodigd is om de luchttemperatuur van de GGR minder dan 3 °C van de buitenluchttemperatuur te laten afwijken. De oppervlakte moet in principe zowel onderin als bovenin de GGR worden aangebracht (bron [81])

4.2.5 Gevelcollectoren en Trombemuren

Andere bekende passieve systemen zoals gevallenluchtcollectoren voor voorverwarming van ventilatielucht en Trombemuren (zie hieronder), worden in het Energievademecum niet behandeld. In de Nederlandse woningbouw is het effect van deze systemen op het energieverbruik betrekkelijk gering. Dit komt vooral doordat het beschikbare geveloppervlak vaak te klein is om dergelijke systemen te kunnen aanbrengen, maar ook doordat het klimaat niet echt geschikt hiervoor is: In de winter zijn er te weinig zonuren.

Een Trombemuur is een warmte-absorberende wand afgedekt met glas met daar tussenin een luchtspouw. De zon warmt de wand op en deze geeft de warmte enigszins vertraagd door naar de achterliggende ruimte. Zo kan 's avonds langer van de warmte gebruik worden gemaakt. In de luchtspouw kan bovendien ventilatielucht worden voorverwarmd net zoals in een serre. Van deze warmte kan direct gebruik gemaakt worden.

4.3 Daglicht

Bewoners waarderen een ruime dag- en zonlichttoetreding. Dat blijkt uit bewonersonderzoek [79] in projecten waarbij relatief veel glas is toegepast. Het gaat daarbij niet alleen om de hogere lichtopbrengst, de warmte en energiebesparing. Ook het gevoel van veiligheid gaat erop vooruit.

Globaal één zevende van het totale elektriciteitsverbruik in een huishouden wordt besteed aan kunstverlichting (zie paragraaf 10.1). Meer daglicht kan dus, zeker zo lang nog niet overall 100% zuinige verlichting (led lamp) gebruikt wordt, een wezenlijke energiebesparing opleveren. Een optimaal gebruik van daglicht in het ontwerp is dus zeer aan te bevelen. Denk daarbij aan relatief veel glas in zuidgevels, ramen die tot het plafond door lopen, daklichten en een ruimtelijk ontwerp waarbij activiteiten die licht vragen, volop gebruik kunnen maken van daglicht.

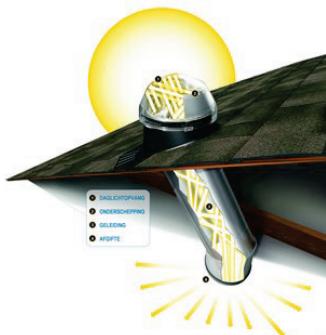
De hoeveelheid en het soort licht (direct, diffuus) dat een woning binnen komt is vooral afhankelijk van de oriëntatie, de positie en de afmetingen van ramen, en het type glas. Let op de TL-factor! (zie paragraaf 5.2). Ook kleuren en materialen die buiten gebruikt worden, kunnen van invloed zijn op de hoeveelheid daglicht. Gebruik lichte kleuren voor gevels en bestrating bij bijvoorbeeld dichtbebouwde locaties of binnenplaatsen: het licht wordt dan beter gereflecteerd.

Naast ramen en daklichten zijn ook 'tubes' of 'daklichtspots' (afbeelding 4.19) mogelijk: hiermee kan via het dak daglicht indirect (via een flexibele of stugge buis) de woning binnengaan.

Ook binnenshuis is een goede (dag)lichtreflectie en spreiding van het licht gewenst. Maak daarom gebruik van:

- Lichte kleuren voor de afwerking;
- Daglichtreflectoren: hiermee wordt daglicht dieper een vertrek of ruimte in gebracht; reflectoren worden tot nu toe incidenteel in utiliteitsbouw toegepast, maar bieden ook in woningen en woongebouwen mogelijkheden zoals bijv. in vides en trappenhuisen.

Houd bij het bepalen van plaats, afmetingen en type daglichttoetreding rekening met zoninstraling (passief benutten van zon voor verwarmen, oververhitting in de zomerperiode, zie paragraaf 4.2.1), uitzicht en ruimtelijke effecten. Zie www.dutchdaylight.nl/ voor meer informatie over daglicht in de architectuur.



Afb. 4.19 Een 'daglichttubus' of 'daklichtspot' kan handig zijn om een inpandig of diep vertrek van (meer) daglicht te voorzien als een dakraam of dakkoepel niet mogelijk is. De buis is inwendig voorzien van een zeer goed reflecterend materiaal. Er zijn diverse fabrikanten die dergelijke daglichtbuizen leveren. (Bron: Solatube International Inc.)

Eisen daglichttoetreding

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de grootte van de daglichtopeningen in een woning (zie Bouwbesluit afdeling 3.11 Daglicht). De eisen betreffen de equivalente daglichtoppervlakte (volgens NEN 2057) [82]:

- Minimaal 0,5 m² per verblijfsruimte in een woning;
- Minimaal 10% van de vloeroppervlakte van het verblijfsgebied.

Hierbij geldt dat:

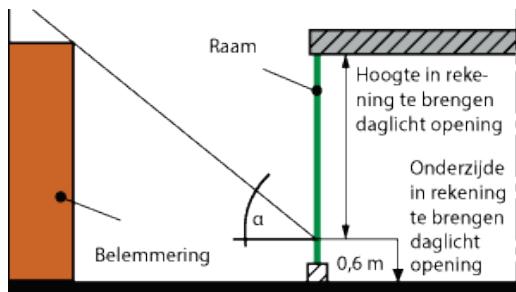
- De lichttoetredingsfactor (TL-factor) van het glas niet minder mag zijn dan 0,6, anders wordt een reductiefactor volgens NEN 2057 toegepast; Deze factor wordt door de Regeling Bouwbesluit buiten werking gezet (staat nog wel in de norm) zodat de TL-factor er officieel niet meer toe doet. Het is echter aan te raden in de ontwerpfase deze factor wel te gebruiken om te voorkomen dat vertrekken (te) somber worden, ondanks dat ze wel aan het Bouwbesluit voldoen;
- Daglichtoppervlak dat zich onder 0,6 meter boven de vloer bevindt buiten beschouwing wordt gelaten;
- Bij berekening van de equivalente daglichtoppervlakte uitgegaan moet worden van een belemmeringshoek van minimaal 20°, gerekend vanaf de onderzijde van de daglichtopening, voor zover deze 0,6 m boven de vloer ligt;
- Belemmeringen buiten de perceelsgrens niet in rekening hoeven te worden gebracht;
- Daglichtopeningen die zich bevinden op een afstand, minder dan 2 meter van de perceelsgrens, buiten beschouwing moeten worden gelaten;
- Voor openbare wegen, groengebieden en water geldt dat de afstand tot het hart van de weg, openbaar groen of water als afstand wordt aangehouden.

Daglichttoetreding bepalen (NEN 2057)

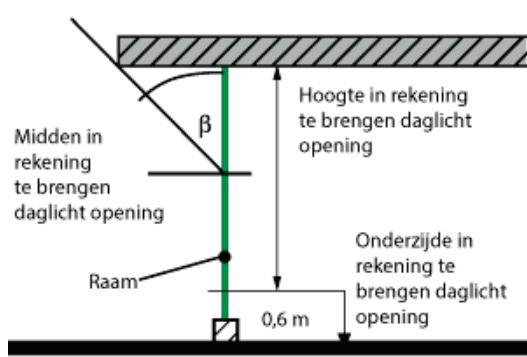
NEN 2057 [82] beschrijft de berekening van het equivalente daglichtoppervlak. Bepalend zijn:

- De oppervlakte van de doorlaat en de ligging van het projectievlek;
- De hellingshoek van de daglichtopening;
- De tegenoverliggende belemmeringen op het perceel zelf; de belemmeringshoek α is de bepalende grootheid (zie afbeelding 4.20);
- Overstekken; de overstekhoek β is de bepalende grootheid (zie afbeelding 4.21);

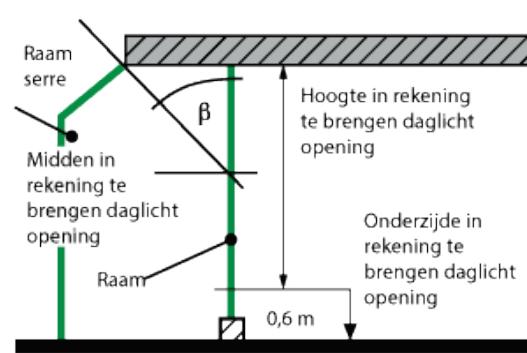
- Scheidingsconstructies vóór de daglichtopening zoals een serre. Ook hier zijn de belemmeringshoeken α en β bepalend (zie afbeelding 4.22) maar ook het deel van de tegenoverliggende scheidingsconstructie dat lichtdoorlatend is. De LTA-factor van de doorzichtige delen wordt meegenomen in de bepaling van de uitwendige reductiefactor C_u . Zie hiervoor NEN 2057.



Afb. 4.20 De bepaling van de belemmeringshoek α van belemmeringen binnen de perceelsgrens. Alleen belemmeringen binnen een horizontale kijkhoek van 100° tellen mee.



Afb. 4.21 De bepaling van de overstekhoek β van overstekken.



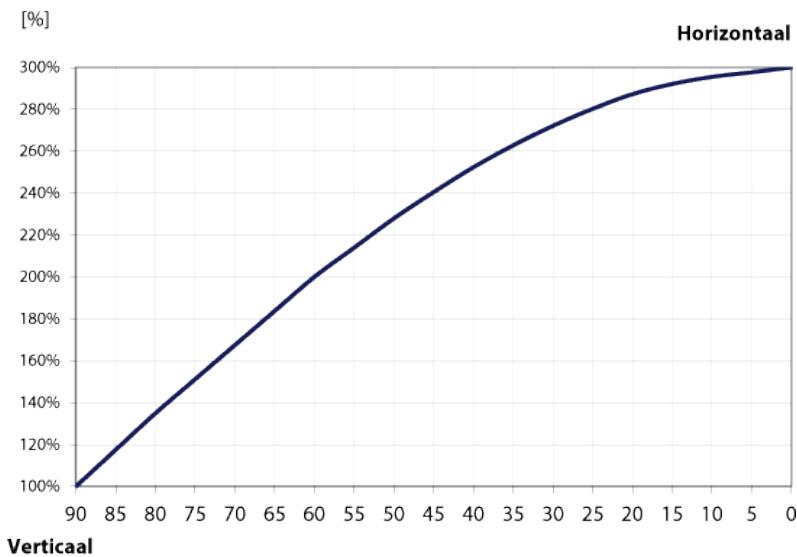
Afb. 4.22 De bepaling van de overstekhoek β van overstekken als gevolg van een oversteek boven een serre.

Hellingshoek

Een raam dat niet verticaal maar onder een helling staat, heeft minder last van de verplichte minimale belemmeringshoek van 20° . Daarom kan met een kleiner daglichtoppervlak worden volstaan. De verschillen zijn echter klein (afbeelding 4.25). De (aanzienlijk) hogere lichtopbrengst van hellende of horizontale daglichtopeningen (afbeelding 4.23) wordt in de daglichtnorm NEN 2057:2011 [82] gewaardeerd. Door twee marktpartijen is een eenvoudig te hanteren [rekenmodel](#) ontwikkeld om deze lichtopbrengst te berekenen en te toetsen aan het Bouwbesluit. Let bij de toepassing van hellende of horizontale ramen op:

- De grotere zoninstraling: goed voor passieve benutting van zonnewarmte, maar een risico voor oververhitting;
- De grotere nachtelijke uitstraling;

- Afwijkende U-waarden ten opzichte van hetzelfde glas maar dan verticaal geplaatst (zie paragraaf 5.2).



Afb. 4.23 De werkelijke lichtopbrengst ten opzichte van een verticaal raam (helling 90°) bij verschillende hellingshoeken volgens de CIE-hemel [Tabellarium Bouwfysica TU-Delft]. Door een horizontaal (dak)raam komt dus 3x zoveel daglicht binnen.

4.4 (Opstellings)ruimte installaties

Bij het ruimtelijk (schematische)ontwerp zijn de volgende punten van belang:

- De optimale plek voor de installaties: denk hierbij aan:
 - Zo kort mogelijke leidingen, zeker voor warm tapwater (zie paragraaf 9.2.1) en luchtkanalen (zie paragraaf 6.2.2 of 7.2.4) (zie ook hieronder), maar ook bij collectieve ruimteverwarming;
 - Het voorkomen van geluidshinder door installaties en bijbehorende leidingen en luchtkanalen, zie hieronder; plaats installaties dus in een 'geluiddichte' ruimte en/of niet vlak bij geluidsgevoelige vertrekken zoals slaapkamers. Let extra goed op bij warmtepompen (zie paragraaf 7.3.3): in de praktijk is bij laagbouwwoningen plaatsing op de begane grond vaak de beste optie;
 - Voldoende massa van bouwkundige constructies (vloeren, binnenwanden) om installaties er op te kunnen plaatsen of er aan te bevestigen, vooral ter voorkoming van geluidshinder; pas altijd geluiddempende bevestigingsmiddelen toe;
 - Voldoende ruimte voor de opstelling van de apparatuur, onderhoud en vervanging; zie voor de eisen de informatie van de fabrikant;
 - De situering van (verticale) leidingkokers van voldoende formaat; denk aan luchtkanalen met ruime diameters om de weerstand te verkleinen, warmte- en geluidisolatie van leidingen en bij gestapelde bouw ook aan brandoverslag en geluidabsorptie;
 - De bereikbaarheid van de leidingkoker(s) voor onderhoud en vervanging van onderdelen.
- De situering van het warmwatertoestel zo dicht mogelijk bij de tappunten; dit om de leidingverliezen voor warmtapwater te beperken (zie paragraaf 4.4 en 9.2.1). Dit punt geldt vooral voor de tappunten waar vaak kort en verspreid over de dag getapt wordt, zoals in de keuken. Houd ook rekening met de maximale lengte van het kanaal voor de aan- en afvoer van respectievelijk verbrandingslucht en rookgassen; zie daarvoor de informatie van de fabrikant;
- Zo kort mogelijke luchtkanalen van het ventilatiesysteem. Een ventilatiesysteem met een compact luchtkanalenset functioneert energiezuiniger, stiller en met minder onderhoud. Maak om dezelfde redenen ook zo min mogelijk bochten en voorkom 'misbruik' van flexibele slangen of flexibele geluiddempers om het ventilatiesysteem toch 'passend' te krijgen;

- Bij een zonneboilersysteem: het type (zie paragraaf 7.3.8 en 9.3.5). Enerzijds moeten de warmwaterleidingen, met name naar de keuken, zo kort mogelijk zijn. Dit om warmteverliezen en tegelijkertijd de wachttijd op warmwater te beperken. Anderzijds zijn er voor de verschillende onderdelen specifieke eisen voor de onderlinge ligging, afhankelijk van het soort systeem. Het gaat om de collectoren, leegloopvat (indien aanwezig), opslagvat en naverwarmer;
- Bij een zonneboilersysteem met leegloopvat kan het leidingcircuit tussen de collectoren en het leegloopvat soms een borrelend geluid maken. Zorg er dus voor dat dit leidingcircuit bij voorkeur niet door bijvoorbeeld een slaapkamer loopt. Voorzie anders het circuit van geluidwering (omtimmering);
- Bij een warmtepompboiler (zie paragraaf 9.3.6): de situering t.o.v. ventilatiesysteem, geluidshinder speelt hier veel minder. Omdat dit apparaat warmte uit de ventilatielucht haalt, ligt een plek vlakbij het verzamelpunt hiervan en/of (dak-) afvoer voor de hand;
- Bij een verticale douche-WTW-unit (zie paragraaf 9.1.3): de situering zo dicht mogelijk bij de douche om warmteverliezen in de tussengelegen riolering te beperken;
- Bij een PV-systeem: de situering van de omvormer(s)(of inverters) dichtbij de PV-panelen (zie paragraaf 10.2.1); kleine systemen vragen hiervoor weinig ruimte: de omvormer(s) kan/kunnen bijvoorbeeld op zolder gemonteerd worden. Let op: Omvormers kunnen geluidhinder veroorzaken (bijv. zoemend geluid en trilling), kies dus een goede plek en/of neem geluidwerende maatregelen en monter de omvormers op een stevige ondergrond (zie paragraaf 10.2.1). Bij het ruimtelijk ontwerp vragen omvormers (naast eisen t.a.v. geluidhinder) ook aandacht wanneer er een aparte kast of ruimte moet zijn:
 - Als de omvormer(s) voor derden bereikbaar moet(en) zijn;
 - Bij een of meer centrale omvormers; dit speelt meestal bij grotere (collectieve) systemen.

Omvormers moeten hun warmte goed kunnen afgeven, breng ze daarom altijd in goed geventileerde (en bovendien niet te vochtige) ruimten aan.

4.5 Verkeersontsluiting en stimuleren langzaam verkeer

Ongeveer de helft van het totale jaarlijkse energieverbruik van een gemiddeld huishouden wordt besteed aan vervoer (afbeelding 4.24). Uit onderzoek [85] blijkt, dat dit aandeel te verminderen is door de structuur van het stedenbouwkundige plan af te stemmen op langzaam verkeer. De inrichting en detaillering van de directe woonomgeving moet op deze structuur aansluiten.

Een bekend voorbeeld van zo'n structuur is dat van de gemeente Houten. Er wordt hier duidelijk meer gefietst dan in een qua grootte vergelijkbare plaats. De stedenbouwkundige opzet is gebaseerd op een uitgebreid radiaalvormig fietspadennet met snelle en veilige verbindingen naar het centrum met onder andere het NS-station.

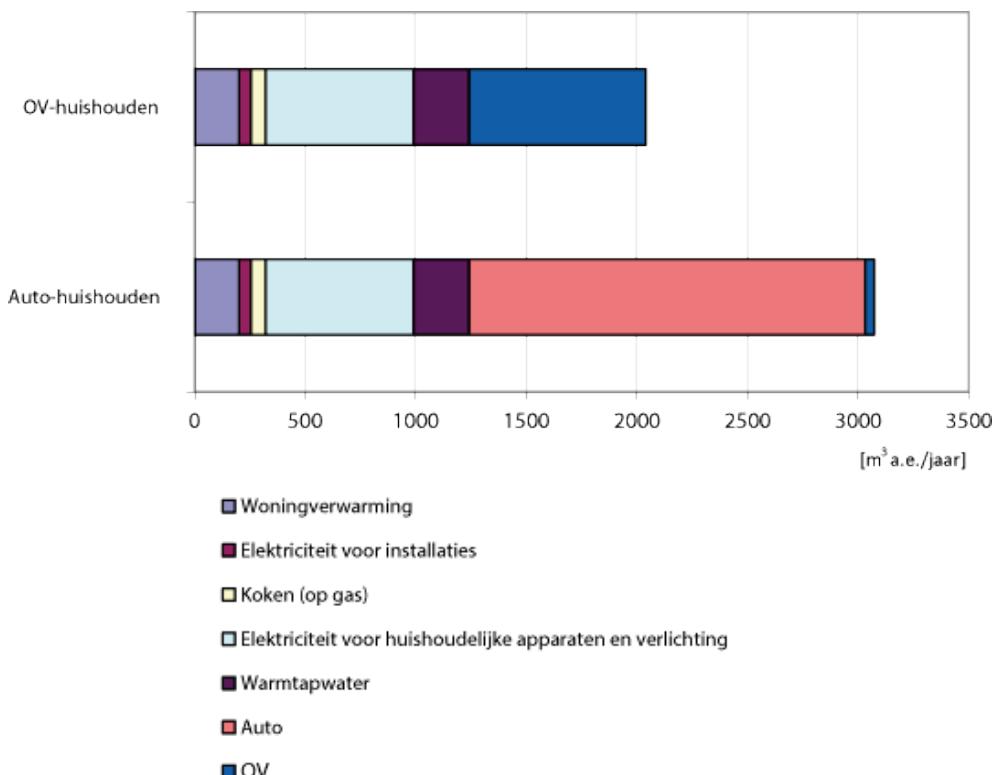
Vervoerskeuze en verplaatsingsafstand

Van alle verplaatsingen onder de 7,5 km in ons land gaat een derde per auto en een derde per fiets. Van alle verplaatsingen met een afstand tussen 7,5 en 15 kilometer wordt 70% per auto en 15% per fiets afgelengd [84]. Afstanden tot zo'n 10 kilometer zijn voor fietsers goed te overbruggen, door de opkomst van elektrische fietsen wordt deze afstand inmiddels steeds groter. Vooral op deze kortere afstanden kan dus een verschuiving van autorijden naar fietsen en lopen plaatsvinden. Deze verschuiving levert naast een wezenlijke bijdrage aan energiebesparing ook een aantrekkelijker woonomgeving op.

Uitgangspunten afbeelding 4.24 (alle afstanden in reizigerskilometer per jaar):

- Auto huishouden:
 - 25.000 reizigerskm met de auto; dit komt overeen met 18.000 km met een gemiddelde autobezetting van 1,4 personen;
 - 1.000 reizigerskm met bus en trein;
 - 2.000 reizigerskm per fiets
- OV-huishouden (legt minder kilometers af dan auto huishouden omdat meer gecombineerd wordt, maar wel zelfde aantal uren 'op de weg'):
 - 16.000 reizigerskm per trein;
 - 4.000 reizigerskm per tram/bus;

- 3.500 reizgerskm per fiets.



Afb. 4.24 Energieverbruik per jaar in m³ aardgas equivalenten van een huishouden van 3 personen in een referentie rijtjeswoning anno 2018 met en zonder gebruik van een auto; in beide gevallen exclusief vliegvakanties. (Bron: BOOM)

Stimuleren langzaam verkeer

Mogelijkheden om het langzaam verkeer te stimuleren zijn:

Op stedenbouwkundig schaalniveau:

- Functiemenging;
- Het verkorten van afstanden;
- Goede sociale en verkeerstechnische veiligheid (zie ook [86] en [87]);
- Het bevorderen van selectief autogebruik. Denk aan:
 - Realiseren van een autoluw of autovrij plan (afbeelding 4.25);
 - Aanleg van een carpoolplaats of voorzieningen voor autodelen, met goede voorzieningen voor de stalling van fietsen (bijv. fietskluizen);
- De situering van voorzieningen zoals winkels, scholen, (eet)café en sportvoorzieningen langs langzaamverkeersroutes;
- Een snelle en comfortabele overstap op openbaar vervoer.

Op het schaalniveau van de directe woonomgeving:

- Aansluiting van de directe woonomgeving op het gemeentelijke fietsnetwerk;
- Voldoende brede fietspaden;
- Een ruime berging op een logische en (sociaal) veilige plaats bij woning of woongebouw voor de stalling van (lig)fietsen en fietskar van bewoners en bezoekers;
- Voldoende brede en flauwe trappen of hellingbanen naar berghingen in souterrains;
- Fietsgoot voor fiets en fietskarren op de juiste afstand van leuning en muur;
- Oplaadpunt elektrische fietsen;
- Automatische verlichting m.b.v. bewegingssensoren.

Meer informatie over fietsverkeer: www.fietsberaad.nl.

Een ander aandachtspunt voor de woonomgeving is het gebruik van elektrische auto's. Daarvoor zijn oplaadpunten nodig. Een detail dat de komende tijd verdere uitwerking behoeft. Informatie over hybride en elektrisch rijden zie www.rvo.nl [95] en www.nklnederland.nl.

Twee hulpmiddelen voor een energiezuiniger stedenbouwkundig ontwerp zijn:

- 'VervoersPrestatie op Locatie' (VPL) [94]: een rekenmodel waarmee de invloed van een stedenbouwkundig ontwerp op het energieverbruik kan worden bepaald;
- 'Langzaam Rijden Gaat Sneller' (LARGAS-concept) [92] en [93]: concrete ontwerpoplossingen ter stimulering van een gelijkmatiger en langzamer verkeersbeeld. Naast energiebesparing (CO_2 -reductie) blijkt LARGAS positieve gevolgen te hebben op de verkeersveiligheid, doorstroming en geluidsoverlast.



Afb. 4.25 GWL-terrein in het Stadsdeel Westerpark in Amsterdam met bijna 600 huur- en koopwoningen en diverse bedrijfsruimten, een café-restaurant en buurthuis. Het middengebied is autovrij en voor Amsterdamse begrippen een oase van rust. Aan de randen kan geparkeerd worden, maar het aantal parkeerplaatsen (voor vergunningshouders) is beperkt, namelijk 110. Nog steeds een uitstekend voorbeeld van duurzame stedenbouw zoals bleek op een symposium op 8 februari 2008 ter ere van het 10-jarig bestaan van het project. (Betrokken partijen: stedenbouwkundig ontwerp: Kees Christiaanse Architects & Planners; realisatie 1996 - 1998)

5 Bouwkundige elementen woningschil

In dit hoofdstuk komt de woningschil aan bod. Centraal hierbij staan warmte-isolatie, luchtdichtheid en (zon)licht. Er zijn veel raakvlakken met passieve zonne-energie, zonwering, ventilatie, passieve koeling, thermische massa en daglicht. In veel gevallen zal voor die onderwerpen doorverwezen worden naar andere hoofdstukken.

De volgende elementen worden beschreven:

- De fundering, kruipruimte en begane-grondvloer (paragraaf 5.1.1);
- Het dak (paragraaf 5.1.2);
- De gesloten geveldelen (paragraaf 5.1.3);
- De woningscheidende wand en vloer (paragraaf 5.1.4);
- De kozijnen, ramen en deuren (paragraaf 5.1.5);
- De beglazing (paragraaf 5.2).

In paragraaf 5.1 wordt kort ingegaan op enkele algemene aspecten. Voor de diverse bouwfysische begrippen die in dit hoofdstuk voorkomen, wordt verwezen naar bijlage 1.

Deelchecklist Energiebewust ontwerpen: Woningschil

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Maak een afweging tussen het wel of niet toepassen van een kruipruimte i.v.m. leidingen (bijv. voor warmte-/koudenet), luchtdichtheid begane grondvloer en de grondbalans bij het bourijpmaken (paragraaf 5.1.1);
- Overweeg om een (prefab) betonnen kelder in het ontwerp op te nemen als ruimte met een stabiel koel klimaat;
- Maak een afweging tussen de diverse bouwmethoden voor de draagconstructie in combinatie met de verschillende afbouwmethoden voor de bouwschil. Het Energievademecum beperkt zich, gezien de vele aspecten die hiermee samenhangen, tot enkele overwegingen met betrekking tot:
 - Het isoleren van warmte en geluid;
 - Luchtdichtheid (paragraaf 5.1);
 - Thermische massa (paragraaf 5.3);
 - Enkele specifieke zaken rond bepaalde installaties zoals vloer- en wandverwarming, betonkernactivering, luchtverwarming en mechanische ventilatie; het gaat o.a. om voldoende ruimte om de installaties in de constructie te kunnen opnemen.

Structuurontwerp / Voorontwerp

- Bouw compact om transmissie- en ventilatieverliezen te beperken; het realiseren van uitbouwen zoals erkers en dakkapellen, vergroot de kans op thermische bruggen, naden en onderbreking van dampremmende lagen; vermijd dergelijke uitbouwen of detailleer ze goed;
- Ontwerp de gevels zodanig dat er voldoende ruimte is voor een goede zonwering zoals overstekken en beweegbare zonwering (jaloezie-schermen, rolschermen, uitklapschermen) (paragraaf 5.2.2); soms is zonwerende beglazing te overwegen;
- Maak zomernachtkoeling mogelijk: reserveer bijv. voldoende ruimte in gevels en dak (bijv. boven trappenhuis) (paragraaf 6.8); zie voor koeling via grondbuizen paragraaf 6.8 of vrije koeling via warmte-/koudeopslag hoofdstuk 8;
- Maak optimaal gebruik van daglicht. Denk aan onder andere de juiste vorm en plek van ramen, daklichten en (bijv. bij een atrium) daglichtreflectoren (paragraaf 4.3);
- Ga na of de gevel zodanig geluidbelast is dat er geluidwerende maatregelen genomen moeten worden; leg relatie met het ventilatiesysteem, zie bij Definitief Ontwerp; overweeg of een serre of extra glasgevel een oplossing is (paragraaf 4.2.3);
- Stem de dikte van constructies af op de gewenste isolatiwaarden;
- Denk bij woningscheidende wanden aan voldoende geluidisolatie; een ankerloze

spouwconstructie gevuld met zachte isolatie (paragraaf 5.1.4) levert èn een goede geluidisolatie èn een goede warmte-isolatie; let op de detaillering bij fundering en dak, zie bijv. de [SBR-referentiedetails](#) [96].

Definitief Ontwerp / Technisch ontwerp

- Realiseer een hoge isolatiewaarde en detailleer zorgvuldig om thermische bruggen te voorkomen. Overweeg bijvoorbeeld:
 - De fundering geheel 'in te pakken' en/of het toepassen van een onderbreking van de thermische brug van bijv. cellulair glas (= drukvast) (paragraaf 5.1.1);
 - Hsb-gevelelementen: ze isoleren naar verhouding goed bij een beperkte constructiedikte; onderbreek de thermische brug bij de houten stijlen en regels (paragraaf 5.1.3);
 - (Houten) kozijnen met onderbreking van de thermische brug (paragraaf 5.1.5);
 - 'Beter' isolerende afstandhouders in isolerende beglazing (paragraaf 5.2.1).
- Pas een goede kier- en naaddichting toe en stem de luchtdichtheid af op het toe te passen ventilatiesysteem. Met name gebalanceerde ventilatie vraagt een zeer goede luchtdichtheid (paragraaf 5.1);
- Pas op de juiste plaats dampremmende lagen toe en maak de constructie naar buiten toe meer damp-open (paragraaf 5.1, paragraaf 5.1.2 en paragraaf 5.1.3);
- Pas o.a. geen stopcontacten of lichtschakelaars in (prefab) lichte (houten) gevel- of dakelementen toe, tenzij de dampremmende laag intact blijft (paragraaf 5.1);
- Gebruik bij vloer- en wandverwarming een aangepaste detaillering en maatvoering van de constructie. Let bij vloerverwarming op het verschil tussen een wel of niet-zwervende dekvloer (paragraaf 7.2.3). Let op het verschil in traagheid van opwarmen en afkoelen tussen beide dekvloersystemen;
- Ga na of de gevel zodanig geluidbelast is dat er geluidwerende voorzieningen nodig zijn; let op de relatie met het ventilatiesysteem: Zijn er bij natuurlijke toevlucht bijv. suskasten nodig i.v.m. verkeerslawaai, dan kunnen die, wanneer men kiest voor gebalanceerde ventilatie, achterwege blijven;
- Overweeg zomernachtkoeling (paragraaf 6.8) toe te passen. Reserveer daarvoor ruimte in gevel en dak; een alternatief is koeling via grondbuizen (paragraaf 6.8).

Uitvoering

- Let op een zorgvuldige opslag van producten zoals isolatiematerialen, (houten) kozijnen en beglazing; dit zorgt voor minder uitval tijdens de bouw en voor een langere levensduur. Zie ook de instructies van de fabrikant;
- Let op een zorgvuldige verwerking van producten. Bescherf bijvoorbeeld tijdens werkonderbrekingen (met name zachte) isolatieplaten tegen regen en wind; dek de spouw en het buitenspouwblad goed af. Zie ook de instructies van de fabrikant;
- Let op een zorgvuldige uitvoering van het isoleren: goede aansluitingen onderling en op constructiedelen zoals kozijnen en binnenspouwbladen (paragraaf 5.1 en paragraaf 5.1.3); controleer de warmte-isolatie voordat de binnen- en/of buitenafwerking is aangebracht;
- Let op een zorgvuldige uitvoering van dampremmende lagen en naadafdichtingen; controleer deze voordat de (binnen)afwerking is aangebracht (paragraaf 5.1, paragraaf 5.1.2 en paragraaf 5.1.3);
- Voorkom aanvoer van lucht vanuit een kruipruimte naar een spouw in de gevel en naar een ankerloze spouw in een woningscheidende wand; dit in verband met gevaar voor condensatie (paragraaf 5.1.1);
- Controleer het type beglazing en de juiste plaatsing (paragraaf 5.2.1);
- Overweeg een (steekproefsgewijze) controle achteraf d.m.v. infraroodfotografie en een opblaasproef; neem dat in het technisch ontwerp (het bestek) op (paragraaf 5.1).

Gebruik / Exploitatie

- Zorg voor een duidelijke voorlichting naar bewoners, zowel mondeling als schriftelijk.

In paragraaf 3.3 staat de checklist op hoofdlijnen.

5.1 Thermische isolatie, thermische bruggen en luchtdichtheid

Belangrijke aspecten voor de omvang van de warmteverliezen in de woningschil zijn:

- De thermische isolatie van de scheidingsconstructie;
- Het aantal thermische bruggen (ook wel 'koudebruggen');
- De mate van luchtdichtheid van kieren en naden in de constructie.

De brochure '[Bouwen aan een goede schil](#)' [121] geeft mede aan de hand van diverse foto's praktische aanwijzingen voor een toekomstgerichte wijze van isoleren.

Thermische isolatie

Voor de bouwschil (exclusief ramen en deuren) geeft de warmteweerstand (R_c -waarde in $m^2 \cdot K/W$) de isolatiewaarde van de constructie aan. Hoe hoger de warmteweerstand, dus hoe groter de R_c , hoe minder transmissieverliezen er optreden. Met ingang van 2021 stelt het Bouwbesluit de volgende nieuwbouw eisen aan grondgebonden woningen en woongebouwen:

- Voor gesloten geveldelen R_c minimaal $4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$;
- Voor daken R_c minimaal $6,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$;
- Voor begane grondvloeren R_c minimaal $3,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Bij zeer energieuinige woningen wordt in de praktijk vaak zwaarder geïsoleerd. Dan liggen de R_c -waarden voor gesloten geveldelen en daken tussen de $6,0$ en $7,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ en voor begane grondvloeren rond de $5,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ [124].

Bij dergelijke waarden worden traditionele constructies erg dik. Vooral bij gevels heeft dat aanzienlijke consequenties voor o.a. het ruimtebeslag. Door de isolatie op te nemen in lichte, bijvoorbeeld houten, gevelementen is veel ruimte te winnen. Door daarbij I-vormige stijlen te gebruiken wordt bovendien de thermische brug via het hout beperkt.

Bij constructies met een zeer goede thermische isolatie kan het energieverlies door thermische bruggen in de constructies wel 20 tot 30% van het totale transmissieverlies bedragen [97]. Het is dus belangrijk om thermische bruggen te voorkomen door een zorgvuldige detaillering èn uitvoering. In de praktijk blijkt de kwaliteit daarvan nog vaak te laag te zijn. Zowel in het onderwijs, op het ontwerpbureau als op de bouwplaats vraagt dit meer aandacht. De publicatie [SBR-Referentiedetails voor op de bouwplaats](#) [120] kan daarbij handig zijn. In de volgende paragrafen worden concrete aanwijzingen gegeven om de isolatiekwaliteit te verbeteren.

Zie voor de begrippen rond warmte-isolatie zoals warmteweerstand (R_c -waarde) en warmtedoorgangscoëfficiënt (U-waarde) bijlage 1. In bijlage 3 staan voor de meeste materialen de gemiddelde waarden voor de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ -waarde). Met de [Rekentool Warmteweerstand](#) van SBRCURnet is de R_c -waarde van een groot aantal standaard constructies (vrij) nauwkeurig zelf te berekenen. Gebruik bij het (exact) bepalen van de U- en R_c -waarden altijd gecertificeerde waarden van de fabrikant.

Enkele bijzondere isolatiematerialen

Naast de gebruikelijke isolatiematerialen (zie ook bijlage 3), zijn ook enkele minder bekende materialen verkrijgbaar:

- Aerogel: Aerogel is een materiaal op minerale basis met zeer fijne poriën, waardoor het zeer goed isoleert. Het wordt in diverse soorten isolatiematerialen toegepast zoals een plaat bestaand uit:
 - Een mengsel van steenwol en aerogel. De warmtegeleidingscoëfficiënt (λ -waarde) is $0,019 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, de plaat isoleert dus iets beter dan de best isolerende kunststofschuimen

- die nu gangbaar zijn. Het materiaal wordt o.a. toegepast bij het aan de binnenzijde isoleren van gevels;
- Een mengsel van kunststofvezels en aerogel. De λ -waarde is 0,0135 W/(m·K), de plaat isoleert nog beter dan de hierboven genoemde plaat;
 - Volledig aerogel. Deze plaat wordt gasdicht ingeseald (in metaal- of kunststoffolie, soms glas) en vacuüm getrokken. De binnenzijde wordt voorzien van een warmte-reflecterende afwerking. Daardoor resteert alleen de warmtegeleiding via de aerogel en langs de randen van het paneel. Bij juiste en zorgvuldige uitvoering van die randen is de totale isolatiewaarde (incl. randeffecten) een factor 5 beter dan de gebruikelijke isolatiematerialen. De panelen moeten exact op maat geprefabriceerd worden, want achteraf op maat maken is onmogelijk. Levensduur en het risico van beschadiging vormen aandachtspunten. Voor paneelvullingen en vriesgevels zijn deze panelen het overwegen waard. Een groot nadeel: het materiaal is erg duur.
 - Dekens opgebouwd uit diverse warmtereflecterende folies met daartussen bijv. schuim of (kunst)vezellagen van maximaal 10 mm dik per laag (zie NEN 1068 tabel C.12 [107]); aan beide buitenzijden zit ook een reflecterende laag. Hiermee wordt de stralingscomponent van het warmtetransport uitgeschakeld en bij een goede verdeling ook de convectie. Wat blijft, is de geleiding door de ingesloten lucht. Volgens de norm mag gerekend worden met de equivalente λ -waarde van 0,03 W/(m·K) voor de hele opbouw exclusief de randen en bevestigingen. Nadeel: het bevestigen is bij veel toepassingen veel werk. Zie ook Infoblad 'Thermisch isolerende eigenschappen van reflecterende isolatiefolie' [24].
 - Nanoporeuze materialen De isolerende werking van nanoporeuze materialen is gebaseerd op het verminderen van de gasgeleiding door een aanzienlijke verkleining van de poriën. De afmeting van de poriën wordt een factor 10 tot 100 kleiner dan de vrije weglengte van de aanwezige gasmoleculen. De kans op botsingen tussen de gasmoleculen wordt zo aanzienlijk verkleind, waardoor de gasgeleiding afneemt. De λ -waarde (bij kamertemperatuur en atmosferische druk) is 0,014 W/(m·K). Het materiaal is verkrijgbaar in de vorm van dekens. Let op dat thermische bruggen bij bevestiging en randen een extra groot effect hebben. Een groot nadeel: het materiaal is erg duur.

(lineaire) Thermische bruggen

Een thermische brug is een relatief klein deel van een constructie in de buitenschil, waarbij dit deel relatief slecht geïsoleerd is ten opzichte van de aangrenzende vlakken. NTA 8800 [30] maakt onderscheid tussen puntvormige en lineaire thermische bruggen. Puntvormige thermische bruggen komen in allerlei constructies voor, een voorbeeld van zo'n thermische brug is een spouwanker in een spouwmuur. Het warmteverlies via deze regelmatig voorkomende thermische brug wordt via de R_c -waarde van de betreffende constructie verdisconteerd. Een incidentele puntvormige thermische brug mag worden verwaarloosd bij de berekening van het warmteverlies (NTA 8800 paragraaf 8.2.1).

Lineaire thermische bruggen komen veel voor bij lijnvormige overgangen tussen verschillende bouwdelen (gevel-vloer, gevel-dak, kozijn-gevel e.d.) (Bijlage 1). Ook in constructies kunnen lineaire thermische bruggen voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn stalen constructiedelen in gevels, houten stijlen en regels in gevelementen en sporen in dakelementen.

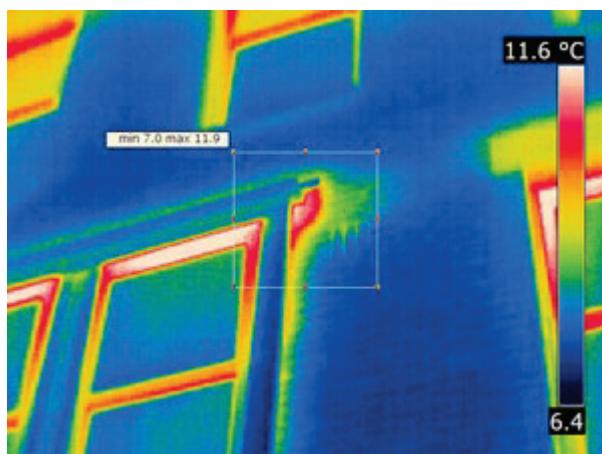
Lineaire thermische bruggen kunnen op twee wijzen in de energieprestatie-berekening worden ingevoerd:

- Forfaitaire methode (zie NEN 1068 [107]);
- Uitgebreide methode: per thermische brug; ingevoerd moeten worden de lengte van de thermische brug en de z.g. lineaire warmtedoorgangscoëfficiënt (ψ -waarde); de waarden hiervoor zijn te vinden via o.a. de energieprestatie-rekenprogramma's met verwijzing naar de SBR-Referentiedetails Woningbouw, zie ook [96]. In [63] staan voorbeelden van details voor zeer goed geïsoleerde woningen zoals passiefhuizen.

Controle

Het is aan te bevelen de thermische kwaliteit van de gebouwschil te controleren door middel van thermo(foto)grafie (A5.1) met behulp van een infraroodcamera. Het opnemen van zo'n kwalitatieve controle als onderdeel van het bestek zal een preventieve werking hebben. Bij een groter project kan de

controle stekproefsgewijze plaatvinden. Controleer dan zodra één woning voldoende gereed is. Eventuele gebreken kunnen dan in de andere woningen mogelijk nog relatief eenvoudig verbeterd worden.



Afb. 5.1 Voorbeeld van een onderzoek door middel van thermografie. Duidelijk zichtbaar zijn de warmtelekken (als rode vlekken). (Bron: Nieman Raadgevende Ingenieurs)

Luchtdichtheid: Kieren en naden

De luchtdichtheid (ook wel luchtdoorlatendheid genoemd) van een woning wordt bepaald door de nadelen en kieren in de woningschil. Als die niet goed luchtdicht zijn uitgevoerd, vindt extra infiltratie plaats met ongewenste energieverliezen tot gevolg. Kieren worden gevormd bij de aansluiting tussen een bewegend en een vast deel (zie bij paragraaf 5.1.5). Nadelen worden gevormd bij de aansluiting tussen vaste delen.

Afbeelding 5.3 toont een aantal veel in de praktijk voorkomende luchtlekken (Bijlage 1). Een goede naaddichting kan worden bereikt door een goed ontwerp èn een zorgvuldige uitvoering:

- Beperk de lengte van de aansluitingen door een eenvoudig ontwerp (niet te veel aanbouwen, dakkapellen, hoeken, verspringingen ed.);
- Houd rekening met de noodzakelijke maattoleranties en optredende vormverandering na verloop van tijd;
- Plaats het dichtingsmateriaal (folies, tape, te comprimeren stroken enz.) zorgvuldig, zo veel mogelijk aan de 'warme zijde' van de constructie;
- Voorkom doorbrekingen in folies door bijvoorbeeld:
 - Geen leidingen in lichte gevel- of dakelementen op te nemen; maak bijv. geen stopcontacten of lichtschakelaars in dergelijke elementen;
 - Aan de binnenzijde (nog binnen de dampremmende laag) een kleine spouw op te nemen waarin leidingen kunnen worden opgenomen;
 - Opdekdozen en opbouwleidingen te gebruiken, mits de damprem intact blijft. Is een doorbreking niet te voorkomen, plak deze dan zorgvuldig af.

Bij gebalanceerde ventilatie (zie paragraaf 6.6) moet de woning in ieder geval een goede luchtdichtheid (klasse 2 uit NEN 2687 [101]) bezitten. De publicatie [Luchtdicht bouwen](#) [99] geeft tal van praktische ontwerp- en uitvoeringsaanbevelingen, zowel voor kier- als voor naaddichting. Hierin worden per bouwdeel tips gegeven voor de luchtdichtheidsklasse 1, 2 en 3 (is toegevoegd t.o.v. norm). Voor de gebruikelijke dichtingsmaterialen zoals ter plaatse gespoten PUR-schuim en gesloten of open cellenband worden de toepassingsmogelijkheden beschreven. In een passiefhuis, en veel andere energieuwige woningconcepten, wordt meestal uitgegaan van gebalanceerde ventilatie. Deze woningconcepten vragen (mede daarom) om een zeer goede luchtdichtheid: in [63] wordt daar uitgebreid op ingegaan.

Bijlage 1.3 geeft een toelichting op de begrippen rond luchtdichtheid zoals $qv10spec$, en de luchtdichtheidsklasse 1, 2 en 3. Bij klasse 1 is te zien dat er ook eisen gesteld worden aan het minimum van de q_{v10} -waarde, met andere woorden: zo'n woning moet niet à te luchtdicht zijn! Dit is vooral bedoeld

om een zekere (minimale) luchtverversing mogelijk te maken, ook als bewoners alle toevoer-openingen hebben afgesloten.

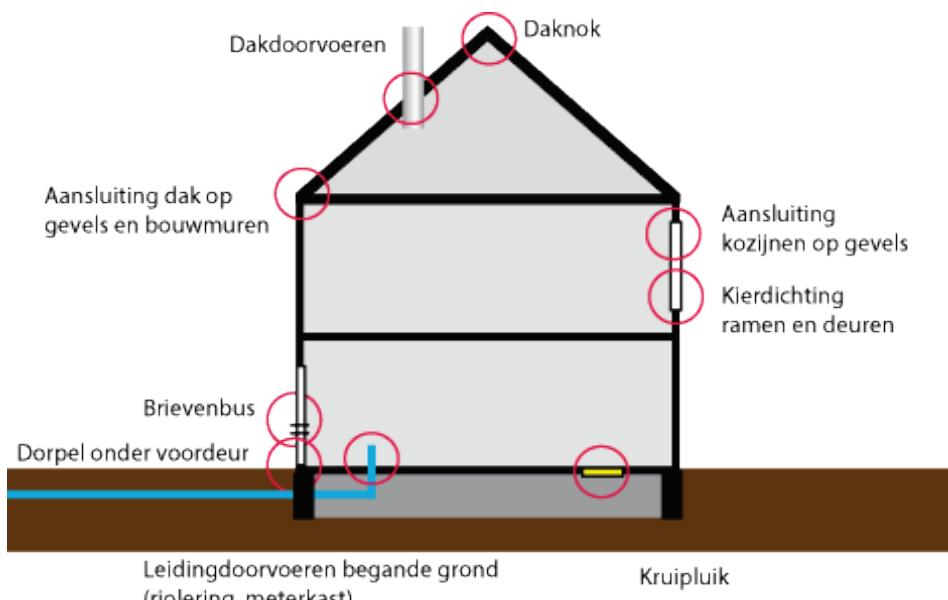
Controle

Controleer de luchtdichtheid in ieder geval per woning visueel voordat de (binnen)afwerking is aangebracht. Daarnaast is het aan te bevelen de luchtdichtheid van de gebouwschil te controleren door middel van een 'opblaasproef' (of 'blowerdoortest'), zie NEN 2686 [100] en afbeelding 5.2. Het opnemen van zo'n kwalitatieve controle als onderdeel van het Technisch Ontwerp (het bestek) zal een preventieve werking hebben. Bij een groter project kan de controle steekproefsgewijze plaatsvinden. Controleer daar zodra één woning voldoende gereed is. Eventuele gebreken kunnen dan, zeker in de andere woningen, mogelijk nog eenvoudig verbeterd worden.

Het is ook mogelijk om de luchtdichtheid te controleren met behulp van ultrasoon geluid. Hiermee kunnen al in een vroeg stadium van de bouw (de woning hoeft nog niet gereed te zijn) constructies worden gecontroleerd. Controle van prefab-constructies in de fabriek is ook mogelijk. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het opsporen van luchtlekken rondom kozijnen in een prefab gevel-element. Belangrijk voordeel van deze methode is dat nog relatief eenvoudig verbeteringen zijn aan te brengen.



Afb. 5.2 Luchtdichtheidsmeting met behulp van een tijdelijk aangebrachte 'blowerdoor'. Met behulp van rookdetectie kunnen luchtlekken zichtbaar worden gemaakt. (Bron: Nieman Raadgevende Ingenieurs)



Afb. 5.3 Let op de luchtdichtheid bij de detaillering en uitvoering van de woningschil. Aangegeven zijn veel voorkomende luchtlekken

Eisen Bouwbesluit

Naast de eisen voor energiebehoefte, primair fossiel energiegebruik en hernieuwbare energie zijn in het Bouwbesluit [26] de volgende bouwkundige eisen ten aanzien van energiezuinig bouwen opgenomen (zie Bouwbesluit Afdeling 5.1):

Thermische isolatie

- Warmteweerstand van 'dichte' constructies (geen drijvende bouwwerken of woonwagens) (vanaf 2020):
 - Begane grondvloer: $R_c \geq 3,7 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$;
 - Gevels: $R_c \geq 4,7 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$;
 - Dak: $R_c \geq 6,3 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$.
- Warmtedoorgangscoëfficiënt van ramen en deuren (beiden inclusief kozijnen): gemiddelde $U \leq 1,65 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$; voor een raam of deur (inclusief kozijn) afzonderlijk geldt een U -waarde $\leq 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. De eis van gemiddeld 1,65 betekent dat de keuze voor kozijnen, deuren en glassoort veel aandacht vraagt (zie paragraaf 5.1.5 en paragraaf 5.2). Niet alle gebruikelijke materialen, profielen en glassoorten zijn mogelijk.
- Warmtedoorgangscoëfficiënt voor met ramen en deuren gelijk te stellen constructies: $U \leq 1,65 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Luchtvolumestroom (zie ook bijlage 1.3):

- De luchtvolumestroom: q_{v10} -waarde $\leq 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (oftewel $\leq 200 \text{ dm}^3/\text{s}$), bepaald volgens NEN 2686. Met een $q_{v10,\text{spec}}$ -waarde $< 1,0 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ vloer voldoet een gemiddelde woning ($< 200 \text{ m}^2$ vloeroppervlak).

Een klein deel van de constructies behoeft niet te voldoen aan de eisen voor thermische isolatie. Dit is gedaan om bijvoorbeeld een brievenbus, leidingtoevoer of ventilatierooster mogelijk te maken. Dat deel mag volgens het Bouwbesluit maximaal de omvang hebben van 2% van de gebruiksoppervlakte van de woning of het woongebouw.

Voor woonwagens en drijvende bouwwerken met een woonfunctie gelden andere (minder strenge) eisen voor thermische isolatie van de 'dichte' constructies.

Let op!

Zorg voor een duidelijke voorlichting naar bewoners toe, zowel mondeling als schriftelijk. Daarbij kan bijv. gewezen worden op het volgende:

- De noodzaak dampremmende lagen niet te beschadigen;
- Bij verbouwingen er voor te zorgen dat de bestaande damprem goed aansluit op de nieuw aan te brengen damprem;
- De aanbeveling om tenminste dezelfde isolatiwaarden (isolatiedikten) te hanteren voor de nieuw aan te brengen of te vervangen constructies; geef vooral duidelijk aan welk type glas gebruikt is.

Verbouw

Bij het gedeeltelijk vernieuwen of veranderen, of vergroten van een woning hoeft niet aan bepaalde eisen voor energieprestatie te worden voldaan. Wél geldt voor de thermische isolatie en de luchtdichtheid het 'rechtens verkregen' niveau (zie paragraaf 1.1 Bouwbesluit 2012). Dat is kort gezegd het niveau dat er voor de verbouwing was, mits dat niveau aan de destijds geldende eisen voldeed en aan de huidige eisen voor de bestaande bouw voldoet. Voor de thermische isolatie van de dichte schilconstructies geldt echter wel een R_c -waarde van minimaal $1,4 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$.

Wanneer bij verbouw isolatielagen of beglazing vervangen of vernieuwd wordt, gelden de volgende eisen voor vloer, gevel, dak en ramen/deuren:

- R_c -waarde vloer minimaal $2,6 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$;
- R_c -waarde gevel minimaal $1,4 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$;
- R_c -waarde dak minimaal $2,1 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$;
- U -waarde maximaal $2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ voor ramen, deuren en vergelijkbare constructies. Dit betekent dat er minstens dubbel HR-glas moet worden geplaatst. Omdat bestaande kozijnen met enkel glas niet geschikt zijn voor dubbel glas, wordt er in het Bouwbesluit vanuit gegaan dat de ramen en deuren gelijk met de kozijnen worden vernieuwd of vervangen;
- Wanneer het rechtens verkregen niveau een betere energieprestatie heeft geldt het rechtens verkregen niveau.

Let op!

Sinds 1 maart 2013 gelden voor nieuwe dakkapeldakkapellen en zogenoemde bijbehorende bouwwerken (zoals bijgebouwen, aanbouwen, uitbouwen) wèl de nieuwbuweis voor de thermische isolatie van dichte schilconstructies en voor de warmtedoorgangscoëfficiënt van ramen en deuren inclusief kozijnen.

Bij een 'ingrijpende' renovatie van meer dan 25% van de oppervlakte van de gebouwschil zijn volgens het Bouwbesluit vanaf 1 juli 2013 ook de nieuwbuweis voor thermische isolatie van toepassing. Het gaat daarbij om een ingreep in de 'integrale' bouwschil. Hiervan is sprake wanneer bijvoorbeeld een gevel of dak volledig wordt opengelegd of vernieuwd waardoor relatief eenvoudig isolatie volgens nieuwbuweis is aan te brengen. Voorbeelden van 'niet-integrale' renovatie: het na-isoleren van een spouwmuur of het aanbrengen van isolatie tegen een dakbeschot. Bij een 'ingrijpende' renovatie is meestal een bouwvergunning vereist.

5.1.1 Fundering, kruipruimte en begane grondvloer

Thermische isolatie

Het Bouwbesluit eist een R_c -waarde van minimaal $3,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$. Bij zeer goed geïsoleerde woningen zoals passiehuizen, ligt de minimale waarde rond de $6,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$. De isolatiewaarde van de begane grondvloer kan relatief eenvoudig een hoge waarde krijgen. In de praktijk zijn zeer goed geïsoleerde prefab elementen (voor het niveau van een passiehuis) nog niet altijd verkrijgbaar. Een goede oplossing is om dan een zwevende dekvloer toe te passen.

Het warmteverlies door vloeren is relatief beperkt in vergelijking met het verlies door gevels en daken omdat de warmtestroom door de vloer naar de grond of kruipruimte gericht is. In het stookseizoen is de gemiddelde temperatuur van de grond of de kruipruimte beduidend hoger dan van de buitenlucht en het temperatuurverschil tussen binnen en 'buiten' kleiner. De vloer behoeft daarom meestal minder geïsoleerd te worden dan gevels en dak.

Afb. 5.4 Enkele voorbeelden van constructies voor begane grondvloeren, de dikte van de isolatie is indicatief. R_c in $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$. Raadpleeg de fabrikant voor de exacte isolatiewaarde

Vloer	Materiaal	R_c	Dikte* [mm]
Ribcasettevloer	EPS/steenwol	4,0	350 totaal
		5,0	350 totaal
		6,5	400 totaal
Kanaalplaatvloer (met oplegnokken)	EPS	4,0	340 totaal
		5,0	380 totaal
		6,5	395 totaal
PS combinatievloer (PS-broodjesvloer)	EPS	4,0	335 totaal
		5,0	365 totaal
		6,0	375 totaal

* Dikten inclusief constructievloer, exclusief dekvloer

Thermische bruggen

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de detaillering in verband met thermische bruggen (in het spraakgebruik 'koudebrug'): de f-factor (zie bijlage 1) moet voor een woonfunctie $\geq 0,65$ zijn. Er zal dan geen structurele oppervlakte condensatie optreden. Ondanks deze eis kunnen er bij de oplegging van de begane grondvloer nog relatief grote warmteverliezen optreden.

Deze komen vooral voor bij de aansluiting van de fundering op de begane grondvloer ter plaatse van de woningscheidende wanden en de kopgevels. De warmteverliezen zijn te verminderen door:

- Het volledig rondom isoleren van de (ter plaatse gestorte) funderingsbalken met:
 - U-vormige bakken van geëxpandeerd PS-hardschuim; deze doen bovendien dienst als verlorene bekisting (afbeelding 5.7). Alleen te gebruiken bij een fundering op palen. De U-vormige bakken kunnen uit één stuk bestaan, maar ook uit losse bodem- en

- zijelementen. Eerst wordt het bodemelement aangebracht waarop de wapening wordt bevestigd. Daarna kan men de zijelementen aanbrengen;
- Hardschuimplaten; deze worden achteraf aangebracht. Eveneens alleen te gebruiken bij een paalfundering;
 - Het gebruik van stroken drukvast isolatiemateriaal als oplegging van vloer en/of wand. Hiervoor zijn diverse producten verkrijgbaar, zoals elementen van cellulair glas, blokken van cellenbeton of stroken bestaande uit een combinatie van geëxtrudeerd PS-schuim met polymeerbeton. Let op de (langeduur-)sterkte.

Een vloer die is voorzien van oplegnokken met daartussen isolatiemateriaal (afbeelding 5.8) is een redelijk alternatief. Bij passiehuizen is een combinatie van oplegnokken en geïsoleerde funderingsbalken te overwegen.

Bij een fundering 'op staal' (dus zonder funderingspalen) zijn er diverse mogelijkheden om bij de fundering en beganegrondvloer thermische bruggen te vermijden zoals:

- Pas stroken (zeer) drukvast isolatiemateriaal toe als oplegging van vloer en/of wanden op de (ongeïsoleerde) fundering; de vloer met drukvaste isolatie aan de onderzijde kan ook op de vaste ondergrond worden gelegd en dus 'los' blijven van de fundering;
- Leg op een betonnen plaatfundering drukvaste isolatie met daarop een dekvloer, zet de wanden op zeer drukvaste stroken isolatie;
- Pas een plaatfundering toe van schuimbeton.

Afhankelijk van de benodigde druksterkte en vorm kan men als isolatiemateriaal kiezen uit o.a. geëxpandeerd PS-schuim (EPS), geëxtrudeerd PS-schuim (XPS), cellulair glas of stroken bestaande uit een combinatie van XPS met polymeerbeton.

Aandachtspunten:

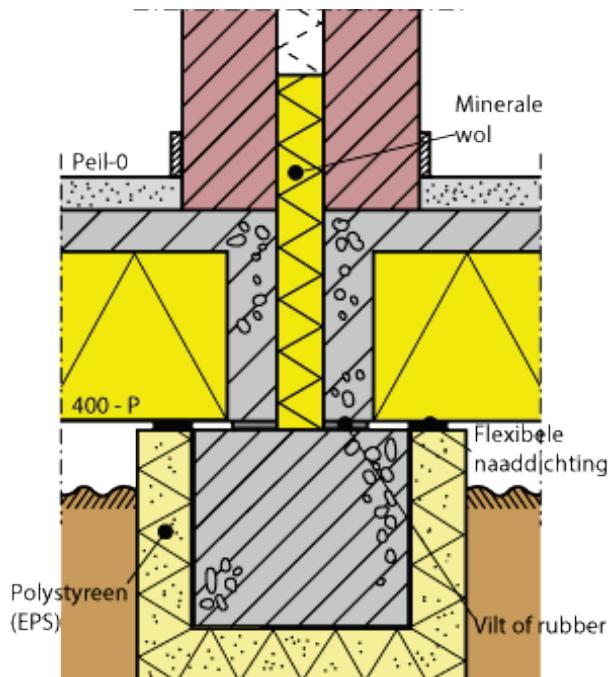
- Let bij PS-elementen op een zorgvuldige behandeling en opslag; ze zijn namelijk licht en kwetsbaar. Voorkom wegwaaien (zwerfvuil!), opdrijven door regenwater, en schade tijdens het storten van het beton;
- Zorg voor een goede aansluiting van de PS-elementen op elkaar. Fabrikanten leveren hiervoor hulpmiddelen zoals koppelprofielen. Ook zijn er systemen waarbij de elementen (bovendien) in elkaar worden geschoven;
- Gebruik bij het bevestigen van leidingen speciale hulpmiddelen zoals band van kunststof, om beschadiging van de isolatie te voorkomen (afbeelding 5.5);
- Er zijn ook PS-elementen (als verloren bekisting) verkrijgbaar voor funderingsbalken op staal. Deze PS-elementen isoleren echter alleen de zijkant van de fundering volledig. De bovenzijde van de funderingsbalk wordt deels geïsoleerd, de onderzijde geheel niet;
- Bij een (prefab) betonnen 'koele' kelder: Breng isolatie aan tussen de kelder en de begane grond en ventileer de kelder met buitenlucht;
- In de praktijk sluit de isolatie van een kruipluik vaak niet goed aan op de vloerisolatie; het gevolg is een warmtelek. Een (prefab) isolatiedeksel is een goede oplossing hiervoor, zie afbeelding 5.9.



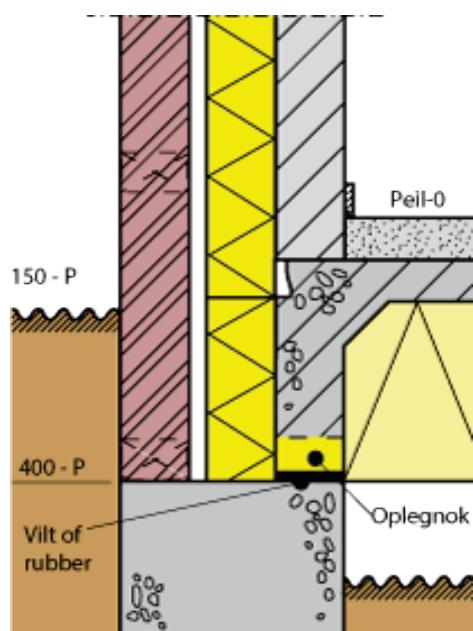
Afb. 5.5 Ophanging van leidingen.

Afb. 5.6 Indicatie van het extra energieverlies per m² fundering in m³ aardgas per jaar via een warmtelek bij de fundering

	[m ³ aardgas/m ²]
Langsgevel	3
Woningscheidende wand	5
Kopgevel	5



Afb. 5.7 Principe-detail: geïsoleerde funderingsbalk bij een ankerloze spouwmuur als woningscheidende wand



Afb. 5.8 Door de toepassing van oplegnokken bij de oplegging van de begane grondvloer wordt het energieverlies verminderd. Zorg voor een goede luchtdichting tussen kruipruimte en luchtspouw, dit om te voorkomen dat relatieve vochtige lucht in de spouw terecht komt met gevaar van condensatie. Dit aandachtspunt geldt niet alleen voor een kopgevel, zoals hier op tekening, maar ook voor een luchtspouw bij een ankerloze spouw in een woningscheidende wand of bij een spouw in een langsgevel



Afb. 5.9 Zorg er voor dat de isolatie onder een kruipluik goed aansluit op de isolatie van de vloer. Hiervoor bestaat een goede oplossing: een losse prefab isolatiedeksel die in een speciale ophangbeugel geplaatst wordt. Kruipluik en isolatiedeksel zijn niet aan elkaar verbonden. Het hier getoonde vloerelement is voorzien van een door de fabrikant geboord kruipgat. Gebruik een goed luchtdicht kruipluik met een soepele dubbele tochtindichting. Pas geen duimgat toe, maar een luikoog verzonken aan de bovenzijde van het luik. (Bron: VBI)

Luchtdichtheid

De begane grondvloer moet een hoge luchtdichtheid hebben ter beperking van de aanvoer van vocht en radon (zie paragraaf 6.1) vanuit de kruipruimte. Volgens het Bouwbesluit (artikel 3.21) mag de luchtdoorlatendheid maximaal $20.10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ vloeroppervlakte bedragen (gemeten volgens NEN 2690 [102]). De vloer moet in feite 'potdicht' zijn. Voor de referentie rijtjeswoning betekent de eis bijvoorbeeld dat de vloer slechts een lekoppervlakte mag hebben van maximaal zo'n 7 cm^2 .

In de praktijk betekent dit een goed doordacht ontwerp en een zeer zorgvuldige uitvoering. De publicatie Luchtdicht bouwen [99] geeft tal van aanbevelingen. Bijlage 1 geeft de eisen ten aanzien van de luchtdichtheid van woningen.

Voorkom, in verband met het gevaar voor condensatie, de mogelijke aanvoer van lucht vanuit de kruipruimte naar:

- De spouw van een (kop- of langs-)gevelconstructie;
- De ankerloze spouw van een woningscheidende wand. Vooral in dit geval kan condensatie tegen het dak optreden hetgeen in de praktijk tot aanzienlijke (water)schade kan leiden.

Aandachtspunten:

- Vul bij kanaalplaatvloeren de uiteinden van de kanalen met voor dit doel verkrijgbare prefab vulblokken van zacht kunststofschuim; deze zorgen voor isolatie en luchtdichting;
- Vermijd passtroken en vulstukken tussen vloerelementen in de beganegrondvloer; indien toch toegepast, breng dan naaddichting (ook aan de kop bij de gevel) zeer zorgvuldig aan;
- Zorg voor een goede naaddichting rondom de ventilatieroosters bestemd voor de ventilatie van de kruipruimte;
- Zorg voor een goede onderkauwing (= opvulling horizontale voeg aan onderzijde) van de beide wanden van een woningscheidende ankerloze spouwmuur. Vul, bij gebruik van grote elementen, de spouw tussen de beide vloeren met een flexibele plaat (bijv. een elastische kunststofschuimplaat of minerale wol) die enigszins uitsteekt. Hierdoor voorkomt men dat er mogelijk een akoestische koppeling ontstaat bij het onderkauwen;
- Beperk het aantal vloersparingen voor de doorvoer van leidingen; pas daarom bij voorkeur een bovengrondse invoer van zo veel mogelijk leidingen toe. Sparingen op het werk gezaagd of geboord verdienen qua luchtdichting de voorkeur boven prefab sparingen (d.m.v. bijvoorbeeld ingestorte blokken polystyreen). Deze laatsten zitten regelmatig niet op de juiste plek. Gezaagde of geboorde sparingen kunnen met weinig tolerantie aangebracht worden en kunnen daardoor eenvoudiger afgedicht worden;

- Breng afdichtingen aan vóór het aanbrengen van de dekvloer. Ze moeten waterdicht zijn, hetgeen ook noodzakelijk is wanneer een anhydriet dekvloer wordt aangebracht;
- Dicht de vloersparingen zorgvuldig af. Minerale wol is hiervoor niet geschikt. Gebruik bij voorkeur mantelbuizen in combinatie met rubberen afdichtingsringen. Deze ringen dichten zowel de opening af tussen de mantelbus en de vloer als tussen de mantelbus en de leiding;
- Gebruik een relatief zwaar kruipluik, bijv. van vezelcementplaat, of een luik dat met behulp van sluitingen wordt aangedrukt (afbeelding 5.9);
- Zorg voor een goede drainage rondom de woning tegen vocht;
- Overweeg het toepassen van een zandlaag, een dampremmende folie (bijv. PE) of schuimbeton op de bodem van de kruipruimte tegen vocht en radon; de verdamping uit de bodem neemt hierdoor (sterk) af. Een folie moet bij voorkeur kort voor de oplevering aangebracht worden, dit in verband met de kwetsbaarheid van de folie.

Wel of geen kruipruimte

In veel gevallen is het achterwege laten van een kruipruimte mogelijk èn voordelig [103]. Dit geldt zowel voor een fundering op staal als voor een paalfundering. Bouwen zonder kruipruimte kan met zowel een zelfdragende vloer als een systeemvloer. Bij deze laatste zal in de praktijk altijd een luchtlaag tussen de vloer en de bodem aanwezig blijven. Volgens het Bouwbesluit behoeft een kruipruimte niet geventileerd te worden omdat, bij nieuwbouw, de begane grondvloer een zeer goede luchtdichting moet hebben.

Toch is het aan te bevelen een toegankelijke kruipruimte licht te ventileren. Dit om minimaal een redelijke luchtkwaliteit in de kruipruimte te garanderen.

Bij een houten beganegrondvloer, zoals in bestaande woningen, is het vrijwel altijd noodzakelijk om de kruipruimte wèl te ventileren om problemen met o.a. vocht te voorkomen.

Voordelen van het achterwege laten van een kruipruimte:

- Minder kans op vochtproblemen: Een eventueel hoge grondwaterstand levert geen natte kruipruimte op;
- Meer kans op een goede luchtdichtheid, zeker bij het in het werk storten van de vloer. Voordelen: minder radon en vochtige lucht in de woning. Een zelfdragende vloer, in plaats van een systeemvloer, is bij een goede ondergrond mogelijk. Zo'n vloer is relatief goedkoop en luchtdicht. Nadeel: minder goed inpasbaar in de gebruikelijke planning;
- Bou 技isch meestal goedkoper, zowel bij een fundering op staal als bij een paalfundering;
- Minder grondverzet nodig bij het bouwrijp maken: óf er is minder ophoogzand nodig (om voldoende drooglegging te verkrijgen), óf er behoeft minder grond uitgegraven te worden.

Nadelen van het achterwege laten van een kruipruimte:

- Onder de vloer aanwezige leidingen zijn niet meer toegankelijk voor onderhoud en reparatie. Mede i.v.m. zetting van de ondergrond kiest men daarom voor:
 - Het instorten van de riolering;
 - Het plaatsen van de meterkast zo dicht mogelijk bij de gevel zodat de overige leidingen via een zo kort mogelijke mantelbus ingevoerd worden.
- Wijzigingen in de plattegrond zijn later moeilijker te realiseren indien riolering en dergelijke aangepast moet worden.

Let op!

Tijdens de ruwbouwfase is een zorgvuldige uitvoering en controle nodig van de leidingen die onder de beganegrondvloer (komen te) liggen. Beschermtijdens de ruwbouwfase de boven deze vloer uitstekende stukken leiding goed.



Afb. 5.10 Op tal van nieuwbouwlocaties wordt zonder kruipruimte gebouwd. Op de foto een voorbeeld van bouwen zonder kruipruimte op de Vinex-locatie Nieuwland in Amersfoort

5.1.2 Dak

Thermische isolatie en naaddichting

Daken zijn relatief eenvoudig goed te isoleren. Het Bouwbesluit eist een R_c -waarde van minimaal 6,3 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Bij daken van zeer goed geïsoleerde woningen zoals passiehuizen ligt de R_c -waarde rond de 8 à 10 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Dit betekent een isolatiedikte van ca. 0,3 à 0,4 m afhankelijk van het isolatiemateriaal en de constructie. Bij hellende daken kan daarvoor bijvoorbeeld een houten dakdoos met sporen gebruikt worden waarbij de sporen als I-ligger uitgevoerd zijn waardoor de thermische brug via de houten ligger beperkt is [63].

Vooral bij hellende daken is veel aandacht nodig voor de luchtdichtheid van de nok-aansluiting en de aansluiting van dak(elementen) met de (zolder)vloer. Zie o.a. [96], [63] en [99] voor mogelijke oplossingen daarvoor. Zie voor het isoleren van rieten daken www.riet.com en het rapport '[De onderconstructie van rieten schroefdaken](#)' [122].

Afb. 5.11 Enkele voorbeelden van constructies voor daken. De isolatiedikten zijn indicatief en in de constructies naar boven afferond op 5 mm. R_c in $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Voor de berekening van afschotisolatie op platte daken zie SBRCURnet Infoblad 23: Berekenen van de dikte van afschotisolatie

		Isolatie materiaal	Dikte isolatemateriaal [mm]			
			$R_c = 6,0$	$R_c = 7,0$	$R_c = 8,5$	$R_c = 10,0$
Hellend dak met pannen	Enkelschalig prefab element 1	Minerale wol	250	290	355	415
		Cellulose platen	240	280	340	400
		PIR	190	220	265	315
		EPS	240	280	340	400
	Sandwich element zonder randhout	PIR	155	180	220	260
		EPS 'HR'	195	230	275	325
Plat of lichthellend dak, met ballast	Hout	Resol	130	150	185	220
		EPS	225	260	320	375
		Cellulair glas	230	270	330	385
	Grindbeton 200 mm	Resol	135	160	195	230
		EPS	225	260	320	375
		Cellulair glas	230	270	330	385
		XPS omgekeerd dak	210	250	300	355
	Cellenbeton 200 mm	Resol	105	125	160	190
		EPS	180	215	270	330
		Cellulair glas	185	225	280	340

1) De benodigde isolatiedikte hangt in sterke mate af van de constructieve opbouw van het element. Elke fabrikant kent een eigen opbouw. Gebruik daarom voor definitieve berekeningen altijd de gegevens met certificaat van de desbetreffende fabrikant.

Tips:

- Door het toepassen van een dakoverstek (0,75 meter, horizontaal gemeten, voor de onderliggende twee bouwlagen) kunnen gevels tegen regen beschermd worden hetgeen o.a. minder onderhoud oplevert;
- Houd rekening met de (mogelijke) plaatsing van een zonneboiler en PV-panelen: zie paragraaf 4.1.2 voor dakhelling, oriëntatie en benodigde ruimte.

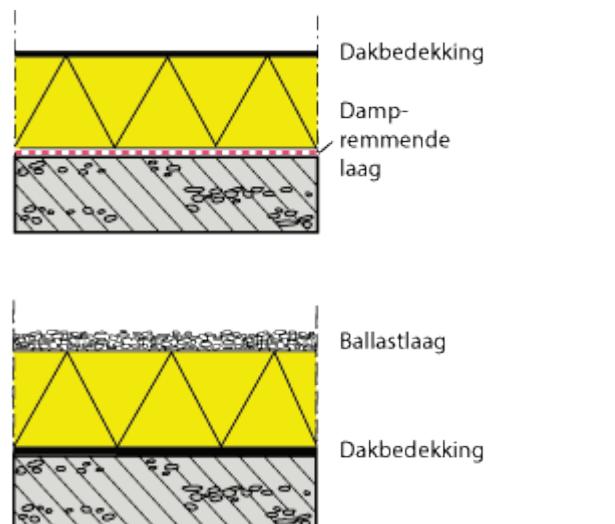
Warm en koud dak

Platte daken worden in de regel als 'warm' dak uitgevoerd: De isolatie ligt bovenop de draagconstructie. Bij een 'koud' dak ligt de isolatie onder de draagconstructie. Zo'n dak wordt vanwege het risico voor inwendige condensatie zelden toegepast.

Er zijn twee mogelijkheden voor de opbouw van 'warm' dakconstructies:

- De isolatie ligt onder de waterdichte laag;
- De isolatie ligt bovenop de waterdichte laag; deze constructie wordt vaak aangeduid als 'omgekeerd' dak; de isolatie beschert de dakbedekking tegen o.a. grote temperatuurschommelingen.

Voor een omgekeerd dak moet een isolatiemateriaal gebruikt worden waarop o.a. vocht geen invloed heeft; geëxtrudeerd polystyreen (XPS) is voor deze toepassing zeer geschikt. Bij de berekening van de isolatiewaarde van een omgekeerd dakconstructie moet rekening worden gehouden met het extra warmteverlies door regenwater dat onder de isolatieplaten terecht komt (zie ook NTA 8800 [30]).



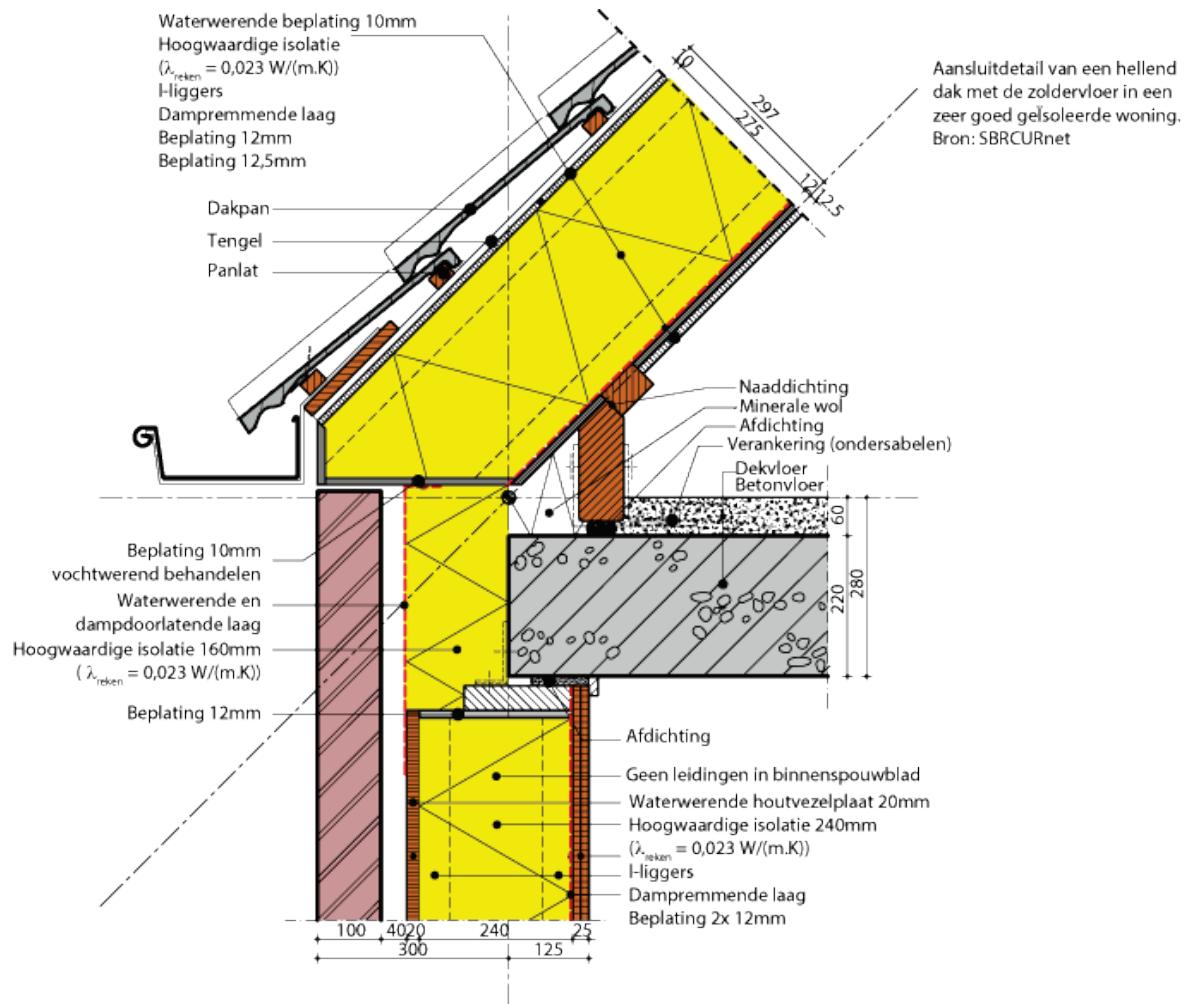
Afb. 5.12 Principe-opbouw van een warm dak en een omgekeerd (warm) dak. Bij het omgekeerde dak moet een ballastlaag worden toegepast tegen aantasting door UV-straling, wegwaaien en opdrijven van de isolatie; deze ballast kan bijvoorbeeld bestaan uit grind, een extensief vegetatiedak of tegels met tegeldragers; bij fijner grind is een (dampopen!) folie nodig tussen grind en isolatie, maar dan kan wel de laaddikte van het grind geringer zijn ten opzichte van grof grind. Zeker bij een omgekeerd dak is een goed afschot gewenst. Meer informatie via www.sbrcurnet.nl: 'Infoblad 38: Een omgekeerd dak zonder waterplaten' en bij diverse fabrikanten

Luchtdichtheid

Vooral de luchtdichtheid van hellende daken vraagt extra aandacht. De publicatie Luchtdicht bouwen [99] geeft voor de diverse aansluitingen praktische details.

- Zorg voor een goede luchtdichting bij de nok. Kies bijvoorbeeld voor scharnierkappen waarbij compressieband in de nok toegepast wordt. Als aanvulling kan een overlap van de (dampremmende) folies dienen;

- Zorg bij de aansluiting van dakelementen met de muurplaat voor dichting met bijvoorbeeld compressieband. Zorg voor een detaillering waarbij dit band tijdens de montage niet weg kan schuiven;
- Zorg voor de dichting van de naad tussen de kopse kant van de muurplaat en de bouwmuur;
- Let op de dichting bij dakdoorvoeren. Gebruik bijvoorbeeld:
 - Een afdekplaat met manchet die om de doorvoer geschoven wordt; zorg voor een goede luchtdichting tussen plaat en dak;
 - Een (zelfklevende) veerkrachtig kunststofschuimen plaat met prefab aangebrachte gaten (plus volgplaat ter afwerking), handig wanneer er meerdere doorvoeren vlak bij elkaar zitten.



Afb. 5.13 Aansluitdetail van een hellend dak met de zoldervloer in een zeer goed geïsoleerde woning.
(Bron: SBR [63])

Dampremmende laag

Controleer tijdens de uitvoering de juiste toepassing van dampremmende folies:

- De locatie in de constructie: de damprem moet altijd aan de warme zijde worden aangebracht;
- Het gebruik van de juiste folie; voorkom verwarring met dampopen (vaak ook waterkerende) folie die voor de koude zijde (buitenzijde) van een constructie is bestemd; soms zijn de folies te herkennen aan de kleur van de opschriften: rood voor de warme zijde (dampremmend), blauw voor de koude zijde (dampopen) van een constructie;
- Een voldoende overlap (minimaal 100 mm) van de dampremmende folie en/of een luchtdichte bevestiging van de randen. Ook kunnen de naden met speciale tape zijn afgewerkt; controleer dan of de tape overall goed aangebracht is;
- Raadpleeg vooraf altijd de verwerkingsrichtlijnen van de fabrikant.

Ballast

Het toepassen van ballast op een plat dak heeft twee voordelen:

- Bescherming van de onderliggende dakbedekking tegen ultraviolet licht en tegen grote temperatuurschommelingen;
- Bescherming van de onderliggende vertrekken tegen een snelle opwarming in de zomer. Nadeel van ballast is de toename van het gewicht van de totale dakconstructie.

Mogelijkheden voor ballast zijn o.a.:

- Grind, tegels (overweeg hergebruikt materiaal);
- Extensieve vegetatie [111] en [112].

Extensief vegetatiedak

Een extensief vegetatiedak (zie Kennispaper: Duurzame begroeide daken [250], [111] en [112]) is één van de vormen van vegetatiedaken. Belangrijke kenmerken:

- De vegetatie (en de overige dakconstructie) vergt weinig onderhoud;
- De vegetatie blijft laag en bestaat vooral uit sedum, mos, kruiden of gras en combinaties hiervan;
- De drainage- en substraatlagen (waarin de vegetatie groeit) is relatief dun en bedraagt circa 60 mm bij mos en sedum en circa 100 mm bij gras en kruiden;
- De dakhelling kan variëren van 0° tot circa 30°, dit in tegenstelling tot een dak met grind als ballast.

Belangrijke voordelen van een (extensief) vegetatiedak zijn, naast de hiervoor genoemde algemene voordelen van ballast:

- Buffering van regenwater waardoor de piekbelasting op de riolering afneemt. Het effect zal afhankelijk zijn van de dikte en opbouw van het vegetatiedak. Zie '[Groene daken nader beschouwd](#)' [113] en via www.sbrcurnet.nl het Infoblad 390 Waterbergend vermogen groendaken;
- Extra koelend effect 's zomers;
- Verbetering van het [stadsklimaat](#) [114];
- Verfraaiing van daken, van belang wanneer omwonenden uitzicht op de desbetreffende daken hebben.

Aandachtspunten:

- Een extensief vegetatiedak geeft weinig of geen extra warmte-isolatie, zodat het dak als een 'normaal' dak geïsoleerd moet worden;
- Houd bij het ontwerp van de gevel en het dak (bijv. dakopstand, dakrand) rekening met de dikte van het vegetatiedak en een eventueel benodigd afschot;
- In diverse gemeenten en waterschappen is subsidie te krijgen voor het toepassen van extensieve vegetatiedaken in de bestaande bouw, soms ook in nieuwbouw.



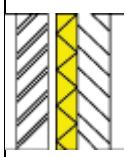
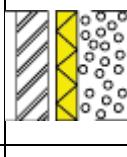
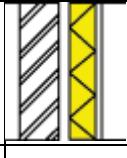
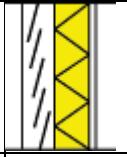
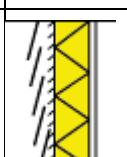
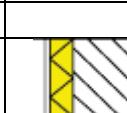
Afb. 5.14 Voorbeeld van een extensief vegetatiedak

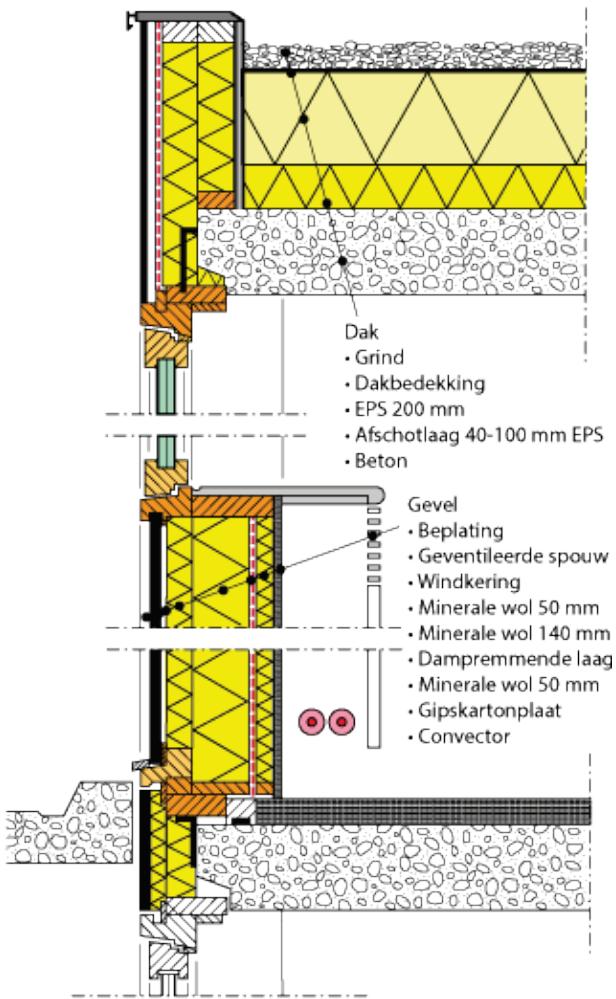
5.1.3 'Gesloten' geveldelen

Thermische isolatie

'Gesloten' geveldelen zijn minder eenvoudig te isoleren dan daken en vloeren. De constructies zijn complexer door opbouw en openingen voor ramen en deuren. De 'gesloten' geveldelen moeten een R_c -waarde hebben van minimaal $4,7 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. In zeer energiezuinige woningen, zoals passiefhuizen, worden R_c -waarden van $8,0$ à $10,0 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ toegepast [97]. Bij dergelijke woningen is extra aandacht voor het beperken van thermische bruggen nodig. Een vroeg voorbeeld van een goed geïsoleerd project is het appartementencomplex 'Urban Villa' (afbeelding 5.16) uit 1995 [109]. Daar werden al R_c -waarden van $5,0$ à $6,0$ toegepast!

Afb. 5.15 Enkele voorbeelden van constructies voor gevel en kopgevel. De isolatielagen zijn indicatief en in de constructies naar boven afgerond op 5 mm. R_c in $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$.

		Isolatiemateriaal	$\lambda_{\text{declared}}$	Dikte isolatiemateriaal [mm]			
				$R_c = 4,5$	$R_c = 5$	$R_c = 6$	$R_c = 8,5$
Baksteen. - kalkzandsteen. of beton		Steenwol	0,035	155	175	210	305
(RVS spouwankers) ^{1,2)}		Glaswol	0,035	155	175	210	305
		Glaswol extra met alu.	0,030	125	140	175	255
		EPS 60 (EPS 15)	0,036	160	180	220	315
		EPS 'extra'	0,030	135	150	180	265
		Resol	0,023	105	115	140	205
Bakst. - 150 mm cellenbeton		Steenwol	0,035	125	145	180	275
(RVS spouwankers) ^{1,2)}		Glaswol	0,035	125	145	180	275
		Glaswol extra met alu.	0,030	100	115	145	230
		EPS 60 (EPS 15)	0,036	130	145	185	280
		Resol	0,023	85	95	120	185
Bakst. houten element		Steelwol	0,037	205	230	280	405
(12 % hout) ³⁾		Glaswol	0,035	200	220	270	390
		Houtvezeldeken	0,038	210	235	285	410
		Cellulose	0,037	205	230	280	405
Hout - houten element		Steenwol	0,037	220	245	295	415
(12 % hout, geventileerde spouw) ³⁾		Glaswol	0,035	210	235	285	400
		Cellulose	0,037	220	245	295	415
		Houtvezeldeken	0,038	225	250	300	425
Hout - isoplaat- houten element		Steenwol	0,037	180	205	255	375
(12 % hout, geventileerde spouw) ³⁾ (30 mm isoplaat met een $\lambda < 0,04$ Over alle stijlen en regels)		Glaswol	0,035	175	200	245	365
		Cellulose	0,037	180	205	255	375
		Houtvezeldeken	0,038	185	210	260	385
Stuc - isolatie- kalkzandsteen		EPS 100 (EPS 20)	0,035	160	180	215	310
		XPS	0,028	130	145	175	250
		Houtvezel plaat	0,043	195	220	265	380
Toelichting:							
1) Bij toepassing van gegalvaniseerde spouwankers is 5 % extra isolatie materiaal nodig							
2) Met een blijvend warmtereflecterende (aluminium) laag aan de spouzwijde, is 15 mm minder isolatiemateriaal nodig							
3) Bij houten elementen is er vanuit gegaan dat de stijlen en regels in één vlak liggen							



Afb. 5.16 Doorsnede van één van de gevels van het project 'Urban Villa' in Amstelveen, een voorloper van de passiehuizen en een vervolg op de Minimum Energie Woningen uit 1983. Het isolatiepakket bestaat uit totaal 240 mm minerale wol. In de isolatie ligt de dampremmende laag waardoor deze goed beschermd is. Het stijl- en regelwerk ligt niet in één vlak zodat slechts op de plek waar ze elkaar kruisen de constructie uit alleen hout zonder isolatie bestaat. Dit beperkt het warmteverlies. (Bron: Architect: Atelier Z - Zavrel Architecten; Ontwikkeling: BAM Vastgoedbeheer en RABO Vastgoed; Onderzoek en advies: Damen Consultants, TU-Delft en DWA. Realisatie: 1995)

Let op detaillering en uitvoering

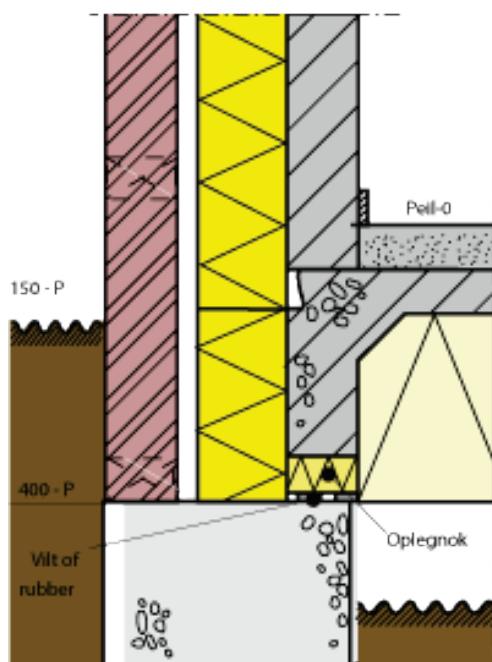
- Voor gevelsluitende houten elementen zijn harde platen van minerale wol of houtvezels verkrijgbaar waarmee het warmtelek, gevormd door het stijl- en regelwerk, beperkt kan worden. Deze platen worden aan de spouzwijde van het element op het element bevestigd. Deze platen doen tevens dienst als damp-open waterkerende laag;
- Gebruik rondom kozijnen en bij de aansluiting van gevel-elementen altijd een dubbele naaddichting, bij voorkeur met compressieband en/of folie (afbeelding 5.19). Houd rekening met kruip van de vloerconstructie. De zakking, in het midden van de overspanning, kan wel 5 mm bedragen [99]. De afdichting tussen gevel en vloer moet dus deze werking kunnen opnemen;
- Beperk door een goede detaillering het gebruik van ter plaatse gespoten PUR-schuim voor aansluitdetails. Dit kan gunstig zijn vanuit milieuoogpunt;
- In de praktijk blijkt dat het aan een zorgvuldige uitvoering regelmatig ontbreekt (zie afbeelding 5.22). Controle door thermo(foto)grafie, steekproefsgewijs, is sterk aan te bevelen.

Specifiek voor spouwconstructies

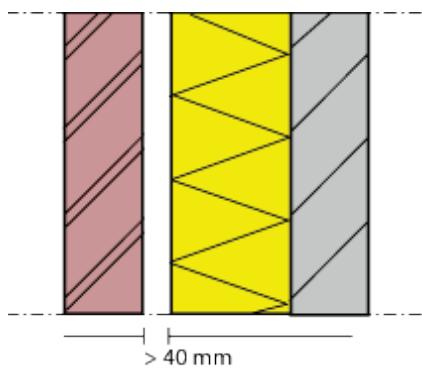
- Zorg boven kozijnen en boven alle andere horizontale beëindigingen van de spouw (zoals vlak boven de fundering) voor een goede waterafvoer via bijvoorbeeld open stootvoegen. Gebruik

voor de spouwisolatie onder het maaiveld-niveau een niet-vochtgevoelig isolatiemateriaal zoals hardschuimplaten;

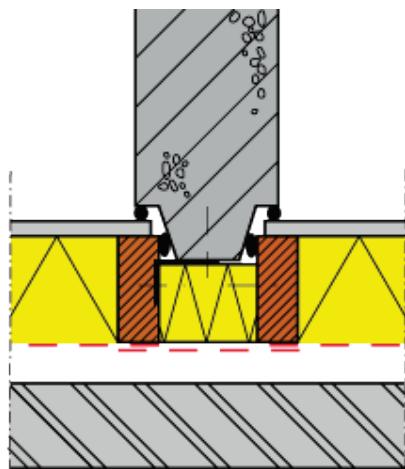
- Pas bij een gemetseld buitenspouwblad een luchtspouw van minstens 40 mm (als ontwerpmaat) toe tussen de isolatie en het buitenspouwblad (afbeelding 5.18; [105]). Redenen:
 - Ongehinderde afvoer van het door het buitenblad gedrongen regenwater;
 - Hogere kwaliteit van het metselwerk doordat de metselaar voldoende ruimte heeft om snel en goed te metselen;
- Laat bij het toepassen van tweelagen isolatieplaten achter elkaar de naden ten opzichte van elkaar verspringen waardoor minder doorgaande naden ontstaan en er dus minder kans is op warmtelekken. Redenen om tweelagen toe te passen zijn o.a.:
 - Het realiseren van zeer hoge R_c -waarden;
 - Het eenvoudiger nauwkeurig passend kunnen plaatsen van zachte isolatieplaten met enige overmaat (om naden tussen isolatie en constructie te minimaliseren);
- Houd rekening met de negatieve invloed van onder andere spouwankers op de R_c -waarden van geïsoleerde spouwmuren. Zie NEN 1068 [107]. Bij gebruik van RVS-ankers ($\varnothing 4$ mm) is 5% minder isolatie nodig dan bij gegalvaniseerde spouwankers ($\varnothing 6$ mm). Het achterwege laten van RVS-ankers (indien mogelijk) zou nog eens 5% isolatie besparen;
- Er zijn voor minerale wolplaten in combinatie met kalkzandsteen binnenspouwbladen speciale spouwankers verkrijgbaar die tussen de platen bevestigd worden tijdens het aanbrengen van de platen [104]. De ankers zitten daardoor op de juiste plaats en de kans op beschadiging van de isolatieplaten is minimaal, dit in tegenstelling tot de gebruikelijke priankers;
- Voorkom beschadigingen in de isolatie tijdens de uitvoering. Gebruik bijvoorbeeld kortelingsteunen voor de bevestiging van steigers;
- Bescherm zachte isolatieplaten tijdens de bouw tegen regen en wind. Dek bij werkonderbrekingen spouwplaten bij regen af;
- Controleer tijdens de uitvoering regelmatig en nauwgezet de aangebrachte isolatie. Let er bijvoorbeeld op dat bij uitwendige hoeken de isolatieplaten goed elkaar overlappen en op elkaar aansluiten. Bij het gebruik van zachte isolatieplaten is voor het aansluiten een kunststof strip (of hoekanker) verkrijgbaar (zie afbeelding 5.21);
- Controleer op een goede aansluiting van de isolatie op het binnenspouwblad; voorkom een 'valse' spouw (zie hieronder).



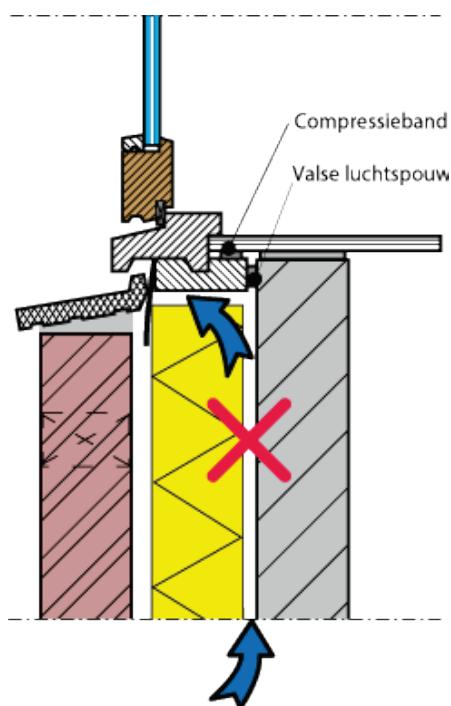
Afb. 5.17 Gebruik onderin de spouw bijvoorbeeld niet-capillaire hardschuimplaten (bijv. EPS of XPS), deze zijn goed bestand tegen water



Afb. 5.18 Bij een gemetseld buitenspouwblad is een luchtspouw van minstens 40 mm (als ontwerpmaat) nodig



Afb. 5.19 Gebruik altijd een dubbele naaddichting rondom kozijnen en gevel-elementen



Afb. 5.20 Bij enige ruimte tussen de isolatie en het binnenspouwblad en spleten van 5 à 10 mm aan onder- en bovenzijde van de isolatie, blijkt het warmteverlies meer dan te verdubbelen [106]



Afb. 5.21 Kunststof strip (of hoekanker) om zachte isolatieplaten bij uitwendige hoeken zorgvuldig op elkaar te laten aansluiten. (Bron: Gebroeders Bodegraven BV)



Afb. 5.22 Zorgvuldige uitvoering voorkomt energieverlies. Op de foto is duidelijk zichtbaar dat de isolatieplaten niet op elkaar aansluiten waardoor een ernstig warmtelek zal ontstaan.

Harde of zachte platen in (gemetselde) spouwmuren

Uit onderzoek [106] blijkt dat het isolerend vermogen van een spouwconstructie kan halveren als de isolatie niet goed tegen het binnenspouwblad aansluit; men spreekt dan van een 'valse' spouw. Als bovendien spleten in of aan de randen van de isolatieplaten aanwezig zijn, neemt de isolatiewaarde nog verder af. Bij de keuze van het isolatiemateriaal, bij de detaillering en bij de uitvoering vraagt de geïsoleerde spouw dus veel aandacht. Ook NTA 8800 (in paragraaf 8.2.2.2.2) [30] benadrukt daarom via een correctiefactor bij het berekenen van de R_c -waarde het belang van een goed uitgevoerde (spouw)isolatie.

Bij isolatieplaten zijn te onderscheiden:

- Harde platen zoals van EPS (geëxpandeerd polystyreen), PIR, Resol en cellulair glas. De platen zijn meestal rondom voorzien van sponningen. Er is een PIR-plaat verkrijgbaar die aan één zijde relatief zacht is door de bekleding van minerale wol;
- Zachte platen zoals van glaswol, steenwol, vlaswol of houtvezels. Ondermeer ter versteviging zijn platen soms één- of tweezijdig bekleed. De platen kan men dan beter hanteren en op maat snijden. Er zijn steenwolplaten leverbaar die een relatief harde en zachte zijde hebben. Zij kunnen o.a. met de zachte zijde goed aansluiten op het binnenspouwblad. De relatief harde buitenzijde maakt de plaat windvast.

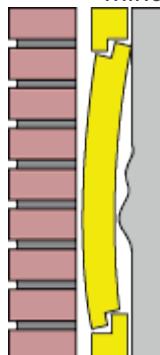
Voordelen van zachte platen ten opzichte van harde platen in een gemetselde spouwmuurconstructie:

- Zachte platen zijn flexibel en kunnen daardoor goed op de randen aansluiten bij het gebruik van enige overmaat. Bij harde platen blijven er eerder (dan bij zachte platen) aan de randen naden over, die dan met PUR-schuim moeten worden afgedicht. Bij smalle naden (< 6 mm) is dit niet goed mogelijk;
- Een niet geheel vlakke afwerking van het binnenspouwblad geeft minder problemen dan bij harde platen. Bij deze platen moet voor een goede aansluiting het spouwblad geheel glad zijn;

- Bij zachte platen zijn minder snel sparingen voor bijvoorbeeld verankering van kozijnen in de isolatie nodig. Dus meer kans op een betere kwaliteit van de isolatie en minder werk;
- Spouwankers leveren bij het bevestigen van zachte platen minder problemen op dan bij harde platen.

Voordeel van harde platen:

- Ze zijn beter dan zachte platen bestand tegen regen en wind tijdens de bouw. Er zijn daarom minder beschermende maatregelen tegen regen nodig.

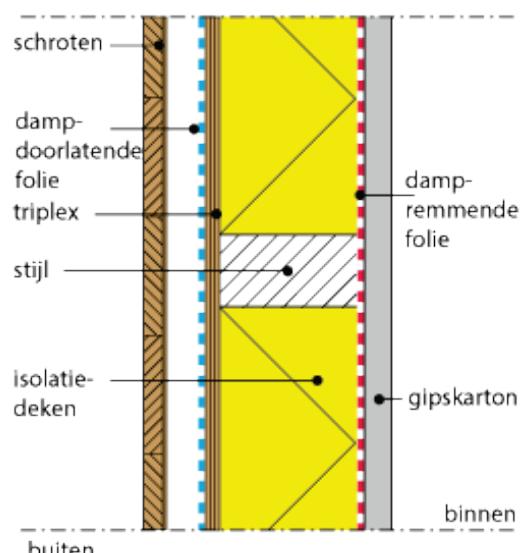


Afb. 5.23 Bij harde platen is een vlak binnenspouwblad noodzakelijk. Maar ook bij zachte platen moeten grove speciebaarden, lijmresten en andere oneffenheden verwijderd worden om de platen zo goed mogelijk op het binnenspouwblad te laten aansluiten

Dampremmende laag

Constructies zoals gevels en daken moeten zodanig opgebouwd zijn dat er geen structurele inwendige condensatie kan optreden (zie bijlage 1). Daarom moet de 'dampdichtheid' van een constructie vanaf binnen (= de warme zijde, tevens woningzijde) naar buiten afnemen. Een dampremmende folie aan de warme zijde kan hierbij noodzakelijk zijn. Stem dit af op de waterkerende, meestal damp-open, afwerking aan de buitenzijde.

In de praktijk blijkt dampremmende folie tijdens de uitvoering (op de bouwplaats) soms slecht, geheel niet of zelfs aan de verkeerde zijde van de constructie aangebracht te worden. Een nauwgezette controle tijdens de uitvoering is noodzakelijk. Controleer de damprem voordat de (binnen)afwerking is aangebracht. Controleer ook of de dampremmende en de eventueel toe te passen dampopen folies niet verwisseld zijn. Soms zijn de folies te herkennen aan de kleur van de opschriften: rood voor de warme zijde (dampremmend), blauw voor de koude zijde (dampopen) van een constructie. Lees altijd de instructies van de fabrikant. Een goede voorlichting aan de uitvoerenden is sterk aan te bevelen.



Afb. 5.24 Vooral bij houten gevel-elementen en houtskeletbouw is een dampremmende laag aan de binnenzijde (dus aan de warme zijde) vaak noodzakelijk. Zo'n laag is ook gunstig voor de luchtdichtheid van constructies

Let op detaillering en uitvoering

- Gebruik als dampremmende laag een polyetheenfolie (PE-folie) met een dikte van circa 0,20 mm of een folie met overeenkomstige eigenschappen. Belangrijke aspecten zijn de dampdichtheid en de sterkte; dit laatste aspect is vooral van belang om de kans op beschadigingen van de folie van gevel- en dakelementen tijdens de productie en tijdens de bouw te beperken;
- Pas overlappenden van folies toe alleen ter plaatse van stijlen en/of regels; de overlap moet minimaal 100 mm zijn;
- Plak de folieranden waar geen overlap van folies is, goed af. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen bij de aansluiting van een dichte wand op een kozijn.

5.1.4 Woningscheidende wand en vloer

Thermische isolatie

Het Bouwbesluit stelt geen eisen aan de thermische isolatie van woningscheidende wanden en vloeren. Bij de energieprestatieberekening volgens NTA 8800 [30] wordt ervan uitgegaan dat aan elkaar grenzende woningen dezelfde gemiddelde binnentemperatuur hebben. In werkelijkheid zal dat echter vaak niet het geval zijn. Wanneer die temperatuur niet gelijk is, treedt er via de woningscheidende wand of vloer warmtetransmissie op vanuit de 'warme' naar de 'koude' woning. Zoals in afbeelding 5.25 te zien is, kunnen deze 'verliezen' aanzienlijk zijn. Deze cijfers zijn berekend. Maar ook uit praktijkonderzoek blijkt dat er een behoorlijke warmte-uitwisseling tussen woningen kan optreden [109]. Bij gestapelde bouw kan het warmtetransport niet alleen via de bouwmuren plaatsvinden, maar vanzelfsprekend ook via vloer en plafond.

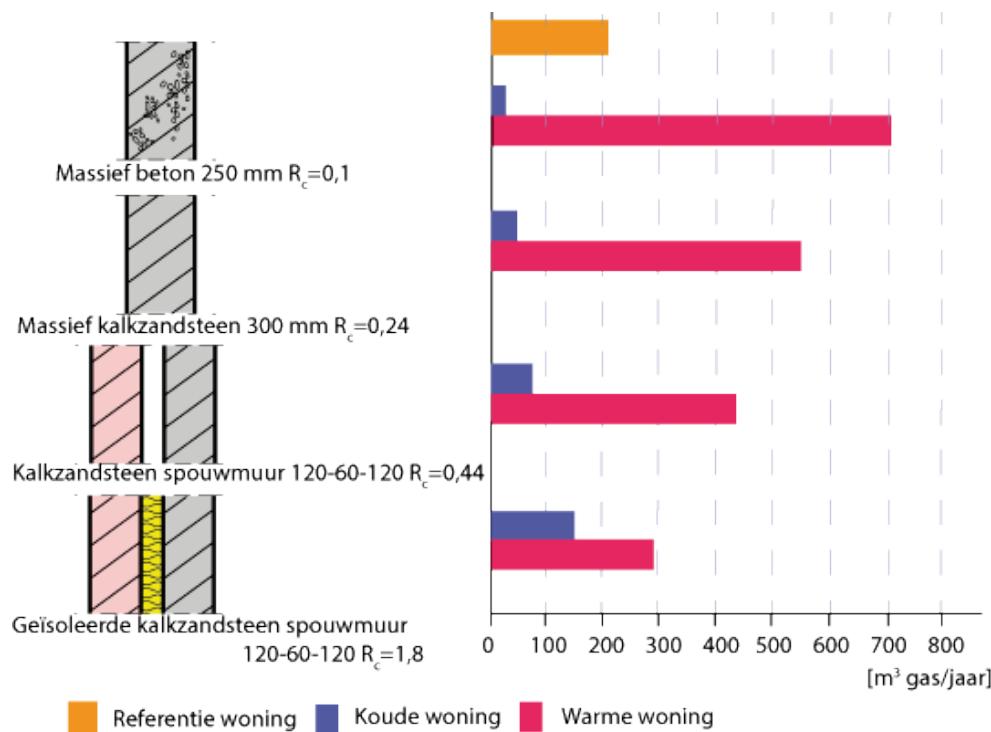
Het thermisch isoleren van de scheidingsconstructies beperkt dergelijke warmtetransporten. In welke mate de isolatie energie bespaart per rijtje woningen of woongebouw, hangt af van het nuttig gebruik van de toegevoerde warmte in de relatief 'koele' woningen. Hoe beter de woningen geïsoleerd zijn, hoe eerder de warmte afkomstig van de buren overtuigend is en weggeventileerd wordt. Dit betekent dus energieverspilling. Ook levert het isoleren van de woningscheiding een eerlijker verdeling van de energielasten op. Verder zorgt het isoleren er voor dat de binnentemperatuur in de ene woning minder afhankelijk is van de temperatuur in de aangrenzende woning.

Bovendien voorkomt isolatie dat het opwarmen van de woning extra lang duurt wanneer ook de buurwoningen een relatief lage binnentemperatuur hebben. De te installeren verwarmingscapaciteit kan dus door de isolatie omlaag, wat een kostenbesparing met zich meebrengt. Isolatie van de spouw tussen de woningen kan boven dien de geluidwerende kwaliteit van de spouw verbeteren [110], mits zachte isolatie toegepast wordt.

Het aanbrengen van thermische isolatie is bij een ankerloze spouwmuur eenvoudig te realiseren door bijv. naderhand minerale wol in te blazen. Bij een spouwmuur van gestapelde elementen zoals van kalkzandsteen zijn ook minerale wol platen te gebruiken die tijdens het lijmen van de elementen worden geplaatst.

Woningscheidende vloeren zijn als volgt te isoleren:

- Bij steenachtige vloeren ligt een zwevende dekvloer voor de hand. Een relatief dure maatregel, maar technisch gezien geen enkel probleem. Bovendien is zo'n dekvloer vaak al nodig in verband met de contactgeluidisolatie-eisen tussen de betreffende woningen;
- Bij houtskeletbouw wordt isolatie vanwege geluidisolatie en brandveiligheid al standaard in de vloer- of plafondconstructie aangebracht.



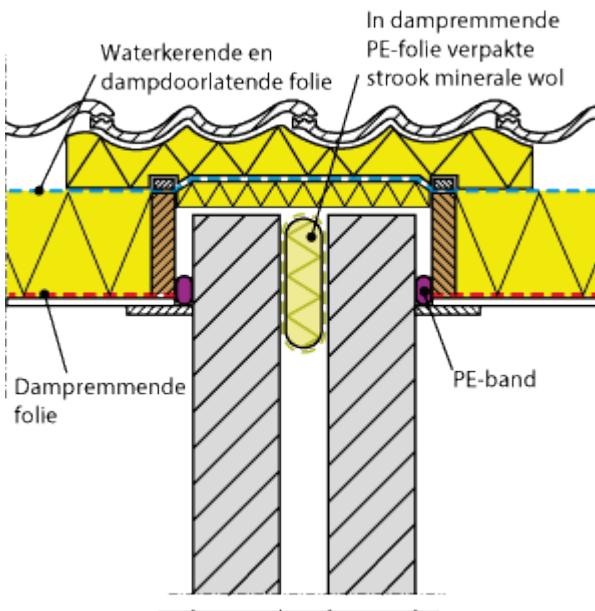
Afb. 5.25 Het energieverbruik in m^3 aardgas per jaar van een tussenwoning wanneer hier gedurende het stookseizoen gemiddeld $2^\circ C$ meer (warm woning) of minder (koude woning) wordt gestookt dan in één van de aangrenzende woningen. Er is dus maar één woningscheidende wand met een temperatuurverschil van $2^\circ C$. Het verbruik is afhankelijk van de isolatiewaarden van de woningscheidende wanden. De oranje balk geeft het energieverbruik van de referentiewoning aan als beide buurwoningen dezelfde temperatuur aanhouden als de referentiewoning. De spouwisolatie moet vanwege geluidisolatie uit een zacht materiaal bestaan, bijvoorbeeld onverpakte, minerale wol

Geluidisolatie

Door een woningscheidende wand als ankerloze spouw uit te voeren, is zowel een goede geluidisolatie als thermische isolatie (zie hiervoor) te realiseren. Een ankerloze spouw verbetert, ook zonder isolatie, de geluidisolatie tussen woningen, dit ten opzichte van een massieve wand van vergelijkbare dikte. Bij de meest gangbare bouwmethoden is een ankerloze spouw, zeker bij laagbouw, goed mogelijk. Het (deels) vullen van de spouw met minerale wol verhoogt, zeker bij de relatief 'lichte' constructiematerialen zoals cellenbeton, de geluidisolatie aanzienlijk. Bij zwaardere constructies is het aan te bevelen om tenminste de ankerloze spouw ter hoogte van de vloeren en het dak met minerale wol te vullen (zie afbeelding 5.26). Dit verbetert de geluidisolatie: geluidshinder via de 'flankerende' vlakken zoals de fundering en de dakelementen wordt door de isolatie beperkt. Zie voor de betreffende details de uitgaven [96] en [63].

Aandachtspunten

- Sluit een spouw bij een woningscheidende spouwmuur goed af van de spouw in de gevel en het dak om warmteverliezen te voorkomen;
- Het over de volle hoogte van de spouw isoleren verbetert de geluidisolatie. De beste isolatiewaarde bereikt men door de spouw voor 50% (halve spouwdikte) te vullen;
- Door de spouw te isoleren voorkomt men onderling contact tussen de beide spouwbladen als gevolg van 'specie'bruggen (indien de spouwbladen worden gemetseld of gelijmd);
- Gebruik in de spouw alleen zacht materiaal zoals onverpakte minerale wol, folies en weefselstroken. Gebruik dus beslist geen harde isolatieplaten;
- Voorkom de aanvoer van lucht vanuit de kruipruimte naar de ankerloze spouw. In dit laatste geval kan condensatie tegen het dak optreden hetgeen in de praktijk tot aanzienlijke (water)schade kan leiden;
- Trek de spouw door tot onder de begane grondvloer. Neem maatregelen om te voorkomen dat tijdens de bouw deze spouw met afval verontreinigd wordt. Vul dit onderste deel van de spouw daarom met bijvoorbeeld elastische kunststofschuimplaat.



Afb. 5.26 Detail van de aansluiting van een ankerloze spouwmuur als woningscheidende wand op een systeemdak. Zorg er voor dat er voldoende isolatie aangebracht wordt bovenop de bouwmuur. Dek de spouw bovenaan af met een dampdichte folie om eventuele condensvorming tegen de onderzijde van de pannen te voorkomen. (Bron: [96])

5.1.5 Kozijnen, ramen en deuren

Kozijnen, ramen en deuren vormen nog een duidelijk zwakke schakel in de woningschil. Deze situatie is sterk te verbeteren door gebruik te maken van houten kozijnen met een onderbreking van de thermische brug en geïsoleerde deuren. Dit in combinatie met drieveilig glas waarin 'beter' isolerende afstandhouders zijn toegepast. In deze paragraaf komen deze producten, een 'must' in zeer goed geïsoleerde woningen, daarom volop aan de orde. Voor beglazing zie paragraaf 5.2.

De U-waarde van kozijnconstructies (kozijn+glas of kozijn+deur) mag volgens het Bouwbesluit gemiddeld maximaal $1,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ bedragen (gemiddeld naar rato van het oppervlak). Voor een raam of deur (inclusief kozijn) afzonderlijk geldt een U-waarde van maximaal $2,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

De waarde van $1,65$ is gebaseerd op een referentieraam van hout (forfaitaire U_w -waarde $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) met HR++-glas (U_g van $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) met een aluminium afstandhouder. Deze eis betekent dat de keuze voor kozijnen, deuren en glassoort aandacht vraagt (zie afbeelding 5.27). Diverse tot voor kort gebruikelijke materialen, profielen en glassoorten zijn niet meer mogelijk.

Ramen en kozijnen

NTA 8800 [30] gaat in op de invloed van kozijnen op de thermische kwaliteit van de totale raamconstructie (kozijn + glas). Bij het berekenen van de U-waarde van een raam (U_w , de w staat voor window) moet naast het glas en afstandhouders ook het kozijn meegerekend worden en de verhouding tussen het glas- en kozijnoppervlak. De U-waarde van het kozijn zelf (U -kozijn) wordt ook vaak aangeduid met U_{frame} , afgekort tot U_f of U_{fr} .

Afbeelding 5.27 geeft een vereenvoudigd overzicht van warmtedoorgangscoëfficiënten van ramen met verschillende glas- en kozijntypen:

- Kozijntype A is een kozijn van hout of kunststof met een forfaitaire U -kozijn van $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- Kozijntype B is een metalen kozijn met thermische onderbreking met een forfaitaire U -kozijn van $3,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- Houten kozijn met U -kozijn van $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; in de praktijk ligt de U -kozijn van lichtere houtsoorten zoals vuren, lariks en 'accoya' rond deze waarde, van meranti rond $1,4$. Lagere waarden voor U -kozijn zijn echter ook mogelijk, bijvoorbeeld door dikdere profielen te gebruiken: tot zo'n $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ voor de lichtere houtsoorten en $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ voor meranti. Dergelijke zeer goed isolerende kozijnen worden wel aangeduid met 'passiehuiskozijn';

- Aluminium raam met U-kozijn van $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; in de praktijk ligt de U-kozijn van aluminium ramen met een zeer goede onderbreking van de thermische brug tussen circa 2,0 en $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Interpoleer rechtlijnig voor tussenliggende waarden. Duidelijk zichtbaar is de grote invloed van de thermische kwaliteit van het kozijn op de U-waarde van het totale raam. Aanbevolen wordt om de U_w -waarde uit te rekenen omdat dat in veel gevallen veel gunstiger uitkomt dan de forfaitaire waarden. Bij veel energieprestatie-rekenprogramma's is een eenvoudige rekenmodule aanwezig om de U-waarde van het totale raam (U_w) uit te rekenen.

Zie voor een overzicht van warmtedoorgangscoëfficiënten van alleen glas (U_{glas}) en de invloed van afstandhouders paragraaf 5.2.

Tip:

Het is gunstig voor een lage U_w -waarde om het glasoppervlak zo groot en het kozijnoppervlak zo klein mogelijk te maken.

Extra isolerende houten kozijnen

De isolatie van houten kozijnen is nog iets te verbeteren door in het kozijnhout een onderbreking met een beter isolerend materiaal aan te brengen. De onderbreking kan bestaan uit bijvoorbeeld PUR-schuim of geëxpandeerde kurk. Het effect op U_w is echter gering ($< 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), vooral bij kozijnen van lichtere houtsoorten zoals vuren, lariks en 'accoya'. Dit komt doordat deze houtsoorten zelf al relatief goed isoleren.

Afb. 5.27 Overzicht van U_w in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ voor een totale raamconstructie (kozijn + glas) van enkele typen kozijnen en glassoorten; de forfaitaire waarden van kozijntype A en B zijn afkomstig uit NTA 8800 tabel 8.3. Bij het berekenen van de energieprestatie moeten voor ramen altijd U_w -waarden ingevoerd worden, en dus niet alleen de U-waarden van het glas. Fabrikanten leveren vaak de voor de energieprestatieberekening benodigde U-waarden van specifieke kozijnen, glassoorten en afstandhouders. De U_w -waarden in de tabel zijn afgerond en gelden voor beglazing met aluminium afstandhouders en een forfaitair kozijnaandeel (25%) van het totale raamoppervlak.

	U_{glas}	Kozijntype A (hout of kunststof) $U_{\text{kozijn}} \leq 2,4$	Kozijntype B (thermisch onderbroken metaal) $U_{\text{kozijn}} \leq 3,8$	Houten kozijn lichte hout- soort $U_{\text{kozijn}} = 1,3$	Aluminium kozijn met zeer goede koudebrug- onderbreking $U_{\text{kozijn}} = 1,3$
HR++	1,2	1,8*	2,2*	1,4	1,55
	1,1	1,7*	2,15*	1,35	1,45
	1,0	1,6	2,1*	1,25	1,4
Drievoudig glas	0,9	1,5	2,0*	1,2	1,3
	0,7	1,4	1,9*	1,1	1,2

*) Voldoet niet aan eis Bouwbesluit van $U_w \leq 1,65$ als gemiddelde waarde voor alle kozijnen; voor een afzonderlijk kozijn moet $U_w \leq 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Deuren

Buitendeuren

Bij het berekenen van de U-waarde van een (voor)deur moet ook het kozijn worden meegenomen. Volgens NTA 8800 wordt een deur met $\geq 65\%$ glas (% van het totale oppervlak van deur + kozijn) beschouwd als een glasdeur; daarvoor gelden dezelfde regels als voor een raam bij de berekening van de energieprestatie. Voor overige deuren met transparante delen geldt dat de deur als 2 delen wordt beschouwd: vaste delen van de deur + beglazing in de deur.

Een (voor)deur inclusief kozijn moet een U-waarde hebben $\leq 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Let op: de gemiddelde U-waarde van alle ramen en deuren moet $\leq 1,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zijn. De forfaitaire U-waarde voor een niet-geïsoleerde deur van $3,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ is niet meer bruikbaar omdat daarmee niet aan de eis voldaan wordt. Maak daarom bij de energieprestatie-berekening gebruik van de U-waarde voor een specifieke deur.

waarbij de U-waarde wordt aangeleverd door de fabrikant. Vergeet niet om ook het kozijn mee te rekenen. Bij sommige energieprestatie-rekenmodellen is daarvoor een rekenmodule aanwezig. Heeft uw model dat niet, gebruik dan indien aanwezig de module voor ramen. Let op: Met lang niet alle leverbare (voor)deuren is aan de isolatie-eis te voldoen!

Hoewel met sommige massiefhouten deuren met de gangbare dikte van circa 55mm nog net aan de isolatie-eis kan worden voldaan, ligt het voor de hand om te kiezen voor beter-isolerende deuren. Zo zijn er deuren met een geïsoleerde kern van PUR-schuim verkrijgbaar met een U-waarde van circa 1,2 W/(m²·K); inclusief een licht houten kozijn geeft dat een totale Ud van circa 1,3 W/(m²·K). Ook zijn er zeer goed geïsoleerde ('passiehuis-') deuren, inclusief drieboudig glas, verkrijgbaar met U-waarden van 0,6 à 0,8 W/(m²·K). Inclusief een geïsoleerd of licht houten kozijn levert dat een totale Ud op van 0,8 à 1,0 W/(m²·K).

Onderdorpels vormen vaak een zwakke schakel bij buitendeurkozijnen. Kies daarom onderdorpels die goed isoleren (afbeelding 5.28).



Afb. 5.28 Deze BUVA-ISOSTONE® onderdorpel van glasvezel versterkt kunststof is gevuld met PUR-schuim en heeft daardoor een gunstige U_{frame} -waarde van circa 0,9 à 1,0 W/(m²·K) afhankelijk van het type dorpel; de versies voor hefschuifdeuren hebben een U_{frame} -waarde van 1,6 à 1,9 W/(m²·K). (Bron: BUVA BV)

Naden en kieren bij kozijnen

Voorkom naden en kieren. Dit is van belang voor:

- Het beperken van de 'onbewuste' ventilatieverliezen (zie hoofdstuk 6);
- Het verbeteren van de geluidisolatie; dit speelt bij geluidbelaste gevels een rol.

Naden

Naden zijn aansluitingen tussen vaste delen. Zorg voor goede details bij de aansluiting van kozijnen met wanden, vloeren en daken. Bij prefab houten en betonnen binnenspouwbladen verdient het de voorkeur kozijnen of kozijnen inclusief glas, reeds in de fabriek te monteren. Prefabricage biedt doorgaans een zorgvuldiger uitvoering dan op de bouwplaats uitgevoerd werk.

Let op:

- Een afnemende dampdichtheid van binnen naar buiten; dit is van groot belang voor de levensduur van constructies;
- Een zodanige voegbreedte dat afdichtingsband voldoende gecomprimeerd kan worden. De voeg mag dus niet te breed zijn en moet redelijk gelijkmatig van vorm zijn. Let hierop vooral bij de aansluiting van de spouwlat op een gemetseld of gelijmd binnenspouwblad. Bij twijfel: gebruik (ook) een aftimmering zodat een dubbele naaddichting ontstaat;
- Gebruik voor de dichting van de naad onder onderdorpels van buitendeuren een brede strook plakfolie.

Kieren:

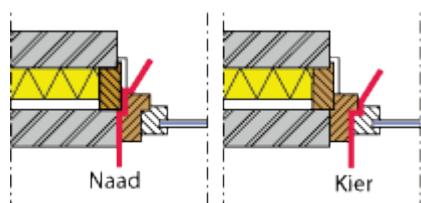
Kieren zijn aansluitingen bij draaiende delen (ramen en deuren).

Let op:

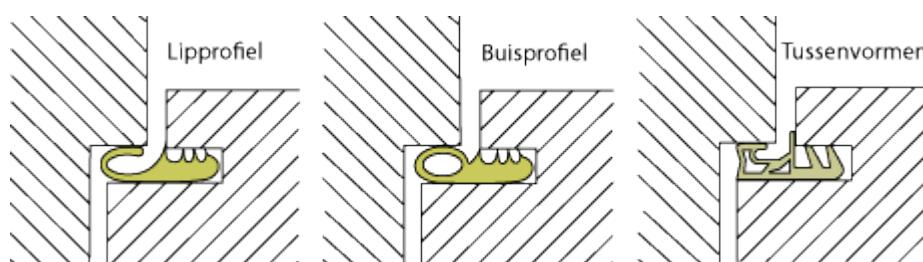
- Gebruik in de hoeken gelaste profielen (kaderprofielen): De kierdichtingsprofielen in de hoeken, bij de scharnieren en bij de sluitingen mogen niet onderbroken zijn;
- Gebruik voldoende scharnieren en sluitingen om kromtrekken van de ramen en deuren te voorkómen. Neem bijvoorbeeld één scharnier of sluiting per meter kier. Gebruik bijvoorbeeld drie-puntsluitingen voor deuren, waarbij de deur in één handeling wordt gefixeerd;
- Gebruik knevelsluitingen;
- Gebruik nastelbare scharnieren en sluitplaten;
- Breng de kierdichting zo ver mogelijk naar binnen (woningzijde) aan;
- Overweeg dubbele kierdichting. Het effect ervan op de kierdichting (qua ventilatieverliezen) staat echter ter discussie omdat er een vrij grote kracht nodig is om het kozijn te sluiten. De vorige vier maatregelen zijn in ieder geval belangrijker dan deze vijfde. Voor geluidisolatie is dubbele kierdichting soms noodzakelijk;
- Kies voor een brievenbus (in een voordeur) met een buitenklep en een niet-stugge tochtborstel. Nog beter is om genoemde voorzieningen te combineren met een aan de binnenzijde aangebrachte bak die de post ontvangt. Deze bak kan voorzien worden van een binnenklep met tochtdichting om condensvorming tegen de buitenklep te voorkomen.

Er zijn verschillende tochtdichtingsprofielen voor draaiende delen:

- Lipprofiel: Hiermee is een goede kierdichting mogelijk. De benodigde aandrukkracht kan beperkt blijven; daarom geeft dit profiel over het algemeen in de praktijk een goed resultaat;
- Buisprofiel: Zeer goede kierdichting mogelijk, maar alleen bij een vaste kiergeude (weinig maattolerantie). Redelijk grote tot grote aandrukkracht nodig. Een goed resultaat is dus alleen te bereiken bij voldoende sluitingen;
- Tussenvormen: Dit zijn combinaties van buis- en lipprofielen of meervoudige lipprofielen. Ze vertonen een tussenliggend gedrag in eigenschappen.



Afb. 5.29 Naden en kieren vragen veel aandacht. Let op een doorgaande afdichting bij de hoeken



Afb. 5.30 Lipprofiel, Buisprofiel en Tussenvormen

Vensterbank

Voorkom dat (in het stookseizoen) achter gesloten (rol)gordijnen een sterk opgaande warme luchtstroom, rechtstreeks afkomstig van verwarmingselementen, kan ontstaan. Zie afbeelding 7.4 in paragraaf 7.2.2 voor de juiste detailering want de vensterbank en de (rol)gordijnen mogen ook de warmteafgifte van radiatoren of convectoren aan de kamer niet belemmeren. Let dus op bijvoorbeeld:

- De juiste afmetingen van vensterbanken;

- De mogelijkheden om rolgordijnen en gordijnrails op de juiste plek te kunnen bevestigen; let op: gordijnen moeten overdag zo min mogelijk daglicht wegnemen en moeten dus naast de ramen geschoven kunnen worden.

5.2 Beglazing

De beglazing is van invloed op:

- Het warmteverlies (U-waarde);
- De zontoetreding (g-factor, zontoetredingsfactor, ook wel ZTA-waarde genoemd);
- De daglichttoetreding (TL-factor, lichttoetredingsfactor, in NTA 8800 aangeduid met LTA-waarde) (zie paragraaf 4.3 voor o.a. eisen daglichttoetreding).

De U-waarde van kozijnconstructies (kozijn+glas of kozijn+deur) mag volgens het Bouwbesluit gemiddeld maximaal 1,65 W/(m²·K) bedragen (gemiddeld naar rato van het oppervlak). Voor een raam of deur (inclusief kozijn) afzonderlijk geldt een U-waarde van maximaal 2,2 W/(m²·K).

De waarde van 1,65 is gebaseerd op een referentieraam van hout (forfaitaire U_w-waarde 2,4 W/(m²·K)) met HR⁺⁺-glas (U_g van 1,1 W/(m²·K)) met een aluminium afstandhouder. In zeer goed geïsoleerde woningen is drievoudig glas al standaard.

In afbeelding 5.31 staan enkele indicatieve gegevens over U-waarden, g- en TL-factoren van diverse glastypen. Op www.kenniscentrumglas.nl is algemene informatie over beglazing te vinden. Voor informatie over drievoudig glas zie de brochure '[Drievoudig glas en bijpassende kozijnen](#)' [123].

In de brochure 'Wat u moet weten over isolerend dubbelglas en HR⁺⁺- beglazing' [108] is nuttige informatie voor o.a. bewoners opgenomen. Zo staat er informatie in over het risico van thermische breuk en hoe dat te voorkomen is. De handleiding is ondanks het jaar van uitgave nog grotendeels actueel.

Let op:

- Er zijn veel merken en typen beglazing verkrijgbaar met specifieke kenmerken. Voor exacte gegevens: informeer bij de desbetreffende fabrikant, let op KOMO-keur;
- Fabrieksgegevens over U-waarden gelden alleen voor het glas zelf, dus zonder de invloed van de omranding (afstandhouders en kozijn).

Afb. 5.31 Overzicht van enkele typen glas (zonder effecten afstandhouders en kozijn) met indicatie van U-waarden, TL- en g-factoren. Let op: De eigenschappen bij 'ramen' gelden alleen voor verticaal geplaatste ramen! Zo kan de U-waarde van beglazing bij plaatsing onder een hoek toenemen (= dus afname van isolatiewaarde) met maximaal zo'n 50%. Ook enkele gegevens over platdakramen en daklichtkoepels. Informeer voor exacte gegevens altijd bij de fabrikant of leverancier. Er is ook HR⁺⁺-glas verkrijgbaar met een extra coating aan de woningzijde op het glas. De U-waarde kan dan tot 0,8 W/(m²·K) dalen, maar tegelijk nemen ook de TL- en g-factor af, hetgeen meestal niet gewenst is. Het glas kan bijvoorbeeld interessant zijn bij renovatie wanneer maar een beperkte glasdikte mogelijk is.

		U-waarde [W/(m²·K)]	TL-factor [-]	g-factor [-]
Ramen	Blank enkel glas	5,8	0,90	0,80
	Blank dubbel glas	2,8	0,80	0,70
	HR ⁺⁺ -glas (niet zonwerend)	1,0-1,2	0,70-0,80	0,50-0,65
	Drievoudig beglazing (niet zonwerend)	0,5-0,9	0,60-0,75	0,50-0,60
Platdakramen met HR⁺⁺-glas	HR ⁺⁺ -gelaagd veiligheidsglas (niet zonwerend)	1,1-1,2	0,80-0,85	0,60-0,65
Daklichtkoepels (inclusief geïsoleerde dakopstand, transparant)	Dubbelwandig kunststof	2,8	0,85	0,80
	Driewandig kunststof	1,9	0,8	0,75
	HR ⁺⁺ -glas met kunststof enkelwandig koepel	0,7-0,8	0,70-0,75	0,50-0,55

5.2.1 Warmteverlies

Verschillen in warmte-isolatie van dubbel en drieboudig glas worden bereikt door gebruik te maken van:

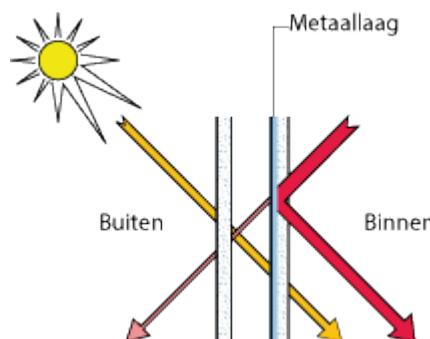
- Verschillen in het soort coating;
- De spouwvulling: lucht of een edelgas. Bij HR⁺⁺- en drieboudig glas wordt een edelgas gebruikt, meestal argon, voor de hogere isolatiwaarden soms krypton. Verwacht wordt dat de hoeveelheid edelgas in de spouw per jaar met enkele procenten zal afnemen. Beide gassen zijn niet schadelijk voor de gezondheid of het milieu. Extra geluidisolatie is te bereiken door de binnenuit (aan woningzijde) samen te stellen uit gelaagd glas met een PVB(A)-folie ertussen;
- De breedte van de spouw(en). De meest gunstige waarde wordt verkregen bij een spoubreedte van 15 - 20 mm;
- Het type afstandhouder. Afstandhouders zijn meestal gemaakt van aluminium of RVS. Deze vormen een aanzienlijk warmtelek tussen het binnen- en buitenblad. Dit warmtelek is te verminderen door kunststof afstandhouders toe te passen (afbeelding 5.32). In NTA 8800 bijlage L [30] wordt ingegaan op de invloed van afstandhouders op de thermische kwaliteit van de totale raamconstructie.

Het warmteverlies van het gehele raam is naast het type glas en afstandhouders ook afhankelijk van het kozijn: zie verder paragraaf 5.1.5.

Het warmteverlies van een totaal raam is (ook) te verbeteren door het toepassen van bouwkundige elementen zoals warmte-isolerende luiken en rolgordijnen (zie hieronder).

Afb. 5.32 Voorbeeld van de invloed van het type afstandhouder op de U_w (= U-waarde van een totaal raam). Uitgangspunten: De kozijnen van kunststof en aluminium zijn voorzien van een zeer goede onderbreking van de thermische brug; het kozijnoppervlak is 25% van het totale raamoppervlak, psi-waarden (ψ -waarden) afstandhouders (in $W/(m \cdot K)$): aluminium afstandhouder bij hout en kunststof kozijn 0,074, bij aluminium kozijn 0,115; kunststof afstandhouder bij hout en kunststof kozijn 0,033, bij aluminium 0,041. Er zijn ook andere psi-waarden mogelijk, dit is mede afhankelijk van het soort kunststof; zie voor forfaitaire psi-waarden bijlage I van NTA 8800 [30]. (Bron: psi-waarden: Saint-Gobain Glass)

U-waarde [W/(m²·K)]	Houten kozijn	Kunststof kozijn	Aluminium kozijn
	$U_{kozijn} = 1,3$	$U_{kozijn} = 1,3$	$U_{kozijn} = 1,3$
$U_{glas} = 1,1$ Met aluminium afstandhouder	$U_w = 1,34$	$U_w = 1,34$	$U_w = 1,46$
$U_{glas} = 1,1$ Met kunststof afstandhouder	$U_w = 1,24$	$U_w = 1,24$	$U_w = 1,26$



Afb. 5.33 Principe-opbouw HR⁺⁺-glas. Warmtestraling wordt door de metaallaag in de woning teruggekaatst, zonnestraling wordt doorgelaten

Aandachtspunten:

- Op de afstandhouder zijn vaak gegevens over de beglazing afdrukkt, waaronder de U-waarde. Dergelijke informatie is echter niet verplicht;
- Met drie- en viervoudige beglazing kan men U-waarden voor het glas realiseren beneden de 1,0. Nadeel is dat de TL- en g-factoren eveneens afnemen en dat het gewicht door de extra ruit(en) sterk toeneemt. Er is glas verkrijgbaar waarbij de extra laag (of lagen) uit folie bestaat waardoor

het gewicht dus niet toeneemt ten opzichte van HR⁺⁺-glas; ook de dikte van dergelijk glas met folie is geringer;

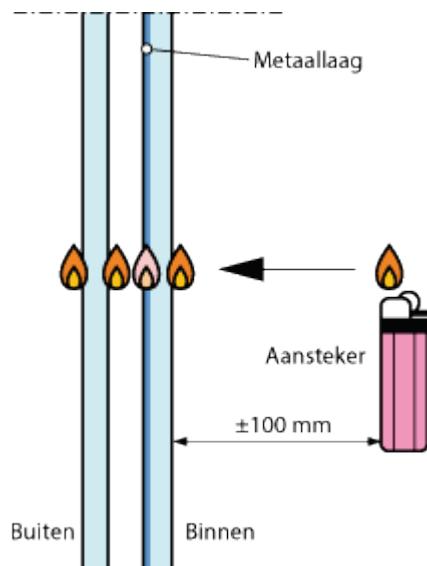
- Goed isolerend glas zoals HR⁺⁺-glas is gevoelig voor thermische breuk. Deze ontstaat door temperatuurverschillen van zo'n 30 °C en meer in het oppervlak van het glas. Thermische breuk kan worden voorkomen door gehard glas (Heat Soak getest) toe te passen. De kans op thermische breuk is te verkleinen door o.a.:
 - Gedeeltelijke beschaduwing te voorkomen; breng geen objecten of zonwering aan op geringe afstand van het glas; zo is bij verticale doeken screens bij gedeeltelijke sluiting een reële kans op breuk aanwezig;
 - Geen folie of stickers op het glas te plakken;
 - Verwarmingselementen niet te dicht bij ramen te plaatsen.

Zorg er voor dat bewoners informatie krijgen over het risico van thermische breuk. Meer informatie: www.kenniscentrumglas.nl [108].

- Naarmate beglazing beter isoleert, is de kans op condensatie aan de buitenzijde van het raam groter. Het risico op condensvorming is het grootst in de ochtenduren in het voor- en najaar. De condens verdwijnt zodra de buitentemperatuur stijgt en de luchtvochtigheid afneemt. Eventuele condensvorming komt niet door een fout in het product, maar is juist het gevolg van de zeer hoge warmte-isolatie van de beglazing. Voorzieningen die de uitstraling naar de hemelkoepel beperken, zoals een dakoverstek en goot, verminderen de condensatie. Condensvorming is echter niet geheel te voorkomen.

Tip:

Om te herkennen waar warmte- of zonreflecterende coatings in HR⁺⁺- of drievoudig glas zijn aangebracht, is een trucje vorhanden (afbeelding 5.34). Dit trucje is handig om te kunnen controleren of het glas met de juiste zijde naar binnen c.q. naar buiten geplaatst is. Bijzondere soorten glas zoals zonwerend glas moeten namelijk op één bepaalde wijze worden aangebracht, zie de informatie van de fabrikant. Voor de warmte-isolatie van beglazing maakt het echter niet uit welke zijde waar geplaatst wordt. Toch is het aan te bevelen om 'normaal' HR⁺⁺-glas of drievoudige beglazing in een woning alle op dezelfde wijze te plaatsen om eventuele kleurverschillen te voorkomen.



Afb. 5.34 Trucje ter controle van de juiste plaatsing van goed-isolerend glas (met metaallaag): Houd aan de woningzijde van het glas, op $\pm 0,1$ m afstand hiervan, een brandende aansteker. Naar buiten kijkend, zie je dan (bij HR⁺⁺- glas) viervlammetjes reflecteren. Het tweede vlammetje behoort een afwijkende kleur, meestal blauw/rose, te hebben omdat in dit voorbeeld de metaallaag op de binnenste glaslaag aan de spouwzijde is aangebracht.

Warmte-isolerende luiken

Volgens NTA 8800 geldt dat voor ramen die zijn voorzien van warmte-isolerende (rol)luiken, het energiebesparende effect in het stookseizoen mag worden meegenomen. Dit kan door de U-waarden met en zonder (rol)luik rechtlijnig te middelen en deze gemiddelde waarde in de berekening in te voeren. De norm gaat er dus vanuit dat de (rol)luiken de helft van de tijd in gebruik zijn. Er zijn twee voorwaarden:

- De (rol)luiken moeten vanuit de woning handmatig of automatisch te bedienen zijn;
- De (rol)luiken bedekken het volledige raam inclusief kozijn.

Door het toepassen van niet-permanente isolatie zoals isolatieluiken kan de isolatiewaarde van een raam tijdelijk verhoogd worden. Het gebruik en daarmee dus een verbeterde isolatie, is echter volledig afhankelijk van de bewoner. Sowieso zullen overdag luiken in veel gevallen 'open' staan vanwege dag- en zonlicht en uitzicht. Isolatieluiken kunnen (wel) interessant zijn voor speciale toepassingen zoals in seizoensvariabele gevels. In het stookseizoen kan bijvoorbeeld een groot glasoppervlak in de noordgevel met luiken gedeeltelijk worden gesloten.

Luiken zijn zowel aan de binnen- als aan de buitenzijde van het raam mogelijk. Schuifluiken kunnen bij een brede spouw in de beglazing ook tussen de ruiten aangebracht worden. Let op:

- Bij het toepassen van isolatieluiken moet in het achterliggende vertrek altijd ventilatie mogelijk blijven. Bij gebalanceerde ventilatie leveren ze vanzelfsprekend geen problemen op;
- Luiken moeten goed aansluiten op het kozijn. Dit vraagt om een uitgekiend ontwerp, vooral wanneer het gaat om buitenluiken die vanuit de woning te bedienen moeten zijn. Bij binnenluiken moet de kierdichting erg goed zijn om de kans op condensatie op de ramen te verkleinen;
- Luiken kunnen vluchtwegen blokkeren.

Warmte-isolerende (rol)gordijnen

Ook (rol)gordijnen, verhogen de isolatiewaarde van een raam, vooral als ze voorzien zijn van een warmtereflecterende laag. Met name bij serres zijn ze interessant, zeker als de serre van enkel glas is: de (rol)gordijnen kunnen dienst doen als (nacht)isolatie en als zonwering. Ter illustratie: De U-waarde van de totale raamconstructie bedraagt bij enkel glas in een houten kozijn voorzien van zo'n rolgordijn met zijgeleiding 3,1 W/(m²·K) [114], in plaats van circa 5,1 W/(m²·K) zonder rolgordijn.

Translucente isolatiematerialen

Translucente isolatiematerialen (TIM's) zijn lichtdoorlatend, maar ondoorzichtig. Ze isoleren redelijk tot goed. Er bestaan diverse typen. Meestal is zowel aan de binnen- als buitenzijde een afdekking nodig van bijvoorbeeld een glas- of kunststofplaat. Zo is een plaat verkrijgbaar bestaande uit twee glasplaten gevuld met aan elkaar grenzende kunststof buisjes met een doorsnede van enkele millimeters. De buisjes staan loodrecht op het vlak van de beide glasplaten waartussen ze zijn opgenomen; de dikte van de plaat is 50 mm en de U-waarde bedraagt 0,7 W/(m²·K). TIM's kunnen ook in transparant stucwerk verwerkt zijn waarbij de stuclaag bestaat uit lichtdoorlatende hars met glasparelens.

Ook kunnen aerogels (op basis van silicium) als TIM worden gebruikt. Ze kunnen o.a. in de vorm van korreltjes tussen glasplaten aangebracht zijn. De ruimte tussen beide platen kan vacuüm worden gezogen waardoor de isolatiewaarde (excl. randeffecten) zeer hoog is: circa 8 à 10 x zo goed als de gebruikelijke isolatiematerialen in de bouw. De λ-waarde bedraagt circa 0,004 W/(m²·K) zonder het negatieve effect van de randafwerking [116]. Deze randafwerking vormt nog een probleem qua thermische brug en levensduur van de panelen.

Translucente materialen bieden een goed perspectief voor toepassingen waar uitzicht geen rol speelt, maar de toetreding van (diffuus) licht en zonne-energie wel (bovenramen, dakramen). Echter, gezien de relatief hoge kostprijs van TIM's en de ontwikkelingen van nieuwe glassoorten, is het twijfelachtig of TIM's ooit op grote schaal toegepast zullen worden [98].

5.2.2 Zonwering

Binnenkomende zonnewarmte levert 'gratis' warmte in de winter (zie paragraaf 4.2). In de zomer is zonnewarmte juist vaak ongewenst vanwege mogelijk te hoge binnentemperaturen.

Bij de energieprestatieberekening wordt rekening gehouden met de benodigde energie om de ongewenste warmte 'weg te koelen'. Door toepassing van o.a. zonwering kan deze koeling voorkomen worden hetgeen extra energieverbruik voorkomt. Zonwering wordt daarom in de berekening gewaardeerd, maar alleen wanneer de zonwering deel uit maakt van het project en dus aangebracht is voor de oplevering van het project.

De zonbijdrage is afhankelijk van:

- De zonnewarmte-doorlatende eigenschappen, g-factor (zie afbeelding 5.31);
- De aanwezigheid en eigenschappen van zonwering. Zie paragraaf 4.2.1 voor enkele suggesties voor de detaillering van de gevel bij het toepassen van zonwering.

Uiteraard zijn ook de oppervlakte, de oriëntatie en eventuele belemmeringen van de ramen, daklichten enz. van belang (zie paragraaf 4.1 en paragraaf 4.2).

Er zijn verschillende vormen van zonwering, zie ook 'Vat op de zon' [117]:

- Buitenzonwering;
- Vaste, bouwkundige elementen (bijv. Overstekken);
- Binnenzonwering;
- Zonwering in een glasspouw;
- Zonwerende beglazing, doorzicht-pv-panelen;
- Vegetatie



Afb. 5.35 Voorbeeld van een project waarbij de beweegbare zonwering bij de koopprijs inbegrepen was. Een deel van de gevel is voorzien van doorzicht-PV-panelen, ook een vorm van zonwering. De woningen liggen in De Energiewijk in Roomburg te Leiden. (Betrokken partijen: Planontwikkeling: Gemeente Leiden; Architect: Han van Zwieten Architecten bna; Ontwikkelaar/aannemer: ACL; Aannemingscombinatie Leiderdorp; Realisatie 2004)

Bewonersvoorlichting: Te warm in de zomer?

Geef bewoners duidelijke informatie over zonwering en ventilatie, bijvoorbeeld in de vorm van de volgende tekst:

Gebruik bij warm zonnig weer bij voorkeur buitenzonwering en ventileer in ruime mate met buitenlucht zolang deze nog koeler is dan de binnenlucht. Dit zal vooral 's nachts en 's ochtends vroeg het geval zijn. Zet ramen en deuren open, maar let op insluipers! Laat eventueel anti-inbraakstangen in sommige ramen aanbrengen zodat u die zonder risico van inbraak open kunt laten staan.

Zonnewarmte-doorlatende eigenschappen, zonwerende beglazing

De zontoetredingsfactor (g-factor) geeft de verhouding tussen de binnentrekende en de totale opvallende zonnestraling; zowel de directe als de diffuse straling zijn hierin verdisconteerd. Hoe hoger de

g-factor, hoe meer zon er binnen komt. De lichttoetredingsfactor (TL-factor) geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zichtbare zonnestraling bij een loodrechte invalshoek. Hoe hoger de TL-factor, hoe meer daglicht er binnen komt.

De zonwerende eigenschappen van beglazing kan verhoogd worden door het toepassen van zonreflecterend glas (met behulp van coatings) of van zonabsorberend glas. Met zonreflecterende coatings is een betere mate van zonwering te bereiken dan met zonabsorberend glas, vandaar dat moderne glastypen uitgaan van reflecterende coatings. Reflecterende beglazingen voor woningbouw hebben g-factoren van 0,40 à 0,50. Zo is een zonwerend HR⁺⁺-glas verkrijgbaar met een g-factor van 0,41 en een TL-factor van 0,68. Ter vergelijking: De modernste heldere (niet-zonwerende) HR⁺⁺-glastypen hebben g-factoren van circa 0,50 à 0,55 en TL-factoren van rond de 0,70.

Let erop dat een hoge g-factor over het algemeen een (geringe) verlaging van de daglichttoetreding (TL-factor) betekent t.o.v. helder glas. Daarbij verkleuren zonwerende beglazingen het daglicht soms in enige mate. Nadeel van zonwerende beglazingen is dat de zonnewarmte ook in de winter geweerd wordt terwijl dan juist een bijdrage van passieve zonne-energie gewenst is.

Buitenzonwering

De beste zonwering wordt verkregen als de zonnestraling buiten het glas wordt opgevangen. Buitenzonwering levert daarom de grootste mate van zonwering op. In de wintersituatie, wanneer de zonnewarmte juist welkom is, kan de zonwering omhoog gelaten of weggeschoven worden. Typen buitenzonwering zijn: uitvalschermen, (rol)screens, schuifschermen, buitenjaloezieën en markiezen. De mate van zonwering is voor bijna alle uitvoeringen goed tot zeer goed. In de NTA 8800 zijn forfaitaire waarden opgenomen voor de waardering van verschillende typen zonwering binnen de energieprestatieberekening. Informeer bij de (kleur)keuze van het doek altijd naar de g- èn TL-factor en kies voor een gunstige combinatie. De g-factor van buitenzonwering in combinatie met HR⁺⁺-glas varieert bij screens van ruim 0,05 tot ca. 0,20, afhankelijk van glas- en doeksoort. Dit houdt dus in dat nog slechts 5 à 20% van de opvallende zonnewarmte binnenkomt. Bij andere buitenzonweringssystemen worden vergelijkbare waarden gehaald.

Aandachtspunten (zie ook paragraaf 4.2.1):

- Goede bevestigingspunten;
- Géén belemmering ventilatietoevoer (gevelroosters en ramen);
- Géén extra opgewarmde lucht binnenshalen via ventilatietoevoer;
- Windvastheid;
- Kans op thermische breuk verkleinen (zie paragraaf 5.2.1).

Vaste, bouwkundige elementen

Dit betreffen elementen als uitkragingen en vaste luifels, die in het bouwkundig ontwerp zijn opgenomen. Qua zonwerende werking vallen ook vaste buitenzonweringen onder deze groep. Door deze elementen wordt het glasvlak ten dele beschaduwd. De mate van beschaduwing hangt uiteraard af van de zonnestand ten opzichte van de gevel: De g-factor is variabel. Een ander kenmerk van deze wijze van zonwering is dat ze, net als bij zonwerende beglazing, steeds aanwezig is, dus ook in de winter als de zonnewarmte juist welkom is.

Praktisch gezien is de toepassing van luifels hoofdzakelijk interessant voor gevels tussen zuidoost en zuidwest. De hoogstaande zon in de zomer wordt goed tegengehouden terwijl de laagstaande winterzon wel wordt doorgelaten. Bij andere geveloriëntaties is de zonnestand, ook in de zomer, te laag om met luifels een redelijke mate van zonwering te bereiken.

Binnenzonwering

In plaats van buitenzonwering is ook binnenzonwering te gebruiken, maar dergelijke zonwering heeft veel minder effect: Globaal weert buitenzonwering twee maal zoveel zon als binnenzonwering. De mate van zonwering hangt af van het type en de kleur van de binnenzonwering.

Een redelijk goede zonwering aan de binnenzijde kan alleen gerealiseerd worden met sterk zonlichtreflecterende (rol)gordijnen of lamellen. Deze bestaan uit een dichtgeweven doek of uit een folie en zijn voorzien van een opgedampte aluminiumlaag aan (tenminste) de raamzijde van de zonwering. De

g-factor van dergelijke binnenzonwering in combinatie met HR⁺⁺-glas bedraagt zo'n 0,30 tot zelfs 0,25. Het beste resultaat wordt behaald als beide zijden van de zonwering van zo'n reflectielaaq zijn voorzien.

In de energieprestatieberekening (NTA 8800) kan een gebouwgebonden automatisch gestuurde binnenzonwering ook gewaardeerd worden. Dit heeft een positief effect op de energieprestatie-indicatoren.

Zonwering in een glasspouw

Ook is zonwering tussen 2 glaslagen mogelijk. Voordeel ten opzichte van buitenzonwering is dat men geen rekening hoeft te houden met de invloed van wind. Het is een ingewikkelde oplossing die wel in de utiliteitsbouw, maar (nog) niet veel in de woningbouw wordt toegepast.

5.2.3 Daglichttoetreding

De toetreding van daglicht in een vertrek is één van de factoren die de bruikbaarheid van het vertrek bepalen. Relatief weinig daglicht (en uitzicht) leidt tot een negatieve beleving van de ruimte en extra elektriciteitsverbruik voor verlichting (zie paragraaf 10.1). De daglichttoetreding (zie ook paragraaf 4.3) is o.a. afhankelijk van de lichtdoorlatende eigenschappen van een raam of daklicht.

Daglicht-doorlatende eigenschappen

De lichttoetredingsfactor (TL-factor, zie ook afbeelding 5.31) geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zichtbare zonnestraling (daglicht) bij een loodrechte invalshoek. Zonwerende en warmte-isolerende coatings verlagen de TL-factor. Ook de derde glaslaag bij drievoudige beglazing verlaagt de TL-factor, dit ten opzichte van dubbele beglazing (HR⁺⁺-glas).

Lichtniveauverschillen

Het is aan te bevelen om te sterke contrasten in daglicht zo veel mogelijk te beperken; dit vanwege het visuele comfort. Bijkomend voordeel is dat bewoners minder snel kunstlicht zullen gebruiken. Geef kozijnen bijvoorbeeld een lichte kleur en verdeel de daglichtopeningen (ramen en deuren met beglazing) over de gevel(s). Gebruik zo mogelijk daklichten of 'tubes' / 'daklichtspots' (zie paragraaf 4.3).

5.3 Bouwkundige 'massa': zwaar of licht bouwen?

De 'massa' (eigenlijk gaat het om de warmtecapaciteit, zie kader) van een woning speelt een belangrijke rol in het afvlakken van de temperatuurvariatie. Een 'lichte' woning warmt relatief snel op en kan weer snel afkoelen, terwijl een 'zware' woning een relatief lange opwarmtijd heeft, maar haar warmte ook lang vasthoudt. De 'snelle' opwarming van een lichte woning is in de winter een voordeel, maar in de zomer een nadeel. Voor een zware woning geldt het omgekeerde.

De 'massa' heeft een grote invloed op de berekening van de eerste BENG indicator (de energiebehoefte). Uiteraard werkt dit ook door in de tweede BENG indicator (het primair fossiel energiegebruik) volgens NTA 8800.

De eerste BENG indicator (energiebehoefte) bestaat uit de optelling van de warmtebehoefte en de koudebehoefte. Bij een lichte thermische massa stijgt met name de koudebehoefte hard, waardoor de totale BENG 1-energiebehoefte stijgt. Het effect is ongeveer 5 kWh_{th}/m² bij een grondgebonden woning. Wanneer in een lichte woning geen maatregelen getroffen worden om de opwarming van de woning tegen te gaan (denk aan zomernachtventilatie en buitenzonwering), dan kunnen al snel comfortklachten optreden in de zomerperiode. Ook blijkt de BENG 1 indicator in die gevallen zeer snel op te lopen, waardoor niet meer voldaan wordt aan de eisen uit het Bouwbesluit. Het treffen van aanvullende maatregelen is dan noodzakelijk.

Wat wordt verstaan onder 'lichte' en 'zware' 'massa'?

Let op: het gaat eigenlijk niet om de 'massa' maar om de 'effectieve interne warmtecapaciteit' (zie paragraaf 7.7 van NTA 8800 [30]). De effectieve interne warmtecapaciteit is in de NTA gerelateerd aan de massa van de constructie per $m^2 A_g$. De NTA 8800 onderscheidt vier voorfataire categorieën:

- Volledig houtskeletbouw, staalframebouw staalskeletbouw met houtskeletbouw of staalframebouw vloeren (massa constructie per $m^2 A_g \leq 250 \text{ kg/m}^2$);
- Houtskeletbouw, staalframebouw en staalskeletbouw met staal-beton of niet massieve betonnen vloeren. Dragend metselwerk met houten vloeren (denk aan vooroorlogse woningbouw) (massa constructie per $m^2 A_g 250 \text{ tot } 500 \text{ kg/m}^2$);
- Betonnen kolom-ligger skeletbouw met niet-massieve betonnen vloeren of dragend metselwerk met niet-massieve betonnen vloeren (denk aan woningbouw in de wederopbouwperiode) (massa constructie per $m^2 A_g 500 \text{ tot } 750 \text{ kg/m}^2$);
- Betonnen wand-vloer skeletbouw met massieve en niet-massieve betonnen vloeren of dragend metselwerk met massieve betonnen vloeren (denk aan woningbouw uit de Vinexperiode) (massa constructie per $m^2 A_g \geq 750 \text{ kg/m}^2$).

In de omschrijvingen wordt met massief bedoeld: een massa van de constructie $> 100 \text{ kg/m}^2$. Hieronder vallen steenachtige materialen zonder afscherming door binnenisolatie.

Met licht wordt bedoeld: een massa van de constructie $\leq 100 \text{ kg/m}^2$. Hieronder vallen houtskeletbouw en staalskeletbouw en steenachtige materialen met een niet-massieve afscherming aan de binnenzijde, zoals binnenisolatie.

Het is binnen NTA 8800 ook toegestaan om zelf de effectieve interne warmtecapaciteit te berekenen. In bijlage B van NTA 8800 staat deze methode beschreven. Met name bij lichte woningen kan het lonen om deze uitgebreide berekeningsmethode te volgen.

Een 'licht' gebouw thermisch actief maken

Een licht gebouw kan thermisch 'actief' worden door gebruik te maken van een 'fase-transformatiemateriaal' ('phase-change material', afgekort PCM). Het is mogelijk om PCM's in bouwmateriaal of bouwproducten zoals panelen op te nemen, waardoor de thermische capaciteit aanzienlijk wordt vergroot terwijl de massa (gewicht) nauwelijks toeneemt. Ook kan PCM worden ingebouwd in installaties zoals een ventilatie-unit met WTW. De werking van PCM's is als volgt: Zodra de ruimtetemperatuur boven globaal 25°C komt, gaan de PCM's over van vaste naar vloeibare vorm. De hiervoor benodigde warmte wordt uit de omgeving onttrokken. Zodra de ruimtetemperatuur weer afneemt, stolt het materiaal en geeft de warmte weer af. Het koelend c.q. verwarmend effect kan in een woning wel enkele $^\circ\text{C}$ bedragen [118]. PCM's bestaan al vrij lang, maar worden in de bouw nog nauwelijks toegepast [119]. Er is een Nederlandse fabrikant die kant-en-klare producten levert. In NTA 8800 (paragraaf 7.8.4) [30] is het mogelijk om het effect van PCM's via de berekeningsmethode van bijlage B (de uitgebreide berekening van de effectieve interne warmtecapaciteit) in rekening te brengen.

6 Ventilatie

Ventileren is het continu vervangen van binnenlucht door 'verse' buitenlucht, eventueel via een andere ruimte. Te onderscheiden zijn:

- Bewust ventileren via de daarvoor bestemde ventilatievoorzieningen zoals gevleugelingen en/of ventilatiesystemen;
- Onbewust ventileren via naden en kieren, ook wel infiltratie (naar binnen toe) en exfiltratie (naar buiten toe) genoemd.

Naast 'ventileren' is 'spuien' van belang: het in beperkte tijd snel 'luchten' van vertrekken via te openen ramen en deuren. Het Bouwbesluit stelt evenals aan voorzieningen voor ventilatie ook eisen aan spuivoorzieningen. Ventilatie en spuiventilatie zijn van belang voor:

- Toevoer van zuurstof;
- Afvoer van 'vervuilde' en vochtige lucht;
- Afvoer van warmte, meestal bij warm (zomer)weer (zie ook bij zomernachtkoeling in paragraaf 6.8).

Ventilatie is van grote invloed op de kwaliteit van de binnenlucht en is daarom van belang voor de gezondheid van de bewoners. Uit (vrij) recent onderzoek [125], [126] en [127] blijkt dat in veel (nieuwbouw)woningen de ventilatie niet voldoet aan de eisen die daaraan gesteld worden. Er wordt vaak (veel) te weinig geventileerd. Een zorgvuldig ontwerp èn uitvoering kunnen bijdragen aan een goed ventilatiesysteem en vragen daarom veel aandacht in het ontwerp- en bouwproces. Het te downloaden '[Programma van Eisen voor Woningventilatie](#)' [148] kan daarbij helpen. Het geeft informatie over zowel gebalanceerde ventilatie met WTW, als ventilatie via natuurlijke toevoer met mechanische afvoer.

Ventilatie heeft ook grote invloed op het energieverbruik van een woning: de ventilatieverliezen zijn bijna even groot als de transmissieverliezen! Als er centraal warmteterugwinning (WTW) plaatsvindt uit de afgevoerde ventilatielucht, bedragen de ventilatieverliezen (inclusief infiltratieverliezen) nog altijd globaal de helft van de transmissieverliezen (rekening houdend met het extra elektriciteitsverbruik voor de gebalanceerde ventilatie). Het is dus van belang om een goede balans te vinden tussen enerzijds voldoende ventilatie en anderzijds het beperken van het energieverbruik, o.a. door het gebruik van gelijkstroomventilatoren in het ventilatiesysteem. In dit hoofdstuk worden naast de eisen en wensen voor ventilatie (paragrafen 6.1 en 6.2), de diverse ventilatiesystemen behandeld (paragrafen 6.3 t/m 6.8). Meer informatie is te vinden in het Infoblad 'Ventilatiesystemen in energiezuinige nieuwbouwwoningen' [128], in '[Kleintje Ventilatie](#)' [129], op de [ISSO-kenniskaarten](#) en in de Infobladen van SBRCURnet.

Deelchecklist Energiebewust ontwerpen:

Energiebewust ontwerpen: ventilatie en spuiventilatie

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Stel de uitgangspunten vast voor ventilatie en spuiventilatie. Let op:
 - Eisen van het Bouwbesluit èn aanbevelingen van diverse bronnen, o.a. [128] en [148];
 - Specifieke omstandigheden zoals bijv. een (te) hoge geluidbelasting door verkeer.
- Overweeg zonering van het ventilatiesysteem zodat per zone (bijv. woon- en slaapzone, zie paragraaf 6.9) optimaal aan de ventilatievraag kan worden voldaan;
- Stel eisen aan het ventilatiesysteem met het oog op uitbreidbaar- of aanpasbaarheid van de woning (paragraaf 6.3). Dit speelt bijvoorbeeld wanneer een zolder of garage als woonruimte gebruikt gaat worden. Geef het systeem bijv. extra capaciteit of voorzie die extra ruimte van een geheel eigen ventilatievoorziening.

Structuurontwerp / Voorontwerp

- Maak een keuze tussen de diverse ventilatiesystemen:
 - Natuurlijke toe- en afvoer (paragraaf 6.4);
 - Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer (paragraaf 6.3);

- Natuurlijke toevoer, mechanisch afvoer (paragraaf 6.5);
 - Gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning (WTW) (paragraaf 6.6);
 - Decentrale gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning (WTW) (paragraaf 6.6);
 - Hybride systeem: een combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie (paragraaf 6.7).
- Leg bij de keuze van een systeem een relatie met:
 - De installatie voor verwarming en eventuele koeling (hoofdstuk 7 en 8);
 - De eisen voor de luchtdichtheid van de woning (paragraaf 5.1);
 - De geluidbelasting door verkeer of andere geluidbronnen op de gevels; overweeg of een serre (paragraaf 4.2.3), een extra glasgevel (paragraaf 4.2.3), gebalanceerde ventilatie (paragraaf 6.6) of suskasten (paragraaf 6.4) zinvolle oplossingen zijn;
 - Laagbouw of gestapelde bouw;
 - Uitbreidbaar- of aanpasbaarheid van de woning (paragraaf 6.3);
 - Het voorverwarmen van de ventilatielucht op 'passieve' wijze in bijvoorbeeld een serre, extra glasgevel of atrium, of op 'actieve' wijze via een luchtcollector.
- Maak de luchtweerstand in het ventilatiesysteem zo klein mogelijk: beperk o.a. de lengtes van de luchtkanalen en het aantal bochten. Kies grote kanaaldiameters.
- Plaats een ventilatie-(WTW)-unit niet dichtbij slaapkamers om de kans op geluidhinder te minimaliseren; plaats de unit bij voorkeur in een afgesloten ruimte. Plaats de unit bovendien aan een muur of plafond/vloer met een massa $\geq 200 \text{ kg/m}^2$ of op een speciaal frame. Bevestiging aan bijv. een standaard binnenwand van gipsblokken (70 mm dik) voldoet dus niet.
- Maak zomernachtkoeling (paragraaf 6.8) mogelijk: maak voldoende openingen in gevels en dak of pas koeling via grondbuizen toe. Ook vrije koeling via warmte-/koudeopslag (paragraaf 8.3.4) is te overwegen.

Definitief Ontwerp / Technisch ontwerp

- Kies voor een energie-efficiënte installatie:
 - Neem gelijkstroom- in plaats van wisselstroomventilatoren;
 - Maak de luchtweerstand in het ventilatiesysteem zo klein mogelijk: beperk de lengtes van de luchtkanalen, neem grote diameters voor de luchtkanalen en ontwerp zo min mogelijk haakse bochten.
- Kies voor een geluidarm systeem (paragraaf 6.2.3); vooral bij gebalanceerde ventilatie zijn regelmatig klachten over een te hoge geluidproductie; dit is te voorkomen door een zorgvuldig ontwerp en uitvoering van het systeem (paragraaf 6.6). Breng voldoende geluiddempende voorzieningen aan en reserveer daarvoor ruimte;
- Comfort: beperk de kans op tocht bij natuurlijke toevoer via gevelroosters door bijvoorbeeld zelfregelende roosters te gebruiken;
- Let bij gebalanceerde ventilatie met (centrale) WTW speciaal op:
 - Situeer de aanvoerroosters voor buitenlucht op de juiste plek: bij platte daken niet vlak daarboven en ook niet aan de zon zijde, dit in verband met onnodige opwarming van de ventilatielucht in de zomer;
 - Pas in de WTW-unit altijd een bypass (paragraaf 6.6) toe om de aanvoer van lucht met een te hoge temperatuur (in de zomer) te voorkomen;
 - Bij de WTW-unit is het standaard filter te vervangen door een fijnstoffilter of pollenfilter (een M6- of F7-filter) (paragraaf 6.1.2). Zorg er voor dat de capaciteit van de ventilatoren voldoende is om de extra luchtweerstand te overbruggen. Let ook op mogelijke toename van het geluid van de ventilator en tref zonodig voorzieningen;
 - Sluit de condensaatafvoer van de WTW aan op de riolering;
 - Voorzie een wasemkap met motor altijd van een eigen afvoerkanaal naar buiten (paragraaf 6.3). De wasemkap mag nooit aangesloten worden op een mechanisch afzuigssysteem tenzij de fabrikant van de ventilatie-unit dit wel toestaat;
 - Overweeg het toepassen van vraaggestuurde regelingen (paragraaf 6.9) voor het gekozen ventilatiesystemen;
 - Vergeet de overstroming voorzieningen niet die bij centrale afzuiging via bijv. hal of

trappenhuis nodig zijn: spleten onder deuren en/of roosters in binnendeuren of binnenwanden (paragraaf 6.2.2).

- Pas een goede kier- en naaddichting toe en stem de luchtdichtheid af op het toe te passen ventilatiesysteem. Met name gebalanceerde ventilatie vraagt een zeer goede luchtdichtheid (paragraaf 5.1 en 6.6);
- Reserveer bij zomernachtkoeling voldoende ruimte in gevel en dak voor de benodigde voorzieningen (paragraaf 6.8). Maak ze regenwaterdicht en breng goede anti-inbraakvoorzieningen aan;
- Bij koeling via grondbuizen (paragraaf 6.8): Voorzie ze van een condensaatafvoer en kies een goede plek voor de luchttoevoeropening buiten. Maak het systeem zó dat het schoon te maken is en maak de luchtweerstand zo klein mogelijk;
- Ontwerp luchtkanalen zodanig dat ze reinigbaar en toegankelijk zijn. Breng bijvoorbeeld inspectieluiken en eenvoudig te verwijderen hulpstukken in het systeem aan;
- Openhaarden, houtkachels en open inzethaarden op gas zijn niet te combineren met een mechanisch afzuigsysteem tenzij een luchtkanaal voor de aanvoer van buitenlucht naar de haard of kachel wordt aangelegd (paragraaf 6.2.2).

Uitvoering

- Zorg voor een zorgvuldige inregeling van het ventilatiesysteem;
- Controleer de installaties (luchthoeveelheden, instelling roosters, type roosters, geluidproductie). Neem deze controle (VPK- Ventilatie-Prestatiekeuring bij oplevering) als verplichting in het technisch ontwerp (het bestek) op. Toetsen kan volgens BRL 8010: beoordeling van ventilatievoorzieningen in woningen, scholen en kinderdagverblijven (ISSO, 2012);
- Controleer of de nodige overstroomvoorzieningen (spleten/roosters) bij binnendeuren en binnenwanden aanwezig zijn;
- Controleer of de spuivoorzieningen volgens plan aanwezig zijn;
- Controleer bij toevoerroosters, dakdoorvoeren e.d. of deze goed luchtdicht zijn afgewerkt met de aansluitende bouwkundige constructies;
- Controleer of bij een WTW-unit in een gebalanceerd ventilatiesysteem de kanalen tussen de unit en 'buiten' voorzien zijn van dampdichte isolatie of gemaakt zijn van speciaal materiaal voor dit doel, dit om condens op de kanalen te voorkomen (paragraaf 6.6);
- Controleer de luchtdichtheid van de woning via een opblaasproef (paragraaf 5.1), met name bij centrale gebalanceerde ventilatie.

Gebruik / Exploitatie

- Zorg voor een goed periodiek onderhoud van ventilatiesystemen, mede in verband met gezondheidsaspecten. Naast schoonmaken (filters, roosters, luchtkanalen e.d.) is ook controle op het functioneren van groot belang. Controleer de volumestromen aan de hand van de oorspronkelijke eisen. Informeer bewoners over het benodigde onderhoud;
- Zorg voor een duidelijke voorlichting naar bewoners, zowel mondeling als schriftelijk. Techniek Nederland en ISSO hebben een digitale gebruikshandleiding ontwikkeld. Bewoners kunnen voor een standaard handleiding terecht op www.mijnhuisinstallatie.nl.

In paragraaf 3.3 staat de checklist op hoofdlijnen.

6.1 Binnenluchtkwaliteit

De kwaliteit van de binnenlucht in woningen wordt bepaald door:

- 'Luchtverontreinigende' bronnen in de woning (paragraaf 6.1.1);
- De kwaliteit van de toegevoerde buitenlucht (paragraaf 6.1.2);
- De capaciteit, effectiviteit en bruikbaarheid van de ventilatievoorzieningen (paragraaf 6.2).

Uiteraard is ook het ventilatiegedrag van de bewoner(s) van invloed op de binnenluchtkwaliteit. In het ontwerp kan dit alleen positief beïnvloed worden door te voorzien in voldoende goede ventilatievoorzieningen die inzichtelijk, eenvoudig te bedienen en eenvoudig schoon te maken zijn. Een duidelijke handleiding voor bewoners [130] is noodzakelijk.

6.1.1 'Luchtverontreinigende' bronnen

In een woning zijn verschillende 'luchtverontreinigende' bronnen aanwezig die invloed op de binnenluchtkwaliteit en daarmee op de gezondheid hebben:

- Gebruik van de ruimten (CO_2 en bio-effluenten van de mens zelf, tabaksrook, stof, allergenen van dieren en planten, vocht van douchen, koken etc.);
- Materialen (bouwkundige constructies, meubels, vloerbedekking, gordijnen) in de vertrekken (emissies zoals radon, formaldehydegas, stof en vezels);
- De bodem, via de kruipruimte (radon, vocht);
- Open haard (verbrandingsgassen en roetdeeltjes).

In het [cahier T1 'Luchtkwaliteit woningbouw' van het 'Praktijkboek gezonde gebouwen'](#) [136] worden de belangrijkste mogelijk aanwezige verontreinigende stoffen en hun effecten in een woning beschreven. Daarbij worden normen en aanbevelingen gegeven en maatregelen voorgesteld voor beperking van de bronnen.

6.1.2 Kwaliteit toegevoerde buitenlucht

De kwaliteit van de aangezogen buitenlucht voor ventilatie wordt bepaald door:

- De algemene luchtkwaliteit buiten: zie voor meer informatie ['Dossier Luchtkwaliteit'](#) [137];
- De locatie van de aanvoervoorzieningen van het ventilatiesysteem (ramen, deuren, ventilatieroosters, aanzuigrooster) ten opzichte van:
 - Verkeer (gassen, fijnstof);
 - Groen (stuifmeel, pollen);
 - Andere installaties (afvoerroosters van ventilatiesystemen, verbrandingstoestellen e.d.), zie NEN 1087 [133];
 - Platte daken met donkere dakbedekking (warmte 's zomers);
 - De zon (warmte 's zomers);
 - Belemmeringen (beperking luchtstroming).

Voor aanvullende normen en aanbevelingen: zie [cahier T1 'Luchtkwaliteit woningbouw'](#) van het 'Praktijkboek gezonde gebouwen' [136]. Zie Bijlage 1.1 voor informatie over luchtkwaliteit en CO_2 -gehalte.

Luchtfilters

De kwaliteit van de toe te voeren ventilatielucht is te verbeteren door het toepassen van (fijn)filters. Deze worden toegepast in de WTW-units bij gebalanceerde ventilatie, zowel bij centrale (paragraaf 6.6) als bij decentrale (paragraaf 6.6) systemen.

Standaard zijn WTW-units voorzien van groffilters (bijv. ISO coarse 50%) voor een normale filtering. Deze filters dienen vooral ter bescherming van de WTW-unit. Bij sommige WTW-units is het toekoerfilter te vervangen door een 'pollen- of fijnstoffilter' (bijv. klasse M6 of F7). Deze filters dienen ook ter verbetering van de luchtkwaliteit door pollen van vegetatie en fijnstof van o.a. verkeer, industrie en landbouw voor een deel tegen te houden. Bij de WTW-units waar geen M6/F7-filter mogelijk is, kan een 'losse' filterbox voor een dergelijke filter worden aangebracht in het toekoerkanaal na de WTW-unit, mits de weerstand niet te groot wordt voor de betreffende WTW-unit.

Een pollen- of fijnstoffilter is aan te raden wanneer bewoners problemen hebben met de luchtwegen of wanneer er vaak veel fijnstof op de locatie aanwezig is zoals in stadscentra, drukke verkeerswegen of megastallen; zie o.a. [ISSO-publicatie 27](#) [138], [www.clo.nl](#) en [www.wikipedia.org](#).

Een nadeel van de M6- en F7-filters is dat ze een grotere luchtweerstand hebben dan de standaard filters. De capaciteit van de ventilator moet dus hierop afgestemd zijn. Houd hiermee rekening bij de keuze van de ventilatie-unit en bij de inregeling van de installatie. Kies filters met een relatief lage weerstand.

Het is erg belangrijk dat de filters regelmatig gecontroleerd en zonodig schoongemaakt of vervangen worden. Bewoners moeten hierover duidelijke instructies krijgen; zie o.a. de informatie van de fabrikant van de WTW-unit en/of van de filters. Diverse WTW-units geven zelf op een display, en soms ook op de standenschakelaar (afbeelding 6.1), aan wanneer de filters vervuild zijn. Een indicatie voor de vervanging: een ISO coarse 50%- en ISO coarse 65%-filter zal onder normale omstandigheden minimaal 1 à 2 keer per jaar vervangen moeten worden, zowel voor de toevvoer- als voor de afvoerlucht. Een beter filter (zie tabel 1) minimaal 1x per jaar, maar in een stedelijke omgeving 1 à 2 keer per jaar. Zie ook de [ISSO-Kenniskaart 92 'Luchtfilters in woningbouw onderhouden'](#) [149]. Filters in WTW-unit vervangen zie: [ISSO-Kenniskaart 35](#) [153].

Soms worden (elektro)statisch geladen filters toegepast. Deze hebben minder luchtweerstand dan de niet-geladen filters en hebben een vergelijkbare vervangingstermijn. Na verloop van tijd gaat de werking echter achteruit door ontlading. Permanent geladen filters (aangesloten op het elektriciteitsnet) voor WTW-units in de woningbouw worden in ons land voor zover bekend niet toegepast. Wel zijn er luchtverwarmers (voor een luchtverwarmingssysteem, zie paragraaf 7.2.4) op de markt waarbij een dergelijk filter als optie kan worden toegepast. Informeer altijd naar het elektriciteitsverbruik van zo'n filter.

Opmerking

Sinds juli 2018 wordt de luchtfilterclassificatie niet meer weergegeven met de classificatie volgens NEN-EN 779. Deze norm is vervangen door de NEN-EN-ISO 16890, die een andere classificatie hanteert. Een directe conversie van luchtfilterklassen conform NEN-EN779 naar NEN-EN-ISO16890 is niet mogelijk. Tabel 6.1 is ontwikkeld door Eurovent om een indicatieve vergelijking te geven ten behoeve van het vervangen van luchtfilters. Indien er luchtfilters vervangen worden die nog aan de classificatie voldoen volgens de vervallen NEN-EN779:2012, dan dienen deze minimaal te voldoen aan de volgende classificatie volgens de NEN-EN-ISO 16890. Voor de oude groffilters kan als nieuwe classificatie aangehouden worden: ISO coarse 50% voor de G3-filters en ISO coarse 65% voor de G4 luchtfilters.

Tabel 6.1 Vergelijkingstabell luchtfilterklassen NEN-EN779:2012 en NEN-EN-ISO 16890

Oude luchtfilterklasse conform NEN-EN779	Klasse volgens NEN-EN-ISO 16890	ePM ₁	ePM _{2,5}	ePM ₁₀
M5		5% - 35%	10% - 45%	40% - 70%
M6		10% - 40%	20% - 50%	60% - 80%
F7		40% - 65%	65% - 75%	80% - 90%
F8		65% - 90%	75% - 95%	90% - 100%
F9		80% - 90%	85% - 95%	90% - 100%



Afb. 6.1 Driestandenschakelaar van een gebalanceerd ventilatiesysteem met links een filterindicatielampje. Dit rode ledlampje gaat branden, wanneer de filters zijn vervuild. Het is een eenvoudige voorziening die er voor zorgt dat bewoners goed geïnformeerd worden en daardoor tijdig de filters zullen schoonmaken of vervangen. (Bron: Brink Climate Systems)

Verdunningsfactor

Bij ventilatie moet ervoor gezorgd worden dat de toevoerlucht niet verontreinigd wordt door de lucht afkomstig van een rookgas- of ventilatieafvoer (dus ook van de afzuigkap) en de afvoer van de ontspanningsleiding van de riolering. Deze afvoeren kunnen van dezelfde woning zijn, maar ook van nabij gelegen andere woningen. Er moet een minimale afstand tussen de aan- en afvoeren zitten. Die afstand kan men uitrekenen aan de hand van de zogenoemde 'verdunningsfactor'. In NEN 1087 [133] zijn de eisen voor deze factor en de berekeningswijze hiervoor, opgenomen.

In 'Kleintje ventilatie' [129] zijn in tabelvorm de minimale afstanden tussen aan- en afvoeropeningen aangegeven voor enkele veelvoorkomende situaties en gewenste hoeveelheden ventilatielucht. Zie ook [ISSO-Kenniskaart 23 'Verdunningsfactor bepalen'](#) [150].

Tip: Situeer de aanvoer voor buitenlucht bij gebalanceerde ventilatiesystemen aan de zijde van de woning met de beste luchtkwaliteit en bij voorkeur niet aan de zonzijde van de woning en niet vlak boven platte daken met donkere dakbedekking; dit om extra opwarming van de ventilatielucht in de zomer te voorkomen.

6.2 Benodigde ventilatie

Kwaliteit

De uiteindelijke kwaliteit van de binnenlucht en de mate van energiezuinigheid door een ventilatiesysteem wordt bepaald door de:

- Capaciteit: basisventilatie, spuiventilatie en zomernachtventilatie;
- Effectiviteit: vraaggestuurde ventilatie en de verdeling van de toegevoerde lucht over de ruimte;
- Bruikbaarheid: géén discomfort (tocht en geluidoverlast) en voldoende gebruiksgemak (voldoende begrijpbaar, bedienbaar, te onderhouden en te reinigen).

Basiseisen en aanbevelingen voor bovenstaande punten zijn te vinden in o.a.:

- Het Bouwbesluit, zie verder 'Capaciteit' (paragraaf 6.2.1);
- NEN 1087 [133];
- In de NTA 8800 (hoofdstuk 11) staat de rekenmethode beschreven waarmee de luchtvolumestromen berekend worden die in rekening gebracht worden bij het berekenen van de energieprestatie van een woning;
- [ISSO-publicaties 61](#) [139], [62](#) [140], [63](#) [141], [91](#) [142] en [92](#) [143].

Het is sterk aan te raden bij oplevering het totale ventilatiesysteem goed te controleren op bovenstaande kwaliteitsaspecten, bijvoorbeeld via een Ventilatie-Prestatiekeuring (VPK) volgens de [BRL 8010](#) [151].

Calamiteit

Bij een calamiteit zoals een grote brand of ontsnapping van giftige stoffen moeten ramen en deuren gesloten worden. Ook de toevoer van ventilatielucht zal dan gestopt moeten worden [139] (zie [ISSO-publicatie 61 par. 4.13](#)). Sluit bijv. bij een individueel ventilatiesysteem de elektrische voeding van de ventilatie-unit op een aparte gemaakte elektragroep aan; bewoners kunnen de ventilatie zelf uitschakelen. Bij collectieve systemen zal een beheerder het systeem moeten kunnen stopzetten. Bij voorkeur wordt het ventilatiesysteem door een schakelsignaal op het lichtnet op afstand uitgeschakeld.

6.2.1 Capaciteit

Er worden eisen gesteld aan de capaciteit voor:

- Basisventilatie: de minimaal benodigde hoeveelheid ventilatie waarmee het ontstaan van een voor de gezondheid nadelige kwaliteit van de binnenlucht voldoende wordt beperkt (zie bijlage 1.1 voor kwaliteit binnenlucht);
- Spuiventilatie: ventilatie voor het snel kunnen afvoeren van veel en sterk verontreinigde binnenlucht en het afvoeren van vochtige of warme lucht op piekmomenten van vochtproductie, warmteproductie of -accumulatie.

Eisen aan de capaciteit

In het Bouwbesluit (2012) staan in de volgende afdelingen eisen aan o.a. de capaciteit van de ventilatie:

- Afdeling 3.6: Luchtverversing;
- Afdeling 3.7: Spuiventilatie.

In het Bouwbesluit is aangegeven welke ruimten voorzien moeten zijn van een voorziening voor luchtverversing. Onderscheiden naar gebruiksfunctie en ruimte zijn voorschriften gegeven voor de minimumcapaciteit in dm^3/s per m^2 vloeroppervlakte (zie afbeelding. 6.2) en voor de inrichting van die voorziening. Algemeen uitgangspunt voor ventilatie is de aanbeveling uit 1984 van de Gezondheidsraad: minimaal $25 \text{ m}^3/\text{h}$ ($= 7 \text{ dm}^3/\text{s}$) per persoon (zie toelichting bij art. 3.29 Bouwbesluit).

Let op dat ook een meterkast geventileerd moet worden als daarin een gasmeter is aangebracht of een 'stadsverwarmingsunit' (ventilatie is nodig om ongewenste opwarming van leidingwater te voorkomen i.v.m. legionella-preventie); dit kan bijvoorbeeld door een spleet aan de onder- en bovenzijde van de meterkastdeur aan te brengen.

Aanbevolen wordt om ook de volgende extra kwaliteitseisen te hanteren [148]:

- Opstelruimte voor wasmachine en/of wasdroger:
 - Ruimte $< 2,5 \text{ m}^2$: $7 \text{ dm}^3/\text{s}$;
 - Ruimte $\geq 2,5 \text{ m}^2$: $14 \text{ dm}^3/\text{s}$;
- Bergruimte zoals ruime bergkast of zolder: minimaal $7 \text{ dm}^3/\text{s}$. Indien deze ruimte na verloop van tijd dienst kan gaan doen als bijvoorbeeld werk- of slaapkamer, voorzie dan in ventilatievoorzieningen alsof de ruimte een verblijfsruimte is.

De luchttuitwisseling die tot stand komt via kieren en naden (infiltratie), wordt *niet* als luchtverversing aangemerkt. Zie voor de eisen t.a.v. de luchtdichtheid van de bouwschil paragraaf 5.1. en bijlage 1.3. Let er op dat bij gebalanceerde ventilatie een goede luchtdichtheid (klasse 2) wordt gehaald. Dit om te grote infiltratieverliezen te voorkomen.

Enkele aandachtspunten:

- Volgens de '50%-regel' mag 50% van de toevoerlucht in een verblijfsgebied uit een ander verblijfsgebied afkomstig zijn, de andere 50% moet verse buitenlucht zijn;
- De afvoerlucht uit een wc en badruimte moet 'rechtstreeks' (of via een ventilatiesysteem) naar buiten worden afgevoerd. Bij een (open) keuken moet tenminste $21 \text{ dm}^3/\text{s}$ rechtstreeks naar buiten worden afgevoerd, de overige lucht mag elders binnenshuis worden gebruikt;
- Een mechanische afzuigkap (wasemkap met motor) in de keuken mag niet worden meegerekend in de op te stellen ventilatiebalans. In de praktijk moet bij plaatsing van zo'n kap wel een extra (tijdelijke) luchttoevoer mogelijk zijn. Geef dit ook aan in de bewonersinstructie;
- Bij een motorloze afzuigkap mag geen afsluitklep aanwezig zijn. Dit om een (continue) ventilatie te waarborgen. Pas echter bij voorkeur een mechanische afzuigkap toe en geen motorloze kap omdat zo'n kap weinig effect heeft;
- Naast ventilatievoorzieningen moeten ook spuivoorzieningen aangebracht zijn (zie hierna).

Afb. 6.2 Eisen uit het Bouwbesluit voor de capaciteiten voor de toe- en afvoer van ventilatielucht. Voor extra kwaliteitseisen, zie tekst.

Ruimte	Minimale capaciteit
Verblijfsruimte	$0,7 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 vloeroppervlakte met als minimum $7 \text{ dm}^3/\text{s}$
Verblijfsgebied	$0,9 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 vloeroppervlakte met als minimum $7 \text{ dm}^3/\text{s}$
Verblijfsgebied met kooktoestel $< 15\text{kW}$	$0,9 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 vloeroppervlakte met als minimum $21 \text{ dm}^3/\text{s}$ (dit minimum van $21 \text{ dm}^3/\text{s}$ moet direct naar buiten worden afgevoerd)
Toiletruimte	$7 \text{ dm}^3/\text{s}$ (lucht moet direct naar buiten worden afgevoerd)
Badruimte (al dan niet samengevoegd met een toilet)	$14 \text{ dm}^3/\text{s}$ (lucht moet direct naar buiten worden afgevoerd)
Opstelruimte voor wasmachine en/of droger (aanbeveling)	Vloer $< 2,5 \text{ m}^2$: $7 \text{ dm}^3/\text{s}$; vloer $\geq 2,5 \text{ m}^2$: $14 \text{ dm}^3/\text{s}$ (lucht moet direct naar buiten worden afgevoerd)
Bergruimte (aanbeveling)	Minimaal $7,0 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 vloeroppervlakte (afvoer rechtstreeks naar buiten)

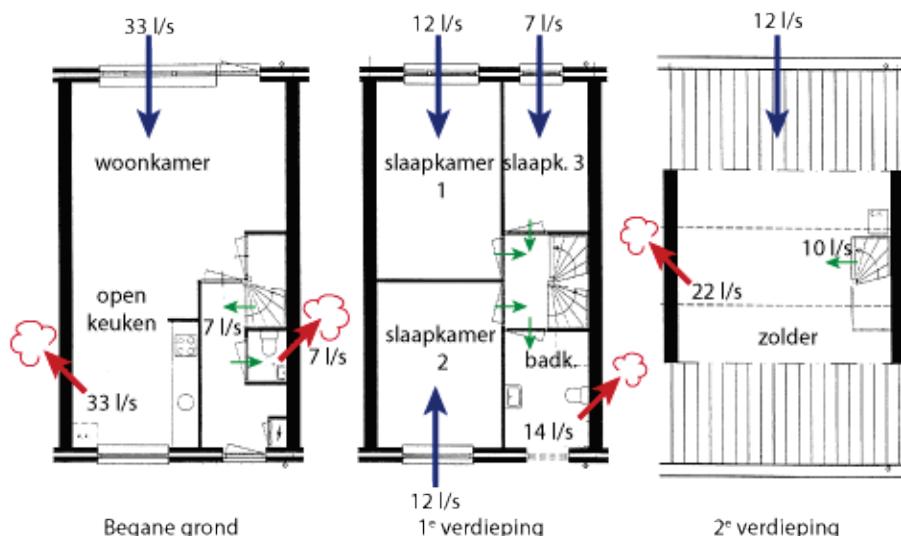
Gemeenschappelijke ruimte	0,5 dm ³ /s per m ² vloeroppervlakte (aan- en afvoer rechtstreeks van buiten, ventilatie niet afsluitbaar)
Liftschacht	3,2 dm ³ /s per m ² vloeroppervlakte (aan- en afvoer rechtstreeks van/naar buiten, niet afsluitbaar)
Opslagruimte huishoudelijk afval > 1,5 m ²	10 dm ³ /s per m ² vloeroppervlakte (aan- en afvoer rechtstreeks van/naar buiten, niet afsluitbaar)
Opstelplaats voor gasmeter (meterkast!)	1,0 dm ³ /s per m ² vloeroppervlakte, met een minimum van 2,0 dm ³ /s (ventilatie niet afsluitbaar)
Spuivoorziening in een verblijfsgebied	Totale capaciteit voor de toevoer van buitenluchten en de afvoer van binnenlucht van 6 dm ³ /s per m ² vloeroppervlakte
Spuivoorziening in een verblijfsruimte	Totale capaciteit voor de toevoer van buitenluchten en de afvoer van binnenlucht van 3 dm ³ /s per m ² vloeroppervlakte

Aanbevelingen capaciteit

Het is aan te bevelen om de capaciteit van het ventilatiesysteem ruimer te maken dan de minimale eisen uit het Bouwbesluit. Dit met het oog op de gezondheid en het (zomer)comfort van bewoners. Ontwerp het systeem bijvoorbeeld zo, dat bij ventilatiestand 2 (bij een driestandenschakelaar) de minimale ventilatie-eisen al worden gehaald.

In verband met gezondheidsaspecten en het beperken van het energieverbruik is het aan te raden extra aandacht te besteden aan bronbeperking (paragraaf 6.1.1) en aan de effectiviteit en bruikbaarheid van een ventilatiesysteem (paragraaf 6.2.2). Enkele aandachtspunten:

- Stel een ventilatiebalans op voor de gehele woning: Maak een berekening voor alle toe- en afvoerluchtstromen voor elk verblijfsgebied, wc en badkamer. Ook de interne ventilatiestromen tussen de diverse ruimten moeten hierbij betrokken worden. Om deze luchtstromen mogelijk te maken, zijn de z.g. 'overstroomvoorzieningen' nodig: spleten onder deuren en/of roosters in binnendeuren of binnenvanden (zie paragraaf 6.2.2). De woning in zijn totaliteit moet natuurlijk ook in balans zijn. In afbeelding 6.3 is een voorbeeld van een ventilatiebalans weergegeven. In [Kleintje Ventilatie](#) [129] en [ISSO-publicatie 92](#) [143] is het begrip ventilatiebalans verder uitgewerkt;
- Binnen een verblijfsgebied is het toegestaan om 50% van de toe te voeren lucht voor een verblijfsruimte afkomstig te laten zijn uit een andere verblijfsruimte binnen datzelfde verblijfsgebied;
- Voor de zomersituatie met warm weer is het sterk aan te bevelen zomernachtventilatievoorzieningen aan te brengen, zie paragraaf 6.8.



Afb. 6.3 Voorbeeld van de ventilatiestromen in de referentietussenwoning (van RVO) die (in dit voorbeeld) voorzien is van ventilatiesysteem C: natuurlijke toevvoer van buitenlucht via ventilatieroosters in de gevels (blauwe pijlen) en mechanische afvoer (rode pijlen) via een centrale ventilatie-unit

Spuivoorzieningen

Spuivoorzieningen dienen voor het snel kunnen afvoeren van veel en sterk verontreinigde binnenlucht of van vochtige of warme lucht op piekmomenten. Te openen ramen, luiken, daklichten en deuren (let op eisen Bouwbesluit, zie 4^e bullet hierna) kunnen dienst doen als spuivoorziening. Het Bouwbesluit stelt (omgerekend) de volgende eisen:

- Bij spuien via één gevel: $0,060 \text{ m}^2$ beweegbare delen per m^2 vloeroppervlakte;
- Bij spuien via twee gevels, of gevel en dak: $0,015 \text{ m}^2$ beweegbare delen per m^2 vloeroppervlakte;
- De te openen oppervlakte geldt voor volledig te openen voorzieningen (het gaat om de netto doorlaat);
- Per verblijfsruimte moet tenminste één van de te openen voorzieningen een raam of schuifpui zijn (dus alleen een deur mag niet).

Zie artikel 3.42 en 3.43 Bouwbesluit voor o.a. nadere eisen over de spuivoorzieningen m.b.t. ligging ten opzichte van perceelsgrens.

Let op: Ook bij gebalanceerde ventilatie met WTW moeten woningen voorzien zijn van spuivoorzieningen.

Aanbeveling:

- Geef spuivoorzieningen een uitzetmechanisme dat op meerdere standen fixeerbaar is, inclusief een kierstand [148]. Maak de kierstand inbraakveilig;
- Maak de spuivoorzieningen veel ruimer dan het Bouwbesluit eist. Dit is een wens van bewoners [129]. Bovendien hebben zij een voorkeur voor meerdere te openen voorzieningen. Zie paragraaf 6.8 voor zomernachtventilatie, daar staat concrete informatie over afmetingen voor voorzieningen.

6.2.2 Effectiviteit en efficiency ventilatiesystemen

Voor een effectief en efficiënt ventilatiesysteem zijn vooral de volgende punten van belang:

- De afstemming van de ventilatiehoeveelheden op de ventilatiebehoefte per ruimte en per moment. Voorkom dat er onnodig geventileerd wordt. Zorg voor een goede regeling zoals bij vraaggestuurde ventilatie (paragraaf 6.9) het geval is;
- Een minimale luchtweerstand in luchtkanalen (zie hierna);
- Met zorg gekozen toe- en afvoervoorzieningen (paragraaf 6.5 en 6.6);
- De verdeling van de toegevoerde lucht over de ruimte: het ventilatiepatroon (zie hierna);
- Goede overstroming voorzieningen. Om de gewenste luchtstromen binnenshuis mogelijk te maken, zijn de z.g. 'overstroming voorzieningen' nodig: spleten onder deuren en/of roosters in binnendeuren of binnenvanden. Een netto spleethoogte van 20 mm onder tussendeuren is in de praktijk meestal voldoende (zie voor meer info [129]). Houd rekening met een vloerafwerking of drempel van circa 15 mm, dus met een totale (bruto) spleethoogte van circa 35 mm. Wanneer een grotere oppervlakte van de spleet nodig is, bieden roosters in deuren of binnenmuren uitkomst. Dit om bijv. overspraak te voorkomen;
- Het type ventilatoren: gebruik gelijkstroomventilatoren; deze zijn veel energieuwiger dan wisselstroomventilatoren;
- Openhaarden, houtkachels en open inzethaarden op gas zijn niet te combineren met een mechanisch afzuigsysteem tenzij een luchtkanaal (via de kruipruimte) voor de aanvoer van buitenlucht naar de haard of kachel wordt aangelegd. Het luchtkanaal moet van gevel tot gevel lopen. Dit omdat bij een kanaal met slechts aan één gevel een aanvoer-opening, kans is op onderdruk bij die opening. Er wordt dan geen buitenlucht naar de haard of kachel aangezogen.

Algemene aanbevelingen:

- Breng een dampscherm (of dampdrempel) aan van ca. 0,30 m tegen het plafond tussen een open keuken en de woonkamer. Dit ter verminderen van spreiding van kookluchtjes;
- Overweeg om draaikiep ramen toe te passen: Uit onderzoek [131] blijkt dat bewoners over het algemeen de kiepstand van draaikiep ramen erg positief beoordelen: het regent niet in en het is

redelijk veilig tegen inbraak. Dit in tegenstelling tot naar binnen of naar buiten draaiende ramen. Door dit positieve oordeel worden deze ventilatievoorzieningen meer gebruikt waardoor er beter wordt geventileerd;

- Overweeg om te openen 'bovenlichten' (klepraampjes) te maken: Ook hierover zijn bewoners zeer te spreken vanwege dezelfde voordelen als bij draaikiepramen. Breng eventueel (afhankelijk van grootte en situering van het klepraam) ook anti-inbraakvoorzieningen aan;
- Maak te openen ramen en deuren zó dat ze vast gezet kunnen worden.

Aandachtspunten luchtkanalensysteem

Hoe minder weerstand, hoe lager het energieverbruik van de ventilatoren én hoe lager de geluidproductie. Kies daarom voor een eenvoudige loop van de kanalen. Geluidhinder is een belangrijke reden waarom bewoners de ventilatie in een te lage stand zetten waardoor er te weinig geventileerd wordt [126]. Let op de volgende punten:

- Maak een berekening van de luchtweerstand van het ventilatiesysteem en kies daarna een bijpassende ventilator met voldoende capaciteit. Maak ook een geluidberekening; het maximum ('karakteristieke') geluidniveau in een 'verblijfsgebied' is volgens het Bouwbesluit (artikel 3.9) 30 dB. Aanbeveling voor slaapkamers: maximaal 25 dB;
- Pas een kort kanaalstelsel toe;
- Beperk zoveel mogelijk bochten. Vermijd bochten van 90°, gebruik bij voorkeur bochten $\leq 45^\circ$. Let daarom ook op voldoende ruimte voor de aansluitingen van de kanalen op ventilatie-units. Gebruik harde bochtstukken met een gladde binnenkant;
- Zorg voor voldoende diameter van de kanalen i.v.m. de gewenste lage luchtsnelheden voor [124]:
 - De hoofdkanalen: $< 4 \text{ m/s}$;
 - De aftakkingen voor toevoerlucht: $< 3 \text{ m/s}$;
 - De aftakkingen voor afvoerlucht: $< 3,5 \text{ m/s}$;
 - Collectieve kanalen: 5 m/s .
- Kies bij 'ingestorte' kanalen voor ronde of ovale (kunststof) kanalen:
 - Relatief lage luchtweerstand door gunstige vorm;
 - Relatief vormvast waardoor minder kans op schade tijdens de bouw.
- Vermijd het gebruik van 'traditionele' flexibele kanalen (met geribbelde binnenzijde) vanwege de relatief hoge weerstand; een lengte van maximaal 1 m is nog acceptabel. Er zijn ook kunststof kanalen verkrijgbaar die aan de binnenzijde glad afgewerkt zijn; deze kanalen hebben een lage luchtweerstand en zijn bedoeld om een totaal systeem mee aan te leggen. Doordat ze alleen in kleinere diameters verkrijgbaar en bovendien vrij stug zijn, kunnen ze de 'traditionele' flexibele kanalen niet vervangen;
- Bij appartementen met collectieve aan- en/of afvoerkanalen:
 - Monteer bij individuele ventilatie-units terugslagkleppen tussen de units en de collectieve kanalen;
 - Breng brandkleppen aan bij doorvoering van brandcompartimenten.
- Maak luchtkanalensysteem zodanig dat deze schoongemaakt kunnen worden. Zie [ISSO-Kenniskaart 33 'Kanalen reinigen'](#) [152]. Breng bijvoorbeeld inspectieluiken en eenvoudig te verwijderen hulpstukken in het systeem aan. Dop kanalen af bij transport en opslag om vervuiling te voorkomen;
- Het kanalenstelsel kan bestaan uit:
 - Een hoofdkanaal met aftakkingen naar iedere ruimte;
 - Een radiaalstelsel: vanuit een centraal punt lopen kanalen naar iedere ruimte.

Bij dit laatste stelsel kunnen op dat centrale punt z.g. luchtverdeelkasten (afbeelding 6.4) worden gebruikt;

- Bij WTW-units: Voorzie het toe- en afvoerkanaal tussen de unit en de buitenlucht van dampedicht isolatiemateriaal om condensatie te voorkomen. Gebruik als isolatie dampedicht kunststofschuim en geen dampedicht afgewerkte minerale wol i.v.m. kans op beschadiging. Ook zijn specifiek voor dit doel geschikte isolerende kunststof buizen verkrijgbaar;

- Controleer visueel de (instort)kanalen vlak voordat ze daadwerkelijk in de vloer ingestort gaan worden op beschadigingen en de juiste afwerking.



Afb. 6.4 Twee luchtverdeelkasten bij een gebalanceerd ventilatiesysteem, de ene voor de toevoerlucht (met de blauwe kanalen), de andere voor de afvoerlucht (met de rode kanalen). In de verdeelkast worden de luchthoeveelheden ingeregeld. Dit heeft als voordeel dat men niet-regelbare ventielen voor toe- en afvoer gebruikt die dus niet ontregeld kunnen worden bij b.v. het schoonmaken door bewoners. In de verdeelkasten, die deels in de (beton)vloer aangebracht zijn, kunnen geluiddempers worden ingebouwd. De verdeelkasten moeten bereikbaar blijven voor inspectie en onderhoud. (Bron: Burgerhout BV)

Verdeling toegevoerde lucht over de ruimte (ventilatiepatroon)

De 'verse' lucht moet op de plek terecht komen waar deze lucht nodig is: het gebied waar bewoners gebruik van maken (de leefzone). Van belang zijn:

- De plaats van de toevoer;
- De plaats van de afvoer;
- De vorm van de ruimte die geventileerd wordt.

Belangrijke aandachtspunten:

- Voorkom 'kortsluiting' zodat de toegevoerde 'verse' lucht niet vrijwel direct weer wordt afgevoerd. Dit is te voorkomen door een goede plaatsing van de luchttoevoer- t.o.v. de luchtafvoervoorzieningen: Plaats ze bijv. zo ver mogelijk van elkaar of zorg er voor dat de toevoerlucht zodanig de ruimte instroomt dat ze goed vermengd wordt met de aanwezige lucht;
- Voorkom 'dode hoeken';
- Voorkom 'onderbroken stromingen' door ongelukkige opstelling van meubels; informeer bewoners hierover;
- Verdeel bij ruimtes die aan twee of meer gevels grenzen, natuurlijke toevoervoorzieningen voor buitenlucht over die gevels. Hiermee voorkomt men dode hoeken en heeft de bewoner meer mogelijkheden om bij tocht deze op te heffen door één rooster -deels- te sluiten en toch te ventileren door toevoer van verse lucht via de andere gevel.

6.2.3 Bruikbaarheid

Een ventilatiesysteem moet comfortabel en eenvoudig in het dagelijkse gebruik zijn. Tocht en geluid zijn belangrijke aandachtspunten. Ook het onderhoud, zeker voor bewoners, mag geen problemen opleveren.

Voorkom tochtklachten

Tochtklachten zijn te verminderen of zelfs grotendeels te voorkomen door:

- De toegevoerde luchtstroom met een zo laag mogelijke luchtsnelheid in de leefzone te laten instromen (max. 0,2 m/s volgens NEN 1087);
- Het toepassen van winddrukgerelateerde ventilatieroosters (van toepassing bij systemen met natuurlijke toevoer); deze voorkomen een te grote toegevoerde luchtstroom bij toenemende winddruk;

- Luchttoevoeropeningen van 'koude' lucht (natuurlijke toevoer zonder voorverwarming) zo hoog mogelijk in de ruimte te plaatsen (minimaal 1,8 m (zie opmerking)); zo ver mogelijk uit de leefzone zodanig dat deze lucht eerst met de aanwezige warmere lucht kan mengen;
- Toevoerlucht vóór te verwarmen: via een serre of een grote glasspouw (paragraaf 4.2.3, 4.2.4 en 4.2.5), door warmteterugwinning uit afgevoerde lucht (paragraaf 6.6) of door een verwarmingssysteem.

Opmerking: De maat van 1,80 m is geen eis uit het Bouwbesluit maar een aanbeveling uit de NPR 1088 [154]. Dit om aan de eis te voldoen van een maximale snelheid van 0,2 m/s van de 'koude' lucht. Elke hoogte is toegestaan, mits maximaal aan die snelheid wordt voldaan.

Afb. 6.5 Te hanteren luchtsnelheden bij berekening van benodigd netto oppervlakte van ventilatievoorzieningen (NPR 1088:1999/2000) [154]

	Luchtsnelheid [m/s]
(Gevel) openingen natuurlijke ventilatie	0,83
Bij toepassing gaas (min. 50% doorlatendheid)	0,42
Overstroomopeningen (binnen de woning)	0,83
In kanalen bij natuurlijke ventilatie	1,00
In kanalen bij mechanische ventilatie	< 5,00
Nabij roosters bij mechanische ventilatie	< 3,00
In roosters bij mechanische toevoer	< 1,00

Voorbeeld:

Ventilatie-eis: $21 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,021 \text{ m}^3/\text{s} (= 75 \text{ m}^3/\text{h})$;

Benodigd oppervlakte bij natuurlijke ventilatie bedraagt $0,021 / 0,83 = 0,0253 \text{ m}^2 (= 2,53 \text{ dm}^2)$

Let op: het gaat om netto-oppervlakten, een rooster moet dus een voldoende netto-doorlaatopening hebben.

Afb. 6.6 Overzicht van ventilatiekanalen: diameters met bijbehorende volumestromen voor het betreffende ventilatiesysteem. Tussen haakjes staan de luchtsnelheden aangegeven waarmee gerekend is

Diameter [mm]	Oppervlakte [dm ²]	Natuurlijk (1,0 m/s) [dm ³ /s]	Mech. toevoer (2,0 m/s) [dm ³ /s]	Mech. afvoer (3,5 m/s) [dm ³ /s]
63	0,3	3	6	10
80	0,5	5	10	18
100	0,8	8	16	27
125	1,2	12	24	42
160	2,0	20	40	70
200	3,1	31	62	110

Geluidoverlast beperken

Uit onderzoek [125] en [126] blijkt dat in veel (recente) nieuwbouwwoningen ventilatiesystemen (veel) geluidhinder veroorzaken. Een deel van de bewoners zet daarom de ventilatie in een lage stand of (bijv. 's nachts) zelfs geheel uit! Met als gevolg een matige tot slechte binnenluchtkwaliteit.

In het Bouwbesluit zijn daarom niet alleen geluideisen opgenomen voor woninginstallaties ten opzichte van omliggende woningen, maar ook voor het geluidniveau binnenshuis.

Vanaf april 2012 geldt voor alle verblijfsruimten een maximum geluidniveau voor eigen installaties van 30 dB volgens NEN 5077 [155] bepaald.

In de praktijk vraagt dit om veel zorg voor ontwerp en uitvoering van o.a. ventilatiesystemen, zie voor maatregelen o.a. paragraaf 6.1.2, 6.5 en 6.6. Het gaat daarbij vooral om de luchtweerstand in het ventilatiesysteem te beperken en de ventilatie-unit op de juiste plek en de juiste wijze te bevestigen.
Aanbevelingen:

- Hanteer voor slaapkamers een maximum geluidniveau van 25 dB, in plaats van de vereiste 30 dB;
- Controleer het geluidniveau bij oplevering door middel van metingen, bijvoorbeeld via een Ventilatie-Prestatiekeuring (VPK) volgens de [BRL 8010](#) [151].

Eenvoud in het gebruik

Bewoners (en beheerders) moeten het ventilatiesysteem eenvoudig kunnen bedienen en onderhouden.

Uitgangspunten hiervoor zijn:

- Goed te begrijpen;
- Eenvoudig te bedienen of automatisch werkend;
- Eenvoudig te onderhouden en te reinigen.

Aanbevelingen hierbij zijn:

- Zorg voor een duidelijke voorlichting naar bewoners (en beheerders), zowel mondeling als schriftelijk. Techniek Nederland en ISSO hebben een digitale gebruikshandleiding ontwikkeld waarmee o.a. installateurs, architecten en opdrachtgevers een handleiding kunnen samenstellen die specifiek op een bepaalde woning betrekking heeft; Zie [www.mijnhuisinstallatie.nl](#);
- Plaats ook specifieke gebruikersinstructies op de installatie-voorzieningen zelf;
- Geef ook duidelijke instructies voor onderhoud. Voorzie bijv. de driestandenschakelaar bij gebalanceerde ventilatie met WTW van een signalledje voor het schoonmaken of vervangen van de filters;
- Zorg dat onderdelen van een ventilatiesysteem:
 - Goed bereikbaar zijn voor bediening, onderhoud en reinigen;
 - Eenvoudig zijn te demonteren voor onderhoud en reinigen;
 - Alleen op de juiste wijze terug zijn te plaatsen.
- Geef duidelijke instructies wat er gedaan moet worden bij calamiteiten (grote brand, ernstige luchtverontreiniging) en zorg dat de installatie hierop is afgestemd (bijv. stekker ventilatie-unit eenvoudig uit stopcontact te halen / aansluiting op gemaakte aparte elektragroep).

6.3 Ventilatiesystemen

De benodigde ventilatie kan op vele manieren tot stand worden gebracht.

Ventilatiesystemen zijn te onderscheiden naar de wijze van:

- Toevoer van ventilatielucht;
- Afvoer van ventilatielucht.

NTA 8800 [30] hoofdstuk 11 maakt onderscheid in vijf (basis)systemen (afbeelding 6.7) waarbij verschillende combinaties van natuurlijke en mechanische ventilatie toegepast worden; het gecombineerde systeem is E voor lokale balansventilatie met toe- en afvoerstromen waarbij het gaat om combinaties van decentrale balansventilatie met wtw met een van de vier andere (basis)systemen. Binnen de systemen zijn allerlei varianten mogelijk. In de volgende paragrafen komen de systemen A, C, D en E met varianten aan bod. Voor systeem B wordt verwezen naar [Kleintje Ventilatie](#) [129] omdat dit systeem zelden voorkomt. In paragraaf 6.7 is aandacht voor een vrij nieuwe ontwikkeling: hybride ventilatie. Dit is een combinatie van systemen en valt dus onder systeem E.

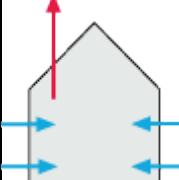
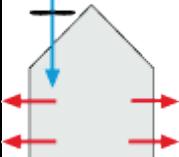
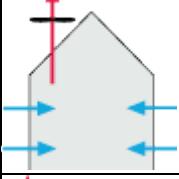
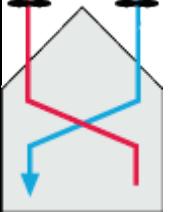
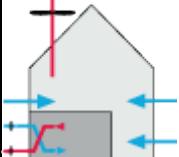
In afbeelding 6.8 is voor een aantal ventilatiesystemen een vergelijking opgenomen ten opzichte van systeem D3 dat toegepast is in de referentie twee-onder-eén-kapwoning van RVO (zie bijlage 4). Dit systeem bestaat uit gebalanceerde ventilatie met WTW (warmteterugwinning) en CO₂-sturing op de afvoer. In de tabel wordt aangegeven of een systeem op een aspect beter (+), slechter (-) of gelijk (0) scoort in vergelijking met de referentie. In paragraaf 3.4 is, ter illustratie, het energetische effect gegeven van een aantal ventilatiesystemen. Meer informatie over de verschillende systemen is in de volgende paragrafen en in [129] te vinden.

Tip

Stel eisen aan het ventilatiesysteem met het oog op uitbreidbaar- of aanpasbaarheid van de woning. Dit speelt bijvoorbeeld wanneer een zolder of garage als woonruimte gebruikt zou kunnen worden. Eén van de mogelijkheden is om die extra ruimte aan te sluiten op het bestaande ventilatiesysteem als deze o.a.

voldoende capaciteit heeft en aansluiting praktisch gezien mogelijk is. Een andere mogelijkheid is de extra ruimte te voorzien van een geheel eigen ventilatievoorziening, bijv. in de vorm van een decentrale unit met gebalanceerde ventilatie + WTW.

Afb. 6.7 Overzicht ventilatiesystemen op basis van NTA 8800 [30] hoofdstuk 11

	Ventilatiesysteem	Toevoer	Afvoer	Aanduiding NEN 1087
	Natuurlijk	Natuurlijk	Natuurlijk	A*
		Mechanisch	Natuurlijk	B*/**
	Combinatie natuurlijk/mechanisch		Mechanisch	C
	Gebalanceerd (met WTW)	Mechanisch	Mechanisch	D
	Zones met decentraal gebalanceerd (met WTW) en zones met systeem C	Mechanisch/natuurlijk	Mechanische	E

* Niet toegestaan indien de vloer van de bovenste woonlaag 13 m of meer boven het maaiveld ligt.
 ** Wordt weinig toegepast wegens hoge kosten (twee kanaalstelsels nodig)

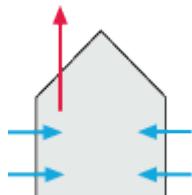
Afb. 6.8 Keuzetabel ventilatiesystemen. In de tabel wordt aangegeven of een systeem op een aspect beter (+), slechter (-) of gelijk scoort aan de referentie (0); de referentie is een gebalanceerd ventilatiesysteem (type D3 volgens NEN 8088) met WTW en CO₂-sturing op de centrale afvoer. De beoordeling is indicatief omdat er binnen de genoemde systemen vele varianten met specifieke eigenschappen mogelijk zijn. Zo blijkt uit onderzoek [127] dat bijvoorbeeld de plek van CO₂- en RV-sensoren erg bepalend is voor het effect op de ventilatie per vertrek: de sensoren hebben namelijk vooral effect wanneer ze de lucht in of van een bepaald vertrek meten en invloed hebben op de daadwerkelijke ventilatie van dat vertrek, bijvoorbeeld door het aansturen van een klep in de mechanische afvoer van dat vertrek

Ventilatie-systeem	Regeling	Systeem NTA 8800	Kosten	Energiebespar-ing	Onderhoud	Gebruiks-gemak	Verge lucht/tocht	Geluid systeem	Geluid van buiten	Robuust heid/degelijk heid	Ruimte beslag
natuurlijke toevoer door zelfregelende roosters + natuurlijke afvoer	Handmatig op toevoer	A2a	+	--	++	-	-	++	-/-	++	O/+
Natuurlijke toevoer door zelfregelende roosters + mechanische afvoer	Handmatig/meerstandenschakelaar	C2a	+	--	+	-	-	+	-/-	+	++
	Tijdgestuurd	C3b	+	--	++	O	-/O	+	-/-	+	++
	CO ₂ sturing op afvoer per zone*	C4c	O/+	-	O	+	+	+	-/-	-	+
Gebalanceerde ventilatie (centrale mechanische toe- en afvoer) + 100% bypass	Meerstandenschakelaar, geen zonering	D2	O	O/-	O	-	O	O	O	O/+	O
	CO₂-sturing op afvoer, geen zonering	D3	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	CO ₂ -sturing per zone*	D5a	-	++	-	O	+	O	O	-	-
Decentrale gebalanceerde ventilatie met wtw in vertrekken + centrale mechanische afvoer sanitair	CO ₂ /RV sturing per zone*	D5b	--	++	--	O	+	O/-	-	-	O/+
Natuurlijke toevoer door zelfregelende roosters of luchttoevoerunits + hybride afvoer; alleen mechanische afvoer indien nodig (zie paragraaf 6.7)	CO ₂ -sturing per zone*	E	O/-	-	+	O	+	+	-/-	O	+

*) Er zijn meerdere zones

De vet gedrukte tekst is te beschouwen als referentie

6.4 Natuurlijke toe- en afvoer (systeem A)



Afb. 6.9

Principe systeem A

Karakteristiek:

- De ventilatie vindt plaats door drukverschillen ten gevolge van wind en/of temperatuurverschillen ('schoorsteeneffect');
- Natuurlijke toevvoer van ventilatielucht via ventilatieroosters (of eventueel goed regelbare (klep)ramen, zie paragraaf 6.9 bij handmatige bediening) direct van buiten. De roosters worden meestal aan de bovenzijde van raamkozijnen ingebouwd. Er zijn roosters verkrijgbaar die aan de buitenkant van de gevel vrijwel onzichtbaar zijn wegwerkert;
- Natuurlijke afvoer via één of meer luchtkanalen, schachten, roosters (of ramen);
- In elke verblijfsruimte worden toevovoer voorzieningen (meestal roosters) aangebracht, zodat de toevvoer in elke ruimte afzonderlijk te regelen is;
- Via overstroomvoorzieningen (spleten onder binnendeuren of roosters, zie paragraaf 6.2.2) wordt de lucht van de ene naar de andere ruimte getransporteerd;
- Op geluid belaste locaties (afhankelijk van de geluidbelasting) kunnen geluidwerende ventilatieroosters (suskasten) worden toegepast. Normale toevoverroosters (geïntegreerd in kozijnen) houden in de open stand geen geluid tegen, mede omdat de buitenzijde meestal naar het (straat)geluid is gericht.

Dit ventilatiesysteem wordt zelden in nieuwbouw toegepast. Toch biedt het interessante mogelijkheden zoals blijkt uit het project Veldzicht in Valkenburg (ZH). De woningen zijn voorzien van een serre voor de voorverwarming van de toevvoerlucht, en een incidentele mechanische afzuiging (wc, afzuigkap). Bewoners zijn over het algemeen (zeer) tevreden [80].

Voordelen

- Geluidsarm, behalve bij harde wind;
- Nauwelijks elektrische hulpenergie nodig (alleen toilet en afzuigkap);
- Het is een voor bewoners begrijpelijk systeem. De bediening is eenvoudig en een bewoner merkt direct het resultaat van het open of sluiten van een rooster;
- In slaapkamers kan ('s nachts) met relatief koele buitenlucht geventileerd worden, ook zonder openstaand raam; daardoor is een 'koelere' slaapkamer mogelijk;
- Diverse fabrikanten leveren de toevoverroosters met ingebouwde zonwering in de vorm van een screen. Ook de combinatie van screen (bovenste deel raam) en valarmscherms (onderste deel raam) is verkrijgbaar waardoor een goed uitzicht mogelijk blijft.

Nadelen

- De ventilatie is sterk afhankelijk van windsnelheid, temperatuurverschillen tussen binnen en buiten en bewoningspatroon; voldoende ventilatie is dus lang niet altijd gewaarborgd;
- Kans op tocht bij gevels (zie hierna);
- Kans op geluidshinder van buiten door de roosters;
- Afvoerkanalen hebben een grotere diameter dan die bij mechanische centrale afzuiging (systeem C); er is extra aandacht nodig voor een goede inpassing in het ruimtelijk ontwerp;
- Geen warmteterugwinning mogelijk (om te gebruiken voor verwarming ventilatielucht of tapwater via warmtepomp);
- Doordat het bij systeem A niet mogelijk is om de ventilatiedebieten te verlagen op momenten dat de bewoners niet aanwezig zijn (vraagreductie), heeft een woning met dit ventilatiesysteem een relatieve hoge (ongunstige) energieprestatie.

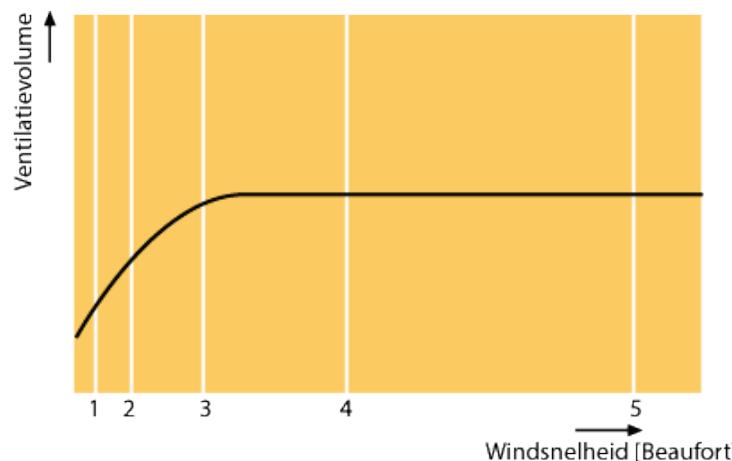
Kans op tocht en windgeruis verkleinen

Toepassing van zelfregelende roosters ('winddruk geregeld') (afbeelding 6.10) verkleint de kans op tocht en windgeruis. Dergelijke roosters zijn zeer gebruikelijk. De roosters zijn vergelijkbaar met normale ventilatieroosters waaraan echter een (inwendige) mechanische of elektronisch geregelde klep is toegevoegd die reageert op de winddruk. Ze laten bij hogere windsnelheden minder lucht door dan normale roosters. Voordelen zijn:

- Beter comfort; de roosters zullen minder snel worden dichtgezet waardoor een betere ventilatie in stand blijft;
- Energiebesparing doordat teveel ventilatie bij harde wind wordt beperkt.

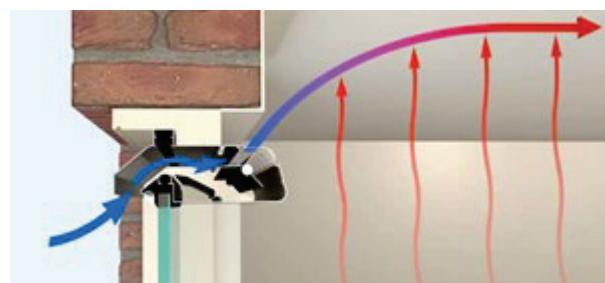
Er zijn roosters verkrijgbaar waarbij de binnengemengde buitenlucht naar boven wordt afgebogen waardoor de lucht langs het plafond stroomt en zich met de binnenlucht mengt (afbeelding 6.11). Dit verkleint de kans op koudeval (tocht) aanzienlijk. Een alternatief voor deze roosters is een ventilatierooster in combinatie met een bouwkundige koof (afbeelding 6.12).

In de energieprestatieberekening wordt bij de zelfregelende ventilatieroosters onderscheid gemaakt in 3 klassen met betrekking tot de nauwkeurigheid van het regelen van de hoeveelheid ventilatielucht die de roosters doorlaten. In de EPC-berekening moet de juiste klasse aangegeven worden volgens specificatie van de fabrikant.

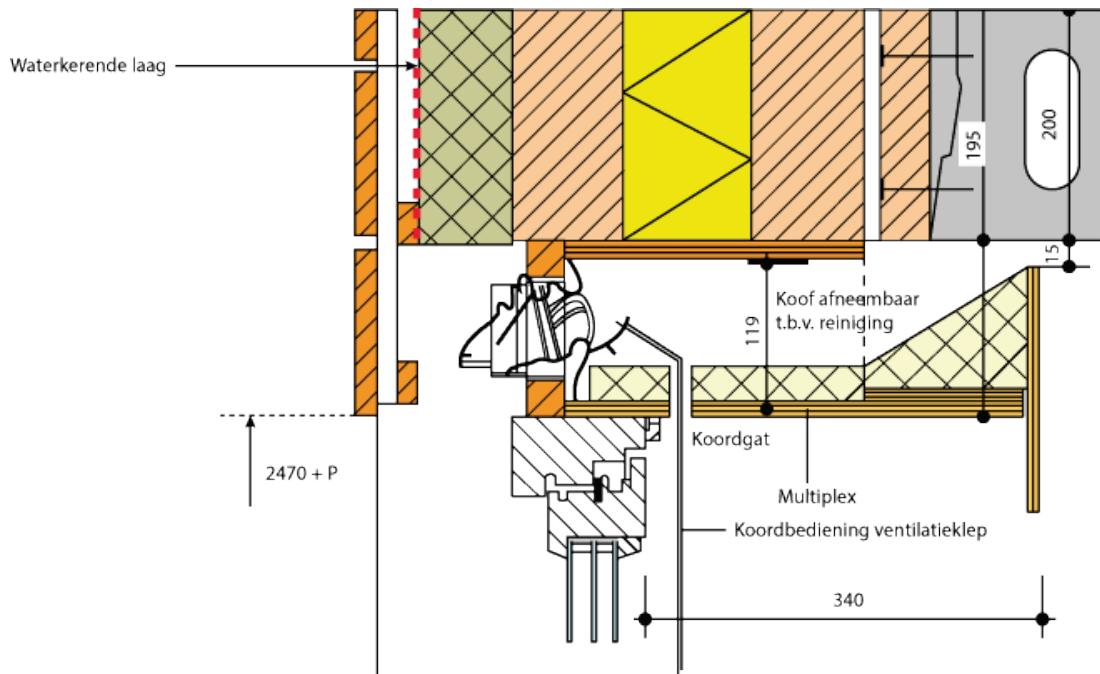


Afb. 6.10 Principe zelfregelend mechanisch ventilatierooster. Hierbij betreft het de windschaal van Beaufort:

0	Stil	(0-1 km/h)
1	Zwak	(1-5 km/h)
2	Zwak	(6-11 km/h)
3	Matig	(12-19 km/h)
4	Matig	(20-28 km/h)
5	Vrij krachtig	(29-38 km/h)



Afb. 6.11 Ventilatierooster waarbij door de vorm van het rooster de binnengemengde luchtstroom langs het plafond wordt geleid (door het Coanda-effect). In het stookseizoen wordt zo de ventilatielucht van buiten eerst gemengd (en opgewarmd) met binnenlucht. Dit verkleint de kans op koudeval en zorgt dus voor een comfortabeler binnenklimaat. (Bron: Alusta Natuurlijke Ventilatietechniek)



Afb. 6.12 Ventilatierooster met bouwkundige koof waardoor de binnenkomende luchtstroom langs het plafond wordt geleid; de 'uitmonding' (spleet) moet circa 15 mm hoog zijn om de lucht voldoende ver in het vertrek te leiden. Let op dat de luchtdoorlaat van het hele systeem (dus rooster plus koof met spleet) minimaal voldoet aan de ventilatie-eis. De koof is te verwijderen ten behoeve van het schoonmaken van koof en ventilatierooster. Aan de onderzijde van de koof kunnen gordijnen worden opgehangen zodat die de toevoer van de ventilatielucht niet belemmeren. De koof is ontwikkeld voor de '[Brabantwoning](#)' en in [134] toegelicht. (Bron: Renz Pijnenborgh, Archi Service)

De tochtproblemen van natuurlijke toevoer kunnen ook voorkomen worden door:

- Voorverwarming van de natuurlijke toevoer via bijvoorbeeld een serre (paragraaf 4.2.3). Hiermee kan bovendien energie bespaard worden en wordt de geluidswering verbeterd;
- Speciale toevoer-unit, met eventueel een zelfregelende klep, die achter een radiator wordt geplaatst.

Aanbevelingen

- Plaats toevoerroosters direct onder het plafond;
- Verdeel bij ruimtes die aan twee of meer gevels grenzen, de (natuurlijke) toevoer over deze gevels; hiermee bereikt men o.a. een betere ventilatie (minder kans op 'dode' hoeken);
- Maak de (afstands-)bediening van de toevoervoorzieningen maximaal op een hoogte van 1,5 meter;
- Voorzie de keuken van een mechanische afzuigkap om de afvoer van kooklucht te verbeteren; tijdens het gebruik van de afzuigkap moet er extra buitenlucht toegevoerd worden, informeer bewoners hierover. Let op: de afzuigkap mag volgens het Bouwbesluit niet meetellen in de berekening van de ventilatiecapaciteit;
- Een verdere verbetering wordt gerealiseerd door de gehele natuurlijke afvoer te ondersteunen met mechanische afvoer op momenten dat de natuurlijke krachten het laten afgieten, zie bij 'hybride ventilatie' paragraaf 6.7;
- Maak de woning niet te luchtdicht, voldoe aan de eisen van luchtdichtheidsklasse 1 uit NEN 2687 [91]): $q_{v10\text{-spec}}$ minimaal $1,0 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 (zie bijlage 1.3).

Afvoerkanalen

Voorwaarden voor een goede natuurlijke afvoer:

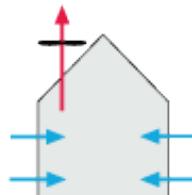
- Zorg voor lage luchtweerstanden in afvoerkanalen, geen plotselinge vernauwingen, een kanaal mag maximaal met een hoek van 30° worden verslept;

- Kies met zorg de kap op de dakafvoer(en), dit om voldoende trek te krijgen;
- Zie verder NEN 1087 en NPR 1088 voor de dimensionering van kanalen en de plaats van uitmondingen. Houd daarbij ook rekening met aanwezige (hoge) bebouwing. Praktisch gezien moet een afvoerkanaal bij een woning met een kap vlak bij de nok van het dak eindigen.

Bij laagbouw kunnen de afzuigpunten in wc, badkamer en keuken op drie afzonderlijke kanalen of een centraal kanaal worden aangesloten.

Bij hoogbouw moet per woning een afzonderlijk kanaal worden aangebracht. Combinatie van kanalen van boven elkaar gelegen woningen wordt sterk afgeraden in verband met de risico's voor terugstroming en daardoor geuroverlast.

6.5 Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (systeem C)



Afb. 6.13

Principe systeem C

Karakteristiek:

- De ventilatie vindt plaats met behulp van één elektrische ventilator in de centrale ventilatie-unit;
- Natuurlijke toevoer van ventilatielucht via ventilatieroosters (of goed regelbare klepramen, zie toelichting van art. 3.31 Bouwbesluit) direct van buiten. De roosters worden meestal aan de bovenzijde van raamkozijnen ingebouwd. Er zijn roosters verkrijgbaar die aan de buitenkant van de gevel vrijwel onzichtbaar zijn weggewerkt;
- In elke verblijfsruimte worden toevovoorzieningen (meestal roosters) aangebracht, zodat de toevoer in elke ruimte afzonderlijk te bedienen is;
- Via overstroomvoorzieningen (spleten onder binnendeuren of roosters, zie paragraaf 6.2.2) wordt de lucht van de ene naar de andere ruimte getransporteerd, tenzij elke ruimte aangesloten is op het kanalenstelsel voor de mechanische afvoer (zie bij varianten);
- Mechanische afvoer via een kanalenstelsel met daaraan gekoppeld een ventilatie-unit. Het direct afzuigen via afzuigventielen vindt plaats tenminste vanuit keuken, badkamer(s) en wc('s); aanbevolen wordt dat ook te doen vanuit een inpandige berging en opstelruimte voor wasmachine en/of wasdroger. Directe afzuiging kan ook uit alle ruimten plaatsvinden, zie onder kopje 'Varianten';
- Drie ventilatiestanden zijn gebruikelijk, de bediening vindt plaats met een driestandenschakelaar in minimaal de keuken; er zijn ook ventilatie-units met vier standen verkrijgbaar. Regelmäßig worden ook twee schakelaars aangebracht: één in de keuken en één in of bij de badkamer; dit is zeker aan te bevelen omdat hierdoor bewoners gestimuleerd worden beter te ventileren;
- Op geluidbelaste locaties kunnen (afhankelijk van de geluidbelasting) geluidwerende ventilatieroosters (suskkasten) worden toegepast;
- Vanuit het oogpunt van energiebesparing wordt dit systeem vaak uitgevoerd met CO₂-sensoren die meten of er mensen in de woning aanwezig zijn. Bij afwezigheid van mensen schakelt het ventilatiesysteem automatisch naar een laagstand. Dit is gunstig voor het energieverbruik van de woning. Het is daarbij wel noodzakelijk om CO₂-sensoren te plaatsen in de woonruimte en in alle slaapvertrekken.

Dit ventilatiesysteem wordt, evenals gebalanceerde ventilatie met WTW, vaak in nieuwbouw toegepast.

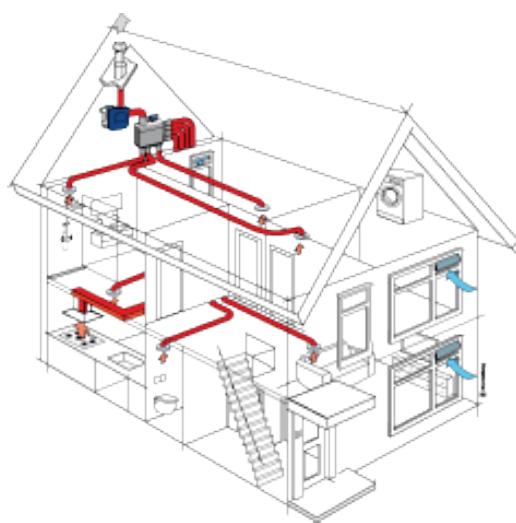
Voordelen

- Een redelijk beheersbare ventilatie, beter dan systeem A (geheel natuurlijke ventilatie). Vooral de vocht- en geurafvoer uit keuken en sanitaire ruimten zijn redelijk gegarandeerd;
- Geluidsarm in de ruimten waar alleen lucht 'natuurlijk' wordt toegevoerd, behalve bij harde wind;

- Een voor bewoners begrijpelijk systeem. De bediening is eenvoudig en een bewoner merkt direct het resultaat van het openen of sluiten van een toevoerrooster;
- In slaapkamers kan ('s nachts) met relatief koude buitenlucht geventileerd worden, ook zonder openstaand raam; daardoor is een 'koelere' slaapkamer mogelijk;
- Een beperkt kanalenstelsel ten opzichte van een gebalanceerd systeem;
- Diverse fabrikanten leveren de toevoerroosters met ingebouwde zonwering in de vorm van een screen. Ook de combinatie van screen (bovenste deel raam) en valarmscherm (onderste deel raam) is verkrijgbaar waardoor een goed uitzicht mogelijk blijft;
- Warmteterugwinning uit de ventilatielucht is mogelijk voor tapwater via een warmtepompboiler (zie paragraaf 9.3.6); de vraag naar warm tapwater en het aanbod van ventilatielucht moeten hierbij op elkaar afgestemd zijn om een efficiënte warmteterugwinning mogelijk te maken.

Nadelen

- Alleen bij geopende ventilatieroosters is voldoende ventilatie mogelijk;
- Kans op tocht bij gevels; tochthinder wordt verkleind als zelfregelende roosters worden toegepast (zie paragraaf 6.4 bij 'Kans op tocht verkleinen' en afbeelding 6.11 en 6.12);
- Elektrische hulpenergie nodig (gebruik altijd gelijkstroomventilatoren ter beperking van het energieverbruik);
- Mogelijk geluidhinder in de ruimten waar direct mechanisch wordt afgezogen, in ruimten waar luchtkanalen doorheen lopen of nabij de ventilatie-unit. Besteed veel aandacht aan het voorkomen van geluidhinder (luchtgeluid, contactgeluid):
 - Neem geluidwerende maatregelen in het kanalenstelsel (zie paragraaf 6.2.2 en 6.2.3);
 - Voorkom contactgeluid, bevestig de unit trillingsvrij volgens voorschrift van de fabrikant (bijv. met behulp van rubbers);
 - Bevestig bij wandmontage de unit op (binnen)wanden met een massa van minimaal 200 kg/m² (de gebruikelijke binnenwanden voldoen dus niet) of neem aanvullende maatregelen (bijv. verstijving door extra beplating);
 - Bevestig bij plafond/vloermontage de unit op een plafond/vloer met een massa van minimaal 200 kg/m² (bij collectief systeem tenminste 400 kg/m²);
 - Kies de plek van de unit zorgvuldig, bij voorkeur in afgesloten ruimte (dus niet op overloop of nabij trapgat);
 - Voorkom overspraak via de doorvoer van kanalen tussen twee (geluidgevoelige) vertrekken, dicht de naden om de kanalen goed af.



Afb. 6.14 Een variant op het standaard ventilatiesysteem C. Alle vertrekken zijn via luchtkanalen en een verzamel-luchtverdeelkast ('plenumbox') rechtstreeks aangesloten op de ventilatie-unit; in deze verdeelkast zitten één CO₂- en één of twee luchtvochtigheidssensor(en), voor de badkamer(s), en een regelklep per vertrek. Deze kleppen worden door de sensor(en) aangestuurd waardoor elk vertrek optimaal geventileerd kan worden. (Bron: Itho Daalderop)

Varianten

Er zijn diverse varianten mogelijk om de ventilatie te verbeteren, comfortabeler en/of energiezuiniger (lager primair fossiel energiegebruik) te maken door het toepassen van:

- Zelfregelende toevoerroosters, mechanisch of elektronisch gestuurd (zie paragraaf 6.4 en 6.9);
- Vraaggestuurde regeling: sturing op luchtkwaliteit (bijv. CO₂-gehalte en/of luchtvochtigheid) of tijdsturing via de centrale ventilatie-unit (zie paragraaf 6.9), bij voorkeur in combinatie met zelfregelende ventilatieroosters; één van de mogelijkheden is een systeem waarbij alle vertrekken via luchtkanalen en een verzamel-luchtverdeelkast rechtstreeks aangesloten zijn op de ventilatie-unit; in deze verdeelkast zitten sensoren (voor meting van de luchtkwaliteit) en zit per vertrek een regelklep waardoor elk vertrek optimaal geventileerd kan worden, afgestemd op de vraag (afbeelding 6.14);
- Voorverwarming van de natuurlijke toevoerlucht via bijvoorbeeld een serre (paragraaf 4.2.3);
- Toevoer via een unit in combinatie met een radiator, met eventueel een zelfregelende toevoerklep.

Aanbevelingen

- Pas bij voorkeur geen motorloze afzuigkap in de keuken toe; zo'n kap heeft weinig extra effect;
- Aan te raden is een losse mechanische afzuigkap, waarbij de lucht direct naar buiten wordt afgevoerd; zo'n kap heeft een veel betere werking en zorgt er voor dat de betreffende luchtkanalen en de centrale ventilatie-unit minder vervuilen. Tijdens het gebruik van deze afzuigkap moet er wel extra buitenlucht toegevoerd worden, informeer bewoners hierover;
- Zorg voor een eenvoudig verloop en een zo kort mogelijk stelsel van de kanalen. Hoe minder weerstand, des te lager het energieverbruik en de geluidproductie (zie paragraaf 6.2);
- Leg de maximale toelaatbare luchtsnelheid in de kanalen en geluidproductie van het ventilatiesysteem vast in het technisch ontwerp (het bestek) (zie paragraaf 6.2);
- Neem het maximaal te installeren vermogen van de ventilator(en) per woning op in het technisch ontwerp, zeker bij collectieve installaties;
- Zie voor de plaats van de dakafvoer NEN 1087 [133] en NPR 1088 [154];
- Breng zowel in de keuken als in of nabij de badkamer een schakelaar voor de ventilatie aan; voorzie die van de badkamer met een 'timer'. Hiermee kan de ventilatie door bewoners voor een bepaalde periode in de hoge stand worden gezet waarna de ventilatie automatisch terugkeert in de oude stand;
- Plaats afzuigventielen i.v.m. voorkomen van vervuiling van langsstrijkende lucht en i.v.m. de mogelijkheid van metingen (bijv. voor het inregelen) ten minste 50 mm. vanaf de hoek tussen wand(en) of plafond [141]. Plaatsing van meetapparatuur is dan mogelijk;
- Gebruik bij instelbare afzuigventielen ventielen met borging zodat na reiniging (door bewoners) de instelling van de ventielen niet gewijzigd is;
- Wanneer er luchtverdeelkasten worden gebruikt, kunnen er niet-instelbare ventielen worden toegepast; zie de toelichting bij afbeelding 6.4;
- Let vooral op een zorgvuldige uitvoering van:
 - De aansluiting van de elektrische regeling;
 - De inregeling van de luchthoeveelheden; een rapportage bij oplevering is sterk aan te raden (bijv. via Ventilatie-Prestatiekeuring (VPK) volgens de [BRL 8010](#) [151]).
- Plaats CO₂-sensoren in zowel de woonkamer als de slaapkamers ten behoeve van een goede luchtkwaliteit;
- Zorg voor een duidelijke instructie voor de bewoners: mondeling en schriftelijk, bijvoorbeeld in een bewonershandsboek en in stickervorm (bij de bedieningsknop en op de ventilatie-eenheid).

Gestapelde bouw

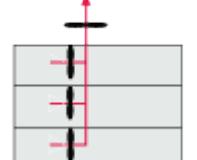
In de gestapelde bouw is er een keuze tussen:

- Individueel systeem per woning, zie hierboven; praktisch gezien alleen mogelijk bij gestapelde bouw tot zo'n 4 à 5 bouwlagen; bij meer lagen nemen de afvoerkanalen erg veel ruimte in beslag;
- Een collectief systeem, zie hierna.

Collectief systeem

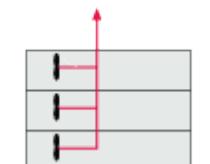
Hierbij is er een keuze tussen een eigen ventilatie-unit per woning en een centrale afzuiging door middel van een op het dak geplaatste ventilator, of een combinatie van beide. In alle gevallen wordt de lucht via één centraal afvoerkanaal naar het dak afgevoerd:

- Eén collectieve dakventilator en per woning een ventilator-unit; dit systeem werkt zeer goed en is zeer goed regelbaar. De dakventilator zorgt constant voor een lichte onderdruk in het collectieve kanaal. Terugstroming wordt zo voorkomen; eventueel als extra veiligheid terugslagklep toepassen. Kans op een hoger energieverbruik dan de volgende 2 varianten.



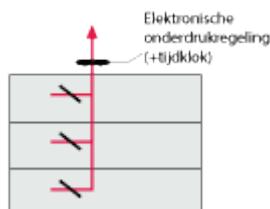
Afb. 6.15 Principe voor collectief systeem met een collectieve en een individuele ventilator

- Per woning een ventilator-unit en een speciale afvoerkap op het collectieve kanaal. Eenvoudiger dan het voorgaande systeem. Kans op ongewenste damp- en geurspreiding wanneer een bewoner de ventilator uitzet. Daarom is per woning een terugslagklep gewenst.



Afb. 6.16 Principe voor collectief systeem met individuele ventilatoren

- Eén collectieve dakventilator plus elektronische onderdrukregeling en per woning een regeling met kleppen. Eventueel een tijdklokregeling op de dakventilator om energie te besparen; dit kan alleen bij speciale bestemmingen zoals bijv. een verzorgingshuis. Een goed systeem met kans op een relatief laag energieverbruik.

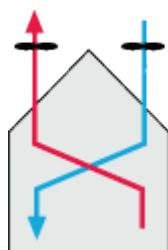


Afb. 6.17 Principe voor collectief systeem met een collectieve ventilator plus onderdrukregeling en kleppen per woning

Aandachtspunten:

- Voldoende geluiddempende voorzieningen tegen overspraak en geluidhinder door ventilatoren;
- Geen mechanische afzuigkappen aansluiten op het collectieve systeem;
- Noodzakelijke brandwerende voorzieningen bij de aansluiting op collectieve kanalen.

6.6 Gebalanceerde ventilatie met WTW (systeem D)



Afb. 6.18 Principe systeem D

Karakteristiek

- De ventilatie vindt plaats met behulp van twee elektrische ventilatoren in de centrale ventilatie-unit: de ene is voor de toevoer en de andere voor de afvoer van ventilatielucht. Er zijn twee luchtkanalensels door de woning: de ene voor de toevoer, de andere voor de afvoer;
- De hoeveelheid toe- en afvoerlucht is in principe gelijk (in balans); naast 'gebalanceerde ventilatie' wordt ook wel de term 'balansventilatie' gebruikt;
- Er vindt warmteterugwinning (WTW) plaats uit de afvoerlucht; deze warmte wordt overgedragen op de verse toevoerlucht van buiten; de warmteterugwinning vindt vrijwel altijd plaats in de ventilatie-unit en wordt dan vaak aangeduid met WTW-unit;
- Mechanische toevoer vindt plaats naar tenminste de woonkamer en slaapkamers;
- Via overstroomvoorzieningen (spleten onder binnendeuren of roosters, zie paragraaf 6.2.2) wordt de lucht van de ene naar de andere ruimte getransporteerd;
- Mechanische afvoer via het tweede kanalenstelsel. Het direct afzuigen via afzuigventielen vindt plaats tenminste vanuit keuken, badkamer(s) en wc('s). Aanbevolen wordt dat ook te doen vanuit een inpandige berging en opstelruimte voor wasmachine en/of wasdroger [148];
- Drie ventilatiestanden zijn gebruikelijk, de bediening vindt plaats met een driestandenschakelaar in minimaal de keuken; er zijn ook ventilatie-units met vier standen verkrijgbaar. Regelmäßig worden ook twee schakelaars aangebracht: één in de keuken en één in of bij de badkamer; dit is zeker aan te bevelen omdat hierdoor bewoners gestimuleerd worden beter te ventileren;
- Vanuit het oogpunt van energiebesparing wordt dit systeem vaak uitgevoerd met CO₂-sensoren die meten of er mensen in de woning aanwezig zijn. Bij afwezigheid van mensen schakelt het ventilatiesysteem automatisch naar een laagstand. Dit is gunstig voor het energieverbruik van de woning. Het is daarbij wel noodzakelijk om CO₂-sensoren te plaatsen in de woonkamer en in alle slaapvertrekken.

De warmteterugwinning vindt plaats in een z.g. warmtewisselaar. Er zijn meerdere typen verkrijgbaar. Het meest toegepaste is de tegenstroomwisselaar die een rendement heeft van circa 90%; dit is hoog, vandaar de aanduiding HR-WTW. NTA 8800 hanteert als forfaitaire waarde 0,75 voor een aluminium en 0,80 voor een kunststof tegenstroomwisselaar. De norm hanteert een praktijkprestatiefactor (correctie) van ≤ 0,9 om het forfaitaire of het laboratorium rendement (volgens opgave fabrikant) te corrigeren naar het praktijkrendement. Dit in verband met o.a. onbalans, lucht- of warmtelekken en condensvorming. Bij een tegenstroomwisselaar lopen de toe- en afvoerlucht in tegengestelde richting in kleine kanaaltjes. Elk kanaaltje wordt omgeven door kanaaltjes waarin de luchtstroming tegengesteld is. Door het hoge rendement, wordt de buitenlucht zodanig opgewarmd dat de kans op tocht gering is. Naverwarming is niet nodig.

Bij de WTW-unit kan een verwarming- en koelingsysteem worden toegevoegd. Vanwege de geringe luchthoeveelheden is de maximale verwarmings- en koelcapaciteit beperkt. Het koelen wordt sterk afgeraden vanwege het relatief hoge energieverbruik.

WTW-units zijn voorzien van een automatische vorstbeveiliging. Bij strenge vorst zou zonder beveiliging de afvoerlucht (met relatief veel vocht) in de unit kunnen bevriezen zodat de afvoer van ventilatielucht geheel geblokkeerd wordt. Bij de meeste systemen wordt tijdelijk de toevoer van buitenlucht verminderd (of in het uiterste geval zelfs stopgezet) zodat de afvoerlucht minder afkoelt en daardoor niet bevriest. Er ontstaat wel (enige) onbalans in toe- en afvoer. Een andere mogelijkheid is om met enige regelmaat warme afvoerlucht te mengen met de koude toevoerlucht. Hierdoor wordt deze warmer en zal ook de afvoerlucht minder afkoelen zodat de unit niet zal dichtvriezen.

Gebalanceerde ventilatie met WTW wordt, evenals systeem C, vaak in nieuwbouw toegepast, vooral met het oog op energiebesparing (gunstig voor de energieprestatieberekening) tegen relatief lage kosten. Ook kan het systeem comfortabel zijn. Voorwaarde is dat het ontwerp en de uitvoering voldoende aandacht krijgen. In de huidige bouwpraktijk blijkt dat nog lang niet altijd het geval te zijn [125], [126] en [131]. De brochure '[Balansventilatie met WTW in de woningbouw – Sleutels tot succes](#)' [132] geeft tal van concrete aanbevelingen om een goed gebalanceerd ventilatiesysteem te realiseren.

Ook bij dit ventilatiesysteem zijn spuivoorzieningen vereist (zie paragraaf 6.2.1)!

Bewoners moeten goed geïnformeerd worden over het gebruik en onderhoud (regelmatig filters schoonmaken of vervangen!). Zorg voor een duidelijke voorlichting naar bewoners (en beheerders), zowel mondeling als schriftelijk.

Voordelen

- Een goed beheersbare ventilatie, mits zorgvuldig ontworpen, uitgevoerd en onderhouden;
- Comfortabel door de voorverwarming van de verse buitenlucht door de WTW;
- Energiebespaard door de WTW, mits de woning een zeer goede luchtdichting (klasse 2) heeft;
- Maakt bij gevels met hoge geluidsbelasting, door bijvoorbeeld verkeerslawaai, suskasten overbodig (zie paragraaf 6.4);
- De aanvoer van mogelijk verontreinigde lucht van buiten kan worden beperkt door de aanvoer van buitenlucht op de meest schone locatie te plaatsen en door de toepassing van filters (zie paragraaf 6.1.2).

Nadelen

- Mogelijk geluidhinder van de toevoer- of afvoerlucht of WTW-unit bij onvoldoende zorg bij ontwerp en uitvoering.
Besteed veel aandacht aan het voorkomen van geluidhinder (luchtgeluid, contactgeluid):
 - Neem geluidwerende maatregelen in het kanalenstelsel (zie paragraaf 6.2.2 en 6.2.3);
 - Voorkom contactgeluid, bevestig de unit trillingsvrij volgens voorschrift van de fabrikant (bijv. met behulp van rubbers);
 - Bevestig bij wandmontage de unit op (binnen)wanden met een massa van minimaal 200 kg/m² (de gebruikelijke binnenwanden voldoen dus niet) of neem aanvullende maatregelen (bijv. verstijving door extra beplating);
 - Bevestig bij vloermontage de unit op een vloer met een massa van minimaal 200 kg/m² (bij collectief systeem tenminste 400 kg/m²);
 - Kies de plek van de unit zorgvuldig, bij voorkeur in een afgesloten ruimte (dus niet op overloop of nabij trapgat);
 - Voorkom overspraak via de doorvoer van kanalen tussen twee (gelidgevoelige) vertrekken, dicht de naden om de kanalen goed af.
- Regelmatig onderhoud (door bewoners) van de filters noodzakelijk;
- Door de WTW eerder kans op te warme slaapkamers (dan bij de andere ventilatiesystemen);
- Energieverbruik voor de ventilatoren (gebruik altijd gelijkstroomventilatoren ter beperking van het energieverbruik);
- De aanleg van een goed werkend systeem vraagt extra kennis en aandacht van de installateur, aannemer en architect;
- Zeer goede luchtdichtheid van de woningschil noodzakelijk: klasse 2 uit NEN 2687 [101] en klasse 3 bij passiehuizen (zie ook paragraaf 5.1);
- Minder flexibiliteit in de ruimtelijke indeling bij wijzigingen i.v.m. het kanalenstelsel;
- Goede voorlichting bewoners maakt slaagkans gebruik van het ventilatiesysteem groter. Hierdoor zullen er geen stekkers uitgetrokken worden.

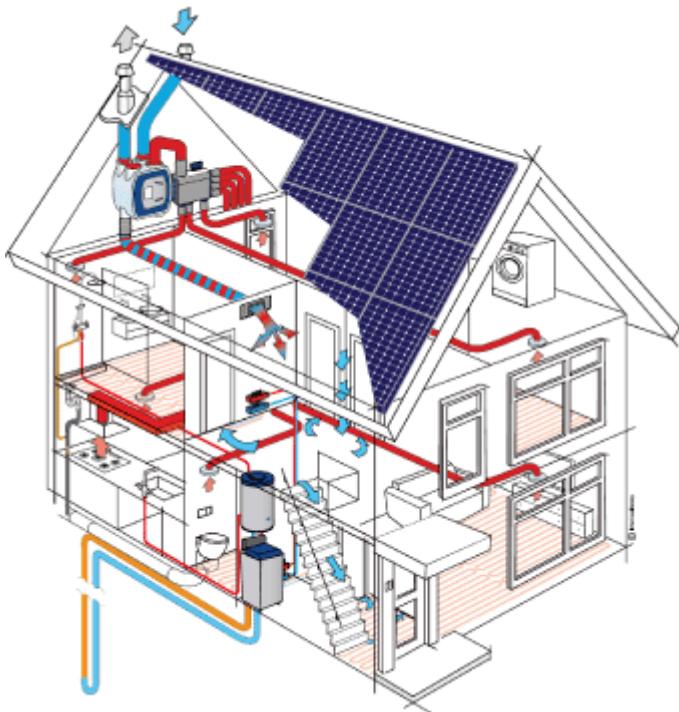
Varianten

Er zijn enkele varianten van gebalanceerde ventilatie mogelijk:

- Vraaggestuurde regeling: sturing op luchtkwaliteit (bijv. CO₂-gehalte of luchtvochtigheid) of tijdsturing via de centrale ventilatie-unit. Met dergelijke regelingen wordt een optimale ventilatie bereikt, afgestemd op de vraag, zie verder paragraaf 6.10;
- Centraal gebalanceerd systeem met WTW waarbij de toevoerlucht (na opwarming in de WTW-unit) op de overloop of in de centrale hal wordt ingeblazen (afbeelding 6.19). De verse lucht wordt vervolgens verspreid over de diverse ruimten, al naar gelang de behoefte en daar afgezogen (dus per ruimte). De ventilatiebehoefte wordt bepaald door meting van de luchtkwaliteit in de afvoerlucht. Er is een systeem op de markt (met gelijkwaardigheids-verklaring voor het Bouwbesluit) waarbij deze metingen centraal (in een luchtverdeelkast) plaatsvinden, maar wel per ruimte: de afvoerlucht van elke ruimte wordt om de beurt gemeten.

Voordelen (t.o.v. 'normale' gebalanceerde ventilatie met WTW):

- Er zijn geen toevoerkanalen naar de diverse ruimten, de lucht kan dus niet vervuild raken door vervuilde kanalen; wèl wordt de verse toevoerlucht al gemengd met binnenlucht voordat het aan de diverse ruimten is toegevoerd wat volgens het Bouwbesluit niet mag (50% van de toevoerlucht moet direct van buiten komen); Daarom is genoemde gelijkwaardigheids-verklaring noodzakelijk;
- Energiezuinig;
- Minder kans op tocht;
- Geen regelbare afzuigventielen nodig (kunnen dus niet ontregeld worden).



Afb. 6.19 Een variant op het standaard ventilatiesysteem D in een woningconcept met een zeer laag energieverbruik door o.a. een warmtepompssysteem met bodemwarmtewisselaar, PV-panelen en het vraaggestuurde ventilatiesysteem. De toevoerlucht wordt na opwarming in de WTW-unit op de overloop of in de centrale hal ingeblazen. De verse lucht wordt vervolgens verspreid over de diverse ruimten, al naar gelang de behoefte per ruimte, en daar afgezogen (Bron: Itho Daalderop)

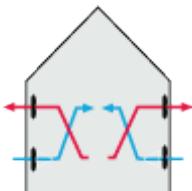
- Decentraal systeem voor (lokale) gebalanceerde ventilatie met WTW: één of meer ruimten is voorzien van een gevel-ventilatie-unit met WTW; de overige ruimten worden voorzien van gevelroosters voor de toevoerlucht. Er is een apart mechanisch afvoersysteem nodig voor keuken, badkamer(s) en wc('s). De ventilatie-unit met WTW is verkrijgbaar als zelfstandige unit en gecombineerd met een radiator.

Voordelen (t.o.v. 'normale' gebalanceerde ventilatie met WTW):

- Geen kanalenstelsel voor de toe- en afvoerlucht nodig (wel voor de mechanische afzuiging elders);
- Inzichtelijk systeem voor bewoners;
- Geen overstroomvoorziening nodig tussen de ruimten met gebalanceerde ventilatie en de rest van de woning; dus minder kans op overspraak.

Nadelen (t.o.v. 'normale' gebalanceerde ventilatie met WTW):

- Energieverbruik van extra ventilatoren;
- Meer kans op geluidshinder van de ventilatie-unit omdat deze in de ruimte zelf aangebracht is.



Afb. 6.20 Principe decentrale gebalanceerde ventilatie met WTW

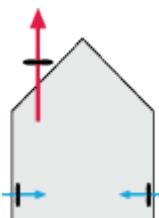
- Systeem met decentrale toevoer en centrale afvoer. De ventilatoren worden onderling gelijktijdig aangestuurd waardoor er gebalanceerde ventilatie mogelijk is. De toevoer kan plaatsvinden in aparte gevel-units, maar ook gecombineerd zijn met een radiator of convector. Er is geen voorverwarming van de toevoerlucht door WTW.

Voordelen (t.o.v. 'normale' gebalanceerde ventilatie met WTW):

- Geen kanalenstelsel voor de toevoerlucht nodig;
- 'Koelere' slaapkamers (er is geen WTW).

Nadelen (t.o.v. 'normale' gebalanceerde ventilatie met WTW):

- Energieverbruik van extra ventilatoren;
- Geen WTW; wel is de warmte te gebruiken voor een warmtepompboiler;
- Meer kans op geluidshinder van de ventilatie-unit omdat deze in de ruimte zelf aangebracht is.



Afb. 6.21

Principe gebalanceerde ventilatie met decentrale toevoer en centrale afvoer

Aanbevelingen/aandachtspunten systeem D

- Pas bij voorkeur geen motorloze afzuigkap in de keuken toe; zo'n kap heeft weinig extra effect;
- Aan te raden is een losse mechanische afzuigkap, waarbij de lucht direct naar buiten wordt afgevoerd; zo'n kap heeft een veel betere werking door een veel grotere capaciteit en zorgt er voor dat de betreffende luchtkanalen en de centrale ventilatie-unit minder vervuilen. Tijdens het gebruik van deze afzuigkap moet er wel extra buitenlucht toegevoerd worden, informeer bewoners hierover;
- Zorg voor een eenvoudig verloop en een zo kort mogelijk stelsel van de kanalen. Hoe minder weerstand, des te lager het energieverbruik en de geluidproductie (zie paragraaf 6.2);
- Leg de maximale toelaatbare luchtsnelheid in de kanalen en geluidproductie van het ventilatiesysteem vast in het technisch ontwerp (het bestek) (zie paragraaf 6.2);
- Neem het maximaal te installeren vermogen van de ventilatoren per woning op in het technisch ontwerp, zeker bij collectieve installaties;
- Zie voor de plaats van de dakafvoer NEN 1087 [133] en NPR 1088 [154];
- Breng zowel in de keuken als in of nabij de badkamer een schakelaar voor de ventilatie aan; voorzie die van de badkamer met een 'timer'. Hiermee kan de ventilatie door bewoners voor een bepaalde periode in de hoge stand worden gezet waarna de ventilatie automatisch terugkeert in de oude stand;
- Plaats afzuigroosters ten minste 50 mm vanaf de hoek tussen wand(en) of plafond [141]. Dit voorkomt vervuiling van langsstrijkende lucht en geeft de mogelijkheid meetapparatuur te plaatsen voor bijvoorbeeld het inregelen van de luchtdebieten;
- Gebruik bij instelbare afzuigventielen ventielen met borging zodat na reiniging (door bewoners) de instelling van de ventielen niet gewijzigd is;

- Wanneer er luchtverdeelkasten worden gebruikt, kunnen er niet-instelbare ventielen worden toegepast; zie de toelichting bij afbeelding 6.4;
- Denk aan de aansluiting voor de condensaatafvoer op het riool;
- In moderne WTW-units is een meestal automatische 'bypass' opgenomen om de aanvoer van lucht met een te hoge temperatuur (in de zomer) te voorkomen. Deze bypass leidt de toevoerlucht (deels) om de warmtewisselaar heen op momenten dat het gebruik ervan geen energievoordeel oplevert en zelfs tot temperatuuroverschrijding kan leiden, met name in de zomer, maar ook in voor- en najaar. Kies een WTW-unit met '100%-bypass' zodat bij een geopende bypassklep het koelend effect maximaal is. In zo'n WTW-unit is namelijk een tweede klep (soms aangeduid met 'faceklep') aangebracht die bij de stand 'bypass open' de warmtewisselaar afsluit zodat àlle lucht via de bypass gaat. In de energieprestatieberekening kan een (gedeeltelijke) bypass ingevoerd worden.
Informeer bewoners dat het koelend effect van zo'n bypass niet te vergelijken is met dat van een 'airco' om te hoge verwachtingen te voorkomen.
- Plaats CO₂-sensoren in zowel de woonkamer als de slaapkamers ten behoeve van een goede luchtkwaliteit;
- Let vooral op een zorgvuldige uitvoering van:
 - De aansluiting van de elektrische regeling;
 - De inregeling van de luchthoeveelheden; een rapportage bij oplevering is sterk aan te raden (bijv. via Ventilatie-Prestatiekeuring (VPK) volgens de [BRL 8010](#) [151]);
- Zorg voor een duidelijke instructie voor de bewoners: mondeling en schriftelijk, bijvoorbeeld in een bewonershandboek en in stickervorm (bij de bedieningsknop en op de ventilatie-eenheid). Vooral het schoonmaken en vervangen van de filters in de WTW-unit verdient alle aandacht (zie ook paragraaf 6.1.2): volg de instructies van de leverancier.

Aandachtspunten toevoerventielen

Een zorgvuldige keuze van het type en de plaats van de ventielen is van belang voor het comfort en de effectiviteit. Let op de volgende punten:

- Kies ventielen met een instelpunt dat geborgd kan worden om ontregeling door bewoners te voorkomen. De ventielen moeten wel demontabel zijn i.v.m. schoonmaken. Er zijn luchtverdeelkasten (afbeelding 6.4) verkrijgbaar waarbij het inregelen niet bij de ventielen, maar in die kasten plaatsvindt; daarbij horen niet-inregelbare ventielen;
- Kies de juiste inblaasventielen; er zijn vele soorten verkrijgbaar met specifieke eigenschappen;
- Let op het verschil tussen inducerende en niet- of zwak-inducerende toevoerventielen. Inducerend wil zeggen dat de toevoerlucht snel gemengd wordt met de aanwezige lucht. Hierdoor kan de toevoerlucht met een lagere temperatuur worden ingeblazen (met name van belang bij toevuor in de zomer via bypass). Inducerende ventielen geven wel sneller aanleiding tot vervuiling;
- De onderlinge afstand moet ten minste 1 meter bedragen;
- De inblaasventielen moeten aan de gevel of indien kernzijdig wordt ingeblazen in de loopzones geplaatst worden;
- De afstand tussen inblaas- en afzuigventielen moet (i.v.m. kortsluiting) ten minste 2 meter bedragen;
- I.v.m. vervuiling moeten inblaasventielen ten minste 0,30 meter uit de wand (bij plafondventielen) of uit het plafond (bij wandventielen) worden geplaatst.

Gestapelde bouw

Bij gestapelde bouw zijn er de volgende mogelijkheden:

- Individueel systeem per woning, zie hierboven; praktisch gezien alleen mogelijk bij gestapelde bouw tot zo'n 4 à 5 bouwlagen; bij meer lagen nemen de toe- en afvoerkanaal erg veel ruimte in beslag;
- Collectief systeem. Diverse varianten zijn mogelijk. Eén van de mogelijkheden is een individuele ventilatie-unit (met WTW) met toe-en afvoerlucht. De toevuor vindt plaats via de gevel en de afvoer via een collectief kanaal met een extra dakventilator. Isoleren het collectieve kanaal met

dampdichte isolatie om condens aan de buitenzijde te voorkomen. Isoleer ook de kap op het ventilatiekanaal.

6.7 Hybride ventilatie

De meest recente ontwikkelingen op het gebied van energiezuinige ventilatiesystemen laten allerlei mengvormen zien waarbij het traditionele onderscheid tussen de vier systemen A, B, C en D vervaagt.

Een voorbeeld hiervan is 'hybride' ventilatie waarbij natuurlijke ventilatie (systeem A) gecombineerd wordt met één van de vormen van mechanische ventilatie. De werking berust op het principe 'natuurlijk als het kan / mechanisch als het moet': Pas wanneer de 'natuurlijke krachten' (wind en temperatuur) het bij systeem A laten afweten om een bepaalde ventilatiecapaciteit te bewerkstelligen, treedt mechanische ondersteuning in werking. Doordat de mechanische ondersteuning slechts een deel van de tijd aan hoeft, is het elektriciteitsverbruik relatief beperkt. Er kan echter geen warmteterugwinning plaatsvinden ten behoeve van de toevoerlucht. Ten opzichte van gebalanceerde ventilatie met WTW neemt het energieverbruik iets toe.

In het Europese onderzoeksproject ReshyVent [144] is in een demonstratiewoning een voorbeeld van een hybride systeem uitgetest. De toevoer van ventilatielucht vindt in deze woning plaats via elektronische, zelfregelende roosters die gekoppeld zijn aan een centrale regel-unit. Elke ruimte is voorzien van een CO₂-sensor. Zodra de CO₂-concentratie een bepaalde waarde overschrijdt, wordt het toevoerrooster (verder) geopend. Gelijktijdig zal de regel-unit nagaan of de natuurlijke afvoer voldoende is. Is dat niet het geval, dan zal eerst de natuurlijke afvoer vergroot worden door de motorgestuurde klep in de afvoer-unit verder open te zetten. Is dat niet voldoende, dan wordt de afvoerventilator in dezelfde unit ingeschakeld. Bijzonder is dat bij stilstand van de ventilator toch (langs de ventilator) een natuurlijke afvoer mogelijk is die vergelijkbaar is met die van een normaal natuurlijk systeem.

Belangrijk is de lage luchtweerstand van het luchtafvoersysteem: dus van de afzuigventielen, van het kanalenstelsel en van de dakdoorvoer met kap; de ventielen (afbeelding 6.22) en de kap zijn speciaal hiervoor ontwikkeld. De luchtkanalen hebben een diameter van 180 mm. Het uitgeteste systeem was op de markt verkrijgbaar [145], maar is dat inmiddels niet meer.

Er zijn ook eenvoudiger systemen mogelijk dan het hierboven beschreven systeem.



Afb. 6.22 Voor hybride systemen zijn speciale producten ontwikkeld zoals een lagedruk afzuigventiel (links) en een lagedruk dakdoorvoer met kap (rechts). (Bron: voorheen Alusta (links) en Ubbink (rechts))

Een ander voorbeeld van hybride ventilatiesystemen zijn systemen waarbij in bepaalde ruimten een decentraal ventilatiesysteem wordt aangebracht (bijvoorbeeld in de leefruimten) en waarbij de rest van de woning door middel van een ander ventilatiesysteem (vaak een C-systeem) geventileerd wordt. In de

NTA 8800 hoofdstuk 11 zijn deze combinaties van ventilatiesystemen in de categorie E-systemen ondergebracht.

6.8 Zomernacht- en grondbuiskoeling (passieve koeling)

Zomernachtkoeling

Om te hoge binnentemperaturen in de zomer te voorkomen is zomernachtkoeling gewenst. De verwachting is dat het probleem van te hoge binnentemperaturen in de nabije toekomst zal toenemen. Dit als gevolg van de toename van het isolatieniveau van woningen en door klimaatveranderingen. Diverse fabrikanten van o.a. ventilatieroosters spelen in op deze ontwikkelingen en komen met specifieke producten voor zomernachtkoeling op de markt.

In de NTA 8800 hoofdstuk 11 is het mogelijk om zomernachtvoorzieningen in de berekening van de energieprestatie mee te nemen. Door zomernachtventilatievoorzieningen in een woning aan te brengen wordt de kans verkleind dat bewoners, na oplevering van de woning, alsnog een actieve koelinstallatie aanschaffen (met een bijbehorend aanzienlijk energiegebruik).

De koeling ontstaat door het (natuurlijk) ventileren met relatief koele buitenlucht met een ventilatievoud van minimaal 4x per uur; dit is dus veel hoger dan de maximale ventilatie-eisen uit het Bouwbesluit van maximaal zo'n 1x per uur. De normale ventilatievoorzieningen zijn dus bij lange na niet voldoende. In principe zijn de spuivoorzieningen (openstaande deuren, ramen en luiken) dat wel, maar die zijn (zeer) inbraakgevoelig. De koeling zal vooral 's nachts effectief zijn. Maar ook 's ochtends, wanneer de buitenlucht nog koeler is dan binnen, is de koeling te gebruiken.

De voorzieningen voor zomernachtkoeling bestaan uit te openen delen in gevels en eventueel het dak. Ze moeten inbraak- en regeninslagvrij zijn en voorzien van warmte-isolatie (afbeelding 6.23). Ze moeten dwarsventilatie en thermische trek ('schoorsteenwerking') mogelijk maken en moeten daarom bij voorkeur op verschillende verdiepingen en in tegenover elkaar liggende gevels en/of dak zijn aangebracht. Binnen de woning moeten voldoende overstroomvoorzieningen zijn, bijvoorbeeld openstaande binnendeuren of roosters. De voorzieningen moeten op een zodanige plek worden aangebracht dat bewoners tijdens het slapen geen hinder ondervinden van tocht.

De benodigde afmetingen van de voorzieningen zijn aanzienlijk en daarmee moet bij het (gevel)ontwerp nadrukkelijk rekening worden gehouden. In [63] staat een rekenvoorbeeld uitgewerkt voor een woonkamer van 40 m². Wanneer gebruik wordt gemaakt van thermische trek is een voorziening in de gevel en het dak nodig van elk circa 0,60 m² (bijv. 0,3 x 2,0 meter). Hierbij is rekening gehouden met 50% doorlaat van de voorziening als gevolg van bijv. een rooster.



Afb. 6.23 Voorbeeld van een voorziening voor zomernachtkoeling in een woning te Zeist. In de gevel van de woonkamer zijn 2 inbraakvrije ventilatieroosters ($2 \times 0,25 \times 2 \text{ m} = 1 \text{ m}^2$) met een isolatieluik aangebracht; een dakraam zorgt voor een goede natuurlijke trek. (Betrokken partijen: Architect ii studio, realisatie Ettekoven Aannemer & interieurbouwer, advies BOOM-SI; realisatie 2009. Foto's: Joost Ettekoven)

Grondbuiskoeling (en voorverwarming)

Koeling (en voorverwarming) via een grondbuis of grond-luchtcollector is in ons land een vrij onbekend systeem. Wel zijn er specifieke producten voor verkrijgbaar en is het systeem in een aantal woningen toegepast [146] en [147]. Berekeningen, voorlopige metingen en meetresultaten uit het buitenland laten gunstige resultaten zien.

Het systeem werkt eenvoudig: Verse toevoerlucht wordt via een buis, die 1 à 1,5 meter is ingegraven, aangezogen en 's zomers in de woning gebruikt als koele ventilatielucht. Uit berekeningen van een demonstratieproject in Nijeveen [146] blijkt dat de temperatuur uit de grondbuis wel 10°C koeler kan zijn dan de maximale buitenluchttemperatuur op een warme dag. In dat project heeft de buis een lengte van 20 meter en is gekoppeld aan een gebalanceerd ventilatiesysteem. 's Winters verwarmt de grondbuis juist de verse toevoerlucht. Grondbuiskoeling (en voorverwarming) kan bij alle ventilatiesystemen (A, B, C en D) worden toegepast. Bij B en D, met centrale luchttoevoer, is het voordeel dat de koele lucht via het al aanwezige kanalenstelsel door de woning mechanisch verspreid kan worden.

Enige praktische aandachtspunten:

- Kies een goede plek voor de luchttoevoeropening buiten (koele plek, schone lucht);
- Voorzie de grondbuis van een condensaataafvoer en de toevoeropening van een groffilter;
- Maak het systeem zó dat het schoon te maken is en maak de luchtweerstand zo klein mogelijk;
- Overweeg het toepassen van een thermostatische regeling zodat de toevoer via de grondbuis 's nachts stil gezet kan worden wanneer de koelte niet nodig is; de grondbuis met omliggende bodem kan dan regenereren.

6.9 Bediening en regelingen

De volgende bediening en regelingen worden toegepast:

Handmatige bediening toevoer(roosters)

De toevoer via natuurlijke ventilatie(roosters) vindt handmatig plaats. Naast de nulstand (0%) en de geheel open stand (100%), moeten de toevoeropeningen regelbaar zijn in het gebied van 0% tot 30% (zie Bouwbesluit 2012 art. 3.31) van de vereiste capaciteit. Binnen die 0 tot 30% moeten er tenminste 3 standen zijn waarvan de laagste maximaal 10% van de capaciteit moet zijn. Een bediening met de standen 10%, 20% en 30% voldoet dus. Een traploze bediening voldoet natuurlijk ook. Aanbevolen wordt om de toevoer op maximaal 1,5 m boven de vloer bedienbaar te laten zijn. De toegevoerde luchtstroom mag in de leefzone een snelheid hebben van max. 0,2 m/s volgens NEN 1087, zie verder paragraaf 6.2.3.

Meerstandenschakelaar

De moderne meerstandenschakelaar heeft tenminste drie ventilatiestanden: hoog, midden en laag. Deze schakelaar is gebruikelijk voor centrale mechanische toe- en/of afvoersystemen en wordt standaard in de keuken aangebracht. Het is aan te bevelen om ook bij de badkamer een schakelaar (met timer) aan te brengen:

- Verhoging comfort door verbetering van de ventilatie; de hoge stand zal vaker gebruikt worden dan zonder extra schakelaar;
- Voorkomt onnodig gebruik van de hoge stand.

Er zijn ook schakelaars met vier standen verkrijgbaar waarbij de vierde stand bijvoorbeeld is bedoeld voor zeer geringe ventilatie bij langdurige afwezigheid (bijv. bij vakantie).

Verkrijgbaar zijn meerstandenschakelaars met een ledje dat aangeeft wanneer de filters van een WTW-unit gereinigd of vervangen moeten worden; dergelijke schakelaars zijn sterk aan te raden. Duidelijk informatie over de betekenis van zo'n ledje is wel vereist. Heldere iconen zouden hierbij van nut kunnen zijn.

Vraaggestuurde regelingen

Bij een vraaggestuurde regeling is de ventilatie afhankelijk van de daadwerkelijke behoefte aan ventilatie op een bepaald moment. Meestal gebeurt dat met behulp van CO₂-sensoren. De kwaliteit van de binnenlucht wordt gerelateerd aan de concentratie CO₂. Dit gas wordt als maatstaf genomen omdat het in vergelijking met andere stoffen in de binnenlucht gemakkelijk te meten is. Zodra de concentratie te hoog dreigt te worden, wordt de ventilatie opgevoerd. Het toepassen van een vraaggestuurde regeling heeft een gunstig effect op de energieprestatieberekening.

Uit onderzoek [127] blijkt dat de plek van de sensoren erg bepalend is voor het effect op de ventilatie per vertrek: de sensoren hebben namelijk vooral effect wanneer ze de lucht in of van een bepaald vertrek meten en invloed hebben op de daadwerkelijke ventilatie van dat vertrek, bijvoorbeeld door het aansturen van een klep in de mechanische afvoer van dat vertrek. Alleen een sensor voor het meten van de luchtkwaliteit van de afvoerlucht bij de ventilatie-unit heeft meestal weinig effect.

Er zijn allerlei regelsystemen verkrijgbaar zoals voor ventilatiesysteem C waarbij de toevoer plaats vindt via elektronische, zelfregelende roosters (boven ramen) die gekoppeld zijn aan een centrale regel-unit. Elke ruimte is voorzien van een CO₂-sensor. Zodra de CO₂-concentratie in een bepaalde ruimte een bepaalde waarde overschrijdt, wordt het toevoerrooster in die ruimte (verder) geopend. Gelijktijdig zal de regel-unit nagaan of de centrale afvoer voldoende is. Is dat niet het geval, dan gaat de afvoerventilator in een hogere stand. Daalt de concentratie, dan gaat het toevoerrooster weer minder ver open en de afvoerventilator in een lagere stand.

Voor gebalanceerde ventilatie (systeem D) is bijvoorbeeld een regelsysteem verkrijgbaar waarbij de woon- en slaapzone elk voorzien zijn van een CO₂-sensor. Hierdoor kan bijv. 's nachts de ventilatie in de woonkamer tot een minimum beperkt worden terwijl in de slaapzone de ventilatie juist wordt verhoogd zodat de totale ventilatiehoeveelheid hetzelfde blijft.

Een systeem met CO₂-meting kan gecombineerd worden met RV-sensoren in de badkamer en keuken.

Deze sensoren meten de relatieve vochtigheid (RV). Zo'n gecombineerd systeem levert de beste luchtkwaliteit en de meeste energiebesparing op in vergelijking met de andere regelingen.

Alle systemen zijn met de hand tijdelijk bij te sturen. Verder blijft er altijd een minimale hoeveelheid ventilatie in stand, ook als er geen vraag is via de sensoren.

Tijdsturing

Bij een tijdsturing wordt via een centrale regel-unit per vertrek een vooraf ingestelde hoeveelheid ventilatie toe- en/of afgevoerd. De ventilatie is gebaseerd op een verwachte aanwezigheid van één of meerdere personen in dat vertrek gedurende een bepaalde periode. Verder wordt er altijd een minimale hoeveelheid geactiveerd. Het ventilatiesysteem is altijd met de hand tijdelijk bij te sturen.

Sturing op afstand

Sturing van een centrale regel-unit op afstand via pc, tablet of smartphone behoort soms tot de mogelijkheden.

Aandachtspunten

- Vergeet niet om overstromingsoorzaken aan te leggen die bijv. bij centrale afzuiging via hal en sanitair ruimten nodig zijn: spleten onder deuren en/of roosters in binnendeuren of binnenwanden (paragraaf 6.2.2). De overstromingsoorzaken behoeven niet regelbaar te zijn. Informeer bewoners over de aanwezigheid en de noodzaak van deze openingen;
- Bij calamiteiten moeten ventilatiesystemen uitgezet kunnen worden, bijv. door een stekker van een ventilatie-unit uit het stopcontact te trekken of door de betreffende elektriciteitsgroep uit te schakelen. Bewoners (en beheerders) moeten hierover duidelijk geïnformeerd worden.

7 Ruimteverwarming

Dit hoofdstuk beschrijft de meest gangbare verwarmingssystemen, zowel individuele als collectieve. Naast de systemen komt ook de integratie van de installaties in het bouwkundig ontwerp aan bod. Ook de onderlinge afstemming van de installaties voor ruimteverwarming met die voor ventilatie en tapwaterverwarming krijgt hierbij aandacht.

Speciale aandacht besteden we aan lage temperatuursystemen (LT-systemen) zoals vloerverwarming. Deze systemen zijn tegenwoordig niet meer weg te denken in de huidige markt om energie te besparen, comfort te verhogen en de mogelijkheden voor duurzame energie te vergroten. LT-systemen zijn onderdeel van toekomstbestendig bouwen.

In de checklist hieronder staan de belangrijkste criteria voor de keuze van de installaties voor ruimteverwarming.

Deelchecklist Ruimteverwarming

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Stel het gewenste wintercomfort vast: constante temperatuur in het gehele huis gedurende het hele etmaal of variabel naar tijd en plaats in het huis (paragrafen 5.3, 7.1 en 7.2.3);
- Let op de oriëntatie van de ramen. Ramen op zuid hebben de beste passieve zon opbrengst. Denk aan voldoende zonwering, ook op oost- en westgevels (paragraaf 4.2);
- Overweeg de koppeling van woningen met utiliteitsgebouwen. Deze hebben vaak een overschot aan warmte (paragraaf 7.2);
- Controleer of diepe geothermie (direct benutbare aardwarmte) een optie is (paragraaf 7.3.6);
- Controleer of warmte / koudeopslag in de bodem (WKO) mogelijk is (paragraaf 7.3.9);
- Controleer of er makkelijk te benutten restwarmte in de buurt is;
- Zoek een externe exploitant voor een collectieve installatie;
- Maak een principe keuze voor het afgiftesysteem van de ruimteverwarming (paragraaf 7.2);
- Maak principe keuze voor een collectief of individueel verwarmingssysteem (paragraaf 7.4);
- Maak keuze voor centrale of lokale verwarming;
- Bij verwarming met hout of andere biomassa hoort ook de opslag en logistiek van aanvoer: 1 m³ hout ≈ 80 m³ gas. Ook de schoorsteen stelt speciale eisen. Er is een aparte verbrandingsluchttoevoer nodig.

Structuurontwerp/Voorontwerp

- Kies de raamafmetingen afhankelijk van de richting op de zon (paragraaf 4.2.1);
- Maak keuze voor de warmte-opwekking: HR ketel, HRe ketel (microWWK), warmtepomp, biomassa ketel, stadsverwarming, zonnecombi, gashaard; combinatie met tapwaterverwarming (paragraaf 7.3);
- Bij een warmtepomp hoort een laag temperatuurafgiftesysteem (paragraaf 7.3.3);
- Bij een zonneverwarming hoort een laag temperatuurafgiftesysteem (paragraaf 7.3.5);
- Bij luchtverwarming wordt meestal centraal ingeblazen, plan de leidingkoker daarop (paragraaf 7.2.4);
- Kies een zo efficiënt mogelijke bron voor een warmtepomp: grondwater of de bodem (paragraaf 7.3.3);
- Controleer of regeneratie van de bron van een warmtepomp nodig is;
- Reserveer indien voor een warmtepomp gekozen wordt, voldoende ruimte waar geluid en trillingen geen kwaad kunnen. In grondgebonden woningen is dat veelal op de begane grond;
- Ontwerp bij collectieve systemen de verbruiksmeting per woning (paragraaf 7.4.2);
- Kies bij combitoestellen altijd voor een toestel met het NZ-label (naverwarming zonneboiler) (paragraaf 7.3.2);
- De opstelplaats voor een combitoestel wordt bepaald door de afstand tot de tappunten. Maak deze zo klein mogelijk (paragraaf 7.3.2);
- Beoordeel of warmteverliezen naar aangrenzende ruimten gewenst of ongewenst zijn en isoleer

- zo nodig de scheidingsconstructie (paragraaf 5.1.4);
- Neem isolatie op in de vloerconstructie van appartementen. Bijvoorbeeld een zwevende dekvloer. Dat is ook gunstig voor de geluidsisolatie (paragraaf 5.1.4);
- Keuze voor type vloerverwarming: nat of droog systeem, geïsoleerd of direct op de vloer (paragraaf 7.2.3).

Definitief ontwerp/Technisch ontwerp

- Maak de definitieve keuze voor het afgiftesysteem (paragraaf 7.2);
- Maak een dynamische (uurlijkse) controleberekening van de warmtebehoefte en het vermogen van de warmte-opwekker. Houd daarbij rekening met de luchtdichtheid en warmtelekken;
- Controleer of het laagste vermogen van de opwekker kleiner is dan wat nodig is bij de gemiddelde buitentemperatuur. Zo nee, ontwerp dan een buffercapaciteit bijvoorbeeld in het afgiftesysteem (vloer of wand) om 'pendelen' te voorkomen;
- Neem bij vloer- of wandverwarming een pompregeling op in het bestek (paragraaf 7.2.6);
- Let bij de keuze van een opwekker ook op het hulpelektriciteitsverbruik. De verschillen zijn aanzienlijk;
- Als een combitoestel wordt gekozen, let dan ook op het vermogen en het rendement bij tapwaterverwarming. De tapwaterverwarming kan dan vaak de doorslag geven (paragraaf 7.3.2);
- Werk het bodemsysteem voor een warmte-/koudeopslag uit, inclusief de ontwerpberekeningen op koelvermogen en de capaciteit gedurende 10 jaar (paragraaf 7.3.3);
- Controleer de opstelplaats van een warmtepomp op afmeting, geluid en trillingen;
- Zorg bij collectieve WKK-installatie voor benutting van de warmte uit de omkasting en neem een extra rookgascondensor op;
- Reserveer ruimte voor de verdelers en verzamelaars voor een vloer- of wandverwarming. Deze moet hoger staan dan de leidingen i.v.m. de mogelijkheid tot ontluchting (paragraaf 7.2.6);
- Kies bij luchtverwarming voor een systeem zonder recirculatie (paragraaf 7.2.4);
- Kies het aantal zones voor een luchtverwarmingssysteem afhankelijk van de regelbaarheid (paragraaf 7.2.4);
- Ontwerp het kanalensysteem bij luchtverwarming zó dat reiniging mogelijk is;
- Dimensioneer luchtkanalen op een maximale luchtsnelheid van 3 m/s;
- Neem uitstekende leidingisolatie op in het ontwerp;
- Ontwerp het regelsysteem, denk hierbij aan de combinatie met koeling en de traagheid van wand- en vloerverwarming. Regeling per vertrek is noodzakelijk en moet in datzelfde vertrek makkelijk te bedienen zijn. Let ook op het elektriciteitsverbruik van de regeling (paragraaf 7.2.6).

Uitvoering/gebruik/exploitatie

- Zorg dat convectoren bereikbaar zijn om ze schoon te maken (paragraaf 7.2.2);
- Zorg dat luchtkanalen bereikbaar zijn om ze schoon te maken.
- Controleer het legpatroon van vloer- of wandverwarming (paragraaf 7.2.3);
- Controleer de opstelling van een warmtepomp op geluid en trillingen;
- Controleer de bronpompen van een warmtepompsysteem op elektriciteitsverbruik;
- Laat het distributiesysteem inregelen en controleer de inregelstaten;
- Controleer of de pompschakelaar voor een vloer- of wandverwarming is aangesloten;
- Controleer het type inblaasroosters bij luchtverwarming (paragraaf 7.2.4);
- Isoleer alle leidingen volledig voor zover ze niet in dezelfde ruimte liggen als het afgifte-element dat ze van warmte voorzien;
- Controleer de warmte-isolatie van opslagvaten inclusief alle aansluitende leidingen;
- Controleer de capaciteit van een warmte/koude opslagsysteem en zorg voor de garantie;
- Ontlucht de installatie zorgvuldig. Vloer- of wandverwarming moet per lus ontluft worden (paragraaf 7.2.3)
- Maak een goede gebruikersinstructie volgens ISSO/Uneto-VNI [169]. Geef aandacht aan o.a. het energiebesparende effect van nachtverlaging (paragraaf 7.1);

- Let op de keuze van vloerbedekking bij vloerverwarming (paragraaf 7.2.3);
- Laat een open bron jaarlijks door een ter zake kundig bedrijf controleren, ook i.v.m. de garantie;
- Geef warmte-opwekkers een onderhoudsbeurt met een termijn volgens opgave fabrikant (paragraaf 7.2.2);
- Vang de warme luchtstroom van radiatoren en convectoren niet op tussen het raam en gordijnen (zie afbeelding 7.5).

7.1 Verwarmingsvraag

Het energieverbruik van de woning wordt bepaald door:

- comfortbehoefte van de personen;
- Warmteverlies door transmissie, ventilatie en infiltratie;
- Warmtebijdrage door interne warmtebronnen en de zon.

Comfortbehoefte van personen

Het thermisch comfort van een persoon wordt, in combinatie met zijn kleding en zijn metabolisme (mate van activiteit), bepaald door:

- Luchttemperatuur;
- Stralingstemperatuur;
- Relatieve luchtvochtigheid;
- Luchtsnelheid.

Verschillende mensen stellen verschillende comforteisen. In een woning gaat het niet om het comfort van de gemiddelde mens, maar van de individuele bewoner. Dat moet dus individueel op zijn of haar eisen in te stellen zijn. De woning en het verwarmingssysteem moeten daar op een energieuwige manier aan voldoen.

Zie voor verdere uitleg en uitgangspunten voor bovenstaande factoren bijlage 1. Het verwarmings- en ventilatiesysteem bepalen in de winterperiode grotendeels deze bovenstaande factoren en dus het comfort.

Nachtverlaging

Nachtverlaging van 2 à 3 °C (een grotere daling zal niet snel optreden) heeft in de huidige zeer goed geïsoleerde woningen een energiebesparend effect van maximaal enkele procenten. Dit in tegenstelling tot in de bestaande, meestal relatief matig tot slecht geïsoleerde, bouw. Daar levert een verlaging van 3°C een besparing op van globaal 10%.

Let op: Bij trage afgiftesystemen zoals vloerverwarming en bij warmtepompsystemen (met vaak een beperkte capaciteit) kan nachtverlaging van enkele graden comfortproblemen geven omdat het opwarmen lang kan duren. Beperk daarom bij dergelijke systemen nachtverlaging tot maximaal 1 à 2 °C, zeker in een vorstperiode.

Warmteverlies

Het warmteverlies wordt bepaald door:

- Transmissie door de gebouw omhulling. Het weglaten van warmte via koudebruggen is hierin opgenomen (zie hoofdstuk 5);
- Transmissie naar buren via de woningscheidende wanden en vloeren (paragraaf 5.1.4);
- Ventilatie: de hoeveelheid verse lucht aangevoerd door het ventilatiesysteem (zie hoofdstuk 6);
- Infiltratie via naden en kieren (zie paragraaf 5.1).

Warmtebijdrage

De warmtebijdrage in een woning bestaat uit:

- Interne warmtebijdrage: de warmteafgifte van personen, verlichting, apparatuur koken e.d. binnen de woning;

- Zonnewarmte die de woning binnenkomt. De mate waarin de zon een bijdrage levert wordt bepaald door de eigenschappen, de grootte en de oriëntatie van de ramen inclusief de zonwerende maatregelen (zie hoofdstukken 4 en 5).

7.2 Afgiftesysteem

Om in het stookseizoen een comfortabele binnentemperatuur te krijgen is een verwarmingssysteem noodzakelijk. Vanwege de huidige uitstekende isolatie van nieuwbouw is slechts een beperkte capaciteit nodig voor verwarmen. In combinatie hiermee zijn er veel energiezuinige mogelijkheden.

Afgiftesystemen die hierbij horen zijn lage temperatuursystemen zoals:

- Lage temperatuur radiatoren en convectoren;
- Vloerverwarming en wandverwarming.

Omdat een huidige nieuwbouwwoning slechts weinig warmte voor ruimteverwarming vraagt, hebben CV-ketels in een groot deel van het stookseizoen meestal een te groot vermogen. Daarom is het aan te raden om een buffer te installeren, bijvoorbeeld in de vorm van vloer- of wandverwarming of een voorraadvat. De buffer voorkomt het 'pendelen' van de CV-ketel: het snel achter elkaar aan- en uitgaan van de ketel. Als alternatief voor een CV-ketel is natuurlijk ook een modulerende warmtepomp mogelijk, bij voorkeur zonder voorraadvat.

In een zeer goed geïsoleerde woning is een centraal verwarmingssysteem niet altijd noodzakelijk. Een logische keus is [59], [63], [64]:

- Beperkte vorm van luchtverwarming via het ventilatiesysteem;
- Lokale verwarming.

Afbeelding 7.1 laat de belangrijkste criteria zien die een rol kunnen spelen bij de keuze voor een verwarmingssysteem. De eigenschappen worden vergeleken met de traditionele radiatoren verwarming met een verwarmingstoestel op de zolder of in de berging. Met uitzondering van de lokale verwarming wordt in de tabel niet ingegaan op de warmtebron (opwekker). Die keuze wordt verderop gemaakt in dit hoofdstuk.

Denk aan energiebesparende mogelijkheden bij een combinatie van woningen en utiliteitsbouw. Kantoren hebben vaak een warmte-overschot, terwijl woningen tegelijkertijd warmte vragen. Bij het voorbeeldproject Rabobank Pey-Posterholt wordt daarvan gebruik gemaakt (paragraaf 7.3.3).

Afb. 7.1 Keuzecriteria voor installaties voor ruimteverwarming. De beoordeling is indicatief en is ten opzichte van een individuele verwarmingsinstallatie met radiatoren. Zie voor verdere informatie de verwijzing naar de paragrafen.

Afgiftesystemen													
		Radiatoren (referentie)	LT-radiatoren paragraaf 7.2.2	Convectoren paragraaf 7.2.2	LT-convectoren paragraaf 7.2.2	Vloerverwarming paragraaf 7.2.3	Wandverwarming paragraaf 7.2.3	Eenzonesysteem (Luchtverwarming) paragraaf 7.2.4	Meerzonesysteem (Luchtverwarming) paragraaf 7.2.4	Gevelkachel paragraaf 7.2.5	Gashaard paragraaf 7.2.5		
Bouwkundige/ruimtelijke voorwaarden	Ruimtebeslag leidingen	O	O	O	O	O	O	-	--	O	-		
	Ruimtebeslag verwarmingselementen, ketel e.d.	O	-	O	-	+	+	+	+	O	O		
	Benodigde luchtdichtheid (- = extra vereist)	O	O	O	O	+	+	-	-	+	+		
	Isolatie (- = extra vereist)	O	O	O	O	-	-	-	-	O	O		
Comfort	Snelheid opwarmen	O	O	O	O	O	-	O	O	+	++		
	Regeling per vertrek/zone	O	O	O	O	O	O	--	O	+	+		
	Temperatuur comfort	O	+	-	-	++	++	-	O	-	O		
	Geluid	O	O	O	O	O	O	O/-	O/-	-	-		
	Tocht	O	O	O	O	+	+	-	-	O	O		
Diversen	Kwaliteit binnenlucht	O	+	O	+	++	++	-	O	-	O		
	Energieverbruik	O	+	O	+	++	++	--	-	O	+		
	Onderhoud	O	O	O	O	O	O	-	-	O	+		
	Investering	O	-	O	-	--	--	-	-	+	+		
Legenda:													
++ = erg gunstig + = gunstig o = neutraal - = ongunstig -- = zeer ongunstig (alles t.o.v. radiatoren)													
LT = lage temperatuurverwarming													

7.2.1 Hoge/lage temperatuur

Warmte kan op hoge en lage temperatuur afgegeven worden. Hierbij geldt dat hoe lager de afgiftetemperatuur is, des te hoger zal het rendement van de opwekker zijn. Omdat duurzame energie ook beter ingezet kan worden bij lagere afgifte temperaturen is het toepassen van lage temperatuursystemen (LT-systemen) daarom een randvoorraad voor een energie-efficiënte woning. In de huishoudens met een gas CV-ketel is een aanvoertemperatuur van 80 °C echter gebruikelijk. Over wat laag is bestaat bij verschillende partijen onduidelijkheid. Hier houden we een maximale aanvoerwatertemperatuur van 55 °C en een retour-watertemperatuur van maximaal 45 °C aan. In de NTA 8800 [30] wordt bij LT uitgegaan van het gemiddelde van de aan- en retourwatertemperatuur van ≤ 50 °C; dus bijvoorbeeld 60/40 °C, 55/45 °C of 45/35 °C.

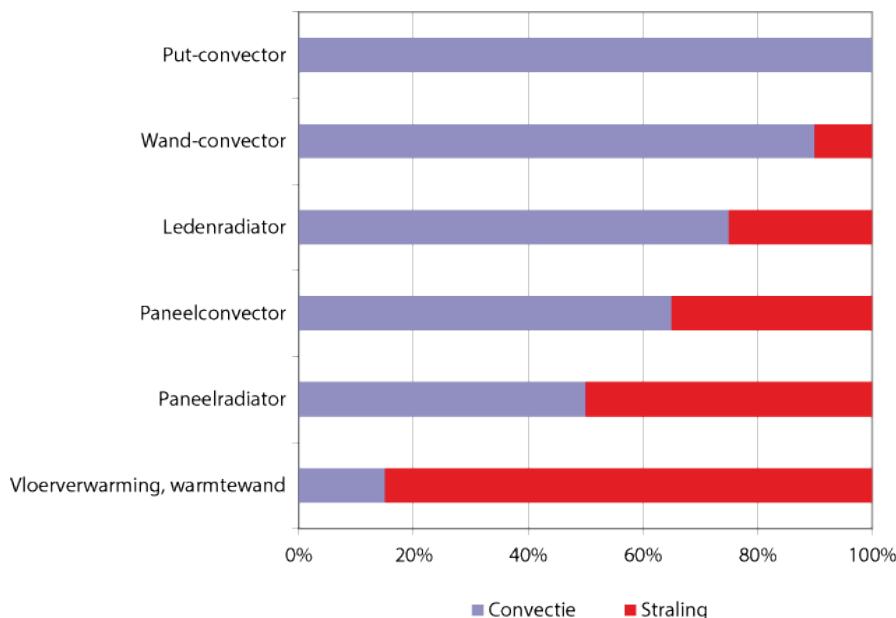
Tot de LT-(afgifte)systemen behoren:

- LT-radiator- en LT-convectorverwarming (aanvoertemperatuur max. 55 °C);
- vloer- en wandverwarming (aanvoertemperatuur 25 - 45 °C).

Houd in het installatie-ontwerp rekening met de gebruikelijke opwarmtoeslagen voor opwarmen na nachtverlaging (in 2 uur) en 'koude buren'. [ISSO-publicatie 49](#) [156] en [ISSO-publicatie 51](#) [158] geven de rekenmethodiek.

Belangrijke redenen om LT-systemen te gebruiken, zijn:

- Energiebesparing: zowel bij de warmtebron (door het opwekken met een groter rendement) als in het distributienet (door lagere verliezen);
- Toekomstgerichtheid: LT-systemen vergroten de mogelijkheden voor gebruik van duurzame energiebronnen zoals zonne-energie. Voor het gebruik van warmtepompen is het gebruik van een LT-systeem zelfs een voorwaarde;
- Verbetering van het binnenklimaat. Het gaat hierbij om:
 - Comfort: Met name bij wand- en vloerverwarming treedt een redelijke mate van behaaglijkheid op door het grote stralingsaandeel (zie bijlage 2 voor meer info over behaaglijkheid). Dit in combinatie met lagere luchttemperaturen en een gelijkmatiger temperatuurverdeling. Doordat in huidige nieuwbouwwoningen triple glas steeds vaker toegepast wordt, is er nabij de ramen nauwelijks of geen sprake meer van koudeval; aandachtspunt blijft wel de mogelijke koudeval uit de ventilatieroosters (boven ramen) bij natuurlijke ventilatie. Kies geschikte roosters, zie paragraaf 6.4. Een nadeel van de gebruikelijke 'natbouw' vloerverwarmingsystemen (zie paragraaf 7.2.3) is de traagheid; dit speelt vooral bij vertrekken die meestal kort in gebruik zijn of bij een onregelmatig gebruik van vertrekken.
 - Luchtkwaliteit: Bij LT-systemen komt stofschroeï (hinderlijke geur) nauwelijks voor en is er relatief weinig zwevend stof. Bij vloerverwarming wordt bovendien de ontwikkeling van huisstofmijt belemmerd door de hogere vloertemperatuur ten opzichte van andere systemen;
 - Veiligheid: Weinig of geen kans op verbrandingsgevaar bij het aanraken van de afgiftestelsystemen. Bij vloer-, wand- en luchtverwarming ontbreken obstakels zoals radiatoren waaraan men zich kan verwonden bij o.a. vallen. Beide aspecten zijn vooral van belang voor kinderen en ouderen.
- Vloer- en wandverwarming hebben een grotere indelingsvrijheid en esthetiek door het ontbreken van radiatoren of convectoren.



Afb. 7.2 Aandeel straling en convectie van de verschillende typen water-CV verwarmingselementen. Om eenzelfde gevoelstemperatuur te realiseren kan, bij een groter stralingsaandeel, de gemiddelde luchttemperatuur in een vertrek lager zijn. Dit werkt energiebesparend: Zowel de transmissie- als de ventilatieverliezen nemen af. Gebruik bij voorkeur een relatieve lage watertemperatuur in combinatie met een relatief groot verwarmend oppervlak

7.2.2 Lage temperatuur radiatoren en convectoren

(LT-)Radiatoren

Radiatoren genieten een lichte voorkeur boven (wand-)convectoren omdat ze meer stralingswarmte afgeven. NTA 8800 maakt geen verschil tussen radiatoren en convectoren. In de praktijk worden radiatoren het meest toegepast vanwege de lagere kosten. De keuze voor (wand-) convectoren berust meestal op esthetische overwegingen.

Lage temperatuur (LT)-radiatoren zijn niet anders dan de gebruikelijke radiatoren. Het enige verschil zit in de grootte (het verwarmend oppervlak). De dimensionering moet afgestemd zijn op een aanvoerwatertemperatuur van maximaal 55 °C. De temperatuur van het retourwater bedraagt 45 °C of minder. De afmetingen zijn daardoor circa 2,5 maal groter dan radiatoren bij een systeem dat werkt met een traditioneel temperatuurtraject van 90/70 °C. Door de huidige lage warmtevraag (vanwege de goede isolatie van nieuwbouwwoningen) leveren de afmetingen van LT-radiatoren geen problemen op.

Met LT-radiatoren daalt het energieverbruik van een HR ketel met enige procenten ten opzichte van het verbruik met standaard radiatoren [165]. Bij warmtepompen en zonthermische verwarming zijn, wanneer men kiest voor radiatoren, in ieder geval LT-radiatoren nodig. Bij die warmte-opweksystemen gaat de voorkeur echter uit naar warmteafgifte-systemen met nog lagere temperaturen. (zie vloer- en wandverwarming paragraaf 7.2.3).

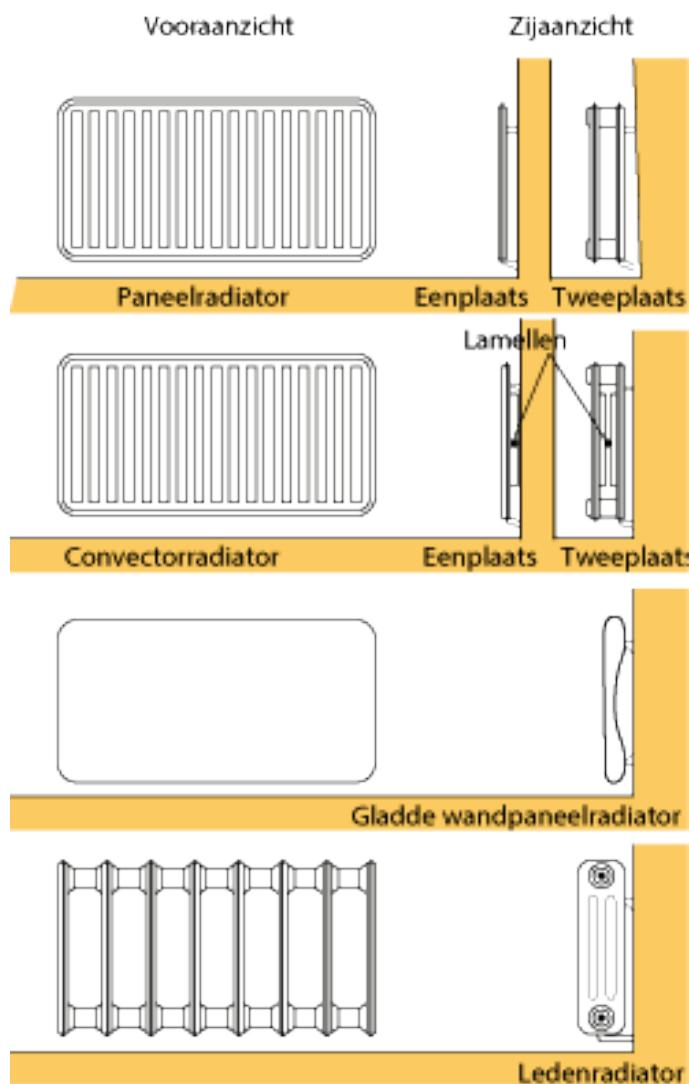
Te onderscheiden zijn (afbeelding 7.3):

- **Paneel- of plaatradiatoren:** Deze bestaan uit een of meer panelen. Enkelplaats paneelradiatoren hebben de voorkeur omdat deze de meeste stralingswarmte afgeven, namelijk circa 50%. Bij meerdere panelen per radiator neemt de convectiewarmte naar verhouding toe;
- **Paneelconvectoren:** Dit zijn paneelradiatoren met extra convectielamellen. Door de lamellen wordt het verwarmend oppervlak verhoogd. Kenmerken:
 - Weinig waterinhoud, dus snel reagerend;
 - Licht van gewicht;
 - Kwetsbaar voor corrosie, dus niet in de badkamer toepassen tenzij de radiator op een droge plaats aangebracht wordt.
- **Gladde wandpaneelradiatoren:** Deze geven evenveel stralingswarmte af als paneelradiatoren. Ze zijn eenvoudig van vorm, met een glad en strak uiterlijk. Nadelen:
 - Relatief grote waterinhoud en massa, waardoor iets tragere reactie dan de eerder genoemde typen radiatoren;
 - Relatief duur.
- **Ledenradiatoren:** Deze worden in de woningbouw nauwelijks meer toegepast.

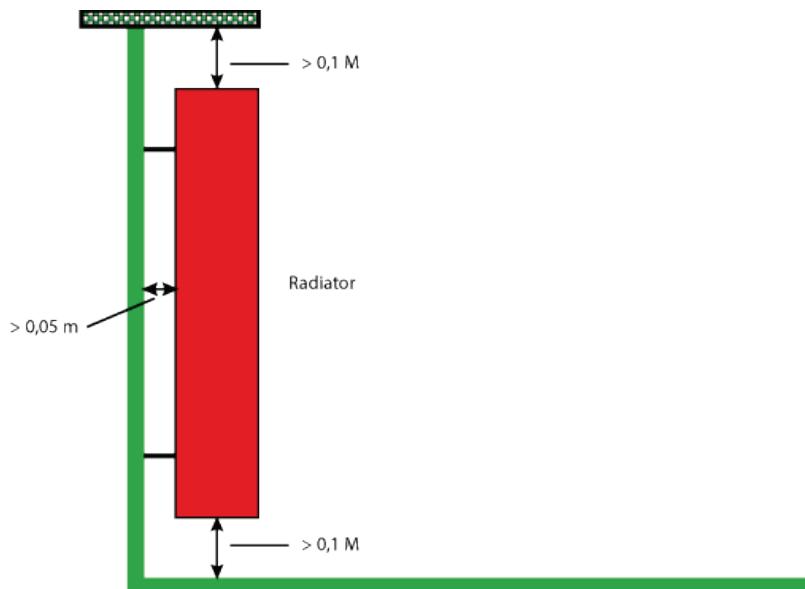
Opmerkingen:

- De beste plaats voor radiatoren is onder het raam, zodat ze koudeval van buitenlucht uit ventilatieroosters kunnen compenseren; bij gebalanceerde ventilatie speelt dat natuurlijk niet. Compenseren van koudestraling van ramen speelt nauwelijks of geen rol meer door de hoge isolatiewaarde van moderne beglazing;
- Radiatoren dienen voldoende afstand tot vloer, gevel en plafond te hebben in verband met de schoonmaak en benodigde convectiestroming. Houd minimaal de volgende afmetingen aan:
 - Vrije afstand boven- en onderzijde: >0,1 meter;
 - Afstand wand-radiator: >0,05 meter.
- De vensterbank mag de warme luchtstroom niet hinderen (zie afbeelding 7.4). Zorg verder dat er voldoende ruimte is om gordijnen op te hangen zodat de warme luchtstroom van de radiator niet achter de gordijnen, maar vóór de gordijnen (dus aan de kamerzijde) langs stroomt: plaats bijv. de radiator op voldoende afstand van de gevel of zorg voor voldoende ruimte en ophangmogelijkheid tussen het kozijn en de binnenzijde van de gevel;
- Plaatsing voor een glazen borstwering wordt uit oogpunt van energiebesparing afgeraden, ook bij HR⁺⁺- of drievochtig glas. Er is ook een risico op thermische breuk van het glas. Kies desnoods voor convectoren.
- De lengte van radiatoren die onder een raam staan opgesteld, moet groter dan 75% van de raamlengte zijn om ongewenste luchtstromingen te voorkomen;

- Door het schilderen van verwarmingselementen in metallic-kleuren daalt (door de metaaldeeltjes) de warmteafgifte met ca. 10%. Andere (niet-metallic-) kleuren hebben geen effect op de warmteafgifte;
- Inbouwen van radiatoren wordt afgeraden. De totale warmteafgifte neemt door verhindering van de stralingsafgifte met maximaal 25% af en schoonmaken is lastig;
- Leidingisolatie in onverwarmde ruimtes (bv. bergzolders en vlieringen) is noodzakelijk, ook in andere niet- of weinig verwarmde ruimten;
- Ingestorte verwarmingsleidingen (met watertemperaturen groter dan 30°C) dienen geïsoleerd te worden voor zover het geen voeding van een radiator in dezelfde ruimte betreft. Ribbenbuis (mantelbuis) is geen isolatie. Reken op minimaal 12 mm isolatie en neem maatregelen om te voorkomen dat die beschadigt tijdens het storten;
- Houd radiatoren buiten bereik van douche en zeepwater.



Afb. 7.3 De verschillende typen radiatoren

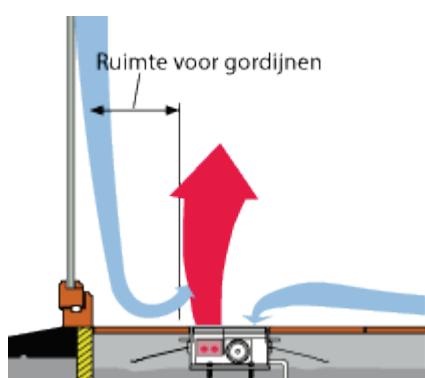


Afb. 7.4 Plaats radiatoren (en wandconvectorn) met voldoende afstand tot vloer, gevel en vensterbank. Dit in verband met schoonmaak en de benodigde convectie-luchtstroming. Zorg er voor dat (in het stookseizoen) de opgaande warme luchtstroom van de radiatoren niet achter eventuele (rol)gordijnen of jaloezieën kan terechtkomen. Stem de detaillering van de vensterbank en de plaatsing van gordijnen ed. hierop af. De vensterbank mag ook de warmte-afgifte aan de kamer niet belemmeren. Plaats in de badkamer de radiator op een hoogte van minimaal 0,6 meter vanaf de vloer om roesten te voorkomen. Kies desnoods voor een verzinkte radiator in de badkamer

(LT-)Convectorn

Het principe van convectorn berust op de afgifte van warmte door convectie. Convectorn worden opgebouwd uit dunne warmwaterleidingen met daar omheen, op kleine afstand van elkaar, dunne metalen lamellen. De op te warmen lucht stroomt dankzij natuurlijke trek langs de lamellen van de convector. Een convector is altijd in een omkasting ingebouwd, en wel zo laag mogelijk. Dit bevordert de natuurlijke trek en daarmee de afgifte van de in de convector verwarmde lucht. Convector plus omkassing worden samen ook wel als 'convector' aangeduid. Convectorn geven voornamelijk convectiewarmte af. Door de geringe afgifte van stralingswarmte, wordt de koudestraling van koudere vlakken in een vertrek niet of nauwelijks gecompenseerd.

Convectorn kunnen voor een verdiepinghoge glaswand geplaatst worden dankzij de relatief hoge isolatiewaarde van HR++- en drievoudig glas.



Afb. 7.5 Het alternatief voor de traditionele, energielekkende convectorput is een ventilator-convector in de afwerkvloer (Bron: Jaga)

Door de geringe waterinhoud en de lage massa zijn convectorn relatief snel op temperatuur. Bij lage temperaturen is de natuurlijke trek in de omkassing van de convector meestal zo klein dat er weinig warmte wordt overgedragen. Bij LT-systemen zijn convectorn daarom af te raden, tenzij convectorn gebruikt worden die speciaal zijn ontworpen voor lage temperaturen. Meestal zit daarin een kleine ventilator.

Convectoren zijn te onderscheiden in de volgende typen:

- Wandconvectoren of vrijstaande convectoren; de convector is in een omkasting opgenomen;
- Vloerconvectoren; de convector is onder de vloer weggewerkt. Vroeger werden vaak bouwkundige putten gebruikt. Dat zijn erg grote warmtelekken en dat kan dus niet meer. Ook de geïsoleerde kant en klare putten hebben niet de thermische kwaliteit die nu gewenst is. Als alternatief zijn er platte ventilator-convectoren te koop die in de (afwerk)vloer passen. Hoogte minder dan 100 mm (afbeelding 7.5);
- Ventilator-convectoren (in de utiliteitsbouw vaak 'Fancoil' genoemd) zijn ook verkrijgbaar in compacte en stille uitvoeringen die geschikt zijn voor woningen. Daarmee zijn lagere aanvoertemperaturen en koeling mogelijk. Let op het geluid en het stroomverbruik van de ventilatoren.

Convectoren moeten altijd goed bereikbaar zijn in verband met de noodzakelijke reiniging. Vervuiling veroorzaakt namelijk:

- Daling van de warmteafgifte;
- Hinder voor mensen met allergie;
- Luchtjes door het verbranden van stof (niet bij LT convectoren).

7.2.3 Vloerverwarming en wandverwarming

Vanwege het grote verwarmend oppervlak van vloer of wand, hoeft het temperatuurverschil tussen de lucht in de ruimte en het oppervlak van de vloer of wand slechts klein te zijn om aan de warmtebehoefte te voldoen. Met deze systemen zijn dan ook de laagste aanvoertemperaturen haalbaar voor verwarming. Beide systemen zijn zeer geschikt voor koeling via een bodembron (zie paragraaf 8.2.2). Zie ook [156] en [187].

Vloerverwarming

De vloertemperatuur aan het oppervlak mag in verband met het comfort maximaal 29 °C bedragen, in badkamers en randzones maximaal zo'n 33 °C. De maximale temperatuur van het aanvoer-water bedraagt daarom circa 45 °C, maar kan in goed geïsoleerde woningen makkelijk lager gekozen worden; 30 °C is vaak haalbaar. Vloerverwarming wordt soms in combinatie met andere systemen gebruikt zoals radiatoren of convectoren en luchtverwarming om de reactiesnelheid te verhogen. Vloerverwarming als hoofdverwarming (eventueel in combinatie met wandverwarming) is in nieuwbouw altijd haalbaar qua verwarmend vermogen.

Bij vloerverwarming wordt over het algemeen in de dekvloer een kunststof leidingenstelsel aangebracht waar warm water doorheen stroomt. Hiermee wordt de vloer verwarmd. Belangrijk is dat de dekvloer aan de onderzijde en zijkanten voorzien wordt van warmte-isolatie. Als het om de begane grondvloer gaat, is het aan te bevelen om de totale vloer minstens een R_e-waarde van 5,0 te geven.

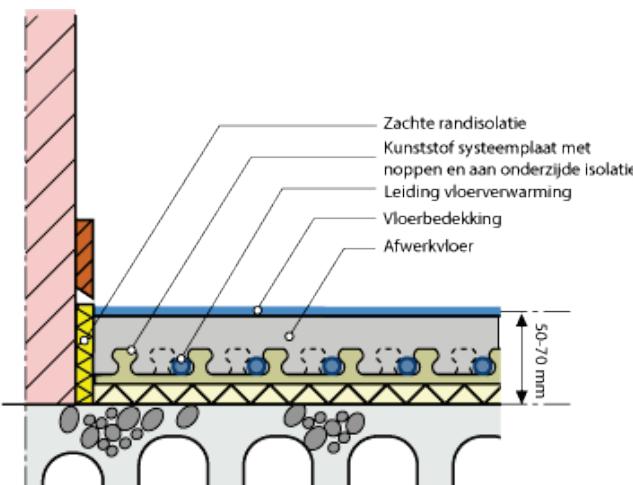
De grootte van de massa die opgewarmd moet worden, bepaalt in belangrijke mate de regelsnelheid van een vloerverwarmingssysteem: hoe kleiner de massa hoe sneller. In goed geïsoleerde nieuwbouw heeft een licht systeem (dunne dekvloer met daarin de vloerverwarmingsleidingen en direct daaronder tenminste 20 mm isolatie) daarom de voorkeur, zeker als de vloerverwarming (in een vertrek) de hoofdverwarming is. De isolatie zorgt voor een halvering van de opwarmtijd [121].

Te onderscheiden zijn:

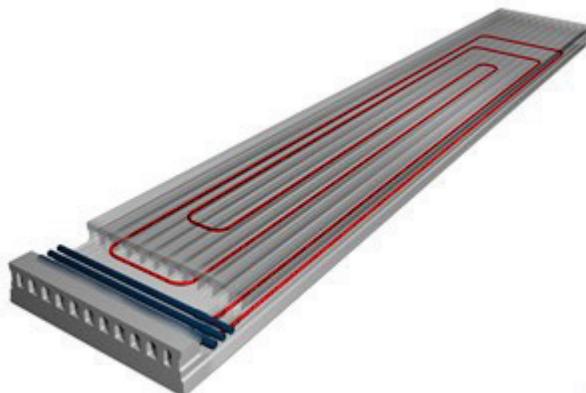
- Drogbouwsystemen: De leidingen worden bevestigd aan, op of in isolatieplaten die vaak ook nog voorzien zijn van warmte spreidende, metalen platen. De bovenzijde wordt afgewerkt met bijvoorbeeld twee lagen gipsvezelplaat. Dergelijke systemen zijn dankzij het geringe gewicht vooral interessant in houtskeletbouw en de bestaande bouw. Ze reageren bovendien snel op de warmtevraag;
- Capillaire systemen: Deze bestaan uit dunne buisjes (\varnothing 4 mm) die aan hoofdbuizen zijn gekoppeld. Ze kunnen onder andere in een dunne gietvloer of egalisiatielaag opgenomen worden. Deze systemen zijn erg dun en reageren snel. De oppervlakte temperatuur van de vloer is erg gelijkmatig en daardoor de afgifte hoog. Daardoor zijn bij gelijke afgifte, lagere temperaturen mogelijk. Het drukverlies over de matten is vergelijkbaar met normale

vloerverwarming. Wel is altijd een scheiding nodig tussen opwekker en de matten omdat het materiaal niet dicht is tegen zuurstofdiffusie;

- Natbouwsystemen op een isolatielaag van 10 tot 20 mm (afbeelding 7.6): De verwarmingsbuizen worden in de dekvloer aangebracht, bijvoorbeeld op een noppenplaat of een (isolatie) tackerplaat. De isolatielaag ligt direct onder de dekvloer. Dit levert een relatief licht systeem op met een acceptabele opwarmsnelheid. Er is dan bovendien (als ook de zijkanten geïsoleerd zijn) sprake van een zwevende dekvloer hetgeen zeer gunstig is voor de geluidsisolatie naar bijvoorbeeld onderliggende vertrekken, mits het juiste isolatiemateriaal wordt gebruikt. De dekvloer kan bestaan uit een zandcementvloer, maar vanuit milieuoogpunt gaat de voorkeur uit naar een anhydriet dekvloer. Het is noodzakelijk bij wand- en kolomaansluitingen, leidingdoorvoeren en dergelijke, stroken isolatiemateriaal aan te brengen om scheurvorming tegen te gaan. Ook warmteoverdracht naar andere constructiedelen en andere ruimten wordt zo beperkt;
- Natbouwsystemen die direct op het beton zijn bevestigd of op een folie. Dit zijn goedkope systemen maar met nadelen. Door de grote massa van de beton- en afdekvloer samen is het systeem erg traag. Reageren op comfortwensen van de bewoner is niet mogelijk. Ook is de warmteafgifte naar het onderliggende vertrek erg groot (tot 50%). Dat is meestal ongewenst en geeft in appartementen een zeer onrechtvaardige warmtekostenverdeling, ook bij individuele ketels. Het is in de gestapelde bouw dus niet toepasbaar;
- Slangen opgenomen in de constructieve betonvloer of de woningscheidende wand (mits geïsoleerd). Zogenaamde 'Betonkernactivering' (afbeelding 7.7). Het principe is gebaseerd op accumulatie van warmte en koude in de bouwconstructie. De verwarmingsleidingen worden hierbij in de kern van de vloer c.q. het plafond aangebracht en niet in de dekvloer. Hierdoor wordt de thermische actieve massa van de betonnen verdiepingsvloeren vergroot: In de winter wordt het beton door het water warm gehouden. Betonkernactivering geeft warmte af aan de bovenzijde van de vloer én aan de onderzijde van de vloer (plafond). Het is dus zeker niet geschikt voor appartementen. Bewoners kunnen hun eigen temperatuur niet meer regelen en hun energieverbruik niet meer meten, ook niet bij een individuele CV-ketel. Ook in een gezinswoningen moet goed afgewogen worden of een systeem dat de hele woning op één temperatuur houdt, gewenst is. Betonkernactivering kan toegepast worden in serie met bijvoorbeeld LT-radiatoren om de retourtemperatuur verder omlaag te brengen (normaal gesproken enkele graden boven de ruimtemperatuur). Dat is gunstig voor het rendement van warmtepompen, zonthermische systemen en stadsverwarming.



Afb. 7.6 Voorbeeld van de opbouw van een natbouwsysteem (zandcement of anhydriet) voor vloerverwarming. Voor een goede geluidsisolatie (als dat aan de orde is) moet onder èn naast de zwevende dekvloer waterdichte (PE-)folie en een relatief zacht isolatiemateriaal gebruikt worden, bijvoorbeeld drukvaste minerale wol; hiervoor zijn specifieke producten verkrijgbaar. De folie voorkomt dat specie of anhydriet wegglekt en daarmee mogelijk, na uitharding, de geluidsisolatie deels teniet doet. De plinten moeten vrij blijven van de dekvloer



Afb. 7.7 Bij betonkernactivering wordt gebruik gemaakt van het accumulerende vermogen van de betonconstructies. De koel- en verwarmingsenergie wordt in de betonconstructie opgeslagen en wanneer nodig aan de ruimte afgegeven. 'Lage temperatuur verwarmen en hoge temperatuur koelen'. In woningen moet altijd ook een snel reagerend systeem aangebracht worden om aan de wisselende comfort eisen van de bewoners te voldoen. (Bron: VBI; prefab vloerelement met betonkernactivering)

Als in het verwarmingssysteem ook ander afgifte systemen zoals radiatoren zijn opgenomen, moet de watertemperatuur in het vloerverwarmingssysteem verlaagd worden. Hiervoor wordt het CV-water met het koudere retourwater uit de vloerverwarming gemengd om de juiste temperatuur te bereiken. Een thermostatische afsluiter zorgt hiervoor.

Voordelen vloerverwarming

- Verhoging van het comfort: relatief veel stralingswarmte en geen 'koude' vloer zodat de luchtemperatuur gelijkmatiger is dan bij radiatoren of convectoren;
- Vanwege de lage watertemperatuur goed te koppelen met zonne-energie (paragraaf 7.3.8) en warmtepompsystemen (paragraaf 7.3.3);
- Geen zichtbare installatie; verhoging van de veiligheid door het ontbreken van radiatoren (heet, scherpe randen);
- Weinig luchtbewegingen, minder stofverspreiding en geen stofschoroei;
- In combinatie met een bodembron is het mogelijk om 'passief' te koelen;
- Bij een zwevende dekvloer kan de geluidisolatie ook verbeteren.

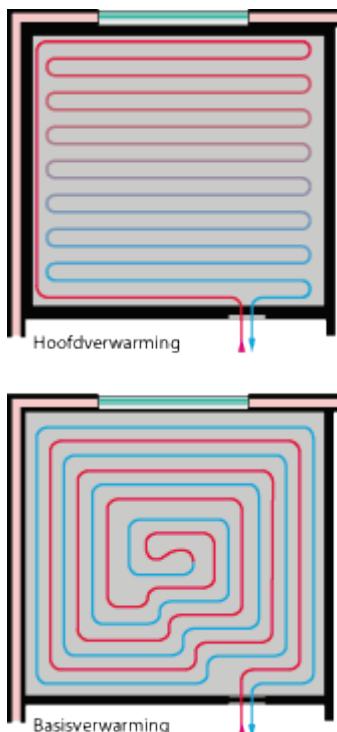
Nadelen vloerverwarming:

- De dekvloer plus isolatie is dikker (normaal ca. 50 à 70 mm) dan de gebruikelijke dekvloer;
- Ook de moderne 'natte' systemen zijn, vooral bij het opwarmen, traag;
- Extra kosten ten opzichte van radiatorenverwarming;
- Er is een beperking bij de keuze van vloerbedekking: Zie hierna;
- Extra elektriciteitsverbruik voor een extra pomp. Schakel de pomp direct via de thermostaat of de ketel of pas een pompschakeling toe. Bij volledige vloerverwarming is geen extra pomp nodig;
- Ingestorte drinkwaterleidingen kunnen extra opgewarmd worden met risico op Legionella groei (zie paragraaf 9.1.2).

Opmerkingen:

- Tegen meerkosten is een (thermostatische) regeling van de afgifte per zone of vertrek mogelijk. Een dergelijke regeling is zeer gewenst. In de praktijk blijken deze regelingen vaak extra energie te kosten omdat het hele systeem altijd op temperatuur wordt gehouden. Op zich is dat niet nodig door de warmte-opwekker net als in een traditioneel systeem met een kamer(klok)thermostaat aan te sturen. Ook is een zoneregeling mogelijk die bij warmtevraag de warmte-opwekker aanstuurt;
- Houd rekening met de benodigde ruimte voor de regeleenheid (met o.a. verdeler en meestal een extra pomp). Deze moet hoger staan dan de leidingen i.v.m. de mogelijkheid tot ontluchting;

- Let op dat kunststofbuizen 'zuurstofdicht' zijn en voorzien van KOMO-keur. Anders moet er een scheiding gemaakt worden met een warmtewisselaar tussen het deel van de installatie dat zuurstofarm en het deel dat zuurstofrijk is;
- Ontluchten is bij vloerverwarming erg belangrijk. Een luchtbel kan een hele lus volledig uitschakelen. De lussen moeten stuk voor stuk ontluucht worden, door de andere lussen dicht te zetten;
- Vloerverwarmingsleidingen kunnen op verschillende manieren worden gelegd. Let hierbij op het volgende:
 - Zo min mogelijk bochten in het patroon;
 - Het aanvoerwater (met de hoogste temperatuur) eerst in de 'koudste' zones (bij de gevel) brengen en in die koude zones de vloerverwarmingsbuizen dichter bij elkaar leggen;
 - Houd rekening met mogelijke dilataties in de dekvloer;
 - Verbindingen tussen leidingen in de vloer zijn ongewenst i.v.m. moeilijk opsporen en repareren eventuele lekkage;
 - Bij vloerverwarming als bijverwarming wordt vaak gekozen voor een 'spiraal' legpatroon om een gelijkmatige vloertemperatuur te maken.
- Reken voor een cementgebonden dekvloer minimaal één week droogtijd per 10 mm dikte. Voor een anhydrietgebonden dekvloer moet het opstookprotocol van de leverancier gevolgd worden. Daarmee is de droogtijd minimaal drie weken;
- Tenzij alle slangen dezelfde lengte hebben, moet ook een vloerverwarmingssysteem goed ingeregeld worden, met 'flowcontrols' op de verdeler.



Afb. 7.8 Leg patronen vloerverwarmingsbuizen. Bij vloerverwarming als hoofdverwarming worden de leidingen bij de gevel vaak dichter bij elkaar gelegd (als compensatie van de 'koude' gevel) dan in de rest van de kamer

Vloerverwarming en vloerbedekking

De toepassing van vloerverwarming heeft invloed op de keuze van de vloerafwerking of de vloerbedekking:

- Een steenachtige afwerking heeft de voorkeur omdat dan optimaal gebruik wordt gemaakt van stralingswarmte;
- Gebruik bij wit marmer een kunststof of gegalvaniseerde wapening in de dekvloer (indien nodig), dit om verkleuring van het marmer door normale wapening te voorkomen;

- Let bij een niet-steenachtige vloerbedekking op het volgende:
 - De warmteweerstand inclusief een ondertapijt mag niet hoger zijn dan $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Dit houdt in dat allerlei (zachte) vloerbedekkingen mogelijk zijn, mits niet te dik. Zelfs bepaalde parket- en laminaatvloeren zijn, mits verlijmd en zonder ondervloer, mogelijk. De vloerbedekking moet permanent antistatisch zijn;
 - Informeer zowel bij de leverancier van vloerverwarming als bij de leverancier van de vloerbedekking naar de mogelijkheden. Zij kunnen tevens aanwijzingen geven voor het aanbrengen van de vloerbedekking, denk hierbij bijvoorbeeld aan de vochtigheidsgraad van de lucht en de dekvloer bij het aanbrengen van de vloerbedekking. Zie ook www.allesovertapijt.nl.

Informeer de bewoners over de soorten vloerbedekking die mogelijk zijn. Maak bijvoorbeeld een gebruikshandleiding via [178].

Wandverwarming

Een warmtewand berust op hetzelfde principe als vloerverwarming: in een wand worden leidingen aangebracht waar warm water doorheen stroomt. De verwarmde wand (maximaal toelaatbare wandtemperatuur van circa 35°C) geeft vooral stralingswarmte af. De wand moet aan de achterkant (extra) geïsoleerd zijn om warmteverliezen te beperken. Wooningscheidende wanden moeten als een geïsoleerde ankerloze spouwmuur uitgevoerd worden. De meest gangbare systemen voor een warmtewand bestaan uit stenen elementen (kalkzandsteen, keramische steen) met prefab sleuven. Hierin kunnen kunststof leidingen worden aangebracht. De wand wordt in zijn geheel afgestuct. Met name voor houtskeletbouw en de bestaande bouw zijn ook lichte systemen als wandverwarming verkrijgbaar. Bijvoorbeeld vorgefreese gipsvezelplaat. Wandverwarming kan uitstekend gecombineerd worden met radiatoren-, convectoren- en vloerverwarming.

De voor- en nadelen van warmtewanden komen globaal overeen met die van vloerverwarming. Nog enige specifieke opmerkingen:

- Door de meestal grotere massa van een warmtewand ten opzichte van vloerverwarming, zal dit systeem trager zijn dan vloerverwarming, maar veel sneller dan betonkernactivering;
- Nadeel is dat de inrichtingsvrijheid enigszins wordt beperkt: Bewoners mogen de wand niet meer dan 20% afschermen met bijvoorbeeld een groot dicht wandmeubel;
- Tijdens de bouw en tijdens bewoning moet men voorzichtig zijn met het boren van gaten. Overigens zijn de slangen als ze warm zijn in de wand met de hand te voelen. Een andere methode is het natspuiten met een plantenspuit: ter plekke van de slangen droogt de wand veel eerder op.



Afb. 7.9 Warmtewand in aanbouw. De prefab sleuven kunnen zowel verticaal als horizontaal lopen, dit hangt af van het merk van de elementen. Horizontaal lopende leidingen hebben als voordeel dat ze eenvoudiger te ontluchten zijn; nadeel is dat de stenen qua draagkracht (door de horizontale sleuven) niet optimaal gebruikt worden

7.2.4 Luchtverwarming (en koeling)

Bij (centrale) luchtverwarming, in combinatie met gebalanceerde ventilatie, wordt de lucht in een luchtverwarmer verwarmd en via een kanalenstelsel door de woning verspreid. Via een trappenhuis, hal of kanaal wordt een deel van de lucht, de recirculatielucht, weer teruggevoerd naar de luchtverwarmer en opnieuw verwarmd. Het andere deel wordt via keuken, badkamer en wc naar buiten afgevoerd. Een even grote hoeveelheid verse buitenlucht wordt tegelijkertijd weer toegevoerd. Deze verse lucht wordt via warmteterugwinning (WTW) uit de aangevoerde ventilatielucht voorverwarmd. Er zijn installaties verkrijgbaar die ook kunnen koelen.

Bij zeer goed geïsoleerde woningen is geen recirculatielucht meer nodig. Met de gewone ventilatielucht kan voldoende warmte in de woning gebracht worden zoals al in de 'Minimum Energiewoningen' bleek [188]. Het 'Passiefhuis' (paragraaf 3.6) is gebaseerd op dit principe. Het verwarmingsvermogen exclusief ventilatieverlies, maar inclusief infiltratie en opwarmtoeslagen mag dan niet veel hoger zijn dan 2 kW.

Voordelen luchtverwarming

- Neemt in het vertrek zelf geen ruimte in beslag;
- Luchtverwarming reageert snel op de warmtevraag. Dit heeft o.a. als voordeel dat zodra de zon warmte aan de woning levert, de warmteafgifte door de luchtverwarming direct kan stoppen zodat het niet te warm wordt. Bij een zware bouwwijze is dit voordeel gering omdat de massa nog langere tijd warmte afgeeft;
- Vooral in zeer goed geïsoleerde woningen met een lage energievraag levert luchtverwarming een geschikt en goedkoop afgiftesysteem, omdat geen recirculatie nodig is.

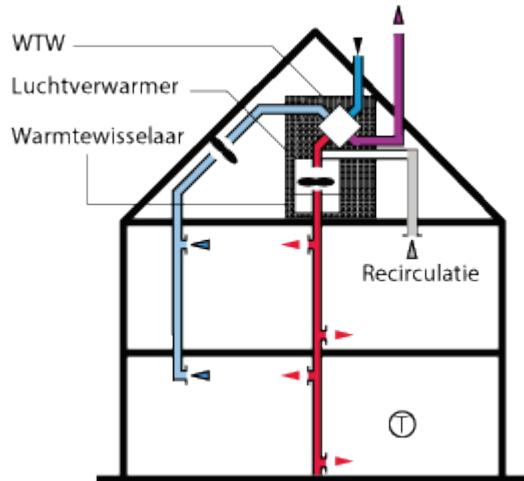
Nadelen luchtverwarming

- Moeilijke naregeling per vertrek. Bij luchtverwarming met meerdere zones kan de regelbaarheid vergelijkbaar zijn met die van radiatorenverwarming met thermostatische radiatorkranen door de luchthoeveelheden (debieten) aan te passen;
- Geen stralingsaandeel. Hierdoor moet de gemiddelde luchttemperatuur op zithoogte, bij gelijkblijvend comfort, iets hoger zijn vergeleken met radiatoren-, vloer- of wandverwarming, hetgeen dus een iets hoger energieverbruik met zich meebrengt. Maar dit extra verbruik wordt gecompenseerd doordat het systeem relatief snel reageert.

Opbouw luchtverwarming

Individueel en collectief

In laagbouwwoningen komt luchtverwarming alleen voor als individuele installatie. In de gestapelde bouw kan luchtverwarming zowel individueel als collectief uitgevoerd worden. Bij een collectief systeem kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een collectieve ketel of een cascade-opstelling van ketels en per woning een indirect gestookte luchtverwarmer. De warmteterugwinning kan collectief plaatsvinden.



Afb. 7.10 Principe luchtverwarmingssysteem. De afstand tussen inblaaspunt en een gevel mag maximaal zo'n 6 meter bedragen

Aantal zones

Het aantal zones in het systeem is bepalend voor de regelbaarheid van de temperatuur per vertrek en het wel of niet gebruiken van recirculatielucht in de slaapkamers. Het éénzone-systeem heeft in de luchtverwarmer één warmtewisselaar. Alle kamers worden verwarmd en geventileerd met een mengsel van recirculatielucht en verse buitenlucht. De luchttemperatuur in de woonkamer is bepalend voor de temperatuur in de rest van de woning.

Nadelen van het éénzone-systeem

- De temperatuur in de slaapkamers is afhankelijk van die in de woonkamer en slecht regelbaar waardoor de kamers soms warmer zijn dan gewenst;
- De luchtkwaliteit in de slaapkamers is mede afhankelijk van de kwaliteit van de recirculatielucht; denk hierbij aan bijvoorbeeld de verspreiding van sigarettenrook. Dit is niet van toepassing als geen recirculatie wordt toegepast;
- In geval van brand kan rook zich snel via de recirculatielucht verspreiden. Een rookalarm dat de installatie uitschakelt, kan dit nadeel opheffen.

In principe zijn ook tweezone-systemen mogelijk. Bij een tweezone-systeem is de installatie in twee zones verdeeld, bijvoorbeeld de begane grond met woonkamer en keuken en de verdieping met de slaapkamers. Voor elke zone is in de luchtverwarmer een aparte warmtewisselaar en ventilator aanwezig. Hierdoor is in elke zone de verwarming (of koeling) onafhankelijk van de andere zone te regelen. Bijkomend voordeel kan zijn (afhankelijk van de uitvoering) dat de slaapkamers met alleen verse buitenlucht worden verwarmd en geventileerd.

Type warmtebron

- Bij de direct gestookte luchtverwarmer wordt de warmte in het toestel zelf opgewekt en direct aan de lucht overgedragen;
- Bij de indirect gestookte luchtverwarmer wordt warm water door een warmtewisselaar in de luchtverwarmer geleid. De warmte wordt hier overgedragen aan de lucht van het luchtverwarmingssysteem.

Voordelen van het indirecte systeem

- De warmwaterbron (CV-ketel, warmtepomp of stadsverwarming) kan eveneens warmte leveren voor het tapwater en eventuele radiatoren;
- De indirect gestookte luchtverwarmer is voor een tweezone-systeem eenvoudiger van constructie dan de direct gestookte. Met name indirect gestookte luchtverwarmers kunnen eenvoudig als lage temperatuursysteem worden uitgevoerd. Alleen de warmtewisselaar moet zo gedimensioneerd worden dat bij een relatief lage watertemperatuur voldoende warmte aan de lucht kan worden afgegeven. Het overige deel van de luchtverwarmingsinstallatie verandert niet, luchtverwarming werkt altijd al met relatief lage temperaturen (maximaal 50 °C).

Overigens zijn direct gestookte luchtverwarmers als HR-toestel leverbaar.

Detaillering luchtverwarmingssysteem

Van groot belang voor het comfort en het functioneren van een luchtverwarmingssysteem zijn de volgende punten:

- In de meeste systemen met luchtverwarming wordt de lucht centraal ingeblazen: alle kanalen en inblaasroosters liggen centraal in de woning (afbeelding 7.10). De lengte van de kanalen blijft daardoor beperkt en de weerstand is laag;
- Let op een goede verdeling van de (warme) lucht in de kamers. Door deels laag in te blazen ontstaat een betere temperatuurverdeling;
- Kies de juiste inblaasroosters of ventielen; er zijn vele soorten verkrijgbaar met specifieke eigenschappen: de ingeblazen lucht mag niet kouder zijn dan 16 °C bij inducerende roosters, en niet kouder dan 18 °C bij niet-inducerende roosters; vooral van belang buiten het stookseizoen wanneer wel lage luchttemperaturen kunnen voorkomen (dan alleen ventilatie);
- Het is van belang dat de toevoerlucht snel wordt gemengd met de lucht in het vertrek. Daarom is bij een hoog-inducerend rooster het oppervlak voorzien van kleine openingen (fijne sleuven of gaatjes). Bij een hoog-turbulent rooster is het roosteroppervlak eveneens voorzien van kleine openingen die zodanig zijn gevormd dat de toevoerlucht in turbulentie komt;
- De luchtsnelheid in de kanalen mag maximaal 3 m/s bedragen i.v.m. geluid. Ter voorkoming van comfortklachten moet de (maximale) luchtsnelheid ter plaatse van de toevoerroosters aan de volgende eisen voldoen:
 - Bij hoog inblazen met warme lucht (via een hoog-inducerend of hoog-turbulent rooster): < 2,0 m/s;
 - Bij hoog inblazen met onverwarmde lucht (via een hoog-inducerend of hoog-turbulent-rooster): < 1,0 m/s;
 - Bij laag inblazen met warme lucht: < 0,8 m/s.
 - Bij laag inblazen met onverwarmde lucht: < 0,4 m/s.
- De kanalen moeten een vloeiend verloop hebben. Hoe minder weerstand hoe beter, kies daarom voor weinig bochten en voor een voldoende diameter van de kanalen;
- Kanalen in de kruipruimte zijn sterk af te raden, zij hebben relatief veel warmteverlies;
- Kies de plek van de ruimtethermostaat zorgvuldig uit. De thermostaat moet bijvoorbeeld niet te dicht bij een toevoerrooster, ventiel of deur gemonteerd worden;
- Voorkom geluidshinder ten gevolge van de installatie. Denk aan maatregelen om trillingen te dempen. Breng bijvoorbeeld voor elk toevoerrooster of ventiel een geluiddempende slang aan. Uit de praktijk blijkt dat geluidshinder vaak te weinig aandacht krijgt;
- Voor ontwerpaandachtspunten wordt verder verwezen naar [155] en [160].

Bouwkundige ruimtelijke randvoorwaarden

- De afstand van gevel tot toevoerroosters of ventielen mag maximaal zo'n 6 meter bedragen;
- Er mogen, in verband met een gelijkmatige luchtverdeling, geen obstakels (zoals meubels, kasten en dergelijke) voor of vlakbij toevoerroosters of ventielen staan;
- In verband met ventilatie en recirculatie moet aan de onderzijde van de binnendeuren een spleet van 3,5 cm vrij blijven (tussen bovenkant afwerkvlak en onderkant deur). Ongeveer 2 cm is noodzakelijk, maar er moet rekening gehouden worden met de benodigde ruimte voor

vloerbedekking. Alternatief zijn roosters in of naast de deur. Die bestaan ook in geluidgedempte uitvoering.

Diversen

- Zorg voor een duidelijke instructie voor de bewoners: mondeling en schriftelijk, bijvoorbeeld in een bewonershandboek en in stickervorm (op de luchtverwarmer). Vooral het schoonmaken en vervangen van de filters verdient alle aandacht:
 - Minimaal 2x per jaar vervangen;
 - Minimaal 1x daar tussendoor schoonmaken met behulp van een stofzuiger.

Genoemde tijden zijn ter indicatie, voor specifieke gegevens informeer bij de fabrikant van de WTW-unit en/of van de filters. Zie ook paragraaf 6.1.2).

- Regelmatig onderhoud van het totale systeem is van groot belang. Denk hierbij aan het controleren van de instelling van de roosters of ventielen, het grondig reinigen van de complete luchtverwarmer (één keer per jaar) en het reinigen van het kanalenstelsel (één keer per 8 jaar) (zie ook [152]);
- Let op dat er energieuwige (gelijkstroom) ventilatoren worden toegepast en dat de luchtweerstand in het systeem laag is (< 100 Pa). Anders kan het elektriciteitsverbruik wel oplopen tot zo'n 800 kWh/jr.

7.2.5 Lokale verwarming

Bij lokale verwarming vindt zowel de opwekking als de afgifte van de warmte plaats in een hetzelfde toestel. Voorbeelden van lokale verwarming zijn: gevelkachel, gashaard, inbouwgashaard en elektrisch stralingspaneel. In bestaande bouw kan lokale verwarming vooral voor sfeer en bijverwarming zorgen, maar in zeer goed geïsoleerde nieuwbouw kan het als hoofdverwarming dienen. Er zijn toestellen met waakvlam en toestellen met een elektronische ontsteking. Diverse toestellen zijn voorzien van een afstandsbediening, soms met ingebouwde (klok)thermostaat. Is dat het geval, dan is de plek waar de afstandsbediening neergelegd wordt, van belang (niet in de zon, niet in een koude luchtstroom enz.). In de praktijk zullen gastoestellen niet meer in nieuwbouw worden toegepast door het ontbreken van een gasaansluiting.

Voordelen lokale toestellen

- Snel reagerend en goed regelbaar (mits voorzien van een thermostatische regeling). Aansluiting op een (klok)kamerthermostaat is soms mogelijk;
- Kan een zuinig stookgedrag bevorderen door selectief stoken: men ervaart direct dat het toestel brandt;
- Geen leidingverliezen;
- Geen ventilator bij gevelkachels en de meeste gashaarden, dus geen elektriciteitsverbruik.

Nadelen lokale toestellen

- Vrij laag tot laag rendement. Bij meerdere toestellen met waakvlam zijn er dus bovendien meerdere waakvlammen. NTA 8800 [30] hanteert voor lokale gasverwarming, inclusief waakvlam, met afvoer van verbrandingsgassen een opwekkingsrendement (= gebruiksrendement) van 65% op bovenwaarde en een systeemrendement van 1,0. Op de markt zijn echter toestellen verkrijgbaar met een hoger rendement wat resulteert in een totaal rendement dat vrijwel overeenkomt met de laagste waarde van centrale verwarming. Bij lokale gasverwarming zonder afvoer van verbrandingsgassen (zoals een afvoerloze sfeerhaard) hanteert de norm een opwekkingsrendement van 10%;
- Voor tapwaterverwarming is een apart toestel nodig.

Gevelkachels

Gevelkachels zijn tot drie toestellen goedkoper in aanschaf dan radiatorenverwarming en geven toch een vergelijkbaar comfort. Nadeel is dat de afvoer van rookgassen bij de gevel problemen veroorzaakt. De

rookgassen kunnen direct hinder opleveren, bijvoorbeeld op een galerij of balkon, maar ook indirect door menging met nog toe te voeren ventilatielucht. Zie NEN 2757 [164] voor de eisen die gesteld worden aan de plaats van de geveldoornoer. Gevelkachels hebben in de NTA 8800 een forfaitair rendement van 65%, maar iets hogere waarden komen in de praktijk ook voor. Gevelkachels zijn altijd volledig gesloten (luchttoevoer direct van buiten).

Let op!

Zorg voor voldoende plaatsingsruimte onder de vensterbank en voor voldoende afstand van de gevelkachel tot gordijnen in verband met brandgevaar.

Gashaard (vrijstaand, inbouw)

Gashaarden zijn in de nieuwbouw met mechanische luchtafvoer alleen toe te passen als men een 'gesloten' type gebruikt. Anders bestaat het gevaar dat afvoergassen in geval van onderdruk de woning worden binnengezogen. Alleen bij volledig natuurlijke ventilatie kan een open toestel (met rookgasafvoer) worden toegepast. Volledig gesloten toestellen zijn bij de meeste fabrikanten in allerlei modellen verkrijgbaar. Dergelijke haarden worden voorzien van een concentrisch toe- en afvoersysteem zoals dat ook voor CV-ketels gebruikelijk is. Een veel gebruikte buitendiameter van de buis is 150 mm. Het vollastrendement op bovenwaarde bedraagt minimaal 76%, dit is op onderwaarde circa 84%. Hogere waarden zijn zeker ook mogelijk (tot globaal 80% op bovenwaarde of 89% op onderwaarde).

Er zijn ook gashaarden die zowel lokaal (vrijwel altijd de woonkamer) als aan een CV-installatie warmte kunnen leveren; een buffervat zorgt er voor dat het CV-circuit voldoende warmte krijgt wanneer de haard te weinig levert omdat er geen warmtevraag is in de ruimte waar de haard staat.

Let op!

Er zijn tegenwoordig ook volledig open (sfeer-)toestellen zonder rookgasafvoer te koop. Ze gebruiken 'gel' of gas als brandstof. De toestellen lozen hun rookgassen op in de kamer waarin ze hangen en gebruiken extra zuurstof uit de kamer. Ze zijn daarom uit gezondheidsoogpunt zeer sterk af te raden.

Elektrische weerstandverwarming

Elektrische verwarming kan in de vorm van stralingspanelen of vloerverwarming. Als hoofdverwarming is elektrische verwarming af te raden bij reguliere woningen. Bij zeer goed geïsoleerde woningen met een zeer lage warmtebehoefte kan elektrische verwarming mogelijk wel een interessante optie zijn in verband met de lage investeringskosten. Het nadeel van elektrische verwarming is het lage rendement op primaire energie. Bij de opwekking van elektriciteit in de centrale en bij het transport gaat veel energie verloren. Van de oorspronkelijk opgewekte energie kan in de woning volgens NTA 8800 [30] uiteindelijk 69% (op bovenwaarde) nuttig worden gebruikt. Met elektrisch verwarmen is een gunstige energieprestatie alleen te realiseren met een overmaat aan PV-panelen (waarbij het dakvlak van een woning vaak onvoldoende zal zijn om deze PV te plaatsen).

Voor incidentele toepassing biedt elektrisch (na)verwarmen wel zinvolle mogelijkheden. Hierbij kan gedacht worden aan het kort verwarmen van een badkamer met behulp van een infrarood stralingspaneel (zie ook uitgebreide informatie bij www.milieucentraal.nl). Vloerverwarming direct onder de tegels is daarvoor te traag.

Wanneer men met duurzame energie wil verwarmen, is de combinatie PV-panelen (hoofdstuk 10) en weerstandsverwarming de minst logische keus. Direct benutten van zonnewarmte (paragraaf 7.3.8) heeft een twee tot drie keer zo hoog rendement. Wil men de elektrische route, dan is het verstandig om voor een warmtepomp te kiezen (paragraaf 7.3.3).

Tegelkachel

Van oorsprong is een tegelkachel een zeer zware kachel met hout als brandstof. De kachel werd in korte tijd flink opgestookt, waarna deze lange tijd warmte bleef afgeven, vooral veel stralingswarmte.

Tegenwoordig zijn er diverse typen verkrijgbaar en wordt onder andere gas als brandstof gebruikt.

Gezien het huidige bewoningspatroon en de goed geïsoleerde woningen is een tegelkachel geen voor de hand liggende keus: de kachel is namelijk erg traag en levert nog warmte als het weer al is omgeslagen of de bewoners zijn vertrokken. Voordeel van een tegelkachel is dat het buitenoppervlak nooit te heet wordt.

Houtkachels

Lichte, veelal stalen houtkachels hebben soms toch een redelijk rendement. Let op dat er een aparte toevoer voor verbrandingslucht gemaakt wordt die geopend wordt tegelijk met de rookgasklep van de kachel. Anders kan het mechanische ventilatie-systeem de rookgassen in de woning zuigen.

Om een houtkachel te stoken is continu toezicht nodig en moet veel hout aangevoerd worden. Het is gebruikelijk om een jaarverbruik op voorraad te hebben wanneer de houtkachel als hoofdverwarming wordt gebruikt. Ter indicatie: 1000 m^3 gas staat gelijk aan 2000 kg hout of 13 m^3 . Er zijn ook hout-pelletkachels te koop die volledig automatisch werken. Een pellet is een brokje samengeperst houtzaagsel. De opslag is wat compacter: 1000 m^3 gas staat gelijk aan 10 m^3 pellets.

Nadeel van houtkachels is dat de buitenkant erg heet kan worden met gevaar voor verbranding en stofschorie. Zie www.milieucentraal.nl, zie ook Kennisdocument Houtstook in Nederland [255] en www.infomil.nl voor de milieueffecten (geurhinder, fijnstof) van het gebruik van houtkachels. Zie voor pelletkachels www.milieucentraal.nl. Er zijn filters verkrijgbaar die de uitstoot van o.a. fijnstof aanzienlijk verminderen. Vergeet de term 'allesbrander', want alleen schoon hout en pellets mogen gestookt worden.

Open haard

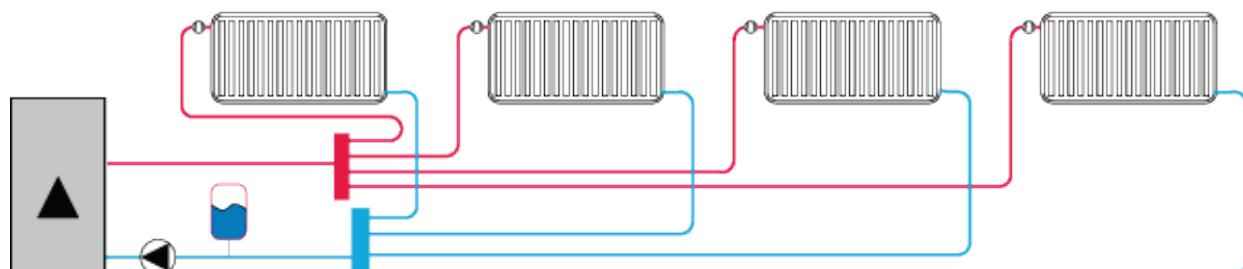
Open haarden hebben een zeer laag rendement en zijn alleen bedoeld voor het verhogen van de sfeer. Toepassing is sterk af te raden, mede door de milieuproblemen (o.a. geurhinder, fijnstof) die ze veroorzaken, zie www.milieucentraal.nl. Voorkom dat de rookgassen door een mechanisch ventilatiesysteem de woning worden ingezogen, maak daarom voor de verbrandingslucht een aparte toevoer die tegelijk met de rookgasklep wordt geopend.

Als alternatief voor een open haard, kan men beter voor een kleine gashaard kiezen.

7.2.6 Distributie en regeling

Leidingsysteem

Bij een modern CV-systeem is elke radiator (of convector) en elk vloer- (of wand-) verwarmingsveld direct aangesloten op zowel de aanvoer- als de retourleiding van en naar de warmtebron. Hierdoor is de temperatuur van het aangevoerde water overal gelijk. Vanuit één of twee centrale punten in de hoofdaan- en hoofdafvoerleiding gaan aparte leidingen, meestal kunststof 'slangen', naar alle radiatoren en vloerverwarmingsvelden (afbeelding 7.11). Op die centrale punten worden vaak 'verdelers' (afbeelding 7.12) aangebracht waarmee de verdeling van de hoeveelheid water wordt ingeregeld. Bij vloer- en wandverwarming zijn verdelers standaard.



Afb. 7.11 Een CV-systeem met verdelers waar vandaan de leidingen naar de diverse afgiftesystemen lopen



Afb. 7.12 Een verdeler met inregelvoorzieningen en afsluiters. De verdeler is nog niet voorzien van warmte-isolatie, maar dit is zeker aan te bevelen

Leidingisolatie

Het isoleren van verwarmingsleidingen is noodzakelijk en eenvoudig te realiseren:

- Op bergzolders of vlieringen;
- In weinig of niet-verwarmde ruimten zoals een gang of tochtportaal.

Leidingen in steenachtige vloeren en wanden zijn altijd voorzien van mantelbuizen. Beschouw dergelijke mantelbuizen niet als 'isolatie' omdat ze namelijk nauwelijks isoleren. Zie ook [ISSO-publicatie 108 'Warmteverliezen in leidingsystemen'](#) [251].

Verwarmingsleidingen in geventileerde kruipruimten moeten worden vermeden. De warmteverliezen die hier optreden zullen niet ten goede komen aan de woning.

Het warmteverlies per meter geïsoleerde leiding is afhankelijk van:

- Het temperatuurverschil tussen het CV-water en de ruimte waar de leiding doorheen loopt;
- De diameter van de leiding;
- De dikte en het type leidingisolatie;
- Volledigheid van isolatie bij beugels, doorvoeringen etc.

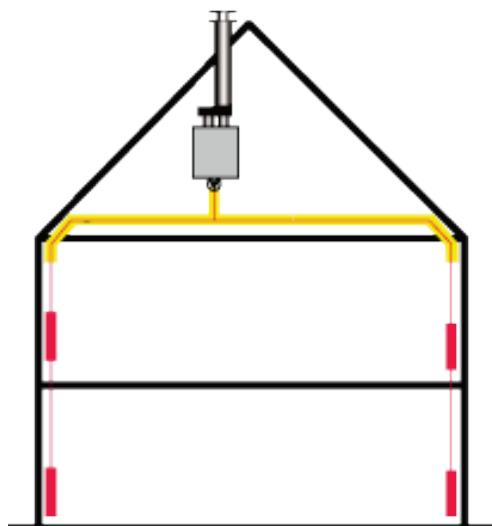
Met behulp van afbeelding 7.13 is de besparing door het aanbrengen van leidingisolatie globaal te berekenen. Hierna staat een voorbeeld van zo'n berekening. De netto-reductie van het energieverbruik door leidingisolatie ligt lager dan de waarden uit afbeelding 7.13 omdat een deel van de leidingverliezen ten goede komt aan de verwarming van de woning.

Afb. 7.13 Bruto vermindering van het leidingverlies per meter leiding in een water-CV door het isoleren van de leidingen ten opzichte van de situatie zonder leidingisolatie, in m³ aardgas per jaar

		Leidingdiameter				
		12 mm	15 mm	22 mm	28 mm	35 mm
		Jaarlijkse aardgasbesparing per meter leiding bij isolatie [m ³]				
Dikte leidingisolatie	9 mm	2,5	3	5	6	8
	20 mm	3	3,5	6	7	9
	30 mm	3,5	4	6,5	8,5	10

Uitgangspunten bij afbeelding 7.13:

- De gemiddelde ruimtemperatuur: 15 °C (onverwarmde ruimte);
- Gemiddelde watertemperatuur van 30 °C over het stookseizoen, inclusief nachtverlaging;
- Gebruiksrendement HR-ketel: 97,5% bovenwaarde;
- Een stookseizoen van 212 dagen.



Afb. 7.14 Het isoleren van de CV-leidingen op de geïsoleerde zolder van de referentie tussenwoning bespaart zo'n 50 m³ aardgas per jaar als de zolder niet verwarmd wordt

Rekenvoorbeeld:

- 25 meter geïsoleerde verwarmingsleidingen op zolder;
- Onverwarmde zolder (15 °C);
- Diameter 22 mm en isolatiedikte 20 mm.

Effect van het achterwege laten van deze isolatie:

Volgens afbeelding 7.13 neemt het bruto energieverbruik toe met: $25 \times 6 = 150$ m³ aardgas per jaar. Hiervan komt naar schatting tweederde ten goede aan de ruimteverwarming van de woning. Het netto energieverbruik neemt toe met de rest, dit is dus circa 50 m³ aardgas per jaar.

Let op!

- Voorzie afsluiters, bochten, aansluitingen, en dergelijke ook van goede isolatie;
- Zorg voor isolatie bij doorvoeren door wanden en vloeren;
- Bevestig beugels bij voorkeur om de leidingisolatie heen (afbeelding 7.15);
- Isoleer ook de verdeler(s).



Afb. 7.15 De leidingisolatie blijft bij deze beugel ononderbroken. (Bron: Walraven B.V. te Mijdrecht)

Regeling

De warmtetoever naar de vertrekken kan op verschillende manieren geregeld worden:

- Een kamer- of ruimtethermostaat: het water of de lucht wordt opgewarmd en vervolgens aan het distributiesysteem afgegeven. Als de temperatuur in het hoofdvertrek (waar de thermostaat bevestigd is) de ingestelde temperatuur bereikt, zal deze de warmteopwekker schakelen. De installatie is in principe zo ontworpen dat, als de hoofdruimte op temperatuur is, de overige ruimtes ook de ontwerp temperatuur zullen hebben. Het is niet mogelijk om de overige ruimten te verwarmen als er in het hoofdvertrek geen warmtevraag is. Dit probleem is te verhelpen door het gebruik van een verplaatsbare (draadloze) kamerthermostaat in plaats van een vaste kamerthermostaat. De circulatiepomp draait alleen als de thermostaat warmte vraagt met een beperkte nadraaitijd;
- Een weersafhankelijke regeling: hierbij wordt de aanvoertemperatuur van het water of de lucht geregeld op basis van de buitentemperatuur volgens een stooklijn, er is geen 'centrale' kamerthermostaat. Alle ruimten zijn onafhankelijk van elkaar te verwarmen. De circulatiepomp draait in principe continu. Dat is een verspilling van stroom (circa 200 kWh extra verbruik). Sommige fabrikanten hebben daar iets op gevonden. Het loont de moeite om daarnaar te informeren.

In beide gevallen kan de temperatuur per ruimte nageregeld worden door een thermostatische radiatorknop of een gewone afsluiter op het afgiftesysteem.

De kamerthermostaat kan een klok- of computerthermostaat zijn, die de gewenste temperatuur op basis van een dag of weekprogramma regelt. Een computerthermostaat ('zelfdenkende thermostaat') bepaalt op basis van de opwarm- en afkoelsnelheid op welk moment het verwarmingstoestel geschakeld moet worden om op het ingestelde tijdstip de gewenste temperatuur te bereiken. De opwarmsnelheid is bekend van de afgelopen dagen. Bij een modulerend toestel hoort een bijpassende thermostaat die het verwarmingstoestel modulerend aanstuurt.

Er zijn ook regelsystemen verkrijgbaar die met behulp van een centraal regelpaneel de verwarming per radiator en/of per vloerverwarmingszone kunnen regelen.

Er zijn steeds meer thermostaten verkrijgbaar die op afstand te bedienen zijn via een 'smartphone' of thuis via PC of 'tablet' mits er wifi in de woning aanwezig is. Ze kunnen bovendien soms inzicht geven in o.a. het (actuele) energieverbruik (zowel gas- als elektriciteitsverbruik). Er zijn talloze slimme tools op de markt beschikbaar waarmee inzicht in het energiegebruik kan worden verkregen. Voor een overzicht van slimme apps, zie www.energieverbruiksmanagers.nl en www.eigenhuis.nl.

Geschat wordt dat huishoudens bij directe feedback via een display een gemiddelde besparing van ruim 5% op het energieverbruik zullen realiseren. Bij gebruik van indirecte feedback, zoals via een website, zal gemiddeld ruim 3% op beide worden bespaard [189]. Uit recentere onderzoek [252] blijkt de besparing bij

indirecte feedback tot nu toe zo'n 1% te bedragen. Alleen bij directe feedback is een iets hogere besparing te verwachten, gelet op ervaring in het buitenland.

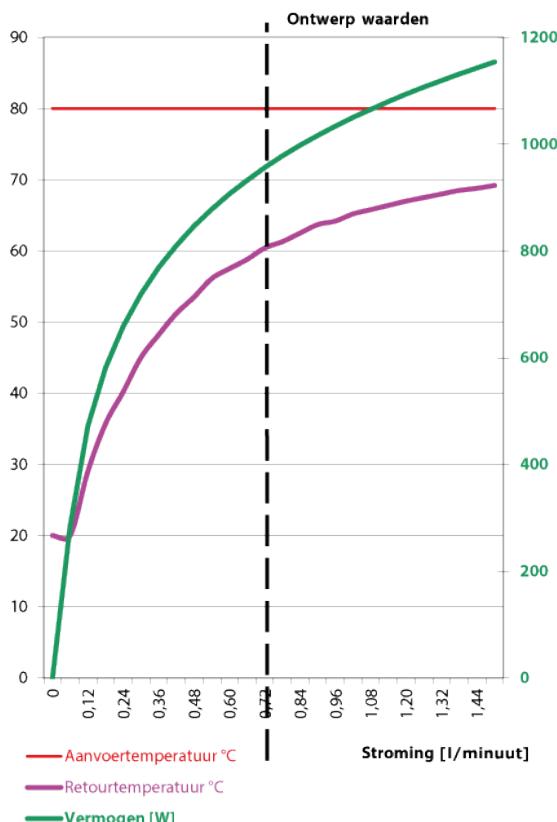
Aandachtspunten:

- Een kamerthermostaat dient de juiste temperatuur weer te geven: zorg ervoor dat deze niet beïnvloed wordt door zonnestraling, straling van lampen of apparatuur. Zorg er ook voor dat deze niet in de 'tocht' hangt van een deur die veelvuldig geopend wordt;
- In de ruimte waar een kamerthermostaat hangt mogen geen thermostatische radiatorkranen op de radiatoren zitten: de regeling raakt in de war;
- Een goede regeling van de ruimtem temperatuur voorkomt te hoge temperaturen, levert een beter comfort en kost minder energie;
- Vooral bij vloer- en wandverwarming kan het stroomverbruik van de regeling en de pompen oplopen door het stand-by verbruik en het niet uitschakelen van de pomp als die niet nodig is.

Inregeling

Om in iedere ruimte de juiste hoeveelheid warmte af te geven, moet er een optimale stroming over de radiatoren of de slangen in wand of vloer plaatsvinden. Het temperatuurverschil over de radiator (ΔT genoemd) is dan conform het ontwerp van de installatie. Om deze optimale stroming ('flow') over de radiator of vloerverwarmingslus te bereiken moet de installatie waterzijdig ingeregeld worden. Hiertoe wordt per radiator of slang de waterstrooming met een nippel of stelschroef in het voetventiel of de radiatorknop of op de verdeler ingesteld.

Zowel te grote als te kleine stroming over de radiator zal deze niet de optimale hoeveelheid warmte afgeven (afbeelding 7.16). Voorzie een afgiftesysteem daarom altijd van inregelventielen omdat deze ervoor zorgen dat het warme water goed verdeeld wordt over het totale verwarmingssysteem.



Afb. 7.16 Bij vermindering van de stroming zal de temperatuur van het uitgaande water lager worden. De gemiddelde temperatuur wordt lager en daarmee ook het afgestane vermogen. Wanneer de stroming zo laag is dat het uitgaande water de kamertemperatuur heeft bereikt (knikpunt) neemt het afgenoemde vermogen lineair af tot nul

Het ontbreken van een inregeling leidt zeker tot klachten omdat sommige vertrekken te warm en andere helemaal niet warm worden. Uiteindelijk leidt het tot een hoger energieverbruik (voor de pomp en het energieverbruik van het opwekkingstoestel) en een lager comfort [159].

7.3 Warmte-opwekking

7.3.1 Energie

Om warmte op te wekken voor ruimteverwarming is energie nodig. We onderscheiden:

- Fossiele brandstoffen;
- Duurzame energie;
- Combinatie van beide.

Fossiele brandstoffen

Door verbranding van aardgas, olie of propaan in een CV-ketel ontstaat warmte, die direct via de lucht of indirect, via overdacht op water, aan de woning kan worden afgegeven. Vanaf 1 juli 2018 moeten door de wet VET (Voortgang Energietransitie) in Nederland alle nieuwbouwwoningen aardgasvrij zijn. De wet biedt nog wel ruimte aan het college van B&W om bij zwaarwegende redenen van algemeen belang uitzonderingen te maken.

Ook wordt er elektriciteit gebruikt in een installatie voor ruimteverwarming. Deze kan direct ingezet worden voor de opwekking van warmte bijvoorbeeld met een warmtepomp, maar wordt ook indirect gebruikt voor de aandrijving van circulatiepompen, regelapparatuur et cetera (zie paragraaf 10.1).

Restwarmte van elektriciteitscentrales of de industrie is ook een vorm van benutting van fossiele brandstof waardoor het totaalrendement wordt verbeterd.

Energiegebruik op basis van fossiele brandstoffen brengt uitputting (gas, olie, kolen) en vervuiling van de atmosfeer (CO_2 , NO_x , SO_2 , fijnstof) met zich mee.

Duurzame energie

Warmte kan ook gewonnen worden uit bronnen met een duurzaam karakter zoals:

- Zonne-energie: Door omzetting in warmte kan zonne-energie benut worden voor ruimteverwarming (paragraaf 7.3.8) en/of warm tapwater (paragraaf 9.3.5);
- Omgevingswarmte: Water, lucht en bodem zijn mogelijk bronnen van omgevingswarmte. Met behulp van een warmtepomp wordt de warmte naar een hoger temperatuurniveau gebracht, geschikt voor afgifte in een LT-systeem. Bodem, grondwater en diep oppervlaktewater zijn de meest geschikte bronnen, omdat in de periode dat er warmtevraag is, de temperatuur relatief hoog is;
- Biomassa. Door verbranding of vergassing van biomassa wordt energie gewonnen (warmte en elektriciteit). Er zijn diverse soorten biomassa te onderscheiden zoals snoeihout, resthout en energiegewassen (hout en grasachtige gewassen);
- Afval. Het gaat hierbij om energiewinning (warmte en elektriciteit) bij verbranding van afval en uit de winning van stortgas uit afval. Duurzaam is alleen dat deel wat afkomstig is van biomassa;
- Windenergie. Ook windenergie is in ons land een belangrijke bron van duurzame elektriciteitsproductie (zie verder hoofdstuk 10);
- Aardwarmte. Bij aardwarmte wordt warmte van hoge temperatuur (maximaal 120 °C) uit diepere lagen van de aarde gehaald (1-3 km). Toepassing van aardwarmte kan alleen in collectieve systemen. Om deze optie economisch rendabel te maken moeten minimaal zo'n 4.000 woningen aangesloten worden.

De NTA 8800 berekent het aandeel hernieuwbare energie dat in een gebouw gebruikt wordt. Ieder nieuw gebouw moet gebruik maken van één of meerdere hernieuwbare energiebronnen. Dit wordt berekend in de BENG 3 indicator. Om deze indicator te kunnen berekenen wordt per energiepost bekeken in welke mate er sprake is van de inzet van hernieuwbare of duurzame energie. Voor ruimteverwarming hebben de volgende systemen een positieve invloed op de BENG 3 indicator:

- Biomassa ketels: de hoeveelheid geleverde energie door de biomassa ketel;

- Warmtepompen: de hoeveelheid hernieuwbare energie die bronzigdig door de warmtepomp gebruikt wordt. Ventilatieretourlucht wordt hierbij niet als een hernieuwbare energiebron gezien. Buitenlucht, bodem, grondwater en oppervlaktewater zijn wel hernieuwbare energiebronnen;
- Stadsverwarming: indien een verklaring aanwezig is met daarop aangegeven welk deel van de geleverde energie uit hernieuwbare bronnen afkomstig is, dan mag dit toegerekend worden aan de woning;
- Zonneboilercombi: de hoeveelheid opgewekte energie door de zonneboilercombi ten behoeve van ruimteverwarming.

7.3.2 CV-ketel

Alhoewel vanaf 1 juli 2018 nieuwe woningen niet meer voorzien worden van een aardgasaansluiting, gaan we hier nog wel in op de toepassing van CV-ketels in woningen omdat deze toestellen de komende jaren nog aanwezig zullen zijn in bestaande woningen.

Verwarmingsketels voor centrale verwarming zijn als volgt in te delen:

- Open of gesloten;
- Wel of geen combinatie met tapwaterverwarming: 'combiketels';
- Het rendement van de ketel;
- Type regeling;
- Ketel-warmtepomp combinaties;
- Combinatie met elektriciteitsopwekking 'HRe ketel'

Open en gesloten ketels

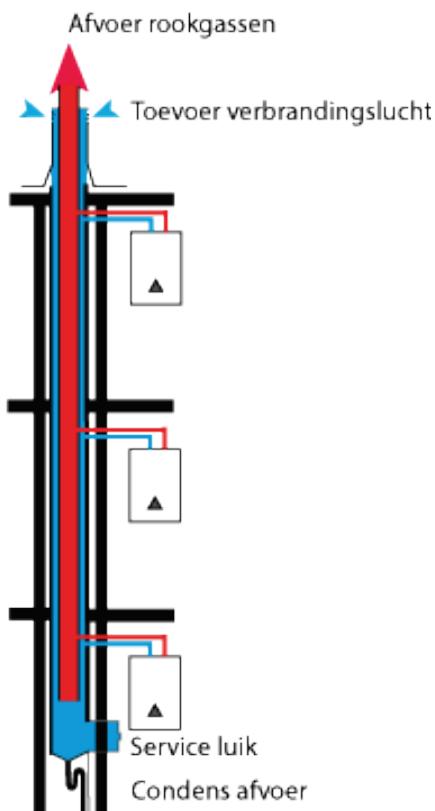
- Bij een gesloten ketel wordt de benodigde verbrandingslucht via een luchttoevoerkanaal met behulp van een ventilator van buiten aangevoerd. De kanalen voor de aanvoer van verbrandingslucht en de afvoer van rookgassen kunnen gecombineerd zijn uitgevoerd. De lengte is aan een maximum gebonden in verband met de capaciteit van de ventilator;
- Bij een open ketel wordt de verbrandingslucht uit de opstellingsruimte van de ketel gehaald. De ketel heeft alleen een afvoerkanaal voor de rookgassen. Voor de luchttoevoer moeten niet-afslutbare ventilatievoorzieningen gemaakt worden. In nieuwbouw worden open toestellen niet meer toegepast.

Opmerkingen

- De opstelplaats moet met zorg worden gekozen in verband met de geluidseisen (paragraaf 4.4);
- CV-ketels gebruiken niet alleen elektriciteit voor de ventilator (bij gesloten toestellen, circa 30 à 70 kWh per jaar), maar ook voor de regelelektronica. Het gaat om 20 tot 80 kWh per jaar. De pomp gebruikt, uitgaande van een pompregeling, zo'n 75 à 150 kWh per jaar afhankelijk van de weerstand in de rest van de installatie en het type pomp. Bij een weersafhankelijke regeling kan het verbruik van de pomp oplopen tot circa 300 kWh. Totaal komt dat in de praktijk uit op een jaarverbruik van 100 tot 500 kWh. Ketels worden hierop getest. Kies dus een ketel met een laag verbruik.

In de gestapelde bouw worden individuele toestellen meestal aangesloten op een gecombineerd luchttoe- en rookgasafvoersysteem, een zogenaamd CLV-systeem (afbeelding 7.17). Hierop dienen wel toestellen met een ventilator met de juiste opvoerhoogte te worden aangesloten (zie toestelvoorschrift van de fabrikant). Dit kanaal kan uitgevoerd zijn als concentrisch dan wel als parallel afvoer/toevoer kanaal.

Onder voorwaarden wordt de lucht vanaf de gevel gehaald en wordt alleen de afvoer op een collectief rookgasafvoerkanaal aangesloten.



Afb. 7.17 Een voorbeeld van een CLV-systeem

Combiketels

Een combiketel zorgt zowel voor ruimte- als voor tapwaterverwarming. Het is van belang om de combiketel zodanig te situeren dat de leidingen voor het warmtapwater zo kort mogelijk zijn, vooral naar de keuken (paragraaf 4.4 en paragraaf 9.2.1). Bij gelijktijdige warmtevraag voor ruimteverwarming en warmtapwater krijgt de levering van tapwater voorrang. Het toestel heeft een aparte regeling voor de watertemperatuur van het tapwaterdeel en voor de ruimteverwarming.

Belangrijke voordelen ten opzichte van gescheiden opwekking voor ruimteverwarming en tapwaterbereiding:

- Goedkoop;
- Minder hulpenergie voor regeling etc.;
- Minder ruimtebeslag.

Nadelen

- Soms nog een matig rendement op tapwaterverwarming door o.a. het op temperatuur houden van het toestel;
- Soms een lange wachttijd van het toestel voordat het warmwater kan leveren; bij de nieuwste ketels speelt dit nadeel vaak niet meer;
- Soms een te beperkt modulatiebereik om als naverwarmer voor een zonneboiler of zonneverwarming te werken. Daarvoor moet het minimum vermogen circa 2 kW (of lager) bedragen.

Rendement

Het rendement van een ketel geeft aan hoeveel van de energie die er als brandstof in wordt gestopt ook daadwerkelijk als warmte uitkomt. In recente woningbouw (voor 2018) werden alleen nog HR-ketels toegepast, VR-ketels (verbeterd rendement) niet meer.

HR-ketels (hoog rendement)

In een HR-ketel worden met een grote of extra warmtewisselaar de verbrandingsgassen zover afgekoeld dat er condensatie optreedt. De daarbij vrijkomende warmte wordt eveneens gebruikt. Bij LT-

verwarmingssystemen komt dit effect van condenseren maximaal tot zijn recht. HR-ketels zijn van het Gaskeur HR-label 100, 104 of 107 voorzien (afbeelding 7.18).

Kenmerken van de HR-ketel:

- Gemiddeld gebruikserendement bedraagt 90% à 97,5% op bovenwaarde volgens NTA 8800 [30]. In deze norm is dit verder opgesplitst: Er wordt onderscheid gemaakt tussen toepassing van de HR-ketel bij hoge of lage temperatuursystemen en bij water-CV of (direct gestookte) luchtverwarming;
- Veel voorzieningen zijn standaard zoals een elektronische ontsteking en een pompregeling;
- Altijd met gesloten verbrandingsruimte;
- Altijd met Gaskeur SV (Schone Verbranding);
- Een corrosievrije condensafvoer op het riool is noodzakelijk;
- Een HR-ketel kan niet worden aangesloten op een gemetselde schoorsteen. Met een mantel kan de schoorsteen geschikt gemaakt worden.

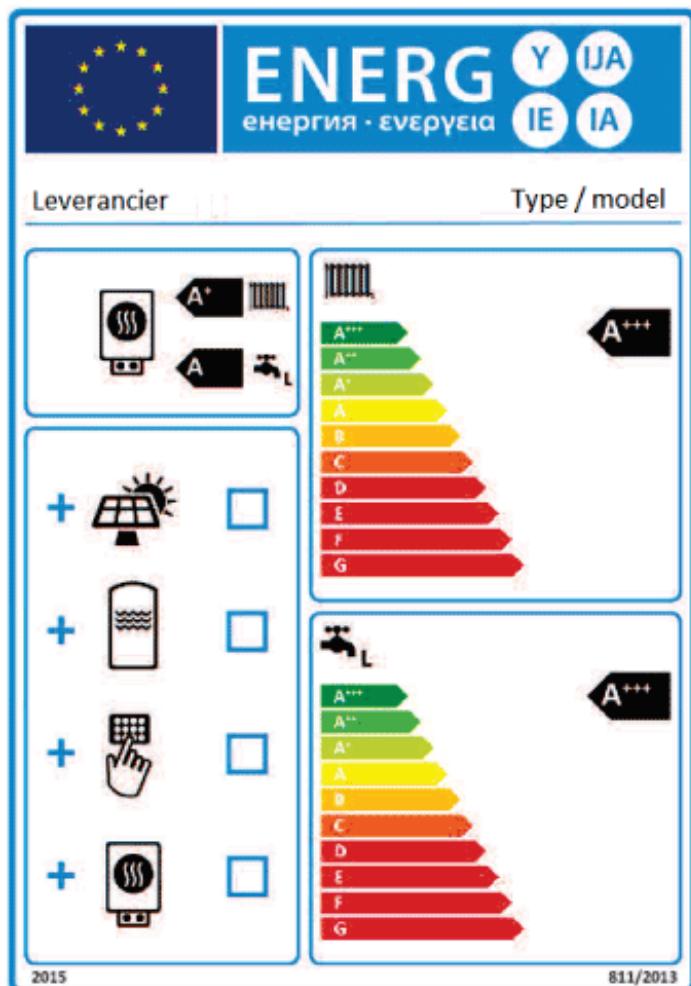
Het rendement [nuttig gebruikte energie/totaal toegevoerde energie in de brandstof] x 100% kan op verschillende manieren worden uitgedrukt en onder diverse omstandigheden worden bepaald. Met name de begrippen 'rendement op onderwaarde' en 'rendement op bovenwaarde' scheppen vaak verwarring. Sinds eind 1997 wordt in ons land, volgens Europese norm, in de GASKEUR-criteria uitgegaan van de onderwaarde. Omdat het gebruik van de bovenwaarde begrijpelijker is (geen waarden boven 100%), zullen in deze paragraaf rendementen volgens beide methoden worden gehanteerd.

Gebruikelijk is om het rendement van een gasketel op de volgende wijze te meten en weer te geven:

- Waterzijdig: Er wordt gekeken naar de daadwerkelijk op het CV-water overgedragen warmte;
- Bij vollast: De ketel brandt continu met volledige gastoeroer tijdens het meten, waarbij een gemiddelde watertemperatuur wordt aangehouden van 70 °C (aanvoer 80 °C, retour 60 °C);
- Bij deellast: Bij een HR-ketel wordt het rendement (voor het bepalen van het HR-Gaskeur) gemeten bij een retourwatertemperatuur van 30 °C met een gastoeroer van 30%. Onder deze omstandigheden wordt optimaal gebruik gemaakt van de condensatiewarmte;
- Ten opzichte van de calorische onderwaarde van de brandstof: Alleen de warmte die direct bij de verbranding vrijkomt, wordt meegeteld;
- Bij het rendement op bovenwaarde wordt de warmte die vrijkomt bij de condensatie van de waterdamp in rookgas wel meegeteld, i.t.t. bij het rendement op onderwaarde. HR-ketels maken juist gebruik van deze condensatiewarmte. Het gevolg is dat HR-ketels, uitgaande van de onderwaarde, rendementen van boven de 100% hebben. Het rendement op bovenwaarde komt overeen met $0,898 \times$ het rendement op onderwaarde;
- Bij berekeningen voor het energieverbruik is het gebruikserendement over een jaar van belang. Bij dit jaargebruiksrendement worden bijvoorbeeld ook de stilstandsverliezen meegerekend. Bij combiketels wordt bij het jaargebruiksrendement de warmte die zich na een tapping nog in het toestel bevindt 's winters toegerekend aan de CV-functie (de warmte wordt nuttig gebruikt) waardoor dit rendement voor tapwater toeneemt. NTA 8800 [30] gebruikt voor het 'jaargebruiksrendement' het begrip opwekkingsrendement.

Afb. 7.18 Overzicht indeling klassen label 'Gaskeur HR'. Het rendement wordt gemeten onder gestandaardiseerde omstandigheden. Let op: De rendementen gelden alleen voor ruimteverwarming en niet voor tapwaterverwarming. In combinatie met het gaskeur CW zegt het HR-label wel iets: Het jaargebruiksrendement moet dan minstens 67% (op onderwaarde) bedragen. Voor tapwater is een apart keurmerk: Gaskeur HRW; daarbij moet het jaargebruiksrendement tenminste 75% (op onderwaarde) zijn (bron: Handboek Gemeenten EPG, 2012). Vanaf september 2015 moeten alle nieuwe verwarmings- en warmwatertoestellen zijn van een Europees energielabel 2012 (zie www.VFK.nl), de Gaskeurlabels blijven gehandhaafd. Er komen twee soorten labels: een 'productlabel' voor een toestel of ander apparaat en een 'pakketlabel' (afbeelding 7.19) voor een samenhangend pakket toestellen en/of apparaten (bijv. combiketel met een zonneboilersysteem en bijpassende klokthermostaat)

	Rendement op onderwaarde in % volgens Gaskeur HR	Rendement op bovenwaarde in % (afgeronde cijfers)
HR 100	≥ 100 en < 104	≥ 90 en < 94
HR 104	104 en < 107	≥ 94 en < 97
HR 107	≥ 107	≥ 97



Afb. 7.19 Voorbeeld van pakketlabel volgens de Europese ERP-richtlijn (Energy Related Products) voor een combiketel met aanvullingen; hetgeen van toepassing is wordt aangevinkt

Opmerkingen

- Alle CV-ketels moeten een (vollast) rendement hebben van minimaal 82% op onderwaarde (CE norm);
- Door de aanvoer van verbrandingslucht en de afvoer van verbrandingsgassen via een concentrisch kanaal te laten plaatsvinden, neemt het rendement van het verwarmingstoestel iets toe ten opzichte van de situatie zonder concentrisch kanaal.

Gastoestellen kunnen worden voorzien van diverse Gaskeur-labels (www.milieucentraal.nl). CV-ketels met het Gaskeur Basislabel moeten een (vollast) rendement hebben van minimaal 88,5% op onderwaarde (ruim 79,5% op bovenwaarde). Naast de Gaskeur Basislabel bestaan er aanvullende labels die elk betrekking hebben op een specifiek aspect van een gastoestel. Toestellen kunnen tegelijkertijd voorzien zijn van meerdere labels. Te onderscheiden zijn:

- Gaskeur HR (Hoog Rendement): Het toestel levert warmte met een hoog rendement;
- Gaskeur HRe: Het toestel (CV-ketel) levert zowel warmte als elektriciteit;
- Gaskeur HRww: Het toestel levert warmwater met een relatief hoog rendement;
- Gaskeur SV (Schonere Verbranding): Het toestel stoot minder dan 40 ppm (parts per million) aan stikstoxyden (NO_x) (voor toestellen met een vermogen kleiner dan 31,5 kW) en minder dan 160 ppm aan koolmonoxyden (CO) uit;
- Gaskeur NZ (Naverwarming Zonneboilers): Het toestel is veilig om gecombineerd te worden met een zonneboilersysteem. Het keurt zegt echter tot op heden niets over het rendement bij de combinatie met een zonneboiler;
- Gaskeur CW (Comfort Warm Water): Gastoestellen met het CW-label voldoen aan bepaalde eisen met betrekking tot tapdempel, wachttijd, gelijkmatigheid van temperatuur en rendement [zie verder in paragraaf 9.3].

Opmerking

Vanaf september 2015 moeten alle verwarmings- en warmwatertoestellen voorzien zijn van een Europees energielabel (zie www.VFK.nl); een pakket apparaten moet voorzien zijn van een 'pakketlabel' (afbeelding 7.19).

Type regeling

Een ketel kan voorzien zijn van een aan/uit regeling, of van een modulerende regeling.

Aan/uit regeling

Bij een ketel met een aan/uit regeling komt de brander bij warmtevraag volledig in bedrijf. Vervolgens schakelt de brander weer volledig uit. De meeste niet-modulerende ketels hebben een instelbare capaciteit voor ruimteverwarming van minimaal zo'n 8 kW. Dit is voor ruimteverwarming in een goed geïsoleerde woning meestal te veel. Dat is de reden dat deze ketels vrijwel niet meer worden gebruikt. Bij combiketels varieert de tapvraag zo sterk dat moduleren daarvoor toch al nodig is.

Modulerende regeling

Een modulerende ketel stemt zijn vermogen traploos af op de werkelijke warmtevraag op elk moment. Wordt er veel warmte gevraagd, dan brandt de ketel op maximaal vermogen. Is de warmtevraag minder, dan brandt de ketel op een kleiner vermogen en geeft de ketel dus minder warmte af. Moderne CV-ketels zijn meestal traploos modulerend vanaf een bepaald minimum vermogen. Voordelen van een modulerende regeling zijn:

- Meer comfort door een gelijkmatiger temperatuur;
- Energiebesparend, er is namelijk minder kans op overbodige warmteproductie;
- Langere levensduur van de brander.

Bij -10°C is in een nieuwbouwwoning meestal maar 5 of 6 kW vermogen nodig, bij echt zuinige woningen nog veel minder. Bij hogere buitentemperaturen volstaat vaak één kW. Kies daarom voor een ketel met een zo groot mogelijk modulatiebereik, zowel voor ruimteverwarming als tapwaterverwarming. In elk geval moet het minimale vermogen kleiner zijn dan de maximale vraag bij -10 °C.

Gebruik bij een modulerende ketel altijd een bijpassende modulerende klok- of kamerthermostaat. Dat zal meestal of een thermostaat van de ketelfabrikant zijn of een 'Open therm' thermostaat. Men maakt dan optimaal gebruik van de voordelen van zo'n ketel. 'Open therm' staat voor een universele taal voor de communicatie tussen CV-ketels en thermostaten.

Capaciteit ketel en thermische massa van het systeem

Als de minimum capaciteit van de ketel groot is en de massa (waterinhoud of de thermische massa van een vloer of wand) erg klein, is er een risico dat de ketel gaat pendelen: met korte tussentijd aan en uit

gaan. Dit verhoogt het energieverbruik en verkort de levensduur. In de meeste ketels is een voorziening opgenomen om dit effect te temperen. De massa in een vloer- of wandverwarming zal het pendelen in elk geval voorkomen.

Ketel-warmtepomp combinaties

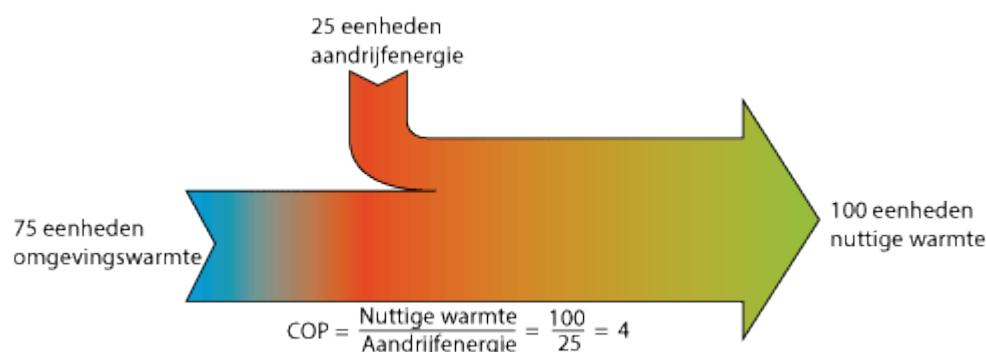
Het gaat hierbij om CV-ketels die bestaan uit een gasketel gecombineerd met een, in het toestel geïntegreerde, warmtepomp. Hierbij levert de warmtepomp de basis warmtevraag en wordt het verbrandingsgedeelte ingeschakeld voor de piek vraag. Het gaat om warmtepompen met buitenlucht of ventilatielucht als bron (paragraaf 7.3.3)

HRe-ketel

Een HRe-ketel is een CV-ketel die naast warmte ook elektriciteit opwekt (micro-warmtekracht). Het voordeel van zo'n ketel is dat het totaal rendement (95% bovenwaarde) veel hoger is dan van gescheiden productie van warmte (95% bw) en stroom (39% bw) of van een traditionele WKK (85% bw). Ook zijn de distributieverliezen voor stroom en warmte te verwaarlozen. HRe-ketels leveren (afhankelijk van het type) circa 2,5 tot 40kW warmte en 1 tot 20 kW elektriciteit. Deze toestellen moeten veel draaiuren maken om de extra investering enigszins terug te verdienen. Denk aan een gasverbruik boven de 1300 m³/jr. Bij zuinige nieuwbouw is dat meestal niet het geval. Let op het gewicht en de (relatief hoge) geluidproductie van deze toestellen.

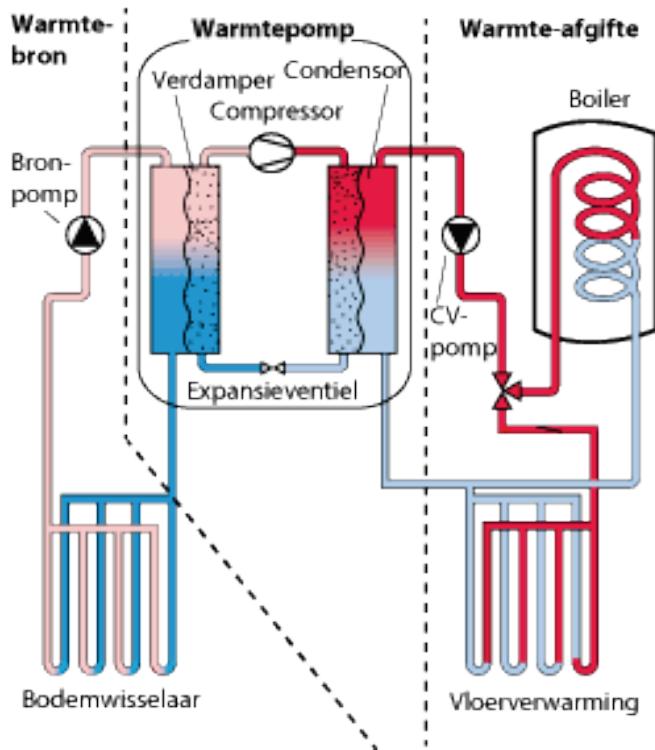
7.3.3 Warmtepomp

Een warmtepomp is een toestel waarmee warmte van een lage temperatuur (bijvoorbeeld grondwater van 10 °C) wordt omgezet naar een hogere temperatuur om te gebruiken voor ruimteverwarming en warmtapwater. Hiervoor wordt een relatieve hoeveelheid elektriciteit toegevoerd aan de compressor van de warmtepomp. Het rendement van de warmtepomp wordt uitgedrukt in de COP (Coëfficiënt Of Performance). Dit opwekkingsrendement ligt in de ordegrootte van 3 tot 5 (afbeelding 7.20), gebaseerd op tabel 9.27 van NTA 8800 voor de elektrische warmtepomp.



Afb. 7.20 De COP = 4. Dit betekent dat de warmtepomp 4 keer meer warmte (kWh thermisch) levert dan het apparaat als elektrische energie (kWh elektrisch) gebruikt. Naast 25% elektrische energie wordt 75% duurzame omgevingswarmte gebruikt bij verwarming van de woningen

Rekening houdend met het opwekkingsrendement van elektriciteit (69%) volgens NTA 8800 [30] levert de warmtepomp een rendement van 200 tot 340% op primaire energie. Er zijn ook warmtepompen op gas: deze hebben een rendement van 130 tot 180%. (Elektrische) warmtepompen leveren een aanzienlijke bijdrage aan de verlaging van het primaire energiegebruik (tweede BENG indicator) en hebben daarnaast (in veel gevallen) ook een positieve invloed op de derde BENG indicator: het aandeel hernieuwbare energie.



Afb. 7.21 Het principe van de warmtepomp

Een systeem met warmtepompen bestaat uit:

- Bron;
- Omzetting (warmtepomp);
- Afgifte.

Met deze basisopbouw kunnen verschillende systeemconcepten worden uitgewerkt. Meer informatie: zie ook www.dhpa-online.nl (Dutch Heat Pump Association).

Bron

Bronnen waar energie aan kan worden ontrokken:

- Ventilatielucht. De warmtepomp gebruikt de warmte uit de afgezogen ventilatielucht om een huis te verwarmen. De capaciteit van warmte uit ventilatielucht is vaak beperkt. Voor ruimteverwarming wordt de combinatie veelal gemaakt met een elektrisch element of een traditionele HR-ketel in de bestaande woningbouw. Een andere mogelijkheid is dat de warmtepomp, bij een tekort aan warmte uit ventilatielucht, buitenlucht bijkapt. De warmtepomp kan ook voorzien zijn van een ingebouwde boiler om te voorzien in de tapwaterbehoefte van de woning (paragraaf 9.3.6);
- Bodem door een verticale of horizontale bodemwarmtewisselaar ('gesloten bron'). Bodemwarmtewisselaars bestaan uit een of meerdere U-lussen. Horizontale systemen liggen op ca. 1 tot 3 meter diepte, waarbij een aanzienlijk oppervlak grond vereist is. Dat is in Nederland meestal niet beschikbaar. Verticale bodemwisselaars (afbeelding 7.22) worden tot een diepte van maximaal zo'n 100 meter in de bodem aangebracht door sondering of boring. Heipalen kunnen eveneens als bodemwarmtewisselaar fungeren. In de heipalen worden kunststof buizen aangebracht, waardoor vloeistof stroomt. Voor meer informatie over het ontwerp en de uitvoering van verticale bodemwisselaars zie [161] en [162].



Afb. 7.22 Rechts op de voorgrond, tussen de funderingsbalken, is de aansluiting (zie de twee zwarte leidingen) met de verticale bodemwisselaar te zien. De foto is genomen in RijswijkBuiten in Rijswijk (ZH)

- Grondwater ('open bron'). Het temperatuurniveau van grondwater in diepe zandlagen op ongeveer 50 à 150 m diepte is gedurende het gehele jaar circa 12 °C. Om dat te benutten moet een bronnensysteem aangelegd worden waarmee het grondwater uit een diepere watervoerende laag (aquifer) kan worden onttrokken. Ten behoeve van de grondwateronttrekking dienen zowel een onttrekkingbron als een injectiebron te worden aangelegd. Tussen grondwater en warmtepomp moet een warmtewisselaar worden geplaatst om vervuiling van het grondwater en de warmtepomp uit te sluiten. Grondwater is vaak agressief. Grondwater heeft tijdens alle seizoenen een nagenoeg constante temperatuur. De COP van de warmtepomp zal daardoor ook vrij stabiel zijn;
- Oppervlaktewater. Indien in de nabijheid voldoende oppervlaktewater, bijvoorbeeld uit een rivier, meer of zee en, voor kleinere projecten, een vijver beschikbaar is kan deze als bron fungeren. Let op dat de onttrekking zo diep moet plaats vinden dat die niet bevriest en dat anderzijds het leven in de waterbodem niet verstoord wordt;
- Buitenkant. Met behulp van een ventilator wordt de buitenlucht door een warmtewisselaar gezogen. Een nadeel is dat deze energiebron anticyclisch is: de grootste warmtevraag doet zich voor als de buitentemperatuur laag is. Dat beïnvloedt de COP negatief. Het rendement is beduidend lager dan met een bodemwisselaar of grondwater. Ook is het verbruik van de ventilator meestal aanzienlijk. Let op geluidsproductie van de buitenunit (vooral 's nachts kan geluid vlakbij slaapkamerramen erg hinderlijk zijn!). Diverse fabrikanten leveren de combinatie van lucht-waterwarmtepomp en HR-ketel, samen vaak aangeduid als hybride warmtepompsysteem. Speciale aandacht vraagt de architectonische inpassing van de buitenunit;
- Energiedak of asfaltcollectoren (in het wegdek of onder een parkeerplaats). Met behulp van deze collectoren wordt zowel zonnewarmte als warmte aan de buitenlucht onttrokken. Deze bron wordt vooral toegepast voor regeneratiedoelen om naast verticale bodemwisselaars of grondwater in de zomer de bodem weer op temperatuur te brengen;
- Restwarmte. Deze kan verkregen worden uit interne of externe bronnen. Interne bronnen zijn bijvoorbeeld afvoerlucht van het ventilatiesysteem of rioolwater. Externe bronnen worden gevormd door restwarmte van industriële processen, elektriciteitscentrales of koelbehoeften van gebouwen in de nabijheid.

De toepasbaarheid van een bron hangt af van:

- Het temperatuurniveau en de warmte-overdrachtseigenschappen;
- De beschikbaarheid, zowel geografisch als in de tijd;
- De grootte en complexiteit van de installatie voor het bruikbaar maken van de bron;
- De investeringskosten en de kosten voor onderhoud en exploitatie.

Efficiënte bronnen zoals grondwater of de bodem zijn voor individuele toepassingen relatief kostbaar in verband met de benodigde installaties. Het collectieve gebruik van dergelijke bronnen (voor meerdere

individuele warmtepompen) of het tegelijkertijd realiseren van de bronnen in grotere projecten is daarom vaak voordelig. Het distributieleidingsysteem dat hiervoor nodig is, hoeft niet geïsoleerd te worden gezien de lage temperaturen van ca. 10-12 °C uit de bron.

Om de kosten te beperken wordt de capaciteit van een warmtepomp meestal aan de kleine kant gekozen. Er is dan of een buffer of bijverwarming nodig om pieken op te vangen. In de bestaande bouw wordt de combinatie met een bestaande HR-ketel veelal gekozen om het gebruik van fossiele energiebronnen (gas) te beperken. In de all-electric concepten zijn de warmtepompen voorzien van ingebouwde elektrische elementen die eventueel voorziet in de thermische desinfectie van de boiler en als ondersteuning van de CV-verwarming.

Het rendement is hoger naarmate het temperatuurverschil tussen de gebruikte warmte (bron) en de geproduceerde warmte (afgifte) kleiner is. Een warmtepomplijn voor toepassing van ruimteverwarming vereist daarom een LT-afgiffesysteem.

Het rendement van de warmtepomp wordt uitgedrukt in de Coëfficiënt Of Performance (COP): de verhouding tussen de geleverde warmte en de daarvoor benodigde energie van de compressor.

De Seasonal Performance Factor (SPF) geeft eveneens de verhouding aan tussen de geleverde warmte en de daarvoor benodigde toevoer van energie, echter inclusief de benodigde hulpenergie voor de bronpomp en het distributiesysteem en gemeten voor een heel stookseizoen.

Zowel COP als SPF kunnen worden bepaald aan de hand van een gemiddelde van de meetwaarden over een geheel seizoen, of een gehele periode.

De Primary Energy Ratio (PER) geeft, evenals de SPF, de verhouding aan tussen de nuttig geleverde energie en de daarvoor benodigde toevoer van energie, waarbij gekeken wordt naar de herkomst van de energietoevoer. Voor elektriciteit wordt rekening gehouden met het rendement waarmee deze is opgewekt. Informatie in [175].

Regeneratie

Bij warmte-onttrekking aan de bodem zal deze op termijn in temperatuur dalen waardoor het rendement van de warmtepomp afneemt. De temperatuur van de bodem moet daarom gedurende het jaar (of gedurende enkele jaren) weer in balans gebracht worden. Het is daarom meestal noodzakelijk om weer evenveel warmte in de bodem te injecteren als er aan warmte is onttrokken (bodemregeneratie); soms is een klein koude-overschot toegestaan omdat het tekort op natuurlijke wijze via grondwaterstromen wordt aangevuld. In de zomer kan deze regeneratie plaatsvinden door bijvoorbeeld gebruik te maken van:

- Ruimtekoeling door zogenaamde 'vrije koeling' (paragraaf 8.3.4); let op: vrije koeling zal lang niet altijd voldoende warmte voor volledige regeneratie opleveren;
- Zonnecollectoren. In de zomer kunnen de collectoren warmte opnemen, welke voor lange termijn in de bodem opgeslagen wordt. In de winter kan deze door de warmtepomp benut worden. De hiertoe beschikbare collectoren zijn veel goedkoper dan de collectoren voor warmtapwaterbereiding. Mogelijkheden zijn bv. asfaltcollectoren of dakcollectoren die onder de platdakbedekking (een 'zonthermisch dak' [179]) worden weggewerkt;
- Oppervlaktewater, dat in de zomer wordt opgewarmd kan tevens een bijdrage aan de regeneratie van de bron leveren. Het oppervlaktewater koelt hierdoor een stuk af.

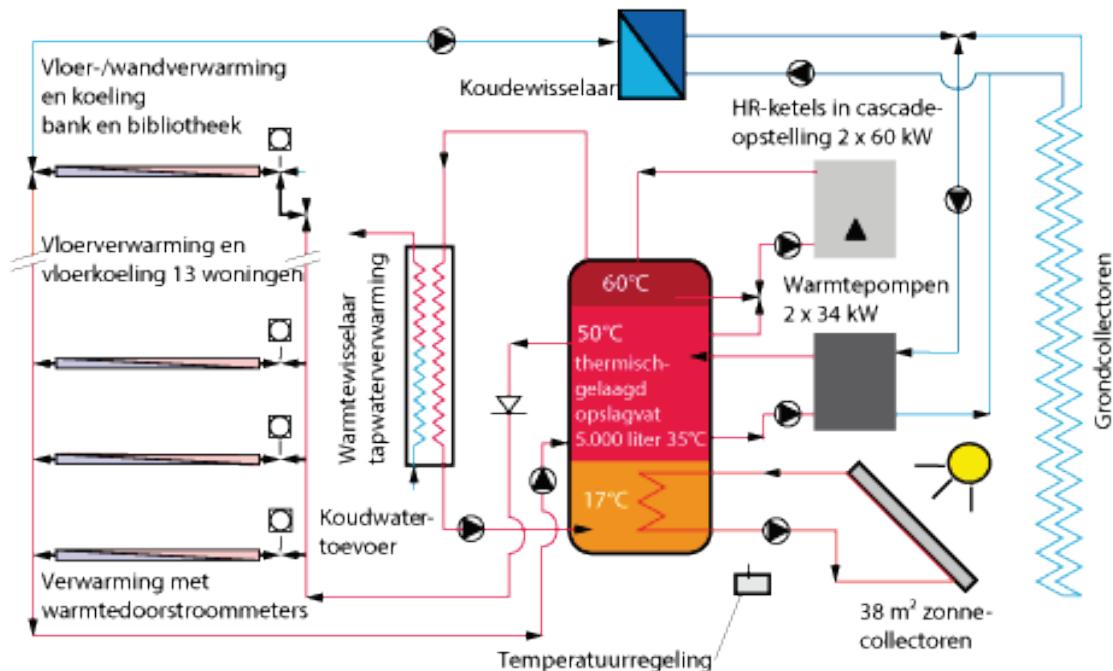
Zie bij paragraaf 7.3.9 (WKO) voor vergunningen of meldingen om een bodemenergiesysteem aan te leggen.

Elektrische (compressie-)warmtepomp

De COP van een warmtepomp is erg gevoelig voor de temperatuur van de bron en van het afgifte-systeem (afbeelding 7.25). Lage temperatuursystemen die werken met een temperatuur lager dan 45 °C zijn noodzakelijk; de brontemperatuur mag niet te laag zijn. Tot 80% van de geleverde warmte wordt aan

de bron ontrokken. De bron moet dus een grote capaciteit hebben.

Elektrische warmtepompen zijn in alle capaciteiten te koop: Van klein voor basislast in een enkele woning tot groot voor collectieve systemen. Een compressie-warmtepomp is een mechanisch apparaat. Daarom is aandacht voor de geluidproductie van belang.



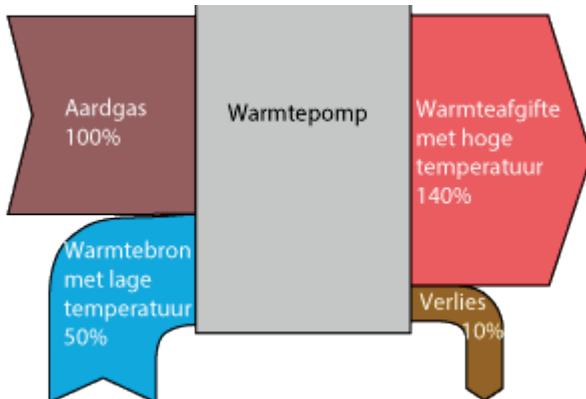
Afb. 7.23 Principeschema installatie voor verwarming en koeling van het voorbeeldproject Rabobank Pey-Posterholt in Echt te Limburg [171]. Het project omvat zowel een bank, een bibliotheek als dertien woningen. De installatie voor ruimte- en tapwaterverwarming (en koeling) is collectief. Twee warmtepompen onttrekken warmte uit de bodem of uit de vloerkoeeling van de bank. De warmtepompen geven deze warmte af aan een opslagvat van 5 m³. Ook de zonnedoelcollectoren (circa 40 m²) geven hun warmte af aan dit (buffer)vat. Eventuele extra verwarmingscapaciteit kan geleverd worden door twee HR-ketels die ook de warmte leveren voor het naverwarmen van het tapwater. De bank en bibliotheek zijn voorzien van vloer en wandverwarming, de woningen van vloerverwarming. De vloer- en wandverwarming worden ook gebruikt voor de afgifte van koude. Deze koude wordt onttrokken uit de bodem of is afkomstig van de warmtepomp (als deze warmte produceert). (Bron: Opdrachtgever: Rabobank; Architect: Architectenbureau Keulers, Schrijen Coonen te Echt/Geleen; Adviseur: Boom-Maastricht; Realisatie: 1999)

Gasgestookte (absorptie-)warmtepomp

De gasgestookte absorptiewarmtepomp heeft maar een bron met kleine capaciteit nodig, tot zo'n 40% van de geleverde warmte. Als de temperatuur van de bron daalt, daalt het totale rendement wel, maar nooit onder dat van de beste HR-ketel. Dit geldt ook voor de afgiftetemperatuur. Hoger dan 70 °C moet die echter niet komen. De absorptiewarmtepompen kunnen uitermate stil zijn door het ontbreken van draaiende delen.

Een speciale uitvoering van de gasgestookte warmtepomp is de gasmotor-warmtepomp: een combinatie van gasmotor- en compressie-warmtepomp. Gezien als 'black box' heeft die vergelijkbare eigenschappen als wat hiervoor is gesteld, met uitzondering van het geluidsniveau: Een separate opstellingsruimte met een zeer goede geluidsisolatie is noodzakelijk.

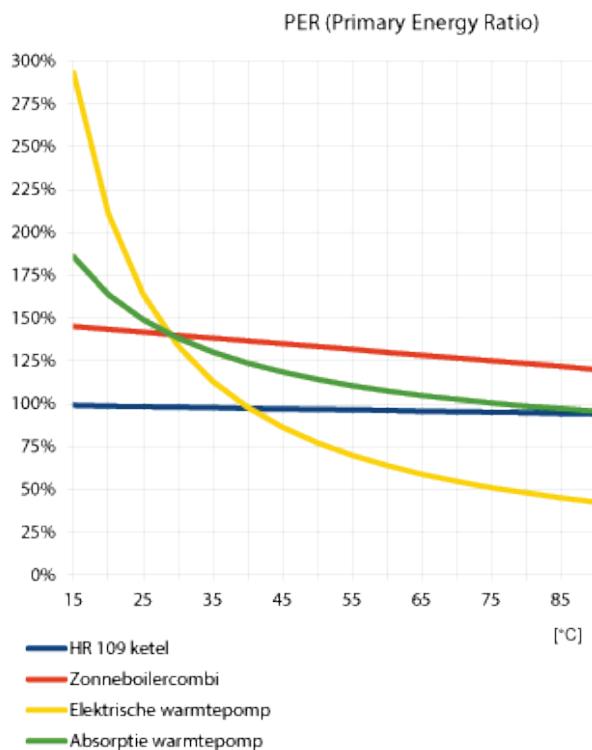
Er zijn al langere tijd systemen vanaf 40 kW te koop, geschikt voor minimaal tien woningen.



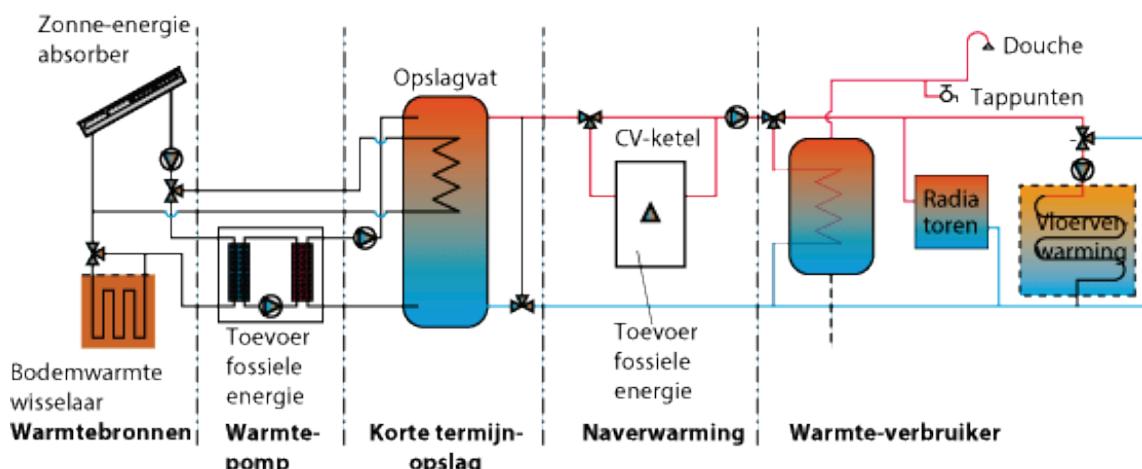
Afb. 7.24 Sankey-diagram van een gasgestookte warmtepomp

Aandachtspunten

- De individuele warmtepomp voor een woning neemt meer ruimte in beslag dan een CV-ketel. Reserveer minimaal $0,6 \times 0,6 \text{ m}^2$ en neem tijdig contact op met een leverancier. Ook is het gewicht veel hoger dan dat van een CV-ketel, ordegrootte 150 tot 200 kg;
- Vanwege de mogelijkheid tot vrije koeling levert de individuele warmtepomp extra comfort in de zomer zonder veel extra energieverbruik (alleen de bronpomp moet dan draaien);
- Om de investering te reduceren, wordt vaak gekozen voor collectieve warmtepompen. Dit is technisch goed mogelijk. De isolatie van het leidingnet en de individuele bemetering en afrekening verdienen daarbij veel aandacht;
- De warmtevraag moet zo nauwkeurig mogelijk worden berekend. Een overschatte warmtevraag verlaagt het rendement van een warmtepomp sterk doordat de warmtepomp niet optimaal kan draaien door voortdurend starten en stoppen. Veel warmtepompen kunnen moduleren ('inverter technologie'), maar nog niet alle;
- Let op geluiddemping en trillingvrije opstelling bij gasmotoren en compressiewarmtepompen. Kies een plek in de woning die niet grenst aan een slaapkamer;
- Warmtepomp-systemen die hun warmte uit de buitenlucht halen, kunnen afhankelijk van het vermogen geluidsoverlast veroorzaken door de grote hoeveelheid lucht die ze verplaatsen;
- Het is van belang om voor bodemwarmtewisselaars en grondwaterbronnen meerjarige garantie op de capaciteit en de goede werking te krijgen. Een te kleine capaciteit komt pas na jaren aan het licht;
- Het energieverbruik voor pompen en ventilatoren van de bron- en afgiftesystemen bij warmtepompinstallaties kan variëren van 5 tot 20% van het totale energieverbruik, dus inclusief de warmtepomp zelf. Dit percentage hangt af van het ontwerp en de dimensionering van de genoemde systemen. Dat kan het voordeel van de warmtepomp tenietdoen. Houd hiermee rekening bij het ontwerp van de installatie;
- Bij toepassing van elektrische warmtepompen op grote schaal binnen een plangebied (buurt, wijk) moet het elektriciteitsnet waarschijnlijk zwaarder worden uitgevoerd dan gebruikelijk; houd ook rekening met de benodigde capaciteit bij opstarten van de warmtepompen na storing;
- Warmtepompen kunnen ook voor de verwarming van tapwater worden gebruikt (paragraaf 9.3.7).



Afb. 7.25 Indicatie van de PER van een elektrische en gasgestookte warmtepomp, zonneboilercombi en van een HR107-ketel, afgezet tegen het temperatuurverschil dat de warmtepomp moet overbruggen tussen de bron en het afgiftesysteem. Voor de HR-ketel en de zonneboilercombi is de aanvoertemperatuur van de CV-installatie genomen. De investering voor de beide warmtepompen en de zonneboilercombi zijn globaal hetzelfde. Duidelijk blijkt hoe sterk de PER van warmtepompen afhangt van het genoemde temperatuurverschil



Afb. 7.26 Toepassing van warmtepomp in combinatie met andere apparatuur

Systeemkwaliteit warmtepompen

Een systeemkeur voor warmtepompsystemen bestaat nog niet, een keurmerk voor de afzonderlijke functies van warmtepompen wel. De kwaliteit van een installatie met een warmtepomp is afhankelijk van het totale systeem en niet van de werking van de warmtepomp alleen. De BRL 6000 [177] is een belangrijke informatiebron voor installateurs. Een installateur die KOMO-INSTAL gecertificeerd is en die volgens de genoemde BRL de warmtepomplastellatie ontwerpt en aanlegt, zal een waarborg zijn voor een goede installatie.

Zie voor meer informatie de sites van de Dutch Heat Pump Association ([DHPA](#)) en InstallQ ([www.installq.nl](#)).

7.3.4 Warmte/kracht-koppeling (WKK)

Men spreekt over warmtekrachtkoppeling wanneer de warmte die vrijkomt bij de opwekking van de elektriciteit, wordt gebruikt voor verwarmingsdoeleinden. De brandstofbesparing kan oplopen tot circa 30% van het verbruik bij gescheiden opwekking (afbeelding 7.27). Warmtekrachtkoppeling wordt tot nog toe vrijwel alleen in collectieve systemen toegepast (paragraaf 7.4). In woningen is op kleine schaal ervaring opgedaan met de toepassing van kleine WKK-toestellen: de HRe ketel (§7.3.2). Deze toepassing is nooit echt doorgebroken, en met de komst van de wet VET is de toekomst voor deze techniek onzeker.

Er is een onderscheid tussen het elektrische rendement en het totaalrendement. Om de toepassing van een WKK rendabel te maken moet het totaalrendement zo hoog mogelijk zijn (>90% bovenwaarde). Het elektrisch rendement ligt voor elk type WKK min of meer vast. Het totaalrendement is vaak te verbeteren door het toevoegen van een extra rookgaskoeler en/of warmtewisselaar die de opstellingsruimte koelt in plaats van het koelen met buitenlucht wat nu nog veel gebeurt.

Haalbaarheid WKK

Afhankelijk van het aantal woningen komen bepaalde typen WKK's in aanmerking. Vanaf zo'n 20 woningen is mini-WKK met een elektrisch vermogen vanaf 5 kW geschikt. Het elektrisch rendement ligt op 25% (bovenwaarde). De WKK wordt op blokniveau ingepast.

Grote gasmotor WKK-installaties hebben een elektrisch vermogen vanaf circa 150 kW tot 5.000 kW of meer, thermisch vanaf zo'n 260 kW. Zij zijn geschikt voor projecten vanaf circa 200 woningen met een voorkeur voor minimaal 300 woningen (paragraaf 7.4). Het elektrisch rendement is afhankelijk van de grootte vanaf 34% tot > 45% op bovenwaarde.

Voor grote woningbouwprojecten (globaal 4000 (gestapelde) woningen) komen ook gasturbines in aanmerking. Het elektrisch-rendement van gasturbines bedraagt circa 34% op bovenwaarde.

Zowel gasmotoren als -turbines hebben het nadeel dat ze een hoge uitstoot van stikstofoxide (NO_x) veroorzaken. Deze uitstoot is drie (bij gasturbines) tot zeven (bij gasmotor) maal zo hoog als die van een HR-ketel.

In een brandstofcel wordt gas direct omgezet in warmte en elektriciteit. Elektrische rendement van 44% (bovenwaarde) en 90% totaal rendement wordt nu al gehaald. NO_x uitstoot is te verwaarlozen en de systemen zijn erg stil. Ze worden nagenoeg nog niet toegepast.

Zeer hoge elektrische rendementen tot 50% op bovenwaarde en een lage uitstoot van NO_x worden gehaald met een combinatie van een SToomgenerator En Gasturbine, de zogenaamde STEG-centrales. Dat rendement daalt wel als er warmte wordt afgetapt. Het totaal rendement blijft daarom steken op 80%. Daar gaat het verlies in het distributienet nog af. De vermogens van deze centrales zijn hoog, minimaal 200 MW, waardoor ze een zeer groot aantal aansluitingen nodig hebben (vanaf circa 20.000 woningen). De aanleg van een grootschalig distributienet, dat voor deze centrales noodzakelijk is, blijft financieel een riskante zaak.

Kleinschalige distributienetten met kleinere WKK-installaties blijven daarom interessant, mede vanwege het feit dat ze later, als het distributie-netwerk volledig is uitgebouwd en de oude WKK's versleten zijn, aan een grootschalig distributienet met STEG-centrales gekoppeld kunnen worden.

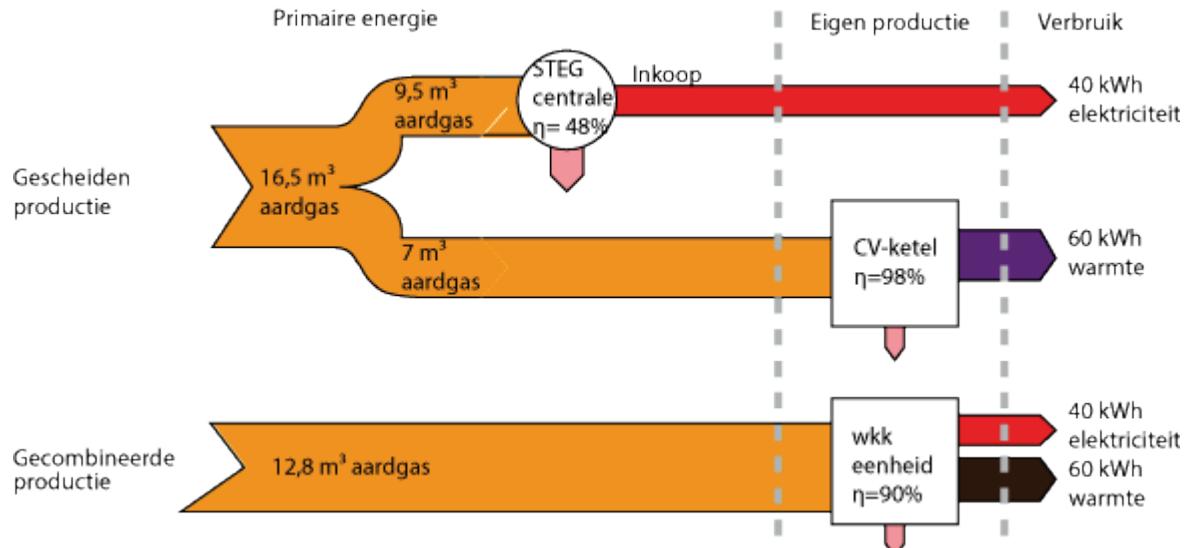
Exploitatie WKK

De exploitatie van een WKK-installatie kan vaak in samenwerking met het energiebedrijf of een andere exploitatiemaatschappij plaatsvinden. Dit bedrijf neemt dan de elektriciteit af en de warmte gaat naar de woningen. Als het energiebedrijf een korting op de warmtekosten geeft is dat een voordeel voor de bewoners.

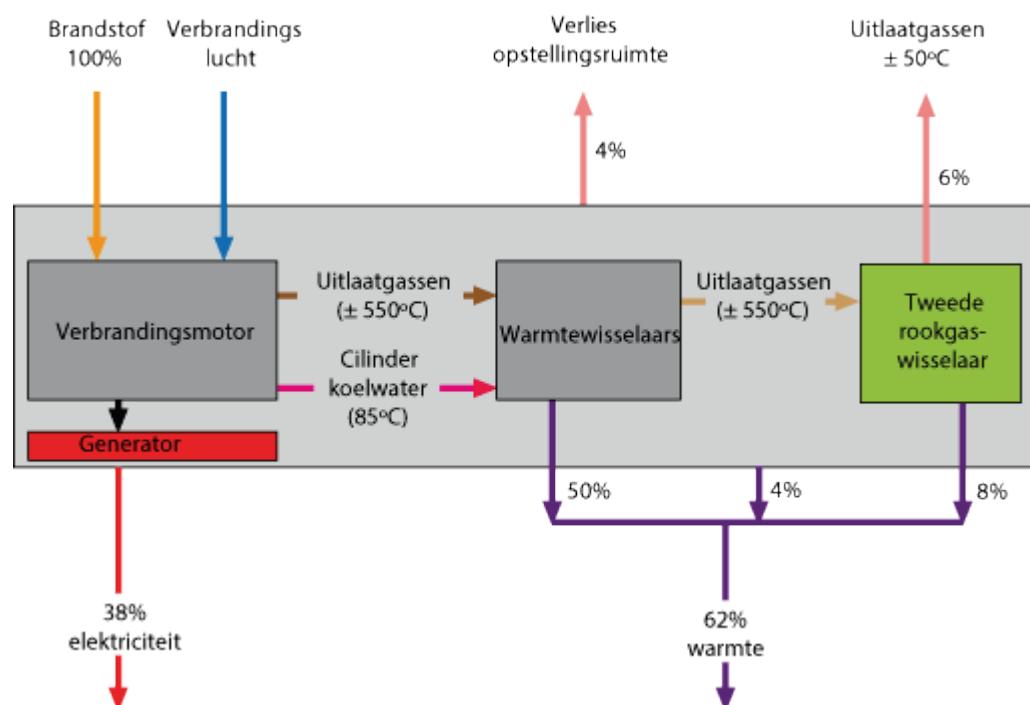
Opmerkingen:

- Een WKK-installatie veroorzaakt geluid en trillingen. Bij plaatsing in een woonblok zijn maatregelen nodig;
- Houd rekening met het onderhoud aan de installatie. Vraag om een vast onderhoudscontract;

- Zorg er voor dat de installatie veel ongestoorde draaiuren kan maken. Veelvuldig starten en stoppen is funest voor de levensduur. Kies het vermogen niet te groot en zorg voor voldoende buffer.



Afb. 7.27 Verschil in primair energieverbruik tussen een gescheiden en een gecombineerde productie van warmte en elektriciteit



Afb. 7.28 Werkingsprincipe van een WKK-eenheid. Rendementen op onderwaarde

7.3.5 Biomassa ketel

Dit zijn ketels waarin sommige soorten biomassa wordt verstoekt:

- Houtblokken. Dit is een goedkope brandstof, maar het stoken vereist zeer veel werk, waar maar weinig mensen zin in hebben. Met een zogenaamde 'vergasser' ketel is de verbranding redelijk schoon en het rendement vergelijkbaar met een VR-gasketel;
- Houtsnippers. Zoals de plantsoenendienst die kan aanleveren. Vaak een lokale bron en daarom aantrekkelijk. Ketels kunnen volledig automatisch werken. Er is een grote voorraad nodig (1 m³ snippers heeft de verbrandingswaarde van 80 m³ gas). Snippers moeten minimaal een jaar drogen, natte snippers branden wel, maar zijn vervuilend en met een slecht rendement;

- Houtpellets, geperste zaagsel brokjes 5 tot 15 mm groot. Verregaand geautomatiseerde systemen tegen een lage investering. Zeer hoge HR-rendementen zijn mogelijk. De pellets vormen een kant en klare brandstof, met een internationale afkomst en een prijs die uiteindelijk aan de olieprijs is gekoppeld;
- Vloeibare biomassa zoals frituurvet, koolzaadolie en dergelijke (wordt zelden toegepast). Dit is te verstoken in normale olietankels met een aangepaste brander. Het is echter de vraag of deze brandstof die in principe schaars is, niet beter gebruikt kan worden in WKK of transport.

De investering voor een biomassa installatie is hoog, maar de bedrijfskosten meestal laag. De rookgassen zijn minder schoon dan van aardgas. Ook onderhoud aan de installatie is meer dan we van een gasinstallatie gewend zijn.

Biomassa wordt door de overheid als een duurzame brandstof beschouwd omdat de CO₂ die vrijkomt bij de verbranding weer wordt opgenomen door nieuwe bomen en gewassen die worden aangeplant. Vrij recent is er echter twijfel ontstaan over de mate van duurzaamheid van sommige soorten biomassa. Meer info: Kennisdocument Houtstook in Nederland [255], www.milieacentraal.nl en www.rvo.nl.

In de NTA8800 wordt een onderscheid gemaakt in drie typen systemen voor het stoken van vaste biobrandstoffen:

- Grote systemen die moeten voldoen aan de (emissie) vereisten uit het Activiteitenbesluit;
- Kleinere (huishoudelijke) systemen die voldoen aan bepaalde emissie vereisten (bijlage R van NTA 8800);
- Overige systemen die niet voldoen aan het Activiteitenbesluit of bijlage R.

De eerste categorie systemen wordt binnen de NTA 8800 als volledig hernieuwbare energie gewaardeerd, voor de tweede categorie wordt uitgegaan van 50% hernieuwbare energie. En de laatste categorie wordt als niet hernieuwbaar behandeld in de NTA 8800. Deze waardering van biomassa in de NTA 8800 is een beleidsmatige keuze.

7.3.6 Geothermie of aardwarmte

Hoe dieper in de aardkorst, hoe warmer het wordt. Gemiddeld neemt de temperatuur met 3 graden per 100 m toe. Op 2 km diepte is de temperatuur dus 70 °C. Daar kunnen dus prima huizen mee worden verwarmd. Voorwaarde is wel dat op die diepte een aquifer (watervoerende laag) aanwezig is zodat door water op te pompen warmte kan worden onttrokken. Via een tweede bron wordt dat water, afgekoeld, weer terug gepompt. Het zal duidelijk zijn dat de investeringen in deze bronnen erg groot zijn en dat die voor een groot aantal (enkele duizenden) woningen gebruikt moeten worden.

Extra bijkomstigheid is dat er geen zekerheid bestaat dat een boring ook lukt (een goede laag aanboort). Dat maakt het risico groot. Om dit risico af te dekken bestaat er een collectieve regeling, zodat het risico over alle aardwarmte projecten wordt gespreid. Een andere hobbel die echter pas na tientallen jaren boven komt, is dat aardwarmte niet eindeloos is. Een bron raakt eens uitgeput omdat de hoeveelheid die gewonnen kan worden fundamenteel beperkt is tot circa 50 kW/km² terwijl we een veel groter vermogen (enkele MW) winnen. Tegen die tijd opent zich echter wel een nieuwe mogelijkheid om de bronnen te gebruiken als verliesloze opslag voor hoge temperatuur (zonnewarmte).

Zie o.a. www.geothermie.nl voor informatie over lopende projecten.

7.3.7 Cascade opstelling

Een groot vermogen voor de warmte-opwekking kan opgebouwd worden uit een groot aantal kleinere eenheden, zoals WKK, warmtepompen en HR-ketels. Bij dergelijke parallel geschakelde warmtebronnen spreekt men van een 'cascade-opstelling'. Belangrijke voordelen zijn:

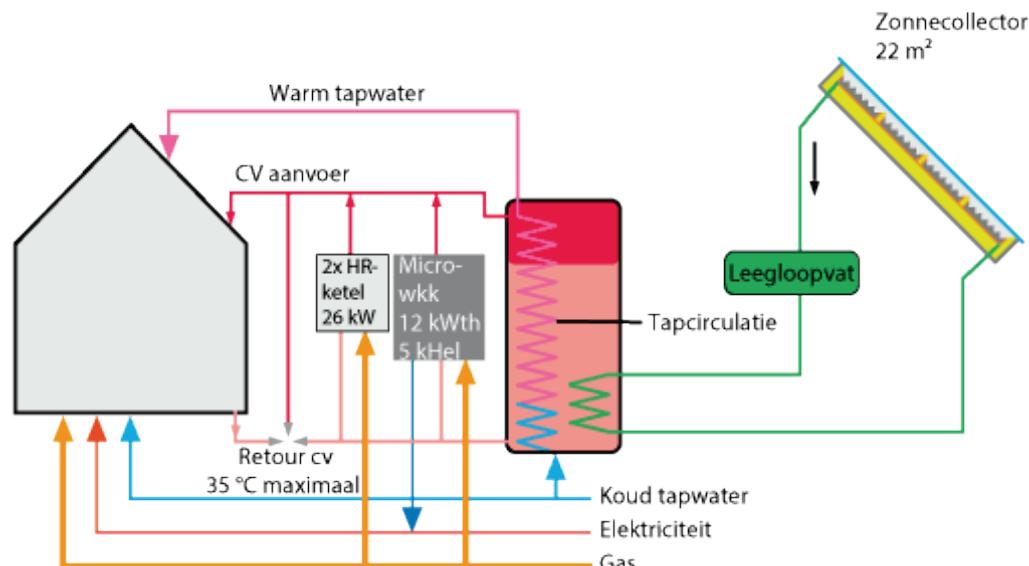
- Kleinere eenheden worden in massa geproduceerd en zijn daardoor voordelig in aanschaf en onderhoud;
- Door het grote aantal (tot 10 stuks) is storing in een eenheid geen probleem. Er hoeft geen overcapaciteit te worden geïnstalleerd om altijd te kunnen leveren;
- De eenheden zijn zo aan te sturen dat het maximale rendement wordt gehaald;

- De verwarming van tapwater die vaak gekoppeld is aan het CV-systeem vraagt kortstondig maar een klein vermogen. Grote ketels hebben dan een zeer slecht rendement omdat de energie om de ketal optemperatuur te brengen al groter is dan de tapvraag. Een kleine eenheid van een cascade-opstelling kan hier juist perfect aan voldoen.

Een cascade-systeem biedt voor grote systemen zoals we die aantreffen in collectieve installaties dus veel voordelen boven de traditionele opstelling van twee grote eenheden. Cascade-opstellingen zijn zowel voor nieuwbouw (afbeelding 7.29), als voor renovatie [180] interessant.

Opmerking:

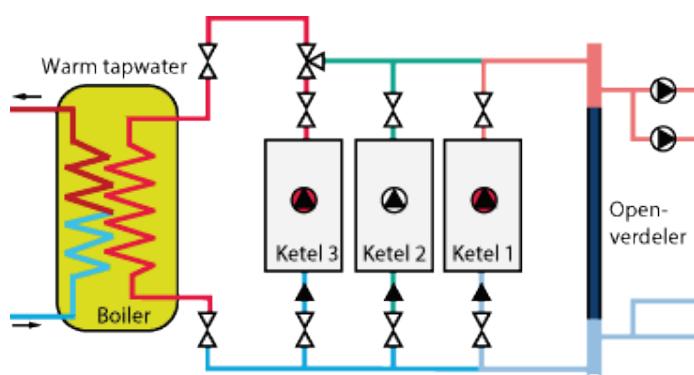
Let er op dat de eenheden die niet werken, niet doorstroomd worden met het CV-water. Dit wordt bereikt door per eenheid terugslagkleppen te monteren. Zonder deze voorziening zal een niet-werkende eenheid als koelrib gaan werken.



Afb. 7.29 Voorbeeld van toepassing van mini-WKK in combinatie met zonne-energie bij een complex van 11 seniorenwoningen en enkele gemeenschappelijke ruimten in Bennebroek. Er is een cascade toegepast van zonneboiler, mini-WKK, en twee HR-ketels. Realisatie: 1997

In de woning van afbeelding 7.29:

- Vergrote radiatoren;
- HR++-glas;
- Gebalanceerde ventilatie met WTW;
- Gas voor koken;
- Alle energie individueel afgerekend;
- Regenwater voor toiletspoeling;
- Waterbesparende maatregelen.



Afb. 7.30 Voorbeeld van een cascade-opstelling met voorkeurschakeling voor warmtapwater

7.3.8 Zonneboilercombi

Met een zonneboilercombi wordt zonne-energie actief ingezet voor ruimteverwarming en warmtapwater (zie hoofdstuk 9). In voor- en naseizoen is de inzet voor ruimteverwarming vaak efficiënter dan voor het verwarmen van tapwater doordat het temperatuurniveau voor ruimteverwarming lager is. De installatie bestaat uit zonnecollectoren met aanvullende voorzieningen voor opslag en distributie.

Voor een zonneboilercombi is 6 tot 10 m² collector nodig.

De naverwarmer kan in het opslagvat geïntegreerd zijn of apart aan het opslagvat gekoppeld worden. Dankzij de warmte in het opslagvat kan een zonneboilercombi ook de vaak zeer kleine vermogens voor ruimteverwarming leveren die in nieuwbouwwoningen gevraagd worden.

Door de ongelijktijdigheid van aanbod van zonne-energie en vraag naar ruimteverwarming levert de zonne-energie een kleine bijdrage aan de warmtevraag voor ruimteverwarming (ca. 10 tot 20%).

Opmerkingen:

- Ruimteverwarming met behulp van actieve zonne-energie wordt steeds interessanter bij vergroting van de mogelijkheden van seizoensopslag voor zonnewarmte (paragraaf 7.3.9);
- Naarmate het temperatuurniveau van het warmte-afgiftesysteem lager is kan er een hogere bijdrage geleverd worden door zonne-energie. Een ontwerp-aanvoertemperatuur onder de 40 °C is aan te bevelen;
- Zonnecollectoren voor ruimteverwarming leveren een bijdrage aan de verdere verlaging van het primaire energiegebruik (BENG 2 indicator) en hebben een positieve invloed op de BENG 3 indicator (aandeel hernieuwbare energie);
- Zie voor een uitgebreidere toelichting op zonnecollectoren bij warmtapwater (paragraaf 9.3.5).

7.3.9 Warmte-opslag (en koudeopslag - WKO)

Het opslaan van warmte en/of koude is een belangrijk onderdeel van verschillende systemen voor duurzame energie en andere energie-efficiënte installaties. Door gebruik te maken van warmte- en/of koudeopslag wordt het rendement van dergelijke systemen vergroot. Men spreekt van een WKO (Warmte/Koudeopslag) wanneer in een systeem zowel warmte als koude wordt opgeslagen waarbij de warmte 's winters gebruikt wordt en de koude 's zomers. In deze paragraaf is vooral aandacht voor de opslag van warmte, zie paragraaf 8.3.3 en paragraaf 8.3.4 voor de opslag van 'koude'.

Warmte-opslag is vooral van belang bij actieve zonne-energie, warmtepompen en warmtekrachtkoppeling (WKK). Dit komt doordat:

- De zon alleen overdag schijnt, terwijl er juist in de avond of vroege ochtend veel vraag is;
- Warmtepompen meestal een relatief lage capaciteit hebben. Men moet dus de warmte tijdelijk kunnen opslaan om aan de piekvraag te kunnen voldoen;
- WKK-installaties zoveel mogelijk draaiuren achter elkaar moeten maken, dus zonder aan- en uitschakelen; het opstarten kost namelijk relatief veel energie en verkort de levensduur. Ook wil men een WKK juist laten draaien als stroom duur is, dat valt meestal niet samen met momenten met een hoge warmtevraag.

We onderscheiden enerzijds systemen voor de korte en anderzijds voor de lange termijn.

Korte termijn

Watervat: Een bekend voorbeeld hiervan is het voorraadvat van een zonneboilersysteem. Dit vat is bedoeld voor de opslag van warm water van maximaal zo'n 80 à 90 °C voor maximaal enkele dagen. Een andere toepassing is bijvoorbeeld het tijdelijk opslaan van restwarmte van een WKK-installatie. In afbeelding 7.23 is een voorbeeld te zien van een korte-termijn-opslag voor de warmte afkomstig van zowel zonnecollectoren als warmtepompen. Het gaat hierbij steeds om opslag van 'hogere' temperaturen, vanaf ongeveer 40 °C gemiddeld over het jaar. Het is van belang om dit soort vaten erg goed te isoleren en vooral te letten op warmtelekken door aansluitingen en de poten waar het vat op staat. Om thermische trek in de aansluitingen te voorkomen moeten die zoveel mogelijk naar beneden gevoerd worden. Aansluitingen op de kop zijn meestal grote lekken.

Langere of lange termijn/seizoensopslag. Opslag temperatuur < 20 °C

De warmte kan niet direct benut worden voor ruimteverwarming. Warmtepompen zijn essentieel om de warmtevoorraad van dit niveau te kunnen gebruiken.

Bij deze warmte-opslag wordt in de zomer de temperatuur opgevoerd richting 20 °C. Die warmte is meestal afkomstig van koeling van de woning via vloer- of wandkoeling, maar kan ook afkomstig zijn van een zonnecollectorsysteem (afbeelding 7.34). Een 'normaal' bodembronssysteem (via een gesloten buizenstelsel, ook wel bodemwisselaar genoemd) heeft een temperatuur van rond de 12 °C, de temperatuur die de bodem van nature heeft. De verhoogde temperatuur kan zorgen voor de verhoging van de COP van een warmtepomp in de winter met één punt (bijvoorbeeld van 5 naar 6). De buizen kunnen ook opgenomen zijn in heipalen; een zorgvuldig bouwproces is vereist i.v.m. aansluiting buizenstelsel aan bovenzijde van de palen.

Langere of lange termijn/seizoensopslag. Opslag temperatuur > 25 °C

De warmte kan direct gebruikt worden voor ruimteverwarming. De opslag kan plaatsvinden in:

- Een 'aquifer' ('open' systeem). Dit is een watervoerende bodemlaag. De warmte wordt bij een aquifer rechtstreeks in het (grond)water en het zand opgeslagen. Een voor warmte-opslag geschikte aquifer bestaat meestal uit een zandlaag die is omgeven door 'waterdichte' (horizontale) lagen klei. De grondwaterstromen in de zandlaag mogen slechts een beperkte snelheid hebben om warmteverlies te beperken. Bij een doorlatende grond ontstaan thermische stromingen die het warmteverlies sterk vergroten. Anderzijds moet de grond wel doorlatend zijn omdat anders geen water opgepompt kan worden. Door deze tegenstrijdigheid is het lastig om geschikte plaatsen te vinden voor hoge-temperatuur-opslag. Het temperatuurniveau moet daarom meestal laag blijven. Een mooi voorbeeld hiervan in de bestaande bouw is het 2MW project van Eneco in Haarlem (opslagtemperatuur circa 40 °C) (afbeelding 7.31);
- Een grote watervoorraad. Een grote inhoud is essentieel om de oppervlakte-inhoud verhouding gunstig te laten zijn en daarmee het warmteverlies te beperken. Diverse uitvoeringen zijn mogelijk zoals een metalen of betonnen tank, of een in de bodem uitgegraven put met bekleding. De bovenzijde en de omtrek moeten zeer goed geïsoleerd worden, denk aan één meter dikte. Temperaturen tot 80 °C zijn mogelijk. In het buitenland lopen diverse proefprojecten hiermee (afbeelding 7.32), in ons land is eind 2014 een prototype van een ondergronds opslagvat met behulp van o.a. een damwand aangelegd [190];
- Buizenstelsel in zand-, klei- en veenlagen ('gesloten' systeem, ook wel verticale bodemwisselaar genoemd). De (zon)warmte wordt via een vloeistof in een gesloten buizenstelsel aan de bodem afgegeven en weer teruggevonden. De buizen kunnen ook opgenomen zijn in heipalen; een zorgvuldig bouwproces is vereist i.v.m. aansluiting buizenstelsel aan bovenzijde van de palen. Ook bij het buizenstelsel mogen er natuurlijk geen grondwaterstromen zijn. De grondmassa waar de buizen inzitten moet aan de bovenzijde en rondom zeer goed geïsoleerd worden (in tegenstelling tot de systemen voor temperaturen < 20 °C). Hoge temperaturen zijn mogelijk.

Meer informatie: zie brochure 'Wko 3x beter' [183], wkotool.nl, www.bodemenergie.nl en www.rws.nl.

Vergunning en melding bodemenergiesystemen (WKO)

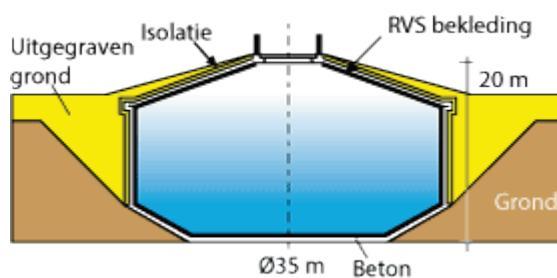
Ga bij het toepassen van bodemenergiesystemen (warmte- en koudeopslag – WKO) goed na welke vergunning of melding vereist is. Er wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen 'open' en 'gesloten' systemen.

Zo is voor open systemen meestal een watervergunning nodig. De Provincie geeft voor kleine systemen waarbij de wateronttrekking kleiner is dan 10 m³ per uur soms vrijstelling. Wel is dan een melding nodig in het kader van het Waterbesluit.

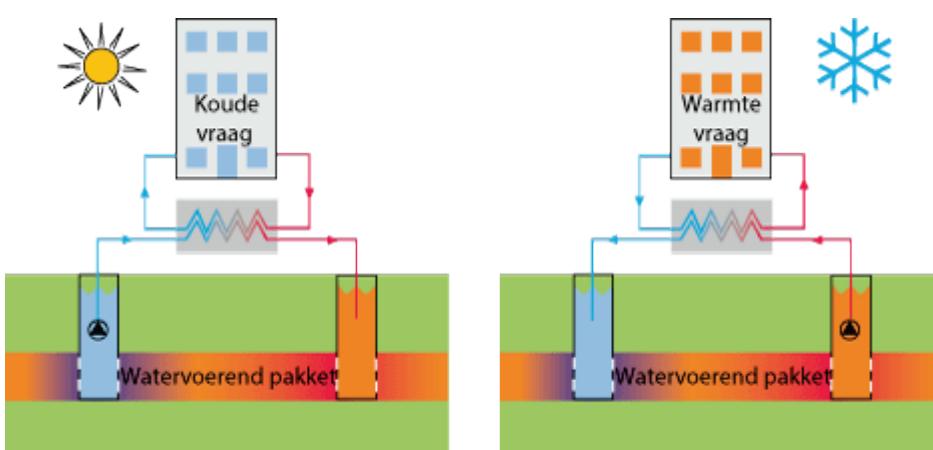
Bij gesloten systemen die binnen een 'inferentiegebied' liggen is een 'Omgevingsvergunning beperkte milieutoets' nodig en anders altijd een melding. Voor systemen die een bodemzijdig vermogen ≥ 70 kW hebben of in een 'interferentiegebied' liggen is ook een 'Omgevingsvergunning beperkte milieutoets' nodig. Bij bodemenergiesystemen in elkaars nabijheid bestaat het risico dat de thermische invloedsgebieden elkaar overlappen (=interferentie). Meestal is de gemeente het bevoegd gezag. Zie voor meer info www.infomil.nl.



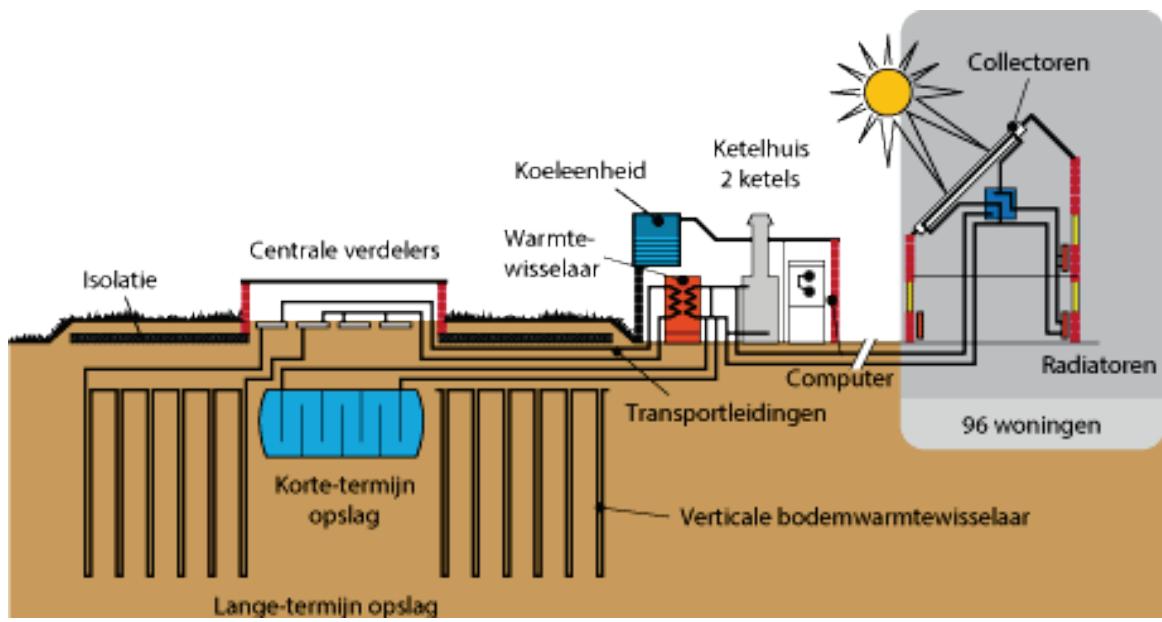
Afb. 7.31 In het 2MW-project in het Haarlemse stadsdeel Schalkwijk wordt bij 382 bestaande flatwoningen door toepassing van verschillende systemen en maatregelen een energiebesparing gehaald van 70%. Een nooit eerder op zo'n grote schaal toegepaste combinatie van zonnecollectoren, warmteopslag in de bodem en warmtepompen vervangt de bestaande verwarmingsinstallatie. De zonnecollectoren zijn in duidelijk zichtbare 'dakkappen' opgenomen. (Betrokken partijen: Opdrachtgevers: Elan Wonen Haarlem, de Woonmaatschappij en Pré Wonen; energiesysteem: Eneco; adviseur: BOOM-SI en DWA)



Afb. 7.32 Seizoенopslag voor zonnewarmte in Friedrichshafen (Duitsland) voor een project met bijna 600 appartementen. De opslag bestaat uit een grotendeels ingegraven betonnen tank (12.000 m^3). De tank is aan de binnenzijde bekleed met roestvrijstaal in verband met de waterdichtheid. Zonnecollectoren met een totale oppervlakte van 5600 m^2 leveren de warmte. Realisatie: 1996 [172]



Afb. 7.33 Principe aquifer in winterperiode. In de praktijk worden zandlagen gebruikt die minimaal zo'n 20 meter dik zijn en die op een diepte tussen 40 en 150 meter liggen



Afb. 7.34 Seizoensopslag voor zonnewarmte in het project Froukemaheerd in de Groningse wijk Beijum uit 1980. De opslag bestaat uit 15 km slangen aangebracht onder een centraal gelegen grasveldje. De opslag heeft een diameter van bijna 40 m en een diepte van 20 m en is aan de bovenzijde geïsoleerd. De 96 woningen zijn voorzien van totaal 2350 m² zonnecollectoren. Het verwarmingssysteem in de woningen bestaat uit lage temperatuur radiatoren. Er is een centrale bijstook met gasketels. Uit metingen blijkt dat de bijdrage van de zonne-energie aan de totale warmtevraag voor ruimte- en tapwaterverwarming ongeveer 65% bedraagt. De gemiddelde temperatuur van de bodem in de opslag varieert van circa 30 °C rond februari tot bijna 50 °C rond oktober. Het totale systeem functioneert nog steeds zonder bijzondere klachten. In de loop van de jaren zijn wel enige wijzigingen aangebracht en reparaties verricht [173]. In 2009 is het installatiesysteem gerenoveerd en aangepast [181]. Zo zijn er o.a. efficiëntere zonnecollectoren aangebracht zodat de collectoroppervlakte kleiner kan zijn en er ruimte vrij kwam om PV-panelen te plaatsen. De gewonnen warmte wordt nu (in tegenstelling tot voor de renovatie) direct in de desbetreffende woning voor tapwater gebruikt. Een overschot wordt per woonblok verzameld en voor ruimteverwarming gebruikt. Alleen als daarna nog warmte over is, wordt deze centraal opgeslagen. (Bron: Ontwerp: Architecten- en Ingenieursbureau Kristinsson i.s.m. Bredero Energy Systems; renovatie: BAM Techniek i.s.m. Nefit, Opdrachtgever: corporatie De Huismeesters)

7.4 Collectieve verwarming

Bij collectieve verwarming worden meerdere woningen van warmte voorzien vanuit één centrale installatie. Het kan hier gaan om een beperkt aantal woningen in een woongebouw, maar ook om een groot aantal in een woonwijk. Collectieve verwarmingssystemen zoals blokverwarming en warmtelevering kunnen energie besparen. Of dat het geval is, hangt ondermeer af van:

- De energetische kwaliteit van de warmte-opwekking;
- Temperatuurniveau en regeling van het systeem;
- De kwaliteit en de totale leidingslengte van het distributienet;
- De energievraag per hectare.

Voordelen van collectieve systemen:

- Er kan gebruik worden gemaakt van efficiënte energie-opwekkers, restwarmte en/of opslagmethoden, zoals:
 - warmtekachtkoppeling;
 - Industriële restwarmte;
 - Warmtepomp;
 - Biomassa;
 - Seizoensopslag met zonne-energie (afbeelding 7.31);
 - Geothermische energie of diepe aardwarmte (paragraaf 7.3.6).

- Door de grotere schaal van een collectief systeem kan bespaard worden op de capaciteit en de investering van de energieopwekking. In een collectief systeem kan immers gebruik gemaakt worden van de ongelijktijdigheid: het grootste deel van de tijd is er slechts een beperkte basislast vraag en het vermogen voor de piekvraag kan 'uitgesmeerd' worden over meerdere woningen;
- Door cascade-opstelling van kleinere eenheden kan gebruik gemaakt worden van goedkope componenten en met een hoog rendement;
- Collectieve installaties geven over het algemeen minder milieuverontreiniging, o.a. door:
 - de efficiëntere opwekking van energie of warmte;
 - Een beter onderhoud.
- Er is geen warmtebron voor ruimteverwarming in de woning aanwezig. Voordelen:
 - Veiliger;
 - Eenvoudiger onderhoud; het onderhoud aan de warmtebron behoeft namelijk niet per woning plaats te vinden;
 - Minder ruimtebeslag in de woning.

Nadelen van collectieve systemen

- De investeringen in het distributienet zijn over het algemeen hoog;
- De warmteverliezen in het distributienet zijn vaak erg hoog; bij grote systemen, waar grondleidingen worden gebruikt, kunnen de verliezen zelfs tot 30% van de totale warmteproductie oplopen. De verliezen zijn sterk afhankelijk van de kwaliteit van de isolatie en de hoogte van de temperatuur. Bij een afnemende warmtevraag (bijvoorbeeld door extra besparende maatregelen op woningniveau) nemen de verliezen verhoudingsgewijze toe.

Het [Nationaal Expertisecentrum Warmte](#) (NEW) heeft veel informatie over en hulpmiddelen voor warmtelevering zoals de Uniforme Maatlat voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw.

Warmtedistributie

Aansluiten

De warmte uit het collectieve distributienet kan:

- Direct worden toegevoerd aan het leidingnet van de woning; de beide netten staan dan in open verbinding met elkaar;
- Via een warmtewisselaar worden overgebracht op het leidingnet van de woning.

Het voordeel van de eerste is dat er geen extra kosten voor een warmtewisselaar gemaakt hoeven worden en er hier ook geen ruimte voor nodig is. Door het ontbreken van de warmtewisselaar zijn de temperaturen in het distributienet circa 4 °C lager dan met een warmtewisselaar. Dus minder verliezen en een hoger rendement van de opwekker. Het nadeel is dat bij lekkage in één woning het hele systeem leeg kan lopen, tenzij hiertegen een beveiligingsklep wordt gemonteerd.

In het Bouwbesluit art. 6.10 lid 3 staat omschreven wanneer aansluiting op een warmtenet verplicht is. In de toelichting op het Bouwbesluit is bij dit artikel vermeld dat uiteraard een beroep op gelijkwaardigheid kan worden gedaan om gebruik te maken van een andere warmtevoorziening.

Warmtapwater

In woningen met een collectief verwarmingssysteem wordt meestal ook het tapwater collectief verwarmd. Er zijn verschillende systemen zie paragraaf 9.3.4.



Afb. 7.35 Individuele afleverset voor stadsverwarming met tapwaterverwarming via een platenwisselaar en warmtemeter. Let op de perfecte isolatie. Een compact apparaat heeft de voorkeur (Bron: NIBE Energietechniek)

Warmte-opwekking

Schaal van de systemen

Het belangrijkste verschil tussen blokverwarming en warmtelevering is te vinden in de schaal van de beide systemen voor warmtedistributie. Bij blokverwarming gaat het om een collectief systeem in een of enkele bouwbladen en is dus klein van omvang. Bij warmtelevering (voorheen 'stadsverwarming') gaat het om een systeem voor duizenden woningen. Systemen die qua grootte tussen beide invallen, zijn ook mogelijk. Er wordt dan meestal gesproken over wijkverwarming. Afhankelijk van de grootte van dit systeem lijkt het op een blokverwarming of op warmtelevering.

Voor warmtelevering en dergelijke systemen van 1000 of meer woningen wordt vrijwel altijd gebruik gemaakt van: warmtekrachtkoppeling, industriële restwarmte of aardwarmte. De hoofdopwekker levert 75 tot 90% van de jaarlijkse benodigde hoeveelheid warmte. De overige warmte wordt door hulpketels geleverd die soms in onderstations staan opgesteld om een betere benutting van het distributienet mogelijk te maken. Om het totaal rendement op peil te houden is het noodzakelijk dat hiervoor HR-ketels worden ingezet. Daarop wordt nog wel eens bezuinigd. Vraag bij een warmtenet naar een gecontroleerde (EMG-) kwaliteitsverklaring over het rendement van het systeem.

Bij de kleinere collectieve systemen kan voor de warmte-opwekking gebruik worden gemaakt van:

- Warmtekrachtkoppeling;
- Warmtepompen;
- Zonne-energie;
- Biomassa-ketels of -WKK;
- Een combinatie van de vorige mogelijkheden.

Opmerking:

- Ontwerp een lage temperatuur afgiftesysteem in de woningen Dit beperkt de verliezen in het systeem;
- Houd rekening met de ruimte in de woning voor een afleverset (afbeelding 7.35); circa 0,3 (diepte) x 0,4 (breedte) x 0,6 m (hoogte);
- Ventileer de meterkast goed en isoleer alle warme leidingen en onderdelen in de meterkast;
- Kies een zo zuinig mogelijke wijze van tapwater verwarming;
- Beperk de leidingverliezen door:
 - Een zo kort mogelijk leidingnet te ontwerpen; een relatief hoge bebouwingsdichtheid is daarom gunstig; globale richtgetallen zijn [166]:
 - Bij een grootschalig warmtenet (vanaf zo'n 3000 woningen) netto dichtheid van 30 woningen per hectare;
 - Bij een kleinschalig warmtenet (vanaf zo'n 300 woningen) netto dichtheid van 55 woningen per hectare.
 - Uitstekende leidingisolatie toe te passen; let op zorgvuldige uitvoering over de volle lengte;
 - Leidingen niet in het grondwater aan te leggen;
 - Collectieve leidingen zo veel mogelijk in ruimten te situeren die toch warmte nodig hebben (het warmteverlies komt dan nog ten goede aan deze ruimte);

Warmtewet

Per 1 januari 2014 is de Warmtewet in werking getreden. De wet regelt de voorwaarden voor de levering van warmte aan kleinverbruikers. De wet geeft bepalingen ten aanzien van tariefbescherming, leveringszekerheid voor de verbruiker, een vergunningstelsel en onafhankelijk toezicht. De wet geldt niet voor de levering van koude! Bij blokverwarming met een gebouwgebonden installatie is de eigenaar van deze installatie voor de wet een warmteleverancier. Uitzondering hierop vormen Verenigingen van Eigenaren (VvE's) [184]. Een woningcorporatie kan dus echter wèl warmteleverancier zijn. Voor meer informatie zie [185] en [186].

7.4.1 Regeling

Regeling collectief gestookte CV-installaties

Het type regeling is afhankelijk van de wijze waarop tapwater wordt verwarmd. Als dit in de woning gebeurt, staat het distributienet altijd op 70 °C. In de afleversets zit dan een thermostaat die er voor zorgt dat de retourtemperatuur niet warmer wordt dan 40 °C. Indien er een apart tapwaternet is of tapwater op andere wijze wordt verwarmd, wordt het systeem voorzien van een weersafhankelijke regeling. Het regelsysteem zorgt ervoor dat de zuinigste opwekkers het meest gebruikt worden.

Bij blokverwarming kan de regeling van de CV deel uit maken van een compleet gebouwbeheersysteem, waarin ruimte- en tapwaterverwarming, ventilatie, verbruiksmeting, beveiliging en dergelijke is opgenomen. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om vraag en aanbod van warmte (voor bijv. ruimteverwarming) bij een collectieve installatie optimaal op elkaar af te stemmen. Door het gebouwbeheersysteem kan namelijk op een bepaald moment exact de warmtevraag van alle woningen samen geregistreerd worden. Het project 'Puntegale' (afbeelding 7.36) is een voorbeeld waarbij een gebouwbeheersysteem is toegepast.

De warmteafgifte in de woningen bij collectieve systemen moet minimaal geregeld worden met:

- Thermostatische radiatorkranen in combinatie met voetventielen op alle radiatoren; gewone radiatorkranen zijn sterk af te raden;
- Of een (kamer)thermostaat die een klep in de toevoerleiding naar de woning regelt. De radiatoren zijn voorzien van normale of thermostatische radiatorkranen. Deze laatste niet toepassen in de woonkamer als daar de kamerthermostaat aanwezig is.



Afb. 7.36 Project Puntegale, het voormalige Rotterdamse belastingkantoor, is een multifunctioneel woon/werkcomplex [167]. Het complex is o.a. voorzien van collectieve installaties voor ruimte- en tapwaterverwarming. Het is aangesloten op een warmtenet en heeft bovendien een zonneboiler- en een mini-wkk. Alle (woon)eenheden zijn aangesloten op een gebouwbeheersysteem. Via infrarood-detectie worden in de betreffende woning de verwarming en ventilatie op gebruiks- of (bij afwezigheid) op minimumniveau gebracht. De bewoner kan de gebruikstemperatuur drie graden hoger of lager instellen. Per eenheid wordt het gas-, elektriciteits- en waterverbruik (warm en koudwater) ingelezen en centraal geregistreerd. (Betrokken partijen: Opdrachtgever: Stadswonen; Architect: De Jong Bokstijn architecten; Aannemer: Moeskop's Bouwbedrijf)

7.4.2 Bemetering

Verbruiksmeting collectieve systemen

Bij collectieve systemen is individuele warmtemeting een 'must': Bij bestaande woningcomplexen levert een dergelijke warmtemeting blijvend jaarlijks gemiddeld 15 à 20% energiebesparing op ten opzichte van de situatie zonder individuele meting. Het artikel Individuele warmtemeting [168] laat zien dat ook na verloop van jaren warmtemeting veel energie bespaart. NEN 7440 [169] en NPR 7441 [170] geven aan hoe men een systeem voor individuele warmtemeting kan opzetten, zowel technisch als administratief. Het is van groot belang dat de totale kosten eerlijk verdeeld worden over de betreffende woningen. Daarvoor zijn diverse mogelijkheden. Het gaat daarbij om het verdelen van de stookkosten voor algemene ruimten en leidingverliezen. Tussen buurwoningen met een verschillende temperatuur vindt warmteoverdracht plaats door de scheidingsmuur of -vloer. In goed geïsoleerde woningen is dit een zeer aanzienlijk deel van het totale verbruik. Iemand die een lage temperatuur wenst, hoeft vrijwel niet te stoken, dat doen zijn buren wel. Dit effect is alleen te voorkomen door de woningscheidingen te isoleren. In nieuwbouw is dat aan te raden.

Qua verbruiksmeting is onderscheid te maken tussen:

- Verbruiksmeting per radiator of convектор;
- Verbruiksmeting per woning.

Verbruiksmeting per radiator of convector

De meting vindt plaats met behulp van een verdampingsmeter of een elektronische radiatormeter. Elke radiator is hiervan voorzien. Het totale energieverbruik van het complex wordt evenredig aan het aantal verbruikseenheden van de verdampingsmeter per woning verdeeld.

Dit type meters wordt alleen nog in de bestaande bouw toegepast. In nieuwbouw kan de warmte altijd op één punt de woning in gebracht worden om daar een verbruiksmeter te plaatsen.

Verbruiksmeting per woning

Elektronische warmtemeters (GJ meters): Deze meten per woning de hoeveelheid aangevoerd CV-water en de temperatuur van het aanvoer- en retourwater. Uit deze gegevens wordt het totale warmteverbruik berekend, inclusief het verlies van de leidingen in de woning na de meetpunten. Vaak is deze warmtemeter opgenomen in de afleverset (afbeelding 7.35). Per woning moet een 'centrale voeding' aanwezig zijn, d.w.z. één aanvoer- en één retourleiding. Om de warmtetoever naar de gehele woning te kunnen regelen is deze centrale voeding ook vereist.

Voordelen van een systeem met warmtedoorstroommeters (ten opzichte van meting per radiator):

- De grote nauwkeurigheid;
- De toepasbaarheid bij alle verwarmingssystemen, mits een 'centrale voeding' aanwezig is;
- De eenvoudige incasso bij centraal aflezen;
- Bewoners kunnen hun verbruik makkelijk bijhouden en controleren.

Centraal aflezen

Het centraal ('op afstand') aflezen van het verbruik is bij beide typen meters mogelijk. Deze aflezing is mogelijk via een kabeltje of radiografisch. Automatische koppeling met maandelijkse incasso is niet ongebruikelijk.

Voordeel:

- Eenvoudige incasso;
- Tussentijdse controle mogelijk op het goed functioneren van de installatie;
- Bij verhuizing vindt automatisch juiste verrekening plaats.

8 Koeling

Om overbodig energieverbruik van en extra investeringen in actieve koeling te voorkomen, moet in de ontwerpfase al rekening gehouden worden met het minimaliseren van de koelbehoefte door juiste oriëntatie van ramen, zonwering en zomernachtventilatie (via o.a. speciale gevelopeningen en dakramen of dakkoepels). Wanneer uit bepaling van het aantal warmte-overschrijdingsuren in de zomer blijkt dat een koelsysteem wenselijk is, pas dan een koelsysteem toe dat gevoed wordt met hoge temperatuur ($\geq 16^{\circ}\text{C}$). Hierdoor is vrije koeling, zonder koelmachine mogelijk. Dit is energiezuiniger dan de traditionele 'airco'. In dit hoofdstuk worden de meest toegepaste vormen van koeling in woningen beschreven.

Deelchecklist Koeling

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Let op de oriëntatie van de ramen. Vooral de westelijke richtingen geven een verhoogd risico;
- Reserveer budget voor zonwering en zomernachtkoeling als integraal onderdeel van het gebouw;
- Maak een principe keuze voor mogelijke vloerbedekking: zachte vloerbedekkingen zijn minder geschikt voor vloerkoeeling vanwege het risico op condens onder de vloerbedekking (paragraaf 8.2.1);
- Stel het gewenste zomercomfort vast als het maximale aantal uren per jaar dat 25°C overschreden mag worden.

Structuurontwerp / Voorontwerp

- Kies de raamafmetingen verstandig afhankelijk van de richting op de zon;
- Neem zonwering op in het ontwerp (vaste overstekken of beweegbare zonwering);
- Overweeg de keuze voor vrije koeling via een warmte-/koudeopslag; reserveer ruimte voor deze voorziening in het terrein (paragraaf 8.3.4);
- Neem in het ontwerp inbraak- en regeninslagvrije, afsluitbare, gevel- en dakopeningen op voor zomernachtkoeling;
- Overweeg ventilatie via grondbuizen (paragraaf 6.8);
- Reserveer indien voor een warmtepomp gekozen wordt, voldoende opstelruimte waar geluid en trillingen geen kwaad kunnen. In grondgebonden woningen is dat veelal op de begane grond (paragraaf 7.3.3).

Definitief Ontwerp / Technisch ontwerp

- Detaillering van de zonwering; grondbuizen; isolatieluiken voorzieningen voor zomernachtkoeling;
- Denk aan een eenvoudige en logische bediening van deze voorzieningen;
- Maak een controleberekening van de temperatuuroverschrijdingsuren;
- Neem in een gebalanceerde ventilatie-unit altijd een bypass voor de zomer op, liefst met automatische regeling (paragraaf 6.6);
- Werk het bodemsysteem voor een warmte-/koudeopslag uit, inclusief de ontwerpberkeningen op koelvermogen en de koelcapaciteit gedurende 10 jaar;
- Controleer de opstelplaats van een warmtepomp op afmeting, geluid en trillingen;
- Reserveer de plaatsen van de verdeler en verzamelaars voor een vloer- of wandkoeling (paragraaf 7.2.3);
- Ontwerp het regelsysteem voor koelen.

Uitvoering /gebruik / exploitatie

- Controleer het legpatroon vloer-/wandkoeling (paragraaf 7.2.3);
- Controleer de opstelling van een warmtepomp op geluid en trillingen;

- Controleer de capaciteit van een warmte/koude opslagsysteem en zorg voor de garantie;
- Maak een goede gebruikersinstructie voor het zomerbedrijf van de woning (zonwering/zomernachtventilatie/ grondbuisventilatie/ vloer-/wandkoeling) [130];
- Houd roosters e.d. voor zomernachtventilatie en de grondbuisventilatie schoon;
- Controleer bij het jaarlijkse onderhoud van een gebalanceerd ventilatiesysteem ook de automatische bypass;
- Laat een open bron jaarlijks door een terzake kundig bedrijf controleren, ook i.v.m. de garantie.

8.1 Koelvraag

De koelvraag wordt veroorzaakt door:

- Externe belasting, warmtestromen die van buiten komen (zoninstraling, hoge buitenlucht temperaturen);
- Interne belasting, veroorzaakt door warmtebronnen in de woning zelf (verlichting, apparatuur, mensen).

De koelvraag wordt berekend uit de overtollige warmte die leidt tot een temperatuurstijging boven de 24 °C.

In andere hoofdstukken zijn de mogelijkheden beschreven om in de ontwerpfase te voorkomen dat het in de woning te warm wordt. De volgende maatregelen komen daar aan de orde:

- Voldoende spuivoorzieningen (te openen ramen): paragraaf 6.2.1;
- Gebruik maken van energieuinige elektrische apparatuur met een lagere warmteafgifte: hoofdstuk 10;
- Zonwendend glas: glas waarmee zonnewarmte effectief geweerd wordt (gaat dus ten koste van passief gebruik zonnewarmte in stookseizoen) en toch nog relatief veel daglicht wordt doorgelaten: paragraaf 5.2.2;
- Buitenzonwering: paragraaf 5.2.2;
- Thermische massa van het gebouw: om de thermische massa volledig te kunnen benutten is het nodig dat die massa niet afgedekt wordt door isolerende lagen als tapijt, kasten of verlaagde plafonds: zo kan deze massa de warmte accumuleren en later afstaan: paragraaf 5.3;
- Zomernachtventilatie (of passieve koeling) (afbeelding 8.1): de koele nachtlucht wordt gebruikt om het gebouw af te koelen. Het effect hiervan is groter bij voldoende thermische massa: paragraaf 6.8;
- Voor-koelen van de toevoerlucht met een grondbuis: paragraaf 6.8.

Desondanks kan er, om een behaaglijk binnenklimaat te realiseren, een koudebehoefte bestaan die het nodig maakt aanvullend koeling zoals hieronder beschreven, toe te passen.

In de voorgangers van de NTA 8800 (de NEN 7120) werd in de energieprestatieberekening altijd gerekend met een fictief energiegebruik voor koeling: de post zomercomfort. Dus ook in woningen waar geen actief koelsysteem aanwezig was, werd toch een (fictief) energiegebruik voor koeling in rekening gebracht. De gedachte hierachter was dat bewoners in een slecht ontworpen woning (met veel oververhitting) na verloop van tijd toch een actieve mobiele koelunit aan zouden gaan schaffen. De post zomercomfort kon beperkt worden door passieve maatregelen (zoals zonwering) te treffen. In de NTA 8800 is de post zomercomfort verdwenen, en scoort een woning met koeling per definitie dus slechter dan dezelfde woning zonder koeling. In die zin wordt het toepassen van een koelsysteem in de energieprestatieberekening ontmoedigd. Om te voorkomen dat woningen door het ontbreken van een koelsysteem in de zomer oververhitte is er in het Bouwbesluit wel een aanvullende eis opgenomen dat bij woningen zonder koelsysteem vooraf aangetoond moet worden (door middel van de TO_{juul}-indicator en/of temperatuuroverschrijding berekeningen) dat deze woningen ook in de zomermaanden een comfortabel binnenklimaat hebben.



Afb. 8.1 Voorbeeld van ventilatierooster + isolatieluik voor zomernachtventilatie (Bron: Timmerfabriek Overbeek / Aralco)

8.2 Afgiftesystemen

8.2.1 Hoge/lage temperatuur

Wanneer het niet mogelijk is om met genoemde maatregelen de koudebehoefte voldoende te beperken, moet voor een energie-efficiënte koeling gekozen worden. Om efficiënt te zijn moet het temperatuurverschil tussen het afgiftesysteem en de te koelen ruimte klein zijn. Dit betekent een 'hoge temperatuur koelsysteem'. De temperatuur van de lucht of het water is daarbij hoger dan 16 °C. De hoge temperatuur systemen worden over het algemeen gecombineerd met een 'lage temperatuur verwarmingssysteem' (paragraaf 7.2). Tot deze systemen behoren:

- Vloerkoeling/wandkoeling (ook plafondkoeling is mogelijk);
- Betonkernactivering.

Bij 'lage temperatuur koelsystemen' is de temperatuur van de lucht of het water 7 tot 12 °C. Deze systemen worden over het algemeen als minder comfortabel ervaren (tocht, ongelijkmatige temperatuur in de ruimte, geluid, onderhoud). Deze systemen gebruiken ook meer energie (opwekking van koude en veelal een ventilator).

Relatieve luchtvochtigheid

Een belangrijk aspect bij koeling is de relatieve luchtvochtigheid. Lucht met een hoge temperatuur kan meer vocht bevatten dan lucht met een lage temperatuur. De lucht in een woning bevat over het algemeen meer vocht dan buiten door vochtproductie van de mens zelf, koken, douchen etc. Wanneer de lucht afkoelt wordt de relatieve luchtvochtigheid van de lucht hoger en bij een bepaalde temperatuur vindt condensatie plaats (dauwpunt-temperatuur, zie bijlage 1). Een hoge luchtvochtigheid kan leiden tot groei van micro-organismen zoals huisstofmijt, bacteriën en schimmels. Dit levert de volgende aandachtspunten op:

- Voor een vloer-/ wandkoeling of betonkernactivering betekent dit dat het vloer-, wand- of plafondoppervlak niet kouder mag worden dan de dauwpunt-temperatuur. Dit betekent niet lager dan ca. 18 °C en op hele warme, vochtige dagen niet lager dan 21 °C. Ook onder vloerbedekking mag de temperatuur niet onder deze grens dalen, omdat er anders condens onder die vloerbedekking komt;
- Luchtkoelers koelen de lucht zover af dat vocht in het koelapparaat condenseert en de lucht 'ontvochtigd' ingeblazen wordt. De condens moet afgevoerd worden op het riool. Er mag nooit condensaat in het apparaat achterblijven;
- Koude leidingen, waar water met een lagere temperatuur dan de dauwpunt-temperatuur doorheen stroomt, moeten dampdicht zijn geïsoleerd. Voorkom dat vocht zich ophoopt in de isolatie of tussen buis en isolatie. Dit kan schijnbaar 'lekkage' veroorzaken.

8.2.2 Vloer- en wandkoeling

Net als bij vloer- en wandverwarming hoeft, vanwege het grote koelend oppervlak, het temperatuurverschil tussen de lucht in de ruimte en het oppervlak van de vloer of wand slechts klein te zijn om redelijk te kunnen koelen (paragraaf 7.2). De warmte wordt afgevoerd door circulatie van koud water in leidingen in de vloer of de wand; beide koelsystemen zijn hetzelfde als die voor vloer- en wandverwarming. Deze koeling wordt als zeer comfortabel ervaren omdat er geen hinderlijke tocht optreedt en een gelijkmataige temperatuur in de ruimte heerst.

Het vermogen van koeling wordt bepaald door de lengte en doorstroming van de leidingen in de vloer. Deze worden hierop berekend. Voor koeling moeten de leidingen meestal dichter op elkaar gelegd worden dan bij verwarmen. Een afstand van 100 of maximaal 150 mm is gebruikelijk. Dit heeft overigens ook in de winter het voordeel dat de aanvoertemperatuur dan lager kan zijn.

Wanneer de temperatuur in de ruimte stijgt, wordt het temperatuurverschil tussen de ruimte en de vloer of wand groter en neemt de koude-afgifte dus toe, zonder ingrijpen van de gebruiker of een thermostaat. Een graad extra temperatuurverschil betekent veelal 20 of 30% extra koelcapaciteit. Het systeem is daardoor min of meer zelfregelend.

Door de grenzen aan de temperatuur is de capaciteit van vloer- en wandkoeling beperkt. De koude-afgifte van een vloer of wand bedraagt maximaal 25 W/m^2 . Ook bij vloerkoeling moet de ontwerper dus bouwkundige maatregelen nemen om de koelvraag te beperken.

Zonnewarmte die op een gekoelde vloer valt, wordt zeer effectief afgevoerd, zonder dat de warmte merkbaar in de ruimte komt. Het effect van vloerkoeling is op zo'n moment veel groter dan berekend.

Regeling

Om de vloer of wand op de juiste temperatuur te houden en zo condensproblemen te voorkomen, kan de waternaamtemperatuur verhoogd worden door bijnemenging met retourwater.

Een aan/uit regeling op de retourtemperatuur (het opgewarmde water dat uit de vloer of wand komt) is voor woningen minder geschikt. Er kunnen dan plaatselijk toch te lage temperaturen in de vloer of wand optreden met condens tot gevolg.

De overgang van verwarmen naar koelen kan geregeld worden met een schakelaar, die ook de gewone thermostaat tijdelijk buiten werking stelt. Dat is een vrij primitieve regeling. Logischer is een gecombineerde koel-/verwarmingsthermostaat. Volgens gangbare eisen moet die in elk woonvertrek aangebracht worden. Let op dat een standaard thermostaat voor verwarmen of een thermostatische radiatorventiel niet geschikt zijn om koeling te regelen. Als de ruimte door de koeling kouder wordt, zal zo'n thermostaat of ventiel 'warmte vragen' en dus meer water naar de vloer laten stromen. Het wordt daardoor nog kouder in plaats van warmer. De speciale koel-/verwarmingsthermostaten zijn absoluut noodzakelijk. Een goede regeling van koelen en verwarmen is vrij complex en daardoor kostbaar.



Afb. 8.2 Het afgiftesysteem voor vloerkoeling is hetzelfde als voor vloerverwarming. Een systeem met direct een isolatielaag er onder reageert veel sneller dan een systeem zonder die isolatie (zie ook paragraaf 7.2.3). Op de foto moet de dekvloer nog worden aangebracht

8.2.3 Betonkernactivering

Een bijzondere vorm van een 'hoge temperatuur koelsysteem' is betonkernactivering. Het principe is gebaseerd op accumulatie van warmte (paragraaf 7.2) en koude in de bouwconstructie. De verwarming-/koelleidingen worden hierbij in de kern van de vloer c.q. plafond aangebracht en niet in de dekvloer. Hierdoor wordt de thermische actieve massa van de betonnen verdiepingsvloeren vergroot: In de zomer voert het water de door de massa opgenomen warmte af. Door de grote massa wordt de koudevraag uitgesmeerd over het etmaal. Dit beperkt de piekvraag voor de koude-opwekking.

Betonkernactivering kan opgenomen worden in prefab vloerelementen. Betonkernactivering geeft koude af aan de bovenzijde van de vloer én aan de onderzijde van de vloer (plafond). De capaciteit is daardoor groter. De koude-afgifte van een plafond is zelfs groter dan van een vloer door grotere circulatie van lucht. De totale afgifte kan daardoor 60 W/m^2 vloer bedragen.

Aandachtspunten

- Het systeem is uitermate traag. De thermostaat even een graadje hoger of lager zetten heeft geen zin;
- Net als bij vloerverwarming/-koeling is de keuze aan vloerbedekking beperkt;
- Het plafond moet niet van onderen afgewerkt ('geïsoleerd') worden;
- Een zwevende dekvloer belemmert de afgifte via de vloer;
- Er kan aan de onder- en bovenzijde tegelijk maar één temperatuur worden afgegeven. In een woongebouw betekent dit dat het systeem niet per woning afzonderlijk kan worden geregeld en dus niet toegepast kan worden;
- Om dezelfde reden kan in een eengezinswoning de temperatuur op de begane grond en op de verdieping niet afzonderlijk geregeld worden. Dat zal vaak ongewenst zijn.

8.2.4 'Airconditioningsystemen'

In deze apparaten wordt ruimtelucht via een warmtewisselaar afgekoeld. De warmtewisselaar kan of in de ruimte zelf staan of centraal als onderdeel van het ventilatiesysteem of luchtverwarming. Dit zijn 'lage temperatuur' koelsystemen.

De koude lucht wordt met lage temperatuur en met hoge snelheid in de ruimte geblazen. De temperatuur in de ruimte is dan ook minder gelijkmatig dan met een 'hoge temperatuur koelsysteem'. Dit kan tochtlachten geven en stofwerveling. De ventilator in ruimtekoelers betekent over het algemeen ook extra geluid. De ventilatoren verbruiken ook een niet te verwaarlozen hoeveelheid extra elektriciteit (zie hoofdstuk 10).

Een 'lage temperatuur koelsysteem' koelt de lucht dusdanig af dat vocht in het koelapparaat condenseert en de lucht 'ontvochtigd' ingeblazen wordt. Dit versterkt het koelend effect. Dit betekent wel dat steeds condensaat uit het systeem moet worden afgevoerd. Goed onderhoud van het koelapparaat is extra van belang om te voorkomen dat in deze vochtige omgeving microbiologische groei ontstaat en dat dit door de ingeblazen lucht in de ruimte verspreid wordt.

In woningen worden over het algemeen drie typen airconditioningsystemen toegepast:

- Bedrijfsklare luchtbehandelingsapparaten (mobiele airco);
- Split-unit;
- Systemen die ingebouwd of gekoppeld zijn in het ventilatie- of luchtverwarmingssysteem.

Bedrijfsklaar luchtbehandelingsapparaat (mobiele airco)

Dit is een compact apparaat dat in de ruimte zelf staat en op een bestaande wandcontactdoos kan worden aangesloten. Voor de afvoer van warmte is meestal een luchtslang aanwezig die via een open raampje naar buiten gaat. Via dit raampje komt wel weer buitenlucht naar binnen. Bij erg warm weer moet er daardoor extra gekoeld worden.

Om condens af te voeren is het toestel voorzien van een condensaatbak. Deze moet regelmatig geleegd worden. De regeling (veelal 'aan/uit') is op het apparaat aangebracht. Mobiele airco's hebben een slecht rendement (afbeelding 8.3) en moeten gezien worden als absolute noodoplossing.

Wanneer in een woning geen actief koelsysteem aanwezig is, is in de NTA 8800 [30] een berekening opgenomen om het risico op de hoge temperaturen te berekenen. In de norm is een vereenvoudigde

methode opgenomen om het risico op oververhitting per rekenzone en per oriëntatie te bepalen aan de hand van de maand juli (TO_{juli}-indicator).



Afb. 8.3 Een voorbeeld van een mobiele airco met condensopvangbak

Split-unit

Dit systeem bestaat uit twee delen: een afgiftedeel in de ruimte en een buitendeel met daarin de koude-opwekker en de condensor met ventilator die de warmte afgeeft aan de buitenlucht. Tussen beide delen circuleert het koudemiddel in twee dunne leidingen. Deze koude leidingen dienen dampdicht geïsoleerd te worden. Het binnendeel moet aangesloten worden op een condensleiding. Zowel het binnendeel als het buitendeel is voorzien van een ventilator. Let daarom goed op het stroomverbruik en de geluidsproductie. Zeker als de unit ook 's nachts gebruikt moet worden. Er bestaan split-systemen waarbij op één buitendeel meerdere binnendelen kunnen worden aangesloten.

Het rendement van split-units (afbeelding 8.5) is duidelijk beter dan van de mobiele airco's, maar door de vaste opstelling zullen ze ook vaker aangezet worden, zodat het verbruik meestal hoger uitkomt. Aan te bevelen zijn modulerende apparaten ('inverter technologie') die bij deelast een duidelijk beter rendement hebben en minder geluid maken. De regeling is over het algemeen in het apparaat opgenomen, veelal met een afstandsbediening. Split-airco's kunnen ook 'omkeerbaar' zijn en dan in de winter als luchtwarmtepomp werken (paragraaf 7.3).



Afb. 8.4 Een split-unit heeft een tochtrisico en ontsiert de gevel

Ingebouwde systemen

In een gebalanceerd ventilatiesysteem of een luchtverwarmer kan een aparte warmtewisselaar (koelbatterij) ingebouwd worden waarmee de toevoerlucht naar believen gekoeld kan worden. Let hierbij ook op de condensaataafvoer.

De inblaasventielen moeten geschikt zijn om koude lucht tochtvrij in te blazen. Luchtkanalen moeten dampremmend geïsoleerd worden om condens op de buitenzijde van deze kanalen te voorkomen.

Regeling

Met een schakelaar kan de koeling ingeschakeld worden. Centraal wordt dan een vaste inblaastemperatuur gemaakt. Alleen door de luchthoeveelheid te regelen kan de koude-afgifte aangepast worden op de vraag per ruimte.

Alternatief is een speciale kamerthermostaat voor koelen en verwarmen. Let op dat een standaard kamerthermostaat voor verwarmen niet geschikt is om koeling te regelen.

8.3 Koude-opwekking

Wanneer de ruimtetemperatuur hoger is dan een ingestelde waarde zal er een koudevraag zijn. Hierdoor zal de koude-opwekking in bedrijf gaan en zal koude worden geproduceerd. De koude wordt door een transportmedium (lucht, water of koudemiddel) overgedragen aan de ruimte, waardoor de ruimtetemperatuur weer onder de ingestelde waarde zal dalen. Beneden een buitentemperatuur van bijvoorbeeld 18 °C wordt de koude-opwekking geblokkeerd. Voor het opwekken van de benodigde koude wordt meestal gebruik gemaakt van een compressiekoelmachine, maar ook vrije koeling of een absorptiekoelmachine is een goede mogelijkheid.

Het rendement van een koelmachine wordt uitgedrukt in de COP. De COP is de verhouding tussen de nuttig geleverde koude en de daarvoor benodigde aandrijfenergie, inclusief eventuele motorverliezen en exclusief energie voor hulpapparatuur.

Let op: voor warmtepompen geldt: COP koelen \approx (COP verwarmen -1) want bij koelen wordt de (elektrische) aandrijfenergie niet nuttig gebruikt.

Afb. 8.5 Enkele voorbeelden van koelers met bijbehorende COP.

Systeem	COP
Mobiele airco	1,5 - 2
Splitunit	2,5 - 3,5
Compressiekoelmachine	3 - 4,5
Absorptiekoelmachine (gas)	-
Absorptiekoelmachine (restwarmte)	8 - 12
Warmtepomp in zomerbedrijf (bodem/grondwater)	4 - 5
Vrije koeling op bodemwisselaar	8 - 16
Vrije koeling op grondwater	10 - 20

8.3.1 Compressiekoelmachine

Bij een compressiekoelmachine zuigt een compressor bij een lage druk een koelmiddel aan dat door compressie op een hogere druk wordt gebracht waarbij de temperatuur stijgt. De compressor wordt elektrisch aangedreven. Het hete koelgas wordt naar de condensor geleid waar het afkoelt en tot vloeistof condenseert. De condensatielwarmte wordt afgevoerd. Vervolgens vindt in het expansieeventiel een reductie van de druk plaats, waarna het vloeibare koelmiddel in de verdamper bij deze lagere druk tot verdamping komt. Hierbij wordt warmte aan water (indirecte expansiekoeling) of aan lucht (directe expansiekoeling) onttrokken. In de verdamper wordt dus warmte aan de omgeving (water of lucht) onttrokken (= koeling), deze warmte wordt in de condensor weer afgegeven aan bijvoorbeeld de buitenlucht. Compressiemachines vinden we in de meeste koelapparaten zoals mobiele airco's, split-units etc. De COP kan sterk variëren (afbeelding 8.5). Verbetering is alleen mogelijk door het toerental van de compressor te regelen ('inverter' technologie). Daardoor kan de koelmachine veel in deellast werken met een beter rendement.

Koudemiddelen

In een koelsysteem zit een koudemiddel. Veel van deze middelen zijn zeer schadelijk voor het milieu. De zwaarste boosdoeners (de CFK's R-11, R-12, R-22) zijn verboden en worden niet meer toegepast. Nieuwe koudemiddelen zijn o.a. R-407C, R-134A. Deze zijn vrij van chloor en vormen daardoor geen gevaar meer voor de ozonaag, maar hebben wel een sterk broekaseffect tot 1700 maal hoger dan CO₂ als ze vrijkomen. Installaties waar deze of de oude middelen in voorkomen mogen alleen onderhouden worden door een 'STEK' gecertificeerde monteur [192]. Natuurlijke koudemiddelen hebben dit nadeel niet. Dit zijn ammoniak (R-717), CO₂ (R-744) of simpele koolwaterstoffen zoals propaan (R-290). In de koudetechniek worden die wel aangeduid zoals tussen haken vermeld. Voor woonhuisinstallaties komt vooral propaan in aanmerking.

8.3.2 Absorptiekoelmachine

De absorptiekoelmachine werkt in hoofdzaak volgens hetzelfde proces als de compressiekoelmachine, alleen vindt er geen mechanische compressie plaats, maar via een aparte absorptie- en desorptiecyclus: De damp in de verdamper wordt geabsorbeerd in een vloeistof (vaak water). Die vloeistof wordt naar de hogere druk gebracht en op die hogere druk wordt het koudemiddel met warmte weer uit het absorptiemiddel afgescheiden. Het verpompen van de vloeistof kost maar weinig energie. Het overgrote deel van het vermogen wordt toegevoerd als warmte op een relatief bescheiden temperatuurniveau tussen 80 en 200 °C.

Wanneer daarvoor restwarmte wordt gebruikt, is absorptiekoeling voor grotere gebouwen een goede optie. Direct met gas gestookt is het rendement op primaire energie een stuk lager dan compressiekoeling en daarom af te raden.

Een voordeel van absorptiekoeling is wel dat de geluidsproductie laag kan zijn.

8.3.3 Warmtepomp in zomerbedrijf

In zomerbedrijf werkt de warmtepomp als een gewone compressiekoelmachine met een efficiënt afgiftesysteem (bijvoorbeeld vloerkoeling). Een warmtepomp die de bodem als bron heeft, zal in zomerbedrijf de aan de woning onttrokken warmte in de bodem opslaan. Daarmee wordt de in de winter onttrokken warmte weer aangevuld: de bodem wordt geregenereerd. Dat is gunstig voor het rendement in de winter en in veel gevallen noodzakelijk om te voorkomen dat de bodem jaar na jaar verder afkoelt. Regeneratie kan echter even goed en met een geringer energieverbruik met vrije koeling zoals hierna besproken.

8.3.4 Vrije koeling

Indien voor de verwarming een warmtepomp met een bodembron (open of gesloten, paragraaf 7.3.3 en 7.3.9) beschikbaar is, kan die bron in de zomer gebruikt worden voor vrije koeling. De temperatuur in de bodem (10 tot 12 °C) is laag genoeg voor alle afgiftesystemen. Voor deze koeling hoeft alleen een circulatiepomp te draaien om het water tussen bron en afgiftesysteem (bijvoorbeeld vloerkoeling) te circuleren. De warmtepomp zelf komt hiervoor niet in bedrijf. De COP van dit systeem ligt tussen de 10 en 20.

De afkoeling van de bron in de winter wordt op deze manier (deels) weer aangevuld. Deze regeneratie is van belang om er voor te zorgen dat de bodem niet elk jaar kouder wordt. Als dat wel het geval is, zou het rendement (COP) van de warmtepomp elk jaar slechter worden (paragraaf 7.3). Meer informatie [193].

9 Warmtapwater

Het energieverbruik voor verwarming van tapwater ligt in dezelfde orde als dat voor ruimteverwarming. Het belang van dit onderdeel van de energiehuishouding is daarmee duidelijk. Warmtapwater wordt vooral in de badkamer en de keuken gebruikt voor douchen, baden, wassen, afwassen, et cetera. Het energieverbruik voor het verwarmen van tapwater wordt bepaald door de hoeveelheid warmwater die gebruikt wordt, de gevraagde watertemperatuur, de leidingverliezen en de efficiëntie van het warmwatertoestel.

Om het energieverbruik te verlagen kunnen al deze posten worden aangepakt door korte en geïsoleerde leidingen (woningontwerp), een hoger opwekkingsrendement (keuze toestel) en een lager waterverbruik (keuze toestel, waterbesparende voorzieningen, gebruikersvoortlichting). Daarnaast kan warmte worden teruggewonnen (douche-WTW) en kunnen duurzame bronnen worden ingezet (zonnew-energie, ventilatielucht).

In dit hoofdstuk komen achtereenvolgens aan de orde:

- Tapwatervraag: paragraaf 9.1 behandelt de hoeveelheid water (debiet) en de watertemperatuur. Hier worden comfortklassen, waterbesparende voorzieningen, warmteterugwinning uit douchewater en hot-fill-apparatuur beschreven;
- Leidingverliezen: paragraaf 9.2 behandelt de leidingverliezen tussen de tappunten en het opwekkingstoestel en de ringleidingen in collectieve systemen;
- Opwekkingstoestellen: paragraaf 9.3 gaat over de toestellen die tapwater verwarmen (bijvoorbeeld HR-combiketel, warmtepompboiler, collectieve toestellen) of toestellen die een bijdrage leveren aan de verwarming van tapwater (bijvoorbeeld zonneboilers).

Zie o.a. de gratis te downloaden [Waterwerkbladen \[253\]](#) voor informatie over het ontwerp en beheer van drinkwaterinstallaties.

Deelchecklist Warmtapwater

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Maak keuze voor de conforteisen met betrekking tot de gewenste temperatuur, de taphoeveelheden en de wachttijd aan de tappunten (paragraaf 9.1, paragraaf 9.2.1);
- Maak een keuze voor de mate van duurzaamheid;
- Maak een keuze voor hot-fill apparatuur (paragraaf 9.1.4);
- Reserveer desgewenst budget voor een zonneboiler of warmtepompboiler en een douche-WTW.

Structuurontwerp/Voorontwerp

- Maak een keuze voor het type warmwatervoorziening;
- Ontwerp de plaats van dit toestel dicht bij de keuken en de badkamer (paragraaf 9.2.1);
- Houd voor de opstelplaats van een warmtepompboiler rekening met geluid en de combinatie van ventilatielucht afvoer en warmtapwatertoestel op dezelfde plek (paragraaf 9.3.6);
- Zorg voor een dakoppervlak op zuid dat nu of in de toekomst geschikt is voor een zonneboiler (paragraaf 9.3.5);
- Kies het type zonneboiler met opslag onder, boven of gecombineerd met de collector (paragraaf 9.3.5);
- Ontwerp de plek voor de douche-WTW 'onder' de douche (paragraaf 9.1.3);
- Ontwerp een kort leiding tracé voor geïsoleerde warmtapwaterleidingen. Deze hebben een bruto diameter van circa 50 mm (dus inclusief isolatie).

Definitief Ontwerp / Technisch ontwerp

- Kies het warmwatertoestel (paragraaf 9.3);
- Let bij de keuze van een combiwarmtepomp vooral op het rendement voor tapwater. Dit is mede bepalend voor de totale prestatie;

- Zorg voor passende legionella preventie (paragraaf 9.1.2);
- Kies de waterbesparende voorzieningen (kranen, douchekop, perlators) (paragraaf 9.1.1);
- Zorg voor een thermostatische mengkraan als er voor een douche-WTW is gekozen (paragraaf 9.1.3);
- Detailleer de opstelplek van het toestel;
- Detailleer de zonneboiler en het verbindende leidingwerk (afschot, beugeling, isolatie) (paragraaf 9.3.5);
- Kies de plaats voor de display van de zonneboiler;
- Neem hot-fill aansluitingen en hot-fill voorschakelkastje op (paragraaf 9.1.4);
- Detailleer de zonnecollector op het dak (integratie met de dakdoos bijvoorbeeld) (paragraaf 9.3.5);
- Detailleer het leidingtracé tussen toestel en tappunt (paragraaf 9.2);
- Detailleer de douche-WTW opstelling en inspectie mogelijkheid (paragraaf 9.1.3).

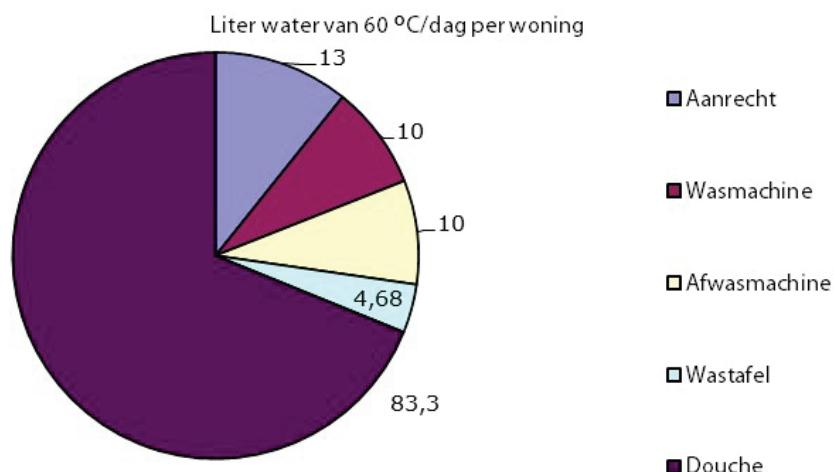
Uitvoering

- Controleer de warmtapwater leidingen op lengte, isolatie en beugeling voor dat ze weggewerkt worden (paragraaf 9.2);
- Controleer het leidingwerk van de zonneboiler op isolatie, beugeling en afschot. Let op temperatuurbestendigheid ($> 160^{\circ}\text{C}$) (paragraaf 9.3.5);
- Controleer de isolatie van de rioolafvoer tussen doucheputje en douche-WTW (paragraaf 9.1.3);
- Controleer geluid van een warmtepompboiler. Bij twijfel: voer een meting uit;
- Controleer de luchthoeveelheid van de warmtepompboiler (paragraaf 9.3.6);
- Zorg voor de gebruiksinstructies voor toestel, douche-WTW, zonneboiler, hot-fill;
- Bied hot-fill apparatuur aan of een voorschakelkastje (paragraaf 9.1.4);
- Controleer de instellingen van het toestel: comfortstand / ecostand en 'naverwarming zon' (paragraaf 9.3.3, paragraaf 9.3.5).

Gebruik / Exploitatie

- Onderhoud het toestel en de zonneboiler regelmatig en hou daar een logboekje van bij;
- Controleer de vulling van de zonneboiler volgens de eisen van de fabrikant;
- Gebruik bij een douche-WTW geen schoonmaakmiddelen op basis van een kalksuspensie;
- Controleer regelmatig op het einde van een zonnige dag de temperatuur in de zonneboiler: zomer $> 60^{\circ}\text{C}$; winter $> 30^{\circ}\text{C}$.

9.1 Tapwatervraag, tappunten



Afb. 9.1 De verdeling van het warmtapwaterverbruik over de tappunten in liters van 60 °C per dag per gemiddeld huishouden. De vraag in de keuken wordt gekenmerkt door veel korte tappingen, bij douche- of badgebruik is de tapduur juist lang

Tapdebit en comfortklassen

Het warmwatercomfort wordt bepaald door:

- Het maximale debiet dat het toestel kan leveren;
- Het continu debiet dat het toestel kan leveren;
- De mogelijkheid tot tegelijk tappen op meerdere plekken.

Het comfort dat een toestel kan leveren is vastgelegd in het Gaskeur CW-label (Comfort-Warmwater-label). Dat geeft comfortklasse 1 tot en met 6, waarbij klasse 6 voor het hoogste comfort staat (afbeelding 9.2). Voor niet-gastoestellen zijn er gelijkwaardige klassen.

Afb. 9.2 Het CW-label is in zes klassen verdeeld, per klasse wordt aangegeven voor welke toepassingen (en combinaties) een toestel geschikt is

Klasse	Toepassingen	Tapdebit keuken (60 °C)	Tapdebit douche (40 °C)	Tapdebit bad (40 °C)	Vermogen of voorraad*)	
		l/min	l/min	l/min	kW	liters
1	Keuken	≥ 2,5	-	-	9	30
2	Keuken of douche	≥ 2,5	6	-	13	60
3	Keuken of douche of bad (100 l)	≥ 3,5	6 - 10	≥ 10	22	100
4	Keuken of douche of bad (120 l)	≥ 3,5	6 - 12,5	≥ 12,5	27	120
5	Keuken of douche of bad (150 l)	≥ 3,5	6 - 12,5	≥ 17	36	120
6	Keuken of douche	≥ 3,5	6 - 12,5	-	47	125
	Keuken en bad (150 l)	≥ 3,5	-	≥ 17	47	125
	Bad (200 l)	-	-	≥ 22	47	125

*) Ter indicatie is bij elke klasse bij benadering het vermogen of de voorraad van een toestel aangegeven, nodig om de gewenste hoeveelheid water te kunnen leveren. Een douche-WTW levert naast het toestel extra vermogen!

9.1.1 Waterbesparende voorzieningen

Waterbesparende voorzieningen (zowel voor koud als voor warm water) zijn tegen relatief geringe meerkosten te realiseren. De terugverdientijd is vaak korter dan een jaar. Let erop dat bij doorstroomtoestellen in combinatie met warmwaterbesparende voorzieningen de tapdrempeel van het toestel laag genoeg is omdat anders het toestel niet aanslaat (paragraaf 9.2).

Spaardouches

Binnen de groep spaardouches zijn er grote verschillen qua waterverbruik. Kies daarom voor douchekoppen voorzien van KIWA-keur 'Laag verbruik' (of volumestroomklasse Z). Een zuinige waterbesparende douchekop laat zo'n 6 l/min door bij een waterdruk van 1 bar (= 100 kPa), dit is 50% zuiniger dan een 'standaard' douchekop. Bewoners blijken zeer tevreden te zijn over spaardouches [195]. Uit in [195] genoemd onderzoek blijkt bovendien dat men niet langer gaat douchen wanneer er een spaardouche is aangebracht (t.o.v. de situatie met een onzuinige douchekop). Zie ook www.milieucentraal.nl.

Voor collectieve systemen of woningen waar op meerdere punten tegelijk getapt wordt, is er wel een aandachtspunt. Tappingen zorgen voor drukvariaties. Een spaardouche remt de gemengde waterstroom uit de kraan af. Daardoor neemt de 'autoriteit' van de mengkraan om de stromen van warm- en koudwater te bepalen af. Drukvariaties geven dan een verhoogde kans op 'wisselbaden' onder de douche. Als er op meerdere plekken getapt kan worden en dus drukvariaties te verwachten zijn, is het daarom aan te bevelen om de begrenzing van de waterhoeveelheid niet in de douchekop in te bouwen, maar vóór de mengkraan in de (aansluiting van) warmwaterleiding. Daar volstaat dan een maximaal debiet van 4 l/min. Na menging komt er dan ruim 6 l/min uit de douchekop. Bij sommige

éenhendelkranen en thermostatische kranen is deze functie in de kraan geïntegreerd. De keuze van de douchekop blijft belangrijk: die moet bij een laag debiet (6 à 7 l/min) een goede waterverdeling geven.

Kranen met besparende regeling

Er zijn allerlei typen kranen verkrijgbaar die gericht zijn op waterbesparing (vaak gecombineerd met verhoging van het comfort). Te noemen zijn o.a.

- Kranen met een parabolische sluiting;
- Volumestroombegrenzers, mogelijk geïntegreerd in een perlator;
- Eengreepsmengkranen met een asymmetrische verdeling tussen koud en warm water;
- Eengreepsmengkranen met een waterbesparende stand van de hendel;
- Thermostatische douchemengkranen. Hierbij is er een aandachtspunt voor de bewoners (instructie): de temperatuurinstelling moet af en toe gewijzigd worden om vastzitten te voorkomen.

Warmwaterbesparende voorzieningen hebben zowel effect op het water- als op het energieverbruik (afbeelding 9.3).

Afb. 9.3 Indicatie mogelijke besparingen per huishouden per jaar door water- en energiebesparende voorzieningen (bron: [195] met actualisatie van energiebesparing)

	Waterbesparing	Energiebesparing
	m ³ /jr	m ³ a.e./jr
Spaardouche klasse Z	10	40
Doorstroombegrenzers op kranen	2 - 3	10
Kranen met besparende regeling	1 - 2	5
Optimalisatie leidingen	0 - 10	0 - 45
Hot-fill wasmachine	0	10 - 30
'Normale' vaatwasser als hot-fill	0	5 - 20
WTW douchewater	0	60

9.1.2 Watertemperatuur

Legionella

De Legionella-bacterie veroorzaakt de 'Veteranenziekte'. Deze kan dodelijk zijn. Het temperatuurtraject voor groei van Legionella ligt tussen 20 en 50 °C, met een optimum tussen 30 °C en 40 °C. In de praktijk wordt de groei vanaf 25 °C van betekenis, maar bij lange stagnatie (meerdere weken) van water kan tussen 20 °C en 25 °C toch ook een probleem ontstaan. Vanaf 50 °C sterft de legionella-bacterie af.

Zolang het water in een leiding regelmatig ververst wordt, kan geen sterke bacteriegroei optreden. Tappunten die weinig gebruikt worden (bijv. op zolder, in een logeerkamer of buiten) verdienen extra aandacht. Probeer ze te vermijden of tak ze met een zo kort mogelijke leiding af van een wel frequent doorstroomde leiding of sluit ze 'doorstromend' aan. Leg geen 'dode' leidingen of loze aansluitpunten aan. Let er ook op dat een koudwaterleiding voor drinkwater niet opgewarmd wordt door een naburige warme leiding (voor tapwater of CV). Voorkom deze 'hotspots' door bijv. een koele zone in een vloerveld vrij te houden voor de koudwaterleiding en door naburige CV-leidingen te isoleren met circa 10 mm buisisolatie; zie voor praktische informatie o.a. de [ISSO-kenniskaart Hotspots bij radiatorenverwarming voorkomen](#) [211] en de [Checklist 'hotspots' in waterleidingen](#) [212]. Veel legionella besmettingen vinden plaats vanuit zo'n opgewarmde koudwaterleiding. Ook het isoleren van de warm- en de koudtapwater leidingen helpt hier tegen. Dat de warmtapwaterleiding zelf dan minder snel afkoelt is geen bezwaar, integendeel, hij blijft langer boven de 50 °C en wordt dus beter ontsmet. Over het wel of niet isoleren van de tapwaterleidingen is echter nog discussie. Volgens NEN 1006 [216] moet het tapwater in deze leidingen in ieder geval na tappen binnen 45 minuten afkoelen tot 25 °C.

Voorraadtoestellen met een lage watertemperatuur vormen een risico. Dit risico is te verkleinen door óf de voorraad warmwater periodiek (1x per week) te verwarmen tot 60°C óf door vóór het gebruik het water gedurende minimaal 60 seconden tot minimaal 60 °C te verwarmen. Kies in elk geval een voorraadtoestel met een bodem die van buiten gezien bol is en vanaf het onderste punt doorstroomd en

verwarmd wordt. Een boiler gevuld met systeemwater waarin een opwarmspiraal met tapwater zit, is een goed alternatief. De inhoud van de spiraal is zo gering en de snelheid zo hoog dat legionella geen kans krijgt.

Grote leidingsystemen bij collectieve installaties vormen een risico. Men moet daarbij voorkomen dat enige leiding, zowel voor koud als warm tapwater, in het kritische temperatuurtraject komt. De beheerder (bijv. een woningcorporatie of Vereniging van Eigenaren) van deze collectieve installaties heeft een algemene zorgplicht. Dit houdt o.a. in dat de installaties deugdelijk moeten zijn en dat er voorzorgsmaatregelen getroffen zijn om legionella te voorkomen. Daarnaast is voorlichting aan bewoners aan te raden.

Voor o.a. verzorgings- en verpleeghuizen gelden voor het beheer zwaardere eisen zoals het uitvoeren van een risicoanalyse, het opstellen van een Beheersplan en het bijhouden van een Logboek, zie Drinkwaterbesluit (hoofdstuk 4) [210], de Regeling Legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater [224] en [213].

Meer informatie over legionella: [201], [203], [204], [214] en [215].

Thermostatisch mengventiel

Warm water van meer dan 45 °C kan verbranding veroorzaken. Boven 60 °C is derdegraadsverbranding van de huid waarschijnlijk. Risicogroepen zijn kleine kinderen, bejaarden en gehandicapten. Een thermostatisch mengventiel is daarom noodzakelijk voor alle installaties waarin de watertemperatuur hoger dan 60 °C kan worden, zoals in elektrische boilers en zonneboilers en is voor de overige installaties aan te raden in de badkamer bij risicogroepen.

9.1.3 Warmteterugwinning (WTW) uit douchewater

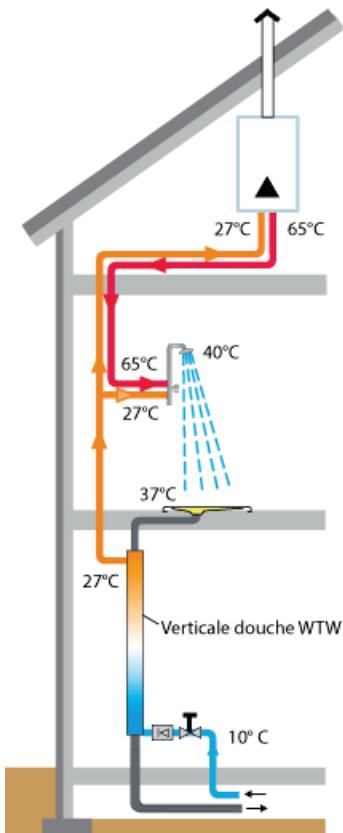
Warmteterugwinning uit douchewater is een eenvoudige manier van energiebesparing. Met warm afvoerwater wordt koud aanvoerwater voorverwarmd. Dit principe kan bij douchen toegepast worden, omdat er dan tegelijk een grote hoeveelheid warmwater opgewekt en afgevoerd wordt. NTA 8800 [30] waardeert verticale douche-WTW's met een forfaitair rendement van 40% en horizontale douchewtw's met een forfaitair rendement van 20%. Daarnaast hanteert de norm correctiefactoren voor de wijze van aansluiting (zie ook hierna), de afkoeling die optreedt tussen de douchekop en de doucheWTW, en een praktijkcorrectiefactor voor onder andere vervuiling en veroudering van het systeem. Overigens zijn er diverse fabrikanten die doucheWTW's leveren met een aanzienlijk beter rendement dan de forfaitaire rendementen.

Systemen:

- De warmteterugwinunit bestaat uit een koperen buis-in-buis warmtewisselaar die verticaal wordt gemonteerd (verticale douche-WTW of douchepijp-WTW [218]). Het afvalwater stroomt door de binnenste buis naar beneden, het schone aanvoerwater stroomt tussen de beide buizen omhoog. Er wordt gebruik gemaakt van het tegenstroomprincipe. Het afvalwater heeft de neiging als een snelstromende film aan de binnenzijde van de koperen buis te 'kleven' waardoor een effectieve warmteoverdracht plaats vindt. Door de combinatie van dit 'kleef' effect en een systeem van ribbels kan een grote warmteoverdracht bereikt worden. Deze verticale douche-WTW wordt op een verdieping lager dan de douche geplaatst;
- De douchebak-WTW [219] heeft een horizontale warmtewisselaar die in de douchebak is ingebouwd. Door de vorm van de douchebak wordt al het afvalwater met een optimale turbulentie (en dus maximale warmte-uitwisseling) over de warmtewisselaar geleid. Dit systeem kan bij renovaties en etagewoningen worden toegepast;
- De douchegoot-WTW [220]: Hierbij is de horizontale warmtewisselaar in de douchegoot ingebouwd. Dit systeem kan ook bij renovatie en etagewoningen worden ingebouwd, maar let op de benodigde inbouwhoogte; deze verschilt per fabrikant en is minimaal zo'n 130 mm.

Om te voorkomen dat rioolwater via een lek in de douche-WTW in het drinkwater komt, zijn er twee mogelijkheden:

- De douche-WTW wordt met een open verbinding aangesloten op het rioolstelsel. Deze verbinding moet bereikbaar blijven voor inspectie. Er is een risico van overstort. Dat mag geen calamiteit veroorzaken. Bij voorkeur loopt de overstort in een toilet;
- De douche-WTW wordt voorzien van een dubbele scheiding. Bij een lek in de wisselaar gaat die druppen zonder dat er een besmetting van het drinkwater kan ontstaan.



Afb. 9.4 Werkingsprincipe van de verticale douche(water)-WTW (warmteterugwinning); de douche-WTW bevindt zich op de begane grond. (Bron: Technea Duurzaam)

De inlaat zijde van de douchewater-WTW wordt aangesloten op het drinkwaterleidingsysteem. De uitlaat kan aangesloten worden:

- Zowel op de koudwaternaalsluiting van de douchemengkraan als op de koudwaternaalsluiting van het warmwatertoestel. Dit levert de grootste besparing op;
- Alleen op de koudwaternaalsluiting van de douchemengkraan (15% minder besparing); pas alleen toe als er collectief warmwater wordt geleverd;
- Alleen op de koudwaternaalsluiting van het warmwatertoestel (25% minder besparing); pas alleen toe als er collectief warmwater wordt geleverd en er een collectieve douche-WTW wordt toegepast.

De verticale douchewater-WTW kan in een leidingschacht worden aangebracht, maar inspectie van de onderzijde van de wisselaar via een luikje of dergelijke moet wel mogelijk zijn. Nog beter is het om de wisselaar eenvoudig bereikbaar te maken zodat bij eventueel onderhoud en een defect niets gesloopt behoeft te worden. De levensduur is naar verwachting minimaal 30 jaar.

De afvoerleiding tussen het doucheputje en de douche-WTW moet geïsoleerd worden om de opbrengst te optimaliseren.

Het plaatsen van de verticale douchewater-WTW in de meterkast is toegestaan mits er rekening wordt gehouden met compartimentering (indeling) van de meterkast volgens NEN 2768+A1:2018, "Meterkasten en bijbehorende bouwkundige voorzieningen voor leidingaanleg in woningen". Het kan noodzakelijk zijn de meterkast iets groter te maken dan gebruikelijk. Echter, als de meterkast is voorzien

van een afleverset voor stadsverwarming is het niet toegestaan de douchewater-WTW in de meterkast te plaatsen omdat die dan te lang te warm zou kunnen worden.

Het duurt even voor het uitgaande water op temperatuur is. Om daar geen last van te hebben onder de douche is het noodzakelijk om een thermostatische mengkraan te gebruiken.

Aandachtspunten voor alle typen douche-WTW's:

- Een CW-3 toestel met een douche-WTW levert hetzelfde warmtapwaterdebiet als een CW-5 toestel zonder douche-WTW. De douche-WTW verhoogt dus het comfort aanzienlijk;
- Schoonmaakmiddelen op basis van kalksuspensie mogen niet worden toegepast. Deze koeken namelijk aan op de wand van de warmtewisselaar. De warmteoverdracht neemt daardoor sterk af. Vermeld dit in de bewonersinstructie. Overigens verdwijnt deze aanslag weer als overgegaan wordt op een ander schoonmaakmiddel.

9.1.4 Hot-fill was- en vaatwasapparatuur

Door toepassing van hot-fill was- en vaatwasapparatuur kan bespaard worden op het elektriciteitsgebruik voor de opwarming van warm water. In de NTA 8800 kan een hotfill aansluiting echter niet worden meegenomen in de berekening. Gangbaar worden vrijwel alle was- en vaatwasmachines voor huishoudelijk gebruik gevuld met koud water, waarna de (vaat)wasmachine het water elektrisch verwarmt. Het rendement op primaire energie hiervan is laag. De zogenaamde 'hot-fill' (vaat)wasmachine is geschikt om direct warm water te gebruiken uit het warmtapwaternet. Als de warmte afkomstig is van een gasgestookt toestel, een warmtedistributienet of van een zonneboiler, dan ligt het rendement (in primaire energie) aanzienlijk hoger dan de elektrisch verwarmde apparaten. Bovendien daalt de uitstoot van schadelijke verbrandingsgassen met globaal 40 tot 50% (afbeelding 9.3). De energiebesparing door hot-fill is sterk afhankelijk van het warmwatertoestel en de afstand van machine tot dit toestel. Deze afstand moet zo klein mogelijk zijn. Hot-fill heeft geen enkele zin als het warme water uit een elektrische boiler komt.

Vaatwassers zijn vrijwel altijd geschikt voor hot-fill. Hoewel dat in het buitenland standaard is, hebben de meeste wasmachines bij ons geen twee aansluitingen (voor koud en warm water). De bouwer kan de bewoner tegemoet komen door het plaatsen van een voorschakelkastje. Dit zorgt er voor dat op het juiste moment warm- of koudwater naar de wasmachine gaat. Zie ook www.milieucentraal.nl.

Voorkom in verband met legionella-preventie dat er een 'dood' stuk leiding ontstaat, wanneer de hot-fill aansluiting niet wordt gebruikt.



Afb. 9.5 Voorschakelkastje bij hot-fillaansluiting voor een standaard wasmachine

9.2 Leidingen (tapwaterdistributie)

9.2.1 Leidingen in de woning

In veel woningontwerpen is de afstand tussen het warmwatertoestel en het tappunt in de keuken (waar veel kleine tappingen plaatsvinden) groot. Het gevolg is een lange wachttijd en verspilling van water en energie. Let daarom bij het ontwerp van de woningplattegrond op het zo dicht mogelijk bij elkaar

situering van de warmtebron, zoals een combiketel of combiwarmtepomp, en de afnamepunten in de keuken en de badkamer. Mogelijkheden voor plaatsing zijn bijvoorbeeld naast de badkamer en boven de keuken of in een bijkeuken. In de NTA 8800 wordt de toepassing van korte leidinglengtes gewaardeerd, en leidt dit tot gunstige(re) resultaten.

Wachttijd:

De wachttijd is de tijd die nodig is om, na het opendraaien van de warmwaterkraan, de eindtemperatuur aan het tappunt te bereiken. In principe moet deze zo kort mogelijk zijn omdat het ongebruikt weg laten lopen van water met een te lage temperatuur een verspilling vormt van water en energie. Bovendien moet deze zo kort mogelijk zijn uit oogpunt van gebruikscomfort, met name voor het, meest gebruikte, keukentappunt. De totale wachttijd aan een tappunt bestaat uit:

- Toestelwachttijd: Deze komt alleen voor bij doorstroomtoestellen. Dit is de tijd die nodig is tot de brander in bedrijf is en de warmtewisselaar op temperatuur is gebracht. Bij sommige toestellen wordt deze tijd (gedeeltelijk) gecompenseerd door een kleine watervoorraad die continu op temperatuur wordt gehouden en direct aangesproken kan worden. Dit geeft extra verlies en verlaagt het gebruiksrendement. De toestelwachttijd wordt opgegeven door de fabrikant en kan oplopen tot 20 seconden;
- Leidingwachttijd: Een tappunt levert pas warm water als het warme water van het warmwatertoestel eerst het koude water in de leiding heeft verdrongen en daarna ook nog de leiding zelf voldoende heeft opgewarmd. De leidinginhoud moet dus meer dan eenmaal ververst worden voordat er warm water uit de kraan komt. Naarmate de inhoud kleiner is zal deze eerder 'verdrongen' zijn. De DH-factor geeft aan hoe vaak de inhoud van een leiding ververst moet worden voordat er warm water uit komt. De DH-factor is afhankelijk van het leidingmateriaal en verschilt voor opbouw- of ingestorte leidingen, maar ligt vrijwel altijd tussen de 1,5 en 2 [209].

De totale wachttijd bij het keukentappunt tot het bereiken van een temperatuur van 45 °C is volgens gangbare kwaliteitscriteria maximaal 30 seconden (bij 100 kPa). De warmtapwatertemperatuur van minimaal 55 °C aan het tappunt moet bereikt zijn binnen 120 sec na het openen van de waterkraan. De meeste mensen vinden dat echter veel te lang zeker wanneer we bedenken dat de officiële meting gebeurt zonder waterbesparende voorzieningen in perlators of douchekoppen! Een tijd van 10 tot 15 seconden vinden mensen wèl acceptabel [197]. Een tweede toestel in de keuken heeft helaas een (zeer) negatief effect op het totale gebruiksrendement voor het opwarmen van tapwater.

Er zijn vrijwel geen kosten gemoeid met een dergelijke plaatsing van het toestel. Bij de uitvoering zijn ook nog veel meters te winnen door de leidingen zorgvuldig te plannen. Installateurs hebben nog wel eens de neiging om niet de kortste maar de makkelijkste weg te kiezen. Een korte wachttijd in de keuken voorkomt dat bewoners een kleine elektrische keukenboiler plaatsen. Deze vergroot het energieverbruik met circa 480 kWh elektriciteit (bron: Milieu Centraal) per jaar. Dat wordt niet goed gemaakt door de waterbesparing omdat er minder water ongebruikt wegstromt.

Pas een aparte, onvertakte, leiding toe van de warmtebron naar het keukentappunt. Geef de leiding een zo klein mogelijke diameter: meestal is een inwendige diameter van 6 mm voldoende, terwijl 10 mm gebruikelijk is. Isoleer de leiding met 20 mm isolatie rondom, ook waar de leiding is ingestort. Door de goede isolatie blijft hij circa een half uur op temperatuur. Er is dan geen sprake meer van een wachttijd. Deze maatregel is vooral van belang wanneer de afstand naar het warmwatertoestel groot is, zoals bij een zolderopstelling van het toestel in een eengezinswoning.

9.2.2 (Circulatie)leidingen collectieve installaties

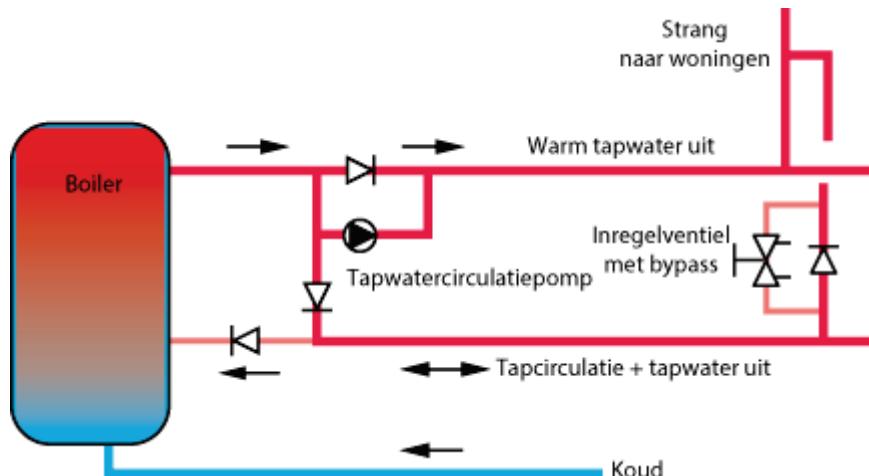
Collectieve tapwaterverwarming in de woningbouw wordt vooral gerealiseerd bij:

- Kleinere collectieve installaties, bijvoorbeeld voor een bouwblok;
- Bij gebruik van duurzame energie zoals zonne-energie (afbeelding 9.22);
- Bij gebruik van efficiënte vormen van energieopwekking zoals restwarmte of WKK (paragraaf 7.4).

Vooral bij collectieve systemen komen noodgedwongen lange leidingen voor. Om de wachttijd te beperken en in die lange leiding bacteriële besmetting te voorkomen, wordt een circulatieleiding (ook wel ringleiding genoemd) toegepast. Het water wordt hierbij rondgepompt, zodat elke woning direct de beschikking heeft over warmtapwater. Direct bij die aftakking bevindt zich een keerklep en afsluiter en veelal de warmtapwatermeter en een doorstroombegrenzer. Deze laatste beperkt het debiet tot de afgesproken comfortklasse (CW). Dat is belangrijk want bij een onevenredig grote afname in één woning zou de druk voor andere woningen weg kunnen vallen. De rest van de installatie in de woning is gelijk aan een woning met een eigen warmwatertoestel.

Het nadeel van een circulatieleiding is de toename van warmteverliezen door constante hoge temperatuur (60 à 65 °C) van de leiding. Zeer goed isoleren van de circulatieleiding is absoluut noodzakelijk. Er zijn systemen om de leidingslengte en diameter te beperken zoals het dubbel voeden van het systeem. Bij grote afname kan in dat systeem warmwater van twee kanten naar de woningen stromen [197]. Ook systemen waarbij de retourleiding binnen in de aanvoerleiding zit, verdienen overweging (zogenaamde 'Inliner-sets'). Perfect uitgevoerde circulatieleidingen hebben een energieverlies per woning dat kleiner is dan de waakvlam van een keukengeiser, maar voor slecht geïsoleerde systemen kan dat ook het vijfvoudige zijn. De terugverdientijd voor het isoleren van circulatieleidingen is korter dan een jaar.

Verder moet ruime aandacht besteed worden, ook in het beheer, aan het voorkomen van bacteriologische verontreiniging van het tapwatersysteem ('veteranenziekte', paragraaf 9.1.2).



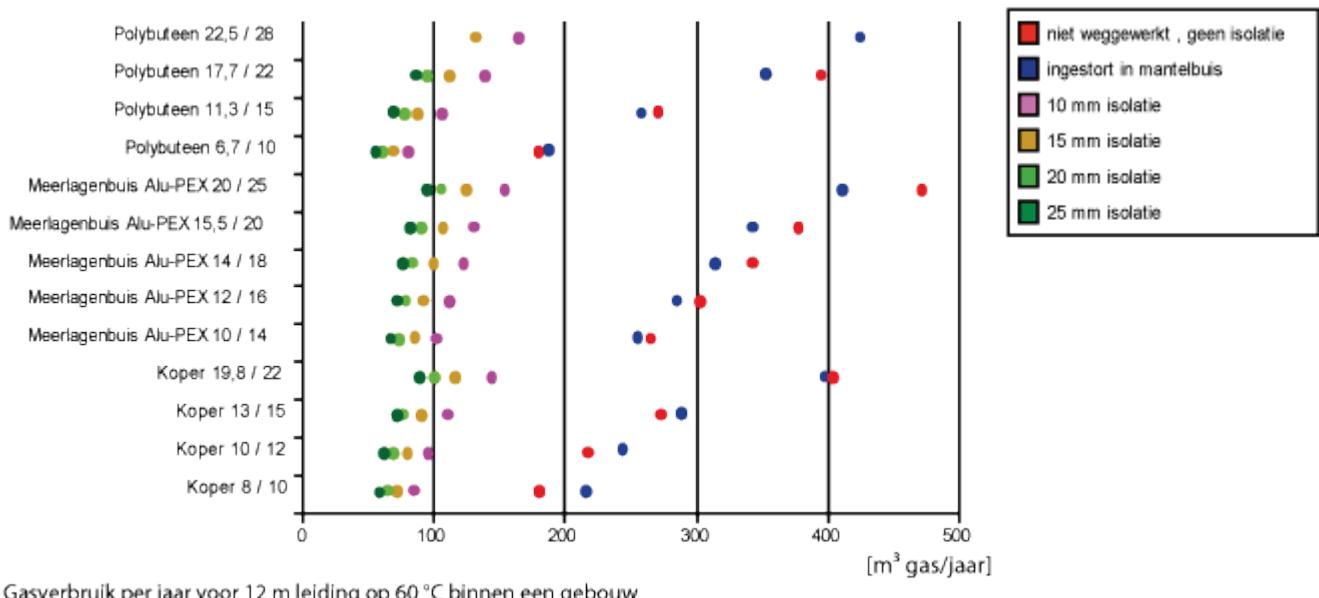
Afb. 9.6 Een voorbeeld van een efficiënte ringleiding. Bij grote vraag kan via beide leidingen water naar de woningen stromen

9.2.3 Leidingisolatie

Warmwaterleidingen moeten altijd geïsoleerd worden, of dat nu leidingen zijn die continu warm zijn zoals een ringleiding of leidingen die incidenteel warm zijn. De redenen:

- Voorkomen van energieverlies;
- Beperken van de wachttijd, verhogen comfort;
- Voorkomen dat naburige koudwaterleidingen opwarmen tot een risicovolle temperatuur.

Isolatie moet over de volle lengte aangebracht worden, ook bij koppelingen, bochten en afsluiters, in vloeren en wanden. Ophangbeugels moeten om de isolatie bevestigd worden. Dit is bij koudwaterleidingen (in collectieve woongebouwen) al standaard praktijk omdat daar onzorgvuldige isolatie afgestraft wordt door 'lekkage' ten gevolge van condens. Voor warmwaterleidingen vergt dat vaak nog overtuigingskracht, maar het is de moeite waard. Afbilding 9.7 geeft waarden voor verschillende uitvoeringen.



Afb. 9.7 Warmteverlies van leidingen bij verschillende isolatiediktes. Het is duidelijk dat een ribbelbus of een kale kunststof leiding geen isolerende werking van betekenis heeft

9.3 Warmwatertoestellen

De volgende typen warmwatertoestellen zijn te onderscheiden:

- Doorstroomtoestellen;
- Voorraadtoestellen.

Beide typen kunnen uitgevoerd zijn als 'solo-' of als combitoestel. In de nieuwbouw worden alleen nog gesloten toestellen gebruikt.

Voor vergelijking van de verschillende toestellen zijn op internet diverse vergelijkingssites beschikbaar, o.a. [207].

Vanaf september 2015 moeten alle nieuwe toestellen voor ruimteverwarming en warmtapwater voorzien zijn van een 'productlabel' volgens de Ecodesign richtlijn (ERP-richtlijn oftewel Energy Related Products richtlijn). Een combinatie van apparaten (bijv. een zonneboilersysteem met combi-ketel) moet voorzien zijn van een 'pakketlabel'. Zie voor meer informatie over de labels www.VFK.nl en over de Ecodesign richtlijn www.rvo.nl.

Gastoestellen kunnen ook zijn voorzien van één of meer van de volgende Gaskeurmerken:

- Gaskeur-HR (Hoog Rendement);
- Gaskeur-HRww (Hoog Rendement warm water);
- Gaskeur-SV (Schonere Verbranding);
- Gaskeur-NZ (Naverwarming Zonneboilers);
- Gaskeur-CW (Comfort Warm Water).

Houd bij zowel de keuze van een toestel als de situering van dit toestel rekening met de mogelijkheid om (later) een zonneboilersysteem toe te passen (paragraaf 9.3.5). Kies dus zeker een toestel met het Gaskeur-NZ en een verblijfstijd voor warmwater groter dan 60 seconden ter voorkoming van legionella-besmetting.

Gaskeur CW (Comfort Warm Water)

Toestellen met het CW-label voldoen aan bepaalde eisen met betrekking tot tapdrempel, wachttijd, gelijkmatigheid van temperatuur en rendement. Het CW-label geeft aan voor welke toepassingen het toestel geschikt is. Klasse 1 is er voor toestellen met een beperkt vermogen, zoals een keukengeiser. Een toestel uit klasse 6 kan een groot debiet warm water leveren (afbeelding 9.2). Het zal duidelijk zijn dat een toestel dat meer warmwater kan leveren een grotere vraag oproept, dus een hoger verbruik van

warmwater en energie. Meetgegevens wijzen er op dat per CW klasse het verbruik 20% hoger uitkomt [194] (afbeelding 9.8).

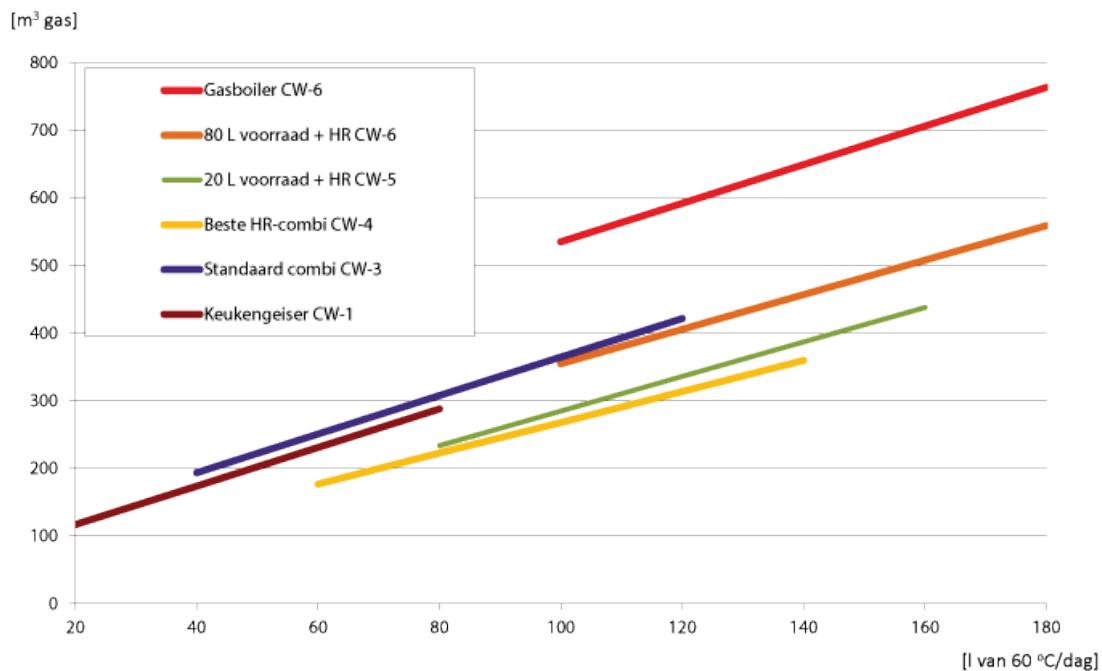
Overigens is het comfort in de zin van tapdebiet niet alleen afhankelijk van het toestel, maar van het hele tapwatersysteem. Een CW-3 toestel met een douche-WTW levert na enige tijd hetzelfde warmtapwaterdebiet als een CW-5 toestel zonder douche-WTW. Een CW-label garandeert een jaargebruiksrendement voor tapwaterverwarming van minimaal 56% (op onderwaarde) voor combitoestellen of 45% (op onderwaarde) voor niet-combitoestellen zoals geisers en gasboilers. Het Ecodesign label neemt dat over. Als het toestel naast het CW-label ook het HR-label voert, is het jaargebruiksrendement minimaal 67% (op onderwaarde). Met een HRww-label is deze waarde voor tapwater minimaal 75% (op onderwaarde). De zuinigste HRww-combiketels halen een jaargebruiksrendement van meer dan 95% (op onderwaarde). Zie paragraaf 7.3.2 voor uitleg van het begrip rendement op onder- en bovenwaarde.

Rendement tapwaterverwarmers

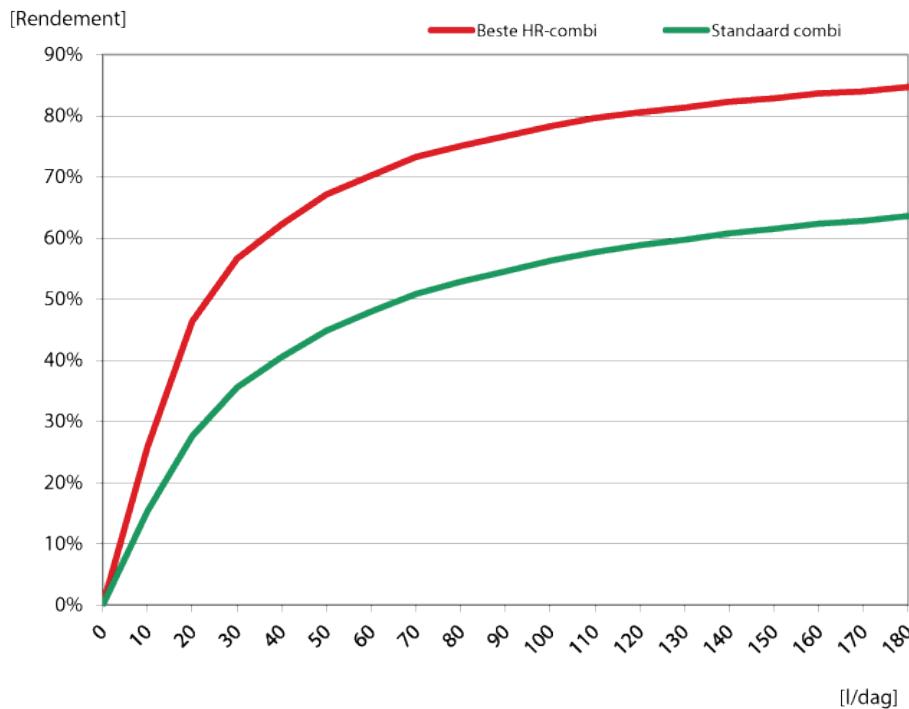
Het gebruiksrendement voor tapwaterverwarming bepaalt men aan de hand van gestandaardiseerde tappatronen. In de praktijk kan het rendement hoger of lager liggen (afbeelding 9.9).

Het 'gebruiksrendement' van een warmwatertoestel of het warmwaterdeel van een combiketel is aanzienlijk lager dan de rendementen die we gewend zijn bij CV-ketels. De reden is dat in het gebruiksrendement ook het 'stand-by' verbruik (eventuele waakvlam, warmhoustand of verlies van een boiler) is opgenomen en dat een tapwatertoestel veel meer op vol vermogen werkt, terwijl moderne CV-toestellen juist bij deellast hun hoge rendement halen. Gelukkig zijn er toestellen op de markt die een aanzienlijk hoger rendement halen dan de standaard volgens het HRww-label. De in gelijkwaardigheidsverklaringen opgenomen rendementen zijn echter theoretisch en vooral gericht op gebruik in de energieprestatieberekening. In de praktijk liggen de rendementen door verschillende oorzaken lager. Bijvoorbeeld doordat de bewoner de 'comfortstand' (paragraaf 9.3.3) inschakelt om direct warmwater te hebben.

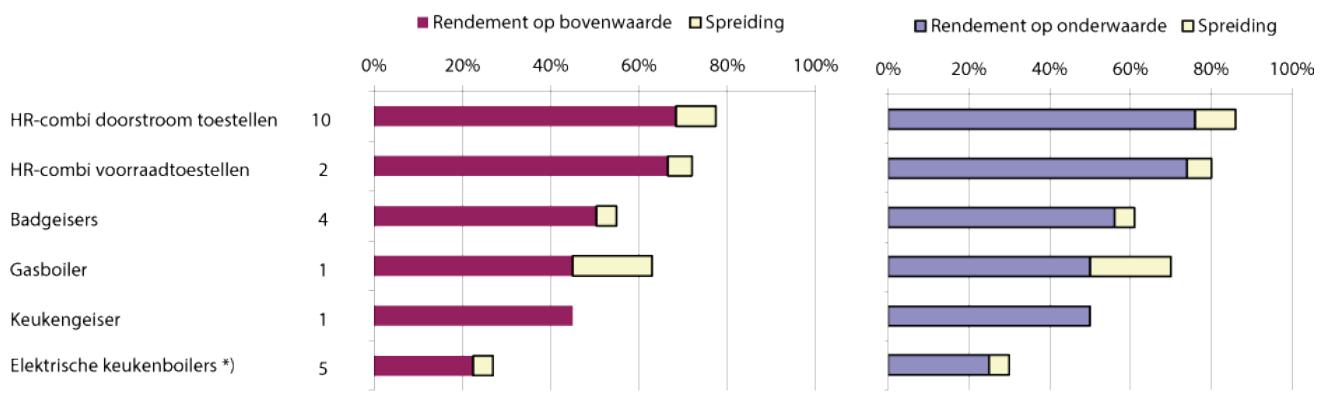
Niet alleen varieert het gebruiksrendement per soort toestel, ook per merk zijn de verschillen soms aanzienlijk. Dit blijkt uit metingen van de Consumentenbond (afbeelding 9.10).



Afb. 9.8 Het gasverbruik per jaar (op de verticale as) van verschillende toestellen afhankelijk van de vraag aan het toestel en het geboden comfort. Een hogere CW-klasse roept een grotere vraag op. Door het toepassen van warmwaterbesparing, douche-WTW en zonneboilers, is er een dalende trend



Afb. 9.9 Het gebruiksrendement is afhankelijk van de vraag. Het gebruik van een huishouden ligt tussen 60 en 180 liter per dag; per persoon gebruikt men globaal 40 liter heetwater per dag



Afb. 9.10 Meetresultaten gebruiksrendementen warmwatertoestellen. Te zien is dat HR-combiketels niet per definitie hoge gebruiksrendementen halen. Let bij de keuze van een toestel vooral ook op de wachttijd van het toestel: deze moet zo beperkt mogelijk zijn. Moderne combi-toestellen hebben vaak een hoger rendement (tot circa 85% op bovenwaarde) dan hier aangegeven; afbeelding betreft testresultaten 2008/2009 (Bron: Consumentenbond)

Tapdempel

Om een doorstroomtoestel in bedrijf te laten komen moet er een minimum hoeveelheid warm water getapt worden. Deze minimum hoeveelheid water wordt de tapdempel van het toestel genoemd. De tapdempel van de meeste doorstroomtoestellen ligt tussen 1 en 3 liter per minuut. Onder de tapdempel ontsteekt de brander niet of treden er problemen op met de regeling van de watertemperatuur. Om problemen met waterbesparende voorzieningen te voorkomen, moet men een toestel kiezen met een tapdempel van maximaal 1,5 liter per minuut. Gezien dit aspect kiest men liever een toestel zonder tapdempel (toestel met minimaal 10 liter voorraad).

9.3.1 Doorstroomtoestellen

Principe: Het water wordt verwarmd als het door het toestel stroomt, er vindt nauwelijks of geen opslag plaats.

Voordelen:

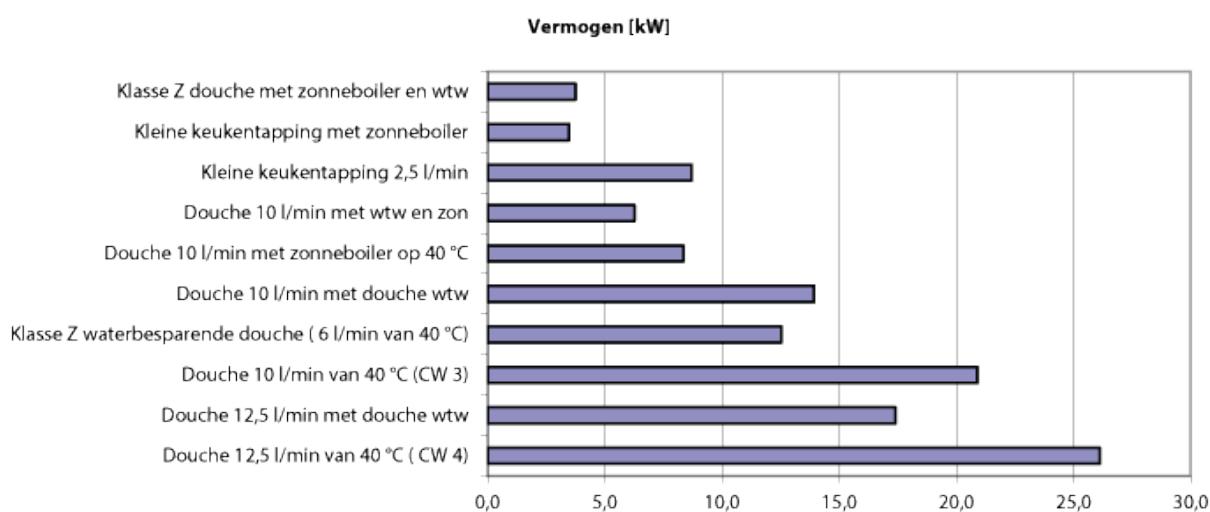
- Weinig ruimtebeslag;
- Meestal een lager energie- en waterverbruik dan bij voorraadtoestellen. Dit komt doordat het tapdebit van de toestellen kleiner is dan bij voorraadtoestellen zodat minder warm water (tegelijkertijd) wordt gebruikt;
- Goedkoper in aanschaf dan voorraadtoestellen.

Nadelen:

- Minder comfort dan bij een voorraadtoestel (tapsnelheid en toestelwachttijd). De toestelwachttijd is bij diverse moderne doorstroomtoestellen echter beperkt (Bron: [207]), in de comfortstand (met als nadeel een hoger energieverbruik) vaak nog maar enkele seconden. Maar er zijn uitzonderingen! Informeer daarom altijd naar de wachttijd. Helaas is de informatie hierover vaak moeilijk te achterhalen en is men aangewezen op bijvoorbeeld het oordeel van consumenten (zie o.a. 'reviews' bij CV-testen Consumentenbond);
- Gelijktijdig gebruik van verschillende tappunten is niet mogelijk;
- Tapdrempel: deze dient zodanig te zijn dat het toestel ook bij een geringe warmtapwatervraag in bedrijf komt. Dit is van belang bij de toepassing van een waterbesparende voorzieningen als b.v. een spaardouche;
- Kan geen erg klein vermogen leveren. Dat kan opspelen bij toepassing van een zonneboiler of een douche-WTW (afbeelding 9.11).

Men kan in de praktijk kiezen uit:

- Combiketels;
- Gasgestookte bad- of douchegeisers;
- Elektrische doorstroomtoestellen. Deze worden steeds vaker toegepast, vooral op plekken waar incidenteel kleine(re) hoeveelheden warm tapwater gevraagd worden: zoals in pantrys en werkkasten in kantoren, maar we zien elektrische doorstroomtoestellen ook steeds vaker in (all-electric) woningbouw. Het voordeel van elektrische doorstroomtoestellen is dat er, ten opzichte van de meer traditionele elektroboilers, geen voorraadvatverliezen optreden. Een nadeel van elektrische doorstroomtoestellen kan zijn dat er in sommige situaties een zwaardere elektriciteitsaansluiting benodigd is. Dit aspect speelt met name in de bestaande woningbouw.



Afb. 9.11 Benodigd vermogen van een doorstroomtoestel onder verschillende condities. Een goed toestel kan niet alleen het maximale, maar ook het minimale vermogen leveren. Voor dit minimum is 3 kW een veilige waarde

9.3.2 Voorraadtoestellen

Principe: Het water wordt in het toestel opgeslagen en op constante temperatuur gehouden.

Voordelen:

- Comfort door het ruime tapdebiet, waardoor o.a. meerdere tappingen tegelijkertijd mogelijk zijn;
- Geen toestelwachttijd (wel leidingwachttijd).

Nadelen:

- Het energie- en waterverbruik zal vaak groter zijn dan bij een doorstroomtoestel als gevolg van het ruime tapdebiet van het voorraadtoestel (afbeelding 9.8);
- De voorraad warm water kan soms opraken, waarna het enige tijd duurt voordat dit weer is aangevuld;
- Groter ruimtebeslag dan bij een doorstroomtoestel.

Men kan in de praktijk kiezen uit:

- Combitoestel: een CV-ketel levert de warmte voor zowel ruimteverwarming als tapwater. De ketel houdt permanent een voorraadvat op temperatuur. Meestal is de watervoorraad in de CV-(combi)ketel ingebouwd, soms staat deze als apart voorraadvat opgesteld naast de ketel. Men spreekt dan van een 'oplaadboiler' of 'indirect gestookte boiler';
- Direct gestookte gasboilers, deze hebben over het algemeen een matig rendement en een hoog stilstandverlies;
- Biomassa/pelletketel met voorraadvat: een biomassaketel zorgt voor de ruimteverwarming en houdt permanent een voorraadvat op temperatuur. In veel gevallen is dit een apart voorraadvat opgesteld naast de ketel.
- Zonneboilercombi of CV-zonneboilers (plus CV-ketel), zie paragraaf 9.3.5;
- Combiwarmtepomp, zie paragraaf 9.3.7;
- Warmtepompboilers, zie paragraaf 9.3.6;
- Elektrische boiler, zie hieronder.

Opmerkingen:

Tot voor kort werd het gebruik van elektrische boilers afgeraden in verband met het hoge energieverbruik (in primaire energie). vergeleken met een traditionele HR-combiketel scoort een elektrische boiler inderdaad ongunstig op de energieprestatie. Maar in woningen waar voor de verwarming geen gebruik meer gemaakt wordt van een HR-ketel moet een oplossing gevonden worden voor maken van het warmtapwater. In die situaties is het gebruik van een elektrische boiler op zich geen vreemde keuze alhoewel een elektrisch doorstroomtoestel of een warmtepomp(boiler) voor de bereiding van tapwater energetisch wel gunstiger scoren.

Een bijzondere vorm van een elektrische keukenboiler is de 'kokendwaterkraan'. Met de speciale kraan kan direct kokend water worden getapt om snel bijvoorbeeld thee of soep te maken. Overigens is de kraan zo geconstrueerd dat er geen gevaar voor verbranding is. De kraan is voorzien van een kleine elektrische boiler (onder het aanrecht) waarin continu kokend water aanwezig is. Er zijn verschillende merken verkrijgbaar, de bijbehorende boilers hebben een inhoud van 3 tot 10 liter.

Er zijn grote verschillen in stand-by-verliezen: van circa 90 kWh/jr bij een boiler met vacuümisolatie tot circa 280 kWh/jr met normale isolatie (bron: Milieu Centraal). Uitgaande van het tappen van 500 liter/jr (alleen thee, soep ed.) komt het totale energieverbruik globaal op 160 kWh/jr bij het systeem met vacuümisolatie en 350 kWh/jr met de normale isolatie. Dezelfde hoeveelheid met een elektrische waterkoker zou zo'n 110 kWh/jr kosten; men moet dan dus wel steeds de exact benodigde hoeveelheid water opwarmen [221]. Voor de berekeningen volgens de NTA 8800 [30] dient het warmteverlies van het voorraadvat van de kokendwaterkraan te worden meegenomen.

Bij sommige typen 'kokendwaterkranen' kan ook niet-kokend warmwater worden getapt.

9.3.3 Combigasketels

Een combiketel levert zowel de warmte voor ruimteverwarming als voor warm tapwater. Combiketels zijn de meest gebruikte toestellen in de bestaande bouw. Combiketels zijn toegepast als doorstroom- of voorraadtoestel.

Voordelen:

- Goedkoop, er is maar één warmtebron met bijbehorend aan- en afvoerkanaal en een gasaansluiting nodig;
- Minder onderhoudskosten, er is maar één toestel;
- Een hoogrendement is haalbaar;
- Weinig ruimtebeslag.

Nadeel:

- De vaak grote afstand van de combiketel tot het tappunt in de keuken, waardoor lange wachttijden en onnodig water- en energieverbruik voorkomen. Plaatsing van de combiketel dichtbij het keukentappunt en de badkamer is gewenst en in de praktijk doorgaans ook goed te realiseren.

Opmerkingen:

Houd rekening met de mogelijke combinatie van combiketel en een zonneboilersysteem.

Combiketel als doorstroomtoestel

Het tapwater wordt in de combiketel via een warmtewisselaar (platenwisselaar, tapspiraal, o.d.) verwarmd door het CV-water. Op de momenten dat men warm water tapt, wordt er bij de meeste ketels geen warmte aan het verwarmingssysteem geleverd. Doorstroom(combi)toestellen kunnen voorzien zijn van:

- Een waterbuffer ('tappot' of 'tapvat') in het CV-deel van enkele literen. Deze buffer heeft als voordeel dat de ketel minder vaak behoeft aan te slaan als er warm tapwater wordt gevraagd (gunstig voor de levensduur). Bovendien kan er direct warm water geleverd worden. Wel ontstaat, vooral bij de kleinere buffers, al snel een kleine temperatuurdaling totdat de ketel voldoende 'nieuw' water heeft opgewarmd. Let er bij de keuze van het toestel op dat deze buffervoorraad goed geïsoleerd is. Overigens is de toestelwachttijd bij diverse moderne combiketels, ook zonder zo'n waterbuffer, nog maar enkele seconden (Bron: [207]).
- Een comfortregeling. Deze zorgt er voor dat naar keuze van de gebruiker het tapgedeelte van de combiketel op temperatuur blijft ('comfortstand'). Dit heft de toestelwachttijd vrijwel op, maar zorgt wel voor een hoog stand-by verlies en dus voor een lager gebruiksrendement. Dit nadeel is te beperken door de comfortregeling tijdelijk uit te zetten ('eco-stand') of door het toestel te voorzien van een tijdklok zodat de comfortstand slechts op bepaalde tijden ingeschakeld kan staan of een intelligente regeling die het gebruikspatroon van de bewoner herkent. In de energieprestatieberekening worden dergelijke besparingsopties niet gewaardeerd.

Combitoestel als voorraadtoestel

De combiketel is voorzien van een ingebouwd voorraadvat (boiler) van 15 tot 80 liter. Het drinkwater kan direct verwarmd worden, maar ook indirect via het CV-water. Om het toestel hanteerbaar te houden worden de grotere boilers vaak als los element geleverd met een gestandaardiseerd koppel mechanisme. Ook volledig aparte montage is mogelijk. We spreken dan van een 'indirect gestookte boiler' in plaats van 'combivoorraad toestel'. De kleine voorraadcombi's hebben enerzijds een hoog taprendement en een laag stand-byverlies en anderzijds een hoog comfort, geen tapdrempel, de mogelijkheid tegelijk te tappen op meerdere punten en zijn een perfecte verwarmers na een douche-WTW of een zonneboiler.

9.3.4 Collectieve installaties tapwaterverwarming

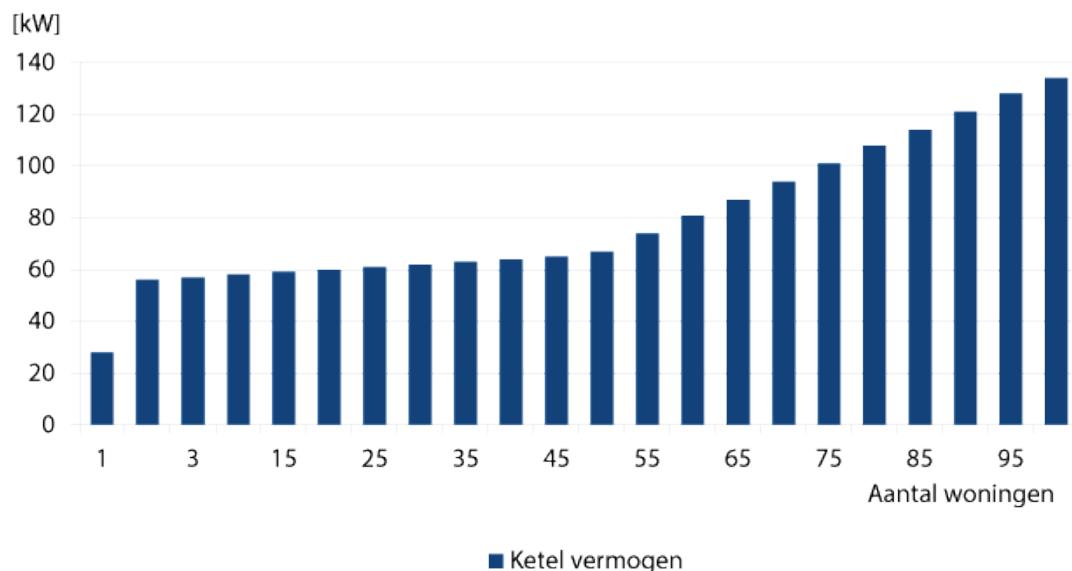
Bij collectieve systemen wordt het warmtapwater centraal door een of meerdere toestellen opgewekt en via collectieve leidingen naar een aantal woningen, of andere gebruikers, gedistribueerd.

Voordelen collectieve installatie:

- Het ontbreken van een warmwatertoestel in de woning. Dit scheelt ruimte en er hoeft geen monteur de woning in voor onderhoud;
- Geen geluid van een toestel in de woning;
- Een collectieve installatie is bedrijfszekerder wanneer er een back-up vermogen wordt geplaatst;
- Er is per woning maar een klein ketelvermogen nodig als gevolg van ongelijktijdig gebruik;
- Het efficiënter gebruik van duurzame bronnen.

Nadelen collectieve installatie:

- Leidingverliezen paragraaf 9.2.2;
- Meer kans op bacteriologische verontreiniging van het tapwatersysteem (t.o.v. een individueel systeem), paragraaf 9.1.2;
- Het warmtapwater moet apart gemeten en afgerekend worden.



Afb. 9.12 Ketelvermogen voor een collectief systeem bij een buffer van 10 liter/woning bij CW4 [196]. Gedurende 99% van de tijd volstaat een vermogen dat hier maar een derde van is. Zorg dat de geselecteerde toestellen dat (lage) vermogen probleemloos kunnen leveren

In woningen met een collectief verwarmingssysteem wordt meestal ook het tapwater collectief verwarmd. Er zijn verschillende systemen:

- Het tapwater wordt in de woning met CV-water opgewarmd, meestal via een 'stadsverwarmingsunit'. De aanvoertemperatuur van het distributiesysteem moet zomer en winter minimaal zo'n 70 °C zijn, om in de woning tapwater van 60 °C te maken;
- Een apart distributienet voor warmtapwater. Door ruimte- en tapwaterverwarming gescheiden te houden, kunnen beide optimaal gedimensioneerd worden. De energieverliezen zijn daardoor kleiner dan bij een gecombineerd systeem, zeker als voor een lage temperatuursysteem voor ruimteverwarming wordt gekozen. Het warmtapwater moet apart bemeterd worden. Dit is binnen een gebouw het meest gebruikte systeem;
- Per woning een kleine boiler (50 à 80 liter) die twee keer per dag vanuit het distributienet wordt opgewarmd. De rest van de tijd kan dat net dan op de lage temperatuur werken die voor de ruimteverwarming nodig is. Dit is een heel handig systeem voor blokverwarming;
- Per woning een warmtepompboiler met als bron de retour van het CV-systeem in de woning. In de zomer draait dit systeem stand alone en koelt de woning een klein beetje. In de winter wordt de warmte uit het collectieve net gehaald. Tapwater wordt voorverwarmd met het collectieve net. Dat net wordt zomer en winter weersafhankelijk geregeld en heeft dus een vrij laag verlies.

Zorg voor extra ventilatie in de meterkast als de warmtewisselaar daar staat. De temperatuur wordt anders te hoog.

De centrale installatie wordt opgebouwd uit:

- Een buffervat om de pieken in het verbruik op te vangen;
- Bij voorkeur ten minste twee toestellen die samen het maximale benodigde vermogen kunnen leveren. In principe kunnen deze toestellen gasketels, biomassaketels of warmtepompen zijn;
- Warmtewisselaar met pompen tussen de boiler en de ketels;
- De circulatiepomp van de ringleiding;
- Regeling beveiliging en monitoring (o.a. bewaking van rendement en legionella veiligheid).

Het heeft niet de voorkeur om de ketels voor tapwater te combineren met de ketels voor ruimteverwarming omdat de laatste een veel hoger vermogen moeten hebben en meestal op een lagere temperatuur kunnen functioneren, dus met een hoger rendement. Het minimum vermogen van een tapketel (onderste modulatiebereik) mag nooit groter zijn dan een kwart van het voor tapwater benodigde vermogen (afbeelding 9.12). Als het vermogen te groot wordt, gaat de ketel bij een kleine vraag pendelen; dit kan bijvoorbeeld gebeuren wanneer er alleen warmtevraag is voor het op temperatuur houden van het circulatienet. Het rendement daalt dramatisch.

9.3.5 Zonneboiler

Zonneboilers leveren een deel van de warmte die nodig is voor het verwarmen van tapwater. Bepaalde typen zonneboilers leveren daarnaast ook warmte voor ruimteverwarming. Men dimensioneert zonneboilers meestal zodanig dat jaarlijks globaal de helft van het verbruik van fossiele brandstof voor tapwaterverwarming wordt bespaard. In de praktijk bespaart een collector van 2,5 à 3 m² en een watervoorraad van ± 100 liter in een gemiddeld huishouden circa 125 m³ gas per jaar.

De warmte-opwekking vindt niet alleen plaats wanneer de zon schijnt, het directe zonlicht, maar ook onder invloed van daglicht. Zonneboilers zijn verkrijgbaar voor individuele en voor collectieve installaties.

Een zonneboilersysteem bestaat uit:

- Een zonnecollector, of een zonnecollectorveld, hierin wordt zonlicht omgezet in warmte;
- Een warmte-opslagvat waarin de zonnewarmte uit de collectoren tijdelijk wordt opgeslagen. Bij warmtapwatervraag, wordt warmte uit het opslagvat onttrokken;
- Warmtewisselaar. Deze vormt de scheiding tussen het water uit de collector en het tapwater;
- Naverwarmer. Deze verzorgt de naverwarming van het in de collectoren voorverwarmde water.

De collector

De opbrengst van een zonnecollector voor een gemiddeld huishouden is maximaal als deze op het zuiden is gericht, onder een hoek van circa 45°. Zie afbeelding 9.15 voor het effect van een afwijking in oriëntatie of hellingshoek op de opbrengst. Wanneer de collector ook warmte levert voor ruimteverwarming, is de optimale hoek (ruim) 50°. Hierbij vangt de collector in de winter, bij lage zonnestand, meer energie in.

We onderscheiden de vlakkeplaatcollectoren en (vacuüm) buiscollectoren. Deze laatste zijn in een groot aantal verschillende uitvoeringen te koop. De beste hebben bij hogere temperaturen een iets hoger rendement dan de vlakkeplaatcollectoren. Dat kan een voordeel zijn als zonne-energie ook voor ruimteverwarming wordt ingezet. Een ander voordeel is de grotere flexibiliteit van sommige uitvoeringen. Zo is het bij de zg. 'direct flow-buiscollectoren' mogelijk om de collectoren vrijwel horizontaal op een plat dak te leggen, terwijl de absorber toch naar het zuiden is gedraaid.

Reken per bewoner met een collector oppervlak van circa 1 m². Extra oppervlak kost relatief weinig, maar bespaart wel naar verhouding op energie.



Afb. 9.13 Een vlakkeplaatcollector rechts (bron: Redenko/ZEN) en vacuümbuiscollector links

Systeemopbouw

Er zijn verschillende typen zonneboilers te onderscheiden (afbeelding 9.14). Al in een vroeg ontwerpstadium is het van belang een keuze te maken uit de verschillende typen zonneboilers. Dit omdat de verschillende onderdelen, zoals collector en opslagvat, een per type specifieke situering ten opzichte van elkaar hebben. Ook is de benodigde ruimte voor bepaalde onderdelen verschillend.

We onderscheiden:

- Terugloopssysteem (met pomp);
- Continu gevuld en gepompt systeem;
- Thermosifon systeem;
- Compact systeem.

Afb. 9.14 Overzicht van de verschillende typen zonneboilers

	Werkingsprincipe:				
Type	Gepompt	Thermosifon	Compact	Naverwarmer	Comfort
Standaard	X	X		Combiketel	Als combiketel
Compact			X	Combiketel	Als combiketel
CV-zonneboiler	X			CV-ketel	Hoog
Zonneboilercombi	X			ingebouwd	Hoog

Terugloopssysteem met pomp afbeelding 9.16

Het collectorcircuit is voorzien van een pomp. Zodra de collector warmer is dan het tapwater in het voorraadvat, start de pomp. Deze pompt de collectorvloeistof op, uit een terugloopvat, naar de collector. Daar wordt deze vloeistof opgewarmd en vervolgens naar het voorraadvat getransporteerd. Hier wordt de warmte via een warmtewisselaar overgedragen aan het tapwater. Zodra de collector kouder is dan het voorraadvat, stopt de pomp en de collectorvloeistof loopt terug in het terugloopvat. Dit gebeurt ook wanneer de temperatuur in het voorraadvat te hoog (80 à 90 °C) wordt. Het terugloopssysteem is zo beveiligd tegen vorst en oververhitting. De vloeistof is (in ons land) vaak normaal leidingwater zonder toevoeging. De meeste Nederlandse zonneboilers behoren tot dit gepompte systeem.

Enige belangrijke aandachtspunten:

- De onderkant van de collector moet minimaal 0,2 meter boven de bovenkant van het terugloopvat (dit is meestal aangebracht in het voorraadvat) geïnstalleerd worden;

- Leidingen moeten vanaf de collector onder een afschot van 15 mm per meter naar het terugloopvat lopen. Zorg voor goede beugeling zodat dit afschot niet door 'verzakking' verdwijnt. De beugels moeten bestand zijn tegen 160 °C, dus van metaal zijn;
- De standaard pompen in de huidige systemen hebben een opvoerhoogte van maximaal zo'n 4 meter. Om het pompvermogen klein te houden en daarmee het energieverbruik te beperken wordt het terugloopvat zo dicht mogelijk bij de collector geplaatst;
- Let op het verbruik van de pomp en de regeling. Dit is niet te verwaarlozen. Overweeg een systeem dat zichzelf voedt via een PV-paneeltje.

Continu gevuld en gepompt systeem

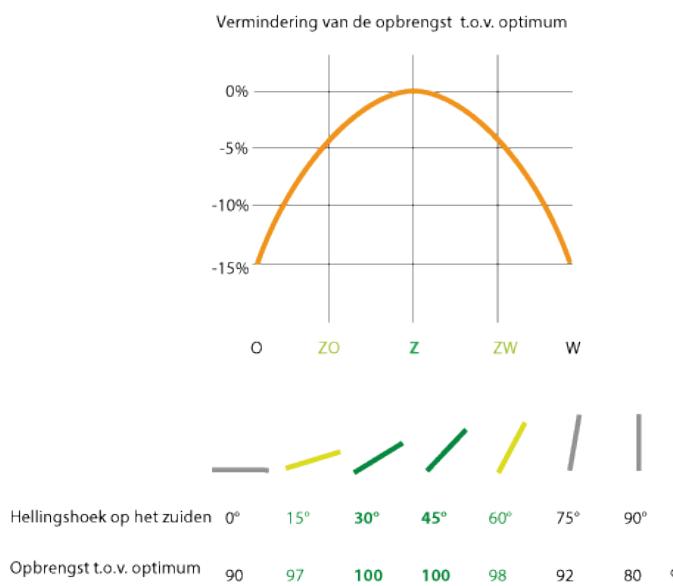
Het collectorcircuit is gevuld met antivries en hoeft dus niet leeg te lopen bij vorst. Als de temperatuur te hoog wordt, stopt de pomp. De vloeistof in de collector gaat koken en de dampbel duwt de vloeistof uit de collector naar een expansievat. Zo is het systeem beschermd tegen te hoge temperaturen. Voordeel van dit systeem is dat er geen eisen zijn aan de plaatsing van collector en boiler. Nadeel is de toepassing van antivries. Dit moet voorzien zijn van een KIWA/ATA-attest. Bij onderhoud moet het zorgvuldig opgevangen worden en op den duur kan het degraderen door te hoge temperaturen. Dat moet regelmatig gecontroleerd worden.

Thermosifon systeem

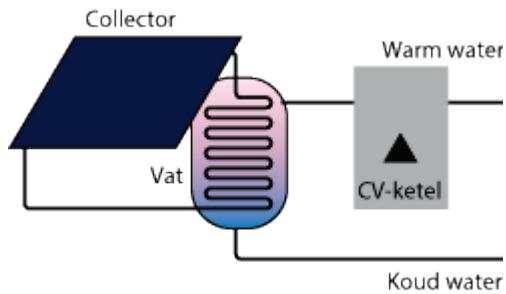
Bij de thermosifon zonneboiler ligt het voorraadvat boven de collector. Wanneer de collectortvloeistof in de collector opgewarmd wordt, stijgt deze door natuurlijke werking naar het vat. De natuurlijke circulatie spaart ongeveer 50 tot 100 kWh per jaar voor de pomp uit, met een moderne A-label pomp 20 à 40 kWh per jaar. Om het circulatiesysteem tegen vorst te beschermen moet er een middel worden toegevoegd. Dit moet voorzien zijn van een KIWA/ATA-attest. Ook is er een voorziening tegen het te warm worden van het voorraadvat: Een thermostatische klep gaat open en loost heet water. Koud leidingwater zorgt voor de koeling. Het voorraadvat kan bijvoorbeeld in de nok van een zolder aangebracht worden, mits de afstand tot de collector niet meer is dan circa 3 meter. Een bijzondere vorm van dit type is de 'heatpipe' collector, waarbij het warmtewertpunkt plaats vindt door een proces van verdampen in de collector en condenseren in de warmtewisselaar in de boiler. Vaak worden de collector en het vat ook gecombineerd tot één compact systeem.

Compact systeem (afbeelding 9.17)

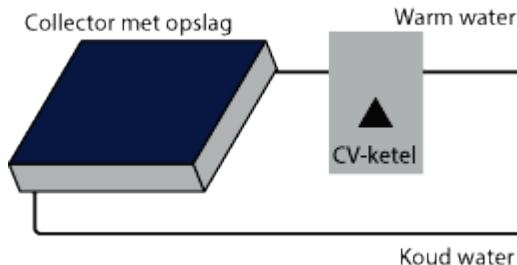
Bij dit systeem zijn het voorraadvat en de collector in één behuizing ondergebracht. Er is geen collectorcircuit, het tapwater wordt direct opgewarmd. Aan de onderzijde moet de collector grenzen aan een ruimte waar de temperatuur minimaal 10 °C bedraagt. Ook dit collectorsysteem is voorzien van een beveiliging tegen te hoge temperaturen in het voorraadvat.



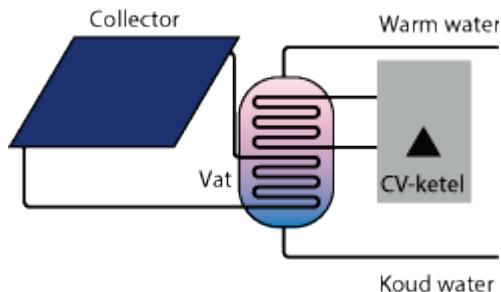
Afb. 9.15 Opbrengst zonnecollector (alleen voor tapwaterverwarming) in relatie tot oriëntatie en hellingshoek



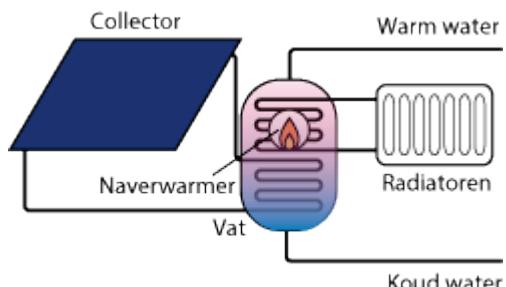
Afb. 9.16 De standaard zonneboiler. Er zijn zowel staande als liggende voorraadvaten verkrijgbaar



Afb. 9.17 De compacte zonneboiler: Zonnecollector en voorraadvat zijn in één element geïntegreerd



Afb. 9.18 De CV-zonneboiler. Het systeem is vergelijkbaar met een indirect gestookte boiler



Afb. 9.19 De zonneboilercombi. Dit type zonneboiler is een complete CV-ketel voor ruimte- en tapwaterverwarming

Opslag en naverwarming

Er zijn drie mogelijkheden voor opslag en naverwarming van tapwater, die elk gevolgen hebben voor het comfort:

- Opslag en naverwarming zijn gescheiden. Meestal zorgt een combitoestel voor de naverwarming. Dit komt voor bij de 'standaard zonneboiler' (afbeelding 9.16) en de 'compacte zonneboiler' (afbeelding 9.17). Het tapcomfort is ten minste hetzelfde als dat van het combitoestel, mits dit voorzien is van het label 'NZ' en een onderste modulatiegrens heeft onder de 3 kW (afbeelding 9.11);
- Opslag en naverwarming zijn gecombineerd in één vat. Wel is er een apart naverwarmingstoestel dat zo nodig het water bovenin het opslagvat verder verwarmt. Men spreekt van een 'CV-zonneboiler' (afbeelding 9.18). Het tapcomfort bij dit systeem is hoog;
- Opslag en naverwarming zijn met de ruimteverwarming gecombineerd in één toestel. Dit type zonneboiler wordt een 'zonneboilercombi' (afbeelding 9.19) genoemd. Het tapcomfort is hoog.

De zonneboilercombi is zeer geschikt in combinatie met een ruimteverwarmingssysteem waarbij lage temperaturen worden gebruikt (paragraaf 7.3.8). Dit type zonneboiler (uitgaande van een collectoroppervlakte van circa 6 m²) bespaart globaal 75 à 100 m³ extra ten opzichte van zonneboilers (met een oppervlakte van bijna 3 m²) die alleen warmte leveren voor tapwaterverwarming.

Zonneboilers in gestapelde bouw

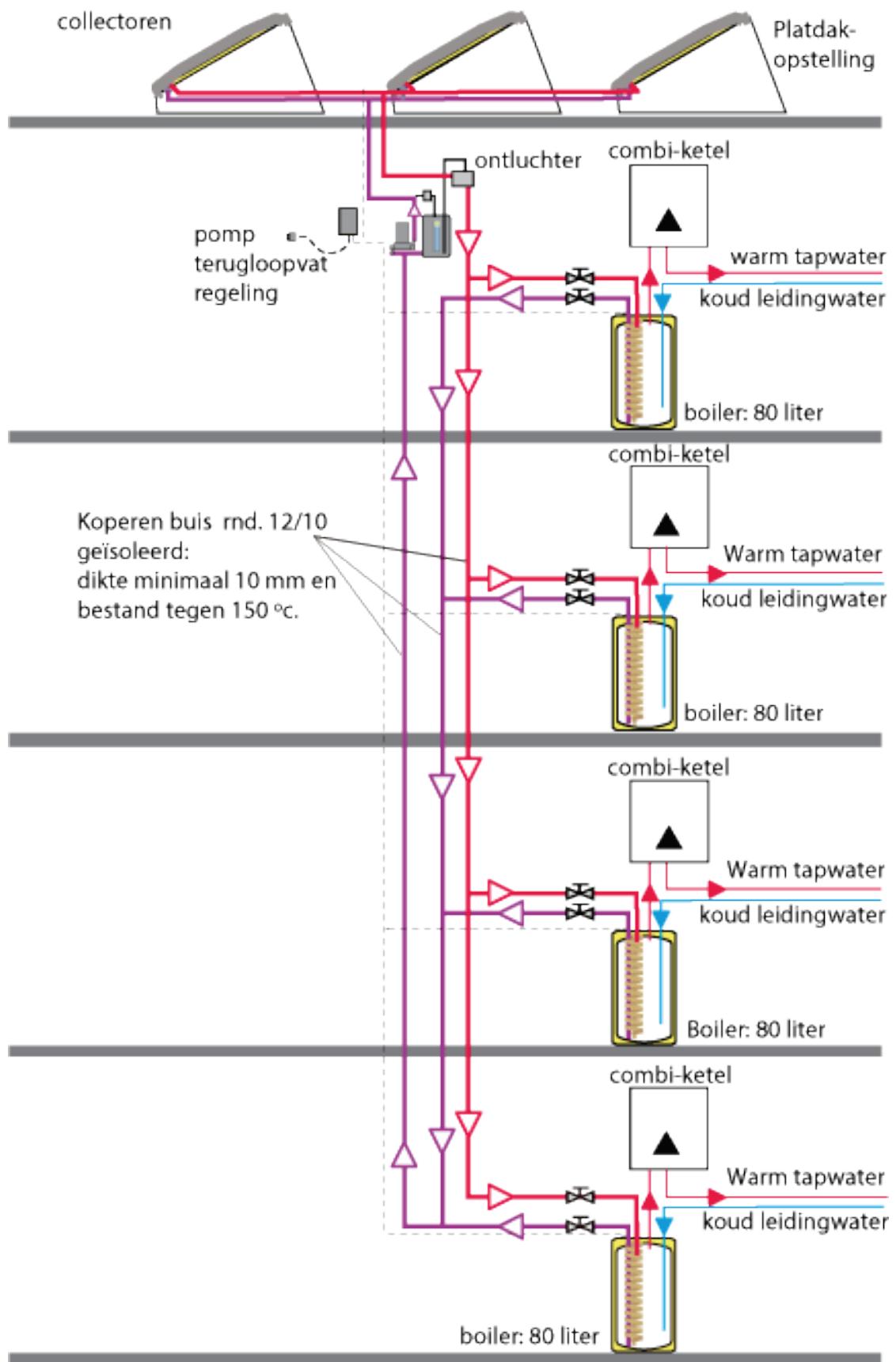
Een zonneboilersysteem in meergezinswoningen vraagt om maatwerk. Er zijn speciale systemen verkrijgbaar waarbij de installatie, eventueel voor een deel, collectief is. Dit heeft als voordeel dat het collectoroppervlak en, indien collectief, de warmwatervoorraad per woning kleiner kunnen zijn. Er zijn drie varianten:

- Geheel individueel: geschikt voor maximaal de (bovenste) vier woonlagen; de collectoren kunnen dan op het dak zijn aangebracht. De naverwarming is individueel;
- Collectief gebruik van collectoren met een individueel voorraadvat per wooneenheid. De naverwarming is individueel (afbeelding 9.21);
- Collectief gebruik van collectoren, voorraadvat(en) en naverwarming.

Het voordeel van meer collectiviteit is dat pieken beter opgevangen worden. De opbrengst is hierdoor hoger dan de som van individuele installaties met een gelijk collectoroppervlak.



Afb. 9.20 Verschillende voorbeelden van individuele zonneboilers, in Delft (boven) en Boxtel (de Zonnegolven, Betrokken partijen: architect: Tjerk Reijenga, HBG))



Afb. 9.21 Collectief zonneboilersysteem met individuele naverwarming en opslag (Bron: Aton)



Afb. 9.22 Een collectief zonneboilersysteem op appartementencomplex Charivarius te Haarlem. Een project van Eco Energy en Pré Wonen Haarlem; (Betrokken partijen: aannemer: Panagro; architect: HMADP groep; adviseur: BOOM-S/I; Realisatie 2005; Eneco)

Diversen

- Bij een individuele zonneboilerinstallatie moet direct na de naverwarmer een thermostatisch mengventiel gemonteerd zijn. Hierdoor wordt het water bij te hoge temperaturen standaard gemengd tot een (ingestelde) maximum temperatuur van 60 of 65 °C. Dit voorkomt verbranding. Uit de praktijk blijkt dat dit bij collectieve installaties niet nodig is;
- De leidingen van een zonneboilersysteem moeten zeer zorgvuldig geïsoleerd worden. De isolatie moet bestand zijn tegen temperaturen van 160 °C. Ook dakdoorvoeren moeten goed geïsoleerd worden. Op het dak moet de isolatie bestand zijn tegen vocht en aanvreten door vogels of muizen;
- Omdat het niet functioneren van een zonneboiler niet opgemerkt wordt (immers: de naverwarmer komt in werking), is het aan te bevelen te zorgen voor een terugkoppeling voor de bewoner (bv in de kamerthermostaat in de woonkamer) zodat temperatuur, werking en eventuele storing te zien zijn;
- Controleer in het installatievoorschrift van een combiketel of er speciale instellingen of dergelijke nodig zijn om hem geschikt te maken als naverwarmer;
- Besteet veel aandacht aan de bouwkundige inpassing van de zonneboilerinstallatie. Denk hierbij aan o.a. de bouwkundige aansluitdetails van de collector op het dak, het leidingverloop (zo kort mogelijk, goede bevestigingsmogelijkheden) en voldoende ruimte voor plaatsing en onderhoud van het voorraadvat c.q. zonneboiler;
- Er is een kwaliteitskeurmerk voor zonneboilers, genaamd [Zonnekeur](#).

Warmte die opgewekt is met een zonneboiler wordt in de NTA 8800 gezien als hernieuwbare energie. Daarom dragen in de NTA 8800 zonneboilers niet alleen bij aan een gunstige score op de tweede BENG-indicator (primaire energie per m²), maar ook aan het aandeel hernieuwbare energie.

9.3.6 Warmtepompboiler

Een warmtepompboiler [223] gebruikt de warmte uit de afgevoerde ventilatielucht uit een woning als warmtebron om tapwater te verwarmen. De warmte uit de ventilatielucht van 20 °C wordt afgekoeld naar circa 5 °C en tegelijkertijd wordt het tapwater opgewarmd van 10 °C naar 60 °C (paragraaf 7.3.3 voor een uitleg van de warmtepomp). Omdat hoge temperaturen gemaakt worden is het rendement van een warmtepompboiler niet zo hoog als dat van een warmtepomp voor ruimteverwarming. Het rendement is ook sterk afhankelijk van het fabricaat. De forfaitaire COP's van warmtepompboilers (warmtepompen op ventilatieretourlucht) liggen tussen 1,4 en 2,2.

De compressor van de warmtepompboiler heeft een relatief klein elektrisch vermogen (circa 0,5-1 kW) waarmee het bij voorkeur continu warmte uit de ventilatielucht omzet in warmtapwater. Omdat het na

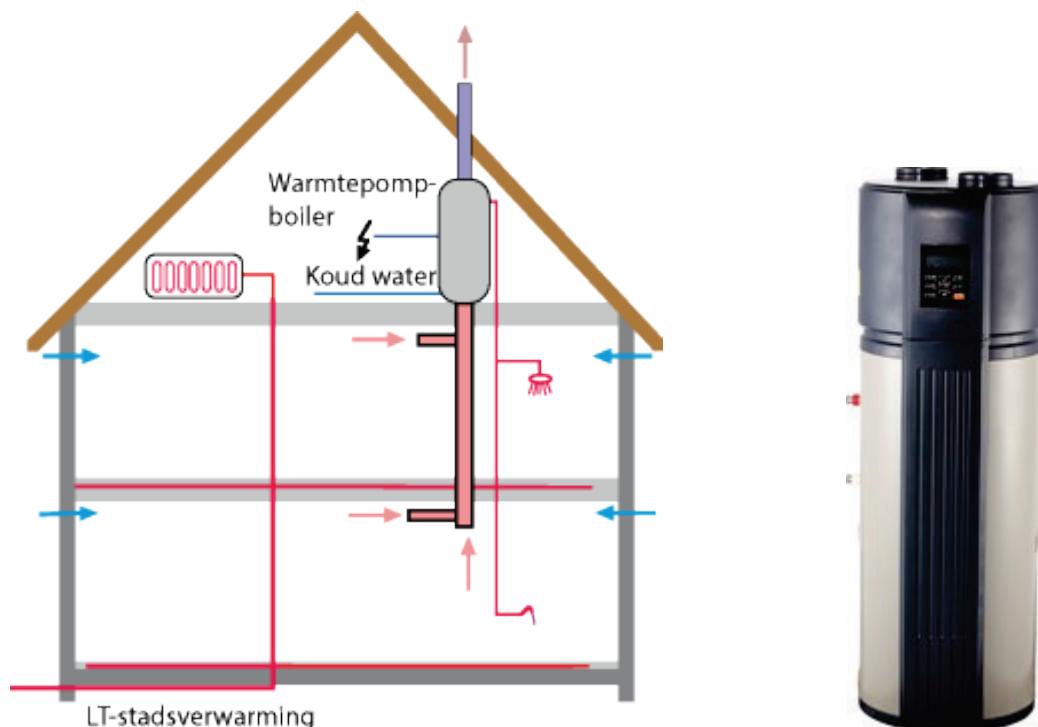
een grote tapping langer duurt voordat het afgenoemde tapwater weer is bijgevuld is de warmtepomp voorzien van een grote boiler van minimaal 150 liter.

Maak de inhoud niet te groot, want dat vergroot het stand-by verlies en daarmee het energieverbruik. Als er niet genoeg warmte beschikbaar is in de ventilatielucht zal de ventilatie naar een hogere stand geschakeld moeten worden of wordt de warmteproductie overgenomen door een elektrisch (weerstands)element. Dat is allebei energieverpillend en dus ongewenst. Zorg in het ontwerp ervoor dat de minimale ventilatiehoeveelheid van de warmtepompboiler overeenkomt met de minimum ventilatie van de woning. Dat is vooral kritisch als CO₂-gestuurde ventilatie wordt gebruikt.

Let op!

Houd in het ontwerp rekening met de geluidproductie van een warmtepompboiler.

Gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning (uit de ventilatielucht) is niet te combineren met een warmtepompboiler omdat de warmte uit de ventilatielucht slechts toereikend is voor één van beide toepassingen.



Afb. 9.23 Een schema van een warmtepompboiler (links). Foto WP-boiler (Bron: Oosterbeek) (rechts)

Het basisprincipe in de NTA 8800 is dat warmte die bronzigdig door een warmtepomp wordt gebruikt (de warmte die de warmtepomp in gaat), hernieuwbare warmte is. De enige uitzondering daarop vormt de warmtepomp op ventilatieretourlucht. Bij een warmtepomp op ventilatieretourlucht is namelijk niet met zekerheid te zeggen of die warmte een hernieuwbare oorsprong heeft. Het is goed mogelijk dat die warmte opgewekt is met bijvoorbeeld een gasketel. Een ventilatieretourlucht warmtepomp levert om die reden geen positieve bijdrage aan de derde BENG indicator.

Warmtepompboiler in de gestapelde bouw

In de gestapelde bouw, zowel nieuwbouw als renovatie, kan de warmtepompboiler zinvol ingezet worden als vervanger van elektrische boilers of afvoerloze keukengeisers. In nieuwbouwprojecten waar geen gebalanceerde ventilatie wordt toegepast kan de warmte uit de afgezogen ventilatielucht ook collectief benut worden voor warmtapwater of ruimteverwarming. Hoewel de woningen bij voorkeur individueel worden voorzien van een mechanische ventilatie box zal deze afzuiging in de hoogbouw ondersteund moeten worden door een centrale afvoerventilator. Hierbij is het eenvoudig deze te koppelen aan een warmtepomp.

9.3.7 Combiwarmtepomp

Een warmtepomp voor ruimteverwarming kan ook het warme tapwater leveren. Omdat het vermogen van een warmtepomp niet groot genoeg is, zijn doorstroomtoestellen niet mogelijk. Om een gelijkmatige belasting te krijgen en de ruimteverwarming niet in de weg te zitten, worden vrij grote voorraadvaten toegepast (> 150 liter). De rendementen voor tapwaterverwarming die in gelijkwaardigheidsverklaringen zijn opgenomen gelden meestal voor toepassingsklasse 4 (volgens NTA 8800 Bijlage T [30]), dus voor een hoog verbruik. Omdat het stand-by verlies van de boiler groot is en dat temperatuurniveau voor de warmtepomp extra lastig is, ligt het rendement bij een laag verbruik ongunstiger. Dit wordt onderschreven door de resultaten uit praktijkonderzoek [222]. Bij de combiwarmtepompen is het verschil tussen het rendement voor ruimteverwarming (160 tot 240% op bovenwaarde) en tapwaterverwarming (75 tot 120% op bovenwaarde) erg groot. Omdat in de meeste nieuwe woningen de vraag voor ruimteverwarming en warmtapwater ongeveer gelijk zijn, moet het rendement voor tapwaterverwarming de doorslag geven. Controleer of er geen elektrische weerstandsverwarming is ingebouwd. Dat is niet nodig bij een juiste dimensionering en het rendement daalt daardoor zeer sterk tot 50% of minder. De meeste combiwarmtepompen kunnen ook zonder elektrisch element de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ halen die nodig is voor legionellapreventie.

Houd rekening met een groter ruimtebeslag door de boiler en met geluid en trillingen door de warmtepomp zelf.

De warmte die bronrijkig door een combiwarmtepomp gebruikt wordt (dus de energie uit grondwater, bodem, oppervlaktewater of buitenlucht) wordt in de NTA 8800 gezien als hernieuwbare energie. Daarom dragen in de NTA 8800 combiwarmtepompen (met uitzondering van warmtepompen die gebruik maken van ventilatieretourlucht als bron) niet alleen bij aan een gunstige score op de tweede BENG-indicator (primaire energie per m^2), maar ook aan het aandeel hernieuwbare energie.

9.3.8 Boosterwarmtepomp

De boosterwarmtepomp is een relatief nieuwe techniek. Een boosterwarmtepomp is een warmtepomp voor tapwater die zijn warmte onttrekt uit een bron met een relatief hoge temperatuur (tussen 25 en $35\text{ }^{\circ}\text{C}$). Dit kan bijvoorbeeld een lage temperatuur collectief warmtenet of een lage temperatuur stadsverwarmingsnet zijn.

In woongebouwen met een collectief verwarmingssysteem heeft de toepassing van individuele boosterwarmtepompen als voordeel dat het warmtapwater op woningniveau gemaakt wordt, en niet het hele gebouw door getransporteerd hoeft te worden via circulatieleidingen. De warmteverliezen die optreden bij het warmtetransport naar de woningen zijn dan veel lager (in verband met de lagere temperatuur van het LT-verwarmingssysteem t.o.v. een circulatie tapwatersysteem).

Bij toepassing van een boosterwarmtepomp moet ook rekening gehouden worden met de plaatsing van een boilervat in de woning. De boosterwarmtepomp zorgt er voor dat het boilervat op temperatuur gehouden wordt.

In de NTA 8800 wordt de bijdrage van boosterwarmtepompen aan het aandeel hernieuwbare energie berekend via de energiepost verwarming. Als de boosterwarmtepomp gebruik maakt van een verwarmingssysteem met een hernieuwbare energiebron (bijvoorbeeld een WKO-systeem), dan wordt dit gewaardeerd in de derde BENG-indicator. Als de boosterwarmtepomp gebruik maakt van een fossiele energiebron, dan is de hernieuwbare energie uiteraard gelijk aan nul.

10 Elektriciteit

Het beleid van de rijksoverheid is er op gericht dat in 2020 14% van het totale energieverbruik duurzaam is en in 2023 16% [226]. In 2019 was 8,6% duurzaam (bron: Netbeheer Nederland). Van het elektriciteitsverbruik was in 2019 naar schatting ruim 19% duurzaam (bron: www.energieopwek.nl). Doel is om in 2050 de energievoorziening bijna geheel duurzaam te laten zijn.

Daarnaast blijft besparing op het elektriciteitsverbruik alle aandacht vragen; denk hierbij aan:

- De toepassing van zuinige installaties voor verwarming en ventilatie (paragraaf 10.1.1);
- De toetreding van daglicht optimaliseren waardoor minder kunstverlichting nodig is (paragraaf 10.1.1);
- Het stimuleren dat bewoners minder en zuinige huishoudelijke apparatuur gaan gebruiken; mogelijke maatregelen zijn o.a. het realiseren van een wasdroogruimte en hot-fill aansluitpunten (paragraaf 10.1.2).

In dit hoofdstuk komt zowel besparing op het elektriciteitsverbruik als duurzame energie aan de orde. Wat dit laatste betreft: vooral PV krijgt aandacht. Windenergie valt buiten het kader van deze uitgave omdat de mogelijkheden voor die bron vooral buiten de gebouwde omgeving liggen. In paragraaf 10.2.2 wordt kort ingegaan op windenergie.

Deelchecklist

Energiebewust ontwerpen: Elektriciteitsbesparing en duurzame elektriciteit

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Neem in het Programma van Eisen maatregelen op over elektriciteitsbesparing en gebruik van duurzame elektriciteit. Houd hierbij rekening (indien van toepassing) met een Energievisie voor de betreffende locatie of met een energieconvenant (paragraaf 3.1);
- Ga na welke mogelijkheden er zijn voor toepassing van duurzame elektriciteit (zon, wind, biomassa), zowel voor individuele als collectieve installaties;
- Informeer naar de mogelijkheden en randvoorwaarden voor het terugleveren van de elektriciteit afkomstig van de PV aan het openbare net.

Structuurontwerp/Voorontwerp

- Maak optimaal gebruik van daglicht ('hoge' ramen, dakramen enz., zie paragraaf 4.3), mede ter beperking van het gebruik van kunstlicht;
- Reserveer ruimte voor het natuurlijk drogen van de was, het drogen vindt dus plaats zonder gebruik te maken van een wasdroger;
- Houd rekening met een (toekomstig) gebruik van PV-panelen in het ontwerp (dakvorm, dakoriëntatie en dakhelling). Voorkom beschaduwing door uitbouwen dakdoorvoeren en bomen; leg dat zonodig vast in een bestemmingsplan of ander juridisch stuk.

Definitief Ontwerp / Technisch ontwerp

- Maak aansluitpunten voor hot-fill huishoudelijke apparatuur (vaatwasser en wasmachine) (paragraaf 10.1);
- Neem eisen op over het maximale opgenomen elektrische vermogen (eenheid: Watt) voor hulpenergie van installaties voor verwarming, koeling, warm tapwater en ventilatie, inclusief de regelingen voor deze installaties; het gaat daarbij om ventilatoren, pompen en regelingen (zie hoofdstuk 6, 7, 8 en 9);
- Detaileer daken (en eventueel gevels) zodanig dat PV geïnstalleerd kan worden, direct of op termijn (paragraaf 10.2). Maak ook dakdoorvoeren voor de benodigde leidingen. Maak ook een aparte groep in de meterkast voor de aansluiting van PV. Reserveer (loze) leidingen voor de bekabeling van de PV-panelen naar de omvormer(s) en de meterkast;

- Installeer bij gebruik van PV de juiste elektriciteitsmeter(s).

Uitvoering / Gebruik / Exploitatie

- Informeer bewoners en beheerders over het toepassen van energiezuinige elektrische apparatuur en de aanwezigheid van eventuele voorzieningen hiervoor (o.a. hot-fill); overweeg om bij de woningen voorzieningen zoals een hot-fill voorschakelkastje standaard mee te leveren;
- Informeer bewoners en beheerders over het controleren van het functioneren van PV-installaties. Deze controle moet regelmatig plaatsvinden, bijv. minimaal 4x per jaar (paragraaf 10.2).

Techniek Nederland en ISSO hebben een digitale gebruikshandleiding ontwikkeld waarmee o.a. installateurs, architecten en opdrachtgevers een handleiding kunnen samenstellen die specifiek op een bepaalde woning betrekking heeft. Zie www.mijnhuisinstallatie.nl.

10.1 Beperken elektriciteitsverbruik

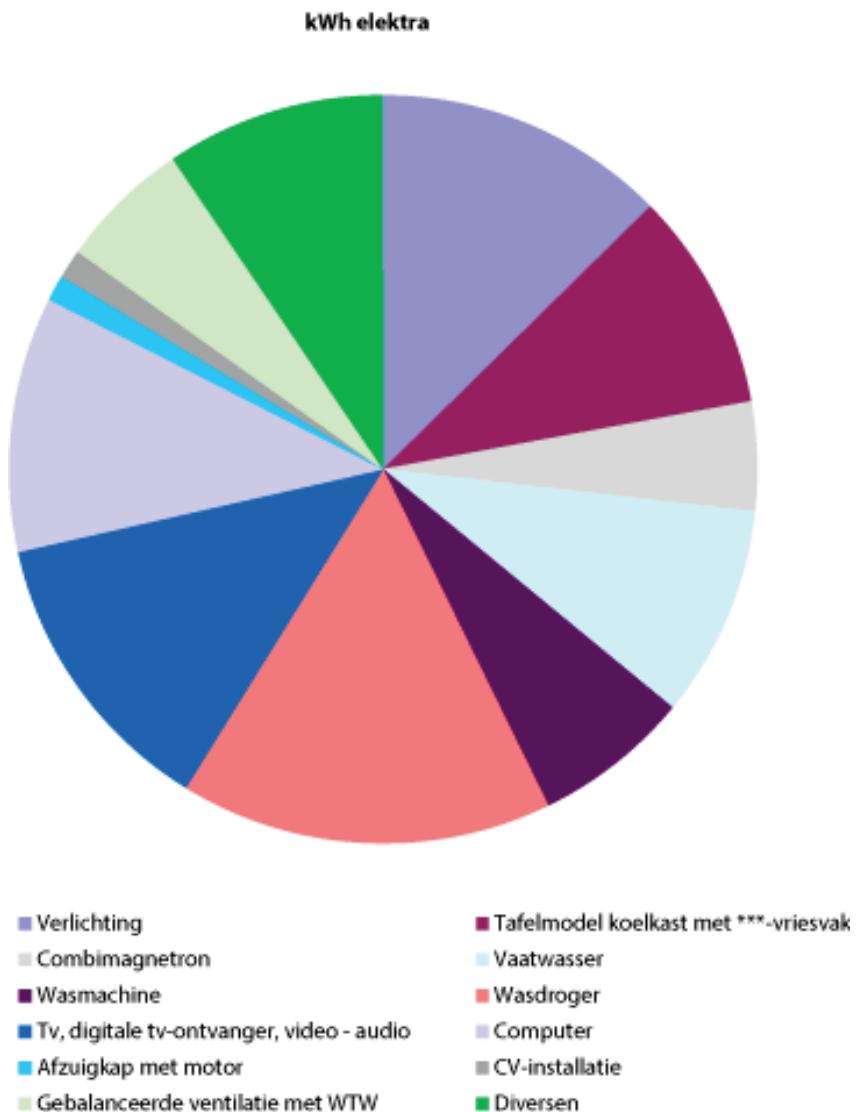
Het gemiddelde totale elektriciteitsverbruik per huishouden steeg de afgelopen twintig jaar gestaag (paragraaf 1.3). In 2008 is de stijging tot stilstand gekomen [225]. Daarna daalde het verbruik weer. Dit komt waarschijnlijk door o.a. zuiniger huishoudelijke apparaten, zuiniger verlichting [20] en door zelf opgewekte zonnestroom.

De stijging tot 2008 is vooral toe te schrijven aan het hogere elektriciteitsverbruik van installaties voor verwarming en ventilatie en aan de toename van het aantal (huishoudelijke) apparaten per huishouden. Weliswaar zijn (en worden) deze apparaten over het algemeen zuiniger dan een aantal jaren geleden, maar dit weegt niet op tegen het grotere aantal per huishouden. Bij verlichting is eenzelfde trend te zien: In 1990 waren er ruim 24 lampen per huishouden, in 2011 44 [226]. In 1990 was er gemiddeld één spaarlamp per woning, in 2011 waren er negen. Bij vervanging van alle niet-zuinige verlichting door spaarlampen, LED en TL is een aanzienlijke besparing mogelijk (paragraaf 10.2). Dat is ook het geval bij het verbruik voor stand-by van huishoudelijke apparaten, computers, tv's enzovoort: het huidige verbruik is totaal zo'n 450 kWh/jaar (Bron: www.milieucentraal.nl). Niet al deze apparaten hoeven stand-by te staan. Zeker de helft is 'echt' uit te zetten.

Als gevolg van het besluit dat nieuwbouwwoningen vanaf 1 juli 2018 geen gashaansluiting meer krijgen zal het gemiddelde elektriciteitsverbruik van woningen de komende jaren weer gaan stijgen doordat steeds meer woningen voorzien zullen worden van elektrische warmtepompen.

Het elektriciteitsverbruik is te beperken door:

- Maatregelen te nemen in het woningontwerp en aan de installaties voor verwarming, warm tapwater, ventilatie en liften (paragraaf 10.1.1);
- Te stimuleren dat bewoners minder en zuiniger huishoudelijke apparaten gaan gebruiken (paragraaf 10.1.2).



Afb. 10.1 Elektriciteitsverbruik per jaar, verdeeld naar apparatuur en functie, van een denkbeeldig huishouden in een nieuwbouw rijtjeswoning met ventilatiesysteem D (gebalanceerde ventilatie met WTW). Dit huishouden heeft een verbruik van 3.170 kWh per jaar en gebruikt o.a. een relatief zuinige wasdroger, meerdere spaar- en ledlampen en kookt op gas. Het totale energieverbruik van dit huishouden ligt iets onder het gemiddelde landelijke verbruik van circa 3.400 kWh per huishouden. Maar zodra er elektrisch gekookt gaat worden en een kleine elektrische boiler in de keuken geïnstalleerd wordt, schiet het verbruik omhoog tot zo'n 4.100 kWh/jr, het gasverbruik neemt dan wel af met circa 65 m³ (koken) en 60 m³ (warmwater keuken) per jaar. Samenstelling: BOOM-SI op basis van afbeelding 10.2.

Afb. 10.2 Globale indicatie van het gemiddelde jaarlijkse elektriciteitsverbruik van huishoudelijke apparaten, verlichting en installaties in een huishouden. Links het huidige gemiddelde energieverbruik, rechts het verbruik van zuinige varianten. (Bron: www.milieucentraal.nl, www.consumentenbond.nl en gegevens van fabrikanten)

Verlichting / apparatuur /installatie	Gemiddeld verbruik incl. standby [kWh/jaar]	Zuinige apparatuur incl. standby [kWh/jaar]
Verlichting	480	150
Tafelmodel koelkast met ***-vriesvak	290	100
Koel/vrieskast tweedeurs	400	150
Diepvrieskist (ca. 250 liter)	250	115
Magnetron	100	
Combimagnetron	150	
Koken*	Elektrische inductie kookplaat	450
	Elektrisch quickterm kookplaat	450
	Elektrische halogeen kookplaat	530
	Elektrische keramische kookplaat	530
	Elektrische conventionele kookplaat	750
	Vaatwasser	290
Verlichting/apparatuur	Wasmachine	215
	Wasdroger	580
	Warmtepompdroger	250
	Kleine elektrische inbouw-keukenboiler	480
	TV (42 inch) (LCD-, plasmascherm)	330
	TV (26 inch) (LCD-, plasmascherm)	155
	Digitale tv-ontvanger	130
	Video	100
	Audio (midiset)	50
	Laptop	80
	Computer (LCD-scherm)	230
	Waterbed	1000
	Afzuigkap (incl. verlichting met motor)	
	Afzuigkap met luchtgordijn aangesloten op mechanisch systeem	
	Diversen (o.a. koffiezetterapp., stofzuiger)	300
		120
Installaties	CV-installatie (pomp, ventilator en elektronische regeling)	80
	Mechanische afzuiging (systeem C)	120
	Gebalanceerde ventilatie met WTW (systeem D)	250
	Airconditioner	400 à 1750

* Koken op gas (zonder waakvlam): 65 m³ aardgas/jaar

10.1.1 Besparing bij woning- en gebouwontwerp en installaties

Beperking van het elektriciteitsverbruik is o.a. te bereiken door:

- Ruime toepassing van daglicht; dit beperkt de noodzaak voor kunstverlichting (paragraaf 4.3);
- Toepassing van zomernacht- of grondbuiskoeling waardoor géén airco-systeem aangeschaft zal worden (paragraaf 6.8);
- Gebruik van zuinige installaties voor verwarming, warm tapwater en ventilatie:
 - Kies altijd voor gelijkstroom ventilatoren;
 - Pas een aparte pompschakeling toe voor wand- en vloerverwarming;
 - Pas een 'eco'-schakeling toe bij een weersafhankelijke regeling, deze voorkomt dat de CV-pomp continu draait; sommige fabrikanten leveren zo'n schakeling als optie;
 - Realiseer een zo klein mogelijke luchtweerstand in het ventilatiesysteem (paragraaf 6.2.2);
 - Overweeg een hybride ventilatiesysteem (paragraaf 6.7).
- Toepassing van energieuinige LED-verlichting. Gebruik ook energie-efficiënte armaturen. Voorzie verlichting in (collectieve) (berg)ruimten van een tijdschakeling, schemerschakeling en/of bewegingssensoren. Meer informatie op www.milieucentraal.nl;
- Het toepassen van zuinige liften, informeer altijd naar verbruiksgegevens en vergelijk deze met alternatieven; gebruik geen hydraulisch aangedreven liften omdat deze onzuinig zijn;
- Het voorkomen van elektrolintverwarming voor vorstbeveiliging. Plaats verwarmingssystemen binnen de thermische schil of zorg voor goed geïsoleerde leidingen (betreft vooral woongebouwen);
- Het aanbrengen van een energieuinige regeling van de opritverwarming (indien nodig!) bij parkeerkelders. Deze regeling moet rekening houden met de buitentemperatuur en de aanwezigheid van vocht.

Domotica

Domotica omvat alle apparaten en infrastructuur in en rond woningen, die elektronische informatie benutten voor het meten, programmeren en sturen van functies voor bewoners of verleners van diensten aan huis.

Het optimaal aansturen van bijv. ventilatie kan het energieverbruik beperken. Domoticatoepassingen vereisen wel extra regelingen en apparaten en dus extra energieverbruik. Dit extra verbruik dient op te wegen tegen de te realiseren besparingen.

10.1.2 Huishoudelijke apparaten en verlichting

Beperking van het elektriciteitsverbruik is o.a. te bereiken door:

- Het realiseren van een wasdroogruimte. Hierdoor kan het gebruik van een wasdroger beperkt of overbodig worden. Een belangrijke voorwaarde is dat de vochtige lucht niet in (het overige deel van) de woning terecht komt. Dit niet alleen vanwege het vocht zelf, maar ook omdat het drogen van de was (c.q. het verdampen van het vocht) ook energie kost. Men kan denken aan de volgende ruimten:
 - Loggia, overdekt (dak)terras en veranda; bij voorkeur ligt deze ruimte afgeschermd en aan de zonbeschermen-zijde van de woning;
 - Een goed te ventileren inpandige ruimte (bijv. zolder); deze ruimte moet afsluitbaar zijn van de rest van de woning en mag niet als 'warmtelek' optreden: de scheiding tussen de droogruimte en het overige deel van de woning moet dus van voldoende warmte-isolatie zijn voorzien.
- Het realiseren van aansluitpunten op de warmwaterleiding voor een hot-fill wasmachine en vaatwasser. In ons land worden zowel vaatwassers als wasmachines vrijwel altijd met alleen koud water gevuld, waarna de (vaat)wasmachines dit water elektrisch verwarmen. Het is vanuit milieuoogpunt bekeken vaak gunstiger om deze apparaten te vullen met warm water uit de warmwaterleiding, zeker als de warmte deels afkomstig is uit zonneboiler. Veel vaatwassers kunnen zondermeer hierop worden aangesloten (mits watertemperatuur maximaal 60 °C, raadpleeg fabriekshandleiding). Er zijn enkele typen hot-fill wasmachines verkrijgbaar, voor normale wasmachines zijn voorschakelkastjes te koop (paragraaf 9.1.4). Het is te overwegen om

dergelijke kastjes standaard te monteren, dit zal het gebruik er van sterk stimuleren. Meer informatie: paragraaf 9.1.4 en www.milieucentraal.nl;

- Goede voorlichting aan bewoners en beheerders, o.a. over energiezuinige verlichting. Tip: Lever (als optie) voor een aantrekkelijk bedrag een aantal LED-lampen met bijpassende armaturen mee voor bijv. de buitenverlichting, hal en trappenhuis. Montere ze ook voor de oplevering. Op www.nsvv.nl is allerlei informatie over (kunst)verlichting te vinden.

10.2 Duurzame elektriciteit

Het beleid van de rijksoverheid is er op gericht dat in 2020 14% van het totale energieverbruik duurzame (hernewbare) energie is (paragraaf 2.1.2) en dat er een CO₂-reductie van 30% optreedt ten opzichte van 1990. In 2019 was 8,6% duurzaam (bron: Netbeheer Nederland) (zie ook paragraaf 1.2).

Voor het totale elektriciteitsverbruik streeft de overheid naar 37% duurzame opwekking in ons land in 2020 [228], in 2019 bedroeg dat aandeel naar schatting ruim 19% (bron: www.energieopwek.nl). van het totale elektriciteitsverbruik. Het merendeel komt uit biomassa en windenergie (paragraaf 1.2). Ongeveer een vijfde is afkomstig van 'zonnestroom' via PV-panelen.

Windenergie en gebruik van biomassa vallen buiten het kader van deze uitgave omdat de mogelijkheden voor die bronnen vooral buiten de bebouwde omgeving liggen. In paragraaf 10.2.2 wordt kort ingegaan op windenergie. De mogelijkheden voor PV in de bebouwde omgeving zijn echter wel groot: op daken en aan gevels zijn PV-panelen zeer goed te bevestigen, mits de oriëntatie zongericht is, zie verder paragraaf 10.2.1. Wel zullen aanpassingen aan het openbare elektriciteitsnet noodzakelijk zijn om de groei van zonne-energie op te kunnen vangen met het oog op voldoende capaciteit en flexibiliteit [236].

10.2.1 PV-systemen

Een PV-systeem zet zonne-energie om in elektriciteit. De term PV is afkomstig uit het Engelse Photo (= licht) en Voltaic (= elektriciteit). Zonnestroom komt tot stand door een fysisch proces in een PV-cel. PV-cellens leveren gelijkstroom. Ze worden in serie aan elkaar gekoppeld en ondergebracht in een PV-paneel. PV-panelen worden samen met de overige benodigde onderdelen zoals omvormers, bekabeling en bouwkundige voorzieningen een PV-systeem genoemd.

PV-systemen leveren dankzij de omvormer(s) wisselstroom en kunnen daardoor aan het normale elektriciteitsnet gekoppeld worden. Boven de 600 Wp (Watt-piek) vermogen (> circa 3 à 4 m² PV-panelen), heeft een systeem een eigen groep in de meterkast nodig, kleinere systemen mogen aan een willekeurig stopcontact in de woning worden verbonden.

In Nederland worden in de woningbouw vrijwel altijd netgekoppelde PV-systemen toegepast. Er vindt (dus) geen opslag in accu's plaats zoals in autonome systemen bij bijv. volkstuinhuisjes, parkeermeters, jachten en lichtboeien voor de scheepvaart. De opgewekte energie bij netgekoppelde systemen wordt meestal zo veel mogelijk in de betreffende woning of het betreffende woongebouw gebruikt. Alleen het overschot wordt aan het net geleverd. Er wordt echter door diverse partijen gewerkt aan de opslag van zonne-energie voor de korte termijn in accu's voor huishoudelijk gebruik.

Op een horizontaal (dak)vlak valt in ons land jaarlijks per m² globaal 1.000 kWh zonne-energie, op een naar het zuiden gericht vlak nog meer, namelijk ruim 1.150 kWh bij de optimale hellingshoek. Het huidige 'netto' rendement (rekening houdend met systeemverliezen van 15 à 20%) van een PV-systeem is maximaal 20%. Uit metingen [229] blijkt dat de opbrengst van PV hoger is dan tot voor kort gedacht. Als kengetal is anno 2017 een opbrengst van 875 kWh/kWp aan te houden. Hogere opbrengsten zijn echter zeker mogelijk. Een oppervlak van 10 à 15 m² zonnepaneel is dus voldoende om in de elektriciteitsbehoefte van een huishouden te voorzien, mits dit de meest zuinige woninginstallaties en apparatuur in gebruik heeft en daar ook zuinig mee omgaat. Wanneer een woning met een warmtepomp uitgevoerd wordt, stijgt het elektriciteitsverbruik. Om dan een (over het jaar heen) nul-energiewoning te hebben, is het veelal noodzakelijk zijn om een voldaks PV-systeem aan te brengen (afbeelding 10.1).

De kosten van PV-systemen zijn de laatste jaren sterk gedaald. Ter indicatie: Een PV-systeem met 10 PV-panelen (van circa 3.000 WP) levert globaal 2.600 kWh per jaar en kost inclusief omvormer, installatie en

btw in de nieuwbouw globaal € 4.400,- (prijspeil 2019). De BTW kan binnen 6 maanden na afloop van het installatiejaar teruggevraagd worden bij de Belastingdienst.

Voor particulieren is het rendement van een investering in een PV-systeem vergelijkbaar met een rente van circa 6% op een spaarrekening (bron: Milieu Centraal) en verdient zich in globaal 8 jaar terug. Houd er wel rekening mee dat door veroudering het rendement in de loop van de jaren langzaam zal afnemen. Uit buitenlands onderzoek blijkt dat deze afname gemiddeld zo'n 0,5% per jaar bedraagt [229].

Informatie over PV-systemen is o.a. te vinden op:

- www.rvo.nl met algemene informatie, handige sites en literatuur;
- www.hollandsolar.nl met algemene informatie over zonne-energie en info over de leden van deze brancheorganisatie;
- www.duurzameenergie.org; ODE, vereniging van burgers en energiecoöperaties, met info over o.a. terugleveren en salderen;
- www.top50solar.nl met info over leveranciers;
- www.iea-pvps.org met internationale informatie.

Leidraad zonnestroomprojecten

De uitgave 'Leidraad zonnestroomprojecten' [230] geeft veel praktische informatie over o.a. ontwerprichtlijnen voor PV-systemen in de woning- en utiliteitsbouw. Ook zijn veel gerealiseerde voorbeelden te zien. Speciale aandacht wordt gevraagd voor het ontwerp- en bouwproces inclusief aanbesteding èn de beheerfase; denk aan o.a. de volgende punten:

- Reserveer voldoende tijd voor overleg met alle betrokkenen; zo kan in een vroeg stadium het ruimtelijk ontwerp optimaal afgestemd worden op het toepassen van PV. Dat geldt zowel voor het stedenbouwkundig als het bouwkundig ontwerp. PV is een relatief nieuwe techniek en mogelijk zijn nog niet alle partijen gewend om met PV om te gaan;
- Zorg in het ontwerp er voor dat dit niet afgestemd is op één bepaald model PV-paneel van één fabrikant; het levert een slechte onderhandelingspositie op wat de prijs opdrijft;
- Informeer de bewoners over o.a. de werking van PV-systemen en de mogelijke consequenties van beschaduwing door b.v. (dak)uitbreiding en beplanting;
- Het is aan te raden om notarieel vast te leggen dat uitbouwen of beplanting die schaduw kunnen geven op omliggende PV-systemen niet toegestaan zijn;
- PV-panelen beperken mogelijk ook latere uitbreidingen door dakramen of dakopbouwen, tenzij de PV-panelen verplaatst worden;
- Zorg dat er duidelijke afspraken komen tussen bewoners (eigenaren, huurders), eventuele verhuurder en energiebedrijven over o.a.:
 - De te hanteren vergoeding (terugleverarieven) van de zonnestroom;
 - De toegankelijkheid van het PV-systeem voor onderhoud, beheer en controle.
- Regelmatige controle tijdens de montage en een oplevertest zijn sterk aan te raden. In [230] is een overzicht opgenomen van veel voorkomende montagefouten;
- Regelmatige controle tijdens het beheer op het goed functioneren is gewenst (minimaal 4x jaar door bewoner inverter controleren [178]);
- Minimaal 1 x per jaar controleren op vervuiling en zonodig schoonmaken; ook visuele controle op gebreken.

PV-systemen worden in NTA 8800 [30] gewaardeerd. Door veel PV-panelen toe te passen zijn negatieve BENG 2 indicatoren mogelijk. Daarnaast is PV een belangrijke factor in de berekening van het aandeel hernieuwbare energie in de NTA 8800 (de derde BENG indicator). De met PV-panelen geproduceerde elektriciteit wordt in de NTA 8800 volledig gezien als hernieuwbare energie. En draagt daarbij mee aan een positieve BENG 3 score.

In de Leidraad wordt naar diverse normen en richtlijnen verwezen zoals:

- NEN 7250:2014, Zonne-energiesystemen - Integratie in daken en gevels-Bouwkundige aspecten [231]. In deze norm zijn zowel eisen als bepalingsmethoden opgenomen voor een adequate inbouw van zonne-energiesystemen in de gebouwschil. De norm bevat zowel prestatie-eisen als testmethoden;

- NEN 1010:2015, Elektrische installaties voor laagspanning [232]. Deze norm bevat bepalingen voor het ontwerp en de realisatie van veilige, doelmatige en goed functionerende elektrische installaties.

In [254] wordt ingegaan op de esthetische inpassing van PV-panelen. Het rapport is bedoeld voor de bestaande bouw, maar is zeker ook voor nieuwbouw nuttig.

PV-cellen, de techniek

Een PV-cel bestaat uit een halfgeleidermateriaal dat elektriciteit levert wanneer hier licht op valt. Silicium is het meest gebruikte materiaal. Hiermee worden drie typen PV-cellen gemaakt:

- Multikristallijn of polykristallijn silicium (p-Si). Dit is het meest toegepaste type silicium voor PV-cellen. De kleur van deze PV-cellen is meestal blauw, in rijke schakeringen. De PV-cellen hebben afmetingen variërend van 10 x 10 cm tot 15 x 15 cm. Het rendement van deze PV-cellen bedraagt maximaal 16%;
- Monokristallijn silicium (m-Si). De kleur van deze PV-cellen is egaal antraciet of donkerblauw. De PV-cellen hebben afmetingen variërend van 10 x 10 cm tot 15 x 15 cm. Het rendement van deze PV-cellen bedraagt maximaal 17%;
- Amorf silicium (a-Si). De kleur van deze PV-cellen is bruin tot zwart. De PV-cellen worden in een zeer dunne laag op een dragermateriaal aangebracht. Het rendement van deze PV-cellen bedraagt circa 6%. Bij een uitvoering met drie lagen (triple) kan deze circa 10% bedragen.

Naast silicium, worden ook andere halfgeleidermaterialen in PV gebruikt zoals:

- CIS, verbindingen van koper-indium-diselenide, ca. 13% rendement;
- CdTe, cadmium-telluride, ca. 12% rendement;
- CIGS, verbindingen van koper-indium-gallium-seleen, ca. 14% rendement.

Om de reflectie van zonlicht te beperken worden PV-cellen gecoat. De kleur bepaalt de mate van de reflectievermindering. Een donkerblauwe of zwarte coating geeft de minste reflectie. Andere kleuren zijn mogelijk (bijv. geel, groen, bruin, grijs, paars), maar de rendementen zijn daarbij 10% tot 30% minder dan bij donkere cellen. PV-cellen op basis van polymeren (plastic) en organische materialen zijn in ontwikkeling [230].

PV-panelen

PV-cellen worden in serie gekoppeld en ondergebracht in een paneel, ook wel PV-paneel of PV-module genoemd. Er zijn (nog) geen standaardmaten voor PV-panelen, de maatvoering verschilt per leverancier. PV-panelen zijn verkrijgbaar met of zonder frame. Frameloze panelen (laminaten) kunnen behandeld worden als normale glazen ruiten. De dikte van een paneel zonder frame bedraagt 5 à 8 mm. Een paneel inclusief frame is circa 70 mm dik.

Multikristallijn en monokristallijn PV zijn altijd achter glas aangebracht, de andere vormen kunnen zowel achter glas als op een flexibele ondergrond zoals een kunststoffolie worden aangebracht (dunnenfilmcellen). Een bijzondere vorm van PV zijn glazen buizen waar aan de binnenzijde amorf PV is opgedampt. De buizen zijn aan metalen rekken bevestigd en deze kunnen op platte daken worden neergezet. Er is weinig of geen ballast nodig omdat het geheel vrij ongevoelig is voor wind als gevolg van de open ruimte rondom de buizen.

Tegen meerprijs kunnen laminaten in vrijwel iedere gewenste vorm worden gefabriceerd.

Lichtdoorlatende of 'semi-transparante' PV-panelen kunnen worden uitgevoerd in verschillende mate van transparantie, waardoor ze bijv. als permanente zonwering dienst kunnen doen.

In dak en gevel geïntegreerde PV-panelen (m.u.v. amorf PV) moeten voldoende koeling hebben. Hoe warmer PV-systemen namelijk worden, hoe lager het rendement. Dit is te bereiken door het aanbrengen van een spouw tussen de PV-panelen en de dakbedekking of achterliggende gevelconstructie waarbij de spouw ruimschoots met de open lucht in verbinding staat. Uit de praktijk blijkt bij een hellend dak een spouw van 50 mm voldoende te zijn voor koeling door natuurlijke ventilatie (wind) [233].

PVT

Een bijzondere vorm van een PV-paneel is het PVT-paneel. In zo'n paneel wordt PV gecombineerd met de opwekking van Thermische energie voor bijv. warm tapwater. Achter de PV-cellen loopt water of een ander koelmiddel waardoor de PV-cellen gekoeld worden (belangrijk voor een goed rendement). Dit gebeurt normaal door buitenlucht die langs een paneel stroomt. De totale energieopbrengst per m² dak met een PVT-paneel is hoger dan met een los PV-paneel en een losse zonnecollector. Een voorbeeld: een zonnecollector van 3,5 m² en een PV-systeem van 3,5 m² kunnen samen worden vervangen door 4 m² PVT-panelen met dezelfde opbrengst (volgens berekening met de NTA).

Er is dus minder (dak)oppervlak nodig voor dezelfde hoeveelheid nuttige zonne-energie. Toch worden ze nog niet veel toegepast, o.a. omdat ze zeker niet goedkoper zijn dan aparte panelen.

Omvormer

Een belangrijk onderdeel van een PV-systeem is de omvormer (inverter) [239] [ISSO-Kenniskaart 83](#). Deze zet de gelijkstroom (DC, Direct Current) om in wisselstroom (AC, Alternating Current). Netgekoppelde omvormers zorgen ervoor dat de opgewekte stroom dezelfde eigenschappen als de stroom uit het openbare net krijgt, zodat de stroom hierin gevoed kan worden. Beveiligings- en schakelapparatuur zorgen ervoor dat er geen ongewenste stromen en spanningen in het systeem ontstaan. Netgekoppelde omvormers worden geactiveerd door het elektriciteitsnet en werken dan ook pas wanneer ze aangesloten zijn op het net. De omvormer kan geplaatst worden:

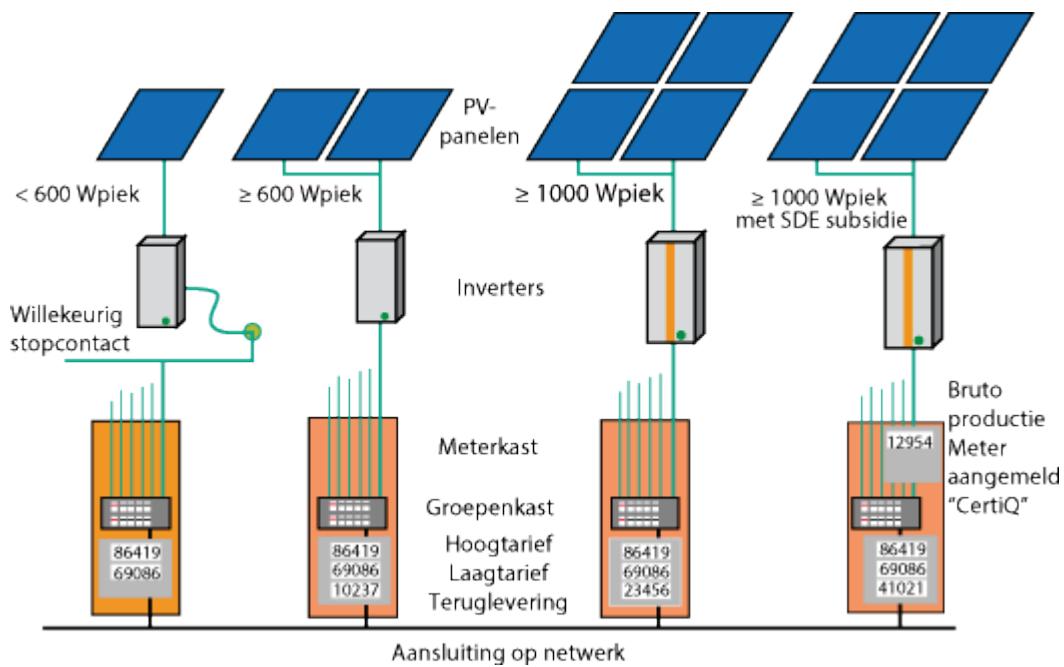
- Per PV-paneel (mini-omvormer). De omvormer wordt aan de achterzijde van elk PV-paneel aangebracht. Dergelijke PV-panelen met omvormer (AC-modules) kunnen direct op het elektriciteitsnet in huis worden aangesloten; maximaal 4 à 6 panelen per elektriciteitsgroep (maximaal 600 Wp). Belangrijke nadelen zijn dat deze omvormers, na installatie van het systeem, meestal moeilijk bereikbaar zijn voor onderhoud en controle;
- Per woning (centrale omvormer of stringomvormer) in bijvoorbeeld de meterkast of op zolder. Bij gestapelde bouw kan dat in een aparte kast in het trappenhuis zodat de omvormer door derden (beheerder, technische dienst) bereikbaar kan zijn zonder de woning in te hoeven. De ruimte of kast waarin de omvormer staat moet goed geventileerd en niet te vochtig zijn;
- In een speciale ruimte (centrale omvormer). De PV-systemen van meerdere woningen of een woongebouw zijn aangesloten op één omvormer. Deze ruimte moet goed geventileerd zijn en niet te vochtig. De omvormers mogen niet warmer worden dan 45 °C.

Aandachtspunten:

- Houd bij de situering van de omvormer(s) bij grotere PV-systemen rekening met de transportverliezen in de leidingen tussen PV-panelen, omvormer en net-aansluiting. Raadpleeg een deskundige;
- Situeer de omvormer(s) (of inverters) bij voorkeur dichtbij de PV-panelen; kleine systemen vragen hiervoor weinig ruimte: de omvormer(s) kan/kunnen bijvoorbeeld op zolder gemonteerd worden. Let op: Omvormers kunnen geluidshinder veroorzaken (bijv. zoemend geluid en trilling), kies dus een goede plek en/of neem geluidwerende maatregelen en monter de omvormers op een stevige ondergrond.

Teruglevering en opbrengst in kWh

De opgewekte elektriciteit zal over het algemeen zoveel mogelijk in de eigen woning of het eigen woongebouw gebruikt worden.



Afb. 10.3

Schematische weergave van mogelijkheden voor aansluiting op het openbare elektriciteitsnet

Saldering

Huishoudens en andere kleinverbruikers die op kleine schaal zonnestroom opwekken, kunnen 'salderen'. Dit betekent dat aan het net (terug)geleverde elektriciteit verrekend wordt met verbruikte elektriciteit voor dezelfde prijs. Dit is wettelijk vastgelegd. Wordt er op jaarbasis netto meer teruggeleverd, dan kan dat door het energiebedrijf ingekocht worden tegen een onderling af te spreken vergoeding. Meer info: www.rvo.nl en www.milieacentraal.nl, ook voor informatie over [terugvragen van BTW](#) door een particulier. Voor aanmelden terugleveren zie www.energieleveren.nl. Voor huishoudens die samen eigenaar zijn van een PV-installatie voor lokaal opgewekte energie geldt een speciale regeling voor saldering: zie www.rvo.nl.

SDE+

De subsidieregeling SDE+ geldt anno 2019 alleen nog voor zeer grote PV-installaties; meer info over deze regeling: www.rvo.nl.

Een eventueel overschot zal aan het openbare net geleverd worden; hiervoor is (vreemd genoeg) de term 'teruglevering' gangbaar. Het is van belang om vóór de oplevering de goede elektriciteitsmeter of meters te kiezen en te installeren. In afbeelding 10.3 zijn de diverse mogelijkheden in schema gezet.

Opbrengst

De opbrengst van een PV-systeem hangt af van:

- Het rendement van het PV-systeem;
- Oppervlakte van het PV-systeem (vermogen);
- De hoeveelheid opvallende zonneschijn.

Rendement

Op een horizontaal (dak)vlak valt in ons land jaarlijks per m² globaal 1000 kWh zonne-energie, op een naar het zuiden gericht vlak met een helling van 36° ruim 1.150 kWh. Het rendement van een PV-systeem met kristallijne PV-cellen, is zodanig dat elke m² PV-paneel jaarlijks maximaal zo'n 160 kWh aan elektriciteit oplevert, met amorf PV-cellen is dat maximaal zo'n 70 kWh. In beide gevallen bij de gunstigste oriëntatie en hellingshoek.

Let op: Een compleet PV-systeem heeft in de praktijk een lager rendement dan het (STC) rendement (zie kader) van de PV-panelen van dat systeem. De verhouding hiertussen wordt wel aangeduid met het begrip 'opbrengstfactor' of 'performance ratio (PR)'. Bij een netgekoppeld systeem ligt deze factor rond

0,85. Het verlies aan rendement wordt veroorzaakt door o.a. verlies bij de omvormer, door reflectie van de zonnestralen en door opwarming van de panelen.

Vermogen

In het kader is het veel gebruikte begrip 'piekvermogen' toegelicht. In de praktijk reduceren verschillende interne en externe verliesfactoren vaak de opbrengst.

Piekvermogen Wp

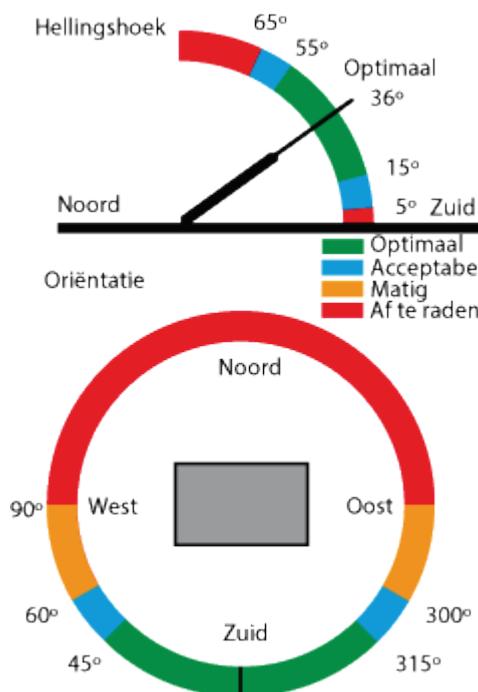
Bepaling van het feitelijke rendement van PV-panelen gebeurt onder Standaard Test Condities (STC). Dat betekent een straling van 1.000 W/m^2 (stralend blauwe hemel in juni) bij een PV-celtemperatuur van 25°C . Het vermogen dat een bepaald paneel onder deze omstandigheden levert, is het zogenoemde piekvermogen, uitgedrukt in Watt-piek (Wp): een PV-paneel met een celoppervlak van 1 m^2 en een rendement van 15 %, heeft een piekvermogen van $0,15 \times 1000 = 150 \text{ Wp}$.

Zonneschijn

De maximale opbrengst van een PV-paneel wordt behaald bij:

- Een zuidoriëntatie (optimaal is 5° naar het westen gedraaid vanaf zuid) én;
- Een hellingshoek van 36° .

Er is een redelijke variatie mogelijk in hellingshoek en oriëntatie zonder dat de opbrengst van de zonnepanelen al te veel afneemt (afbeelding 10.4).



Afb. 10.4 Richtlijnen voor helling en oriëntatie zonnepanelen. Zie het Zonne-instralingsdiagram in Bijlage 7 voor meer gedetailleerde informatie.

Opbrengst indicatie

In het kader staat een gangbare eenvoudige formule voor een indicatie van de gemiddelde jaarlijkse opbrengst van een PV-systeem. Een belangrijk kengetal van een bepaald type PV-installatie is de 'specifieke opbrengst' met als eenheid: kWh/kWp per jaar. Dit kengetal geeft dus weer wat een geïnstalleerde kWatt-piek (kWp) aan zonnestroomvermogen per jaar aan elektrische energie (in kWh) levert. In Nederland blijkt uit onderzoek [229] dat in een gemiddeld jaar bij de gunstigste oriëntatie en helling een PV-paneel van 1 kWpiek 875 kWh aan elektrische stroom levert.

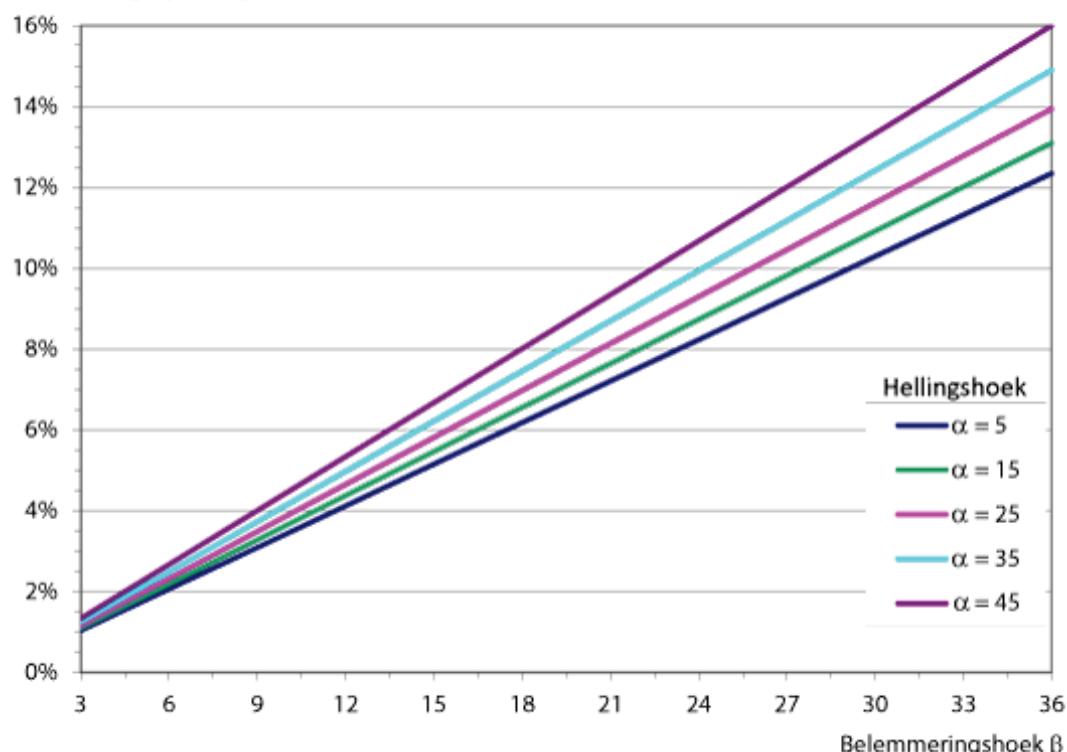
Jaarlijkse opbrengst

De jaarlijkse energieopbrengst van een PV-systeem in Nederland is ongeveer: Opbrengst (kWh) = 875 kWh/kWp x Piekvermogen van de panelen (kWp) x % jaarlijkse instraling (bepaald volgens de instralingsschijf zonne-energie in bijlage 7) x (100% – vermindering opbrengst door belemmeringshoek in % volgens afbeelding 10.5) Voorbeeld: 4 m² panelen à 150 Wp optimaal op het zuiden onder een helling van 36° met een belemmeringshoek van 12° levert per jaar: 875 x 4 x 0,15 x 100% x (100% - 5%) = 499 kWh/jaar.

De opbrengst van een PV-paneel daalt drastisch wanneer dit paneel gedeeltelijk wordt beschaduwd. Dit komt doordat de PV-cellens in serie zijn geschakeld, meestal een aantal series per paneel. Wanneer een cel beschaduwd wordt, levert de hele serie geen stroom. Ook panelen kunnen in serie staan, zodat ook daarbij hetzelfde effect kan optreden. Let dus goed op dat er geen beschaduwing optreedt door dakopbouwen, dakdoorvoeren, ventilatie dak-units, dakkapellen, bomen of andere PV-panelen.

In afbeelding 10.5 is de relatie aangegeven tussen instralingsverlies en beschaduwing door belemmeringen van zuidgerichte panelen met een verschillende hellingshoek. Wil men bijv. bij een zuidgericht PV-paneel die onder de optimale hoek van 36° staat maximaal 5% instralingsverlies, dan moet een maximale belemmeringshoek van circa 12° worden gehouden, gerekend vanaf de onderkant van het PV-paneel.

Vermindering opbrengst



Afb. 10.5 Grafiek voor een indicatie van het effect van beschaduwing van zuidgerichte PV-panelen. Op de verticale as percentages (%) voor de vermindering van de opbrengst, op de horizontale de belemmeringshoek (β) in graden. De lijnen gelden voor PV-panelen onder verschillende hellingshoek (α), van 5° t/m 45°. (Bron: Grafiek afgeleid uit formule in [230])

Kosten

De kosten per Wp voor PV-systemen zijn de laatste jaren enorm gedaald. Anno 2019 bedragen die € 1,00 tot € 1,50 per Wp ofwel € 100,- tot € 150,- per m², afhankelijk van het type PV, inclusief BTW en montage en exclusief subsidies. De kosten per kWh opgewekt door PV, zijn nu voor een particulier lager dan de kosten voor een kWh die hij moet betalen aan het energiebedrijf.

PV-systemen integreren in het gebouw

PV-panelen kunnen geïntegreerd worden in:

- Daken;
- Gevels;
- Serres, atria.

In alle gevallen kan PV ook als zonwering dienst doen.

Ter inspiratie: [Inventarisatie esthetische inpassing zonnepanelen](#) [254]. Dit rapport is eigenlijk bedoeld voor de bestaande bouw.

Daken

In de woningbouw ligt toepassing van PV op of bij het dak voor de hand: men heeft daar de minste kans op schaduw door bebouwing en beplanting. Bovendien is daar meestal het grootste aaneengesloten oppervlak beschikbaar (afbeelding 10.6). Er zijn verschillende mogelijkheden:

- Standaard PV-panelen 'in' het dak met bevestigingsprofielen, onder de panelen ligt meestal een waterkerende folie; voor hellende daken;
- Standaard PV-panelen op een (metalen) ondersteuningsconstructies boven het ondergelegen dak; voor hellend en plat (vegetatie) dak;
- Dakpannen met geïntegreerde PV-cellens;
- PV-cellens geïntegreerd in glasdaken (zie hierna);
- PV-folie geplakt op metalen daken;
- PV-folie geïntegreerd in kunststof dakbedekking;
- PV opgedampt op binnenzijde glazen buis.

Een voordeel van platte daken is dat de panelen op de zon gericht kunnen worden ongeacht de woningoriëntatie.

Gevels

PV kan worden bevestigd op de gevel (afbeelding 10.7). Het kan gaan om 'losse' PV-panelen of PV geïntegreerd in kozijnen en/of beglazing. Nadeel is dat een verticale opstelling slechts 70% van de maximale zoninstraling ontvangt. Daarbij is het risico van beschaduwing meestal groot. Architectisch bieden 'doorzichtpanelen' (beglazing deels met PV-cellens voorzien) speciale mogelijkheden doordat ze het daglicht en bezetting wat temperen.

Serres, atria

In serres en atria bieden 'doorzicht'panelen in de daken en gevels allerlei mogelijkheden om voldoende licht door te laten en tegelijk een deel van de warmte die tot oververhitting kan leiden te weren.

Zonwering

PV-panelen kunnen dienst doen als zonwering, zowel vaste als beweegbare (bijv. lamellen-zonwering). Ook hier kan 'doorzicht'-PV toegepast worden.



Afb. 10.6 PV-panelen in het dak geïntegreerd in het meet- en demonstratieproject in de 'Stad van de Zon' op de HAL-locatie (Heerhugowaard, Alkmaar, Langedijk) van VBM. Per woning is PV met 3.600 Wp vermogen aangebracht. De gemeten opbrengst bedraagt circa 3.400 kWh per jaar. Voor het toegepaste type dak is de Dakaward 2004 toegekend. (Betrokken partijen: Ontwerp: BBHD Architecten, ontwikkeling:

VBM (VosAlkmaar), projectleider: Willem Koppen, aannemer: Heddes Bouw, fabrikant PV: BP-Solar. Realisatie 2003)



Afb. 10.7 In het duurzame renovatieproject Torenflat Bieslandsekade van Woonbron Delft zijn gelijk met de renovatie 260 m² PV-panelen geplaatst. De PV-panelen zijn geïntegreerd in de gevel, het dak én in balkons. De PV-panelen op het dak doen ook dienst als zonwering en de PV-panelen in de balkons zorgen tegelijk voor privacy. De zonnestroom die wordt opgewekt verzorgt bijna alle collectieve installaties in het tien verdiepingen hoge gebouw, zoals liften, verlichting en mechanische ventilatie. (Betrokken partijen: Opdrachtgever: Woonbron, Architect: Van Schagen architecten, PV engineering en installatie: BST, Elektron, advies: W/E-adviseurs. Realisatie: 2003)

Belangrijke ontwerprichtlijnen (bronnen o.a. [230])

- Oriëntatie: Kies voor een oriëntatie tussen zuidoost en zuidwest, optimaal is zuid (en dan 5° naar het westen). Ook kan worden gekozen voor de combinatie van oost en west ligging (rug aan rug) van de PV-panelen op het platte dak. De opbrengst per m² paneel neemt weliswaar af, maar de energieopbrengst van het totale dak kan dan hoger zijn doordat er meer panelen geplaatst kunnen worden dan bij een zuidoriëntatie waarbij onderlinge beschaduwing van de panelen zo veel mogelijk moet worden vermeden. Zo'n oost-west opstelling levert bovendien meer verspreid over de dag de energie op ten opzichte van zuid gerichte PV-panelen hetgeen soms interessant kan zijn;
- Hellingshoek: Kies voor een hellingshoek van minimaal 5°; dit i.v.m. het voorkomen van vervuiling; zorg er voor dat er aan de onderzijde van het paneel geen opstaand randje zit zodat er geen water op het paneel blijft staan;
- Voor een adequate waterkerende functie (indien van toepassing) is de minimale hellingshoek 10°;
- Ventilatie: Een hoge temperatuur verkleint de opbrengst van PV-panelen (dit geldt niet voor amorf-PV). Zorg ervoor dat de panelen koel blijven, bijvoorbeeld door een luchtspouw achter de panelen die onder en boven in contact staat met de openlucht. Neem maatregelen om de spouw te beschermen tegen ongedierte, vogels en vervuiling;
- Koeling door vegetatiedak: Het plaatsen van PV op een vegetatiedak (in plaats van op een donker gekleurde dak) helpt mee om de PV-panelen minder op te warmen. Uit buitenlands onderzoek [237] blijkt dat dit een extra opbrengst van enkele procenten kan opleveren;

- Uitbouwen en dakdoorvoeren: Voorkom dat schoorstenen, dakkapellen en andere dakdoorvoeren schaduw veroorzaken op de PV-panelen. Gedeeltelijke beschaduwing van een paneel beperkt de opbrengst van de hele (elektrische) keten waar dit paneel onderdeel van uit maakt;
- Monitoring: Maak eenvoudige monitoring mogelijk door de opbrengst van het systeem te kunnen meten via een aparte meter of via de inverter(s). Vergelijk de resultaten met die van het jaar daarvoor of met de opbrengst van andere systemen via internet (bijv. via fabrikant van de inverter). Hierdoor kan het eventueel niet-goed functioneren van het PV-systeem (bijv. door een defecte omvormer) snel worden ontdekt;
- Bereikbaarheid PV-panelen: Een goede bereikbaarheid van de panelen is van belang voor onderhoud. Maar zorg er tevens voor dat de panelen niet eenvoudig te stelen zijn;
- Waterdichtheid: Een PV-systeem bestaande uit panelen in een profiel is in extreme gevallen (bijv. stuifsnieuw) niet 100% waterdicht. Bovendien kan aan de achterzijde condensvorming optreden. Zorg er dus voor dat het onderdak waterdicht en dampdoorlatend is, bijvoorbeeld door een folie;
- Geluidsoverdracht: Onderbreek het PV-systeem boven woningscheidende wanden ter voorkoming van ongewenst flankerend geluidsoverdracht tussen naast elkaar gelegen woningen;
- Bekabeling: Zorg ervoor dat de stringbekabeling beschermd is tegen UV-straling, ongedierte en vocht. Vanaf het dak (of de gevel) waar de panelen zijn gemonteerd, lopen kabels naar de omvormer(ruimte). Voor deze bekabeling moet een kabelgoot of een mantelpijp aanwezig zijn. Het is raadzaam hiermee bij het ontwerp van het gebouw rekening te houden. Voor een compleet systeem met één inverter per woning heeft de bundel kabels een diameter van ongeveer 50 mm;
- Omvormerruimte: Situeer de omvormer(ruimte) van grotere PV-systemen in overleg met een deskundige. Zorg voor goede ventilatie van de ruimte waar de omvormer aangebracht is om te hoge temperaturen te voorkomen (circa 5 % van het vermogen wordt hier omgezet in warmte). De omvormers (inverters) mogen niet warmer worden dan 45 °C en niet in een te vochtige ruimte zijn aangebracht.

10.2.2 Windturbines

Windturbines zijn over het algemeen minder geschikt om in of nabij de gebouwde omgeving toe te passen. Dit komt vooral door een relatief laag, niet-stabiel, windaanbod. Maar ook geluidshinder en visuele hinder kunnen een rol spelen. Gebouwgebonden kleine windmolens zijn mede daardoor slechts in bijzondere gevallen het overwegen waard.

Windenergie via grote windmolens aan de rand van bebouwing grenzend aan open gebied of open water kan wel interessant zijn.

Meer informatie: www.rvo.nl.

Bijlage 1 Bouwfysische begrippen

1.1 Behaaglijkheid

Belangrijke factoren voor een behaaglijk thermisch binnenklimaat zijn:

- (Binnen)temperatuur of resulterende temperatuur (T_{res});
- Luchtsnelheid (m/s);
- Relatieve luchtvochtigheid (RV).

Temperatuur of resulterende temperatuur

De (binnen)temperatuur (T_{res}) is een resulterende temperatuur. T_{res} is het gemiddelde van de luchttemperatuur (T_{lu}) en de stralingstemperatuur (T_{str}) op zithoogte in een bepaald vertrek.

De stralingstemperatuur (T_{str}) is het gewogen gemiddelde van de oppervlaktemperaturen van de begrenzende vlakken in de betreffende ruimte.

T_{res} wordt gebruikt als ontwerp-binnentemperatuur bij:

- De dimensionering van het verwarmingssysteem;
- De berekening van het energieverbruik.

In plaats van 'resulterende temperatuur' wordt vaak de term 'operatieve temperatuur' gebruikt. Beide termen hebben ongeveer dezelfde betekenis.

In afbeelding B.1-1 staan richtwaarden voor de te hanteren binnentemperatuur. Met de opdrachtgever moet deze per vertrek definitief worden vastgesteld. Het is te overwegen om in ruimten zoals toilet en interne verkeersruimten verwarming (bijv. radiatoren) achterwege te laten. Door de goede isolatie van de bouwschil worden deze ruimten in veel gevallen door interne warmtestromen voldoende verwarmd en is het aanbrengen van verwarming dus overbodig.

Te grote variatie van de temperatuur in een ruimte is niet gewenst. Vuistregel: het temperatuurverschil in verticale richting (de zogenoemde verticale temperatuurgradiënt) mag tussen 0,1 en 2 meter boven de vloer maximaal 2 °C zijn.

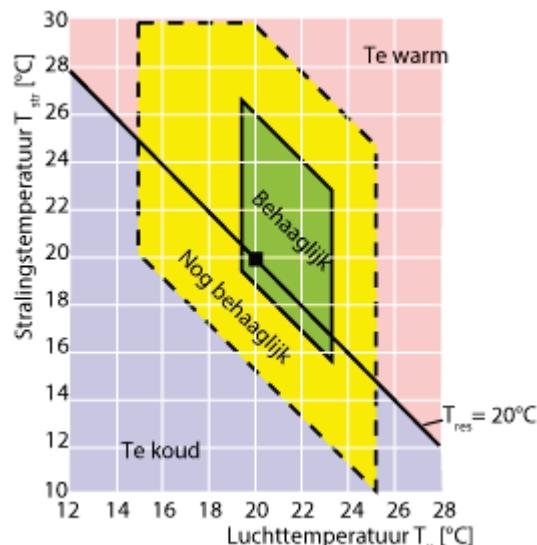
Let op:

- Door de gemiddelde stralingstemperatuur te verhogen, kan de luchttemperatuur worden verlaagd (afbeelding B.1-2). Dit leidt tot een lager energieverbruik. Een hogere stralingstemperatuur is te bereiken door:
 - Stralingsverwarming;
 - Betere isolatie;
 - Verkleinen van 'koude' vlakken.
- Het verschil tussen de gemiddelde stralingstemperatuur en de luchttemperatuur mag niet meer zijn dan 5 °C.

Afb. B.1-1 Richtwaarden voor de ontwerptemperatuur voor de diverse vertrekken in een woning. Deze temperaturen moeten met het gekozen verwarmingssysteem gewaarborgd zijn onder alle omstandigheden en berekening volgens [ISSO-publicatie 51](#) [243].

Ruimte	Ontwerptemperatuur [°C]
Woonkamer	20
(Zit)slaapkamer	20
(Eet)keuken	20
Douche-/ badruimte	22
Entree, hal, gang, overloop	15
Toilet	15
Zolder	15/20*
Inpandige berging (binnen isolatieschil)	15

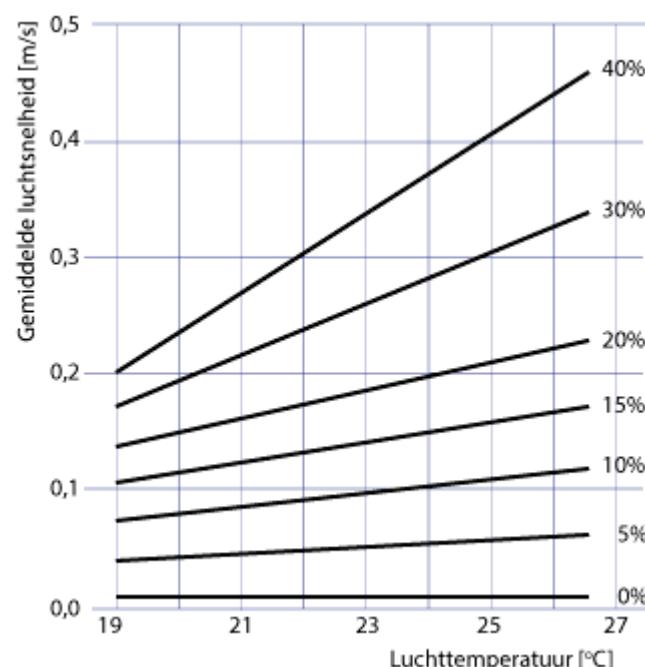
*Voor een flexibel ruimtegebruik is het aan te raden 20 °C aan te houden



Afb. B.1-2 Samenhang tussen luchttemperatuur en stralingstemperatuur bij een relatieve vochtigheid van 30 tot 70% en een luchtbeweging van 0,1 tot 0,2 m/s. Uit de grafiek blijkt dat een T_{res} van 20°C nog geen garantie hoeft te zijn voor een behaaglijk binnenklimaat. (Bron: [244])

Luchtsnelheid

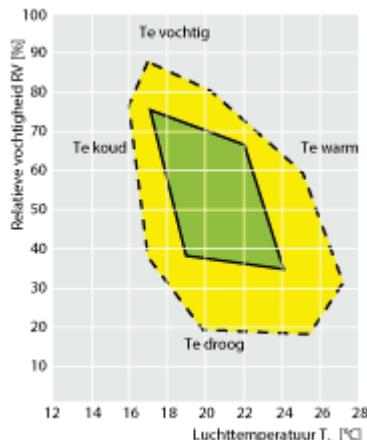
Een gemiddelde luchtsnelheid van meer dan zo'n 0,2 m/s wordt over het algemeen als onaangenaam ervaren voor een zittend persoon. In afbeelding B.1-3 is de samenhang tussen de luchtsnelheid en de temperatuur nauwkeuriger weergegeven.



Afb. B.1-3 Samenhang tussen de luchttemperatuur (bij gelijke stralingstemperatuur) en de gemiddelde luchtsnelheid (Bron: P.O. Fanger, Technical University of Denmark, Lyngby).

Relatieve luchtvochtigheid

De relatieve vochtigheid van de binnenlucht mag voor een comfortabel binnenklimaat variëren van circa 30% tot 70% binnen het temperatuurgebied van 18 tot 24°C (afbeelding B.1-4).



Afb. B.1-4 Samenhang tussen luchttemperatuur en relatieve vochtigheid in een ruimte bij een stralingstemperatuur van 19,5 tot 23 °C en een luchtbeweging van 0,1 tot 0,2 m/s. (Bron: [244])

Luchtkwaliteit: CO₂-gehalte

Het CO₂-gehalte in de binnenlucht is een geschikte indicator voor de mate van luchtverontreiniging. Een gehalte van 1.200 ppm CO₂ (buitenluchtconcentratie + 800 = klasse III) wordt in het algemeen als maximum voor (nieuwbouw)woningen beschouwd hetgeen echter erg hoog is te noemen. In de toelichting op het Bouwbesluit wordt opgemerkt dat bij een CO₂-concentratie van 1.000 ppm al klachten als hoofdpijn en slaperigheid kunnen optreden. Daarom is het beter om voor een verblijfsruimte een gehalte van maximaal zo'n 700 ppm na te streven.

Ppm staat voor: parts per million.

Ter indicatie: 'Normale' (niet vervuilde) buitenlucht heeft in Nederland een CO₂-gehalte van 400 tot 500 ppm.

Klasse-indeling voor binnenluchtkwaliteit van woningen volgens de Europese norm EN 15251:2007-Annex B (het gaat hierbij om richtlijnen).

Afb. B.1-5 Klasse-indeling voor binnenluchtkwaliteit van woningen

Klasse	Toepassing	ppm CO ₂ boven buitenluchtconcentratie
I Hoge kwaliteit	Aanbevolen voor ouderen, kleine kinderen, zieken	350
II Normale kwaliteit	Algemene aanbeveling voor verblijfsruimten in woningen	500
III Matige kwaliteit	Toelaatbaar in bestaande woningen	800
IV Slechte kwaliteit	Toelaatbaar in beperkt deel van het jaar	> 800

1.2 Transmissie

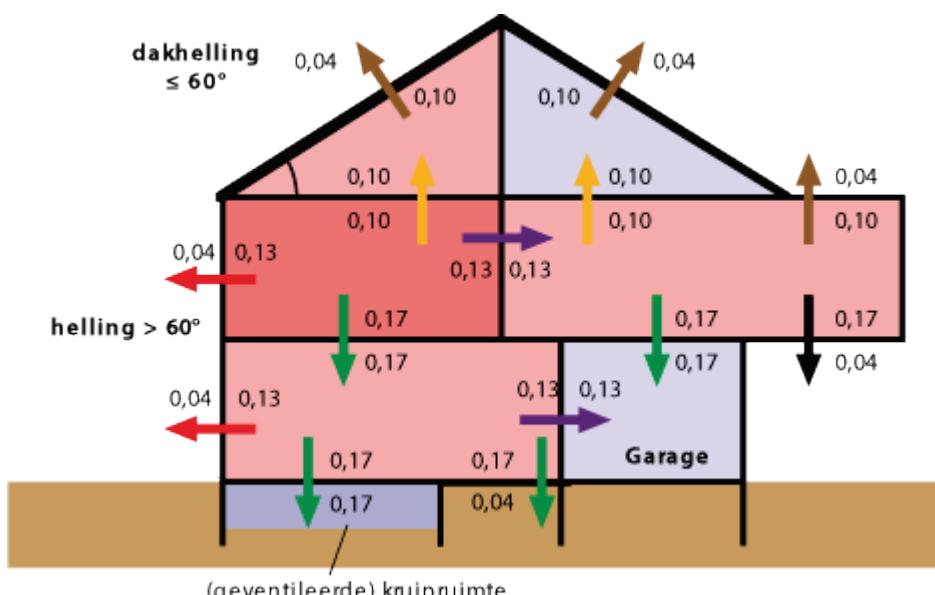
De belangrijkste begrippen bij transmissie:

- Warmteweerstand (R-waarde in m²·K/W);
- Warmtedoorgangscoëfficiënt (U-waarde in W/(m²·K));
- (Lineaire en puntvormige) thermische brug (ook wel 'koudebrug'), lineaire warmtedoorgangscoëfficiënt (psi-waarde (Ψ) in W/(m·K));
- Temperatuurfactor (f-factor).

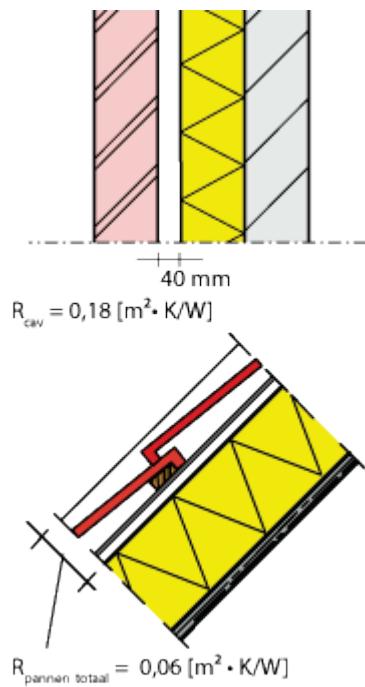
Warmteweerstand (R-waarde)

- Naam: warmteweerstand of R-waarde;
- Eenheid: m²·K/W;

- Formule: d/λ , waarin
 d = dikte in m;
 λ = warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal in W/mK. Hoe lager de λ -waarde, hoe hoger het warmte-isolerend vermogen. Let op het verschil tussen λ_{reken} en λ_D (zie bijlage 3);
- Hoe hoger de R-waarde van een constructie, hoe minder warmte door die constructie verloren gaat;
- Er wordt onderscheid gemaakt tussen diverse typen R-waarden:
 - R_c : warmteweerstand van een constructie. Als deze is samengesteld uit meerdere lagen, dan worden de warmteweerstanden van de diverse lagen bij elkaar opgeteld; in een aantal gevallen wordt hierbij een correctiefactor (of 'toeslagfactor' volgens NTA 8800 [30]) toegepast. Dat is het geval bij onbedoelde convectie (bijvoorbeeld bij slordig aangebracht isolatiemateriaal in spouwconstructie), bij puntvormige bevestigingshulpmiddelen (ankers), bij regenwater tussen isolatie en dakbedekking (omgekeerd dak) en bouwkwaliteit (prefabricage);
 - R_m : warmteweerstand van iedere laag waaruit een constructie is opgebouwd. Soms hebben ze een specifieke naam zoals R_{cav} (voorheen R_{spouw}) voor een luchtlag zoals in een spouwmuur;
 - R_{si} en R_{se} : warmteovergangsweerstand aan het binnen- respectievelijk buitenoppervlak van een constructie, zie afbeelding B.5. Zie NTA 8800 [30] voor de exacte omschrijvingen;
- NTA 8800 geeft voor enkele constructiedelen vaste waarden:
 - Voor een spouw van minimaal 20 mm in een spouwmuur (= een 'niet-geventileerde' luchtlag, ook bij open voegen) bedraagt de R_{cav} -waarde $0,18 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ (tabel C.3, met reflecterende folie 0,57). Voor zwak geventileerde luchtlagen bedraagt R_{cav} 0,16;
 - Voor enkele afwerkconstructies, zoals een dakbedekking van pannen inclusief luchtlag (afbeelding B.7) tussen pannen en dak(isolatie)elementen, mag gerekend worden met een R_c -waarde van $0,06 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Zie NTA 8800 voor de berekening van de R_c -waarde van constructies met een verschillende opbouw per doorsnede of van constructies met een ingewikkelde vorm zoals een niet vlakke plaat;
- Een gratis hulpmiddel voor het berekenen van de warmteweerstand: de SBRCURnet '[Rekentool Warmteweering](#)'. Gebruik voor definitieve berekeningen altijd officiële gegevens (met certificaat) van de desbetreffende fabrikant.



Afb. B.1-6 Warmte-overgangsweerstanden (= warmteweerstand) van de diverse luchtlagen grenzend aan een constructie. De waarden van R_{si} en R_{se} zijn sterk afhankelijk van de luchtsnelheid nabij de constructie; over het algemeen worden de in de afbeelding aangegeven vaste waarden gehanteerd. R in $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. (Bron NTA 8800) [30]



Afb. B.1-7 Warmteweerstand voor veel voorkomende luchtlagen in een spouwmuur en in een hellend dak met dakpannen, volgens NTA 8800 [30]. Bij toepassing van een reflecterende folie op de isolatie aan de spouzwijde bedraagt de R_{cav} 0,57 i.p.v. 0,18. Let op dat het effect van de folie niet dubbel geteld wordt: èn bij het isolatiemateriaal (inclusief folie) èn bij de spouw

Warmtedoorgangscoëfficiënt (U-waarde):

- Naam: warmtedoorgangscoëfficiënt (van een scheidingsconstructie); vroeger aangeduid met k-waarde;
- Eenheid: $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$;
- Formule: $1/(R_{si} + R_c + R_{se})$ Zie voor de toelichting op de R-waarden hierboven;
- Veel gebruikte begrippen zijn:
 - U_{raam} of U_w (de w van window): de U-waarde van kozijn + glas of kozijn + deur;
 - U_{kozijn} : de U-waarde van het kozijn zelf, ook aangeduid met U_{frame} , afgekort U_f of U_{fr} .

Een Thermische brug (lineair en puntvormig, NTA 8800 [30])

- thermische brug, ook wel aangeduid met 'koudebrug', is een relatief klein deel (een detail) van de bouwkundige omhulling van een woning (of gebouw) waar de warmtestroom door het detail wijzigt ten opzichte van de aangrenzende vlakken van die omhulling door:
 - Doorbreking van de isolatielaag;
 - Dikteveranderingen;
 - Aansluitingen tussen verschillende scheidingsconstructies (bijv. dak – gevel, rondom kozijnen).
- Thermische bruggen worden gekarakteriseerd door de Ψ -waarde (ψ -waarde) en de f-factor (voor beide zie hierna);
- De nadelige effecten van een thermische brug zijn:
 - Een verhoogde kans op oppervlaktecondensatie;
 - Een plaatselijk (relatief) hoog warmteverlies;
 - Verhoogde temperatuurspanningen (vooral bij zonbestraling), waardoor de levensduur van de constructie mogelijk wordt bekort.

Psi-waarde (Ψ)

- Naam: lineaire warmtedoorgangscoëfficiënt;
- Eenheid: $\text{W/m}^1\cdot\text{K}$;
- Ψ geeft het warmteverlies per m detail. Deze grootheid is van belang om de thermische kwaliteit van een koudebrug aan te geven. Ψ is over het algemeen alleen met specifieke

computerprogramma's te berekenen. In de SBR-referentiedetails Woningbouw [96] en Uitwerkingsinstructie Toolkitconcepten Passiefhuis [63] wordt bij elk detail de Ψ -waarde gegeven. Zo is de Ψ -waarde voor de aansluiting schuindak-kopgevel 0,028 W/(m²·K) uitgaande van zeer goed geïsoleerde constructie. In [63] wordt voor passiefhuizen geadviseerd om de Ψ -waarden voor alle aansluitingen kleiner dan 0,01 W/(m·K) te maken;

- De invloed van lineaire koudebruggen op de energieprestatie kan forfaitair worden meegenomen door middel van een automatische toeslag op de U-waarde of door middel van de uitgebreide methode. Hierbij wordt per koudebrug de lengte (binnenafmeting) en de Ψ -waarde in rekening gebracht.

f-factor

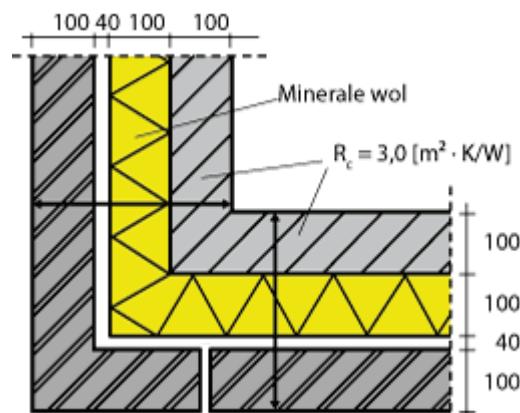
- Naam: binnenoppervlaktetemperatuurfactor of temperatuurfactor;
- Kengetal voor de gevoeligheid voor oppervlaktecondensatie: wanneer een constructie bijvoorbeeld een ernstige koudebrug heeft, is de f-factor laag;
- Eenheid: -
- Formule: $f = (T_{s,i} - T_e)/(T_i - T_e)$, waarin

T_i = binnentemperatuur [°C]

$T_{s,i}$ = oppervlaktetemperatuur binnenzijde constructie [°C]

T_e = buitentemperatuur [°C]

Het Bouwbesluit eist een f-factor van 0,65 of hoger voor uitwendige scheidingsconstructies, inclusief vloeren boven een kruipruimte, van een verblijfsgebied, toilet- of badruimte. De eis geldt niet voor een kozijn, raam of deur. In [96] staan bij details en soms bij combinatie van details f-factoren vermeld.



Afb. B.1-8 De f-factor van dit knooppunt bedraagt 0,79

1.3 Ventilatie en luchtdoorlatendheid

De belangrijkste begrippen bij ventilatie en luchtdoorlatendheid (in de praktijk vaak aangeduid met luchtdichtheid) zijn:

- Ventilatievoud;
- q_{v10} , $q_{v10,spec}$ en $q_{ve,inf}$ - waarde;
- C- en c-waarde;
- Luchtdichtheidsklasse 1, 2 (en 3).

Het Bouwbesluit 2012 (versie 03/11/2018) (artikel 5.4 Luchtvolumestroom) stelt als eis aan de maximale luchtvolumestroom (bepaald volgens NEN 2686 [100]): $q_{v10} \leq 200 \text{ dm}^3/\text{s}$ (oftewel 0,2 m³/s); deze waarde geldt per 500 m³ woninginhoud. Deze eis dient als 'vangnet' want in de nieuwbouw is een betere luchtdichtheid zeer gewenst.

Ventilatievoud

- Het ventilatievoud geeft aan: het aantal malen dat de totale inhoud van een ruimte per uur volledig wordt ververst. Het begrip wordt in de woningbouw niet zo veel gebruikt, dit i.t.t. de

utiliteitsbouw. Ter indicatie: De minimumvereisten voor ventilatie uit het Bouwbesluit komt globaal overeen met een ventilatievoud van 0,5;

- Eenheid: -

q_{v10} -waarde

- De q_{v10} -waarde geeft de luchtlekkage aan van een woning bij 10 Pascal over- of onderdruk (in de woning), met afgeplakte toe- en afvoeropeningen van ventilatiekanalen en rookgasafvoerkanalen;
- Eenheid: dm^3/s ;
- De q_{v10} -waarde kan berekend worden met behulp van een rekenmodel (zie hierna) dat is opgenomen in de SBR-Referentiedetails Woningbouw (zie www.sbr.nl voor de verkrijgbaarheid van de digitale uitgaven van deze details). De berekening gaat voor de luchtdichtheid van een woning uit van de in dezelfde uitgave opgenomen standaard details;
- In de publicatie Luchtdicht bouwen [99] wordt aan de hand van foto's en tekeningen een groot aantal details behandeld. Er worden aanwijzingen gegeven op welke wijze details moeten worden uitgevoerd om in de praktijk een bepaalde luchtdichtheid te halen. Met een 'opblaasproef' kan achteraf, dus na de bouw, de gerealiseerde q_{v10} -waarde gemeten worden. NEN 2686 [100] geeft een meetmethode hiervoor.

$q_{v10,\text{spec}}$ (specifieke infiltratie)-waarde

- De $q_{v10,\text{spec}}$ -waarde geeft volgens NTA 8800 [30] de luchtdichtheid aan per m^2 gebruiksoppervlakte van de woning, de q_{v10} -waarde geeft (zoals hiervoor omschreven) de luchtdichtheid van de gehele woning en is (dus) gekoppeld aan de netto-inhoud van de woning. In NTA 8088 wordt uitgebreid ingegaan op het berekenen van $q_{v10,\text{spec}}$. Belangrijke variabelen zijn het bouwjaar (van belang voor bestaande bouw), woningtype en bouwaard (steenachtig, houtskeletbouw of orig). Wanneer een woning onder een kwaliteitsborgingsprocedure wordt gebouwd waarbij ook de $q_{v10,\text{spec}}$ is vastgelegd, mag die waarde worden aangehouden. De forfaitaire waarde van $q_{v10,\text{spec}}$ kan volgens de formules in NTA 8088 variëren van circa 0,4 tot 1,6 $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$. De veel gebruikte eis van $0,15 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ voor de luchtdichtheid van passiehuizen is dus aanzienlijk zwaarder! Een opblaasproef ('blowerdoor-test') zal kunnen aantonen of een passiehuis inderdaad aan die eis voldoet. De gemeten waarde van zo'n test = $q_{v10,\text{spec}} \times$ het vloeroppervlak. In de praktijk wordt 'spec' (ofwel 'specifiek') vaak weggelaten, hetgeen dus verwarring kan geven met de andere qv-waarden, let dus goed op de eenheid);
- Eenheid: $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$

$q_{v,\text{eff;lea}}$ (effectieve volumestroom door infiltratie)

- De $q_{v,\text{eff;lea}}$ geeft de toevoerluchtvolumestroom door infiltratie. In NTA 8800 [30] wordt uitgebreid ingegaan op het berekenen van $q_{v,\text{eff;lea}}$. Belangrijke variabelen zijn $q_{v10,\text{spec}}$, gebouwhoogte (winddruk), woningtype, ventilatiesysteem en gebruiksoppervlak. De $q_{v10,\text{lea;ref}}$ wordt mede gebruikt om de BENG 2 indicator (volgens NTA 8800) [30] te berekenen;
- Eenheid: $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$

C- en c-waarde en het rekenmodel voor luchtdoorlatendheid

- Het rekenmodel om de q_{v10} -waarde te berekenen, is gebaseerd op de relatie tussen de luchtdoorlatendheid van een woning en de bouwkundige aansluitdetails. Hoe meer stekkende meters naden en kieren, hoe meer lucht de woning in- en uitstroomt. Voor de meest gangbare aansluitdetails is de zogenoemde c-waarde bepaald. Deze is afhankelijk van de luchtdichtheidsklasse die gekozen is;
- Eenheid: $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}$;
- Door de lengte van alle aansluitingen op te meten en te vermenigvuldigen met de betreffende c-waarde en deze op te tellen, verkrijgt men de totale luchtdoorlatendheidscoëfficiënt, de C-waarde. Vult men vervolgens deze C-waarde in een bepaalde formule in, dan krijgt men de q_{v10} -waarde. Zie verder de uitgaven Luchtdicht bouwen [99] en SBR-Referentiedetails [96];

- Eenheid C-waarde: dm^3/s bij 1 Pascal (let op: omrekenen naar q_{v10} -waarde moet met een formule gebeuren, en kan niet met $\times 10$).

Afb. B.1-9 Maximale en minimale luchtdichtheidseisen volgens NEN 2687:1989 [101]. Voor passiewoningen is een klasse 3 in het leven geroepen [63], maar die staat niet in deze NEN

Ventilatiesysteem	Woningvolume	$q_{v10} [\text{dm}^3/\text{s}]$	
		min.	max.
Klasse 1*	≤ 250	30	100
	$> 250 \text{ en } \leq 500$	50	150
	> 500	50	200
Klasse 2**	≤ 250	-	50
	> 250	-	80
Klasse 3 (passiefhuizen)	≤ 250	5	15
	> 250	10	30

* Klasse 1: Natuurlijke toevoer van ventilatielucht (systeem A en C).
** Klasse 2: Mechanische toevoer van ventilatielucht (systeem B of D)

Luchtdichtheidsklasse 1, 2 (en 3) volgens NEN 2687

In NEN 2687:1989 [101] wordt onderscheid gemaakt tussen twee luchtdichtheidsklassen (afbeelding B1-9):

- Klasse 1: 'normale' luchtdichtheid, te verkrijgen met standaard details;
- Klasse 2: extra luchtdicht, te verkrijgen door aangepaste details en extra zorg aan de uitvoering.

In de uitgave 'Luchtdicht bouwen' [99] worden voor de gangbare details aanwijzingen gegeven hoe deze in de bouwpraktijk kunnen voldoen aan klasse 1 of 2. Voor passiefhuizen is een extra klasse in het leven geroepen: Klasse 3. Deze klasse wordt in 'Uitwerkingsinstructie Toolkitconcepten Passiefhuis' [63] voorgesteld en staat dus niet in NEN 2687. De zeer goede luchtdichtheid moet gerealiseerd worden door een zeer zorgvuldige detaillering en uitvoering die beide in [236] worden toegelicht.

NEN 2687

NEN 2687:1989 [101], Luchtdoorlatendheid van woningen – Eisen, houdt rekening met de verschillende ventilatiesystemen. Met name bij een gebalanceerd ventilatiesysteem moet de woning goed luchtdicht zijn. Bij natuurlijke toevoer wordt ook een minimale luchtdichtheid gevraagd! De woning mag dus niet te goed luchtdicht zijn, dit om te voorkomen dat er te weinig toevoer is van verse buitenlucht als bewoners alle toevoer-openingen dicht zouden doen.

1.4 Zon- lichttoetreding

g-factor

- Naam: zontoetredingsfactor of g-factor van een raam (of beglazings-)systeem;
- De g-factor geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zonnestraling (zowel directe als diffuse straling). Hoe hoger de g-factor, hoe meer zontoetreding;
- Eenheid: -

In paragraaf 5.2 zijn de g-factoren voor verschillende soorten beglazing vermeld. Het gaat hierbij om globale rekenwaarden.

TL-factor (voorheen LTA-waarde)

- Naam: lichttoetredingsfactor of TL-factor van een raam- (of beglazings-) systeem. De TL-factor geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zichtbare zonnestraling. Hoe hoger de TL-factor, hoe meer lichttoetreding;
- Eenheid: -

In paragraaf 5.2 zijn de TL-factoren voor verschillende soorten glas vermeld. Het gaat hierbij om globale waarden.

1.5 Vocht

Lucht bevat altijd een hoeveelheid vocht in de vorm van waterdamp. Hoe hoger de temperatuur is, hoe meer waterdamp de lucht kán bevatten.

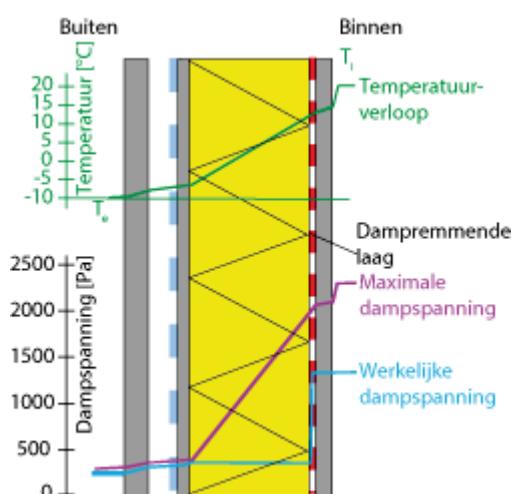
Het absolute vochtgehalte is de hoeveelheid waterdamp per m^3 lucht. De relatieve vochtigheid is de hoeveelheid waterdamp in de lucht, uitgedrukt als percentage van de maximale hoeveelheid waterdamp die de lucht bij de heersende temperatuur kan bevatten. De dauwpunttemperatuur is de temperatuur die afkoelende lucht heeft op het moment dat daarin condensatie begint op te treden.

Zodra de temperatuur van een constructie beneden de dauwpunttemperatuur komt, treedt condensatie op. Deze condensatie kan plaatsvinden op een koud vlak, zoals een raam of op een koudebrug. Er is dan sprake van oppervlaktecondensatie.

We spreken van inwendige condensatie wanneer condensatie in een constructie optreedt. Dit gebeurt wanneer er een damptransport plaatsvindt van binnen naar buiten en deze dampstroom binnen de constructie in aanraking komt met een vlak waarvan de temperatuur lager is dan de voor de dampstroom geldende dauwpunttemperatuur. Inwendige condensatie is te voorkomen door bijvoorbeeld het aanbrengen van een goed uitgevoerde dampremmende laag aan de woningzijde (dus de warme zijde) van een gevel-, dak- of vloerconstructie. Zie ook paragraaf 5.1.2 en 5.1.3.

De mate van dampdichtheid van een dampremmende laag wordt uitgedrukt in de S_d -waarde (eenheid in meter). Ter indicatie:

- Een dampremmende folie heeft een S_d -waarde van tenminste zo'n 10 m; maar deze waarde kan ook wel > 150 m bedragen voor zeer dampremmende lagen zoals bijv. nodig is onder een epdm-dakbedekking;
- Een dampopen folie heeft een S_d -waarde van ca. 0,02 m of kleiner.



Afb. B.1-10 Een constructie moet van binnen naar buiten altijd een afnemende dampdichtheid hebben, anders kunnen er condensatieproblemen ontstaan. Een dampremmende laag moet daarom altijd aan de binnenzijde (woningzijde) van een constructie aangebracht worden, zoals in deze houtskeletbouw-constructie.

Bijlage 2 Energie-eenheden

De opwekking van elektriciteit met behulp van bijvoorbeeld aardgas, kolen of olie (dit zijn vormen van zogenoemde fossiele energie of fossiele brandstoffen) vindt in een elektriciteitscentrale plaats met een relatief laag rendement. Tijdens het transport van de elektriciteit van de centrale naar de gebruiker treden eveneens verliezen op. Totaal levert dit een rendement op van 69% op bovenwaarde (bron: NTA 8800 [30]). Bron van diverse van onderstaande omrekenfactoren: 'Cijfers en tabellen 2007' en NTA 8800. In 2017 bedroeg het rendement van de totale landelijke elektriciteitproductie op bovenwaarde (inclusief duurzame opwekking) net iets boven de 50% (bron: CBS, 21-2-2019). NTA 8800 loopt dus nog ver voor op de huidige efficiëntie.

Afb. B.2-1 Omrekenfactoren

Eenheid	Rekenwaarde	Eenheid
1 kWh elektriciteit	5,22	MJ primaire energie (op bovenwaarde)
1 kWh elektriciteit	0,10	m^3 a.e.
1 kWh	3,6	MJ
1 m^3 a.e.	9,8	kWh (thermisch op bovenwaarde)
1 m^3 aardgas	35,17	MJ (op bovenwaarde)
1 MJ (op bovenwaarde)	0,028	m^3 aardgas
1 kg H ₂	4	m^3 a.e.
1 kg droog hout	0,48	m^3 a.e.
1 m^3 aardgasbesparing	1,780	kg CO ₂ besparing
1 kWh elektriciteitsbesparing levert op:	0,34	kg CO ₂ besparing
1 GJ (gigajoule)	10 ³	MJ
1 TJ (terajoule)	10 ⁶	MJ
1 PJ (petajoule)	10 ⁹	MJ
1 EJ (exajoule)	10 ¹²	MJ
10 ⁶ ton ruwe olie	41,9	PJ
10 ⁶ ton steenkool	29,3	PJ
10 ⁶ barrel *	5,7	PJ
1 BTU (Britisch thermal unit)	1054,6	J

* De eenheid barrel is eigenlijk een volume-eenheid en komt overeen met 159 liter. In met name Angelsaksische landen, en daardoor ook in veel internationale organen, wordt de eenheid ook als energie-eenheid gebruikt. Bron: Poly-energie zakboekje; PBNA te Arnhem)

- m^3 a.e. = m^3 aardgasequivalenten;
- Primaire energie (zie uitleg primaire energie hieronder) wordt vaak uitgedrukt in m^3 a.e., ook wel in kWh (let op het verschil tussen kWh en kWh elektrisch!)

Primaire energie:

Mede om de gas- (m^3 gas) en elektriciteitsverbruiken (kWh elektrisch) onderling te kunnen vergelijken, worden energieverbruiken omgerekend naar 'primair energieverbruik'.

Het gaat bij primaire energie om de energieinhoud van energiedragers (zoals aardgas) uitgedrukt in m^3 a.e. (aardgasequivalenten), in MJ (megajoule) of in kWh.

Primaire energie in energieprestatieberekeningen omvat naast fossiele energiebronnen ook duurzame energiebronnen zoals zonne-energie (als aftrekpost).

Het gasverbruik is al gelijk aan primair energieverbruik. Aan het elektriciteitsverbruik worden het leidingverlies en het rendementsverlies van de elektriciteitscentrale toegevoegd.

Bijlage 3 Soortelijke massa en λ -waarde van bouwmaterialen

Bij λ -waarden (lambda-waarden) wordt onderscheid gemaakt tussen de λ_D -waarde en λ_{reken} -waarde. De eerste, λ_D , betreft de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal 'in het laboratorium bepaald' (de D staat voor Declared) en de tweede waarde, λ_{reken} , de waarde waarmee gerekend mag worden. De rekenwaarde is voor isolatiematerialen in de meeste gevallen gelijk aan de λ_D -waarde, maar voor enkele materialen en toepassingen moet de waarde gecorrigeerd worden voor vochtopname, veroudering (in ruime zin) en temperatuur. Hiervoor zijn enkele correctiefactoren in gebruik, zie NTA 8800 [30]. Een voorbeeld is de factor van 1,05 die gebruikt wordt voor het in het werk 'los' aanbrengen van bijv. minerale wolvlokken, in nieuwbouwconstructies die speciaal ontworpen zijn voor in het werk isoleren. Bij metselwerk moet men ook rekening houden met de voegen. In NTA 8800 zijn daarvoor tabellen opgenomen voor de λ -waarden inclusief voegen.

De bijgaande λ_{reken} -waarden (lambda-reken-waarden) zijn indicatief. Gebruik daarom voor definitieve berekeningen altijd officiële gegevens (met certificaat) van de desbetreffende fabrikant.

Wanneer voor de soortelijke massa en de λ -waarde twee waarden zijn gegeven, kan de λ -waarde voor een tussenliggende waarde van de soortelijke massa lineair worden geïnterpoleerd.

Diverse leveranciers van isolatiematerialen hebben op hun sites [246] veel nuttige en toegankelijke informatie vermeld over het rekenen met λ -waarden t.b.v. het bepalen van R_c -waarden. Ook zijn soms rekenmodellen te downloaden. Bijgaande tabel geeft een overzicht van de soortelijke massa en λ -waarde (rekenwaarde) van gangbare bouwmaterialen (afbeelding B.3-1). Alle waarden zijn indicatief en zijn afkomstig uit NTA 8800 en uit gegevens van fabrikanten.

Afb. B.3-1 λ -waarde van gangbare bouwmaterialen

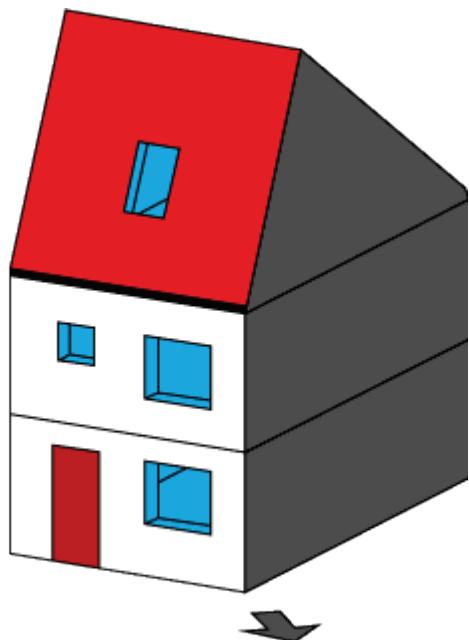
Materiaal	Soortelijke massa [kg/m ³]	λ_{reken} [W/m·K]	
		Droog binnen milieu	Overig
Beton			
Normaal gewapend grindbeton	2300	1,83	2,06
Lichtbeton	1900	1,28	1,44
	1600	1,03	1,16
	800	0,23	0,25
Cellenbeton	600	0,17	0,19
	400	0,12	0,13
Metselstenen			
Gevelklinkers, hardgrauw	1900	0,90	1,21
Rood/boerengrauw	1500	0,64	0,87
Kalkzandsteen	1750	1,14	1,52
Porisosteen	1350	0,57	0,76
Pleisterlagen			
Cementpleister	1900	1,0	
Kalkpleister	1600	0,70	
Gipspleister	1300	0,50	
Isoleerend pleister (bijv. met ps-bolletjes of geëxp. kleikorrels)		0,08 - 0,11	
Hout- en plaatproducten			
Hardhout	800	0,21*	
Naaldhout	550	0,13*	
Multiplex	700	0,17	
Hardboard	1000	0,30	
Zachtboard	250 - 300	0,10	
Houtwolcementplaat	350 - 700	0,10 - 0,23	

Houtwolmagnesietplaat	400 - 700	0,14 - 0,23	
Rietvezelplaat	250 -350	0,08 - 0,09	
Isolatiematerialen**			
<i>Kunststofschuimen</i>			
Geëxpandeerd polystyreen (EPS)	15	0,04	
Geëxpandeerd polystyreen (EPS)	20 - 25	0,030 - 0,035	
EPS met natuurlijke grondstoffen	35	0,034	
Geëxtrudeerd polystyreen (XPS)	30 - 40	0,027	
Geëxtr. Polystyreen (XPS)(CO ₂ geblazen)	25 - 45	0,025 - 0,036	
Polyurethaan (PUR)(H) CFK-vrij	30 - 35	0,023 - 0,029	
Polyurethaan (PUR) ter plaatse gespoten	30 - 35	0,035	
Polyisocyanaat (PIR)	30 - 35	0,026	
Resol met HCK	35	0,021 - 0,025	
<i>Anorganische materialen</i>			
Minerale wol (glas- en steenwol)	> 35	0,030 - 0,040	
Geëxpandeerde kleikorrels (cement gebonden)	600 - 1200	0,10 - 0,20	
Perliet (los gestort)	100 - 120	0,045 - 0,055	
Vermiculite	70 - 100	0,05 - 0,06	
<i>Organische materialen</i>			
Geëxpandeerde kurk	100 - 200	0,041 - 0,046	
Stroleem	300 - 1600	0,1 - 0,7	
Cellulose	30 - 60	0,038 - 0,04	
Vlaswol	25 - 50	0,035 - 0,04	
Houtwoldeken	55	0,038	
Houtvezel isolatieplaat	140 - 180	0,040 - 0,045	
Houtvezel isolatieplaat	50 - 60	0,036 - 0,038	
Wol van gerecyclede kleding	25	0,039	
Strobaal liggend (stro loodrecht op gevel)	90 - 110	0,06***	
Strobaal op zijn kant (stro evenwijdig aan gevel)	90 - 110	0,045***	
* Loodrecht op vezelrichting.			
** Officieel heten alleen materialen met een λ -waarde $\leq 0,06 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 'isolatiemateriaal'.			
*** Bron: Bouwen met stro; Michel Post e.a., Uitgeverij Aeneas, Boxtel, 2013.			
Een reflecterende folie, grenzend aan een luchtplaat $\geq 20 \text{ mm}$ en niet of zwak geventileerd, aan één zijde van een isolatiemateriaal levert een extra R_c -waarde van $0,39 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$			

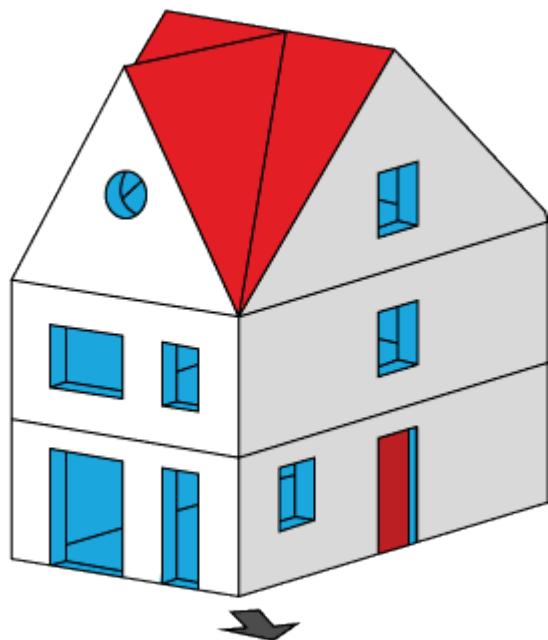
Bijlage 4 BENG referentiewoningen van RVO

In het Energievademecum worden enkele BENG referentiewoningen [247] gebruikt. Deze woningen, met de daarin getroffen energiebesparende maatregelen, vormen een basis van waaruit een ontwerpproces kan starten voor verdergaande energiebesparende maatregelen. Zie paragraaf 3.4 voor het effect van afzonderlijke maatregelen op de BENG indicatoren van de BENG tussenwoning, vrijstaande woning en het woongebouw.

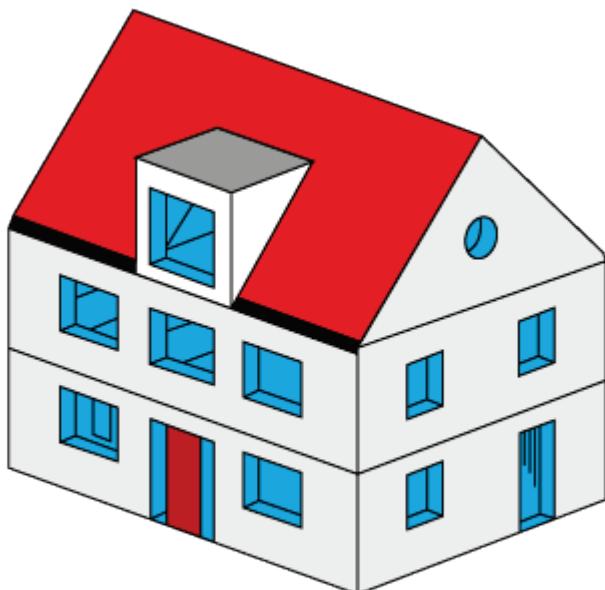
In onderstaande afbeeldingen zijn de 3D-impressies van de verschillende BENG referentiewoningen weergegeven. Deze afbeeldingen zijn ook terug te vinden op de website van RVO.



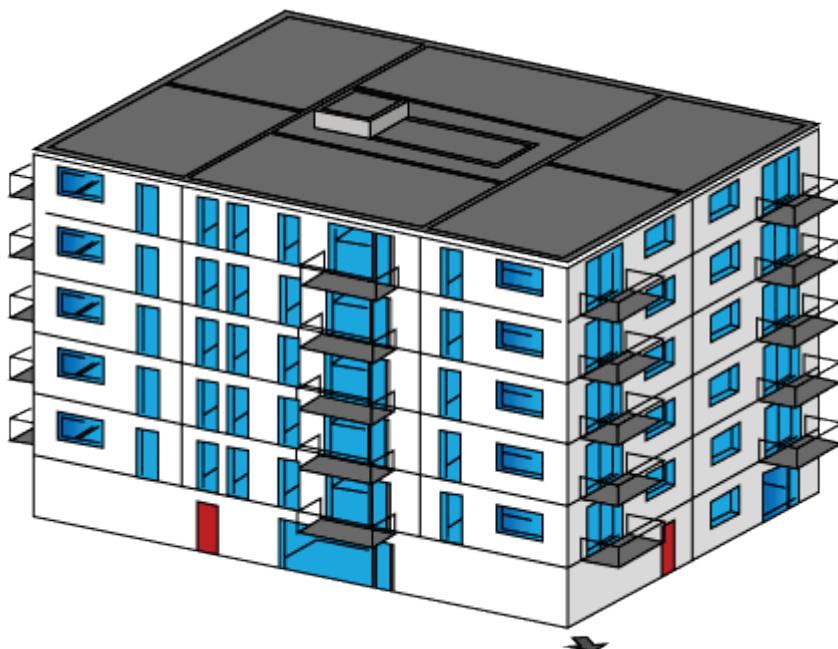
Afb. B.4-1 BENG referentie tussenwoning S



Afb. B.4-2 BENG referentie hoekwoning M



Afb. B.4-3 BENG referentie vrijstaande woning L



Afb. B.4-4 BENG referentie woongebouw (33 woningen)

Bijlage 5 Indicatie energietarieven

Indicatie energietarieven voor kleinverbruikers (o.a. huishoudens) in 2019, inclusief btw en toeslagen (bron o.a. Milieu Centraal). Elk energiebedrijf en netbeheerder hanteert eigen tarieven, daarom zijn deze in dit overzicht genoemde bedragen indicatief.

Indicatie energie tarieven (2019)

	in euro's (€)
aardgas per m ³	0,79
elektriciteit per kWh	Normaal tarief Dagstroom/nachtstroom
	0,23 0,22/0,20

Indicatie vaste bijkomende kosten per jaar (2018/2019) in euro's (€) voor levering en netbeheer

Elektriciteit (leveringskosten)	65
Gas (leveringskosten)	65
Elektriciteit (netbeheer)	250
Gas (netbeheer)	190
Teruggaaf energiebelasting	- 311,62

Warmtelevering

De maximum tarieven voor warmtelevering (blok- en stadsverwarming) wordt jaarlijks vastgesteld door de Autoriteit Consument en Markt (ACM). Voor 2019 zijn de tarieven inclusief btw als volgt:

- Vastrecht inclusief meettarief: € 345,- per jaar (afgerond);
- Per GJ warmte: € 28,47.

Overzicht netbeheerders van elektriciteit en gas en andere nutsbedrijven

Zie [EnergiePortal](#) voor contactgegevens voor elektriciteit en gas. Via [mijnnaansluiting.nl](#) zijn ook de andere nutsbedrijven (water, riool, media, communicatie te vinden per postcodegebied.

Bijlage 6 Informatie energiebesparing bestaande bouw

Deze bijlage bevat een selectie van bronnen die nuttig kunnen zijn bij renovatie of onderhoud van bestaande woningen. De volgorde van onderstaande lijst is willekeurig:

- Toolkit Bestaande Bouw – duurzame woningverbetering - algemeen; BAM Woningbouw, SenterNovem e.a., uitgave: Aeneas te Boxtel, 2008;
- Toolkit Bestaande Bouw – duurzame woningverbetering – rijwoning voor 1946 / 1946-1965/1966-1975; BAM Woningbouw, SenterNovem e.a., uitgave: Aeneas te Boxtel, 2008;
- Toolkit Bestaande Bouw – duurzame woningverbetering – portiekwoning voor 1966 / galerijwoning 1966-1988; BAM Woningbouw, SenterNovem e.a., uitgave: Aeneas te Boxtel, 2008;
- [Subsite Energiebesparing bestaande bouw](#); RVO; o.a. de onderstaande drie items zijn daarop te vinden;
- [Voorbeeldwoningen particuliere woningen en verhuursector](#) op www.rvo.nl;
- [Brochure Voorbeeldwoningen 2011 Bestaande bouw](#); Agentschap NL (thans RVO), 2011;
- [Energiebesparingsverkenner voor woningen](#); RVO;
- www.duurzaamgebouwd.nl; algemene site over duurzaam bouwen;
- www.renda.nl; kennisnetwerk bestaande bouw;
- www.bespaarlokaal.nl; het gemeenteportaal voor energiebesparing, met name in de bestaande bouw.

Energielabel woningen (en utiliteitsbouw)

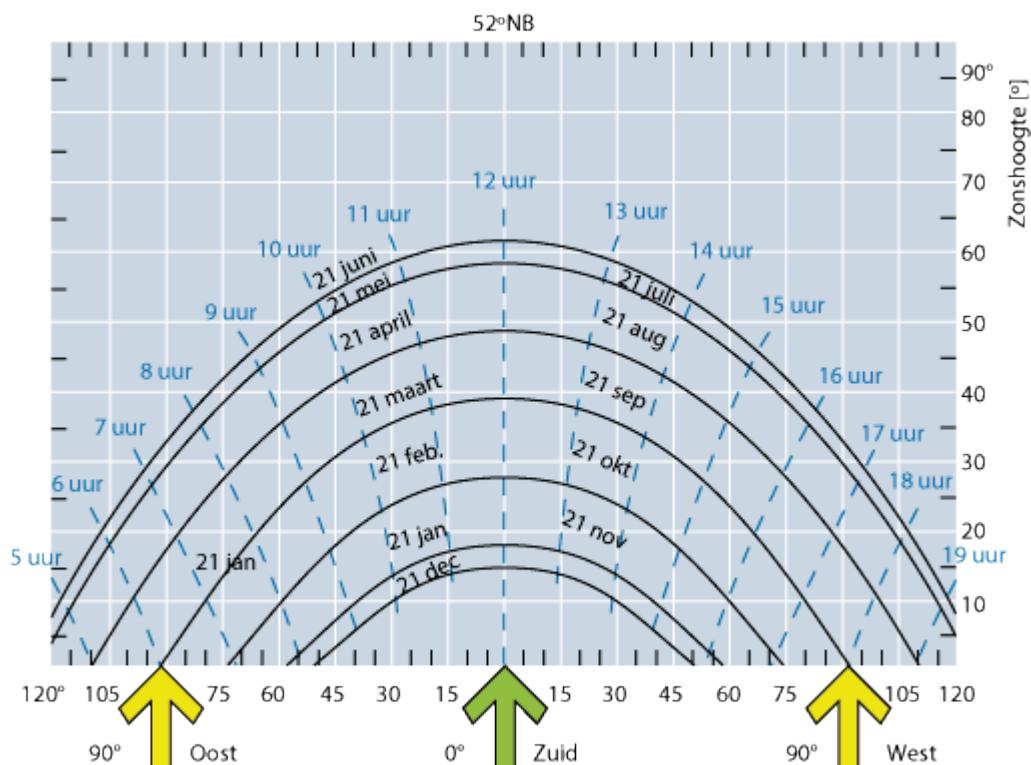
Het energielabel geeft globale informatie over de energetische kwaliteit van een woning of gebouw. Zie [Energielabel woningen en gebouwen](#).

Bijlage 7 Zonnebaan en zonne-instralingsdiagram

Afbeelding B.7-1 geeft de baan van de zon aan de hemel gedurende een dag voor de diverse jaargetijden. De afbeelding geldt voor plaatsen die op 52° Noorderbreedte liggen. In ons land loopt de betreffende breedtecirkel precies over de lijn Arnhem - Delft.

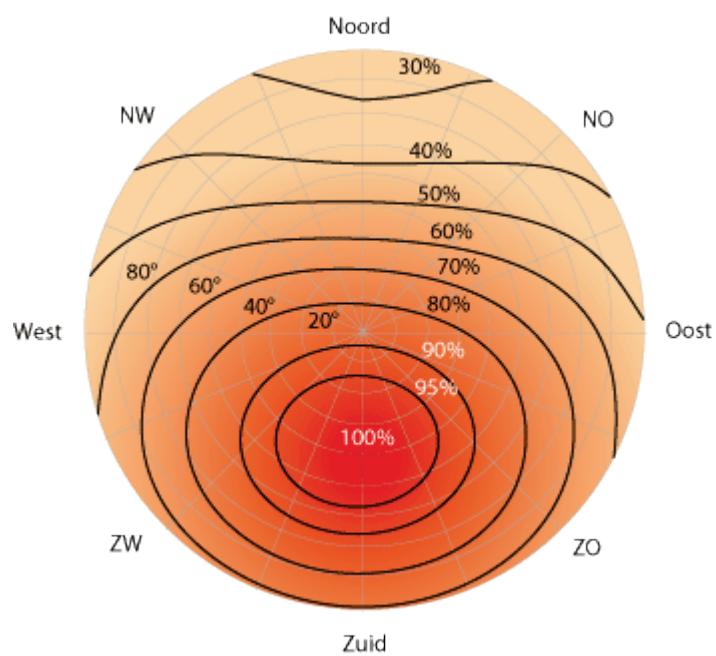
Houd zo nodig rekening met het verschil tussen:

- 'Klok'- en zonnetijd; op de zonnetijd staat de zon om precies 12 uur in het zuiden, deze tijd wijkt echter af van de Midden-Europese tijd die wij aanhouden als 'kloktijd'. Voor plaatsen die liggen op de meridiaan $5^{\circ} 30'$ Oosterlengte (bijv. Zeewolde ligt hier bijna op) staat de zon om circa 12.40 uur wintertijd in het zuiden;
- Zomer- en wintertijd; de zomertijd is één uur later dan de wintertijd. Deze komt overeen met de Midden-Europese tijd die één uur later is dan de West-Europese tijd of de GMT, de Greenwich Mean Time.



Afb. B.7-1 Zonnebaan voor plaatsen op 52° Noorderbreedte

Afbeelding B.7-2 toont de zonne-instralingsdiagram. Deze geeft de gemiddelde jaarlijkse zoninstraling voor verschillende vaste hellingshoeken en oriëntaties, uitgedrukt in percentages van de maximale instraling. Zo is af te lezen dat de instraling op een plat vlak (het middelpunt van de cirkel) ongeveer 85% van de maximale instraling bedraagt. De maximale instraling wordt bereikt onder een hoek van 36° en 5° westelijk van het zuiden.



Afb. B.7-2 Zonne-instralingsdiagram

Literatuurlijst

- [1] Energierapport 2008; Ministerie van Economische Zaken, Den Haag, juni 2008; te downloaden via www.rijksoverheid.nl
- [2] Energierapport 'Transitie naar duurzaam'; Ministerie van Economische Zaken, Den Haag, januari 2016 (www.rijksoverheid.nl)
- [3] Bron: Statistical Review of World Energy - June 2014 en June 2016 voor gegevens van 2014 en 2015; te downloaden via <http://www.bp.com/>; BP Company, London, 2014/2016
- [4] [Effecten van klimaatverandering in Nederland 2012](#); Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 2012
- [5] Dossier 'Klimaatverandering' via www.rijksoverheid.nl
- [6] Mondiale emissie koolstofdioxide door gebruik fossiele brandstoffen en cementproductie per regio, 1990 - 2015, www.pbl.nl
- [7] Earth's natural wealth: an audit; in: NewScientist, Magazine issue 2605, D. Cohen, 23 mei 2007 (www.newscientist.com)
- [8] IEA/World Energy Outlook 2018, www.iea.org/weo
- [9] [Compendium voor de Leefomgeving, diverse grafieken/tabellen](#)
- [10] Verbruik van hernieuwbare energie 1990-2017 www.clo.nl
Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Nederland in 2030 en 2050: twee
- [11] referentiescenario's; Planbureau voor de Leefomgeving en Centraal Planbureau, Den Haag, 2015 (www.wlo2015.nl)
- [12] Energieagenda 'Naar een CO2-arme energievoorziening'; Ministerie van Economische Zaken, Den Haag, december 2016; (www.rijksoverheid.nl)
- [13] De isolatiegolf, overzicht van vijftien jaar energiebesparing in de woningbouw; BOOM, Delft, in opdracht van Novem, augustus 1989
- [14] Energierapport - Transitie naar duurzaam; Ministerie van Economische Zaken, januari 2016 (www.rijksoverheid.nl)
- [15] Een Delta in beweging - Bouwstenen voor een klimaatbestendige ontwikkeling van Nederland, te downloaden via www.pbl.nl; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 2011
- [16] [Dossier Klimaatverandering](#); Planbureau voor de Leefomgeving
- [17] World Energy Resources 2013, te downloaden via www.worldenergy.org; World Energy Council, London, 2013
- [18] Nederland 100% duurzame energie in 2030 – Het kan als je het wilt; M. Minnesma, Urgenda, juni 2017
- [19] [Energie Trends 2014](#); ECN, Energie Nederland en Netbeheer Nederland; 2014
- [20] [Energietrends 2016](#); ECN, Energie Nederland en Netbeheer Nederland; 2016
- [21] [Eurostat Newsrelease 37/2014; maart 2014](#)
- [22] Energie in Nederland 2011; uitgave Energie-Nederland en Netbeheer Nederland, 2011
- [23] Gas op maat. De propositie van de Nederlandse gassector voor een klimaatneutrale energievoorziening; www.kvgn.nl 2016
- [24] Infoblad 285 'Thermisch isolerende eigenschappen van reflecterende isolatiefolie'; SBRCURnet
- [25] [NMP4 \(Nationale Milieubeleidsplan 4\)](#) – Een wereld en een wil – werken aan duurzaamheid; Ministerie van VROM, Den Haag, 2001
- [26] Bouwbesluit 2012 met aanvullingen t/m 2015, te downloaden via www.wetten.overheid.nl of via bijvoorbeeld www.onlinebouwbesluit.nl
- [27] www.rvo.nl, zie bij Duurzaam ondernemen; de site geeft veel praktische informatie over energie en beleid
- [28] www.rvo.nl, zie bij Energieprestatie nieuwbouw; de site geeft veel praktische informatie over de energieprestatienorm (EPG)
- [29] Nieuwsbericht 10-12-2012 Rijksoverheid: [Kyoto Protocol verlengd](#)
- [30] NTA 8800: 2019, Energieprestatie van gebouwen, bepalingsmethode [NEN 8088-1 + C1:2012/C2:2014](#); Ventilatie en luchtdoorlatendheid van gebouwen – Bepalingsmethode voor de toevoerluchttemperatuur gecorrigeerde ventilatie- en infiltratieluchtvolumestromen voor energieprestatieberekeningen – Deel 1: Rekenmethode; NEN, 2014

- [32] Lente-akkoord – Energiebesparing in de nieuwbouw; akkoord tussen diverse partijen, ondertekend op 22 april 2008, met herijking op 28 juni 2012; Den Haag; zie www.lente-akkoord.nl
Meer met minder; Aedes, EnergieNed, Platform Energietransitie Gebouwde Omgeving (PeGO), juni
- [33] 2007; Meer Met Minder – Convenant energiebesparing bestaande woningen en gebouwen, 28 juni 2012
- [34] [Convenant Energiebesparing Huursector](#); 28 juni 2012
- [35] [Heldergruen gas](#); W.Wiskerke, Stichting Natuur & Milieu, Utrecht, 2011
- [36] [Handboek Duurzaamheidscertificatie van vaste biomassa voor energiedoeleinden - uitgebreide samenvatting](#); Brinkmann Consultants, in opdracht van Agentschap NL, 2013
- [37] www.rijksoverheid.nl/kernenergie
- [38] Toekomstagenda Milieu: schoon, slim, sterk; VROM, april 2006
- [39] [Energieakkoord voor duurzame groei](#); Sociaal Economische Raad (SER), Den Haag, september 2013
- [40] Groene Groei: voor een sterke, duurzame economie; Minister van Economische Zaken H. Kamp e.a., 28 maart 2013
- [41] [Brief 7/02/2014 van minister Blok aan Tweede Kamer](#)
- [42] Aanscherpingsstudie EPC woningbouw en utiliteitsbouw 2015 - Eindrapportage; W/E adviseurs en Arcadis, in opdracht van Agentschap NL, 2013
- [43] [Nationaal Plan voor het bevorderen van bijna-energieneutrale gebouwen in Nederland](#); Ministerie van BZK, september 2012
- [44] [KopStaart aanpak - Voor een gezonde kwaliteitsslag in de energiezuinige nieuwbouw van woningen \(brochure\)](#); Claudia Bouwens, Lente-akkoord, 2010
- [45] [Een klimaatneutrale warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving - update 2016](#); CE Delft, www.ce.nl, september 2016
- [46] [Kamerbrief 'Voortgang energiebesparing gebouwde omgeving'](#); Minister van Wonen en Rijksdienst, 2 juli 2015
- [47] [NVN 7125:2015 Ontw](#) – Energieprestatienorm voor Maatregelen op Gebiedsniveau (EMG); NEN, 2015 Onderzoek handvatten voor zeer energiezuinige nieuwbouw - BENG; samenvatting; www.lente-akkoord.nl
- [48] [Nieman Raadgevende Ingenieurs en DGMR Bouw](#), in opdracht van Lente-akkoord, juni 2016
- [49] [Uniforme Maatlat voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw](#); uitgave Nationaal Expertisecentrum Warmte van RVO, 2014
- [50] Bron: prof. C.A.J. Duijvestein, SOM, faculteit Bouwkunde, TU Delft
- [51] [Themablad Innovatieve Installatieconcepten](#); Agentschap NL, juli 2012
- [52] Cradle to Cradle en de Nieuwe Stappenstrategie – nieuw elan voor de duurzame bouw; A. van den Doppelsteen e.a., TU Delft, in Handboek Duurzaam Bouwen hoofdstuk 1.2, WEKA uitgeverij
- [53] [Begrippenlijst gebouwen](#); RVO, 2015
- [54] [Onderzoek naar de kwaliteit van ventilatiesystemen in nieuwbouw eengezinswoningen](#); BBA Binnenmilieu, in opdracht van ministerie van VROM, februari 2011.
- [55] [Ventilatiesystemen voor nieuwbouwwoningen](#) - inventariserend onderzoek; MoBiust Consult, in opdracht van Agentschap NL, juni 2012.
- [56] Stevige ambities, klare taal!; WE-adviseurs, in opdracht van Platform energietransitie Gebouwde Omgeving, oktober 2009
- [57] [Uitgerekend nul Rekenmethode](#); DHV, in opdracht van Agentschap NL, 2010
- [58] Passiefhuistechnologie in Nederland, 3e uitgave, november 2008; Stichting Passiefhuis Holland te Sliedrecht
- [59] www.passiefbouwen.nl; Stichting Passief Bouwen te Eindhoven
- [60] www.passiv.de; Passivhaus Institut te Darmstadt (D)
- [61] PHPP, PassivHaus Projektierungs-Paket; Passivhaus Institut te Darmstadt (D), www.passiv.de
- [62] www.pixii.be: Kennisplatform Energieneutraal Bouwen te Borgerhout
- [63] Praktijkboek Passiefhuis; SBR, 2015
- [64] 'Tegen de hitte - Groen en de opwarming van de stad' Michiel Brink e.a., Royal haskoningDHV, uitgave Gemeente Tilburg, Gemeente Sittard-Geleen, 2013
- [65] Consumentenonderzoek Lente-akkoord; dr. Laure Itard e.a., OTB - TU Delft te Delft, in opdracht van NVB, Voorburg, september 2009; te downloaden via www.lente-akkoord.nl
- [66] [KopStaart Praktijkboek](#); Christine Algera e.a., in opdracht van Lente-akkoord en Agentschap NL; in

- gedrukte vorm: Aeneas uitgeverij te Boxtel
- [67] [Energiezuinige woningen ontwikkelen: de beste basis](#); H. Bouwmeester en R. Cloquet, in opdracht van Lente-akkoord, 2011
- [68] [Infoblad Energieneutraal bouwen: definitie & ambitie](#); RVO, 2013
- [69] [Infoblad Energieneutrale woningbouw](#); RVO, 2013
- [70] [Infoblad Energie-eisen en woonwensen](#); RVO, 2012
- [71] [Huis vol energie - inspiratie voor energieneutraal wonen](#); I. Opstelten en M. Bakx, in opdracht van SEV Energiesprong, 2011
- [72] [Lokaal Energie- en Klimaatbeleid](#)
- [73] [www.rvo.nl/energiezuiniggebouwd](#)
- [74] [Resultaten uit monitoring over: Concepten nul op de meter en 80% besparing](#); Piet Jacobs (TNO) e.a., uitgave Energiesprong, mei 2015
- [75] [www.passivhausprojekte.de](#)
- [76] [Hoe waarderen bewoners energiebesparende maatregelen? - gebundelde onderzoeksrapporten 1995 - 2011](#); V&L Consultants, in opdracht van RVO, 2012
- [77] [De Zon in stedenbouw en architectuur – Passieve en actieve zonne-energie in de woningbouw](#); H.E. Bouwmeester, uitgave: Novem, 2000
- [78] De factor Zon I, eengezinswoningen; W/E te Gouda, uitgave: Novem, 1988
- [79] Duurzaam bouwen duurzaam wonen / Dubo-woningen en hun bewoners; H. Bouwmeester; Aeneas uitgeverij, Boxtel, 2002
- [80] Praktijkevaluatie Veldzicht te Valkenburg (ZH); BOOM-SI, in opdracht van SenterNovem, Sittard, 2004
- [81] Grote Glasoverkapte Ruimten – atria, serres, passages; P. Blesgraaf e.a., uitgave: Novem, 1996
- [82] [NEN 2057:2011 t/m correctieblad 2057/C1:2011](#), Daglichtopeningen van gebouwen. Bepaling van de equivalente daglichtoppervlakte van een ruimte, NEN, Delft, 2011
- [83] Praktijkboek Bouwbesluit 2012 - editie 2012; te downloaden via [www.rijksoverheid.nl](#)
- [84] Fietsfeiten te downloaden via [www.kimnet.nl](#); Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KIM), 2018
- [85] Energiebesparing in verkeer en vervoer door ruimtelijke ordening; P. Janse e.a., CE te Delft, uitgave: Novem, 1997
- [86] Ontwerpwijzer fietsverkeer; CROW-publicatie 351, CROW, Ede, juni 2016
- [87] [Fietsberaadpublicatie 19: Samen werken aan een veilige fietsomgeving](#); Fietsberaad, april 2011
- [88] Serres – Praktijkvoorbeelden, toepassingen en gebruik; T. Reijenga en G. de Vries, uitgave: SEV te Rotterdam en Novem, 1996
- [89] Zinnige serres in Spijkenisse; uitgave: W/E adviseurs en Wilma
- [90] Serres in strijd tegen geluid; J. Crone-de Haan, in: BouwWereld nr 6, 1998
- [91] Onverwarmde serres, een herijking van de opbrengst. TNO-rapport 2002-DEG-R025. Auteurs: TNO (Delft), W/E adviseurs (Utrecht), EBM-Consult (Arnhem), in opdracht van SenterNovem, 2002
- [92] [LARGAS – Langzaam Rijden Gaat Sneller](#); CROW, [www.crow.nl/publicaties](#), 2004
- [93] Schonere lucht bij betere doorstroming; CROW, publicatie 218f, 2008; te bestellen via [www.crow.nl](#)
- [94] [VPL - Vervoersprestatie op Locatie](#); CROW, [www.crow.nl/publicaties](#), 2001
- [95] Dossier 'Elektrisch rijden' op [www.rvo.nl](#)
- [96] [SBR-Referentiedetails Woningbouw](#); er is ook een [Studenteneditie \(2015\)](#) H.M.Nieman, uitgave Thieme Meulenhoff, 2012
- [97] Koudebruggen als thermisch lek; A. Poel, in BouwWereld nr 24, 1995
- [98] [Nationaal Kennisplatform Laadinfrastuctuur](#)
- [99] [Luchtdicht bouwen – theorie – ontwerp – praktijk](#); P. Kuindersma en H.M. Nieman, uitgave SBRCURnet, Rotterdam, december 2013
- [100] NEN 2686; Luchtdoorlatendheid van gebouwen – Meetmethode; NEN, Delft, 1988 met Wijzigingsblad A2:2008, dec. 2008
- [101] NEN 2687:1989; Luchtdoorlatendheid van woningen – Eisen; NEN, Delft, 1989
- [102] NEN 2690:1991/A2 2008; Luchtdoorlatendheid van gebouwen – Meetmethode voor de specifieke luchtvolumestroom tussen kruipruimte en woning; NEN, Delft, 2008
- [103] Bouwen met of zonder kruipruimte?; SBR-rapport nr. 237, SBR te Rotterdam, 1995
- [104] 433MAXX spouwanker, info: [www.rockwool.nl](#)
- [105] Maak van de luchtspoel geen restmaat; H. Speelman, in: BouwWereld nr 1, 1999
- [106] De invloed van convectiestromen op de warmteweerstand van geïsoleerde spouwmuren; PRC

- Bouwcentrum (update van rapport 1994), maart 2006
- [107] Electrification of heating and transport – a scenario analysis for the Netherlands up to 2050; J. Moraga en M. Mulder, Centre for Energy Economics Research - Universiteit van Groningen, mei 2018
- [108] [Wat u moet weten over isolerend dubbelglas en HR++ beglazing](#); samenstelling: Procomm, uitgave van o.a. Kenniscentrum Glas, 2008
- [109] Evaluatie Urban Villa Amstelveen; A. Poel e.a., Damen Consultants te Arnhem en G. de Vries, V&L Consultants te Rotterdam, in opdracht van Novem, 1997
- [110] Geluidwering in de woningbouw; P. Braat-Eggen e.a., TNO-Bouw, in opdracht van VROM, uitgave: Waltman en SMD te Leiden, 1993
- [111] <https://kennisbank.issos.nl/publicatie/richtlijn-vegetatiedaken-bestaaende-bouw/2010>
- [112] Begroeide daken na 2010; Afstemming van techniek, organisatie en maatschappelijk belang; P. Teeuw en C. Ravesloot, Techne Press, Amsterdam, 2011
- [113] [Groene daken nader beschouwd - Over de effecten van begroeide daken in breed perspectief met de nadruk op de stedelijke waterhuishouding](#); Kees Broks e.a., uitgave RIONED en STOWA, 2015
- [114] [Groen voor Klimaat \(brochure\)](#); Alterra te Wageningen, zie ook www.klimaatonderzoeknederland.nl
- [115] Minimum Energiewoningen in de stadsvernieuwing, evaluatie van het praktijkexperiment Joke Smitplein – Utrecht; Novem, Energie-Buro, 1989
- [116] Vacuüm isolatiepanelen – eindrapport afstudeerproject; K. van Went, TU Delft, 2002
- [117] Vervallen
- [118] [Innovatie in energie – Overzicht van een aantal innovatieve energietechnieken voor de woningbouw](#); SenterNovem, 2DEN0905, juli 2009; te downloaden via www.rvo.nl
- [119] [Technieken voor een energieneutrale woning](#); RVO, juni 2014
- [120] [SBR-Referentiedetails voor op de bouwplaats](#); SBRCURnet, 2016
- [121] [Bouwen aan een goede schil - met aandacht voor comfort en binnenmilieu](#); H. Bouwmeester en C. Bouwens, in opdracht van Lente-akkoord, 2014
- [122] [De onderconstructie van rieten schroefdaken](#); Nieman Raadgevende Ingenieurs e.a., in opdracht van Vakfederatie Rietdekkers, 2009
- [123] Drievoudig glas en bijpassende kozijnen - Ervaringen en aandachtspunten; Factsheet, H. Bouwmeester en C. Bouwens, Lente-akkoord, 11-2014; te downloaden via www.lente-akkoord.nl.
- [124] [30 voorbeeldprojecten energiezuinige woningbouw – samenvatting bevindingen](#); MoBiust Consult, in opdracht van RVO, 2013
- [125] [Onderzoek naar de kwaliteit van ventilatiesystemen in nieuwbouw eengezinswoningen](#); BBA Binnenmilieu, in opdracht van Min. van Infrastructuur en Milieu, 2011
- [126] [Kwaliteit van mechanische ventilatiesystemen in nieuwbouw eengezinswoningen en bewonersklachten](#); RIVM, in opdracht van Min. van Infrastructuur en Milieu, 2011
- [127] [MONICAIR eindrapport WP1a – Resultaten van een monitoring onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit- en energieprestaties van ventilatiesystemen in de woningbouw](#); Consortium MONICAIR deel A, R. van Holstein e.a., december 2014; zie ook www.monicair.nl
- [128] [Infoblad 'Ventilatiesystemen in energiezuinige nieuwbuwwoningen'](#); RVO, 2014
- [129] [Kleintje Ventilatie - Woningen en woongebouwen](#); ISSO, Rotterdam, april 2012
- [130] Gebruikershandleiding Woninginstallaties via www.uneto-vni.nl en via www.mijnhuisinstallatie.nl
- [131] Bewonersgedrag en balansventilatie - De invloed van bewonersgedrag op de effectiviteit van balansventilatie; K. Soldaat, Habiforum, Gouda, januari 2007
- [132] [Balansventilatie met WTW in de woningbouw - Sleutels tot succes](#); H. Bouwmeester en C. Bouwens, Lente-akkoord, december 2014
- [133] NEN 1087:2006 ontwerpnorm - Ventilatie van gebouwen - Bepalingsmethoden voor nieuwbouw; NEN, Delft, 2006
- [134] [De Brabantwoning](#); W. Buma, in: TVVL Magazine nr 4 – 2014
- NEN 2757-1:2011: Bepalingsmethoden voor de geschiktheid van systemen voor de afvoer van
- [135] rookgas van gebouwgebonden installaties - deel 1: Installaties met een belasting kleiner dan of gelijk aan 130 kW op bovenwaarde; NEN, Delft, 2011
- [136] Praktijkboek Gezonde Gebouwen; ISSO/SBRCURnet, Rotterdam
- [137] Dossier Luchtkwaliteit op www.rijksoverheid.nl
- [138] [ISSO-publicatie 27 Kwaliteitseisen luchtfilters voor ventilatiesystemen en luchtreinigers 2013](#); ISSO, 2013

- [139] [ISSO-publicatie 61 Programma van Eisen en systeemkeuze voor ventilatiesystemen in woningen en woongebouwen](#); ISSO, 2010, met uitgebreide erratum 2012
- [140] [ISSO-publicatie 62 Centrale gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning in woningen en woongebouwen](#); ISSO, 2010, met uitgebreide erratum 2012
- [141] [ISSO-publicatie 63 Beheer en onderhoud ventilatiesystemen in woningen en woongebouwen](#); ISSO, Rotterdam, 2008
- [142] [ISSO-publicatie 91 Ventilatiesystemen met decentrale toe- en afvoer en warmteterugwinning in woningen en woongebouwen](#); ISSO, Rotterdam, 2009 + erratum 2012
- [143] [ISSO-publicatie 92 Ventilatiesystemen met decentrale toevoer en centrale afvoer in woningen en woongebouwen](#); ISSO, Rotterdam, 2009 + erratum 2012
- [144] Demonstration house with hybrid ventilation; Reshyvent Report nr WP9-CZ, o.a. Cauberg-Huygen, Maastricht, januari 2005
- [145] Vent-O-Hybrid systeem van voorheen Alusta
- [146] Klimatisering woningen met grond-luchtcollectoren; A. van Lohuizen, in: Verwarming + Ventilatie april 2006
- [147] Monitoring Passief Huis in Dalem 2003/2004; G. Brouwer, in opdracht van Novem, maart 2005
Programma van Eisen voor Woningventilatie voor nieuwbouw en renovatie; BBA Binnenmilieu, in
- [148] opdracht van Aedes, versie 2.0, nov. 2011, te downloaden via
<http://www.binnenmilieu.nl/v2/media/file/Aedes%20PvEs%20Woningventilatie.pdf>
- [149] [ISSO-Kenniskaart nr 92 'Luchtfilters in woningbouw onderhouden'](#)
- [150] [ISSO-Kenniskaart nr 23 'Verdunningsfactor bepalen'](#); ISSO, 2013
BRL 8010 Ventilatie-PrestatieKeuring - Beoordelen van ventilatievoorzieningen van woningen, scholen en kinderdagverblijven; ISSO, 2012
- [151] [ISSO-Kenniskaart nr 33 'Kanalen reinigen'](#), ISSO, 2012
- [152] [ISSO-Kenniskaart nr. 35 'Filters in WTW-unit vervangen'](#); ISSO, 2012
NPR 1088:1999 met aanvulling 2000: ventilatie van woningen en woongebouwen – Aanwijzingen voor en voorbeelden van de uitvoering van ventilatievoorzieningen; NEN, 1999-2000
- [153] [ISSO-publicatie 49 Kwaliteitseisen vloer- en wandverwarming en vloer- en wandkoeling](#); ISSO, Rotterdam, 2004 met errata 2009
- [154] [ISSO-publicatie 50 Ontwerptechnische kwaliteitseisen en richtlijnen voor warmwaterverwarmingsinstallaties](#); ISSO, Rotterdam, 2008 (niet meer actueel)
- [155] [ISSO-publicatie 51 Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwen](#); ISSO, Rotterdam, 2012
- [156] [ISSO-publicatie 56 Inregelen van ontwerpvolumestromen in individuele verwarmingsinstallaties in woningen](#); ISSO, Rotterdam, 2002
- [157] [ISSO-publicatie 58 Kwaliteitseisen voor luchtverwarmingsinstallaties in woningen](#); ISSO Rotterdam, 2003
- [158] [ISSO-publicatie 72 Ontwerp van individuele en klein elektrische warmtepompsystemen voor woningen](#); ISSO, Rotterdam, 2014
- [159] [ISSO-publicatie 73 Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars](#); ISSO, Rotterdam, 2005
- [160] Lage temperatuursystemen – méér comfort met minder energie; v Haalen & Partners i.s.m. V & L Consultants, uitgave: Novem, 1998
NEN 2757-1:2011; bepalingsmethoden voor de geschiktheid van systemen voor de afvoer van
- [161] gebouwgebonden installaties - Deel 1: Installaties met een belasting kleiner dan of gelijk aan 130 kW op bovenwaarde; NEN, Delft, 2011
Voorstudie naar de effecten en het gedrag van Laag Temperatuur Systemen; H. v. Dijk TNO Bouw e.a., in opdracht van EnergieNed, Sep en Novem, 1998
- [162] Energie in wervende woonmilieus; H. Korbee e.a., W/E adviseurs duurzaam bouwen, Gouda, uitgave: Novem, 1996
Puntegale Rotterdam; vouwfolders Voorbeeldprojecten Duurzaam en Energiezuinig Bouwen; uitgave: Nationaal DuBo centrum te Utrecht, 1998 en 1999
- [163] Individuele warmtemeting; J. van Asten, WDC Consulting, in: b+u februari 1999
- [164] NEN 7440:1998, Eisen voor de toepassing bij individuele kostentoerekening; uitgave 1998,

- Nederlands Normalisatie-instituut, Delft
- [170]NPR 7441:1998, Warmtekostenverdeelsystemen - Uitwerking van de eisen voor de toepassing bij individuele kostentoerekening; uitgave 1998, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft
- [171]Rabobank Pey-Posterholt; Vouwfolders Voorbeeldplannen Duurzaam en Energiezuinig Bouwen; Novem en SEV, uitgave: Nationaal DuBo centrum te Utrecht, 1998 en 1999
- [172]Case Study: Solar district heating in Friedrichshafen, Germany www.managenergy.net
- [173]Evaluatie van een grootschalige toepassing van zonne-energie met seizoensmatige warmteopslag te Groningen; DWA te Bodegraven, in opdracht van: Novem, maart 1996
- [174]www.duurzameenergie.org Vereniging ODE, Organisatie voor duurzame energie
- [175][Opwekkingsrendementen lokale technieken onder laboratoriumomstandigheden](#); TNO Bouw en Ondergrond, in opdracht van Agentschap NL, 2010
- [176]www.warmtepompenwegwijzer.nl: Informatie over warmtepompen en referentieprojecten
- [177]Beoordelingsrichtlijnen BRL 6000, o.a. delen 13 en 21 over warmtepomp- en bodemopslagsystemen; 2013, ISSO, Rotterdam
- [178]Module Gebruikshandleiding Woninginstallaties; uitgave Uneto-VNI en ISSO
- [179][Zonthermische daken](#); J.v.d.Waerdt, DWA, in opdracht van Agentschap NL, 2012
- [180][Praktijkvoorbeelden corporaties – De Goede Woning](#), Zoetermeer; Agentschap NL, 2011
- [181]Warmte in de woonomgeving deel 5 - bronnen en systemen; Gasterra, 2012; te downloaden via www.gasterra.nl
- [182][Nationale Expertisecentrum Warmte \(NEW\)](#) Informatie over warmtelevering (warmtedistributie)
- [183][Wko 3x beter - beter bedenken, beter bouwen en beter beheren](#); Henk Bouwmeester, in opdracht van Lente-akkoord, 2013
- [184][Kamerbrief over vragen toepassing Warmtewet en Warmteregeling](#); minister Kamp (EZ), 7 juli 2014
- [185]Warmte - wet, regelgeving en toelichting; M. van Ee e.a., uitgeverij Aeneas in Boxtel, december 2013
- [186]Dossier: [Warmtewet](#); Aedes
- [187][ISSO-kleintje Vloerverwarming en vloerkoeeling](#); ISSO, Rotterdam, 2013
- [188]Evaluatie van 86 Minimum-Energiewoningen te Utrecht; Energie-Buro, in opdracht van Novem, 1989
- [189]Monitor Energiebesparing Slimme Meters (Besparingsmonitor); H. van Elburg i.s.m. J. Uitzinger (IVAM), in opdracht van RVO, maart 2014
- [190]Damwandtechniek brengt seizoensbuffer; in: Warmtenetwerk Magazine nr 21 Winter 2015
- [191][Warmtevisie](#); Minister van Economische Zaken H.G. Kamp, 2 april 2015
- [192]www.stek.nl; Stichting Emissiepreventie Koudetechniek
- [193][Energiezuinig koelen met warmte- en koudeopslag](#); RVO, 2011
- [194]Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers (BAK). EnergieNed, Arnhem, 2000
- Vademecum Drinkwater- en Warmwaterbesparing; Milieu-Centraal Advies e.a. Uitgave: SEV,
- [195]Rotterdam en Novem, 1999
- [196]Waterwerkbladen; Samenwerkende drinkwaterbedrijven; www.infodwi.nl
- [197]Optimalisatie warmtapwatertsystemen door dubbelvoeden, door Ernest Israëls, VV+, nov 2008
- [198]Typen en merken zonneboilers; www.hollandsolar.nl
- [199][ISSO-handboek Zonne-energie](#) - Bouwkundige en installatietechnische richtlijnen voor zonne-energiesystemen; ISSO, 2012
- [200][ISSO-kleintje Zonne-energie](#) - Praktische aanwijzingen voor de installatie van zonnewarmte- en zonnestroomsystemen; ISSO, 2013
- [201]www.legionellavraagbaak.nl
- [202][ISSO-publicatie 55 Leidingwater-installaties voor woon- en utiliteitsgebouwen](#); ISSO, Rotterdam 2013-2015
- [203][ISSO-publicatie 55.1 Handleiding legionellapreventie in leidingwater](#); ISSO, Rotterdam, 2012
- [204][ISSO-publicatie 55.2 Zorgplicht legionellapreventie collectieve leidingwaterinstallaties](#); ISSO, Rotterdam, 2012
- [205][ISSO-publicatie 30.5 LegionellaCode Woninginstallaties](#); ISSO, Rotterdam, 2013
- [206][ISSO-Instructieboek Ontwerpen van sanitaire installaties](#); ISSO, 2008/2016
- [207]www.consumentenbond.nl. Zie o.a. test CV-ketels 2016
- [208][ISSO-publicatie 30.4 Warmteterugwinning uit douchewater](#) (versie 2008)
- DH factoren van warmtapwateruitappleidingen, door Hans van Wolferen e.a TNO MEP, Verwarming en Ventilatie, febr. 2001]

- [210][Drinkwaterbesluit](#)
- [211][ISSO-KennisKaart 53 Hotspots bij radiatorenverwarming voorkomen](#); ISSO, 2013
- [212][Checklist 'hotspots' in waterleidingen](#); ISSO, 2013
- [213][Legionella preventie - Wie is er nu eigenlijk verantwoordelijk?](#); Aedes, 2011
- [214][ISSO-kleintje Legionellapreventie 2012](#); ISSO, 2012
- [215][ISSO/SBR-publicatie 811 Integraal Ontwerpen van Legionellaveilige woningen](#); ISSO/SBR, 2011
- [216]NEN 1006:2015 : Algemene voorschriften voor leidingwaterinstallaties; NEN, 2015
- [217][Waterwerkblad 1.4 G - Beheer van leidingwaterinstallaties](#); VEWIN, dec. 2015
- [218][ISSO-KennisKaart 45 Verticale douche-WTW installeren](#); ISSO, 2013
- [219][ISSO-KennisKaart 46 Douchebak met WTW installeren](#); ISSO, 2013
- [220][ISSO-KennisKaart 47 Douchegoot met WTW installeren](#); ISSO, 2013
- [221]Quooker Energy Analysis; Van Holstein en Kemna, Delft, in opdracht van Peteri BV, Ridderkerk, 2010
Praktijkprestaties van warmtetechnieken bij huishoudens; Energymatters e.a., in opdracht van
- [222]Agentschap NL, 2012
- [223][ISSO-KennisKaart 40 Warmtepompboiler installeren](#); ISSO, 2013
- [224][Regeling Legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater](#)
- [225]Energie Trends 2012; ECN, Energie Nederland en Netbeheer Nederland; 2012
- [226][www.milieucentraal.nl](#)
Gasconcepten voor de zichtjaren 2000, 2010 en 2020; Van Holstein en Kemna, in opdracht van
- [227]Novem, februari 1999
- [228][Nationale Actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen](#); Rijksoverheid, 2016
- [229][Opbrengst van zonnestroomsystemen in Nederland](#); W. van Sark, Universiteit Utrecht, in opdracht van RVO, 2014
- [230][Leidraad zonnestroomprojecten](#); Agentschap NL, 2010
NEN 7250:2014 nl, Zonne-energiesystemen – integratie in daken en gevels – Bouwkundige
- [231]aspecten; NEN te Delft, 2014
- [232]NEN 1010:2015 Elektrische installaties voor laagspanning; NEN te Delft, 2015
- [233]Monitoring en lessen PV-projecten Amersfoort en HAL-gebied; New Energy Works en Universiteit van Utrecht - Copernicus Instituut, in opdracht van SenterNovem, april 2008
- [234][Jaarbericht 2012 SDE+, SDE en MEP](#); Agentschap NL, 2013
Voortgangsrapportage Energie uit hernieuwbare bronnen in Nederland 2011 - 2012; Ministerie van
- [235]Economische Zaken, 2013
- [236]EnergieTrends 2013; ECN, Energie Nederland en Netbeheer Nederland; 2013
- [237][Dubbeldoeldak](#), in: Leven op daken nr 14-2011
- [238][ISSO-KennisKaart 82 Zonnestroompanelen plaatsen op daken](#); ISSO, 2013
- [239][ISSO-KennisKaart 83 Omvormer voor zonnestroompanelen plaatsen op daken](#); ISSO, 2013
- [240][ISSO-KennisKaart 87 Plaats zonnestroompanelen plaatsen bepalen](#); ISSO, 2013
- [241][Goede voorbeeldprojecten op PV-gebied – Onderzoeksverslag](#); W/E adviseurs, in opdracht van Agentschap NL, 2012
Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050 – Investeringsopties voor een
- [242]kosteneffectieve energievoorziening; R. van den Wijngaart e.a., PBL Planbureau voor de Leefomgeving, 2014
- [243][ISSO-publicatie 51 Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwen](#); ISSO, 2012
Klimaatinstallaties 1A, verwarmingssystemen; T.H. Hoogendoorn, TU Delft, Afdeling Bouwkunde,
- [244]1978
- [245][GGD richtlijn medische milieukunde – Beoordeling van ventilatie en ventilatievoorzieningen van woningen](#); F. Duijm e.a., RIVM in opdracht van VWS, 2009
- [246][www.rockwool.nl](#)[www.isovert.nl](#)
- [247]Referentiewoningen nieuwbouw, zie [www.rvo.nl](#)
- [248][Onderzoek Woongebouw EPC < 0,4 – samenvatting bevindingen](#); Nieman Raadgevende Ingenieurs, in opdracht van RVO, juni 2015
- [249][Nul op de meter – Ervaringen van vernieuwers in de woningbouw](#); RVO, mei 2015
- [250]Kennispaper: Duurzame begroeide daken; C. Ravesloot, uitgave SBRCURnet, april 2016
- [251][ISSO-publicatie 108 Warmteverliezen in leidingsystemen](#); ISSO, 2016
- [252]De slimme meter, uitgelezen energie(k)?; K.Vringer en T.Dassen, PBL Planbureau voor de

- Leefomgeving, 2016
- [253][Waterwerkbladen - Drinkwater installaties](#); www.infodwi.nl
- [254][Inventarisatie esthetische inpassing zonnepanelen](#); W/E adviseurs, in opdracht van RVO, 2015
Kennisdocument Houtstook in Nederland; J.Koppejan, Procede Biomass en F.deBree, Buro Blauw, in opdracht van RVO, september 2018
- [255]<https://www.cbs.nl/nl-nl/publicatie/2018/40/hernieuwbare-energie-in-nederland-2017>
- [256]Electrification of heating and transport – a scenario analysis for the Netherlands up to 2050; J. Moraga en M. Mulder, Centre for Energy Economics Research - Universiteit van Groningen, mei 2018
- [257]Kortetermijnraming voor emissies en energie in 2020; P. Hammingh, et al., 2019, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag
- [258]Ontwerp van het Klimaatakkoord; Sociaal-Economische Raad, Den Haag, december 2018;
www.klimaatakkoord.nl
- [259]Switch naar aardgasvrij - Wat doen we met woningen in de pijplijn?; Lente-akkoord, augustus 2018,
www.lente-akkoord.nl
- [260]Nationale Energieverkenning 2016; K.Schoots e.a., ECN, Petten, 2016
- [261][Energieverbruik van particuliere huishoudens](#); CBS, april 2018

Het EnergieVademecum 2020 "Energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen" geeft concrete, direct toepasbare richtlijnen en hulpmiddelen voor het ontwerp van nieuwbouwwoningen. Hierbij komen zowel ruimtelijke, bouwtechnische als installatietechnische aspecten aan de orde. Het vademecum geeft ook aanwijzingen voor uitvoering, beheer en bewonerszaken.

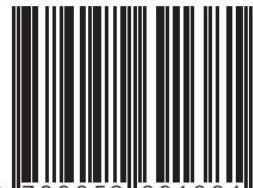
Het EnergieVademecum is bedoeld voor iedereen die betrokken is bij het ontwerpen en realiseren van nieuwbouwwoningen, zoals architecten, opdrachtgevers, aannemers, installateurs en beoordelende instanties. Maar ook studenten zullen voordeel hebben bij deze uitgave.

Deze versie is volledig geactualiseerd naar de nieuwe wetgeving met de in 2021 aan te wijzen NTA 8800 waarin de energieprestatie in 3 (BENG) indicatoren uitgedrukt wordt en waarbij de temperatuur-verschrijdingsindicator TOjuli wordt ingevoerd.

Het EnergieVademecum is primair beschikbaar via het web (www.klimapedia.nl), daarnaast is het als extra service ook beschikbaar in een print on demand versie.



ISBN 978-9052691381



9 789052 691381

Delft
digital
press

delftdigitalpress.com