

Bepaling daglichtfactor en bezonning met radiaaldiagrammen

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: ir. A.C. van der Linden

1 Inleiding

De hoeveelheid daglicht die in een bepaald punt in een vertrek terechtkomt, is afhankelijk van een heleboel dingen:

- de grootte en de positie van de raamopeningen;
- de doorlaatbaarheid voor licht van deze openingen (soort glas, vervuiling, etc.);
- eventuele afscherming door tegenoverliggende gebouwen of delen van het eigen gebouw;
- externe reflecties, licht dat gereflecteerd wordt door andere gebouwen, bestrating etc.;
- interne reflecties, licht dat - nadat het is binnengekomen - wordt gereflecteerd door wanden, plafond, etc.

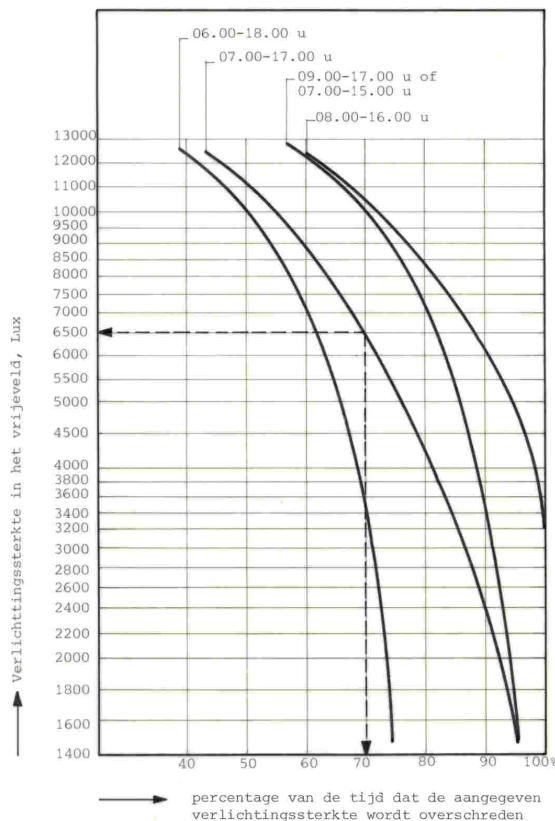
Volgens de algemene verlichtingsformule bepalen alle bijdragen te zamen de verlichtingssterkte binnen. De hoeveelheid binnenkomend licht is echter voornamelijk afhankelijk van het buiten beschikbare licht, dat in ernstige mate in sterkte wisselt. Tevens kan onderscheid worden gemaakt tussen direct licht (gerichte zonnestraling) en diffuus licht, uitgestraald door de hemelkoepel met een zekere luminantieverdeling.

Vanwege het feit dat het lichtaanbod buiten zo sterk wisselt, gebruikt men voor het bepalen van de grootte van de dagverlichting de zogenaamde daglichtfactor d .

Deze geeft de verhouding aan tussen de verlichtingssterkte binnen op een bepaalde plaats en de verlichtingssterkte op het horizontale vlak, op het zelfde moment buiten in het vrije veld.

$$d = \frac{E_{\text{binnen}}}{E_{\text{buiten, vrijeveld}}}$$

Hierbij wordt het directe zonlicht buiten beschouwing gelaten. Er wordt slechts gerekend met het door de hemelkoepel diffuus uitgestraalde licht. Uit metingen is bekend welke lichtsterkte in het vrije veld aanwezig is. Referentiewaarden voor Nederland zijn gegeven in figuur 1.



figuur 1. referentiewaarden voor de verlichtingssterkte in het vrije veld in Nederland
N.B. de gegeven tijden zijn in zonnetijd

Stel dat men in een kantoorgebouw een verlichtingssterkte wil hebben van minimaal 400 lux op het werkvlak, en dat het gebouw zodanig is ontworpen, dat de daglichtfactor $d = 6\%$ is voor een niet te ver van het raam gelegen werkplek. Dat betekent, dat wanneer de verlichtingssterkte buiten daalt onder de $400/0,06 = 6500$ lux de kunstverlichting zal moeten worden ingeschakeld.

Als de bedrijfstijd van het gebouw 8.00 - 17.30 uur is (kloktijd), komt de lijn in de grafiek waarbij 7.00 - 17.00 uur staat hiermee het meest overeen. De lijnen in de grafiek zijn namelijk gegeven voor een bepaalde zonnetijd, zodat de gekozen lijn (in de winter, gemiddeld voor Nederland) geldt voor 7.40-17.40 uur kloktijd.

Een waarde van 6500 lux voor de verlichtingssterkte buiten blijkt 70% van de tijd te worden overschreden. Dit betekent globaal dat gedurende minstens 30% van de tijd de kunstverlichting ingeschakeld zal moeten zijn. Dit komt overeen met ongeveer 700 uur per jaar. Echter, in de praktijk zal het licht vaak langer branden, omdat men vergeet het licht uit te doen als het niet meer nodig is. De moderne regeltechnische mogelijkheden kunnen hierbij een handje helpen.

2 Bepaling van de daglichtfactor

De daglichtfactor wordt gevonden door optelling van:

- de directe bijdrage van het zichtbare gedeelte van de hemelkoepel: de hemelcomponent d_h ;

- de bijdrage ten gevolge van reflectie van licht tegen vanuit het waarnemingspunt zichtbare oppervlakken buiten het raam (de lichtopening): de externe reflectiecomponent d_e ;
- de bijdrage ten gevolge van reflecties van door de lichtopening binnengekomen licht tegen wanden, plafond, etc. in het vertrek: de interne reflectiecomponent d_i .

Daarbij moet rekening worden gehouden met de lichtdoorlatendheid van het materiaal in de vensteropening (glas, zonwering, etc.) en de vervuiling hiervan, lichtonderscheppende onderdelen van het eigen gebouw (luifels en dergelijke) en andere gebouwen.

Eventuele lichtvermindering door een vervuilde atmosfeer komt niet naar voren in de berekening van de daglichtfactor, maar beïnvloedt uiteraard wel de buiten in het vrije veld aanwezige verlichtingssterkte. In ernstig vervuilde gebieden kan de verlichtingssterkte tot minder dan de helft worden gereduceerd ten opzichte van die bij een schone atmosfeer.

2.1 De hemelcomponent, zonder glasverliezen, d_h^*

De directe bijdrage van het uitgestraalde licht vanuit de hemelkoepel kan worden bepaald met behulp van de in module LI-3; "Licht, basisbegrippen (verdieping)" figuur 8 en 9 getoonde diagrammen. Voor de luminantie van de hemelkoepel wordt doorgaans uitgegaan van een verdeling zoals die is vastgesteld door de C.I.E. (Commission Internationale de l'Eclairage) op basis van onderzoek door Moon en Spencer. Deze verdeling is als volgt:

$$L(h) = L(90^\circ) \cdot ((1 + 2 \cdot \cos \alpha) / 3) [cd/m^2]$$

Hierin is:

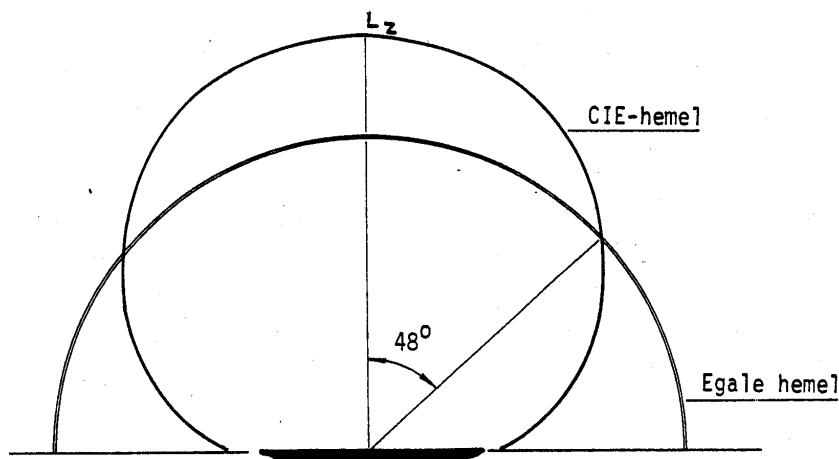
$L(h)$	luminantie van de hemelkoepel op een bepaalde hoogte (hoek h met het horizontale vlak)
$L(90^\circ)$	luminantie in het zenit

Uit metingen is gebleken, dat voor de meeste bewolkingstoestanden deze verdeling ook voor Nederland een goede benadering vormt. Slechts bij een zeer zware, laaghangende bewolking komt de verdeling meer overeen met een egale hemel.

Wanneer voor een hoogte $h = 42^\circ$ de luminantie voor beide verdelingen gelijk wordt gesteld, leveren ze op het horizontale vlak in het vrije veld dezelfde verlichtingssterkte op:

$$E = \pi \cdot L(42^\circ) \text{ lux.}$$

Beide luminantieverdelingen zijn gegeven in figuur 2 en tabel 1.



figuur 2. luminantieverdeling bij een egale hemel en de CIE-verdeling; beide verdelingen leveren dezelfde verlichtingssterkte op het horizontale vlak

h	$L(h)/L(42^\circ)$		$L(h)/L(42^\circ)$
0°	0,43	45°	1,03
5°	0,50	50°	1,09
10°	0,58	55°	1,13
15°	0,65	60°	1,17
20°	0,72	65°	1,20
25°	0,79	70°	1,24
30°	0,86	75°	1,26
35°	0,92	80°	1,27
40°	0,98	85°	1,28
42°	1,00	90°	1,29

Bij een elevatie (h) van 42° is de luminantie van de C.I.E.-verdeling gelijk aan die bij een uniforme verdeling als beide verdelingen dezelfde verlichtingssterkte op het horizontale vlak geven.

tabel 1. getalswaarden bij de CIE-luminantieverdeling

Voor het bepalen van de hemelcomponent worden de lichtopeningen ingetekend in het radiaaldiagram. Hiermee ontstaat een projectie van het deel van de hemelkoepel dat door het raam wordt gezien (zie hiervoor het voorbeeld in bijlage A, figuur A-1 t/m A-4).

Door de Technische Universiteit Eindhoven is een diagram ontwikkeld, dat gebruikt kan worden in combinatie met het radiaaldiagram. Dit "daglichtdiagram" is opgedeeld in een groot aantal vakjes, dat allemaal een gelijke bijdrage (0,1%) aan de verlichtingssterkte op het horizontale vlak geven. Het diagram bestaat in twee uitvoeringen: één voor een egale hemelkoepel en één voor een hemelkoepel met een CIE-luminantieverdeling.

In figuur A-4 kan in het diagram voor een egale hemelkoepel het aantal vakjes worden geteld (daarbij halve vakjes zo goed mogelijk meetellend). Voor het raam worden circa 48 vakjes geteld, voor het dakvenster circa 62. Dat betekent een hemelcomponent (zonder glasverliezen) van $d_h^* = 4,8\%$ respectievelijk $d_h^* = 6,2\%$.

Als het diagram voor de CIE-verdeling wordt gebruikt, komt men op $d_h^* = 3,9\%$ respectievelijk $d_h^* = 7,1\%$; bij elkaar toevallig even veel. Echter, het is duidelijk, dat bij deze luminantieverdeling de bijdrage van het dakvenster groter is en die van het raam kleiner.

2.2 De externe reflectiecomponent de*

Voor de bepaling van de externe reflectiecomponent moet in principe de luminantie van alle vlakken die daglicht in de richting van de beschouwde lichtopening kunnen reflecteren, worden bepaald. Daarna moet de bijdrage van deze reflecties op de verlichtingssterkte binnen worden bepaald. Dit is een tijdrovende zaak en ook moeilijk exact uit te voeren. Daarom wordt - mede omdat de bijdrage aan de totale daglichtfactor meestal vrij gering is - volstaan met de volgende benadering.

Gesteld wordt dat de luminantie van eventuele vanuit het meetpunt door de lichtopening zichtbare obstakels ongeveer 15% is van de hemelkoepel die zich achter deze obstakels bevindt. Dit betekent dus, dat men de externe reflectiecomponent kan bepalen door met behulp van de diagrammen de hemelcomponent te bepalen van het gedeelte van de hemelkoepel dat door obstakels aan het oog wordt onttrokken en de uitkomst te vermenigvuldigen met 0,15.

$$d_e^* = 0,15 \cdot d_h^*$$

Waarin d_h^* de hemelcomponent is van het door obstakels aan het oog onttrokken gedeelte van de hemelkoepel. Als de omringende bebouwing zeer sterk reflecteert (lichte kleur), kan men een iets hogere waarde voor de "reflectie" kiezen dan de genoemde 15%. Maar in die gevallen loont het vaak ook de moeite een nauwkeuriger berekening te maken.

Ook een zeer lichte bodemafwerking kan, via reflectie tegen bij voorbeeld het plafond van een vertrek nog een aanzienlijke bijdrage leveren aan de verlichtingssterkte binnen. Echter, meestal is deze bijdrage te verwaarlozen.

2.3 Verliezen in de lichtopening, factor c

Door het in de lichtopening geplaatste glas (of ander materiaal) en door een eventuele zonweringsconstructie wordt een deel van het opvallende licht gereflecteerd en geabsorbeerd. De factor LTA (lichttoetredingsfactor) geeft aan welk deel van het opvallende licht uiteindelijk in het vertrek terechtkomt.

Voor enkel- en dubbelglas zijn deze:

LTA 0,85 à 0,90 enkelglas

LTA 0,70 à 0,80 dubbelglas

Voor een eventuele roede-indeling (tussenregels en stijlen) in het raam, of voor de invloed van het kozijn als dat in eerste instantie buiten beschouwing is gelaten, kan een reductiefactor c_k worden bepaald uit de verhouding tussen het netto glasvlak en de oppervlakte inclusief kozijn en/of roeden. Wanneer van het kozijn nog weinig bekend is, kan als voorlopige waarde worden aangehouden:

$$c_k = 0,85$$

Door vervuiling kan de lichtdoorlaat nog worden gereduceerd tot 0,9 à 0,5 maal de waarde bij een schone constructie:

$$c_v = 0,9 \text{ à } 0,5$$

Het totaal aan verliezen in de lichtopening wordt op basis van het voorgaande beschreven met de factor c :

$$c = LTA \cdot c_k \cdot c_v$$

2.4 De interne reflectiecomponent

Wanneer licht op een vlak in een ruimte valt, zal dit vlak - afhankelijk van zijn eigenschappen - een deel van het opvallende licht weer reflecteren en op deze wijze weer bijdragen aan de verlichting van andere vlakken (ook het werkvlak) in de ruimte. De berekening hiervan - waarvoor in beginsel de algemene verlichtingsformules (zie module LI-3; "Licht, basisbegrippen (verdieping)") kunnen worden gebruikt, is een complexe zaak. Gelukkig bestaan er computerprogramma's voor de bepaling van de interne reflecties, de resulterende luminanties van de verschillende vlakken in het vertrek en de verlichtingssterkte op het werkvlak. Om zonder rekenwerk toch vast een indruk te krijgen van de grootte van de interne reflectiecomponent d_i kan gebruik worden gemaakt van tabel 2. Deze tabel geeft direct de component d_i in procenten voor verschillende reflectiefactoren voor wand, vloer en plafond, waarbij rekening is gehouden met een gemiddelde situatie voor verliezen in de lichtopening en eventuele belemmeringen, uitgaande van enkelglas. Bij toepassing van andere glassoorten al dan niet met zonweringsconstructies, moet het getal uit de tabel worden gecorrigeerd voor de werkelijke LTA. De tabel geldt voor $LTA = 0,9$. Voor dubbelglas wordt de correctiefactor dus $LTA_{dg}/LTA_{eg} = 0,8/0,9 = \text{ca. } 0,9$. Blijkt uit de berekening dat de bijdrage van d_i bepalend is voor de totale daglichtfactor dan loont het de moeite om de interne reflectiecomponent nauwkeurig te berekenen.

70% plafondreflectie

Verhouding glasopp. tot vloeropp.	Reflektiefactor vloer											
	10%				20%				40%			
	Reflektiefactor wanden											
	20%	40%	60%	80%	20%	40%	60%	80%	20%	40%	60%	80%
1 : 50	-	-	0,1	0,2	-	0,1	0,1	0,2	-	0,1	0,2	0,2
1 : 20	0,1	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,3	0,5	0,1	0,2	0,4	0,6
1 : 14	0,1	0,2	0,3	0,5	0,1	0,2	0,4	0,6	0,2	0,3	0,6	0,8
1 : 10	0,1	0,2	0,4	0,7	0,2	0,3	0,6	0,9	0,3	0,5	0,8	1,2
1 : 6,7	0,2	0,4	0,6	1,0	0,2	0,5	0,8	1,3	0,4	0,7	1,1	1,7
1 : 5	0,2	0,5	0,8	1,4	0,3	0,6	1,1	1,7	0,5	0,9	1,5	2,3
1 : 4	0,3	0,6	1,0	1,7	0,4	0,8	1,3	2,0	0,6	1,1	1,8	2,8
1 : 3,3	0,3	0,7	1,2	2,0	0,5	0,9	1,5	2,4	0,8	1,3	2,1	3,3
1 : 2,9	0,4	0,8	1,4	2,3	0,5	1,0	1,8	2,8	0,9	1,5	2,4	3,8
1 : 2,5	0,5	0,9	1,6	2,6	0,6	1,2	2,0	3,1	1,0	1,7	2,7	4,2
1 : 2,2	0,5	1,0	1,8	2,9	0,7	1,3	2,2	3,4	1,2	1,9	3,0	4,6
1 : 2	0,6	1,1	1,9	3,1	0,8	1,4	2,3	3,7	1,3	2,1	3,2	4,9

tabel 2. globale waarden voor de interne reflectiecomponent bij enkelglas ($LTA = 0,9$) en gemiddelde omstandigheden voor verdere verliezen in de daglichtopening en externe reflecties

2.5 Bepaling van de daglichtfactor d; optellen van de diverse componenten

De daglichtfactor wordt gevonden uit de optelling van de hiervoor berekende componenten.

$$d = d_h + d_e + d_i$$

Ofwel:

$$d = (d_h^* + d_e^*) \cdot c + d_i^* \cdot LTA / 0,9$$

Hierin is:

d_h^*	hemelcomponent zonder glasverliezen
d_e^*	externe reflectiecomponent zonder glasverliezen
c	reductiefactor voor verliezen in de lichtopening ($c = LTA \cdot c_k \cdot c_v$)
d_i^*	interne reflectiecomponent uit tabel 2, inclusief gemiddelde verliezen in de daglichtopening bij een lichttoetredingsfactor $LTA = 0,9$
LTA	lichttoetredingsfactor van het raamsysteem (zie bij voorbeeld figuur 7.11, blz. 125 in het Boek Bouwfysica, ThiemeMeulenhoff)

Gebruik radiaaldiagram en daglichtdiagram

bijlage A

Inleiding

In deze bijlage wordt het intekenen van de projectie van daglichtopeningen op het radiaaldiagram besproken en er wordt getoond hoe daarna met behulp van een daglichtdiagram de hemelcomponent (zonder glasverliezen) in de daglichtfactor bepaald wordt.

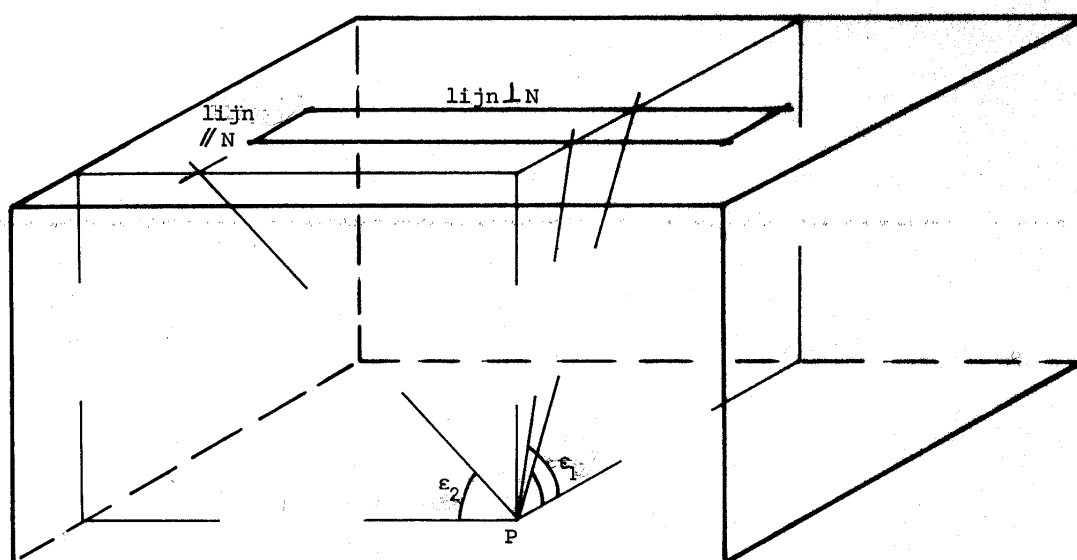
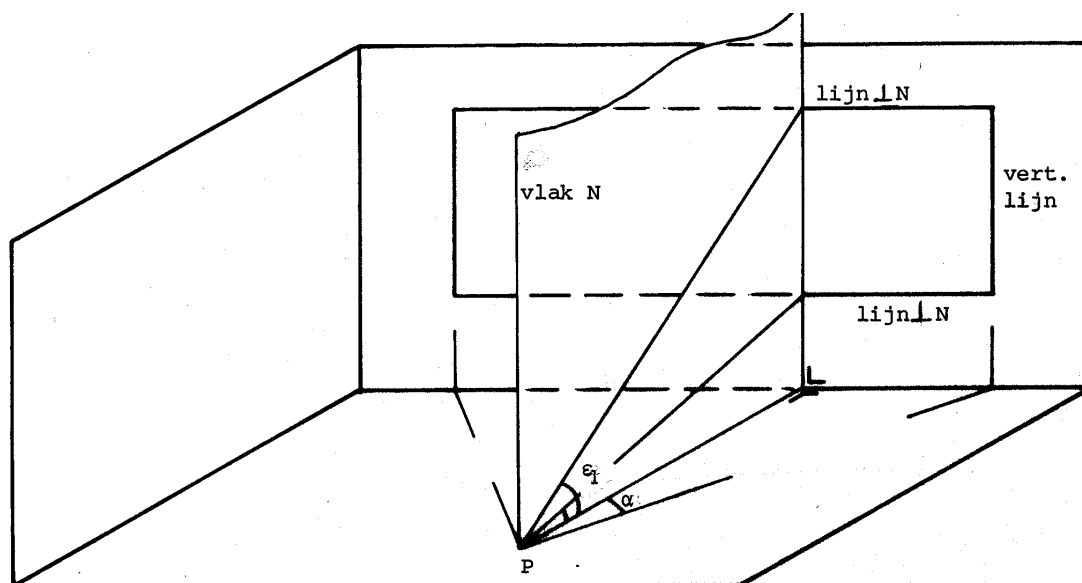
Het radiaaldiagram

Een punt in de ruimte wordt in een bolcoördinatensysteem vastgelegd door azimuth (α), elevatie (ϵ) en de afstand tot de oorsprong (r). De laatste coördinaat (r) gaat verloren bij projectie in een plat (twee-dimensionaal) vlak. In het radiaaldiagram wordt daardoor een punt alleen vastgelegd door elevatie en azimuth. Door de aanwezigheid van een aantal hulplijnen is het in het diagram van afbeelding A-4 mogelijk behalve punten ook lijnen vast te leggen. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld (zie figuur A-1).

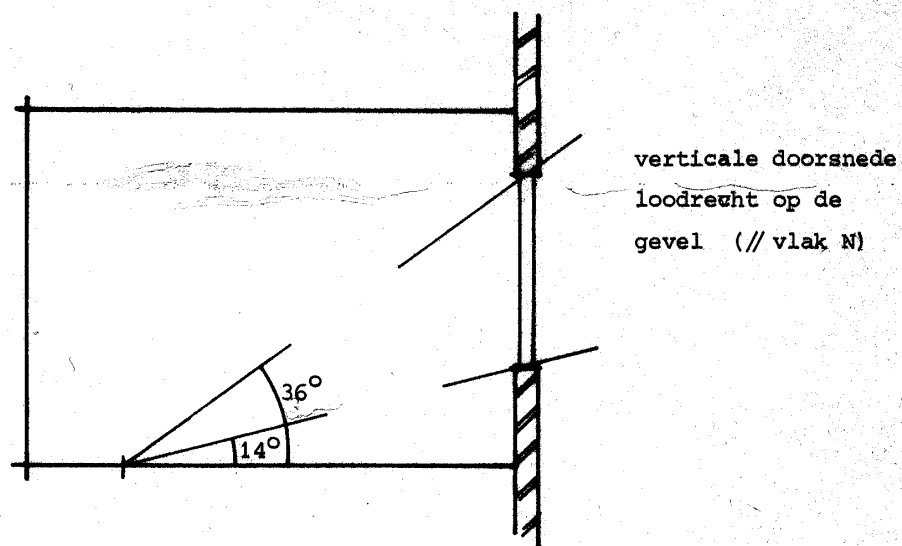
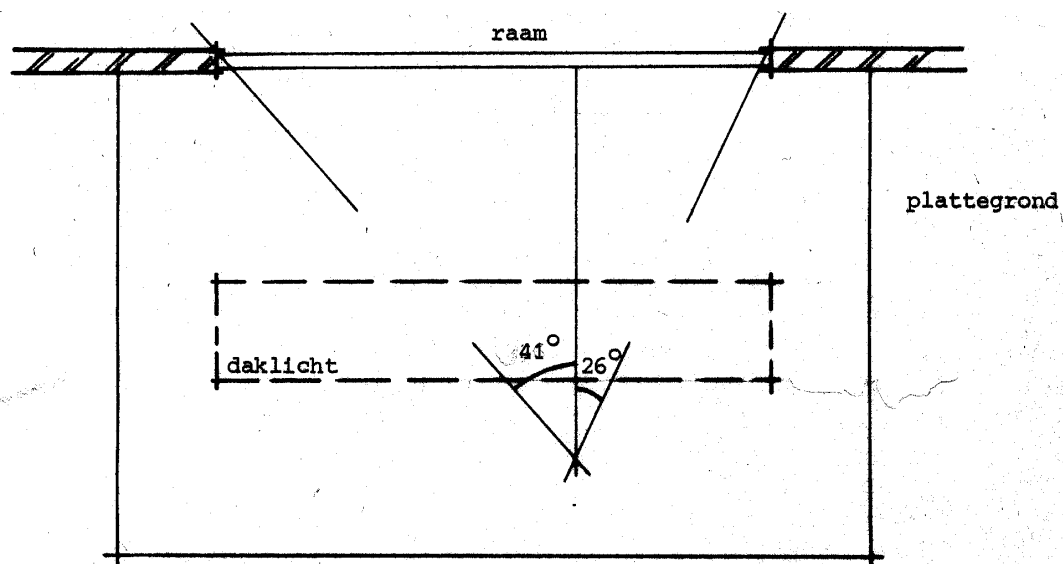
In een vertrek bevinden zich een raam en een daklicht. Voor het bepalen van elevatie en azimuth van de begrenzingen van raam en daklicht wordt een hulpvlak N aangebracht, zodanig dat de begrenzingen van raam en daklicht evenwijdig aan dit vlak of loodrecht erop lopen.

De waarden van α (azimuth), ϵ_1 (lijnen $\perp N$) en ϵ_2 (lijnen $\parallel N$) kunnen op eenvoudige wijze uit de plattegrond en doorsnede van het vertrek worden opgemeten of berekend (zie afbeelding A-2 en A-3). Als de hoeken bekend zijn, kan een en ander worden ingetekend in het radiaaldiagram (zie figuur A-4).

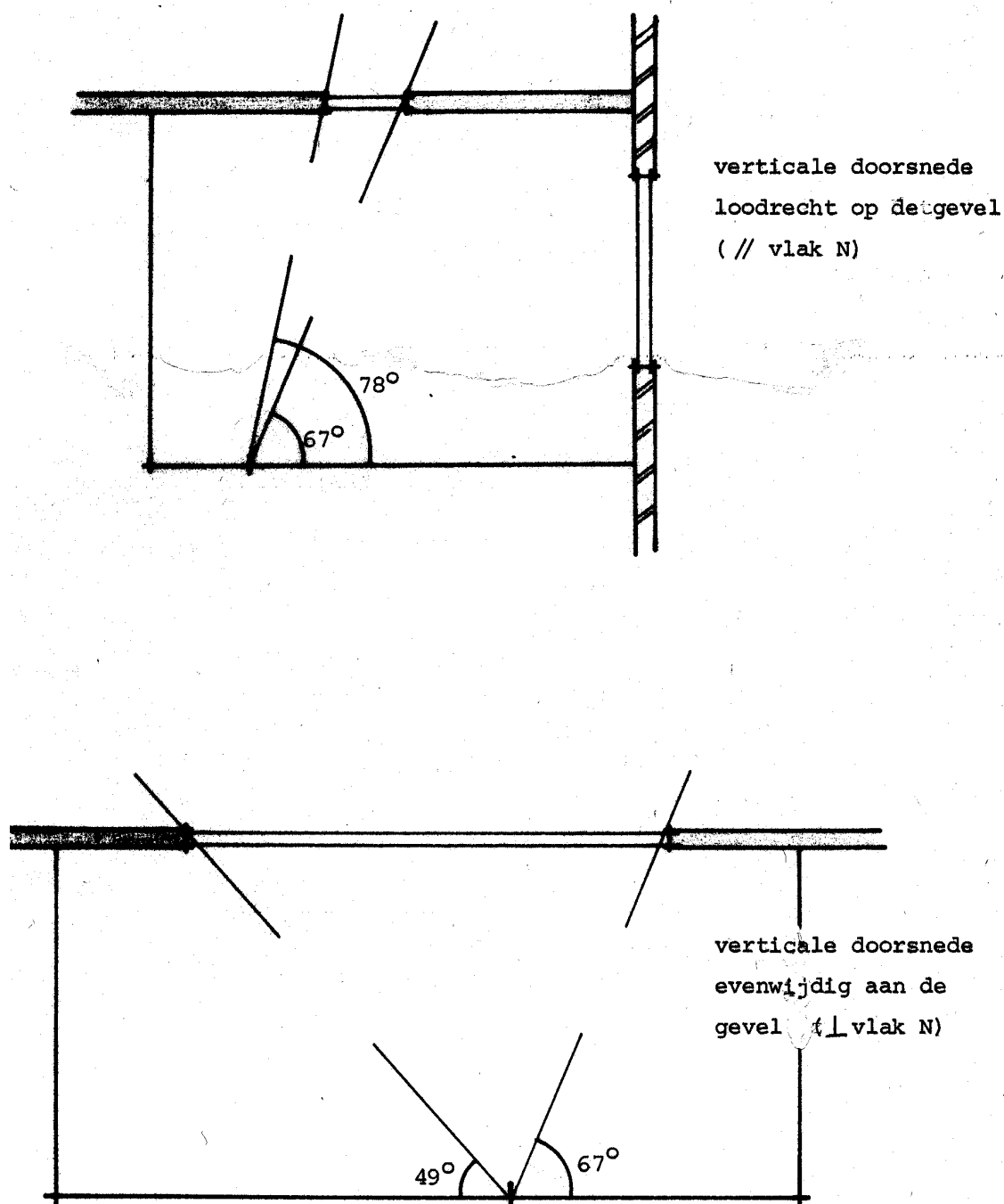
Tot slot kan een transparant daglichtdiagram over de getekende projectie worden gelegd en kan via het tellen van vakjes de hemelcomponent worden bepaald.



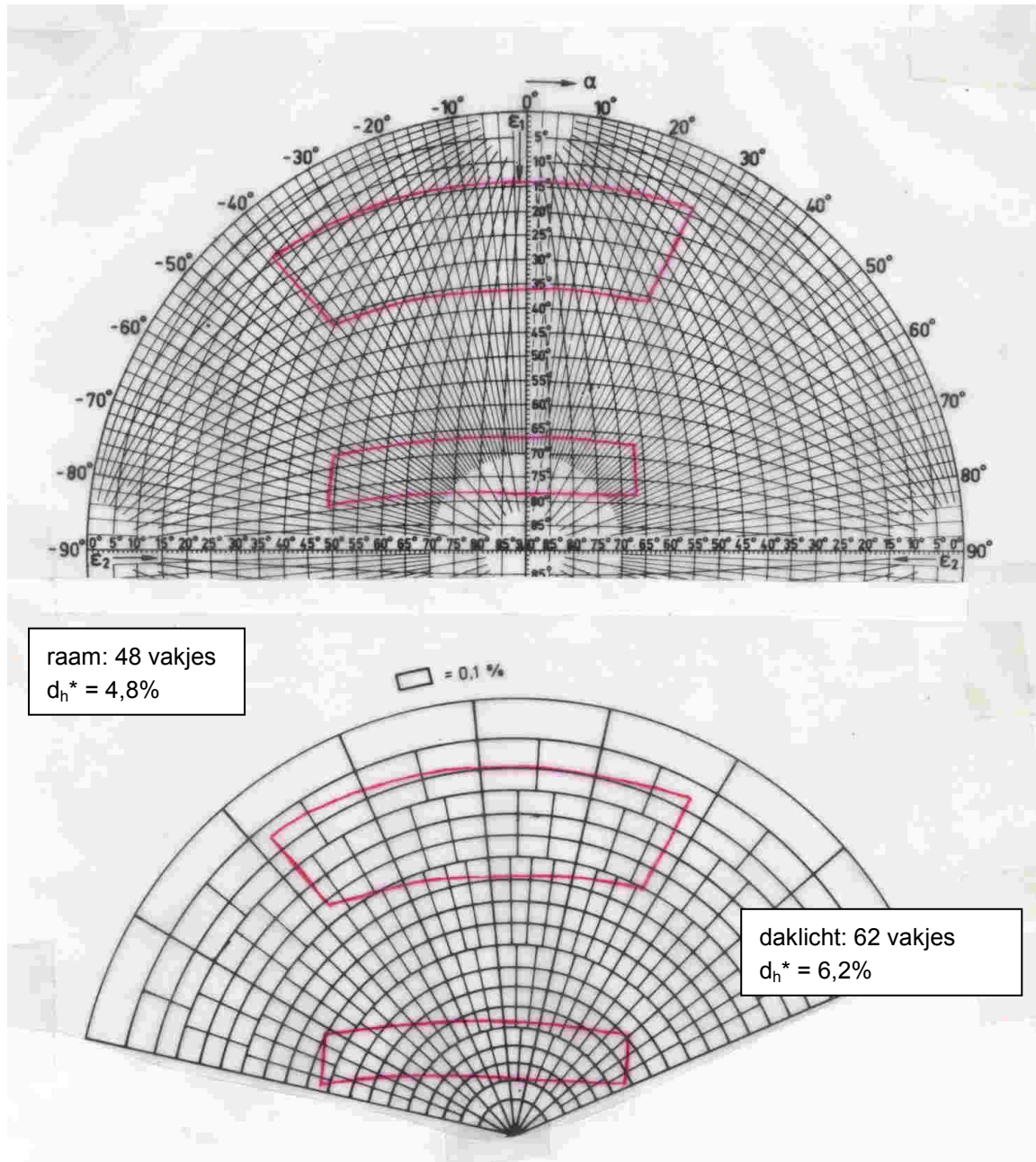
figuur A-1. bepaling azimuth (α) en elevatie (ϵ) van de begrenzingen van vlakken voor projectie in een radiaaldiagram



figuur A-2. bepaling azimuth en elevatie voor het raam uit het voorbeeldvertrek



figuur A-3. bepaling azimuth en elevatie voor het daklicht uit het voorbeeldvertrek



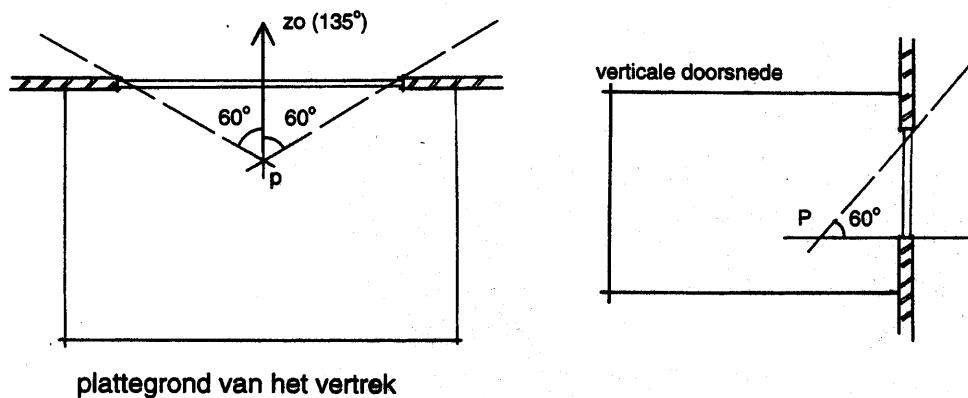
figuur A-4. raam en daklicht ingetekend in radiaaldiagram en diagram ter bepaling van de hemelcomponent bij een gelijkmatige verdeling van de luminantie (egale hemel).

Gebruik radiaaldiagram en zonnebaandiagram

bijlage B

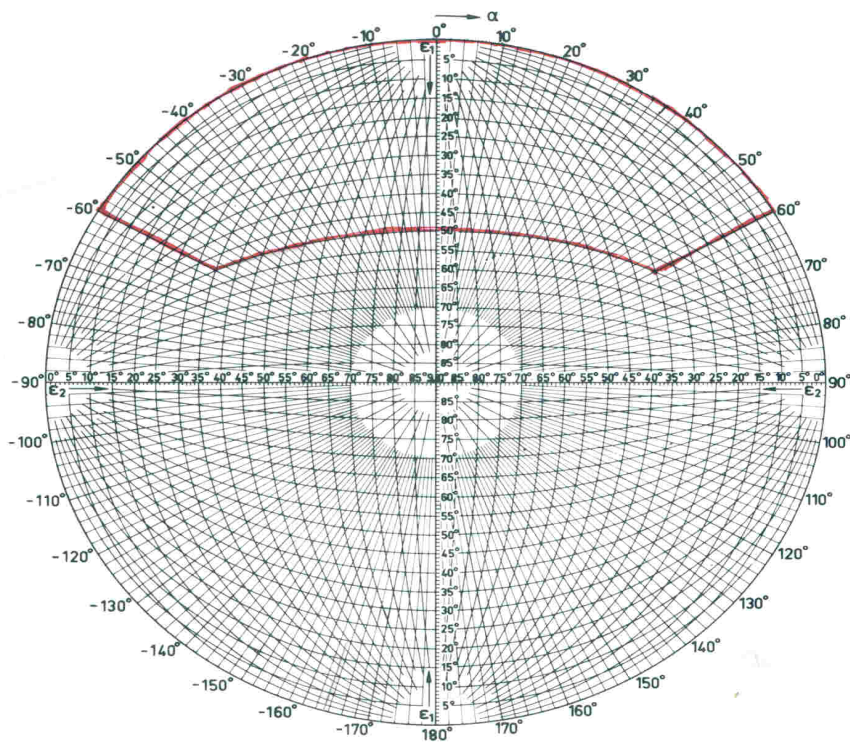
Inleiding

Het zonnebaandiagram kan in combinatie met het radiaaldiagram worden gebruikt om de zontoetreding door een raam te beoordelen. Een en ander wordt duidelijk gemaakt aan de hand van het volgende voorbeeld. Beschouwd wordt de bezonning van een punt P, één meter uit de gevel in het midden van een raam dat in dit voorbeeld op het zuidoosten is georiënteerd.



figuur B-1. bepaling van de hoeken, benodigd voor het intekenen van de projectie van het raam in het radiaal diagram

Het intekenen van het raam op het radiaaldiagram gebeurt op de manier zoals hiervoor beschreven in bijlage A.

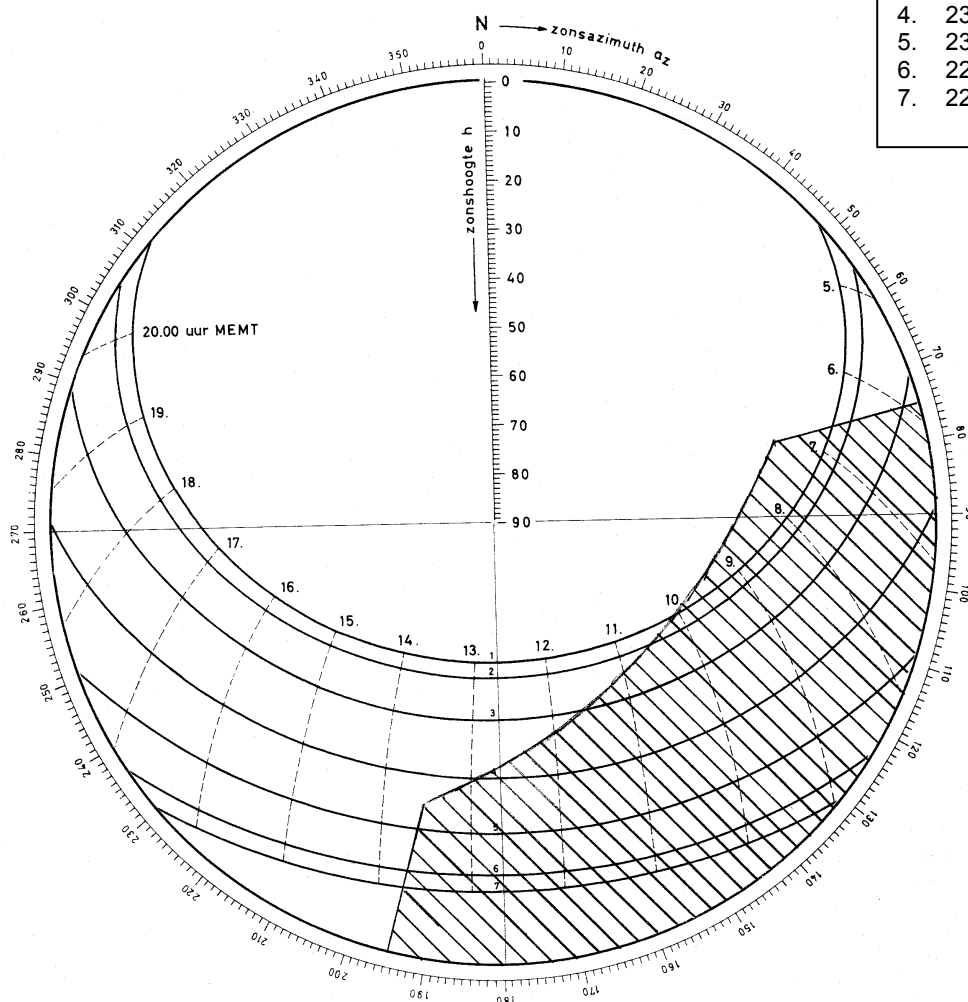


figuur B-2. het raam van figuur B-1 ingetekend in het radiaaldiagram

Nu wordt een transparante versie van het zonnebaandiagram in de juiste richting op het radiaaldiagram gelegd. De bovenkant van het radiaaldiagram (azimut $\alpha = 0^\circ$ voor het intekenen) heeft ten opzichte van de noordpijl een azimuth van 135° ; het raam ligt op het zuidoosten; dit is in figuur B-3 weergegeven. Uit de figuur kan men aflezen dat het punt P op 22 december van 9.00 uur tot 13.45 uur wordt beschenen, op 21 maart en 23 september van 6.35 uur tot 12.55 uur en op 22 juni van 6.40 uur tot 10.05 uur MEMT.

ZONNEBAANDIAGRAM voor 52° N.B.

1. 22 juni
2. 23 juli en 21 mei
3. 23 augustus en 20 april
4. 23 september en 21 maart
5. 23 oktober en 19 februari
6. 22 november en 20 januari
7. 22 december



figuur B-3. projectie van het raam uit het voorbeeld van figuur B-1 in het zonnebaandiagram met behulp van het radiaaldiagram