

EnergieVademecum

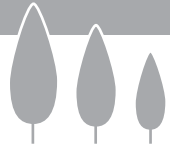
Energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen

2010, derde, herziene druk

Agentschap NL, NL Energie en Klimaat bv, Sittard / Utrecht

BOOM, Delft / Maastricht

uitgave: Aeneas, uitgeverij van vakinformatie, Boxtel



Woningen die vandaag worden opgeleverd, verschillen qua energieprestatie hemels-breed van woningen van tien, vijftien jaar geleden. Bouwbedrijven werken hard aan een excellente energieprestatie. Maar ook adviseurs, ontwerpers, ontwikkelaars, corporaties, beleggers, gemeenten en belangenorganisaties leggen de lat hoog. Dat kan ook, omdat leveranciers van installaties en componenten met de regelmaat van de klok innovatieve systemen presenteren om energiezuinig, comfortabel en goed te bouwen. Het is een verheugende ontwikkeling, want hierdoor komt de doelstelling van het Lente-Akkoord binnen handbereik: een halvering van de gebouwgebonden energiebehoefte in de nieuwbouw in 2015. NEPROM, NVB, Bouwend Nederland en Aedes hebben zich daar in 2008 aan gecommitteerd. Op 1 januari 2011 zal de EPC voor nieuwbouwwoningen worden verlaagd naar 0,6.

Betrouwbare kennis over energiebesparende materialen en installaties is onontbeerlijk om in de bouwpraktijk mee te blijven tellen. Daarom zijn we blij met deze geheel herziene, derde druk van het EnergieVademecum. De samenstellers zijn er naar onze mening goed in geslaagd een up-to-date naslagwerk te maken met achtergronden en praktische informatie over energiezuinige oplossingen. Technische oplossingen worden helder toegelicht, ook voor relatieve buitenstaanders. Het vademecum is hierdoor beslist een aanrader, niet alleen voor de achterbannen van onze vier verenigingen, maar ook voor architecten, gemeenteambtenaren, adviseurs en studenten.

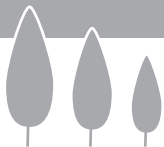
Voorzitter Bouwend Nederland
mr. drs. L.C. Brinkman

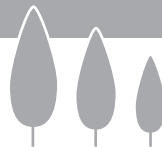
Voorzitter NEPROM
ir. W.J. Bodewes

Voorzitter NVB
J.H. Goossens

Voorzitter Aedes
i.r. M.A.E. Calon







De energetische kwaliteit van Nederlandse nieuwbouwwoningen heeft de volle aandacht van de bouwpraktijk. De aanscherping van de energie-eisen zorgen voor ontwikkeling, verbetering en toepassing van steeds meer energiebesparende technieken. Talloze rapporten, brochures en sites met handige 'tools' over energiebesparing zien het daglicht. De daarin opgeslagen kennis blijkt niet altijd even toegankelijk voor de dagelijkse bouwpraktijk.

Doel

Het EnergieVademecum 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. In de digitale, interactieve, versie van het vademecum zijn 'links' aangebracht.

Doelgroep

Het EnergieVademecum is bedoeld voor iedereen die betrokken is bij het ontwerpen van nieuwbouwwoningen, zoals architecten, opdrachtgevers, aannemers, installateurs en beoordelende instanties. Maar ook studenten zullen voordeel hebben bij deze uitgave.

De derde druk

Sinds het verschijnen van de tweede, herziene druk van het EnergieVademecum in 2000, is de Energieprestatienorm (EPN) sterk aangepast, zijn de energie-eisen aangescherpt en zijn energiebesparende technieken sterk verbeterd of nieuw ontwikkeld. In deze derde druk zijn de effecten van de aangescherpte energie-eisen aangegeven en zijn alle gegevens, voorbeelden en technieken geactualiseerd.

In deze derde druk is nog geen rekening gehouden met de nieuwe NEN 7120 (EPG) voor de vernieuwde berekeningswijze van de EPC. Deze norm zal naar verwachting in 2011 ingevoerd worden.

Leeswijzer

Er zijn een 4-tal 'aansluitroutes' mogelijk om de gewenste informatie in het Vademecum te vinden:

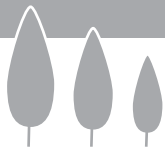
- 1 via de 'Checklist Energiebewust ontwerpen';
- 2 via hoofdstukken gericht op een specifiek onderwerp;
- 3 via trefwoorden in de trefwoordenlijst;
- 4 via illustraties zoals grafieken, tabellen en foto's.

Ad 1 'Checklist Energiebewust ontwerpen'

In de checklist staan de belangrijkste onderwerpen die van invloed zijn op het energieverbruik in een woningontwerp. In § 3.3 staat deze checklist op hoofdpunten, in de hoofdstukken 3 t/m 10 staat deze checklist gedetailleerd uitgewerkt in deelchecklisten voor specifiek dat hoofdstuk. De checklisten zijn onderverdeeld in de volgende bouwfasen:

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





Ad 2 Hoofdstukken

Het Vademecum 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 gereleerde onderwerpen in het vademecum) en voorbeeldpakketten waarmee voor referentiewoningen EPC's van 0,8 en lager te realiseren zijn.

De hoofdstukken 4 t/m 10 gaan in op de **ontwerpaspecten en concrete maatregelen** die het energieverbruik van woningen beïnvloeden. De onderwerpen 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, die voor lange tijd vast ligt, staat in **hoofdstuk 5**

centraal. Warmte-isolatie, detaillering, het voorkomen van koudebruggen, een goede naad- en kierdichting en de thermische massa krijgen veel aandacht.

In de volgende hoofdstukken komen de diverse installaties aan de orde die samen van grote invloed zijn op het energieverbruik en het comfort. Een goede bewonersinstructie is van belang om de installaties op de juiste wijze te laten gebruiken.

In **hoofdstuk 6** komen de meest gangbare 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 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.

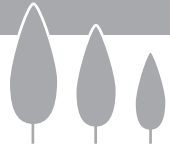
In **hoofdstuk 8** wordt kort ingegaan op 'actieve' koeling. Een dergelijke koeling moet vanuit het oogpunt van energiebesparing vermeden worden. Er zijn diverse alternatieven zoals vrije koeling (passieve koeling) met behulp van de bodem als koudebron. Neem altijd eerst maatregelen om te hoge temperaturen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

Hoofdstuk 9 behandelt het verwarmen van tapwater. Ook het beperken van de vraag naar warmwater komt aan de orde; een

Verwijzingen

In de tekst worden de volgende verwijzingen gebruikt:

- (§) naar een (sub) paragraaf: dus bijvoorbeeld (§ 2.3.1)
- [..] naar literatuur of andere bron die opgenomen zijn in de paragrafen 'Meer informatie': dus bijvoorbeeld [32]
- (Afb. ...) naar een afbeelding: dus bijvoorbeeld (Afb. 24)



belangrijk aandachtsveld omdat het aandeel van warmwater in het totale energieverbruik in een nieuwbouwwoning globaal gelijk is aan dat van ruimteverwarming.

- hoofdstukken en paragrafen zijn als PDF uit te printen;
- doorverwijzing naar verdergaande informatie via links.

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

Verdiepings- en achtergrondinformatie

Aan het eind van elk hoofdstuk is in § 'Meer informatie' een overzicht opgenomen met relevante literatuur en sites.

In de **bijlagen** is informatie te vinden over o.a. bouwfysische begrippen, warmte-isolerende eigenschappen van bouwmaterialen en enkele belangrijke informatiebronnen voor de bestaande woningbouw.

Ad 3 Trefwoorden

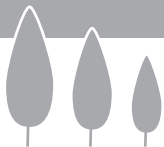
De **trefwoordenlijst** verwijst naar de pagina's waar de onderwerpen aan de orde komen.

Ad 4 Illustraties

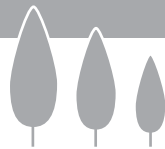
Het EnergieVademecum is rijkelijk voorzien van illustraties die de tekstblokken visueel ondersteunen. Op basis hiervan is het mogelijk om een snelle indruk te krijgen van de behandelde onderwerpen. Het EnergieVademecum geeft op die manier een letterlijke doorkijk naar de praktijk.

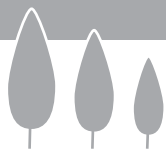
Het EnergieVademecum zal naast dit 'papieren' boekwerk ook beschikbaar zijn als **interactieve PDF**. Deze is voornamelijk bedoeld voor Universiteiten en Hogescholen die het Vademecum op een flexibele manier willen inzetten bij hun lesmethoden:





Voorwoord	3	4. Ruimtelijk ontwerp	51
Introductie	5	4.1 Vorm en oriëntatie van bebouwing	51
1. Energieverbruik	13	4.1.1 Compactheid bouwblok	51
1.1 Maatschappelijke aspecten energieverbruik	13	4.1.2 Oriëntatie dak en gevels	51
1.1.1 Voorzieningszekerheid	13	4.1.3 Belemmering van zoninstraling en daglichttoetreding	56
1.1.2 Milieudruk energieverbruik	14	4.2 Passief gebruik van zonne-energie (PZE)	57
1.2 Ontwikkeling energieverbruik	15	4.2.1 Zoninstraling door ramen	58
1.2.1 Wereldenergieverbruik	15	4.2.2 Woningplattegrond	61
1.2.2 Energieverbruik Nederland	16	4.2.3 Onverwarmde serre	62
1.3 Energieverbruik Nederlandse huishoudens	17	4.2.4 Atrium	65
1.4 Meer informatie	21	4.2.5 Gevelcollectoren en Trombemuren	67
2. Energiebeleid	23	4.3 Daglicht	67
2.1 Grondslagen	23	4.4 (Opstellings)ruimte installaties	70
2.1.1 Kyoto-Protocol, 'Bali Action Plan' en Kopenhagen	23	4.5 Verkeersontsluiting en stimuleren langzaam verkeer	72
2.1.2 NMP4 en Energierapport 2008	23	4.6 Meer informatie	73
2.2 Regelgeving	24	5. Bouwkundige elementen	75
2.2.1 Bouwbesluit	24	5.1 Thermische isolatie, koude-bruggen en luchtdichtheid	77
2.3 Beleidsinstrumenten	27	5.1.1 Fundering, kruipruimte en beganegrondvloer	82
2.3.1 NEN 5128 – Energie Prestatie Norm (EPN)	27	5.1.2 Dak	86
2.3.2 Energie Prestatie op Locatie (EPL)	32	5.1.3 Gesloten geveldelen	90
2.4 Meer informatie	33	5.1.4 Woningscheidende wand en vloer	96
3. Energiebewust ontwerpen	35	5.1.5 Kozijnen, ramen en deuren	99
3.1 Ambitie en programma van eisen	36	5.2 Beglazing	102
3.2 Strategie energiebewust ontwerpen	37	5.2.1 Warmteverlies	103
3.3 Checklist bij ontwerp energie-zuinige nieuwbouwwoning	38	5.2.2 Zonwering	106
3.4 Energiebesparende maatregelen en voorbeeldpakketten	39	5.2.3 Daglichttoetreding	108
3.5 Energieconcepten: Energie-neutraal / CO ₂ -neutraal / klimaatneutraal	43	5.3 Bouwkundige massa: zwaar of licht bouwen?	109
3.6 Passiefhuis en Zonnehaard-woning	46	5.4 Meer informatie	110
3.7 Meer informatie	50	6 Ventilatie	113
		6.1 Binnenluchtkwaliteit	113
		6.1.1 Luchtverontreinigende bronnen	113
		6.1.2 Kwaliteit toegevoerde buitenlucht	116



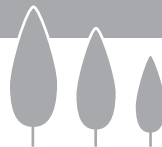


6.2	Benodigde ventilatie	118	8 Koeling	193
6.2.1	Capaciteit	118	8.1 Koelvraag	194
6.2.2	Effectiviteit en efficiëntie ventilatiesysteem	121	8.2 Afgiftesystemen	194
6.2.3	Bruikbaarheid	124	8.2.1 Hoge/lage temperatuur	194
6.3	Ventilatiesystemen	126	8.2.2 Koelvloer en -wand	195
6.4	Natuurlijke toe- en afvoer (systeem A)	127	8.2.3 Betonkernactivering	196
6.5	Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (systeem C)	130	8.2.4 'Airconditioningsystemen'	197
6.6	Gebalanceerde ventilatie met wtw (systeem D)	133	8.3 Koude-opwekking	198
6.7	Hybride ventilatie	137	8.3.1 Compressiekoelmachine	199
6.8	Zomernacht- en grondbuis-koeling	138	8.3.2 Absorptiekoelmachine	199
6.9	Bediening en regelingen	140	8.3.3 Warmtepomp in zomerbedrijf	200
6.10	Meer informatie	141	8.3.4 Vrije koeling	200
			8.4 Meer informatie	200
7 Ruimteverwarming		143	9 Warmtapwater	201
7.1	Verwarmingsvraag	145	9.1 Tapwatervraag, tappunten	202
7.2	Afgiftesystemen	146	9.1.1 Waterbesparende voorzieningen	202
7.2.1	Hoge/lage temperatuur	146	9.1.2 Watertemperatuur	204
7.2.2	Lage temperatuur radiatoren en convectoren	149	9.1.3 Warmteterugwinning (wtw) uit douchewater	205
7.2.3	Vloerverwarming en wandverwarming	152	9.1.4 Hot-fill was- en vaatwas-apparaat	207
7.2.4	Luchtverwarming	157	9.2 Leidingen (tapwaterdistributie)	207
7.2.5	Lokale verwarming	160	9.2.1 Leidingen in de woning	207
7.2.6	Distributie en regeling	163	9.2.2 (Ring)leidingen collectieve installaties	208
7.3	Warmte-opwekking	166	9.2.3 Leidingisolatie	209
7.3.1	Energie	166	9.3 Warmwatertoestellen	210
7.3.2	CV-ketel	167	9.3.1 Doorstroomtoestellen	212
7.3.3	Warmtepomp	171	9.3.2 Voorraadtoestellen	213
7.3.4	Warmte/Kracht-koppeling (WKK)	177	9.3.3 Combiketels	214
7.3.5	Biomassa ketel	179	9.3.4 Collectieve installaties tapwaterverwarming	215
7.3.6	Geothermie of aardwarmte	180	9.3.5 Zonneboiler	217
7.3.7	Cascade opstelling	180	9.3.6 Warmtepompboiler	223
7.3.8	Zonneboilercombi	181	9.3.7 Combiwarmtepomp	224
7.3.9	Warmte/koude-opslag (WKO)	182	9.4 Meer informatie	225
7.4	Collectieve verwarming	185		
7.4.1	Regeling	188	10 Elektriciteit	227
7.4.2	Bemetering	188	10.1 Beperken elektriciteitsverbruik	228
7.5	Meer informatie	190	10.1.1 Besparing bij woning- en gebouwonwerp en installaties	229

10.1.2	Huishoudelijke apparaten en verlichting	231
10.2	Duurzame elektriciteit	231
10.2.1	PV-systemen	232
10.2.2	Windturbines	240
10.3	Meer informatie	240

Colofon

264



Bijlage 1

	Bouwfysische begrippen	241
1.1	Behaaglijkheid	241
1.2	Transmissie	242
1.3	Ventilatie en luchtdoorlatendheid	245
1.4	Zon- en lichttoetreding	248
1.5	Vocht	248
	Meer informatie	249

Bijlage 2:

Energie-eenheden	249
-------------------------	------------

Bijlage 3:

Soortelijke massa en λ-waarde van bouwmaterialen	250
Meer informatie	251

Bijlage 4:

Referentiewoningen van Agentschap NL	253
Meer informatie	253

Bijlage 5:

Indicatie energietarieven	254
----------------------------------	------------

Bijlage 6:

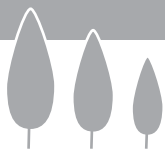
Informatie energie-besparing bestaande bouw	254
--	------------

Bijlage 7:

Zonnebaan en zonne-instralingsdiagram	255
--	------------

Trefwoorden	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. Ook in 2008 nam het totale verbruik toe, ondanks de economische crisis die in veel landen begon op te treden. De algemene verwachting is dat het totale wereld-energieverbruik 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. milieu-effecten 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 (§ 1.1.2), ook is door politieke verhoudingen de levering van voldoende energie niet zeker (§ 1.1.1).

1.1.1 Voorzieningszekerheid

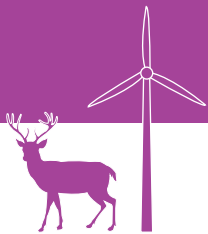
‘Voorzieningszekerheid’ houdt in de mate van zekerheid die er is over de beschikbaarheid van voldoende energiebronnen nu en in de toekomst. Daarvoor wordt o.a. gekeken naar de mondiale energievoorraden in relatie tot het verbruik en naar de geografische spreiding van de energiebronnen.

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

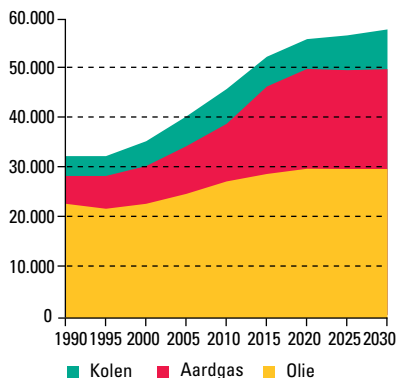
mondiale energievraag zal voorzien. De olie- en gasbronnen bevinden zich nogal eens in gebieden waarvan de politieke en/of economische stabiliteit te wensen overlaat.

Voor de Europese Unie (EU) ziet deze voorzieningszekerheid er niet rooskleurig uit: De EU beschikt zelf over beperkte olie- en gasvoorraden en is op dit moment al voor 50% afhankelijk van OPEC-landen en Rusland. Rond 2030 zal de import van olie en gas door de EU naar verwachting gestegen zijn tot respectievelijk zo’n 95% en 80% van het totale olie- en gasverbruik [3] (Afb. 1). Alleen bij een zeer sterk gereduceerde energievraag speelt de voorzieningszekerheid slechts een beperkte rol maar dat zit er voor de EU en Nederland voorlopig niet in.

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**

Import energiebronnen voor het 'Baseline'-scenario voor de EU; bron: Europese Commissie, Commission staff working document EU energy policy data, SEC(2007) 12.

Afb. 1
[PJ]

1.1.2 Milieudruk 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 stikstofoxyde (NO_x) en kooldioxyde (CO_2) vrij. Bij kolen en olie komen bovendien ook zwaveldioxyde (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.

Klimaatverandering

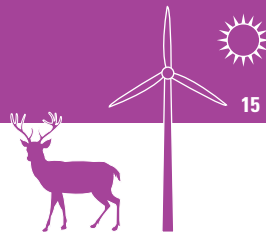
De toegenomen uitstoot van 'broeikasgassen' levert, zo is nu wel algemeen aanvaard, ernstige problemen op ten aanzien van het klimaat op wereldschaal. De problemen worden nog vergroot door de voortgaande grootschalige ontbossing. Sinds 1990 is de mondiale uitstoot van CO_2 met bijna 35% toegenomen [6]. Binnen de EU is afgesproken er alles aan te doen om de temperatuur met niet meer dan 2°C te laten stijgen ten opzichte van het niveau van voor de industriële revolutie. Om deze temperatuurdoelstelling te halen moeten de wereldwijde emissies van broeikasgassen sterk afnemen, nog sterker dan tot voor kort gedacht [3].

De vorige eeuw was er een temperatuurstijging van $0,7^\circ\text{C}$ wereldwijd en van circa 1°C in Nederland [4]. 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. Zelfs bij een sterke vermindering van de emissies van broeikasgassen gaan klimaatveranderingen nog heel lang door vanwege de vertraagde reactie van het klimaatsysteem. Wereldwijd zijn afspraken gemaakt om de hoeveelheid broeikasgassen zoveel mogelijk te beperken (**Kyoto en Bali Action Plan**, zie §. 2.1.1).

Zie ook het VROM Dossier *Klimaatverandering* (www.vrom.nl) [5].

Uitputting

Met name de olie- en gasvoorraden zijn beperkt. De thans bewezen mondiale reserves van aardolie en aardgas zijn ge-



noeg voor respectievelijk zo'n 40 en 55 jaar [1]. Bij steenkool ligt dat nog boven de 120 jaar volgens [1] of 160 à 200 jaar volgens [3]. Hierbij wordt uitgegaan van het huidige verbruik. Het is wel aannemelijk dat er nog meer voorraden zijn. De reserves zullen door nieuwe vondsten en verbeterde winningstechnieken toenemen. Het verbruik zal echter de komende decennia blijven stijgen (zie § 1.1). Genoemde periodes moeten dus met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd.

Datzelfde geldt ook voor uranium, de brandstof voor kerncentrales. Bij het huidige wereldverbruik is er nog een voorraad voor zo'n 60 à 70 jaar volgens [7] en [3], maar als het gebruik van kernenergie wereldwijd sterk zou toenemen (vergelijkbaar met 50% van het huidige verbruik in de VS), is er slechts een voorraad voor 19 jaar [7].

Het *Energierapport 2008* [3] trekt de volgende conclusie: 'De energievraagstukken zijn niet oplosbaar binnen de grenzen van het huidige energiesysteem. Er zijn technologische doorbraken nodig, het gedrag van energiegebruikers moet veranderen en de infrastructuur moet worden aangepast om de overgang naar een duurzame energiehuishouding daadwerkelijk te realiseren.'

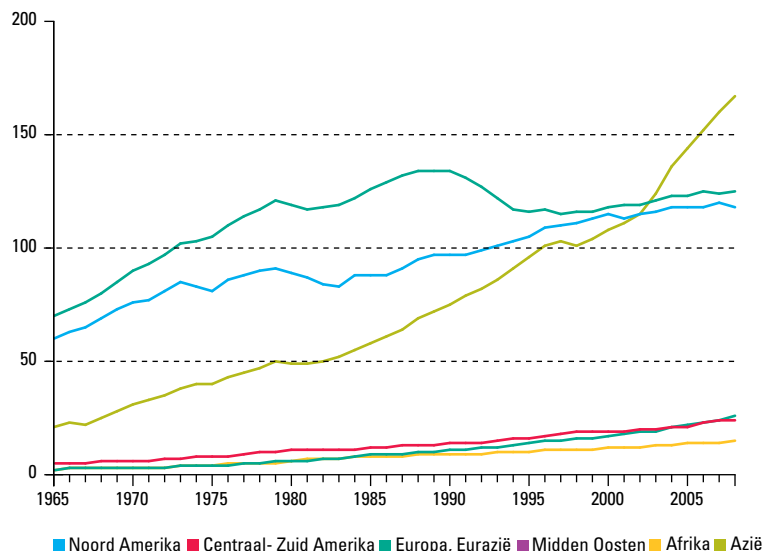
1.2 Ontwikkeling energieverbruik

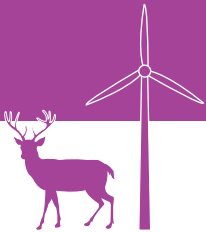
1.2.1 Wereldenergieverbruik

Het wereldenergieverbruik is in de afgelopen 45 jaar ruim verdrievoudigd. Hiervoor zijn vooral Noord Amerika, Europa en Azië verantwoordelijk (*Afb. 2 en Afb. 3*). Het energieverbruik van Azië valt hierin op door de extreme stijging vanaf het jaar 2000 [1]. Een doorgaande ontwikkeling

Afb. 2

[1000 PJ]



**Afb. 3**

Het primaire wereldenergieverbruik per energiedrager [1].

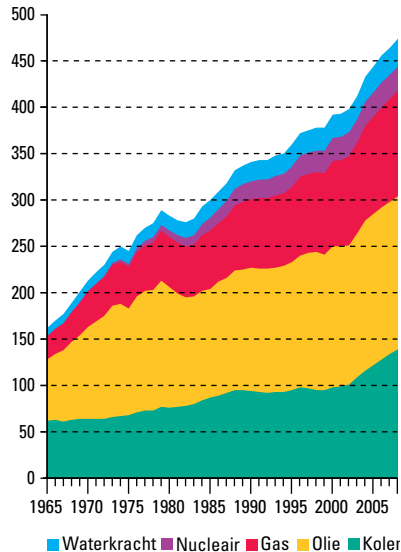
Afb. 4

De (mogelijke) ontwikkeling van het wereldenergieverbruik van 1990 tot 2030 volgens 2 scenario's: het referentiescenario (RS) volgens de huidige energiepolitiek en een alternatief scenario (AS) met verdergaande besparingsmaatregelen. Onder 'overige bronnen' vallen de verschillende duurzame bronnen zoals biobrandstoffen, wind en zon. Bron IEA [8].

van het energieverbruik in deze landen zal leiden tot een aanzienlijke extra stijging van het wereldenergieverbruik.

Afb. 3

[1000 PJ]



Olie, gas en kolen zijn de belangrijkste energiedragers in de wereld (Afb. 3). Waterkracht en nucleaire energie vanaf 1975, nemen een steeds groter aandeel in.

Toekomstig verbruik: scenario's

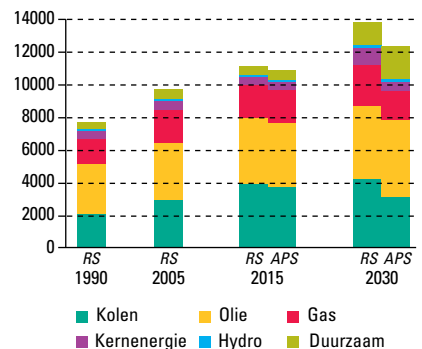
Met behulp van scenario's is inzicht te krijgen in mogelijke ontwikkelingen in het energieverbruik voor de komende decenia. Er zijn diverse scenario's in omloop die bijvoorbeeld contrasteren in de mate van internationale verwevenheid (globalisering versus regionalisering), in de keuze tussen efficiëntie en solidariteit of in de inzet van de verschillende energiebronnen. Al die scenario's hebben gemeen dat het gebruik van fossiele brandstof tot 2030 zeker nog zal toenemen. Afhankelijk van

de realisatie van energiebesparende maatregelen en inzet van duurzame energie kan dit gebruik daarna gaan afvlakken en uiteindelijk afnemen.

Zo heeft de IEA twee scenario's samengesteld van de mondiale energievraag, verdeeld over de verschillende energiebronnen (Afb. 4). Te zien is dat fossiele brandstoffen nog lang de belangrijkste energiebron zullen zijn.

Afb. 4

[Mtoe]



RS: Reference Scenario APS: Alternative Policy Scenario

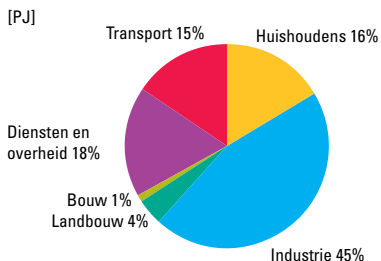
1.2.2 Energieverbruik Nederland

Het totale verbruik aan brandstoffen was in 2007 in Nederland 3.353 PJ [9]. De Nederlandse huishoudens verbruikten ruim 16% van het totaal (Afb. 5). Het totale verbruik aan brandstoffen in Nederland steeg in de periode 1995-2007 met ruim 13%. Het totale verbruik voor huishoudens daalde in die periode met 15%. Deels is deze daling te verklaren door de zachte seizoenen in 2007, maar er is ook in die periode een dalende trend los van weersinvloeden te zien.

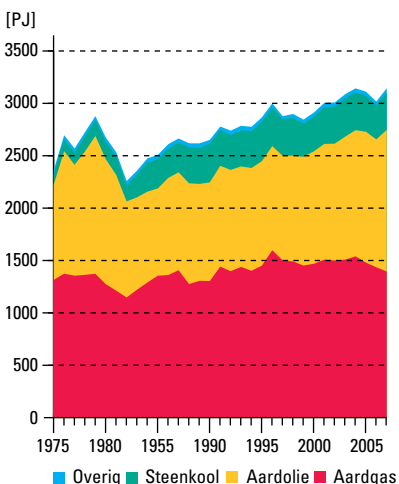
Aardgas en aardolie zijn de belangrijkste energiedragers in Nederland (Afb. 6) [2]. Duurzame energie draagt steeds meer bij



Afb. 5



Afb. 6

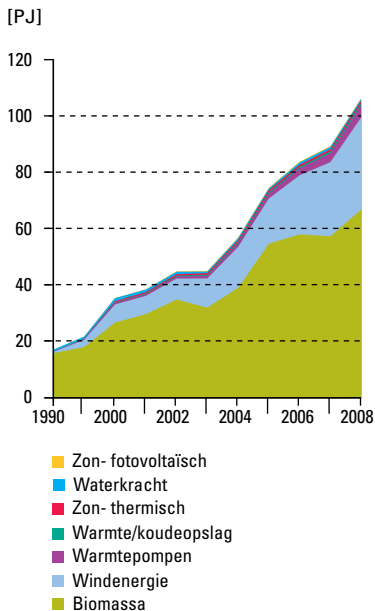


aan de Nederlandse energievoorziening. In 2008 was bijna 3,5% van de Nederlandse energievoorziening afkomstig uit binnenlandse duurzame energiebronnen. Daarbij zijn biomassa en wind verreweg het belangrijkste (Afb. 7). Meer informatie is o.a. te vinden in Duurzame energie in Nederland 2007 [11].

Toekomstig verbruik

ECN heeft voor Nederland een 'referentie-scenario' [12] samengesteld dat laat zien dat naar verwachting tot minstens 2050

Afb. 7



een stijging van het gebruik van fossiele brandstoffen op zal treden. Dit scenario is samengesteld uit vier scenario's die gericht zijn op specifieke trends [13]. Het verschil in het totale primaire energieverbruik tussen de scenario's is erg groot. Er zijn er twee waarbij het verbruik ten opzichte van nu aanzienlijk daalt, er is er één waarbij het verbruik aanzienlijk stijgt en één waarbij het verbruik op hetzelfde niveau uitkomt als nu. Het referentie-scenario bewandelt een middenweg.

1.3 Energieverbruik Nederlandse huishoudens

Het jaarlijkse huishoudelijke energieverbruik in zijn totaliteit is in de periode 1990-2007 licht gedaald, ondanks de sterke toename van het aantal huishoudens van zes naar ruim zeven miljoen (Afb. 8). Dit is

Afb. 5

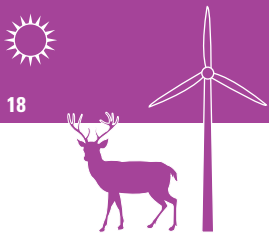
De verdeling van het totale Nederlandse primaire energieverbruik in 2007 naar sector; samengesteld uit [2] en [9]. Het totale verbruik bedraagt 3.353 PJ.

Afb. 6

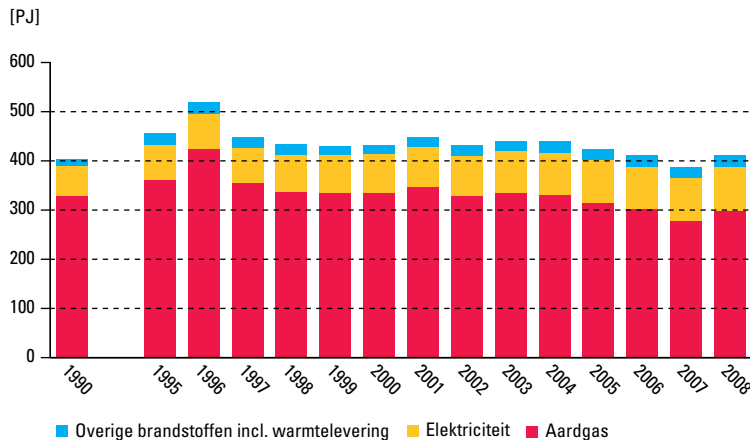
Jaarlijkse Nederlandse verbruiken van verschillende energiedragers in de periode 1975 - 2007 [2]. Onder de categorie 'Overig' valt de inzet van kernenergie, import van elektriciteit en duurzame energie.

Afb. 7

De grafiek geeft de verdeling van de bijdrage van de diverse binnenlandse duurzame bronnen aan. Het jaarlijks vermeden primaire energiegebruik als gevolg van deze bronnen bedroeg in 2008 bijna 115 PJ [10].

**Afb. 8**

Het totale energieverbruik van huishoudens in 1990 en 1995 – 2007 in PJ exclusief vervoer [9]. Onder 'overige brandstoffen' vallen o.a. warmte uit stadsverwarming en olie.

Afb. 8**Afb. 9**

Het aardgasverbruik (meterstanden) voor verwarming, warmtapwater en koken per huishouden in de periode 1980-2007 [2].

Afb. 10

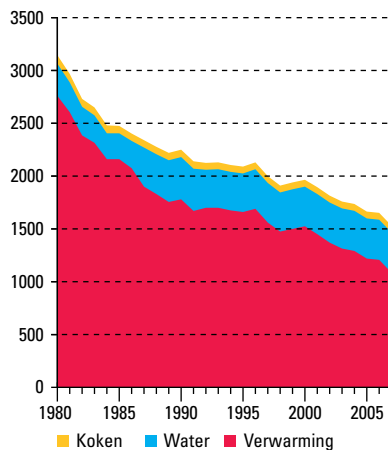
Jaarlijks energieverbruik in m³ aardgas voor ruimteverwarming (excl. elektriciteit voor cv-pomp) van een gemiddelde nieuwbouwwoning gespecificeerd naar bouwjaar. Het gaat hierbij om berekende waarden. Bron: [14] en referentiewoningen van Agentschap NL, NL Energie en Klimaat vanaf 1993.

te verklaren door de sterke daling van het gemiddelde jaarlijkse energieverbruik voor ruimteverwarming per huishouden (Afb. 9). Het energieverbruik voor warmtapwater is in die periode meer dan verdubbeld. In Afbeelding 10 is het gasverbruik voor alleen ruimteverwarming voor een gemiddelde nieuwbouwwoning naar bouwjaar aangegeven. Vooral door de toename

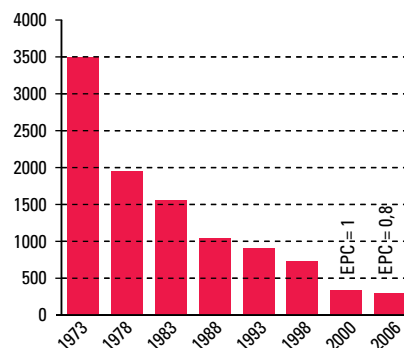
van warmte-isolatie en kierdichting vanaf 1973, het jaar van de eerste 'energiecrisis', daalt het energieverbruik sterk. Het gemiddelde elektriciteitsverbruik per huishouden daalde vanaf 1980 eerst nog en begon vanaf 1989 te stijgen (Afb. 11). Gaan we terug tot 1950, dan is te zien dat het gemiddelde energieverbruik toen aanzienlijk lager lag (Afb. 12). Rond 1965 begon de opmars van de centrale verwarming en de overschakeling van steenkool en olie naar aardgas.

Afb. 9

[m³ aardgas]

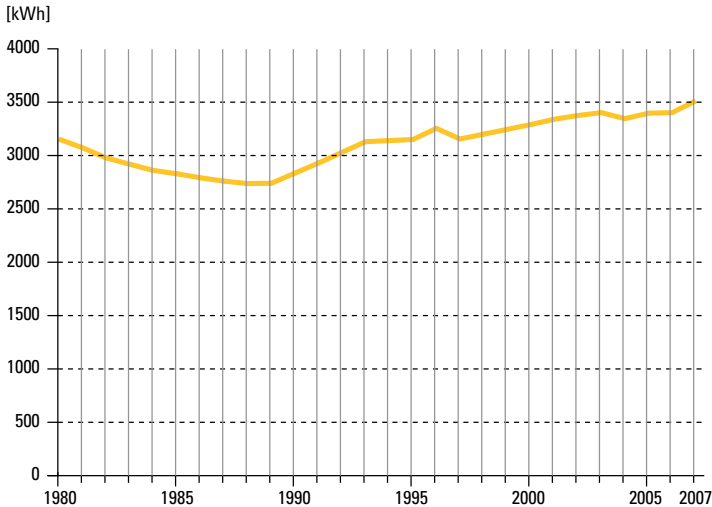
**Afb. 10**

[m³ aardgas]





Afb. 11



Afb. 11

Het elektriciteitsverbruik (meterstanden) per huishouden in de periode 1980-2007 [2].

Afb. 12

Het energieverbruik per inwoner in primaire energie van 1950-2007 [9].

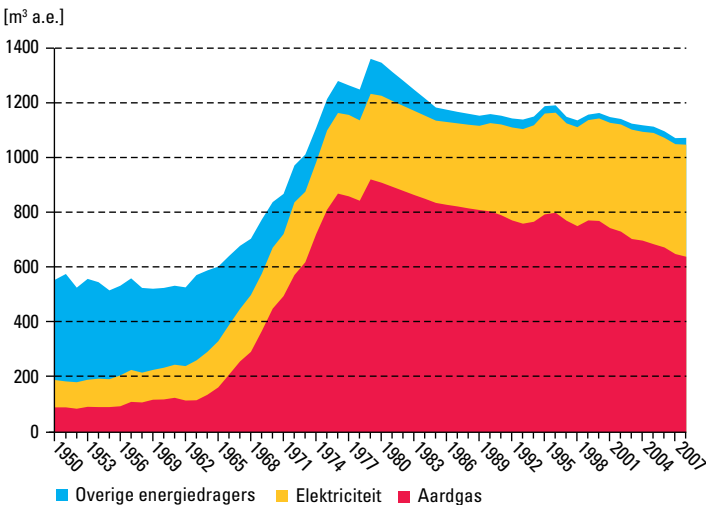
Warmte- en energiestromen

In Afbeelding 13 zijn de berekende warmtestromen van de vijf referentiewoningen (zie bijlage 1.4) met voorbeeldpakket 3 (zie § 3.4) 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 14 zijn voor de tussenwoning niet alleen de warmtestromen aangege-

Afb. 12

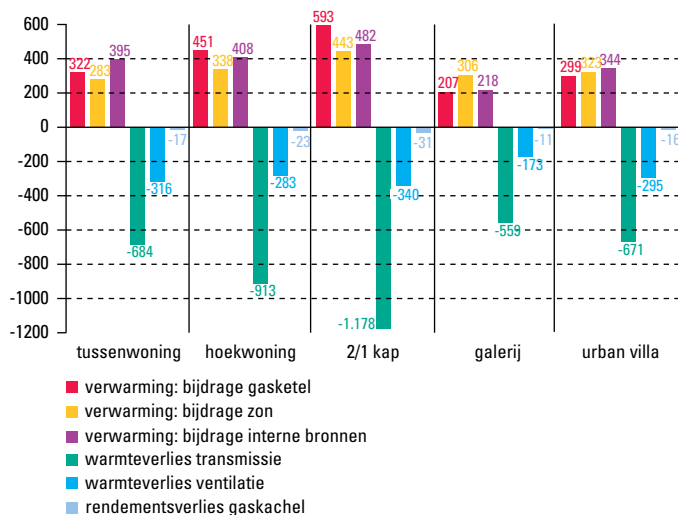
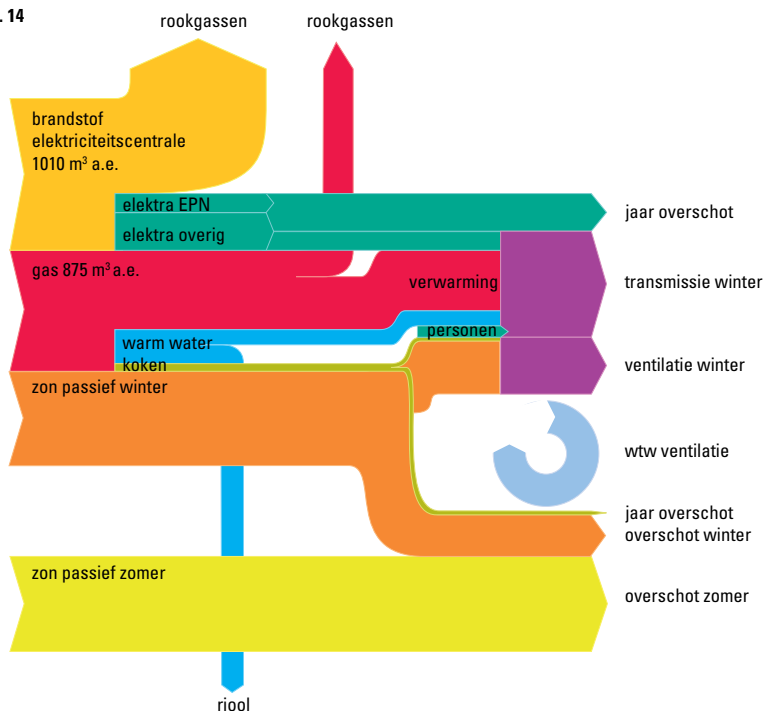


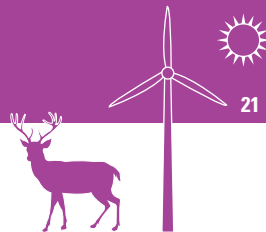
**Afb. 13**

De grafiek illustreert voor de vijf Agentschap NL, NL Energie en Klimaat referentiewoningen met een EPC van 0,8 (**pakket 3 in § 3.4**) de relevante warmtestromen voor ruimteverwarming (m^3 aardgasequivalent (a.e.)).

Afb. 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 m^3 aardgasequivalent per jaar. Een dergelijk stromendiagram wordt wel een Sankey-diagram genoemd (<http://wapedia.mobi/nl/Sankey-diagram>).

Afb. 13[m^3 a.e.]**Afb. 14**



ven, 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.

1.4 Meer informatie

- [1] www.bp.com/statisticalreview; BP Company, Londen, 2009.
- [2] www.energie.nl
Website met informatie over energiengetallen, beheerd door ECN, Petten (NL); oorspronkelijke bron vaak CBS.
- [3] Energierapport 2008; Ministerie van Economische Zaken, Den Haag, juni 2008.
- [4] Effecten van klimaatverandering in Nederland; MNP, Milieu- en Natuurplanbureau te Bilthoven, oktober 2005 (www.pbl.nl/nl/publicaties).
- [5] VROM Dossier 'Klimaatverandering' www.vrom.nl (dossiers)
- [6] De Staat van het Klimaat 2008; PCCC te Wageningen, februari 2009 (www.klimaatportaal.nl).
- [7] Earth's natural wealth: an audit; in: NewScientist, Magazine issue 2605, D. Cohen, 23 mei 2007 (www.newscientist.com).
- [8] Key World Energy Statistics 2008; IEA (International Energy Agency), Parijs, 2008 (www.worldenergyoutlook.com).
- [9] www.milieuennatuurcompendium.nl.
- [10] Statline CBS Databank via www.cbs.nl.
- [11] Duurzame energie in Nederland 2007; CBS, Den Haag, 2008 (www.cbs.nl).
- [12] Meer met Energie – kansen voor Ne-

derland; Task Force Energietransitie, mei 2006.

- [13] Energiescenario's in relatie tot transitiebeleid; J. Bruggink, ECN, rapportnr ECN-C-04-21, 2004 (www.ecn.nl).
- [14] De isolatiegolf, overzicht van vijftien jaar energiebesparing in de woningbouw; BOOM, Delft, in opdracht van Novem, augustus 1989.

Op www.agentschapnl.nl/kompas/energiecijfers is veel cijfermatige informatie te vinden over energieverbruik. De gegevens kunnen naar eigen wens uit de database worden geconfigureerd, in een tabel worden gezet, gedownload enzovoort. Voor een aantal veelgevraagde grafieken en tabellen is al het nodige voorwerk gedaan.





2. Energiebeleid

‘Door het mondiaal 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** [17], één van de belangrijkste beleidstukken op nationaal niveau anno 2010. Het rapport spreekt van de noodzaak tot een **trendbreuk en de transitie (= overgang) naar een duurzame energiehuishouding.**

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’** [28] ondertekend door **VROM, Neprom, NVB en Bouwend Nederland**. In dit akkoord is o.a. afgesproken dat alle partijen streven naar **energie neutrale nieuwbouw in 2020** en zich daar ook voor willen inzetten.

Ook voor de bestaande bouw zijn, in 2007, plannen opgesteld door diverse marktpartijen. Zij hebben in de nota **‘Meer met minder’** [29] een aanpak gepresenteerd om tot een hogere energiebesparing te komen dan met het beleid volgens de rijksoverheid het geval zou zijn.

In paragraaf 2.1 is een korte schets opgenomen van algemeen beleid, zowel internationaal als nationaal. In paragraaf 2.2 komt regelgeving aan de orde en in 2.3 beleidinstrumenten waaronder de EPN.

2.1 Grondslagen

2.1.1 Kyoto-Protocol, ‘Bali Action Plan’ en Kopenhagen

Het Kyoto-Protocol (verdrag) werd in 1997 opgesteld. Industrielanden verbinden zich hierin om de uitstoot van broeikasgasen in 2008-2012 met gemiddeld 5% te verminderen ten opzichte van het niveau in 1990. Per land gelden uiteenlopende reductiepercentages. Nederland moet zijn broeikasgasemissies in 2008-2012 met 6% hebben gereduceerd ten opzichte van 1990. 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.

Als vervolg op Kyoto vond in december 2007 op Bali een nieuwe VN-topconferentie plaats. Hierbij is het ‘Bali Action Plan’

opgesteld. Dit plan geeft de onderwerpen aan waarover in december 2009 in Kopenhagen in een nieuw klimaatverdrag afspraken moeten zijn gemaakt om na 2012 (afloop Kyoto-protocol) wereldwijd de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen. In het plan is aandacht voor o.a. te nemen maatregelen voor aanpassing aan klimaatverandering, financiering, een fonds voor de meest kwetsbare landen en het tegengaan van ontbossing. Meer informatie in het Dossier Klimaatbeleid [15] en [16].

2.1.2 NMP4 en Energierapport 2008

NMP4

Het NMP4, het Vierde Nationaal Milieubeleidsplan verscheen in 2001 en vormt nog steeds de algemene basis van het nationale milieubeleid anno 2010, samen met het NMP3. In 2006 bracht het Kabinet



de 'Toekomstagenda Milieu: schoon, slim, sterk' [35] 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 2008

Energiebesparing blijft volgens het Energierapport 2008 [17] de hoeksteen van het energiebeleid. Het is de meest kosteneffectieve manier om minder import-afhankelijk en milieubelastend te worden. Verder richt het beleid tot 2020 zich op het stimuleren van een meer duurzame energiehuishouding. Het gaat om een flexibel energiesysteem dat zich makkelijk aan kan passen aan snel veranderende omstandigheden. Het gaat daarbij om drie dingen:

- **Schoner:** de belasting van het milieu kan drastisch omlaag, in het bijzonder de uitstoot van CO₂. Een reductie van 50% in Europa in 2050 ten opzichte van 1990 is mogelijk. Energiebesparing, duurzame energie, CO₂-afvang en -opslag en kernenergie zijn daarvoor de aangewezen middelen.
- **Slimmer:** vraag en aanbod van energie kunnen slimmer aan elkaar worden gekoppeld door het gebruik van ICT ('slimme' meters en netten). Nieuwe combinaties van technieken en systemen zijn nodig, zowel kleinschalig (bijv. energie neutrale woningen) als grootschalig (bijv. een betere koppeling van energienetten met die van buurlanden).
- **Gevarieerder:** er is veel meer variatie in de energiehuishouding mogelijk: naast duurzame bronnen ook meer verschillende fossiele bronnen, uit verschillende

landen en via verschillende transportroutes. Maar ook verschillende technieken en systemen, zowel grensoverschrijdend als lokaal.

Een toename van het gebruik van kernenergie wordt in het beleid dus niet uitgesloten. Wat duurzame energie betreft, wordt vooral veel verwacht van windenergie en biomassa. Op termijn ziet de overheid ook een duidelijke rol voor zonne-energie voor elektriciteitsproductie. Het streven is 20% (van het totale energieverbruik) duurzame energie in 2020. Volgens het rapport 'Realisatie Milieudoelen 2009' [32] zal dat percentage (bij lange na) niet gehaald gaan worden, ook al wordt rekening gehouden met het 'Aanvullend beleidsakkoord' van maart 2009 [33].

Bij het gebruik van (geteelde) biomassa als energiebron zijn kanttekeningen te plaatsen. Dat doet het Energierapport dan ook. Meer informatie over biomassa geven de publicaties [30] en [31].

Het Energierapport 2008 geeft ook een concreet beleid voor de Energieprestatie-eis: deze zal worden aangescherpt met 25% in 2011 en 50% in 2015. Voor de woningbouw betekent dat dus een EPC van maximaal 0,6 per 2011 en 0,4 per 2015.

2.2 Regelgeving

2.2.1 Bouwbesluit

Nieuwe woningen moeten voldoen aan bouwregelgeving. Het Bouwbesluit [20] geeft kwaliteitseisen voor energiezuinigheid. Naast de grenswaarde voor de energieprestatiecoëfficiënt (EPC), zijn in het Bouwbesluit nog drie aanvullende eisen ten aanzien van energiezuinigheid opgenomen:



- minimale warmteweerstand van dichte constructies: $R_c \geq 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- maximale warmtedoorgangscoefficiënt van ramen en deuren (inclusief kozijn): U-waarde $\leq 4,2 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- maximale luchtdoorlatendheid, q_{v10} -waarde $\leq 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (oftewel $\leq 200 \text{ dm}^3/\text{s}$)

Afgezien van deze drie eisen is men er dus vrij in hoe men aan de **EPC** wil voldoen (zie § 2.3.1).

Maatregelpakketten NEN 5128

Sinds mei 2009 is het wijzigingsblad A1:2008 op NEN 5128:2004 via het Bouwbesluit van kracht [19]. Daarin zijn, naast enkele wijzigingen en aanvullingen, vier maatregelpakketten opgenomen die direct leiden tot toekenning van een EPC van 0,8. Door te kiezen uit één van deze pakketten wordt het maken van een EPC-berekening overbodig. Dit kan een praktische oplossing zijn voor kleine of eenmalige projecten. De pakketten zijn ook te gebruiken om bij aanvang van een ontwerp een indruk te hebben welke maatregelen in ieder geval nodig zijn om te voldoen aan de EPC-eis.

De uitwerking van de pakketten staat in de nieuwe bijlage J van NEN 5128. In Afbeelding 15 is een overzicht van de pakketten opgenomen. De bovenste maatregelen gelden voor alle pakketten, de onderste voor de specifieke pakketten. Men heeft de keus uit de pakketten genoemd B1 en B2 (met gebalanceerde ventilatie) of Z1 en Z2 (met natuurlijke toevoer en mechanische afzuiging). Men kiest in feite voor een bepaald ventilatiesysteem (waaruit volgt B of Z) en uit de verhouding verliesgevend oppervlak / gebruiksoppervlakte in het betreffende ontwerp volgt of men pakket B1/Z1 of B2/Z2 moet nemen.

In alle pakketten is een HR-107 combiketel

opgenomen. Het is aan te bevelen om voor het warmtapwater een ketel met een hoger rendement te nemen dan de minimale eis die gevraagd wordt (zie *afb. 15*).

Europese Richtlijn energieprestatie van gebouwen (EPBD)

In 2003 is de Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) gepubliceerd. Deze EU-richtlijn, in het Nederlands: de Richtlijn energieprestatie van gebouwen, moet leiden tot verbetering van de energieprestaties van de gebouwen in de EU.

Volgens de richtlijn moeten de lidstaten:

- Een algemeen kader opstellen voor een methodiek voor de berekening van de geïntegreerde energieprestatie van gebouwen;
- Minimumeisen stellen aan de energieprestatie van nieuwe gebouwen en van bestaande grote gebouwen (met een gebruiksoppervlakte van meer dan 1000 m^2) die een ingrijpende renovatie ondergaan;
- De energiecificering van gebouwen regelen; bij bouw, verkoop en verhuur moet de eigenaar een energieprestatiecertificaat overleggen van maximaal tien jaar oud;
- De haalbaarheid laten onderzoeken van alternatieve systemen (duurzame energie) bij nieuwbouw met een gebruiksoppervlakte van meer dan 1000 m^2 ;
- cv-ketels en airconditioningsystemen in gebouwen periodiek laten inspecteren;
- Verwarmingsinstallaties met een ketelvermogen $> 20 \text{ kW}$ en ouder dan vijftien jaar geheel laten keuren;

**Afb. 15**

Overzicht van de vier pakketten uit bijlage J NEN 5128 om een EPC van 0,8 te halen. Kiest men hieruit, dan hoeft geen EPC-berekening meer gemaakt te worden. De pakketten gelden zoals te zien is alleen voor de relatief zwaardere bouw, dus niet voor houtskeletbouw. Een LTV-systeem heeft een aanvoertemperatuur < 60 °C en een retourtemperatuur < 40 °C.

Bron: NEN te Delft.

- Verder moeten gebouwen met een gebruiksoppervlakte van meer dan 1000 m² waarin publieke diensten worden geleverd voorzien zijn van een zichtbaar energieprestatiecertificaat.

Nederland voldoet in de praktijk voor nieuwbouwwoningen geheel aan de richtlijn, voor de overige nieuwbouw en de

bestaande (woning)bouw grotendeels [21]. Wat echter tot 2009 nog niet goed liep, was het **Energielabel**. Daarom is dit label per januari 2010 verbeterd. (zie bijlage 6)

Energielabel en Energie-index

Het **Energielabel** [22] (zie bijlage 6) was en is voorlopig alleen bedoeld voor de bestaande bouw. Aan de hand van de

Afb. 15

Overzicht maatregelpakketten woningbouw met EPC = 0,8

pakketten	B1	B2	Z1	Z2
Algemeen geldende voorwaarden voor alle pakketten	Bouwwijze traditioneel gemengd zwaar			
	Gebouwgebonden buitenzonwering bij ramen $\geq 0,5$ m ² op 0, Z0, Z, ZW, W			
	Raamoppervlak $\leq 0,21 \times 60$			
	Ramen met HR ++ glas, $U \leq 1,7$			
	Zontoe tredingsfactor ramen ZTA $\leq 0,6$			
	Geïsoleerde buitendeuren $U \leq 2,0^1$			
	HR-107 ketel voor verwarming en warmtapwater (met aanvullende rendementseis) ²			
	Gelijktroomventilatoren			
	Geen gebouwgebonden mechanische koeling			

Specifieke voorwaarden per pakket	B1	B2	Z1	Z2
Verhouding verliesoppervlakte/gebruiksoppervlakte	$\leq 1,35$	tussen 1,35 en 2,23	$\leq 1,35$	tussen 1,35 en 2,23
Isolatie R_c gevel en BG vloer	$\geq 3,5$	$\geq 4,0$	$\geq 3,5$	$\geq 4,0$
Isolatie R_c dak	$\geq 4,0$	$\geq 5,0$	$\geq 4,0$	$\geq 5,0$
Luchtdoorlatendheid schil	$\leq 0,625$	$\leq 0,625$	$\leq 1,0$	$\leq 1,0$
Verwarmingssysteem ³	HTV	LTV	LTV	LTV
Douchewarmteterugwinning	-	-	ja	ja
Warmwaterleiding aanrecht ≤ 7 m, bad ≤ 5 m	-	-	ja	ja
Zonnecollector voor warmtapwater	-	-	ja	ja
Ventil. met zelfreg. roosters en mech. afzuiging	-	-	ja	ja
Gebalanceerde ventilatie met 95% WTW ⁴	ja	ja	-	-

1 Dezelfde U-waarde geldt voor dichte kozijnen

2 De rendementseis voor warmtapwater is afhankelijk van de hoeveelheid (67,5% - 72,5%)

3 HTV = hogetemperatuurverwarming, LTV = lagetemperatuurverwarming (vloer-wand + radiatoren)

4 Met bypass en niet uitschakelbaar door bewoners



Energie-index is een indeling gemaakt in klassen, van G naar A⁺⁺. Hierbij is A⁺⁺ het beste niveau, dus met het laagste energieverbruik.

Mede aan de hand van de opname van de belangrijkste kenmerken van een woning, wordt de Energie-index berekend. Deze index is het berekende energieverbruik gedeeld door een toelaatbaar norm-verbruik. Het norm-verbruik is afhankelijk van het vloeroppervlak en het schil-oppervlak (gevels, dak, beganegrondvloer). Hoewel er geen directe relatie bestaat tussen de labels cq. Energie-indexen en EPC-waarden, is er wel een indicatie te geven: Label A komt ongeveer overeen met een EPC van 0,8. Dit is de huidige maximale waarde voor een nieuwbouwwoning.

Als bij verkoop van een bestaande woning een bouwaanvraag met EPC-berekening van niet meer dan 10 jaar oud overlegd wordt, is het aanvragen van een energielabel niet nodig. De EPC-berekening volstaat dan als energielabel.

2.3 Beleidsinstrumenten

De energieprestatiecoëfficiënt (EPC) van nieuwe gebouwen is een maat voor de energie-efficiëntie. Hieraan zijn in het **Bouwbesluit** eisen gesteld (zie § 2.2.1). De EPC wordt berekend met de energieprestatienorm (NEN 5128, zie § 2.3.1).

De **energieprestatie op locatie (EPL)**, zie § 2.3.2) is een vrijwillig te gebruiken instrument dat energieprestaties op een locatie inzichtelijk maakt. Hiermee zijn keuzen voor energiebesparende alternatieven op locatieniveau te maken. Voor de bestaande bouw (woningen en utiliteitsgebouwen) heeft VROM het vrijwillig te gebruiken energieprestatieadvies (EPA)

ontwikkeld. Om de bouw van energiezuinige woningen te stimuleren heeft VROM in het kader van het klimaatconvenant gemeenten gesubsidieerd om lokaal klimaatbeleid vorm te geven. Ook ondersteunt VROM een netwerk van lokale/regionale adviseurs op het gebied van klimaatbeleid en duurzaamheid.

De regulerende energiebelasting stimuleert energiegebruikers om bewust om te gaan met gas en elektriciteit. In het kader van de Regeling Groenprojecten, kan een duurzaam woningbouwproject of een duurzaam woningrenovatie-project met een groenverklaring, in aanmerking komen voor een lagere rente van (een deel van) de hypotheek (Groene Financiering).

2.3.1 NEN 5128 – Energie Prestatie Norm (EPN)

Voor het verkrijgen van een bouwvergunning van een woning, moet de energieprestatie van de woning (EPC) aantoonbaar voldoen aan de grenswaarde in het Bouwbesluit. De EPC moet zijn berekend met NEN 5128 (EPN).

Deze norm zal naar verwachting in 2011 worden vervangen door een nieuwe norm, de NEN 7120 (EPG – Energie Prestatie Gebouw). In deze uitgave van het Energievademecum wordt hier nog geen rekening mee gehouden.

Sinds de invoering van de EPN (15 december 1995) is de EPC stapsgewijs aangescherpt. Bij invoering was de grenswaarde die aan de EPC werd gesteld 1,4. Sindsdien is de EPC tussentijds aangescherpt naar 1,2 (1 januari 1998) en 1,0 (1 januari 2000). Vanaf 1 januari 2006 is de EPC-eis voor de woningbouw 0,8. Daarbij is de rekenmethode tussentijds ook aangepast. Vanaf

**Afb. 16**

De grafiek geeft het primaire energieverbruik aan voor verwarmen, warmtapwater, koken en het huishoudelijke elektriciteitsverbruik van woningen met een EPC aflopend van 1,4 naar 0,8. Het verbruik voor ruimteverwarming en warmtapwater is berekend met NEN 5128:2004. Het primaire energieverbruik voor elektriciteit en koken is het gemiddelde verbruik per Nederlands huishouden (dus niet specifiek voor nieuwbouwwoningen) in 1996, 1998, 2000 en 2006 [2]. Het verbruik voor 2006 is daarin lineair geëxtrapoleerd.

Afb. 17

De grafiek geeft de CO₂-emissie behorend bij het energieverbruik uit Afbeelding 16.

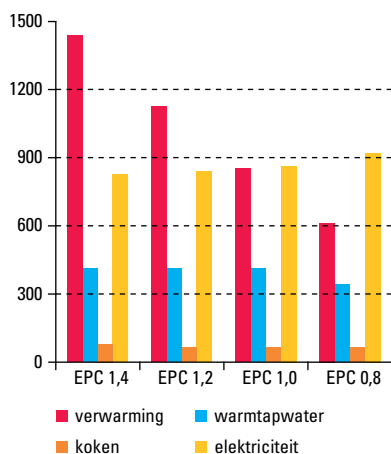
22 mei 2009 moet voor de berekening van de EPC de NEN 5128:2004 met aanvullingsblad A1:2008 [25] worden gebruikt.

Per 2011 zal de EPC-eis maximaal 0,6 worden en per 2015 maximaal 0,4 [17].

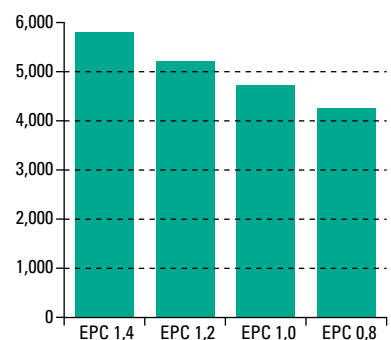
Het lijkt er op dat voor zeer energiezuinige woningen (EPC 0,60 en lager) de EPC-bere-

Afb. 16

m³ a.e. primair energieverbruik tussenwoning

**Afb. 17**

kg CO₂/jaar



kening geen juist beeld geeft [36]. Over het algemeen zal de EPC een lager gemiddeld energieverbruik voor ruimteverwarming voorspellen dan de werkelijkheid. Bij de nieuwe NEN 7120 zal daar rekening mee worden gehouden.

Lage EPC en werkelijk energieverbruik

Een lage EPC is geen garantie voor een laag energieverbruik in de praktijk. Vooral een zorgvuldige uitvoering van de voorgestelde maatregelen en een goede controle daarop zijn belangrijke randvoorwaarden daarbij. Daarnaast is een goede voorlichting naar bewoners belangrijk.

In het Lente-akkoord [28] zijn daarom afspraken gemaakt over o.a.:

- een betere aansluiting van de EPN op het werkelijke energieverbruik;
- afstemming van de EPN op zeer energiezuinige woningen;
- aandacht voor gezondheid, kwaliteit binnenmilieu en oververhitting bij nieuwe normgeving;
- opstellen van gebruiks- en onderhoudsinstructies voor bewoners.

Op www.agentschapnl.nl/epn staat handige informatie over het handhaven (controlen) van de ingediende EPC-berekening en EPN-toezicht op de bouwplaats. Enkele hulpmiddelen zijn daar te downloaden zoals:

- **Handboek Handhaving EPN.**
- de **Checklist op maat** (in EPCheck). Met het computerprogramma EPCheck kunt u een uitdraai maken van de controlepunten op de bouwplaats van een specifiek nieuwbouwproject. Voorwaarde is wel dat u beschikt over de digitale EPC-berekening van het specifieke bouwwerk. Voor gemeenten is het daarom aan te bevelen om bij de indiening van



een bouwaanvraag naar zo'n digitale berekening te vragen.

- **info-bladen installaties op de bouwplaats.**
- **tips voor een effectief toezicht op de bouwplaats.**
- overzicht controlepunten op de bouwplaats, zie Afb. 18.

Software

Er zijn enkele aanbieders van rekenprogramma's waarmee de EPC berekend kan worden. Op www.agentschapnl.nl/epn is een overzicht hiervan opgenomen. Eén van de programma's is de NPR - EPW 5129+A1:2009 [38]. De NPR is voorzien van een handboek met onder andere een instructie voor het uitvoeren van de berekeningen.

Energieprestatiecoëfficiënt (EPC)

De EPC wordt berekend door het berekende primaire energieverbruik van de woning te delen door een formule met het gebruiksoppervlak en het verliesoppervlak (gebouwschil) van de woning. Het primaire energieverbruik is het totaal van de energieverbruiken voor verwarming, warmtapwater, ventilator(en), pompjes, zomercomfort, koeling en verlichting (zie Afb. 19). De geproduceerde elektriciteit bij toepassing van warmtekracht of fotonvoltaïsche cellen (pv) mag hierop, tot een vastgesteld maximum, in mindering worden gebracht.

De weging met het gebruiksoppervlak en het verliesoppervlak is ingevoerd om verschillende woningen met gelijke technische voorzieningen en oriëntatie een (bij benadering) gelijke EPC te geven. Een grote vrijstaande woning heeft dus bij benadering eenzelfde EPC als een kleine woning, uitgaande van gelijke voorzieningen en ligging.

Forfaitaire waarden

In de norm is voor een groot aantal voorzieningen en constructies een vaste rekenwaarde (forfaitaire waarde) opgenomen. Voorbeelden hiervan zijn het rendement van verwarmingsinstallaties en de U-waarde van ramen en deuren. Met een (erkende) kwaliteitsverklaring voor een voorziening of constructie mogen ook gelijke of betere waarden (dan in NEN 5128 genoemd) gebruikt worden voor vergelijkbare voorzieningen of constructies. Dit berust op het principe van het gelijkwaardigheidsbeginsel uit het Bouwbesluit. Gelijkwaardigheid betekent in dit kader dat ten minste een gelijk prestatieniveau moet worden gerealiseerd.

Uit onderzoek [37] blijkt dat gelijkwaardigheidsverklaringen vaak een te gunstig beeld geven. In werkelijkheid zal de gemiddelde prestatie lager zijn en zal het gemiddelde energieverbruik dus hoger zijn dan berekend.

Voorbeeld forfaitaire waarde

NEN 5128 geeft in tabel 4 het energetisch rendement voor warmteterugwinning in ventilatiesystemen. Het hoogste forfaitaire, in de norm opgenomen, rendement bedraagt 0,75. Wanneer warmteterugwinning (van een bepaald merk en type) een hoger rendement heeft volgens een (erkende) kwaliteitsverklaring, dan mag dit hogere rendement in de berekening van de EPC gebruikt worden. De kwaliteitsverklaring moet bij de indiening van de bouwaanvraag overlegd worden.

Maandmethode vanaf 2004

In de NEN 5128 van 2004 worden de warmte- en koelbehoefte van de woning berekend met de maandmethode. Dat wil zeggen dat de energiebalans per maand



Afb. 18

Afb. 18

Overzicht controlepunten voor de EPN op de bouwplaats; bron: Agentschap NL, NL Energie en Klimaat.

Bouwkundige aspecten wat?	hoe?	wanneer?
R _e -waarde dichte delen	meet de dikte van isolatiemateriaal en lees lamda af van verpakking. Bepaal R _e met rekenlineal	tussentijdse controle
U-waarde beglazing	kijk in spouw of op de stickers voor type aanduiding. Bepaal U-waarde a.d.h.v. tabel op rekenlineaal	tussentijdse controle
U-waarde kozijnen	controleer of een koudebrugonderbreking aanwezig is	tussentijdse controle
detailering en afwerking	kijk of er netjes en volgens de tekeningen gewerkt wordt	tussentijdse controle
infiltratie	controleer kwaliteit van de rubbers met een kartonnetje	tussentijdse controle
infiltratie	controleer naaddichting en kierdichting (goede knevels)	tussentijdse controle
zonwering	controleer of buitenzonwering daadwerkelijk is aangebracht	eindcontrole
Verwarmingsinstallatie wat?	hoe?	wanneer?
type HR-ketel	controleer type aan de hand van Gaskeurlabel op het toestel	eindcontrole
type HR-ketel	controleer of het type toestel overeenkomt met de kwaliteitsverklaring	eindcontrole
warmtepomp	controleer of het type toestel overeenkomt met de kwaliteitsverklaring	eindcontrole
warmtelevering	ga na of (voorbereidingen voor) afleverzet aanwezig is (meestal in de meterkast)	tussentijdse controle
LTV	controleer of vloer- en/of wandverwarming aangebracht is	tussentijdse controle
Ventilatiesysteem wat?	hoe?	wanneer?
zelfregelende of vraaggestuurde roosters	controleer of type overeenkomt met de EPC-berekening / gelijkwaardigheidsverklaring	tussentijdse controle
vraaggestuurde roosters	controleer of regelunits / sensoren aanwezig zijn	eindcontrole
gebalanceerde ventilatie	controleer of type overeenkomt met de EPC-berekening / gelijkwaardigheidsverklaring	eindcontrole
gebalanceerde ventilatie	controleer of toe- en afvoerventielen geplaatst zijn	tussentijdse controle
gebalanceerde ventilatie	controleer of de kanalen die ingestort zijn, heel en niet gedeukt zijn	tussentijdse controle
Warmtapwater wat?	hoe?	wanneer?
CW-klasse HR-ketel	controleer CW-klasse aan de hand van Gaskeurlabel op het toestel	eindcontrole
type combiketel	als gebruik is gemaakt van een kwaliteitsverklaring: ga na of het juiste toestel is geplaatst	eindcontrole
douche-wtw	ga na of de douche-wtw is geplaatst en controleer of type overeenkomt met de gelijkwaardigheidsverklaring	tussentijdse controle
Zonneboiler wat?	hoe?	wanneer?
collectoroppervlak	controleer globaal of collector de juiste grootte heeft	eindcontrole
collectororiëntatie	controleer of de collector op de juiste oriëntatie geplaatst is	eindcontrole
belemmeringen	controleer of er geen schaduw valt op de collector	eindcontrole
Zonnecellen (PV) wat?	hoe?	wanneer?
oppervlak	controleer globaal of panelen de juiste grootte hebben	eindcontrole
type pv-cellen	controleer of juiste type is toegepast. Mono- en multikristallijn (> 100 Wp/m²) hebben een blauw/gevlekt uiterlijk en zijn min of meer vierkant. Amorfv-PV (50- 60 W/m²) heeft een bruin/egaal uiterlijk.	eindcontrole
belemmeringen	controleer of er geen schaduw valt op de PV-cellen, ook niet van een (rookgas)afvoer	eindcontrole



wordt gemaakt in plaats van gemiddeld per stookseizoen of koelseizoen (zoals eerder het geval was). De warmte- en koelbehoefte is daarmee nauwkeuriger te berekenen. Bovendien wordt hierdoor ook een meer betrouwbare voorspelling van het zomercomfort berekend.

CO₂-emissieberekening

De EPC wordt berekend op basis van het primaire energieverbruik. 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.

Temperatuuroverschrijding

In het rekenprogramma EPW is de ZTW-rekenmodule (ZonToetreding Woningen) opgenomen. Hiermee kan men een indicatie krijgen of in een bepaalde zone van een woning de temperatuur in de zomer vaak boven de 25°C zal komen te liggen. De module geeft het aantal overschrijdingsuren voor de totale zomerperiode voor verschillende combinaties van ventilatie, zonwering en gebouwmassa.

Bij de EPC-berekening wordt het effect van eventuele te hoge binnentemperaturen meegenomen: de woning wordt namelijk denkbeeldig mechanisch gekoeld. Maatregelen die te hoge binnentemperaturen tegengaan zoals zonwering en een bypass op een wtw-unit, hebben dus een gunstig (verlagend) effect op de EPC: mechanische koeling kan worden voorkomen.

Berekenen EPC 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.

Niet in EPC opgenomen ...

Een aantal maatregelen dat in de praktijk energie kan besparen, is niet in de EPC-berekening opgenomen. Dit is gedaan omdat deze maatregelen of in strijd zijn met het Bouwbesluit-principe van vrije indeelbaarheid of omdat deze niet met zekerheid gehandhaafd blijven.

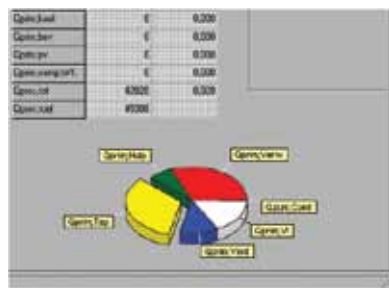
De niet opgenomen maatregelen kunnen echter wel degelijk zinvol zijn. Vaak bieden ze bewoners de kans extra energiezuinig te handelen en soms vergroten ze bovendien het comfort.

Voorbeelden:

- **afsluitbare keuken** (zie § 4.2.2);
- **tochtportalen** (zie § 4.2.2);
- **vensterbank** boven radiatoren of convectoren (zie § 5.1.5);
- **warmte-isolerende gordijnen** (zie § 5.2.1);
- 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 § 7.2.3, § 7.2.6 en § 7.4.1);
- **(warm)waterbesparende douchekop** (zie § 9.1.1);
- **kranen met parabolische sluiting** (zie § 9.1.1);
- **warmte-isolatie leidingen voor warmtapwater** (zie § 9.2);
- **hot-fill aansluitpunten** voor huishoudelijke apparatuur (zie § 9.1.4);
- **energiezuinige apparatuur, verlichting, liften**, et cetera (zie § 10.1).

**Afb. 19**

Bij de berekening met de NPR - EPW 5129 verschijnt op het scherm deze informatieve afbeelding over de verdeling van het primaire energieverbruik over de verschillende posten. In de standaard uitdraai is dit figuur helaas niet meer te zien.

Afb. 19

2.3.2 Energie Prestatie op Locatie (EPL)

Energie Prestatie op Locatie (EPL) [26] is een communicatie-instrument (met een rekenmodel) dat met één rapportcijfer waardering geeft aan de energieprestatie van een woonwijk. Met de EPL kunnen gemeenten, projectontwikkelaars, woningbouwcorporaties, netbeheerders en leveranciers van energie tot een optimale energievoorziening komen door CO₂-reducerende maatregelen te nemen. Het gaat hierbij zowel om het schaalniveau van de bebouwing als van de gehele planlocatie. De wijze van energie- of warmteopwekking wordt bij de EPL meegenomen en kan daardoor worden geoptimaliseerd.

In de rekenmethodiek van de EPL wordt het berekende fossiele energieverbruik van de woningen (en andere bebouwing) binnen een locatie vergeleken met het referentie energieverbruik van diezelfde locatie. Ook wordt het verbruik meegenomen voor o.a. straatverlichting.

Het resultaat van de berekening is een EPL-score, op een schaal van 0 tot 10; de score 10 staat voor de ideale situatie, waarin geen fossiele brandstoffen worden gebruikt. Een score van 6,0 staat voor een bouwlocatie voorzien van een aardgas- en een elektriciteitsnet en woningen met een EPC van 1,0 (de maximum eis voor de EPC

die gold toen de EPL ontwikkeld werd) en voorzien van cv-ketels. Een huidige nieuwbouwlocatie met een aardgas- en elektriciteitsnet en bestaande uit referentiewoningen met cv-ketels en een EPC van 0,8 (het huidige maximum) haalt een score van 6,6.

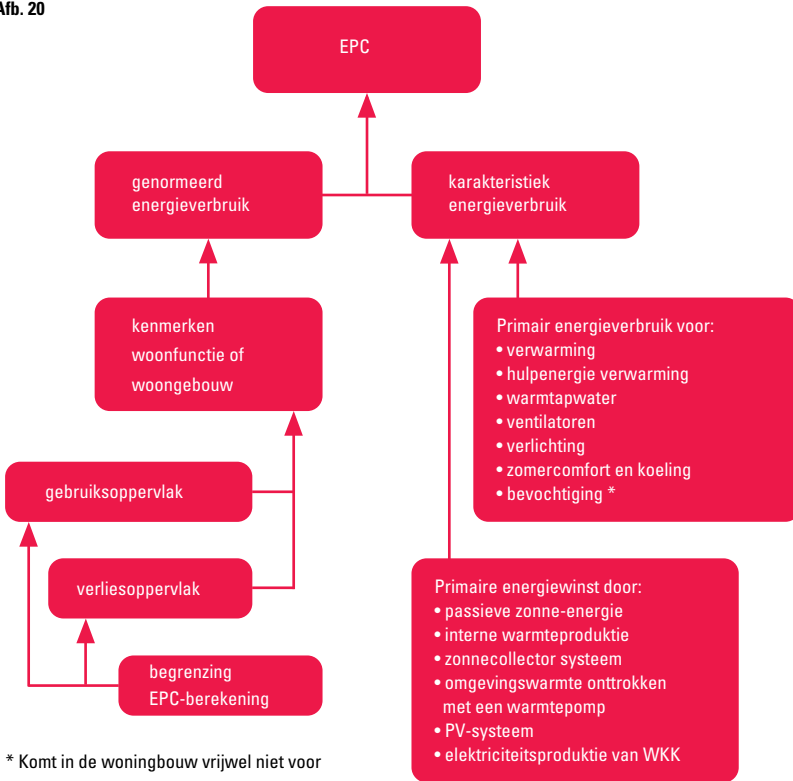
Anders dan bij de EPC, wordt bij de EPL niet alleen het 'gebouwgebonden' elektriciteitsverbruik (voor verwarming, ventilatie, verlichting) meegenomen, maar ook het 'niet-gebouwgebonden' elektriciteitsverbruik zoals voor huishoudelijke apparatuur, tv en computers.

Op www.agentschapnl.nl/gebiedsontwikkeling staat meer informatie over de EPL. Zo is daar de 'EPL Monitor Nieuwbouwlocaties' te downloaden [34]. Deze geeft een overzicht van een groot aantal nieuwbouwlocaties met EPL-scores. In de Monitor 2008 wordt geconstateerd dat een EPL hoger dan 8,0 alleen te halen is als de benodigde elektriciteit voor de niet-gebouwgebonden apparatuur lokaal duurzaam wordt opgewekt.

De EPL zal op termijn vervangen worden door de EMG, de Energieprestatie Maatregelen op Gebiedsniveau. Eén van de wijzigingen ten opzichte van de EPL zal zijn dat warmtelevering van buiten de gebiedsgrenzen op woningniveau wordt gewaardeerd.



Afb. 20



* Komt in de woningbouw vrijwel niet voor

Afb. 20

Opbouw van de EPC; alle energieverbruiken (op bovenwaarde) betreffen primaire energie per jaar.

2.4 Meer informatie

- [15] Dossier Klimaatbeleid / Klimaatverandering via www.vrom.nl.
- [16] www.hier.nu/klimaatverandering.
- [17] Energierapport 2008; Ministerie van Economische Zaken, Den Haag, juni 2008; te downloaden via www.ez.nl.
- [18] NMP4 (Nationaal Milieubeleidsplan 4) – Een wereld en een wil – werken aan duurzaamheid; Ministerie van VROM, Den Haag, 2001.
- [19] epn.nen.nl (zonder www.).
- [20] www.vrom.nl/bouwregelgeving.
- [21] Dossier Energiebewust bouwen en wonen op www.vrom.nl.
- [22] Dossier Energielabel op www.vrom.nl.
- [23] www.nlenergieenklimaat.nl.
De website van Agentschap NL, NL Energie en Klimaat bevat veel informatie over energiegerelateerd beleid, zowel internationaal, nationaal als lokaal.
- [24] www.agentschapnl.nl/epn
Op dit deel van de website van Agentschap NL, NL Energie en Klimaat is veel theoretische en praktische informatie te vinden over energieprestatienormering.
- [25] NEN 5128:2004&A1:2008 Energieprestatie van woonfuncties en woonge-



- bouwen – Bepalingsmethode; NEN, Delft, 2004/2008.
- [26] EPL-Energie Prestatie op Locatie, CE Centrum voor energiebesparing en schone technologie (www.ce.nl), Delft, januari 1998.
- [27] www.energie.nl. Website met informatie over energiengetallen, beheerd door ECN, Petten (NL).
- [28] Lente-akkoord – Energiebesparing in de nieuwbouw; akkoord tussen diverse partijen, ondertekend op 22 april 2008, Den Haag; zie ook www.lente-akkoord.nl
- [29] Meer met minder; Aedes, EnergieNed, Platform Energietransitie Gebouwde Omgeving (PeGO), juni 2007 (zie ook www.energietransitie.nl).
- [30] Helder groene Biomassa; Provinciale Milieufederaties en Stichting natuur en Milieu, Utrecht, januari 2008; te downloaden via www.natuurenmilieu.nl.
- [31] Biomassa, hot issue – Slimme keuzes in moeilijke tijden; Creatieve Energie, 2008; te downloaden via www.agentschapnl.nl/energietransitie/groene-grondstoffen.
- [32] Realisatie Milieudoelen - Voortgangsrapport 2009; Planbureau voor de leefomgeving, Bilthoven, mei 2009; te downloaden via www.pbl.nl.
- [33] Aanvullend beleidsakkoord bij 'Samen werken, samen leven'; Ministerie van Algemeen Zaken, Kamerstuk 25-3-2009; te downloaden via <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=39104>
- [34] EPL-monitor 2008 Nieuwbouwlocaties; CE Delft, december 2008 (in opdracht van Agentschap NL, NL Energie en Klimaat) te downloaden via <http://www.agentschapnl.nl/gebiedsontwikkeling/>
- [35] Toekomstagenda Milieu: schoon, slim, sterk; VROM, april 2006.
- [36] A posteriori bepalingmethode voor de energiestaat - een verkenning; T. Haartsen, Climatic Design Consult e.a., opdrachtgever; NEN Bouw, juni 2008.
- [37] Onderzoek toepassing gelijkwaardigheid energiestaat – samenvatting; DGMR en CDC, in opdracht van Agentschap NL, NL Energie en Klimaat, november 2008.



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 naarmate de EPC-eisen de komende jaren strenger zullen worden. Allerlei projecten in ons land laten zien dat zeer energiezuinige woningen nu al mogelijk zijn.

In dit hoofdstuk staan energiezuinige woningconcepten centraal. De begrippen energieneutraal en CO₂-neutraal zijn in het kort beschreven. Verder wordt er verwezen naar de 'Toolkit duurzame woningbouw' [39] met nog veel meer uitgewerkte concepten en 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 een lagere EPC (§ 2.3.1) of een hogere EPL (§ 2.3.2) na te streven. Dat is afhankelijk van de ambitie voor het betreffende project (§ 3.1). Ook kunnen er energiebesparende maatregelen genomen worden die (nog) niet gewaardeerd worden in de EPC of EPL (zie § 2.3.1 - 'Niet in EPC opgenomen ...').

Woningen kunnen op verschillende manie-

ren aan de energie-eisen en energie-ambities voldoen (zie § 3.2). Ter ondersteuning van het ontwerpproces is een 'checklist energiebewust ontwerpen' opgenomen die een overzicht biedt van de meest relevante onderwerpen per bouwphase (§ 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 EPC gegeven en laten 9 voorbeeldpakketten zien hoe een EPC van 0,8 of lager (tot 0,0) te halen is.

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 (§ 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/werkwijk) een **Energievisie opstellen** (§ 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** (§ 3.4). Er zijn allerlei

handige sites en tools beschikbaar waaronder www.agentschapnl.nl/eptn en de Toolkit Duurzame woningbouw [39].

- Stel een helder PvE (**Programma van Eisen**) (§ 3.1, 3.2) op, zodanig dat de eisen tussentijds, gedurende het ontwerp- en bouwproces, en bij oplevering te toetsen zijn. Spreek 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:

- een lagere EPC-eis 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. Op www.agentschapnl.nl/gebiedsontwikkeling is hierover veel informatie te vinden; zie 'Energie in afspraken' [40].

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 beheersfase. Op www.agentschapnl.nl/gebiedsontwikkeling [41] is onder 'Energievisie voor locaties' allerlei informatie

te vinden, waaronder voorbeelden van opgestelde Energievisies.

Programma van eisen

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 architect, de installatie- of dubo-adviseur.

Ook Bouwtoezicht heeft een belangrijke rol, maar dan wel specifiek voor die aspecten die met de bouwvergunning te maken hebben zoals de EPC. Op www.agentschapnl.nl/epn zijn diverse handige hulpmiddelen te downloaden zoals het 'Handboek Handhaving EPN' en de bekende checklist 'Overzicht controlepunten EPN op de bouwplaats Woningbouw' (zie § 2.3.1).

De belangrijkste energie-eis voor nieuwbouwwoningen is de EPC. Bij bovenwettelijke energieambities kan een lagere EPC dan in het Bouwbesluit, worden afgesproken. Aanvullend kunnen energiegerelateerde eisen worden gesteld op het gebied van bijvoorbeeld emissies, comfort en binnenmilieu. Voor het stellen van eisen aan de CO₂-emissie kan op woningniveau de NPR 5129 [38] met aanvullingen worden gebruikt en de **Energieprestatie op Locatie (EPL, § 2.3.2)** op de schaal van een deelplan of woonwijk.

Als men ook eisen in het PvE wil opnemen over andere thema's dan energie, kunnen



o.a. de volgende digitale instrumenten nuttig zijn:

- GreenCalc+ (www.greencalc.com)
- GPR Gebouw (www.gprgebouw.nl)
- DCBA-checklist (www.boomdelft.nl)
- BREEAM (www.breeam.nl)

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).

Strategie:

Drie-stappen-strategie of Trias Energetica

De Drie-stappen-strategie [42] voor energie of Trias Energetica gaat uit van een getrapte aanpak voor energiebewust ontwerpen en bestaat uit drie stappen:

- 1 Voorkom onnodig gebruik van energie (voorbeelden: compact bouwen, isoleren, luchtdicht bouwen, 'natuurlijk' ventileren, warmteterugwinning (ventilatie-lucht, 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 warmte-krachtkoppeling, optimale regelingen van pompen en gelijkstroomventilatoren).
Deze drie stappen moeten in deze volgorde worden doorlopen.

Nieuwe stappenstrategie

Als vervolg op de Drie-stappen-strategie is de Nieuwe stappenstrategie gelanceerd [43]. Hierbij wordt tussen stap 1 en 2 de stap 'Hergebruik reststromen' toegevoegd. Een goede aanvulling omdat tot nu toe dergelijke stromen soms onder stap 1 en soms onder stap 3 ingedeeld worden. Er zijn dan dus 4 stappen. De oude stap 3, de nieuwe stap 4, zal op termijn vervallen omdat eindige bronnen niet meer gewenst zijn of omdat ze opraken. Er wordt ook nog een relatie gelegd met de 'Cradle to Cradle' filosofie: afvalstromen (o.a. restwarmte, CO₂) moeten opnieuw gebruikt worden en als 'voedsel' dienen.

De Nieuwe stappenstrategie heeft o.a. als basis gediend voor een studie naar een energieneutrale wijk in Rotterdam [44].

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.

Voorbeelden van componenten met een lange levensduur zijn de gebouwschil en de systemen voor warmteafgifte (radiatoren, vloerverwarming). In deze strategie zijn een hoge isolatiewaarde van de gebouwschil en een laag temperatuur warmteafgiftesysteem (LTV-systeem) passende basismaatregelen.

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.

Strategie: economisch

Hier zijn twee benaderingen mogelijk: Men kan kiezen voor de laagste investering of voor de laagste woonlasten. In de Toolkit Duurzame Woningbouw [39] staat per concept een indicatie van de investeringen van de energiematregelen. In het in de Toolkit opgenomen overzicht van alle concepten per woningtype is duidelijk te zien dat er per vergelijkbare EPC grote verschillen kunnen zijn in de benodigde investeringen.

3.3 Checklist bij ontwerp energiezuinige nieuwbouwwoning

De checklist (Afb.21) 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 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 metingen uit te laten voeren naar o.a. de luchtdichtheid en de ventilatievouden. In de praktijk blijven dergelijke metingen regelmatig achterwege, ondanks de vermelding in het bestek. Gelet op de problemen die de afgelopen jaren geconstateerd [45] zijn met de kwaliteit van o.a. ventilatiesystemen in nieuwbouwwoningen, vraagt deze controle veel meer aandacht: De metingen zullen ook echt, eventueel steekproefsgewijs, uitgevoerd moeten worden. Het uitvoeren van metingen zal bovendien preventief werken waardoor de kwaliteit verhoogd wordt. Daarnaast blijft natuurlijk (meer) controle tijdens de bouw van bouwtechniek en installaties van groot belang.
- Uit onderzoek [58] blijkt dat, zeker bij de complexere installaties, het noodzakelijk is om installaties zorgvuldig in te regelen en regelmatig te blijven controleren.



Hiervoor zijn extra investeringen nodig in 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 de vermelding: of gelijkwaardig product). Alleen de aanduiding 'energiebesparend' is niet voldoende.
- Bij de selectie van energiebesparende maatregelen is het aan te bevelen om de energetische consequenties ook tussentijds te volgen met berekeningen van de **EPC (§ 2.3.1)** en/of de **EPL (§ 2.3.2)**.

3.4 Energiebesparende maatregelen en voorbeeldpakketten

In Afbeelding 22 is voor de twee-onder-een-kap referentiewoning het effect op de EPC weergegeven van diverse maatregelen.

Met de spreadsheet 'EPC & Kosten' op www.agentschapnl.nl/epn [46] is voor een beperkt aantal maatregelen op een snelle manier een indicatie te krijgen van het effect op de EPC voor de verschillende referentiewoningen en een eigen in te voeren woning. Voor meer exacte informatie is een echte EPC-berekening noodzakelijk.

De voorbeeldpakketten (Afb. 23) geven een beeld van diverse mogelijkheden om van de huidige EPC-eis van 0,8 te komen tot woningen met een ver(der)gaande energiebesparing. De energieprestaties en

CO₂-emissies van deze voorbeeldpakketten zijn berekend met de Energieprestatienorm (NEN 5128:2004 met aanvullingen).

Per EPC zijn meerdere pakketten samengesteld om aan te geven dat er meerdere mogelijkheden zijn om aan een EPC te voldoen. Per pakket zijn de hoogste en laagste waarde van de EPC, het energieverbruik en de CO₂-emissie van de vijf referentiewoningen gegeven. In bijlage 1.4 zijn de basisgegevens (afmetingen, tekeningen) en de berekende waarden voor EPC, energieverbruik en CO₂-emissie per referentiewoning terug te vinden.

De referentiewoningen met de daarin getroffen energiebesparende maatregelen, zijn niet de ultieme voorbeelden van energiezuinige woningniewbouw. Ze vormen een goede basis van waaruit een ontwerpproces kan starten. Het spreekt voor zich dat er ook andere dan de hier getoonde combinaties van maatregelen mogelijk zijn.

In woningen zijn nog tal van energiebesparende maatregelen te treffen, die niet in de EPC meegenomen worden. Deze maatregelen zijn niet in de bijgaande voorbeeldpakketten opgenomen, maar horen (deels) zeker thuis in energiezuinige woningbouw.

De voorbeeldpakketten kenmerken zich als volgt:

- pakket 1 (EPC 0,8; referentiepakket): eenvoudig, integraal
- pakket 2 (EPC 0,8): zonneboiler
- pakket 3 (EPC 0,8): gebalanceerde ventilatie
- pakket 4 (EPC 0,6): extra isolatie, lage temperatuur verwarming (LTV) en CO₂-gestuurde ventilatie
- pakket 5 (EPC 0,6): extra isolatie, LTV en zonnecombi

**Afb. 21**

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		
BOUW-TECHNISCH 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 ZTA / LTA glas	
		10.2 integratie PV in dak	5.2 zonwering	
VENTILATIE	6.2 eisen basisventilatie	6.2.2 ventilatiepatroon	6.3 keuze ventilatoren	5.1 luchtdichtheid gebouwschil
	6.2 eisen spuiventilatie	6.3 keuze ventilatiesysteem	6.6 keuze inblaasroosters	6 functioneren ventilatiesysteem
		6.3 kanalenverloop	6.8 spuivoorzieningen tbv nachtventilatie	6.2.3 gebruiks-, onderhoudsinstructie
		6.8 spuivoorzieningen tbv nachtventilatie		

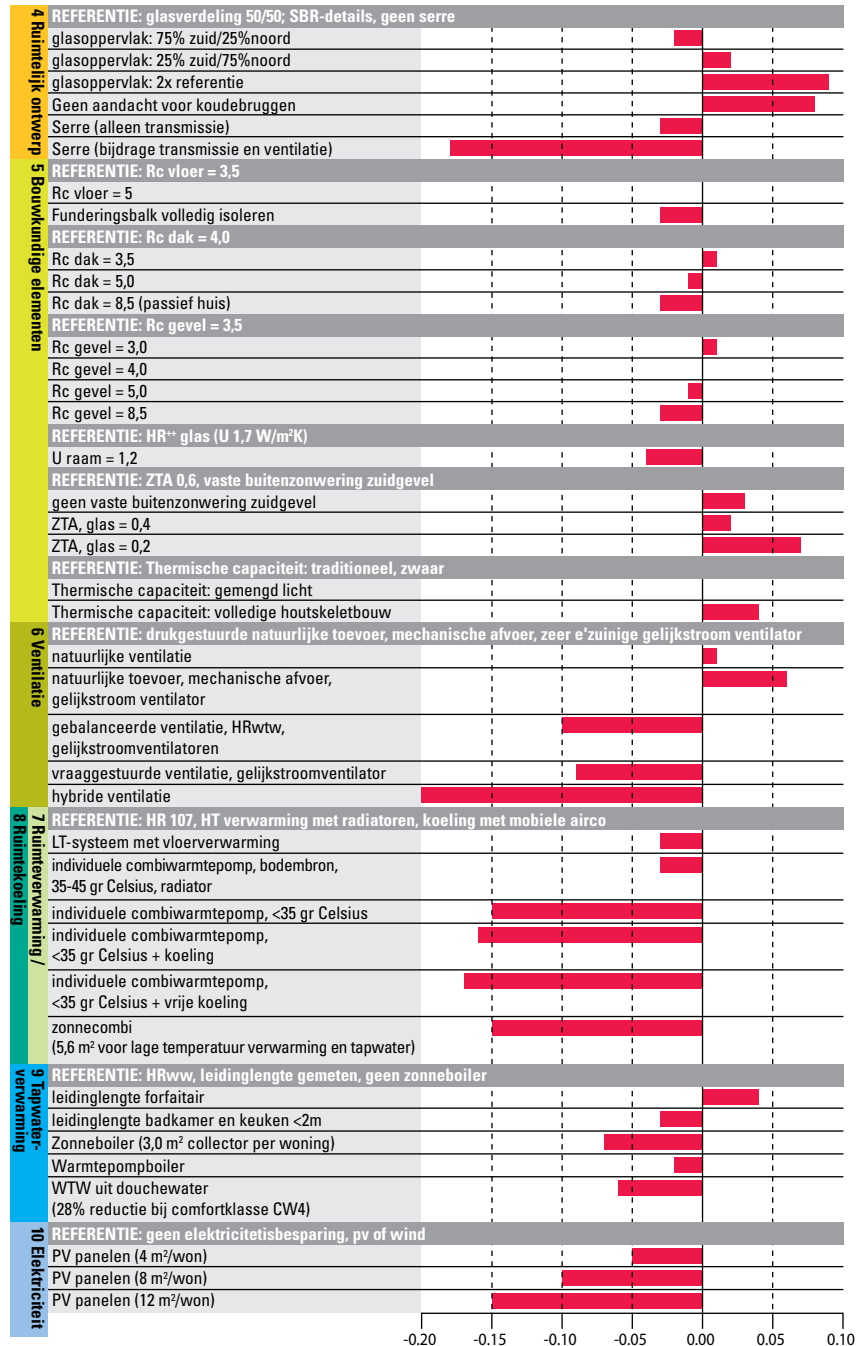


RUIJME- VERWARMING	7.2 afgiftesystemen	4.4 ruimtebeslag installaties	7.2 detaillering afgiftesysteem	7 opleveringscontrole verwarmingssysteem
	7.3.1 duurzame energie	7.2 keuze afgiftesysteem	7.2.5 luchttoevoer houtkachel	7 gebruiks-, onderhoudsinstructie
	7.4 individueel/ collectief	7.3 keuze toestelsoort (wp, HRketel, ..)	7.2.6 regelingen individuele installatie	7.2.3 keuze vloerbedekking bij vloerverwarming
	7.4 duurzame collectieve verwarming	7.3.3 bij toepassing WP: onderzoek bron 7.3.8 zonneboiler combi	7.2.6 isolatie leidingen in onverwarmde ruimten 7.3 type toestel 7.3.8 m2 collector 7.4 regeling en bemetering collectieve installatie	7.2.6 inregelen 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 (samenhang verwarming)	8.2.4 regeling airco 8.3 type toestel (samenhang 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 9.2 korte leiding naar de keuken 9.3 soort toestel 9.3.5 zonneboiler	9.1.3 detailleren douche wtw 9.2 leiding naar keuken geïsoleerd en kleine ø 9.3 type toestel 9.3.5 detaillering zonneboiler	9 gebruiks-, onderhoudsinstructie
ELEKTRICITEIT	10.1 verlichting (daglicht)	10.1 verlichting (daglicht)	10.1 regelingen installaties	10 handleiding energiezuinige apparatuur
	10.2 mogelijkheden pv, wind	10.2 mogelijkheden pv, wind	10.1 elektriciteitsgebruik installaties 10.2 detailleren pv in dak/gevel	

**Afb. 22**

Het effect van een aantal energiebesparende maatregelen op de EPC van de referentie twee-onder-een-kapwoning van Agentschap NL, NL Energie en Klimaat.

Effect maatregelen op energiegebruik [EPC] (Referentie twee-onder-een-kap-woning - EPC 0,8 - 1656 m³ a.e.)





- pakket 6: (EPC 0,6): elektrische warmtepomp met LTV en gebalanceerde ventilatie
- pakket 7: (EPC 0,4): extra isolatie, elektrische warmtepomp met LTV, zonneboiler en gebalanceerde ventilatie
- pakket 8: (EPC 0,4): zeer hoog isolatieniveau, hybride CO₂-gestuurde ventilatie, zonnecombi
- pakket 9: (EPC 0,0): als concept 8 met pv-panelen ter compensatie van het elektriciteitsverbruik

3.5 Energieconcepten: Energieneutraal / CO₂-neutraal / klimaatneutraal

De energieconcepten 'energieneutraal', 'CO₂-neutraal' en 'klimaatneutraal' worden steeds vaker gebruikt bij toekomstgerichte projecten. Het kan gaan om een enkele woning, een woningbouwproject maar ook om een complete woonwijk. De concepten worden zelfs gebruikt voor hele gemeenten. Het Lente-akkoord [47] (zie inleiding hoofdstuk 2) is er op gericht om in 2020 alleen nog maar 'energieneutrale' woningen te bouwen. Officiële definities zijn er echter nog niet zodat genoemde concepten op diverse wijzen uitgelegd kunnen worden. Gerealiseerde projecten zijn er in ons land nog nauwelijks. Op www.naarenergieneutraal.nl [49] zijn wel geplande projecten te vinden.

Hieronder volgt een beknopte toelichting op de concepten op basis van een studie verricht in opdracht van Agentschap NL, NL Energie en Klimaat [48]. Het gaat hierbij alleen om het energieverbruik en de CO₂-emissie van de gebouwde omgeving (woningen en andere gebouwen), inclusief bouwmaterialen, de bouw en de sloop. Mobiliteit en productie van andere goede-

ren (dan bouwmaterialen) tellen niet mee. In het energieverbruik wordt meegeteld:

- warmte (ruimteverwarming, warmtapwater)
- koude
- gebouwgebonden elektriciteit (ventilatoren, pompen, elektrische warmtepompen)
- niet-gebouwgebonden elektriciteit (huishoudelijke apparaten, verlichting, elektronica enz.); verbruik volgens landelijk gemiddelde of werkelijk verbruik
- bouw materiaal, incl. het bouwen, onderhoud en sloop (energiegebruik voor winning, productie, transport en afvalverwerking); deze energiepost mag ook er buiten blijven, maar dat moet dan nadrukkelijk vermeld worden.

Energieneutraal

Een project is energieneutraal als er op jaarbasis geen netto energie vanuit het openbare net gebruikt wordt. Dit betekent dat het energieverbruik binnen het project gelijk is aan de hoeveelheid duurzame energie die binnen het project wordt opgewekt of die elders specifiek voor dit project wordt opgewekt.

Bij de EPC-berekening wordt het huishoudelijke elektriciteitsverbruik buiten beschouwing gelaten. Een woning met een epc van 0,0 (zoals pakket nummer 9) (Afb. 23) is dus nog geen energieneutrale woning. Om dat wel het geval te laten zijn, is globaal nog zo'n 2300 Wattpiek aan extra PV-panelen nodig om het huishoudelijk verbruik te compenseren. Dat kan geleverd worden door globaal 20 à 25 m² PV-panelen. Om de post bouwmaterialen te compenseren is globaal nog 10 m² PV-panelen extra nodig uitgaande van een steenachtige woning (Afb. 24).



EPC		0,8	0,8	0,8
Pakket		1	2	3
Bouwkundig				
R _g vloer	m ² K/W	3,00	3,00	3,00
R _g dak	m ² K/W	4,00	3,00	3,00
R _g gevel	m ² K/W	3,50	3,00	3,00
R _g kopgevel (hoek, tweekap, galerij)	m ² K/W	5,00	3,00	3,00
U raam	W/m ² K	1,70	1,70	1,70
ZTA glas	-	0,60	0,60	0,60
U deur	W/m ² K	2,00	2,00	2,00
koudebruggen	-	SBR details	SBR details	forfaitair
kierdichting	dm ³ /sm ²	1,000	1,000	0,600
Ventilatie				
luchtoevoer	-	zelfregelend ²	zelfregelend ²	mechanisch
luchtafvoer	-	mechanisch	mechanisch	mechanisch
rendement wtw	%	0%	0%	95%
regelbaar door bewoners	-	ja	ja	ja
uitschakelbaar in zomer	ja/nee	nvt	nvt	nee
bypass	ja/nee	nvt	nvt	ja
energiegebruik ventilator(en)	kWh/m ² Ag	1,0	1,0	4,5
Ruimteverwarming				
toestel	naam	HR 107	HR 107	HR 107
opwekkingsrendement	%	97,5%	95,0%	95,0%
warmteafgifte	-	HT rad ⁵	HT rad ⁵	HT rad ⁵
systeemrendement	%	95,0%	95,0%	95,0%
zonnectcombi (m ² collector bij zonneboiler)	ja/nee	nee	nee	nee
Koeling				
zonwering (zuid / west)	ja/nee	ja	ja	ja
toestel koeling	naam	geen	geen	geen
Warmtapwater				
toestel	naam	HRww	HRww	HRww
opwekkingsrendement	%	75,0%	72,5%	72,5%
leidinglengtes	-	gemeten	gemeten	gemeten
systeemrendement	%	afh won.type	afh won.type	afh won.type
douchewater warmteterugwinning	ja/nee	nee	nee	nee
zonneboiler ⁷	m ² /woning	0,0	2,8	0,0
PV				
geïnstalleerd vermogen	Wp/woning	0 / 0	0 / 0	0 / 0
oppervlak	m ² /woning	0 / 0	0 / 0	0 / 0
Energiegebruik - CO₂ emissie (kleinste / grootste referentiewoning)				
EPC	-	0,78 / 0,80	0,78 / 0,80	0,72 / 0,80
gas	m ³ gas/jaar	531 / 1235	527 / 1224	426 / 1118
elektriciteit (EPN: install. verlicht.)	kWh/jaar	749 / 1382	749 / 1382	970 / 1907
opgewekte elektriciteit (PV)	kWh/jaar	0 / 0	0 / 0	0 / 0
CO ₂ emissie	kg/jaar	1372 / 2988	1365 / 2968	1310 / 3076

blauw zijn waarden die afwijken van de referentie

- | | |
|----------------------------|--|
| 1 SBR details | waarden lineaire koudebruggen volgens gunstige waarden uit SBR Referentiedetails Woningbouw |
| 2 zelfregelend | ventilatiesysteem met drukgestuurde zelfregelende roosters voor natuurlijke toevoer en mechanische afvoer |
| 3 CO ₂ gestuurd | ventilatiesysteem met CO ₂ gestuurde natuurlijke toevoer en mechanische afvoer |
| 4 hybride | ventilatiesysteem met CO ₂ gestuurde natuurlijke toevoer en natuurlijke afvoer met een ventilator voor situaties met onvoldoende natuurlijke trek |
| 5 HT rad | hoge temperatuur (90/70) radiatoren |
| 6 WP/(HR) combi | collectief verwarmingssysteem met HR-ketel voor de pieklust (20%) van warmtapwater |
| 7 rendement zonneboiler | in pakketten met EPC 0,0-0,4-0,6 volgens gelijkwaardigheid (forfaitair berekend rendement +4%) |



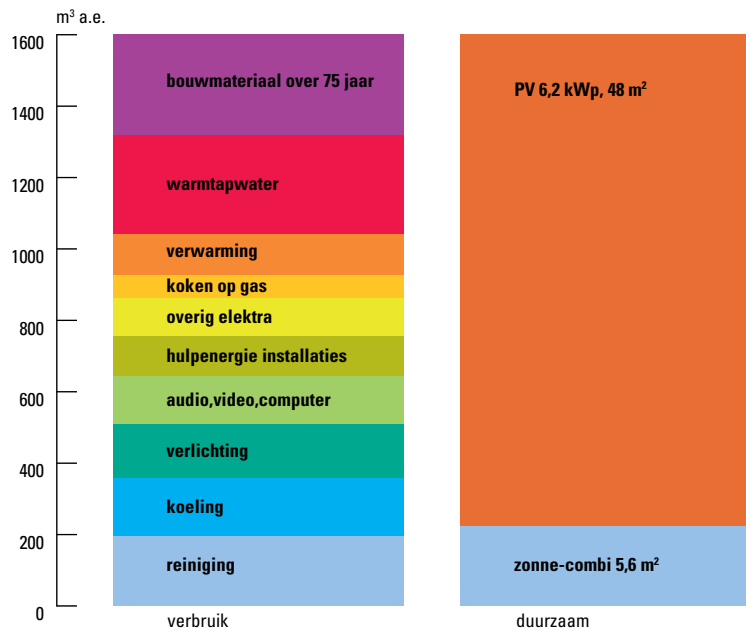
0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,0
4	5	6	7	8	9
4,00	4,00	3,00	4,00	8,50	8,50
5,00	5,00	3,50	5,00	8,50	8,50
4,00	4,00	3,00	4,00	8,50	8,50
4,00	4,00	3,50	4,00	8,50	8,50
1,40	1,40	1,70	1,40	0,60	0,60
0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
SBR details	SBR details	forfaitair	SBR details	SBR details	SBR details
0,500	1,000	0,500	0,500	0,500	0,500
CO ₂ gestuurd ³	zelfregelend ²	mechanisch	mechanisch	Hybride ⁴	Hybride ⁴
mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch
0%	0%	95%	95%	0%	0%
ja	ja	ja	ja	ja	ja
nvt	nvt	nee	nee	nvt	nvt
nvt	nvt	ja	ja	nvt	nvt
1,2	1,0	3,5	3,5	0,0	0,0
HR 107	HR 107	WPcombi	WPcombi	HR 107	HR 107
97,5%	97,5%	435,9%	435,9%	97,5%	97,5%
vloer	vloer	vloer	vloer	vloer/wand	vloer/wand
100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
nee	ja	nee	nee	ja	ja
ja	ja	ja	ja	ja	ja
geen	geen	WPcombi	WPcombi	geen	geen
HRww	HRww	WP/(HR)combi ⁶	WP/(HR)combi ⁶	HRww	HRww
72,5%	72,5%	80,0%	80,0%	72,5%	72,5%
gemeten	gemeten	gemeten	gemeten	gemeten	gemeten
afh won.type	afh won.type	afh won.type	afh won.type	afh won.type	afh won.type
nee	nee	nee	ja	ja	ja
0,0	5,6	0,0	3,5	5,6	5,6
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	1632 / 3415
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	16 / 34
0,58 / 0,60	0,57 / 0,60	0,57 / 0,60	0,37 / 0,40	0,30 / 0,36	0,0 / 0,0
329 / 796	329 / 807	0 / 99	0 / 46	102 / 271	102 / 271
741 / 1457	749 / 1382	1943 / 4551	1359 / 3100	654 / 1285	654 / 1285
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	1224 / 2561
1008 / 2246	1012 / 2223	1227 / 2575	827 / 1754	553 / 1211	-238 / -123

Afb. 23

Schema met energiebesparende maatregelen in negen voorbeeldpakketten. De laagste en de hoogste waarde van de EPC, het energiegebruik en de CO₂ emissie van de vijf Agentenschap NL, NL Energie en Klimaat referentiewoningen (zie bijlage 1.4) zijn per voorbeeld onder in de tabel weergegeven.

**Afb. 24**

Indicatie van de diverse posten bij een energieneutrale rijtjestuurswoning. Links de vraagzijde, rechts een mogelijke invulling van energiebronnen. Het materiaalgebonden verbruik is verrekend over de levensduur van het gebouw (75 jaar). Voor het huishoudelijk elektriciteitsverbruik is het huidige gemiddelde verbruik van huishoudens genomen. Dit verbruik kan beperkt worden door een bewust energiezuinig gedrag, het gebruik van zuinige apparatuur en verlichting en door minder apparaten te gebruiken, zie ook hoofdstuk 10 Elektriciteit.

Afb. 24**Afb. 25**

Een van de voorbeelden van energieneutrale woningen in het project De Kantelen in de wijk De Goede Aarde te Bostel. Naast PV-panelen, wordt o.a. gebruik gemaakt van een goede warmte-isolatie, passieve zonne-energie, zonnecollectoren en warmtepomp. Architect: Architectenbureau Satijn, ontwikkeling en bouw: Aannemersbedrijf Jongen Geldrop. Realisatie 2005.

Afb. 25

binnen het project wordt vastgelegd, opgeslagen of gecompenseerd op basis van duurzame energieopwekkingen die aan het project mag worden toegerekend.

3.6 Passiefhuis en Zonnehaardwoning

Niet energieneutraal, maar wel energiezuinig, zijn concepten zoals Passiefhuis en Zonnehaardwoning.

CO₂-neutraal / klimaatneutraal

Een project is CO₂-neutraal (ook wel: klimaatneutraal) als er op jaarbasis geen netto uitstoot van broeikasgassen nodig is om het gebouw op te richten, te gebruiken en af te breken. Dit betekent dat de broeikasgasemissie binnen het project gelijk is aan de hoeveelheid broeikasgassen die

Passiefhuis

In de praktijk ligt de EPC-waarde van een passiefhuis rond de 0,4. Het idee voor het concept is afkomstig uit Zweden. Intussen zijn er in Duitsland, Zweden, Oostenrijk en Zwitserland meer dan 10.000 passiefhuizen gebouwd [50], in ons land enkele tientallen. In [50] staan voorbeelden uit



Afb. 26



Nederland (Afb. 26). Op www.passiv.de [53] is een overzicht opgenomen van (Duitse) passiefhuizen in verschillende architectuurstijlen.

Overigens is al in 1980 door Architecten- en ingenieursbureau Kristinsson het concept van de 'Cv-loze woning' gepresenteerd. Dit concept is vergelijkbaar met dat van het Passiefhuis. Uit de cv-loze woning is de 'Minimum-energie woning' voortgekomen waarvan er vanaf 1984 vele honderden in ons land zijn gebouwd.

Belangrijke kenmerken van een passiefhuis zijn:

- Maximale energiebehoefte (voor ruimteverwarming en koeling, exclusief hulpenergie voor pomp en ventilatoren) per m² gebruiksoppervlakte: 15 kWh per jaar; als dat door een HR-ketel geleverd moet worden, is daar ca. 1,7 m³ aardgas voor nodig.
- Maximale primaire energiebehoefte per m² gebruiksoppervlakte voor ruimteverwarming, koeling, tapwater en elektriciteit (zowel voor de installaties als voor huishoudelijk - ook tv, computer enz. - gebruik) 120 kWh per jaar, dit komt overeen met ca. 12,5 m³ aardgasequivalent.
- Zeer goed geïsoleerd met R_c-waarden

van 8,0 à 10, voorzien van geïsoleerde kozijnen en deuren, een zeer goede detaillering qua warmte-isolatie en kierdichting, driedubbele beglazing, bij voorkeur met zeer goed isolerende afstandhouders.

- Optimaal gebruik van passieve zonne-energie.
- Goede voorzieningen voor zonwering en 'passieve' zomernachtkoeling.
- Een gebalanceerd ventilatiesysteem met wtw.
- Een zonneboiler voor warm tapwater.

Helaas zijn er nog te weinig energieverbruikscijfers van Nederlandse passiefhuizen voorhanden om algemeen bruikbare referentiecijfers te kunnen geven. Wel is op www.cephus.de enige informatie te vinden over buitenlandse projecten.

In Duitsland is voor passiefhuizen is een specifiek rekenmodel ontwikkeld, het PHPP [54]. Hiermee kan men bepalen of aan de criteria voor een passiefhuis wordt voldaan. Dit model is ook voor ons land te gebruiken als het Nederlandse klimaat wordt ingevoerd. Bij de aanvraag voor een bouwvergunning, moet natuurlijk wel een EPC-berekening worden toegevoegd.

In de Toolkit Duurzame Woningbouw [39] is als één van de concepten het passiefhuis opgenomen. Dat concept (met een specifieke uitwerking) haalt een EPC van 0,46. In die variant zijn LTV-radiatoren toegepast, maar andere installaties zijn zeker ook mogelijk zoals luchtverwarming op basis van het gebalanceerde ventilatiesysteem of vloer- en wandverwarming. Dergelijke varianten van het passiefhuis zijn verder uitgewerkt in een aparte handleiding [56] waarin informatie over o.a. installaties, voorzieningen voor 'passieve' zomernacht-

Afb. 26

Eén van de voorbeelden van een passiefhuis:

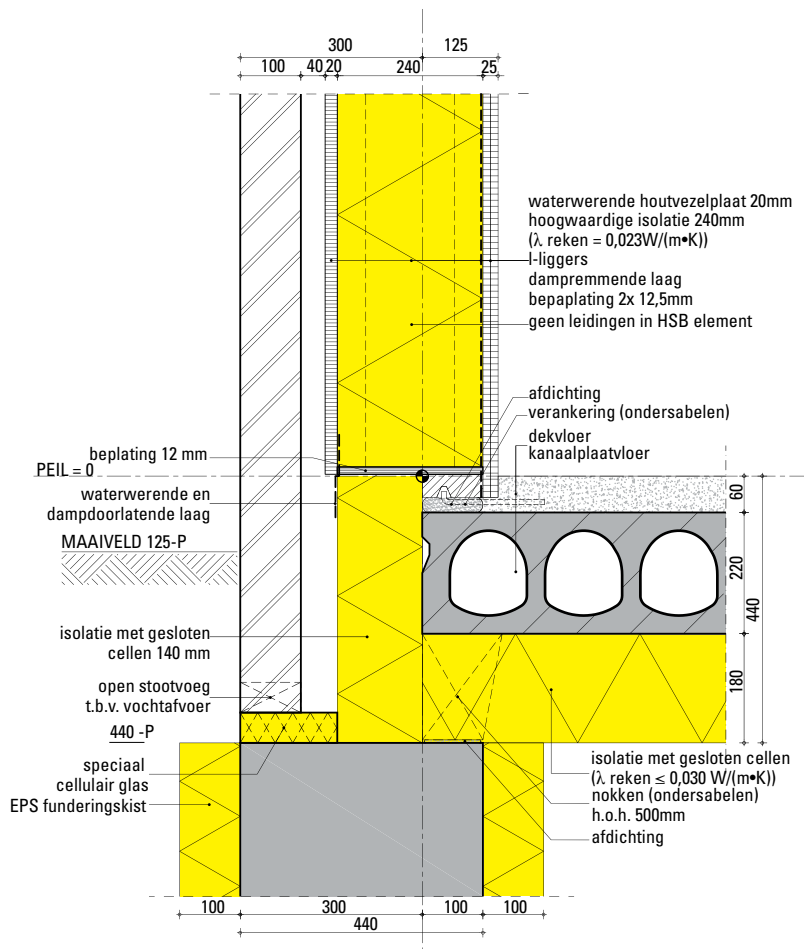
6 Dijkwoningen in Sliedrecht; architect Franke Architecten, ontwikkelaar Archidome Holland en aannemer Formaatbouw; realisatie 2004.



Afb. 27

Afb. 27

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 binnenblad 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 [56].



ventilatie en bouwkundige details (Afb. 27 en Afb. 28).

Enige aandachtspunten:

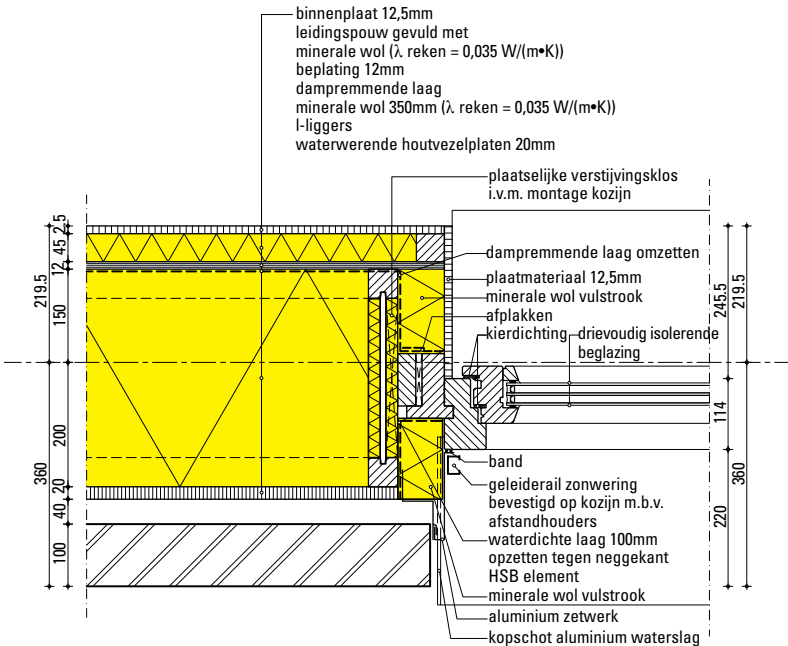
- Als gevolg van de 'eis' van het maximum energieverbruik van 15 kWh per m² gebruiksoppervlak, wordt een groot buitenoppervlak (bij gelijkblijvend gebruiksoppervlak), niet gecompenseerd zoals bij de EPC-berekening. Zo zijn bij een

vrijstaande woning dus meer maatregelen nodig dan bij een rijtjeswoning.

- Omdat een passiefhuis slechts weinig warmte voor ruimteverwarming vraagt, zijn de huidige cv-ketels te groot qua vermogen. Daarom is er een buffer nodig in de vorm van een voorraadvat of van vloer- of wandverwarming. De buffer voorkomt het 'pendelen' van de cv-ketel:



Afb. 28



Afb. 28

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 [56].

het snel achter elkaar aan- en uitgaan van de ketel.

- Bij een passiefhuis hebben bewoners eerder hinder van intere geluidsbronnen (installaties!) dan bij een 'normale' woning. Door de extreem goede isolatie dringt er namelijk minder geluid van buiten door, bij gesloten ramen en deuren. Daarom worden er bij passiefhuizen lagere maximum geluidniveaus gehanteerd dan gebruikelijk door GIW-ISSO. Houd voor een woonkamer maximaal 30 dBA en voor slaapkamers 25 dBA aan.
- Het is mogelijk om een Passiefhuis-certificaat te krijgen wanneer een woning aan de eisen m.b.t. het maximum energieverbruik (berekend met het PHPP-model) voldoet; aanvullend is een

luchtdichtheidsmeting verplicht. Het certificaat is ontwikkeld door het Passiv Haus Institut [53] en is o.a. via [51] aan te vragen.

Zonnehaardwoning

In de Toolkit [39] staan nog vele andere concepten zoals bijv. de Zonnehaardwoning [57]. Deze heeft een vergelijkbare EPC (0,46) als het Passiefhuis uit de Toolkit, en nog een iets hogere CO_2 -reductie. Ook de Zonnehaardwoning heeft een zeer goede isolatie en maakt gebruik van passieve zonne-energie (via een serre). Belangrijke verschillen met het Passiefhuis zijn:

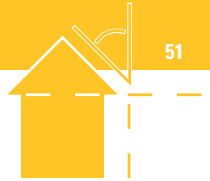
- een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer en natuurlijke afvoer (dus geen gebalanceerde ventilatie met wtwt); wel incidentele mechanische afzuiging in



- keuken; voorverwarming van de ventilatielucht in de serre;
- een gashaard als warmtebron in de woonkamer;
- warmteterugwinning uit de rookgassen van de gashaard; deze warmte wordt opgeslagen in het opslagvat van een vergrote zonneboiler; dat vat levert warmte aan een beperkt cv-systeem voor de overige vertrekken en aan het tapwater.

3.7 Meer informatie

- [38] Nederlandse Praktijkrichtlijn NPR 5129+A1:2009 versie 2.1 nL Energieprestatie van woonfuncties en woongebouwen met handboek; NEN, Delft, 01-01-2009.
- [39] Toolkit duurzame woningbouw, 2e editie; voor ontwikkelaars, gemeenten en ontwerpers; P. Hameetman, Aeneas (www.aeneas.nl) en www.toolkitonline.nl december 2006.
- [40] www.agentschapnl.nl/gebiedsontwikkeling.
- [41] www.agentschapnl.nl/gebiedsontwikkeling.
- [42] bron: prof. C.A.J. Duijvestein, SOM, faculteit Bouwkunde, TUDelft.
- [43] Cradle to Cradle en de Nieuwe Stappentategie – nieuw elan voor de duurzame bouw; A. van den Dobbelsteen e.a., TUDelft, in Handboek Duurzaam Bouwen hoofdstuk 1.2, WEKA uitgeverij.
- [44] REAP, Rotterdamse EnergieAanpak en –Planning / Op naar CO₂ - neutrale stedenbouw; Rotterdam Climate Initiative, 2009; www.rotterdamclimateinitiative.nl.
- [45] Eindrapportage Woonkwaliteit Binnenmilieu in Nieuwbouwwoningen - eindresultaten van: 78 projecten / 154 woningen; i.o.v. VROM-Inspectie Regio Oost; Adviesbureau Nieman B.V., nov. 2007.
- [46] 'EPC & Kosten' via www.agentschapnl.nl/epn.
- [47] Lente-akkoord – Energiebesparing in de nieuwbouw; akkoord tussen diverse partijen, ondertekend op 22 april 2008, Den Haag; zie ook www.lente-akkoord.nl/.
- [48] Definities klimaat-, CO₂- en energie-neutraal; in opdracht van Agentschap NL, NL Energie en Klimaat, W/E adviseurs, juni 2009.
- [49] www.naarenergieneutraal.nl; site van Werkgroep Innovatie van het Platform EnergieTransitie Gebouwde Omgeving (PeGO).
- [50] Passieffhuistechnologie in Nederland, 3e uitgave, november 2008; Stichting PassieffHuis Holland te Sliedrecht, www.passieffhuis.nl.
- [51] www.passieffhuis.nl: Stichting PassieffHuis Holland te Sliedrecht
- [52] www.passieffbouwen.nl: Stichting Passief Bouwen te Berkel en Rodenrijs.
- [53] www.passiv.de: Passivhaus Institut te Darmstadt (D).
- [54] PHPP, PassivHausProjektierungPaket; Passivhaus Institut te Darmstadt (D), www.passiv.de.
- [55] www.passieffhuisplatform.be: Passieffhuis Platform te Berchem (B).
- [56] Uitwerkingsinstructie Toolkitconcepten Passieffhuis – Eengezinsrijenwoning Ri7 en Twee-onder-een-kapwoning; SBR, Rotterdam, mei 2009.
- [57] www.zonnehaardwoning.nl: concept Zonnehaardwoning.
- [58] Consumentenonderzoek Lente-akkoord; dr. Laure Itard e.a., OTB - TUDelft te Delft, in opdracht van NVB, Voorburg, september 2009; te downloaden via www.lente-akkoord.



4. Ruimtelijk ontwerp

Na het vaststellen van een energiebewust **Programma van Eisen (§ 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.

In dit hoofdstuk komen de volgende ruimtelijke aspecten aan bod:

- vorm en oriëntatie (§ 4.1);
- **passief gebruik van zonne-energie** (§ 4.2);
- **daglichttoetreding** (§ 4.3);
- **(opstellings)ruimte installaties** (o.a. plaatsingsmogelijkheden zonneboilers, PV en beperken leidinglengtes warmtapwater) (§ 4.4);
- **verkeersontsluiting en stimuleren langzaam verkeer** (§ 4.5).

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, en zon, binnen.

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 buitenoppervlak en de inhoud (**Afb. 29**) en . Ook de complexiteit van de gebouwworm 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

4.1.2 Oriëntatie dak en gevels

Oriëntatie daken

Dakvlakken bieden plaats aan zonnecollectoren en PV-panelen.

Houd in het ontwerp rekening met de benodigde ruimte en de optimale oriëntatie en hellingshoek van beide systemen, ook al worden ze niet direct toegepast:

- De optimale oriëntatie voor beide systemen is zuid, kleine afwijkingen tot



DEELCHECKLIST

Energiebewust ontwerpen: ruimtelijk ontwerp

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Houd bij het ruimtelijk ontwerp rekening met:
 - de benodigde ruimte voor eventuele collectieve installaties; let op de mogelijkheden van **lokale energiebronnen** (§ 7.3);
 - gebruik van zonnecollectoren, PV-panelen en passieve zonne-energie; let op o.a. zuidoriëntatie, dakvorm, **voorkom beschaduwning** door bouwvolumes en vegetatie (§ 4.1.3);
 - reserveer voldoende ruimte voor leidingtracé's (bijv. voor warmte-/koudenet) en houd voldoende ruimte voor wortelzone van bomen vrij.
- 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 bouwrijpmaken (§ 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 en maak ze goed toegankelijk (§ 4.5).

Structuurontwerp / Voorontwerp

- Bouw compact om transmissieverliezen te beperken; in speciale gevallen kan het gebruik van een **atrium interessant zijn** (§ 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 **zonzijde** (§ 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 (§ 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) (§ 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** (§ 6.8) of **passieve koeling via warmte-/koudeopslag** hoofdstuk 8.
- Maak optimaal gebruik van **daglicht**. Denk aan onder andere de juiste vorm en plek van de ramen, daklichten en (bijv. bij een atrium) daglichtreflectoren (§ 4.3).
- Maak een keuze tussen individuele of **collectieve installaties** (§ 7.4).
- Kies de optimale **plek voor de installaties** (§ 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 (§ 4.2.3).
- Stem de dikte van constructies af op de gewenste isolatiewaarden.

Definitief Ontwerp / Technisch ontwerp

• --

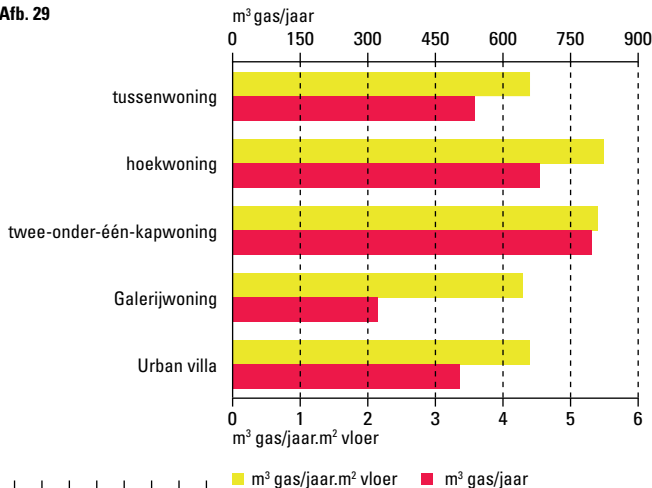
Uitvoering / Gebruik / Exploitatie

• --

In **paragraaf 3.3** staat de **checklist op hoofdlijnen**.



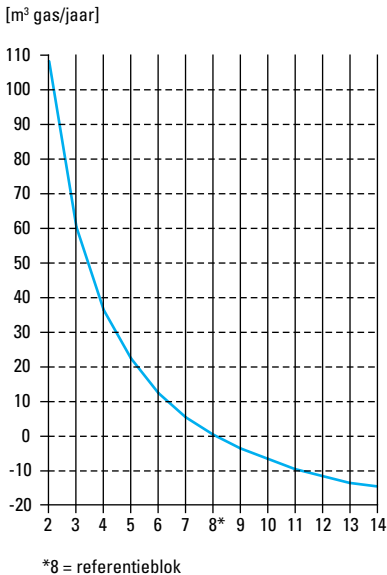
Afb. 29



Afb. 29

De verschillen in energieverbruik voor de vijf referentiewoningen met een EPC van 0,8 (in m³ aardgas per jaar, **voorbeeldpakket 1**, zie § 3.4). Het gasverbruik voor verwarming hangt sterk af van grootte en compactheid van het woningtype. Omdat alleen het effect van compactheid te zien, is ook het gasverbruik per vierkante meter gebruiksoppervlak gegeven. Bij een betere schilisolatie neemt het effect van compactheid af.

Afb. 30



Afb. 30

De lengte van het bouwblok is van invloed op het gemiddelde energieverbruik per woning. Het verlengen van de bloklengthe levert gemiddeld per woning steeds minder energiebesparing 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 zg. doorzichtpanelen: beglazing met een combinatie van PV en daglichttoetreding. Voor doorzichtpanelen gelden dezelfde richtlijnen.

Voorkom **beschaduw**ing door bijvoorbeeld omliggende bebouwing, daken, dakkapellen, rookgasafvoeren en vegetatie. Vooral **PV-systemen** zijn daar erg gevoelig voor (zie § 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.

zuidoost en zuidwest zijn acceptabel.

- De optimale hellingshoek voor **collectoren voor tapwater** (zie § 9.3.5) ligt ook rond 40°, als ze specifiek voor ruimteverwarming gebruikt worden, ligt het optimum rond 50°; voor **collectoren die voor beide** (zie § 7.3.8) gebruikt worden, ligt het optimum daar tussenin.
- De **optimale hellingshoek voor PV** (zie § 10.2.1) ligt rond de 40°.

**Afb. 31**

Project 'de Groene Pit' in Nieuwland -Amersfoort met collectoren op het platte dak: Alle collectoren zijn op het zuiden gericht ondanks de wisselende oriëntatie van de woningen. Ontwerp: Olga Architecten Groningen.

Afb. 31

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 Afb. 31).

Oriëntatie gevels

De oriëntatie van gevels is energetisch van belang voor het passief benutten van zonne-energie (PZE). In de gevels worden de ramen geplaatst waardoor de zonnestraling binnenvalt. Voor een goede bijdrage hoeft de oriëntatie niet pal zuid te

zijn. Enige **variatie in oriëntatie**, tot circa 20°, is mogelijk (zie § 4.2). Afwijking van de zuidverkaveling is zelfs aan te bevelen als de belemmeringshoeken groter zijn (Afb. 32). 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 (Afb.33).

Volledige zuidoriëntatie

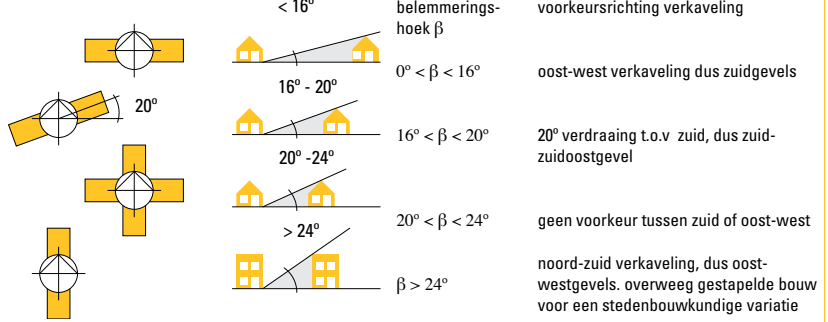
In een verkaveling waar alle tuinen zuidgericht zijn, is extra aandacht voor het beperken van de infrastructuur aan te be-

Afb. 33**Afb. 32**

Verkavelingsrichting voor eengezinswoningen bij een bepaalde belemmeringshoek.

Afb. 33

De verkaveling van het project EVA-Lanxmeer (www.eva-lanxmeer.nl).

Afb. 32



Afb. 34



liggen (Afb. 34) waardoor de hoeveelheid verharding aanzienlijk kan afnemen.

Ook de erscheiding 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 (Afb.35).

Afb. 34

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

Afb. 35



velen. 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

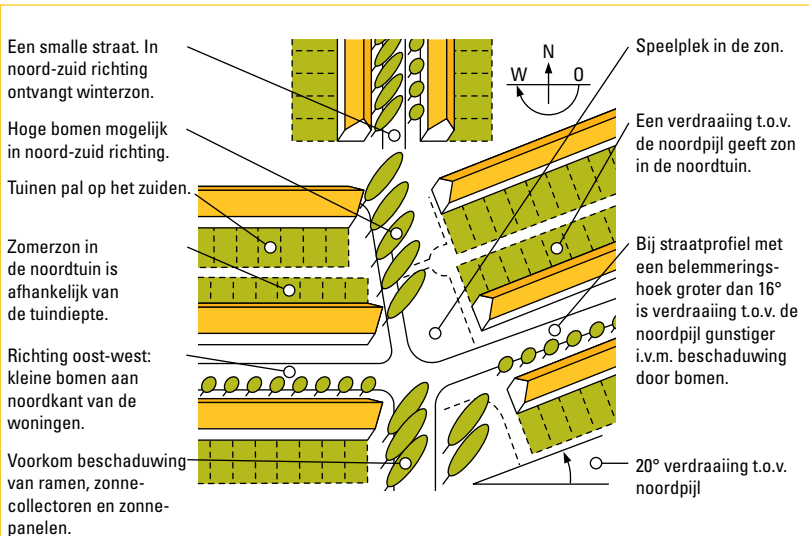
Het is aan te bevelen, en soms is het verplicht, deze erscheiding in het ontwerp mee te nemen. Informeer de toekomstige bewoners over:

- het achterliggende idee van het ontwerp van de erscheiding;
- eventuele eisen die (bijv. door de gemeente) gesteld worden aan die erscheiding;
- onderhoudstips voor de toegepaste erscheiding, bijvoorbeeld klimplanten;
- mogelijkheden voor snelgroeïende vegetatie, dit om een groen karakter te stimuleren.

Afb. 35

Bij deze zg. 'strokenverkaveling' in de wijk Roomburg in Leiden is gekozen voor een standaard gaashekwerk als erscheiding in combinatie met de snelgroeïende klimop. Deze erscheiding 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 erfpachtovereenkomst verplicht om deze erscheidingen in stand te houden. Er is een boeteclausule om het verwijderen van de erscheiding tegen te gaan. Planontwikkeling: Gemeente Leiden, architect: Geurst & Schulze Architecten, ontwikkelaar: du Prie bouw & ontwikkeling; realisatie 2004.

Afb. 36



Afb. 36

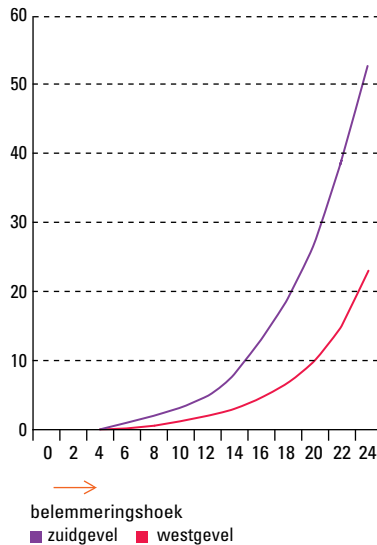
Diverse ontwerpkeuzes voor de verkaveling gelet op bezonning

**Afb. 37**

De globale invloed van de belemmeringshoek op het jaarlijkse energieverbruik van de referentie tussenwoning. De invloed is aangegeven voor de zuidgevel indien de woning noord-zuid gericht is en voor de westgevel indien de woning oost-west is gericht..

Afb. 38

Door verandering van de kapvorm en/of bouwvolume wijzigt de straatbreedte die nodig is om de belemmeringshoek tot 16° te beperken [61].

Afb. 37m³ gas

Bezonning en windluwte in stedenbouwkundige ruimten

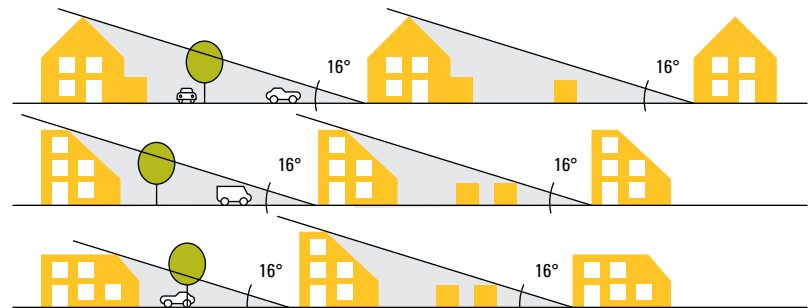
Buitenruimten als tuinen, speelplekken en routes voor langzaam verkeer zijn gebaat bij goede bezonning en windluwte in alle seizoenen. Beide hebben geen directe invloed op het energieverbruik van woningen, maar kunnen conflicteren met de wens om de woningen optimaal te bezonnen. De bezonning van buitenruimten kan

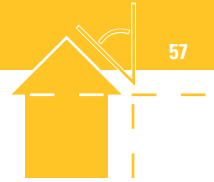
om een andere verkaveling vragen dan optimale bezonning van woningen. Overweeg daarom bij een belemmeringshoek tussen circa 16° en 20° een zuidverkaveling iets naar het oosten te draaien. Dit geeft zowel bij laagbouw als bij gestapelde bouw een betere bezonning van de buitenruimten. Bij een belemmeringshoek 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 (Afb. 36).

4.1.3 Belemmering van zoninstraling en daglichttoetreding

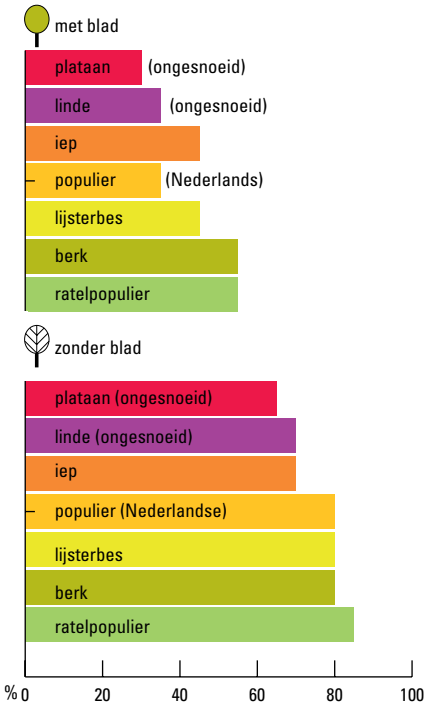
Zoninstraling kan worden belemmerd door bebouwing en begroeiing. Voor optimale benutting van zoninstraling is dit onwenselijk. Vooral de opbrengst van PV-panelen wordt sterk beïnvloed door belemmeringen. Hanteer als richtlijn voor de maximale belemmeringshoek (gemeten vanaf de onderzijde van het raam,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

- **passieve zonne-energie: circa 16°** (zie § 4.2); vanaf zo'n 24° is de zonnijdrage aan de ruimteverwarming in de wintermaanden vrijwel te verwaarlozen.
- **zonnecollectoren: circa 20°** (zie § 7.3.8 en § 9.3.5);

Afb. 38



Afb. 39



- **PV-panelen: circa 12°** (zie § 10.2.1); minimaliseer ook gedeeltelijke beschaduwing van de panelen (in verband met in serie schakeling van PV-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 (Afb. 37). Door te variëren met de kapvorm en de plaats van losse bergingen en aanbouwen bij het ontwerp, kan in veel gevallen de beschaduwing van de gevels worden beperkt.

Door in de ontwerpfase te variëren met de bouwhoogte, de kapvorm en de plaats

van bergingen en aanbouwen, kan in veel gevallen de beschaduwing op de gevels en buitenruimten beperkt worden (Afb. 38).

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. De beschaduwing kan effect hebben op het gebruik van zonne-energie en daglicht in woningen.

Om te voorkomen dat begroeiing zoninstraling belemmert, 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 (Afb. 39).

In **bijlage 1.6** is een afbeelding opgenomen van de zonnebaan langs de hemel-koepel 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 een EPC van 0,8 dragen zonnewarmte, interne bronnen personen, verlichting en apparatuur in de woning en de verwarmingsinstallatie elk ongeveer een derde bij aan het verwarmen van de woning (Afb. 13).

Afb. 39

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 [61].



In het ontwerp bepalen vooral de oriëntatie, beschaduwing, raamgrootte en woningplattegrond de zonbijdrage (zie § 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 § 4.2.3 en § 4.2.4). **Gevelcol-lectoren en 'trombemuren'** bieden in het Nederlandse klimaat voor de woningbouw weinig mogelijkheden (zie § 4.2.5).

Uit bewonersonderzoek [62] en [63] 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!
Op www.agentschapnl.nl/duurzameenergie [82] is informatie te vinden over allerlei duurzame energiesystemen (DE-technieken) waaronder PZE.

4.2.1 Zoninstraling door ramen

Berekeningen met o.a. NEN 5128 [25] geven aan dat een op zuid georiënteerde woning de hoogste zonbijdrage heeft, zie ook **Afbeelding 22**. Afwijkingen tot circa 20° naar het oosten of westen, dus respectievelijk zuidzuidoost (zso) en zuidzuidwest (zzw), verminderen de opbrengst van de ramen in ordegrootte van 10 m³ a.e. per jaar per woning.

Wordt de afwijking groter, dan neemt het energieverbruik relatief sterk toe. Hoeveel dit toeneemt, hangt o.a. af van het glasoppervlak in de gevels, de oriëntatie en in welke mate de woningen zijn geïsoleerd.

Als voorbeeld de referentie twee-onder-een-kapwoning (zie ook *Afb. 22*):

- De glasverdeling is in de referentiewoning gelijk verdeeld over de noord- en zuidgevel (50% zuid / 50% noord). Als 25% glas van noord naar zuid (75% zuid / 25% noord) wordt verplaatst, dan levert dat een besparing op van circa 50 m³ aardgas per jaar.
- Als de woning nu 180° wordt gedraaid, wordt de verdeling dus 25% zuid en 75% noord; het energieverbruik neemt dan met circa 95 m³ aardgas per jaar toe.
- Wordt de referentiewoning (met 50% zuid en 50% noord) een kwart slag gedraaid, de verdeling wordt dus 50% oost en 50% west, dan verandert het jaarlijkse energieverbruik als volgt:
 - bij de kopgevel naar het noorden gericht: een toename van het verbruik met circa 50 m³ aardgas;
 - bij de kopgevel naar het zuiden gericht: een toename van bijna 10 m³ aardgas; dit komt door het raam in de kopgevel.

Voorkóm oververhitting

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

Er zijn allerlei mogelijkheden voor zonwering zoals overstekken, beweegbare zonwering (jaloezieluid, verticale doeken screens, uitvalscherm, knikarmscherm, rolluik) of vegetatie. Een goed regelbare buitenzonwering is het meest effectief omdat deze in het stookseizoen geen be-



Afb. 40



Afb. 41



lemmering 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 jaloëzieluiden (Afb. 40) in verband met het opzij schuiven of inklappen;

- bevestigingspunten voor de zonwering; zo zal een houten gevelpui mogelijk extra verstevigd moeten worden bij een uitvalscherm;

- integratie van de zonwering met ventilatieroosters; diverse fabrikanten leveren kant-en-klare producten (Afb. 41); 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); kies voor screens die zo min mogelijk zonnearmte doorlaten, lichtere kleuren liggen dus voor de hand;

- voldoende ventilatie van de luchtlaag 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; zijgeleiding via een roestvrije staalkabel is een oplossing;

- bereikbaarheid voor onderhoud.

Soms is zonwerende beglazing te overwegen, bijvoorbeeld als de lokatie 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

Afb. 40

Jaloëzieluiden of schuif-schermen: 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; producent luiken: Limelight; architectenbureau Architecten Cie en ontwikkelaar Eurowoningen.

Afb. 41

Voorbeeld van een screen geïntegreerd met een ventilatie-rooster waarbij de spouw tussen screen en glas geventileerd is. Afbeelding: Duco.



Afb. 42

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

beglazing slechts gedeeltelijk beschaduwd wordt en de afstand tussen de zonwering en het glas klein is zoals bij screens.

Meer info: www.kenniscentrumglas.nl.

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.

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 ligt globaal bij een raamconstructie met een totale u-waarde van 1,0 (dus van glas en kozijn samen).

Berekening met NEN 5128 geeft voor de referentie twee-onder-een-kapwoning de volgende resultaten bij vervanging van 1 m² dichte noordgevel door 1 m² noordraam:

- bij HR⁺⁺-glas in een houten kozijn met u-totaal van 1,7: extra energieverbruik van circa 5 m³ ae per m² raam per jaar;
- bij drieboudig glas in een houten kozijn met thermische onderbreking met u-totaal van 0,8: energiebesparing van circa 1 m³ ae per m² raam.

Let op:

- De resultaten gelden alleen voor een beperkt aantal m² raam en bij EPC-waarden van rond de 0,8.
- Bij zeer zuinige woningen met EPC-waarden van rond de 0,4 verschuift het omslagpunt naar een totale u-waarde van 0,8 voor de raamconstructie.

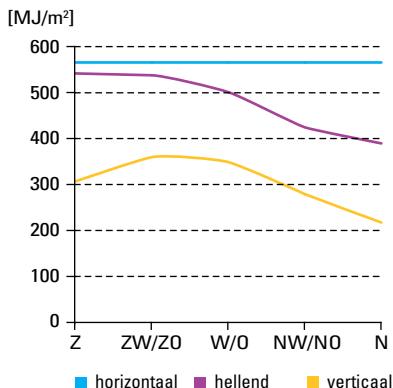
Glas in de oost- en westgevel

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 vooral niet te groot in verband met te hoge binnentemperaturen. In de zomermaanden is de zonbelasting op de oost- en westgevels hoger dan op de zuidgevel. Bovendien staat de zon op deze oriëntaties relatief laag en is daardoor moeilijker te weren.

Glas in hellende of platte daken

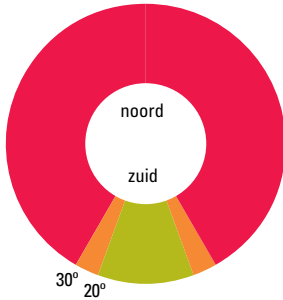
Glas in hellende daken vangen meer zon in het stookseizoen dan ramen in gevels. Dakramen in platte daken vangen maar net iets minder dan glas in zuidgerichte gevels, maar meer dan glas in anders ge-

Afb. 42





Afb. 43



oriënteerde gevels. Beide ramen hebben als voordeel dat er relatief veel daglicht binnen komt (zie § 4.3). Het grote nadeel is dat schuine en horizontale ramen een grote zonbelasting hebben (zie Afb. 42). Bovendien hebben ze in heldere winter nachten extra warmte-uitstraling.

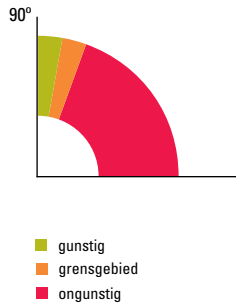
4.2.2 Woningplattegrond

Door het compartimenteren en zoneren van woningen verminderen de transmissie- en ventilatieverliezen en kan zonne-warmte 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.

- Een gesloten of afsluitbare keuken kan ten opzichte van een open keuken de volgende besparingen per jaar opleveren:
 - 40 m³ gas door de afname van de transmissieverliezen;
 - 35 m³ gas door de afname van de ventilatieverliezen (kookstand wordt minder gebruikt);



Afb. 43

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.

- Een damp scherm (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 25 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 burens. Zeker in zeer goed geïsoleerde woningen kan dit zeer veel uitmaken.

**Afb. 44**

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 vliesgevel geplaatst voor de bestaande oostgevel. De ruimte achter deze vliesgevel 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 stuwkrachtventilatie om bij brand rook te verspreiden en te verdunnen (www.nieman.nl)

nl Opdrachtgever: Far West, architect Heren 5 architecten, aannemer Coen Hagedoorn, realisatie 2005.

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 zonzijde van de woning en leg de 'koelere' vertrekken zoals de entree, de gesloten keuken en de berging aan de niet-zonzijde.

Bij een relatief grote bebouwingsdichtheid bij laagbouw, met grote belemmeringshoeken, is het te overwegen de woonkamer op de verdieping te leggen. Dit verbetert de bezonning 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 bezonning krijgen. Kies bijvoorbeeld voor een asymmetrische doorsnede.

Afb. 44**4.2.3 Onverwarmde serre**

Een energiebesparende serre is een onverwarmde, besloten 'buiten'ruimte die aan de woning grenst. De serre is groten-deels door glas omgeven om zonnewarmte te benutten. Praktische informatie is te vinden in [74] en [78].

Waarschuwing: Besteed 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.

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) (Afb. 44) 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 à 6 °C hoger is dan de buitentemperatuur.

Een serre verhoogt het comfort van de woning. 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 en vooral van de benutting van de warmte voor het voorverwarmen van ventilatielucht. Zo bespaart volgens berekening met NEN 5128 een tweelaagse serre van enkel glas bij de referentie twee-onder-een-kapwoning slechts zo'n 15 m³ ae per jaar. Wanneer 50% van de benodigde ventilatielucht via de serre wordt aangevoerd, bespaart de serre bijna 205 m³ ae per jaar.

Die 50% zit standaard in de EPC-berekening als men daarin kiest voor 'voorverwarming ventilatielucht via serre'. Wanneer kan worden aangetoond dat het percentage hoger ligt, kan de besparing dus nog toenemen. Bij 100% voorverwarming bespaart de tweelaagse serre zelfs precies 300 m³ ae per jaar bij de twee-onder-een-kapwoning. Dat betekent een EPC-verlaging van 0,15. 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 [78] 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. 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

Richtlijn voor ventilatie serre:

- Maak een vaste spleet van 5 mm over de volledige breedte van de serre aan zowel de onder- als bovenzijde van de serrewand.
- Maak regelbare ventilatieopeningen: per 15 m³ serre-inhoud of per 15 m² glasoppervlakte circa 1 m² voor de toevoer en circa 1 m² voor de afvoer. Plaats de toevoeropeningen zo laag mogelijk en de afvoeropeningen zo hoog mogelijk. Maak meerdere openingen verspreid over de serre (zie ook [75]).

Afb. 45



de kans dat bewoners de serre bij de woonkamer trekken of gaan verwarmen met extra energieverbruik tot gevolg.

Afb. 45

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. Ontwerp: Tjerk Reijenga, voorheen BEAR Architecten, Gouda. Realisatie: 1995.

Investering en terugverdientijd

De investering van een serre is zo hoog dat deze niet met een verlaging van het

**Afb. 46**

Het Woongebouw Emerald te Delfgauw met honderden elf 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. Initiatief Woningcorporatie Vestia Delft, architect Kees Christiaanse Architects & Planners, uitvoering Bouwcombinatie Delfgauw. Realisatie 2001.

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 **zonne-warmte** wordt voor 1 à 2 uur in de massa opgeslagen en kan zodoende gebruikt worden wanneer de zoninstraling verdwenen is (zie **§ 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. Vergroot desgewenst de daglichttoetreding in achterliggende vertrekken door bijvoorbeeld daklichten in

het serredak (*Afb. 45*) 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. Hierdoor kan het energieverbruik van de woning naar schatting met enkele tientallen m³ aardgas per jaar afnemen.

Detailleer serres als een buitenruimte. Gebruik bijvoorbeeld stoeptegels voor de vloer en schoon metselwerk voor pe-nanten en borstweringen. Dit moet mede duidelijk maken dat een serre een buiten-ruimte 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 bewo-nersonderzoek blijkt dat in de praktijk dergelijke voorzieningen vaak niet in vol-doende mate zijn aangebracht. Let op een eenvoudige bediening van zonwering en ventilatieopeningen, zeker bij hoge serres.

Afb. 46**Voorschriften**

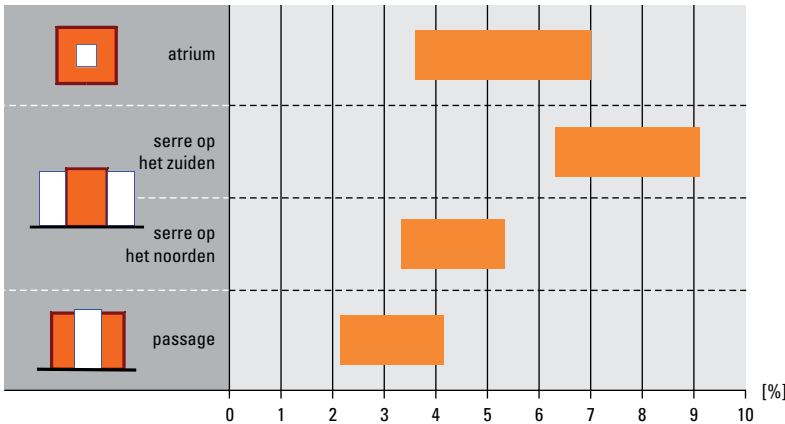
Let op de voorschriften t.a.v. ventilatie van de aangrenzende vertrekken, zie ook **[74]**.

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 achter-wege blijven.



Afb. 47



Afb. 47

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 [64]).

4.2.4 Atrium

Een atrium is een grote glasoverkapte ruimte (GGR) buiten de geïsoleerde gebouwschil van woningen [64]. 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 (Afb. 46).

Waardering bewoners

Uit diverse evaluaties blijkt dat bewoners een GGR als overdekte buitenruimte zeer positief waarderen. Mits er voldoende maatregelen 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). Globaal kan men rekenen op een energiebesparing van 10 à 15% van het energieverbruik voor ruimteverwarming.

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 verkeerslawaaï. 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 geluidisolatie 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.

Overweeg een onderzoek in een daglichtkamer.

Ventilatie en zonwering

Het is sterk aan te bevelen systemen voor ventilatie (*Afb. 47*) 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 'gelijkwaardigheidverklaring' 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 **[64]**.

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.

4.2.5 Gevelcollectoren en Trombemuren

Andere bekende passieve systemen zoals gevelluchtcollectoren 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 luchtpouw. 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 luchtpouw 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 [62] in projecten waarbij relatief veel glas is toegepast. Het gaat daarbij niet alleen om de hogere lichtopbrengst, de warmte en energiebe-

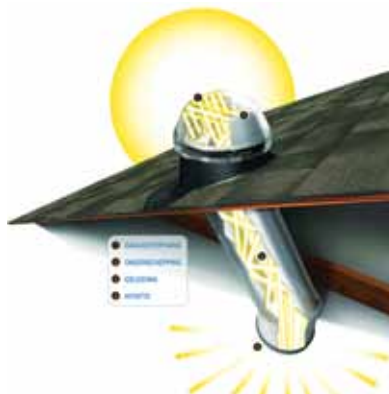
sparing. Ook het gevoel van veiligheid gaat erop vooruit.

Globaal éénzesde van het totale elektriciteitsverbruik in een huishouden wordt besteed aan kunstverlichting (zie § 10.1). Meer daglicht kan dus, zeker zo lang nog niet overal 100% spaarlampen gebruikt worden, 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 **LTA-waarde!** (zie § 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'

Afb. 48



Afb. 48

Een 'daglichttube' of 'daklichtspot' kan handig zijn om een in pandig 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.

Foto: Solatube International Inc.

**Afb. 49**

De bepaling van de belemmeringshoek α van belemmeringen binnen de perceelgrens. Alleen belemmeringen binnen een horizontale kijkhoek van 60° tellen mee.

Afb. 50

De bepaling van de overstekhoek β van overstekken.

Afb. 51

De bepaling van de overstekhoek β van overstekken als gevolg van een overstek boven een serre.

of 'daklichtspots' (Afb.48) mogelijk: hiermee kan via het dak daglicht indirect (via een flexibele of stugge buis) de woning binnenkomen.

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 trappenhuizen.

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

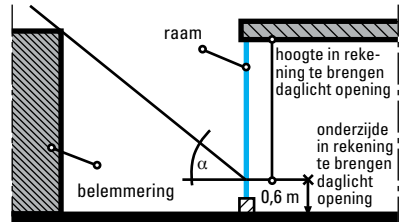
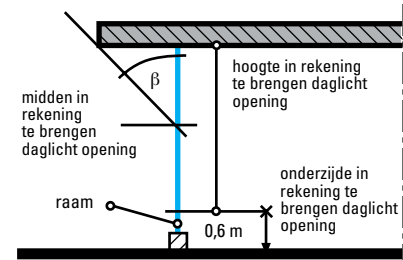
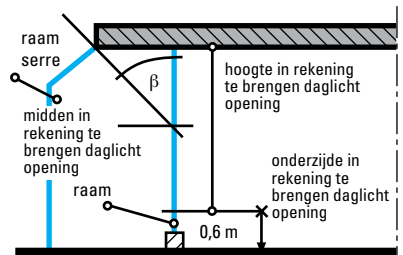
Eisen daglichttoetreding

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de grootte van de daglichtopeningen in een woning (zie Bouwbesluit afdeling 3.20 Daglicht). Het Praktijkboek Bouwbesluit [66] gaat hier uitgebreid op in. De eisen betreffen de equivalente daglichtoppervlakte (volgens NEN 2057) [65]:

- minimaal $0,5 \text{ m}^2$ per verblijfsruimte in een woning;
- minimaal 10% van de vloeroppervlakte van het verblijfsgebied.

Hierbij geldt dat:

- De lichttoetredingsfactor (LTA) van het glas niet minder mag zijn dan 0,6, anders wordt een reductiefactor volgens NEN 2057 toegepast.
- Daglichtoppervlak dat zich onder 0,6 meter boven de vloer bevindt buiten

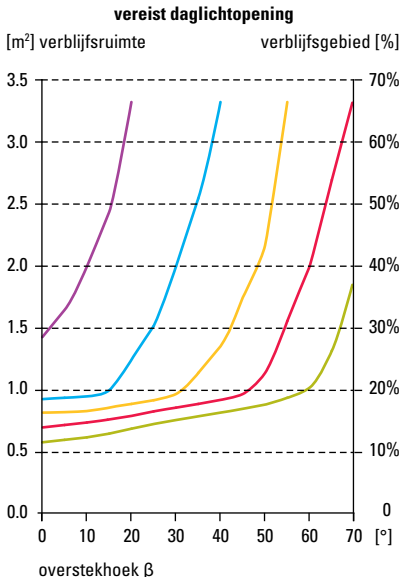
Afb. 49**Afb. 50****Afb. 51**

beschouwing wordt gelaten.

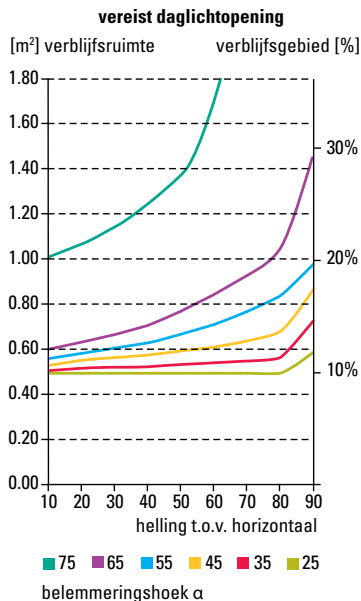
- Bij berekening van de equivalente daglichtoppervlakte uitgegaan moet worden van een belemmeringshoek van minimaal 25° , gerekend vanaf de onderzijde van het raam, voor zover deze 0,6 m boven de vloer ligt.
- Belemmeringen buiten de perceelgrens niet in rekening hoeven te worden gebracht.



Afb. 52



Afb. 53



- Daglichtopeningen die zich bevinden op een afstand, minder dan 2 meter van de perceelgrens, buiten beschouwing moeten worden gelaten.
- Voor openbare wegen, groengebieden en water de as als perceelgrens wordt beschouwd.

Daglichttoetreding bepalen (NEN 2057)

NEN 2057 [65] beschrijft de berekening van het equivalente daglichtoppervlak. Bepalend zijn:

- het glasoppervlak;
- de glashelling;
- de belemmeringen op het perceel zelf; de belemmeringshoek α is de bepalende grootte (zie Afb. 49);
- overstekken; de overstekhoek β is de bepalende grootte (zie Afb. 50);
- scheidingsconstructies vóór de daglichtopening zoals een serre. Ook hier is de overstekhoek bepalend (zie Afb. 51) maar ook het deel van de tegenoverliggende scheidingsconstructie dat lichtdoorlatend is. Wanneer meer dan 80% lichtdoorlatend is, wordt een reductie van 20% toegepast, anders aanzienlijk meer. Zie hiervoor NEN 2057.

In Afbeelding 52 en Afbeelding 53 is de minimale daglichtopening gegeven voor een verblijfsruimte en een verblijfsgebied bij verschillende belemmeringshoeken, overstekhoeken en hellingen.

Hellingshoek

Een raam dat niet verticaal maar onder een helling staat, heeft minder last van de verplichte minimale belemmeringshoek van 25°. Daarom kan met een kleiner daglichtoppervlak worden volstaan. De verschillen zijn echter klein (Afb. 53). Met de (aanzienlijk) hogere lichtopbrengst van hellende of horizontale daglichtope-

Afb. 52

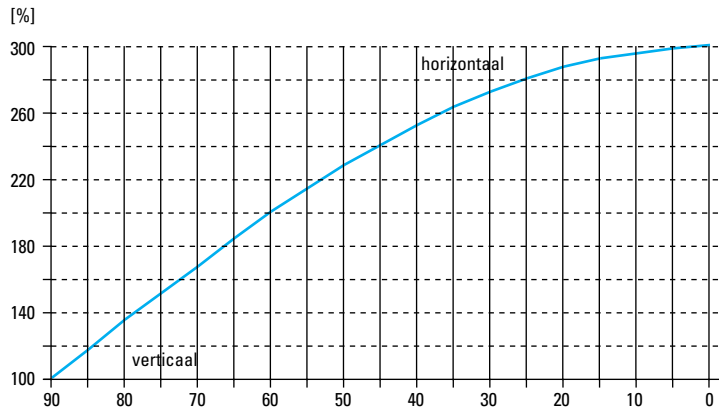
Vereiste verticale daglichtopening voor een verblijfsruimte (links m²) en verblijfsgebied (rechts % vloeroppervlak) bij verschillende belemmeringshoeken α en overstekhoeken β . Berekend volgens NEN 2057.

Afb. 53

Vereiste daglichtopening voor een naar binnen hellend raam voor een verblijfsruimte (links m²) en verblijfsgebied (rechts %) bij verschillende belemmeringshoeken α . De overstekhoek β is in alle gevallen 0. Berekend volgens NEN 2057.

**Afb. 54**

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, maar hiermee mag volgens de norm niet gerekend worden.

Afb. 54

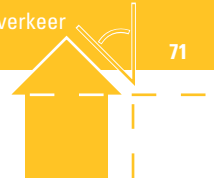
ningen (Afb. 54) wordt in het Bouwbesluit en NEN 2057 geen rekening gehouden. Let bij de toepassing van hellende of horizontale ramen op:

- 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 § 5.2 Afb. 89).

4.4 (Opstellings)ruimte installaties

Bij het ruimtelijk (schets)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 § 9.2.1) en **luchtkanalen** (zie § 6.2.2 of § 7.2.4) (zie ook hieronder), maar ook bij collectieve ruimteverwarming;
 - het voorkomen van geluidhinder door apparatuur en bijbehorende leidingen en luchtkanalen, zie hieronder;
- voldoende massa van bouwkundige constructies (vloeren, binnenwanden) om installaties er op te kunnen plaatsen of er aan te bevestigen, vooral ter voorkoming van geluidhinder; overweeg geluiddempende bevestigingsmiddelen toe te passen.
- 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 § 9.2.1). Dit punt geldt vooral voor de tappunten waar vaak kort



getapt wordt en verspreid over de dag 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

functioneert met een compact lucht-kanalenstelsel, energiezuiniger, stiller en met minder onderhoud. Gebruik om dezelfde redenen ook zo min mogelijk bochten.

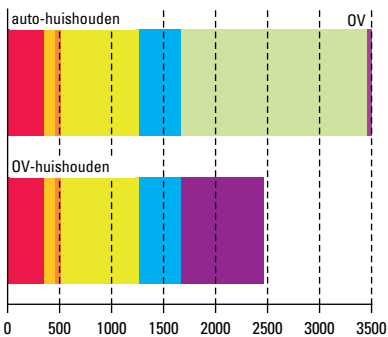
Afb. 55

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

Afb. 55

Uitgangspunten (alle afstanden in reizigerskilometers per jaar):

- auto-huishouden:
 - 25.000 reizigerskilometers met de auto; dit komt overeen met 18.000 km met gemiddelde autobezetting van 1,4 persoon;
 - 1.000 reizigerskilometers met bus en trein;
 - 2.000 reizigerskilometers per fiets;
- OV-huishouden (legt minder kilometers af dan het auto-huishouden, combineert namelijk meer):
 - 16.000 reizigerskilometers per trein;
 - 4.000 reizigerskilometers per tram/bus;
 - 3.500 reizigerskilometers per fiets.



[m³ a.e./jaar]

- Woningverwarming
- Elektriciteit voor installaties
- Koken
- Elektriciteit huishoudelijke apparaten
- Warmtapwater
- Auto
- OV

- Bij een **zonneboilersysteem**: het type (zie § 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 **elektrische warmtepomp** (zie § 7.3.3): het risico van geluidhinder. Plaats deze dus in een 'geluiddichte' ruimte en/of niet vlak bij geluidgevoelige vertrekken zoals slaapkamers. In de praktijk is plaatsing op de begane grond vaak een goede optie.

- Bij een **warmtepompboiler** (zie § 9.3.6): de situering t.o.v. ventilatiesysteem, geluidhinder 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 § 9.1.3): de situering zo dicht mogelijk

**Afb. 56**

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. Stedenbouwkundig ontwerp: Kees Christiaanse Architects & Planners; realisatie 1996 – 1998.

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 § 10.2.1); kleine systemen vragen hiervoor weinig ruimte: de omvormer(s) kan/kunnen bijvoorbeeld op zolder of overloop gemonteerd worden. Bij het ruimtelijk ontwerp vragen omvormers alleen 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.

4.5 Verkeersontsluiting en stimuleren langzaam verkeer

Ongeveer de helft van het totale jaarlijkse energieverbruik van een gemiddeld huishouden wordt besteed aan vervoer (Afb. 55). Uit onderzoek [68] 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 neemt in ons land de auto 35% voor zijn

rekening [67]. Afstanden tot zo'n 10 kilometer zijn voor fietsers goed te overbruggen, voor voetgangers is dat tot zo'n 2,5 kilometer. 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.

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 [69]);
- het bevorderen van selectief autogebruik (zie ook [70]); denk aan:
 - realiseren van een autoluw of autovrij plan (afb. 56);
 - aanleg van een carpoolplaats of voorzieningen voor autodelen, met goede voorzieningen voor de stalling van fietsen (bijv. fietskluisen);
- de situering van voorzieningen zoals winkels, scholen, (eet)café en sportvoorzieningen langs langzaamverkeersroutes;
- een snelle en comfortabele overstap op openbaar vervoer.

Afb. 56



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 bergingen 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 mogelijke toekomstige gebruik van elektrische auto's. Daarvoor zijn oplaadpunten nodig. Een detail dat de komende tijd verdere uitwerking behoeft. Meer informatie over duurzame mobiliteit: www.agentschapnl.nl [83].

Twee hulpmiddelen voor een energiezuiniger stedenbouwkundig ontwerp zijn:

- 'VervoersPrestatie op Locatie' (VPL) [81]: een rekenmodel waarmee de invloed van een stedenbouwkundig ontwerp op het energieverbruik kan worden bepaald.
- 'Langzaam Rijden Gaat Sneller' (LARGAS-concept) [79] en [80]: concrete ontwerp oplossingen ter stimulering van een gelijkmatiger en langzamer verkeersbeeld. Naast energiebesparing (CO₂-reductie) blijkt LARGAS positieve gevolgen te hebben op de verkeersveiligheid, doorstroming en geluidsoverlast.

4.6 Meer informatie

- [59] De factor Zon bij verkavelen; H. Korbee e.a., W/E adviseurs duurzaam bouwen, Gouda, uitgave: Novem, 1995.
- [60] De zon in stedenbouw en architectuur; J. Verbakel, uitgave: Novem, 1999.
- [61] De factor Zon I, eengezinswoningen; W/E te Gouda, uitgave: Novem, 1988.
- [62] duurzaam bouwen duurzaam wonen / Dubo-woningen en hun bewoners; H. Bouwmeester; Aeneas uitgeverij, Boxtel, 2002.
- [63] Praktijkevaluatie Veldzicht te Valkenburg (ZH); BOOM-SI, in opdracht van Agentschap NL, NL Energie en Klimaat, Sittard, 2004.
- [64] Grote Glasoverkapte Ruimten – atria, serres, passages; P. Blesgraaf e.a., uitgave: Novem, 1996.
- [65] NEN 2057, Daglichtopeningen van gebouwen. Bepaling van de equivalente daglichtoppervlakte van daglichtopeningen, NNI 92001/2003) te Delft.
- [66] Praktijkboek Bouwbesluit 2003, versie 1 september 2005, dec. 2005; VROM-DGWonen; te downloaden via www.vrom.nl.
- [67] Mobiliteitsonderzoek Nederland 2007 – tabellenboek; Rijkswaterstaat/DVS, april 2008.
- [68] Energiebesparing in verkeer en vervoer door ruimtelijke ordening; P. Janse e.a., CE te Delft, uitgave: Novem, 1997.
- [69] Ontwerpwijzer voor fietsvriendelijke infrastructuur; CROW-publicatie 230, CROW, Ede, april 2006.
- [70] Woonomgeving en verkeersruimte; CROW te Ede, 1998.
- [71] <http://www.agentschapnl.nl>.
- [72] <http://sts.bwk.tue.nl/daylight/var->



- [book/index.htm.](#)
- [73] [www.agentschapnl.nl](#) (vooral gericht op utiliteitsbouw).
 - [74] Serres – Praktijkvoorbeelden, toepassing en gebruik; T. Reijenga en G. de Vries, uitgave: SEV te Rotterdam en Novem, 1996.
 - [75] Zinnige serres in Spijkenisse; uitgave: W/E adviseurs en Wilma.
 - [76] Serres in strijd tegen geluid; J. Crone-de Haan, in: BouwWereld nr 6, 1998.
 - [77] Bepaling PZE bijdrage aan de warmtebalans van een goed geïsoleerde woning; R. Versluis en H. v. Dijk, TNO-Bouw te Delft, in opdracht van Novem, TNO-rapport 98-BBI-R1292, 1998.
 - [78] 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.
 - [79] LARGAS – Langzaam Rijden Gaat Sneller. http://www.infomil.nl/algemene-onderdelen/uitgebreid-zoeken/@89610/langzaam_rijden_gaat/
 - [80] Schonere lucht bij betere doorstroming; CROW, publicatie 218f, 2008; te bestellen via [www.crow.nl](#).
 - [81] VPL via [www.agentschapnl.nl/ebit](#).
 - [82] [www.agentschapnl.nl/duurzame-energie](#) .
 - [83] [www.agentschapnl.nl/energietransitie](#).

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** (§ 5.1.1);
- **het dak** (§ 5.1.2);
- de **gesloten geveldelen** (§ 5.1.3);
- de **woningscheidende wand en vloer** (§ 5.1.4);

- de **kozijnen, ramen en deuren** (§ 5.1.5);
- de **beglazing** (§ 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 1.1**.

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 bouwrijpmaken (§ 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** (§ 5.1);
 - **thermische massa** (§ 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 koudebruggen, 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) (§ 5.2.2); soms is zonwerende beglazing te overwegen.
- Maak **zomernachtkoeling** mogelijk: reserveer bijv. voldoende ruimte in gevels en dak (bijv. boven trappenhuis) (§ 6.8); zie voor koeling via **grondbuizen** § 6.8 of vrije **koeling via warmte-/koude-opslag 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 (§ 4.3).
- 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** (§ 4.2.3).
- Stem de dikte van constructies af op de gewenste isolatiewaarden.
- Denk bij **woningscheidende wanden** aan voldoende geluidisolatie; een ankerloze spouwconstructie gevuld met zachte isolatie (§ 5.1.4) levert òn een goede geluidisolatie òn een goede warmte-isolatie; let op de detaillering bij fundering en dak, zie bijv. de SBR-referentiedetails [84].

Definitief Ontwerp / Technisch ontwerp

- Realiseer een hoge isolatiewaarde en detailleer zorgvuldig om 'koudebruggen' te voorkomen. Overweeg bijvoorbeeld:
 - de fundering geheel 'in te pakken' en/of een koudebrugonderbreking van bijv. cellulair glas (drukvast) toe te passen (§ 5.1.1);
 - **hsb-gevelelementen**: ze isoleren naar verhouding goed bij een beperkte constructiedikte; onderbreek de koudebrug bij de houten stijlen en regels (§ 5.1.3).
 - (houten) **kozijnen met koudebrugonderbreking** (§ 5.1.5);
 - '**beter**' **isolerende afstandhouders** in isolerende beglazing (§ 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 (§ 5.1).
- Pas op de juiste plaats **dampremmende lagen** toe en maak de constructie naar buiten toe meer damp-open (§ 5.1, § 5.1.2 en § 5.1.3).
- Pas o.a. geen stopcontacten of lichtschakelaars in (prefab) lichte (houten) gevel- of dakelementen toe, tenzij de dampremmende laag intact blijft (§ 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-**zwevende dekvloer** (§ 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 toevoer bijv. suskasten nodig i.v.m. verkeerslawaaï, dan kunnen die, wanneer men kiest voor gebalanceerde ventilatie, achterwege blijven.
- Overweeg **zomernachtkoeling** (§ 6.8) toe te passen. Reserveer daarvoor ruimte in gevel en dak; een alternatief is vrije koeling via **grondbuizen** (§ 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. Bescherm 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 (§ 5.1 en § 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 (§ 5.1, § 5.1.2 en § 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** (§ 5.1.1).
- Controleer het type beglazing en de juiste plaatsing (§ 5.2.1).
- Overweeg een (steekproefsgewijze) controle achteraf d.m.v. infraroodfotografie en een opblaasproef; neem dat in het technisch ontwerp (het bestek) op (§ 5.1).

Gebruik / Exploitatie

- Zorg voor een duidelijke voorlichting naar bewoners, zowel mondeling als schriftelijk. Uneto-VNI 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.uneto-vni.nl/?publicatieplatform (menu applicatie woninginstallaties).
 - Bewoners kunnen voor een standaard handleiding terecht op www.mijnhuisinstallatie.nl.
- In **paragraaf 3.3** staat de checklist op hoofdlijnen.

5.1 Thermische isolatie, koudebruggen en luchtdichtheid

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

- de thermische isolatie van de constructie;
- het aantal koudebruggen;
- de mate van luchtdichtheid van kieren en naden in de constructie.

Thermische isolatie

Voor de bouwschil (exclusief ramen en deuren) geeft de warmteweerstand (R_c -waarde in m^2K/W) de isolatiewaarde van de constructie aan. Hoe hoger de warmteweerstand, dus hoe groter de R_c , hoe minder transmissieverliezen er optreden. Anno 2010 ligt de R_c -waarde van de diverse bouwschil elementen in de gangbare woningbouw globaal tussen de 3,5 en 4,5 m^2K/W . Bij **passiehuizen** (§ 3.6) ligt die waarde tussen de 8,0 en 10 m^2K/W voor gesloten geveldelen en daken, voor begane grondvloeren rond de 6,0 m^2K/W . 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, gevelelementen is veel ruimte te winnen. Door daarbij I-vormige stijlen te gebruiken wordt bovendien de koudebrug via het hout beperkt.

Bij constructies met een zeer goede thermische isolatie kan het energieverlies door 'koudebruggen' in de constructies wel 20 tot 30% van het totale transmissieverlies bedragen [85]. Het is dus belangrijk om koudebruggen te voorkomen door een zorgvuldige detaillering en uitvoering. In de praktijk blijkt de kwaliteit daarvan nog vaak te laag te zijn. Zowel in het onderwijs, op het ontwerp bureau als op de bouwplaats vraagt dit meer aandacht. 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 *warmtedoorgangscoefficiënt* (U-waarde) **bijlage 1.1**. In **bijlage 1.3** staan voor de



meeste materialen de gemiddelde waarden voor de *warmtegeleidingscoëfficiënt* (λ -waarde). 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 1.3**), zijn ook enkele minder bekende materialen verkrijgbaar [86]:

- **Aerogel:** Een aerogel-plaat wordt gasdicht ingeseald (in metaal- of kunststof-folie, 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 vliesgevels zijn deze panelen het overwegen waard. Een groot nadeel: het materiaal is erg duur.
- **Dekens met warmtereflecterende lagen:** Hiermee wordt de stralingscomponent van het warmtetransport uitgeschakeld en bij een goede verdeling ook de convectie (spouwen maximaal 13 mm). Wat blijft, is de geleiding door de ingesloten lucht. Daardoor komt de equivalente warmtegeleidingscoëfficiënt (λ -waarde) op 0,028 W/mK voor de hele opbouw exclusief de randen en bevestigingen. Nadeel: het bevestigen is bij veel toepassingen veel werk.

- **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 warmtegeleidingscoëfficiënt (λ -waarde) (bij kamertemperatuur en atmosferische druk) is 0,014 W/mK. Het materiaal is verkrijgbaar in de vorm van dekens. Let op dat koudebruggen bij bevestiging en randen een extra groot effect hebben. Een groot nadeel: het materiaal is erg duur.

(lineaire) Koudebruggen

Een koudebrug is een relatief klein deel van een constructie, waarbij dit deel relatief slecht geïsoleerd is ten opzichte van de aangrenzende vlakken. Koudebruggen komen veel voor bij overgangen tussen verschillende bouwdelen (gevel-vloer, gevel-dak, kozijn-gevel e.d.) en worden dan **lineaire koudebruggen** genoemd (Bijlage 1.1). Ook in constructies kunnen koudebruggen voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn stalen constructiedelen in gevels, houten stijlen en regels in gevelelementen en sporen in dakelementen. Lineaire koudebruggen kunnen op twee wijzen in de EPC-berekening worden ingevoerd:

- **forfaitaire methode:** via een toeslag op de U-waarde;
- **uitgebreide methode:** per koudebrug; ingevoerd moeten worden de lengte van de koudebrug en de zg. lineaire warmtedoorgangscoefficiënt (ψ -waarde): de NPR 2068:2002 [100] geeft richtgetallen

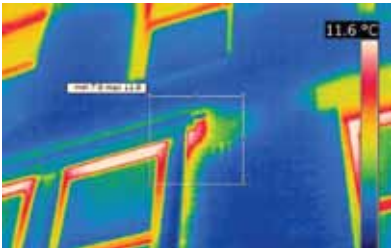


en het Zakboek SBR-Referentiedetails Woningbouw [84] geeft per detail een exacte waarde. In deze publicatie staan veel energiezuinige referentiedetails. In [87] staan voorbeelden van details voor zeer zuinige woningen zoals passiefhuizen.

Controle

Het is aan te bevelen de thermische kwaliteit van de gebouwschil te controleren door middel van thermo(foto)grafie 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 steekproefsgewijze plaatvinden. Controleer dan zodra één woning voldoende gereed is. Eventuele gebreken kunnen dan in de andere woningen mogelijk nog betrekkelijk eenvoudig verbeterd worden.

Afb. 57



Luchtdichtheid: Kieren en naden

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

gevormd bij de aansluiting tussen vaste delen (zie ook Afb. 88).

Afbeelding 59 toont een aantal veel in de praktijk voorkomende **luchtlekken** (Bijlage 1.1).

Een goede naaddichting kan worden bereikt door een goed ontwerp en 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 (Afb. 28).
 - 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 § 6.6) moet de woning in ieder geval een goede luchtdichtheid (klasse 2 uit NEN 2687 [91]) bezitten. De publicaties Luchtdicht bouwen [89] en Duurzaam detailleren [88] geven tal van praktische ontwerp- en uitvoeringsaanbevelingen, zowel voor kieren als voor naaddichting. Hierin worden per

Afb. 57

Voorbeeld van een onderzoek door middel van thermografie. Duidelijk zichtbaar zijn de warmtelekken (als rode vlekken) rond de kozijnen. Foto: Adviesburo Nieman BV.

**Afb. 58**

Luchtdichtheidsmeting met behulp van een tijdelijk aangebrachte 'blowerdoor'. Met behulp van rookdetectie kunnen luchtlekken zichtbaar worden gemaakt. Foto: Adviesburo Nieman BV.

Afb. 59

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

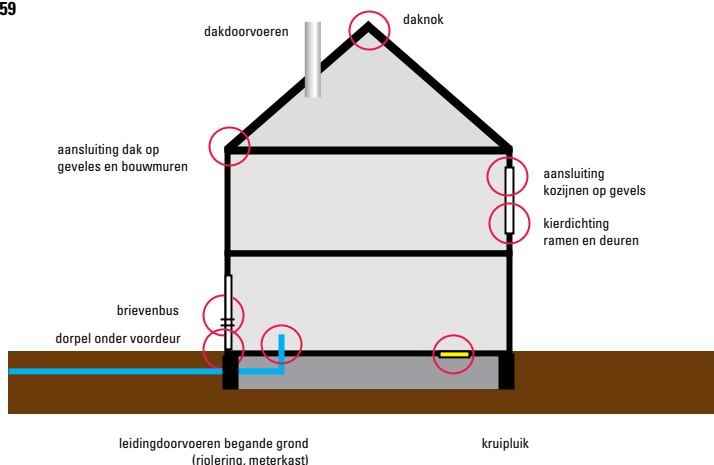
bouwdeel tips gegeven voor de luchtdichtheidsklasse 1 en 2. Voor de gebruikelijke dichtingsmaterialen zoals ter plaatse gespoten PUR-schuim en gesloten of open cellenband worden de toepassingsmogelijkheden beschreven. Ook zijn in [88] met het oog op duurzaam bouwen, waar mogelijk alternatieven aangegeven voor detailleringen met PUR-schuim. In een passiefhuis wordt meestal uitgegaan van gebalanceerde ventilatie. Dit zeer energiezuinige concept vraagt (mede daarom) om een extreem goede luchtdichtheid: er is een klasse 3 voor de luchtdichtheid toegevoegd. In [87] wordt daar uitgebreid op ingegaan.

Bijlage 1.1 geeft een toelichting op de begrippen rond luchtdichtheid zoals q_{v10} -waarde, luchtdichtheidsklasse 1, 2 en 3, C-waarde en c-waarde. Ook is informatie opgenomen over de rekenmethode voor het bepalen van de luchtdichtheid. Bij klasse 1 is te zien dat er ook eisen gesteld worden aan het minimum van de q_{v10} -waarde, met andere woorden: de woning moet niet al 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' (zie NEN 2686 [90] en Afb. 58); bij voorkeur in die fase dat luchtlekken nog betrekkelijk eenvoudig verholpen kunnen worden. Het opnemen van zo'n kwalitatieve controle als

Afb. 58**Afb. 59**



onderdeel van het Technisch Ontwerp (het bestek) zal een preventieve werking hebben. Bij een groter project kan de controle steekproefsgewijze plaatvinden. Controleer daar zodra één woning voldoende gereed is. Eventuele gebreken kunnen dan, zeker in de andere woningen, mogelijk nog eenvoudig verbeterd worden.

Eisen Bouwbesluit

Naast de prestatie-eis voor de maximale EPC zijn in het Bouwbesluit [93] de volgende bouwkundige eisen ten aanzien van energiezuinig bouwen opgenomen:

- Afdeling 5.1. Thermische isolatie
 - de warmteweerstand van dichte constructies: $R_c \geq 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$; het is de bedoeling dat per 2011 deze waarde verhoogd wordt tot minimaal $3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ [94].
 - de warmtedoorgangscoefficiënt van ramen en deuren (inclusief kozijnen): $U \leq 4,2 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- Afdeling 5.2. Beperking van luchtdoorlatendheid
 - de luchtdoorlatendheid: q_{v10} -waarde $\leq 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, bepaald volgens NEN 2686. Met een $q_{v10-kar}/\text{m}^2 \text{ vloer} < 1,0 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$ vloer voldoet een gemiddelde woning ($< 200 \text{ m}^2$ vloer).

Een klein deel van de constructies behoeft niet te voldoen aan de eisen voor warmteisolatie. Dit is gedaan om bijvoorbeeld een brievenbus, klepraam of ventilatioorster mogelijk te maken. Dat deel mag maximaal de omvang hebben van 2% van de gebruiksoppervlakte van de woning of het woongebouw. Van de drie eisen mag men afwijken wanneer men kan aantonen dat het energieverbruik niet hoger wordt dan in het geval dat volgens de eisen gebouwd zal worden. Dit berust op het principe van

gelijkwaardigheid dat in het Bouwbesluit gehanteerd wordt.

Let op:

- In paragraaf 3.4 in dit Energievadecum is voor een aantal bouwkundige maatregelen het **energiebesparende effect** gegeven.
- 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 isolatiewaarden (isolatiedikten) te hanteren voor de nieuw aan te brengen of te vervangen constructies; geef vooral duidelijk aan welk type glas gebruikt is.

Bestaande bouw

Bij renovatie en verbouw gelden in principe de nieuwbouw-eisen voor de EPC en thermische isolatie. In de praktijk zullen die alleen wordt gehanteerd wanneer er sprake is van herbouw of complete renovatie. Bij gedeeltelijk vernieuwen of vergroten zijn die eisen vaak niet reëel. Daarom biedt het Bouwbesluit burgemeester en wethouders de mogelijkheid vrijstelling te verlenen. Wel moet voor dichte schilconstructies de R_c -waarde minimaal $1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ zijn. Zie artikel 1.11, 5.6 en 5.14 van het Bouwbesluit [93].

Gebouwschil-indicatoren

De gebouwschil-indicatoren voor verwarming en voor koeling, zijn een maat voor de energetische kwaliteit van het bouwkundige deel van het gebouw. In deze beide indicatoren wordt rekening gehouden

**Afb. 60**

Enkele voorbeelden van constructies voor begane grondvloeren, de dikte van de isolatie is indicatief. R_c in m^2K/W . Raadpleeg de fabrikant voor de exacte isolatiewaarde.

Afb. 60

vloer	materiaal	R_c	dikte (mm)
 ribcassettevloer	EPS/steenwol	$R_c = 3,0$	350 totaal
		$R_c = 4,0$	350 totaal
		$R_c = 5,0$	350 totaal
 kanaalplaatvloer (met oplegnokken)	EPS	$R_c = 3,0$	300 totaal
		$R_c = 4,0$	340 totaal
		$R_c = 5,0$	380 totaal
 PS combinatievloer (PS-broodjesvloer)	EPS	$R_c = 3,0$	285 totaal
		$R_c = 4,0$	335 totaal
		$R_c = 5,0$	365 totaal

dikten inclusief constructievloer, exclusief dekvloer

met de isolatiewaarden, koudebruggen, luchtdichtheid en passieve zonne-energie. De gebouwschil-indicatoren worden berekend volgens wijzigingsblad A1:2008 NEN 5128 en vermeld op het energieprestatiecertificaat.

5.1.1 Fundering, kruipruimte en beganegrondvloer

Thermische isolatie

De isolatiewaarde van de beganegrondvloer kan relatief eenvoudig een hoge waarde krijgen. In de praktijk zijn zeer goed geïsoleerde prefab elementen (voor het niveau van een passiehuys) 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. Gangbaar in de huidige woningbouw is een R_c -waarde van rond de $3,5 m^2K/W$. Bij passiehuizen ligt de waarde rond de $6,0 m^2K/W$.

Koudebruggen

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de detailering in verband met koudebruggen: de **f-factor** (zie bijlage 1.1) moet $\geq 0,65$ zijn. Er zal dan geen structurele oppervlaktecondensatie 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 verloren bekisting (Afb. 63). 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 kan bijvoorbeeld cellulair glas of cellenbeton worden gebruikt. Let op de (langeduur-)sterkte van beide.

Een vloer die is voorzien van oplegnokken met daartussen isolatiemateriaal (Afb. 64) is een redelijk alternatief. Bij passiehuizen is een combinatie van oplegnokken en geïsoleerde funderingsbalken te overwegen (zie Afb. 27).

Bij een fundering op staal (dus zonder funderingspalen) is te overwegen om een plaatfundering van schuimbeton toe te passen.

Aandachtspunten:

- Let bij PS-elementen op een zorgvuldige behandeling en opslag; ze zijn namelijk licht en kwetsbaar. Voorkom wegwaaien (zwerfvuul!), opdrijven door regenwater, en schade tijdens het storten van het beton.

Afb. 61



Afb. 61

Ophanging van leidingen.

Afb. 62

Indicatie van het extra energieverlies per m' fundering in m³ aardgas per jaar via een warmtelek bij de fundering.

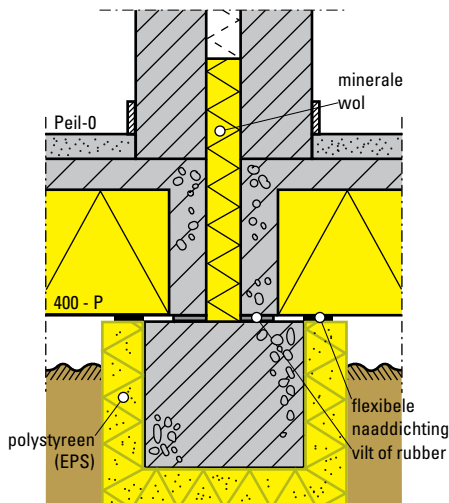
Afb. 62

	m³ aardgas/m
langsgevel	3
woningscheidende wand	5
kopgevel	5

Afb. 63

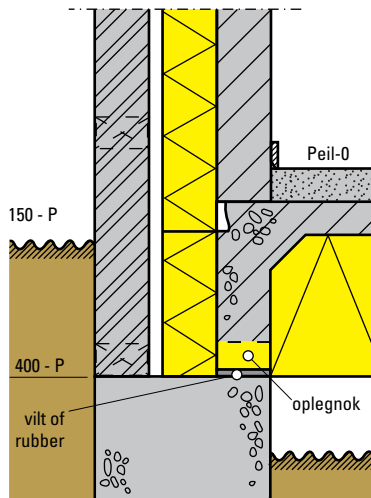
Principe-detail: geïsoleerde funderingsbalk bij een ankerloze spouwmuur als woningscheidende wand.

Afb. 63





Afb. 64



Afb. 64

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 relatief 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.

- 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 (Afb. 61).
- 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 kruipruimte vaak niet goed aan op de vloer-

isolatie; het gevolg is een warmtelek. Een (prefab) isolatiedeksel is een goede oplossing hiervoor, zie Afb. 65.

Luchtdichtheid

De begane grondvloer moet een hoge luchtdichtheid hebben ter beperking van de aanvoer van **vocht en radon** (zie § 6.1) vanuit de kruipruimte. Volgens het Bouwbesluit (artikel 3.23) mag de luchtdoorlatendheid maximaal $20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sm}^2$ vloeroppervlakte bedragen (gemeten volgens NEN 2690 [92]). 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 [89] geeft tal van aanbevelingen. Bijlage 1.1 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:

- 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 onderkruipen.

- 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 laatste 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 mantelbuis en de vloer als tussen de mantelbuis en de leiding.
- Gebruik een relatief zwaar kruipluik, bijv. van vezelcementplaat, of een luik dat met behulp van sluitingen wordt aangedrukt (Afb. 65).
- 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 en voordelig [95]. 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 noodzakelijk om de kruipruimte wel te ventileren om problemen met o.a. vocht te voorkomen.

Afb. 65



Afb. 65

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 dat 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 tocht dichting. Pas geen duimgat toe, maar een luikoog verzonken aan de bovenzijde van het luik. Illustratie: VBI.

**Afb. 66**

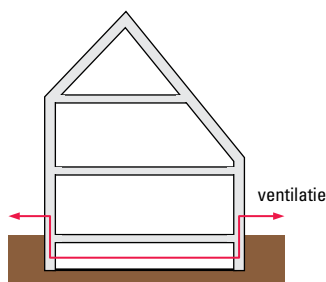
Afbeelding met en zonder kruipruimte.

Afb. 67

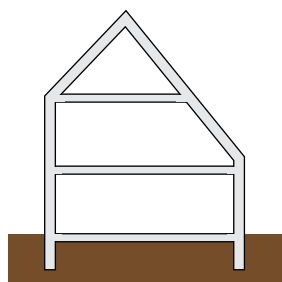
Op tal van nieuwbouwlocaties wordt zonder kruipruimte gebouwd. Op de foto een voorbeeld van bouwen zonder kruipruimte op de Vinex-locatie Nieuwland in Amersfoort.

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. Naddeel: minder goed inpasbaar in de gebruikelijke planning.
- Bouwtechnisch meestal goedkoper, zowel bij een fundering op staal als bij een paalfundering.
- Minder grondverzet nodig bij het bouwrijp maken: òf er is minder ophoogzand nodig (om voldoende drooglegging te

Afb. 66

met kruipruimte



zonder kruipruimte

Afb. 67

verkrijgen), òf 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 mantelbuis ingevoerd worden.
- Wijzigingen in de plattegrond zijn later moeilijker te realiseren indien riolering aangepast moet worden.

Let op: Tijdens de ruwbouwfase is een zorgvuldige uitvoering en controle nodig van de leidingen die onder de begane-grondvloer (komen te) liggen. Bescherm tijdens de ruwbouwfase de boven deze vloer uitstekende stukken leiding goed.

5.1.2 Dak

Thermische isolatie en naaddichting

Daken zijn relatief eenvoudig goed te isoleren. In veel huidige nieuwbouwwoningen (2010) ligt de R_e -waarde van het dak rond de $4,0 \text{ m}^2\text{K/W}$. Bij daken van zeer energiezuinige projecten zoals passiehuizen ligt



Afb. 68

dikte isolatiemateriaal (mm)					
isolatie materiaal	$R_c = 3,5$	$R_c = 4,0$	$R_c = 5,0$	$R_c = 8,5$	
hellend dak met pannen					
enkelschalig prefab element ¹	minerale wol	145	165	210	365
	cellulose platen	140	160	200	340
	PIR	110	125	155	270
	EPS	140	160	200	340
sandwich element zonder randhout	PIR	90	105	130	220
	EPS "HR"	115	130	165	285
Plat of lichthellend dak, met ballast					
hout	resol	75	85	110	185
	EPS	130	145	185	320
	cellulair glas	135	150	190	330
grindbeton 200 mm	resol	80	90	115	195
	EPS	130	145	185	320
	cellulair glas	135	150	190	330
	XPS omgekeerd dak	120	140	175	300
cellenbeton 200 mm	resol	50	60	80	160
	EPS	85	100	140	270
	cellulair glas	85	105	145	280

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.

de R_c -waarde rond de 8 à 10 m²K/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 koudebrug via de houten ligger beperkt is [87]. Vooral bij hellende daken is veel aan-

dacht nodig voor de luchtdichtheid van de nok-aansluiting en de aansluiting van dak(elementen) met de (zolder)vloer. Zie o.a. [84], [87] en [89] voor mogelijke oplossingen daarvoor.

Tips:

- Door het toepassen van een dakoverstek (0,75 meter, horizontaal gemeten, voor de onderliggende twee bouwlagen) kunnen

Afb. 68

Enkele voorbeelden van constructies voor daken. De isolatiediktes zijn indicatief en in de constructies naar boven afgerond op 5 mm. R_c in m²K/W.



Afb. 69

Principe-opbouw van een warm dak en een omgekeerd (warm) dak.

gevels tegen regen beschermd worden hetgeen o.a. minder onderhoud oplevert.

- Houd rekening met de (mogelijke) plaatsing van een zonneboiler en PV-panelen: zie **hoofdstuk 4.1.2 voor dakhelling, oriëntatie en benodigde ruimte.**

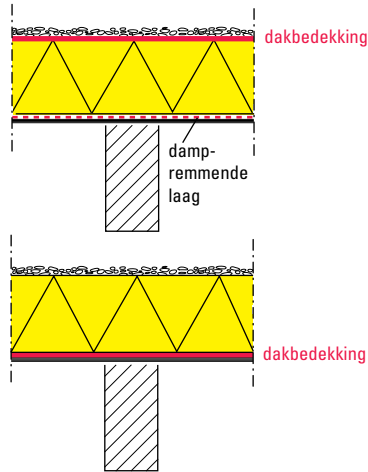
Warm en koud dak

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;

Afb. 69



- de isolatie ligt bovenop de waterdichte laag; deze constructie wordt vaak aangeduid als 'omgekeerd' dak; de isolatie beschermt 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 gehouden worden met het extra warmteverlies door regenwater dat onder de isolatieplaten terecht komt. In NPR 2068 [100] is hiervoor een berekeningsmethode opgenomen.

Luchtdichtheid

Vooral de luchtdichtheid van hellende daken vraagt extra aandacht. De publicatie Luchtdicht bouwen [88] geeft voor de diverse aansluitingen praktische details.

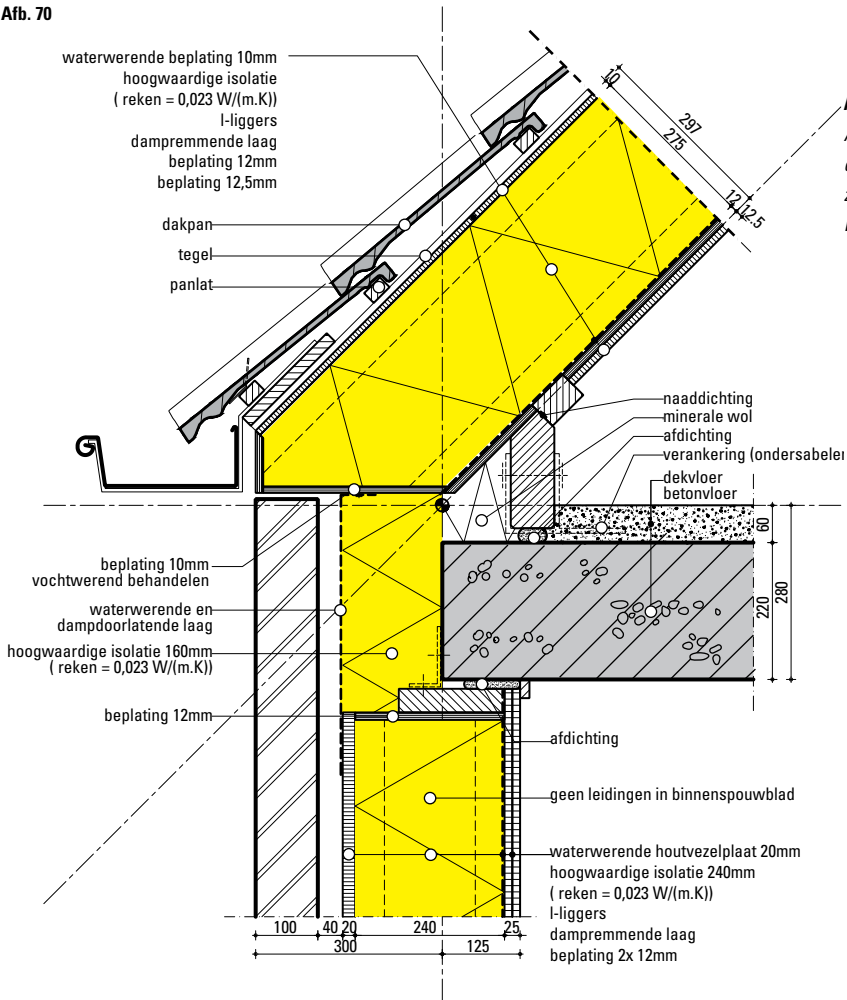
- Zorg voor een goede luchtdichting bij de nok. Kies bijvoorbeeld voor scharnieren waarbij compressieband in de nok toegepast wordt. Als aanvulling kan een overlap van de (dampremmende) folies dienen.
- Zorg bij de aansluiting van dakelementen met de muurplaat voor dichting met bijvoorbeeld compressieband. 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 in combinatie met tochtband tussen de plaat en het dak en tussen de plaat en de dakdoorvoeren. De rand moet zodanig vormgegeven zijn dat het band goed geklemd blijft zitten.

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

Afb. 70



Afb. 70

Aansluitdetail van een hellend dak met de zoldervloer in een zeer goed geïsoleerde woning.
Bron: SBR [87]

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 overal goed aangebracht is;

- raadpleeg vooraf altijd de verwerkingsrichtlijnen van de fabrikant.

Ballast

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

**Afb. 71**

Voorbeeld van een extensief vegetatiedak.

- 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 [107] en [108].

Extensief vegetatiedak

Een extensief vegetatiedak (zie [107] en [108]) 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 substraatlaag (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. Lopend onderzoek moet uitwijzen hoe groot dit bufferend effect precies is.
- Extra koelend effect 's zomers.
- Verbetering van het stadsklimaat [109].
- 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. 71

5.1.3 Gesloten geveldelen

Thermische isolatie

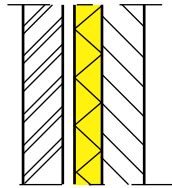
'Gesloten' geveldelen zijn minder eenvoudig te isoleren dan daken en vloeren. De constructies zijn complexer door opbouw en openingen voor ramen en deuren. Veel nieuwbouwwoningen anno 2010 hebben gesloten geveldelen met een isolatiewaarde (R_c) van rond de 3,5 m²K/W. In zeer energiezuinige woningen, zoals passiefhuizen, worden R_c -waarden van 8,0 à 10,0 m²K/W toegepast [87].

Bij dergelijke woningen is extra aandacht voor het beperken van koudebruggen nodig. Een vroeg voorbeeld van een goed geïsoleerd project is het appartementencomplex 'Urban Villa' (Afb. 73) uit 1995 [105]. Daar werden al R_c -waarden van 5,0 à 6,0 toegepast!

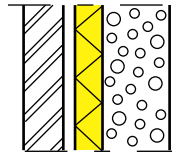
**Afb. 72**

Enkele voorbeelden van constructies voor gevel en kopgevel. De isolatiedikten zijn indicatief en in de constructies naar boven afgerond op 5 mm. R_c in m^2K/W .

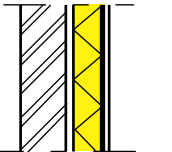
bakst. - kalkzandst. of beton
(rvs spouwankers) ^{1,2}



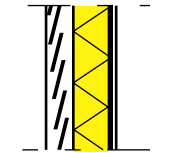
bakst. - 150mm cellenbeton
(rvs spouwankers) ^{1,2}



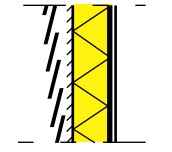
bakst. - houten element
(12 % hout) ³



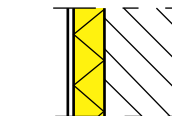
hout - houten element
(12 % hout, geventileerde spouw) ³



hout - isoplaat - houten element
(12 % hout, geventileerde spouw) ³
(30 mm isoplaat met een $\lambda < 0,04$ over alle stijlen en regels)



stuc - isolatie - kalkzandsteen



isolatie materiaal	$\lambda_{\text{declared}}$	dikte isolatiemateriaal (mm)			
		$R_c = 3,5$	$R_c = 4,0$	$R_c = 5,0$	$R_c = 8,5$
steenwol	0,035	100	135	175	305
glaswol	0,035	100	135	175	305
EPS 15	0,036	105	140	180	315
EPS "extra"	0,030	85	120	150	265
resol	0,023	65	90	115	205
steenwol	0,035	70	105	145	275
glaswol	0,035	70	105	145	275
EPS 15	0,036	70	110	145	280
resol	0,023	45	70	95	185
steenwol	0,037	135	180	230	405
glaswol	0,035	130	175	220	390
houtvezeldecken	0,038	135	185	235	410
cellulose	0,037	135	180	230	405
steenwol	0,037	150	195	245	415
glaswol	0,035	145	190	235	400
cellulose	0,037	150	195	245	415
houtvezeldecken	0,038	150	200	250	425
steenwol	0,037	110	155	205	375
glaswol	0,035	105	150	200	365
cellulose	0,037	110	155	205	375
houtvezeldecken	0,038	110	160	210	385
EPS 20	0,035	105	145	180	310
XPS	0,028	85	115	145	250
houtvezel plaat	0,043	130	175	220	380

¹ Bij toepassing van gegalvaniseerde spouwankers is 5 % extra isolatiemateriaal nodig

² Met een blijvend warmte reflecterende laag aan de ongeventileerde spouwzijde, is 20 mm minder isolatiemateriaal nodig.

³ Bij houten elementen is er vanuit gegaan dat de stijlen en regels in één vlak liggen.



Afb. 73

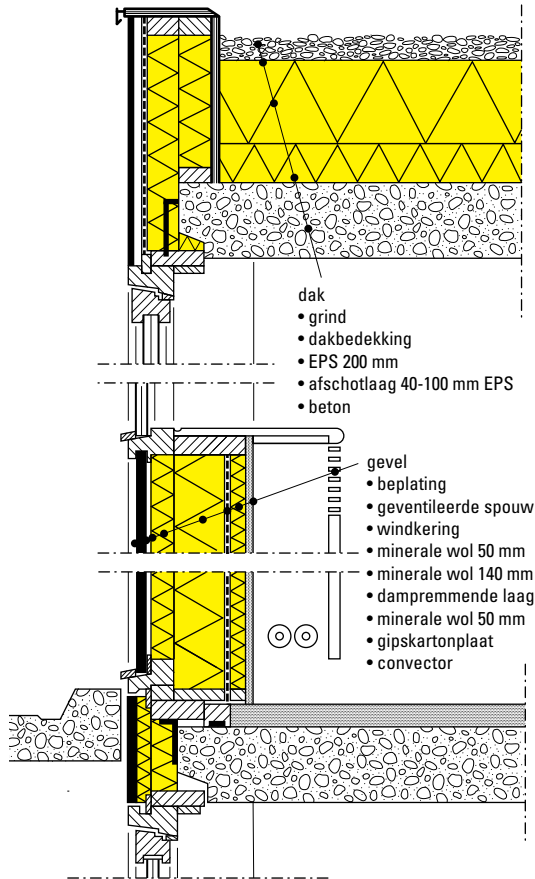
Afb. 73

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.

Architect Atelier Z - Zavrel
Architecten, Ontwikkeling BAM
Vastgoedbeheer en RABO
Vastgoed, Onderzoek en advies
Damen Consultants, TUDelft en
DWA. Realisatie: 1995.

**Let op detaillering en uitvoering:**

- Voor gevelsluitende houten elementen is een harde glaswolplaat verkrijgbaar waarmee het warmtelek, gevormd door het stijl- en regelwerk, beperkt kan worden. Deze plaat wordt aan de spouwzijde van het element op het element bevestigd. De plaat doet 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 (Afb. 76). Houd rekening met kruip van de vloerconstructie. De zakking, in het midden van de overspanning, kan wel 5 mm bedragen [89]. 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 Afb. 79). Controle door thermo(foto)grafie, steekproefsgewijs, is sterk aan te bevelen.

Specifiek voor spouwconstructies

- Zorg onder in de spouw voor een goede waterafvoer via open stootvoegen. Gebruik voor de spouwisolatie onder het maaiveld-niveau een niet-vochtgevoelig isolatiemateriaal zoals hardschuimplaten.
- Pas bij een gemetseld buitenspouwblad een luchtspouw toe van minstens 40 mm tussen de isolatie en het buitenspouwblad (Afb. 75; [97]).
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 een dikke (spouw)isolatie de isolatie bestaan uit twee lagen isolatieplaten (in plaats van één dikke plaat) waarvan de naden ten opzichte van elkaar verspringen; dus bijvoorbeeld 2 x 70 mm in plaats van 1 x 140 mm.
- Houd rekening met de negatieve invloed van onder andere spouwankers op de R_c -waarden van geïsoleerde spouwmuuren. Zie NEN 1068 [99]. 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 binnenspouw-

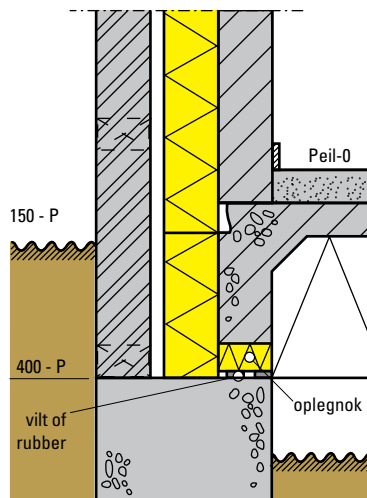
bladen speciale spouwankers verkrijgbaar die tussen de platen bevestigd worden tijdens het aanbrengen van de platen [96]. De ankers zitten daardoor op de juiste plaats en de kans op beschadiging van de isolatieplaten is minimaal, dit in tegenstelling tot de gebruikelijke prikankers.

- 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

Afb. 74

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

Afb. 74



**Afb. 75**

Bij een gemetseld buitenspouwblad is een luchtspouw van minstens 40 mm nodig.

Afb. 76

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

Afb. 77

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 [98].

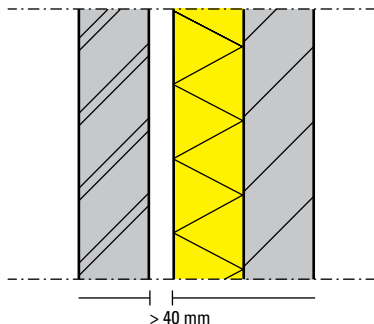
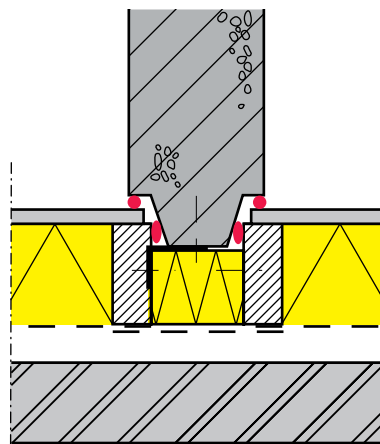
Afb. 78

Kunststof strip (of hoekanker) om zachte isolatieplaten bij uitwendige hoeken zorgvuldig op elkaar te laten aansluiten.

Foto: Gebroeders Bodegraven BV

Afb. 79

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

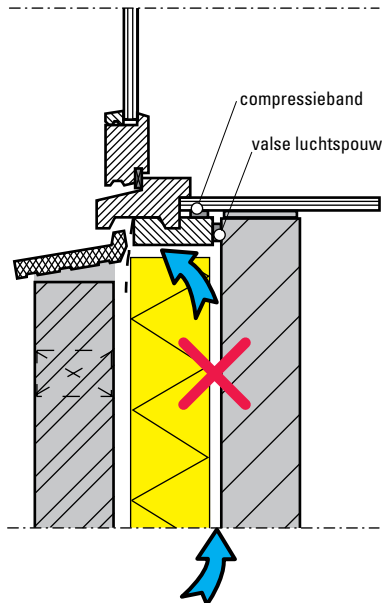
Afb. 75**Afb. 76**

aansluiten. Bij het gebruik van zachte isolatieplaten is voor het aansluiten een kunststof strip (of hoekanker) verkrijgbaar (zie Afb. 78).

- Controleer op een goede aansluiting van de isolatie op het binnenspouwblad; voorkom een 'valse' spouw (zie hieronder)

Harde of zachte platen in (gemetselde) spouwmuren

Uit onderzoek [98] blijkt dat het isolerend vermogen van een spouwconstructie

Afb. 77**Afb. 78****Afb. 79**



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 NEN 1068 (in § 7.3.2 van deze NEN) [99] en de NPR 2068 [100] benadrukken 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) en cellulair glas. De platen zijn meestal rondom voorzien van sponningen. Er is een PUR-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

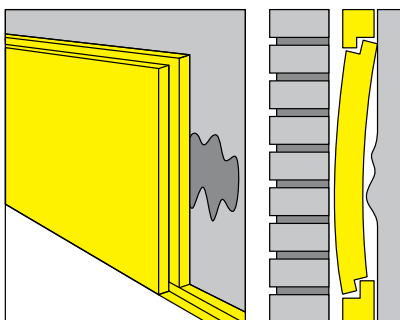
(< 6 mm) is dit niet goed mogelijk.

- 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 sparingsen 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. 80



Dampremmende laag

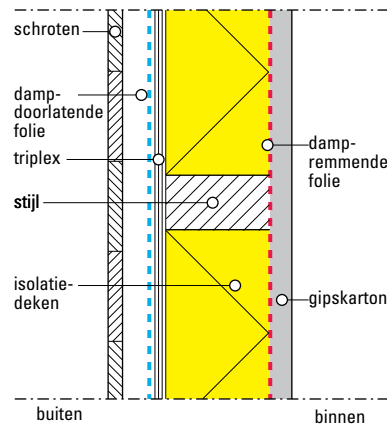
Constructies zoals gevels en daken moeten zodanig opgebouwd zijn dat er geen structurele **inwendige condensatie** kan optreden (zie bijlage 1). Daarom moet de 'dampdichtheid' van een constructie vanaf binnen (= de warme zijde, tevens woningzijde) naar buiten afnemen. Een dampremmende folie aan de warme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

Afb. 80

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.

**Afb. 81**

Vooraf 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.

Afb. 81

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

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 overlappings 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 isolatie van woningscheidende wanden en vloeren.

Wanneer de gemiddelde temperatuur in aan elkaar grenzende woningen niet gelijk is, treedt er via de woningscheidende wand of vloer warmtetransmissie op vanuit de 'warme' naar de 'koude' woning. Zoals in Afbeelding 82 te zien is, kunnen deze 'verliezen' aanzienlijk zijn. Deze cijfers zijn berekend. Maar ook uit praktijkonderzoek blijkt dat er een behoorlijke warmteuitwisseling tussen woningen kan optreden [105]. 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 burens overtollig 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 bovendien de geluidwerende kwaliteit van de spouw verbeteren [106], 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.

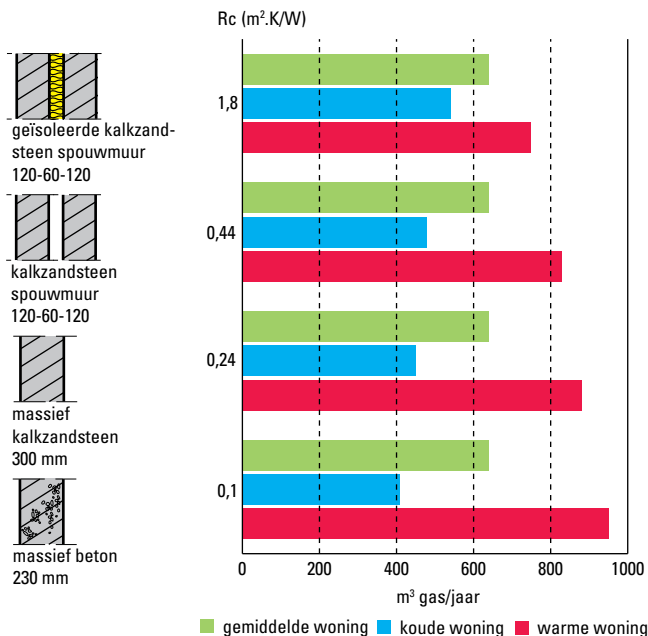
Woningscheidende vloeren zijn als volgt te isoleren:

- 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.

Afb. 82

Het energieverbruik in m³ aardgas per jaar van de referentie tussenwoning wanneer hier gedurende het stookseizoen gemiddeld 2 °C meer gestookt wordt dan in een van de aangrenzende woningen. Het verbruik is afhankelijk van de isolatiewaarde van de woningscheidende wanden. De spouwisolatie moet vanwege geluidisolatie uit een zacht materiaal bestaan, bijvoorbeeld onverpakte, minerale wol.

Afb. 82



**Afb. 83**

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: vrij naar [84].

- Bij houtskeletbouw is isolatie vanwege geluidisolatie en brandveiligheid standaard in de vloerconstructie aanwezig.

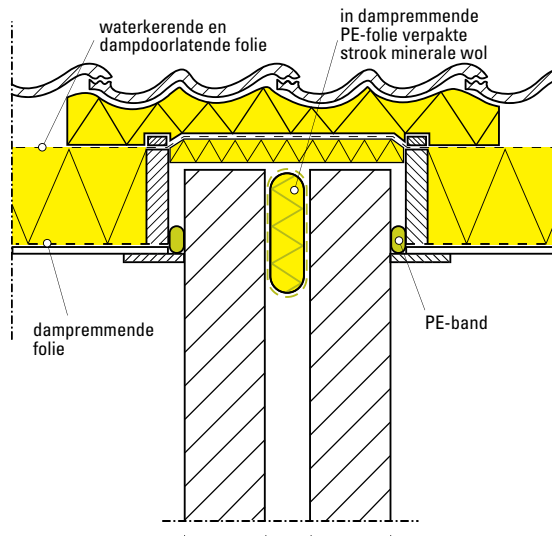
Geluidisolatie

Een ankerloze spouw verbetert 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 Afb. 83). Dit verbetert de geluidisolatie: geluidhinder via de 'flankerende' vlakken zoals de fundering en de dakelementen wordt door

de isolatie beperkt. Zie voor de betreffende details de uitgaven [84] en [87].

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.

Afb. 83



- 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 kunststof-schuimplaat.

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 koudebrugonderbreking en geïsoleerde deuren. Dit in combinatie met drieboudig 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.

Ramen en kozijnen

NPR 5129 [38] gaat in op de invloed van kozijnen op de thermische kwaliteit van de totale raamconstructie (kozijn + glas).

NPR 5129 en NPR 2068 [100] geven ook rekenregels voor de bepaling van de U-waarde van een raamconstructie. 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. Afbeelding 84 geeft een vereenvoudigd overzicht van warmtedoorgangscoefficienten van ramen met verschillende glas- en kozijntypen:

- Kozijntype A is een kozijn van hout of kunststof waarvoor een forfaitaire U-waarde van $2,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ in rekening is gebracht.
- Kozijntype B is een metalen kozijn met thermische onderbreking die voldoet aan de in bijlage A van NPR 2068 [100] gegeven voorwaarden en waarvoor een forfaitaire U-waarde van $3,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ in rekening is gebracht.

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 bij goed-isolerend glas. Aanbevolen wordt om de U_w -waarde uit te rekenen omdat dat in veel gevallen gunstiger zal uitkomen dan de forfaitaire waarden. Het voordeel kan al snel 0,02 punten in de EPC

Afb. 84

De invloed van het kozijn op de U_w (is dus de gemiddelde U-waarde) van een totaal raam (kozijn + glas). Rekenwaarden warmtedoorgangscoefficienten van ramen, U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$ volgens NPR 2068 [100]. De waarden gelden voor beglazing met aluminium afstandhouders en een forfaitair kozijnaandeel van het totale raamoppervlakte.

Afb. 84

	Uglas	kozijntype A (hout of kunststof; $U_{\text{kozijn}} \leq 2,4 \text{ [W/m}^2\text{K)]}$	kozijntype B (thermisch onderbroken metaal; $U_{\text{kozijn}} \leq 3,8 \text{ [W/m}^2\text{K)]}$
HR Glas	2,0	2,3	2,8
HR ++	1,2	1,8	2,2
HR ++	1,0	1,6	2,1
HR ++	0,9	1,5	2,0
drieboudig HR ++	0,7	1,4	1,9
drieboudig HR ++	0,5	1,3	1,7

**Afb. 85**

Voorbeeld van een extra isolerend kozijn. Met behulp van PUR-schuim is een koudebrug-onderbreking aangebracht.

Informeer naar de mogelijkheden voor het Politie Keurmerk Veilig Wonen, indien gewenst.

Foto: Timmerfabriek Overbeek

opleveren, bij gebruik van extra isolerende kozijnen zelfs meer.

Zie voor een overzicht van warmte-doorgangscoefficienten 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 forfaitaire U-waarde voor een houten kozijn met aluminium afstandhouders in het glas bedraagt $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Uit berekening [101] blijkt dat voor zacht houten kozijnen met isolerende afstandhouders ('thermisch onderbroken') in het glas de U-waarde circa $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kan bedragen; hierbij wordt uitgegaan van een soortelijke massa van $450 \text{ kg}/\text{m}^3$ voor het hout.

De U-waarde is verder te verbeteren (= te verlagen) door gebruik te maken van houten kozijnen met een koudebrugonderbreking door middel van bijv. PUR-schuim

Afb. 85

of geëxpandeerde kurk (Afb. 85). Deze extra isolerende kozijnen hebben, rekening houdend met isolerende afstandhouders in het glas, een U-waarde van circa $1,0$ à $0,65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Deuren

Bij het berekenen van de U-waarde van een deur moet ook het kozijn meegerekend worden. Volgens NPR 2068 [100] wordt een deur met $>65\%$ glasoppervlak beschouwd als een raam. Voor **overige deuren met transparante delen** geldt dat de deur als 2 delen wordt beschouwd: vaste delen van de deur + beglazing in de deur (zie 5.2).

Volgens NEN 5128 bedraagt de U-(reken)waarde voor een niet-geïsoleerde deur, zonder glas, inclusief houten kozijn $3,4 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Volgens NPR 2068 mag, bij het bepalen van de EPC, voor thermisch geïsoleerde deuren (inclusief kozijn) gerekend worden met een U-waarde van $2,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Dan moet de deur wel aan een aantal voorwaarden voldoen, zie kader.

Voor meer informatie zie ook NPR 5129 [38]. Anno 2010 ligt de U-waarde van 'standaard' geïsoleerde deuren volgens opgave van fabrikanten rond $1,2 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (= $1,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ incl. standaard houten of kunststof kozijn). Ook is er een deur met een U-waarde van circa $0,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (= $1,45 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ incl. standaard houten of kunststof kozijn) verkrijgbaar; deze is speciaal voor passiehuizen ontwikkeld. In geïsoleerde (voor)deuren gebruiken fabrikanten vooral PUR-schuim als isolatiemateriaal, soms geëxpandeerde kurk.

Aandachtspunt: Zoals hierboven te zien is, wordt een gunstige (lage) U-waarde van geïsoleerde deuren grotendeels teniet gedaan door de combinatie met standaard

NPR 2068 [100]

(art. 7.3.1) stelt eisen aan een geïsoleerde deur. Voldoet de deur daaraan, dan mag gerekend worden met een U-waarde van $2,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. De eisen zijn:

- De deur(constructie) bestaat uit hout of kunststof.
- Geen lichtdoorlatende delen.
- De deur moet over een oppervlakte van tenminste 65% van de deur (inclusief kozijn) geïsoleerd zijn.
- De isolatielaag moet ononderbroken zijn en een R-waarde hebben van tenminste $0,4 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$.



Afb. 86



kozijnen. Gebruik daarom dergelijke deuren samen met kozijnen die een relatief lage U-waarde hebben (zie bij ramen). Dat geldt ook voor onderdorpels (Afb. 86).

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 [88]. 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 gecompriëerd 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 houten onderdorpels van buitendeuren een brede strook plakfolie.

Kieren

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

Let op:

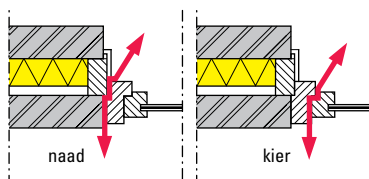
- Gebruik in de hoeken gelaste profielen (kaderprofielen): De kierdichtingsprofielen in de hoeken, bij de scharnieren en bij de sluitingen mogen niet onderbroken zijn.
- Gebruik voldoende scharnieren en sluitingen om kromtrekken van de ramen en deuren te voorkómen. Neem bijvoorbeeld één scharnier of sluiting per meter kier. Gebruik bijvoorbeeld drie-puntssluitingen voor deuren, waarbij de deur in één handeling wordt gefixeerd.
- Gebruik knevelsluitingen.
- Gebruik nastelbare scharnieren en sluitplaten.
- 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

Afb. 86

Deze BUVA-ISOSTONE® onderdorpel van glasvezel versterkt kunststof met 2 luchtkamers heeft een relatief gunstige (lage) U-waarde van 1,4 W/m²K. Foto: BUVA BV.

**Afb. 87**

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

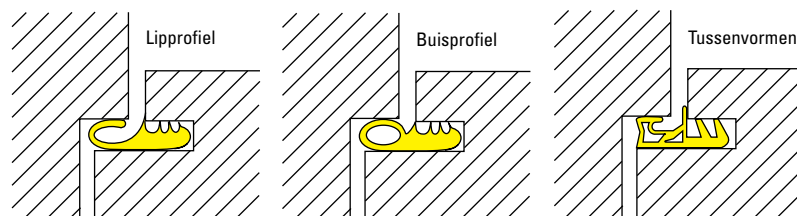
Afb. 87**Afb. 88**

Lipprofiel, Buisprofiel en Tussenvormen

niet-stugge tochtborstel. Nog beter is om genoemde voorzieningen te combineren met een aan de binnenzijde aangebrachte bak die de post opvangt. 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 kierbreedte (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. 88

Vensterbank

Voorkom dat achter gesloten (rol)gordijnen een sterk opgaande warme luchtstroom, rechtstreeks afkomstig van verwarmingselementen, kan ontstaan. Let dus op bijvoorbeeld:

- de juiste afmetingen van vensterbanken;
- de mogelijkheden om gordijnrails op de juiste plek te kunnen bevestigen.

5.2 Beglazing

De beglazing is van invloed op:

- Het warmteverlies (U-waarde).
- De zontoetreding (ZTA-waarde, zontoetredingsfactor, ook wel g-waarde genoemd)
- De daglichttoetreding (LTA-waarde, lichttoetredingsfactor)

In Afbeelding 89 staan enkele indicatieve U-, ZTA- en LTA-waarden.

Op www.kenniscentrumglas.nl is algemene informatie over beglazing te vinden. In nieuwbouwwoningen anno 2010 wordt in het algemeen HR++-glas toegepast met een U-waarde voor alleen het glas van circa 1,2 W/(m²K) en aluminium afstandhouders.

In de brochure 'Gebruikershandleiding voor ramen met HR++glas' [102] is nuttige informatie voor o.a. bewoners opgenomen.



Afb. 89

ramen	U-waarde (in W/m²K)	LTA-waarde	ZTA-waarde
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	0,60 - 0,70
drievoudige beglazing (niet zonwerend)	0,5 - 1,0	0,60 - 0,75	0,50 - 0,70
daklichtkoepels (inclusief geïsoleerde dakopstand, transparant)			
dubbelwandig kunststof	2,8	0,85	0,80
driewandig kunststof	1,9	0,80	0,75
HR ⁺⁺ -glas met kunststof enkelwandige koepel	1,4	0,70 - 0,75	0,50 - 0,55

Afb. 89

Overzicht van enkele typen glas (zonder effecten afstandhouders en kozijn) met globale aanduiding van de U-, ZTA- en LTA-waarden. Let op: De eigenschappen 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 daklichtkoepels. Informeer voor exacte gegevens altijd bij de fabrikant of leverancier.

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).

5.2.1 Warmteverlies

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

- Verschillen in het soort coating.
- De spouwvulling: lucht of een edelgas. Bij HR⁺⁺- en drievoudig glas wordt een edelgas gebruikt, meestal argon, voor de hogere isolatiewaarden 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 binnenruit (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 spouwbreedte 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 (Afb. 90). In NPR 5129 [38] 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 toepas-

**Afb. 90**

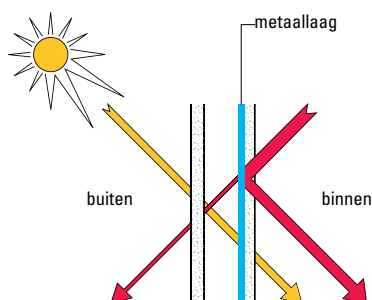
Voorbeeld van de invloed van de afstandhouders op de U-waarde van een totaal raam met kozijnafmeting 1,2 x 1,5 meter. De kunststof afstandhouder in dit voorbeeld heeft een λ -waarde van 0,19 W/mK en een ψ -waarde (Ψ -waarde) van 0,06 W/mK, er zijn ook andere kunststoffen mogelijk met andere waarden. U-waarde in W/m²K. Let op: de gebruikte U-waarden voor de kozijnen gelden voor beter isolerende typen. Bron: Saint-Gobain Glass.

Afb. 91

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

Afb. 90

U-waarde in W/m ² K	houten kozijn	PVC kozijn	aluminium kozijn
U-glas	1,2	1,2	1,2
U-kozijn	1,5	1,8	2,7
U-raam totaal			
aluminium afstandhouder	1,5	1,6	1,9
kunststof afstandhouder	1,4	1,5	1,6

Afb. 91

sen van bouwkundige elementen zoals warmte-isolerende luiken en rolgordijnen (zie hieronder).

Aandachtspunten:

- Op de afstandhouder zijn vaak gegevens over de beglazing afgedrukt, 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 0,8. Nadeel is dat de LTA- en de ZTA-waarden 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 toe te passen. De kans op thermische breuk is te verkleinen door o.a.:
 - gedeeltelijke beschaduwing te voorkomen; breng geen objecten of zonwerping 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;

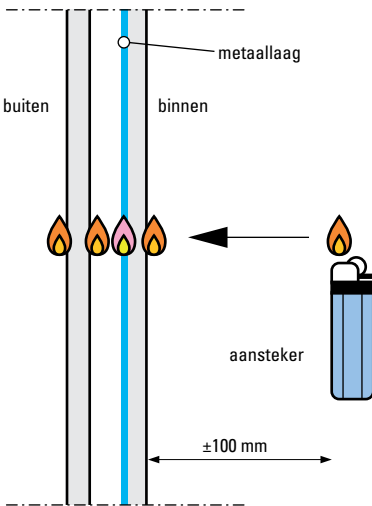
Zorg er voor dat bewoners informatie krijgen over het risico van thermische breuk. Meer informatie: www.kenniscentrumglas.nl.

- 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 ochtend-uren in het voor- en najaar. De condens verdwijnt zodra de buitentem-



peratuur 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.

Afb. 92



Tip: Om te herkennen waar warmte- of zonreflecterende coatings in HR⁺⁺- of drieluig glas zijn aangebracht, is een trucje voorhanden (Afb. 92). 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 drieluig glas te gebruiken.

in een woning alle op dezelfde wijze te plaatsen om eventuele kleurverschillen te voorkomen.

Warmte-isolerende luiken

Volgens NEN 5128 [25] geldt dat "Voor vanuit de woonfunctie bedienbare luiken op de warmtedoorgangscoefficiënt van ramen een reductie mag worden toegepast. Uitgangspunt bij de bediening is dat 80 % van de uren in het stookseizoen, tussen zonsondergang en 7 uur 's ochtends, de luiken zijn gesloten."

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

Afb. 92

Trucje ter controle van de juiste plaatsing van goed-isolerend glas (met metaallaag): Houd aan de woningszijde van het glas, op $\pm 0,1$ m afstand hiervan, een brandende aansteker. Naar buiten kijkend, zie je dan (bij HR⁺⁺-glas) vier vlammetjes 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.



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 én 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 $3,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ [110], in plaats van circa $5,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ 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 $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. TIM's kunnen ook in transparant stucwerk verwerkt zijn waarbij de stuc laag bestaat uit lichtdoorlatende hars met glasparels.

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 $8 \text{ à } 10 \times$ zo goed als de gebruikelijke isolatiematerialen in de bouw. De λ -waarde bedraagt circa $0,004 \text{ W/m}^2\text{K}$ zonder het negatieve effect van de randafwerking [111]. Deze randafwerking vormt anno 2010 nog een probleem qua koudebrug 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 [86].

5.2.2 Zonwering

Binnenkomende zonnewarmte levert 'gratis' warmte in de winter (zie § 4.2). In de zomer is zonnewarmte juist vaak ongewenst vanwege mogelijk te hoge binnentemperaturen. Daarom geeft de EPC-berekening aan of en zo ja, hoe groot de overschrijding van de gemiddelde temperatuur in graden °C is voor de maand juli ten opzichte van 24°C .

Deze informatie wordt gegeven per verwarmde zone binnen de woning. Er worden drie risico-klassen voor te hoge temperaturen onderscheiden: laag-matig, matig-groot en groot.

Ook berekent de EPC de benodigde energie om deze overtoollige warmte mechanisch 'weg te koelen' met behulp van een 'airco'. Door toepassing van o.a. zonwering kan deze koeling voorkomen worden hetgeen extra energieverbruik voorkomt. Zonwering wordt daarom in de EPC



gewaardeerd, maar alleen wanneer de zonwering deel uit maakt van het project en dus aangebracht is voor de oplevering van het project.

De zonnijdrage is afhankelijk van:

- de zonnewarmte-doorlatende eigenschappen, ZTA-waarde (zie Afb. 89);
- de aanwezigheid en eigenschappen van zonwering. Zie § 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 § 4.1 en § 4.2).

Er zijn verschillende vormen van zonwering, zie ook 'Vat op de zon' [112]:

- buitenzonwering;
- vaste, bouwkundige elementen (bijv. overstekken);
- binnenzonwering;
- zonwering in een glasspouw;
- zonwerende beglazing, doorzicht-PV-panelen;
- vegetatie.

Afb. 93



Zonnewarmte-doorlatende eigenschappen, zonwerende beglazing

De zontoetredingsfactor (ZTA-waarde) geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de totale opvallende zonnestraling; zowel de directe als de diffuse straling zijn hierin verdisconteerd. De lichttoetredingsfactor (LTA-waarde) geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zichtbare zonnestraling bij een loodrechte invalshoek.

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 ZTA-waarden van 0,40 à 0,50. Zo is een zonwerend HR⁺⁺-glas verkrijgbaar met een ZTA van 0,41 en een LTA van 0,70.

Ter vergelijking: De modernste heldere (niet-zonwerende) HR⁺⁺-glastypen hebben ZTA-waarden van circa 0,60 à 0,65 en LTA-waarden van rond de 0,80.

Let erop dat een hoge ZTA-waarde over het algemeen een (geringe) verlaging van de daglichttoetreding (LTA-waarde) 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.

Afb. 93

*Voorbeeld van een project waar-
bij 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 Ener-
giewijk in Roomburg te Leiden.
Planontwikkeling: Gemeente
Leiden, architect: Han van
Zwieten Architecten bna,
ontwikkelaar/aannemer: ACL,
Aannemingscombinatie
Leiderdorp; realisatie 2004.*



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 worden. Typen buitenzonwering zijn: uitvalschermen, rolgordijnen, buitenjalouzieën en markiezen. De mate van zonwering is voor bijna alle uitvoeringen goed tot zeer goed. Het meest gunstig zijn een dicht weefsel en een lichte kleurstelling. De ZTA-waarde van buitenzonwering in combinatie met HR⁺⁺-glas bedraagt 0,10 tot 0,15.

Aandachtspunten (zie ook § 4.2.1):

- goede bevestigingspunten
- géén belemmering ventilatietoever (gevelroosters en ramen)
- géén extra opgewarmde lucht binnenhalen via ventilatietoever
- windvastheid
- kans op **thermische breuk** verkleinen (zie 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 ZTA-waarde 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 redelijke mate van binnenzonwering kan alleen gerealiseerd worden met een sterk zonlichtreflecterend gordijn, bestaande uit een dichtgeweven niet transparant doek of uit een folie. Beide moeten voorzien zijn van een opgedampte aluminiumlaag. De ZTA-waarde van een dergelijke binnenzonwering in combinatie met HR⁺⁺-glas bedraagt globaal 0,30.

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 niet 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

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.



elektriciteitsverbruik voor verlichting (zie § 10.1). De **daglichttoetreding** (zie ook § 4.3) is o.a. afhankelijk van de lichtdoorlatende eigenschappen van een raam of daklicht.

Daglicht-doorlatende eigenschappen

De lichttoetredingsfactor (**LTA-waarde**) (zie ook Afb. 89) geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zichtbare zonnestraling (daglicht) bij een loodrechte invalshoek. Zonwerende en warmte-isolerende coatings verlagen de LTA-waarde. Ook de derde glaslaag bij drievoudige beglazing verlaagt de LTA-waarde, dit ten opzichte van dubbele beglazing (HR⁺⁺-glas).

De **lichttoetredingsfactor** (LTA) van het glas mag voor het berekenen van het minimaal benodigde glasoppervlak volgens het Bouwbesluit (vastgesteld volgens NEN 5057) niet minder zijn dan 0,6 (zie ook § 4.3) tenzij met een reductiefactor wordt gerekend.

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 § 4.3).

5.3 Bouwkundige massa: zwaar of licht bouwen?

De massa 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 echter weinig of geen effect op het jaarlijkse energieverbruik voor ruimteverwarming: Passieve zonne-energie (PZE) en interne warmtebronnen zullen bij een lichte woning minder nuttig gebruikt worden dan bij een zware woning. Het effect van nachtverlaging zal echter bij een lichte woning juist weer effect hebben op het beperken van het energieverbruik. Men gaat ervan uit dat beide effecten elkaar compenseren. Volgens NEN 5128 [25] is het energieverbruik voor ruimteverwarming daarom gelijk.

De massa heeft wel invloed op de berekening van de EPC volgens NEN 5128. Zo heeft de referentie twee-onder-één-kapwoning, met een 'gemengd zware' of 'gemengd lichte' massa (zie kader), een EPC van 0,80. Dezelfde woning maar dan in houtskeletbouw, heeft een EPC van 0,84! (zie Afb. 22). Dit komt omdat gerekend wordt met extra energie die nodig is voor mechanische koeling ('airco') van de lichte woning. Maar als er voldoende maatregelen tegen te hoge binnentemperaturen genomen worden zoals zonwering en zomernachtkoeling, dan scoort een lichte woning vrijwel gelijk.

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



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

*licht/volledig houtskel-etbouw**: Hieronder vallen houtskel-etbouw en staalskel-etbouw en steen-achtige materialen met een niet-massieve afscherming aan de binnenzijde, zoals binnenisolatie, lichte vloeren (massa $\leq 100 \text{ kg/m}^2$).

gemengd licht: licht binnenspouwblad, lichte woningscheidende wand, massieve vloer. Hieronder vallen ook zolders met een licht dakbeschot zonder massieve woningscheidende wand, maar met een massieve vloer.

gemengd zwaar/traditioneel: Hieronder vallen steen-achtige materialen zonder afscherming door binnenisolatie zoals massieve woningscheidende wanden en massieve vloeren (massa $> 100 \text{ kg/m}^2$)

** volledig houtskel-etbouw*: licht binnenspouwblad, lichte woningscheidende wand, lichte vloer

mogelijk om PCM's in bouwmaterialen op te nemen, waardoor de thermische capaciteit aanzienlijk wordt vergroot terwijl de massa (gewicht) niet of nauwelijks toeneemt. 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 cq. verwarmend effect kan in een woning wel enkele °C bedragen [113]. PCM's bestaan al vrij lang, zijn erg duur en worden in de bouw nog nauwelijks toegepast.

5.4 Meer informatie

- [84] Zakboek SBR-referentiedetails Woningbouw; H. Nieman, uitgave SBR, 2008.
- [85] Koudebruggen als thermisch lek; A. Poel, in Bouwwereld nr 24, 1995.
- [86] Thermische isolatie, stand van de techniek en veel belovende ontwikkelingen; Novem, 2002.
- [87] Uitwerkingsinstructie Toolkitconcepten Passiefhuis – Eengezinsrijenwoning Ri7 en Twee-onder-een-kapwoning; SBR, Rotterdam, mei 2009.
- [88] Duurzaam detailleren woningbouw. Adviesburo Nieman. Uitgave: SBR, Rotterdam, 2002.
- [89] Luchtdicht bouwen – theorie – ontwerp – praktijk; P. Kuindersma, Adviesburo Nieman, uitgave: SBR, Rotterdam, mei 2009.
- [90] NEN 2686; Luchtdoorlatendheid van gebouwen – Meetmethode; NEN, Delft, 1988 met Wijzigingsblad A2:2008, dec. 2008.
- [91] NEN 2687:1989; Luchtdoorlatendheid van woningen – Eisen; NEN, Delft, 1989.
- [92] NEN 2690:1991/A2 2008; Luchtdoorlatendheid van gebouwen – Meetmethode voor de specifieke luchtvo-lumestroom tussen kruipruimte en woning; NEN, Delft, 2008.
- [93] Bouwbesluit 2003. Ministerie van VROM, Den Haag; te downloaden van www.minvrom.nl.
- [94] Brief van Minister Van der Laan (VROM-Wonen, Wijken en Integratie) d.d. 5 november 2009 aan Tweede Kamer, kenmerk 2009057814.
- [95] Bouwen met of zonder kruipruimte?; SBR-rapport nr. 237, SBR te Rotterdam, 1995.
- [96] 433MAXX spouwanker, info: www.rockwool.nl.
- [97] Maak van de luchtspouw geen rest-maat; H. Speelman, in: BouwWereld nr 1, 1999.
- [98] De invloed van convectiestromen op de warmteweerstand van geïsoleerde spouwmuren; PRC Bouwcentrum (update van rapport 1994), maart 2006.
- [99] NEN 1068:2001, Thermische isolatie van gebouwen – Rekenmethoden; NEN, Delft, oktober 2001. Wijzigings-bladen t/m NEN 1068:2001/A5:2008 nl. (www.nen.nl).
- [100] NPR 2068:2002; Thermische isolatie van gebouwen - Vereenvoudigde rekenmethoden; NEN, Delft, 2002. (www.nen.nl).
- [101] Handleiding: EPC effect Accoya kozijnhout; Bouwvisie BV, in opdracht van EGS BV, september 2009.
- [102] Gebruikershandleiding voor ramen met HR++glas; Swan Consult, in opdracht van Novem, 2001; te downloaden via o.a. www.radebo.nl.
- [103] Glas in de bouw; Swan Consult te Herkenbosch, uitgave: Novem, 1997.
- [104] HR++glas moet!; uitgave: Novem, 1999.



- [105] 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.
- [106] Geluidwering in de woningbouw; P. Braat-Eggen e.a., TNO-Bouw, in opdracht van VROM, uitgave: Waltman en SMD te Leiden, 1993.
- [107] Daken in het groen – Handleiding voor het ontwerpen van gras-, kruiden- en tuindaken; N. Hendriks, SBR-publicatie 281, SBR te Rotterdam, 2006.
- [108] Begroeide daken in Nederland – ontwerp, uitvoering, beheer; P. Teeuw en C. Ravesloot, in opdracht van: SOM TU-Delft, uitgave: Delft University Press te Delft, 1998.
- [109] Groen voor Klimaat (brochure); Alterra te Wageningen, zie ook www.klimaatonderzoek-nederland.nl
- [110] Minimum Energiewoningen in de stadsvernieuwing, evaluatie van het praktijkexperiment Joke Smitplein – Utrecht; Novem, Energie-Buro, 1989.
- [111] Vacuüm isolatiepanelen – eindrapport afstudeerproject; K. van Went, TUDelft, 2002.
- [112] Vat op de zon – zonwering in de woningbouw; F. den Dulk, Piode, uitgave SBR, 2009.
- [113] Innovatie in energie – Overzicht van een aantal innovatieve energie-technieken voor de woningbouw; SenterNovem, 2DEN0905, juli 2009; te downloaden via www.agent-schapnl.nl/den (infotheek).





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 gevelopeningen 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 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.

Ventilatie is van grote invloed op de kwaliteit van de binnenlucht en is daarom van belang voor de gezondheid van de bewoners. Uit recent onderzoek [114] en [115] blijkt dat in veel nieuwbouwwoningen de ventilatie niet voldoet aan de eisen die daaraan gesteld worden. Er wordt vaak (veel) te weinig geventileerd. Een zorgvuldig ontwerp en uitvoering kunnen bijdragen aan een goed ventilatiesysteem en vragen daarom veel aandacht in het ontwerp- en bouwproces.

Ventilatie heeft ook grote invloed op het energieverbruik van een woning: de ventilatieverliezen zijn bijna even groot als de transmissieverliezen (Afb.14) ! 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.

In dit hoofdstuk worden naast de eisen en wensen voor ventilatie (§ 6.1 en § 6.2), de

diverse ventilatiesystemen behandeld (§ 6.3 t/m § 6.8). Meer informatie is te vinden in 'Kleintje Ventilatie' [116], op www.energiebesparennu.nl en op www.platform-woninginstallaties.nl.

6.1 Binnenluchtkwaliteit

De kwaliteit van de binnenlucht in woningen wordt bepaald door:

- 'luchtverontreinigende' bronnen in de woning (§ 6.1.1);
- de kwaliteit van de toegevoerde buitenlucht (§ 6.1.2);
- de capaciteit, effectiviteit en bruikbaarheid van de ventilatievoorzieningen (§ 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 [117] is noodzakelijk.

6.1.1 Luchtverontreinigende' bronnen

In een woning zijn verschillende 'luchtverontreinigende' bronnen aanwezig die



DEELCHECKLIST Energiebewust ontwerpen: ventilatie en spui ventilatie

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Stel de uitgangspunten vast voor ventilatie en spui ventilatie. Let op:
 - eisen van het Bouwbesluit en eisen of aanbevelingen van garantie-instellingen voor de woningbouw;
 - specifieke omstandigheden zoals bijv. een (te) hoge geluidbelasting door verkeer.
- Overweeg zonering van het ventilatiesysteem zodat per zone (bijv. woon- en slaapzone, zie § 6.9) optimaal aan de ventilatievraag kan worden voldaan.
- Stel eisen aan het ventilatiesysteem met het oog op uitbreidbaar- of aanpasbaarheid van de woning (§ 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:
 - **geheel natuurlijke ventilatie (+ eventueel afzuigkap)** (§ 6.4)
 - **natuurlijke toevoer, mechanisch afvoer** (§ 6.5)
 - **gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning (wtw)** (§ 6.6)
 - **decentrale gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning (wtw)** (§ 6.6)
 - **hybride systeem:** een combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie (§ 6.7).
- Leg bij de keuze van een systeem een relatie met:
 - de installatie voor **verwarming** (hoofdstuk 7) en eventuele **koeling** (hoofdstuk 8);
 - de eisen voor de luchtdichtheid van de woning (§ 5.1);
 - de geluidbelasting door verkeer of andere geluidbronnen op de gevels; overweeg of een **serre** (§ 4.2.3), een **extra glasgevel** (§ 4.2.3), **gebalanceerde ventilatie** (§ 6.6) of **suskasten** (§ 6.4) zinvolle oplossingen zijn;
 - laagbouw of gestapelde bouw;
 - **uitbreidbaar- of aanpasbaarheid van de woning** (§ 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** (§ 6.8) mogelijk: maak voldoende openingen in gevels en dak of pas koeling via grondbuizen toe. Ook **vrije koeling** via warmte-/koude-opslag (hoofdstuk 8) 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.



nalen, neem grote diameters voor de luchtkanalen en ontwerp zo min mogelijk haakse bochten.

- Kies voor een **geluidarm systeem** (§ 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 (§ 6.6). Breng voldoende geluiddempende voorzieningen aan en reserveer daarvoor ruimte.
- Comfort: beperk de kans op tocht bij natuurlijke toevoer via gevelroosters door bijvoorbeeld zelfregulerende 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 zonzijde, dit in verband met onnodige opwarming van de ventilatielucht in de zomer.
 - Pas in de wtw-unit altijd een **bypass** (§ 6.6) toe om de aanvoer van lucht met een te hoge temperatuur (in de zomer) te voorkomen.
 - Bij de wtw-unit is de standaard filter te vervangen door een **fijnstoffilter of pollenfilter** (een F6- of F7-filter) (§ 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 condensafvoer van de wtw aan op de riolering
 - Voorzie een **wasemkap** met motor altijd van een eigen afvoerkanaal naar buiten (§ 6.5). De wasemkap mag nooit aangesloten worden op een mechanisch afzuigstelsysteem tenzij de fabrikant van de ventilatie-unit dit wel toestaat.
 - Overweeg het toepassen van **vraaggestuurde regelingen** (§ 6.9) voor het gekozen ventilatiesysteem.
 - Vergeet de **overstroomvoorzieningen** niet die vrijwel altijd (bijv. bij centrale afzuiging) nodig zijn: spleten onder deuren en/of roosters in binnendeuren of binnenwanden (§ 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** (§ 5.1 en § 6.6).
- Reserveer bij **zomernachtkoeling** voldoende ruimte in gevel en dak voor de benodigde voorzieningen (§ 6.8). Maak ze regenwaterdicht en breng goede anti-inbraakvoorzieningen aan.
- Bij koeling via **grondbuizen** (§ 6.8): Voorzie ze van een condensafvoer 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 afzuigstelsysteem tenzij een **luchtkanaal** voor de aanvoer van buitenlucht naar de haard of kachel wordt aangelegd (§ 6.2.2).

Uitvoering

- Zorg voor een zorgvuldige inregeling van het ventilatiesysteem.
- Controleer de installaties (luchthoeveelheden, instelling roosters, type roosters, geluidproductie). Neem deze controles als verplichting in het technisch ontwerp (het bestek) op. Toetsen kan volgens BRL 8010: beoordeling van ventilatievoorzieningen in woningen (ISSO, 2009).
- 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 (§ 6.6.2).
- Controleer de luchtdichtheid van de woning via een **opblaasproef** (§ 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. Uneto-VNI 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.uneto-vni.nl/?publicatieplatform (menu applicatie woninginstallaties).
- Bewoners kunnen voor een standaard handleiding terecht op www.mijnhuisinstallatie.nl. In **paragraaf 3.3** staat de checklist op hoofdlijnen.

invloed op de binnenluchtkwaliteit en daarmee op de gezondheid hebben:

- gebruik van de ruimten (CO₂ 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' [123] 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' [124].
- 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 [119] en NPR 1088 [120];



- 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' [123].

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** (§ 6.6) als bij **decentrale** (§ 6.6) systemen.

Standaard zijn wtw-units meestal voorzien van groffilters (bijv. klasse G3) voor een normale filtering. De toevoerfilter is te vervangen door een fijnstof- of pollenfilter (bijv. klasse F6 of F7) die pollen van vegetatie en fijnstof van verkeer en industrie tegenhoudt. Dergelijke fijnstoffilters zijn o.a. van belang voor CARA-patiënten. Een mogelijk nadeel van deze filters is dat ze meestal een grotere luchtweerstand ten opzichte van de standaard filters hebben. Is dat het geval, dan zal de capaciteit van de ventilator daarop afgestemd moeten worden. Houd hiermee rekening bij de keuze van het type installatie en bij de inregeling van de installatie.

Het is erg belangrijk dat de filters regelmatig schoongemaakt of vervangen worden. Bewoners moeten hierover duidelijke instructies krijgen (Afb. 94).

Soms worden elektrostatische filters toegepast. Zo is een decentrale wtw-unit (die gecombineerd is met een radiator) verkrijgbaar die standaard hiermee is

uitgerust. Zo'n filter is qua filtering vergelijkbaar met een fijnstoffilter, maar vraagt minder vaak onderhoud, is beter reinigbaar en gaat langer mee.

Afb. 94



Verdunningsfactor

Bij ventilatie moet ervoor gezorgd worden dat de toevoerlucht niet verontreinigd wordt door de afvoerlucht afkomstig van een ventilatie- of rookgasafvoer. Deze 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 [119] zijn de eisen voor deze factor en de berekeningswijze hiervoor, opgenomen. In 'Kleintje ventilatie' [116] zijn in tabelvorm de minimale afstanden tussen aan- en afvoeropeningen aangegeven voor enkele veelvoorkomende situaties en gewenste hoeveelheden ventilatielucht.

Tip

Situeer de aanvoer(roosters) voor buitenlucht bij gebalanceerde ventilatiesystemen op de juiste plek: 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.

Afb. 94

Driestandenschakelaar van een gebalanceerd ventilatiesysteem met links een filterindicatie-lampje. Dit rode ledlampje gaat branden, wanneer de filters schoongemaakt moeten worden. Het is een eenvoudige voorziening die er voor zorgt dat bewoners goed geïnformeerd worden en daardoor tijdig de filters zullen schoonmaken of vervangen. Foto: Brink Climate Systems.



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 geluidsoverlast) en voldoende gebruiksgemak (voldoende begrijpbaar, bedienbaar, te onderhouden en te reinigen).

Basis-eisen en aanbevelingen voor bovenstaande punten zijn te vinden in o.a.:

- het Bouwbesluit, zie verder '**Capaciteit**' (§ 6.2.1);
- NEN 1087 [119];
- de NPR 1088 [120]: geeft aanwijzingen voor en voorbeelden van de uitvoering van ventilatievoorzieningen;
- ISSO-publicaties 61 [126], 62 [127], 63 [128], 91 [129] en 92 [130].

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 [126]. Sluit bijv. bij een individueel ventilatiesysteem de elektrische voeding van de ventilatie-unit op een aparte gemarkeerde elekdragroep 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.
- **Spuiventilatie:** periodieke 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

Het Bouwbesluit stelt de volgende eisen aan de capaciteit van de ventilatie van woningen:

- Afdeling 3.10. Luchtverversing van een verblijfsgebied, verblijfsruimte, toilet-ruimte en badruimte
- Afdeling 3.11. Spuivoorziening
- Afdeling 3.12. Luchtverversing van overige ruimten

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 (zie Afb. 95) en voor de inrichting van die voorziening. Algemeen uitgangspunt voor ventilatie is 25 m³/h (= 7 dm³/s) per persoon.

Aanbevolen wordt om ook de volgende extra kwaliteitseisen te hanteren, in navolging van garantie- en waarborgregelingen voor de woningbouw:

- opstelruimte voor wasmachine en/of wasdroger:
 - ruimte < 2,5 m²: 7 dm³/s
 - ruimte ≥ 2,5 m²: 14 dm³/s



Afb. 95

ruimte	minimale capaciteit
verblijfsruimte	0,7 dm ³ /s per m ² vloeroppervlakte met als minimum 7 dm ³ /s
verblijfsgebied	0,9 dm ³ /s per m ² vloeroppervlakte met als minimum 7 dm ³ /s
verblijfsgebied met kooktoestel < 15 kW	0,9 dm ³ /s per m ² vloeroppervlakte met als minimum 21 dm ³ /s (lucht moet direct naar buiten worden afgevoerd)
toilet ruimte	7 dm ³ /s (lucht moet direct naar buiten worden afgevoerd)
badruimte (al dan niet samengevoegd met een toilet)	14 dm ³ /s (lucht moet direct naar buiten worden afgevoerd)
opstelruimte voor wasmachine en/of droger (aanbeveling)	vloer < 2,5 m ² : 7 dm ³ /s; vloer ≥ 2,5 m ² : 14 dm ³ /s (lucht moet direct naar buiten worden afgevoerd)
besloten gemeenschappelijke verkeersruimte (gemeten over de minimaal vereiste breedte van 1,2 m)	0,7 dm ³ /s per m ² vrije vloeroppervlakte (ventilatie dient te geschieden met lucht van buiten)
liftkooi	6 dm ³ /s per m ² vrije vloeroppervlakte (afvoer moet plaatsvinden via liftschaft en bij brandweerlift moet ook de toevoer plaatsvinden via de liftschaft)
besloten opslagruimte voor afval >3 m ³	100 dm ³ /s (ventilatie moet plaatsvinden met lucht van buiten)
meterruimte met gasaansluiting	2 dm ³ /s per m ³ netto inhoud, met een minimum van 2 dm ³ /s
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

Afb. 95

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

- bergruimte / onbenoemde ruimte: minimaal 7 dm³/s.
- De luchtuitwisseling 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**

**Afb. 96**

Voorbeeld van de ventilatiestromen in de referentietussenwoning van Agentschap NL.

bouwschil § 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.

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.

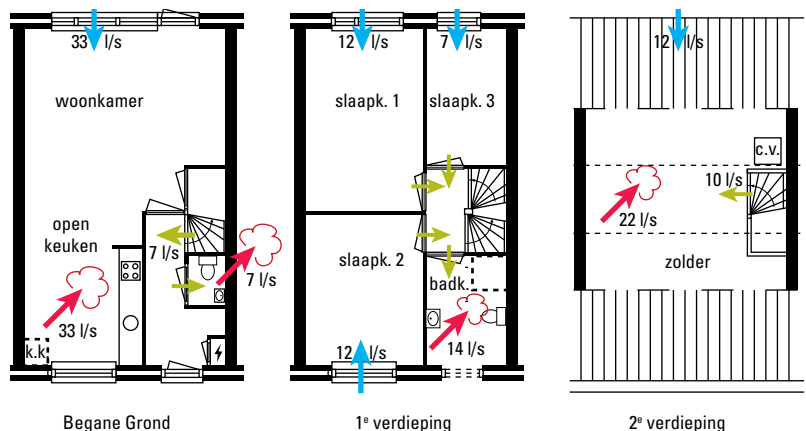
In verband met gezondheidsaspecten en het beperken van het energieverbruik is het aan te raden extra aandacht te besteden aan **bronbeperking** (§ 6.1) en aan de effectiviteit en bruikbaarheid van een ventilatiesysteem (§ 6.2.2).

Enkele aandachtspunten:

- Stel een ventilatiebalans op voor de gehele woning: Maak een berekening voor alle toe- en afvoerluchtstromen

voor elk verblijfsgebied, toilet en elke badkamer. Ook de interne ventilatiestromen tussen de diverse ruimten moeten hierbij betrokken worden. Om deze luchtstromen mogelijk te maken, zijn de zg. '**overstroomvoorzieningen**' nodig: spleten onder deuren en/of roosters in binnendeuren of binnenwanden (zie § 6.2.2). De woning in zijn totaliteit moet natuurlijk ook in balans zijn. In *afb. 96* is een voorbeeld van een ventilatiebalans weergegeven. In 'Kleintje Ventilatie' [116] en ISSO-publicatie 92 [130] is het begrip ventilatiebalans verder uitgewerkt.

- 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.
- Binnen een verblijfsgebied is het toegestaan om alle toe te voeren lucht voor een verblijfsruimte afkomstig te laten zijn uit een andere verblijfsruimte binnen datzelfde verblijfsgebied.
- De afvoerlucht uit een toilet- en badruimte moet 'rechtstreeks' (of via een ventilatiesysteem) naar buiten worden

Afb. 96



afgevoerd. Bij een (open) keuken moet tenminste 21 dm³/s rechtstreeks naar buiten worden afgevoerd, de overige lucht mag elders binnenshuis worden gebruikt.

- Een motor-afzuigkap (wasemkap) in de keuken wordt niet 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 goede (continue) ventilatie te waarborgen.
- Naast ventilatievoorzieningen moeten ook spuisvoorzieningen aangebracht zijn (zie hierna).
- Voor de zomersituatie met warm weer is het sterk aan te bevelen **zomernachtventilatie-voorzieningen** aan te brengen, zie § 6.8.

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, daklichten en deuren kunnen dienst doen als spuisvoorziening. Het Bouwbesluit stelt (omgerekend) de volgende eisen:

- bij spuien via één gevel: 0,060 m² beweegbare delen per m² vloeroppervlakte;
- bij spuien via twee gevels, of gevel en dak: 0,015 m² beweegbare delen per m² vloeroppervlakte;
- de te openen oppervlakte geldt voor volledig te openen voorzieningen (het gaat om de netto doorlaat).

Let op: Ook bij gebalanceerde ventilatie met wtw moeten woningen voorzien zijn van spuisvoorzieningen.

Aanbeveling:

- Maak de spuisvoorzieningen veel ruimer dan het Bouwbesluit eist. Dit is een wens van bewoners [116]. Bovendien hebben zij een voorkeur voor meerdere te openen voorzieningen. Zie ook § 6.8 voor **zomernachtventilatie**.

6.2.2 Effectiviteit en efficiënt ventilatiesysteem

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** (§ 6.9) het geval is. Ook **hybride ventilatiesystemen** (zie § 6.7) zijn daarom erg interessant: er wordt alleen mechanisch geventileerd wanneer dat nodig is; deze systemen zijn daardoor zeer energiezuinig (zie **afb. 22**).
- Een minimale luchtweerstand in luchtkanalen (zie hierna).
- Met zorg gekozen **toe- en afvoervoorzieningen** (§ 6.5 en § 6.6).
- De verdeling van de toegevoerde lucht over de ruimte: het ventilatiepatroon (zie hierna).
- Op de juiste plek overstroombvoorzieningen. Om de gewenste luchtstromen binnenshuis mogelijk te maken, zijn de zg. 'overstroombvoorzieningen' nodig: spleten onder deuren en/of roosters in binnendeuren of binnenwanden. Een netto spleethoogte van 20 mm onder tussendeuren is in de praktijk meestal voldoende (zie voor meer info [116]). Houd rekening met een vloerafwerking of drempel van circa 15 mm, dus met een totale (bruto) spleethoogte van circa 35 mm. Wanneer een groter oppervlak



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 energiezuiniger 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 damp scherm (of dampdrempel) aan van ca. 0,30 m tegen het plafond tussen een open keuken en de woonkamer. Dit ter vermindering van spreiding van kookluchtjes.
- Overweeg om draaikiepramen toe te passen: Uit onderzoek [118] blijkt dat bewoners over het algemeen de kiepstand van draaikiepramen 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 [58]. 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 luchtkanalenstelsel

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 [115]. Let op de volgende punten (zie ook www.platform-woninginstallaties.nl):

- Maak een berekening van de luchtweerstand van het ventilatiesysteem en kies daarna een bijpassende ventilator met voldoende capaciteit. Maak ook een geluidberekening.
 - 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.
 - Pas harde geluiddempers toe i.p.v. flexibele dempers i.v.m. de (lagere) luchtweerstand.
 - Zorg voor voldoende diameter van de kanalen i.v.m. de gewenste lage luchtsnelheden voor [116]:
 - de hoofdkanalen: < 4 m/s;
 - de aftakkingen voor toevoerlucht: < 3 m/s;
 - de aftakkingen voor afvoerlucht: $< 3,5$ m/s;
 - collectieve kanalen: 5 m/s.
- Kies daarom bij voorkeur geen ingestorte kanalen wegens:
- beperkte diameter;
 - relatief hoge luchtweerstand door ongunstige (rechthoekige) vorm;



- kans op schade tijdens de bouw;
- bij gestapelde bouw kans op geluidlekken.
- 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 afvoerkkanalen:
 - Monteer bij individuele ventilatie-units terugslagkleppen tussen de units en de collectieve kanalen.
 - Breng brandkleppen aan bij doorvoering van brandcompartimenten.
- Maak luchtkanalen zodanig dat deze schoongemaakt kunnen worden. Breng bijvoorbeeld inspectieluiken en eenvoudig te verwijderen hulpstukken in het systeem aan.
- Het kanalenstelsel kan bestaan uit:
 - een hoofdkanaal met aftakkingen naar iedere ruimte;
 - een radiaalstelsel: vanuit een centraal punt lopen kanalen naar iedere ruimte.

Afb. 97



Bij dit laatste stelsel kunnen op dat centrale punt zg. luchtverdeelkasten (Afb.97) worden gebruikt.

- Bij wtw-units: Voorzie het toe- en afvoerkanaal tussen de unit en de buitenlucht van dampdicht isolatiemateriaal om condensatie te voorkomen. Gebruik als isolatie dampdicht kunststofschuim en geen dampdicht 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.

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

Afb. 97

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 bijv. 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. Foto: Burgerhout BV.

**Afb. 98**

Te hanteren luchtsnelheden bij berekening van benodigd netto oppervlakte van ventilatievoorzieningen (NPR 1088 [120]). Let op: het gaat om netto-oppervlakten, een rooster moet dus een voldoende netto-doorlaatopening hebben.

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 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).
- Luchttoevoeropeningen van 'koude' lucht (natuurlijk toevoer zonder voorverwarming) zo hoog mogelijk in de ruimte te plaatsen (minimaal 1,8 m*); 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 (§ 4.2.3, 4.2.4 en 4.2.5), door warmteterugwinning uit afgevoerde lucht (§ 6.6) of door een verwarmingssysteem.

** De maat van 1,80 m is geen eis uit het Bouwbesluit maar een aanbeveling uit de NPR 1088 [120]. 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.*

Geluidoverlast beperken

In het Bouwbesluit zijn eisen opgenomen van installaties ten opzichte van omliggende woningen, maar geen eisen ten aanzien van het geluidsniveau van een installatie in een woning ten opzichte van zijn eigen verblijfsruimten. Uit recent onderzoek [114] en [115] blijkt dat in veel nieuwbouwwoningen de ventilatie niet voldoet aan de eisen die daaraan gesteld worden. Er wordt vaak (veel) te weinig geventileerd.

Afb. 98

	luchtsnelheid
(gevel) openingen natuurlijke ventilatie	0,83 m/s
bij toepassing gaas (min. 50% doorlatendheid)	0,42 m/s
overstroomopeningen (binnen de woning)	0,83 m/s
in kanalen bij natuurlijke ventilatie	1,00 m/s
in kanalen bij mechanische ventilatie	< 5,00 m/s
nabij roosters bij mechanische ventilatie	< 3,00 m/s
in roosters bij mechanische toevoer	< 1,00 m/s

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 $0,021 / 0,83 = 0,0253 \text{ m}^2$ ($= 2,53 \text{ dm}^2$).

Eén van de oorzaken is dat ventilatiesystemen (veel) geluidhinder veroorzaken waardoor bewoners de installatie in een te lage stand zetten of zelfs geheel uitzetten (door de stekker er uit te trekken).

Neem daarom de volgende eisen op in het technisch ontwerp (het bestek):

- Zorg dat het ventilatiesysteem zo min mogelijk geluid produceert; zie voor maatregelen o.a. § 6.1.2, § 6.5 en § 6.6. Het gaat daarbij vooral om de weerstand in het ventilatiesysteem te beperken en de ventilatie-unit op de juiste plek en wijze te bevestigen. Hanteer de volgende kwaliteitseisen voor het maximum ge-



Afb. 99

diameter	oppervlakte	natuurlijk (1,0 m/s)	mech. toevoer (2,0 m/s)	mech. afvoer (3,5 m/s)
ø mm	dm ²	dm ³ /s	dm ³ /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

Afb. 99

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

luidniveau, gemeten in gemeubileerde ruimten:

- 30 dB(A) voor woonkamers
- 25 dB(A) voor slaapkamers

Het maximum niveau van 30 dB(A) komt vanaf 2011 als eis voor alle kamers in het Bouwbesluit te staan.

- In geval van de mogelijkheid voor (zomer)nachtventilatie gelden bovenstaande eisen voor de zomernachtventilatiestand.
- Controleer het geluidniveau bij oplevering door middel van metingen.

Eenvoud in het gebruik

Bewoners (en beheerders) moeten het ventilatiesysteem eenvoudig kunnen bedienen en onderhouden. Uitgangspunten hiervoor zijn:

- goed te begrijpen
- eenvoudig te bedienen
- eenvoudig te onderhouden en te reinigen

Aanbevelingen hierbij zijn:

- Zorg voor een duidelijke voorlichting naar bewoners (en beheerders), zowel mondeling als schriftelijk. Uneto-VNI en ISSO hebben een digitale gebruikshand-

leiding ontwikkeld waarmee o.a. installateurs, architecten en opdrachtgevers een handleiding kunnen samenstellen die specifiek op een bepaalde woning betrekking heeft. Zie www.uneto-vni.nl/?publicatieplatform (menu applicatie woninginstallaties).

- Plaats ook specifieke gebruikersinstructies op de installatie-voorzieningen zelf.
- Geef ook duidelijke instructies voor onderhoud. Voorzie bijv. de driestanden-schakelaar bij gebalanceerde ventilatie met wtw van een signaalpje 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

**Afb. 100**

Overzicht ventilatiesystemen op basis van NEN 1087 [119].

eenvoudig uit stopcontact te halen / aansluiting op gemarkeerde 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

NEN 1087 maakt onderscheid in vier systemen (Afb. 100) waarbij verschillende combinaties van natuurlijke en mechanische ventilatie toegepast worden. Binnen deze systemen zijn allerlei varianten mogelijk. In de volgende paragrafen komen de drie systemen A, C en D met varianten aan bod. Voor systeem B wordt verwezen naar 'Kleintje Ventilatie' [116] omdat dit systeem zelden voorkomt. In § 6.7 is aandacht voor

een vrij nieuwe ontwikkeling: de **hybride ventilatie**. Dit is een combinatie van systemen, afhankelijk van de weersomstandigheden en de ventilatiebehoefte. Men hanteert daarbij wel de leus: 'Natuurlijk als het kan, mechanisch als het moet'.

In Afbeelding 101 is voor een aantal ventilatiesystemen een vergelijking opgenomen ten opzichte van systeem C dat toegepast is in de referentie twee-onder-één-kap-woning van Agentschap NL. Dit systeem bestaat uit zelfregelende ventilatieroosters voor de luchttoevoer en een centrale mechanische afvoer met een driestanden-schakelaar en een gelijkstroomventilator. In de tabel wordt aangegeven of een systeem op een aspect beter (+), slechter (-) of gelijk scoort aan de referentie (0). In **Afbeelding 22** (§ 3.4) is, ter illustratie, het energetische effect gegeven van een aantal ventilatiesystemen. Hierbij valt op dat het hybride systeem erg goed scoort.

Afb. 100

ventilatiesysteem	toevoer	afvoer	aanduiding NEN 107
	natuurlijk	natuurlijk	A*
 combinatie natuurlijk/mechanisch	mechanisch	natuurlijk	B*/**
	natuurlijk	mechanisch	C
	mechanisch	mechanisch	D

* Niet toegestaan indien de vloer van de bovenste woonlaag 13 m of meer boven het maaiveld ligt.

** Wordt weinig toegepast wegens hoge kosten (twee kanalenstelsels nodig).



Meer informatie over de verschillende systemen is te vinden in [116].

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.

6.4 Natuurlijke toe- en afvoer (systeem A)

Karakteristiek:

- De ventilatie vindt plaats door drukverschillen ten gevolge van wind en/of temperatuurverschillen ('schoorsteeneffect').
- Natuurlijke toevoer van ventilatielucht via ventilatieroosters (of eventueel goed te bedienen klepramen) direct van buiten. De roosters worden meestal aan de

Afb. 101

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 het systeem met natuurlijke toevoer door zelfregelende roosters + mechanische afvoer met meerstandenschakelaar.

Afb. 101

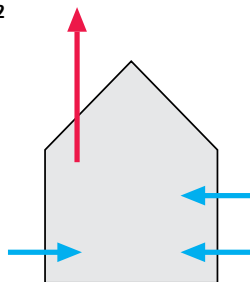
Onderdelen	regeling	systeem NEN 1087	kosten	energiebesparing	onderhoud	gebruiksgemak	verse lucht / tocht	geluid systeem	geluid van buiten	robuustheid / degelijkheid	ruimte beslag
natuurlijke toevoer door zelfregelende roosters + natuurlijke afvoer	handmatig op toevoer	A	o	+	+	o	o	++	-	+	-
natuurlijke toevoer door zelfregelende roosters + mechanische afvoer	meerstanden vraaggestuurd tijdgestuurd	C C C	o - o	o + +	o o o	o + +	o o -	o o o	o o o	o - o	o o o
mechanische decentrale luchttoevoerunits + centrale mechanische afvoer	vraaggestuurd	D	-	+	--	+	+	-	+	-	-
natuurlijke toevoer door zelfregelende roosters of luchttoevoerunits + hybride afvoer	vraaggestuurd	-/-	++	-	+	o	+	o	-	-	-
gebalanceerde ventilatie (centrale mechanische toe- en afvoer)	meerstanden vraaggestuurd	D D	- --	++ --	o +	+	- +	++ ++	- --	-- --	-- --



Afb. 102

Principe systeem A.

Afb. 102



bovenzijde van raamkozijnen ingebouwd. Er zijn roosters verkrijgbaar die aan de buitenkant van de gevel vrijwel onzichtbaar zijn weggewerkt.

- Natuurlijke afvoer via één of meer luchtkanalen.
- In elke verblijfsruimte worden toevoervoorzieningen (meestal roosters) aangebracht, zodat de toevoer in elke ruimte afzonderlijk te regelen is.
- Via **overstroomvoorzieningen** (spleten onder binnendeuren of roosters, zie § 6.2.2) wordt de lucht van de ene naar de andere ruimte getransporteerd.
- Op geluidbelaste locaties (afhankelijk van de geluidbelasting) kunnen geluidwerende ventilatieroosters (suskasten) worden toegepast. Normale toevoerroosters (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 toevoerlucht, en een beperkte mechanische afzuiging. Bewoners zijn over het algemeen (zeer) tevreden [121]. Meer informatie: § 3.6 (concept **zonnehaardwoning** met een EPC van

circa 0,45) en www.zonnehaardwoning.nl. **Hybride ventilatiesystemen** (§ 6.8) maken een deel van de tijd gebruik van natuurlijke toe- en afvoer.

Voordelen

- Geluidsarm, behalve bij harde wind.
- Geen elektrische hulpenergie nodig.
- 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 'koele' slaapkamer mogelijk.
- 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.

Nadelen

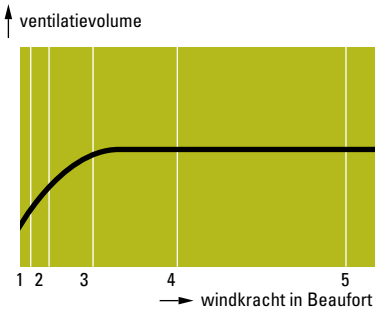
- De ventilatie is sterk afhankelijk van windsnelheid, temperatuurverschillen tussen binnen en buiten en bewoningspatroon; voldoende ventilatie is dus niet altijd gewaarborgd.
- Kans op tocht bij gevels (zie hierna).
- Afvoerkanalen hebben een grotere diameter dan die bij mechanische centrale afzuiging; er is extra aandacht nodig voor een goede inpassing in het ruimtelijk ontwerp.
- Geen warmteterugwinning mogelijk (om te gebruiken voor verwarming ventilatie-lucht of tapwater via warmtepomp).

Kans op tocht en windgeruis verkleinen

Toepassing van zelfregelende roosters ('winddruk geregeld') (Afb. 103) verkleint



Afb. 103



de kans op tocht en windgeruis. Dergelijke roosters zijn anno 2010 zeer gebruikelijk. De roosters zijn vergelijkbaar met normale ventilatieroosters waaraan echter een 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 beter ventilatie in stand blijft;
- energiebesparing doordat teveel ventilatie bij harde wind wordt beperkt.

Zelfregelende roosters zijn ook verkrijgbaar met suskasten.

De tochtproblemen van natuurlijke toevoer kunnen ook voorkomen worden door:

- Voorverwarming van de natuurlijke toevoer via bijvoorbeeld een **serre** (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 ventilatie te verbeteren; tijdens het gebruik daarvan moet er extra buitenlucht toegevoerd worden, informeer bewoners hierover. Een verdere verbetering wordt gerealiseerd door de gehele natuurlijke afvoer te ondersteunen met mechanische afvoer op momenten dat de natuurlijke krachten het laten afweten. Dit systeem van '**hybride ventilatie**' wordt in § 6.7 beschreven.
- Maak de woning niet te luchtdicht, voldoe aan de eisen van luchtdichtheidsklasse 1 uit NEN 2687 [91]: q_{v10kar} minimaal $1,0 \text{ dm}^3/\text{s per m}^2$ (zie **bijlage 1.1.3**).

Afvoerkanalen

Voorwaarden voor een goede natuurlijke afvoer:

- Zorg voor lage luchtweerstand 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. Houdt 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 toilet, badkamer en keuken op drie afzonderlijke kanalen of een centraal

Afb. 103

Principe zelfregulerend mechanisch ventilatierooster.



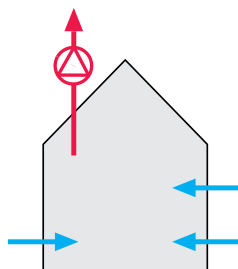
Afb. 104

Principe systeem C.

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. 104



Karakteristiek

- De ventilatie vindt plaats met behulp van één elektrische ventilator in de centrale ventilatie-unit.
- Natuurlijke toevoer van ventilatielucht via ventilatieroosters (of eventueel goed regelbare klepramen) 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 toevoervoorzieningen (meestal roosters) aangebracht, zodat de toevoer in elke ruimte afzonderlijk te bedienen is.
- Via **overstroomvoorzieningen** (spleten onder binnendeuren of roosters, zie § 6.2.2) wordt de lucht van de ene naar de andere ruimte getransporteerd.
- Mechanische afvoer via een kanalen-

stelsel met daaraan gekoppeld een ventilatie-unit. Het direct afzuigen via afzuigventielen vindt plaats tenminste vanuit keuken, badkamer(s) en wc('s); aanbevolen wordt (garantie-instellingen voor de woningbouw stellen het als eis) dat ook te doen vanuit een inpandige berging en opstelruimte voor wasmachine en/of wasdroger.

- Drie ventilatiestanden zijn gebruikelijk, de bediening vindt plaats met een driestandenschakelaar in minimaal de keuken.
- Op geluidbelaste locaties kunnen (afhankelijk van de geluidbelasting) geluidwerende ventilatieroosters (suskasten) worden toegepast.

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 open of sluiten van een toevoerrooster.
- In slaapkamers kan ('s nachts) met relatief koele buitenlucht geventileerd worden, ook zonder openstaand raam; daardoor is een 'koele' slaapkamer mogelijk.
- Een beperkt kanalenstelsel ten opzichte van een gebalanceerd systeem.
- Diverse fabrikanten leveren de toevoer-roosters met ingebouwde zonwering in de vorm van een screen. Ook de combi-



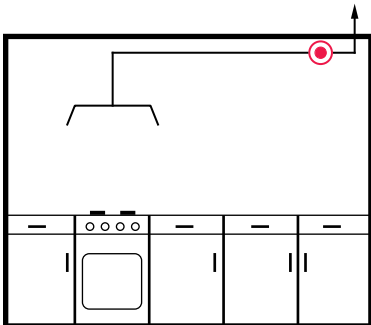
natie van screen (bovenste deel raam) en valarmscherm (onderste deel raam) is verkrijgbaar waardoor een goed uitzicht mogelijk blijft.

- Warmteterugwinning uit de ventilatie-lucht mogelijk voor tapwater via een **warmtepompboiler** (zie § 9.3.6).

Nadelen

- Alleen bij geopende ventilatieroosters is voldoende ventilatie gewaarborgd.
- Kans op tocht bij gevels; tocht hinder wordt verkleind als zelfregelende roosters worden toegepast (zie § 6.4 bij 'Kans op tocht verkleinen').
- Elektrische hulpenergie nodig.
- Mogelijk geluidhinder in de ruimten waar direct mechanisch wordt afgezogen of nabij de ventilatie-unit.

Afb. 105



Varianten

Er zijn diverse varianten mogelijk om de ventilatie comfortabeler en energiezuiniger (lagere EPC) te maken door het toepassen van:

- **zelfregelende toevoerroosters, mechanisch of elektronisch** gestuurd (zie § 6.4 en § 6.9);
- toevoer via een unit in combinatie met een radiator, met eventueel een zelfregelende toevoerklep;

- **vraaggestuurde regeling:** CO₂- of tijdsturing via de centrale ventilatie-unit (zie § 6.9); eventueel in combinatie met zelfregelende ventilatieroosters;
- voorverwarming van de natuurlijke toevoerlucht via bijvoorbeeld een **serre** (§ 4.2.3).

Een EPC-reductie van maximaal zo'n 0,20 behoort tot de mogelijkheden, meestal is dan een gelijkwaardigheidsverklaring noodzakelijk.

Aanbevelingen

- Sluit een motorloze afzuigkap aan op een tweede afzuigpunt in de keuken. Hierdoor verbetert de ventilatie in de keuken aanzienlijk (Afb. 105).
- Beter is nog een losse mechanische afzuigkap, waarbij de lucht direct naar buiten afgevoerd wordt; tijdens het gebruik daarvan moet er 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 § 6.2).
- Leg de maximale toelaatbare **luchtsnelheid in de kanalen en geluidproductie** van het ventilatiesysteem vast in het technisch ontwerp (het bestek) (zie § 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 [114] en NPR 1088 [120].
- Breng ook een schakelaar voor de ventilatie aan nabij de badkamer, met een 'timer'; hiermee kan de ventilatie door bewoners voor een bepaalde periode in de hoge stand worden gezet waarna de

Afb. 105

Breng een afzuigventiel aan tussen de afzuigkap en de rest van het ventilatiesysteem.



ventilatie automatisch terugkeert in de oude stand.

- Voorzie het ventilatiesysteem in de keuken van een waarschuwingslampje voor de hoogste ventilatiestand, ook bij de eventuele schakelaar nabij de badkamer.
- Plaats afzuigventielen i.v.m. de mogelijkheid van metingen (bijv. voor het inregelen) ten minste 50 mm. vanaf de hoek tussen wand(en) of plafond [128]. Plaatsing van meetapparatuur is dan mogelijk.
- Gebruik afzuigventielen met borging zodat na reiniging (door bewoners) de instelling van de ventielen niet gewijzigd is.
- Wanneer er **luchtverdeelkasten** worden gebruikt, kunnen er niet-regelbare ventielen worden toegepast; zie de toelichting bij Afb. 97.
- Maak de woning niet te luchtdicht, voldoe aan de eisen van luchtdichtheidsklasse 1 uit NEN 2687 [91]: q_{v10kar} minimaal 1,0 dm³/s per m² (zie bijlage 1.1.3).
- Let vooral op een zorgvuldige uitvoering van:
 - de aansluiting van de elektrische regeling;
 - de inregeling van de luchthoeveelheden; een rapportage bij oplevering moet verplicht zijn.
- 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).

Gestapelde bouw

In de gestapelde bouw is er een keuze tussen:

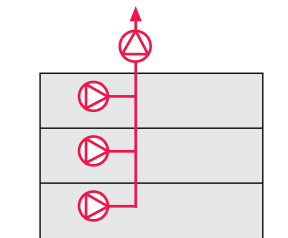
- individueel systeem per woning, zie hierboven; praktisch gezien alleen mogelijk bij gestapelde bouw tot zo'n 4 à 5 bouwlagen; bij meer lagen nemen de

- afvoerkanalen erg veel ruimte in beslag;
- een collectief systeem, zie hierna.

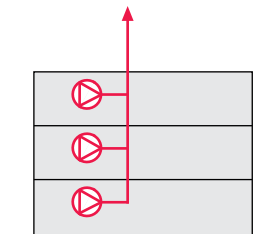
Collectief systeem

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 altijd voorkomen. Kans op een hoger energieverbruik dan de volgende 2 varianten.



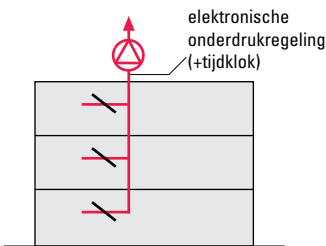
- Per woning een ventilator-unit en een speciale afvoerkap op het collectieve kanaal. Eenvoudiger dan het voorgaande systeem. Kans op ongewenste damp- en geurspreiding wanneer een bewoner de





ventilator uitzet. Daarom is per woning een terugslagklep gewenst.

- 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.

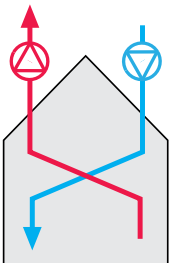


Aandachtspunten:

- Voldoende geluiddempende voorzieningen tegen overspraak en geluidhinder door ventilatoren.
- Eventuele noodzakelijke brandwerende voorzieningen bij de aansluiting op collectieve kanalen.

6.6 Gebalanceerde ventilatie met wtw (systeem D)

Afb. 106



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 luchtkanalenstelsels 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 § 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; garantie-instellingen voor de woningbouw stellen deze aanbeveling als eis.
- Drie ventilatiestanden zijn gebruikelijk, de bediening vindt plaats met een driestandenschakelaar in minimaal de keuken.

De warmteterugwinning vindt plaats in een zg. warmtewisselaar. Er zijn meerdere typen verkrijgbaar. Het meest toegepaste is de tegenstroomwisselaar die een

Afb. 106

Principe systeem D.



rendement heeft van 90 à 95%; dit is hoog, vandaar de aanduiding HR-wtw. Bij dit type 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. De vorstbeveiliging vermindert tijdelijk de toevoer van buitenlucht zodat de afvoerlucht minder afkoelt en daardoor niet bevroert. Bij sommige systemen is een verwarmingselement ingebouwd zodat de toevoer volledig blijft gehandhaafd.

Gebalanceerde ventilatie met wtw wordt, evenals systeem C, vaak in nieuwbouw toegepast, vooral met het oog op energiebesparing (gunstig voor de EPC) tegen relatief lage kosten. Ook kan het systeem comfortabel zijn. Voorwaarde is dat het ontwerp en de uitvoering zeer veel aandacht krijgen. In de huidige bouwpraktijk blijkt dat nog lang niet altijd het geval te zijn [114] [115] [118].

Ook bij dit ventilatiesysteem zijn **spuivoorzieningen vereist** (zie § 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. Uneto-VNI 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.uneto-vni.nl/?publicatieplatform (menu applicatie woninginstallaties).

Voordelen

- Een goed beheersbare ventilatie, mits zorgvuldig ontworpen, uitgevoerd en onderhouden.
- Comfortabel door de voorverwarming van de verse buitenlucht door de wtw.
- Energiebesparend door de wtw, mits de woning een zeer goede luchtdichting (klasse 2) heeft.
- Maakt bij gevels met hoge geluidsbelasting, door bijvoorbeeld verkeerslawaaï, **suskasten verbodig** (zie § 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 § 6.1.2).

Nadelen

- Mogelijk geluidhinder van de toevoer- of afvoerlucht of wtw-unit bij onvoldoende zorg bij ontwerp en uitvoering (zie o.a. bij **'luchtkanalen'** in § 6.2.2).
- 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.



- De aanleg van een goed werkend systeem vraagt extra kennis en aandacht van de installateur en architect.
- Zeer goede **luchtdichtheid** van de woningschil noodzakelijk: klasse 2 uit NEN 2687 en klasse 3 bij passiehuizen (zie ook § 5.1).
- Minder flexibiliteit in de ruimtelijke indeling bij wijzigingen i.v.m. het kanalenstelsel.

Varianten

Er zijn enkele varianten van gebalanceerde ventilatie mogelijk:

- **Vraaggestuurde regeling:** CO₂-, luchtvochtigheid- of tijdsturing via de centrale ventilatie-unit. Met dergelijke regelingen wordt een optimale ventilatie bereikt, afgestemd op de vraag, zie verder § 6.9.
- 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 gevel-roosters 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 overstroomb voorziening 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 geluidhinder van de ventilatie-unit omdat deze in de ruimte zelf aangebracht is.

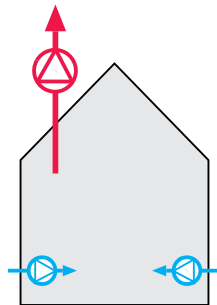
Afb. 107

Principe decentrale gebalanceerde ventilatie met wtw.

Afb. 108

Principe gebalanceerde ventilatie met decentrale toevoer en centrale afvoer.

Afb. 108



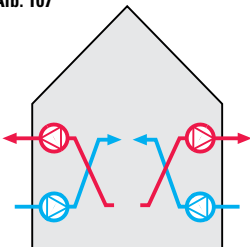
- Systeem met decentrale toevoer en centrale afvoer. De ventilatoren worden onderling gelijktijdig aangestuurd waardoor er gebalanceerde ventilatie mogelijk is. De toevoer kan plaatsvinden in aparte gevel-units, maar ook gecombineerd zijn met een radiator of convector. Er is geen voorverwarming van de toevoerlucht door wtw.

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

- geen kanalenstelsel voor de toe- en afvoerlucht nodig;
- 'koele' slaapkamers (er is geen wtw)

Nadelen (t.o.v. 'normale' gebalanceerde ventilatie met wtw):

Afb. 107





- energieverbruik van extra ventilatoren;
- geen wtw; wel is de warmte te gebruiken voor een warmtepompboiler;
- meer kans op geluidhinder van de ventilatie-unit omdat deze in de ruimte zelf aangebracht is.

Aanbevelingen/aandachtspunten systeem D

- Sluit een **motorloze afzuigkap** aan op een tweede afzuigpunt in de keuken. Hierdoor verbetert de ventilatie in de keuken aanzienlijk (Afb. 105). In de afzuigkap mag geen afsluitbare klep zitten om te voorkomen dat er te weinig geventileerd wordt.
- Beter is nog een losse mechanische afzuigkap, waarbij de lucht direct naar buiten afgevoerd wordt. Voordelen: betere afzuiging door een veel groter capaciteit en geen vervuiling van de kanalen van het algemene ventilatiesysteem. Tijdens het gebruik van de afzuigkap moet er 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 § 6.2).
- Leg de maximale toelaatbare luchtsnelheid in de kanalen en geluidproductie van het ventilatiesysteem vast in het technisch ontwerp (het bestek) (zie § 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 [114] en NPR 1088 [120].
- Breng ook een schakelaar voor de ventilatie aan nabij 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.
- Voorzie het ventilatiesysteem in de keuken van een waarschuwinglampje voor de hoogste ventilatiestand, ook bij de eventuele schakelaar nabij de badkamer.
- Plaats afzuigroosters i.v.m. de mogelijkheid van metingen (bijv. voor het inregelen) ten minste 50 mm. vanaf de hoek tussen wand(en) of plafond [128]. Plaatsing van meetapparatuur is dan mogelijk.
- Gebruik afzuigventielen met borging zodat na reiniging (door bewoners) de instelling van de ventielen niet gewijzigd is.
- Wanneer er luchtverdeelkasten worden gebruikt, kunnen er niet-regelbare ventielen worden toegepast; zie de toelichting bij **Afbeelding 97**.
- Denk aan de aansluiting voor de condensafvoer op het riool.
- 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:
 - minimaal 2x per jaar vervangen;
 - minimaal 1x daar tussendoor schoonmaken met behulp van een stofzuiger.
- 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 om de warmterugwinunit 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. Informeer bewoners dat zo'n bypass geen airco is. In de EPC-berekening kan een bypass ingevoerd worden door 'bypass' aan te klikken.

- Let vooral op een zorgvuldige uitvoering van:
 - de aansluiting van de elektrische regeling;
 - de inregeling van de luchthoeveelheden; een rapportage bij oplevering moet verplicht zijn.

Aandachtspunten inblaasventielen

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 97**) 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 toevoer-ventielen. 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 toevoer 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 afvoerkanalen 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 afvoerventilator. De toevoer vindt plaats via de gevel en de afvoer via een collectief kanaal met een extra dak-ventilator. Isoleer het collectieve kanaal met dampdichte isolatie om condens aan de buitenzijde te voorkomen. Isoleer ook de kap op het ventilatiekanaal.

6.7 Hybride ventilatie

Een geheel natuurlijk ventilatiesysteem (**systeem A, zie § 6.4**) is aanzienlijk te verbeteren door het te combineren met **systeem C**. Bij deze combinatie spreekt men van een hybride systeem. 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. Belangrijk is de

**Afb. 109**

Voor hybride systemen zijn speciale producten ontwikkeld zoals een lagedruk afzuigventiel (links) en een dakdoorvoer met kap (rechts). Illustraties: Alusta (links) en Ubbink (rechts).

lage luchtweerstand van het luchtafvoer-systeem.

Doordat de mechanische ondersteuning slechts een deel van de tijd aan hoeft, is het elektriciteitsverbruik beperkt. In de referentie twee-onder-één-kapwoning met een EPC van 0,8 daalt door hybride ventilatie de EPC met 0,20 (zie **Afbeelding 22** in § 3.4). De **Voorbeeldpakketten 8 en 9** uit § 3.5 zijn ook voorzien van hybride ventilatie. In al deze gevallen gaat het om de combinatie van systeem A met systeem C waarbij een ventilator in het natuurlijk afzuigkanaal is opgenomen.

Er zijn anno 2010 enkele systemen of producten verkrijgbaar. Eén ervan is ontwikkeld in het Europese onderzoeksproject ReshyVent **[131]** waarbij in een demonstratiewoning het systeem is uitgetest. De toevoer vindt 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 toevoer-rooster (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 bij het systeem is de lage luchtweerstand van de afzuigventielen, van het kanalenstelsel en van de dakdoorvoer met kap; de ventielen (**Afb. 109**) en de kap zijn speciaal hiervoor ontwikkeld. De luchtka-

nalen hebben een diameter van 180 mm. Er zijn gelijkwaardigheidsrapporten voor de EPC-berekening **[132]** beschikbaar.

Er zijn ook eenvoudiger systemen mogelijk.

Afb. 109

6.8 Zomernacht- en grondbuis-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.

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 en ramen) 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 (Afb. 110). 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.

Afb. 110



De benodigde afmetingen van de voorzieningen zijn aanzienlijk en daarmee moet bij het (gevel)ontwerp nadrukkelijk rekening worden gehouden. In [133] 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.

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 [134] en [135]. 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 [134] 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 grondbuis van een condensafvoer 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

Afb. 110

Voorbeeld van een voorziening voor zomernachtkoeling in een woning te Zeist. In de gevel van de woonkamer zijn 2 inbraakvrije ventilatieroosters (2 x 0,25 x 2 m = 1 m²) met een isolatieluik aangebracht; een dakraam zorgt voor een goede natuurlijke trek. Architect ii studio, realisatie Ettehoven Aannemer & interieurbouwer, advies BOOM-SI; realisatie 2009.



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 25% van de vereiste capaciteit. Binnen dat gebied moeten tenminste 2 standen zijn die 'vast te zetten' zijn. 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 § 6.2.3.

Meerstandenschakelaar

De moderne meerstandenschakelaar heeft 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.

Verkrijgbaar zijn driestandenschakelaars met een ledje dat aangeeft wanneer de filters van een wtw-unit gereinigd of

vervangen moeten worden; dergelijke schakelaars zijn sterk aan te raden.

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. In de referentie twee-onder-één-kapwoning met een EPC van 0,8 daalt door vraaggestuurde ventilatie de EPC met circa 0,10 (**Afb. 22** in § 3.4).

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 tijdgestuurde ventilatie 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 geventileerd. Het ventilatiesysteem is altijd met de hand tijdelijk bij te sturen.

Aandachtspunten

- Vergeet niet om **overstroomvoorzieningen** aan te leggen die meestal (bijv. bij centrale afzuiging) nodig zijn: spleten onder deuren en/of roosters in binnen-deuren of binnenwanden (§ 6.2.2). De overstroomvoorzieningen behoeven niet regelbaar te zijn.
- Bij calamiteiten moeten ventilatiesystemen uitgezet kunnen worden, bijv. door een stekker uit een ventilatie-unit te trekken of door de betreffende elektriciteitsgroep uit te schakelen. Bewoners (en beheerders) moeten hierover duidelijk geïnformeerd worden.

6.10 Meer informatie

- [114] Eindrapportage Woonkwaliteit Binnenmilieu in Nieuwbouwwoningen – eindresultaten van: 78 projecten / 154 woningen; Adviesburo Nieman bv, in opdracht van VROM-inspectie regio Oost te Arnhem, november 2007; te downloaden via www.vrom.nl.
- [115] Mechanische ventilatie in nieuwbouwwoningen - Ervaringen en oordelen van bewoners over de kwaliteit van ventilatie en de eigen gezondheid; K. Leidelmeijer e.a., RIGO, in opdracht van VROM, juni 2009; te downloaden via www.vrom.nl (actueel/kamerstukken).
- [116] Kleintje Ventilatie – Woningen en woongebouwen; ISSO, Rotterdam, april 2009.
- [117] [www.uneto-vni.nl/? publicatie-platform](http://www.uneto-vni.nl/?publicatie-platform) (menu applicatie woning-installaties).
- [118] Bewonersgedrag en balansventilatie - De invloed van bewonersgedrag op de effectiviteit van balansventilatie; K. Soldaat, Habiforum, Gouda, januari 2007.
- [119] NEN 1087:2001 - Ventilatie van gebouwen - Bepalingsmethoden voor nieuwbouw; NEN, Delft, 2001.
- [120] NPR 1088:1999 met aanvullingsblad C1:2000 - Ventilatie van woningen en woongebouwen - Aanwijzingen voor en voorbeelden van de uitvoering van ventilatievoorzieningen; NEN, Delft, 1999/2000.
- [121] Praktijkevaluatie Veldzicht te Valkenburg (ZH), BOOM-SI, in opdracht van SenterNovem te Sittard/Utrecht, 2004.
- [122] NEN 2757 - Toevoer van verbrandingslucht en afvoer van rook van



- verbrandingstoestellen, eisen en bepalingsmethoden, NEN, Delft, 2001.
- [123] Praktijkboek Gezonde Gebouwen; ISSO/SBR, Rotterdam, 2007 (zie ook www.gezondegebouwen.nl).
- [124] Dossier Luchtkwaliteit op www.vrom.nl.
- [125] NPR-CR 1752 - Ventilatie van gebouwen - Ontwerpcriteria voor de binnenomstandigheden, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 1999.
- [126] ISSO-publicatie 61 Kwaliteitseisen ventilatiesystemen woningen; ISSO, Rotterdam, 2002.
- [127] ISSO-publicatie 62 Kwaliteitseisen gebalanceerde ventilatie in woningen; ISSO, Rotterdam, 2003 + aanvulling 2004.
- [128] ISSO-publicatie 63 Beheer en onderhoud ventilatiesystemen in woningen en woongebouwen; ISSO, Rotterdam, 2008.
- [129] ISSO-publicatie 91 Ventilatiesystemen met decentrale toe- en afvoer en warmteterugwinning in woningen en woongebouwen; ISSO, Rotterdam, 2009.
- [130] ISSO-publicatie 92 Ventilatiesystemen met decentrale toevoer en centrale afvoer in woningen en woongebouwen; ISSO, Rotterdam, 2009.
- [131] Demonstration house with hybrid ventilation; Reshyvent Report nr WP9-CZ, o.a. Cauberg-Huygen, Maastricht, januari 2005.
- [132] www.alusta.com (Vent-O-system).
- [133] Uitwerkinsinstructie Toolkitconcepten Passiefhuis – Eengezinsrij-enwoning Ri7 en Twee-onder-een-kapwoning; SBR, Rotterdam, mei 2009.
- [134] Klimatisering woningen met grond-luchtcollectoren; A. van Lohuizen, in: Verwarming + Ventilatie april 2006.
- [135] Monitoring Passief Huis in Dalem 2003/2004; G. Brouwer, in opdracht van Novem, maart 2005.



In dit hoofdstuk komen de meest gangbare verwarmingssystemen aan bod, zowel individuele als collectieve. Naast een beschrijving van 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 wordt besteed aan lage temperatuursystemen (LT) zoals vloerverwarming. Deze systemen staan steeds meer in de belangstelling om energie te besparen, comfort te verhogen en de mogelijkheden voor duurzame energie te vergroten.

LT-systemen moeten standaard toegepast worden om toekomstbestendig te bouwen.

In de checklist hieronder staan de belangrijkste criteria voor de keuze van de installaties voor ruimteverwarming.

DEELCHECKLIST ruimteverwarming

Initiatiefase / 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 (§ 5.3, § 7.1, § 7.2.3).
- Let op de oriëntatie van de ramen. **Ramen op zuid** hebben de beste passieve zon opbrengst (§ 4.2)
- Reserveer dakvlak op zuid voor zonnecollectoren (tot 8 m² per woning) én PV-panelen (30 m² per woning).
- Overweeg de koppeling van woningen met utiliteitsgebouwen. Deze hebben vaak een overschot aan warmte (§ 7.2).
- Controleer of **diepe geothermie** (direct benutbare aardwarmte) een optie is (§ 7.3.3, § 7.3.6).
- 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 (§ 7.2).
- Maak principe keuze voor een collectief of individueel verwarmingssysteem (§ 7.4).
- Maak keuze voor centrale of lokale verwarming (§ 7.2).
- 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 (§ 4.2.1).
- Maak keuze voor de warmte-opwekking: HR ketel, HRe ketel (microWWK), warmtepomp, zonnecombi, gashaard; combinatie met tapwaterverwarming (§ 7.3).
- Bij een **warmtepomp** hoort een ultra laag afgiftesysteem (aanvoer < 33 °C) (§ 7.3.3).
- Bij een **zonneverwarming** hoort een laag temperatuursysteem (aanvoer < 40 °C) (§ 7.3.8).
- Bij luchtverwarming wordt in principe **centraal ingeblazen**, plan de leidingkoker daarop (§ 7.2.4).
- Kies een zo efficiënt mogelijke bron voor een warmtepomp: grondwater of de bodem (§ 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.

- Controleer bij stadsverwarming het percentage bijstook en of de hulpketels wel een HR rendement hebben.
- Ontwerp bij collectieve systemen de **verbruiksmeting per woning** (§ 7.4.2).
- Kies bij combitoestellen altijd voor een toestel met het **NZ-label (naverwarming zon)** (§ 7.3.2).
- De opstelplaats voor een combitoestel wordt bepaald door de **afstand tot de tappunten**. Maak deze zo klein mogelijk (§ 7.3.2).
- Beoordeel of warmteverliezen naar aangrenzende ruimten gewenst of ongewenst zijn en isoleer zo nodig de **scheidingsconstructie** (§ 5.1.4).
- Neem isolatie op in de vloerconstructie van appartementen. Bijvoorbeeld een **zwevende dekplaat**. Dat is ook gunstig voor de geluidisolatie (§ 5.1.4).
- Keuze voor type **vloerverwarming**: nat of droog systeem, geïsoleerd of direct op de vloer (§ 7.2.3).

Definitief ontwerp / Technisch ontwerp

- Maak de definitieve **keuze voor het afgiftesysteem** (§ 7.2).
- Maak een dynamische 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).
- Neem bij vloer- of wandverwarming een **pompregeling** op in het bestek (§ 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 moet dan vaak de doorslag geven (§ 7.3.2).
- Werk het bodemsysteem voor een **warmte-/koude-opslag** uit, inclusief de ontwerpberoekeningen op koelvermogen en de capaciteit gedurende 10 jaar (§ 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 moeten hoger staan dan de leidingen i.v.m. de mogelijkheid tot ontluchting (§ 7.2.6).
- Kies bij **luchtverwarming voor een systeem zonder recirculatie**, dus een verwarmingsvermogen op 'passiefhuis' niveau (§ 7.2.4).
- Kies het **aantal zones** voor een luchtverwarmingssysteem afhankelijk van de regelbaarheid (§ 7.2.4).
- Ontwerp het kanalsysteem bij luchtverwarming zó dat reiniging eenvoudig 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** (§ 7.2.6).

Uitvoering / gebruik / exploitatie

- Zorg dat **convectoren** bereikbaar zijn om ze schoon te maken (§ 7.2.2).



- Zorg dat luchtkanalen bereikbaar zijn om ze schoon te maken.
- Controleer het **legpatroon van vloer- of wandverwarming** (§ 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 (§ 7.2.4).
- Isoleer alle leidingen volledig voorzover 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 ontlucht** worden (§7.2.3).
- Maak een goede gebruikersinstructie volgens ISSO-VNI **[167]**. Geef aandacht aan o.a. het energiebesparende effect van **nachtverlaging** (§ 7.1).
- Let op de keuze van **vloerbedekking** bij vloerverwarming (§ 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 jaarlijkse servicebeurt.
- Vang de **warme luchtstroom** van radiatoren en convectoren niet op tussen het raam en de gordijnen (§ 7.2.2).

7.1 Verwarmingsvraag

De verwarmingsvraag 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 daaraan op een energiezuinige manier voldoen. Zie voor verdere uitleg en uitgangspunten voor bovenstaande factoren **bijlage 1** Bouwfysische begrippen: behaaglijkheid. Het verwarmings- en ventilatiesysteem bepalen in de winterperiode grotendeels de bovenstaande factoren en dus het comfort.

Nachtverlaging

Nachtverlaging van 2 à 4 °C heeft ook in de huidige goed geïsoleerde woningen een energiebesparend effect. Een verlaging van 3 °C geeft globaal een besparing van 10%. Alleen bij vorst, en bij warmtepompsystemen is een max. verlaging van 1 à 2 °C aan te raden, het opwarmen duurt anders te lang **[167]**.



Warmteverlies

Het warmteverlies wordt bepaald door:

- Transmissie door de gebouw omhulling. Het weglekken van warmte via **koude-bruggen** is hierin opgenomen. (zie hoofdstuk 5).
- Transmissie naar burens via de **woning-scheidende wanden en vloeren** (§ 5.1.4).
- **Ventilatie**: de hoeveelheid verse lucht aangevoerd door het ventilatiesysteem (zie hoofdstuk 6).
- **Infiltratie** via naden en kieren (zie § 5.1).

Warmtebijdrage

De warmtebijdrage in een woning bestaat uit:

- Interne warmtebijdrage: de warmte-afgifte 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 Afgiftesystemen

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

In een extreem goed geïsoleerde woning is een centraal verwarmingssysteem niet

altijd noodzakelijk. Een logische keus is **[51; 52; 53]**:

- Beperkte vorm van luchtverwarming via het ventilatiesysteem;
- Lokale verwarming.

Afb. 111 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 HR-combiketel 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.

Bij woningen met een zeer lage warmtevraag zoals passiehuizen of de **zonne•haard•woning** (§ 3.6) is een snel reagerend verwarmingssysteem nodig om aan de wisselende comforteisen van de bewoners te voldoen. Hiermee moeten ook kleine hoeveelheden warmte per vertrek afgegeven kunnen worden. De minimum capaciteit van de huidige cv-ketels is daarvoor meestal te groot. Een systeem met een buffer zoals de zonneboilercombi kan dan een oplossing zijn.

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 (afb. 133).

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



Afb. 111

	radiatoren (referentie) LT-radiatoren § 7.2.2 convectoren § 7.2.2 LT-convectoren § 7.2.2 vloerverwarming § 7.2.3 wandverwarming § 7.2.3						éénzonesysteem § 7.2.4 meerzonesystemen 7.2.4		gevelkachel § 7.2.5 gashaard § 7.2.5	
	cv-water						lucht		lokaal	
bouwkundige/ruimtelijke voorwaarden										
ruimtebeslag leidingen	0	0	0	0	0	0	–	–	0	–
ruimtebeslag verwarmingselementen,ketel e.d.	0	–	0	–	+	+	+	+	0	0
benodigde luchtdichtheid (- = extra vereist)	0	0	0	0	+	+	–	–	+	+
isolatie (- = extra vereist)	0	0	0	0	–	–	–	–	0	0
comfort										
snelheid opwarmen	0	0	0	0	0	–	0	0	+	++
regeling per vertrek/zone	0	0	0	0	0	0	–	0	+	+
temperatuur comfort	0	+	–	–	++	++	–	0	–	0
geluid	0	0	0	0	0	0	0/–	0/–	–	–
tocht	0	0	0	0	+	+	–	–	0	0
kwaliteit binnenlucht	0	+	0	+	++	++	–	0	–	0
diversen										
energieverbruik (+/++ = lager, –/– = hoger)	0	+	0	+	++	++	–	–	0	+
onderhoud	0	0	0	0	0	0	–	–	0	+
investering (+/++ = lager, –/– = hoger)	0	–	0	–	–	–	–	–	+	+

Legenda:

++ erg gunstig + gunstig 0 neutraal – ongunstig – – zeer ongunstig (alles t.o.v. radiatoren)

LT = lage temperatuurverwarming

Afb. 111

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.

opwekker zijn. Omdat duurzame energie ook beter ingezet kan worden bij lagere afgiftetemperaturen is het toepassen van lage temperatuursystemen (LT-systemen) daarom een randvoorwaarde voor een energie-efficiënte woning. De traditionele water-cv-systemen gebruiken een aanvoertemperatuur van maximaal 90°C. Op dit moment 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. Bij een collectief warmtenet wordt vaak maximaal 70°C en 40°C gebruikt in verband met tapwaterverwarming. Deze aanvoertemperatuur is



Afb. 112

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 relatief lage watertemperatuur in combinatie met een relatief groot verwarmend oppervlak.

echter te hoog voor duurzame systemen als warmtepompen of zonnecollectoren.

Tot de LT-(afgifte)systemen behoren:

- LT-radiator- en LT-convectorverwarming (aanvoertemperatuur 55°C);
- Vloer- en wandverwarming (aanvoertemperatuur 25 - 45°C);

De huidige garantie regelingen voor nieuwbouw leggen geen belemmeringen op voor LTV. Wel moeten de gebruikelijke opwarmtoeslagen voor opwarmen na nachtverlaging (in 2 uur) en “koude burens” in rekening gebracht worden. ISSO 49 [136] en ISSO 51 [138] geven de rekenmethode.

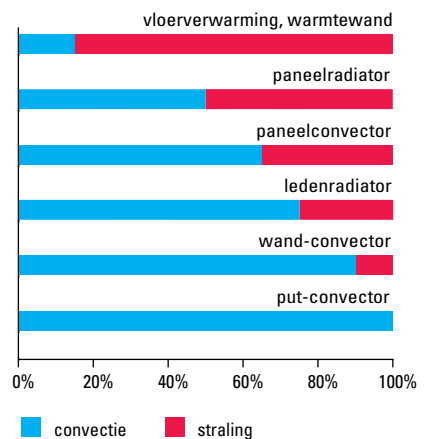
Belangrijke redenen om LT-systemen te gebruiken, zijn:

- 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 (toekomstig) gebruik van duurzame energiebronnen zoals zonne-energie. Voor het gebruik van warmtepompen is het gebruik van een LT-systeem zelfs een voorwaarde. Het is zinvol om nu al rekening te houden met dergelijke ontwikkelingen gezien de relatief lange levensduur van de afgiftesystemen ten opzichte van de warmtebronnen (zoals een cv-ketel).
- Verbetering van het binnenklimaat. Het gaat hierbij om:
 - Comfort: Met name bij wand- en vloerverwarming treedt een relatief grote mate van behaaglijkheid op door het grote stralingsaandeel (zie

bijlage 1 voor meer info over behaaglijkheid). Dit in combinatie met lagere luchttemperaturen en een gelijkmatiger temperatuurverdeling. Bij wand- en vloerverwarming is geen sprake meer van koudeval nabij ramen door de standaard toepassing van HR⁺⁺-glas; Aandachtspunt blijft **koudeval** uit de roosters bij natuurlijke ventilatie. Beperk in dat geval de raamoppervlak tot maximaal 3 m² (zie hoofdstuk 6).

- Luchtkwaliteit: Bij LT-systemen komt stofschoroe (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 afgiftesystemen. Bij vloer-, wand- en luchtverwarming ontbreken obstakels zoals radiatoren waaraan men zich kan verwonden bij o.a. vallen.

Afb. 112





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.

7.2.2 Lage temperatuur radiatoren en convectoren

(LT-)Radiatoren

Radiatoren genieten een lichte voorkeur boven (wand-)convectoren omdat ze meer stralingswarmte afgeven. NEN 5128 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 aanvoer-watertemperatuur van maximaal 55°C. De temperatuur van het retourwater bedraagt 45°C of minder. De afmetingen zijn daardoor in principe 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 [145]. Bij warmtepompen en zonthermische verwarming

zijn minimaal LT-radiatoren nodig. Bij die systemen gaat de voorkeur echter uit naar systemen met nog **lagere temperaturen**. (§ 7.2.3).

Te onderscheiden zijn

- **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 convectorlamellen. 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 koudestraling en koudeval van het raam en de beglazing kunnen compenseren. Bij HR⁺⁺-glas en

**Afb. 113**

De verschillende typen radiatoren.

Afb. 114

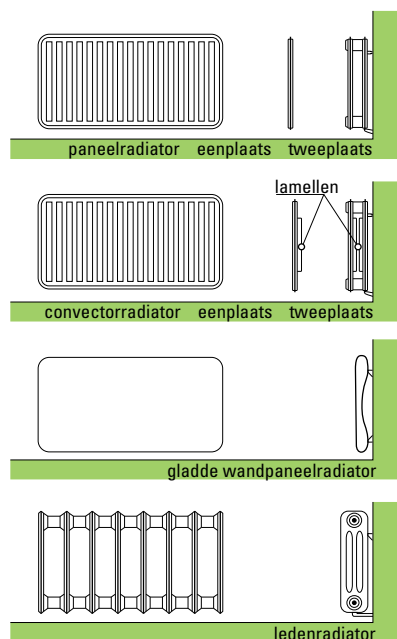
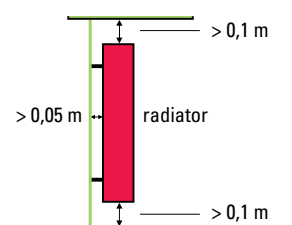
Plaats radiatoren (en wandconvectoren) met voldoende afstand tot vloer, gevel en vensterbank. Dit in verband met schoonmaak en de benodigde convectie-luchtstroming. Plaats in de badkamer de radiator op een hoogte van minimaal 0,6 meter vanaf de vloer om roesten te voorkomen. Kies desnoods voor een verzinkte radiator in de badkamer.

indien er geen ventilatieroosters in de gevel zijn (dus bij een gebalanceerd ventilatiesysteem) is dit aandachtspunt minder kritisch.

- 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.
- Zie ISSO 50 voor aandachtspunten voor de plaatsing van radiatoren [137].
- De vensterbank mag de warme luchtstroom niet hinderen. 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 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⁺⁺ 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 de warmte-afgifte met ca. 10 %. Andere kleuren hebben geen effect op de warmte-afgifte.

- Inbouwen van radiatoren wordt afgeraden. De totale warmte-afgifte neemt door verhinderen 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.

Afb. 113**Afb. 114**



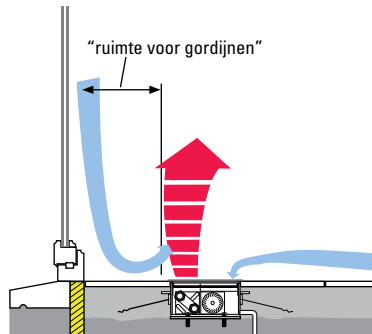
- Ingestorte verwarmingsleidingen (met watertemperaturen hoger dan 30°C) dienen geïsoleerd te worden voorzover het geen voeding van een radiator in dezelfde ruimte betreft. Ribbenbuis (mantelbuis) is geen isolatie. Reken op minimaal 12 mm isolatie en neem maatregelen om te voorkomen dat die beschadigd wordt tijdens het storten.
- Houdt radiatoren buiten bereik van douche en zeepwater.

(LT-)Convectoren

Het principe van convectoren berust op de afgifte van warmte door convectie. Convectoren worden opgebouwd uit dunne warmwaterleidingen met daar omheen, op kleine afstand van elkaar, dunne metalen lamellen. De op te warme 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 omkasting worden samen ook wel als 'convector' aangeduid. Convectoren geven voornamelijk convectiewarmte af. Door de geringe afgifte van stralingswarmte, wordt de koudestraling van koude vlakken in een vertrek niet of nauwelijks gecompenseerd. Convectoren kunnen voor een verdieping hoge glaswand geplaatst worden.

Door de geringe waterinhoud en de lage massa zijn convectoren relatief snel op temperatuur. Bij lage temperaturen is de natuurlijke trek in de omkasting van de convector meestal zo klein dat er weinig warmte wordt overgedragen. Bij LT-systemen zijn convectoren daarom af te raden, tenzij convectoren gebruikt worden die speciaal zijn ontworpen voor

Afb. 115



Afb. 115

Het alternatief voor de traditionele, energielekkende convectorput is een ventilator-convector in de afwerkvloer (illustratie Jaga).

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 weggevoerd. 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 ($R_c > 3,5$). Als alternatief zijn er platte ventilator-convectoren te koop die in de (afwerk)vloer passen. Hoogte minder dan 100 mm (Afb. 115).
- 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 warmte-afgifte;
- 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 temperaturen haalbaar voor verwarming.

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 aanvoerwater bedraagt daarom circa 45 °C, maar kan in goed geïsoleerde woningen makkelijker 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 en is uit oogpunt van energiebesparing en comfort aan te raden.

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_c -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 daarom de voorkeur, zeker als de vloerverwarming (in een vertrek) de hoofdverwarming is. Te onderscheiden zijn:

- Droogbouwsystemen: De leidingen worden bevestigd aan, op of in isolatieplaten die vaak ook nog voorzien zijn van warmtespreidende, 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 (ø 4 mm) die aan hoofdbuizen zijn gekoppeld. Ze kunnen onder andere in een dunne gietvloer of egalisatielaag opgenomen worden. Deze systemen zijn erg dun en reageren snel. De oppervlaktetemperatuur van de vloer is erg gelijkmatig en daardoor is 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: De verwarmingsbuizen worden in de dekvloer aangebracht. De



isolatielaag ligt direct onder de dekvloer. Dit levert een relatief licht systeem op met een acceptabele reactiesnelheid. Er is dan bovendien (als ook de zijanten geïsoleerd zijn) sprake van een zwevende dekvloer hetgeen zeer gunstig is voor de geluidisolatie, mits het juiste isolatiemateriaal wordt gebruikt. De dekvloer kan bestaan uit een zandcementvloer, maar vanuit milieuoogpunt gaat de voorkeur uit naar een anhydriet gietvloer. Het is noodzakelijk bij wand- en kolomaansluitingen, leidingdoorvoeren en dergelijke, stroken isolatiemateriaal aan te brengen om scheurvorming tegen te gaan. Ook warmte-overdracht 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

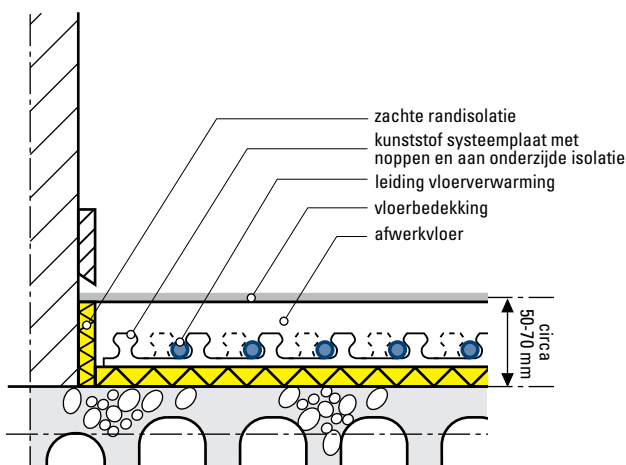
comfortwensen van de bewoner is niet mogelijk. Ook is de warmte-afgifte naar het onderliggende vertrek erg groot (tot 50%). Dat is meestal ongewenst en geeft in appartementen een zeer onrechtvaardige warmtekostenverdeling, ook bij individuele ketels. Het is in de gestapelde bouw dus niet toepasbaar.

- Slangen opgenomen in de constructieve betonvloer of de woningscheidende wand (mits geïsoleerd): Zogenaamde "Betonkernactivering". Het principe is gebaseerd op accumulatie van warmte en koude in de bouwconstructie. De verwarmingsleidingen worden hierbij in de kern van de vloer cq. 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

Afb. 116

Voorbeeld van de opbouw van een natbouw systeem voor vloerverwarming. Voor een goede geluidsisolatie moet i.p.v. de isolatielaag van polystyreen een relatief zacht materiaal gebruikt worden, bijvoorbeeld minerale wol of schapenwol. De plinten moeten vrij blijven van de dekvloer.

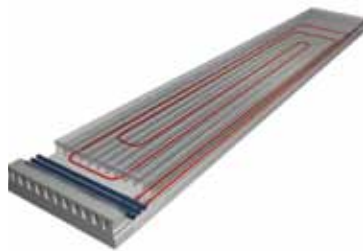
Afb. 116



**Afb. 117**

*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.*

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 eengezinswoningen 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 ruimtetemperatuur). Dat is gunstig voor het rendement van warmtepompen, zonthermische systemen en stadsverwarming. Als in het verwarmingssysteem ook andere afgiftesystemen zoals radiatoren zijn opgenomen, moet de watertemperatuur in het vloerverwarmingssysteem

Afb. 117

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 luchttemperatuur gelijkmatiger is dan bij radiatoren of convectoren.
- Vanwege de lage watertemperatuur

goed te koppelen met **zonne-energie** (§7.3.8) en **warmtepompsystemen** (§7.3.3).

- Energiebesparing: 3 tot 5% ten opzichte van hoge temperatuur radiatoren (80-60°C). Bij toepassing van een warmtepomp of thermisch zonne-energiesysteem kan de besparing oplopen tot 50 % t.o.v. LT radiatoren (**Afb. 22**) [143].
- Geen zichtbare installatie; verhoging van de veiligheid door het ontbreken van radiatoren (heet, scherpe randen).
- Weinig luchtbewegingen, minder stofverspreiding en geen stofschroei.
- In combinatie met een bodem bron 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 systemen zijn, vooral bij het opwarmen, traag. In goed geïsoleerde woningen, waar nachtverlaging niet noodzakelijk is, hoeft dit geen probleem te zijn.
- 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.

Opmerkingen:

- Tegen meerkosten is een (thermostatische) regeling 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 kamerthermostaat aan te sturen.

- 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. 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 slang volledig uitschakelen. De slangen moeten stuk voor stuk ontluicht worden, door de andere slangen dicht te zetten.
- Vloerverwarmingsleidingen kunnen op verschillende manieren worden gelegd. Let hier 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 dicht bij elkaar leggen.
 - Houd rekening met mogelijke dilatatie in de dekvloer.
 - Verbindingen in de vloer zijn ongewenst.
 - Bij vloerverwarming als bijverwarming wordt vaak gekozen voor een "spiraal" legpatroon om een gelijkmatige vloer-temperatuur te maken.
- Reken voor een cementgebonden dekvloer minimaal één week droogtijd per 10 mm dikte. Voor een anhydrietgebon-

den 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 vloerverwarmings-systeem goed ingeregeld worden, met "flowcontrols" op de verdeler.

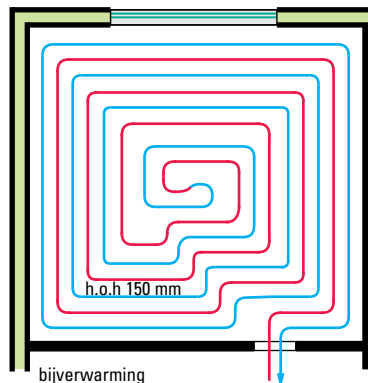
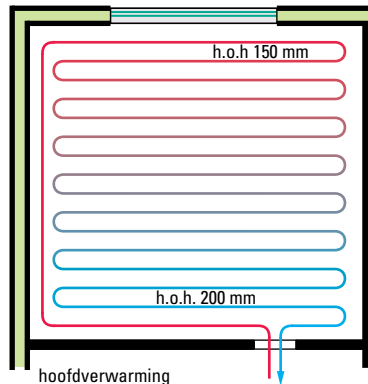
Vloerverwarming en vloerbedekking

De toepassing van vloerverwarming heeft invloed op de keuze van de vloerafwerking

Afb. 118

Legpatronen vloerverwarmingsbuizen (bron [165], pag 5-71).

Afb. 118





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 (indien nodig) in de dekvloer, 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.kieswijzervoor tapijt.nl

Informeer de bewoners over de soorten vloerbedekking die mogelijk zijn. Maak bijvoorbeeld een gebruikshandleiding via [167].

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. Woningsscheidende 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 voorgefraiseerde 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:

- De energiebesparing is vergelijkbaar met die van vloerverwarming, namelijk 5 a 10% ten opzichte van traditionele radiatorenverwarming ($80 - 60^\circ\text{C}$) [143].
- Door de meestal grote massa van een warmtewand zal dit systeem trager zijn dan vloerverwarming, maar veel sneller dan betonkernactivering.
- De keuze van vloerbedekking is vrij. 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 in de wand met de hand te voelen. Een andere methode is het natspuiten met een plantenspuit: ter plekke van de slangen droogt dat veel eerder op.



Afb. 119



7.2.4 Luchtverwarming

Bij (centrale) luchtverwarming 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 afgevoerde ventilatielucht voorverwarmd.

Bij zeer goed geïsoleerde woningen is geen recirculatielucht meer nodig. Met de gewone ventilatielucht kan voldoende warmte in de woning gebracht worden ook onder de meest extreme omstandigheden. Het “**passiehuys**” (§ 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 heeft een hoge opwarmsnelheid, zowel bij opwarmen als bij afkoelen. Dit laatste heeft het voordeel dat bij zon-instraling de warmte-afgifte direct gestopt kan worden. Bij een zware bouwwijze is dit voordeel gering.
- 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 radiatorcrank.
- Geen stralingsaandeel. Hierdoor moet de gemiddelde luchttemperatuur op zithoogte, bij gelijkblijvend comfort, 1°C hoger zijn vergeleken met radiatorenverwarming en 2°C ten opzichte van vloer- of wandverwarming.
- Gezien het vorige punt, hoger energieverbruik.
- Hoger elektriciteitsverbruik: Ook indien water-cv-systemen worden gecombineerd met gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning is het totale energieverbruik van deze combinatie lager dan bij luchtverwarming met wtw.

Opbouw luchtverwarming

Individueel en collectief

In laagbouw woningen komt luchtverwarming alleen voor als individuele installatie. In de gestapelde bouw kan luchtverwarming zowel individueel als collectief uitge-

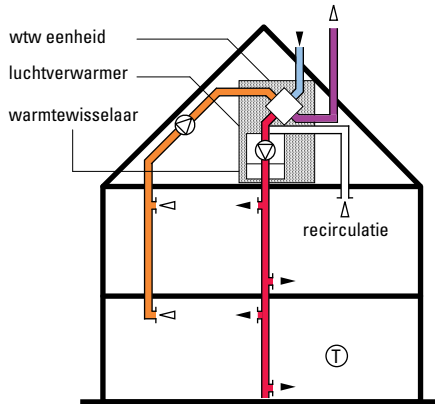
Afb. 119

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.

**Afb. 120**

Principe luchtverwarmings-systeem. De afstand tussen inblaaspunt en een gevel mag 5 m bedragen.

voerd 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 warmte-rugwinning kan collectief plaatsvinden.

Afb. 120**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. Volgens het Bouwbesluit moet tenminste 50% van de totale hoeveelheid ventilatielucht in de woning uit verse buitenlucht bestaan.

Nadelen van het éénzone-systeem

- De slaapkamers zijn meestal warmer 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 rook-alarm dat de installatie uitschakelt, kan dit nadeel opheffen.

Bij meerzone-systemen is de installatie in twee of meer zones verdeeld. Voor elke zone is in de luchtverwarmer een aparte warmtewisselaar aanwezig. Hierdoor is in elke zone de verwarming onafhankelijk van de overige zones te regelen. De slaapkamers worden alleen met verse buitenlucht verwarmd en geventileerd (Afb. 121).

Type warmtebron

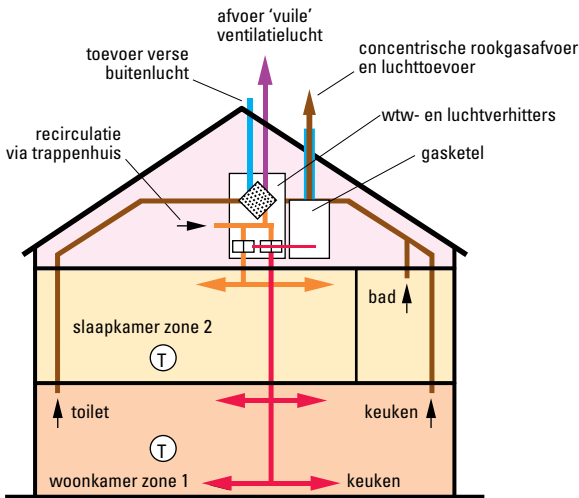
- Bij de direct gestookte luchtverwarmer wordt de warmte in het toestel zelf opgewekt en direct aan de lucht overgedragen.
- Bij de indirect gestookte luchtverwarmer wordt warm water uit een cv-ketel door een warmtewisselaar in de luchtverwarmer geleid. De warmte wordt hier overgedragen aan de lucht van het luchtverwarmingssysteem.

Voordelen van het indirecte systeem

- De cv-ketel kan eveneens warmte leveren voor het tapwater en eventuele radiatoren.
- De indirect gestookte luchtverwarmer is voor een meerzone-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



Afb. 121



Afb. 121

Tweezone-systeem (schematische doorsnede) in een woning.

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 ook direct gestookte luchtverhitters als HR-toestel leverbaar.

Detaillering luchtverwarmingsysteem

Van groot belang voor het comfort en het functioneren van een luchtverwarmings-systeem zijn de volgende punten:

- In de meeste systemen met luchtverwarming wordt de lucht centraal ingeblazen: alle kanalen en inblaasroosters liggen centraal in de woning (Afb. 120). De lengte van de kanalen blijft daardoor beperkt en de weerstand is laag.
- Let op een goede verdeling van de (warme) lucht in de kamer. Warme lucht blijft hoog hangen. 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. Buiten het stookseizoen kunnen lage luchttemperaturen voorkomen.
- 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 uit den boze, zij hebben altijd teveel warmteverlies.
- Kies de plek van de ruimtethermostaat zorgvuldig uit. De thermostaat moet bijvoorbeeld niet te dicht bij een toevoer-rooster, ventiel of deur gemonteerd worden.
- Voorkom geluidhinder 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 geluidhinder vaak te weinig aandacht krijgt.
- Voor ontwerp-aandachtspunten wordt verder verwezen naar [168] en [140].

Bouwkundige en 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 recirculatie moet aan de onderzijde van de binnendeuren een spleet van 3,5 cm vrij blijven (tussen bovenkant afwerkvloer 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.
- Regelmatig onderhoud van het totale systeem is van groot belang. Denk hierbij aan het controleren van de instelling van de roosters of ventielen, Grondig reinigen van de complete luchtverhitter (één keer per jaar) en het reinigen van het kanalenstelsel (één keer per 8 jaar)
- Het elektriciteitsverbruik voor ventilatoren kan hoog zijn (van 400 kWh tot wel 1000 kWh). Let op dat er energiezuinige (gelijkstroom) ventilatoren zijn toegepast en dat de luchtweerstand in het systeem laag is (< 100 Pa).

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 en elektrisch stralingspaneel. In bestaande bouw kan lokale verwarming vooral voor sfeer en



bijverwarming zorgen, maar in nieuwbouw kan het als hoofdverwarming dienen. Een enkele gashaard heeft voldoende vermogen om een hele woning te verwarmen en door de goede schilisolatie is ook de warmteverdeling in een compacte woning voldoende. Zie bijvoorbeeld de **zonne•haard•woning** [§ 3.6].

Voordelen lokale toestellen

- Snel reagerend en goed regelbaar (mits voorzien van een thermostatische regeling). Uitvoeringen met een klokthermostaat zijn tegenwoordig standaard.
- 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.
- Ook warmte als de stroom uitvalt.

Nadelen lokale toestellen

- Relatief laag rendement. Bij meerdere toestellen zijn er bovendien meerdere waakvlammen. Die zijn met de afstandsbediening overigens makkelijk aan en uit te zetten. NEN 5128 [25] hanteert voor lokale gasverwarming, inclusief waakvlam, een opwekkingsrendement (= gebruiksrendement) van 65 % op bovenwaarde (op onderwaarde 72 %) en een systeemrendement van 1,0. Dit resulteert in een totaal rendement dat vrijwel overeenkomt met de laagste waarde van centrale verwarming.
- Voor tapwaterverwarming is een apart toestel nodig.

Gevelkachels

Gevelkachels zijn tot drie toestellen goedkoper in aanschaf dan radiatorenverwarming en geven toch een verge-

lijikbaar 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 [169] voor de eisen die gesteld worden aan de plaats van de geveldoorvoer. Gevelkachels hebben een laag rendement: 76 % vollast-rendement op bovenwaarde (84 % op onderwaarde). 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

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 of hybride ventilatie kan een open toestel (met rookgasafvoer) worden toegepast. Volledig gesloten toestellen zijn bij de meeste fabrikanten de standaard. De 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 ook mogelijk.

Let op

Er zijn tegenwoordig ook volledig open (sfeer-) toestellen zonder rookgasafvoer te koop. Deze lozen hun rookgassen dus op



de kamer waarin ze hangen en zijn uit gezondheidsoogpunt zeer sterk af te raden.

Elektrische weerstandverwarming

Dit kan in de vorm van stralingspanelen of vloerverwarming. Als hoofdverwarming kan dit niet worden toegepast, het rendement op primaire energie is te laag. 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 uiteindelijk gemiddeld zo'n 39% (op bovenwaarde) [25] nuttig worden gebruikt. Per eenheid warmte is elektriciteit bovendien 3 keer zo duur als aardgas. 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 stralingspaneel. 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 praktische en duurste keus. Direct benutten van **zonnewarmte** [§ 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 [§ 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 kennen de nadelen van de tegelkachel niet en hebben soms toch een heel goed 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 ventilatiesysteem 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. Ter indicatie: 1000 m³ gas staat gelijk aan 2000 kg hout of 13 m³. Er zijn ook houtpellet-kachels te koop die volledig automatisch werken. Een pellet is een brokje samengeperst houtzaagsel. De opslag is wat compacter: 1000 m³ gas staat gelijk aan 10 m³ pellets.

Nadeel van houtkachels is dat de buitenkant erg heet kan worden met gevaar voor verbranding en stofschroei.

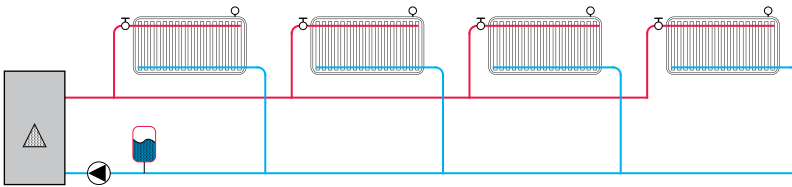
Open haard en 'allesbrander'

Toepassing van een open haard of een 'allesbrander' moet, in verband met de milieuproblemen die ze veroorzaken, sterk worden afgeraden. Te denken valt aan stankoverlast en de uitstoot van schadelijke stoffen in woning en woonomgeving [157].

Bovendien verstoren beide toestellen vaak het verwarmings- en ventilatiesysteem die naast deze toestellen werkzaam zijn. Als alternatief kan men beter voor een



Afb. 122



Afb. 122

Het tweepijpssysteem.

Afb. 123

Een verdeler met inregel voorzieningen en afsluiters

gashaard kiezen. Die geven ook veel gezelligheid.

dat zich naar behoefte vertakt tot op de radiatoren of convectoren.

7.2.6 Distributie en regeling

Leidingsysteem

De leidingen tussen de afgifte-elementen en de opwekkingsinstallatie kunnen aangebracht worden als een- of tweepijpssysteem. Het tweepijpssysteem is het meest gebruikt en heeft de voorkeur boven het eenpijpssysteem. Bij het tweepijpssysteem is elke radiator (of convector) direct aangesloten op zowel de aanvoer- als de retourleiding. Hierdoor is de temperatuur van het aangevoerde water voor elke radiator gelijk. Dit in tegenstelling tot het eenpijpssysteem, waarbij de radiatoren achter elkaar in serie geschakeld zijn en de laatste radiator het koudst is.

Een ander onderscheid is dat tussen leidingsystemen met en zonder verdelers:

- Met verdeler: vanuit één of twee centrale punten gaan aparte leidingen, meestal kunststof "slangen" naar alle radiatoren. Bij nieuwbouw wordt dit het meest toegepast. Voor vloer- en wandverwarming is het de standaard. Het is mogelijk om centraal op de verdeler in te regelen. Dat is bij vloer- en wandverwarming standaard, maar kan ook handig zijn bij radiatoren of convectoren (Afb. 123).
- Zonder verdeler: Vanuit de warmte-opwekker wordt een netwerk aangelegd

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.

Verwarmingsleidingen in geventileerde kruipruimten moeten worden vermeden. De warmteverliezen die hier optreden zullen niet ten goede komen aan de woning.

Afb. 123



**Afb. 124**

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.

Uitgangspunten:

- de gemiddelde ruimtetemperatuur: 10 °C (onverwarmde ruimte);
- gemiddelde watertemperatuur van 35°C over het stookseizoen, inclusief nachtverlaging;
- gebruiksrendement HR-ketel: 97,5% bovenwaarde;
- een stookseizoen van 212 dagen.

Afb. 125 De isolatie van de cv-leidingen op zolder van de referentie tuinkamerwoning bespaart zo'n 80 m³ aardgas per jaar.

Afb. 126

De leidingisolatie blijft bij deze beugel ononderbroken.
Foto: Walraven B.V. te Mijdrecht.

Afb. 124

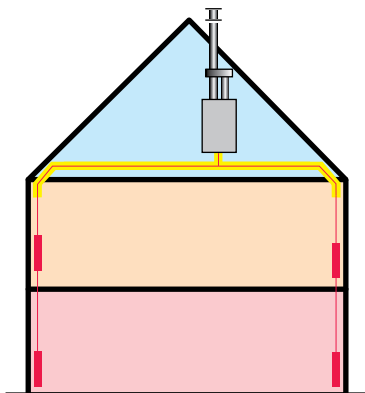
	leidingdiameter				
	12 mm	15 mm	22 mm	28 mm	35 mm
dikte leidingisolatie					
9 mm	4	5	8	10	13
20 mm	5	6	10	12	15
30 mm	6	7	11	14	17

m³ gas

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 *afb. 124* 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 *afb. 124* omdat een deel van de leidingverliezen ten goede komt aan de verwarming van de woning.

Afb. 125

Rekenvoorbeeld

- 25 meter geïsoleerde verwarmingsleidingen op zolder;
 - onverwarmde zolder (10 °C);
 - diameter 22 mm en isolatiedikte 20 mm.
- Effect van het achterwege laten van deze isolatie:

Volgens *afb. 124* neemt het bruto energieverbruik toe met: $25 \times 10 = 250 \text{ m}^3$ 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 80 m³ aardgas per jaar.

Let op

- Voorzie afsluiters, bochten, aansluitingen en dergelijke ook van goede isolatie.

Afb. 126



- Zorg voor isolatie bij doorvoeren door wanden en vloeren.
- Bevestig beugels bij voorkeur om de leidingisolatie heen (Afb. 126).

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 ketel 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. 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. Alle ruimten zijn onafhankelijk van elkaar te verwarmen. De circulatiepomp draait in principe continu. Dat is een verspilling van stroom (circa 350 kWh extra verbruik). Sommige fabrikanten hebben daar iets opgevonden. 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. In principe kan hiermee alleen een lagere

temperatuur dan de ontwerp-temperatuur verkregen worden.

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 de ketel geschakeld moet worden om op het ingestelde tijdstip de gewenste temperatuur te bereiken. De opwarm- en afkoelsnelheid is bekend van de afgelopen dagen.

Bij een modulerende ketel hoort een bijpassende thermostaat die de ketel modulerend aanstuurt.

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 de kamerthermostaat hangt mogen geen thermostatische radiatorknoppen op de radiatoren zitten: de ingestelde temperatuur van de ruimtethermostaat wordt niet bereikt omdat de radiatorknoppen immers de warmtetoever stoppen. De kamerthermostaat zal daarom vragend blijven staan, waardoor de ketel steeds weer inschakelt.
- Een goede regeling van de ruimtetemperatuur 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.

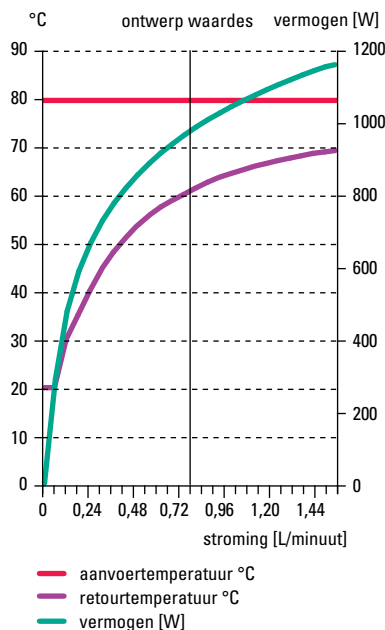
**Afb. 127**

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 afgenomen vermogen lineair af tot nul.

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 plaats vinden. Het temperatuurverschil over de radiator (Delta-T 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 ineregeld worden. Hiertoe wordt per radiator of slang de waterstroming met een nippel of stelschroef in het voetventiel of de radiatorknop of op de verdeler ingesteld.

Zowel bij te grote als te kleine stroming over de radiator zal deze niet de optimale hoeveelheid warmte afgeven (Afb. 127). Voorzie een afgiftesysteem daarom altijd van inregelventielen omdat deze ervoor

Afb. 127

zorgen dat het warme water goed verdeeld wordt over het totale verwarmings-systeem.

Ontbreken van 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 gasverbruik van de ketel) en een lager comfort [139].

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, welke direct via de lucht of indirect, via overdacht op water, aan de woning wordt afgegeven. Een WKK zet brandstof om in warmte en elektriciteit.

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 hoofdstuk 10).

Restwarmte van elektriciteitscentrales of de industrie is ook een vorm van benutting van fossiele brandstof waardoor het totaal rendement 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 (§ 7.3.8) en/of **warm tapwater** (§ 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 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 (Geothermie). 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 dienen

minimaal 4.000 woningen aangesloten te worden.

7.3.2 CV-ketel

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-afsluitbare ventilatievoorzieningen gemaakt worden. In nieuwbouw worden open toestellen niet meer geplaatst.

Opmerkingen

- De opstelplaats moet met zorg worden gekozen in verband met de geluidseisen (§ 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 pomprege-

**Afb. 128**

Een voorbeeld van een CLV-systeem.

ling, 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 500 kWh. Totaal komt dat in de praktijk uit op een jaarverbruik van 120 tot 650 kWh. Ketels worden hierop getest. Kies dus een ketel met een laag verbruik.

In de gestapelde bouw worden individuele toestellen meestal aangesloten op een

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.

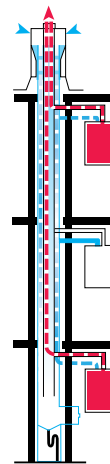
Gebruikelijk is om het rendement van een gasketel op de volgende wijze te meten en weer te geven:

- Waterzijdig: Er wordt gekeken naar de daadwerkelijk op het cv-water overgedragen warmte.
- Bij vollast: De ketel brandt continu met volledige gastoevoer 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 gastoevoer 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 0,9 x het rendement op onderwaarde.
- Bij berekeningen voor het energieverbruik is het gebruiksrendement over een jaar van belang. Bij dit gebruiksrendement worden bijvoorbeeld ook de stilstandsverliezen meegerekend. NEN 5128 [25] gebruikt voor het 'gebruiksrendement' het begrip opwekkingsrendement.

gecombineerd luchttoe- en rookgasafvoersysteem, een zogenaamd CLV systeem (Afb. 128). 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 gecombineerde rookgasafvoerkanaal aangesloten.

Combiketels

Een combiketel zorgt zowel voor ruimteverwarming als voor tapwaterverwarming. Het is van belang om de combiketel zodanig te situeren dat de leidingen voor het warmtapwater zo kort mogelijk zijn,

Afb. 128

vooral naar de keuken (§ 4.4 en § 9.2.1). Bij gelijktijdige warmtevraag voor ruimteverwarming en warmtapwater heeft de laatste prioriteit. Het toestel heeft een aparte regeling voor de watertemperatuur voor het tapwaterdeel en voor de ruimteverwarming.



Afb. 129

	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

Belangrijke voordelen ten opzichte van gescheiden opwekking voor ruimteverwarming en tapwaterbereiding:

- Goedkoop;
- minder hulpenergie voor regeling etc.
- minder ruimtebeslag.

Nadelen

- Vaak een matig rendement op tapwaterverwarming door het op temperatuur houden van het toestel;
- Wachtijd van het toestel voor het warmwater kan leveren.
- Te beperkt modulatiebereik om als naverwarmer voor een zonneboiler of zonne-verwarming te werken. Daarvoor moet het minimum vermogen circa 2 kW 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. Er wordt onderscheid gemaakt tussen HR-ketels en VR-ketels. Conventionele ketels (CR) worden niet meer toegepast.

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 (Afb. 129). In nieuwbouw worden vrijwel alleen nog HR-ketels geïnstalleerd.

Kenmerken van de HR-ketel

- Gemiddeld gebruiksrendement bedraagt 90% à 97,5% op bovenwaarde volgens NEN 5128 [25]. 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.

Opmerkingen

- Alle cv-ketels moeten een (volland) rendement hebben van minimaal 82% op onderwaarde (CE norm).
- De Stichting Energie Prestatie Keur is een onafhankelijke organisatie, die het gebruik van energiezuinige, schone

Afb. 129

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 gebruiksrendement moet dan minstens 60% (op onderwaarde) bedragen



en doelmatige verwarmingstoestellen, warmwatertoestellen en andere duurzame, energierelevante installatieproducten, zoals zonne-energie en warmteterugwinapparatuur, stimuleert

Type regeling

Een ketel kan voorzien zijn van een aan/uit regeling, of van een modulerende regeling.

Gastoestellen kunnen worden voorzien van diverse Gaskeur-labels [159].

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 vier 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):
- Gaskeur SV (Schonere Verbranding): Het toestel stoot minder dan 40 ppm (parts per million) aan stikstofoxiden (NOx) (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 keur 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 tapdrempel, wachttijd, gelijkmatigheid van temperatuur en rendement [zie verder in 9.3]

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 teveel. 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 vermo-

gen 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 niet groter 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. ("Open therm" staat voor een universele taal voor de communicatie tussen cv-ketels en thermostaten). Men maakt dan optimaal gebruik van de voordelen van zo'n ketel.

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

Een nieuwe generatie cv-ketels is onlangs op de markt gekomen. Het betreft hierbij 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 piekvraag. Het gaat om warmtepompen met buitenlucht of ventilatielucht als bron (§ 7.3.3).

HRe-ketel

Veldtesten zijn uitgevoerd met een cv-ketel die 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. De modellen waar nu aan gewerkt wordt leveren circa 5 kW warmte en 1 kW elektriciteit terwijl er circa 20 kW warmte als piekvermogen beschikbaar is. Deze toestellen moeten

veel draaiuren maken om de extra investering enigszins terug te verdienen. Denk aan een gasverbruik boven de 1300 m³/j. 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

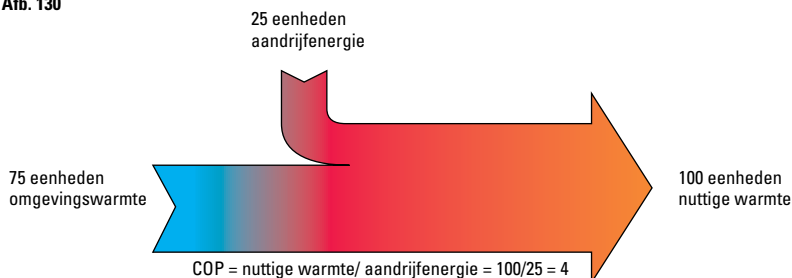
Een warmtepomp is een toestel waarmee warmte van een lage temperatuur (bijvoorbeeld grondwater van 10°C) wordt omgezet naar een hogere temperatuur om te gebruiken voor ruimteverwarming en warmtapwater. Hiervoor wordt een relatief kleine hoeveelheid elektriciteit toegevoerd aan de compressor van de warmtepomp. Het rendement van de warmtepomp wordt uitgedrukt in de COP (Coëfficiënt Off Performance). Dit opwekkingsrendement ligt in de orde grootte van 4 tot 5 (Afb. 130). Rekening houdend met het opwekkingsrendement van elektriciteit (39%) levert de warmtepomp een rendement van 130 tot 180% op primaire energie. Er zijn ook warmtepompen op gas: deze hebben een COP van 1,3 tot 1,8. Warmtepompen leveren een aanzienlijke bijdrage aan de verlaging van de EPC (Afb. 22).

Een systeem met warmtepompen bestaat uit:

Afb. 130

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.

Afb. 130

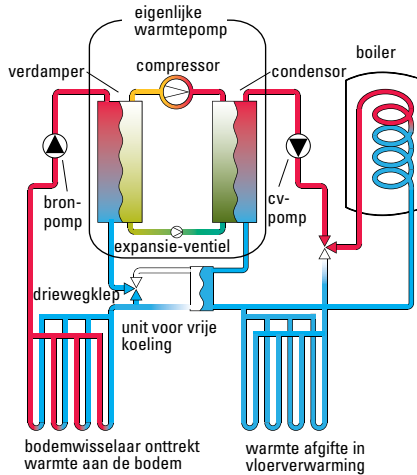


**Afb. 131**

Het principe van de warmtepomp: In de verdamper wordt warmte aan de bron onttrokken. In de condensor wordt warmte op een hoger temperatuurniveau afgegeven.
Bron: www.inventum.nl.

Afb. 132

Voorbeeld van een systeemconfiguratie weergegeven met de BOA wegwijzer volgens <http://boa.stichtingwarmtepompen.nl/>

Afb. 131

uitgewerkt. Een handig hulpmiddel hierbij is te vinden op de website www.stichtingwarmtepompen.nl. Hiermee kan voor de drie onderdelen een systeem gekozen worden, waarbij van de uiteindelijk gekozen configuratie direct succesvolle voorbeelden beschikbaar zijn (Afb.132).

Bron

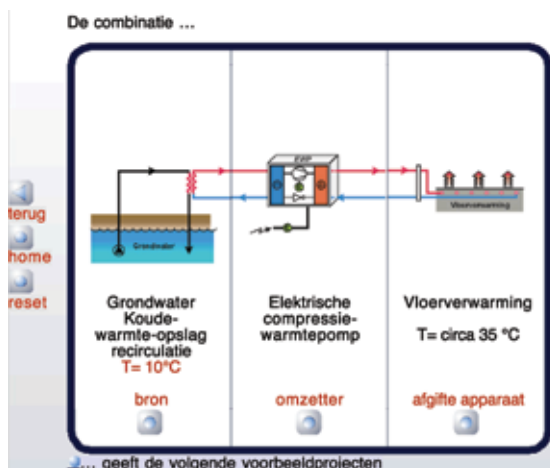
Bronnen waar energie aan kan worden onttrokken:

- Ventilatielucht. De capaciteit van warmte uit ventilatielucht is beperkt. Voor ruimteverwarming is ventilatielucht uit een woning als bron per definitie ontoereikend. Voor het verwarmen van tapwater is deze bron wel interessant [9.3.6].

- Bron;
- Omzetting (warmtepomp);
- Afgifte.

Met deze basisopbouw kunnen verschillende systeemconcepten worden

- Bodem door een verticale of horizontale bodemwarmtewisselaar. Bodemwarmtewisselaars bestaan uit een of meerdere U-lussen. Horizontale systemen liggen op ca. 1 tot 3 meter diepte, waarbij een aanzienlijk oppervlak grond vereist

Afb. 132



is. Dat is in Nederland meestal niet beschikbaar. Verticale bodemwisselaars worden diep (tot circa 100 m) 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 [141] en [142].

- **Grondwater.** 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 onttrekkingsbron 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.
- **Buitenlucht.** 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 geluidproductie. Voor nieuwbouw is dit geen echte optie.

- **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 regeneratiedoel-einden 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 een traditionele bijverwarming nodig om pieken op te vangen. Elektrische weerstandsverwarming is uit den boze. Er zijn elektrische warmtepompen met een gasgestookte bijverwarming op de markt. Om zeker te zijn van een zuinige werking zijn een geoptimaliseerde regeling én monitoring noodzakelijk. Niet alle aanbieders kunnen daarvoor instaan.

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.

$$\text{COP, verwarming} = \frac{Q_{\text{warmte}}}{E_{\text{aandrijf wp}}} \quad [-]$$

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.

$$\text{SPF, verwarming} = \frac{Q_{\text{warmte}}}{E_{\text{aandrijf wp}} + E_{\text{hulp}}} \quad [-]$$

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 [160].

Het rendement is hoger naarmate het temperatuurverschil tussen de gebruikte warmte (bron) en de geproduceerde warmte (afgifte) kleiner is. Een warmtepompinstallatie voor toepassing van ruimteverwarming vereist daarom een LT afgiftesysteem.

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 over het jaar gezien in balans gebracht worden. Bij warmte-onttrekking van meer dan 10 m³ per uur uit grondwater worden door het provinciaal bevoegd gezag (Grondwaterwet) ook eisen gesteld aan de thermische balans van de bodem. Over meerdere jaren moet er evenveel warmte ingebracht worden als er wordt onttrokken.

Het kan dan ook noodzakelijk zijn om naast warmte-onttrekking ook weer warmte in de bodem te injecteren (bodemregeneratie). In de zomer kan dit door bijvoorbeeld gebruik te maken van:

- Ruimtekoeling: Zogenaamde “vrije koeling” (§ 8.3.4).
- 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 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.

Elektrische (compressie-)warmtepomp

Bij elektrische warmtepompen is een COP van minimaal 3 vereist om ten opzichte van een gasketel primaire energie te besparen en een COP van 4 om netto CO₂ te besparen. Dit is een gevolg van het relatief lage rendement van de elektriciteitsproductie (EPN: 39% bovenwaarde) en de hoge inzet van steenkool. De COP is erg gevoelig voor de temperatuur van de bron en van het afgifte-systeem (Afb. 135). 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 onttrokken. 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.

Gasgestookte (absorptie-)warmtepomp

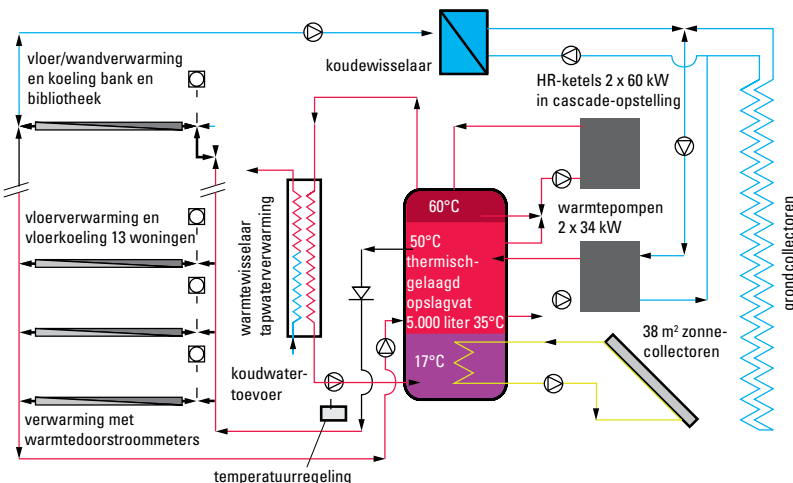
De gasgestookte absorptie-warmtepomp heeft maar een bron met kleine capaciteit nodig, tot zo'n 40% van de geleverde warmte. Als de temperatuur van de bron daalt, daalt het totale rendement wel, maar nooit onder dat van de beste HR-ketel. Dit geldt ook voor de afgiftemtemperatuur. Hoger dan 70 °C moet die echter niet komen. De absorptie-warmtepompen 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

Afb. 133

Principe-schema installatie voor verwarming en koeling van het voorbeeldproject Rabobank Pey-Posterholt in Echt te Limburg [153]. 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 vloerkoeling van de bank. De warmtepompen geven deze warmte af aan een opslagvat van 5 m³. Ook de zonnecollectoren (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). Opdrachtgever: Rabobank, architect: Architectenbureau Keulers, Schrijen Coonen, adviseur: BOOM-Maastricht Realisatie: 1999.

Afb. 133

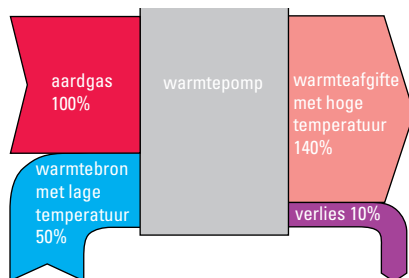


**Afb. 134**

Sankey-diagram van gasgestookte warmtepomp.

Afb. 135

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.

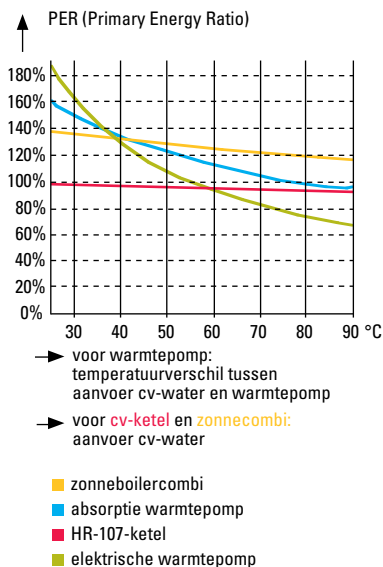
Afb. 134

zeer goede geluidsisolatie is noodzakelijk. Er zijn al langere tijd systemen vanaf 40 kW te koop, geschikt voor minimaal tien woningen.

Aandachtspunten

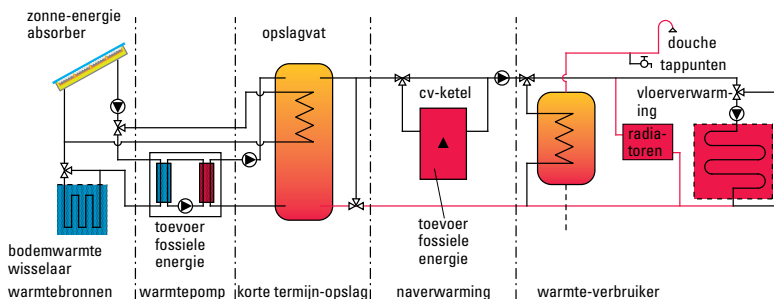
- De individuele warmtepomp voor een woning neemt meer ruimte in beslag dan een cv-ketel. Reserveer minimaal 0,6 x 0,6 m² en neem tijdig contact op met een leverancier. Ook is het gewicht veel hoger dan dat van een CV-ketel, orde grootte 150 tot 200 kg.
- Vanwege de mogelijkheid tot vrije koeling levert 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. De meeste warmtepompen kunnen niet moduleren, al is dat wel in opmars ("inverter technologie").

- 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 warmtepomp-installaties kan variëren van 5 tot 20% van het totale energieverbruik, dus inclusief de warmtepomp zelf. Dit percentage hangt

Afb. 135



Afb. 136



Afb. 136

Toepassing van warmtepomp in combinatie met andere apparatuur.

af van het ontwerp en de dimensionering van de genoemde systemen. Dat kan het voordeel van de warmtepomp teniet doen. Houd hiermee rekening bij het ontwerp van de installatie.

- Warmtepompen kunnen ook voor de verwarming van **tapwater** worden gebruikt (§ 9.3.7). Het rendement is dan echter laag.

Systeemkeur voor warmtepompen

De Stichting Kwaliteitskeur Warmtepompen is bezig met de ontwikkeling van een systeemkeur voor warmtepompsystemen. Een keurmerk voor de afzonderlijke functies van de warmtepompen bestaat al langer, maar de kwaliteit van een installatie met een warmtepomp is afhankelijk van het functioneren van het totale systeem en niet van de werking van de warmtepomp alleen. Beoordelingsrichtlijnen [164] vormen de basis voor het systeemkeur. Deze beoordelingsrichtlijnen worden beheerd door de Stichting KBI en zijn het document om installatiebedrijven te certificeren voor het werken met warmtepompen. Een warmtepompinstallatie met systeemkeur en een installateur die voldoet aan de BRL's (KOMO-INSTAL gecertificeerd) zal de grootst mogelijke waarborg bieden voor een kwalitatief goede installatie.

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 (Afb. 137). **Warmtekrachtkoppeling** wordt tot nog toe vrijwel alleen in collectieve systemen toegepast (§ 7.4). De **HRe ketel** gaat daar in de nabije toekomst-verandering in brengen (§ 7.3.2).

Er is een onderscheid tussen het elektrische rendement en het totaalrendement. Om te kunnen concurreren met moderne HR-ketels en elektriciteitscentrales 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

**Afb. 137**

Verskil in primair energieverbruik tussen een gescheiden en een gecombineerde productie van warmte en elektriciteit.

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 (§ 7.4). Het elektrisch rendement is afhankelijk van de grootte vanaf 34% tot > 45 % op bovenwaarde.

Voor grote woningbouwprojecten (globaal 4000 woningen) komen ook gasturbines in aanmerking. Het elektrisch rendement van gasturbines bedraagt circa 34% op bovenwaarde.

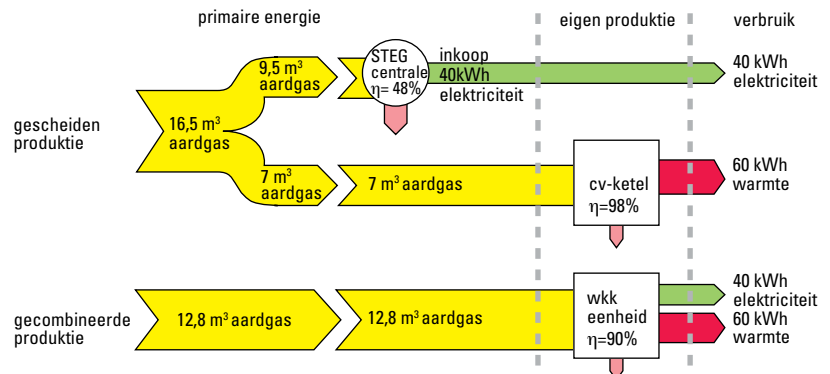
Zowel gasmotoren als -turbines hebben het nadeel dat ze een hoge uitstoot van stikstofoxide (NO_x) veroorzaken. Deze uitstoot is drie (bij gasturbines) tot zeven (bij gasmotor) maal zo hoog als die van een HR-ketel.

In een brandstofcel wordt gas direct omgezet in warmte en elektriciteit. Een

elektrisch rendement van 44 % (bovenwaarde) en 90 % totaal rendement worden nu al gehaald. NO_x uitstoot is te verwaarlozen en de systemen zijn erg stil.

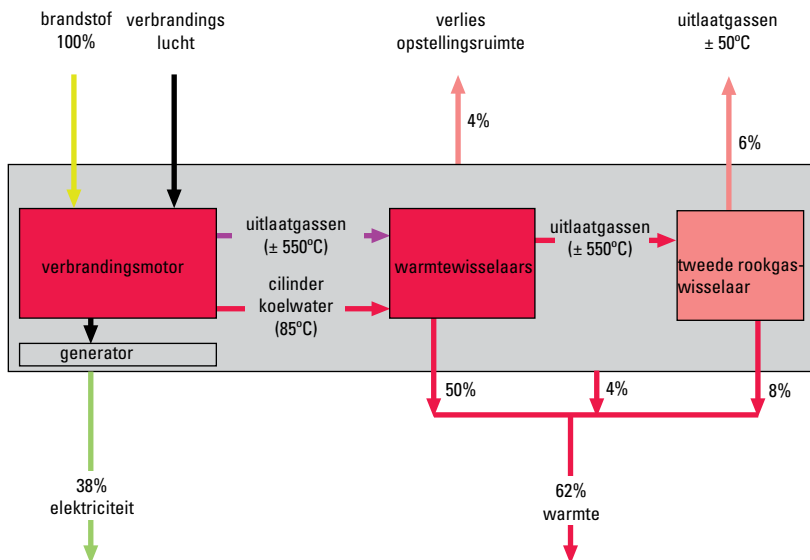
Zeer hoge elektrische rendementen tot 50% op bovenwaarde en een lage uitstoot van NO_x worden gehaald met een combinatie van een Stoomgenerator En Gasturbine, de zogenaamde STEG-centrales. Dat rendement daalt wel als er warmte wordt afgetapt. Het totaal rendement blijft daarom steken op 80 %. Daar gaat 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

Afb. 137



Afb. 138



Afb. 138

Weringsprincipe van een wkk-eenheid. Rendementen op onderwaarde.

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 onge-

stoorde draaiuren kan maken. Veelvuldig starten en stoppen is funest voor de levensduur. Kies het vermogen niet te groot en zorg voor voldoende buffer.

7.3.5 Biomassa ketel

Dit zijn ketels waarin biomassa wordt verstoekt:

- **hout blokken.** 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 plantsoenen-dienst die kan aanleveren. Vaak een lokale bron en daarom aantrekkelijk. Ketels kunnen volledig automatisch werken. Er is een grote voorraad nodig (1 m^3 snippers heeft de verbrandingswaarde van 80 m^3 gas). Snippers moeten minimaal een jaar drogen, natte snippers branden



wel, maar 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. Dit is te verstoken in normale olietanks 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 die van aardgas. Ook onderhoud aan de installatie is meer dan we van een gasinstallatie gewend zijn.

Biomassa is een duurzame brandstof omdat de CO_2 die bij verbranding vrijkomt, kort daarvoor door de planten is gebonden. Het is echter niet 100% duurzaam omdat voor verwerking en transport wel fossiele brandstof wordt gebruikt (denk ook aan kunstmest) zeer globaal kunnen we stellen dat biomassa voor 80 % duurzaam is, maar er zijn soorten met een sterk negatieve impact zoals palmolie, omdat daarvoor vaak tropisch regenwoud wordt gekapt.

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 verwarmd worden. 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 is beperkt tot circa 50 kW/km^2 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 (zonne)warmte.

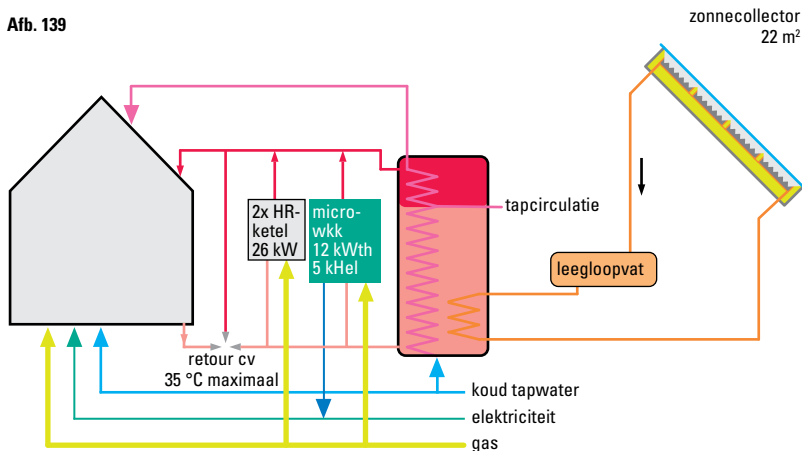
7.3.7 Cascade opstelling

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



Afb. 139



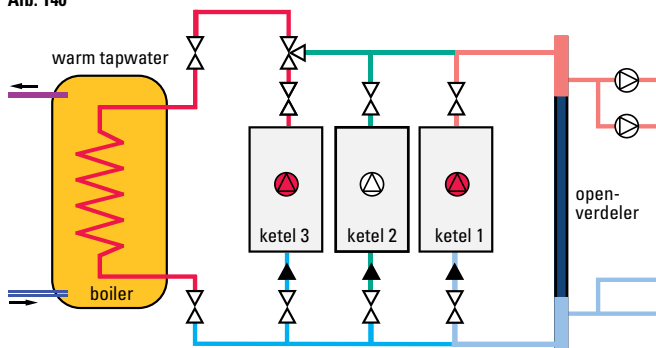
Afb. 139

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 zonne-boiler, mini-wkk, en twee HR-ketels. Realisatie: 1997.

In de woning:

- vergrote radiatoren
- HR⁺⁺-glas
- gebalanceerde ventilatie met wtw
- gas voor koken
- alle energie individueel afgerekend
- regenwater voor toiletspoeling
- waterbesparende maatregelen

Afb. 140



Afb. 140

Voorbeeld van een cascade-opstelling met voorkeurschakeling voor warmtapwater. Bron: [147].

geïnstalleerd om altijd te kunnen leveren.

- De eenheden zijn zo aan testuren 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 ketel op temperatuur 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 col-

lectieve installaties dus veel voordelen boven de traditionele opstelling van twee grote eenheden.

Opmerking

Let erop 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.

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 temperatuur niveau voor ruimteverwarming lager is. De installatie bestaat uit zonnecollectoren met aanvullende voorzieningen voor opslag en distributie. Voor een zoneboilercombi is 5 tot 10 m² collector nodig.

De naverwarmer kan in het opslagvat geïntegreerd zijn of apart aan het opslagvat gekoppeld worden.

Door deze koppeling werkt de opslag ook voor de naverwarmer en kan een zoneboilercombi ook de zeer kleine vermogens 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 (§ 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 de EPC.
- Zie voor een uitgebreidere toelichting op **zonnecollectoren bij warmtapwater** (§ 9.3.5).

7.3.9 Warmte/koude-opslag (WKO)

Het opslaan van warmte is een belangrijk onderdeel van verschillende systemen voor duurzame energie en andere energie-efficiënte installaties. Door gebruik te maken van warmte-opslag wordt het rendement van dergelijke systemen vergroot. 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 van 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 zoneboilersysteem. 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 afb. 133 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. Dit is een uitbreiding of verbetering van de normale bronsystemen die bij warmtepompen worden gebruikt. Door in de zomer de temperatuur van de opslag op te voeren richting 20 °C kan de COP van de warmtepomp in de winter met een punt verhoogd worden (bijvoorbeeld van 5 naar 6).

*Langere of lange termijn/seizoensopslag.
Opslag temperatuur > 25 °C*

De warmte kan direct gebruikt worden

voor ruimteverwarming.

De opslag kan plaatsvinden in:

- Een 'aquifer'. 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 warmteverliezen 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) (Afb. 141).
- Een grote watervoorraad. Een grote inhoud is essentieel om de oppervlakte-inhoud verhouding gunstig te laten zijn en

Afb. 141

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.

Opdrachtgevers: Elan Wonen Haarlem, de Woonmaatschappij en Pré Wonen, energiesysteem: Eneco, adviseur: BOOM-SI en DWA.

Afb. 141



**Afb. 142**

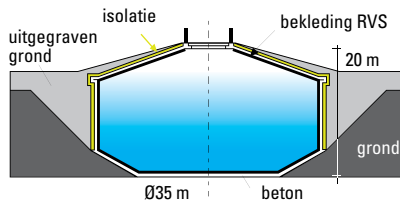
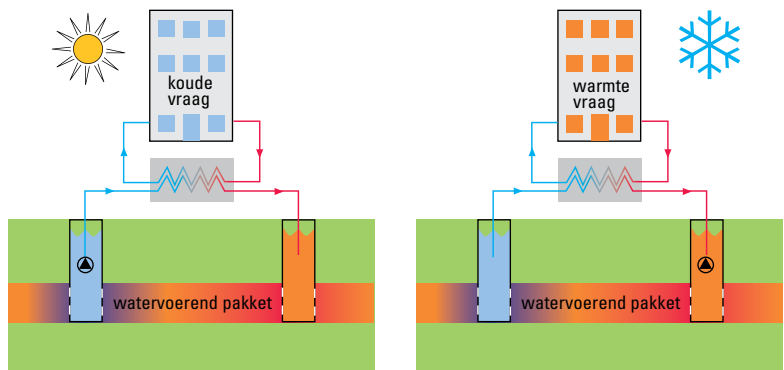
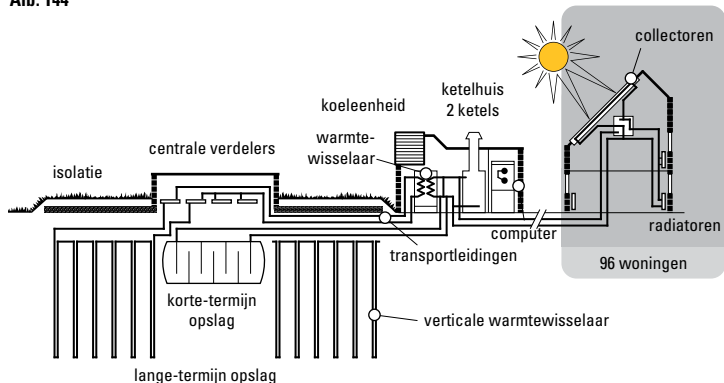
Seizoenopslag voor zonnewarmte in Friedrichshafen (Duitsland) voor een project met bijna 600 appartementen. De opslag bestaat uit een grotendeels ingegraven betonnen tank (12.000 m³). De tank is aan de binnenzijde bekleed met roestvrijstaal in verband met de waterdichtheid. Zonnecollectoren met een totale oppervlakte van 5600 m² leveren de warmte. Realisatie: 1996 [154]

Afb. 143

Principe aquifer. 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. 144

Seizoenopslag voor zonnewarmte 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 gas-ketels. Uit metingen blijkt dat de bijdrage van de zonne-energie aan de totale warmtevraag voor

Afb. 142**Afb. 143****Afb. 144**

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 (Afb. 142).

- Buizenstelsel in zand-, klei- en veenlagen. De (zonne)warmte wordt via een buizenstelsel aan de bodem afgegeven en weer teruggewonnen. De buizen kun-

nen ook opgenomen zijn in heipalen. Ook bij het buizenstelsel mogen er natuurlijk geen grondwaterstromen zijn. De grond massa waar de buizen inzitten moet



Afb. 145



zonder isolatie

met isolatie

aan de bovenzijde en rondom zeer goed geïsoleerd worden. Hoge temperaturen zijn mogelijk

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 leidinglengte 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:
 - warmte-krachtkoppeling;
 - industriële restwarmte;
 - warmtepomp;
 - biomassa;

- **seizoensopslag met zonne-energie** (Afb. 141);

- **geothermische energie of diepe aardwarmte** (§ 7.3.6).

- Door de grotere schaal van een collectief systeem kan bespaard worden op de capaciteit en de investering van de energie-opwekking: Bij een individuele cv-ketel bedraagt de capaciteit 10 tot 20 kW; bij een collectief systeem is slechts 3 tot 6 kW per woning nodig. In een collectief systeem kan immers gebruik gemaakt worden van de ongelijktijdigheid: het grootste deel van de tijd is er slecht 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

vervolg afb. 144

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 [156].

Afb. 145

Individuele afleverzet voor stadsverwarming met tapwaterverwarming via een platenwisselaar en warmtemeter. Let op perfecte isolatie. Een compact apparaat heeft de voorkeur (Bron NIBE).

**Afb. 146**

Rendement op primaire energie van een collectief systeem afhankelijk van het percentage bijstook en het verlies van het distributiesysteem. 3 GJ verlies is alleen haalbaar bij blokverwarming, 9 GJ of meer is gebruikelijk bij warmtelevering. Uitgangspunten: rendement WKK 34% elektrisch, 50 % warmte ; rendement bijstook (HR-ketel op 75°C) 90 %. Rendement van de centrale opwekking die vermeden wordt is 50 % conform NEN 5128. Alle rendementen op bovenwaarde.

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.

- Vaak wordt het gasnet achterwege gelaten. Bewoners moeten dan elektrisch koken wat een hoger energieverbruik (100 m³ae t.o.v. 65 m³ gas) en extra kosten met zich meebrengt.

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 warmtewis-

selaar 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.

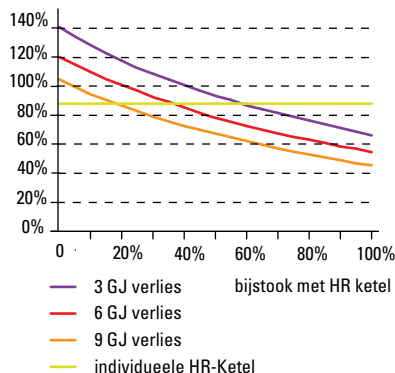
warmtapwater

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. 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. Dit veroorzaakt een groot energieverlies.
- Een apart distributienet voor warmtapwater. Dit net heeft een kleinere doorsnede en een lagere temperatuur en daardoor minder verliezen. Het warmtapwater moet apart bemeterd worden.
- Per woning een kleine boiler. Deze wordt twee keer per dag vanuit het distributienet 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

Afb. 146

rendement op fossiele brandstof





heeft dus een vrij laag verlies.

- Een elektrische boiler per woning. Zo'n boiler is sterk af te raden. Dit doet zeker alle besparing van het collectieve systeem teniet.

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 bouwblokken en is dus klein van

digde 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.

Bij de kleinere collectieve systemen kan voor de warmte-opwekking gebruik worden gemaakt van:

- warmte-krachtkoppeling;
- warmtepompen;

Afb. 147



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 hoofdpomp lever 75 tot 90% van de jaarlijkse beno-

- zonne-energie;
- biomassa-ketels of -WKK
- een combinatie van de vorige mogelijkheden.

Opmerkingen:

- Ontwerp een lage temperatuur afgifte-systeem in de woningen. Dit beperkt de verliezen in het systeem.
- Houd rekening met de ruimte in de woning voor een afleverset (Afb. 145); circa 0,3 (diepte) x 0,4 (breedte) x 0,6 m (hoogte).
- Ventileer de meterkast goed en isoleer

Afb. 147

Project Puntegale, het voormalige Rotterdamse belastingkantoor, is een multifunctioneel woon/werkcomplex [148]. 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. Opdrachtgever: Stadswonen, architect: De Jong Bokstijn architecten, aannemer: Moeskop's Bouwbedrijf.



- alle warme leidingen, koude tapwaterleidingen 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 **[146]**:
 - 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 door de grond zo veel mogelijk te voorkomen;
 - Collectieve leidingen zo veel mogelijk in ruimten te situeren die toch warmte nodig hebben (het warmteverlies komt dan nog ten goede aan deze ruimte);

7.4.1 Regeling

Regeling collectief gestookte cv-installaties

Het type regeling is afhankelijk van de wijze waarop tapwater wordt verwarmd. Als dit met het collectieve cv-net 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**' (**Afb.147**) is een voorbeeld waarbij een gebouwbeheersysteem is toegepast.

De warmte-afgifte in de woningen bij collectieve systemen moet minimaal geregeld worden met:

- Of 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.

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. De uitgave Warmtekosten, ieder z'n deel gaat uitvoerig in op individuele warmtemeting. Het artikel Individuele warmtemeting **[150]** laat zien dat ook na verloop van jaren warmtemeting veel energie bespaart.



NEN 7440 [151] en NPR 7441 [152] 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, zie ook [149]. Het gaat daarbij om het verdelen van de stookkosten voor algemene ruimten en leidingverliezen. Tussen buurwoningen met een verschillende temperatuur vindt warmte-overdracht 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 burens 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 convectator;
- verbruiksmeting per woning.

Verbruiksmeting per radiator of convectator

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 (Afb. 145)**. Per woning moet een 'centrale voeding' aanwezig zijn, d.w.z. één aanvoer- en één retourleiding. Om de warmtetoevoer 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. De mogelijkheden van de GSM technieken in deze zijn volop in ontwikkeling. Automatische koppeling met maandelijks incasso is niet ongebruikelijk

Voordelen:

- Eenvoudige incasso.
- Tussentijdse controle mogelijk op het goed functioneren van de installatie.
- Bij verhuizing vindt automatisch juiste verrekening plaats.



7.5 Meer informatie

- [136] ISSO Publicatie 49; Vloer-/wand-verwarming en vloer-/wandkoeling. ISSO, Rotterdam, 1999.
- [137] ISSO Publicatie 50; Kwaliteitseisen verwarmingsinstallaties woningen. ISSO, Rotterdam, 2002.
- [138] ISSO Publicatie 51; Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwen. ISSO, Rotterdam, 2000.
- [139] ISSO Publicatie 56; Inregelen van ontwerp volumestromen in individuele verwarmingsinstallaties in woningen. ISSO, Rotterdam, 2002.
- [140] ISSO Publicatie 58; Kwaliteitseisen voor luchtverwarmingsinstallaties in woningen. ISSO Rotterdam, 2003.
- [141] ISSO Publicatie 72 Ontwerp van individuele en klein elektrische warmtepompsystemen. ISSO, Rotterdam, 2006.
- [142] ISSO Publicatie 73. Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars. ISSO, Rotterdam, 2005.
- [143] Lage temperatuursystemen – méér comfort met minder energie; v Haalen & Partners i.s.m. V & L Consultants, uitgave: Novem, 1998.
- [144] NEN 2757, Toevoer van verbrandingslucht en afvoer van rook van verbrandingstoestellen. Eisen en bepalingsmethoden; NNI, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, mei 1997.
- [145] 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.
- [146] Energie in wervende woonmilieus; H. Korbee e.a., W/E adviseurs duurzaam bouwen, Gouda, uitgave: Novem, 1996.
- [147] Ontwerpregels voor cascade-cv-systemen; Gasunie te Groningen, 1996.
- [148] Puntegale Rotterdam; vouwfolders Voorbeeldprojecten Duurzaam en Energiezuinig Bouwen; uitgave: Nationaal DuBo centrum te Utrecht, 1998 en 1999.
- [149] Warmtekosten, ieder zijn deel – Energiebesparing door individuele warmtemeting bij collectieve cv-installaties; C. de Haan, WDC Advies en Beleid te Rotterdam, e.a., uitgave: Novem, 4e druk, 1997.
- [150] Individuele warmtemeting; J. van Asten, WDC Consulting, in: b+u februari 1999.
- [151] NEN 7440, Eisen voor de toepassing bij individuele kostentoerekening; uitgave 1989, NEN, Delft.
- [152] NPR 7441, Uitwerking van de eisen voor de toepassing bij individuele kostentoerekening; uitgave 1989, NEN, Delft.
- [153] Rabobank Pey-Posterholt; Vouwfolders Voorbeeldplannen Duurzaam en Energiezuinig Bouwen; Novem en SEV, uitgave: Nationaal DuBo centrum te Utrecht, 1998 en 1999.
- [154] Case Study: Solar district heating in Friedrichshafen, Germany <http://www.managenergy.net/products/R430.htm>.
- [155] Energie-efficiënte warmtevoorziening voor nieuwbouwwijk – warmtepomp/energieopslag in de wijk Broekpolder; DWA te Bodegraven, i.s.m. Novem, 1997.
- [156] Evaluatie van een grootschalige toepassing van zonne-energie met seizoenmatige warmteopslag te Groningen; DWA te Bodegraven, in



verbrandingstoestellen, eisen en
bepalingsmethoden, NEN, Delft,
2001.

- opdracht van: Novem, maart 1996.
- [157] www.heat-world.nl/lezen/milieu/normen_wetten.html
- [158] www.duurzameenergie.org
Vereniging ODE, Organisatie voor
duurzame energie.
- [159] www.EPK.nl De Stichting Ener-
gie Prestatie Keur stimuleert het
gebruik van energiezuinige, schone
en doelmatige woninginstallaties.
- [160] SOM WP Standaard opzet monito-
ring voor warmtepompsystemen in
de woningbouw. TNO 2001
- [161] [http://boa.stichtingwarmtepompen.
nl/](http://boa.stichtingwarmtepompen.nl/) Informatie over warmtepompen
en referentieprojecten.
- [162] www.stichtingwarmtepompen.nl
Website van de brancheorganisatie
van fabrikanten van warmtepom-
pen.
- [163] http://www.epk.nl/overzicht_2.asp
Informatie over keurmerken voor
warmtepompen.
- [164] Beoordelingsrichtlijnen BRL 6000
(0-18); Ontwerpen, installeren en
beheren van installaties. ISSO, Rot-
terdam, 2005
- [165] Handboek ruimteverwarming voor
woningen. Gastec, 1999.
- [166] www.idet.nl Informatiecentrum
duurzame energietechnieken,
Amersfort.
- [167] [www.uneto-vni.nl/index.
asp?directory=03%20publicatie-
platform](http://www.uneto-vni.nl/index.asp?directory=03%20publicatie-platform)
- [168] NEN 5070 Geluidwering in gebou-
wen - Bepalingsmethoden voor de
grootheden voor luchtgeluidisolatie,
contactgeluidisolatie, geluidwering
van scheidingsconstructies en
geluidniveaus veroorzaakt door
installaties; NEN, Delft, 2001.
- [169] NEN 2757 - Toevoer van verbran-
dingslucht en afvoer van rook van





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. Wanneer uit bepaling van het aantal warmteoverschrijdingsuren in de zomer blijkt dat een koelsysteem wenselijk is, pas dan een koelsysteem toe dat gevoed wordt met hoge temperatuur ($\geq 16\text{ }^{\circ}\text{C}$). 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

Initiatieffase/haalbaarheid/projectdefinitie

- Let op de oriëntatie van de ramen. Vooral de westelijke richtingen geven een verhoogd risico.
- Reserveer budget voor zonwering als integraal onderdeel van het gebouw.
- Maak een principe keuze voor mogelijke vloerbedekking: zachte vloerbedekkingen zijn minder geschikt voor vloerkoeling vanwege het risico op **condens onder de vloerbedekking** (§ 8.2.1).
- Stel het gewenste zomercomfort vast als het maximale aantal uren per jaar dat $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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-/koude-opslag; reserveer ruimte voor deze voorziening in het terrein (§ 8.3.4).
- Neem in het ontwerp inbraak- en regeninslagvrije luiken of klepraampjes op voor zomernachtkoeling.
- Overweeg ventilatie via **grondbuizen** (§ 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 (§ 7.3.3).

Definitieontwerp / Technisch ontwerp

- Detaillering van de zonwering; grondbuizen; luiken voor zomernachtkoeling.
- Denk aan eenvoudige en logische bediening van deze voorzieningen.
- Maak een controle berekening van de temperatuur-overschrijdingsuren.
- Neem in een gebalanceerde ventilatie-unit altijd een **bypass** voor de zomer op, liefst met automatische regeling (§ 6.6).
- Werk het bodemsysteem voor een warmte-/koude-opslag uit, inclusief de ontwerpberoeeningen op koelvermogen en de koelcapaciteit gedurende 10 jaar.
- Controleer de opstelplaats van een warmtepomp op afmeting, geluid en trillingen.
- Reserveer de plaatsen van de **verdelers en verzamelaars** voor een vloer- of wandkoeling.
- Ontwerp het regelsysteem voor koelen.

Uitvoering / gebruik / exploitatie

- Controleer het legpatroon van vloer-/wandkoeling (§ 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) [167; 174].
- Houd de 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 (zon-instraling, 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 kwamen daar aan de orde:

- Voldoende **spuivoorzieningen** (te openen ramen): hoofdstuk 6.2.1.
- Gebruik maken van energiezuinige elektrische apparatuur met een lagere warmteafgifte: **hoofdstuk 10**
- **Zonwerend glas**: glas waarmee zonnewarmte effectief geweerd wordt en daglicht wel wordt doorgelaten: § 5.2.2
- **Buitenzonwering**: § 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: § 5.3
- **Nachtventilatie**: de koele nachtlucht

wordt gebruikt om het gebouw af te koelen. Het effect hiervan is groter bij voldoende thermische massa: § 6.8

- Vóór-koelen van de toevoerlucht met een **grondbuis**: hoofdstuk 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 [170].

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**" (§ 7.2). Tot deze systemen behoren:

- vloerkoeling/wandkoeling
- 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 condensvocht 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 tus-

sen buis en isolatie. Dit kan schijnbaar "lekkage" veroorzaken.

8.2.2 Koelvloer en -wand

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 (§ 7.2). De warmte wordt afgevoerd door circulatie van koud water in leidingen in de vloer of de wand. Deze koeling wordt als zeer comfortabel ervaren omdat er geen hinderlijke tocht optreedt en een gelijkmatige 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/m². Ook bij vloerkoeling moet de ontwerper dus bouwkundige maatregelen nemen om de koelvraag te beperken. Zonnewarmte die op een gekoelde vloer valt, wordt zeer



Afb. 148

Lage temperatuur
vloerverwarming.

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 de vloer op de juiste temperatuur te houden en zo condensproblemen te voorkomen, kan de wateraanvoertemperatuur verhoogd worden door bijmenging met retourwater.

Een aan/uit regeling op de retourtemperatuur (het opgewarmde water dat uit de vloer komt) is voor woningen minder geschikt. Er kunnen dan plaatselijk toch te lage temperaturen in de vloer 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.

8.2.3 Betonkernactivering

Een bijzondere vorm van een 'hoge temperatuur koelsysteem' is **betonkernactivering**. Het principe is gebaseerd op accumulatie van warmte (§ 7.2) en

Afb. 148



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 koudeopwekking.

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 koude lucht. De totale afgifte kan daardoor 60 W/m² 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 tochtklachten 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 condensvocht 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 airconditioning-

systemen 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 condensbak. Deze moet regelmatig geleegd worden. De regeling (veelal 'aan/uit') is op het apparaat aangebracht. Mobiele airco's hebben een slecht rendement (*Afb. 149*) en moeten gezien worden als absolute noodoplossing. Wanneer in een woning geen rekening is gehouden met het beperken van de temperatuur overschrijding wordt volgens de EPN **[172]** uitgegaan van het koelen van de overtollige warmte door middel van

Afb. 149

Een voorbeeld van een mobiele airco met condensopvangbak.

Afb. 149



**Afb. 150**

Een split-unit heeft een tochttrisico en ontsiert de gevel.

zo'n mobiele airco. Er wordt dus vanuit gegaan dat de bewoners te zijner tijd zo'n apparaat aan zullen schaffen om te hoge temperaturen in de woning te voorkomen.

Split-unit

Dit systeem bestaat uit twee delen: een afgifte deel 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 (*Afb. 151*) 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 deellast 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 (§ 7.3).

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

Afb. 150

ook op de condensafvoer. 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 inblaas temperatuur gemaakt. Alternatief is een speciale kamerthermostaat voor koelen en verwarmen. Let op dat een standaard kamerthermostaat voor verwarmen niet geschikt is om koeling te regelen. Alleen door de luchthoeveelheid te regelen kan de koudeafgifte aangepast worden op de vraag per ruimte.

8.3 Koude-opwekking

Wanneer de ruimtetemperatuur hoger is dan een ingestelde waarde zal er een koudevraag zijn. Hierdoor zal de koudeopwekking 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 compressie-koelmachine, 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.

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 condensatiewarmte wordt afgevoerd. Vervolgens vindt in het

expansieventiel 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 (Afb. 151). 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.

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

Afb. 151

Enkele voorbeelden van koelers met bijbehorende COP. Hoe hoger de COP hoe lager het primaire energieverbruik.

PER: rendement op primaire energie.

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 ozonlaag, maar hebben wel een sterk broeikas effect 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 [171]. 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.

Afb. 151

systeem	COP	PER
Mobiele airco	1,5 - 2,0	0,6 - 0,8
Split-unit	2,5 - 3,5	1,0 - 1,4
Compressiekoelmachine	3,0 - 4,5	1,2 - 1,8
Absorptiekoelmachine (gas)	-	0,6 - 1,0
Absorptiekoelmachine (restwarmte)	8,0 - 12,0	3,2 - 4,8
Warmtepomp in zomerbedrijf (bodem/ grondwater)	4,0 - 5,0	1,6 - 2,0
Vrije koeling op bodemwisselaar	8,0 - 16,0	3,2 - 6,4
Vrije koeling op grondwater	10,0 - 20,0	4,0 - 8,0



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, § 7.3) 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 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 (§ 7.3).

8.4 Meer informatie

- [170] ISSO Publicatie 43: Concepten voor klimaatinstallaties. ISSO, Rotterdam.
- [171] www.stek.nl; Stichting erkenningsregeling voor de uitoefening van het koeltechnisch installatiebedrijf.
- [172] NEN 5128 energie prestatie van woongebouwen, 2004.
- [173] www.agentschapnl.nl/ROB (www.senternovem.nl/ROB); informatie over de alternatieven voor broeikasbevorderende koudemiddelen.
- [174] www.mijnhuisinstallatie.nl; online opstellen van een gebruiksaanwijzing voor particulieren.



Het energieverbruik voor verwarming van tapwater is ongeveer even groot als 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 energiegebruik voor het verwarmen van tapwater wordt bepaald door de hoeveelheid warmwater die gebruikt wordt, de gevraagde watertemperatuur, de leidingverliezen en de efficiëntie van het warmwater-toestel.

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, gebruikersvoorlichting). Daarnaast kan warmte worden teruggewonnen (douche-wtw) en kunnen duurzame bronnen worden ingezet (zonne-energie, ventilatielucht).

In dit hoofdstuk komen achtereenvolgens aan de orde:

- **Tapwatervraag:** § 9.1 behandelt de hoeveelheid water (debiet) en de watertemperatuur. Hier worden comfortklassen, waterbesparende voorzieningen, warmteterugwinning uit douchewater en hot-fill-apparatuur beschreven.
- **Leidingverliezen:** § 9.2 behandelt de leidingverliezen tussen de tappunten en het

opwekkingstoestel en de ringleidingen in collectieve systemen.

- **Opwekkingstoestellen:** § 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).

DEELCHECKLIST warmtapwater

Initiatieffase/haalbaarheid/projectdefinitie

- Maak keuze voor de comforteisen met betrekking tot de gewenste temperatuur, de taphoeveelheden en de wachttijd aan de tappunten (§ 9.1, § 9.2.1).
- Maak een keuze voor de mate van duurzaamheid.
- Maak een keuze voor **hot-fill apparatuur** (§ 9.1.4).
- Reserveer budget voor een zonneboiler en een douche-wtw.

Structuurontwerp / voorontwerp

- Maak een keuze voor het type **warmwatertoestel** (combiketel) (§ 9.3).
- Ontwerp de plaats van dit toestel dicht bij de keuken en de badkamer (§ 9.2.1).
- Houd voor de opstelplaats van een **warmtepompboiler** rekening met geluid en de combinatie van ventilatielucht afvoer en warmtapwatertoestel op dezelfde plek (§ 9.3.6).
- Zorg voor een dakoppervlak op zuid dat nu of in de toekomst geschikt is voor een **zonneboiler** (§ 9.3.5).
- Kies het type **zonneboiler** met opslag onder, boven of gecombineerd met de collector (§ 9.3.5).
- Ontwerp de plek voor de **douche-wtw** "onder" de douche (§ 9.1.3).
- Ontwerp een kort leiding tracé voor geïsoleerde warmtapwaterleidingen. Deze zijn bruto circa 50 mm (dus incl. isolatie).



Definitieontwerp / Technisch ontwerp

- Kies het **warmwatertoestel** (§ 9.3).
- Let bij de keuze van een combiwarmtepomp vooral op het rendement voor tapwater. Dit is bepalend voor de totale prestatie.
- Kies de **waterbesparende voorzieningen** (kranen, douchekop, perlators) (§ 9.1.1).
- Zorg voor een **thermostatische mengkraan** als er voor een douche-wtw is gekozen (§ 9.1.3).
- Detailleer de opstelplek van het toestel.
- Detailleer de zonneboiler en het verbindende leidingwerk (afschot, beugeling, isolatie) (§ 9.3.5).
- Kies de plaats voor de display van de zonneboiler.
- Neem **hot-fill aansluitingen en hot-fill voorschakelkastje op** (§ 9.1.4).
- Detailleer de zonnecollector op het dak (integratie met de dakdoos bijvoorbeeld) (§ 9.3.5).
- Detailleer het **leidingtracé** tussen toestel en tappunt (§ 9.2).
- Detailleer de douche-wtw opstelling en inspectie mogelijkheid (§ 9.1.3).

Uitvoering / gebruik / exploitatie

- Controleer de warmtapwater leidingen op lengte, isolatie en beugeling voor dat ze weggewerkt worden (§ 9.2).
- Controleer het leidingwerk van de zonneboiler op isolatie, beugeling en afschot. Let op temperatuurbestendigheid (> 160 °C) (§ 9.3.5).
- Controleer de **isolatie** van de rioolafvoer tussen doucheputje en douche-wtw (§ 9.1.3).
- Controleer geluid van een warmtepompboiler. Bij twijfel: voer een meting uit.
- Controleer de **luchthoeveelheid** van de warmtepompboiler (§ 9.3.6).
- Zorg voor de gebruiksinstructies voor toestel, douche-wtw, zonneboiler, hot-fill.
- Bied hot-fill apparatuur aan of een voorschakelkastje (§ 9.1.4).
- Controleer de instellingen van het toestel: **comfortstand** en **"naverwarming zon"** (§ 9.3.3, § 9.3.5).
- Onderhoud het toestel en de zonneboiler regelmatig en houd 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 °C; winter > 30 °C.

9.1 Tapwatervraag, tappunten

Tapdebiet 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 (Afb. 153).

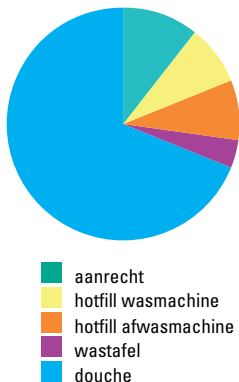
9.1.1 Waterbesparende voorzieningen

Waterbesparende voorzieningen zijn tegen relatief geringe meerkosten te realiseren. De terugverdientijd is vaak korter dan een jaar. Let erop dat bij doorstroomtoestellen in combinatie met waterbesparende voor-



Afb. 152

(L van 60 °C)/dag.woning



zienen de **tapdrempel** van het toestel laag genoeg is omdat anders het toestel niet aanslaat (§ 9.3).

Spaardouches

Binnen de groep spaardouches zijn er grote verschillen qua waterverbruik. Kies daarom voor douchekoppen voorzien van KIWA klasse-Z. Een zuinige douchekop laat gemiddeld zo'n 5 à 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 [176]. Uit dit onderzoek blijkt bovendien dat men niet langer gaat douchen wanneer er een spaardouche is aangebracht (t.o.v. de situatie met een onzuinige douchekop).

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 douche-

Afb. 152

De verdeling van het warmtap-waterverbruik over de tappunten. De vraag in de keuken wordt gekenmerkt door veel korte tappingen, bij douche- of badgebruik is de tapduur juist lang. Een hotfill (af)wasmachine heeft weer een aantal korte tappingen achter elkaar.

Afb. 153

Het CW-label is in zes klassen verdeeld, per klasse wordt aangegeven voor welke toepassingen een toestel geschikt is.

Afb. 153

klasse	toepassingen	tapdebiet			vermogen of voorraad*	
		keuken(60 °C)	douche(40 °C)	bad(40 °C)	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 en 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 het vermogen of de voorraad van een toestel aangegeven die ongeveer nodig is om de gewenste hoeveelheid water te kunnen leveren. Een douche-wtw levert naast het toestel extra vermogen!

**Afb. 154**

Indicatie mogelijke besparingen per huishouden per jaar door water- en energiebesparende voorzieningen [176].

kop. Bij sommige éénhendelkranen 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 (Afb. 154).

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 [www.legionellavraagbaak.nl].

Zolang het water in een leiding regelmatig ververscht 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. Let er ook op dat een koudwaterleiding

Afb. 154

	waterbesparing	energiebesparing
	in m ³ /jr	in m ³ a.e./jr
spaardouche klasse Z	10	45
doorstroombegrenzers op kranen	2 - 3	10
kranen met besparende regeling	1 - 2	5
optimalisatie leidingen	0 - 10	0 - 50
hot-fill wasmachine	0	10 - 30
'normale' vaatwasser als hot-fill	0	5 - 20
wtw douchewater	0	65



voor drinkwater niet opgewarmd wordt door een naburige warme leiding (voor tapwater of cv). Veel legionella besmettingen vinden plaats vanuit zo'n opgewarmde koudwaterleiding. Het isoleren van de warm- en de koudtapwaterleidingen 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.

Voorraadtoestellen met een lage watertemperatuur vormen een risico. Door vóór het gebruik het water gedurende enige tijd tot minimaal 60 °C te verwarmen, zijn geen problemen te verwachten. Kies in elk geval een toestel 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. Voor deze collectieve installaties is de beheerder verplicht een Legionellaprotocol op te stellen. Op 28 december 2004 zijn de nieuwe regels met betrekking tot Legionellapreventie in leidingwater van kracht geworden. De reikwijdte van de Legionellawetgeving is hierbij ingeperkt tot collectieve installaties vallend onder de midden/hoog risicocategorie. De overige collectieve installaties zoals collectieve systemen in woongebouwen, vallen onder de zorgplicht in het kader van het Waterleidingbesluit, [194].

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 zeer effectieve 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 weggegooid wordt. Er is een besparing van 30 tot 40 % op verwarming van het douchewater mogelijk. Systemen:

- De warmteterugwinunit bestaat uit een koperen buis-in-buis warmtewisselaar die verticaal wordt gemonteerd. 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 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.
- Tenslotte is er een douche-wtw die ingebouwd is in een systeem om douchewater te benutten voor toiletspoeling [193].

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. Bijvoorkoor loopt de overstort in een toilet.
- De douche-wtw wordt voorzien van een dubbele scheiding. Bij een lek in de wisselaar gaat die druppelen zonder dat er een besmetting van het drinkwater kan ontstaan.

De inlaatzijde van de douchewater-wtw wordt aangesloten op het drinkwaterleidingssysteem. De uitlaat kan aangesloten worden op:

- Zowel op de koudwateraansluiting van de douchemengkraan als van het warmwatertoestel. Dit levert de grootste besparing op.
- Alleen op de koudwateraansluiting van het warmwatertoestel (25 % minder besparing).
- Alleen op de koudwateraansluiting van de douchemengkraan (15 % minder besparing).

De douchewater-wtw kan in een leidingsschacht worden aangebracht, maar inspectie van de onderzijde van de wisselaar via een luikje of dergelijke moet wel mogelijk zijn. Bij een defect moet het mogelijk zijn om de douche-wtw te vervangen zonder dat daarvoor veel gesloopt moet worden. De levensduur is minimaal 30 jaar. De afvoerleiding tussen het doucheputje en de douche-wtw moet geïsoleerd worden om de opbrengst te optimaliseren.

Het plaatsen van de douchewater-wtw in de meterkast is toegestaan mits er rekening wordt gehouden met compartimentering (indeling) van de meterkast volgens NEN 2768, "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.

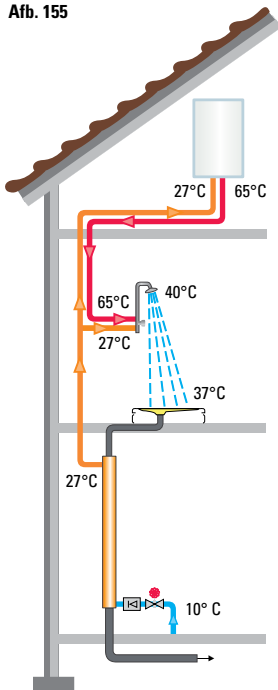
Het duurt even voor het uitgaande water op temperatuur is. Om daar geen last van te hebben onder de douche is het noodzakelijk om een thermostatische mengkraan te gebruiken.

Aandachtspunten

- Een CW-3 toestel met een douche-wtw levert hetzelfde warmtapwaterdebiet als een CW-5 toestel zonder douche-wtw. De douche-warmtewisselaar verhoogt dus het comfort aanzienlijk.
- Schoonmaakmiddelen op basis van kalksuspensie mogen niet toegepast worden. Deze koeken namelijk aan op de wand van de warmtewisselaar. De warmteoverdracht neemt daardoor sterk af.



Afb. 155



Overigens verdwijnt deze aanslag weer als overgegaan wordt op een ander schoonmaakmiddel. Vermeld dit in de bewonersinstructie.

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. 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% (Afb. 154).

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 bouwster 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 machine gaat.

Afb. 156



9.2 Leidingen (tapwaterdistributie)

9.2.1 Leidingen in de woning

In veel woningontwerpen is de afstand tussen het warmwatertoestel en het

Afb. 155

Weringsprincipe van de verticale douchewater warmteterugwinning. Bron: Technea Duurzaam.

Afb. 156

Voorschakelkastje bij hot-fillaansluiting voor een standaard wasmachine.



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 situeren van de warmtebron, meestal een combiketel, 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. Een korte leiding wordt in de EPC beloofd met maximaal zo'n 0,07 punt (**Afb. 22**).

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. 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 verversd 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 verversd 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 [192].

De totale wachttijd bij het keukentappunt tot het bereiken van een temperatuur van 45 °C is volgens de eisen van waarborg instellingen 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 perlatoren of douchekoppen! 10 tot 15 seconden is een tijd die mensen wel acceptabel vinden [179].

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 700 kWh elektriciteit (160 m³ a.e.) per jaar. Dat wordt in geld uitgedrukt niet goed gemaakt door de waterbesparing omdat er minder water ongebruikt wegstroomt.

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 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.

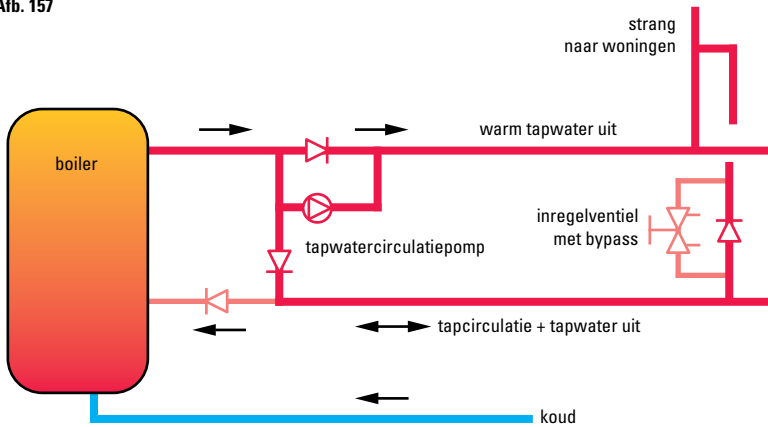
9.2.2 (Ring)leidingen collectieve installaties

Collectieve tapwaterverwarming in de woningbouw wordt vooral gerealiseerd bij:

- Kleinere collectieve installaties, bijvoorbeeld voor een bouwblok.
- Bij gebruik van duurzame energie zoals zonne-energie (**Afb. 174**).
- Bij gebruik van efficiënte vormen van energieopwekking zoals restwarmte of WKK (**§ 7.4**).



Afb. 157



Afb. 157

Een voorbeeld van een efficiënte ringleiding. Bij grote vraag kan via beide leidingen water naar de woningen stromen.

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 ringleiding 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 ringleiding is de toename van warmteverliezen door constante hoge temperatuur (60 à 65 °C) van de leiding. Zeer goed isoleren van de ringleiding is absoluut noodzakelijk. Er zijn systemen om de leidingenlengte 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 [179]. Ook systemen waarbij de retourleiding binnen in de aanvoerleiding zit, verdienen overweging (zogenaamde "Inliner-sets"). Perfect uitgevoerde ringleidingen 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 ringleidingen is korter dan een jaar.

Verder moet ruime aandacht besteed worden, ook in het beheer, aan het voorkomen van bacteriologische verontreiniging van het tapwatersysteem ('**veteranen ziekte**', § 9.1.2).

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:

**Afb. 158**

Warmteverlies van leidingen bij verschillende isolatiediktes. Het is duidelijk dat een ribbelbuis of een kale kunststof leiding geen isolerende werking van betekenis heeft.

- 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 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. Afbeelding 158 geeft waarden voor verschillende uitvoeringen.

9.3 Warmwatertoestellen

De volgende typen warmwatertoestellen zijn te onderscheiden:

- doorstroomtoestellen;
- voorraadtoestellen.

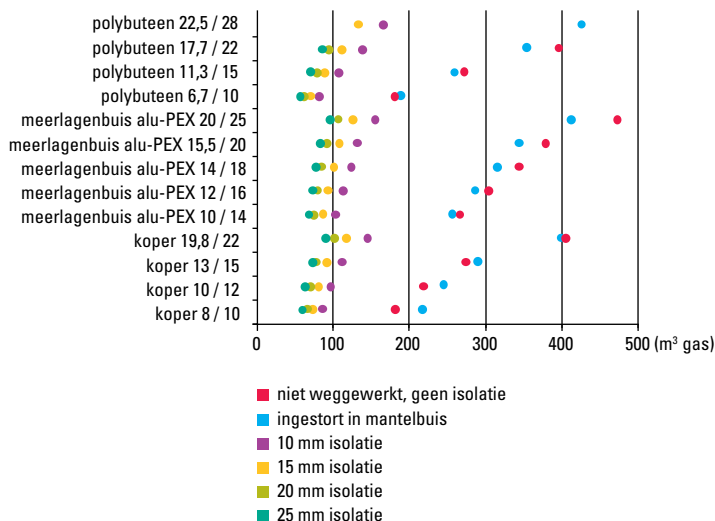
Beide typen kunnen uitgevoerd zijn als "solo-" of als combitoestel. In de nieuwbouw worden alleen nog gesloten toestellen gebruikt. Voor vergelijking van de verschillende toestellen zijn op internet diverse vergelijkingssites beschikbaar [189].

Gastoestellen moeten zijn voorzien zijn van het CE-keurmerk. Hiernaast kunnen zij zijn voorzien van één of meer van de volgende Gaskeurmerken:

- Gaskeur-HR (Hoog Rendement);

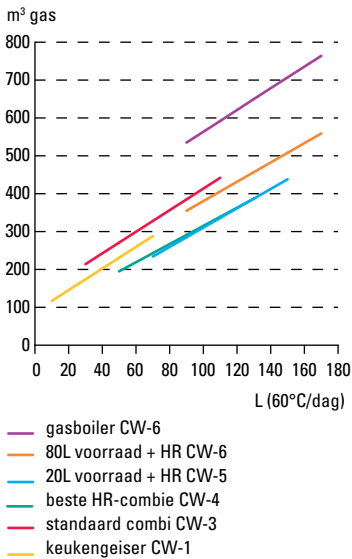
Afb. 158

Gasverbruik per jaar voor 12 m leiding op 60 °C binnen een gebouw





Afb. 159



- 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 (§ 9.3.5). Kies dus zeker een toestel met het Gaskeur-NZ.

Gaskeur CW (Comfort Warm Water)

Gastoestellen 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 (Afb. 153).

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 [175], (Afb. 159).

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 hetzelfde warmtapwaterdebiet als een CW-5 toestel zonder douche-wtw. Een CW-label garandeert een gebruiksrendement voor tapwaterverwarming van minimaal 50% (bovenwaarde) voor combitoestellen of 40% (bovenwaarde) voor niet-combitoestellen zoals geisers en gasboilers. Als het toestel naast het CW-label ook het HR-label voert, is dit rendement minimaal 60% op 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 (Afb. 160).

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 (waakvlam, warmhoudstand 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 CW-label. De in gelijkwaardigheidsverklaringen

Afb. 159

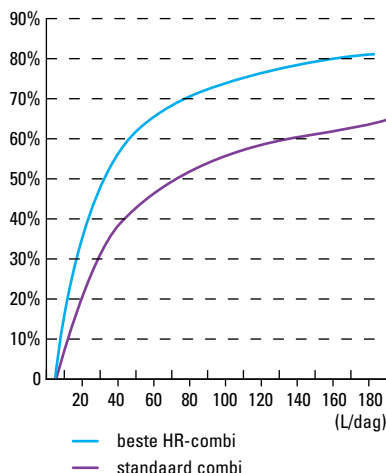
Het gasverbruik van verschillende toestellen afhankelijk van de vraag aan het toestel en het geboden comfort. Een hogere CW-klasse roept een grotere vraag op. Door het toepassen van warmwaterbesparing, douche wtw en zonneboilers, is er een dalende trend.

**Afb. 160**

Het gebruiksrendement is afhankelijk van de vraag. Het gebruik van een huishouden ligt tussen 60 en 180 L/dag.

opgenomen rendementen zijn echter theoretisch en vooral gericht op gebruik in de EPC berekening. In de praktijk liggen de rendementen door verschillende oorzaken lager. Bijvoorbeeld doordat de bewoner de **"comfortstand"** (§ 9.3.3) inschakelt om direct warm water 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 (Afb. 161).

Afb. 160**Tapdrempel**

Om een doorstroomtoestel in bedrijf te laten komen moet er een minimum hoeveelheid warm water getapt worden. Deze minimum hoeveelheid water wordt de tapdrempel van het toestel genoemd. De tapdrempel van de meeste doorstroomtoestellen ligt tussen 1 en 3 liter per minuut. Onder de tapdrempel ontsteekt de brander niet of treden er problemen op met de regeling van de watertemperatuur. Om problemen met waterbesparende voorzienin-

gen te voorkomen, moet men een toestel kiezen met een tapdrempel van maximaal 1,5 liter per minuut. Gezien dit aspect kiest men liever een toestel zonder tapdrempel (toestel met minimaal 10 L 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 tapdebiet van de toestellen kleiner is dan bij voorraadtoestellen zodat minder warm water (tegelijktijdig) wordt gebruikt.
- Goedkoper in aanschaf dan voorraadtoestellen.

Nadelen

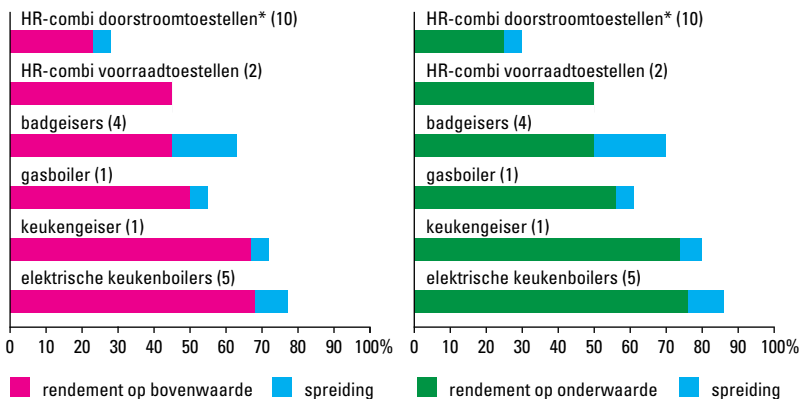
- Minder comfort dan bij een voorraadtoestel (tapsnelheid en toestelwachtijd).
- Gelijktijdig gebruik van verschillende tappunten is niet mogelijk.
- Tapdrempel: deze dient zodanig te zijn dat het toestel ook bij een geringe warmtapwatervraag in bedrijf komt. Dit is van belang bij de toepassing van waterbesparende voorzieningen als bijv. een spaardouche
- Kan geen erg klein vermogen leveren. Dat kan opspelen bij toepassing van een zonneboiler of een douche-wtw (Afb. 162).

Men kan in de praktijk kiezen uit

- Combiketels.
- Gasgestookte bad- of douchegeisers.
- In de ons omringende landen wordt ook wel een elektrisch doorstroomtoestel toegepast.



Afb. 161



* inclusief opwekkings- en transportverliezen elektriciteit () aantal geteste toestellen

Vanwege het inefficiënte omzettingsrendement en de hoge waarde van de elektrische aansluiting is dit geen optie voor de Nederlandse markt.

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 tappings tegelijkertijd mogelijk zijn.
- Geen toestelwachtijd (wel leidingwachtijd).

Nadelen:

- Het energie- en waterverbruik zal vaak

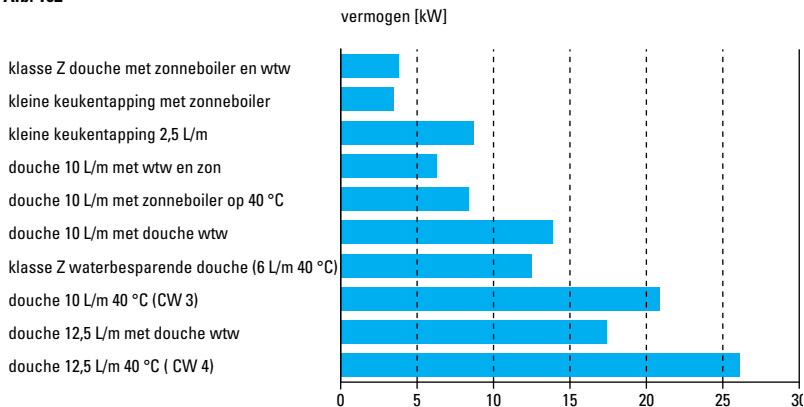
Afb. 161

Meetresultaten gebruiksefficiënties warmwatertoestellen [189]. Te zien is dat HR-combi ketels niet per definitie hoge gebruiksefficiënties halen. Let bij de keuze van een toestel vooral ook op de wachttijd van het toestel: deze moet zo beperkt mogelijk zijn.

Afb. 162

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.

Afb. 162





groter zijn dan bij een doorstroomtoestel als gevolg van het ruime tapdebiet van het voorraadtoestel (**Afb. 159**).

- De voorraad warm water kan opraken, waarna het soms 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.
- **Direct gestookte gasboilers,** deze hebben over het algemeen een matig rendement en een hoog stilstandverlies.
- **Zonneboilercombi of cv-zonneboilers** (plus cv-ketel), zie § 9.3.5.
- **Combiwarmtepomp,** zie § 9.3.7.
- **Warmtepompboilers,** zie § 9.3.6.
- Elektrische boiler, zie hieronder.

Opmerkingen:

Zowel kleine als grote elektrische boilers zijn sterk af te raden i.v.m. het hoge energieverbruik (in primaire energie). Dit geldt ook voor de elektrische keukenboiler. Bij een goed ontworpen installatie is die nooit nodig. Een grote elektrische boiler verbruikt circa 1800 kWh (450 m³ a.e.), een keukenboiler circa 700 kWh (170 m³ a.e.). Elektrische boilers zijn uit te voeren als hot-fill toestel waarbij het water eerst door een gasgestookt toestel wordt verwarmd. In de hot-fill boiler zit slechts een klein elektrisch verwarmingselement om het water uit de warme leiding zo nodig na te verwarmen en de stilstandverliezen te compenseren. Dat lijkt zuinig, maar uit be-

rekeningen blijkt dat de hot-fill versie een energieverbruik heeft dat vergelijkbaar is met dat van de volledig elektrische keukenboiler. Het levert dus geen besparing op. Een bijzondere vorm van elektrische keukenboiler is de "kokendwaterkraan". Dit is een kleine elektrische boiler met 3 tot 7 L inhoud die op een temperatuur boven de 110 °C wordt gehouden.

Via een speciale kraan kan daarmee kokend water getapt worden om snel koffie, thee of soep te maken. Als de kraan alleen daarvoor wordt gebruikt, is het verbruik circa 400 kWh per jaar, terwijl een waterkoker dezelfde prestatie levert voor 40 kWh. Wordt ook gewoon warmwater met de kraan getapt, dan zal het verbruik gelijk liggen met de gewone kleine keukenboiler (700 kWh). Overigens is de kraan zo geconstrueerd dat er geen gevaar voor verbranding is.

9.3.3 Combiketels

Een combiketel levert zowel de warmte voor ruimteverwarming als voor warm tapwater. Combiketels zijn de meest gebruikte toestellen in de huidige nieuwbouw. Combiketels zijn verkrijgbaar 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 hoog rendement 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 verwarmingsstelsel geleverd. Doorstroom(combi)toestellen kunnen voorzien zijn van:

- Een waterbuffer ('tappot' of 'tapvat') in het cv-deel van enkele liters. Deze buffer heeft als voordeel dat de ketel minder vaak hoeft 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.
- Een comfortregeling. Deze zorgt er voor dat naar keuze van de gebruiker het tapgedeelte van de combiketel op temperatuur blijft. Dit heft de toestelwachtijd vrijwel op, maar zorgt wel voor een hoog stand-by verlies en dus een lager gebruiksrendement. Dit nadeel is te beperken 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.

Combietoestel 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 koppelmecanisme. Ook volledig aparte montage is mogelijk. We spreken dan van een "indirect gestookte boiler" in plaats van "combivoorraadtoestel". De kleine voorraadcombi's hebben enerzijds een hoog taprendement en een laag stand-by verlies 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 ketels opgewekt en via collectieve leidingen naar een aantal woningen, of andere gebruikers, gedistribueerd.

Voordelen collectieve installatie:

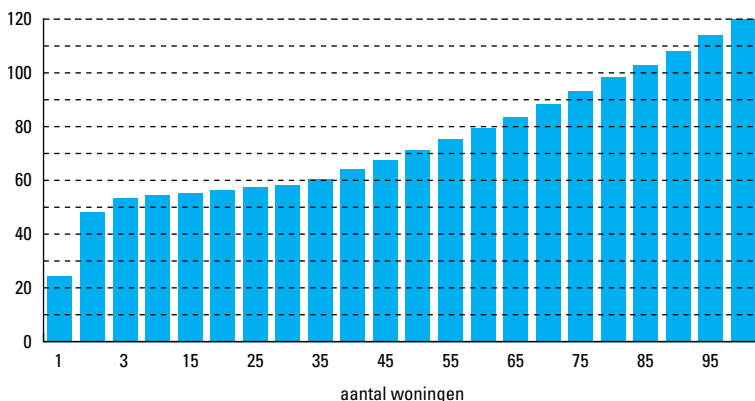
- Het ontbreken van een warmwatertoestel in de woning. Dit scheelt ruimte en er hoeft geen monteur de woning in voor onderhoud.
- Geen geluid van een ketel in de woning.
- Een collectieve installatie is bedrijfszekker doordat back-up vermogen kan worden geplaatst.
- Er is per woning maar een klein ketelvermogen nodig.
- Het efficiënter gebruik van duurzame bronnen.

**Afb. 163**

Ketelvermogen voor een collectief systeem bij een buffer van 10 L/woning [177]. Gedurende 99% van de tijd volstaat een vermogen dat hier maar een derde van is. Zorg dat de geselecteerde ketels dat (lage) vermogen probleemloos kunnen leveren.

Afb. 163

[kW] ketel vermogen



Nadelen collectieve installatie:

- **Leidingverliezen** § 9.2.2.
- Meer kans op **bacteriologische verontreiniging** van het tapwatersysteem (t.o.v. een individueel systeem), § 9.1.2.
- Het warmtapwater moet apart gemeten en afgerekend worden.

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. 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. Dit veroorzaakt een groot energieverlies (**Afb. 145**).
- 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 en die twee keer per dag vanuit het distributienet opwarmen. 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.
- Een elektrische boiler per woning is sterk af te raden. Dit doet zeker alle besparing van het collectieve systeem teniet.

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 twee ketels die samen het maximale benodigde vermogen kunnen leveren.
- 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 (*Afb. 163*). Als het vermogen te groot wordt, daalt het rendement 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 L 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 dag-

licht. 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 zonne-warmte 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 is maximaal als deze vrijwel op het zuiden is gericht, onder een hoek van 42°. Zie **afbeelding 166** 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 52°. Hierbij vangt de collector in de winter, bij lage zonnestand, meer energie in. We onderscheiden de vlakke plaatcollectoren 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 vlakke plaatcollectoren. 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 mogelijk om de buizen vrijwel horizontaal op een plat dak te leggen, terwijl de absorber toch naar het zuiden is gedraaid.

**Afb. 164**

Een vlakke plaatcollector links en vacuümbuis collector rechts.

Foto's Redenko/ZEN (links) en www.viessmann.nl/energieva-demecum (rechts).

Afb. 164**Afb. 165**

Overzicht van de verschillende typen zonneboilers.

Reken per bewoner met een collector-opervlak van circa 1 m². Extra oppervlak kost relatief weinig, maar bespaart wel naar verhouding op gas.

Systeemopbouw

Er zijn verschillende typen zonneboilers te onderscheiden (Afb. 165). 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:

- Terugloopsysteem (met pomp)
- Continu gevuld en gepompt systeem
- Thermosifon systeem
- Compact systeem



Terugloopsysteem met pomp **afb. 167**

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 terugloopsysteem is zo beveiligd tegen vorst en oververhitting. De vloeistof is (in ons land) vrijwel altijd normaal leidingwater zonder toevoeging. De meeste Nederlandse zonneboilers behoren tot dit gepompte systeem. Enige belangrijke aandachtspunten:

Afb. 165

type	werkingsprincipe:			navarwarmer	comfort
	gepompt	thermosifon	compact		
standaard				combiketel	als combiketel
compact				combiketel	als combiketel
cv-zonneboiler				cv-ketel	hoog
zonneboilercombi				ingebouwd	hoog



- De onderkant van de collector moet minimaal 0,2 m. 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 van 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

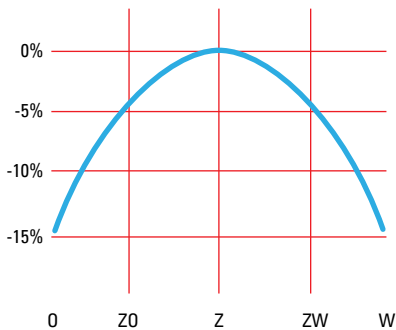
Bij de thermosifon zonneboiler ligt het voorraadvat boven de collector. Wanneer de collectorvloeistof in de collector

Afb. 166

Opbrengst zonnecollector (alleen voor tapwaterverwarming) in relatie tot oriëntatie en hellingshoek.

Afb. 166

vermindering van de opbrengst t.o.v. optimum



hellingshoek op het zuiden

0° 15° 30° 45° 60° 75° 90°

opbrengst t.o.v. optimum

90 97 100 100 98 92 80 %

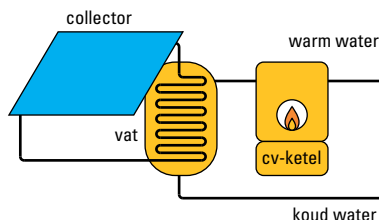
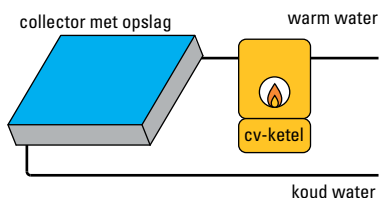
**Afb. 167**

De standaard zonneboiler. Er zijn zowel staande als liggende voorraadvaten verkrijgbaar.

Afb. 168

De compacte zonneboiler: Zonnecollector en voorraadvat zijn in één element geïntegreerd.

opgewarmd wordt, stijgt deze door natuurlijke werking naar het vat. De natuurlijke circulatie spaart ongeveer 50 tot 100 kWh (=15 à 25 m³ a.e.) per jaar voor de pomp uit. Om het circulatiesysteem tegen vorst te beschermen moet er een middel worden toegevoegd. Dit moet voorzien zijn van een KIWA/ATA-atteest. 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 warmtetransport 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.

Afb. 167**Afb. 168**

Compact systeem (Afb. 168)

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.

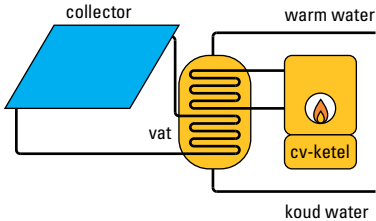
Opslag en naverwarming

Er zijn drie mogelijkheden voor opslag en naverwarming van tapwater, die elk gevolgen hebben voor het comfort.

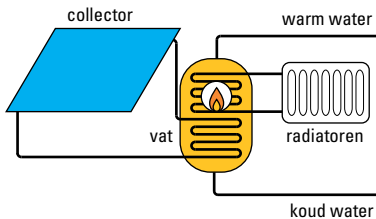
- Opslag en naverwarming zijn gescheiden. Meestal zorgt een combitoestel voor de naverwarming. Dit komt voor bij de 'standaard zonneboiler' (Afb. 167) en de 'compacte zonneboiler' (Afb. 168). Het tapcomfort is ten minste hetzelfde als dat van het combitoestel, mits dit voorzien is van het label "NZ" en een onderste modulatiegrens heeft onder de 3 kW (Afb. 162).
- Opslag en naverwarming zijn gecombineerd in één vat. Wel is er een apart naverwarmingstoestel (cv-ketel) dat zo nodig het water bovenin het opslagvat verder verwarmt. Men spreekt van een 'cv-zonneboiler' (Afb. 169). Het tapcomfort bij dit systeem is hoog.
- Opslag en naverwarming zijn met de ruimteverwarming gecombineerd in één toestel. Dit type zonneboiler wordt een 'zonneboilercombi' (Afb. 170) genoemd. Het tapcomfort is hoog. De **zonneboiler-combi** is zeer geschikt in combinatie met een ruimteverwarmingssysteem waarbij lage temperaturen worden gebruikt (§ 7.3.8). Dit type zonneboiler (uitgaande van een collectoroppervlakte van ruim 5 m²) bespaart globaal 75 à 100 m³ extra ten opzichte van zonneboilers (met een



Afb. 169



Afb. 170



Afb. 171



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 woon-eenheid. De naverwarming is individueel.
- 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, of de installatie

Afb. 172



Diversen

- Bij een individuele zonneboilerinstallatie moet direct na de naverwarmer een thermostatisch mengventiel gemonteerd zijn. Hierdoor wordt het water bij te hoge

Afb. 169

De cv-zonneboiler. Het systeem is vergelijkbaar met een indirect gestookte boiler.

Afb. 170

De zonneboilercombi. Dit type zonneboiler is een complete cv-ketel voor ruimte- en tapwaterverwarming.

Afb. 171

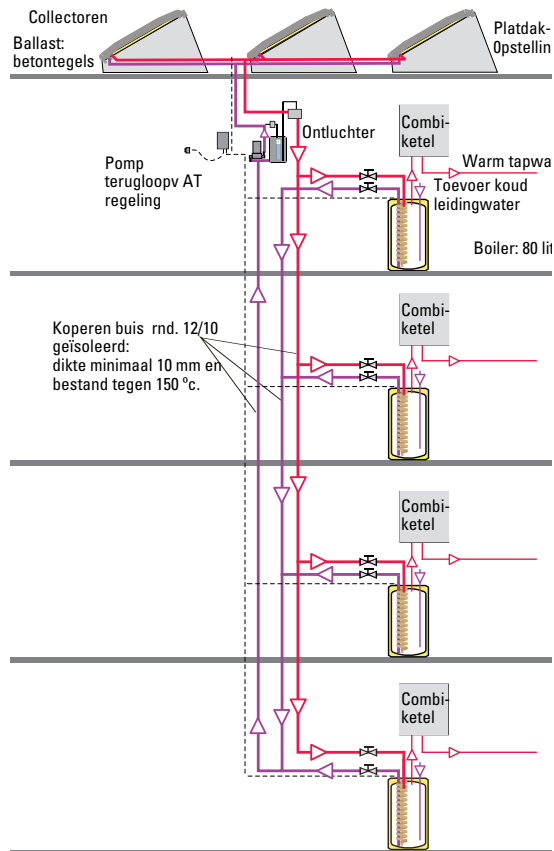
Voorbeeld van een compacte zonneboiler die op de nok van een dak geplaatst kan worden. Er zijn ook compacte zonneboilers voor in een hellend dak of op een plat dak. Foto: Inventum.

Afb. 172

Verschiedende voorbeelden van individuele zonneboilers in Delft (boven) en Boxtel (de Zonnegolven, architect: Tjerk Reijenga, HBG).

**Afb. 173**

*Collectief zonneboilersysteem
met individuele naverwarming en
opslag. Tekening Aton*

Afb. 173

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.
- Besteed veel aandacht aan de bouwkun-



dige 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. Op de website van de Stichting EPK is een overzichtslijst van systemen met een keurmerk beschikbaar. Het keurmerk kan van belang zijn voor het verkrijgen van subsidies.

Afb. 174



9.3.6 Warmtepompboiler

Een warmtepompboiler 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. (§ 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 fabrikaat. Het totale jaarrendement in primaire

energie bedraagt zo'n 90 à 140% op onderwaarde (80 à 130% op bovenwaarde). De laagste waarde is vergelijkbaar met een goede HR-ketel. Dan heeft het plaatsen van een warmtepompboiler dus weinig zin. Kies dus altijd een toestel in de hoogste rendementscategorie en eis daarbij een certificaat van een gerenommeerd keuringsinstituut. 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 afgenomen 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 (weerstandselement. Dat is allebei energieverspillend en dus ongewenst. Zorg ervoor dat de minimale ventilatiehoeveelheid van de warmtepompboiler overeenkomt met de minimum ventilatie van de woning.

Let op

Gebalanceerde ventilatie met warmterugwinning (uit de ventilatielucht) is niet te combineren met een warmtepompboiler omdat de warmte uit de ventilatielucht slechts toereikend is voor één van beide toepassingen.

Een speciale uitvoering van de warmtepompboiler gebruikt de retour van het cv-systeem als bron. In de zomer wordt de woning daar een beetje mee gekoeld. Het

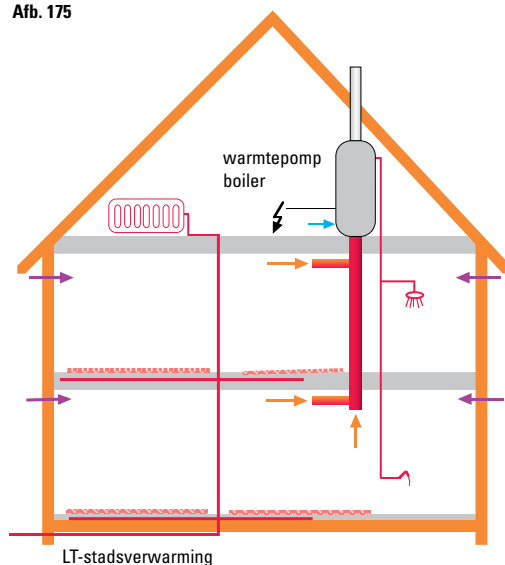
Afb. 174

Een collectief zonneboilersysteem op appartementencomplex Charivarius te Haarlem. Een project van Eco Energy en Pré Wonen Haarlem; aannemer Panagro, architect HMADP groep, adviseur BOOM-S/I Realisatie 2005. Foto: Eneco.

**Afb. 175**

Een schema en een voorbeeld
van een warmtepompboiler.

Foto wpboiler: Techneco
Duurzaam.

Afb. 175

rendement van dit systeem is hoger dan met ventilatielucht als bron. Toepassing in combinatie met gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning of stadsverwarming.

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 keukegeisers. 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 doorstroom toestellen niet mogelijk. Om een gelijkmatige belasting te krijgen en de ruimteverwarming niet in de weg te zitten, worden vrij grote voorraadvaten toegepast (> 150 L). De rendementen voor tapwaterverwarming die in gelijkwaardigheidsverklaringen zijn opgenomen gelden meestal voor klasse 4 (volgens NEN 5128), 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 nog ongunstiger. 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. Bedenk dat een moderne HR-combiketel een gebruiksrendement van 80 tot 90 % haalt in



klasse 4. 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. Houd rekening met een groter ruimtebeslag door de boiler en met geluid en trillingen door de warmtepomp zelf.

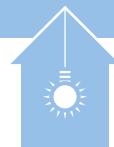
9.4 Meer informatie

- [175] Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers (BAK). EnergieNed, Arnhem, 2000.
- [176] Vademecum Drinkwater- en Warmwaterbesparing; Milieu-Centraal Advies e.a. Uitgave: SEV, Rotterdam en Novem, 1999.
- [177] Werkbladen Drinkwaterinstallaties; VEWIN, Rijswijk; www.infodwi.nl.
- [178] www.TNO.nl voor overzicht van gelijkwaardigheidsverklaringen voor warmtepompen en warmtepompboilers.
- [179] Optimalisatie warmtapwatersystemen door dubbelvoeden, door Ernest Israëls, VV+, nov 2008.
- [180] Typen en merken zonneboilers; www.hollandsolar.nl.
- [181] ISSO Publicatie 14. Zonneboilers, Ontwerp en Uitvoering. ISSO, Rotterdam.
- [182] ISSO Publicatie 59. Grote zonneboilerinstallaties. ISSO, Rotterdam, 1999.
- [183] www.legionellavraagbaak.nl.
- [184] ISSO Publicatie 55. Tapwaterinstallaties in woon- en utiliteitsgebouwen. ISSO, Rotterdam, 2001.
- [185] ISSO Publicatie 55.1. Handleiding legionellapreventie in leidingwater. ISSO, Rotterdam, 2005.
- [186] ISSO Publicatie 55.2. Zorgplicht legionellapreventie collectieve leidingwaterinstallaties. ISSO, Rotterdam, 2005.
- [187] ISSO publicatie 30.5. LegionellaCode Woninginstallaties. ISSO, Rotterdam, 2008.
- [188] Het ontwerpen van Sanitaire installaties. W.J.H. Scheffer, VNI (Vereniging van nederlandse installatiebedrijven), 2000.
- [189] www.consumentenbond.nl.
- [190] ISSO Publicatie 30.4 Warmteterugwinning uit douchewater (versie 2008).
- [191] ISSO Publicatie 30.5 LegionellaCode voor woninginstallaties (2008).
- [192] DH factoren van warmtapwateruittapleidingen, door Hans van Wolferen e.a TNO MEP, Verwarming en Ventilatie, febr. 2001].
- [193] www.ecoplay.nl.
- [194] www.vrom.nl
- [195] Energiezuinigbouwen met zonneboilers, Leidraad zonneboilers voor de projectmatige nieuwbouw, Senternovem/Duurzame Energie in Nederland; 2002.





10 Elektriciteit



Het beleid van de rijksoverheid is er op gericht dat in 2020 20% van het totale energieverbruik **duurzame energie** is (§ 2.1.2) en dat er een CO₂-reductie van 30% optreedt ten opzichte van 1990. De opwekking van duurzame elektriciteit zal daarbij een belangrijke rol moeten spelen. Binnen de gebouwde omgeving liggen vooral goede mogelijkheden bij fotovoltaïsche zonne-energie (PV), zo is de verwachting.

Daarnaast blijft besparing op het elektriciteitsverbruik alle aandacht vragen; denk hierbij aan:

- de toepassing van **zuinige installaties** voor verwarming en ventilatie (§ 10.1.1);
- de toetreding van **daglicht** optimaliseren waardoor minder kunstverlichting nodig is (§ 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 (§ 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. Wind-energie en gebruik van biomassa vallen

buiten het kader van deze uitgave omdat de mogelijkheden voor die bronnen vooral buiten de gebouwde omgeving liggen.

In § 10.2.2 wordt kort ingegaan op **wind-energie**.

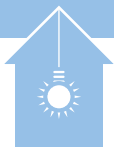
DEELCHECKLIST energiebewust ontwerpen: Elektriciteitsbesparing en duurzame elektriciteit

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 (§ 3.1).
- Overweeg de aanleg van een **gasnet**, óók bij een warmteleveringsnet (§ 10.1.2); dit met het oog op het stimuleren van koken op gas en een verdergaande duurzame energievoorziening op langere termijn.
- 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 § 4.3), mede ter beperking van het gebruik van kunstlicht.
- Reserveer ruimte voor het natuurlijk drogen van de was.
- Houd rekening met een (toekomstig) gebruik van PV-panelen in het ontwerp (dakvorm, dakoriëntatie en dakhelling). Voorkom beschaduwning door uitbouwen, dakdoorvoeren en bomen; leg dat zonodig vast in bestemmingsplan of ander juridisch stuk.

**Definitief Ontwerp / Technisch Ontwerp**

- Maak aansluitpunten voor **hot-fill huishoudelijke apparatuur** (vaatwaase en wasmachine) (§ 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**).
- **Detailleer daken (en eventueel gevels)** zodanig dat PV geïnstalleerd kan worden, direct of op termijn (§ 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 (§ 10.2).

Uneto-VNI 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.uneto-vni.nl/?publicatieplatform (menu applicatie woninginstallaties).

10.1 Beperken elektriciteitsverbruik

Het **gemiddelde elektriciteitsverbruik** per huishouden steeg de afgelopen twintig jaar gestaag (Afb. 11 in § 1.3). In 2009 is de stijging tot stilstand gekomen en is het verbruik zelfs licht gedaald **[196]** en **[197]**: van 3.558 kWh/jr in 2008 naar 3.430 kWh/jr in 2009.

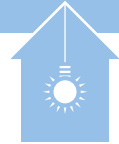
De stijging van de afgelopen jaren is vooral toe te schrijven aan het hogere elektriciteitsverbruik van installaties voor verwarming en ventilatie en aan de toename van het aantal huishoudelijke apparaten per huishouden. Weliswaar zijn (en worden) deze huishoudelijke apparaten over het algemeen zuiniger dan een aantal jaren geleden, maar dit weegt niet op tegen het grotere aantal per huishou-

den. Bij verlichting is een zelfde trend te zien: In 1990 waren er ruim 20 lampen per huishouden, in 2008 40 **[198]**. In 1990 was er gemiddeld één spaarlamp per woning, in 2008 waren er zeven. Bij vervanging van alle niet-zuinige verlichting door spaarlampen en TL is een aanzienlijke besparing mogelijk **(Afb. 177)**.

Dat is ook het geval bij het verbruik voor stand-by van huishoudelijke apparaten: het huidige verbruik is totaal zo'n 400 kWh/jr. Niet al deze apparaten hoeven stand-by te staan. Zeker de helft is 'echt' uit te zetten.

Het elektriciteitsverbruik is te beperken door:

- maatregelen te nemen in het woningontwerp en aan de installaties voor verwarming, warm tapwater en ventilatie, en liften (**§ 10.1.1**);



- te stimuleren dat bewoners minder en zuiniger huishoudelijke apparaten gaan gebruiken (§ 10.1.2).

Afb. 176



10.1.1 Besparing bij woning- en gebouwoontwerp en installaties

Beperking van het elektriciteitsverbruik is o.a. te bereiken door:

- Ruime toepassing van **daglicht**; dit beperkt de noodzaak voor kunstverlichting (§ 4.3).
- Toepassing van **zomernacht- of grond-buiskoeling** waardoor géén airco-systeem aangeschaft zal worden (§ 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 **lucht-weerstand** in het ventilatiesysteem (§ 6.2.2).

- Overweeg een **hybride ventilatiesysteem** (§ 6.7).

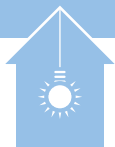
- Toepassing van energiezuinige verlichting zoals hoog-frequente fluorescentielampen (TL-lampen of spaarlampen, voor bijv. collectieve ruimten. Gebruik ook energie-efficiënte armaturen. Voorzie verlichting in (collectieve) (berg)ruimten van een tijdschakeling, schemerschakeling en/of bewegingssensoren. 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 energiezuinige 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. Domotica-toepassingen vereisen wel extra regelingen en apparaten en dus extra energieverbruik. Dit extra verbruik dient op te wegen tegen de te realiseren besparingen.

Afb. 176

Electriciteitsverbruik per jaar, verdeeld naar apparatuur en functie, van een denkbeeldig huishouden in een nieuwbouwwoning met ventilatiesysteem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer). Dit huishouden heeft een verbruik van 3.475 kWh per jaar en gebruikt o.a. een relatief zuinige wasdroger, meerdere spaarlampen en kookt op gas. Het totale energieverbruik van dit huishouden ligt dus rond het gemiddelde landelijke verbruik van circa 3.500 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 4.625 kWh/jr, het gasverbruik neemt dan wel af met circa 65 m³ (koken) en 100 m³ (warmwater keuken) per jaar. Samenstelling: BOOM-SI op basis van Afb. 177.

**Afb. 177**

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.

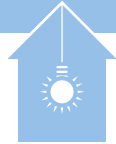
Bron: www.milieuentraal.nl, www.youtellme.nl en gegevens van fabrikanten.

verlichting / apparaat	gemiddeld verbruik incl. stand-by (kWh/jr)	zuinige apparatuur incl. stand-by (kWh/jr)
verlichting	540	150
tafelmodel koelkast met ***-vriesvak	290	100
koel/vrieskast tweedeurs	400	180
diepvrieskist (ca. 250 liter)	250	115
magnetron	100	
combimagnetron	150	
koken ¹		
- elektrische inductie kookplaat	450	
- elektrisch quickterm kookplaat	450	
- elektrische halogeen kookplaat	530	
- elektrische keramische kookplaat	530	
- elektrische conventionele kookplaat	750	
vaatwasser	290	210
wasmachine	215	110
wasdroger	620	510
warmtepomproger	250	210
gaswasdroger ²	--	40
kleine elektrische inbouw-keukenboiler	700	
tv (42 inch) (beeldbuis, LCD-, plasmascherm)	330	150
tv (26 inch) (beeldbuis, LCD-, plasmascherm)	155	80
digitale tv-ontvanger	130	90
video	100	
audio (midiset)	50	
computer (beeldbuis) ³	275	
computer (LCD-scherm)	230	90
waterbed	1000	200
afzuigkap (incl. verlichting) met motor		35
afzuigkap met luchtgordijn aangesloten op mechanisch systeem		15
diversen (o.a. koffiezetapp., stofzuiger)	300	250
installaties		
cv-installatie (pomp, ventilator en elektronische regeling)	270	150
mechanische afzuiging (systeem C)	150	100
gebalanceerde ventilatie met wtv (systeem D)	300	200
airconditioner	400 à 1.750	

¹ Koken op gas (zonder waakvlam): 65 m³ aardgas/jr

² Een gaswasdroger gebruikt bovendien circa 55 m³ aardgas/jr

³ Is sterk afhankelijk van het soort gebruik en de duur daarvan, en type computer: het verbruik kan variëren van 90 tot 900 kWh/jr!



10.1.2 Huishoudelijke apparaten en verlichting

Beperking van het elektriciteitsverbruik is o.a. te bereiken door:

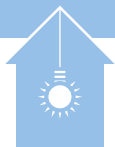
- Het realiseren van een wasdroogruimte. Hierdoor kan het gebruik van een wasdroger beperkt of overbodig worden. Een belangrijke voorwaarde is dat de vochtige lucht niet in (het overige deel van) de woning terecht komt. Dit niet alleen vanwege het vocht zelf, maar ook omdat het drogen van de was (c.q. 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 zonbeschenen-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 stimuleren van koken op gas; elektrisch koken is namelijk energetisch gezien onvoordelig: het kost twee- tot viermaal zoveel primaire energie als koken op gas. Wanneer er een warmtenet wordt aangelegd, blijft in de praktijk een gasnet vrijwel altijd achterwege. De studie Gasconcepten [199] concludeert dat deze ontwikkeling weinig duurzaam is: een fijnmazig gasnet is van strategisch belang voor een duurzame energievoorziening.
- Het aanleggen van een gas-aansluiting en een rookgasafvoer voor een gaswasdroger. In primaire energie gebruikt deze ongeveer evenveel energie als

een warmtepompdroger, maar de CO₂-uitstoot is minder, de droogtijd is korter en de aanschaffkosten zijn lager.

- 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 milieu-oogpunt 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). Anno 2010 zijn enkele typen hot-fill wasmachines verkrijgbaar, voor normale wasmachines zijn **voorschakelkastjes** te koop (Afb. 156 in § 9.1.4). Het is te overwegen om dergelijke kastjes standaard te monteren, dit zal het gebruik er van sterk stimuleren. Meer informatie: § 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 spaarlampen met bijpassende armaturen mee voor bijv. de buitenverlichting, hal en trappenhuis. Monteer ze ook voor de oplevering.

10.2 Duurzame elektriciteit

Het beleid van de rijksoverheid is er op gericht dat in 2020 20% van het totale energieverbruik **duurzame energie** is (§ 2.1.2) en dat er een CO₂-reductie van 30% optreedt ten opzichte van 1990. In 2008 was bijna 3,5% van het totale verbruik afkomstig van **binnenlandse duurzame**



bronnen (§ 1.2). Voor het totale elektriciteitsverbruik streeft de overheid naar 17% duurzame opwekking in ons land in 2020 [200], in 2009 bedroeg dat aandeel bijna 9 % van het totale elektriciteitsverbruik. Het merendeel komt uit biomassa en windenergie (Afb. 7 in § 1.2). Het aandeel afkomstig van 'zonnestroom' via PV-panelen is nog erg klein, namelijk zo'n 0,03% [201] van het totale elektriciteitsverbruik. Toch ziet (ook) de overheid op termijn een duidelijke rol voor zonne-energie voor elektriciteitsproductie.

Windenergie en gebruik van biomassa vallen buiten het kader van deze uitgave omdat de mogelijkheden voor die bronnen vooral buiten de gebouwde omgeving liggen. In § 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 § 10.2.1.

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-cellen 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 4 m² PV-pa-

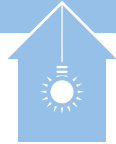
nelen), heeft een systeem een eigen groep in de meterkast nodig, kleinere systemen mogen aan een willekeurig stopcontact in de woning worden verbonden.

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.

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 bijna 15%. 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 (Afb. 176).

De kosten van PV-systemen zijn nog relatief hoog (zie verderop voor subsidie). De verwachting is dat, beginnend in Zuid-Europa, rond 2015 de prijs van zelf opgewekte zonnestroom concurrerend is met de prijs van elektriciteit die van het energiebedrijf wordt gekocht. Tegen 2020 kan dit ook in Nederland het geval zijn [202].

Informatie over onder meer architectuur



met zonnestroom staat op www.iea-pvps.org (Internationale Energie Agentschap, IEA). Op www.pvdatabase.com is info te vinden over veel zonnestroomprojecten en –producten over de gehele wereld. Nederlandse projecten die binnen SenterNovem programma's zijn gerealiseerd, vindt u op www.agentschapnl.nl/den (DE-technieken).

Leidraad zonnestroomprojecten

De uitgave '**Leidraad zonnestroomprojecten**' [202] 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 en de beheersfase; 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 beschaduwning door bijv. (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 dakop-

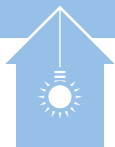
bouwen, tenzij de PV-panelen verplaatst worden.

- Zorg dat er duidelijke afspraken komen tussen bewoners (eigenaren, huurders), eventuele verhuurder en energiebedrijven over o.a.:
 - de te hanteren vergoeding (teruglever-tarieven) 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 [202] 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 [203]).
- Minimaal 1 x per jaar controleren op vervuiling en zonodig schoonmaken; ook visuele controle op gebreken.

PV-systemen worden in NEN 5128:2004 & A1:2008 [25] gewaardeerd. Zo daalt de EPC met circa 0,05 wanneer 4 m² PV-panelen op de referentie twee-onder-één-kap-woning geplaatst wordt, bij 8 m² is de daling 0,1 en bij 12 m² 0,15 (Afb. 22 in § 3.4).

In de Leidraad wordt naar diverse normen en richtlijnen verwezen zoals:

- NVN 7250:2007, de voornorm Zonne-energiesystemen - Integratie in daken en gevels-Bouwkundige aspecten [204]. In deze voornorm zijn zowel eisen als bepalingsmethoden opgenomen voor een adequate inbouw van zonne-energiesystemen in de gebouwschil. De voornorm bevat zowel prestatie-eisen als testmethoden.
- NEN 1010:2007 + C1:2008, Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties [205]. Deze norm bevat bepalingen voor



het ontwerp en de realisatie van veilige, doelmatige en goed functionerende elektrische installaties.

PV-cellen, de techniek

Een PV-cel bestaat uit een halfgeleider-materiaal 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:

- CIS, verbindingen van koper-indium-diselenide, ca. 9 % rendement.
- CdTe, cadmium-telluride, ca. 8 % 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 [202].

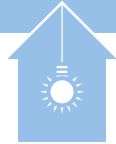
PV-panelen

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. Frame-loze 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. 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) [206].

Omvormer

Een belangrijk onderdeel van een PV-systeem is de omvormer (inverter). 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 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. De omvormers mogen niet warmer worden dan 45 °C.

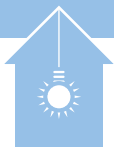
Aandachtspunt:

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.

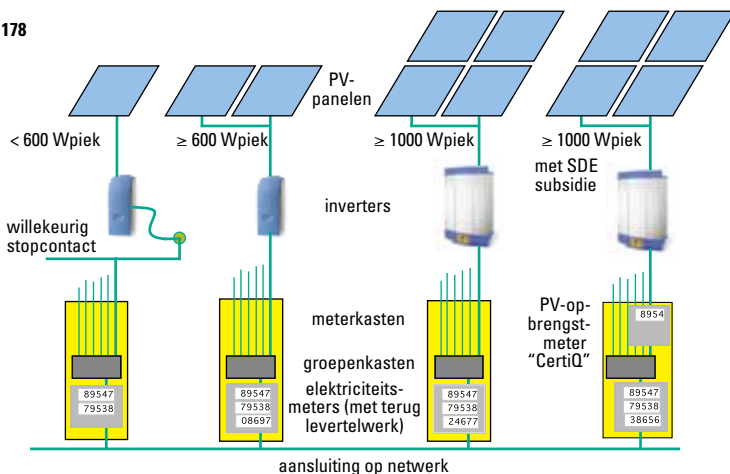
Teruglevering en opbrengst in kWh SDE

De opgewekte elektriciteit zal over het algemeen zoveel mogelijk in de eigen woning of het eigen woongebouw gebruikt worden. 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 **Afb. 178** zijn de diverse mogelijkheden in schema gezet. Belangrijke variabelen zijn de hoeveelheid 'terug' te leveren elektriciteit en het wel of niet gebruik willen maken van de SDE-subsidie (Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie). Deze regeling betaalt gedurende 15 jaar een bepaald bedrag per geleverde kWh tot een bepaald maximum.

Meer info over deze regeling: www.agent-schapnl.nl/sde.

**Afb. 178**

Schematische weergave van mogelijkheden voor aansluiting op het openbare elektriciteitsnet.

Afb. 178

Piekvermogen Wp

Bepaling van het feitelijke rendement van PV-panelen gebeurt onder Standaard Test Condities (STC). Dat betekent een instraling van 1.000 W/m² (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 m² en een rendement van 15 %, heeft een piekvermogen van 0,15 x 1000 = 150 Wp.

Saldering

Los van de SDE geldt sowieso de 'saldering'-regeling: Huishoudens die op kleine schaal zonnestroom opwekken, kunnen tot 3.000 kWh 'salderen'. Dit betekent dat de aan het net (terug)geleverde elektriciteit verrekend wordt met verbruikte elektriciteit tot 3.000 kWh/jr. Dit is wettelijk vastgelegd. Veel energieleveranciers hanteren de grens van 5.000 kWh.

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.agentschapnl.nl/sde/zon-nepanelen (veelgestelde vragen).

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 zonneshijn.

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 60 kWh. In beide gevallen bij de gunstigste oriëntatie en hellingshoek.

Vermogen

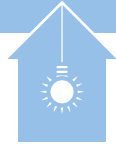
In het kader is het veel gebruikte begrip 'piekvermogen' toegelicht. In de praktijk reduceren verschillende interne en externe verliesfactoren vaak de opbrengst.

Zonneshijn

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 (Afb. 179).



Afb. 179



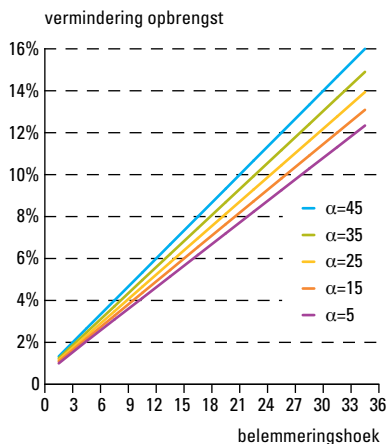
PV-cellen in serie zijn geschakeld, meestal een aantal series per paneel. Wanneer een cel beschaduwd wordt, levert de hele serie geen stroom. Ook panelen kunnen in serie staan, zodat ook daarbij hetzelfde effect kan optreden. Let dus goed op dat er geen beschaduwing optreedt door dakopbouwen, dakdoorvoeren, ventilatie dak-units, dakkapellen, bomen of andere PV-panelen.

In Afb. 180 is de relatie aangegeven tussen instalingsverlies 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% instalingsverlies, dan moet een maximale belemmeringshoek van circa 12° worden aangehouden, gerekend vanaf de onderkant van het PV-paneel.

Kosten

Een belangrijk probleem vormen nog de relatief hoge aanschaffkosten. Eén m² PV-paneel inclusief de overige delen van een PV-systeem kost anno 2010 globaal

Afb. 180



Afb. 179

Richtlijnen voor helling en oriëntatie zonnepanelen.

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° tot 45°. Bron: Grafiek afgeleid uit formule in [202].

Opbrengst indicatie

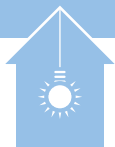
In het kader staat een gangbare eenvoudige formule voor een indicatie van de gemiddelde jaarlijkse opbrengst van een PV-systeem. Voor Nederland blijkt dat een gemiddeld jaar ca. 850 vollast-uren zonneschijn heeft bij de gunstigste oriëntatie en helling. Bij deze 850 uur is rekening gehouden met de gemiddelde rendementsverliezen van PV-systemen. 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 kiloWatt-piek (kWp) aan zonnestroomvermogen per jaar aan elektrische energie (in kWh) levert. De opbrengst van een PV-paneel daalt drastisch wanneer dit paneel gedeeltelijk wordt beschaduwd. Dit komt doordat de

Jaarlijkse opbrengst

De jaarlijkse energieopbrengst van een PV-systeem in Nederland is ongeveer:

Opbrengst (kWh) = 850 uur 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 Afb. 180)

Voorbeeld: 4 m² panelen à 150 Wp optimaal op het zuiden onder een helling α van 36° met een belemmeringshoek van 12° levert per jaar: $4 \times 150 \times 100\% \times (100 - 5\%) = 570 \text{ kWh/jr.}$

**Afb. 180**

PV-panelen in het dak geïntegreerd in het meet- en demonstratieproject (www.isozero.nl) 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. Ontwerp: BBHD Architecten, ontwikkeling: VBM (VosAlkmaar), projectleider: Willem Koppen, aannemer: Hedes Bouw, fabrikant PV: BP-Solar. Realisatie 2003.

€ 2,50 tot € 3,50 per Wp ofwel € 150,- tot € 600,- per m², afhankelijk van het type PV en exclusief BTW en exclusief subsidies.

De verwachting is dat de komende jaren de kosten van PV-systemen aanzienlijk zullen dalen. Rond 2020 zullen de kosten van zonnestroom op een vergelijkbaar niveau liggen als de prijs van elektriciteit die van het energiebedrijf wordt gekocht.

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.

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 (Afb. 181). 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 dak;
- dakpannen met geïntegreerde PV-cellen;
- PV-cellen 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 woning-oriëntatie.

Gevels

PV kan worden bevestigd op de gevel (Afb. 182). 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. Architectonisch bieden 'doorzichtpanelen' (beglazing deels met PV-cellen voorzien) speciale mogelijkheden doordat ze het daglicht en bezonning wat temperen.

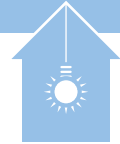
Serres, atria

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. 181



Afb. 182

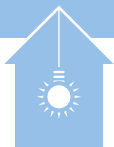


Belangrijke ontwerprijlijnen (bron o.a. [202])

- Oriëntatie: Kies voor een oriëntatie tussen zuidoost en zuidwest, optimaal is zuid (en dan 5° naar het westen).
- 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 luchtsponw achter de panelen die onder en boven in contact staat met de openlucht. Neem maatregelen om de sponw te beschermen tegen ongedierte, vogels en vervuiling.
- 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.
- Bereikbaarheid PV-panelen: Een goede bereikbaarheid van de panelen is van belang voor onderhoud. Maar zorg er tegens 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 %

Afb. 181

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. Opdrachtgever: Woonbron, Architect: Van Schagen architecten, PV engineering en installatie: BST, Elektron, advies: W/E-adviseurs. Realisatie: 2003.



van het vermogen wordt hier omgezet in warmte). De omvormers (inverters) mogen niet warmer worden dan 45 °C.

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 geluidhinder en visuele hinder kunnen een rol spelen. Gebouwen gebonden 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.agentschapnl.nl/duurzameenergie (DE-technieken) en www.duurzameenergie.org.

10.3 Meer informatie

- 196 Energiecijfers in Nederland 2009; EnergieNed te Arnhem, aug. 2009.
- 197 www.agentschapnl.nl/kompas (energiecijfers); 2008: EnergieNed en 2009: Energycircle.
- 198 www.milieucentraal.nl
- 199 Gasconcepten voor de zichtjaren 2000, 2010 en 2020; Van Holsteijn en Kemna, in opdracht van Novem, februari 1999.
- 200 www.vrom.nl (Dossier Duurzame Energie)
- 201 www.cbs.nl
- 202 Leidraad zonnestroomprojecten; uitgave SenterNovem, Sittard/Utrecht, mei 2008; te downloaden via www.agentschapnl.nl/duurzameenergie (DE-technieken)
- 203 www.uneto-vni.nl (menu applicatie

woninginstallaties).

- 204 NVN 7250:2007 nl, Zonne-energiesystemen – integratie in daken en gevels – Bouwkundige aspecten; NEN te Delft, 2007.
- 205 NEN 1010:2007 + C1:2008, Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties; NEN te Delft, 2008.
- 206 Monitoring en lessen PV-projecten Amersfoort en HAL-gebied; New Energy Works en Universiteit van Utrecht - Copernicus Instituut, in opdracht van SenterNovem, april 2008., te downloaden via www.isozero.nl.

Bijlagen 1-7

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 oppervlaktetemperaturen van de begrenzendende 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 Afb. 183 staan gebruikelijke 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 (Afb. 184). 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.

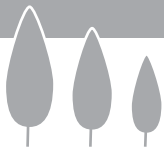
Afb. 182

Richtwaarden voor de ontwerp-temperatuur voor de diverse vertrekken in een woning. Deze temperaturen moeten met het gekozen verwarmingssysteem gewaarborgd zijn onder geconditioneerde omstandigheden en berekening volgens ISO 51 [207].

Afb. 183

ruimte	ontwerptemperatuur in °C
woonkamer	20
zit-slaapkamer	20
(eet)keuken	20
slaapkamer	20
douche- / badruimte	22
entree, hal, gang, overloop	15
toilet	15
zolder, onbenoemde ruimte	15/20*
in pandige berging (binnen isolatieschil)	15

* Voor een flexibel ruimtegebruik is het aan te raden 20 °C aan te houden.

**Afb. 183**

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: [208].

Afb. 184

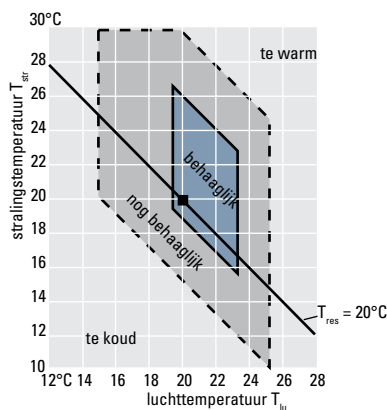
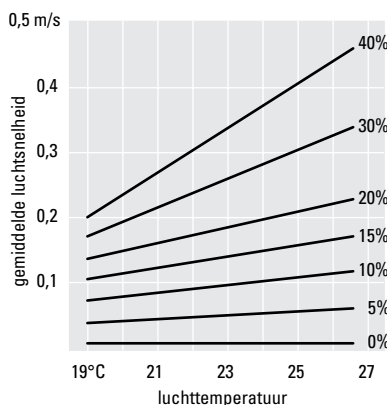
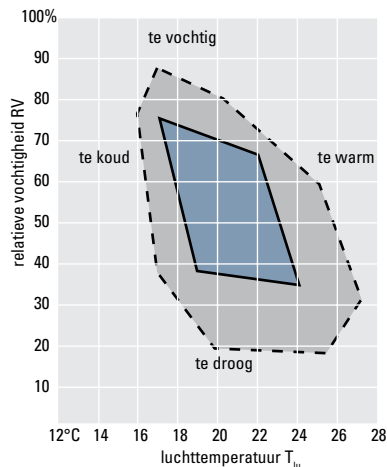
Samenhang tussen de luchttemperatuur (bij gelijke stralingstemperatuur) en de gemiddelde luchtsnelheid (bron grafiek: P.O. Fanger, Technical University of Denmark, Lyngby).

Afb. 185

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: [208].

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 Afb. 184 is de samenhang tussen de luchtsnelheid en de temperatuur nauwkeuriger weergegeven.

Afb. 184**Afb. 185****Afb. 186****Relatieve luchtvochtigheid (RV)**

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 (Afb. 185).

1.2 Transmissie

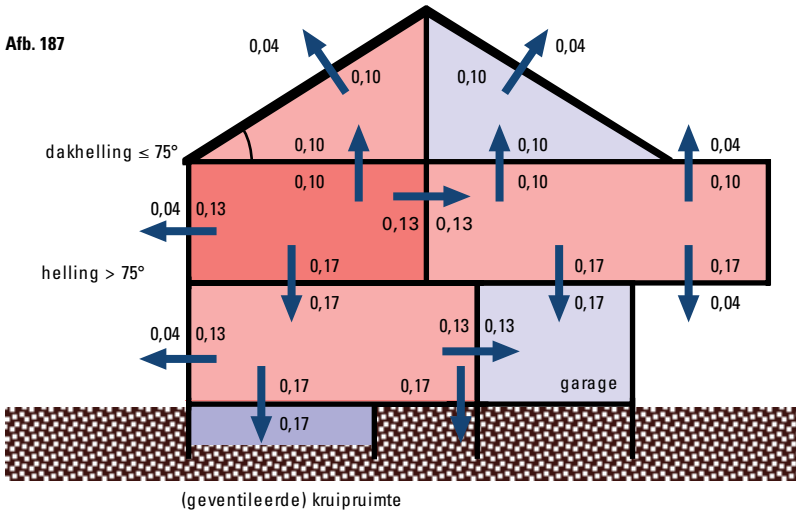
De belangrijkste begrippen bij transmissie:

- warmteweerstand (R-waarde in $m^2 \cdot K/W$);
- warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde in $W/m^2 \cdot K$);
- (lineaire) koudebrug (of thermische brug) en lineaire warmtedoorgangscoefficiënt (psi-waarde (Ψ) in $W/m \cdot K$);
- temperatuurfactor (f-factor).

Warmteweerstand (R-waarde)

- Naam: warmteweerstand of R-waarde.
- Eenheid: $m^2 \cdot K/W$.
- Formule: d/λ , waarin d = dikte in m;

Afb. 187

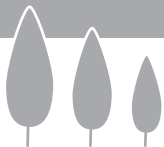


Afb. 186

Warmteovergangsweerstanden (= 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: NEN 1068 [212].

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).

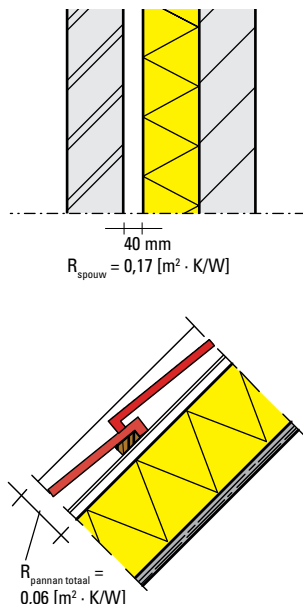
- Hoe hoger de R -waarde van een constructie, hoe minder warmte door die constructie verloren gaat.
- Er wordt onderscheid gemaakt tussen diverse typen R -waarden:
 - R_c : warmteweerstand van een constructie. Als deze is samengesteld uit meerdere lagen, dan geldt: $R_c = (\sum R_m + R_{si} + R_{se})/(1+\alpha) - R_{si} - R_{se}$
 - R_m : warmteweerstand van iedere laag waaruit een constructie is opgebouwd
 - R_{si} en R_{se} : warmteovergangsweerstand aan het binnen- respectievelijk buitenoppervlak van een constructie, zie Afb. 187.
 - α : correctiefactor waarin optredende inwendige convectie en/of uitvoeringsinvloeden zijn verdisconteerd:
 - $\alpha = 1$ als aan beide zijden van de isolatielaag een luchtspouw van meer dan 5 mm aanwezig is (hiermee kan dus slecht aangebrachte isolatie achteraf 'afgestraft' worden);
 - $\alpha = 0$ als cellulair glas als isolatiemateriaal is toegepast;
 - $\alpha = 0,02$ bij geprefabriceerde constructies;
 - $\alpha = 0,05$ in overige gevallen;
- Zie NEN 1068 [212] voor de exacte omschrijvingen.
- NPR 2068 [213] geeft voor enkele constructiedelen vaste waarden:
 - Voor een spouw van minimaal 25 mm in een spouwmuur (= een 'niet-geventileerde' luchtlaag, ook bij open voegen) bedraagt de R_m -waarde $0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ (Afb. 188). Voor zwak of sterk geventileerde luchtlagen gelden andere waarden: $0,09$ respectievelijk $0,0$ (volgens NEN-EN-ISO 6946).
 - Voor enkele afwerkconstructies, zoals een dakbedekking van pannen inclusief luchtlaag (Afb. 188) 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 NPR 2068 voor de berekening van de R_c -waarde van constructies.



Afb. 187

Warmteweerstand voor veel voorkomende luchtlagen in een spouwmuur en in een hellend dak met dakpannen, volgens NPR 2068 [213].

Afb. 188



ties met een verschillende opbouw per doorsnede of van constructies met een ingewikkelde vorm zoals een niet vlakke plaat.

warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde):

- Naam: warmtedoorgangscoefficiënt (van een scheidingsconstructie); vroeger aangeduid met k-waarde.
- Eenheid: $W/m^2 \cdot K$.
- Formule: $1/(R_e + R_{si} + R_{se})$

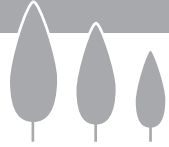
Koudebrug

- Een koudebrug, ook wel aangeduid met thermische brug, 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).
- Koudebruggen worden gekarakteriseerd door de Ψ -waarde (psi-waarde) en de **f-factor** (voor beide zie hierna).
- De nadelige effecten van een koudebrug 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) (voorheen aangeduid met $U_{lineair}$)

- Naam: lineaire warmtedoorgangscoefficiënt
- Eenheid: $W/m^1 \cdot K$.
- Ψ geeft het warmteverlies per m^1 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 uitgave Zakboek SBR-referentiedetails Woningbouw [209] en Uitwerkingsinstructie Toolkitconcepten Passieffhuis [210] wordt bij elk detail de Ψ -waarde gegeven. In de NPR 2068 staan voor veel voorkomende details forfaitaire waarden vermeld. Zo is de Ψ -waarde voor de aansluiting schuin-dak-kopgevel $0,25 W/m^1 \cdot K$; hierbij mag de isolatie nergens minder zijn dan 35% van de isolatie van de dakelementen en de isolatie op zijn hoogst worden doorbroken door houten elementen. In [210] wordt voor passieffhuizen geadviseerd om de Ψ -waarden voor alle aansluitin-



- gen kleiner dan 0,01 W/m¹.K te maken.
- De invloed van lineaire koudebruggen op de EPC 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: $f = (T_{s,i} - T_e) / (T_i - T_e)$ (zie NEN 2778), 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 [209] staan bij details en soms bij combinatie van details f-factoren vermeld.

1.3 Ventilatie en luchtdoorlatendheid

De belangrijkste begrippen bij ventilatie en luchtdoorlatendheid (in de praktijk vaak aangeduid met luchtdichtheid) zijn:

- ventilatievoud
- q_{v10} -waarde en $q_{v10\text{ kar}}$ -waarde
- C- en c-waarde
- luchtdichtheidsklasse 1, 2 (en 3)

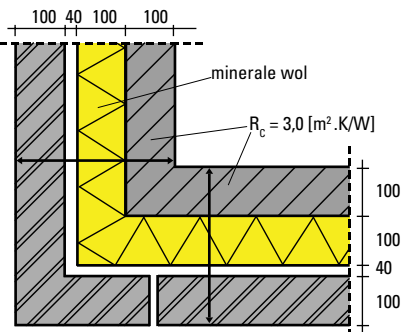
ventilatievoud

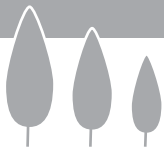
- Het ventilatievoud geeft aan: het aantal malen dat de totale inhoud van een ruimte per uur volledig wordt verversd. Het begrip wordt in de woningbouw niet zo veel gebruikt, dit i.t.t. de utiliteitsbouw. Ter indicatie: De minimum-eisen voor ventilatie uit het Bouwbesluit komt globaal overeen met een ventilatievoud van 0,5.
- Eenheid: -

q_{v10} -waarde

- De q_{v10} -waarde geeft de lucht-lekkage aan van een woning bij 10 Pascal over- of onderdruk (in de woning), met afgeplakte toe- en afvoeropeningen van ventilatiekanalen en rookgasafvoerkanalen.
- Eenheid: dm³/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.

Afb. 189



**Afb. 189**

Maximale en minimale luchtdichtheidseisen volgens NEN 2687:1989. Voor passiefwoningen is een klasse 3 in het leven geroepen [210], maar die staat niet in deze NEN.

- In de publicatie Luchtdicht bouwen [211] 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 geeft een meetmethode hiervoor.

 q_{v10} -waarde

- De $q_{v10 \text{ kar}}$ -waarde geeft de luchtdichtheid aan per m^2 gebruiksooppervlakte 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.
- Eenheid: $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$.

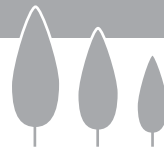
C- en c-waarde en het rekenmodel voor luchtdoorlatendheid

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 strekkende 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.

- De c-waarde geeft voor een bepaald bouwkundig aansluitdetail de specifieke luchtdoorlatendheid aan. In de SBR-Referentiedetails is voor elk aansluitdetail de c-waarde, de luchtdoorlatendheidscoëfficiënt opgenomen. Eenheid: $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}$
- Door de lengte van alle aansluitingen

Afb. 190

ventilatiesysteem	woningvolume	q_{v10} [dm^3/s]	
		min.	max.
Klasse 1 *	≤ 250	30	100
	> 250 en ≤ 500	50	150
	> 500	50	200
* natuurlijke toe- en afvoer (systeem A)			
* natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (systeem C)			
Klasse 2 **	≤ 250	- -	50
	> 250	- -	80
** mechanische toevoer en natuurlijke afvoer (systeem B)			
** gebalanceerde ventilatie (systeem D)			
Klasse 3 (passiefhuizen)	≤ 250	5	15
	> 250	10	30



Afb. 191

	$q_{v10 \text{ kar}}$ [$\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$]
Klasse 1: ventilatiesystemen met natuurlijke toevoer (type A en C)	1,43 (ondergrens 1,0)
Klasse 2: ventilatiesystemen met mechanische toevoer (type B en D)	0,625 (ondergrens 0,385)

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 [211] en SBR-Referentiedetails.

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 x 10).

- Ook in NEN 5128 en het bijbehorende rekenmodel voor het bepalen van de EPC (NPR 5219) is een berekening opgenomen voor het bepalen van de luchtdichtheid van een woning. Deze berekening is echter zeer globaal. Zie hiervoor bijlage G van NEN 5128.

luchtdichtheidsklasse 1, 2 (en 3) volgens NEN 2687

In NEN 2687:1989 wordt onderscheid gemaakt tussen twee luchtdichtheidsklassen (Afb. 190):

- 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' [211] worden voor de gangbare details aanwijzingen gegeven hoe deze in de bouwpraktijk kunnen voldoen aan klasse 1 of 2.

Voor passiehuizen is een extra klasse in het leven geroepen: Klasse 3. Deze klasse wordt in 'Uitwerkingsinstructie Toolkitconcepten Passiehuis' [210] 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 [210] worden toegelicht.

NEN 2687

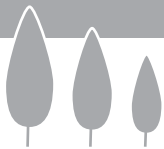
NEN 2687:1989, Luchtdoorlatendheid van woningen – Eisen, houdt rekening met de verschillende ventilatiesystemen. Met name bij een gebalanceerd ventilatiesysteem moet de woning goed luchtdicht zijn. Bij natuurlijke toevoer wordt ook een minimale luchtdichtheid gevraagd! De woning mag dus niet te goed luchtdicht zijn, dit om te voorkomen dat er te weinig toevoer is van verse buitenlucht als bewoners alle toevoer-openingen dicht zouden doen.

EPN (NEN 5128:2004/2008) en luchtdichtheid

Bij de berekening van de EPC volgens NEN 5128 wordt ook rekening gehouden met de luchtdichtheid. In Afb. 191 staan de richtgetallen die worden gehanteerd (dezelfde klasse-indeling als in NEN 2687 wordt aangehouden). Er worden hierbij dus ook minimale waarden gehanteerd: de luchtdichtheid mag niet té goed zijn. Dit om het goed functioneren van de ventilatiesystemen te waarborgen en om te voorkomen dat bij afwezigheid van

Afb. 190

Richtgetallen voor de luchtdichtheid voor EPC-berekeningen (NEN 5128:2004/2008). Men mag dus ook andere waarden gebruiken, maar nooit beneden de ondergrens-waarden. De ondergrens bij klasse 2 is in de huidige bouwpraktijk zeer moeilijk haalbaar en de kans is groot dat Bouwtoezicht een onderbouwing eist als men die waarde zou hanteren.

**Afb. 191**

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.

bewoners geen onaanvaardbare situaties ontstaan [bron: NEN 5128].

1.4 Zon- en lichttoetreding

ZTA-waarde (ook wel g-waarde genoemd)

- Naam: zontoetredingsfactor of ZTA-waarde van een raam (of beglazings-) systeem.
- De ZTA-waarde geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zonnestraling (zowel directe als diffuse straling).
- Eenheid: -

In **Afb. 89** in § 5.2 zijn de ZTA-waarden voor verschillende soorten beglazing vermeld. Het gaat hierbij om globale rekenwaarden.

LTA-waarde

- Naam: lichttoetredingsfactor of LTA-waarde van een raam- (of beglazings-) systeem.
- De LTA-waarde geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zichtbare zonnestraling.
- Eenheid: -

In **Afb. 89** in § 5.2 zijn de LTA-waarden voor verschillende soorten glas vermeld. Het gaat hierbij om globale waarden.

1.5 Vocht

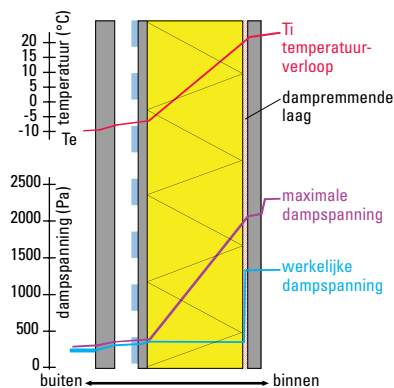
Lucht bevat altijd een hoeveelheid vocht in de vorm van waterdamp. Hoe hoger de temperatuur is, hoe meer waterdamp de lucht kan bevatten.

Het absolute vochtgehalte is de hoeveelheid waterdamp per m³ 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 dauwpuntstemperatuur is de

temperatuur die afkoelende lucht heeft op het moment dat daarin condensatie begint op te treden.

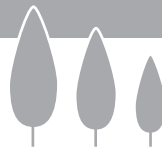
Zodra de temperatuur van een constructie beneden de dauwpuntstemperatuur komt, treedt condensatie op. Deze condensatie kan plaatsvinden op een koud vlak, zoals een raam of op een koudebrug. Er is dan sprake van oppervlaktecondensatie. We spreken van inwendige condensatie wanneer condensatie in een constructie 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 dauwpuntstemperatuur.

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.

Afb. 192

Zie ook § 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.

Meer informatie

- 207 ISSO 51, Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwen; ISSO, 2009.
- 208 Klimaatinstallaties 1A, verwarmingssystemen; T.H. Hoogendoorn, TUDelft, Afdeling Bouwkunde, 1978.
- 209 Zakboek SBR-referentiedetails Woningbouw; H. Nieman, uitgave

SBR, 2008.

- 210 Uitwerkingsinstructie Toolkitconcepten Passiefhuis – Eengezinsrijenwoning Ri7 en Twee-onder-een-kapwoning; SBR, Rotterdam, mei 2009.
- 211 Luchtdicht bouwen – theorie – ontwerp – praktijk; P. Kuindersma, Adviesburo Nieman, uitgave: SBR, Rotterdam, mei 2009.
- 212 NEN 1068:2001, Thermische isolatie van gebouwen – Rekenmethoden; NEN, Delft, oktober 2001. Wijzigingsbladen t/m NEN 1068:2001/A5:2008 nl. (www.nen.nl)
- 213 NPR 2068:2002; Thermische isolatie van gebouwen – Vereenvoudigde rekenmethoden; NEN, Delft, 2002. (www.nen.nl)

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 39% op bovenwaarde en 42% op onderwaarde (bron: NEN 5128-2004).

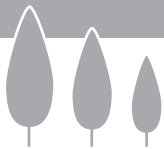
Veel informatie over kengetallen, zoals een deel van de onderstaande omrekenfactoren, zijn te vinden in de publicatie: 'Cijfers en tabellen 2007'; SenterNovem (Thans Agentschap NL); te downloaden via www.agentschapnl.nl/kompas (energiecijfers).

1 kWh elektriciteit	9,2
1 kWh elektriciteit	0,26
1 kWh	3,6
1 m ³ a.e.	9,8
1 m ³ aardgas	35,17
1 MJ (op bovenwaarde)	0,028
1 kg H ₂	4
1 kg droog hout	0,48

1 m³ aardgasbesparing levert op: 1,780

MJ primaire energie (op bovenwaarde)
m ³ a.e.
MJ
kWh (thermisch) (op bovenwaarde)
MJ (op bovenwaarde)
m ³ aardgas
m ³ a.e.
m ³ a.e.

kg CO₂ besparing



1 kWh elektriciteitsbesparing
levert op: (uitgaande van
gemiddeld park
elektricitetscentrales)

0,566

kg CO₂ 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 (British thermal unit)	1054,6	J

- m³ a.e. = m³ aardgasequivalenten
- primaire energie wordt vaak uitgedrukt in m³ a.e. (zie uitleg primaire energie hieronder)

** 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.*

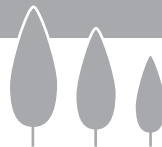
primaire energie: Om de gas- (m³ gas) en elektriciteitsverbruiken (kWh) onderling te kunnen vergelijken, worden energieverbruiken omgerekend naar 'primair energieverbruik'. Het gasverbruik is al gelijk aan het primaire energieverbruik. Aan het elektriciteitsverbruik worden het

leidingverlies en het rendementsverlies van de elektriciteitscentrale toegevoegd. De eenheid van kWh wordt omgerekend naar m³ aardgasequivalenten (m³ a.e.). Daarmee zijn gas en elektriciteit één op één vergelijkbaar.

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 NEN 1068 [214]. Een voorbeeld is de factor van 1,20 die gebruikt wordt voor het in het werk 'los' aanbrengen van bijv. minerale wolvlaken. 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 [216] 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.

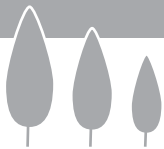
Bijgaande tabel geeft een overzicht van de soortelijke massa en λ -waarde (rekenwaarde) van gangbare bouwmaterialen. Alle waarden zijn indicatief. De λ_{reken} -waarden zijn voor de steenachtige

materialen afkomstig uit o.a. de NPR 2068:2002 (bijlage C) [215], voor de overige materialen uit NEN 1068:2001/2008 [214] en uit gegevens van fabrikanten.

Meer informatie

- 214 NEN 1068:2001, Thermische isolatie van gebouwen – Rekenmethoden; NEN, Delft, oktober 2001. Wijzigingsbladen t/m NEN 1068:2001/A5:2008 nl. (www.nen.nl)
- 215 NPR 2068:2002; Thermische isolatie van gebouwen - Vereenvoudigde rekenmethoden; NEN, Delft, 2002. (www.nen.nl)
- 216 www.rockwool.nl en www.isover.nl

materiaal	soortelijke massa [kg/m³]	λ_{reken} -waarde [W/mK]	
		droog binnen- milieu	overig
<i>grindbeton</i>			
normaal gewapend beton	2300	1,83	2,06
<i>lichtbeton</i>			
	1900	1,28	1,44
	1600	1,03	1,16
<i>cellenbeton</i>			
	800	0,23	0,25
	600	0,17	0,19
<i>metselstenen</i>			
gevelklinkers, hardgrauw	1900	0,90	1,21
rood/boerengrauw	1500	0,64	0,87
kalkzandsteen	1750	1,14	1,52
porisosteën	1350	0,57	0,76
<i>pleisterlagen</i>			
cementpleister	1900	1,0	
kalkpleister	1600	0,70	



gipspleister	1300	0,5
isolerend pleister (bijv. met PS-bolletjes of geëxp. kleikorrels)		0,08 - 0,11

materiaal	soortelijke massa [kg/m ³]	λ_{reken} -waarde [W/mK]
-----------	---	---

hout- en plaatprodukten

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

materiaal	soortelijke massa [kg/m ³]	λ_{reken} -waarde [W/mK]
-----------	---	---

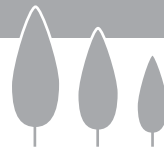
isolatiematerialen**

kunststofschuimen

geëxpandeerd polystyreen (EPS)	15	0,04
geëxpandeerd polystyreen (EPS)	20 - 25	0,030 - 0,035
geëxtrudeerd polystyreen (XPS)	30 - 40	0,027
geëxtr. polystyreen (XPS)(CO ₂ geblazen)	25 - 45	0,025 - 0,036
polyurethaan (PUR) met HCFC	30 - 35	0,026
polyurethaan (PUR)(H)CFK-vrij	30 - 35	0,028
polyurethaan (PUR) ter plaatse gespoten	30 - 35	0,035
polyisocyaanaat (PIR)	30 - 35	0,026
resol met HCK	35	0,023

anorganische materialen

minerale wol (glas- en steenwol)	> 35	0,030 - 0,040
cellulair glas	115 - 150	0,036 - 0,06
schuimbeton	350	0,15 - 0,2
	1000	0,30 - 0,35
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



organische materialen

geëxpandeerde kurk	100 - 200	0,041 - 0,046
stroleem	300 - 1600	0,1 - 0,7
cellulose	30 - 60	0,04
glaswol	25 - 50	0,035 - 0,04
houtwoldeken	55	0,038
houtwol isolatieplaat	140 - 180	0,040 - 0,045

Een reflecterende folie, grenzend aan een luchtspouw ≥ 20 mm en niet of zwak geventileerd, aan één zijde van een isolatiemateriaal levert een extra R_c -waarde van $0,45 \text{ m}^2\text{K/W}$

* loodrecht op vezelrichting

** Officieel heten alleen materialen met een λ -waarde $\leq 0,06 \text{ W/mK}$ 'isolatiemateriaal'.

Bijlage 4: Referentiewoningen van Agentschap NL

In het Energievademecum worden enkele referentiewoningen gebruikt met een EPC van 0,8 of net iets lager. 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 EPC (**Afb. 22**) en van 9 pakketten maatregelen op de EPC (**Afb. 23**) voor de referentie twee-onder-één-kapwoning.

In de uitgave 'Referentiewoningen nieuwbouw' [217] worden zes referentiewoningen beschreven:

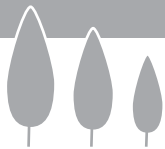
- tussenwoning (in rijtje laagbouw-woningen)
- hoekwoning (in rijtje laagbouwwoningen)
- twee-onder-één-kapwoning
- vrijstaande woning
- galerijcomplex

• appartementencomplex

Voor ieder woningtype zijn twee varianten voor de ventilatie uitgewerkt: een variant met een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning (wtw) en een variant met zelfregelende roosters voor de toevoerlucht en mechanische afzuiging. In **Afb. 96** in hoofdstuk 6 staat de plattegrond van de tussenwoning.

Meer informatie

- 217 Referentiewoningen nieuwbouw; DGMR Bouw, in opdracht van SenterNovem, thans Agentschap NL, Divisie NL Energie en Klimaat, dec. 2006; te downloaden via www.agentschapnl.nl/kompas



Bijlage 5: Indicatie energietarieven

Indicatie energietarieven voor kleinverbruikers in 2010, inclusief btw en toeslagen, de bijkomende vaste kosten zijn van 2009.

Onder Kleinverbruikers wordt verstaan:

- gasverbruik < 5.000 m³/jr
- elektriciteitsverbruik < 10.000 kWh/jr

Tarieven gas en elektriciteit (2010)

	in euro's (€)
<i>aardgas</i> * per m ³	0,53
<i>elektriciteit</i> * per kWh	
• dagstroom	0,23
• nachtstroom	0,20

** Elk energiebedrijf hanteert eigen tarieven, bij elektriciteit komen aanzienlijke verschillen voor.*

Bijkomende vaste kosten (2009)

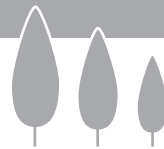
(bedragen zijn afgerond)

	elektriciteit	aardgas	totaal
totaal transport per jaar	165,00	97,50	
meterhuur	30,00	25,00	
vastrecht	22,50	22,50	
subtotaal	217,50	145,00	362,50
teruggaaf energiebelasting			- 345,00

Bijlage 6: Informatie energie-besparing bestaande bouw

Deze bijlage bevat een selectie van bronnen die nuttig kunnen zijn bij renovatie of onderhoud van de bestaande woningbouw. 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 wo-
- ningverbetering – 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.
- Voorbeeldwoningen bestaande bouw 2007; EBM-consult en DGMR Bouw, in



- opdracht van SenterNovem, maart 2007; te downloaden via www.agentschapnl.nl/kompas (woningcorporaties en energiebesparing).
- De Energiebesparingsverkenner voor projecten; SenterNovem, febr. 2009; te downloaden via www.agentschapnl.nl/kompas (woningcorporaties en energiebesparing); zie ook www.energiebesparingsverkenner.nl
 - www.agentschapnl.nl/kompas
 - Menukaart duurzame woningen – bestaande bouw; geeft een overzicht van mogelijke maatregelen op diverse thema's; te downloaden via www.menukaartduurzaamwonen.nl; uitgave: CO₂-Servicepunt (www.co2-servicepunt.nl)

Energielabel

Vanaf 1 januari 2010 is er een vernieuwd energielabel voor de bestaande (woning) bouw. Het energielabel is verplicht bij

verkoop van een woning en bij een nieuwe huurder. Het label vermeldt het woningtype en het geeft het jaarlijkse energieverbruik van de woning weer, uitgesplitst in gas, elektriciteit en warmte. Dit energieverbruik wordt bepaald onder gemiddelde omstandigheden en is onafhankelijk van bewonersgedrag. U ziet in één oogopslag in welke energielabelklasse de woning is ingedeeld. Het energielabel deelt huizen in de energielabelklassen A tot en met G in, waarbij A het laagste energieverbruik heeft. Naast klasse A bestaan ook nog de klassen A+ en A++ voor zeer energiezuinige woningen. Het energielabel geeft ook advies over welke energiebesparende maatregelen nog te nemen zijn. Informatie over het label is te vinden via:

- www.energielabelgebouw.nl
- www.vrom.nl (Dossier Energielabel); de informatie is vooral gericht op de woonconsument.

Bijlage 7: Zonnebaan en zonne-instralingsdiagram

Bijgaande afbeelding 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.

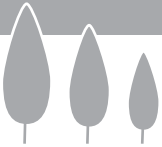
Houd zo nodig rekening met het verschil tussen:

- 'Klok'- en zonnetijd; op de zonnetijd staat de zon om precies 12 uur in het zuiden, deze tijd wijkt echter af van de Middeneuropese tijd die wij aanhouden als 'kloktijd'. Voor plaatsen die liggen op de meridiaan 5° 30' Oosterlengte (bijv.

Zeewolde ligt hier bijna op) staat de zon om circa 12.40 uur wintertijd in het zuiden.

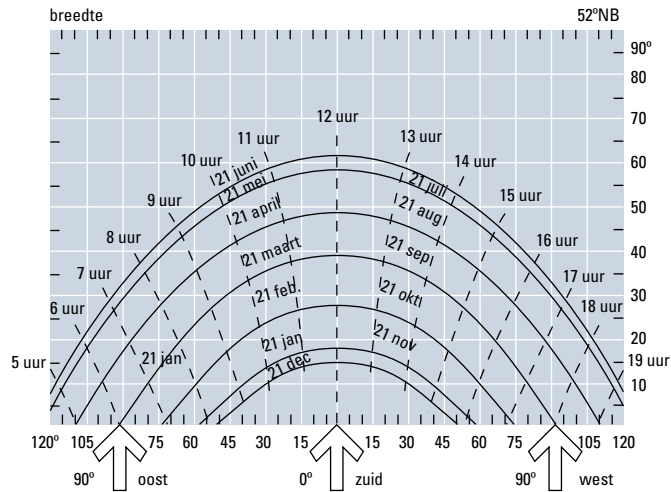
- Zomer- en wintertijd; de zomertijd is één uur later dan de wintertijd. Deze komt overeen met de Middeneuropese tijd die één uur later is dan de Westeuropese tijd of de GMT, de Greenwich Mean Time.

Bijgaande afbeelding 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

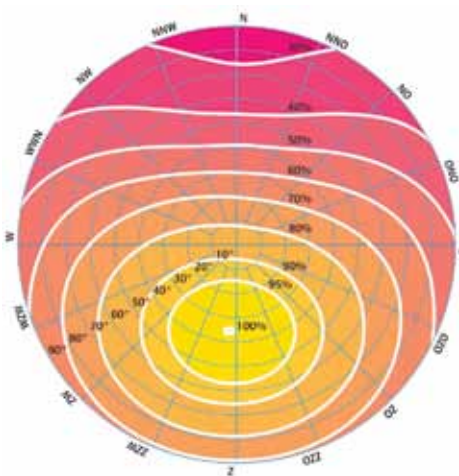


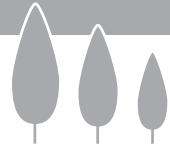
middelpunt van de cirkel) ongeveer 85% van de maximale instraling bedraagt. De maximale instraling wordt bereikt onder een hoek van 36° en 5° westelijk van het zuiden.

Afb. Zonnebaan voor plaatsen op 52° Noorderbreedte.



Zonne-instralingsdiagram





A

aardwarmte (Geothermie)	167, 180
aerogel	78, 106
afgiftesystemen, ruimteverwarming	146
afleverzet (voor stadsverwarming)	185, 187
afstandhouder, beglazing	103
afval, warmte uit afval	167
afzuigkap, met motor en motorloos	121
airconditioning	197
airco (mobiel, split-unit, ingebouwd)	197, 198
allesbrander	162
ankerloze spouw(muur)	98
aquifer	183
asfaltcollectoren	173
atrium	65

B

balansventilatie	133
Bali Action Plan	23
ballast	89
bediening ventilatie	140
beganegrondvloer	82
beglazing	102
beglazing, zonwerende	59
begroeid dak (vegetatiedak)	90
behaaglijkheid	241
belemmeringshoek, PZE,	
zonnectoren en PV	56
belemmeringshoek, PV	57, 237
bemetering (collectieve systemen)	188
beplanting, beschaduwing	57
bestaande bouw, eisen Bouwbesluit	81
betonkernactivering	153, 196
bewonersvoorlichting ventilatie	125
bezonning	56
binnenluchtkwaliteit	113
binnenzonwering	108
biomassa	17, 167, 180
Biomassa-ketel	179
blokverwarming	187
blowerdoor	80
Bouwbesluit (eisen)	24, 81
bouwmassa	109
bovenwaarde, rendement op	168

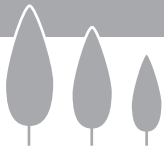
broeikaseffect	14
buitenzonwering	108
bypass, wtw-unit	136

C

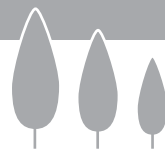
c- en C-waarde	246
calamiteit, ventilatie	141
cascade opstelling	180
centraal aflezen (bij collectieve systemen)	189
Checklist Energiebewust ontwerpen	40
CLV systeem	168
collectieve tapwaterinstallaties	208, 215
collectieve verwarming	185
collector, zonne-	217
combiketels	168, 214
combiwarmtepomp	224
comfort	145, 241
comfortklassen warmtapwater	202
comfortregeling, combiketels	215
comfortstand (warmtapwater)	212, 215
compact bouwen	51
compartimenteren	61
computerthermostaat	165
condensatie, inwendige	248
condens(atie) aan buitenzijde beglazing	104
convectie	148
convectoren, LT-	151
convectorput	151
CO ₂ -emissieberekening	31
CO ₂ -neutraal	46
CO ₂ -sensor	140
COP (bij verwarming)	171
COP (bij koeling)	199
Cradle to Cradle	37
cv-ketels	167
cv-ketel – warmtepomp combinatie	171
CW-label (Comfort Warmwater)	203

D

daglicht	67, 108
daglichttoetreding, eisen	68
daglichttube	67
daklichtspot	68
dak	86



dak, koud	88	energiecrisis	18
dak, omgekeerd	88	energie dak	173
dak, warm	88	energie dragers	17
dakoverstek	87, 107	energie-eenheden	249
dakvorm, oriëntatie dak	51	Energie-index	27
dampdrempel	61, 122	Energie label	26, 255
dampremmende laag	88, 95	energie neutraal	43
dampremmende folie	249	energie prestatie advies, EPA	27
dampscherm	61, 122	Energie prestatie coëfficiënt, EPC	29
dauwpunttemperatuur	248	Energie rapport 2008	24
decentrale gebalanceerde ventilatie		energie stromen, referentie tussenwoning	20
met wtw	135	energie tarieven	254
deuren, geïsoleerde deuren	100	energie verbruik, milieudruk	14
DH-factor	208	energie verbruik, Nederlandse huishoudens	17, 71
distributienet (collectieve warmtesystemen)	185	energie verbruik, Nederland	16
distributienet collectief warmtapwater	216	energie verbruik per inwoner (Nederland)	19
Domotica	229	energie verbruik, toekomstig (Nederland)	17
doorspuikbaarheid (zie spuivoorzieningen)	121	energie verbruik voor ruimteverwarming	18
doorstroomtoestellen	212	energie verbruik, wereld- (mondiale)	16
doorzichtpanelen, PV-panelen	238	energie visie	36
douche-wtw	205	energie vraag, mondiale	16
driestandenschakelaar (ventilatie)	117	EPA, energie prestatie advies	27
drie-stappen-strategie	37	EPBD, Europese Richtlijn	
drievoudig glas	103	energie prestaties gebouwen	25
duurzame elektriciteit	231	EPC, Energie prestatie coëfficiënt	20, 27, 29
duurzame energie	167, 231	EPC, niet in EPC opgenomen	31
duurzame energiebronnen (Nederland)	17	EPG, Energie Prestatie gebouw	27
		EPL	31
		EPN, NEN 5128	27
		erfscheiding	55
E		F	
eco-schakeling	229	f-factor	245
elektriciteitsverbruik per huishouden	19, 228	filters, wtw-unit (fijnstof, pollen, elektrostatisch)	117
elektrisch koken	186, 231	fotovoltaïsche zonne-energie	232
elektrische (weerstand)verwarming	162	flowcontrol	155, 166
elektrische boilers	187, 214	forfaitaire waarden	29
elektrische keukenboilers (kleine)	214	fundering	82
elektrische stralingspanelen	162		
elektronische radiator meter	189	G	
EMG	32	g-waarde	102, 248
Energie Prestatie Norm (NEN 5128)	27	gashaarden	161
Energie Prestatie op Locatie (EPL)	31		
energie-ambities	36		
energiebeleid	23		
energiebronnen	14		



gaskeur-labels HR, SV, NZ, CW	170, 210
gaskeur CW (Comfort Warm Water)	211
gebalanceerde ventilatie	133
gebalanceerde ventilatie, decentraal	135
gebouwbeheersysteem	188
gebouwschil-indicator	81
gebruikshandleiding bewoners	125
gebruiksrendement ruimteverwarmings-toestellen	168
gebruiksrendement warmwatertoestellen	211
gelijkwaardigheidsbeginsel	29
geluiddemper (in luchtkanalenstelsel)	122
geluidbuffer	62
geluid(klachten) in (ventilatie)kanalen	
voorkomen	124
geluidsniveau installaties, kwaliteitseisen	124
Geothermie (aardwarmte)	167, 180
gepompt systeem (zonnepomp)	219
gesloten keuken	61
gevel, gesloten delen	90
gevel(lucht)collector	67
geveloriëntatie	54
gevelkachels	161
glas	102
glas, (thermische) breuk	104
glasverdeling (ivm passieve zonne-energie)	60
GGR, grote glasoverkapte ruimte	65
gordijnen, rolgordijnen	102
grondbuiskoeling	139
grond-luchtcollector	139

H

houtkachels	122, 162
houtpellets	180
hot-fill keukenboilers	214
hot-fill was- en vaatwasapparatuur	207, 231
HR+-glas, drieboudig (HR+-)glas	99, 102, 103
HRe-ketel	171
HR-wtw	134
huishoudelijke apparaten, energieverbruik	231
hybride ventilatie	137

I

inblaasventielen, ventilatie	137
------------------------------	-----

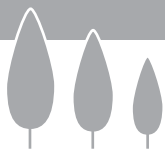
inducerende toevoerventielen of toevoerroosters	137, 159
inliner-sets (collectief leidingsysteem tapwater)	209
inregelen, cv-water	166
inregelventiel (cv-installatie)	166
installatieruimte	70
installaties, opstellingsruimte	70
isolatieluik	105
isoleren verdiepingsvloeren	61

K

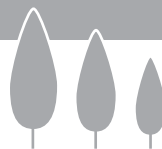
kamerthermostaat	165
keuken, open of gesloten	61
keukenboiler, elektrisch	214
keukenboiler, hot-fill	214
kier, kieren	79, 101
kierdichting	101
klimaatneutraal	46
klimaatverandering	14
klokthermostaat	165
koeling, koelvraag	193, 194
koeling, vrije	200
koeling, warmtepomp	200
koelmachine, compressie	199
koelmachine, absorptie	199
koelvloer	195
koelwand	195
kokendwaterkraan	214
Kopenhagen, Klimaatverdrag	23
kopgevel (zie gesloten geveldelen)	90
kortetermijn warmte-opslag	182
koudebrug, lineaire koudebrug	78, 82, 244, 245
koudemiddel	199
kozijnen	99
kozijn, extra isolerend houten	100
kranen, waterbesparend	204
kruipluik, isolatie	85
kruipruimte	82
kruipruimte, wel of geen	85
Kyoto-protocol	23

L

λ -waarde (λ_D -waarde en λ_{reken} -waarde)	243, 250
--	----------



lage temperatuursystemen	147	mini-WKK	177
lambda-waarde (λ -waarde)	243, 250	modulerende regeling (cv-ketel)	170
lange(re) termijn warmte-opslag	183	modulerende klok- of kamerthermostaat	170
langzaam verkeer, stedenbouwkundig plan	72	mobiele airco	197
LARGAS	73	modulerende thermostaat	170
legionella	204		
leidingisolatie, ruimteverwarming	163	N	
leidingisolatie, tapwater	208, 209	naad	79, 101
Lente-akkoord	23, 28	naaddichting	79, 101
lichttoetredingsfactor (LTA)	109, 248	nachtverlaging	145
lokale verwarming	160	naden	79, 101
LT-convectoren	151	NMP3 en 4	23
LT-radiatoren	149	nanoporeuze isolatiematerialen	78
LT-systemen	146	natuurlijke ventilatie	127
LTA-waarde	102, 109, 248	NEN 5128, EPN	27
luchtdichtheid	79, 245	nokzonneboiler	221
luchtdichtheid beganegrondvloer	84		
luchtdichtheidsmeting	80	O	
luchtdichtheidsklassen 1, 2 (en 3)	247	omgevingswarmte	167
luchtdoorlatendheid	79, 245	omvormer	235
luchtfilters	117	onderwaarde, rendement op	168
luchtkanalen	122	ontwerp-temperatuur, ruimteverwarming	241
luchtkwaliteit, buiten	116	opblaasproef	80
luchtkwaliteit, binnen	118	open haard	122, 162
luchtsnelheid, comfort	242	open inzethaard op gas	122
luchttemperatuur	241	open therm thermostaat	170
luchtverdeelkast	123	opstellingsruimte installaties	70
luchtverwarmer, direct gestookte	158	oriëntatie, dak	51
luchtverwarming, éénzone-systemen	158	oriëntatie, gevels	54
luchtverwarming, tweezonesysteem	159	overheidsbeleid, nationaal	23
luchtverwarmer, indirect gestookte	158	overstek, (dak-)	59, 107
luchtverwarming, meerzone-systemen	158	overstroomvoorzieningen (ventilatie)	121
luchtverwarming	157	oververhitting	58
luchtvochtigheid, relatieve	195, 248		
toevoerroosters, luchtverwarming	159	P	
luiken	105	Passiefhuis	46
		passieve zonne-energie	57
M		passieve zonne-energie, glasverdeling	60
m ³ a.e.	250	PCM's	109
maatregelpakketten EPC 0,8 - NEN 5128	25, 26	PER (bij verwarmen)	174
massa, bouwkundig (zwaar of licht bouwen)	109	PER (bij koeling)	199
meerstandenschakelaar	140	piekvermogen	236
micro-WKK, micro warmtekracht		pompschakeling, bij vloer- en	
(zie HRe-ketel)	171	wandverwarming	229



primaire energie	250
psi-waarde (ψ)	244
PV (PV-systemen)	232
PV-cellen	234
PV-panelen (PV-module)	232, 234
PV-panelen, doorzicht	107
PZE	57

Q

q_{v10} -waarde	245
$q_{v10\text{ kar}}$ -waarde	246

R

R-waarde, R_c -waarde, en andere	
R-waarden	77, 243
radiatoren	149
radiatorkranen	165
radiatormeter, elektronisch	189
ramen	99
ramen, passieve zonne-energie	58
randon(gas)	85
recirculatielucht, luchtverwarming	158
referentiewoningen (diverse typen)	253
regeling ruimteverwarming	165
regeling ventilatiesysteem	140
regeling collectief gestookte cv-installaties	188
regeneratie (bodem)	174
renovatie, eisen Bouwbesluit	81
relatieve (lucht)vochtigheid	195, 242, 248
rendement, vollast-, deellast-, waterzijdig	168
restwarmte	173
ringleidingen, tapwater	
(collectieve systemen)	208
rolgordijnen	102, 106
ruimte, opstelling installaties	70
ruimtethermostaat	165
ruimteverwarming, keuzecriteria	147
RV	242
RV-sensor	141

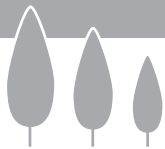
S

saldering	236
Sankey-diagram	20
scenario's (energie-)	17

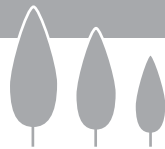
screen	59
SD-waarde	249
SDE (-subsidie)	235
seizoensopslag	183
serre, onverwarmde	62
serre, richtlijnen ventilatie	63
soortelijke massa, bouwmaterialen	250
spaardouches	203
SPF	174
spouw, valse	95
spouw in spouwmuur	93
spouwconstructie	93
spouwisolatie	93
spouwisolatie, harde en zachte	94
spouwmuren	93
spouwmuur, ankerloze	98
spuien	121
spuivoorzieningen	121
stadsverwarming (warmtelevering)	187
standby-verliezen, elektrische apparaten	228
straling	148
stralingstemperatuur	241
strokenverkaveling	55
suskasten	128

T

tapdrempel	212
tappot, combiketels	215
tapvat, combiketels	215
tapwaterverwarming	201
tapwaterverwarming, collectieve	
installaties	208, 215
tegelkachel	162
temperatuur, binnentemperatuur	241
temperatuur, ontwerp- (richtwaarden)	241
temperatuurfactor, binnenoppervlakte	245
temperatuuroverschrijding	31
teruglevering (bij PV-systemen)	235
terugloopsysteem (zonneboiler)	218
thermische breuk beglazing	104
thermische brug	244
thermische isolatie	77
thermo(foto)grafie	79
thermosifon (zonneboilersysteem)	219



thermostatische douchemengkraan	204	verdampingsmeter	189
thermostatische radiatorkranen		verdelers (bij cv-water)	163
of –knoppen	165	verdunningsfactor	117
TIM's	106	verkeering	54, 55
tochtdichtingsprofielen	102	verkeer en energieverbruik	71, 72
tocht(klachten), voorkomen van	124	verkeersprestatie op locatie	73
tochtportaal	61	verlichting, energieverbruik	231
toestelwachtijd (warmwater)	208	vervoerskeuze	72
toevoerrooster, handbediend	140	verwarmings(afgifte)systemen, keuzetabel	147
translucente isolatiematerialen	106	veteranenziekte (legionella)	204
transmissie	242	vliesgevel	62
Trias Energetica	37	vloerafwerking, bij vloerverwarming	155
Trombemuur	67	vloerbedekking, bij vloerverwarming	156
tubes, daglicht	67	vloerkoeling	195
tweepijpsysteem	163	wandkoeling	195
tijdsturing, ventilatie	141	vloerverwarming	152
		vocht	248
U		voordeur, thermisch geïsoleerd	100
U-waarde	244	voorraadtoestellen	213
		voorzieningszekerheid	13
V		vorstbeveiliging (wtw-unit)	134
vaatwasser, hot-fill	207	VPL	73
vegetatiedak, extensief	90	vraaggestuurde regelingen, ventilatie	140
vensterbank	102	vrije koeling	176, 200
ventielen, inblaasventielen voor ventilatie	137		
ventilatie, begrippen	245	W	
ventilatie, eisen	118	wachttijd (op warmwater)	208, 209
ventilatie, bediening en regeling	140	wachttijd, leiding (op warmwater)	208, 209
ventilatiebalans	120	wandverwarming	156
ventilatiestrooster, zelfregelende	128	warmtapwater	201
ventilatiesystemen	126	warmtapwater (bij collectieve systemen)	
ventilatiesystemen, keuzetabel	127	voor ruimteverwarming)	186
ventilatiesysteem A, natuurlijke toe- en afvoer	127	warmte-isolerende luiken	105
ventilatiesysteem B, mechanische toevoer, natuurlijke afvoer	126	warmte-isolerend (rol)gordijn	106
ventilatiesysteem C, natuurlijke toevoer, mechanische afvoer	130	warmte-opslag	182
ventilatiesysteem D, gebalanceerde ventilatie met wtw	133	warmte-distributie	186
ventilatievoud	245	warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde)	244
ventilator-convactor	151	warmtedoorgangscoefficiënt, lineaire (psi-waarde)	244
verbouw, eisen Bouwbesluit	81	warmtedoorstroommeters (warmtemeter)	189
verbruiksmeting (bij collectieve systemen)	188	warmtegeleidingscoëfficiënt	243
		warmte/koude-opslag (WKO)	182
		warmtekrachtkoppeling (WKK)	177
		warmtelevering	185, 187



warmtemeter, elektronische	185, 189	zonneboiler, thermosifon	219
warmtemeting	188	zonneboilercombi	181, 221
warmteovergangswaarden	243	zonneboiler	217
warmtepomp, koeling	200	zonneboilers, systeemopbouw	218
warmtepompen, elektrische en		zonneboilers in gestapelde bouw	221
gasgestookte	171, 175	zonnelcel (zie PV-cel)	234
warmtepompen, systeemkeur	177	zonnelcollector	217
warmtepompboilers	186, 223	zonnelcollector, heat-pipe	217
warmtereflecterende isolatie(dekens)	78	Zonnehaardwoning	49
warmtestromen, in 5 referentiewoningen	20	zonnelpanelen (zie PV-panelen)	234
warmteterugwinning, ventilatiesysteem D	133	zonnestroom	232
warmteterugwinning, douchewater	205	zonnetoetredingsfactor (ZTA)	107, 248
warmte wand	156	zonwerende beglazing	59, 107
warmwatertoestellen	210	zonwering	58, 106
warmwatertoestellen, gebruiksrendementen	211	ZTA-waarde (g-waarde)	102, 107, 248
warmte weerstand	77, 242	zuidoriëntatie	54
warmte wisselaar	133	zwevende dekvloer, bij vloerverwarming	97, 153
wasdroogruimte	231		
wasemkap	121		
wasmachine, hot-fill	207		
waterbesparing (warmwater)	202		
waterbesparende douchekop	203		
waterbesparende kranen	204		
waterzijdig inregelen (cv-installatie)	166		
weersafhankelijke regeling	165		
wereldenergieverbruik	15		
windenergie	17, 167, 240		
WKK, mini-WKK	177		
WKO (warmte/koude-opslag)	182		
woningscheidende vloer	96		
woningscheidende wand	96		
wtw uit douchewater	205		
wtw-unit (ventilatie)	133		
Z			
zelfdenkende thermostaat	165		
zomernachtkoeling	138		
zoneren	62		
zonne-instralingsdiagram	255		
zonnebaan	255		
zonneboiler, cv-	221		
zonneboiler, compacte	220, 221		
zonneboiler, standaard	220		



Uitgave

Æneas, uitgeverij van vakinformatie bv,
Boxtel, derde, herziene druk, 2010

Tekst en samenstelling

BOOM, Milieukundig Onderzoek- en
OntwerpBuro

Delft / Maastricht

ir. Ernest Israëls

ir. Frank Stofberg

met medewerking van W/E adviseurs,
Utrecht

Klankbordgroep

ir. Claudia Bouwens (**NEPROM**,
Lente-akkoord)

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

ing. Felix Lacroix (Agentschap NL, **NL**
Energie en Klimaat)

ir. Alexander Pastoors (**BNA**)

ing. Klaas de Vries (Agentschap NL, **NL**
Energie en Klimaat)

ir. Harry van Weele (**ISSO**)

Opdrachtgevers

Agentschap NL, **NL Energie en Klimaat** *

Deelnemers Lente-akkoord:

- **Aedes**
- **Bouwend Nederland**
- **NEPROM**
- **NVB**
- **Ministeries van VROM** en voor **WWI**

Fotografie

BOOM-SI, Delft, tenzij anders vermeld
Foto voorkant omslag: woningbouw in
EVA-Lanxmeer te Culemborg, ontwerp:
KWSA architecten.

Vormgeving

werkraum3149.com, Rotterdam

Colofon

Het EnergieVademecum is gezet in Uni-
versCondensed en gedrukt op fsc papier.

Te bestellen bij:

Æneas, uitgeverij van vakinformatie bv
Postbus 101

5280 AC BOXTEL

www.aeneas.nl

© 2010, Agentschap NL, NL Energie en
Klimaat * (voorheen SenterNovem)

ISBN 978-94-6104- 02-2

Aan deze uitgave kunnen geen rechten
worden ontleend.

Ofschoon deze uitgave met de grootst
mogelijke zorg is samengesteld, kunnen
de opdrachtgevers, 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 de uitgever.

Met dank aan de personen, bedrijven en
instanties die ideeën, informatie en/of
illustraties verschaften. In het bijzonder
dank aan de leden van de klankbordgroep
voor hun opbouwende kritiek. Agentschap
NL, NL Energie en Klimaat en de samen-
stellers houden zich aanbevolen voor op-
en aanmerkingen van de gebruikers van
het EnergieVademecum.



SCS-COC-001303
The mark of responsible forestry
© 1996 Forest Stewardship Council A.C.
FSC Supplier

** Agentschap NL is een agent-
schap van het ministerie van
Economische Zaken. Agent-
schap NL voert beleid uit voor
diverse ministeries als het gaat
om duurzaamheid, innovatie en
internationaal ondernemen en
samenwerken. Agentschap NL
is het aanspreekpunt voor be-
drijven, kennisinstellingen en
overheden. Voor informatie en
advies, financiering, netwerken
en wet- en regelgeving. De
divisie NL Energie en Klimaat
versterkt de samenleving door
te werken aan de energie- en
klimaatoplossingen van de
toekomst.*