

# Warmtebalans en warmte- en koudebehoefte van een gebouw

Auteurs: Sabine Jansen & Eric van den Ham

## 1 Definitie van de warmtebehoefte van een gebouw

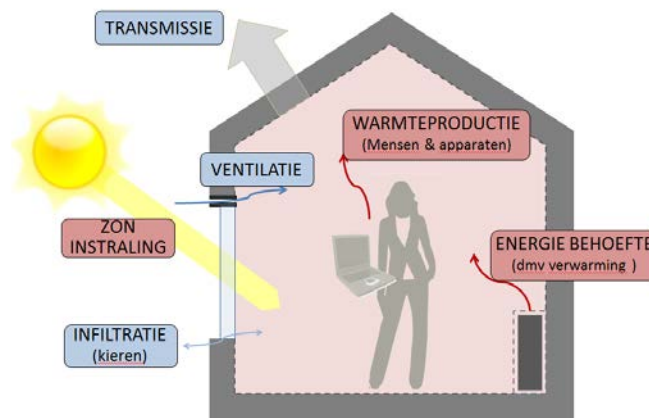
Bij het energie ‘gebruik’ van een gebouw voor verwarmen en koelen kan een onderscheid worden gemaakt tussen de warmtebehoefte van het gebouw en de totale energiegebruik van de technische apparaten (zoals radiatoren, boilers en ketels) die deze warmte leveren.

De energiebehoefte voor verwarming en koeling is gebaseerd op de (grotendeels bouwfysische) eigenschappen van het gebouw, het klimaat waarin het gebouw is gelegen en de gebruikers (ivm. beïnvloeding ventilatie en comforteisen en interne warmte winsten). In de Europese norm (ISO 13790: 2008) wordt de energiebehoefte voor verwarming en koeling gedefinieerd als 'de warmte te leveren aan, of te onttrekken aan, een geconditioneerde ruimte, om de beoogde temperatuur te handhaven gedurende een bepaalde periode van tijd'.

Uit deze definitie blijkt duidelijk dat de extra energiebehoefte die wordt geïntroduceerd door verliezen in technische apparatuur niet wordt meegenomen in de bepaling van de energiebehoefte. De energiebehoefte kan dus worden aangeduid als de energiebehoefte van de thermische zones van het gebouw. Dit verschilt van de hoeveelheid energie die uiteindelijk gebruikt wordt om de verwarming en koeling te realiseren, en waarin alle energie die verspild is door de technische apparaten is inbegrepen.

## 2 De warmtebalans

De warmtebalans (ook wel energiebalans genoemd) is de basis voor het bepalen van de energiebehoefte van een gebouw. De warmtebalans van een ruimte is opgebouwd uit alle warmtestromen die de ruimte in of uit gaan. De volgende stromen spelen een rol:



Transmissie	warmteoverdracht door de gebouwschil heen
Ventilatie*	Luchtverversing van de ruimte
Infiltratie*	Luchtstroming door kieren en naden
Zoninstraling	Straling van de zon die door doorzichtige oppervlakken naar binnen komt
Interne warmtelast	Productie van warmte binnen in de ruimte, door personen, apparatuur en verlichting
Energiebehoefte	Toegevoerde of afgevoerde warmte voor het actief verwarmen of koelen van een ruimte

(\* ) Ventilatie en infiltratie zijn natuurlijk eigenlijk geen warmtestromen maar massastromen. In de warmtebalans echter wordt het verschil tussen de voelbare warmte van de ingaande en de voelbare warmte van de uitgaande lucht als warmteverlies of winst van de ruimte gerekend.

In een stationaire toestand – dat wil zeggen een constante toestand waarbij alle stromen gelijk blijven – geldt dat als basis de volgende balans:

$$Q_{in} = Q_{uit} \quad [J] \tag{1}$$

Of, indien over warmtevermogens wordt gesproken:

$$\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_{uit} \quad [\text{J/s ofwel W}] \quad (2)$$

De beschrijvingen in dit stuk gaan allemaal over een stationaire toestand.

## 2.1 Berekenen van de afzonderlijke componenten

### 2.1.1 Transmissie

Warmteoverdracht door transmissie kan als volgt worden berekend:

$$\dot{Q}_{transmissie} = U \cdot A \cdot (T_e - T_i) \quad [\text{W}] \quad (3)$$

Hierin is:

$U$	warmtedoorgangscoefficient van de scheidingsconstructie	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
$A$	oppervlakte van de scheidingsconstructie	$[\text{m}^2]$
$T_e$	buitenluchttemperatuur	$[\text{°C of K}]$
$T_i$	binnenluchttemperatuur	$[\text{°C of K}]$

Als een ruimte verschillende scheidingsconstructies heeft kan worden gerekend met  $\Sigma(U_i \cdot A_i)$  in plaats van  $U \cdot A$ .

Afhankelijk van  $T_i$  en  $T_e$  zal de factor  $(T_e - T_i)$  in een positief of in een negatief getal resulteren. Als  $T_e$  hoger is dan  $T_i$  (wat in Nederland zelden voorkomt), dan geldt dat  $(T_e - T_i) > 0$  en betekent de transmissie dat er warmte winst is in de ruimte. Als  $T_e$  lager is dan  $T_i$  (wat in Nederland veel vaker voorkomt), dan geldt dat  $(T_e - T_i) < 0$  en betekent de transmissie een warmte verlies.

Pas op: Vaak wordt de transmissie direct als warmte verlies gedefinieerd, en dus als  $U \cdot A \cdot (T_i - T_e)$ . In feite maakt dat niet uit, zoals je bij de berekening maar weet hoe je de tekens consequent toepast en bij de totale energiebalans (zie paragraaf 1.2) daar rekening mee houdt.

### 2.1.2 Ventilatie en infiltratie

Warmteoverdracht door ventilatie ( $Q_{vent}$ ) en infiltratie ( $Q_{inf}$ ) kan als volgt worden berekend:

$$\dot{Q}_{vent} = \dot{V}_{vent} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_e - T_i) \quad [\text{W}] \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{inf} = \dot{V}_{inf} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_e - T_i) \quad [\text{W}] \quad (5)$$

Hierin is:

$\dot{V}_{vent}$	ventilatievolumestroom	$[\text{m}^3/\text{s}]$
$\dot{V}_{inf}$	infiltratievolumestroom	$[\text{m}^3/\text{s}]$
$\rho$	dichtheid van lucht $\approx 1,2$	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
$c_p$	warmtecapaciteit van lucht (bij constante druk) $\approx 1000$	$[\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}]$
$T_e$	buitenluchttemperatuur	$[\text{°C of K}]$
$T_i$	binnenluchttemperatuur	$[\text{°C of K}]$

Evenals bij de transmissie berekening geldt dat de factor  $(T_e - T_i)$  afhankelijk van de temperaturen in een positief of negatief getal zal resulteren, wat betekent dat de ventilatie respectievelijk een warmte winst of een warmte verlies betekent.

### Ventilatie en warmte terugwinning

In veel gebouwen wordt warmteterugwinning van ventilatielucht toegepast, waardoor de ventilatielucht niet met de buitentemperatuur binnenkomt, maar met een temperatuur die dichter bij de binnentemperatuur ligt. In NL is dat meestal van toepassing in de verwarmingssituatie, waardoor de toegevoerde ventilatielucht warmer is dan de buitenlucht. De warmteverliezen voor de ruimte door ventilatie zijn dan dus kleiner dan zonder warmteterugwinning.

De efficiëntie van een warmte terugwin apparaat wordt als volgt gedefinieerd:

$$\eta_{WTW} = \frac{T_{inblaas} - T_e}{T_i - T_e} \quad (6)$$

Een warmteterugwinapparaat met een rendement van 30% levert dus bij  $T_e = -0^\circ\text{C}$  en  $T_i = 20^\circ\text{C}$  een inblaas temperatuur van  $6^\circ\text{C}$   $((6-0)/(20-0))$ .

In een warmtebalans kan het effect van warmteterugwinning worden meegenomen door het rendement mee te nemen in de berekening van het warmtetransport (winst of verlies) door ventilatie, met behulp van onderstaande formule:

$$\dot{Q}_{vent} = (1 - \eta_{WTW}) \cdot q_{vent} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_e - T_i) \quad (7)$$

#### 2.1.3 Zoninstraling

De warmtebelasting door zon ( $Q_{zon}$ ) kan als volgt worden berekend:

$$\dot{Q}_{zon} = A_{glas} \cdot q_{zon} \cdot ZTA \quad [\text{W}] \quad (7)$$

Hierin is:

$A_{glas}$	het glasoppervlak	$[\text{m}^2]$
$q_{zon}$	de intensiteit van de zonstraling op het glas	$[\text{W}/\text{m}^2]$
$ZTA$	de zontoetredingsfactor van het glas	$[-]$

#### 2.1.4 Interne warmtelast

De interne warmtelast ( $Q_{int}$ ) kan worden berekend door het optellen van de warmteproductie van alle mensen, apparaten en verlichtingselementen in een ruimte.

$$\dot{Q}_{int} = \dot{Q}_{personen} + \dot{Q}_{apparatuur} + \dot{Q}_{verlichting} \quad [\text{W}] \quad (8)$$

### 2.2 De stationaire warmtebalans

De hierboven beschreven warmtestromen vormen in een stationaire situatie de volgende energiebalans:

$$\dot{Q}_{trans} + \dot{Q}_{vent} + \dot{Q}_{inf} + \dot{Q}_{zon} + \dot{Q}_{int} + \dot{Q}_{behoefte} = 0 \quad (9)$$

In deze balans is het temperatuurverschil in alle gevallen gedefinieerd als  $(T_e - T_i)$ . Een positief getal voor elk van de componenten in deze balans betekent dus een warmtewinst voor de ruimte die wordt beschouwd, en een negatief getal een warmteverlies. Vanzelfsprekend kan de warmtebelasting door zon en interne warmtebronnen alleen een positief getal zijn.

Voor  $Q_{behoefte}$  geldt dat een positief getal duidt op een warmtebehoefte en een negatief getal duidt op een koelbehoefte.

### 3 Bijlagen en toelichting

#### 3.1 Bijlagen mbt transmissie

##### 3.1.1 U-waarde en Rc-waarde

De hoeveelheid transmissie wordt bepaald door het temperatuurverschil en de isolatiewaarde volgens formule (3). Zoals te zien is in die formule wordt meestal gerekend met de warmtedoorgangscoefficient, de "U-waarde" van een scheidingsconstructie.

- Voor glastypen en kozijnen wordt altijd direct een U-waarde gegeven;
- Voor dichte delen (vloer, dak en gevels) wordt meestal een isolatiewaarde "R" gegeven. De relatie tussen U-waarde en R-waarde is:

$$U = \frac{1}{R_l} \quad (10)$$

$$R_l = R_c + 0,17 \quad (11)$$

(bij constructies die de scheiding vormen tussen binnen- en buitenlucht.)

Hierin is:

$U$	warmtedoorgangscoefficient van de scheidingsconstructie	[W/m <sup>2</sup> K]
$R_l$	warmteweerstand lucht op lucht	[m <sup>2</sup> K/W]
$R_c$	warmteweerstand van een constructie	[m <sup>2</sup> K/W]

(Zie verder het *Bouwfysicaboek van A.C. van der Linden et al., 2011*)

##### 3.1.2 U-waarde en Rc-waarde volgens bouwbesluit

Het Bouwbesluit geeft de volgende eisen ten aanzien van de U-waardes en Rc-waardes:

- Warmteweerstand van 'dichte' constructies (vanaf 1-1-2015):
  - Beganegrondvloer:  $R_c \geq 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ;
  - Gevels:  $R_c \geq 4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ;
  - Dak:  $R_c \geq 6,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ ;
- Warmtedoorgangscoefficiënt van ramen en deuren (beide inclusief kozijnen): gemiddelde Uwaarde  $\leq 1,65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (gemiddeld naar rato van het oppervlak); voor een raam of deur (inclusief kozijn) afzonderlijk geldt een U-waarde  $\leq 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .
- Warmtedoorgangscoefficiënt voor constructies die met ramen en deuren gelijk te stellen zijn: U-waarde  $\leq 1,65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

(*Energievademecum, webversie 2015, online beschikbaar via [www.klimapedia.nl](http://www.klimapedia.nl)*)

##### 3.1.3 U-waardes van ramen (glas inclusief kozijn)

Voor ramen dient meestal de U-waarde inclusief kozijn te worden ingevoerd in berekeningen. Omdat deze niet gemakkelijk zelf te berekenen is, is in figuur 1 een aantal combinaties van raamtype en kozijn type gegeven.

	$U_{\text{glas}}$	Kozijntype A (hout of kunststof) $U_{\text{kozijn}} \leq 2,4$	Kozijntype B (thermisch onderbroken metaal) $U_{\text{kozijn}} \leq 3,8$	Houten kozijn lichte hout-soort $U_{\text{kozijn}} = 1,3$	Aluminium kozijn met zeer goede koudebrug-onderbreking $U_{\text{kozijn}} = 1,3$
HR <sup>++</sup>	1,2	1,8*	2,2*	1,4	1,55
	1,1	1,7*	2,15*	1,35	1,45
	1,0	1,6	2,1*	1,25	1,4
Drievoudig glas	0,9	1,5	2,0*	1,2	1,3
	0,7	1,4	1,9*	1,1	1,2
*) Voldoet niet aan eis Bouwbesluit van $U_w \leq 1,65$ als gemiddelde waarde voor alle kozijnen; voor een afzonderlijk kozijn moet $U_w \leq 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$					

Figuur 1: Overzicht van  $U_w$  ('w' staat voor 'window') in  $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$  voor een totale raamconstructie (kozijn + glas) van enkele typen kozijnen en glassoorten; de forfaitaire waarden van kozijntype A en B zijn afkomstig uit NEN 1068:2012 [bron: Energievademecum webversie 2015].

### 3.2 Bijlage mbt ventilatie

Om vervuilde lucht af te voeren hebben mensen een verse lucht nodig. Een algemeen uitgangspunt voor ventilatie is  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  (=  $7 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) per persoon. In het bouwbesluit worden de volgende eisen gesteld aan ventilatie hoeveelheden voor woongebouwen:

ruimte	minimale capaciteit
verblijfsruimte	$0,7 \text{ dm}^3/\text{s}$ per $\text{m}^2$ vloeroppervlakte met als minimum $7 \text{ dm}^3/\text{s}$
verblijfsgebied	$0,9 \text{ dm}^3/\text{s}$ per $\text{m}^2$ vloeroppervlakte met als minimum $7 \text{ dm}^3/\text{s}$
verblijfsgebied met kooktoestel < 15 kW	$0,9 \text{ dm}^3/\text{s}$ per $\text{m}^2$ vloeroppervlakte met als minimum $21 \text{ dm}^3/\text{s}$ (lucht moet direct naar buiten worden afgevoerd)
toiletteruimte	$7 \text{ dm}^3/\text{s}$ (lucht moet direct naar buiten worden afgevoerd)
badruimte (al dan niet samengevoegd met een toilet)	$14 \text{ dm}^3/\text{s}$ (lucht moet direct naar buiten worden afgevoerd)
opstelruimte voor wasmachine en/of droger (aanbeveling)	vloer < $2,5 \text{ m}^2$ : $7 \text{ dm}^3/\text{s}$ ; vloer $\geq 2,5 \text{ m}^2$ : $14 \text{ dm}^3/\text{s}$ (lucht moet direct naar buiten worden afgevoerd)

#### Afb. 95

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

Figuur 2: Eisen uit het Bouwbesluit ten aanzien van toe- en afvoer van ventilatielucht in woongebouwen. In verblijfsgebied moet de verse lucht direct van buiten komen; deze kan worden afgezogen via verkeersruimten en uiteindelijk in het toilet, badkamer en keuken. Voor meer informatie zie Energievademecum, webversie 2015. [bron: Energievademecum webversie 2015].

### 3.3 Bijlage mbt infiltratie

Infiltratie is ongewenste ventilatie door naden, kieren en openen/sluiten van deuren. Ventilatievoud door infiltratie is afhankelijk van:

- Mate van kierdichting
- Gebouwgrootte (groter is gunstiger)
- Gebouwhoogte (hoger is ongunstiger)

De volgende richtlijnen kunnen worden aangehouden ten aanzien van het infiltratievoud ( $n_{inf}$ )

- Redelijke kierdichting:  $n_{inf} = 0,1 - 0,2$
- Goede kierdichting:  $n_{inf} = 0,05 - 0,1$
- Zeer goede kierdichting:  $n_{inf} < 0,05$

### 3.4 Bijlagen mbt zonbelasting

#### 3.4.1 Zontoetredingsfactor

De ZTA-waarde (ook wel g-waarde genoemd) van een raam (of beglazings-)systeem geeft de verhouding tussen de binnenkomende en de opvallende zonnestraling (zowel directe als diffuse straling). De eenheid is [-]. De ZTA-waarde hangt af van het type glas en het type zonwering. Met buitenzonwering zijn de laagste ZTA-waarden te behalen, omdat de warmte dan letterlijk buiten blijft. In onderstaande figuur zijn de ZTA-waarden van verschillende raamsystemen weergegeven.

Tabel 8 Richtwaarden voor de zonweringsgegevens, de lichttoetreding en de U-waarde voor verschillende raamsystemen

raamsystemen	ZTA	CF	LTA	U (W/m <sup>2</sup> · K)
enkelglas (6 mm), onafgeschermd	0,80	0,01	0,84	5,7
enkelglas, binnenjaloezieën (lichte kleur)	0,45	0,50	0,15	5,4
enkelglas, buitenjaloezieën	0,15	0,05	0,12	4,9
dubbelglas, onafgeschermd	0,70	0,04	0,74	3,2
dubbelglas, binnenjaloezieën (lichte kleur)	0,47	0,55	0,12	3,1
dubbelglas, binnenweefsel met opgedampte metaallaag				
– licht	0,50	0,30	0,30	3,0
– zwaar	0,30	0,50	0,05	2,9
dubbelglas, buitenjaloezieën	0,12	0,05	0,10	2,8
dubbelglas verticaal gespannen doek				
– licht	0,20	0,10	0,15	2,8
– zwaar	0,13	0,15	0,05	2,8
dubbelglas, uitvalscherf (niet aaneengesloten)	0,15	0,15	0,14	2,8
dubbelglas, markies	0,11	0,18	0,05	2,8
zonreflecterend dubbelglas				
– licht	0,45	0,02	0,65	*
– zwaar	0,25	0,05	0,35	*
zonabsorberend dubbelglas				
– licht	0,45	0,06	0,35	3,2
– zwaar	0,25	0,10	0,10	3,2
dubbelglas met spectraal selectieve coating en aangepaste spouwvulling (warmte-isolatie)	0,65	0,05	0,55	1,6
drievoudig glas	0,57	0,07	0,50	2,2

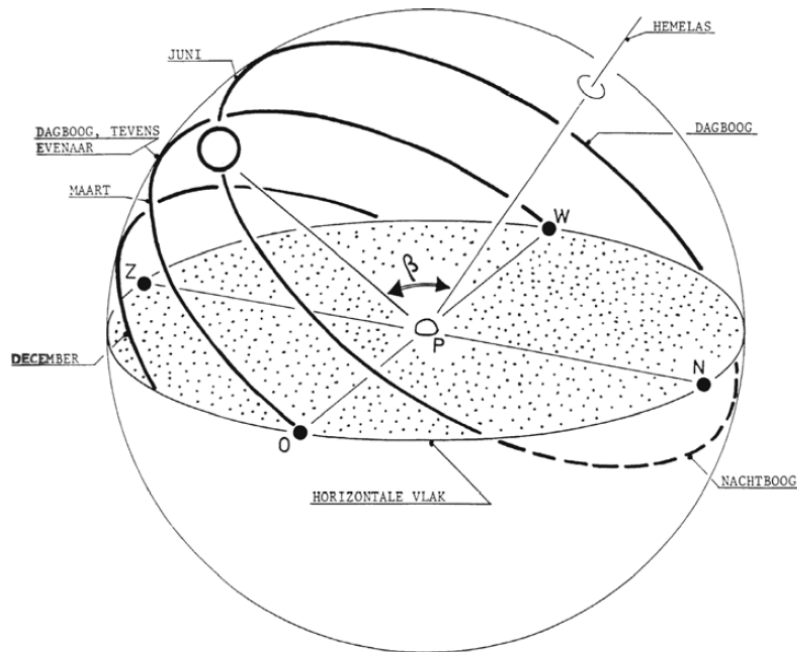
\* Bij ruiten waarbij de reflectie wordt verkregen door een opgedampte metaallaag aan de binnenzijde van de buitenruit, wordt ook warmte-overdracht in de spouw beperkt en kan de U-waarde dalen tot 1,8 à 2,0 W/m<sup>2</sup> · K en zelfs tot 1,4 à W/m<sup>2</sup> · K als ook nog een andere spouwvulling dan lucht wordt toegepast.

N.B. De in de tabel gegeven waarden moeten worden beschouwd als richtwaarden. Specifieke producten kunnen sterk afwijkende eigenschappen hebben. Verder is bij veel constructies (glasvlakken) de hoek van inval van de directe zonnestraling van invloed op de reflectie aan het buitenoppervlak. In deze tabel is uitgegaan van een invalshoek van 45°. Bij jaloezieën is de zonwering daarnaast nog sterk afhankelijk van de lamelstand. In deze tabel is uitgegaan van 45°, dus loodrecht op de zonnestraling.

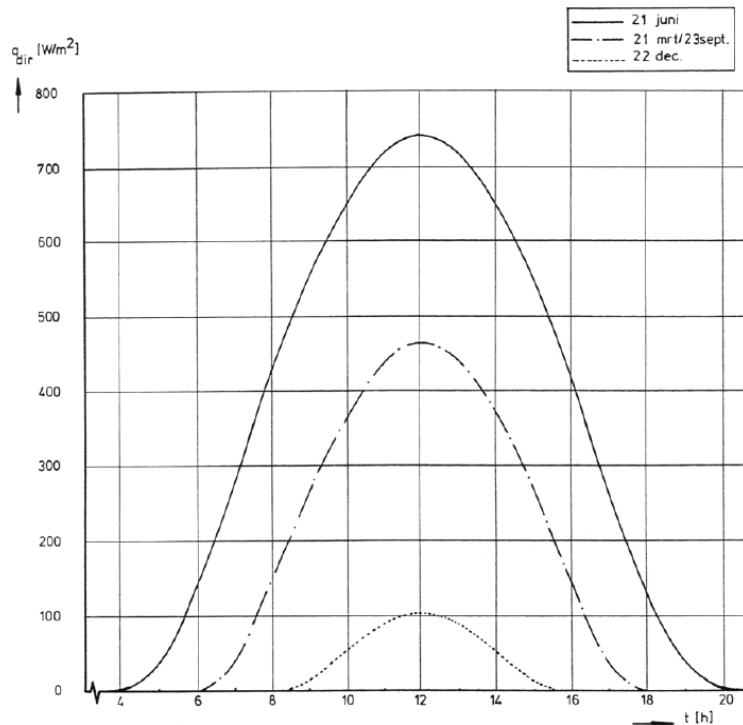
Figuur 3: Overzicht van de ZTA-waarde van verschillende raamsystemen. Pas op: de U-waarden in deze table zijn verouderd; inmiddels zijn veel lagere U-waarden beschikbaar. [bron: Linden, A.C. van der, et al. 2011].

### 3.4.2 Intensiteit van de zoninstraling

Onder de intensiteit van de zoninstraling wordt verstaan de hoeveelheid energie, die op een vlak valt, gemeten per tijdseenheid en per eenheid van oppervlak. De intensiteit van directe-, diffuse- en gereflecteerde straling wordt aangegeven met respectievelijk  $q_{dir}$ ,  $q_{diff}$  en  $q_{refl}$ . Voor een aantal kenmerkende data in het jaar  $q_{dir}$  en  $q_{diff}$  in grafiekvorm weergegeven voor horizontale en verticale vlakken. Zie de figuren 3 t/m 5. [bron: Voorden, M. van der, 1979].

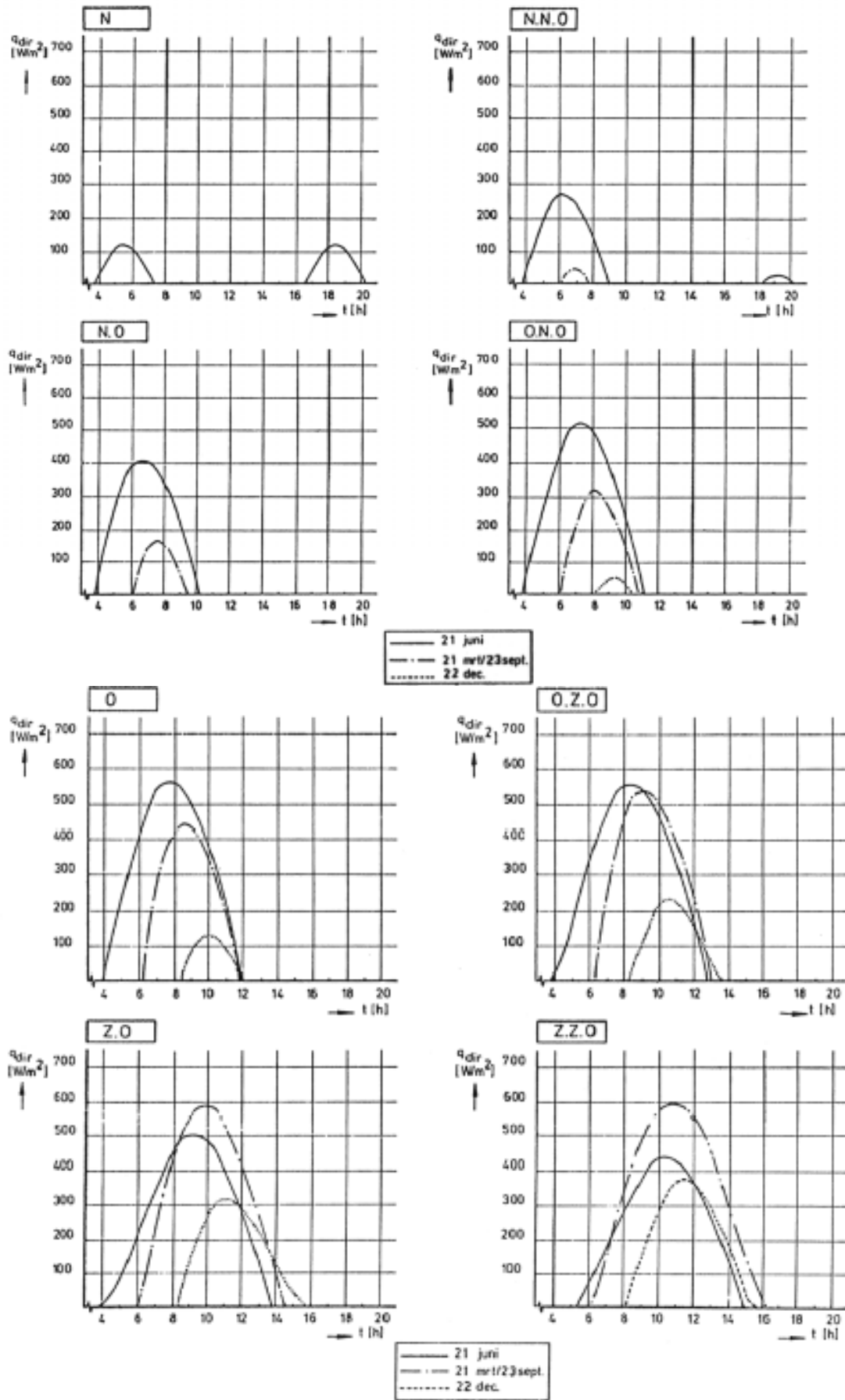


Figuur 4: dagbogen voor 21 december (laagste zonnestand), 21 juni (hoogste zonnestand) en 21 maart en 21 september (de zon komt precies op in het oosten en gaat precies onder in het westen). Bron: Voorden, M. van der, 1979

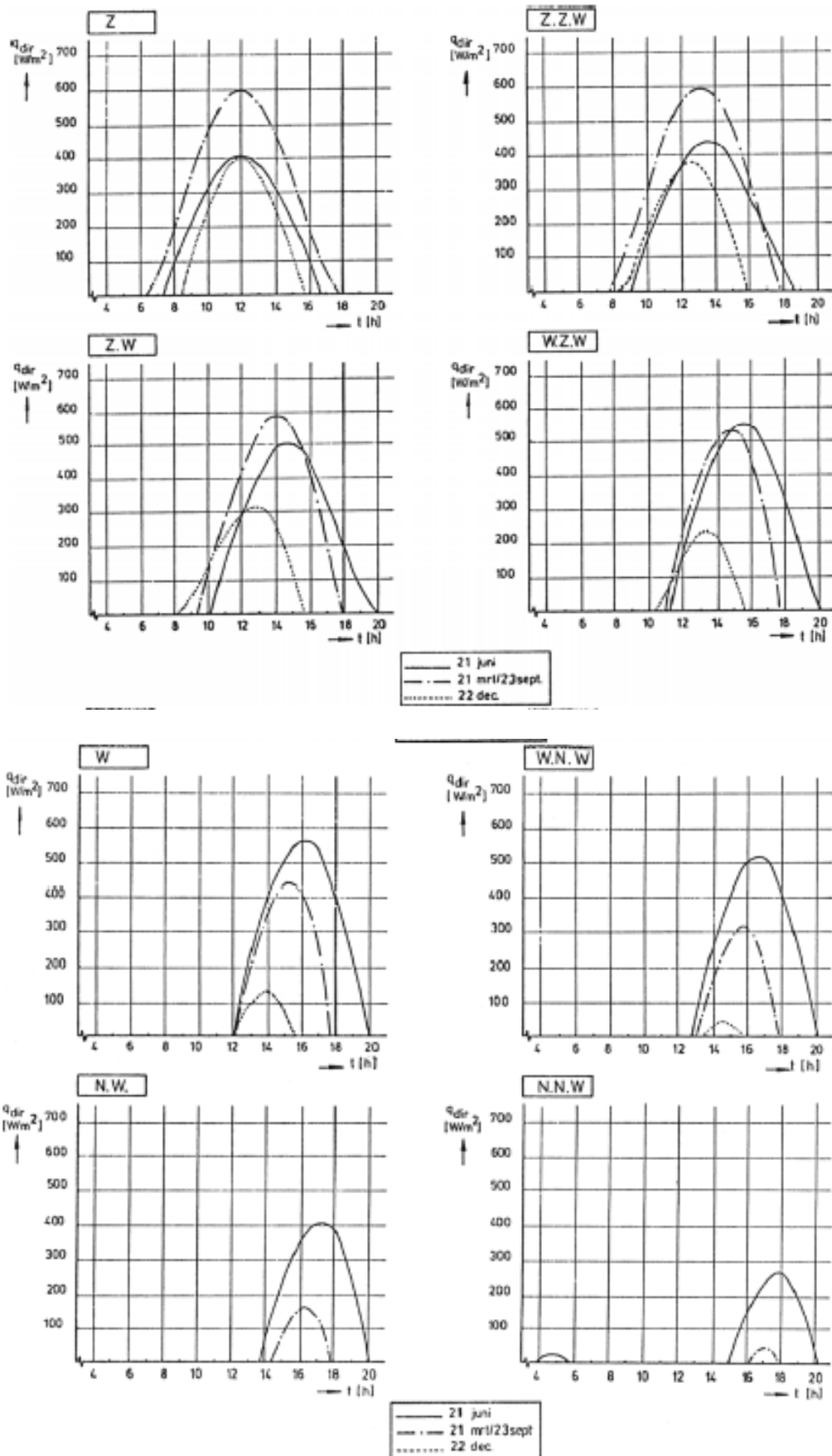


Figuur 4.1 Intensiteit directe zoninstraling op een horizontaal vlak voor 52° N.B. en T = 4

Figuur 5: intensiteit directe zoninstraling op een horizontaal vlak in Nederland







**Figuur 4.2 Intensiteit directe zonnestraling voor verticale vlakken voor 52° N.B. en T = 4**

Figuur 6: intensiteit directe zonnestraling ( $q_{dir}$ ) op verticale vlakken in Nederland [ $W/m^2$ ] op 21 juni, 21 maart, 23 september en 22 december.

## 4 Bronvermelding

Voorden, M. van der, 1979, "Stedebouwfysica gc 49 – BEZONNING". Technische Technische Hogeschool Delft Afdeling der Civiele Techniek.

Van der Linden, A.C., Erdtsieck, P., Kuijpers-van Gaalen, E., & Zeegers, A. (2011). Bouwfysica. Amersfoort:Thieme Meulenhoff BV. ISBN Boek: 978 90 0695 1264.

Energievademecum 2015, (online beschikbaar op [Klimapedia.nl](http://Klimapedia.nl)).