

# 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 afbeelding B.1-1 staan richtwaarden voor de te hanteren binnentemperatuur. Met de opdrachtgever moet deze per vertrek definitief worden vastgesteld. Het is te overwegen om in ruimten zoals toilet en interne verkeersruimten verwarming (bijv. radiatoren) achterwege te laten. Door de goede isolatie van de bouwschil worden deze ruimten in veel gevallen door interne warmtestromen voldoende verwarmd en is het aanbrengen van verwarming dus overbodig.

Te grote variatie van de temperatuur in een ruimte is niet gewenst. Vuistregel: het temperatuurverschil in verticale richting (de zogenoemde verticale temperatuurgradiënt) mag tussen 0,1 en 2 meter boven de vloer maximaal 2 °C zijn.

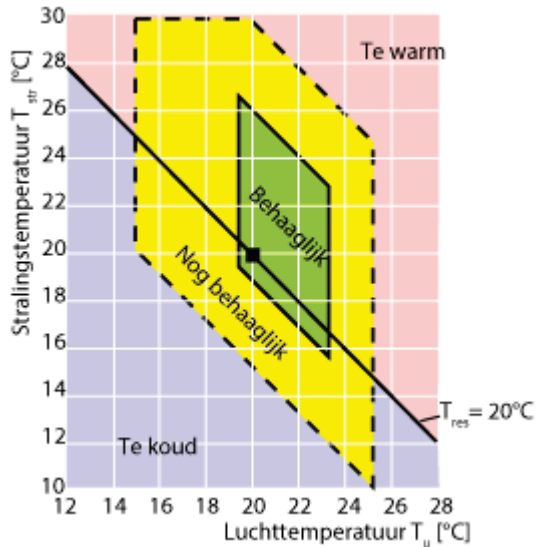
Let op:

- Door de gemiddelde stralingstemperatuur te verhogen, kan de luchttemperatuur worden verlaagd (afbeelding B.1-2). Dit leidt tot een lager energieverbruik. Een hogere stralingstemperatuur is te bereiken door:
  - Stralingsverwarming;
  - Betere isolatie;
  - Verkleinen van 'koude' vlakken.
- Het verschil tussen de gemiddelde stralingstemperatuur en de luchttemperatuur mag niet meer zijn dan 5 °C.

Afb. B.1-1 Richtwaarden voor de ontwerptemperatuur voor de diverse vertrekken in een woning. Deze temperaturen moeten met het gekozen verwarmingssysteem gewaarborgd zijn onder alle omstandigheden en berekening volgens [ISSO-publicatie 51](#) [243].

Ruimte	Ontwerptemperatuur [°C]
Woonkamer	20
(Zit)slaapkamer	20
(Eet)keuken	20
Douche-/ badruimte	22
Entree, hal, gang, overloop	15
Toilet	15
Zolder	15/20*
Inpandige berging (binnen isolatieschil)	15

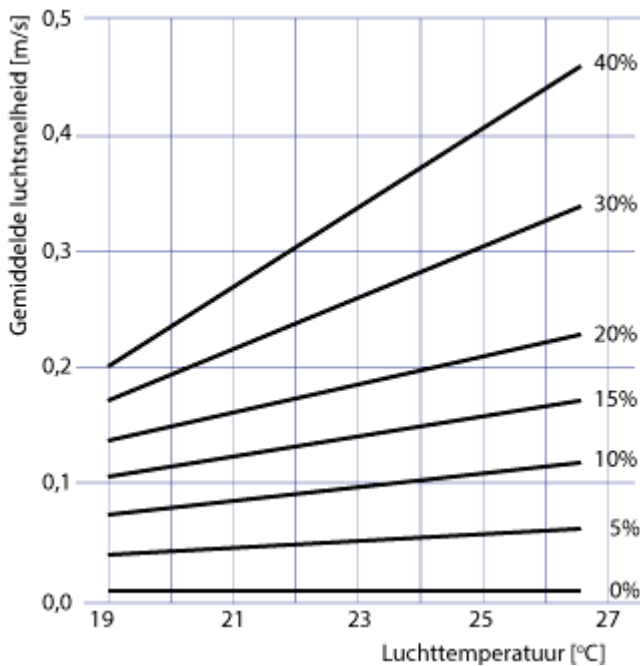
\*Voor een flexibel ruimtegebruik is het aan te raden 20 °C aan te houden



Afb. B.1-2 Samenhang tussen luchttemperatuur en stralingstemperatuur bij een relatieve vochtigheid van 30 tot 70% en een luchtbeweging van 0,1 tot 0,2 m/s. Uit de grafiek blijkt dat een  $T_{res}$  van  $20^\circ\text{C}$  nog geen garantie hoeft te zijn voor een behaaglijk binnenklimaat. (Bron: [244])

### Luchtsnelheid

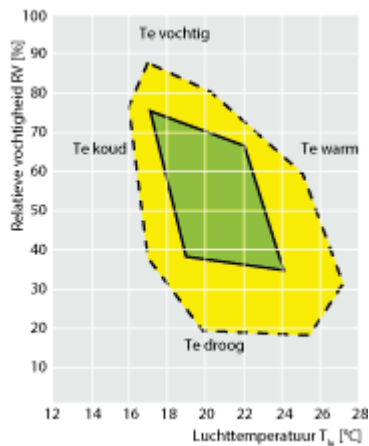
Een gemiddelde luchtsnelheid van meer dan zo'n 0,2 m/s wordt over het algemeen als onaangenaam ervaren voor een zittend persoon. In afbeelding B.1-3 is de samenhang tussen de luchtsnelheid en de temperatuur nauwkeuriger weergegeven.



Afb. B.1-3 Samenhang tussen de luchttemperatuur (bij gelijke stralingstemperatuur) en de gemiddelde luchtsnelheid (Bron: P.O. Fanger, Technical University of Denmark, Lyngby).

### Relatieve luchtvochtigheid

De relatieve vochtigheid van de binnenlucht mag voor een comfortabel binnenklimaat variëren van circa 30% tot 70% binnen het temperatuurgebied van 18 tot  $24^\circ\text{C}$  (afbeelding B.1-4).



Afb. B.1-4 Samenhang tussen luchttemperatuur en relatieve vochtigheid in een ruimte bij een stralingstemperatuur van 19,5 tot 23 °C en een luchtbeweging van 0,1 tot 0,2 m/s. (Bron: [244])

### Luchtkwaliteit: CO<sub>2</sub>-gehalte

Het CO<sub>2</sub>-gehalte in de binnenlucht is een geschikte indicator voor de mate van luchtverontreiniging. Een gehalte van 1.200 ppm CO<sub>2</sub> (buitenluchtconcentratie + 800 = klasse III) wordt in het algemeen als maximum voor (nieuwbouw)woningen beschouwd hetgeen echter erg hoog is te noemen. In de toelichting op het Bouwbesluit wordt opgemerkt dat bij een CO<sub>2</sub>-concentratie van 1.000 ppm al klachten als hoofdpijn en slaperigheid kunnen optreden. Daarom is het beter om voor een verblijfsruimte een gehalte van maximaal zo'n 700 ppm na te streven.

Ppm staat voor: parts per million.

Ter indicatie: 'Normale' (niet vervuilde) buitenlucht heeft in Nederland een CO<sub>2</sub>-gehalte van 400 tot 500 ppm.

Klasse-indeling voor binnenluchtkwaliteit van woningen volgens de Europese norm EN 15251:2007-Annex B (het gaat hierbij om richtlijnen).

Afb. B.1-5 Klasse-indeling voor binnenluchtkwaliteit van woningen

Klasse	Toepassing	ppm CO <sub>2</sub> boven buitenluchtconcentratie
I Hoge kwaliteit	Aanbevolen voor ouderen, kleine kinderen, zieken	350
II Normale kwaliteit	Algemene aanbeveling voor verblijfsruimten in woningen	500
III Matige kwaliteit	Toelaatbaar in bestaande woningen	800
IV Slechte kwaliteit	Toelaatbaar in beperkt deel van het jaar	> 800

## 1.2 Transmissie

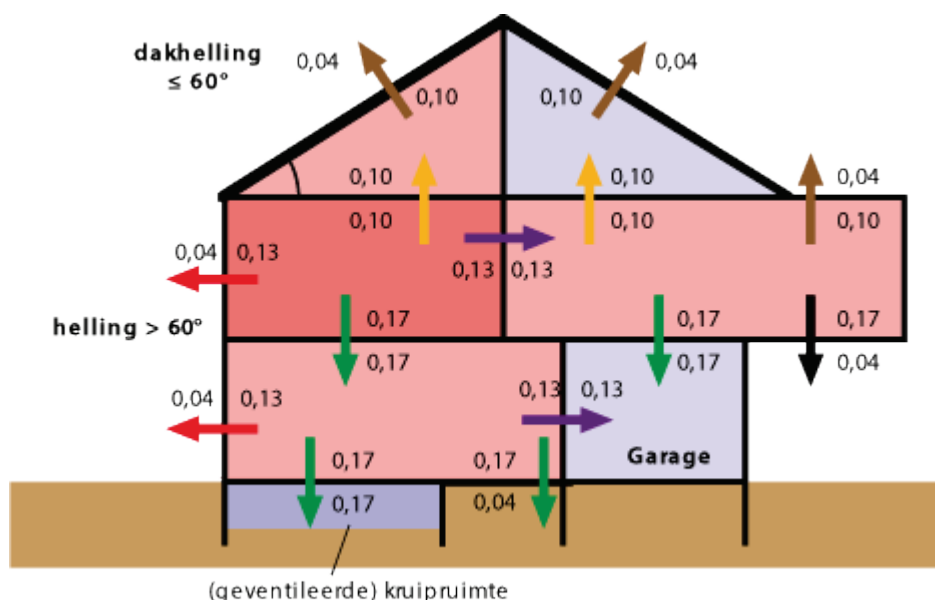
De belangrijkste begrippen bij transmissie:

- Warmteweerstand (R-waarde in m<sup>2</sup>·K/W);
- Warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde in W/(m<sup>2</sup>·K));
- (Lineaire en puntvormige) thermische brug (ook wel 'koudebrug'), lineaire warmtedoorgangscoefficiënt (psi-waarde (Ψ) in W/(m·K));
- Temperatuurfactor (f-factor).

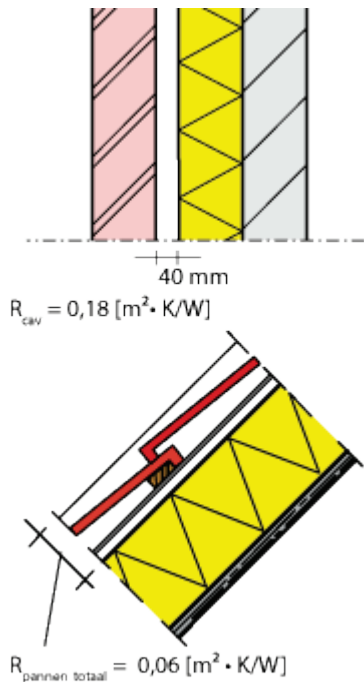
Warmteweerstand (R-waarde)

- Naam: warmteweerstand of R-waarde;
- Eenheid: m<sup>2</sup>·K/W;

- Formule:  $d/\lambda$ , waarin  
 $d$  = dikte in m;  
 $\lambda$  = warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal in W/mK. Hoe lager de  $\lambda$ -waarde, hoe hoger het warmte-isolerend vermogen. Let op het verschil tussen  $\lambda_{\text{reken}}$  en  $\lambda_0$  (zie bijlage 3);
- Hoe hoger de R-waarde van een constructie, hoe minder warmte door die constructie verloren gaat;
- Er wordt onderscheid gemaakt tussen diverse typen R-waarden:
  - $R_c$ : warmteweerstand van een constructie. Als deze is samengesteld uit meerdere lagen, dan worden de warmteweerstanden van de diverse lagen bij elkaar opgeteld; in een aantal gevallen wordt hierbij een correctiefactor (of 'toeslagfactor' volgens NTA 8800 [30]) toegepast. Dat is het geval bij onbedoelde convectie (bijvoorbeeld bij slordig aangebracht isolatiemateriaal in spouwconstructie), bij puntvormige bevestigingshulpmiddelen (ankers), bij regenwater tussen isolatie en dakbedekking (omgekeerd dak) en bouwkwaliteit (prefabricage);
  - $R_{m_i}$ : warmteweerstand van iedere laag waaruit een constructie is opgebouwd. Soms hebben ze een specifieke naam zoals  $R_{cav}$  (voorheen  $R_{spouw}$ ) voor een luchtlaag zoals in een spouwmuur;
  - $R_{si}$  en  $R_{se}$ : warmteovergangswaarde aan het binnen- respectievelijk buitenoppervlak van een constructie, zie afbeelding B.5. Zie NTA 8800 [30] voor de exacte omschrijvingen;
- NTA 8800 geeft voor enkele constructiedelen vaste waarden:
  - Voor een spouw van minimaal 20 mm in een spouwmuur (= een 'niet-geventileerde' luchtlaag, ook bij open voegen) bedraagt de  $R_{cav}$ -waarde  $0,18 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (tabel C.3, met reflecterende folie 0,57). Voor zwak geventileerde luchtlagen bedraagt  $R_{cav}$  0,16;
  - Voor enkele afwerkconstructies, zoals een dakbedekking van pannen inclusief luchtlaag (afbeelding B.7) tussen pannen en dak(isolatie)elementen, mag gerekend worden met een  $R_c$ -waarde van  $0,06 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ . Zie NTA 8800 voor de berekening van de  $R_c$ -waarde van constructies met een verschillende opbouw per doorsnede of van constructies met een ingewikkelde vorm zoals een niet vlakke plaat;
- Een gratis hulpmiddel voor het berekenen van de warmteweerstand: de SBRCURnet '[Rekentool Warmteweerstand](#)'. Gebruik voor definitieve berekeningen altijd officiële gegevens (met certificaat) van de desbetreffende fabrikant.



Afb. B.1-6 Warmte-overgangswaarden (= warmteweerstand) van de diverse luchtlagen grenzend aan een constructie. De waarden van  $R_{si}$  en  $R_{se}$  zijn sterk afhankelijk van de luchtsnelheid nabij de constructie; over het algemeen worden de in de afbeelding aangegeven vaste waarden gehanteerd.  $R$  in  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ . (Bron NTA 8800) [30]



Afb. B.1-7 Warmteweerstand voor veel voorkomende luchtlagen in een spouwmuur en in een hellend dak met dakpannen, volgens NTA 8800 [30]. Bij toepassing van een reflecterende folie op de isolatie aan de spouwzijde bedraagt de  $R_{cav}$  0,57 i.p.v. 0,18. Let op dat het effect van de folie niet dubbel geteld wordt: èn bij het isolatiemateriaal (inclusief folie) èn bij de spouw

#### Warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde):

- Naam: warmtedoorgangscoefficiënt (van een scheidingsconstructie); vroeger aangeduid met k-waarde;
- Eenheid:  $W/m^2 \cdot K$ ;
- Formule:  $1/(R_{si} + R_c + R_{se})$  Zie voor de toelichting op de R-waarden hierboven;
- Veel gebruikte begrippen zijn:
  - $U_{raam}$  of  $U_w$  (de w van window): de U-waarde van kozijn + glas of kozijn + deur;
  - $U_{kozijn}$ : de U-waarde van het kozijn zelf, ook aangeduid met  $U_{frame}$ , afgekort  $U_f$  of  $U_{fr}$ .

#### Een Thermische brug (lineair en puntvormig, NTA 8800 [30])

- thermische brug, ook wel aangeduid met 'koudebrug', is een relatief klein deel (een detail) van de bouwkundige omhulling van een woning (of gebouw) waar de warmtestroom door het detail wijzigt ten opzichte van de aangrenzende vlakken van die omhulling door:
  - Doorbreking van de isolatielaag;
  - Dikteveranderingen;
  - Aansluitingen tussen verschillende scheidingsconstructies (bijv. dak – gevel, rondom kozijnen).
- Thermische bruggen worden gekarakteriseerd door de  $\Psi$ -waarde (psi-waarde) en de f-factor (voor beide zie hierna);
- De nadelige effecten van een thermische brug zijn:
  - Een verhoogde kans op oppervlaktecondensatie;
  - Een plaatselijk (relatief) hoog warmteverlies;
  - Verhoogde temperatuurspanningen (vooral bij zonbestraling), waardoor de levensduur van de constructie mogelijk wordt bekort.

#### Psi-waarde ( $\Psi$ )

- Naam: lineaire warmtedoorgangscoefficiënt;
- Eenheid:  $W/m^1 \cdot K$ ;
- $\Psi$  geeft het warmteverlies per m detail. Deze grootte is van belang om de thermische kwaliteit van een koudebrug aan te geven.  $\Psi$  is over het algemeen alleen met specifieke

computerprogramma's te berekenen. In de SBR-referentiedetails Woningbouw [96] en Uitwerkingsinstructie Toolkitconcepten Passiefhuis [63] wordt bij elk detail de  $\Psi$ -waarde gegeven. Zo is de  $\Psi$ -waarde voor de aansluiting schuindak-kopgevel 0,028 W/(m<sup>1</sup>·K) uitgaande van zeer goed geïsoleerde constructie. In [63] wordt voor passiefhuizen geadviseerd om de  $\Psi$ -waarden voor alle aansluitingen kleiner dan 0,01 W/(m·K) te maken;

- De invloed van lineaire koudebruggen op de energieprestatie kan forfaitair worden meegenomen door middel van een automatische toeslag op de U-waarde of door middel van de uitgebreide methode. Hierbij wordt per koudebrug de lengte (binnenafmeting) en de  $\Psi$ -waarde in rekening gebracht.

#### f-factor

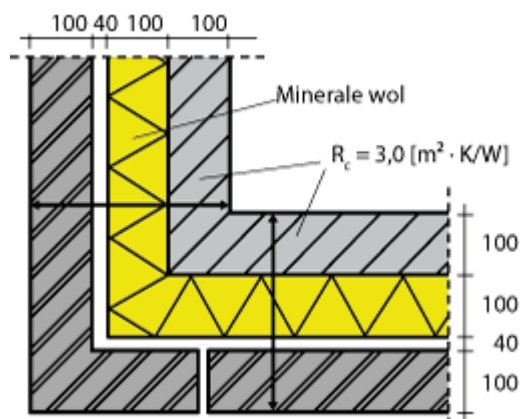
- Naam: binnenoppervlaktetemperatuurfactor of temperatuurfactor;
- Kengetal voor de gevoeligheid voor oppervlaktecondensatie: wanneer een constructie bijvoorbeeld een ernstige koudebrug heeft, is de f-factor laag;
- Eenheid: -
- Formule:  $f = (T_{s,i} - T_e)/(T_i - T_e)$ , waarin

$T_i$  = binnentemperatuur [°C]

$T_{s,i}$  = oppervlaktetemperatuur binnenzijde constructie [°C]

$T_e$  = buitentemperatuur [°C]

Het Bouwbesluit eist een f-factor van 0,65 of hoger voor uitwendige scheidingsconstructies, inclusief vloeren boven een kruipruimte, van een verblijfsgebied, toilet- of badruimte. De eis geldt niet voor een kozijn, raam of deur. In [96] staan bij details en soms bij combinatie van details f-factoren vermeld.



Afb. B.1-8 De f-factor van dit knooppunt bedraagt 0,79

### 1.3 Ventilatie en luchtdoorlatendheid

De belangrijkste begrippen bij ventilatie en luchtdoorlatendheid (in de praktijk vaak aangeduid met luchtdichtheid) zijn:

- Ventilatievoud;
- $q_{v10}$ ,  $q_{v10,spec}$  en  $q_{ve,inf}$  waarde;
- C- en c-waarde;
- Luchtdichtheidsklasse 1, 2 (en 3).

Het Bouwbesluit 2012 (versie 03/11/2018) (artikel 5.4 Luchtvolumestroom) stelt als eis aan de maximale luchtvolumestroom (bepaald volgens NEN 2686 [100]):  $q_{v10} \leq 200 \text{ dm}^3/\text{s}$  (oftewel 0,2 m<sup>3</sup>/s); deze waarde geldt per 500 m<sup>3</sup> woninginhoud. Deze eis dient als 'vangnet' want in de nieuwbouw is een betere luchtdichtheid zeer gewenst.

#### Ventilatievoud

- Het ventilatievoud geeft aan: het aantal malen dat de totale inhoud van een ruimte per uur volledig wordt verversd. Het begrip wordt in de woningbouw niet zo veel gebruikt, dit i.t.t. de

utiliteitsbouw. Ter indicatie: De minimumeisen voor ventilatie uit het Bouwbesluit komt globaal overeen met een ventilatievoud van 0,5;

- Eenheid: -

#### **q<sub>v10</sub>-waarde**

- De q<sub>v10</sub>-waarde geeft de luchtlekkage aan van een woning bij 10 Pascal over- of onderdruk (in de woning), met afgeplakte toe- en afvoeropeningen van ventilatiekanalen en rookgasafvoerkanalen;
- Eenheid: dm<sup>3</sup>/s;
- De q<sub>v10</sub>-waarde kan berekend worden met behulp van een rekenmodel (zie hierna) dat is opgenomen in de SBR-Referentiedetails Woningbouw (zie [www.sbr.nl](http://www.sbr.nl) voor de verkrijgbaarheid van de digitale uitgaven van deze details). De berekening gaat voor de luchtdichtheid van een woning uit van de in dezelfde uitgave opgenomen standaard details;
- In de publicatie Luchtdicht bouwen [99] wordt aan de hand van foto's en tekeningen een groot aantal details behandeld. Er worden aanwijzingen gegeven op welke wijze details moeten worden uitgevoerd om in de praktijk een bepaalde luchtdichtheid te halen. Met een 'opblaasproef' kan achteraf, dus na de bouw, de gerealiseerde q<sub>v10</sub>-waarde gemeten worden. NEN 2686 [100] geeft een meetmethode hiervoor.

#### **q<sub>v10,spec</sub>(specifieke infiltratie)-waarde**

- De q<sub>v10,spec</sub>-waarde geeft volgens NTA 8800 [30] de luchtdichtheid aan per m<sup>2</sup> gebruiksoppervlakte van de woning, de q<sub>v10</sub>-waarde geeft (zoals hiervoor omschreven) de luchtdichtheid van de gehele woning en is (dus) gekoppeld aan de netto-inhoud van de woning. In NTA 8088 wordt uitgebreid ingegaan op het berekenen van q<sub>v10,spec</sub>. Belangrijke variabelen zijn het bouwjaar (van belang voor bestaande bouw), woningtype en bouwaard (steenachtig, houtskeletbouw of overig). Wanneer een woning onder een kwaliteitsborgingsprocedure wordt gebouwd waarbij ook de q<sub>v10,spec</sub> is vastgelegd, mag die waarde worden aangehouden. De forfaitaire waarde van q<sub>v10,spec</sub> kan volgens de formules in NTA 8088 variëren van circa 0,4 tot 1,6 dm<sup>3</sup>/(s·m<sup>2</sup>). De veel gebruikte eis van 0,15 dm<sup>3</sup>/(s·m<sup>2</sup>) voor de luchtdichtheid van passiefhuizen is dus aanzienlijk zwaarder! Een opblaasproef ('blowerdoor-test') zal kunnen aantonen of een passiefhuis inderdaad aan die eis voldoet. De gemeten waarde van zo'n test = q<sub>v10,spec</sub> x het vloeroppervlak. In de praktijk wordt 'spec' (ofwel 'specifiek') vaak weggelaten, hetgeen dus verwarring kan geven met de andere qv-waarden, let dus goed op de eenheid);
- Eenheid: dm<sup>3</sup>/s·m<sup>2</sup>

#### **q<sub>v,eff,lea</sub>(effectieve volumestroom door infiltratie)**

- De q<sub>v,eff,lea</sub> geeft de toevoerluchtvolumestroom door infiltratie. In NTA 8800 [30] wordt uitgebreid ingegaan op het berekenen van q<sub>v,lea,ref</sub>. Belangrijke variabelen zijn q<sub>v10,spec</sub>, gebouwhoogte (winddruk), woningtype, ventilatiesysteem en gebruiksoppervlak. De q<sub>v10,lea,ref</sub> wordt mede gebruikt om de BENG 2 indicator (volgens NTA 8800) [30] te berekenen;
- Eenheid: dm<sup>3</sup>/(s·m<sup>2</sup>)

#### **C- en c-waarde en het rekenmodel voor luchtdoorlatendheid**

- Het rekenmodel om de q<sub>v10</sub>-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;
- Eenheid: dm<sup>3</sup>/s·m;
- Door de lengte van alle aansluitingen op te meten en te vermenigvuldigen met de betreffende c-waarde en deze op te tellen, verkrijgt men de totale luchtdoorlatendheidscoëfficiënt, de C-waarde. Vult men vervolgens deze C-waarde in een bepaalde formule in, dan krijgt men de q<sub>v10</sub>-waarde. Zie verder de uitgaven Luchtdicht bouwen [99] en SBR-Referentiedetails [96];

- Eenheid C-waarde:  $\text{dm}^3/\text{s}$  bij 1 Pascal (let op: omrekenen naar  $q_{v10}$ -waarde moet met een formule gebeuren, en kan niet met x 10).

Afb. B.1-9 Maximale en minimale luchtdichtheidseisen volgens NEN 2687:1989 [101]. Voor passiefwoningen is een klasse 3 in het leven geroepen [63], maar die staat niet in deze NEN

Ventilatiesysteem	Woningvolume	$q_{v10}$ [ $\text{dm}^3/\text{s}$ ]	
		min.	max.
Klasse 1*	$\leq 250$	30	100
	$> 250$ en $\leq 500$	50	150
	$> 500$	50	200
Klasse 2**	$\leq 250$	-	50
	$> 250$	-	80
Klasse 3 (passiefhuizen)	$\leq 250$	5	15
	$> 250$	10	30

\* Klasse 1: Natuurlijke toevoer van ventilatielucht (systeem A en C).  
 \*\* Klasse 2: Mechanische toevoer van ventilatielucht (systeem B of D)

### Luchtdichtheidsklasse 1, 2 (en 3) volgens NEN 2687

In NEN 2687:1989 [101] wordt onderscheid gemaakt tussen twee luchtdichtheidsklassen (afbeelding B1-9):

- Klasse 1: 'normale' luchtdichtheid, te verkrijgen met standaard details;
- Klasse 2: extra luchtdicht, te verkrijgen door aangepaste details en extra zorg aan de uitvoering.

In de uitgave 'Luchtdicht bouwen' [99] worden voor de gangbare details aanwijzingen gegeven hoe deze in de bouwpraktijk kunnen voldoen aan klasse 1 of 2. Voor passiefhuizen is een extra klasse in het leven geroepen: Klasse 3. Deze klasse wordt in 'Uitwerkingsinstructie Toolkitconcepten Passiefhuis' [63] voorgesteld en staat dus niet in NEN 2687. De zeer goede luchtdichtheid moet gerealiseerd worden door een zeer zorgvuldige detaillering en uitvoering die beide in [236] worden toegelicht.

NEN 2687

NEN 2687:1989 [101], Luchtdoorlatendheid van woningen – Eisen, houdt rekening met de verschillende ventilatiesystemen. Met name bij een gebalanceerd ventilatiesysteem moet de woning goed luchtdicht zijn. Bij natuurlijke toevoer wordt ook een minimale luchtdichtheid gevraagd! De woning mag dus niet te goed luchtdicht zijn, dit om te voorkomen dat er te weinig toevoer is van verse buitenlucht als bewoners alle toevoer-openingen dicht zouden doen.

## 1.4 Zon- lichttoetreding

### g-factor

- Naam: zontoetredingsfactor of g-factor van een raam (of beglazings-)systeem;
- De g-factor geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zonnestraling (zowel directe als diffuse straling). Hoe hoger de g-factor, hoe meer zontoetreding;
- Eenheid: -

In paragraaf 5.2 zijn de g-factoren voor verschillende soorten beglazing vermeld. Het gaat hierbij om globale rekenwaarden.

### TL-factor (voorheen LTA-waarde)

- Naam: lichttoetredingsfactor of TL-factor van een raam- (of beglazings-) systeem. De TL-factor geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zichtbare zonnestraling. Hoe hoger de TL-factor, hoe meer lichttoetreding;
- Eenheid: -



In paragraaf 5.2 zijn de TL-factoren voor verschillende soorten glas vermeld. Het gaat hierbij om globale waarden.

## 1.5 Vocht

Lucht bevat altijd een hoeveelheid vocht in de vorm van waterdamp. Hoe hoger de temperatuur is, hoe meer waterdamp de lucht kán bevatten.

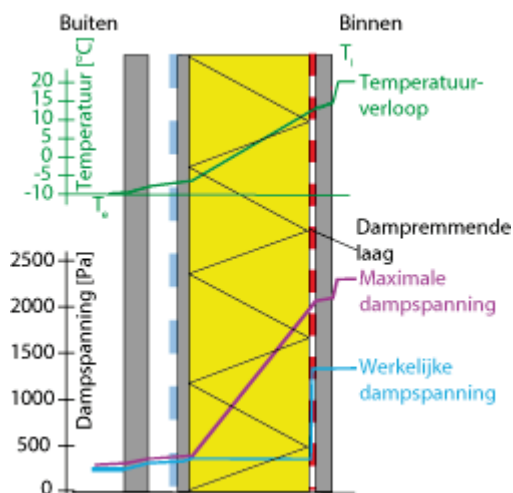
Het absolute vochtgehalte is de hoeveelheid waterdamp per  $m^3$  lucht. De relatieve vochtigheid is de hoeveelheid waterdamp in de lucht, uitgedrukt als percentage van de maximale hoeveelheid waterdamp die de lucht bij de heersende temperatuur kan bevatten. De dauwpunttemperatuur is de temperatuur die afkoelende lucht heeft op het moment dat daarin condensatie begint op te treden.

Zodra de temperatuur van een constructie beneden de dauwpunttemperatuur komt, treedt condensatie op. Deze condensatie kan plaatsvinden op een koud vlak, zoals een raam of op een koudebrug. Er is dan sprake van oppervlaktecondensatie.

We spreken van inwendige condensatie wanneer condensatie in een constructie optreedt. Dit gebeurt wanneer er een damptransport plaatsvindt van binnen naar buiten en deze dampstroom binnen de constructie in aanraking komt met een vlak waarvan de temperatuur lager is dan de voor de dampstroom geldende dauwpunttemperatuur. Inwendige condensatie is te voorkomen door bijvoorbeeld het aanbrengen van een goed uitgevoerde dampremmende laag aan de woningzijde (dus de warme zijde) van een gevel-, dak- of vloerconstructie. Zie ook paragraaf 5.1.2 en 5.1.3.

De mate van dampdichtheid van een dampremmende laag wordt uitgedrukt in de  $S_d$ -waarde (eenheid in meter). Ter indicatie:

- Een dampremmende folie heeft een  $S_d$ -waarde van tenminste zo'n 10 m; maar deze waarde kan ook wel  $> 150$  m bedragen voor zeer dampremmende lagen zoals bijv. nodig is onder een epdm-dakbedekking;
- Een dampopen folie heeft een  $S_d$ -waarde van ca. 0,02 m of kleiner.



Afb. B.1-10 Een constructie moet van binnen naar buiten altijd een afnemende dampdichtheid hebben, anders kunnen er condensatieproblemen ontstaan. Een dampremmende laag moet daarom altijd aan de binnenzijde (woningzijde) van een constructie aangebracht worden, zoals in deze houtskeletbouwconstructie.

## Bijlage 2 Energie-eenheden

De opwekking van elektriciteit met behulp van bijvoorbeeld aardgas, kolen of olie (dit zijn vormen van zogenoemde fossiele energie of fossiele brandstoffen) vindt in een elektriciteitscentrale plaats met een relatief laag rendement. Tijdens het transport van de elektriciteit van de centrale naar de gebruiker treden eveneens verliezen op. Totaal levert dit een rendement op van 69% op bovenwaarde (bron: NTA 8800 [30]). Bron van diverse van onderstaande omrekenfactoren: 'Cijfers en tabellen 2007' en NTA 8800. In 2017 bedroeg het rendement van de totale landelijke elektriciteitproductie op bovenwaarde (inclusief duurzame opwekking) net iets boven de 50% (bron: CBS, 21-2-2019). NTA 8800 loopt dus nog ver voor op de huidige efficiëntie.

### Afb. B.2-1 Omrekenfactoren

Eenheid	Rekenwaarde	Eenheid
1 kWh elektriciteit	5,22	MJ primaire energie (op bovenwaarde)
1 kWh elektriciteit	0,10	m <sup>3</sup> a.e.
1 kWh	3,6	MJ
1 m <sup>3</sup> a.e.	9,8	kWh (thermisch op bovenwaarde)
1 m <sup>3</sup> aardgas	35,17	MJ (op bovenwaarde)
1 MJ (op bovenwaarde)	0,028	m <sup>3</sup> aardgas
1 kg H <sub>2</sub>	4	m <sup>3</sup> a.e.
1 kg droog hout	0,48	m <sup>3</sup> a.e.
1 m <sup>3</sup> aardgasbesparing	1,780	kg CO <sub>2</sub> besparing
1 kWh elektriciteitsbesparing levert op:	0,34	kg CO <sub>2</sub> besparing
1 GJ (gigajoule)	10 <sup>3</sup>	MJ
1 TJ (terajoule)	10 <sup>6</sup>	MJ
1 PJ (petajoule)	10 <sup>9</sup>	MJ
1 EJ (exajoule)	10 <sup>12</sup>	MJ
10 <sup>6</sup> ton ruwe olie	41,9	PJ
10 <sup>6</sup> ton steenkool	29,3	PJ
10 <sup>6</sup> barrel *	5,7	PJ
1 BTU (Britisch thermal unit)	1054,6	J
<ul style="list-style-type: none"> <li>• m<sup>3</sup> a.e. = m<sup>3</sup> aardgasequivalenten;</li> <li>• Primaire energie (zie uitleg primaire energie hieronder) wordt vaak uitgedrukt in m<sup>3</sup> a.e., ook wel in kWh (let op het verschil tussen kWh en kWh elektrisch!)</li> </ul>		
<p>* 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)</p>		

### Primaire energie:

Mede om de gas- (m<sup>3</sup> gas) en elektriciteitsverbruiken (kWh elektrisch) onderling te kunnen vergelijken, worden energieverbruiken omgerekend naar 'primaire energieverbruik'.

Het gaat bij primaire energie om de energie-inhoud van energiedragers (zoals aardgas) uitgedrukt in m<sup>3</sup> a.e. (aardgasequivalenten), in MJ (megajoule) of in kWh.

Primaire energie in energieprestatieberekeningen omvat naast fossiele energiebronnen ook duurzame energiebronnen zoals zonne-energie (als aftrekpost).

Het gasverbruik is al gelijk aan primair energieverbruik. Aan het elektriciteitsverbruik worden het leidingverlies en het rendementsverlies van de elektriciteitscentrale toegevoegd.

## Bijlage 3 Soortelijke massa en $\lambda$ -waarde van bouwmaterialen

Bij  $\lambda$ -waarden (lambda-waarden) wordt onderscheid gemaakt tussen de  $\lambda_D$ -waarde en  $\lambda_{\text{reken}}$ -waarde. De eerste,  $\lambda_D$ , betreft de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal 'in het laboratorium bepaald' (de D staat voor Declared) en de tweede waarde,  $\lambda_{\text{reken}}$ , de waarde waarmee gerekend mag worden. De rekenwaarde is voor isolatiematerialen in de meeste gevallen gelijk aan de  $\lambda_D$ -waarde, maar voor enkele materialen en toepassingen moet de waarde gecorrigeerd worden voor vochtopname, veroudering (in ruime zin) en temperatuur. Hiervoor zijn enkele correctiefactoren in gebruik, zie NTA 8800 [30]. Een voorbeeld is de factor van 1,05 die gebruikt wordt voor het in het werk 'los' aanbrengen van bijv. minerale wolvlokken, in nieuwbouwconstructies die speciaal ontworpen zijn voor in het werk isoleren. Bij metselwerk moet men ook rekening houden met de voegen. In NTA 8800 zijn daarvoor tabellen opgenomen voor de  $\lambda$ -waarden inclusief voegen.

De bijgaande  $\lambda_{\text{reken}}$ -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  $\lambda$ -waarde twee waarden zijn gegeven, kan de  $\lambda$ -waarde voor een tussenliggende waarde van de soortelijke massa lineair worden geïnterpoleerd.

Diverse leveranciers van isolatiematerialen hebben op hun sites [246] veel nuttige en toegankelijke informatie vermeld over het rekenen met  $\lambda$ -waarden t.b.v. het bepalen van R<sub>c</sub>-waarden. Ook zijn soms rekenmodellen te downloaden. Bijgaande tabel geeft een overzicht van de soortelijke massa en  $\lambda$ -waarde (rekenwaarde) van gangbare bouwmaterialen (afbeelding B.3-1). Alle waarden zijn indicatief en zijn afkomstig uit NTA 8800 en uit gegevens van fabrikanten.

Afb. B.3-1  $\lambda$ -waarde van gangbare bouwmaterialen

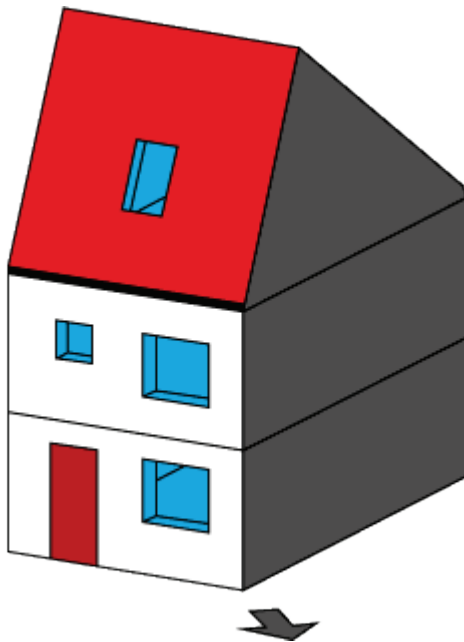
Materiaal	Soortelijke massa [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda_{\text{reken}}$ [W/m·K]	
		Droog binnen milieu	Overig
<b>Beton</b>			
Normaal gewapend grindbeton	2300	1,83	2,06
Lichtbeton	1900	1,28	1,44
	1600	1,03	1,16
Cellenbeton	800	0,23	0,25
	600	0,17	0,19
	400	0,12	0,13
<b>Metselstenen</b>			
Gevelklinkers, hardgrauw	1900	0,90	1,21
Rood/boerengrauw	1500	0,64	0,87
Kalkzandsteen	1750	1,14	1,52
Porisosteent	1350	0,57	0,76
<b>Pleisterlagen</b>			
Cementpleister	1900	1,0	
Kalkpleister	1600	0,70	
Gipspleister	1300	0,50	
Isolerend pleister (bijv. met ps-bolletjes of geëxp. kleikorrels)		0,08 - 0,11	
<b>Hout- en plaatproducten</b>			
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	
<b>Isolatiematerialen**</b>			
<i>Kunststofschuimen</i>			
Geëxpandeerd polystyreen (EPS)	15	0,04	
Geëxpandeerd polystyreen (EPS)	20 - 25	0,030 - 0,035	
EPS met natuurlijke grondstoffen	35	0,034	
Geëxtrudeerd polystyreen (XPS)	30 - 40	0,027	
Geëxtr. Polystyreen (XPS)(CO <sub>2</sub> geblazen)	25 - 45	0,025 - 0,036	
Polyurethaan (PUR)(H) CFK-vrij	30 - 35	0,023 - 0,029	
Polyurethaan (PUR) ter plaatse gespoten	30 - 35	0,035	
Polyisocynaat (PIR)	30 - 35	0,026	
Resol met HCK	35	0,021 - 0,025	
<i>Anorganische materialen</i>			
Minerale wol (glas- en steenwol)	> 35	0,030 - 0,040	
Geëxpandeerde kleikorrels (cement gebonden)	600 - 1200	0,10 - 0,20	
Perliet (los gestort)	100 - 120	0,045 - 0,055	
Vermiculite	70 - 100	0,05 - 0,06	
<i>Organische materialen</i>			
Geëxpandeerde kurk	100 - 200	0,041 - 0,046	
Stroleem	300 - 1600	0,1 - 0,7	
Cellulose	30 - 60	0,038 - 0,04	
Vlaswol	25 - 50	0,035 - 0,04	
Houtwoldeken	55	0,038	
Houtvezel isolatieplaat	140 - 180	0,040 - 0,045	
Houtvezel isolatieplaat	50 - 60	0,036 - 0,038	
Wol van gerecyclede kleding	25	0,039	
Strobaal liggend (stro loodrecht op gevel)	90 - 110	0,06***	
Strobaal op zijn kant (stro evenwijdig aan gevel)	90 - 110	0,045***	
* Loodrecht op vezelrichting.			
** Officieel heten alleen materialen met een $\lambda$ -waarde $\leq 0,06$ W/(m·K) 'isolatiemateriaal'.			
*** Bron: Bouwen met stro; Michel Post e.a., Uitgeverij Aeneas, Boxtel, 2013.			
Een reflecterende folie, grenzend aan een luchtpouw $\geq 20$ mm en niet of zwak geventileerd, aan één zijde van een isolatiemateriaal levert een extra $R_c$ -waarde van $0,39$ m <sup>2</sup> ·K/W			

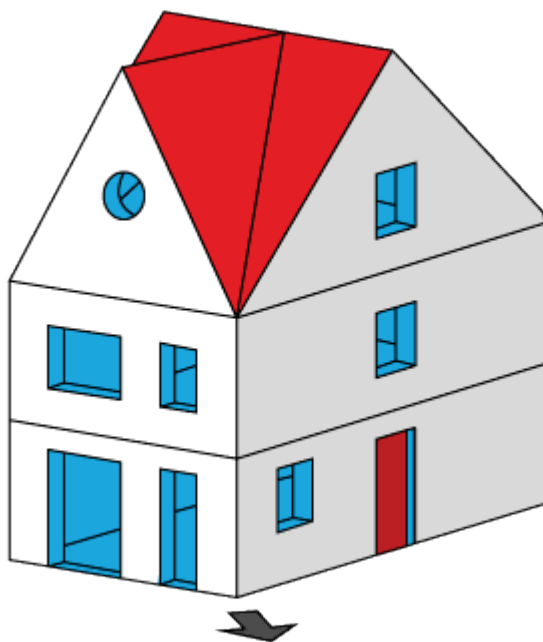
## Bijlage 4 BENG referentiewoningen van RVO

In het Energievademecum worden enkele BENG referentiewoningen [247] gebruikt. Deze woningen, met de daarin getroffen energiebesparende maatregelen, vormen een basis van waaruit een ontwerpproces kan starten voor verdergaande energiebesparende maatregelen. Zie paragraaf 3.4 voor het effect van afzonderlijke maatregelen op de BENG indicatoren van de BENG tussenwoning, vrijstaande woning en het woongebouw.

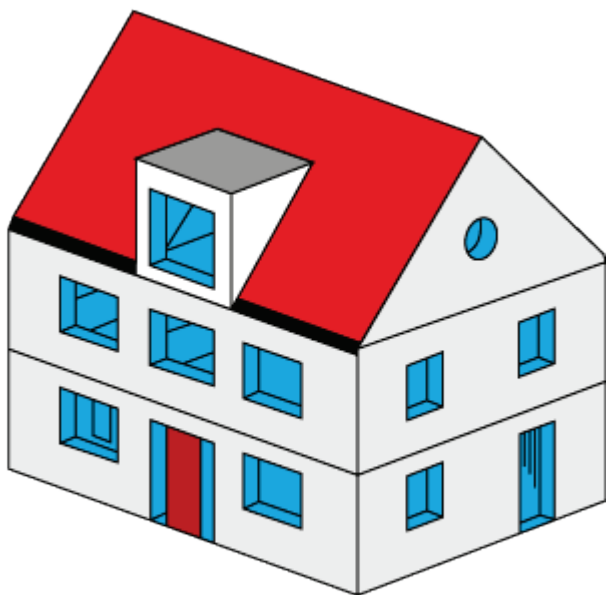
In onderstaande afbeeldingen zijn de 3D-impresies van de verschillende BENG referentiewoningen weergegeven. Deze afbeeldingen zijn ook terug te vinden op de website van RVO.



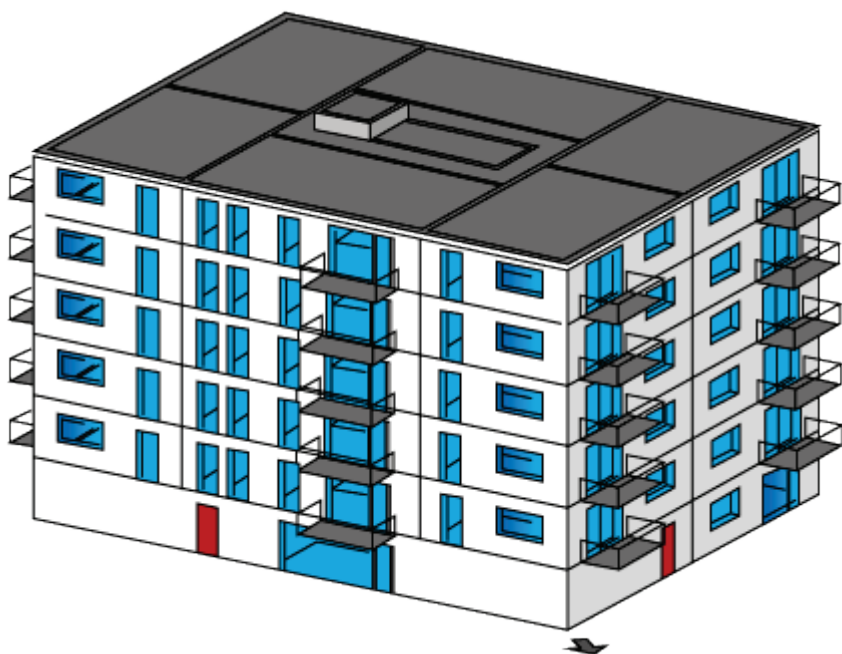
Afb. B.4-1 BENG referentie tussenwoning S



Afb. B.4-2 BENG referentie hoekwoning M



Afb. B.4-3 BENG referentie vrijstaande woning L



Afb. B.4-4 BENG referentie woongebouw (33 woningen)

## Bijlage 5 Indicatie energietarieven

Indicatie energietarieven voor kleinverbruikers (o.a. huishoudens) in 2019, inclusief btw en toeslagen (bron o.a. Milieu Centraal). Elk energiebedrijf en netbeheerder hanteert eigen tarieven, daarom zijn deze in dit overzicht genoemde bedragen indicatief.

Indicatie energie tarieven (2019)

		in euro's (€)
aardgas per m <sup>3</sup>		0,79
elektriciteit per kWh	Normaal tarief	0,23
	Dagstroom/nachtstroom	0,22/0,20

Indicatie vaste bijkomende kosten per jaar (2018/2019) in euro's (€) voor levering en netbeheer

Elektriciteit (leveringskosten)	65
Gas (leveringskosten)	65
Elektriciteit (netbeheer)	250
Gas (netbeheer)	190
Teruggaaf energiebelasting	- 311,62

### Warmtelevering

De maximum tarieven voor warmtelevering (blok- en stadsverwarming) wordt jaarlijks vastgesteld door de Autoriteit Consument en Markt (ACM). Voor 2019 zijn de tarieven inclusief btw als volgt:

- Vastrecht inclusief meettarief: € 345,- per jaar (afgerond);
- Per GJ warmte: € 28,47.

Overzicht netbeheerders van elektriciteit en gas en andere nutsbedrijven

Zie [EnergiePortal](#) voor contactgegevens voor elektriciteit en gas. Via [mijnaansluiting.nl](#) zijn ook de andere nutsbedrijven (water, riool, media, communicatie te vinden per postcodegebied.

## Bijlage 6 Informatie energiebesparing bestaande bouw

Deze bijlage bevat een selectie van bronnen die nuttig kunnen zijn bij renovatie of onderhoud van bestaande woningen. De volgorde van onderstaande lijst is willekeurig:

- Toolkit Bestaande Bouw – duurzame woningverbetering - algemeen; BAM Woningbouw, SenterNovem e.a., uitgave: Aeneas te Boxtel, 2008;
- Toolkit Bestaande Bouw – duurzame woningverbetering – rijwoning voor 1946 / 1946-1965/1966-1975; BAM Woningbouw, SenterNovem e.a., uitgave: Aeneas te Boxtel, 2008;
- Toolkit Bestaande Bouw – duurzame woningverbetering – portiekwoning voor 1966 / galerijwoning 1966-1988; BAM Woningbouw, SenterNovem e.a., uitgave: Aeneas te Boxtel, 2008;
- [Subsite Energiebesparing bestaande bouw](#); RVO; o.a. de onderstaande drie items zijn daarop te vinden;
- [Voorbeeldwoningen particuliere woningen en verhuursector](#) op [www.rvo.nl](http://www.rvo.nl);
- [Brochure Voorbeeldwoningen 2011 Bestaande bouw](#); Agentschap NL (thans RVO), 2011;
- [Energiebesparingsverkenner voor woningen](#); RVO;
- [www.duurzaamgebouwd.nl](http://www.duurzaamgebouwd.nl); algemene site over duurzaam bouwen;
- [www.renda.nl](http://www.renda.nl); kennisnetwerk bestaande bouw;
- [www.bespaarlokaal.nl](http://www.bespaarlokaal.nl); het gemeenteportaal voor energiebesparing, met name in de bestaande bouw.

### **Energie label woningen (en utiliteitsbouw)**

Het energielabel geeft globale informatie over de energetische kwaliteit van een woning of gebouw. Zie [Energie label woningen en gebouwen](#).

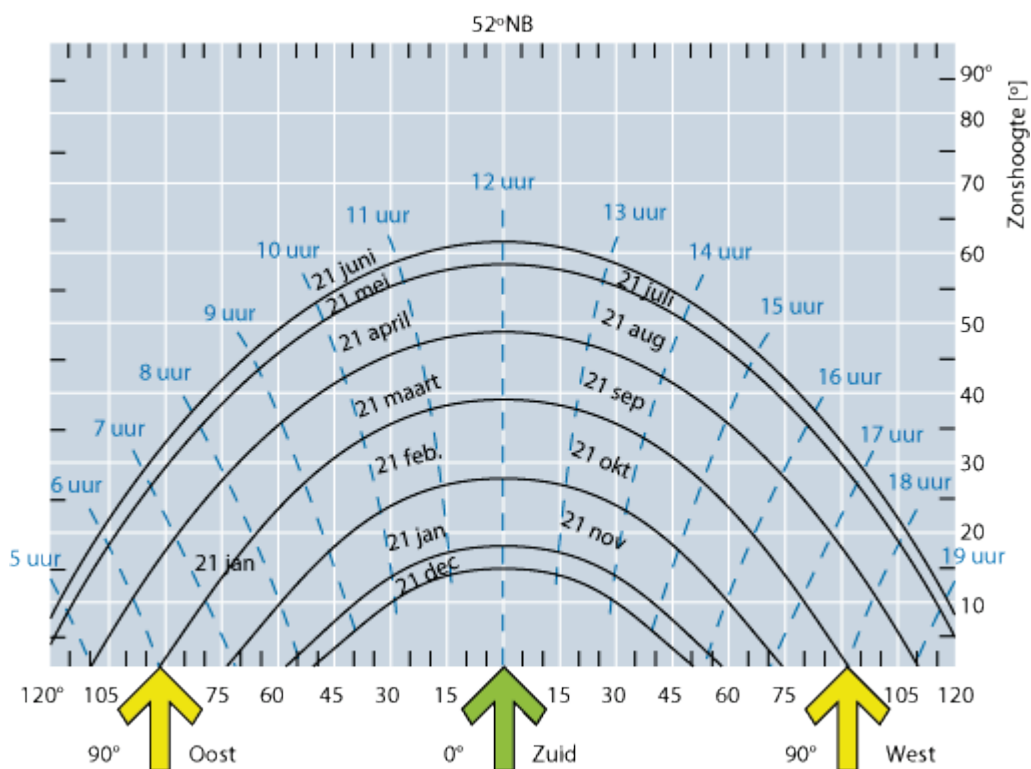


## Bijlage 7 Zonnebaan en zonne-instralingsdiagram

Afbeelding B.7-1 geeft de baan van de zon aan de hemel gedurende een dag voor de diverse jaargetijden. De afbeelding geldt voor plaatsen die op 52° Noorderbreedte liggen. In ons land loopt de betreffende breedtecirkel precies over de lijn Arnhem - Delft.

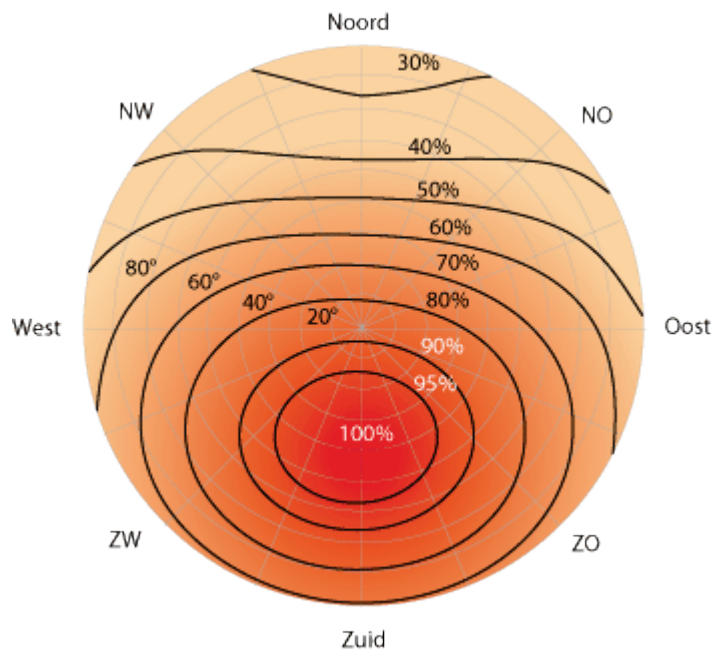
Houd zo nodig rekening met het verschil tussen:

- 'Klok'- en zonnetijd; op de zonnetijd staat de zon om precies 12 uur in het zuiden, deze tijd wijkt echter af van de Midden-Europese tijd die wij aanhouden als 'kloktijd'. Voor plaatsen die liggen op de meridiaan 5° 30' Oosterlengte (bijv. Zeewolde ligt hier bijna op) staat de zon om circa 12.40 uur wintertijd in het zuiden;
- Zomer- en wintertijd; de zomertijd is één uur later dan de wintertijd. Deze komt overeen met de Midden-Europese tijd die één uur later is dan de West-Europese tijd of de GMT, de Greenwich Mean Time.



Afb. B.7-1 Zonnebaan voor plaatsen op 52° Noorderbreedte

Afbeelding B.7-2 toont de zonne-instralingsdiagram. Deze geeft de gemiddelde jaarlijkse zoninstraling voor verschillende vaste hellingshoeken en oriëntaties, uitgedrukt in percentages van de maximale instraling. Zo is af te lezen dat de instraling op een plat vlak (het middelpunt van de cirkel) ongeveer 85% van de maximale instraling bedraagt. De maximale instraling wordt bereikt onder een hoek van 36° en 5° westelijk van het zuiden.



Afb. B.7-2 Zonne-instralingsdiagram