

# Instraling door de zon in Nederland

Marc van der Sluys  
Lectoraat Duurzame Energie  
Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

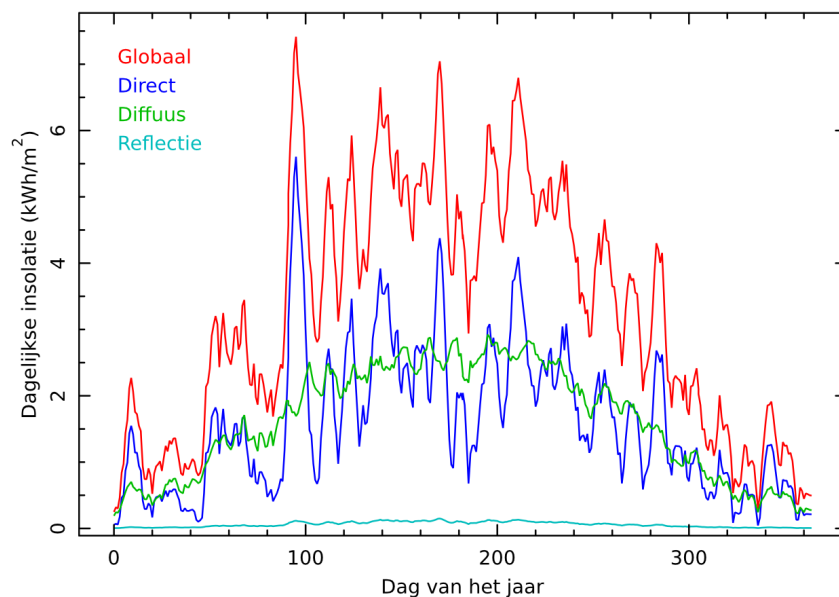
14 oktober 2020

## Trefwoorden

Zon, zonne-energie, insolatie, zonnepanelen, zonneboiler

## 1 De typische instraling van zonlicht in Nederland op een optimaal georiënteerd vlak bedraagt circa 1190 kWh/m<sup>2</sup> per jaar

De zonneconstante, de hoeveelheid zonnestraling aan de rand van de aardatmosfeer, bedraagt circa 1361,5 W/m<sup>2</sup> [1], goed voor 12 MWh/m<sup>2</sup>/jaar. Door het dag- en nachtritme, de hoge breedtegraad van Nederland, reflectie en extinctie in de atmosfeer, en het weer blijft hiervan slechts 10% over die kan worden gebruikt voor het opwekken van zonne-energie. De jaarlijkse zonne-energie die op een horizontaal vlak valt bedraagt ongeveer 1000 kWh/m<sup>2</sup>, en door het vlak optimaal te oriënteren kan dit worden opgeschroefd naar 1190 kWh/m<sup>2</sup> (zie Appendix A).

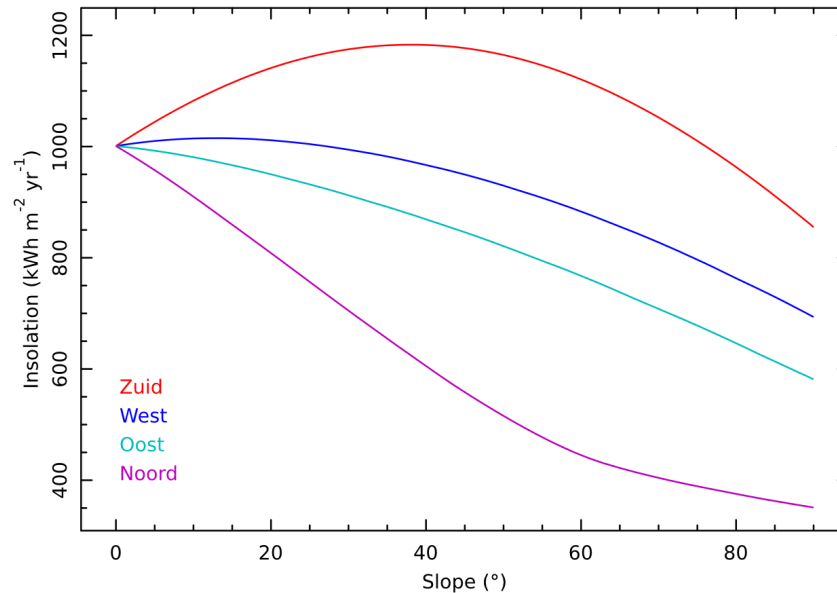


Figuur 1: Dagelijkse instraling van zonlicht in De Bilt, gemiddeld over een week, voor een hellend vlak dat op het zuiden gericht is en een hoek van 38° maakt met de horizontaal. Van (ongeveer) boven naar beneden: globale (totale; rood) directe (blauw), diffuse (groen), en door de grond gereflecteerde (cyaan) straling.

Figuur 1 suggereert dat de directe en diffuse bijdragen van de dagelijkse instraling gemiddeld over het jaar ruwweg gelijk zijn. Als we het gemiddelde van het referentiejaar bekijken zien we dat de directe,

diffuse en reflectiecomponenten respectievelijk 48,6%, 49,6% en 1,8% bedragen.

## 2 De optimale oriëntatie van zonnepanelen of een zonnecollector is richting zuiden, met een hoek van circa $38^\circ$ ten opzichte van de horizontaal

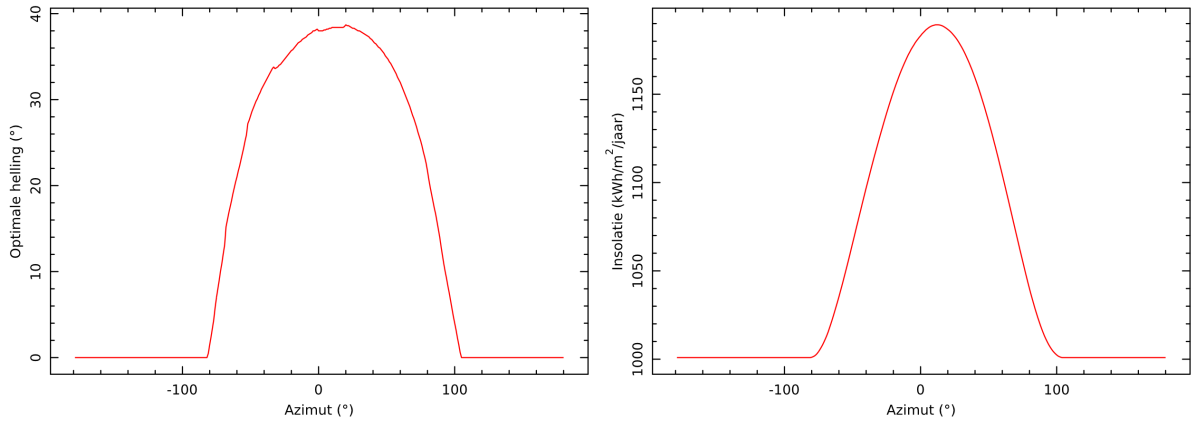


Figuur 2: Jaarlijkse instraling voor zonnepanelen die (van boven naar beneden) op het zuiden, westen, oosten en noorden gericht zijn, als functie van de hoek t.o.v. horizontaal. **Note: Het verschil tussen oost en west is opmerkelijk, en kan mogelijk worden verklaard doordat het 's middags en 's avonds vaker onbewolkt is dan 's ochtends (ochtendmist?).**

In Nederland staat de zon in de zomer circa 16 uur boven de horizon, met een maximale hoogte van ongeveer  $60^\circ$  in het zuiden; in de winter is dat 8 uur en  $15^\circ$ . Wanneer een horizontaal vlak richting zuiden wordt gekanteld, vangt het meer direct zonlicht op, maar minder diffuus licht. Netto wordt hierdoor meer energie opgevangen. Een optimum bevindt zich rond een helling van  $38^\circ$ , waarbij circa 19% meer energie wordt opgevangen dan op een horizontaal vlak.

## 3 Voor daken op het oosten, westen of noorden zijn horizontale panelen optimaal

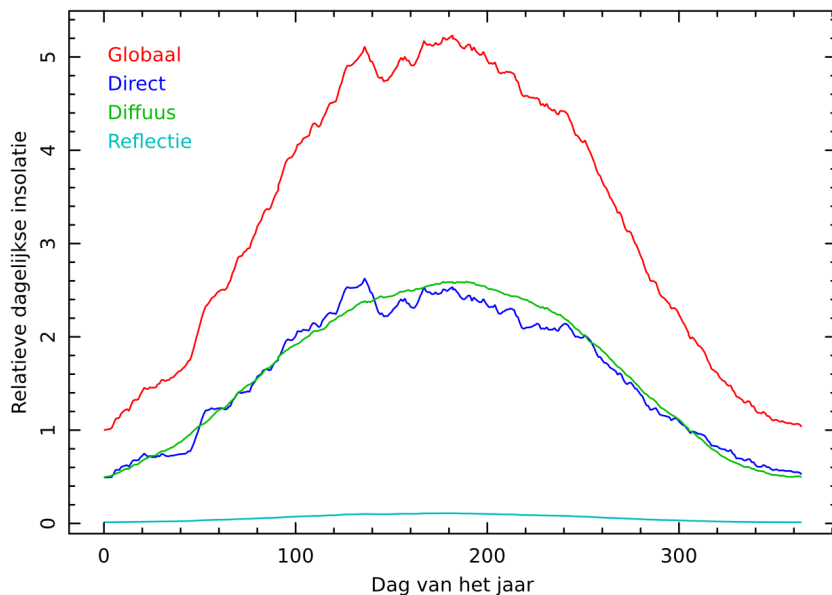
Doordat het in Nederland niet altijd onbewolkt is, bestaat de instraling van zonlicht op een horizontaal vlak voor circa 56% uit diffuse straling en 44% direct zonlicht (voor een optimaal georiënteerd vlak is dit 56%/44%).



Figuur 3: (a) (links) Optimale hellingshoek als functie van de richting van het hellende vlak ( $0^\circ$ =zuid,  $90^\circ$ =west). (b) (rechts) Maximale insolatie op jaarbasis als functie van de richting van het hellende vlak.

## 4 In de zomer is de dagelijkse insolatie circa vijf maal hoger dan ‘s winters

Om de invloed van de seizoenen op de dagelijkse instraling weer te geven, middelen we die instraling (zie Figuur 1) over 91 dagen (ongeveer een seizoen). Het resultaat is weergegeven in Figuur 4. We zien dat in de winter gemiddeld  $1,0 \text{ kWh/m}^2$  invalt, tegen  $5,2 \text{ kWh/m}^2$  in de zomer; ruim vijf keer meer. Wanneer we dit vergelijken met het jaarlijkse gemiddelde, vinden we dat de insolatie ‘s winters circa 69% minder is, en ‘s zomers ongeveer 61% meer dan gemiddeld.



Figuur 4: Dagelijkse insolatie, gemiddeld over 91 dagen (een ‘seizoen’), voor de vier stralingscomponenten.

## 5 Door een paneel de zon te laten volgen kan bijna 28% meer licht worden opgevangen

Wanneer een zonnepaneel de beweging van de zon aan de hemel zou volgen, kan  $1514 \text{ kWh/m}^2/\text{jaar}$  aan straling worden opgevangen, 27,9% meer dan met een statisch paneel met optimale oriëntatie. Er wordt met name meer direct zonlicht ingevangen (43% meer) en in geringere mate meer diffuus licht

(10%). Direct zonlicht maakt hiermee 54,5% uit van de globale straling die kan worden gebruikt voor zonne-energie.

Het volgen van de zon heeft een groter effect in de zomer dan in de winter. De gemiddelde dagelijkse insolatie voor de winter loopt op van 1,0 tot 1,2 kWh/m<sup>2</sup>, in de zomer van 5,2 tot 7,0 kWh/m<sup>2</sup>. De ongelijkheid tussen de seizoenen loopt daarmee op van een factor 5,2 tot 5,8.

Als gekozen wordt om om slechts één as te volgen, is rotatie om een verticale as gunstiger dan om een horizontale as. In het eerste geval wordt jaarlijks 1440 kWh/m<sup>2</sup> ingevangen, 21,7% meer dan in het statische geval en slechts 4,9% minder dan wanneer gevolgd wordt over beide assen.

Voor het roteren om een enkele horizontale as (waarbij het vlak op het zuiden gericht blijft) is het lastig om een optimale helling te bepalen: deze is afhankelijk van de bewolking en kan dus niet op een simpele manier worden berekend, maar moet steeds worden gemeten. In de winter is een steilere hoek dan 38° gunstig om meer direct licht van de laagstaande zon te vangen; in de zomer is dit omgekeerd. Daarnaast is bij meer bewolking een flauwere hoek te prefereren, om meer diffuse straling in te laten vallen. Een tweede variabele hoek impliceert echter volgen over twee assen.

## 6 Voor geconcentreerde zonne-energie is tot 30% minder instraling beschikbaar, doordat alleen direct licht wordt gebruikt

In Sectie 5 zagen we dat wanneer de zon wordt gevolgd in haar dagelijkse beweging aan de hemel, circa 54,5% van de insolatie bestaat uit direct zonlicht. Wanneer gebruik wordt gemaakt van *geconcentreerde* zon (CPV, CSP), moet de zon eveneens worden gevolgd. In dat geval wordt het directe zonlicht gefocuseerd op een kleine zonnecel of collectoroppervlak, terwijl het diffuse licht ongefocuseerd blijft. Bij een concentratiefactor van 10× neemt de bijdrage van diffuus licht af met een factor tien en draagt nog voor 7,7% bij. Hierdoor bedraagt de totale insolatie op de zonnecel per m<sup>2</sup> nog slechts 59,0% van ongeconcentreerde, maar volgende, zonne-energie.<sup>1</sup> Bij een concentratiefactor van 100× wordt de bijdrage van diffuus licht verwaarloosbaar (0,8%) en is de insolatie nog 55,0% van de waarde voor ongeconcentreerde zonne-energie.

Een nuttiger vergelijking is mogelijk die tussen volgende, geconcentreerde zonne-energie en een statisch paneel met optimale oriëntatie en zonder concentratie. In dat geval gebruikt geconcentreerde zonne-energie per m<sup>2</sup> bij 10× concentratie 75,6% en bij 100× concentratie 70,3% van de straling die op een statisch paneel valt.<sup>2</sup>

## A Modellen voor instraling van de zon in Nederland

Voor het modelleren van de instraling van de zon, via direct en diffuus licht, gebruiken we de NEN 5060 norm [2]. Deze bleek een aantal fouten te bevatten, die we hebben verbeterd met behulp van van der Sluys et al. [4], Perez et al. [3] en samengevat in van der Sluys [5]. Met deze aanpassingen werkt de NEN-norm vermoedelijk als bedoeld.

De NEN 5060 norm geeft een simpel algoritme voor het bepalen van de positie van de zon aan de hemel voor een willekeurige plaats en tijd. De nauwkeurigheid hiervan bedraagt gemiddeld 1,4° [5], wat in de meeste gevallen niet meer dan een 2% afwijking geeft in invallende straling; waarschijnlijk voldoende goed voor het beoogde doel. Het berekenen van de directe straling is relatief eenvoudig, en hiervoor wordt de extinctie in de atmosfeer meegewogen. Voor het berekenen van de diffuse straling wordt Perez et al. [3] gebruikt. Straling die door de grond wordt gereflecteerd wordt ook in rekening gebracht, maar deze bijdrage is verwaarloosbaar.

Als input voor de modellen worden klimatologische gebruikt van het KNMI in De Bilt, voor de jaren 1986–2005. De landelijke variatie in bewolking is niet in de modellen inbegrepen, en we nemen aan dat

<sup>1</sup>Een m<sup>2</sup> lens of spiegel in het geval van geconcentreerde zon wordt vergeleken met 1 m<sup>2</sup> paneel voor het geval van niet-geconcentreerde zonne-energie.

<sup>2</sup>Het idee achter CPV is dat de zonnecel efficiënter is (ook duurder, maar er is veel minder oppervlakte nodig), waardoor de elektrische opbrengst toch hoger uitvalt.

de KNMI-data een goed gemiddelde voor Nederland vormen. Uit deze gegevens is een *referentiejaar* samengesteld, waarvoor uurlijkse data voor onder andere de diffuse en directe straling zijn getabelleerd.

Uit deze gegevens hebben we een model opgesteld dat voor ieder uur van het referentiejaar de invallende directe en diffuse straling kan berekenen op een vlak met willekeurige oriëntatie. In dit artikel beschouwen we alleen de invallende energie door straling, niet de eventuele elektrische energie of warmte die hiermee kan worden opgewekt.

## Referenties

- [1] G. Kopp and J. L. Lean. A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. *Geophys. Res. Lett.*, 38:L01706, January 2011.
- [2] NEN. Hygrothermische eigenschappen van gebouwen - Referentieklimaatgegevens, 2008. URL <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NEN-50602008-nl.htm>. Visited 2015-10-21.
- [3] R. Perez, R. Seals, P. Ineichen, R. Stewart, and D. Menicucci. A new simplified version of the perez diffuse irradiance model for tilted surfaces. *Solar Energy*, 39:221–231, January 1987.
- [4] M. van der Sluys, P. van Kan, and P. Sonneveld. CPV in the built environment. In *American Institute of Physics Conference Series*, volume 1679 of *American Institute of Physics Conference Series*, page 080003, September 2015.
- [5] Marc van der Sluys. Errata NEN 5060, 11 2015. URL [http://han.vandersluys.nl/PDFs/2015-10\\_Errata\\_NEN5060.pdf](http://han.vandersluys.nl/PDFs/2015-10_Errata_NEN5060.pdf).