

Workshop Leidse Weer en Sterrekundige Kring

Planeet-gebonden data en twee toepassingen

23 september 2025

Versie 0.2

[inhoud](#)

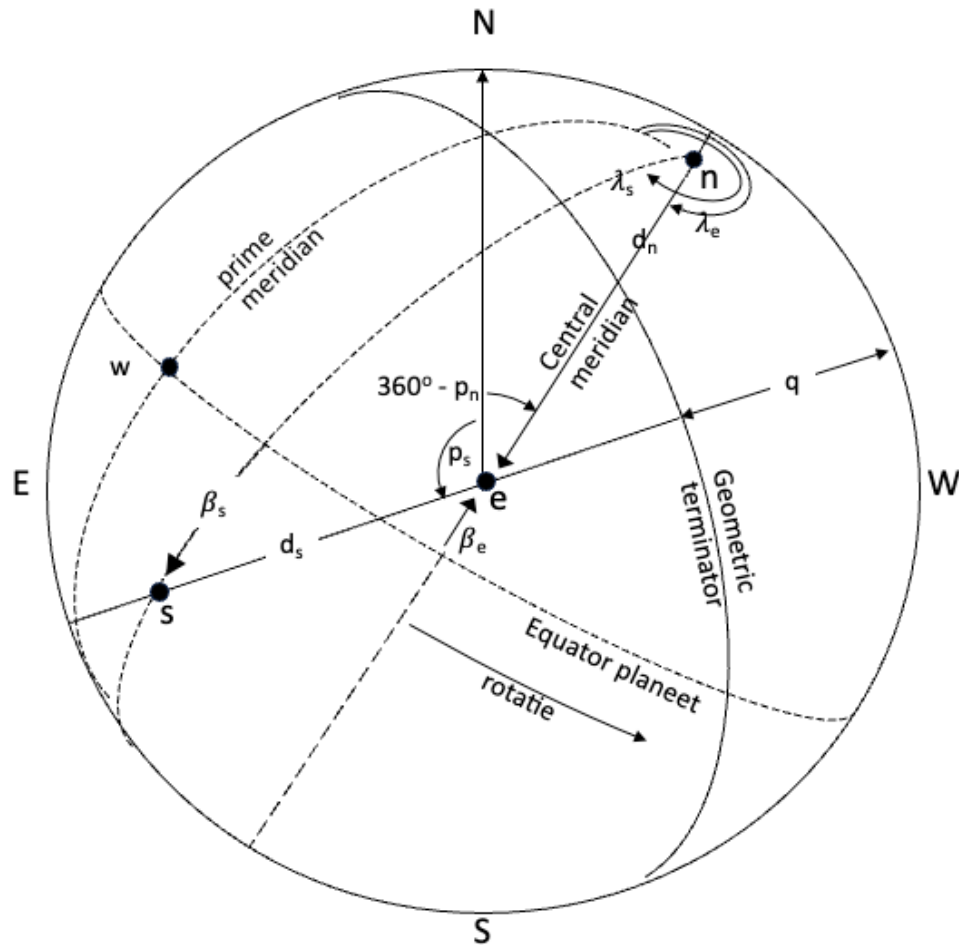
inhoud

1. [Planeet-gebonden data](#)
2. [Zonne-energie](#) (1^e toepassing)
3. [De Groene Energie Corridor](#) (2^e toepassing)
4. [Bronnen](#)
5. [Bijlagen](#)

Planeet-gebonden data

- [Planetocentrische /planetografische breedte en lengte van de aarde en zon](#)
- [Position angle of the central meridian \$P_n\$](#)
- [Apparent polar distance \(\$d_n\$ \)](#)
- [Position angle of the bright limb \$P_s\$ of \$\chi\$](#)
- [Apparent distance \$d_s\$ \(afstand e-s\)](#)
- [Fasehoek \(\$\phi\$ of \$i\$ \)](#)
- [Fase \(\$\Phi\$ \)](#)
- [Greatest defect of illumination \(\$q\$ \)](#)
- [Position angle \$P_q\$](#)
- [\(apparent\) magnitude \$m\$](#)
- [Surface brightness \(\$sb\$ \)](#)
- [Areocentric longitude of the sun \(\$L_s\$ \)](#)
- [Hoogte \$h\$ en azimut \$Az\$ van de zon](#)
- [Hoogte \$h\$ en azimut \$Az\$ van de aarde](#)

De beschrijving van deze onderwerpen en rekenkundige uitwerkingen zijn te vinden in aparte documenten, in Word met de titel “Planeet-gebonden data” en in Excel met “Kepler”. Ze zijn op te vragen via daedalus@lwsk.nl .



N = (noord)-hemelpool
 w = intersectie eq en pm. Argument W
 n = noordpool planeet
 α_0 = rechte klimming pool
 δ^0 = declinatie pool
 e = sub-earth point (center of disk), los aarde
 s = sub-solar point, los zon
 β_e = pg-breedte/declinatie aarde (eq -> e)
 λ_e = pg-lengte aarde (pm -> cm)
 β_s = pg-breedte/declinatie zon (eq -> s)
 λ_s = pg-lengte zon (pm -> meridiaan van s)
 p_n = position angle cm (ook: pa of the axis)
 d_n = afstand (hoek) e -> n
 p_s = position angle lijn s -> e (apparent)
 d_s = afstand (hoek) e -> s
 q = lengte niet-verlichte deel ("")
 p_q = position angle bij q ($p_q = p_s + 180^\circ$)

Eq = equator planeet
 pc = planetocentrische
 pg = planetografische
 pm = prime meridian
 cm = central meridian
 los = line of sight
 AA = astronomical almanac
 ES = explanatory supplement to the AA

Deze grootheden heb je nodig om te bepalen "hoe de planeet verschijnt door een aardse telescoop"

$\lambda_e \beta_e$, $\lambda_s \beta_s$ en L_s zijn nodig bij toepassing 1 en 2.

E72

JUPITER, 2013

EPHEMERIS FOR PHYSICAL OBSERVATIONS
FOR 0^h TERRESTRIAL TIME

Date		Light-time	Magnitude	Surface Brightness	Diameter		Phase Angle	Defect of Illumination
					Eq.	Polar		
		m			"	"	°	"
July	3	50.94	-1.9	+ 5.3	32.19	30.10	1.9	0.01
	7	50.85	-1.9	+ 5.3	32.24	30.15	2.5	0.01
	11	50.74	-1.9	+ 5.3	32.31	30.22	3.0	0.02
	15	50.60	-1.9	+ 5.3	32.40	30.30	3.6	0.03
	19	50.44	-1.9	+ 5.3	32.51	30.40	4.1	0.04
	23	50.25	-1.9	+ 5.3	32.63	30.52	4.7	0.05
	27	50.04	-1.9	+ 5.3	32.77	30.65	5.2	0.07
	31	49.80	-1.9	+ 5.3	32.93	30.79	5.7	0.08
Aug.	4	49.54	-1.9	+ 5.3	33.10	30.95	6.2	0.10
	8	49.25	-1.9	+ 5.3	33.29	31.13	6.7	0.11

[Vooruit](#)[Achteruit](#)

JUPITER, 2013E73

EPHEMERIS FOR PHYSICAL OBSERVATIONS
FOR 0^h TERRESTRIAL TIME

Date		L_s	Sub-Earth Point		Sub-Solar Point			North Pole	
			Long.	Lat.	Long.	Lat.	Dist.	P.A.	Dist.
		°	°	°	°	°	"	°	"
July	3	132.27	29.26	+2.56	31.17	+2.64	+0.53	89.46	+15.04
	7	132.61	270.55	+2.54	273.02	+2.62	+0.69	90.17	+15.06
	11	132.95	151.86	+2.51	154.89	+2.61	+0.85	90.76	+15.10
	15	133.29	33.19	+2.49	36.78	+2.59	+1.01	91.28	+15.14
	19	133.63	274.55	+2.46	278.68	+2.58	+1.17	91.76	+15.19
	23	133.97	155.93	+2.44	160.60	+2.57	+1.33	92.22	+15.25
	27	134.31	37.34	+2.42	42.53	+2.55	+1.48	92.65	+15.31
	31	134.66	278.77	+2.39	284.47	+2.54	+1.64	93.06	+15.38
Aug.	4	135.00	160.23	+2.37	166.44	+2.52	+1.79	93.46	+15.47
	8	135.34	41.72	+2.34	48.41	+2.51	+1.94	93.85	+15.56

Areo-
centrische
lengte

Planetografische
positie aarde
e

Planetografische
positie zon
s

Hoek e-s

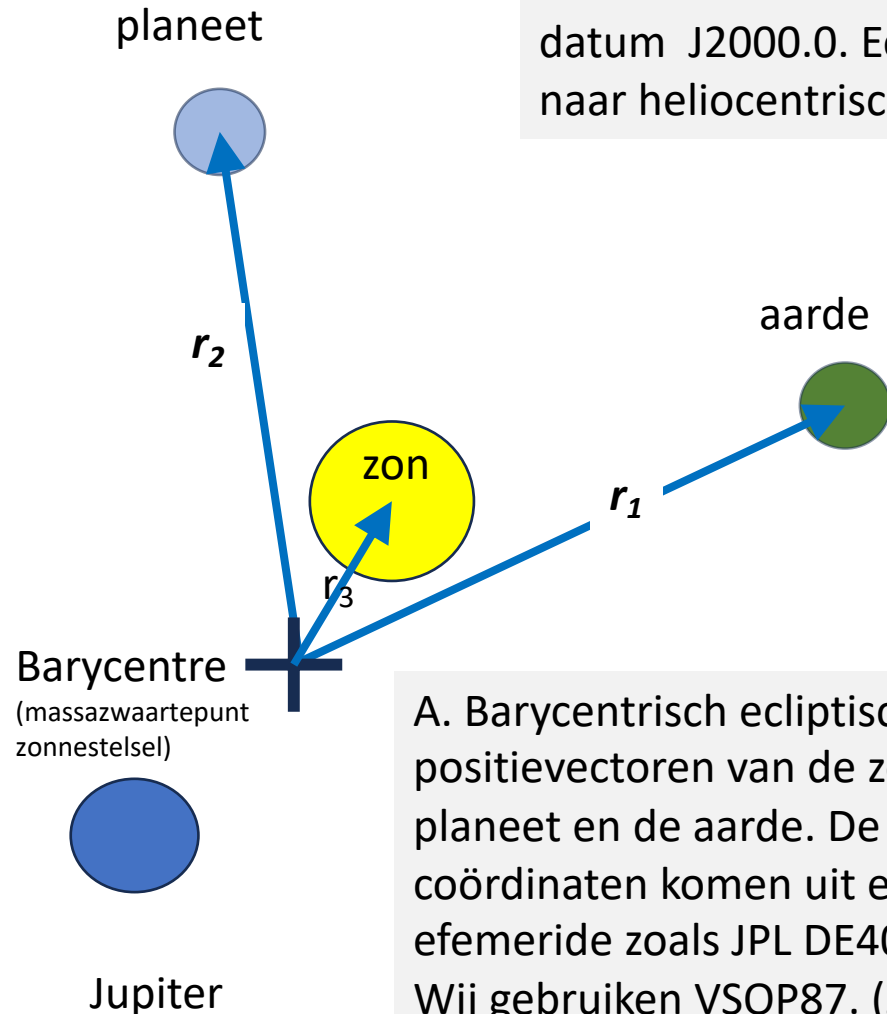
Hoek P_s

Hoek d_n

Hoek P_n

Dit zijn de onderwerpen die we vanavond bespreken / bespreken.

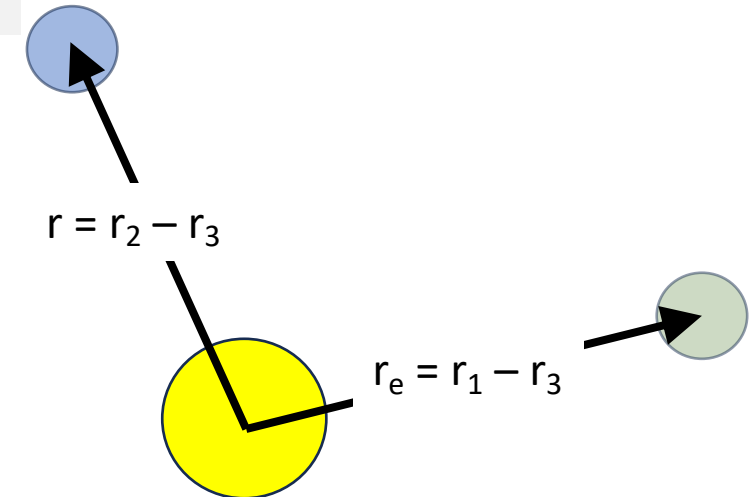
De vectoren zijn nog Geometrische (nog zonder correcties voor lichttijd, aberratie etc.) en voor datum J2000.0. Eerst omzetten van barycentrisch naar heliocentrisch.



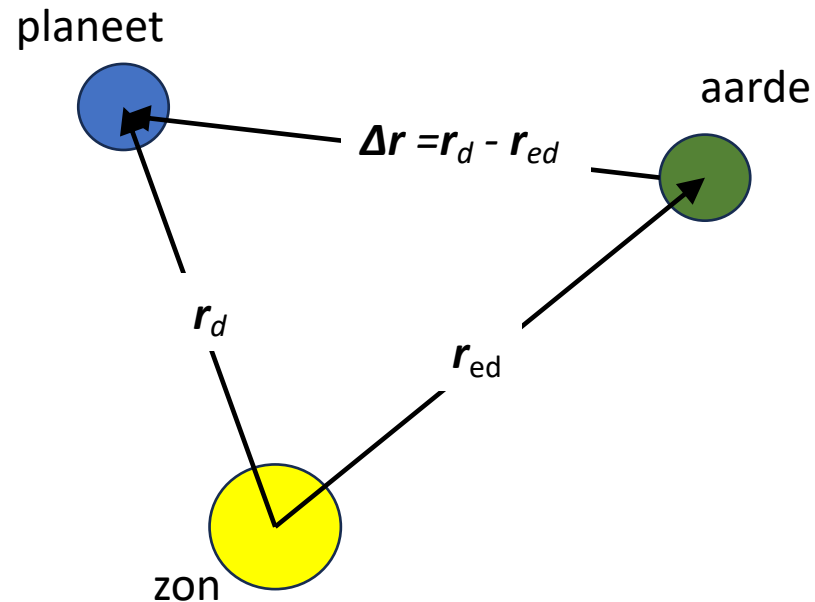
A. Barycentrisch ecliptische positievectoren van de zon, planeet en de aarde. De coördinaten komen uit een efemeride zoals JPL DE405. Wij gebruiken VSOP87. (Zie Excel "Kepler")

B. Transformeer naar Equatoriaal (FK5)

Corrigeer FK5 zodat de posities in CIRS staan.



C. Heliocentrische equatoriale positievectoren in ICRS.



(Vm Stap-1-3) N.b. Stapnummers corresponderen met Word en Excel.

Corrigeer de heliocentrische equatoriale coördinaten van de planeet en de aarde (J2000.0) voor precessie, nutatie en framebias (met [matrix C of \$M_{cio}\$](#)) zodat de positie *van de dag* geldt. Maak er richtingsvectoren van.

Corrigeer r_d voor *lichttijd* δt :

$$\delta t = \frac{|\Delta r|}{c}$$

waardoor deze vector *astrometrisch* wordt.

Corrigeer Δr en r_d voor (Newton-) [aberratie](#).

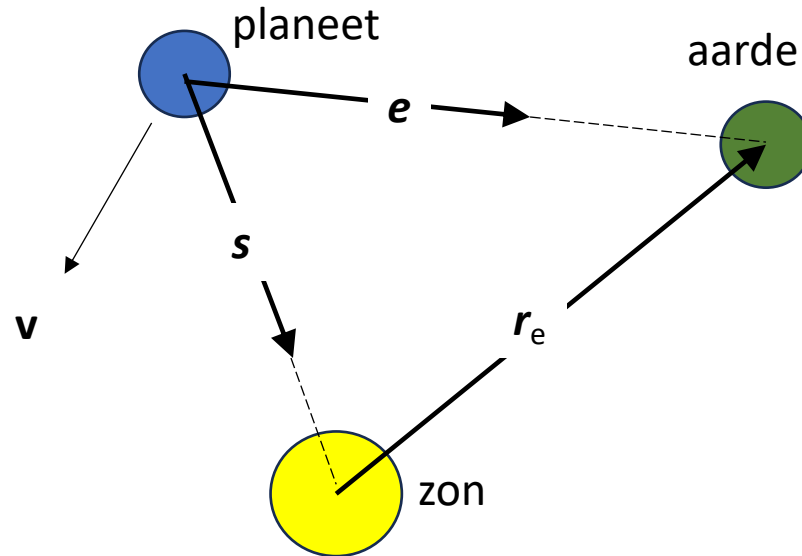
[Terug naar 24 \(q\)](#)

[Terug naar 39 \(\$L_s\$ \)](#)

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)

Planeet gebonden data



(Vm Stap 4-5) Bepaal de richtingsvectoren

$\mathbf{e}$ vanuit de planeet naar de aarde en $\mathbf{s}$ vanuit de planeet naar de zon:

$$\mathbf{e} = \frac{-\Delta \mathbf{r}}{|\Delta \mathbf{r}|}$$

$$\mathbf{s} = \frac{-\mathbf{r}_d}{|\mathbf{r}_d|}$$

$\mathbf{v}$ is de heliocentrische snelheid van de planeet (uit TAB 19 "Kepler"). Deze vector wordt ook gecorrigeerd voor precessie, nutatie en framebias door vermenigvuldiging met matrix $\mathbf{C}$. De snelheid hebben we later nodig om het impulsmoment van de planeet te bepalen t.b.v. [Ls](#).

We gaan $\mathbf{e}$ en $\mathbf{s}$ nu uitdrukken in een *planetocentrisch assenstelsel*:

[Terug naar 14 \(\$\lambda, \beta\$ \)](#)

[Terug naar 16 \(Pn\)](#)

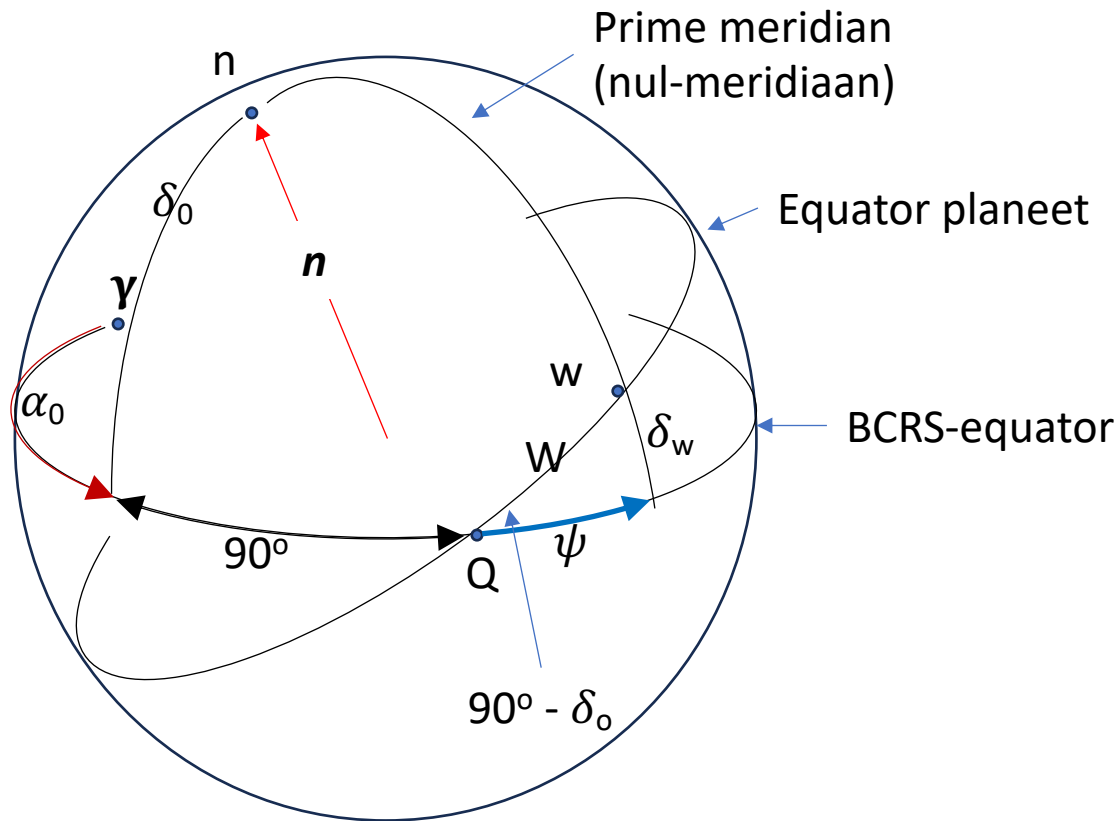
[Terug naar 20 \(Ps\)](#)

[Terug naar 39 \(\$L_s\$ \)](#)

[Terug naar 41 \(\$L_s\$ \)](#)

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)



(Vm Stap 6 - 8) Constructie planetair assenstelsel (z-as).

Net als bij de aarde heeft een planeet een nul-meridiaan, die de equator snijdt bij punt w.

De hemel-equator (BCRS-equator) snijdt de equator van de planeet bij Q

De rechte klimming α_0 (gerekend vanaf γ de CIO, de celestial intermediate origin) en de declinatie δ_0 van de planeetpool n wordt gegeven in [tabellen](#) als functie van de tijd. Dat levert de vector $\mathbf{n}$, die ook gecorrigeerd wordt voor precessie, nutatie en frame-bias d.m.v. matrix $\mathbf{C}$:

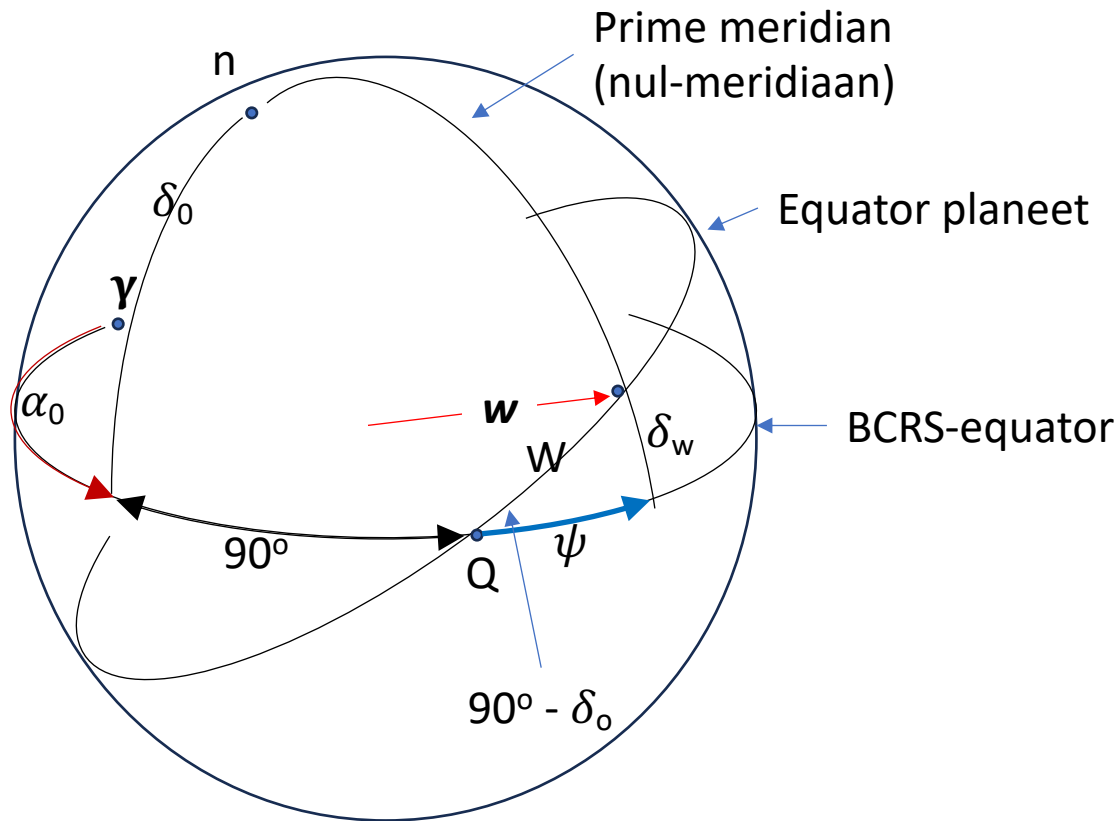
$$\mathbf{n} = \mathbf{C} \cdot \begin{bmatrix} \cos \delta_0 \cos \alpha_0 \\ \cos \delta_0 \sin \alpha_0 \\ \sin \delta_0 \end{bmatrix}$$

$\mathbf{n}$ wordt de **z-as**.

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)

Planeet gebonden data



(Vm Stap 6 - 8) Constructie planetair assenstelsel (x-as).
Hiervoor zijn de hoeken α_w (rechte klimming) en δ_w (declinatie) nodig.

Declinatie. δ_w volgt uit:

$$\sin(\delta_w) = \sin(W). \cos(\delta_0)$$

Ook de hoek W wordt opgegeven in [tabellen](#) en is een functie van de tijd.

Rechte klimming. Uit de figuur volgt:

$$\alpha_w = \alpha_0 + 90^\circ + \psi$$

Voor ψ geldt:

$$\tan \psi = \frac{T}{N}$$

met

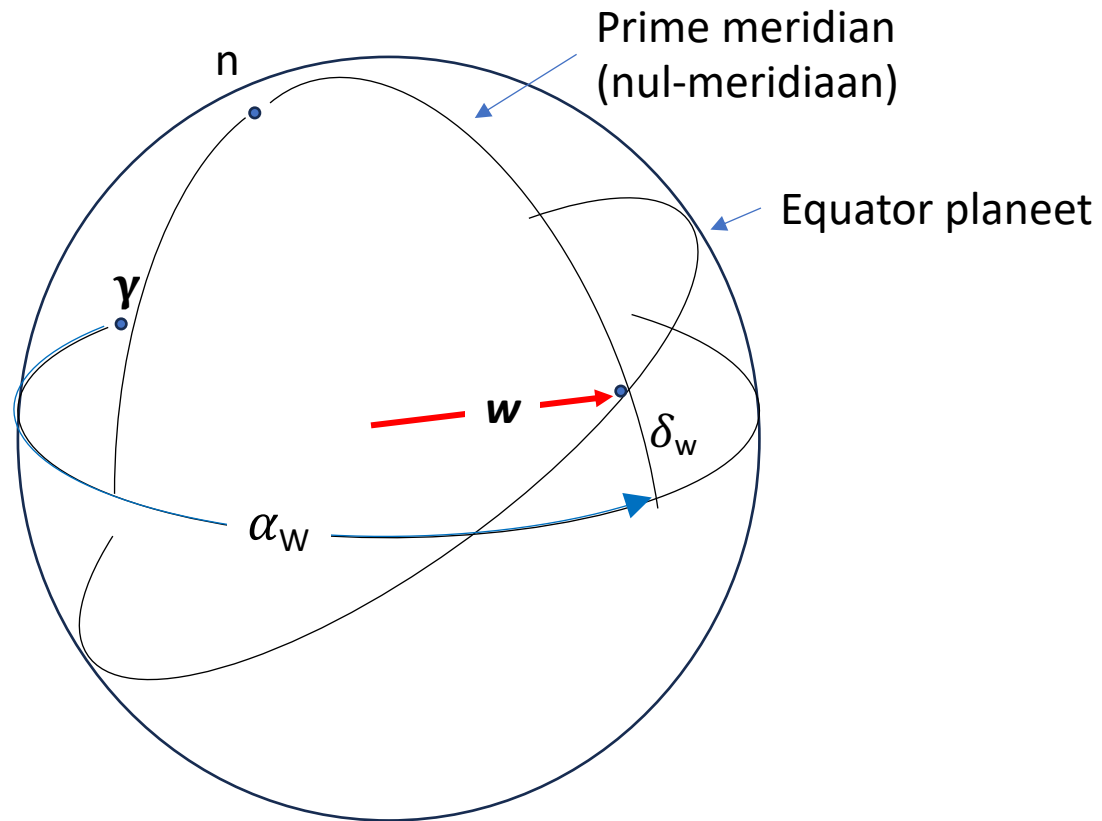
$$T = \sin\psi = \frac{\sin W . \sin\delta_0}{\cos\delta_w}$$

$$N = \cos\psi = \frac{\cos W}{\cos\delta_W}$$

Vooruit

Achteruit

Planeet gebonden data

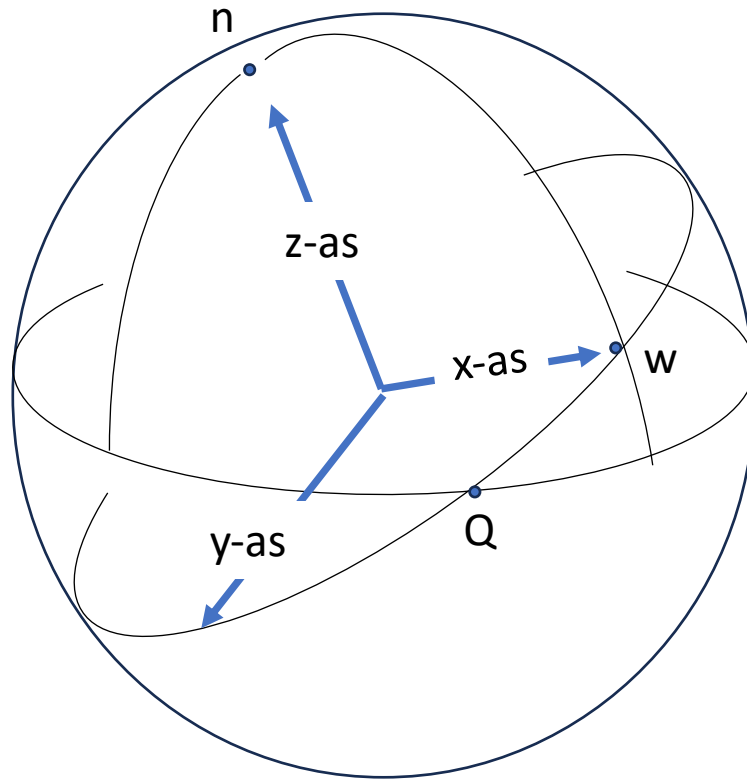


(Vm Stap 6 - 8) Constructie planetair assenstelsel ([x-as](#), vervolg).

De vector door **w** wordt kan je nu uitdrukken met rechte klimming en declinatie en corrigeren voor precessie, nutatie en framebias met de matrix **C**:

$$\mathbf{w} = \mathbf{C} \cdot \begin{bmatrix} \cos \delta_w \cos \alpha_w \\ \cos \delta_w \sin \alpha_w \\ \sin \delta_w \end{bmatrix}$$

De vector **w** wordt de **x-as**

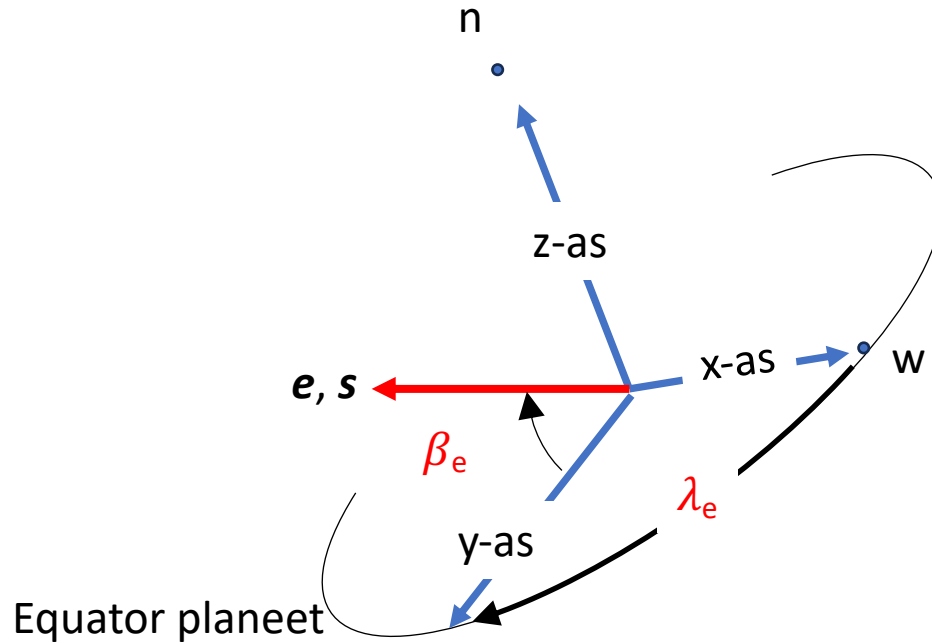


(Vm Stap 6 - 8) Constructie planetair assenstelsel (**y-as**).

We hebben nu twee van de drie assen gedefinieerd. De laatste as, de y-as volgt uit het uitwendig product van een linkshandig coördinatenstelsel:

$$\mathbf{y} = \mathbf{w} \times \mathbf{n}$$

Planeet gebonden data



(Vm Stap 9 - 11) De componenten van de richtingsvector **e** naar de aarde, krijg je vervolgens met het inwendig product van de vector e met de assen x-y-z ofwel **w-y-n**:

$$\begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{e} \cdot \mathbf{w} \\ \mathbf{e} \cdot \mathbf{y} \\ \mathbf{e} \cdot \mathbf{n} \end{bmatrix}$$

De planetocentrische lengte en -breedte van het *sub earth point* worden nu gegeven door:

$$\lambda_e = \tan^{-1} \left(\frac{e_y}{e_x} \right)$$

$$\beta_e = \sin^{-1}(e_z)$$

Bij de zon gebruik je de vector s in plaats van **e**

N.b. Wanneer de planeet niet bolvormig is maar een ellipsoïde gebruik je planetografische breedtes. Er is geen verschil tussen planetocentrische lengte en planetografische lengte.

[Terug naar 33 \(mag ☿\)](#)

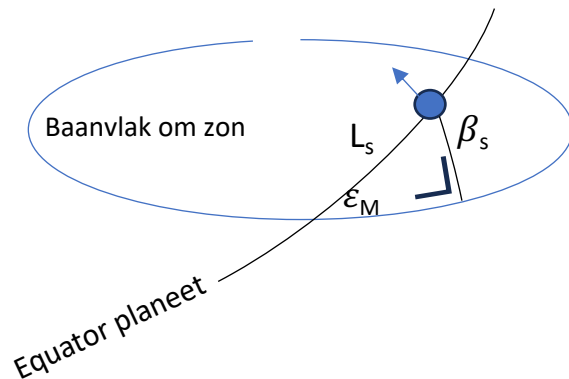
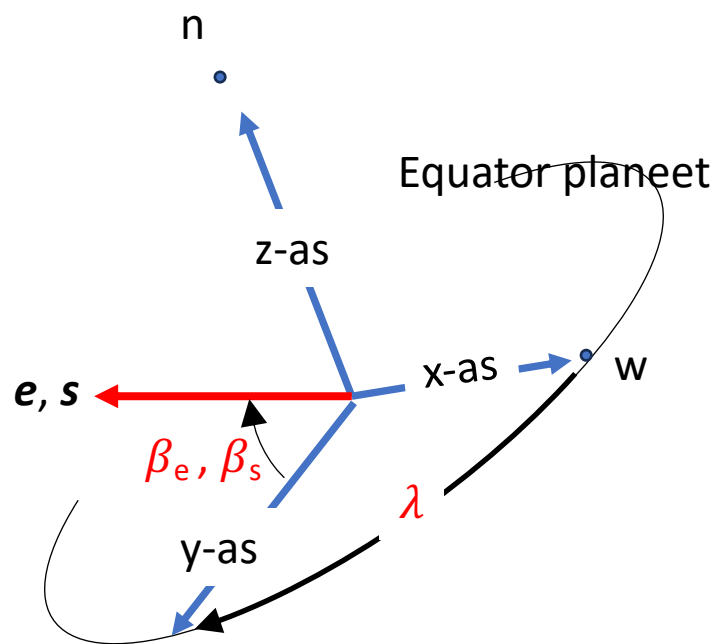
[Terug naar 35 \(mag Sat\)](#)

[Terug naar 42 \(h, Az ☼\)](#)

[Terug naar 45 \(h, Az aarde\)](#)

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)



β_s wordt later gebruikt in het hoofdstuk [zonne-energie](#) om de component van de zonnestraling op een horizontaal vlak en de 'air mass' te berekenen.

Is de aarde het object, dan spreken we niet van sub solar latitude of planetografische (-centrische) breedte β_s maar van *declinatie* van de zon δ .

Voor de zonne-energie op Mars is β_s goed te benaderen met een eenvoudige formule:

$$\sin(\beta_s) = \sin(\varepsilon_M) \cdot \sin(L_s)$$

Waarin

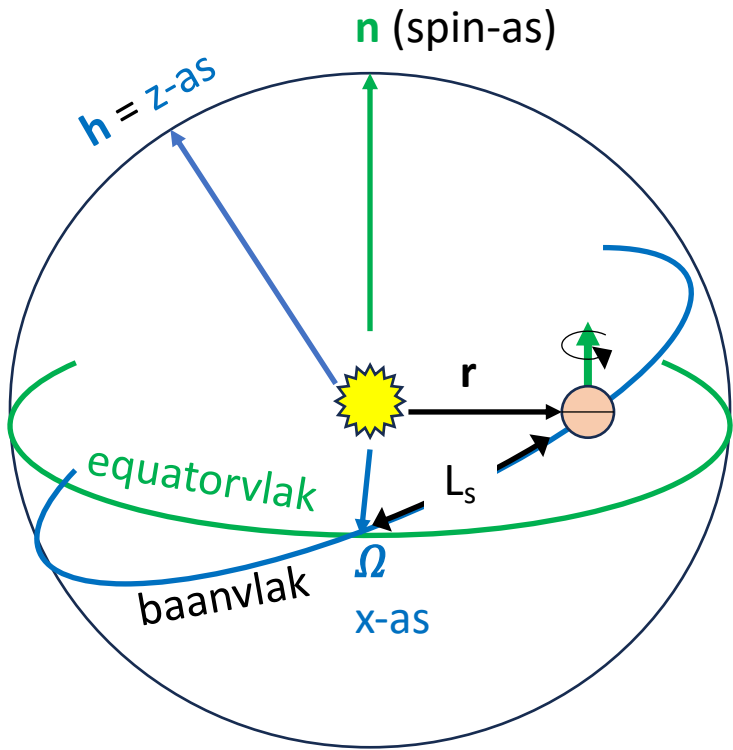
ε_M = inclinatie tussen rotatie-as Mars en haar baanvlak om de zon
ca. 25,1934°.

L_s = [areocentrische lengte van de zon](#)

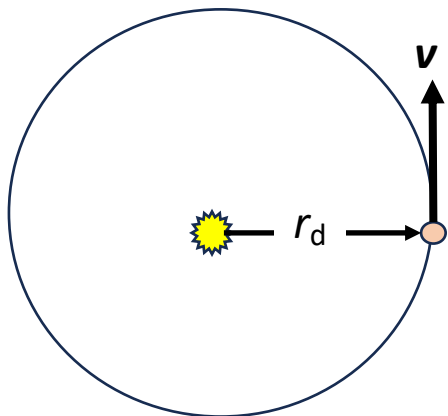
Immers, voor een rechthoekige boldriehoek geldt de sinusregel:

$$\frac{\sin(\varepsilon_M)}{\sin(\beta_s)} = \frac{\sin(90^\circ)}{\sin(L_s)}$$

De declinatie van de zon op aarde δ is ook op diverse manieren te [benaderen](#).



heliocentrisch



(Vm Stap-23).
De planetocentrische lengte van de zon Ls bepaalt in welk seizoen de planeet is:

Seizoen	L _s (graden)	
	van	tot
Voorjaar	0	90
Zomer	90	180
Najaar	180	270
Winter	270	360

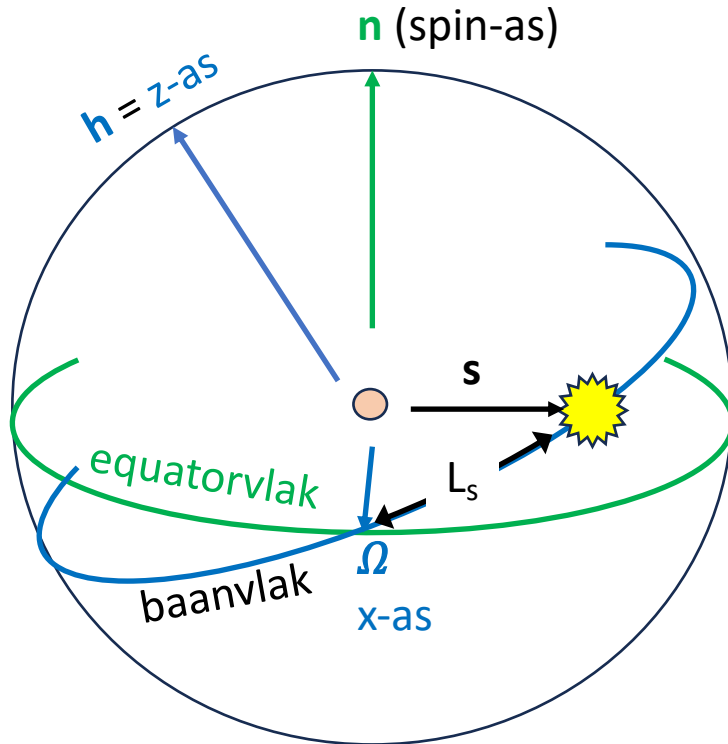
Om Ls te bepalen maken we een *assenstelsel*:
De **z-as** staat loodrecht op het baanvlak. Die is dus evenwijdig aan de impulsmomentvector **h** en bereken je met:

$$\mathbf{h} = \mathbf{z} = \mathbf{r} \times \dot{\mathbf{r}} = \mathbf{r}_d \times \mathbf{v}$$

$\mathbf{r}_d$ hadden we al in [stap-2](#) berekend en $\mathbf{v}$ in [stap-5](#).

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)



(Vm Stap-23).

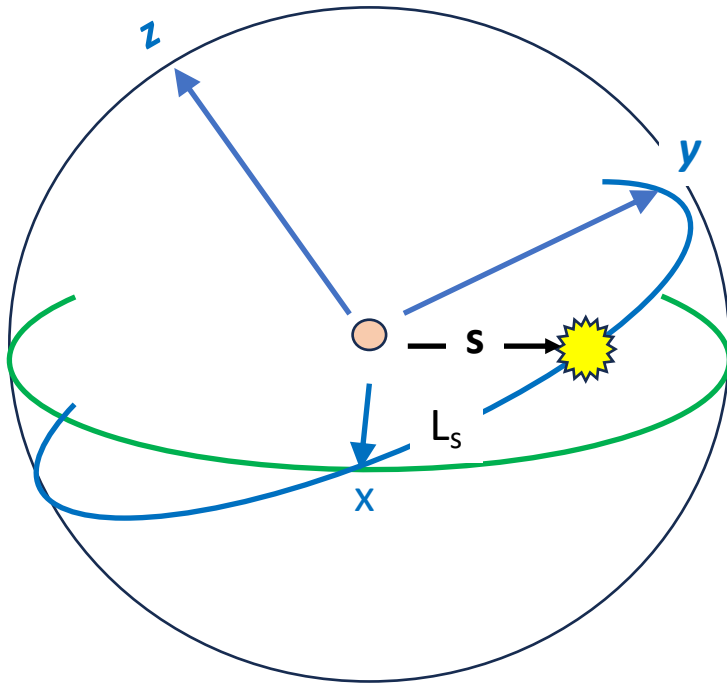
De vector $\mathbf{\Omega}$ (naar de klimmende knoop) ligt zowel in het baanvlak als in het equatorvlak van de planeet. Daarom staat die vector ook loodrecht op het vlak dat opgespannen wordt door $\mathbf{h}$ en $\mathbf{n}$. (De vector $\mathbf{n}$ hadden we bepaald in stap-6.) Dus geldt:

$$\mathbf{x} = \mathbf{n} \times \mathbf{z} = \mathbf{n} \times \mathbf{h}$$

Nu moeten we alleen nog de y-as bepalen. Voor een [rechtshandig systeem](#) geldt:

$$\mathbf{y} = \mathbf{z} \times \mathbf{x}$$

Het assenstelsel is nu compleet.



(Vm Stap-23).

Nu plaatsen we de positievector planeet-zon $\mathbf{s}$ in het planetocentrische coördinatenstelsel x - y - z .

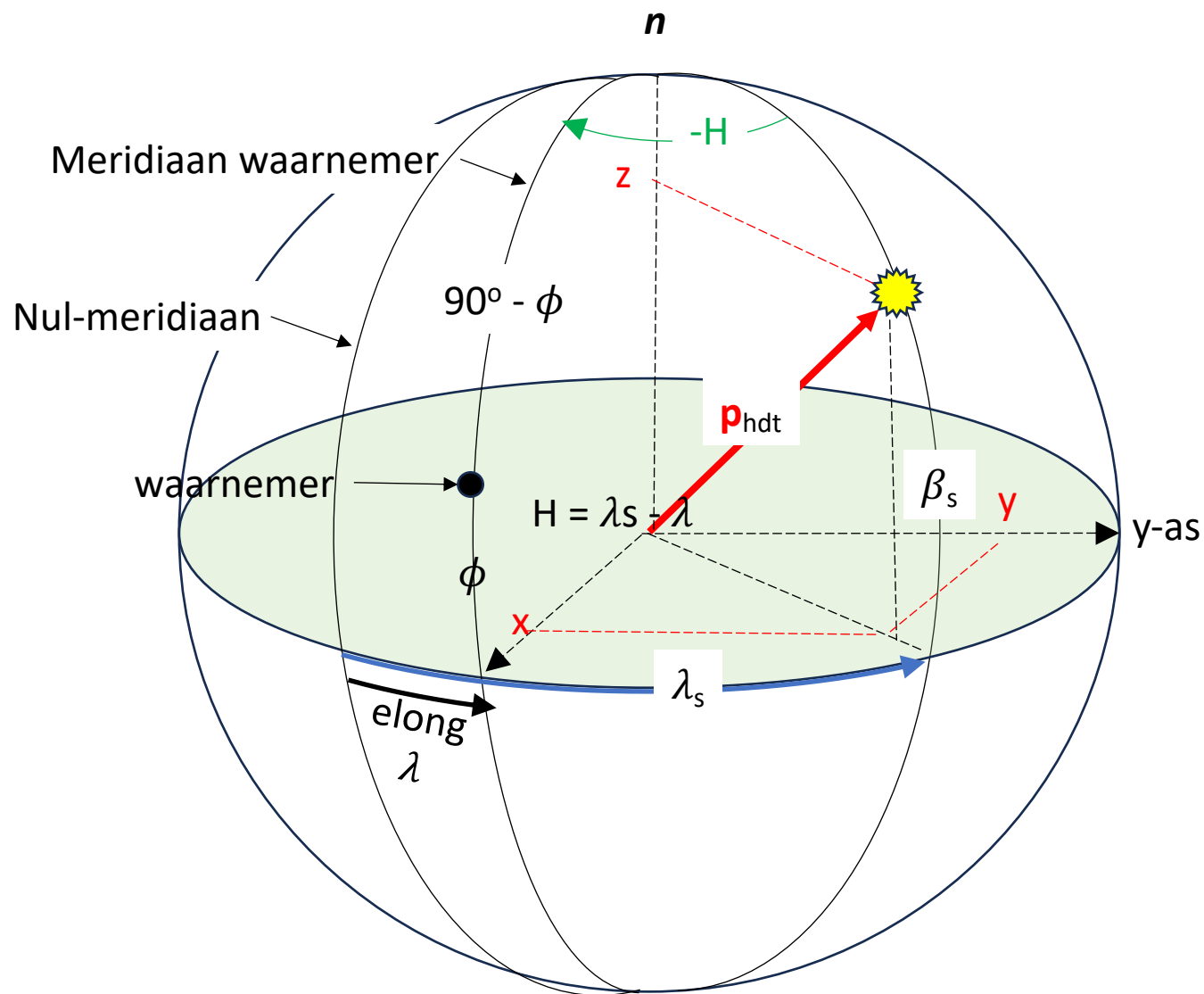
(De vector $\mathbf{s}$ hadden we al bepaald in [stap-4](#)):

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{s} \cdot \mathbf{x} \\ \mathbf{s} \cdot \mathbf{y} \\ \mathbf{s} \cdot \mathbf{z} \end{bmatrix}$$

Dit zijn dus drie aparte [inwendige producten](#) van twee vectoren!

De gevraagde hoek L_s kan je vervolgens berekenen met:

$$\tan 2(L_s) = \frac{y_s}{x_s} = \frac{\mathbf{s} \cdot \mathbf{Y}}{\mathbf{s} \cdot \mathbf{X}}$$



(Vm Stap-24)

Methode SOFA: iauAtiog

Het groene vlak is het equatorvlak van de planeet.

Gegeven de declinatie of sub-solar latitude β_s
(uit stap-11) en uurhoek H
geldt:

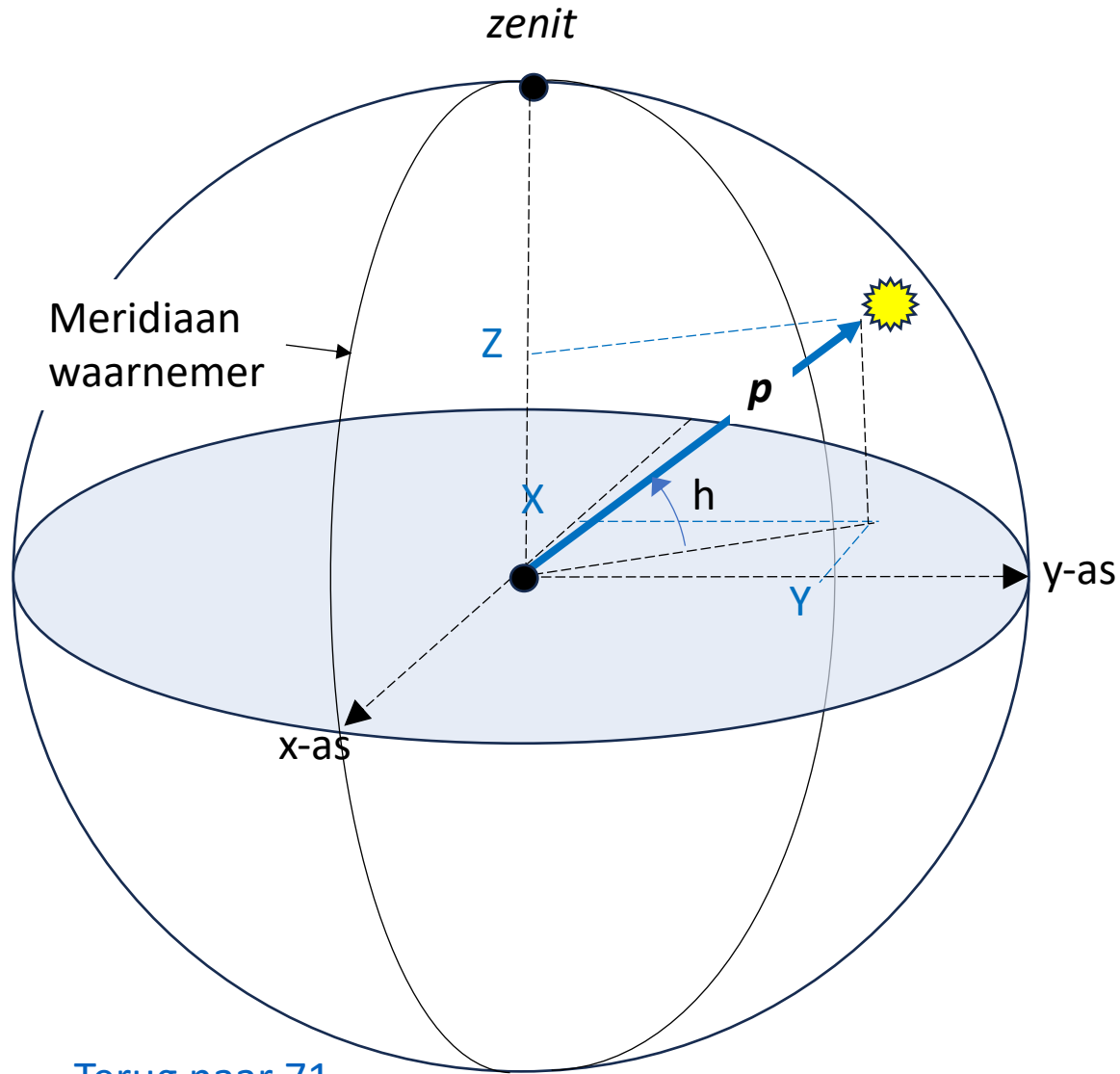
$$\mathbf{p}_{hdt} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\beta_s)\cos(-H) \\ \cos(\beta_s)\sin(-H) \\ \sin(\beta_s) \end{bmatrix}$$

$$H = \lambda s - \lambda$$

Deze vector roteren over de y-as over een hoek $90^\circ - \phi$, de colatitude:

$$\mathbf{p} = \mathbf{R}_2(90 - \phi) \mathbf{p}_{hdt}$$

Daarmee ontstaat de volgende figuur:



(Vm Stap-24)

Het blauwe vlak is nu de (astronomische) horizon van de waarnemer. De blauwe vector is de topocentrische positievector $\mathbf{p}$. Die maakt nu een hoek h (de hoogte) met die horizon.

$$\underline{\underline{\mathbf{R}_2(90 - \phi)}} = \begin{bmatrix} c(90 - \phi) & 0 & -s(90 - \phi) \\ 0 & 1 & 0 \\ s(90 - \phi) & 0 & c(90 - \phi) \end{bmatrix}$$

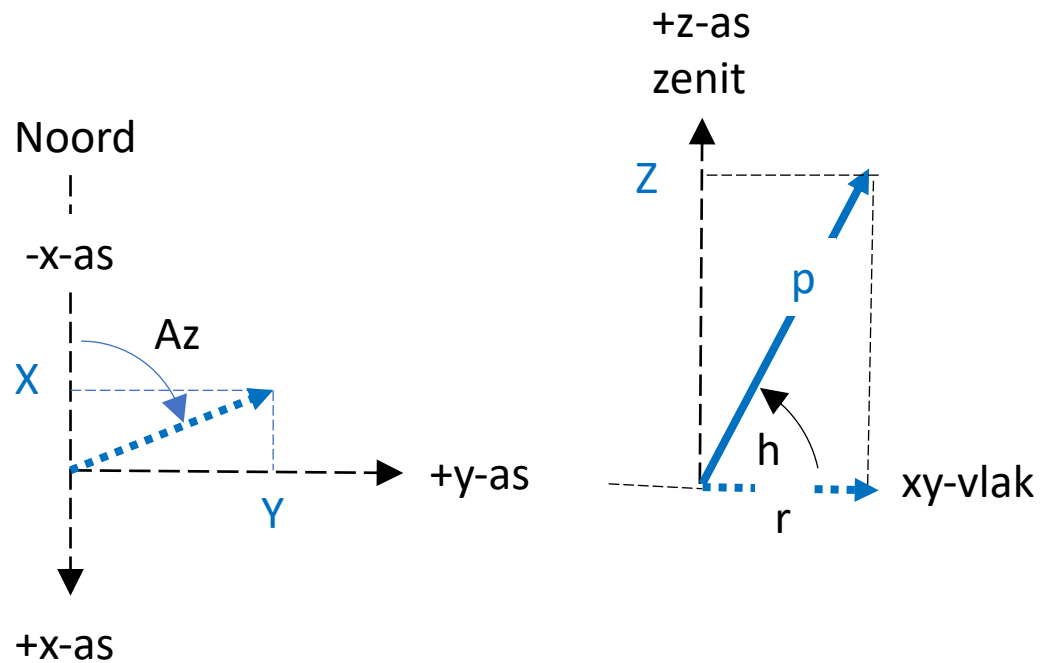
$$= \begin{bmatrix} s(\phi) & 0 & -c(\phi) \\ 0 & 1 & 0 \\ c(\phi) & 0 & s(\phi) \end{bmatrix}$$

Dus

$$\mathbf{p} = \mathbf{R}_2(90 - \phi) \mathbf{p}_{hdt}$$

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\phi) \cdot \mathbf{x} - \cos(\phi) \cdot \mathbf{z} \\ \mathbf{y} \\ \cos(\phi) \cdot \mathbf{x} + \sin(\phi) \cdot \mathbf{z} \end{bmatrix}$$

[Vooruit](#)[Terug naar 71](#)[Achteruit](#)[Terug naar 106 \(DGEC\)](#)



Projectie van de topocentrische positievector $\mathbf{p}$ op xy-vlak (horizon) met lengte

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

(Vm Stap-24)

Het azimut Az en de hoogte h krijg je vervolgens met

$$Az = \text{boogtan2}(-X; Y)$$

$$h = \text{boogtan} \left(Z / \sqrt{X^2 + Y^2} \right)$$

(Vm Stap-25)

De procedure voor de aarde is hetzelfde als die van de zon. Alleen gebruik je nu β_e en λ_e ([uit stap-10](#)) in plaats van β_s en λ_s

[Vooruit](#)[Achteruit](#)

Zonne-energie

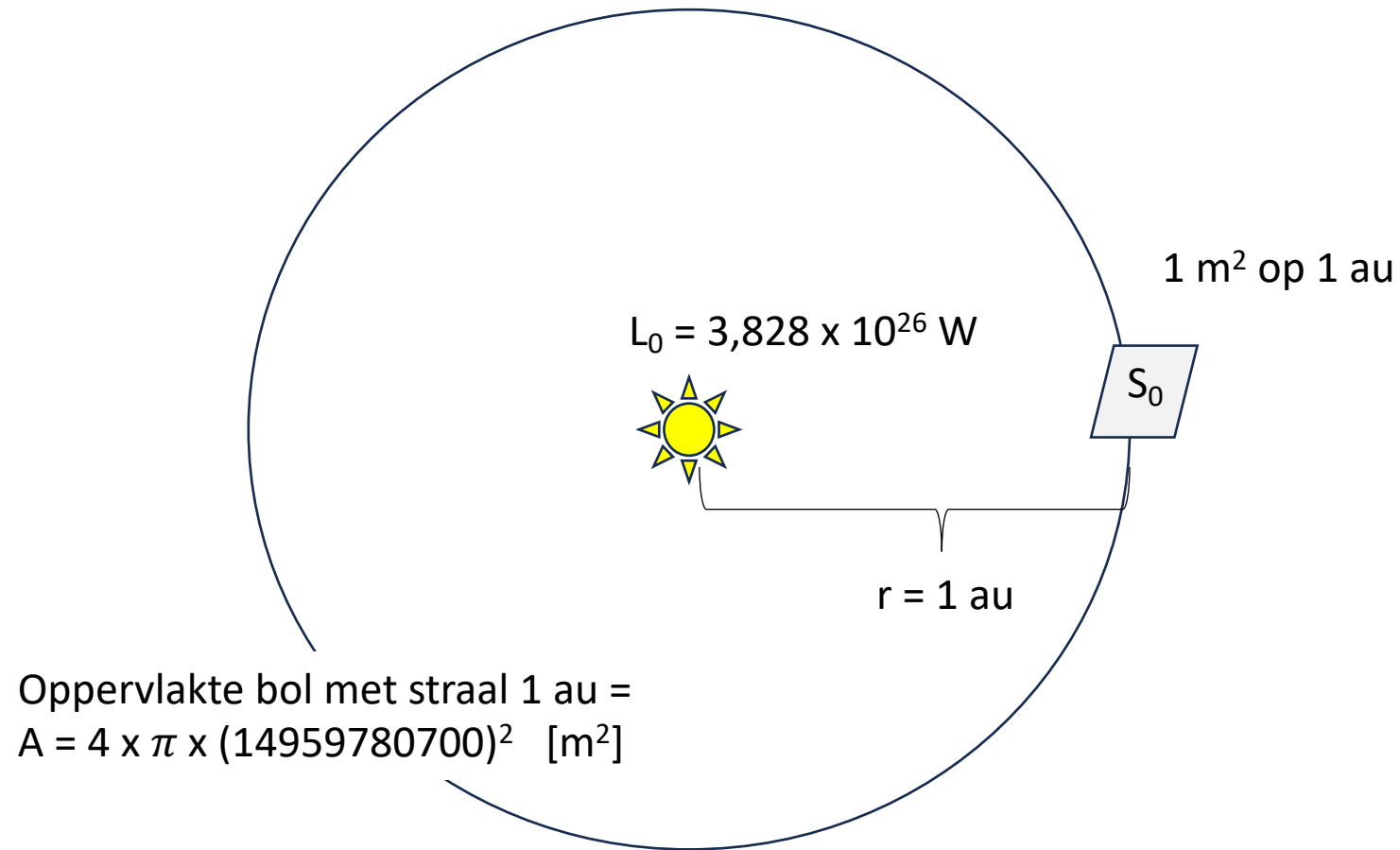
- [Zonneconstante](#)
- [Definities irradiantie en insolatie](#)
- [Irradiantie](#)
- [Irradiantie op een zonnepaneel](#)
- [Insolatie](#)
- [Insolatie op een zonnepaneel](#)

Deze eerste toepassing van planeet-gebonden data is in zekere zin een brug tussen astronomie en meteorologie. Het doel van dit hoofdstuk is om de algoritmes te doorgronden waarmee je bepaalt hoeveel zonne-energie op een zonnepaneel op het oppervlak van een planeet (hier aarde en Mars) op te vangen is.

De beschrijving van deze onderwerpen en rekenkundige uitwerkingen zijn te vinden in aparte Word- en Excel documenten, beide met de titel “Zonne-energie”. Ze zijn op te vragen via daedalus@lws.nl.

Zonne-energie

[zonneconstante \$S_0\$](#)



L_0 = stralingsflux, lichtkracht (luminositeit, helderheid) van de zon.

De zonneconstante, [irradiantie](#) op afstand 1 au in vacuüm is:

$$S_0 = \frac{L_0}{A}$$

En is volgens de IAU:

$$S_0 = 1361 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)

Irradiantie, bestralingsterkte of energiestroomdichtheid (Eng.: Irradiance) G. De hoeveelheid *vermogen* (Joules/s of Watt) van invallende elektromagnetische straling die per oppervlakte-eenheid arriveert. Ook: Het vermogen dat door een oppervlakte-element wordt opgevangen. De SI-eenheid is: [W/m²].

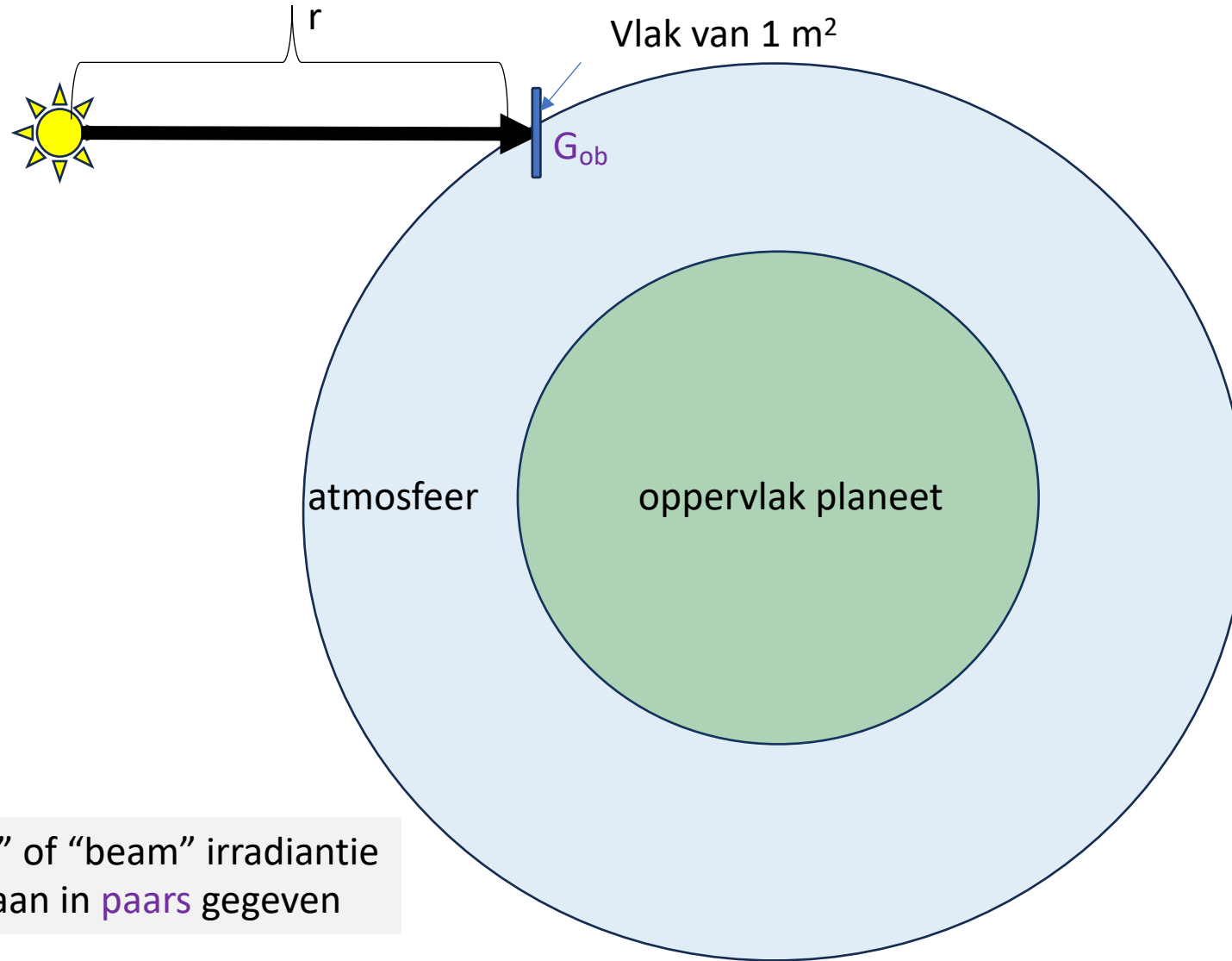
Insolatie of stralingssom (Eng: Insolation) H. De hoeveelheid *energie* (in Joules of kWh) per oppervlakte-eenheid. Voor zonnepanelen meestal in Wattuur per vierkante meter [Wh per m²]

$$H = \int_{t_0}^{t_1} G dt \quad \left[\frac{Ws}{m^2} \right] \text{ of } \left[\frac{J}{m^2} \right]$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N.m} = 1 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2.$$

$$1 \text{ kWh} = 3.600.000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ MJ} = 0,278 \text{ kWh}$$



G_{ob} = directe irradiantie top atmosfeer van een planeet

$$G_{ob} = \frac{S_0}{r'^2} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$r' = \frac{r}{1au} \quad [-]$$

$$\underline{S_0_{aarde}} = G_{ob_a} = 1361 \text{ W/m}^2 \text{ (cf. IAU)}$$

Nb. “Directe” of “beam” irradiantie wordt voortaan in **paars** gegeven

[Terug naar 51](#)

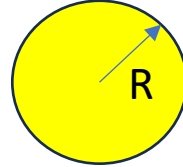
[Vooruit](#)

[Achteruit](#)

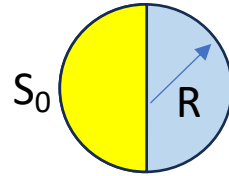
Zonne-energie



Oppervlakte schijf = a



Oppervlakte bol = A



Gemiddelde irradiantie top atmosfeer G_{gem}

Het oppervlak van de 'aardschijf' (2-dimensionaal) is $a = \pi R^2$. Hoe groter a , hoe meer straling wordt opgevangen van de zon.

Het oppervlak van de *bol* (3-dimensionaal) is $A = 4\pi R^2$. Hierover wordt de straling verdeeld, dus de gemiddelde energiestroomdichtheid of irradiantie is:

$$G_{gem} = S_0 \frac{a}{A} = S_0 \frac{\pi R^2}{4\pi R^2} = S_0 \frac{1}{4}$$

Voor de aarde ($S_0 = 1361 \text{ W/m}^2$) wordt dat:

$$G_{gem} = 340 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

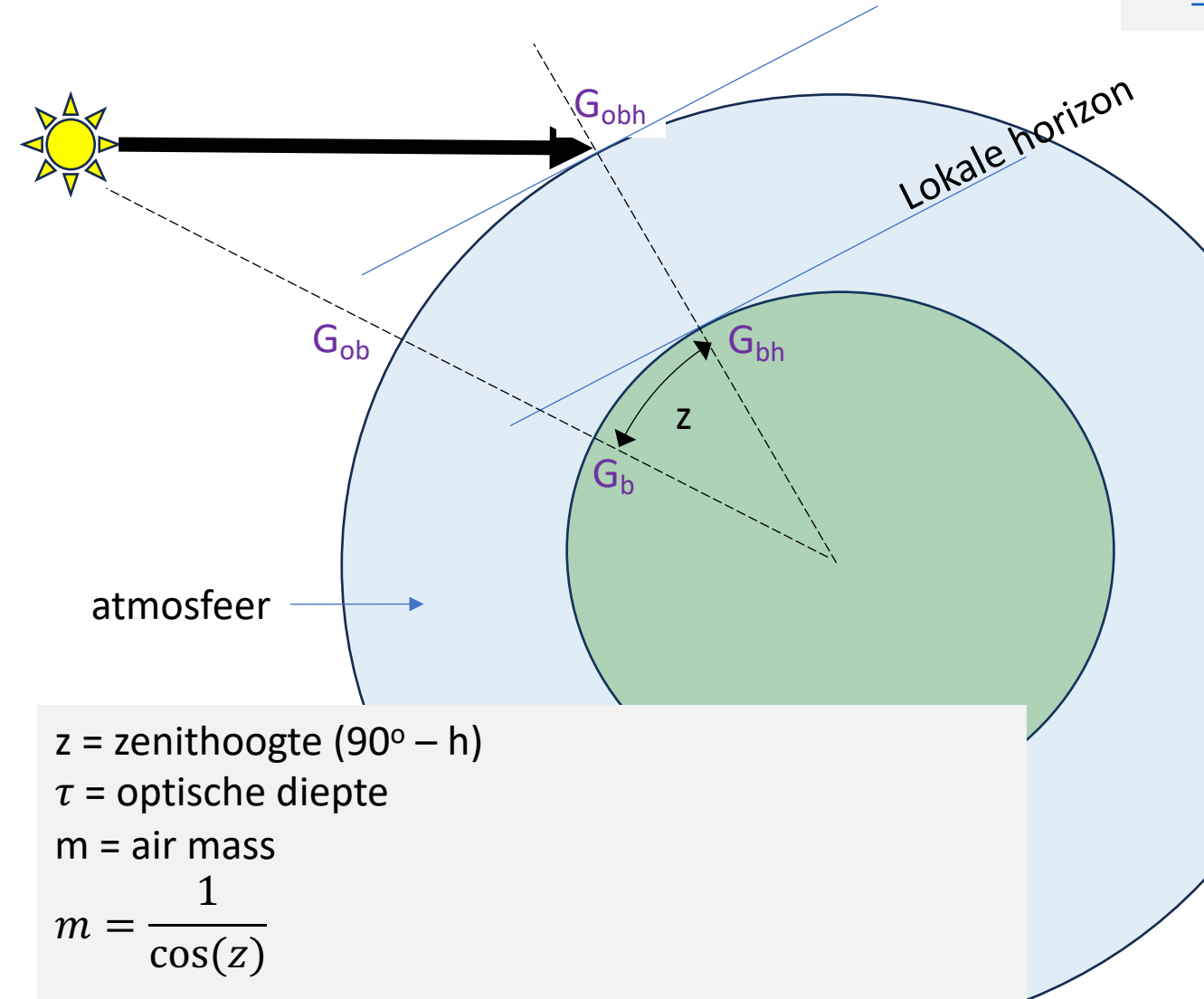
Wordt gebruikt bij het overzicht [energiehuishouding aarde](#).

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)

Zonne-energie

Directe irradiantie horizontaal vlak oppervlak



z = zenithoogte ($90^\circ - h$)

τ = optische diepte

m = air mass

$$m = \frac{1}{\cos(z)}$$

met

$$\cos(z) = \sin(\phi)\sin(\beta_s) + \cos(\phi)\cos(\beta_s)\cos\omega$$

De directe irradiantie on top atmosfeer loodrecht op zonnestralen was:

$$G_{ob} = \frac{S_0}{r'^2}$$

En op een horizontaal vlak top atmosfeer:

$$G_{obh} = G_{ob} * \cos(z)$$

Na extinctie (volgens Lambert-Beer) op het oppervlak:

$$G_b = G_{ob} \cdot e^{-\tau m(z)}$$

En op een horizontaal vlak:

$$G_{bh} = G_b \cdot \cos(z) = G_{ob} \cdot e^{-\tau m(z)} \cdot \cos(z)$$

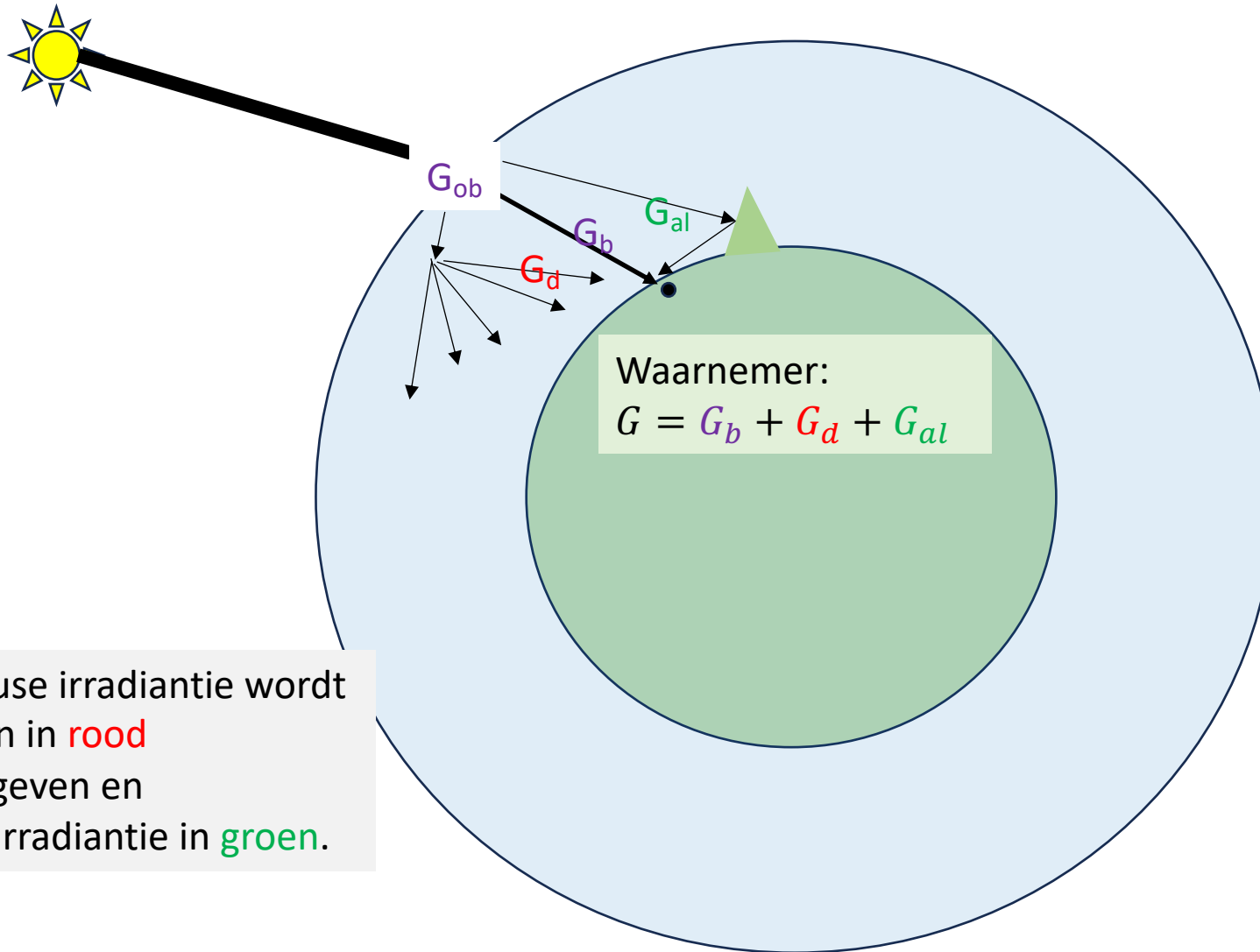
[Terug naar 15](#)

[Terug naar 58](#)

[Terug naar 60 \(G aarde\)](#)

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)



Nb. diffuse irradiantie wordt voortaan in **rood** weergegeven en albedo-irradiantie in **groen**.

G_{ob} = directe irradiantie top atmosfeer (vacuüm)

G = globale irradiantie aan oppervlak dat de waarnemer bereikt, is opgebouwd uit:

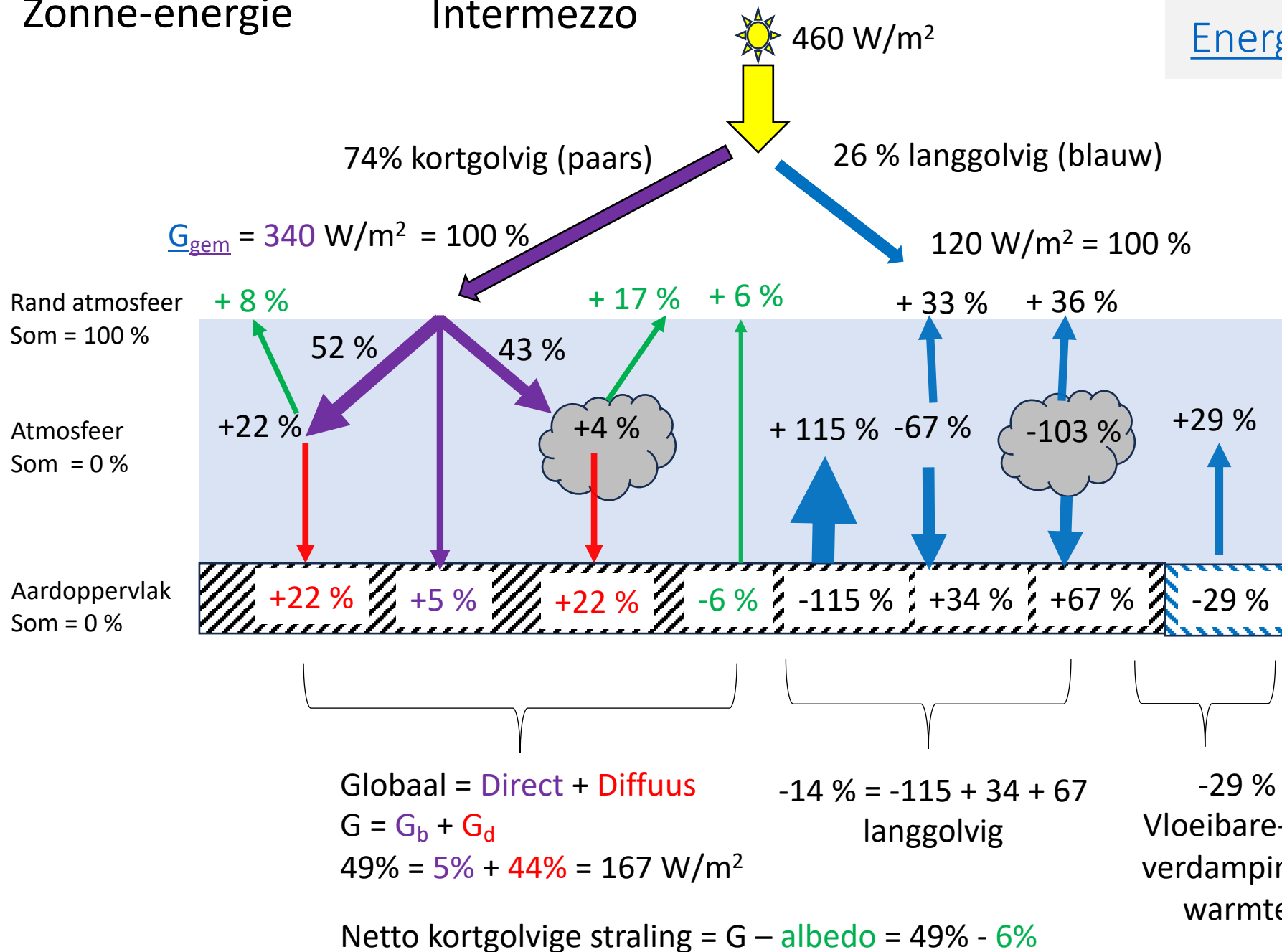
G_b = directe (beam) irradiantie

G_d = diffuse irradiantie

G_{al} = albedo irradiantie

Dus

$$G = G_b + G_d + G_{al}$$



Resumé:

Rand atmosfeer:

31% (8 + 17 + 6) wordt terug-verstrooid als kortgolvice straling
 69% (33 + 36) is uitgaande langgolvice straling
 Samen 100% dus evenwicht.

De kortgolvice terug-straling is 31% (8 + 17 + 6) en wordt albedo van het aarde-atmosfeersysteem genoemd.

Aardoppervlak:

43% (22 + 22 + 5 - 6) netto kortgolvice straling ontvangst

-14% (115 - 34 - 67) langgolvice geëmitteerd

-----+

29% stralingssurplus (verwarming)

-29% verdampingsenergie en thermiek

-----+

0% -> geen onbalans

Atmosfeer:

22% (52 - 22 - 8) kortgolvice absorptie gas en deeltjes

4% (43 - 17 - 22) kortgolvice absorptie wolken

-55% (115 - 33 - 34 - 67 - 36) langgolvice uitstraling

-----+

-29% stralingstekort (afkoeling)

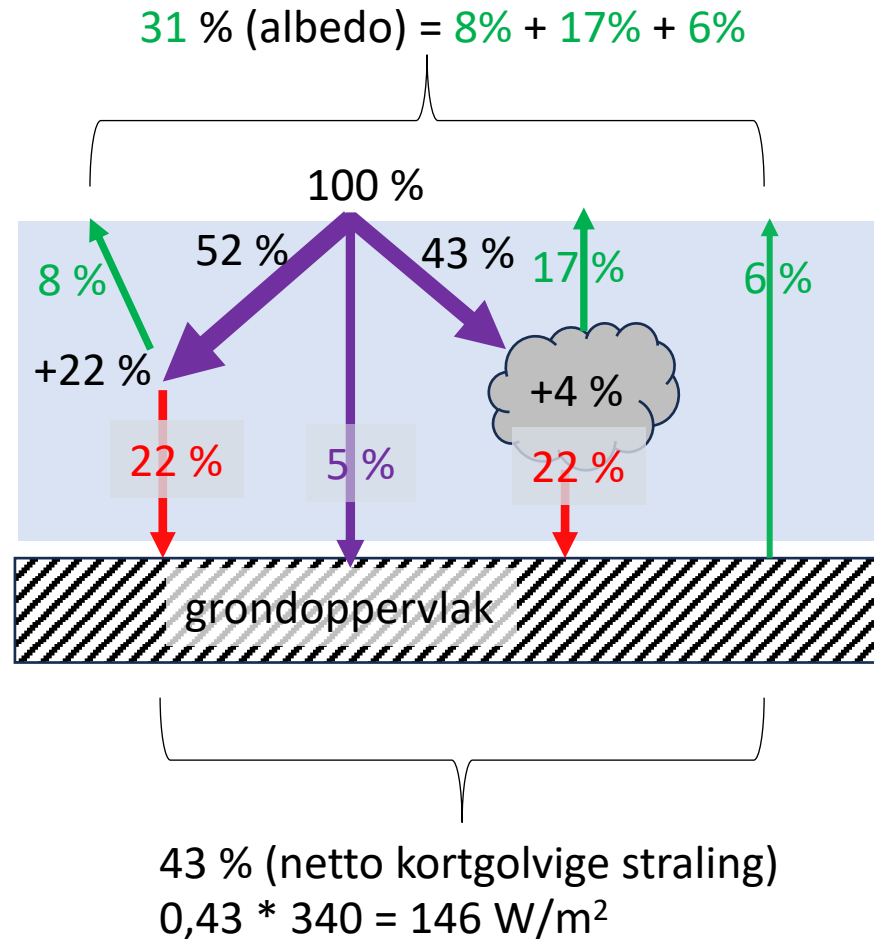
-----+

+29% verdampingsenergie en thermiek

-----+

0% -> geen onbalans

[Terug naar 50](#)[Vooruit](#)[Achteruit](#)



Stel $G_{\text{gem}} = 100\%$

52 % wordt opgevangen door lucht (gassen en deeltjes) die
 22 % naar het aardopp. zenden en
 8 % terug de ruimte in.

43 % wordt opgevangen door wolken die ook
 22 % naar het aardopp. zenden en
 17 % terug de ruimte in.

5 % bereik direct de aarde (directe straling G_b)

6 % wordt direct teruggestuurd door het opp.

Paars = direct of "beam"

Rood = diffuus

Groen = albedo

Zonne-energie

G_{ob} op Mars

Hier komt L_s 'in actie':

$$G_{ob} = \left[\frac{S_0}{r^2} \right]$$

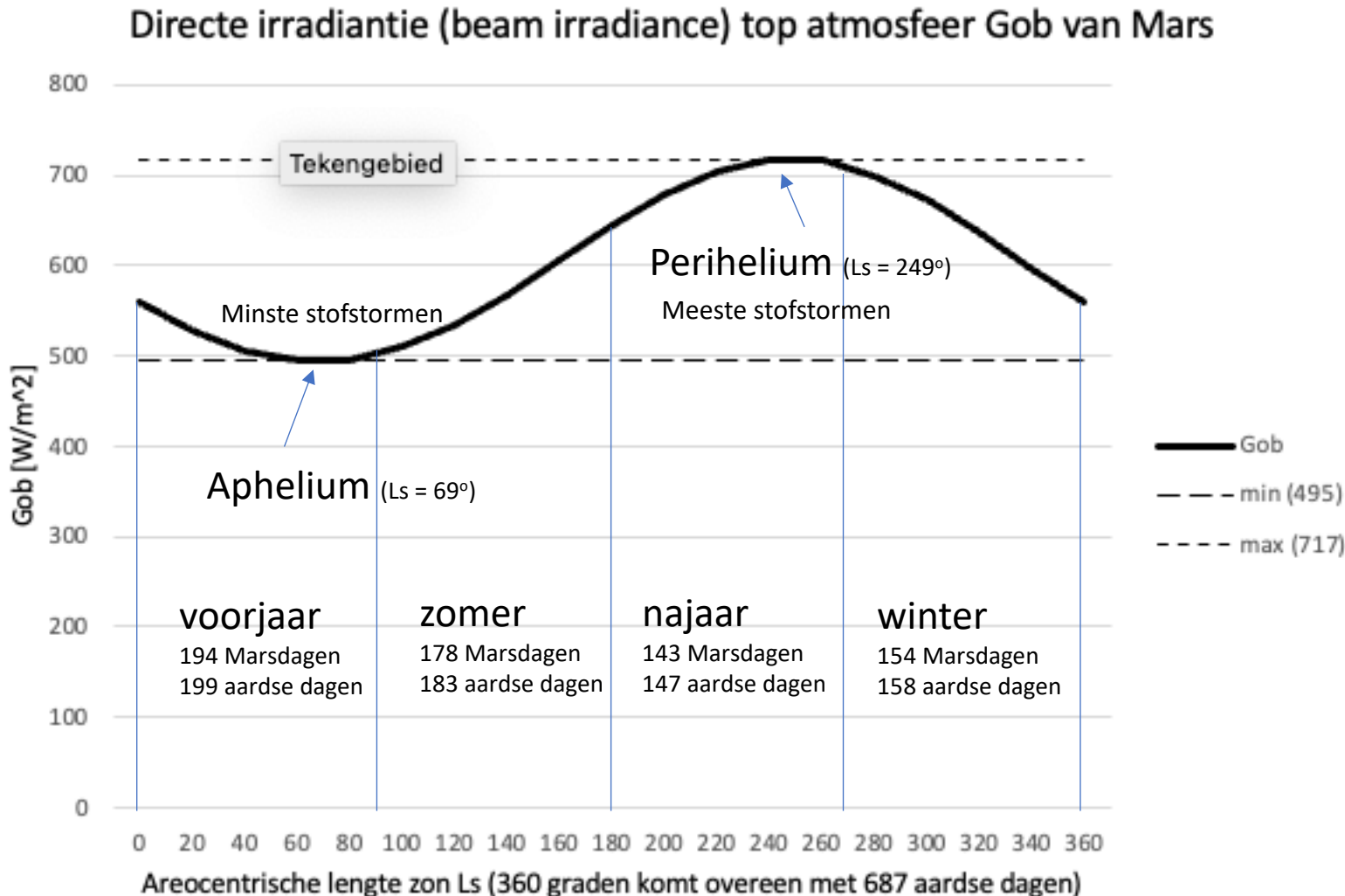
En r , de afstand zon-planeet, is volgens Kepler een functie van de ware anomalie θ :

$$r(\theta) = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cdot \cos(\theta)}$$

En θ kan je voor Mars benaderen met:

$$\theta = L_s - 248^\circ$$

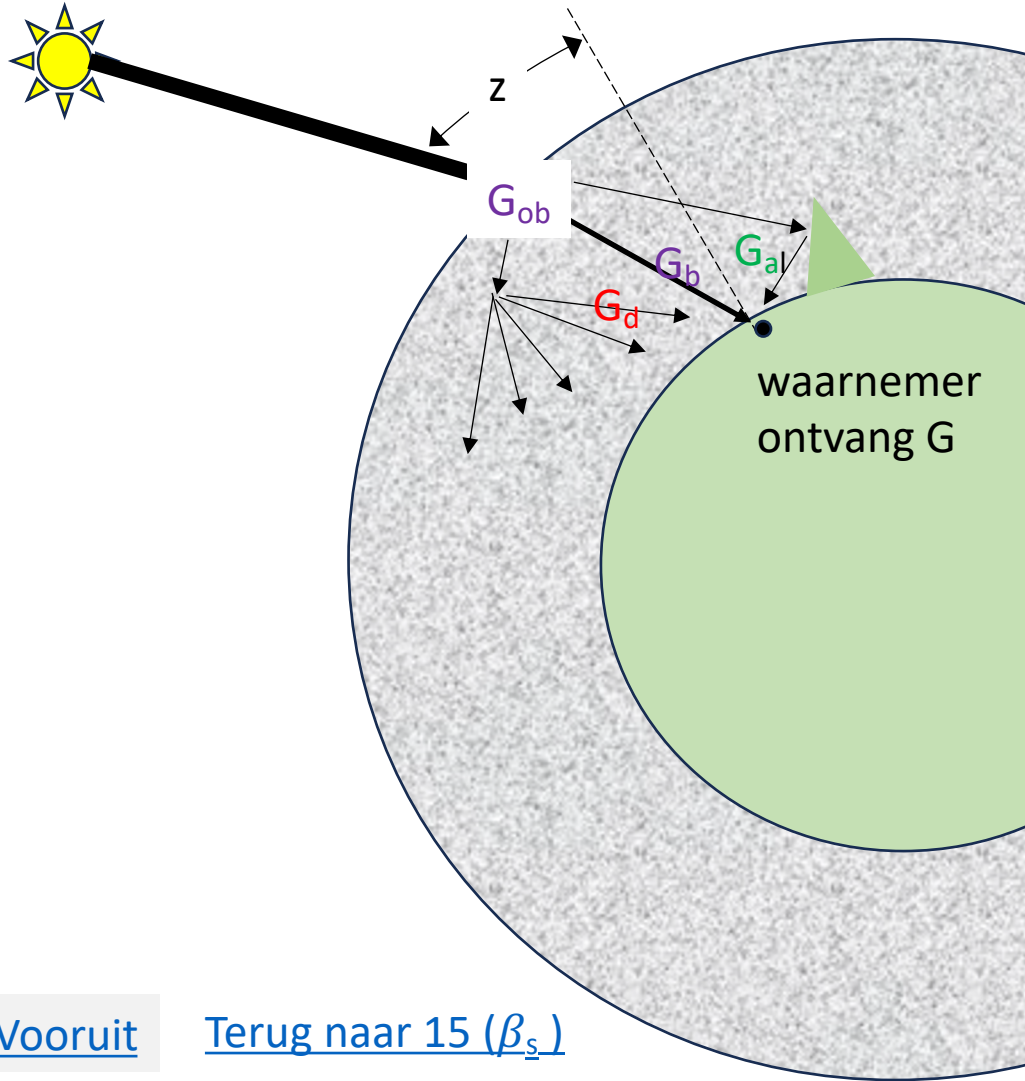
248 is L_s bij perihelium. Ook de halve lange as a en excentriciteit e mag je constant veronderstellen.



Bij de grootste afstand r (aphelium) hoort de laagste G_{ob} , in het voorjaar op noordelijk halfrond. Dan zijn de minste stofstormen.

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)



De globale (totale) irradiantie op het oppervlak is:

$$G = G_b + G_d + G_{al}$$

De beam irradiantie G_b is onderhevig aan uitdoving door *absorptie* en *reflectie* in de atmosfeer. De wet van Lambert-Beer is van toepassing:

$$G_b = G_{ob} \cdot e^{-xm} = G_{ob} \cdot e^{-x/\cos z}$$

Hierin is:

$m = \text{air mass} = 1/\cos(z)$

$x = 0,027 \cdot \text{TL}$ (igv Aarde) waarin

TL = turbiditeitsfactor van Linke > 1 [1 – 5]

$x = \tau = \text{optical depth}$ [0,2 – 6] (igv Mars)

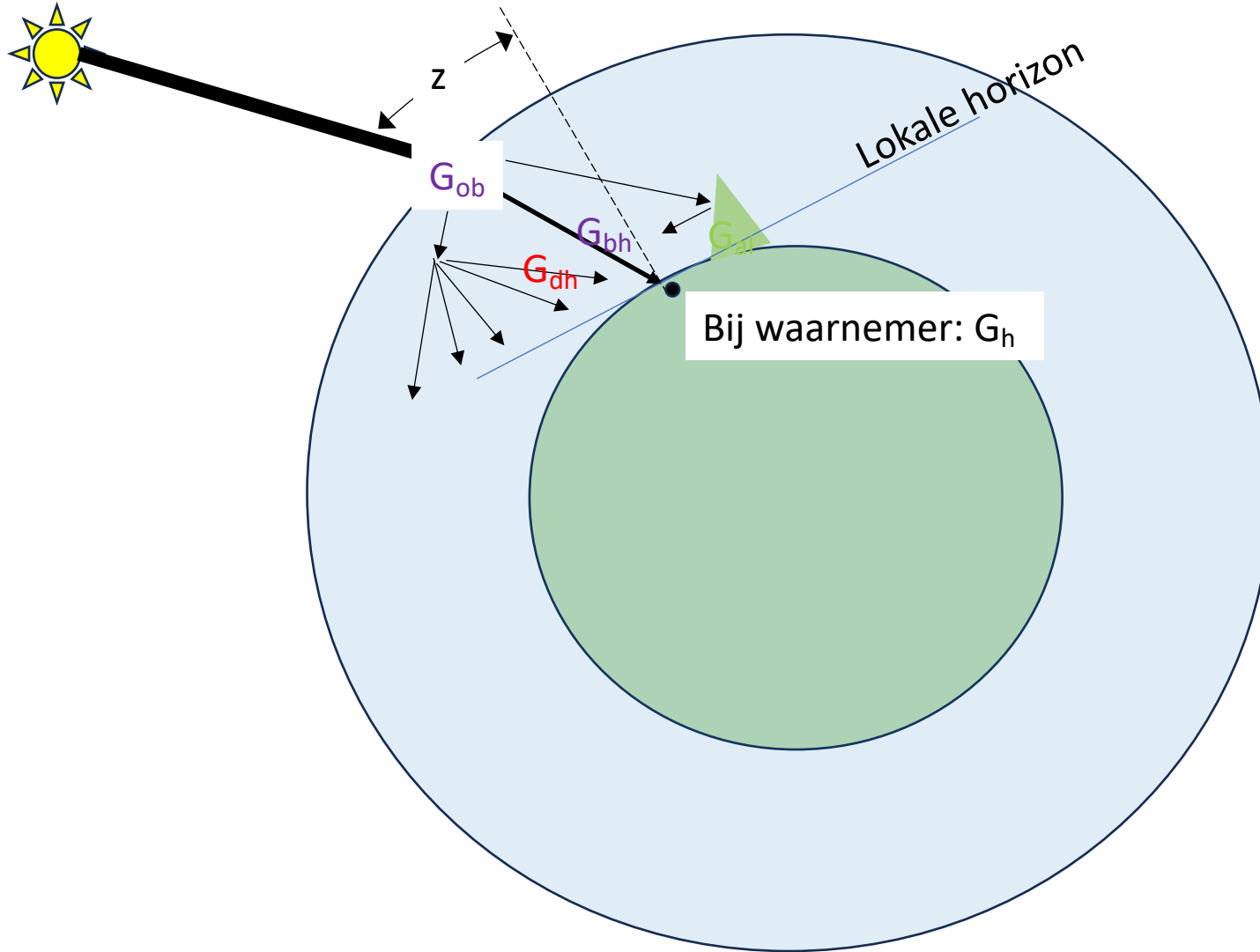
$$\cos(z) = \sin\phi \cdot \sin\beta_s + \cos\phi \cdot \cos\beta_s \cdot \cos\omega$$

met

$\phi = \text{breedte waarnemer}$

$\beta_s, \delta = \text{sub solar latitude } (\beta_s), \text{ of op aarde, declinatie zon } \delta$

$\omega = \text{uurhoek zon}$



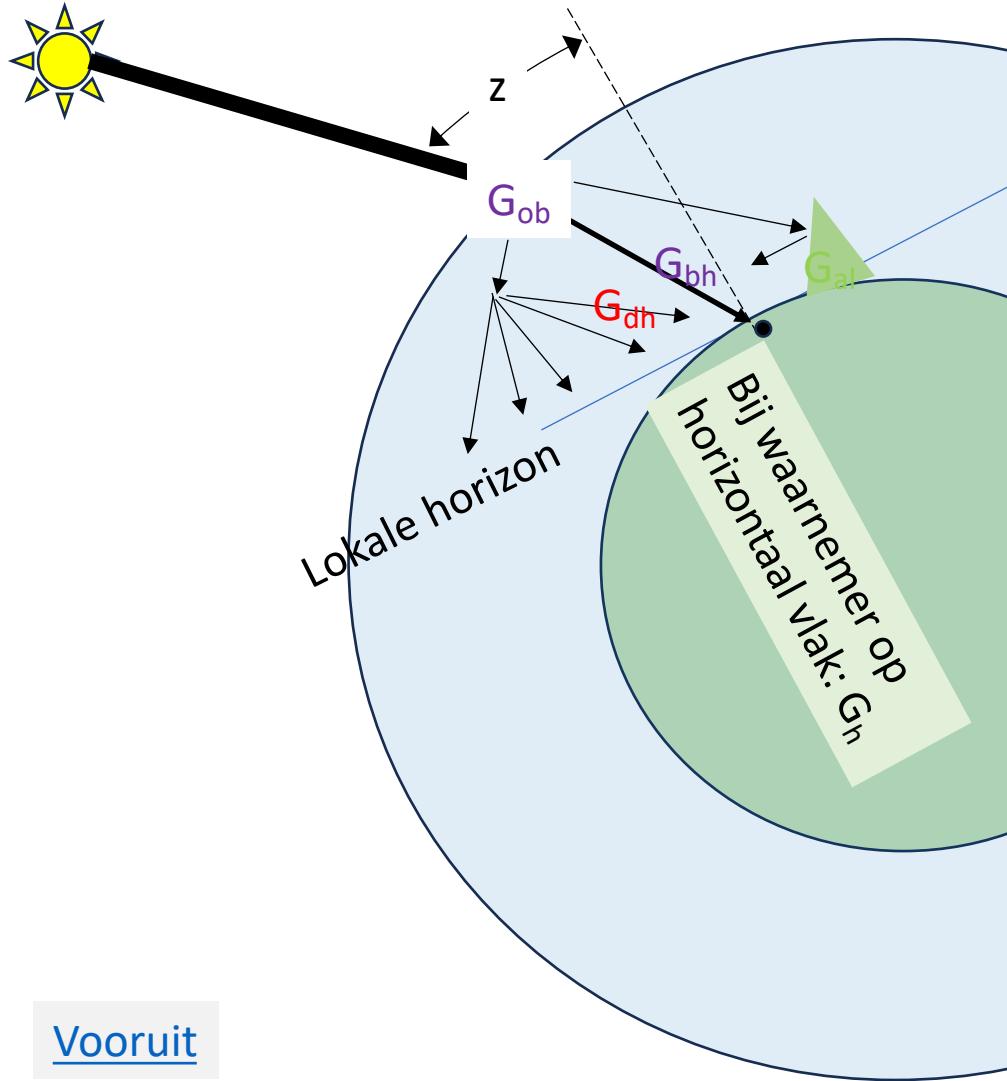
$$G = G_b + G_d + G_{al}$$

De bovenstaande vergelijking voor de globale irradiantie krijgt een extra index "h". G_{al} wordt nul en verdwijnt uit de vergelijking:

$$G_h = G_{bh} + G_{dh}$$

De directe irradiantie G_b wordt nu ontbonden in een verticale component met:

$$G_{bh} = G_b \cdot \cos Z = G_{ob} \cdot e^{-\tau/\cos Z} \cdot \cos Z$$



$$G_h = G_{bh} + G_{dh}$$

Model beschreven door C.A. Velds: Kasten gebruikt een empirisch model voor de verhouding G_h en de straling bij onbewolkte lucht G_{onb} :

$$\frac{G_h}{G_{onb}} = efb = 1 - 0,72 \left(\frac{N}{8} \right)^{3,2}$$

Hierin is

N = bedekkingsgraad (in achtsten: 0 = onbewolkt, 8 = volledig bedekt)

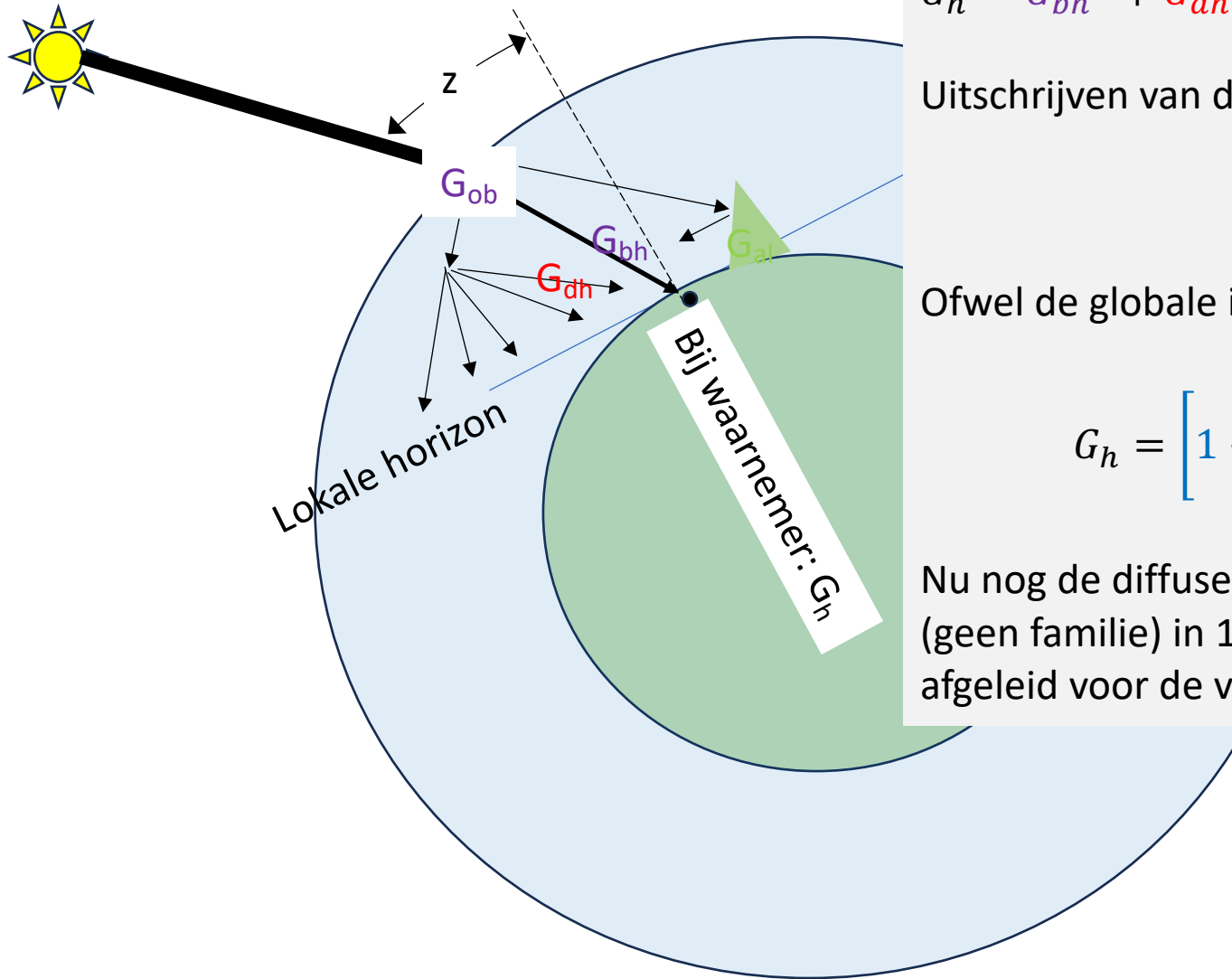
efb = extinctiefactor voor bewolking (absorptie + verstrooiing)

Verder geldt (Lambert-Beer):

$$G_{onb} = G_{obh} \cdot 0,84 \cdot e^{-0,027 \frac{T_L}{\cos(z)}}$$

En we hadden G_{obh} al gevonden, dus:

$$G_{onb} = G_{ob} \cdot \cos(z) \cdot 0,84 \cdot e^{-0,027 \frac{T_L}{\cos(z)}}$$



$$G_h = G_{bh} + G_{dh}$$

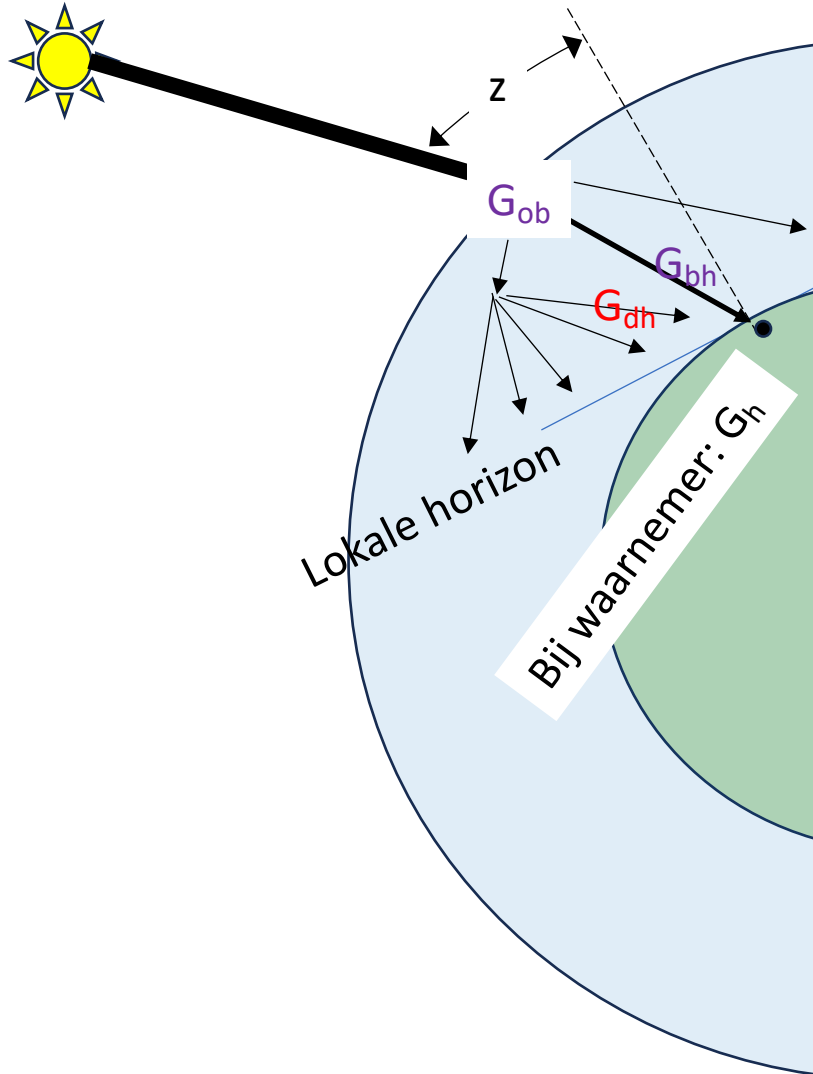
Uitschrijven van de vergelijkingen van efb en G_{onb} levert:

$$G_h = efb \cdot G_{onb}$$

Ofwel de globale irradiantie op een (horizontaal) aardoppervlak wordt:

$$G_h = \left[1 - 0,72 \left(\frac{N}{8} \right)^{3,2} \right] \cdot G_{ob} \cdot \cos(z) \cdot 0,84 \cdot e^{-0,027 \frac{T_L}{\cos(z)}}$$

Nu nog de diffuse component G_h of G_{dh} . Daarvoor heeft J.B.R.M. de Jong (geen familie) in 1980 ook een empirische vergelijking of –algoritme afgeleid voor de verhouding $G_h / G_{obh} = frac$



De verhouding $frac = G_h / G_{obh}$ kan je eerst berekenen. (Zie [p. 59](#) en [p. 51](#))

Op basis daarvan bestaan vier mogelijke condities a, b, c en d:

a wanneer $frac \leq 0,22$

b wanneer $0,22 < frac \leq 0,35$

c wanneer $0,35 < frac \leq c_1$

d wanneer $frac > c_1$

Waarin

$$c_1 = (1,47 - R) / 1,66$$

$$R = 0,0847 - 1,61 \cdot \cos z + 1,04 \cdot \cos^2 z$$

Voor conditie a geldt: $G_{dh} = G_h$

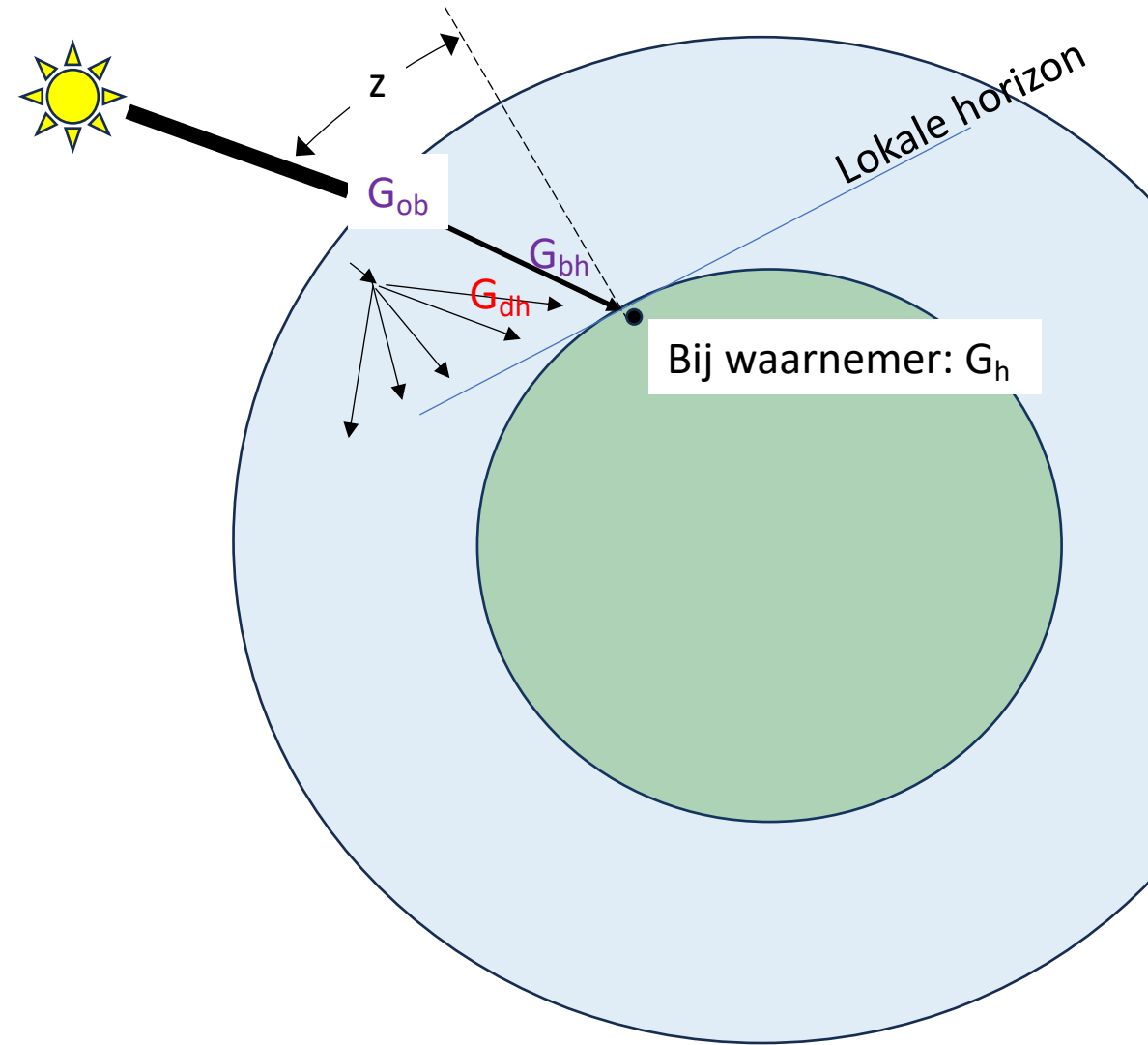
Voor conditie b geldt: $G_{dh} = G_h [1 - 6,4(frac - 0,22)^2]$

Voor conditie c geldt: $G_{dh} = G_h (1,47 - 1,66 \cdot frac)$

Voor conditie d geldt: $G_{dh} = R \cdot G_h$

Tenslotte vind je directe (beam) component met:

$$G_{bh} = G_h - G_{dh}$$



$$G_h = G_{bh} + G_{dh}$$

Beschreven door Appelbaum en Flood. De globale (totale) irradiantie G_h op een horizontaal oppervlak wordt door Pollack beschreven met:

$$G_h = G_{ob} \cdot f(z, \tau, al) \cdot \cos(z) \cdot \frac{1}{(1 - al)}$$

Hierin is $f(z, \tau, al)$ de *normalized net flux function*:

$$f(z, \tau, al) = \left[\sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^5 \sum_{k=0}^1 p(i, j, k) * \tau^i * \left(\frac{z}{100}\right)^j * al^k \right] (1 - al)$$

Hierin is z in graden

en zijn

$p(i, j, k)$ de coëfficiënten van de polynoom cf. de volgende [tabel](#).

$p(i,j,k)$ de coëfficiënten van de polynoom voor $k = 0$

	<- i ->					
j↓	0	1	2	3	4	5
0	1,0028	-0,228681	0,019613	0,000231	-0,000130	0,000003
1	-0,450073	1,335955	-1,131691	0,40212	-0,063967	0,003758
2	5,566705	-16,912405	13,739701	-4,756079	0,74374	-0,043159
3	-22,471579	64,909973	-52,509470	17,997548	-2,786548	0,160340
4	36,334497	-101,80032	79,895539	-26,762885	4,074117	-0,231476
5	-20,42049	53,207148	-39,949537	12,977108	-1,931169	0,107837

$p(i,j,k)$ de coëfficiënten van de polynoom voor $k = 1$

	<- i ->					
j↓	0	1	2	3	4	5
0	0,009814	0,226139	-0,117733	0,030579	-0,004090	0,000218
1	-0,156701	0,396821	-0,313648	0,099227	-0,013508	0,000651
2	1,361122	-3,758111	3,007907	-0,987457	0,141693	-0,007312
3	-4,365924	12,539251	-10,394165	3,486452	-0,513123	0,027401
4	5,991693	-17,498138	14,29137	-4,765323	0,703675	-0,037960
5	-2,915099	8,275686	-6,593125	2,173999	-0,320308	0,017335

Coëfficiënten *normalized net flux function* zijn empirisch vastgesteld mbv data uit de Viking-landers (VL1 en VL2).

VL-I landde op 20 juli 1976. De Lander werkte tot 13 nov 1982.

VL-II landde op 3 sep 1976. De Lander werkte tot 11 april 1980.

Payload: camera's, meteo-boom (temp, wind), seismometer, spectroscopen.

Zie Excel-bestand "zonne-energie" bij werkblad "nnff" voor de uitwerking

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)

Nu zijn dus de globale (totale) horizontale irradiantie G_h en de beam irradiantie van Mars G_{bh} gemodelleerd in de vergelijking

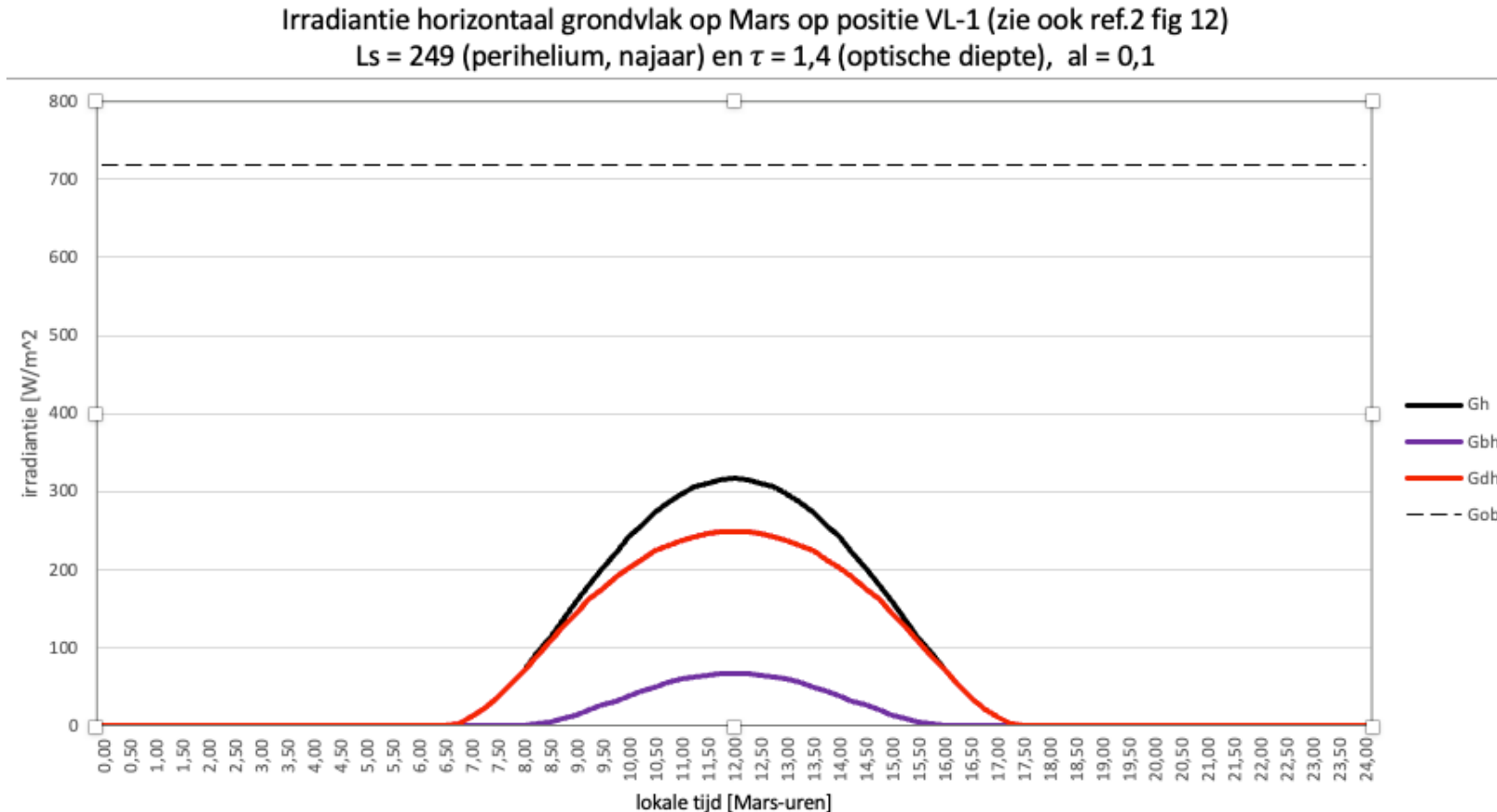
$$G_h = G_{bh} + G_{dh}$$

We vonden eerder:

$$G_{bh} = G_b \cdot \cos Z = G_{ob} \cdot \exp\left(\frac{-\tau}{\cos Z}\right) \cdot \cos Z$$

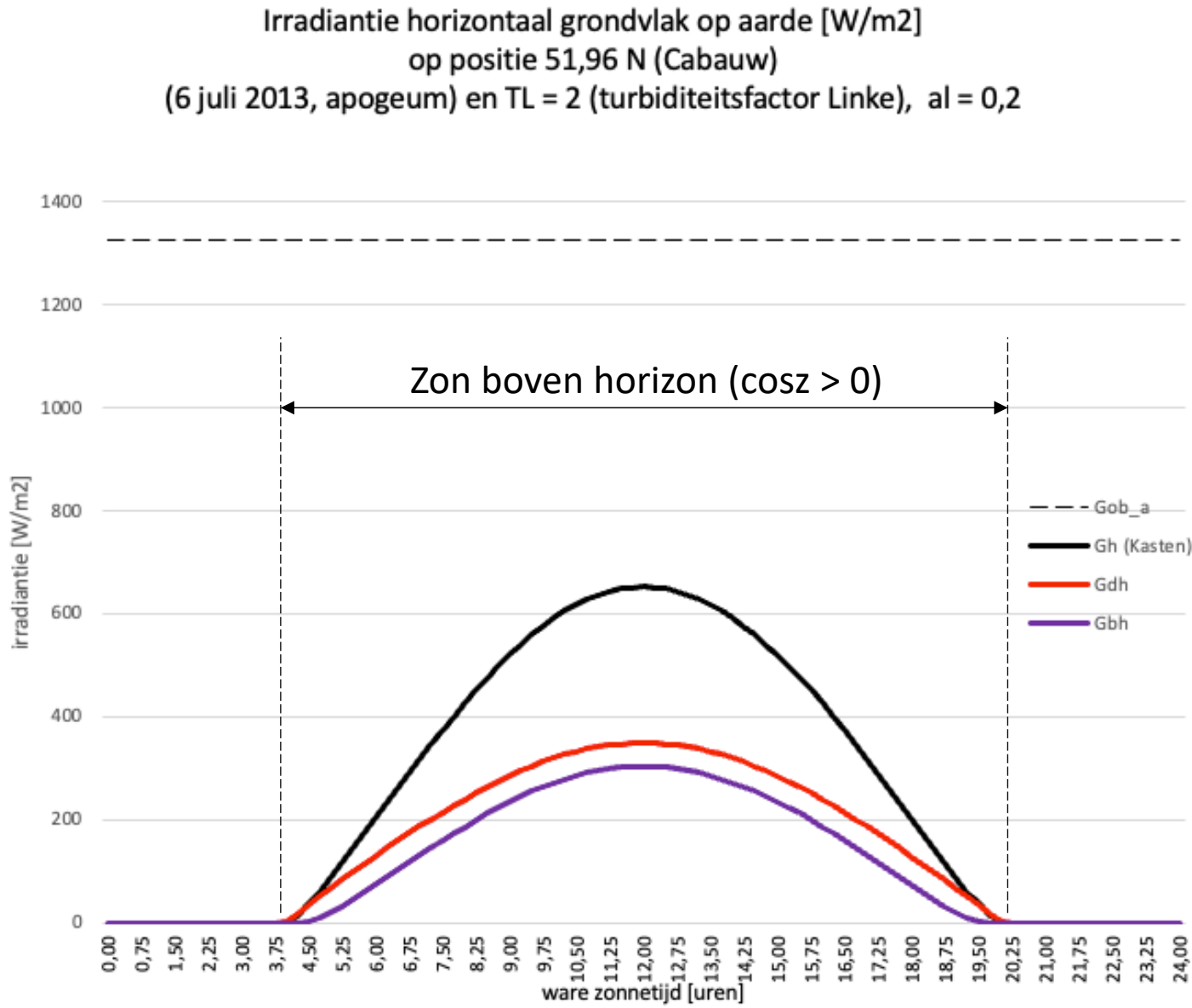
Ten slotte. Anders dan bij de aarde, is nu de diffuse component niet gemodelleerd. De diffuse component bij Mars is dan:

$$G_{dh} = G_h - G_{bh}$$



Op moment van perihelium (kleinste afstand) is de G_{ob} het hoogst (718 W/m²) maar omdat het dan najaar is (L_s ca. 251°), zorgen stofstormen voor een relatief hoge optische dichtheid $\tau = 1,4$. Daarom is G_h laag.

Merk op dat de diffuse component (rood) meer bijdraagt dan de directe component (paars)!



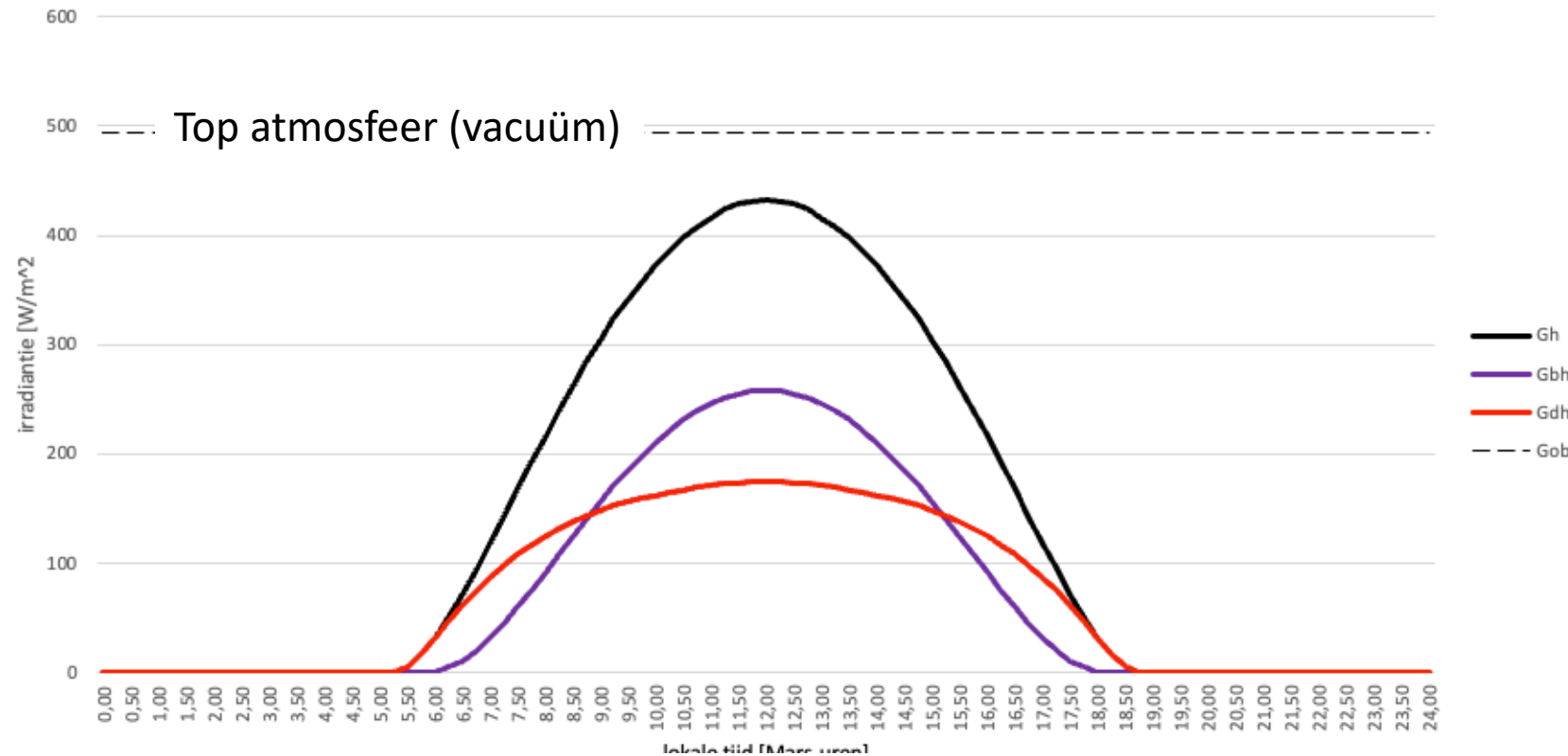
Merk op dat diffuse component groter is dan directe component.

Er is hier geen albedo-component.

Grafiek uit Excel “zonne-energie”

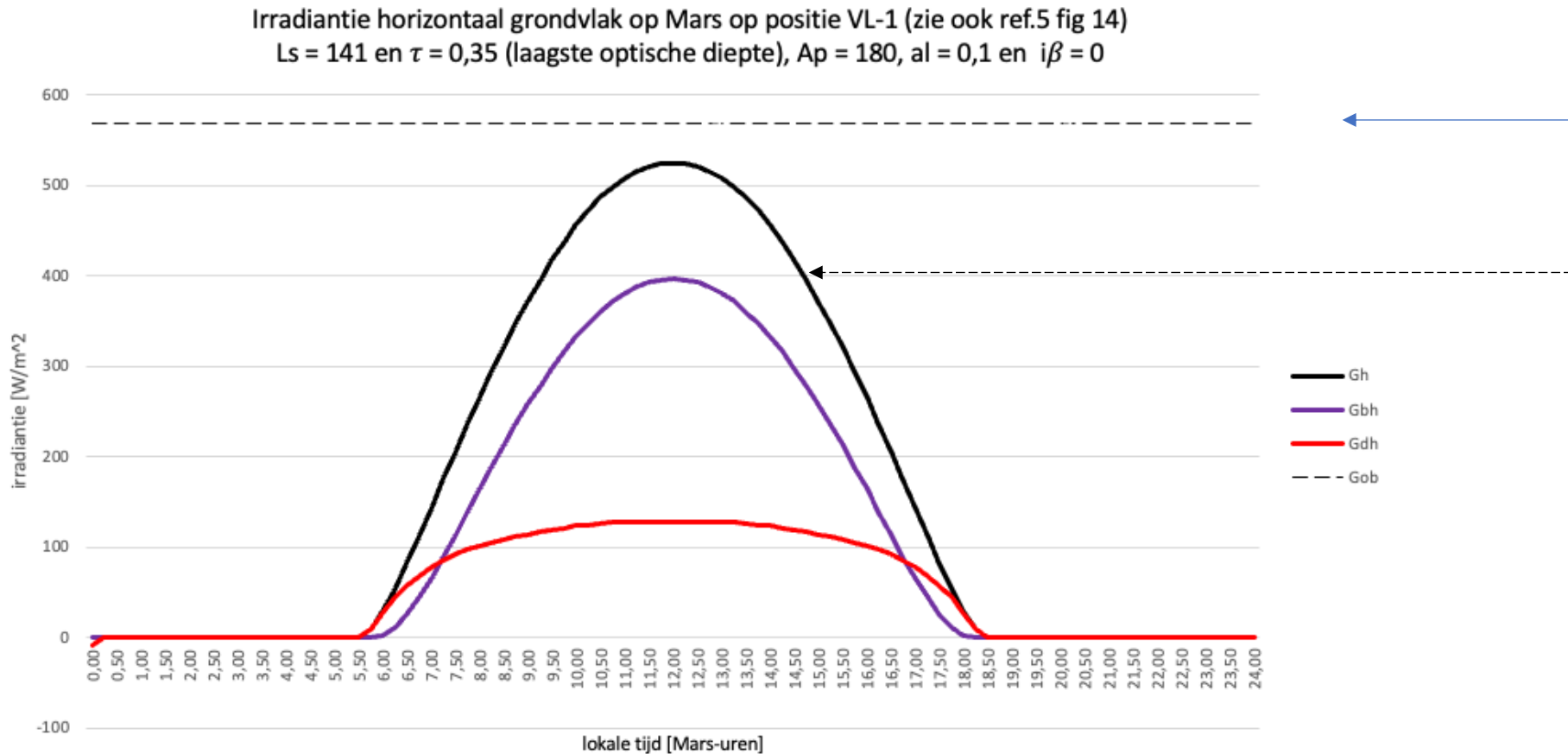
Afstand tot zon is 1,0167081 au.

Irradiantie horizontaal grondvlak op Mars op positie VL-1 (zie ook ref.2 fig 12)
 $L_s = 69$ (aphelium, najaar) en $\tau = 0,65$ (optische diepte), $al = 0,1$



Op moment van aphelium (grootste afstand tot de zon, L_s is ca 71° , in het voorjaar) is de G_{ob} het laagst ($495 W/m^2$) maar door de relatief lage optische dichtheid $\tau = 0,65$ is G_h toch hoger dan in aphelium.

Merk op dat nu de directe component (paars) meer bijdraagt dan de diffuse component (rood)!



G_{ob} top atmosfeer

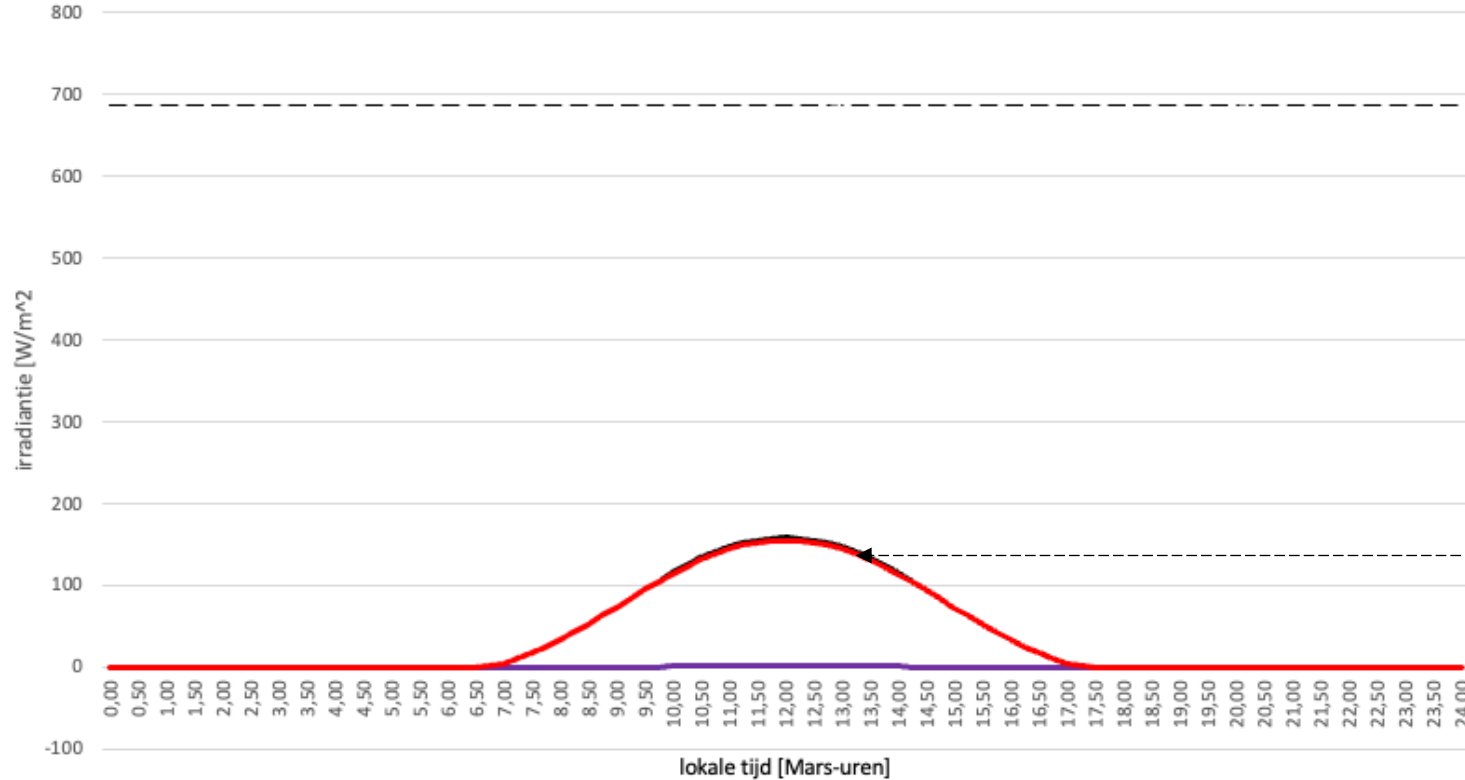
Global irradiance G_h

$L_s = 141^\circ$ (midden zomer op noordelijk halfrond)

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)

Irradiantie horizontaal grondvlak op Mars op positie VL-1 (zie ook ref.5 fig 14)
 $L_s = 291$ en $\tau = 3,6$ (hoogste optische diepte), $A_p = 180$, $\alpha_l = 0,1$ en $i\beta = 0$



G_{ob} top atmosfeer

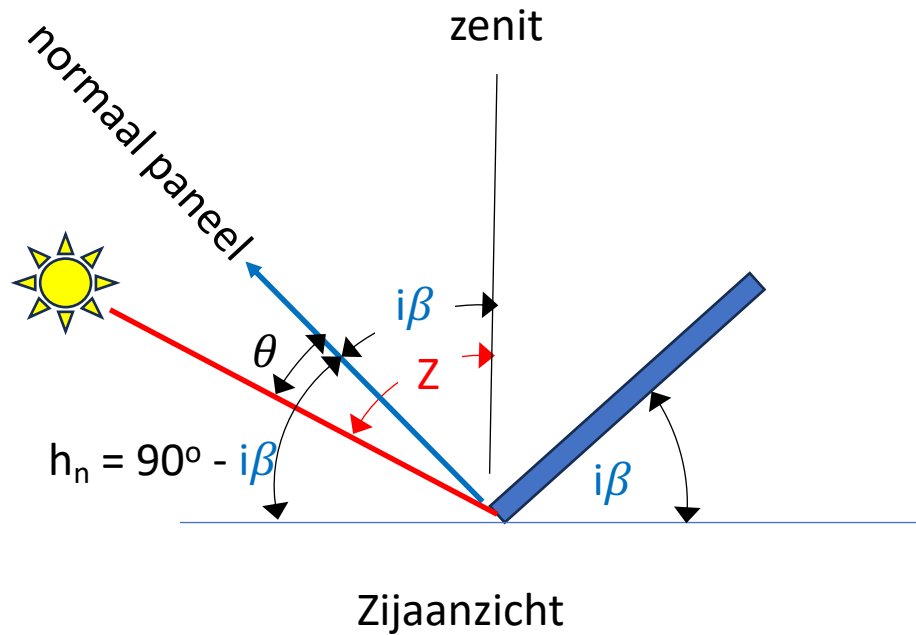
Merk op dat de
directe irradiantie
(G_{bh} , paars)
nagenoeg niets
bijdraagt aan G_h .

Global irradiance $G_h \approx G_d$

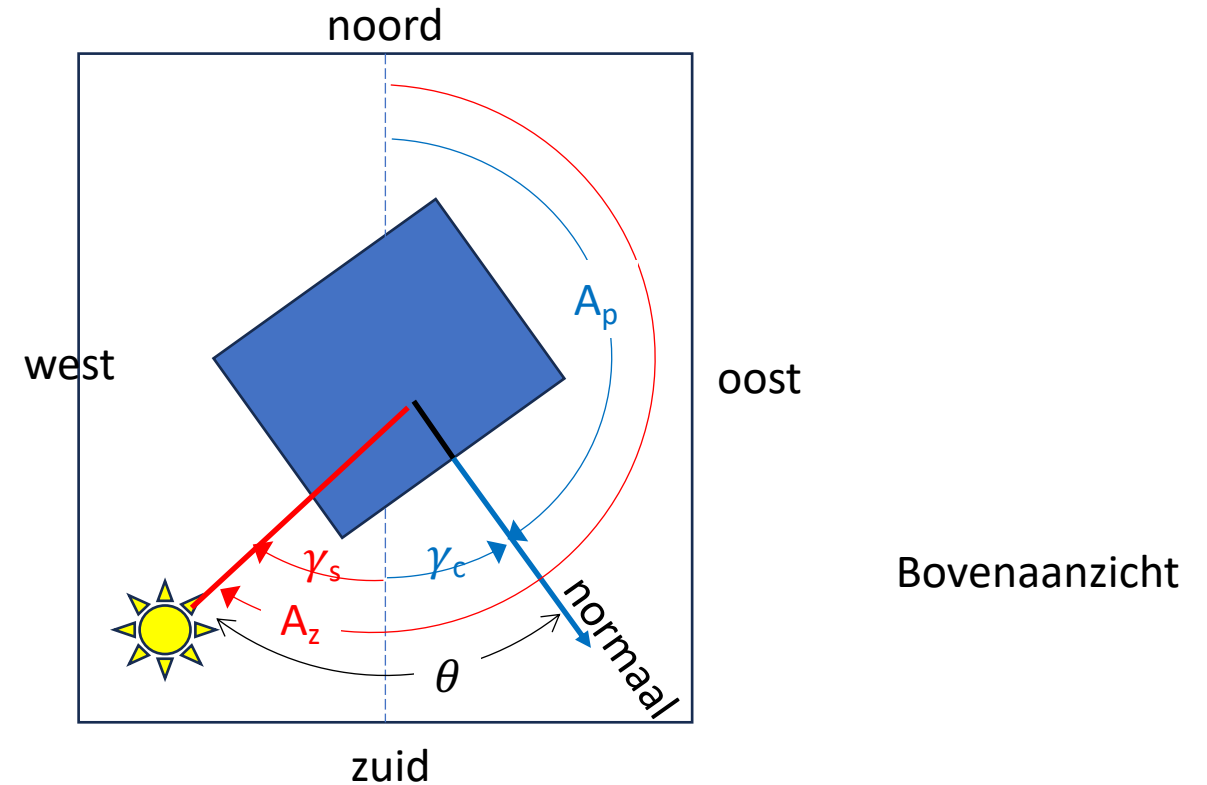
Min. irradiantie op horizontaal vlak bij VL-1
 $L_s = 291^\circ$, winter op noordelijk halfrond en zware stofstorm

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)



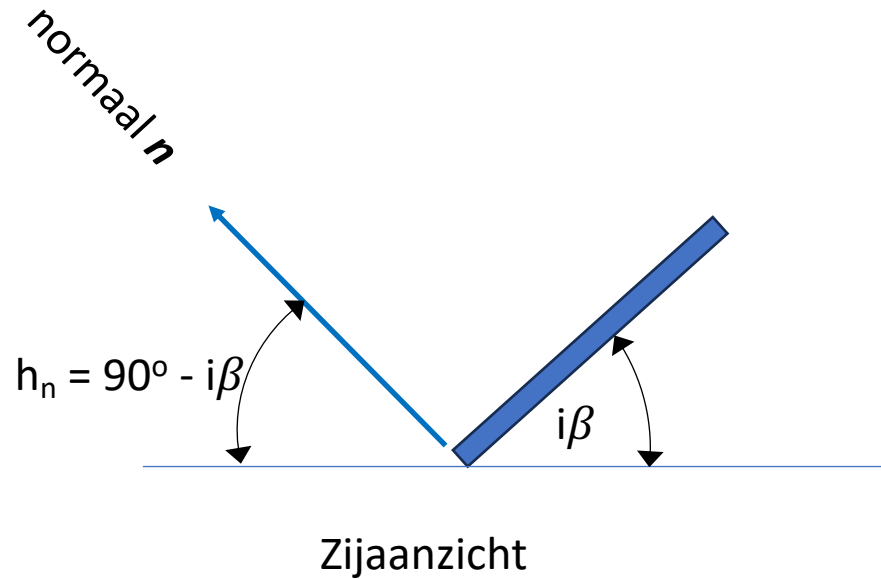
$i\beta$ = inclinatie zonnepaneel met horizontaal
 θ = invalshoek (zon op paneel)



A_p = azimut van de normaal paneel (vanaf Noord)
 γ_c = azimut van de normaal paneel (vanaf Zuid, oost = -)
 A_z = azimut zon (vanaf Noord)
 γ_s = azimut zon (vanaf Zuid, west = +)

[Vooruit](#)

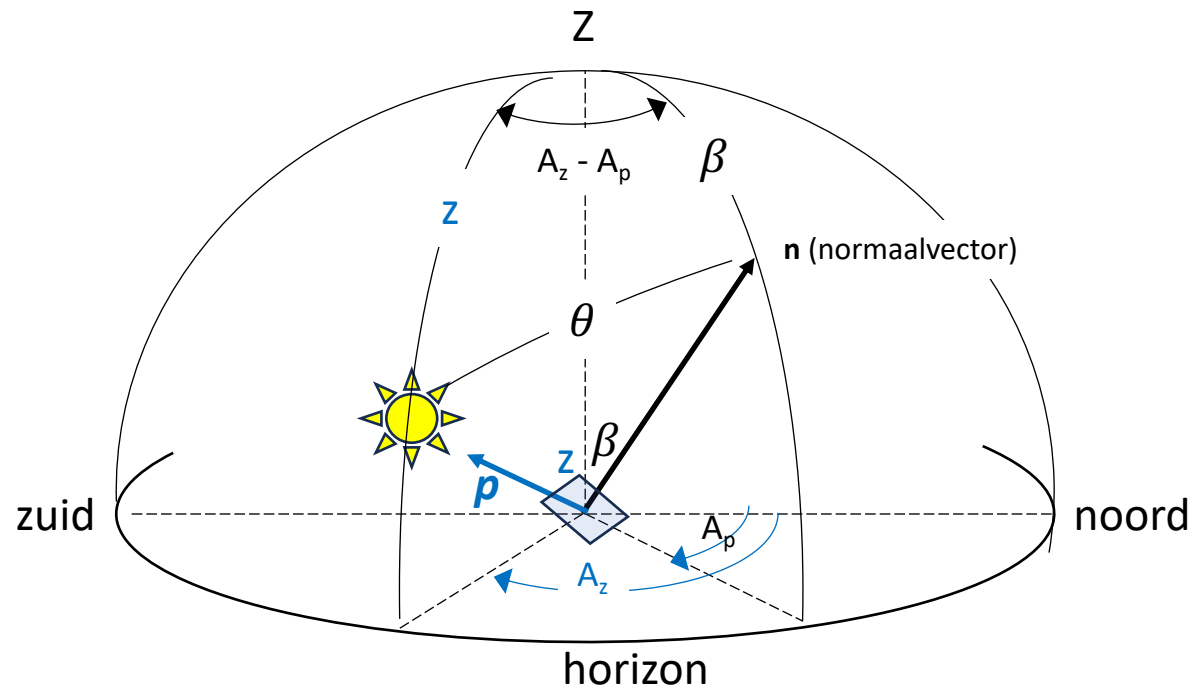
[Achteruit](#)



$i\beta$ = inclinatie zonnepaneel met horizontaal
 A_p = azimut van de normaal paneel (vanaf Noord)

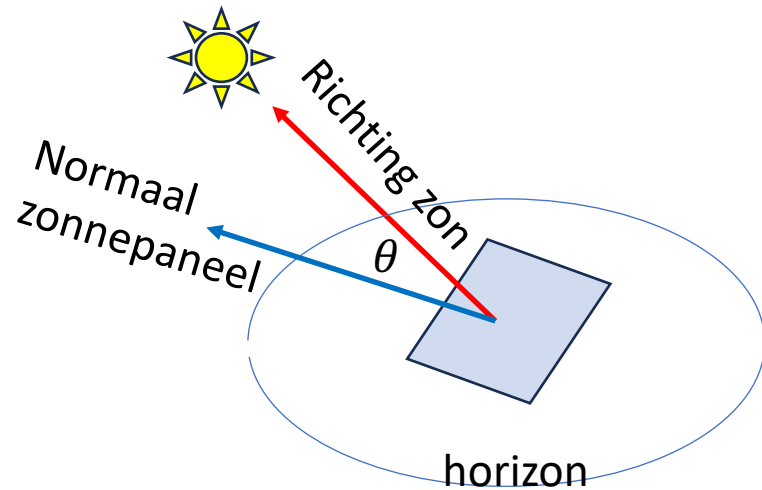
De vergelijking voor $\mathbf{n}$ luidt:

$$\mathbf{n} = \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(h_n) \cdot \cos(A_p) \\ \cos(h_n) \cdot \sin(A_p) \\ \sin(i\beta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(i\beta) \cdot \cos(A_p) \\ \sin(i\beta) \cdot \sin(A_p) \\ \cos(i\beta) \end{bmatrix}$$



θ = 'invalshoek', de hoek tussen de normaalvector en de topocentrische richtingsvector van de zon $\mathbf{p}$ hadden we al gevonden in het hoofdstuk pgd.

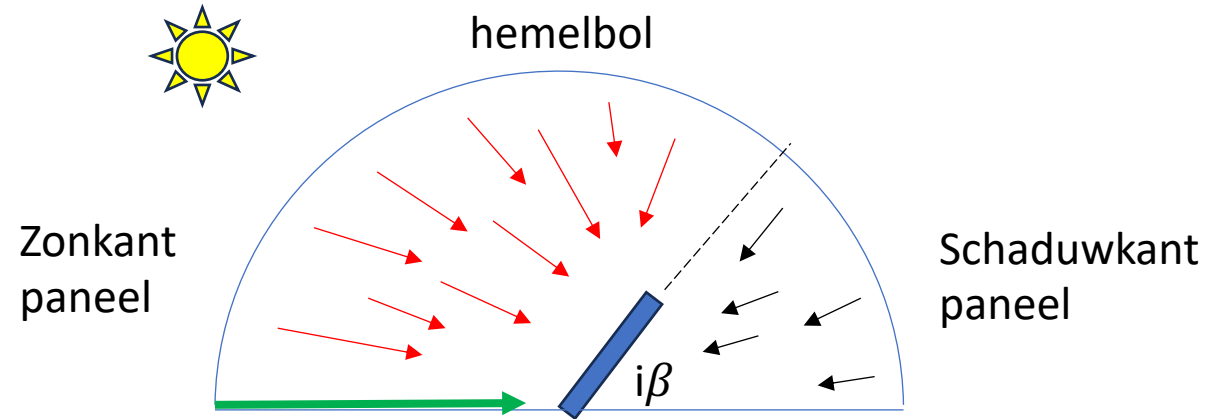
Daarvoor geldt $\cos\theta = \mathbf{n} \cdot \mathbf{p}$



Als $\theta > 90^\circ$ is er geen directe irradiantie G_b .
Het paneel ‘ziet’ de zon dan niet meer.

Als $\theta = 0^\circ$ is G_b maximaal.

$$G_{b\beta} = G_b \cdot \cos\theta$$



Diffuse irradiantie alleen voorkant paneel:

$$G_{d\beta} = G_{dh} \frac{1 + \cos(i\beta)}{2} = G_{dh} \cos^2(i\beta/2)$$

Albedo irradiantie (groen) is maximaal

Als $\beta = 90^\circ$ en minimaal (nul) als $\beta = 0^\circ$.

$$G_{al\beta} = al \cdot G_h \frac{1 - \cos(i\beta)}{2} = al \cdot G_h \sin^2(i\beta/2)$$

Waarin

$$G_h = G_{bh} + G_{dh}$$

De globale irradiantie is:

$$G_{\beta} = G_{b\beta} + G_{d\beta} + G_{al\beta} = G_b \cdot \cos\theta + G_d \cdot \cos^2(\beta/2) + al \cdot G_h \cdot \sin^2(\beta/2)$$

$$G_{ob} = \left[\frac{S_0}{r^2} \right] \quad G_{obh} = G_{ob} \cdot \cos Z$$

Aarde:

$$\text{Kasten: } G = G_{ob} \cdot \left[1 - 0,72 \left(\frac{N}{8} \right)^{3,2} \right] \cdot 0,84 \cdot e^{-0,027 \frac{T_L}{\cos(Z)}} = G_{ob} * efb * ef$$

$$\text{De Jong: } G_d = f(G_h / G_{obh}) \text{ procedure } \text{frac } G_h / G_{obh}$$

$$G_h = G \cdot \cos Z$$

$$G_b = G - G_d$$

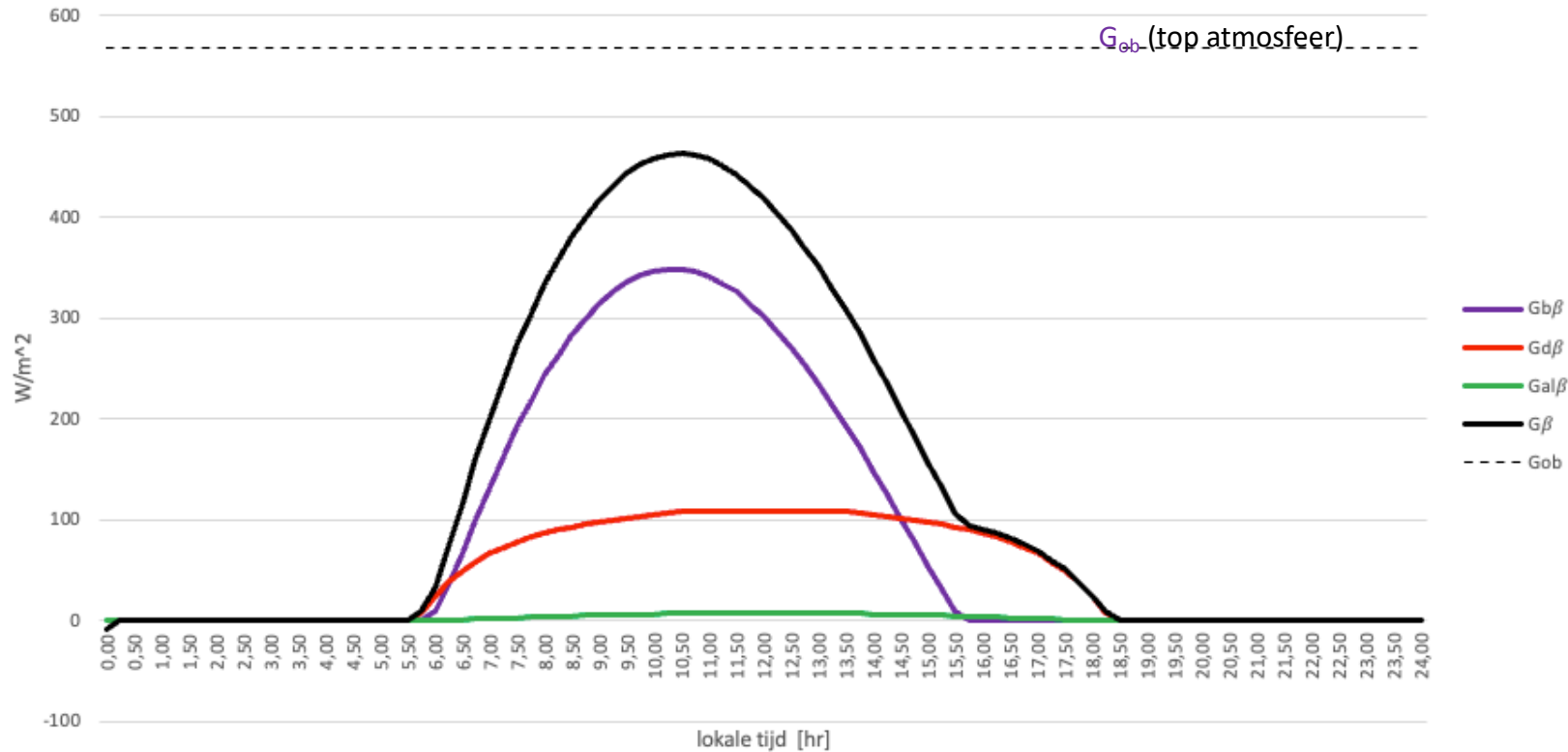
Mars:

$$\text{Appelbaum-Flood: } G_h = G_{ob} \cdot f(z, \tau, al) \cdot \cos(z) \cdot \frac{1}{(1-al)}$$

$$G_b = G_{ob} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{\cos(z)} \right)}$$

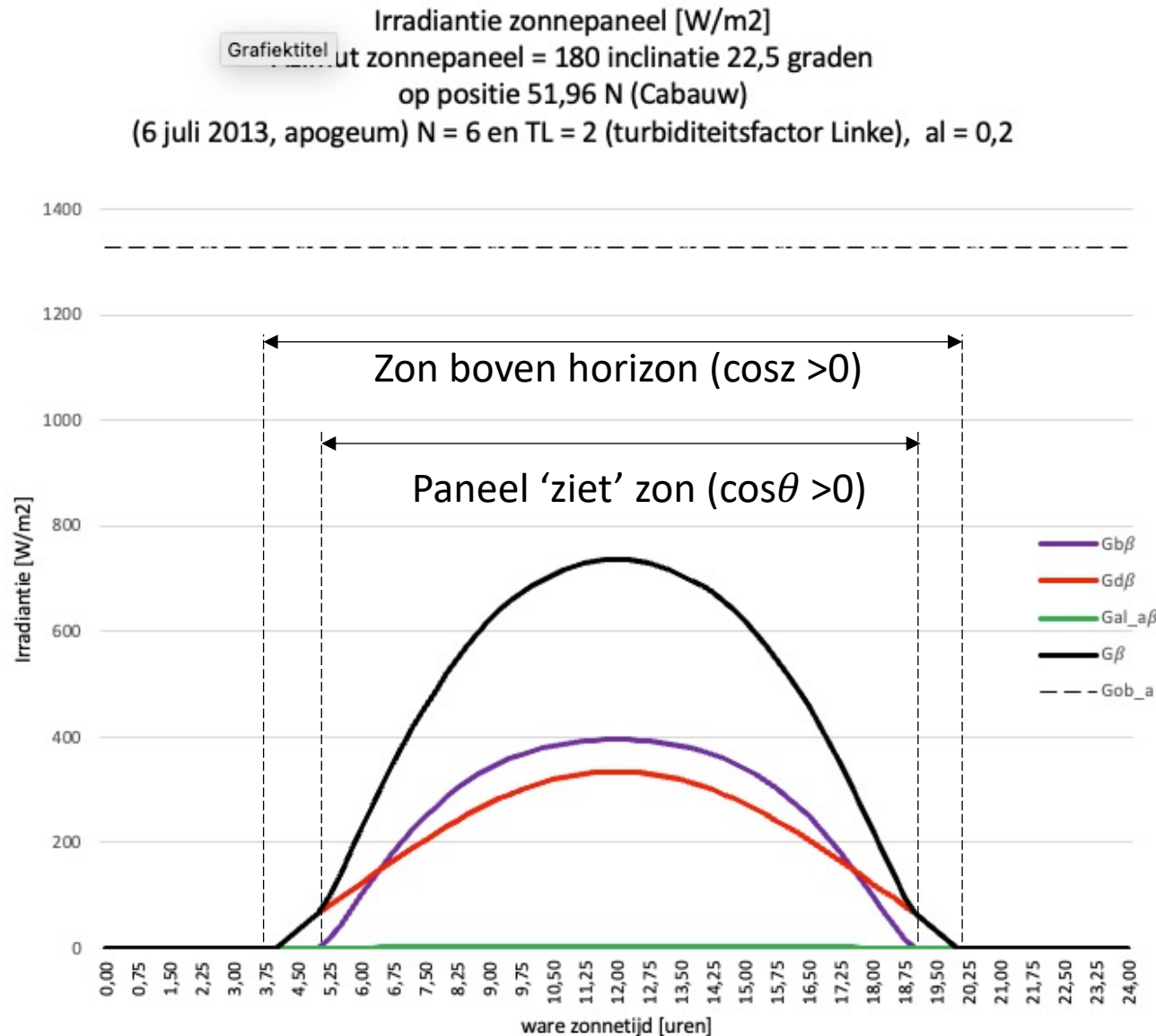
$$G_d = G_h - G_{bh}$$

irradiantie zonnepaneel op locatie VL1 met inclinatie $i\beta = 45$ en azimut $A_p = 130$ graden
 $L_s = 141$ en $\tau = 0,35$



Bijdrage diffuse irradiantie (rood) gaat langer door dan directe (beam) irradiantie (paars)

Merk de asymmetrie op omdat het paneel niet naar het zuiden is gericht.



Ontvangst van de directe component duurt het kortst.

Er is hier nu wel een albedo-component.

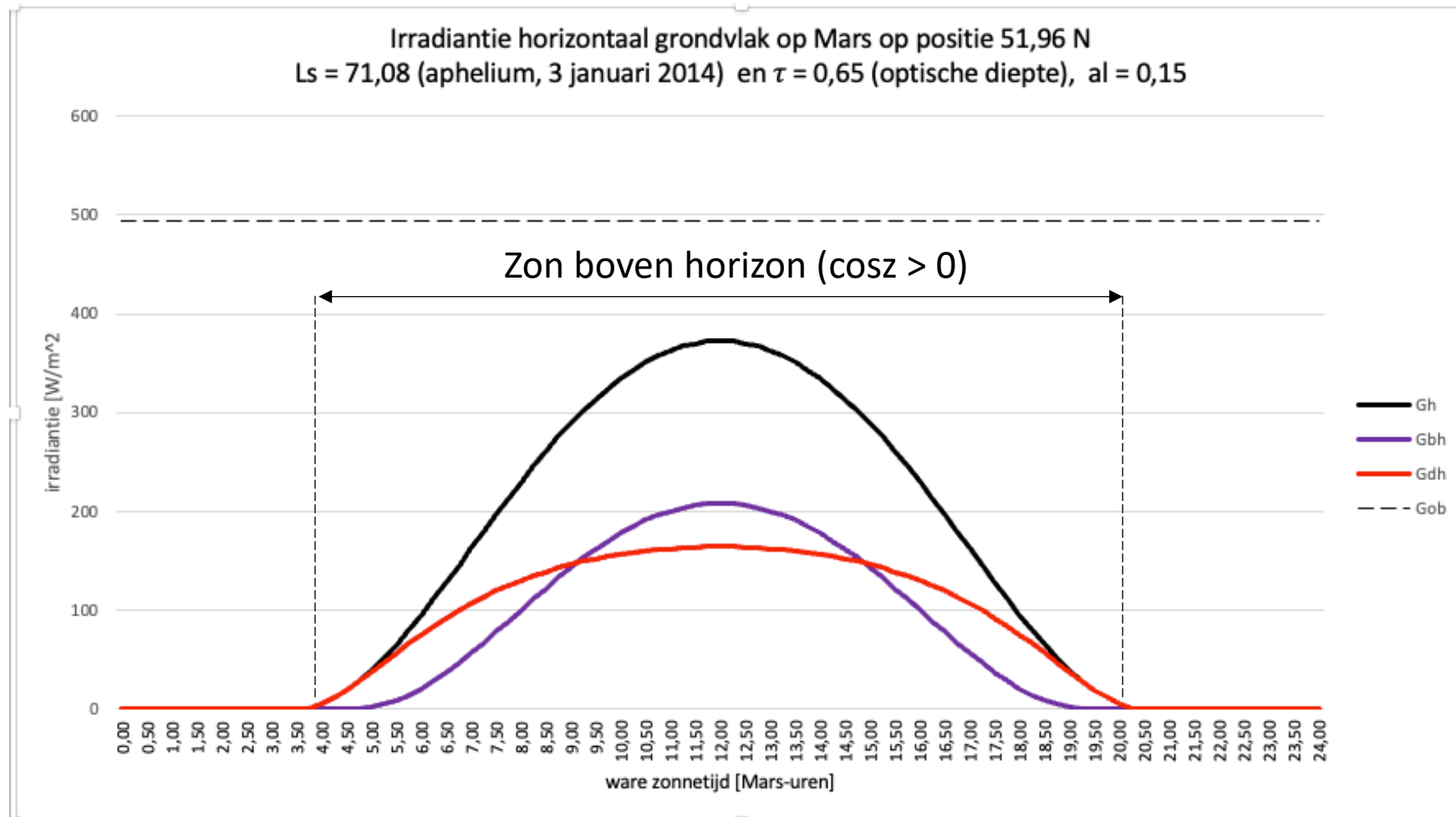
Grafiek uit Excel “zonne-energie”

Afstand tot zon is 1,0167081 au.

[Vooruit](#)

[Terug naar 88](#)

[Achteruit](#)

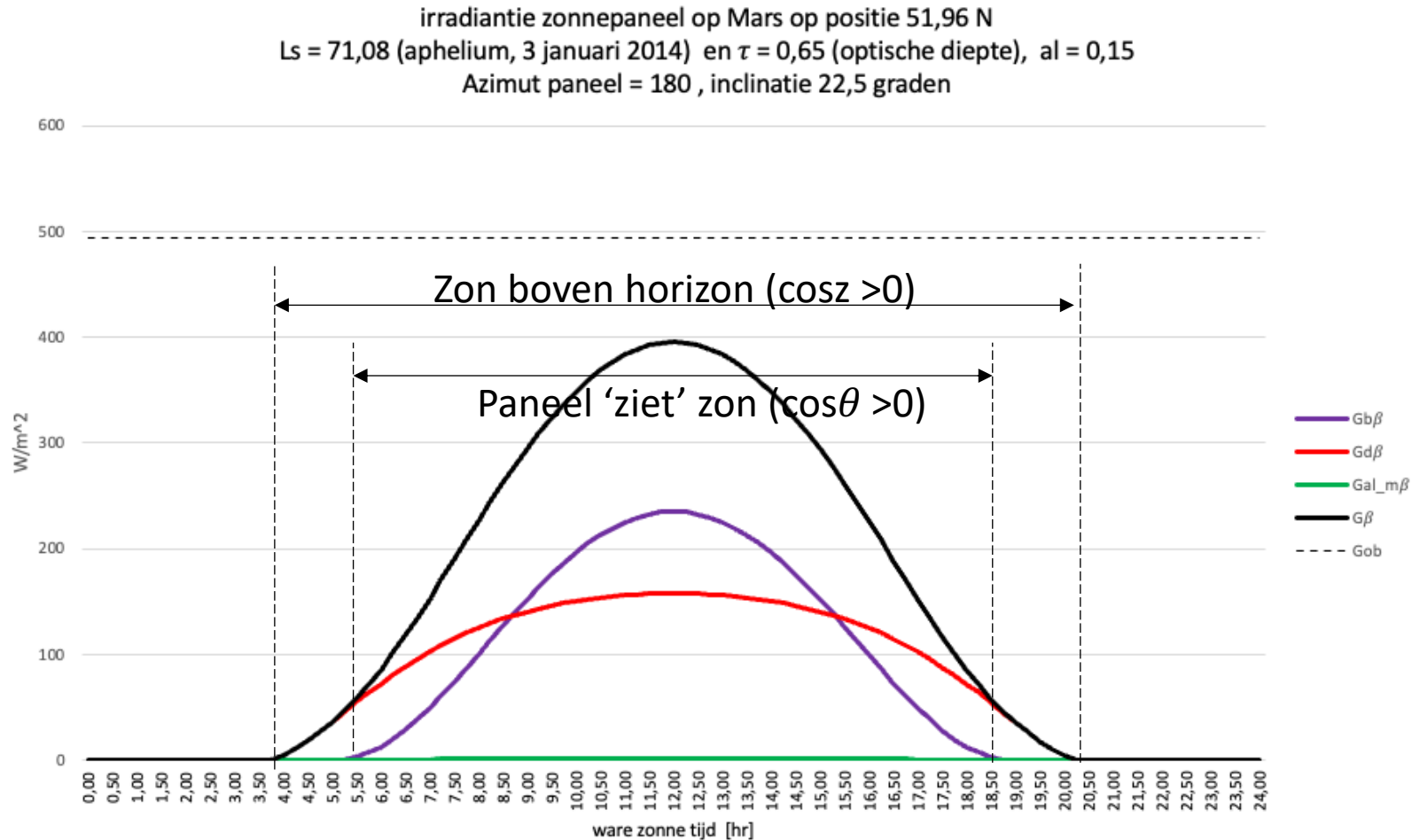


Merk op dat diffuse component *soms* groter is dan directe component.

Er is hier geen albedo-component.

Grafiek uit Excel “zonne-energie”

Afstand tot zon is 1,6660629 au.



Merk op dat diffuse component soms groter is dan directe component.

Er is hier nu wel een albedo-component.

Grafiek uit Excel "zonne-energie"

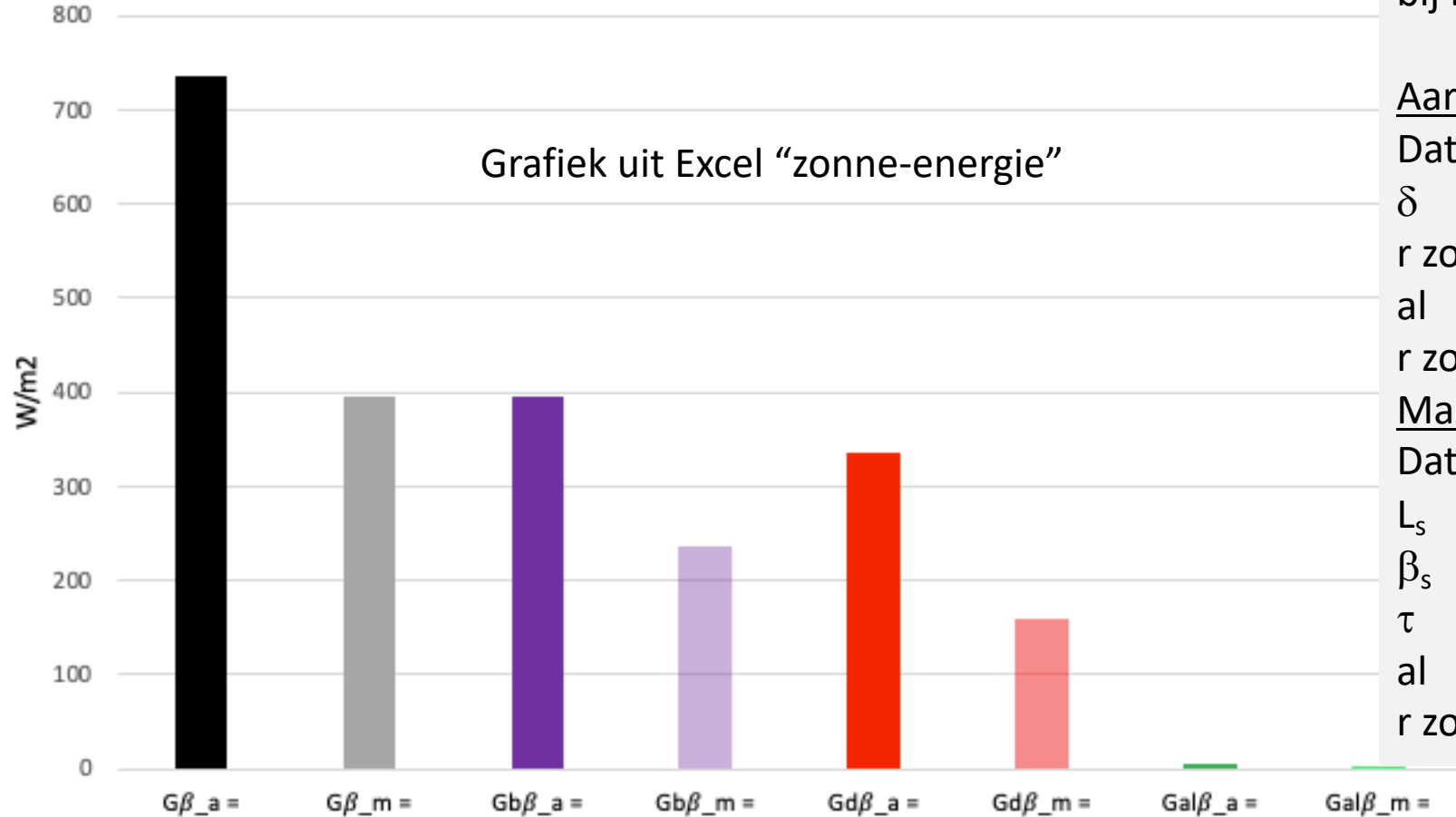
Afstand tot zon is 1,6660629 au.

Zonne-energie

Vergelijken G aarde met Mars (aphelium)

Irradiantie aarde Mars op aphelium

Grafiekgebied zie aarde. Het paneel heeft azimuth 180 en helling 22,5 graden voor atmosferische condities en data zie aarde en Mars



Situatie voor 12:00 ware zonnetijd.
Breedte aarde = mars = $51,96^\circ$ N (Cabauw, bij Lopik prov. Utrecht)

Aarde:

Datum = 6 juli 2013
 δ = $+ 22,6890^\circ$
 r_{zon} = 1,0167081 au
 α = 0,2 (20%)
 r_{zon} = 0,983 au

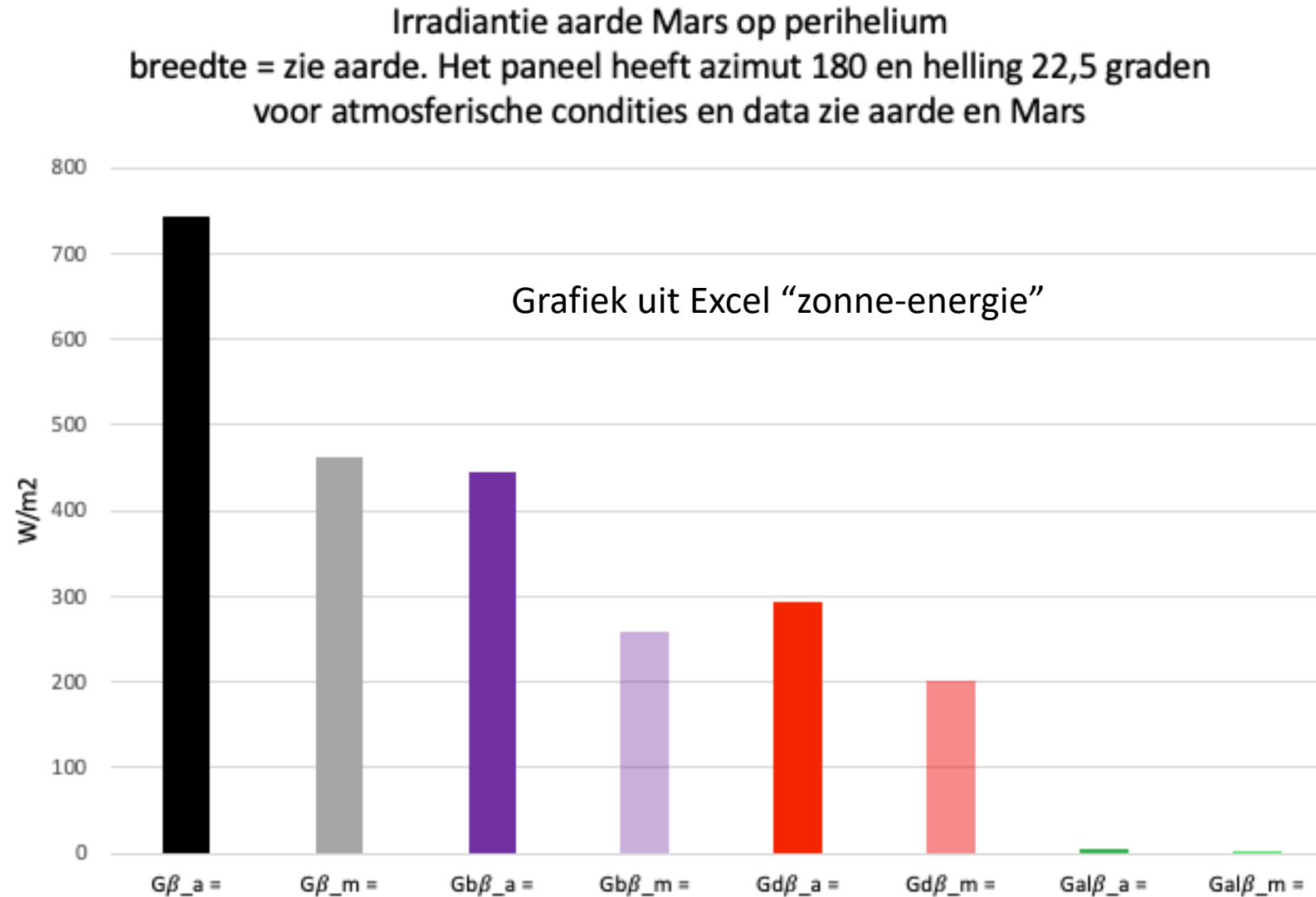
Mars:

Datum = 3 jan 2014
 L_s = $71,08^\circ$
 β_s = $23,745^\circ$
 τ = 0,65
 α = 0,15 (15 %).
 r_{zon} = 1,6660629 au.

[Vooruit](#)

[Terug naar 86](#)

[Achteruit](#)



Situatie voor 12:00 ware zonnetijd

Breedte op Mars (VL-1) en aarde (Havana Cuba, Calcutta, Hongkong) = 22,3° N

Aarde:

Datum = 2 januari 2013
 δ = -22,917°
TL = 2 (tussen 1 en 5)
N = 6/8 (bewolking)
al = 0,20 (20% albedo)
r zon = 0,983 au

Mars:

Datum = 24 jan 2013
 L_s = 250,79°
 β_s = -23,95°
 τ = 0,65
Albedo = 0,15 (15 % albedo)
r zon = 1,382 au

[Vooruit](#)

[Terug naar 87](#)

[Achteruit](#)

Insolatie H is het oppervlak onder kromme van irradiatie G. Met andere woorden

$$\int G(t)dt = H(t) + C$$

Irradiantie G(t) is de integrand en de insolatie H(t) is de primitieve.

In plaats van tijd t wordt ook van de uurhoek als integratie variabele gebruikt. De uurhoek wordt meestal aangeduid met H. Maar in dit geval gebruiken we ω voor de uurhoek.

De bepaalde integraal wordt:

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} G(t)dt$$

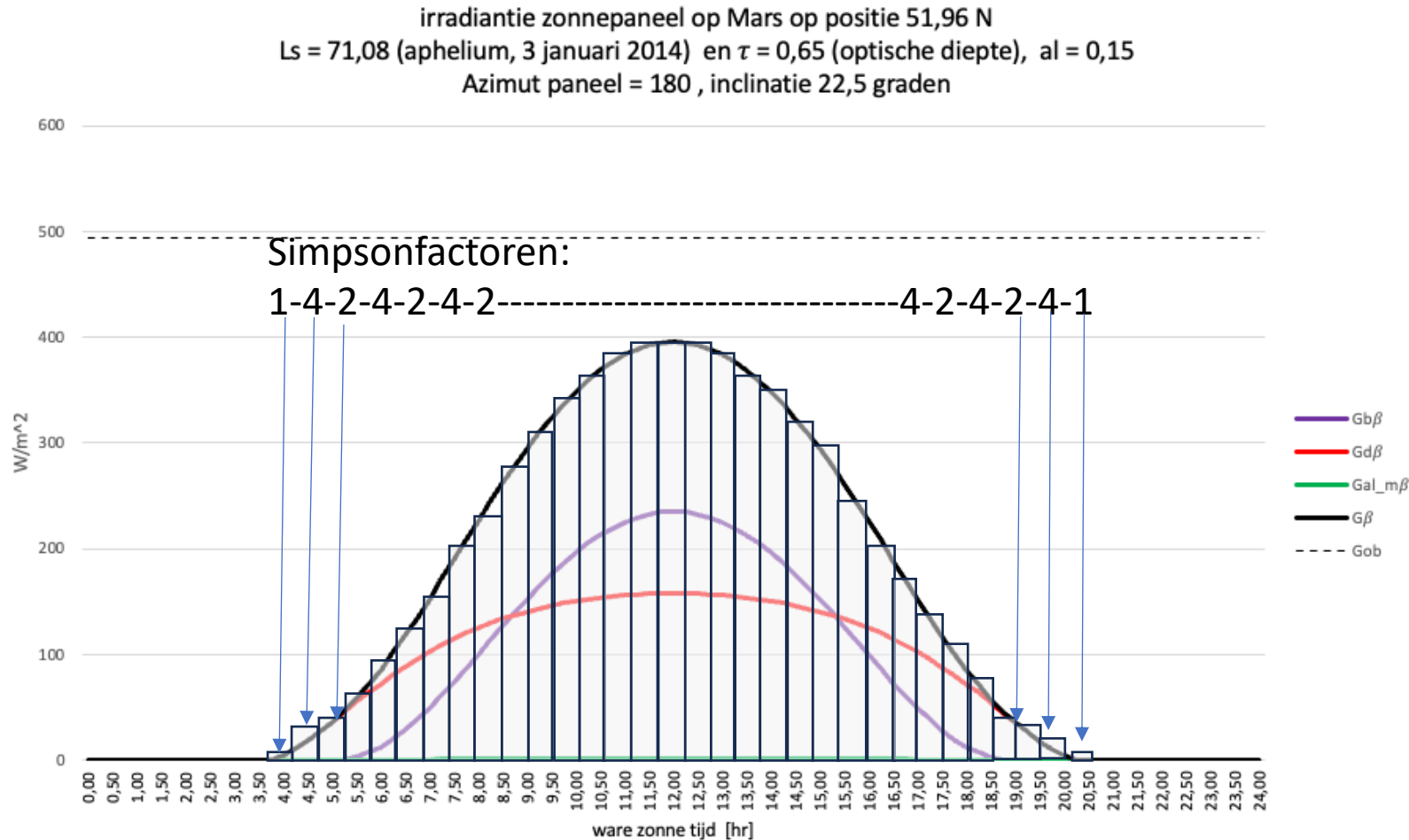
De integratie wordt analytisch of numeriek met de Regel van Simpson.

De integratie van de irradiantie *top atmosfeer* voor een *horizontaal* vlak (vgl. 2-5) is makkelijk analytische uit te voeren. Voor de periode van zonsopkomst tot zonsondergang wordt dat:

$$H_{obh} = \int_{\omega_{sr}}^{\omega_{ss}} G_{ob} \cdot (\sin\phi \cdot \sin\beta_s + \cos\phi \cdot \cos\beta_s \cdot \cos\omega) d\omega = \frac{24 \cdot G_{ob}}{\pi} \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot (\omega_{ss} - \tan\omega_{ss})$$

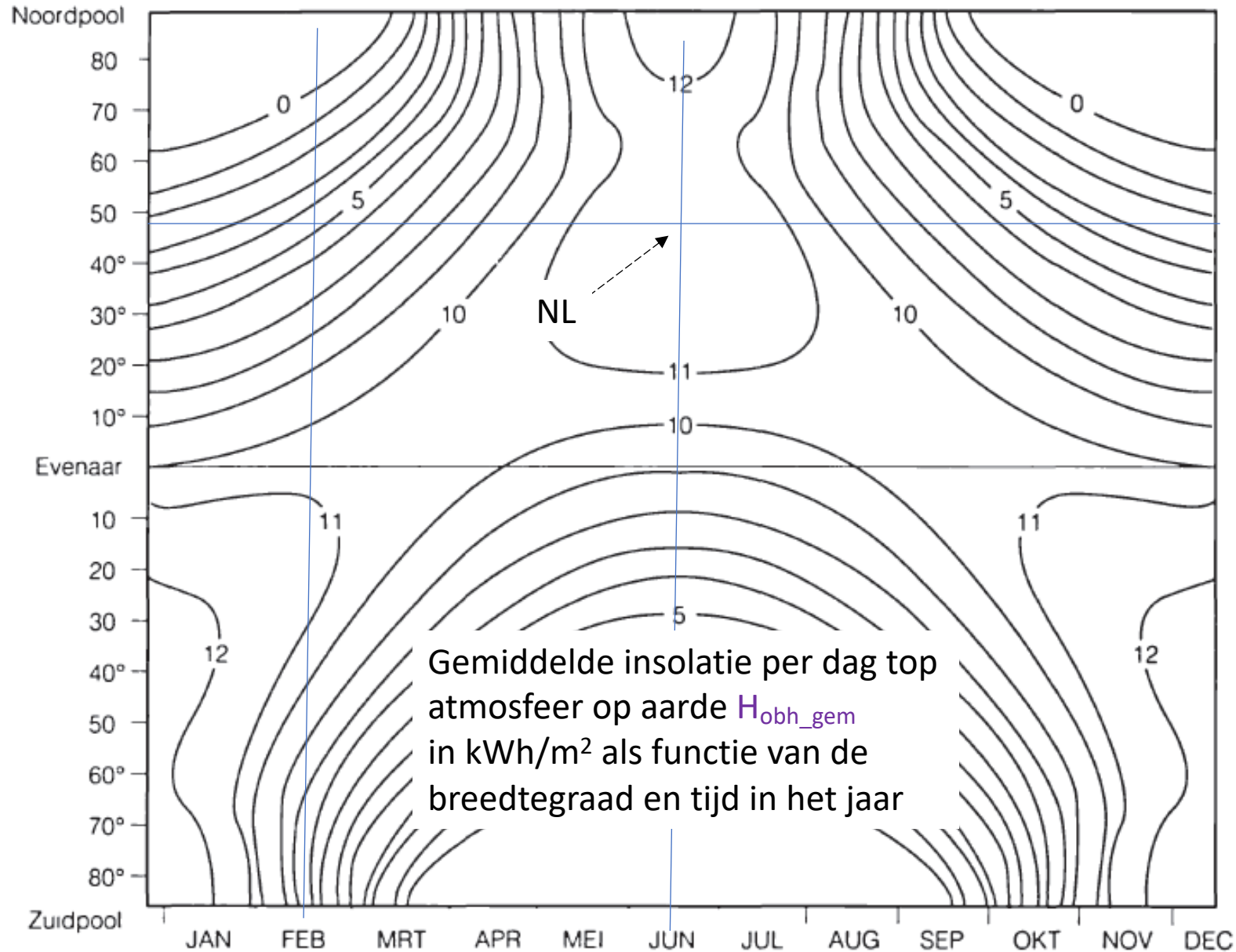
De afleiding hiervan is te zien in het Word-document “zonne-energie”.

Zo’n analytische oplossing voor de insolatie op het oppervlak is niet mogelijk. Numeriek wel.



H = oppervlakte onder de kromme.

De numerieke methode is met de Regel van Simpson.



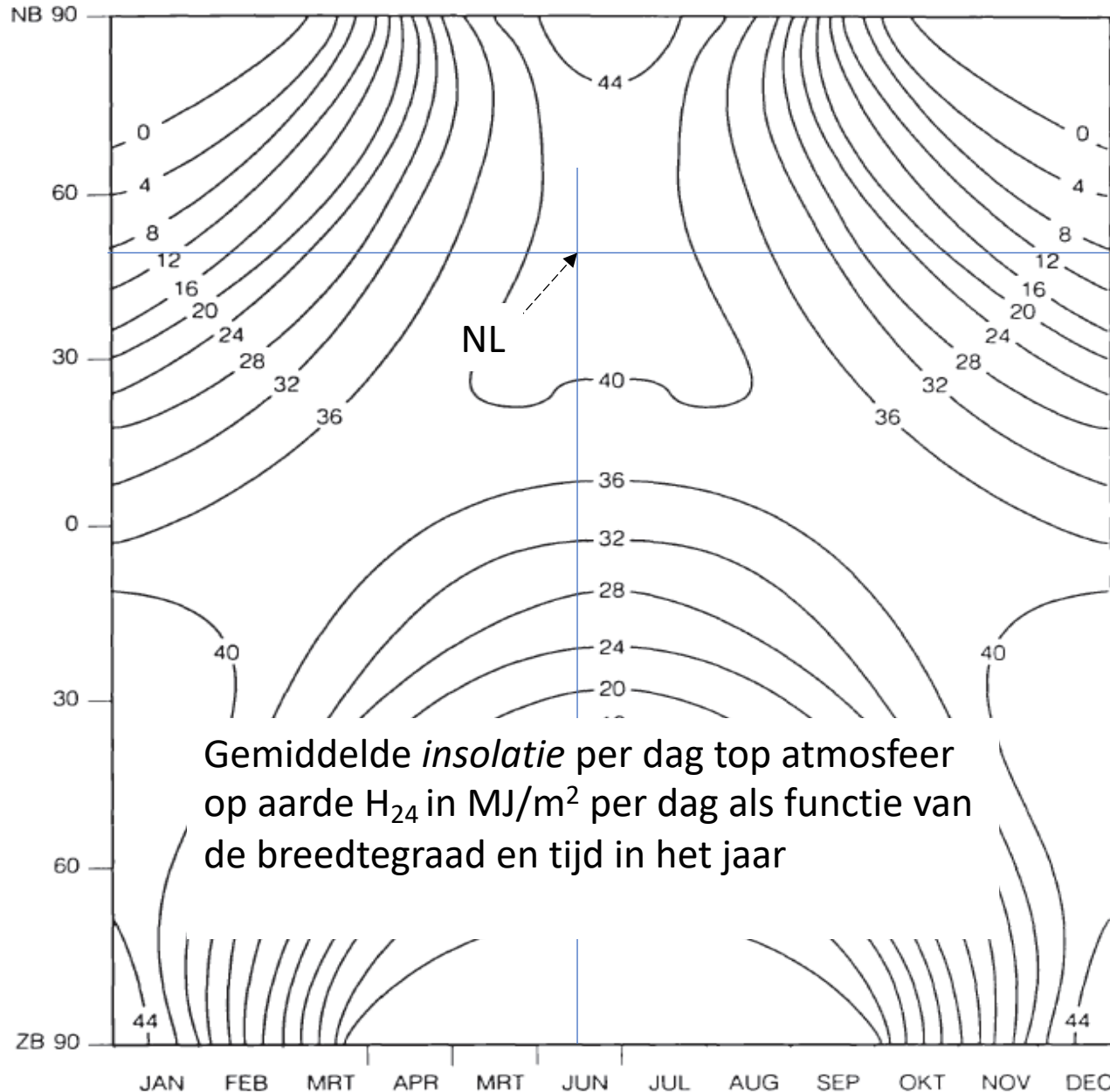
Gemiddelde irradiantie per **dag** top
atmosfeer op aarde G_{obh_gem}
in kWh/m² als functie van de
breedtegraad en tijd in het jaar

Nederland

In februari ongeveer 4000 Wh/m².

In juni ongeveer 11500 Wh/m²
11,5 kWh/m²

Gemiddelde insolatie per dag top
atmosfeer op aarde H_{obh_gem}
in kWh/m² als functie van de
breedtegraad en tijd in het jaar



De gemiddelde irradiantie over een dag volgt uit:

$$G_{24} = \frac{G_{ob}}{\pi} \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot (\omega_{ss} - \tan \omega_{ss}) \quad [W/m^2]$$

δ = declinatie zon

ϕ = breedte waarnemer

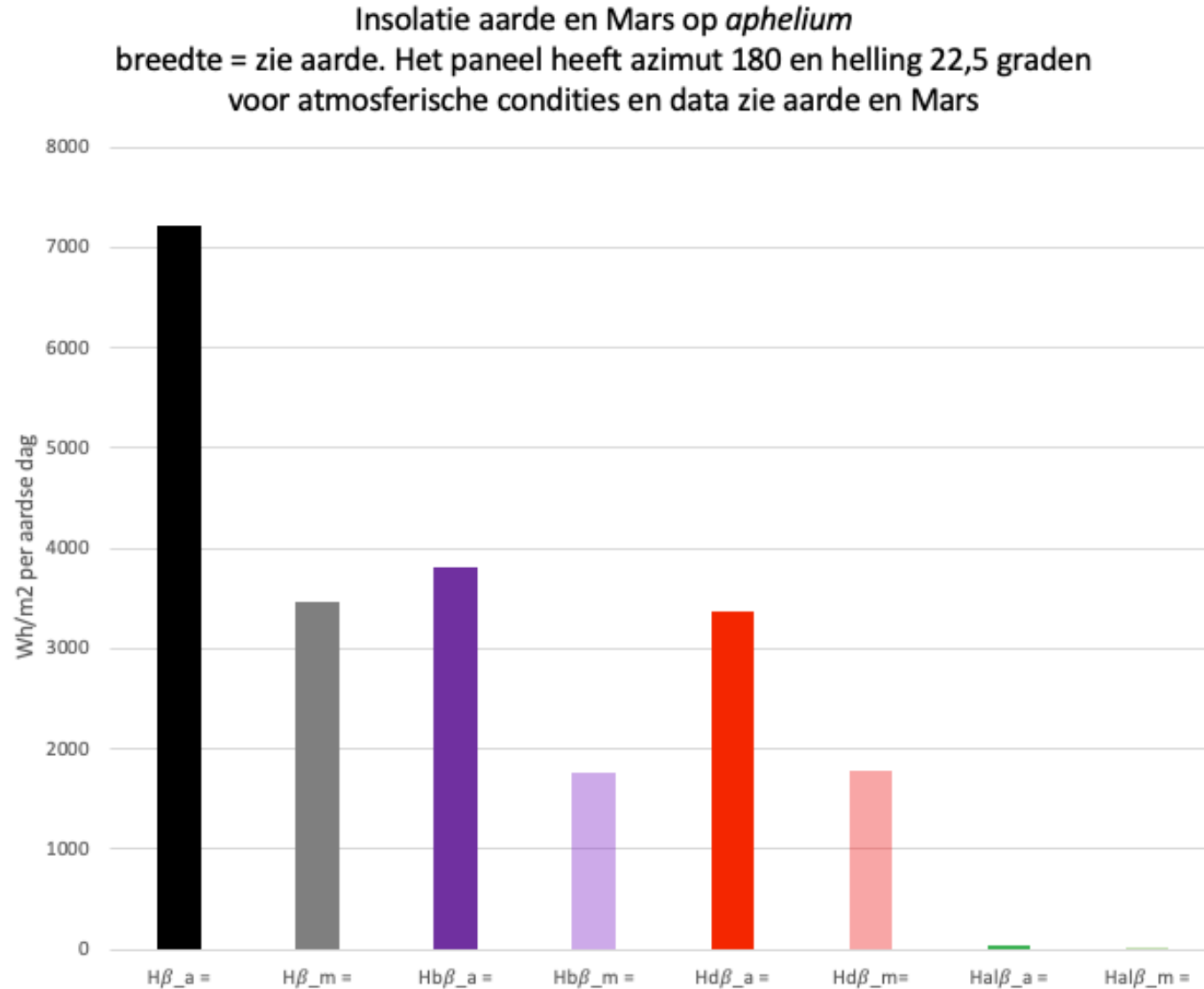
ω_{ss} = uurhoek bij zonsondergang [radialen]

$$\cos \omega_{ss} = -\tan \phi \cdot \tan \delta$$

Door G_{24} te vermenigvuldigen met 86400 s (aantal seconden per dag) en te delen door 1 miljoen krijg je de gemiddelde *insolatie* in MJ/m².

Voorbeeld. Nederland in juni. De vergelijking levert 483,5 W/m² en

$$H_{24} = 86400 \cdot 483,5 / 10^6 = 40,7 \text{ [MJ/m}^2\text{] per dag.}$$



Insolatie H op zonnepanelen.
Grafiek uit Excel “zonne-energie”

Afstand tot zon is voor

Aarde: 1,0167081 au (6 juli 2013)

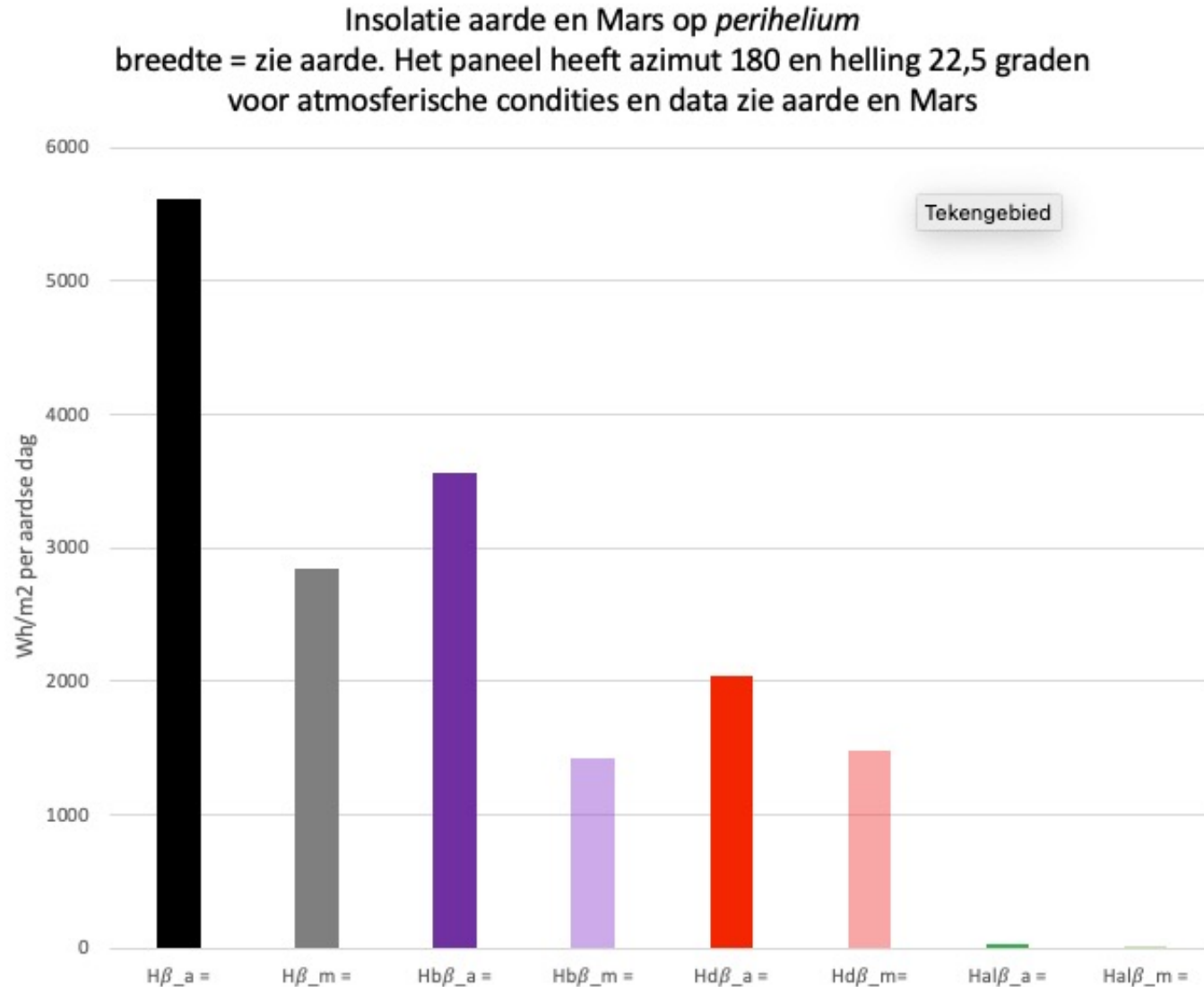
Mars: 1,6660629 au (3 jan 2014)

Breedte = 51,96° N (Cabauw)

[Vooruit](#)

[Terug naar 88](#)

[Achteruit](#)



Insolatie H op zonnepanelen.
Grafiek uit Excel “zonne-energie”

Afstand tot zon is voor

Aarde: 0,983 au (2 jan 2013)

Mars: 1,382 au (24 jan 2013)

Breedte = 22,3° N (VL-1)

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)

Het rendement van een zonnepaneel, het percentage zonlicht dat wordt omgezet in elektriciteit, is ergens tussen 15 en 22 %.

Voorbeeld. Een zonnepaneel (afmeting 1,559 m x 0,798 m) heeft als oppervlak 1,244 m², is naar het zuiden gericht en heeft een inclinatie van 22,5 graden. Het rendement is 18,1%. De turbiditeitsfactor van Linke is 2, de bedekkingsgraad is 6/8 en de albedo is 0,2.

[Op 6 juli 2013 om 12:00 wzt en positie Cabauw \(aarde\) is de irradiantie](#) $G_{\beta} = 736 \text{ W/m}^2$. (zie Excel zonne-energie)

Het paneel ontvangt op dat moment een vermogen van:

$$1,244 * 736 * 0,181 = 166 \text{ W}$$

In die condities is de [insolatie over de hele dag](#) $H = 7216 \text{ Wh/m}^2$. (zie Excel zonne-energie).

De energie dat het paneel die dag opwekt is dan

$$1,244 * 7216 * 18,1\% = 1625 \text{ Wh} = 1,625 \text{ kWh} = 5,45 \text{ MJ}$$

De “groene energiecridor” (DGEC)

Zonnepark bij Zwanenburg

Waarom dit park piloten verblindt bij de nadering van de Polderbaan (18R) op Schiphol

Het doel van de exercitie in dit hoofdstuk is om een algoritme te ontwikkelen waarmee je kan bepalen of een (individueel) zonnepaneel hinderlijke reflecties kan veroorzaken.

De beschrijving van deze onderwerpen en rekenkundige uitwerkingen zijn te vinden in aparte Word- en Excel documenten, beide met de titel “DGEC”. Ze zijn op te vragen via daedalus@lwsk.nl.

[Omschrijving van het project DGEC](#)[Glare](#)[Polderbaan](#)[Procedure bepalen hinder](#)[Resultaat](#)

DGEC is een zonnepark van ca. 100 ha waarmee jaarlijks ca. 123.000.000 kWh (123 GWh, 40.000 huishoudens) opgewekt kan worden. Het bestaat uit 228.696 zonnepanelen. Kosten ca. 86 miljoen €. Initiatief van 4 lokale agrariërs. Project voldoet aan ecologische eisen, stikstof, geluid, landschappelijk, flora, fauna. Nadat de subsidies op zonne-energie-projecten waren ontvangen, verkochten de boeren het project aan een investeringsmaatschappij.

[Vooruit](#)[Achteruit](#)

Glide path

A9

A

Zwanenburg

1050 m

recreatierustpunt

B

1000 m

C

THR Polderbaan 18R
Schiphol

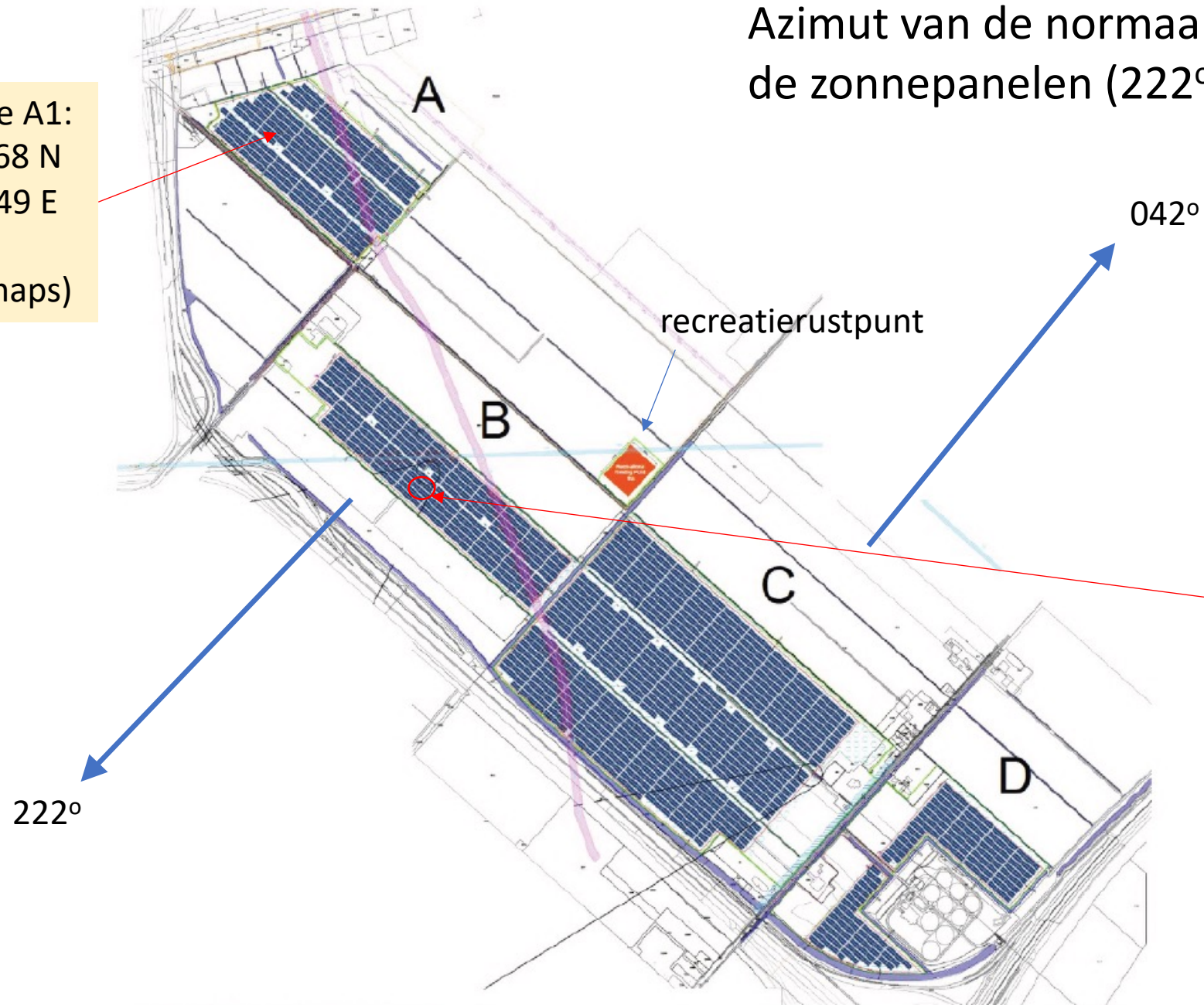
Knooppunt Raasdorp

D

Initiatief van 4 lokale agrariërs.
Ca. 100 ha -> ca. 123.000.000
kWh (123 GWh, 40.000
huishoudens)
Bijna 228.696 zonnepanelen.
Kosten ca. 86 miljoen €.

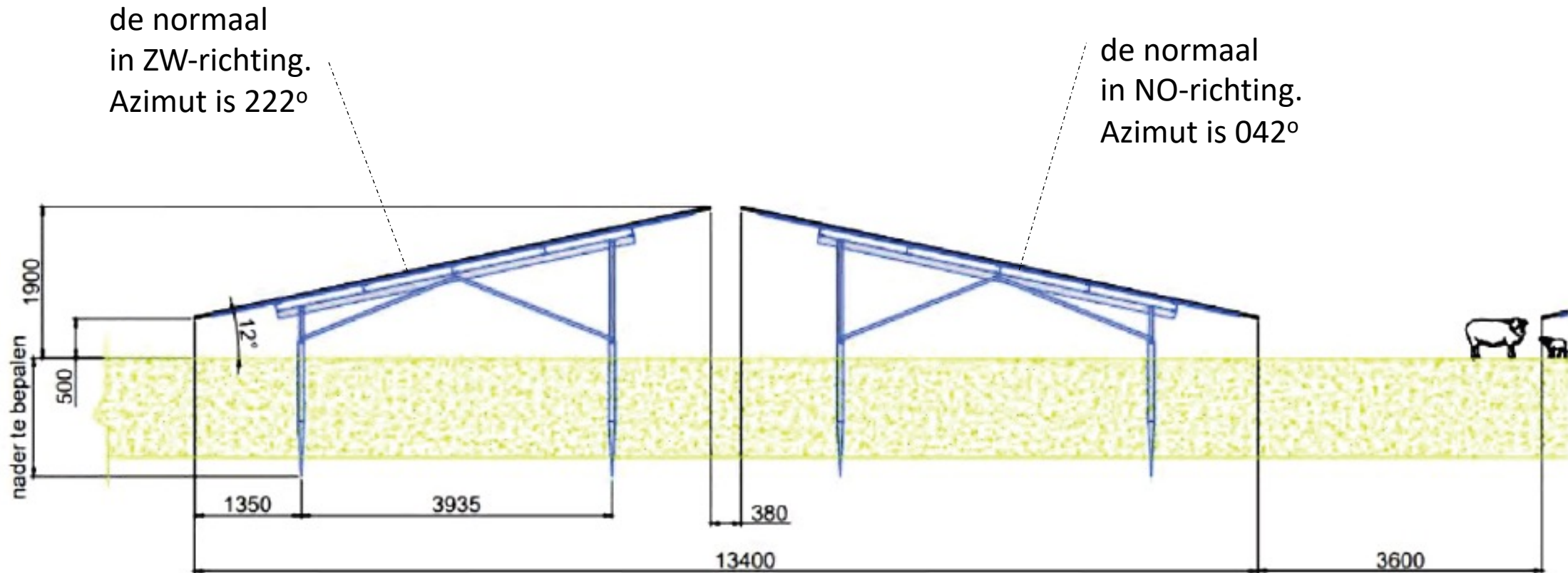
Testpositie A1:
52,380868 N
004,711549 E
(Google maps)

Azimut van de normaal van
de zonnepanelen (222° – 042°)

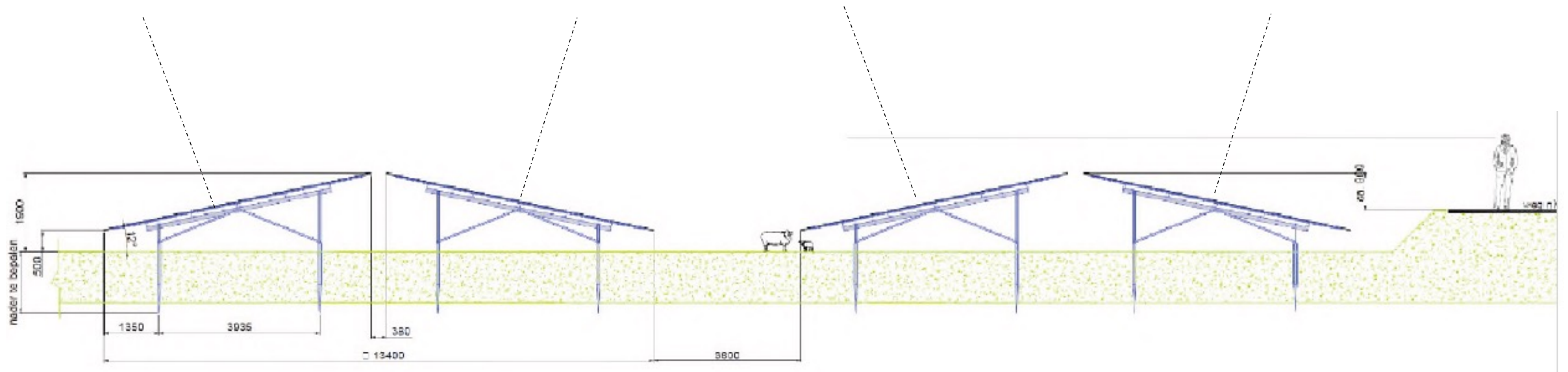


Testpositie B1:
52,3717817 N
004,7189924 E
(Google maps)

“Dak-opstelling” zonnepanelen



Inclinatie panelen is 12° . (12 graden gekanteld t.o.v. de horizontaal)



Geen hoogtebeperking vliegverkeer. Gemiddelde hoogte is -12 voet (-4 m) t.o.v. NAP.

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)

Dak-opstelling

[Vooruit](#)[Achteruit](#)

Zonnepark
ligt buiten het
veiligheids-
gebied
Polderbaan
(> 840 m)



Verkeerstoren Schiphol-West

Hoogte zonnepanelen ok.

Verblinding niet uitgesloten:
aanbevolen om 'pragmatisch'
met de toepassing van deze
installaties om te gaan. Er
worden geen nadere (NL, EU)
richtlijnen gespecificeerd. De
FAA hanteert:

- geen *yellow glare toegestaan* op elk naderingspad vanaf twee mijl voor de baandrempel.
- Geen glare van enig soort toegestaan voor verkeerstorens op waarnemingshoogte

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)

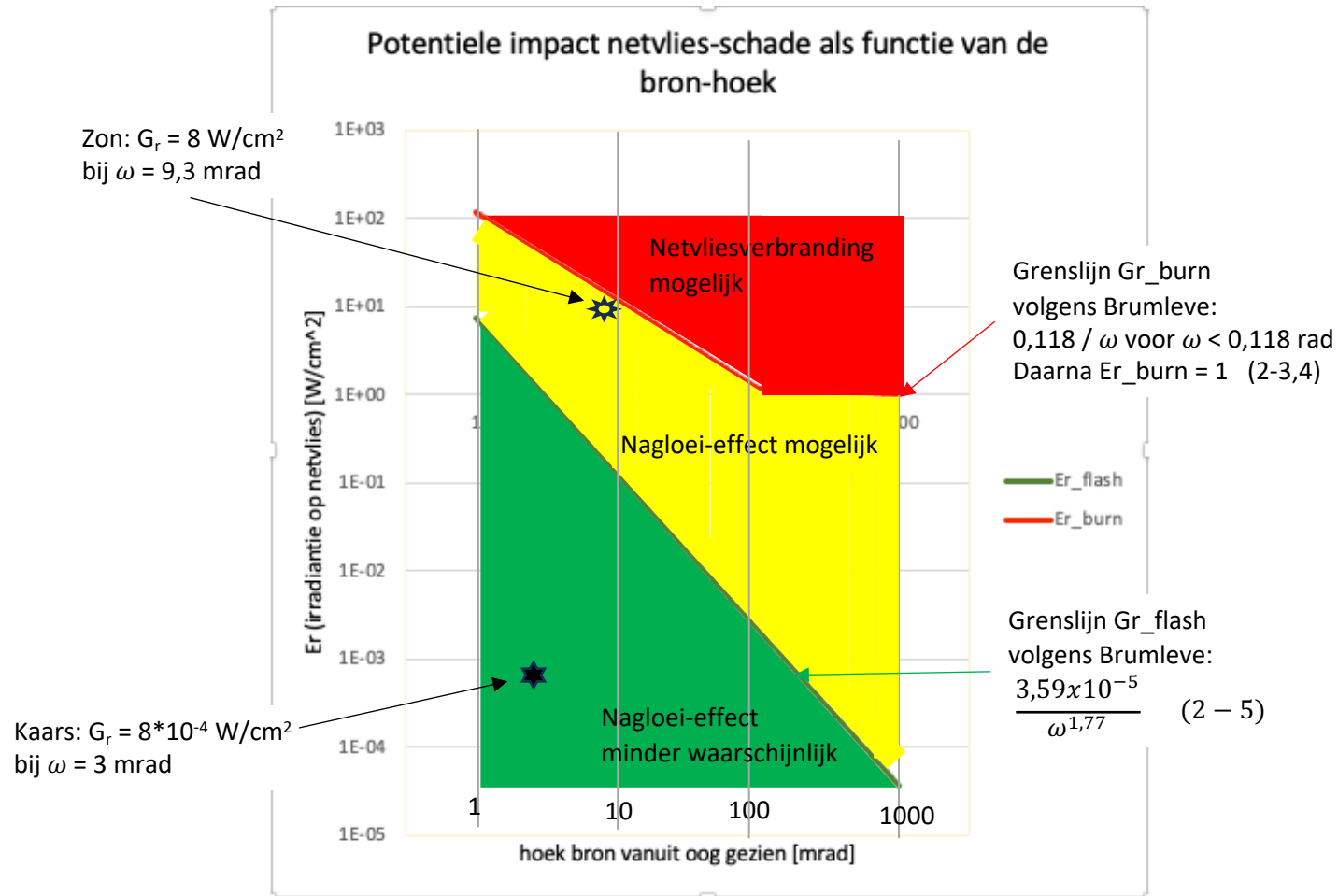
Kon. Nederlandse Lucht- en Ruimtevaartcentrum (KNLR):

- *Red glare*: beschadiging oog mogelijk. (bundeling nodig, niet blij rechte oppervlakken zoals zonnepanelen)
- *Yellow glare*: redelijke kans op nagloeing van beperkte duur.
- *Green glare*: elke mate van zonreflectie zonder dat er sprake is van nagloeing.

“Deeply textured glas”, een *speciale* (cadmium-vrije) glassoort die de reflecties meer verstrooid, waardoor een meer diffuse reflectiebundel ontstaat, die minder intens is maar wel over een breder gebied verspreid wordt.

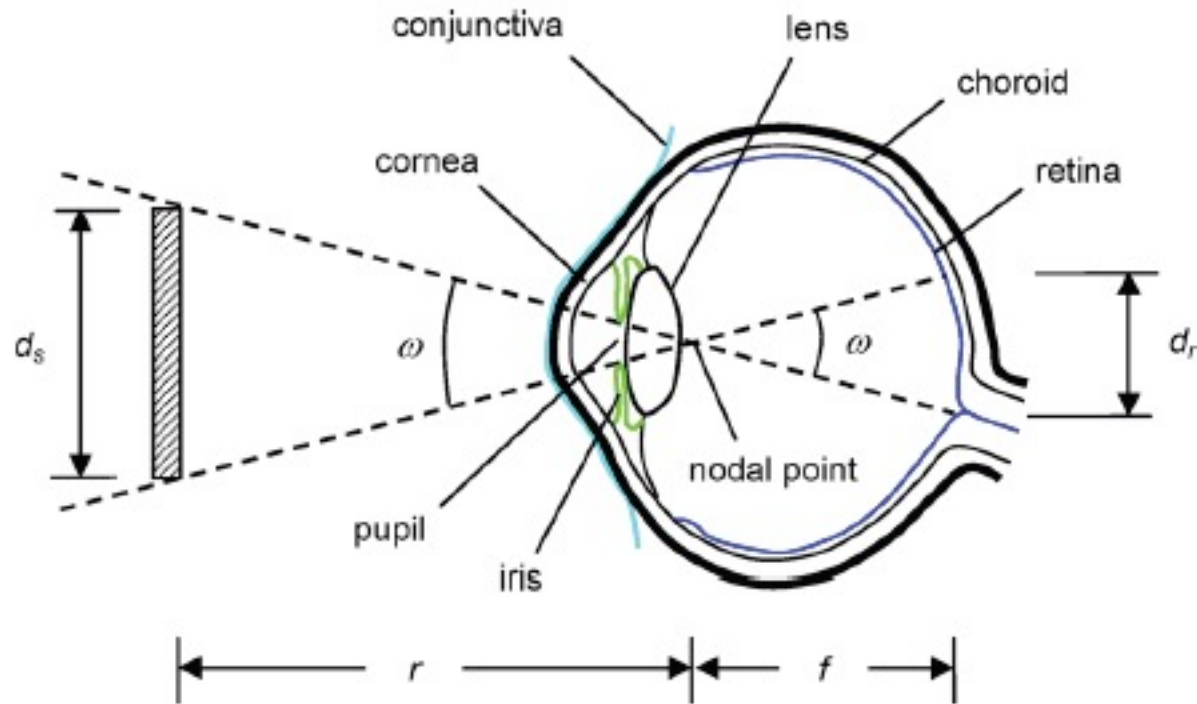
Dit voorschrift was op verzoek van DGEC gewijzigd omdat deze panelen niet meer leverbaar waren.

“Light textured” glas, een *standaard* glassoort met een anti-reflectiecoating (ARC) waarbij de hoek van lichtinval ongeveer gelijk is aan de hoek van uitval, waardoor een relatief smalle reflectiebundel ontstaat.

Verticale as: irradiantie in $W/cm^2 = W/m_2 / (100 \times 100)$


Opm.
netvliesverbranding
door reflectie op
vlakke zonnepanelen
is niet mogelijk, wel
op gebogen
oppervlakken
waardoor gefocuste
reflecties kunnen
ontstaan.

Horizontale as: hoek in milli-radialen



De diameter van de projectie van een object op het netvlies d_r kan je berekenen met:

$$d_r = f \cdot \omega = f \cdot \frac{d_s}{r}$$

d_s = diameter van de bron

d_r = diameter van de projectie op het netvlies

ω = subtended source angle (hoek waaronder je de bron ziet vanuit het oog)

r = radiale afstand oog- bron

f = brandpuntsafstand van de lens van het oog (ongeveer 0,017 m).

De vergelijking voor irradiantie op het netvlies G_r wordt

$$G_r = G_c \left(\frac{d_p^2}{d_r^2} \right) \tau \quad \text{uitdrukken in W/cm}^2$$

Hierin is

G_r = irradiantie op het netvlies

G_c = irradiantie vlak voor het oog; voor de zon op het aardoppervlak ca. $1000 \text{ W/m}^2 = 0,1 \text{ W/cm}^2$

d_p = diameter pupil (ca. 2 mm)

τ = de transmissie-coëfficiënt van de oogbol, ongeveer 0,5

Uitwerking voor de zon: De semidiameter van de zon is 959,63 boogseconden (ref-3 p. 389). Daaruit volgt $\omega = 2 * \text{radialen}(959,63/3600) = 0,0093 \text{ [rad]} = 9,3 \text{ [milliradialen]}$, ofwel 32 boogminuten, ofwel iets meer dan een halve graad. De diameter van de projectie van de zon op het netvlies is dan met:

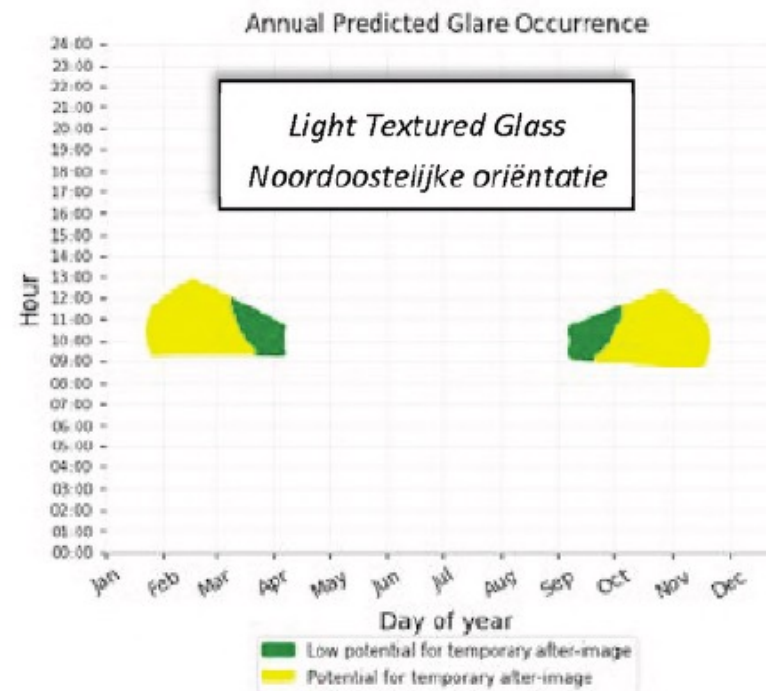
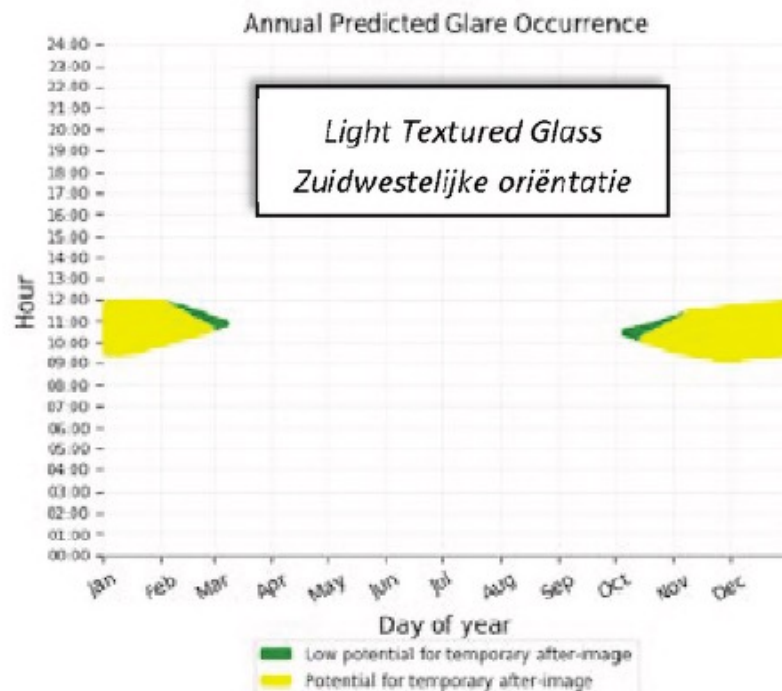
$$d_r = f \cdot \omega = 0,017 * 0,0093 = 0,00016 \text{ [m]} = 160 \mu\text{m}$$

Invullen levert dan:

$$G_r = G_c \left(\frac{d_p^2}{d_r^2} \right) \tau = 0,1 \left(\frac{0,002^2}{0,00016^2} \right) 0,5 = 8 \text{ W/cm}^2$$

Conclusies rekentool (software van ForgeSolar).

- Met light textured glass zullen significante reflecties optreden (yellow glare) op de eindnadering van de Polderbaan t.g.v. zowel de NO- als ZW georiënteerde panelen voor alle velden m.u.v. veld D.
- Deze situatie is niet toelaatbaar volgens de criteria van de FAA
- De verkeerstorens worden niet gehinderd.
- Met deeply textured glass is er geen sprake meer van yellow glare, hoogstens green glare



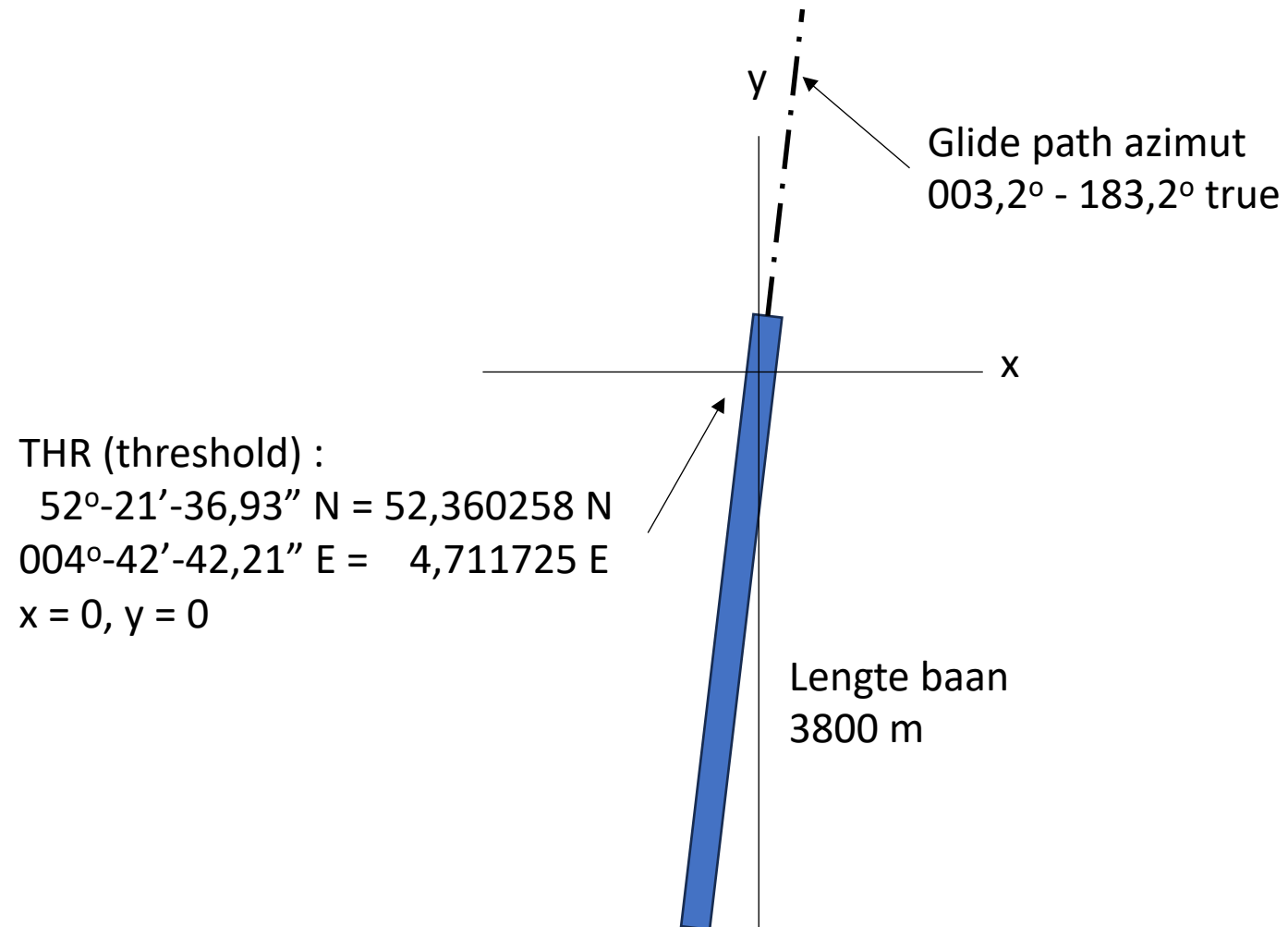
Problemen in de wintermaanden, rond middaguur.

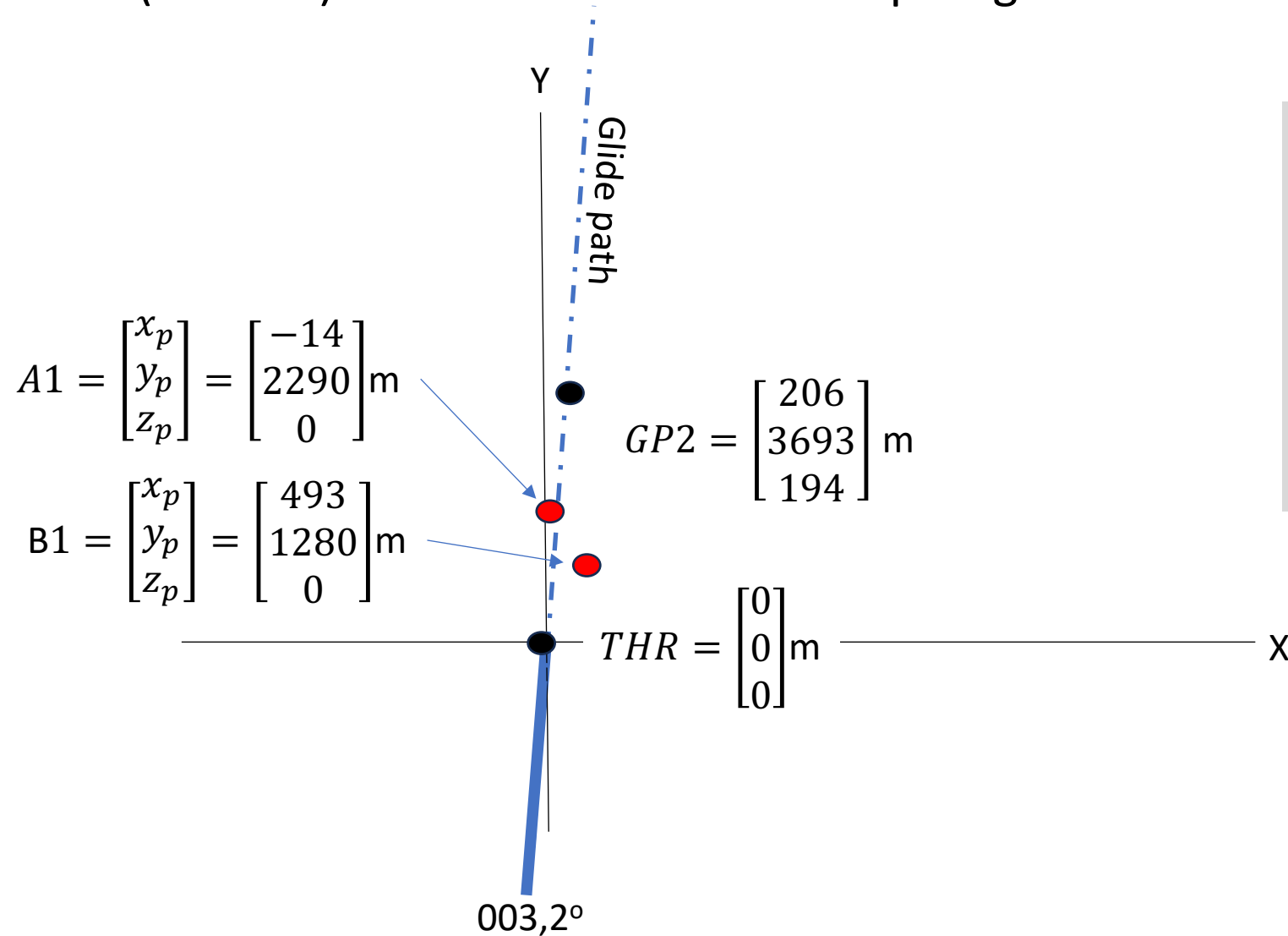
[Terug naar 122 \(A1\)](#)

[Terug naar 123 \(B1\)](#)

[Vooruit](#)

[Achteruit](#)





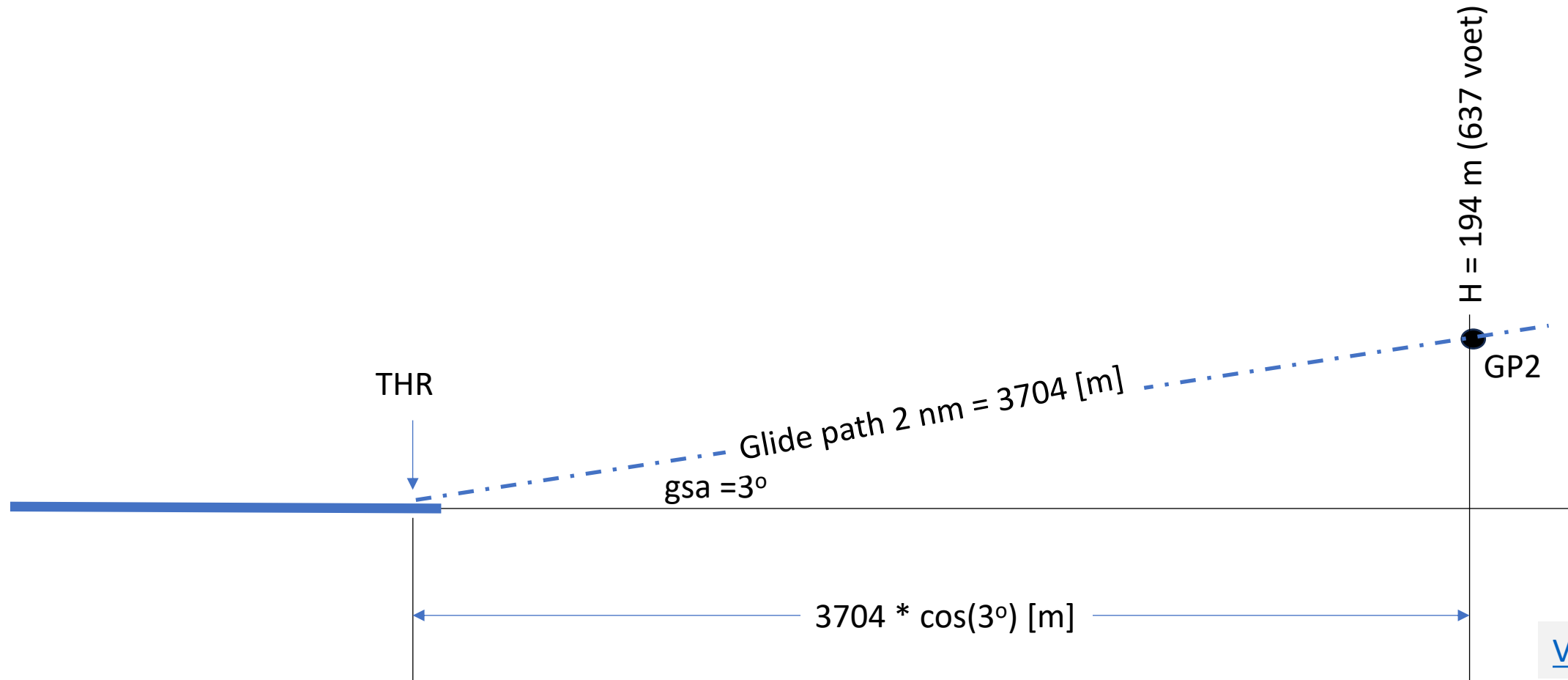
THR = baandrempel 18R

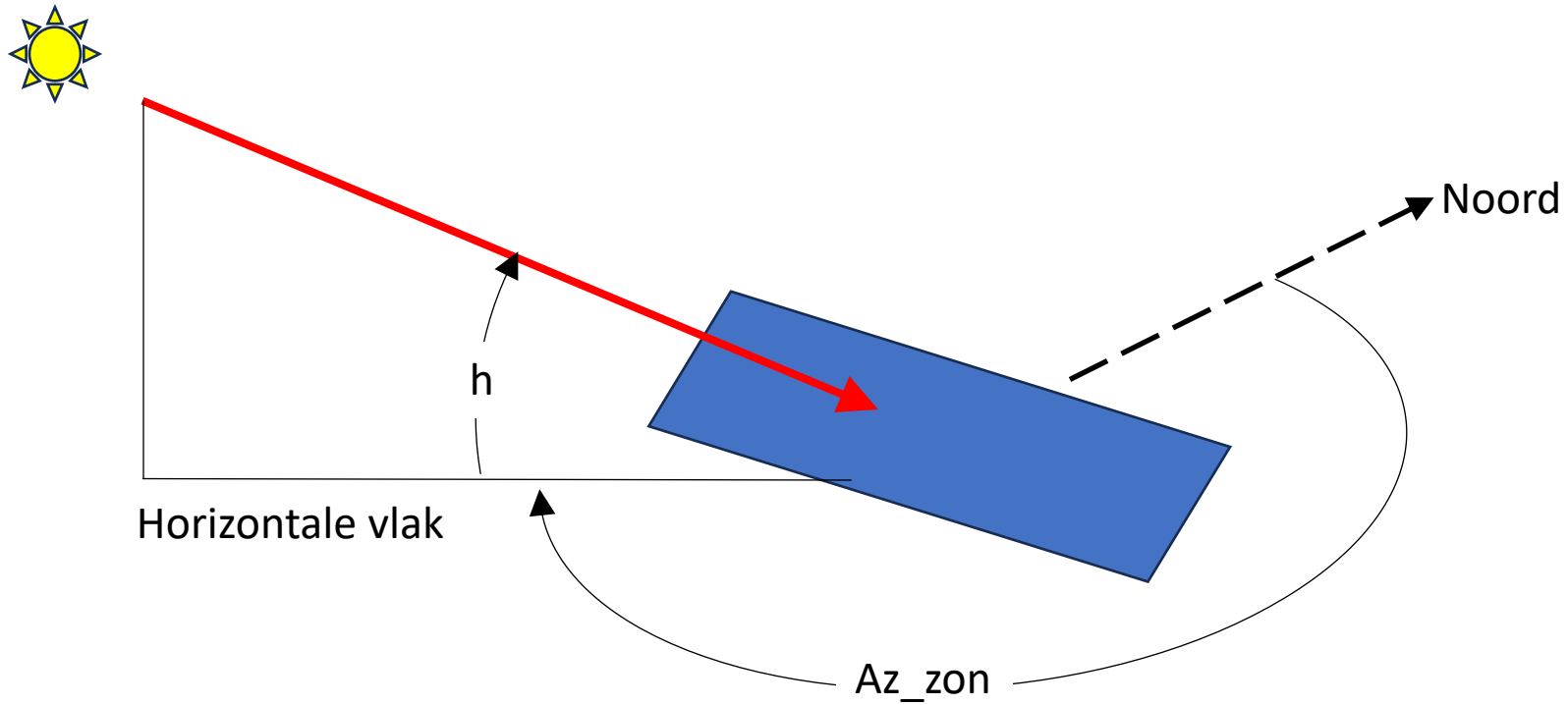
GP2 = positie op glide path op afstand 2 mijl van THR (FAA)

A1 = een zonnepaneel in veld A

B1 = een zonnepaneel in veld B

Nadering baan 18R: hoogte GP2 ten opzichte van THR.

[Vooruit](#)[Achteruit](#)



Bekijk ook model met laserpointer

De [topocentrische positievector van de zon](#) p hadden we eerder gevonden in het hoofdstuk zonne-energie.

De richtingsvector van de invallende straal i is de tegenovergestelde richting van p :

$$i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = -p$$

Als je de breedte van de waarnemer constant verondersteld, zijn de enige variabelen in deze formule de [declinatie van de zon](#) δ en de uurhoek H .

Nb. nu gebruiken we weer de aanduiding “ H ” voor uurhoek i.p.v. “ ω ”.

Ook de declinatie veronderstellen we constant over een dag. Hierdoor kan je dag-tabellen maken met als variabele H . En H is als volgt gerelateerd aan t (ware zonnetijd):

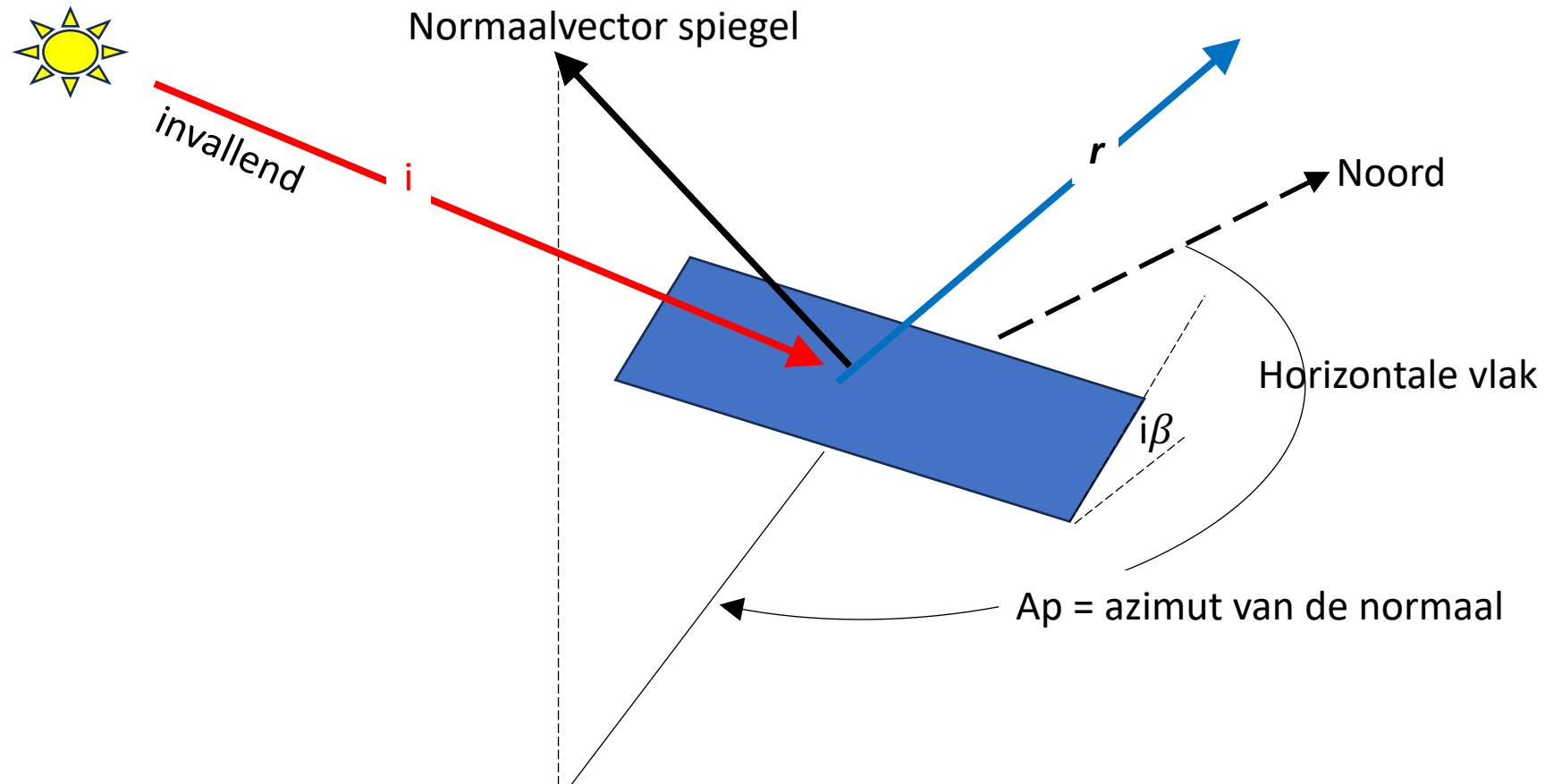
$$H = 15 * t - 180^\circ$$

Dus als $H = 0^\circ$, is het 12 uur wzt, de meridiaanspassage van de zon.

Hoogte en azimut zon tbv *i*

Hoogte en azimut van de zon als functie van de datum en tijd voor de THR Polderbaan. Als de zon onder de horizon staat wordt geen data gegeven.		datum:	26-feb	05-mrt	12-mrt	19-mrt	26-mrt
		dagno. d:	57	64	71	78	85
		Hsr =	-78	-82	-85	-89	-93
		Hss =	78	82	85	89	93
ware zonnetijd [hr]	H [gr]						
		Az =					88,8
6,25	-86	h =				1,6	3,8
		Az =				93,5	91,8
6,50	-83	h =			1,7	3,9	6,1
		Az =			98,1	96,4	94,8
6,75	-79	h =		1,8	4,0	6,2	8,4
		Az =		102,8	101,1	99,4	97,8
7,00	-75	h =	1,9	4,0	6,2	8,4	10,7
		Az =	107,3	105,8	104,1	102,5	100,8
---	--	.	--	--	--	---	---

Richtingsvector van de invallende straal zon als functie van de datum en het tijdstip op de dag. Methode iauAtioq. Nog niet gefilterd.						datum:	26-feb	05-mrt	12-mrt	19-mrt	26-mrt
						dagno. d:	57	64	71	78	85
						declinatie zon δ [rad]=	-0,16	-0,11	-0,06	-0,01	0,03
						tijdvereff. e [min] =	-13,3	-12,0	-10,2	-8,1	-5,9
						$\cos(\delta)$ =	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
						$\sin(\delta)$ =	-0,16	-0,11	-0,06	-0,01	0,03
						uurhoek zonsopkomst Hsr =	-78	-82	-85	-89	-93
						uurhoek zonsondergang Hss =	78	82	85	89	93
paneel =	A1										
orientatie =	NO										
							9	10	11	12	13
ware zonnetijd [hr]		H [gr]	H [rad]	cos(H)	sin(H)						
	6,00	-90	-1,57	0,00	-1,00	x	0,0954	0,0672	0,0382	0,0087	-0,0208
						y	-0,9877	-0,9939	-0,9980	-0,9999	-0,9994
						z	0,1237	0,0872	0,0495	0,0113	-0,0270
	6,25	-86	-1,51	0,07	-1,00	x	0,1465	0,1187	0,0899	0,0605	0,0309
						y	-0,9856	-0,9918	-0,9959	-0,9978	-0,9973
						z	0,0842	0,0475	0,0096	-0,0287	-0,0669
	6,50	-83	-1,44	0,13	-0,99	x	0,1975	0,1700	0,1413	0,1120	0,0825
						y	-0,9793	-0,9854	-0,9895	-0,9913	-0,9909
						z	0,0449	0,0079	-0,0300	-0,0685	-0,1067
	6,75	-79	-1,37	0,20	-0,98	x	0,2480	0,2208	0,1924	0,1631	0,1336
						y	-0,9688	-0,9748	-0,9789	-0,9807	-0,9802
						z	0,0060	-0,0312	-0,0694	-0,1079	-0,1461
	7,00	-75	-1,31	0,26	-0,97	x	0,2978	0,2709	0,2427	0,2136	0,1840
						y	-0,9541	-0,9601	-0,9640	-0,9658	-0,9654
						z	-0,0325	-0,0699	-0,1082	-0,1468	-0,1850



De richtingsvector van de [normaal van het zonnepaneel of de spiegel](#) $\mathbf{n}$ hadden we al gedefinieerd in het hoofdstuk zonne-energie.

Uit $\mathbf{n}$ kan je de *spiegelmatrix* $\mathbf{M}$ berekenen met:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} [1 - 2(x_n)^2] & [-2x_n y_n] & [-2x_n z_n] \\ [-2x_n y_n] & [1 - 2(y_n)^2] & [-2y_n z_n] \\ [-2x_n z_n] & [-2y_n z_n] & [1 - 2(z_n)^2] \end{bmatrix}$$

(De afleiding van $\mathbf{M}$ staat in het Word-document). De richtingsvector $\mathbf{r}$ is nu eenvoudig:

$$\mathbf{r} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{i}$$

Richtingsvector gereflecteerde straal r

Richtingsvector van de door het paneel gereflecteerde straal		datum:	26-feb	05-mrt	12-mrt	19-mrt	26-mrt
		dagno. d:	57	64	71	78	85
	ware zonnetijd [hr]						
	5,00	x	0,0555	0,0884	0,0845	0,0478	0,0515
		y	-0,9873	-0,9821	-0,9745	-0,9646	-0,9525
		z	0,1270	0,1705	0,2149	0,2592	0,3030
	6,25	x	0,1564	0,1413	0,1255	0,1091	0,0926
		y	-0,9767	-0,9714	-0,9638	-0,9539	-0,9418
		z	0,1470	0,1907	0,2351	0,2795	0,3232
	6,50	x	0,2166	0,2018	0,1862	0,1700	0,1534
		y	-0,9621	-0,9567	-0,9491	-0,9392	-0,9270
		z	0,1658	0,2096	0,2540	0,2985	0,3422
	6,75	x	0,2760	0,2616	0,2462	0,2301	0,2135
		y	-0,9435	-0,9381	-0,9304	-0,9204	-0,9083
		z	0,1832	0,2271	0,2717	0,3161	0,3599
	7,00	x	0,3344	0,3204	0,3053	0,2893	0,2726
		y	-0,9211	-0,9155	-0,9077	-0,8977	-0,8856
		z	0,1993	0,2433	0,2879	0,3324	0,3761

Uit de richtingsvector r kan je ook de hoogte en azimuth van r berekenen met:

$$h = \text{boogtan}\left(\frac{z}{\sqrt{x^2+y^2}}\right)$$

$$Az = \text{boogtan2}(x; y)$$

Dit is niet per sé nodig in de procedure waarmee wordt aangetoond of glare op kan treden. Maar het is wel te gebruiken bij de [controle](#) van die procedure: In bijzondere gevallen waarbij het azimuth van r gelijk is aan het azimuth van n (de normaalvector van het paneel).

Hoogte en azimut van de gereflecteerde straal van de zon als functie van de datum en tijd (decimale uren ware zonnetijd) voor de THR Polderbaan. Als de zon onder de horizon staat wordt geen data gegeven.			datum:	26-feb	05-mrt	12-mrt	19-mrt	26-mrt
			agno. d:	57	64	71	78	85
			Hsr =	-78	-82	-85	-89	-93
			Hss =	78	82	85	89	93
	ware zonnetijd [	H [gr]						
	6,25	-86	h =				16,2	18,9
			Az =				276,5	275,6
	6,50	-83	h =			14,7	17,4	20,0
			Az =			281,1	280,3	279,4
	6,75	-79	h =		13,1	15,8	18,4	21,1
			Az =		285,6	284,8	284,0	283,2
	7,00	-75	h =	11,5	14,1	16,7	19,4	22,1
			Az =	290,0	289,3	288,6	287,9	287,1

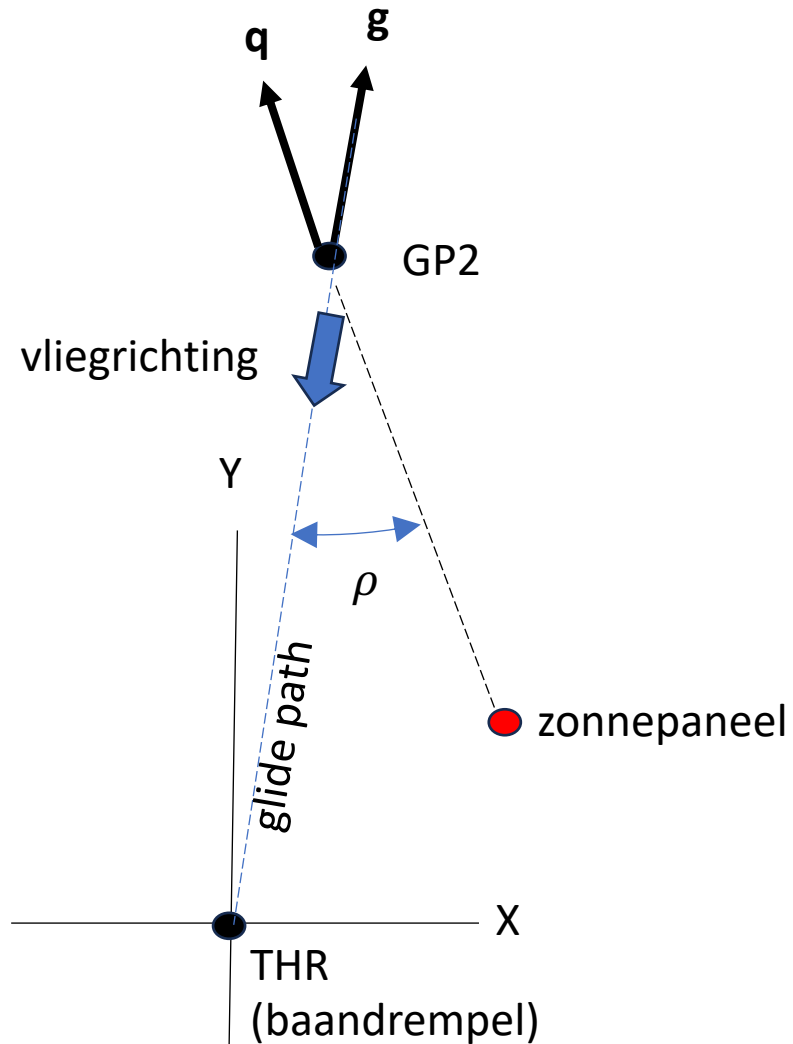
Richtingsvector glide path $\mathbf{g}$

Eerder zagen we dat de hoek tussen de horizon en het glide path 3° is. Deze hoek heet gsa . Het azimut van de Polderbaan en dus ook van het glide path is $3,2^\circ$. Deze is $003,2^\circ$ en noemen we α .

De richtingsvector (de richting van THR -> GP2) van het glide path is dan:

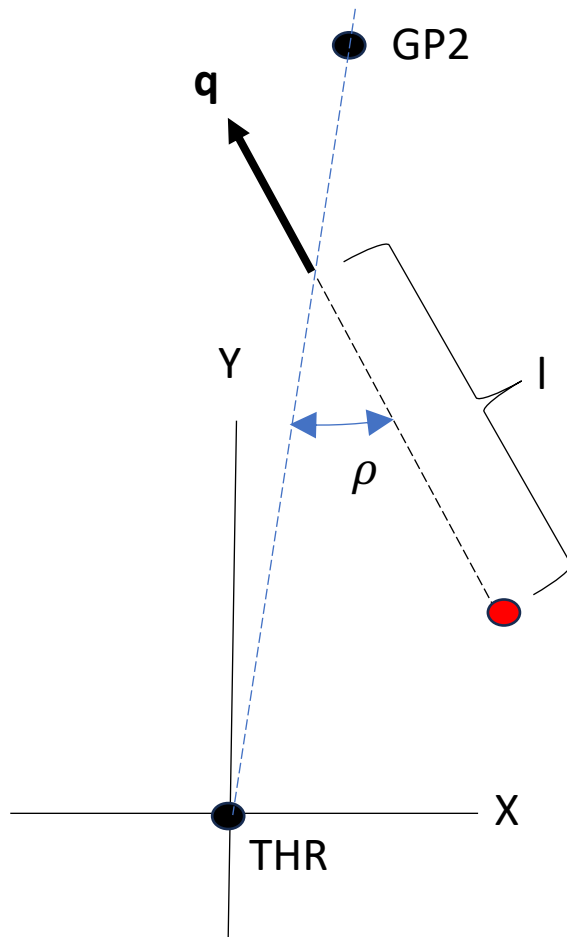
$$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} x_g \\ y_g \\ z_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(gsa) \cdot \cos(\alpha) \\ \cos(gsa) \cdot \sin(\alpha) \\ \sin(gsa) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,99707 \\ 0,05575 \\ 0,05234 \end{bmatrix}$$

Als het zonnepaneel op de baan op de positie THR zou staan, zou de hoek tussen $\mathbf{r}$ en $\mathbf{g}$ bepalen of er hinderlijke reflectie kan ontstaan. Maar dat is natuurlijk niet het geval. Er (bijna) altijd een offset. De vlieger ziet het zonnepaneel onder een bepaalde hoek ten opzichte van het glide path, de boordhoek ρ .



ρ = boordhoek (verschil richting glide path en richting naar zonnepaneel).

Deze hoek wordt steeds groter naarmate de afstand tot THR kleiner wordt.



Positie op glide path is een functie van de tijd:

$$q(t) = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Richtingsvector q (van zonnepaneel naar momentane positie vliegtuig):

$$q(t) = \begin{bmatrix} (y - y_p)/l \\ (x - x_p)/l \\ (z - z_p)/l \end{bmatrix}$$

Positie zonnepaneel:

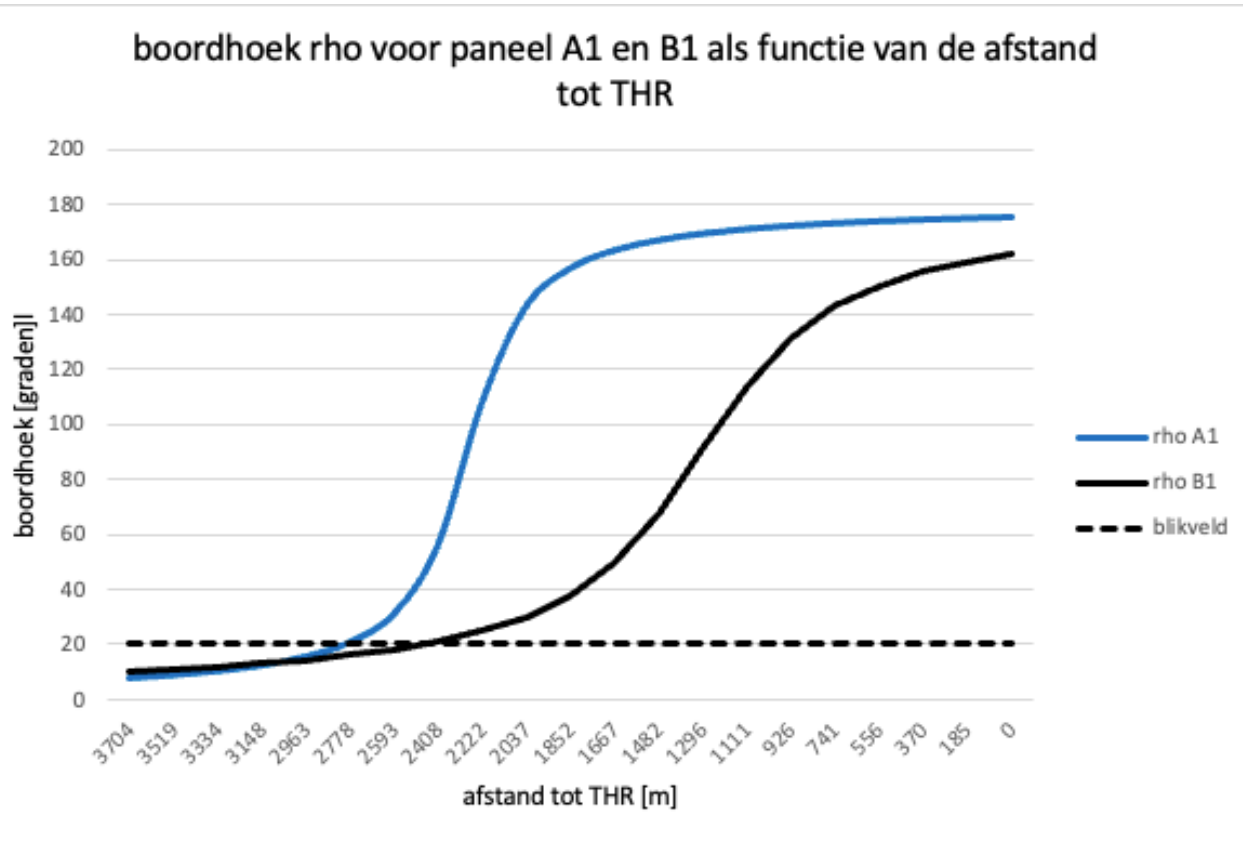
$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix}$$

Grootte boordhoek:

$$\cos(\rho) = q(t) \cdot g$$

$g =$ [richtingsvector glide path](#)

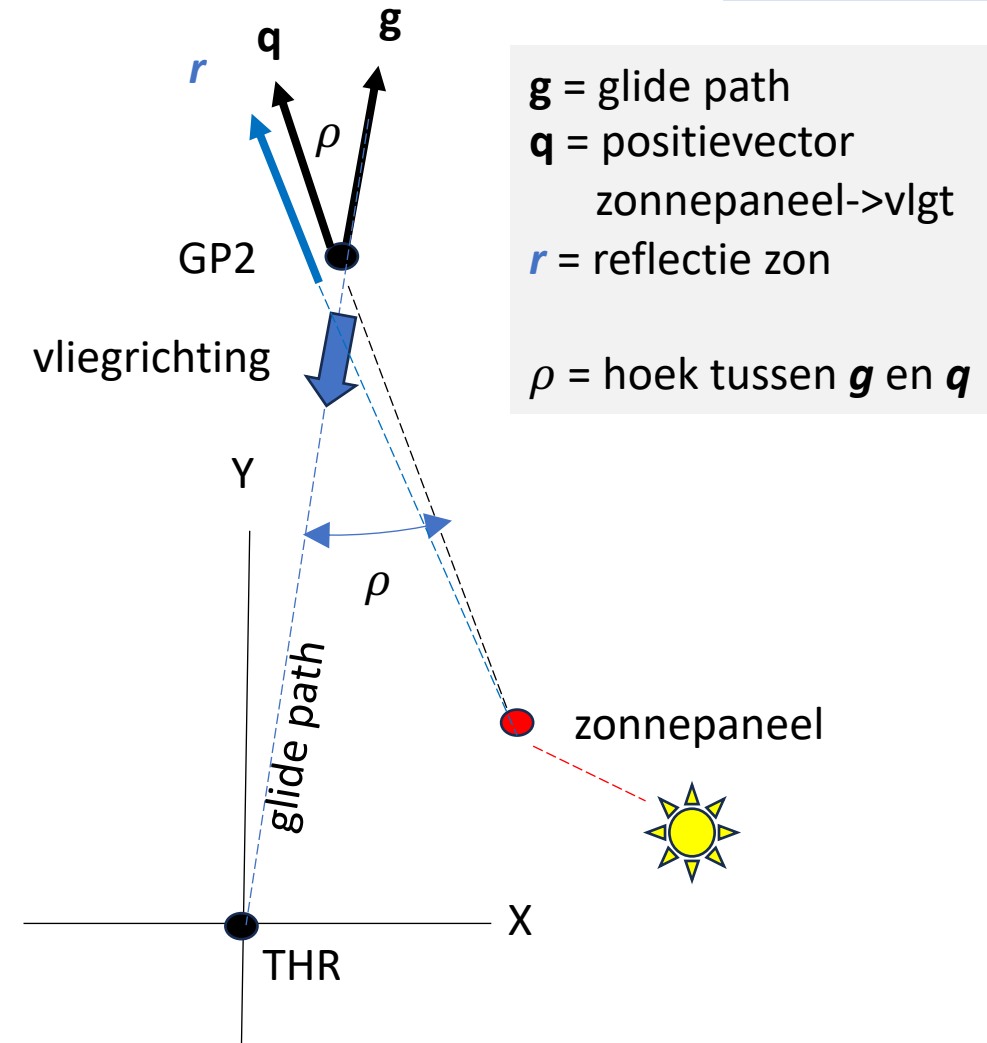
De boordhoek bij GP2 voor paneel A1 is 7° en voor paneel B1 is 10°. Zie Excel DGEC werkblad “rho”. De hoek wordt groter naarmate de afstand tot THR kleiner wordt, waardoor glare afneemt.

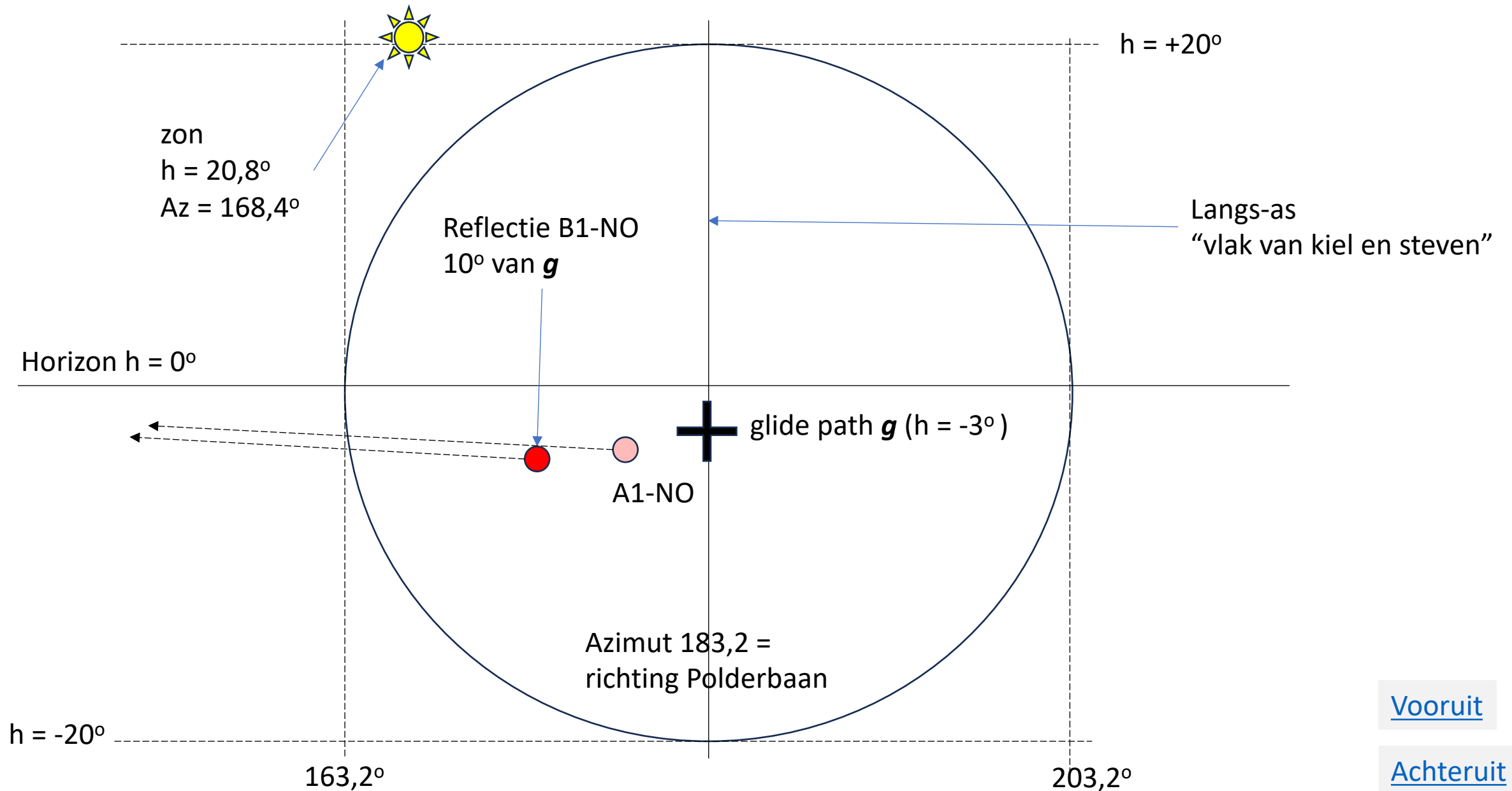


Stelling: als $\rho < 20^\circ$ bij GP2 dan is hinder door reflecties (glare) mogelijk.

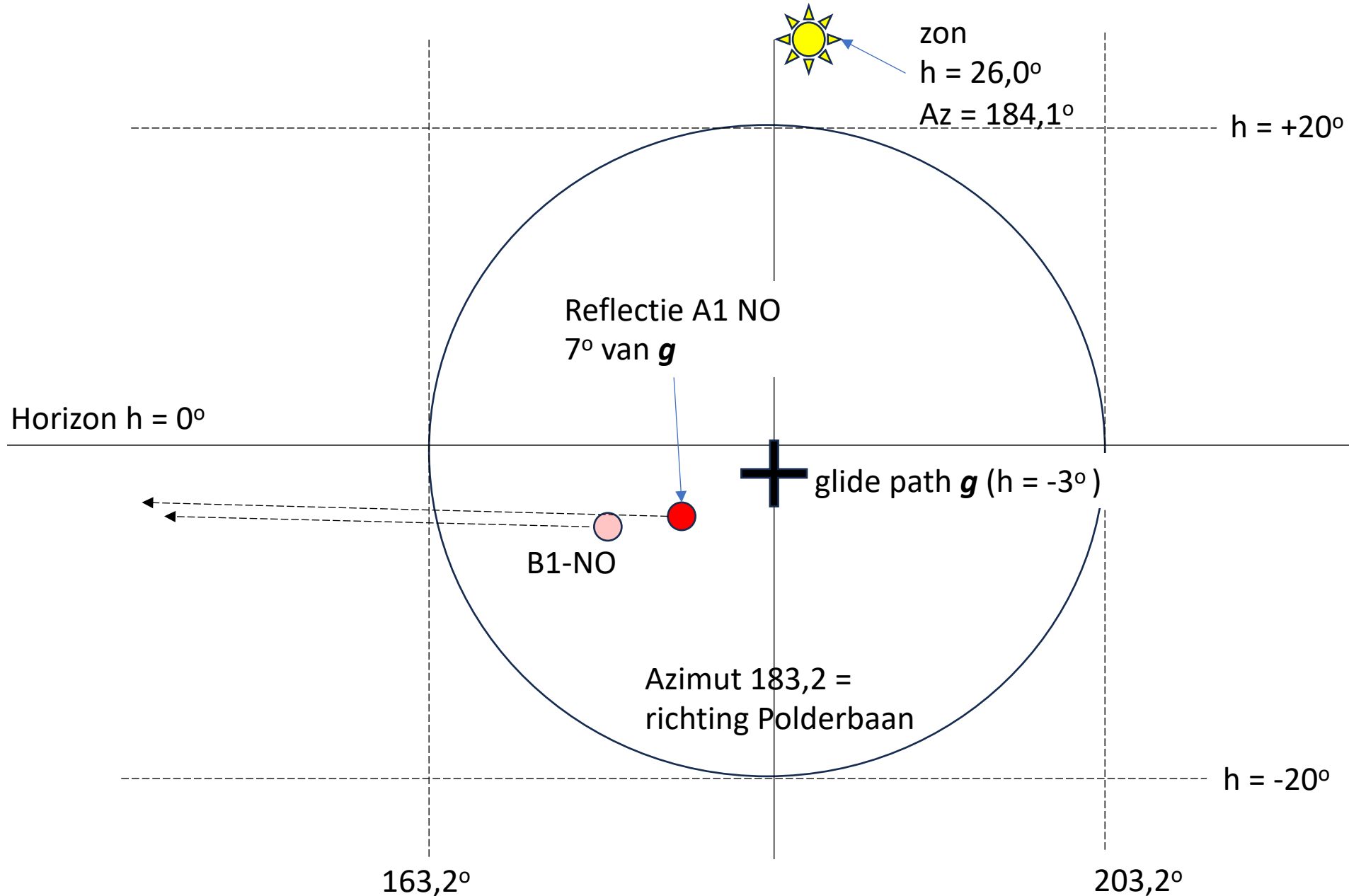
Voor paneel A1 is $\rho_{GP2} = 7^\circ$

Voor paneel B1 is $\rho_{GP2} = 10^\circ$





Blikveld vlieger 19 februari om 12:15 wzt (13:01 A) op pos GP2



Twee weken
later en een
uur later.

Winter/voorjaar. θ (hoek tussen r en q) $< 20^\circ$ is rood

eenheid	opm.	datum dagno.	01-jan 1	08-jan 8	15-jan 15	22-jan 22	29-jan 29	05-feb 36	12-feb 43	19-feb 50	26-feb 57	05-mrt 64	12-mrt 71	19-mrt 78	26-mrt 85	02-apr 92	09-apr 99	16-apr 106	23 1
		ware zonnetijd [hr]																	
		9	48	48	48	48	48	48	48	48	48	49	49	50	50	51	52	53	
		9,25	45	45	45	45	45	44	44	44	45	45	45	46	47	47	48	49	
		9,5	42	42	41	41	41	41	41	41	41	41	42	42	43	44	45	46	
		9,75	38	38	38	38	37	37	37	37	37	38	38	39	39	40	41	43	
		10	35	35	34	34	34	34	33	33	34	34	34	35	36	37	38	39	
		10,25	32	31	31	31	30	30	30	30	30	30	31	31	32	34	35	36	
		10,5	28	28	28	27	27	26	26	26	26	26	27	28	29	30	32	33	
		10,75	25	25	25	24	23	23	23	22	22	23	23	24	26	27	29	30	
	A1, NO, $\beta = 12$	11	22	22	21	21	20	19	19	19	19	19	20	21	22	24	26	28	
		11,25	20	19	18	18	17	16	15	15	15	16	16	18	19	21	23	25	
		11,5	17	16	16	15	14	13	12	11	11	12	13	15	17	19	21	23	
	B1, NO, $\beta = 12$	11,75	15	14	13	12	11	10	9	8	8	9	10	12	14	17	19	21	
		12	14	13	12	11	9	7	5	4	4	5	8	10	13	15	18	20	
		12,25	13	12	11	10	8	6	4	1	1							20	
		12,5	13	13	12	10	9	7	5	4	4							20	
		12,75	15	14	13	12	11	9	8	7	7							21	
		13	17	16	15	14	13	12	11	11	11							23	
		13,25	19	19	18	17	16	16	15	15	15							25	
		13,5	22	22	21	20	20	19	18	18	18							27	
		13,75	25	25	24	24	23	22	22	22	22							30	
		14	28	28	27	27	26	26	26	26	26							33	
		14,25	31	31	31	30	30	30	29	29	29							36	
		14,5	35	34	34	34	33	33	33	33	33							39	
		14,75	38	38	37	37	37	37	37	37	37							42	
		15	41	41	41	41	40	40	40	40	40							45	

Deze uitkomst komt qua datum en tijd goed overeen met de uitkomst van het commerciële programma Forge Solar dat het KNLR heeft geraadpleegd. In de wintermaanden rond 12:00 wzt is kans op yellow glare.

In deze tabel is de hoek tussen de vector q en r te zien. q is de richtingsvector van het zonnepaneel naar de cockpit voor het moment dat het vliegtuig op het glide path zit op twee mijl tot THR. r is de richtingsvector van de door het zonnepaneel gereflecteerde zonnestraal. Als de hoek tussen r en q kleiner dan 20 graden is, kleurt de betreffende cel rood: kans op (yellow) glare.

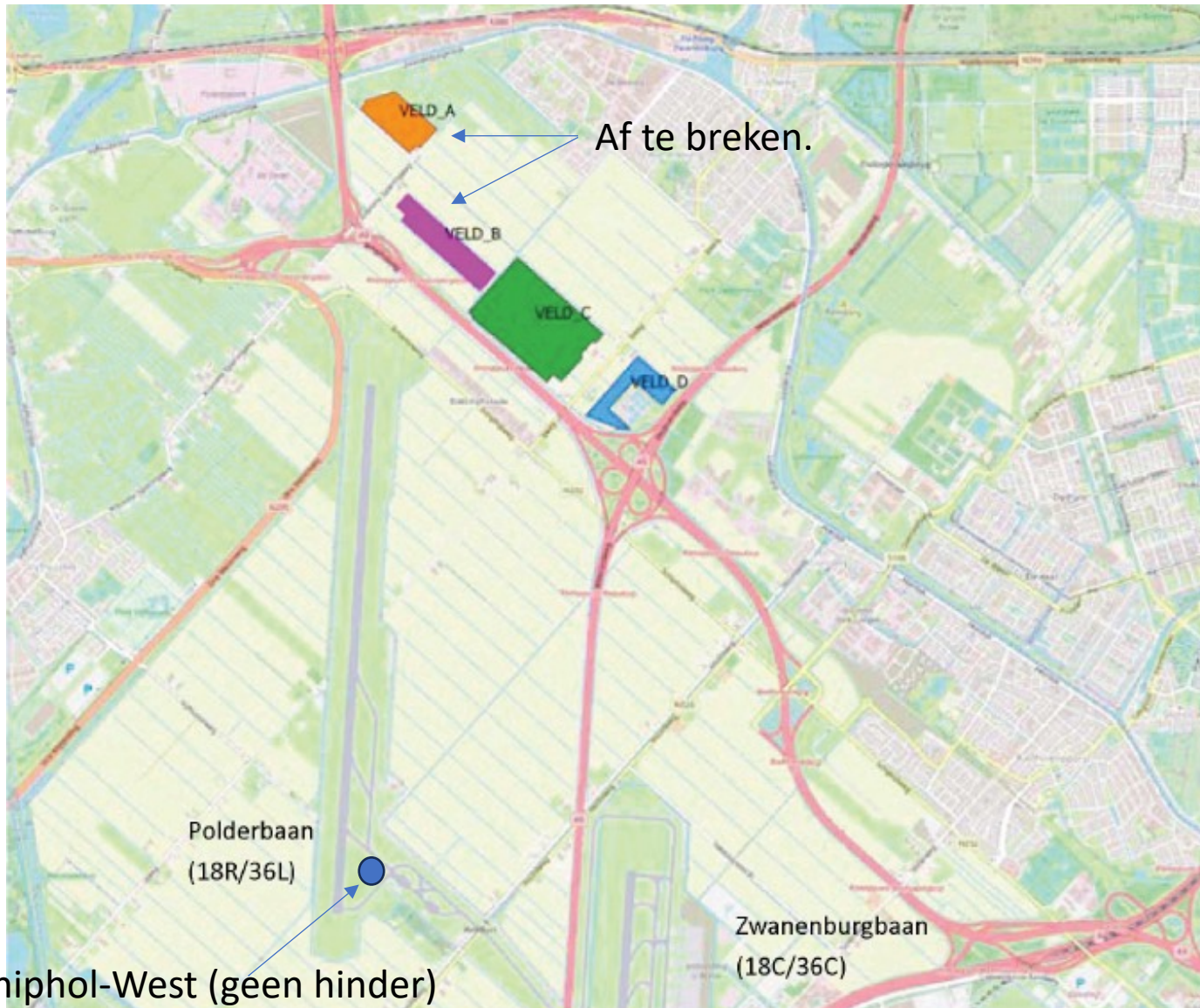
Paneel B1 noordoost

Winter/voorjaar. θ (hoek tussen r en q) $< 20^\circ$ is rood

uit	eenheid	opm.	ware zonnetijd [hr]	datum dagno.	01-jan 1	08-jan 8	15-jan 15	22-jan 22	29-jan 29	05-feb 36	12-feb 43	19-feb 50	26-feb 57	05-mrt 64	12-mrt 71	19-mrt 78	26-mrt 85	02-apr 92	09-apr 99	16-apr 106
			9		33	33	33	33	33	33	33	34	34	35	36	37	39	40	42	43
			9,25		29	29	29	29	29	29	30	30	31	32	33	34	36	37	39	41
			9,5		26	26	26	26	26	26	26	27	27	28	30	31	33	34	36	38
			9,75		22	22	22	22	22	22	22	23	24	25	26	28	30	32	33	35
			10		19	19	19	18	18	19	19	20	20	22	23	25	27	29	31	33
			10,25		16	16	15	15	15	15	15	16	17	19	20	22	25	27	29	31
			10,5		13	12	12	12	11	11	12	13	14	16	18	20	22	25	27	29
			10,75		10	9	9	8	8	8	8	10	11	13	16	18	21	23	26	28
	A1, NO, $\beta = 12$		11		7	7	6	5	4	4	5	7	9	12	14	17	20	22	25	27
			11,25		6	5	4	3	1	1	3	6	8	11	14	16	19	22	25	27
			11,5		7	6	5	4	3	3	4	6	9	11	14	17	19	22	25	27
	B1, NO, $\beta = 12$		11,75		9	8	8	7	7	7	7	9	11	13	15	18	20	23	25	28
			12		12	11	11	10	10	10	11	12	13	15	17	19	22	24	27	29
			12,25		15	15	14	14	14	14	14	15	16	18	20	22	24	26	28	31
			12,5		18	18	18	17	17	17	18	18	19	21	22	24	26	28	30	32
			12,75		21	21	21	21	21	21	21	22	23	24	25	27	29	31	33	35
			13		25	25	25	24	24	25	25	25	26	27	28	29	30	31	32	34
			13,25		28	28	28	28	28	28	29	29	30	31	32	33	34	35	36	38
			13,5		32	32	32	32	32	32	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
			13,75		35	35	35	35	35	35	36	36	37	38	39	40	41	42	43	44
			14		39	39	39	39	39	39	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
			14,25		42	42	42	42	42	42	43	43	44	45	46	47	48	49	50	51
			14,5		45	45	46	46	46	46	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
			14,75		49	49	49	49	49	50	50	50	51	52	53	54	55	56	57	58
												54							60	61

Het (commerciële) programma “Forge Solar” integreert de reflecties van alle panelen in een park en test dan of yellow of green glare optreedt. Hier beperk ik me tot tweewillekeurig gekozen individuele panelen (A1 en B1).

Ook deze uitkomst komt qua **datum en tijd** goed overeen met de [uitkomst](#) van het commerciële programma Forge Solar dat het KNLR heeft geraadpleegd. In de wintermaanden rond 12:00 wzt is kans op yellow glare.



De voorzieningenrechter oordeelde in juli 2025 dat 78.000 panelen (veld A en B) die overlast veroorzaken, verwijderd moeten worden (dwangsom 1 M€, oplopend naar 25 M €).

Verkeerstoren Schiphol-West (geen hinder)

[Vooruit](#)[Achteruit](#)



Bedankt voor uw aandacht

Planeet-gebonden data

- **Planetary theories in rectangular and spherical variables.** VSOP87 solutions, P. Bretagnon, G. Francou, Astron. Astro. 202, 309-315 (1988). De data is te vinden in <https://cdsarc.cds.unistra.fr/ftp/VI/81/>
- **Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac**, edited by Sean E. Urban and P. Kenneth Seidelmann, 3 rd edition, University Science Books, ISBN 978-1-891389-85-6
- **The Astronomical Almanac for the year 2013**, data for Astronomy, Space Sciences, Geodesy, Surveying, Navigation, USNO, UKHO, ISBN 978-0-7077-41284.
- **Spherical astronomy**, Robin M. Green, 1988, Cambridge University Press, ISBN 0-521-31779-7
- **Astronomical Algorithms**, 2nd edition, Jean Meeus, Willmann-Bell, 1998
- **Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements: 2015**, B. A. Archinal ea.
- **Computing Apparent Planetary Magnitudes for The Astronomical Almanac**, Anthony Mallama, James L. Hilton (US Naval Observatory), 2018 June 21
- **IMPROVING THE VISUAL MAGNITUDES OF THE PLANETS IN THE ASTRONOMICAL ALMANAC. I. MERCURY AND VENUS**, James L. Hilton (US Naval Observatory), 2005 March 8

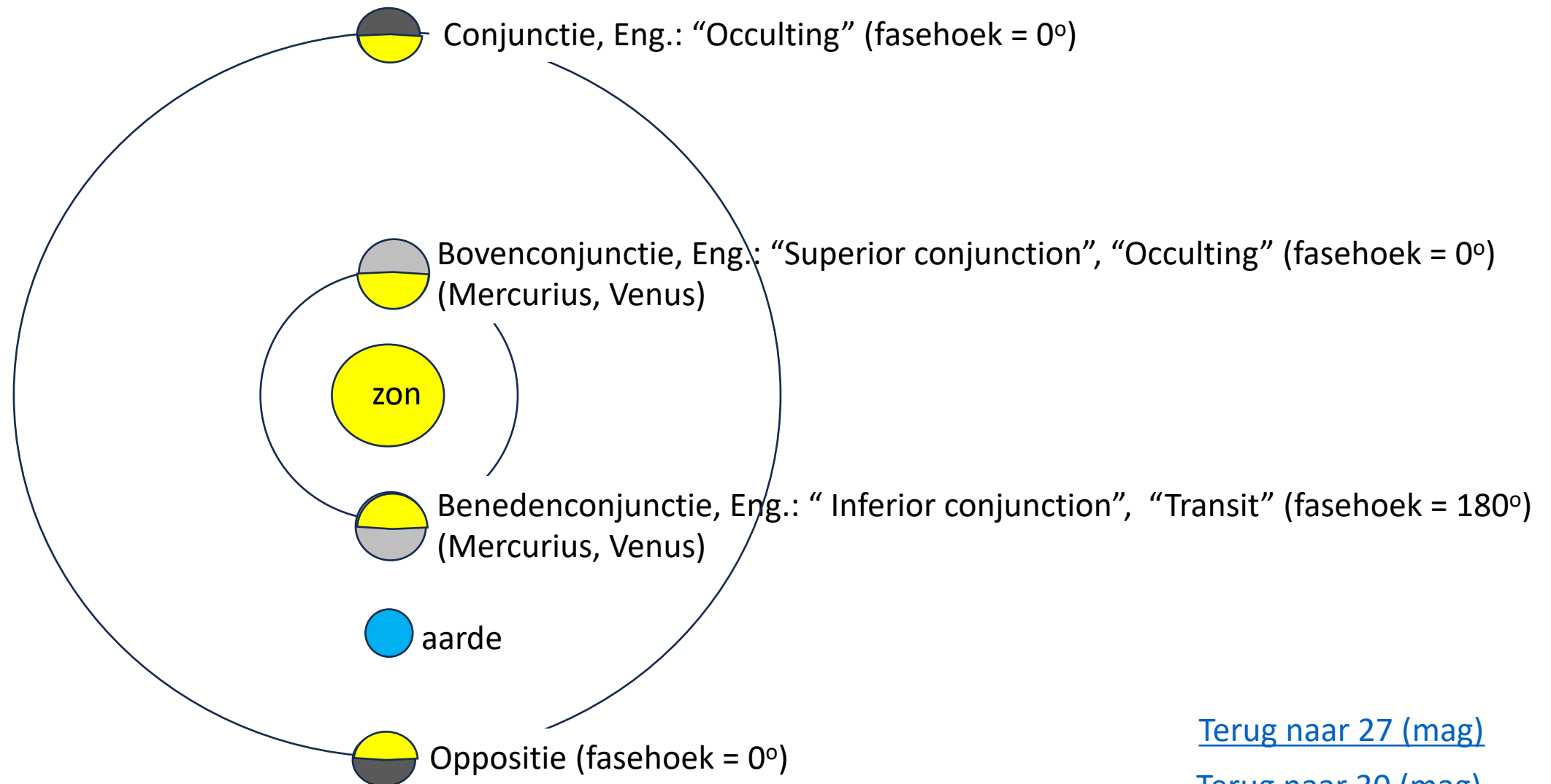
Zonne-energie

- **Zonnestraling in Nederland**, C.A. Velds, Thieme-Baarn / KNMI, ISBN 90-5210-140-X
- **Solar Radiation on Mars: Stationary Photovoltaic Array**, J. Appelbaum, I. Sherman, G.A. Landis, October 1993
- **Solar radiation on Mars - update**, J. Appelbaum, Tel Aviv University and D.J. Flood, Lewis Research Centre, October 1990
- **Solar radiation on Mars**, J. Appelbaum and D.J. Flood, Lewis Research Centre, august 1989

DGEC

- **Methodology to Assess Potential Glint and Glare Hazards From Concentrating Solar Power Plants: Analytical Models and Experimental Validation**, Clifford K. Ho, Cheryl M. Ghanbari, Richard B. Diver, Concentrating Solar Technologies Department, Sandia National Laboratories, P.O. Box 5800, Albuquerque, NM 87185-1127
- **Computation of Solar Reflections from Photovoltaic Arrays**, W. Schultz, et al, University of Toledo, conference paper.
- Omgevingsvergunning <https://linkeddata.overheid.nl/front/portal/document-viewer?ext-id=ECLI:NL:RBNHO:2025:7998>
- <https://uitspraken.rechtspraak.nl/details?id=ECLI:NL:RBNHO:2025:7998>

- Conjunctie en oppositie
- Magnitude en SB
- Uitwendig- of uitproduct van twee vectoren ($a \times b$)
- Inwendig- of inproduct van twee vectoren ($a \cdot b$)
- Coördinatenstelsels-1
- Coördinatenstelsels-2
- Van barycentrisch naar heliocentrisch (VSOP87E)
- Newton-aberratie
- WGCCRE2015
- Declinatie zon volgens Dogniaux
- Rotatiematrix voor een rotatie over de x-as
- Rotatiematrix voor een rotatie over de y-as
- Rotatiematrix voor een rotatie over de z-as

[Terug naar 27 \(mag\)](#)[Terug naar 30 \(mag\)](#)[Terug naar 32 \(mag ♀\)](#)

Effect afstand op magnitude (V). Als object A helderheid 100 heeft en object B helderheid 1, is A 100 x helderder is dan B.

De logaritmes van de helderheid van A is $\log_{10}(100) = 2$ en van B is $\log_{10}(1) = 0$ (verschil is 2)

Nu wordt gesteld dat de magnitude van A is 5 en die van B is 0 (verschil is -5). Daaruit volgt dat de eenheid van magnitude $-5 / 2 = -2,5$ is.

De helderheid neemt kwadratisch af met de afstand (zon -> planeet = r en planeet -> aarde = d), dus geldt

$$-\{-2,5\log_{10}(r^2) - 2,5\log_{10}(d^2)\} = +5\log_{10}(r \cdot d)$$

Surface Brighness (SB) is helderheid per oppervlakte-eenheid verlichte deel. Dus

$$SB = -2,5\log_{10}\left(\frac{\text{helderheid}}{\text{opp}}\right) = -2,5\log_{10}(\text{helderheid}) - \{-2,5\log_{10}(\text{opp})\}$$

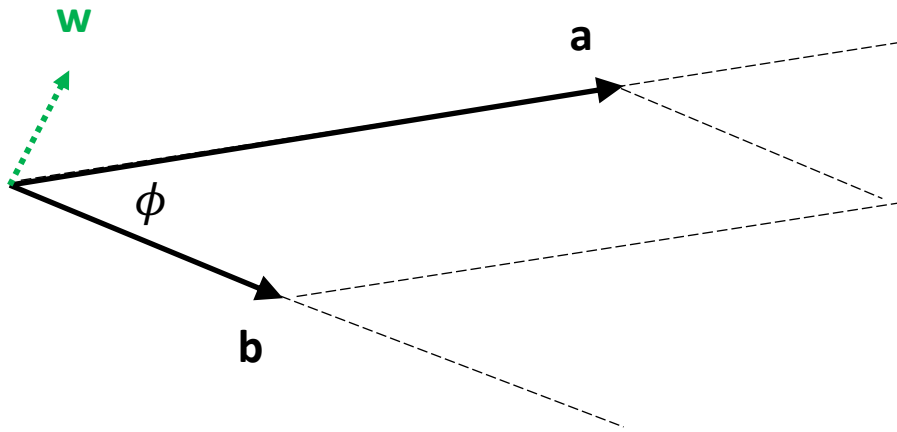
nu is $-2,5\log_{10}(\text{helderheid}) = V$ en opp. = kA.

Dus

$$SB = V + 2,5\log_{10}(kA)$$

Uitwendig product van twee vectoren. Cross product

$$\underline{a \times b}$$



$$\mathbf{w} = \mathbf{a} \times \mathbf{b} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 b_2 - a_2 b_1 \\ a_2 b_0 - a_0 b_2 \\ a_0 b_1 - a_1 b_0 \end{bmatrix}$$

$$w_x = \begin{matrix} a[0] & & b[0] \\ a[1] & \xrightarrow{\text{blue}} & b[1] \\ a[2] & \xrightarrow{\text{red}} & b[2] \end{matrix}$$

$$w_y = \begin{matrix} a[0] & \xrightarrow{\text{red}} & b[0] \\ a[1] & & b[1] \\ a[2] & \xrightarrow{\text{blue}} & b[2] \end{matrix}$$

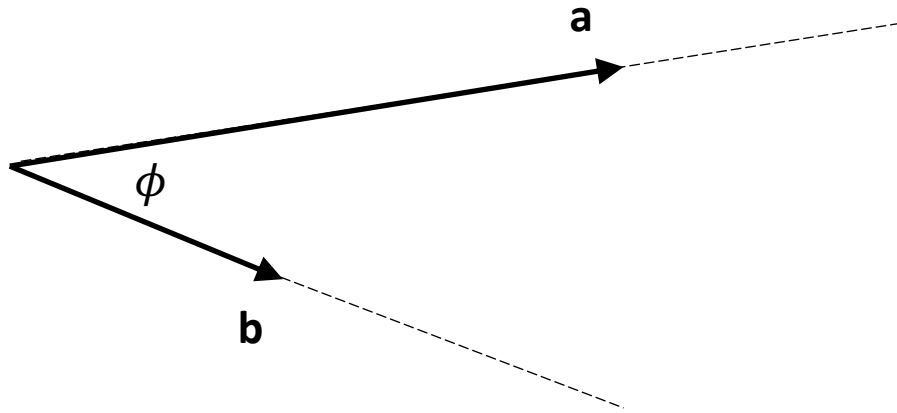
$$w_z = \begin{matrix} a[0] & \xrightarrow{\text{red}} & b[0] \\ a[1] & \xrightarrow{\text{blue}} & b[1] \\ a[2] & & b[2] \end{matrix}$$

Resultaat is een vector $\mathbf{w}$ die loodrecht op het vlak van $\mathbf{a}$ en $\mathbf{b}$ staat.

$|\mathbf{w}| = |\mathbf{a}| |\mathbf{b}| \sin(\phi) = \text{oppervlakte parallellogram dat gevormd is door } \mathbf{a} \text{ en } \mathbf{b}$

[Terug naar 13](#)

Inwendig product van twee vectoren. Dot product



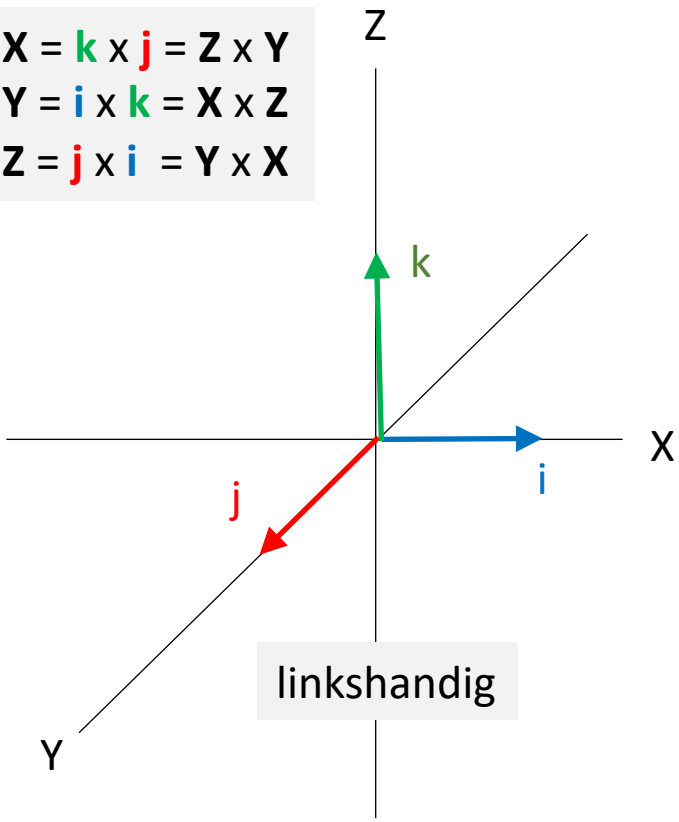
$$\mathbf{w} = \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = a[0] * b[0] + a[1] * b[1] + a[2] * b[2] = |\mathbf{a}| |\mathbf{b}| \cos \varphi$$

Resultaat is scalair

[Terug naar 14](#)

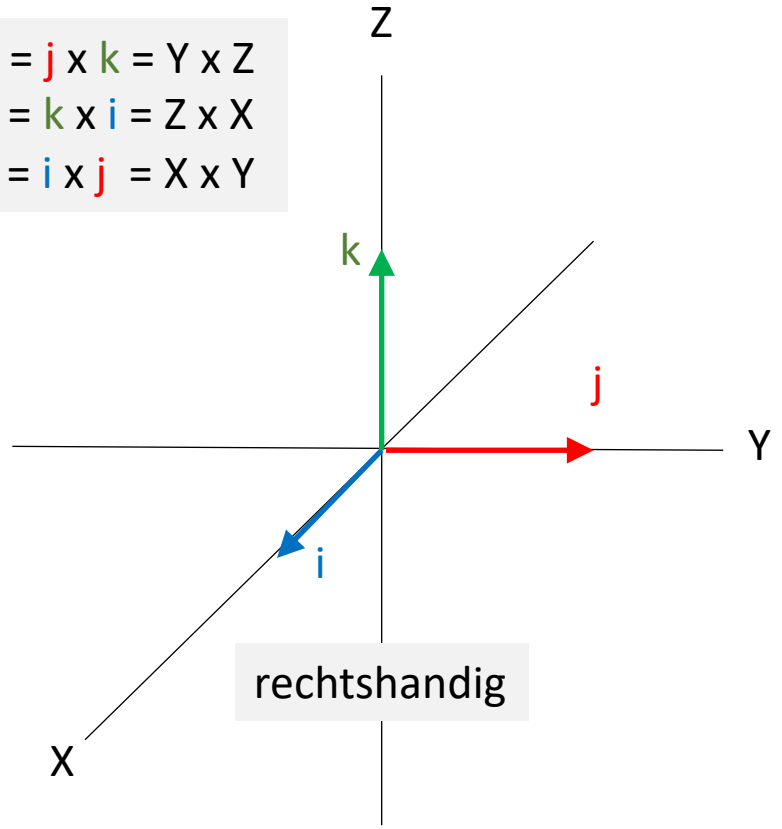
[Terug naar 41](#)

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= \mathbf{k} \times \mathbf{j} = \mathbf{Z} \times \mathbf{Y} \\ \mathbf{Y} &= \mathbf{i} \times \mathbf{k} = \mathbf{X} \times \mathbf{Z} \\ \mathbf{Z} &= \mathbf{j} \times \mathbf{i} = \mathbf{Y} \times \mathbf{X} \end{aligned}$$



linkshandig

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= \mathbf{j} \times \mathbf{k} = \mathbf{Y} \times \mathbf{Z} \\ \mathbf{Y} &= \mathbf{k} \times \mathbf{i} = \mathbf{Z} \times \mathbf{X} \\ \mathbf{Z} &= \mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{X} \times \mathbf{Y} \end{aligned}$$



rechtshandig

De (eenheids)vector $\mathbf{p}$ uitgedrukt in het assenstelsel $\{\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}\}$:

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{p} \cdot \mathbf{i} \\ \mathbf{p} \cdot \mathbf{j} \\ \mathbf{p} \cdot \mathbf{k} \end{bmatrix}$$

Hieruit volgt voor de planetocentrische breedte:

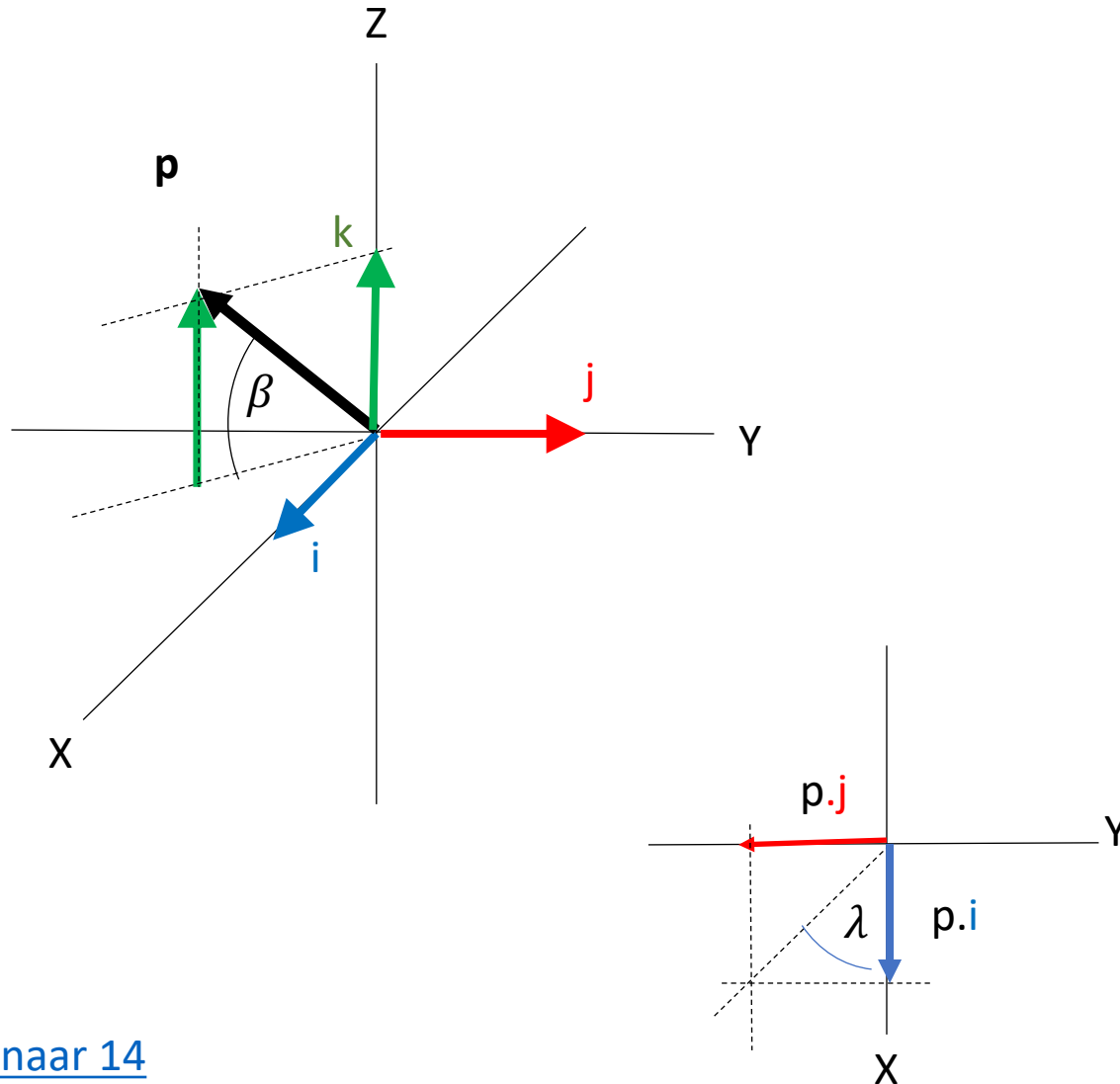
$$\sin(\beta) = \frac{p_z}{|\mathbf{p}|} = p_z$$

Als de planeet een afplatting f heeft, dan wordt de planetografische breedte:

$$\tan(\beta') = \frac{\tan(\beta)}{1 - f^2}$$

De lengte wordt:

$$\tan(\lambda) = \left[\frac{p_y}{p_x} \right]$$



VSOP87E levert de ecliptische barycentrische positie- en snelheidsvector van de planeet en de zon

 r_{VSOP87}

Excel TAB 20-28

Transformeer deze vectoren naar equatoriaal in FK5 met de matrix $C_{\text{VSOP} \rightarrow \text{FK5}}$

 $r_{\text{FK5}} = C_{\text{VSOP} \rightarrow \text{FK5}} * r_{\text{VSOP87}}$

Excel TAB19

Transformeer deze vectoren naar equatoriaal in CIRS met de matrix $C_{\text{FK5} \rightarrow \text{CIRS}}$

 $r_{\text{CIRS}} = C_{\text{FK5} \rightarrow \text{CIRS}} * r_{\text{FK5}}$

Excel TAB19

Trek de vector van de zon af van die van de planeet om de equatoriale heliocentrische positie en snelheid van de planeet te krijgen

 $r = r_{\text{CIRS_planeet}} - r_{\text{CIRS_zon}}$

Excel TAB19

Geometrisch = vanuit centrum of waarnemer naar het object maar nog zonder correcties zoals lichttijd, aberratie etc.

$$\mathbf{M}_{\text{cio}} = \mathbf{R}_3(-s)\mathbf{M}_\Sigma$$

Met

$$\mathbf{M}_\Sigma = \begin{bmatrix} m00 & m01 & m02 \\ m10 & m11 & m12 \\ m20 & m21 & m22 \end{bmatrix}$$

$$m00 = 1 - aX^2$$

$$m01 = -aXY$$

$$m02 = -X$$

$$m10 = -aXY$$

$$m11 = 1 - aY^2$$

$$m12 = -Y$$

$$m20 = X$$

$$m21 = Y$$

$$m22 = 1 - a(X^2 + Y^2)$$

$$a \approx \frac{1}{2} + \frac{X^2 + Y^2}{8}$$

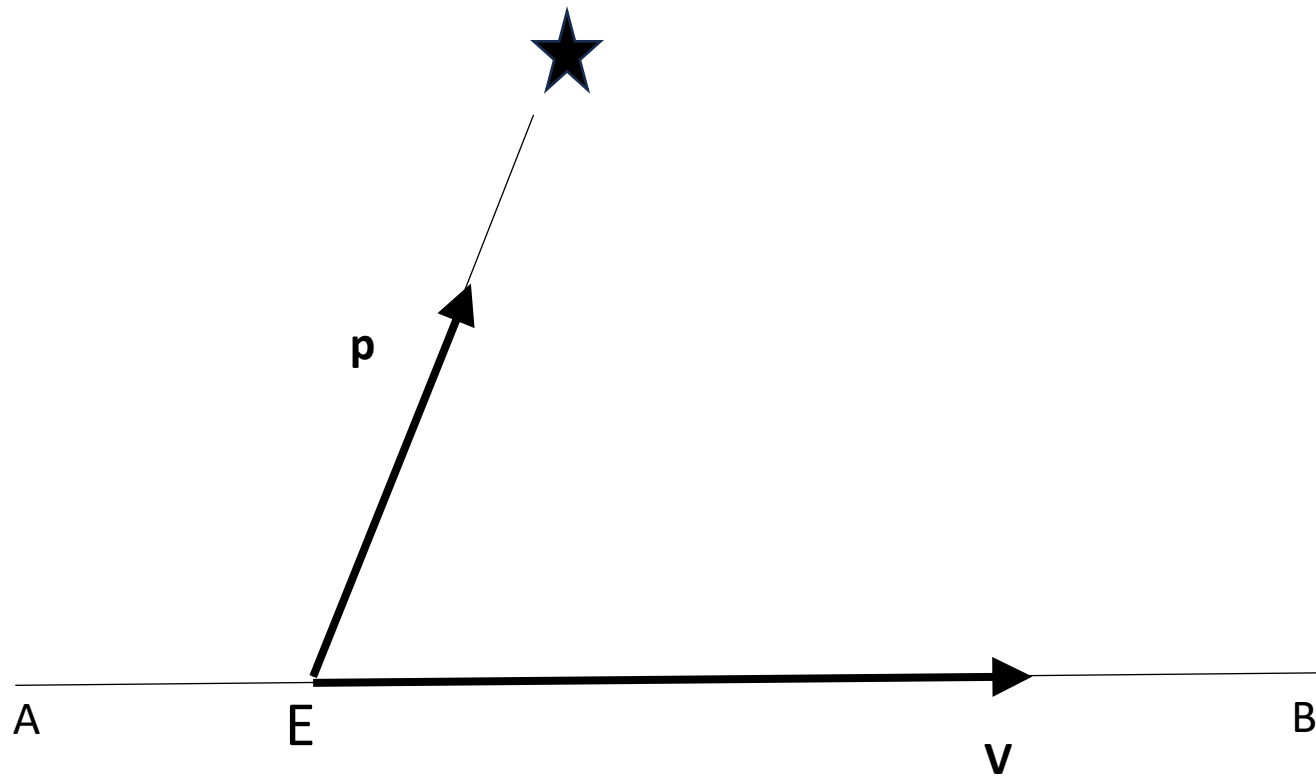
$$X = \sum_{i=1}^5 x_i T^i + \sum_j \sum_{k=0}^3 T^k [b_{sjk} \sin(\arg_k) + b_{cjk} \cos(\arg_k)]$$

$$Y = \sum_{i=1}^5 y_i T^i + \sum_j \sum_{k=0}^3 T^k [e_{sjk} \sin(\arg_k) + e_{cjk} \cos(\arg_k)]$$

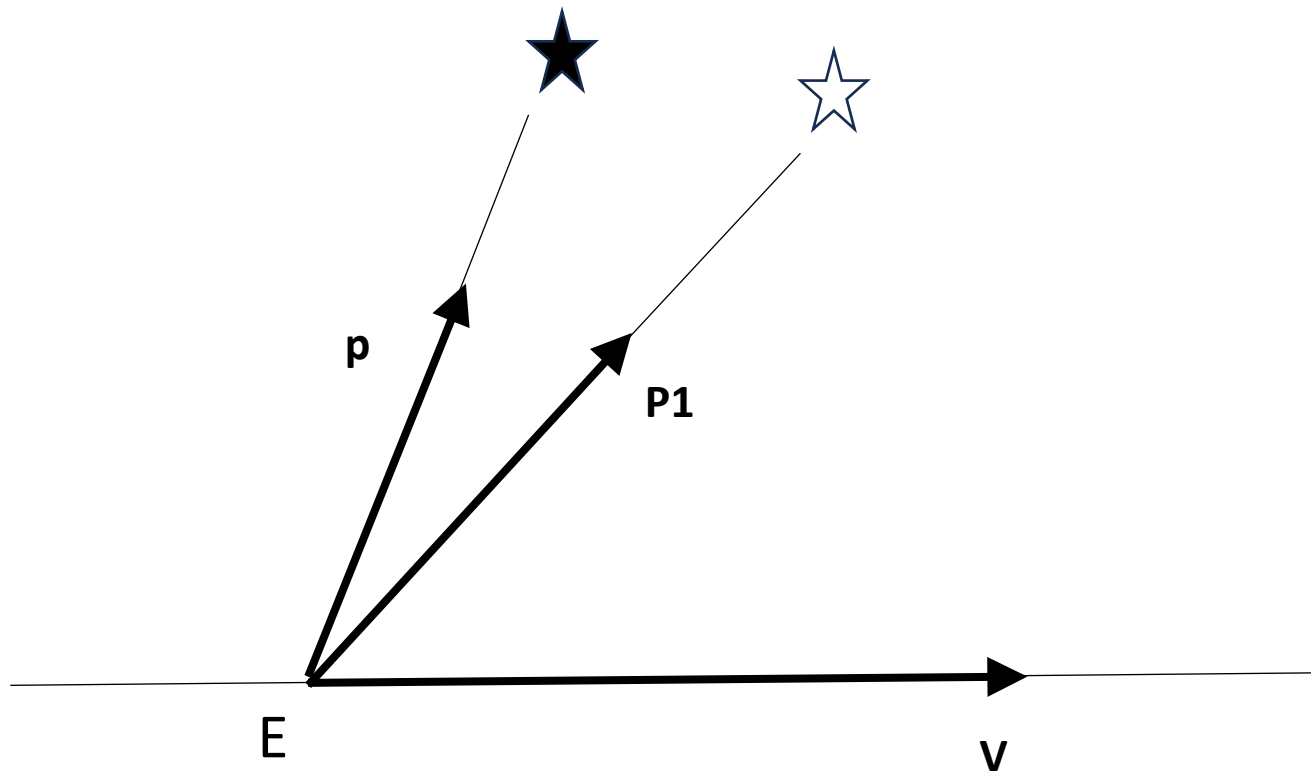
De waarden van X en Y worden berekend in het SOFA-algoritme **iauXy06**, zie voor de uitwerking Excel Kepler TAB29.

s is de CIO-locator, het verschil in rechte klemming van hetzelfde punt (de klimmende knoop van de CIP-equator) in twee referentiesystemen: 1^e het GCRS en de 2^e de CIP, CIO. De grootte s blijft kleiner dan 0,1 boogseconden in de periode 1900 tot 2100. Zie SOFA-routine iauS00.

[Terug naar 8](#)



Een waarnemer bij E beweegt met snelheid $\mathbf{v}$ langs de lijn AB
Op moment t staat een lichtbron
In de richtings-(vector) $\mathbf{p}$



De waarnemer zie de bron echter in de richting **p1**

De relatie van die vectoren is:

$$\mathbf{p}_1 = \frac{\mathbf{p} + \mathbf{V}/c}{|\mathbf{p} + \mathbf{V}/c|} \quad (4 - 7.38)$$

Of:

$$\mathbf{p}_1 = \mathbf{p} + |\mathbf{p}| \frac{\mathbf{V}}{c} \quad (4 - 7.119)$$

[Terug naar 8](#)

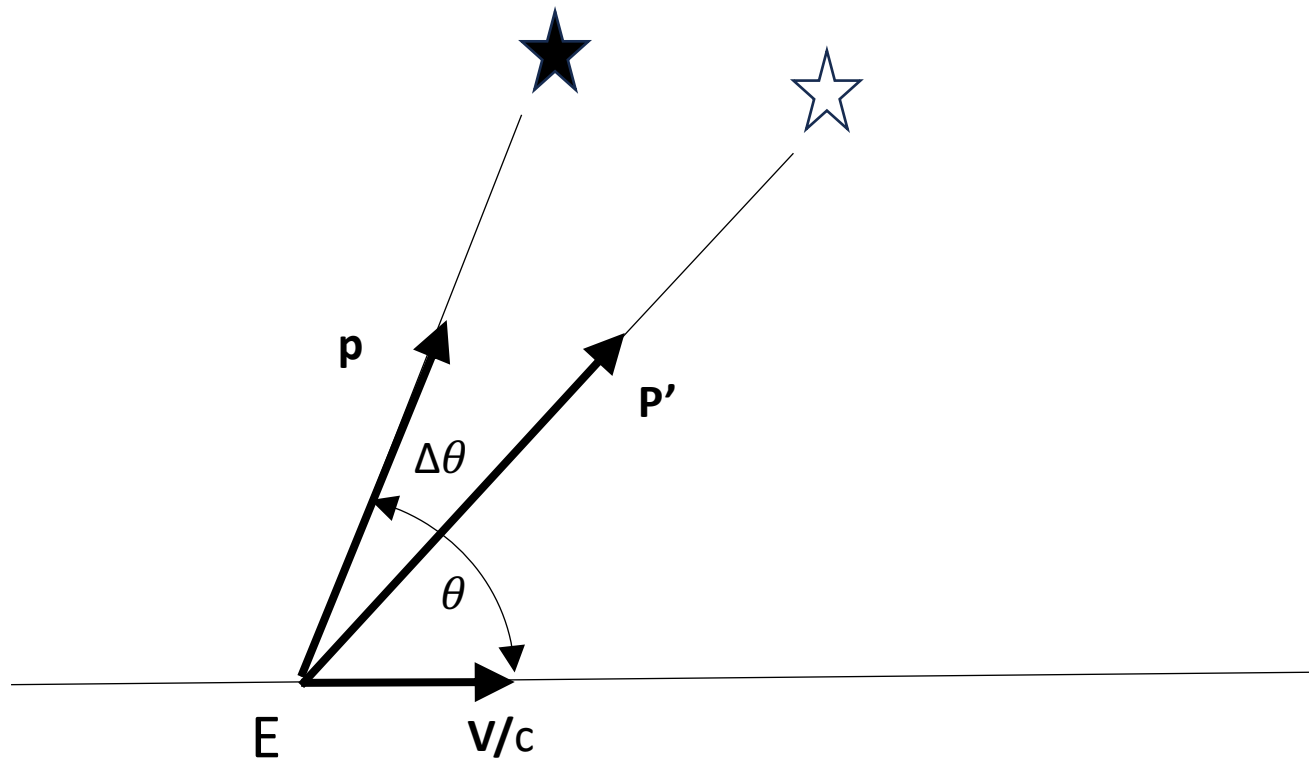
[Vooruit](#)

[Achteruit](#)

Als θ de hoek tussen $\mathbf{p}$ en $\mathbf{V}/c$ is
is de sin van de aberratie $\Delta\theta$:

$$\sin\Delta\theta = \frac{(V/c)\sin\theta}{\sqrt{1 + 2(V/c)\cos\theta + (V/c)^2}} =$$

$$\frac{V}{c}\sin\theta - \frac{1}{2}\left(\frac{V}{c}\right)^2 \sin(2\theta) + \dots \quad (4 - 7.39)$$



α_0, δ_0 Are ICRF equatorial coordinates at epoch J2000.0
Approximate coordinates of the north pole of the invariable plane are $\alpha_0 = 273^\circ.85, \delta_0 = 66^\circ.99$
 $T =$ Interval in Julian centuries (36,525 days) from the standard epoch
 $d =$ Interval in days from the standard epoch
The standard epoch is JD 2451545.0, i.e., 2000 January 1 12h TDB

Sun $\alpha_0 = 286^\circ.13$
 $\delta_0 = 63^\circ.87$
 $W = 84^\circ.176 + 14^\circ.1844000d^{(a)}$

Mercury $\alpha_0 = 281.0103 - 0.0328 T$
 $\delta_0 = 61.4155 - 0.0049 T$
 $W = 329.5988 \pm 0.0037 + 6.1385108d$
 $+ 0^\circ.01067257 \sin M1$
 $- 0^\circ.00112309 \sin M2$
 $- 0^\circ.00011040 \sin M3$
 $- 0^\circ.00002539 \sin M4$
 $- 0^\circ.00000571 \sin M5$

where $M1 = 174^\circ.7910857 + 4^\circ.092335d$
 $M2 = 349^\circ.5821714 + 8^\circ.184670d$
 $M3 = 164^\circ.3732571 + 12^\circ.277005d$
 $M4 = 339^\circ.1643429 + 16^\circ.369340d$
 $M5 = 153^\circ.9554286 + 20^\circ.461675d^{(b)}$

Venus $\alpha_0 = 272.76$
 $\delta_0 = 67.16$
 $W = 160.20 - 1.4813688d^{(c)}$

Mars $\alpha_0 = 317.269202 - 0.10927547T$
 $+ 0.000068 \sin(198.991226 + 19139.4819985T)$
 $+ 0.000238 \sin(226.292679 + 38280.8511281T)$
 $+ 0.000052 \sin(249.663391 + 57420.7251593T)$
 $+ 0.000009 \sin(266.183510 + 76560.6367950T)$
 $+ 0.419057 \sin(79.398797 + 0.5042615T)$
 $\delta_0 = 54.432516 - 0.05827105T$
 $+ 0.000051 \cos(122.433576 + 19139.9407476T)$
 $+ 0.000141 \cos(43.058401 + 38280.8753272T)$
 $+ 0.000031 \cos(57.663379 + 57420.7517205T)$
 $+ 0.000005 \cos(79.476401 + 76560.6495004T)$
 $+ 1.591274 \cos(166.325722 + 0.5042615T)$
 $W = 176.049863 + 350.891982443297d$
 $+ 0.000145 \sin(129.071773 + 19140.0328244T)$
 $+ 0.000157 \sin(36.352167 + 38281.0473591T)$
 $+ 0.000040 \sin(56.668646 + 57420.9295360T)$
 $+ 0.000001 \sin(67.364003 + 76560.2552215T)$
 $+ 0.000001 \sin(104.792680 + 95700.4387578T)$
 $+ 0.584542 \sin(95.391654 + 0.5042615T)^{(d)}$

Recommended values for the direction of the north pole of rotation and the prime meridian of the Sun and planets.

α_0 = rechte klimming poolas
 δ_0 = declinatie poolas
 W = rotation angle prime meridian

Methode astronomische almanak

$$n = d + \text{dagdeel}$$

$$L = 280,46 + 0,9856474 \cdot n$$

$$g = 357,528 + 0,9856003 \cdot n$$

$$\epsilon = 23,439 - 0,0000004 \cdot n$$

$$\lambda = L + 1,915 \cdot \sin(g) + 0,020 \cdot \sin(2g)$$

$$\sin \delta = \sin \epsilon \cdot \sin \lambda$$

Heliocentrische afstand aarde:

$$r = 1,00014 - 0,01671 \cdot \cos(g) - 0,00014 \cdot \cos(2g)$$

d = dagen sinds J2000.0

L = mean longitude van de zon inclusief correctie voor aberratie

g = mean anomaly

ϵ = helling van de ecliptica

λ = ecliptische lengte van de zon

De reeksontwikkeling van Dogniaux (zie notitiepagina) in graden:

$$\delta = 0,33281$$

$$-22,984 \cdot \cos(\eta \cdot d)$$

$$-0,34990 \cdot \cos(2\eta \cdot d)$$

$$-0,13980 \cdot \cos(3\eta \cdot d)$$

$$+3,7872 \cdot \sin(\eta \cdot d)$$

$$+0,032205 \cdot \sin(2\eta \cdot d)$$

$$+0,07187 \cdot \sin(3\eta \cdot d)$$

Waarin:

$$\eta = \frac{2\pi}{365} [\text{rad}]$$

d = dagnummer (1 januari = 1)

De reeksontwikkeling van Spencer (zie notitiepagina) in radialen:

$$\delta = 0,006918$$

$$-0,399912 \cdot \cos(\eta \cdot d)$$

$$-0,006758 \cdot \cos(2\eta \cdot d)$$

$$-0,002697 \cdot \cos(3\eta \cdot d)$$

$$+0,070257 \cdot \sin(\eta \cdot d)$$

$$+0,000907 \cdot \sin(2\eta \cdot d)$$

$$+0,00148 \cdot \sin(3\eta \cdot d)$$

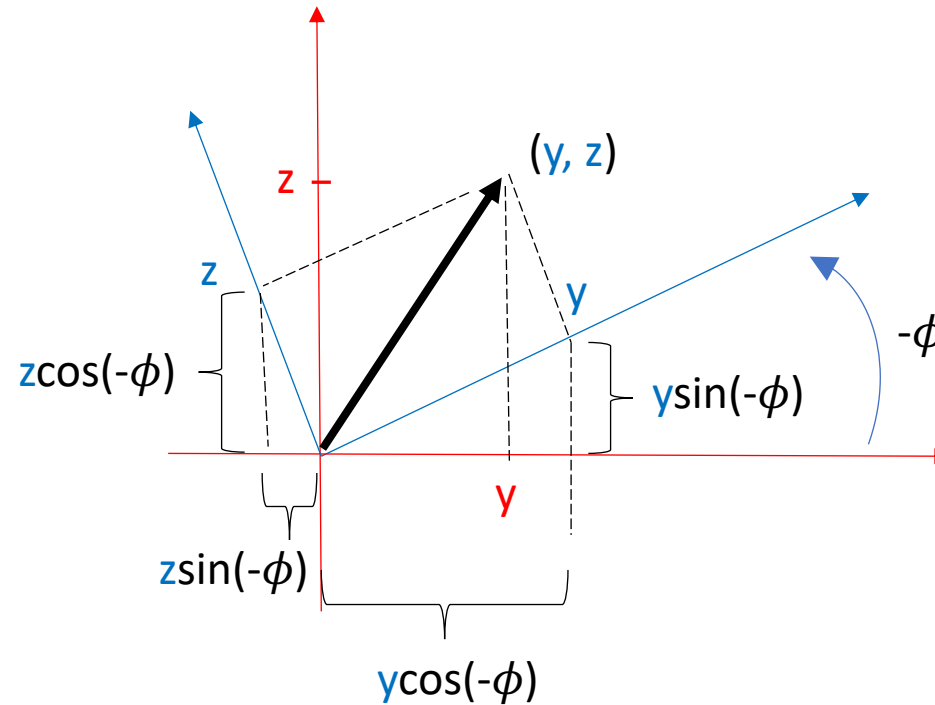
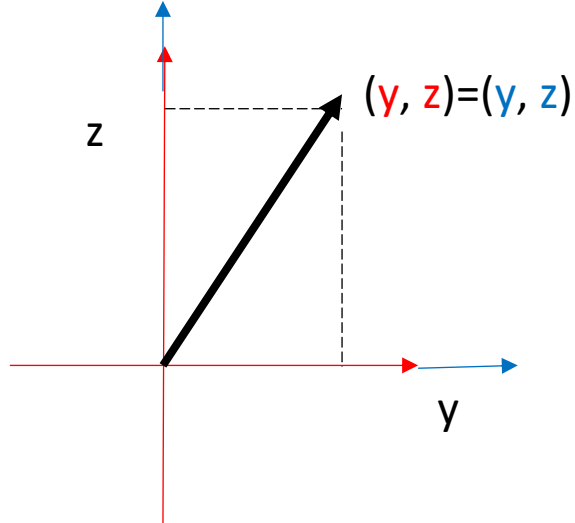
Waarin:

$$\eta = \frac{2\pi}{365} [\text{rad}]$$

d = dagnummer (1 januari = 0)

[Terug naar 15](#)

[Terug naar 106 \(DGEC\)](#)

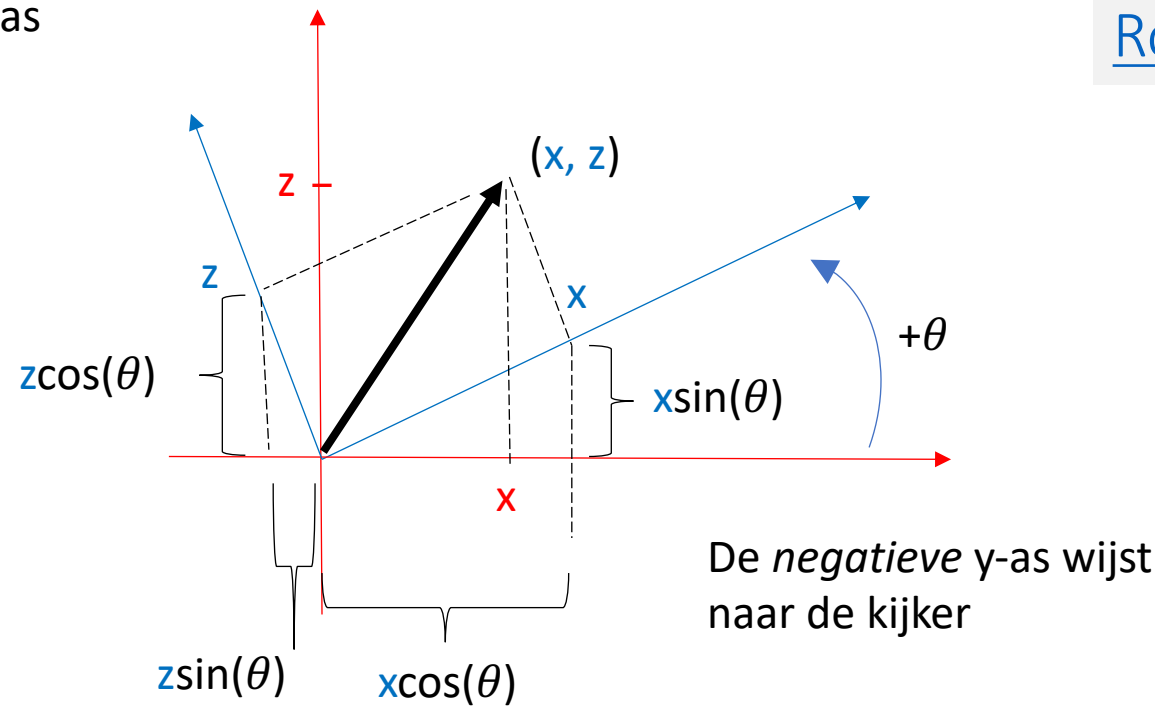
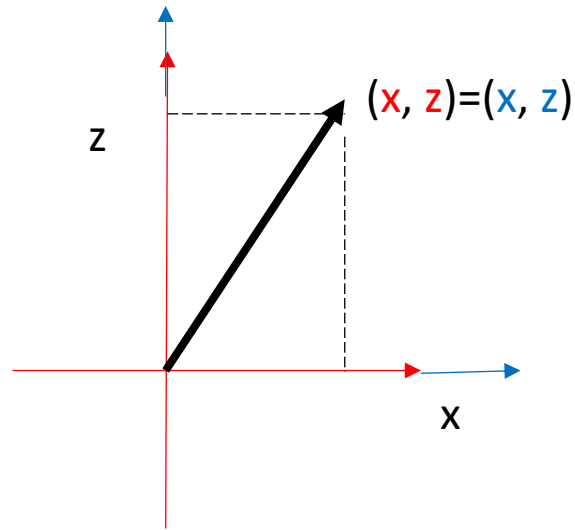


Blauw over de x-as
met hoek ϕ roteren.
De *positieve* x-as wijst
van de kijker af

Rood uitdrukken in blauw (anti clockwise):

$$\begin{aligned} x &= x*1 + y*0 + z*0 = x*1 + y*0 + z*0 \\ y &= x*0 + y\cos(-\phi) - z\sin(-\phi) = x*0 + y\cos(\phi) + z\sin(\phi) \\ z &= x*0 + y\sin(-\phi) + z\cos(-\phi) = x*0 - y\sin(\phi) + z\cos(\phi) \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$



Blauw over de y-as
met hoek θ roteren.
De *positieve* y-as wijst
naar de kijker

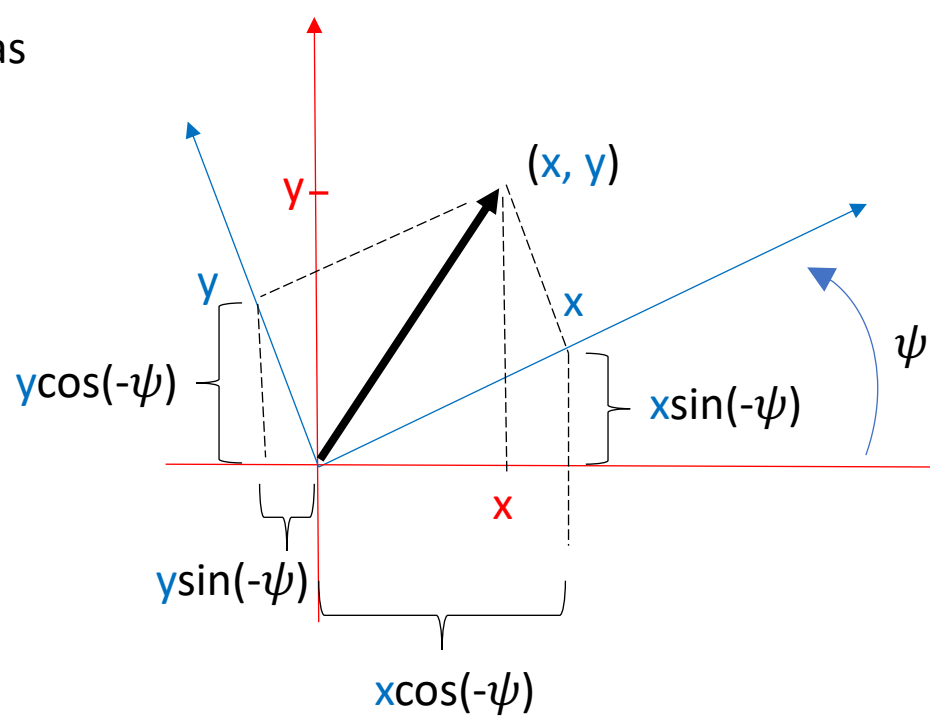
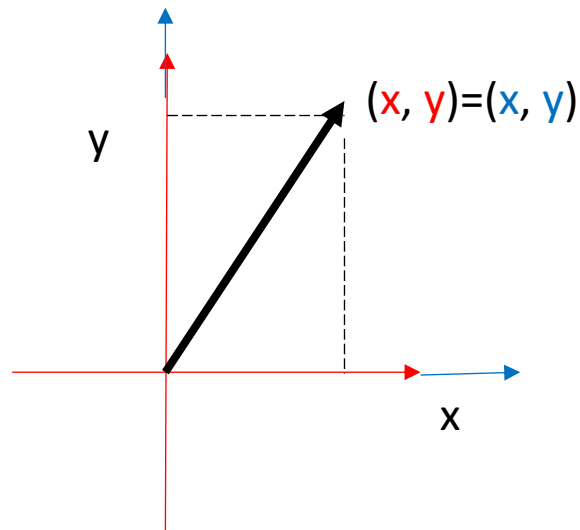
Rood uitdrukken in blauw (anti clockwise):

$$x = x\cos(\theta) + y*0 - z\sin(\theta)$$

$$y = x*0 + y*1 + z*0$$

$$z = x\sin(\theta) + y*0 + z\cos(\theta)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_y \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$



Blauw over de z-as
met hoek ψ roteren.
De *positieve* z-as
wijst naar de kijker.

Rood uitdrukken in blauw (anti clockwise):

$$x = x\cos(-\psi) - y\sin(-\psi) = x\cos(\psi) + y\sin(\psi) + z*0$$

$$y = x\sin(-\psi) + y\cos(-\psi) = -x\sin(\psi) + y\cos(\psi) + z*0$$

$$z = x*0 + y*0 + z*1$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$