



Koninklijk Nederlands  
Meteorologisch Instituut  
*Ministerie van Infrastructuur en Milieu*

# NMDC innovatieproject: Integraal waterbeheer: kritische zone en onzekerheden

Deelresultaat: referentie meteo

A. Bakker en J. Bessembinder

De Bilt, 2013 | Technisch rapport; TR-341



## Integraal waterbeheer: Kritische zone en onzekerheden

Versie 1

Datum	23 September 2013
Status	Definitief



## Colofon

Titel	Integraal waterbeheer: Kritische zone en onzekerheden
Contactpersoon	Alexander Bakker / Janette Bessembinder <a href="mailto:bakker@knmi.nl">bakker@knmi.nl</a> / <a href="mailto:bessembinder@knmi.nl">bessembinder@knmi.nl</a> KNMI   klimaatdata en advies Utrechtseweg 297   3731 GA De Bilt Postbus 201   3730 AE De Bilt
Auteurs	Alexander Bakker — T 030 2206 705 Janette Bessembinder — T 030 2206 853



## Inhoud

### Colofon 5

### Inhoud 7

#### **1 Inleiding 9**

- 1.1 Aanleiding en doel 9*
- 1.2 Aanpak van het project 10*
- 1.3 Leeswijzer 10*
- 1.4 Informatiebehoefte 11*

#### **2 Meteorologische referentiereeksen 12**

- 2.1 Informatiebehoefte 12*
- 2.2 Beschikbare data 13*
- 2.3 Aanvullen globale straling 14*
- 2.4 Verdamping 15*

#### **3 Controle tijdreeksen Walcheren 17**

- 3.1 Neerslag 17*
- 3.2 Temperatuur 17*
- 3.3 Straling 19*
- 3.4 Overige variabelen 19*

#### **4 Klimaatscenario's en bijpassende tijdreeksen 20**

- 4.1 KNMI'06 klimaatscenario's 20*
- 4.2 Transformatieprogramma 21*
- 4.3 Verdamping 21*
- 4.4 Straling en zonneshijnduur 21*
- 4.5 Dampspanning 22*

#### **5 Vergridde meteorologische datasets 23**

- 5.1 Neerslag 23*
- 5.2 Verdamping 24*

#### **6 Beschikbaarheid ontwikkelde meteoreeksen 25**

### Referenties 26





# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doel

De komende decennia zullen het klimaat en de sociaaleconomische omstandigheden in Nederland verder veranderen. Dit heeft consequenties voor de kwantiteit en kwaliteit van grond- en oppervlaktewater en de landbouw en natuur die afhankelijk zijn van voldoende water van de juiste kwaliteit. Om goed hierop te kunnen anticiperen hebben stakeholders behoefte aan adequate informatie. Echter, huidige grond- en oppervlaktewater modellen en daaraan te koppelen modellen die hydrologische effecten vertalen naar de gewasopbrengst in landbouw en natuurwaarden geven vaak niet de gewenste informatiebehoefte. Ook worden de onzekerheden over de modeluitkomsten niet transparant in beeld gebracht. Een bijkomend probleem is dat de beleidsvragen zelf ook niet vastomlijnd zijn en snel kunnen wijzigen.

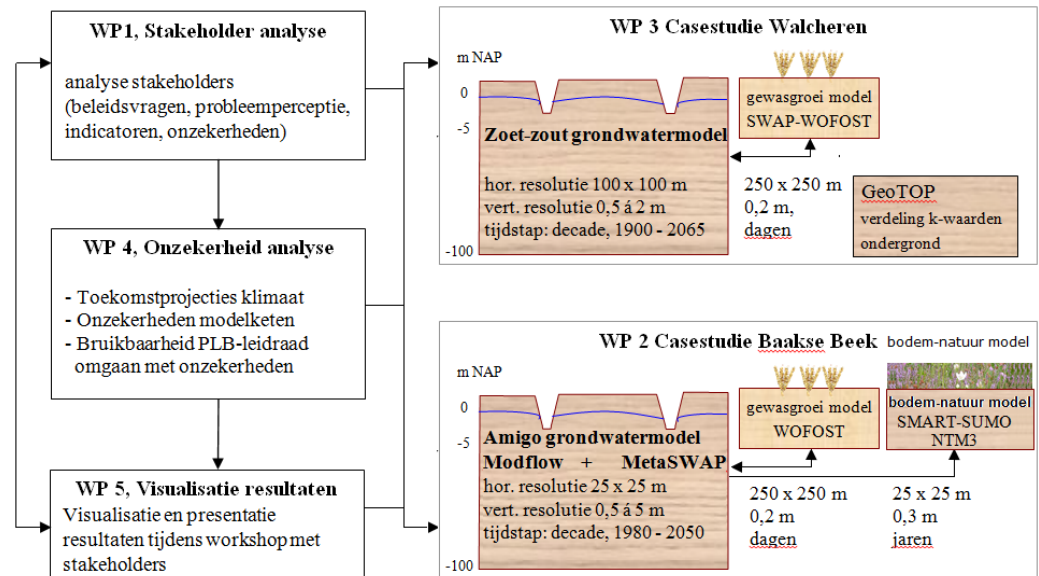
Diverse kennisinstituten houden zich bezig met complexe maatschappelijke vraagstukken op het gebied van het klimaat, milieu en de effecten op de leefomgeving. Om een verdere integrale aanpak te stimuleren en te structureren en om versnippering van de onderzoeksresultaten te voorkomen, is het Nationaal Modellen- en Data Centrum (NMDC) in 2010 opgericht. Het NMDC wil toegepaste modellen voor strategisch onderzoek op het gebied van de leefomgeving harmoniseren en integreren. Daartoe heeft het NMDC een onderzoeksprogramma opgesteld voor de periode 2010 – 2012 gericht op innovatie, leerprojecten en verbetertrajecten. Binnen dit programma wordt door Alterra, TNO, Deltares, KNMI en PBL in nauwe samenwerking het innovatieproject "Integraal waterbeheer, van kritische zone tot kritische onzekerheden" uitgevoerd. De doelen van dit project zijn om:

- Methodes te ontwikkelen om modellen voor hydrologie, gewasopbrengst landbouw en natuur te koppelen en te schalen (tijd- en ruimteschalen) om uiteindelijk beter te kunnen aansluiten bij de informatiebehoeften van stakeholders;
- De onzekerheden rond data, modelconcepten en klimaatverandering te analyseren en methodes te ontwikkelen om deze nader kwantitatief en kwalitatief in kaart te brengen;
- Bij de onzekerheidsanalyse ook te kijken naar onzekerheden die voortkomen uit verschillende percepties die stakeholders rond de problemen zoals verzilting en gevolgen van klimaatverandering hebben;
- De modelresultaten en onzekerheden zodanig in kaart brengen (visualiseren) en interactief te presenteren dat de resultaten beter aansluiten bij de informatiebehoefte van de waterbeheerders en andere stakeholders;
- De samenwerking tussen de Nederlandse kennisinstituten te bevorderen opdat zijn hun kennis in de toekomst efficiënter en beter op elkaar afgestemd kunnen inzetten;
- Ervaring op te doen met de PBL-leidraden 'Stakeholderparticipatie' en 'Omgaan met onzekerheden' en te evalueren of dit meerwaarde biedt voor de stakeholder- en onzekerheidsanalyse.

## 1.2

### Aanpak van het project

Het project is uitgevoerd in 5 werkpakketten zoals aangegeven in figuur 1.1.



**Figuur 1.1** De 5 werkpakketten van het project: Integraal Waterbeheer, kritische zone en onzekerheden

In de aanpak staat centraal dat in 2 concrete deelgebieden (hoog- en laag Nederland) innovatieve modellen voor de hydrologie, landbouwopbrengsten en natuur worden opgezet, aan elkaar worden gekoppeld en doorgerekend voor klimaatscenario's waarvan de uitlevering door het KNMI specifiek op de invoer van modellen is afgestemd. In werkpakket 2 is dit de Baakse beek, een zandgebied in de achterhoek en in werkpakket 3 is dit een gebied in Walcheren, een kleigebied waar de scheiding tussen zoet en zout grondwater vrij ondiep is. In beide gebieden worden de stakeholders bevraagd en hun informatiebehoefte geanalyseerd (werkpakket 1). De onzekerheden worden in werkpakket 4 apart in beeld gebracht via een theoretisch kader en door toepassing van de PBL-leidraad. De resultaten worden gevisualiseerd in werkpakket 5.

## 1.3

### Leeswijzer

Het onderhavige rapport geeft de deelresultaten van werkpakket 2 en 3 voor wat betreft de meetreeksen die door het KNMI zijn gegenereerd voor de toepassing in de cases.

De verschillende modellen die in dit project gebruikt worden hebben allemaal meteorologische tijdreeksen op dagbasis als invoer nodig, soms aangevuld met de uitvoer van andere modellen. Voor dit project zijn een historische dataset met tijdreeksen en vier datasets met toekomstige tijdreeksen die passen bij de KNMI'06 klimaatscenario's (Van den Hurk et al, 2006; 2007) samengesteld.

Aan de basis voor de verschillende sets tijdreeksen liggen meteorologische observaties zoals gemeten op automatische weerstations (AWS) en neerslagstations van het KNMI. Op deze tijdreeksen zijn vervolgens een aantal bewerkingen uitgevoerd om:

- de reeksen zo representatief mogelijk te maken (hoofdstuk 2)
- ontbrekende stralingsdata aan te vullen (hoofdstuk 3)

- toekomstige tijdreeksen te genereren (hoofdstuk 4)
- neerslag- en verdampingsdata te vergrinden (hoofdstuk 5)
- Meteorologische referentiereeksen

#### 1.4

##### **Informatiebehoefte**

Voor beide cases worden geohydrologische modellen ingezet waarmee op basis van de neerslag en factoren voor verdamping op dagbasis de aanvulling van het grondwater, aan- en afvoer naar oppervlaktewater en de grondwaterstroming wordt berekend. Daarnaast worden in beide cases ook een gewasmodel en in de Baakse Beek ook een natuurvoorspellingsmodel ingezet die op basis van de meteorologische omstandigheden in combinatie met de door het geohydrologische model berekende vochttoestand van de bodem de groei van vegetatie simuleren.

## 2 Meteorologische referentiereksen

### 2.1 Informatiebehoefte

Voor beide cases worden geohydrologische modellen ingezet waarmee op basis van de neerslag en factoren voor verdamping op dagbasis de aanvulling van het grondwater, aan- en afvoer naar oppervlaktewater en de grondwaterstroming wordt berekend. Daarnaast worden in beide cases ook een gewasmodel en in de Baakse Beek ook een natuurvoorspellingsmodel ingezet die op basis van de meteorologische omstandigheden in combinatie met de door het geohydrologische model berekende vochttoestand van de bodem de groei van vegetatie simuleren.

Beide modelstudies maken gebruik van de volgende meteorologische variabelen op dagbasis:

- RD 24-uursom neerslag van 8.00 UT vorige dag tot 8.00 UT huidige dag [mm]
- TN etmaalminimum temperatuur [°C]
- TX etmaalmaximum temperatuur [°C]
- TG etmaalgemiddelde temperatuur [°C]
- SP relatieve zonneshijnduur [%]
- Q globale straling [kJm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>]
- E dampspanning [hPa]
- FG etmaalgemiddelde windsnelheid [ms<sup>-1</sup>]

Referentiegewasverdamping berekend volgens Makkink wordt ook bijgeleverd ter vergelijking:

- EV24 etmaalsom referentiegewasverdamping volgens Makkink [mm]

Verder maken de gewas- en natuurmodellen ook gebruik van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de lucht.

#### *Informatiebehoefte meteo Walcheren*

In de casestudie voor Walcheren ligt het accent van de modellering op de beschikbaarheid van zoetwater in de vorm van regenwaterlenzen die zich in tijden van neerslagoverschot vormen bovenop het ondiep aanwezige en opkwellende zoute grondwater. Deze beschikbaarheid wordt kritisch tijdens droge perioden. De interjaarlijkse variabiliteit speelt hier daarom een belangrijke rol. De zoutgehalten van het grondwater zijn de afgelopen decennia niet constant omdat ze worden beïnvloed door toestroming zout grondwater vanuit de diepte en de kust en daarmee het peilbeheer en de zeespiegelstijging. Om dit adequaat te simuleren wordt met het geohydrologische model een relatief lange en aaneengeschakelde periode doorgerekend. Vanwege deze kenmerken is door het KNMI nagegaan of en hoe met zo lang mogelijke meteorologische reeksen gerekend kan worden (om de natuurlijke variabiliteit en de kans op extremen goed weer te geven). Ruimtelijk kan volstaan worden met reeksen die in één meetstation worden verzameld.

Voor Walcheren wordt met het geohydrologische model gerekend met de referentieperiode 1957-2010. Het gewasmodel rekt alleen met data van de laatste 10 jaar. Met de 4 klimaatscenario's wordt gerekend voor het zichtjaar 2050 (vier plausibele meteorologische datasets van 30 jaar (1936-2065) die passen bij de desbetreffende scenario's ≠ voorspelling). Het zoutgehalte van het grondwater is mede afhankelijk van de trage migratie van het zout in de diepere ondergrond en nabij de kust. Daarom is het hier ook nodig om te rekenen met een aaneengesloten modelperiode en is dus ook meteodata nodig voor de periode 2011 – 2035.

*Informatiebehoefte meteo Baakse Beek*

In de pilot voor de Baakse Beek is het grondwater tot grote diepte zoet. Het accent ligt hier op de beschikbaarheid van het grondwater voor de vochtvoorziening van gewassen en grondwaterafhankelijke natuur, de grondwaterstanden en de bassenrijkdom van het (kwel)water in de wortelzone van natuur. Het interessegebied is voor de Baakse Beek veel groter dan het modelgebied in Walcheren. Daarom is bij het genereren van de meteorieksen ook gekeken hoe de ruimtelijke verschillen kunnen worden meegenomen.

Voor de Baakse Beek wordt met het geohydrologische model, het gewas- en natuurmodel gerekend met de referentieperiode 1981-2010. Als klimaatscenario's wordt gerekend met het zichtjaar 2050. In deze studie wordt gekeken naar het verschil tussen de referentieperiode en de toekomst. Om de scenario's te initialiseren is het echter wel van belang om het model tussen 1910 en 1936 door te laten rekenen. Hiervoor is ook meteo data nodig. Omdat deze periode niet geëvalueerd wordt, zijn de eisen aan deze reeksen minder streng. De tussenliggende meteo is door de modelleers zelf geprepareerd.

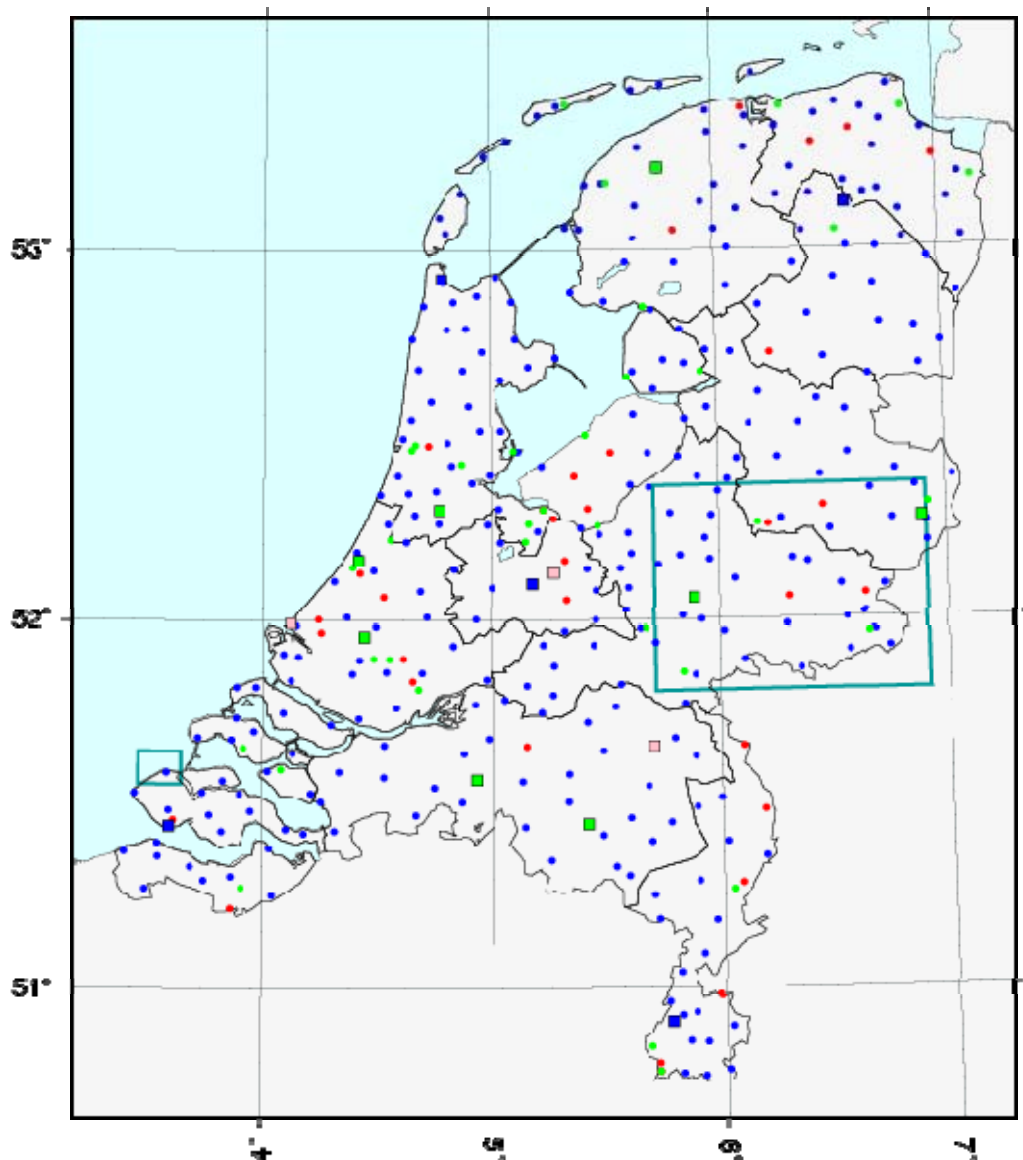
## 2.2 Beschikbare data

In figuur 2.1 zijn alle beschikbare meteo meetstations van het KNMI weergegeven met daarop geprojecteerd de modelgebieden van de cases.

Neerslag wordt gebaseerd op de KNMI neerslagstations (cirkels in Figuur 2.1) waar elke morgen om 8.00 UT de neerslag van de afgelopen 24 uur wordt afgetapt. De overige variabelen worden gebaseerd op de KNMI-weerstations (AWS) (vierkanten Figuur 2.1).

In het modelgebied van de Baakse Beek liggen twee AWS-en (275-Deelen en 290-Twenthe). Binnen het gebied is, met uitzondering van de neerslag, de klimatologie van alle andere variabelen redelijk homogeen ([www.klimaatatlas.nl](http://www.klimaatatlas.nl)). Daarom kan voor deze variabelen volstaan worden met de tijdreeksen van metingen op deze twee stations. Globale straling (Q) wordt op 275-Deelen en 290-Twenthe pas gemeten sinds respectievelijk 10 en 16 april 1987. Stralingsdata zijn aangevuld op basis van De Bilt en relatieve zonneshijnduur (paragraaf 2.3). Neerslag kent wel grote ruimtelijke verschillen op dagbasis en in de 30-jarige klimatologie. Daarom wordt voor de neerslag gebruik gemaakt van een vergride dataset op dagbasis (zie hoofdstuk 5).

Het modelgebied voor de studie op Walcheren (Figuur 2.1, kleine vierkante kader) bevat één neerslagstation 751-Vrouwenpolder waar vanaf 1 januari 1951 dagelijks neerslag wordt afgetapt. Het dichtstbijzijnde AWS, 310-Vlissingen ligt op ongeveer 15 km. Dit station is opgestart in 1906. Globale straling wordt pas gemeten vanaf juli 1963, maar redelijk nauwkeurige schattingen kunnen gemaakt worden vanaf juli 1957 (zie paragraaf 2.3). Binnen het relatief kleine modelgebied is de ruimtelijke spreiding van de neerslag zowel voor de klimatologie als op individuele dagen zeer klein (althans in de beschikbare vergride producten; zie ook hoofdstuk 3). Daarom wordt voor deze modelstudie gebruik gemaakt van neerslagdata van Vrouwenpolder. Voor de overige variabelen wordt gebruik gemaakt van AWS 310-Vlissingen (soms na kleine aanpassing, zie hoofdstuk 3).



**Figuur 2.1** KNMI-stations operationeel gedurende gedeelte of de hele periode 1981-2010. Neerslagstations worden weergegeven met cirkels; blauw stations waren operationeel gedurende volledige periode, groene stations zijn opgestart en rode in deze periode. Automatische weerstations (AWS) die gedurende de gehele periode operationeel waren worden weergegeven met vierkanten. De periode dat de stralingsdata zijn gestart wordt weergegeven met kleuren; blauw voor 1980, groen in de jaren '80 en roze in de jaren '90. Grote vierkante kader bevat modelgebied Baakse Beek en kleine kader modelgebied Noord Walcheren.

### 2.3

#### Aanvullen globale straling

De gebruikte modellen vereisen nauwkeurige metingen of schattingen op dagbasis van alle hierboven genoemde variabelen. Straling ( $Q$ ) wordt van deze variabelen het kortst gemeten en is daarom sterk bepalend voor de maximale reekslengte.

Op 275-Deelen en 290-Twenthe wordt pas sinds april 1987 straling gemeten en op 310-Vlissingen sinds juli 1963. Globale straling gemeten op 260-De Bilt kan gebruikt worden voor een nauwkeurige schatting van dagelijkse straling op de drie andere AWS-en. Hiermee zijn stralingsreeksen van AWS 275 en 290 verlengd tot en met 1 januari 1981 en de stralingsreeks van AWS 310 tot en met 1 juli 1957.

Traditioneel worden deze reeksen aangevuld met stralingsreeksen van andere AWS-en. Via "trial-and-error" is voor deze studie een alternatieve methode ontwikkeld, waarbij een schaling met de straling van De Bilt met een factor op basis van het verschil in relatieve zonneshijnduur zeer goede resultaten gaf (vergelijking 1 en figuur 2.2).

$$\hat{Q}_{stm} = Q_{260} \exp(a(SP_{stm} - SP_{260}) + b) \quad (1)$$

Waar

$\hat{Q}_{stm}$  = de geschatte straling voor station *stm*

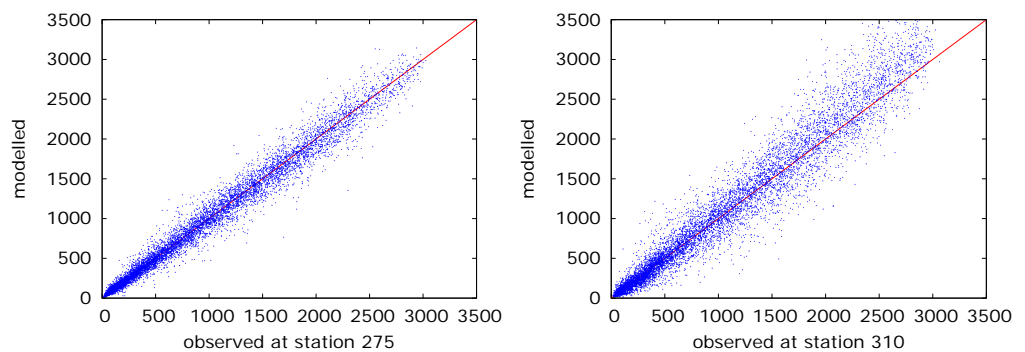
$Q_{260}$  = de gemeten straling op station 260-De Bilt

$SP_{stm}, SP_{260}$  = de gemeten relatieve zonneshijnduur op stations *stm* en 260-De Bilt

$a, b$  = coëfficiënten geschat uit de lineaire regressie (vergelijking 2)

$$Q_{stm} - Q_{260} = a \ln(SP_{stm} - SP_{260}) + b \quad (2)$$

voor de overlappende periode met stralingsmetingen.



**Figuur 2.2** Gemeten vs gemodelleerde (vgl. 1 en 2) globale straling [ $\text{kJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ] voor AWS 275 (links) en 310 (rechts)

## 2.4

### Verdamping

De referentiegewasverdamping  $E_{ref}$  [mm] is afgeleid van van de gemiddelde temperatuur  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] en de geschatte of gemeten globale straling  $Q$  [ $\text{J}/\text{m}^2$ ]. Hierbij is gebruik gemaakt van de Makkink-formule (Makkink, 1957) zoals geschreven in het handboek waarnemingen van het KNMI (vergelijking 3).

$$E_{ref} = \frac{1000 \cdot 0,65 \cdot \delta(T)}{(\delta(T) + \gamma(T)) \cdot \rho \cdot \lambda(T)} Q \quad (3)$$

Waarbij  $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$  de soortelijke massa van water is.  $\delta(T)$  [ $\text{hPa}/^{\circ}\text{C}$ ] de afgeleide van de verzadigingsdampspanning naar de temperatuur is, die via de verzadigingsdampspanning  $e_s$  [ $\text{hPa}$ ] (vergelijking 4) wordt afgeleid van  $T$  (vergelijking 5).

$$e_s(T) = 6,107 \cdot 10^{7,5 \frac{T}{237,3+T}} \quad (4)$$

$$\delta(T) = \frac{7,5 \cdot 237,3}{(237,3+T)^2} \cdot \ln(10) \cdot e_s(T) \quad (5)$$

De psychrometerconstante  $\gamma(T)$  [hPa/°C] en de verdampingswarmte van water  $\lambda(T)$  [J/kg] zijn ook afhankelijk van T volgens de vergelijkingen 6 en 7.

$$\gamma(T) = 0,646 + 0,0006 \cdot T \quad (6)$$

$$\lambda(T) = 1000 \cdot (2501 - 2,38 \cdot T) \quad (7)$$

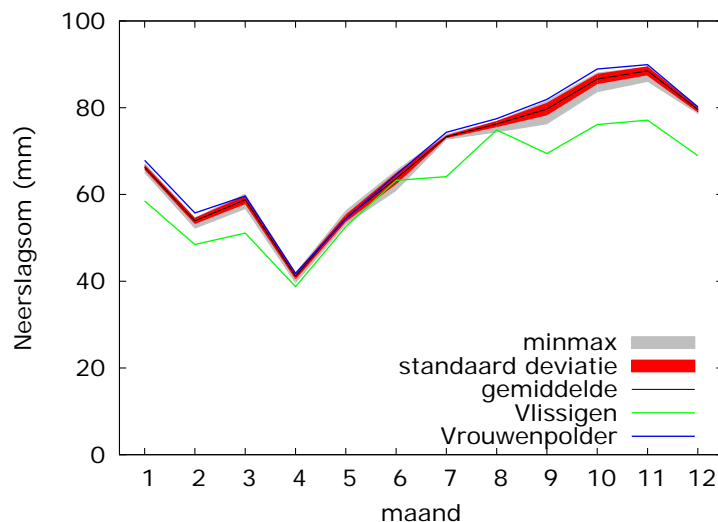


### 3 Controle tijdreeksen Walcheren

De Zeeuwse eilanden kennen grote gradiënten in de klimatologie van diverse meteorologische variabelen (Sluijter et al., 2011). Het modelgebied op Noord Walcheren is echter zo klein dat ruimtelijke verschillen in de klimatologie en dagelijkse waarden erg klein zijn. Daarom is het niet nodig om ruimtelijke differentiatie aan te brengen in de meteorologische reeksen. Er wordt aangenomen dat het AWS 310-Vlissingen representatief is voor de natuurlijke temporele variabiliteit. In dit hoofdstuk wordt getest of ook de klimatologie zoals gemeten door AWS 310-Vlissingen overeenkomt met de klimatologie in de Noord Walcheren zoals geschat voor de klimaatatlas. Bij te grote verschillen zijn kleine aanpassingen noodzakelijk.

#### 3.1 Neerslag

In het modelgebied op Walcheren ligt maar 1 neerslagstation, 751-Vrouwenpolder. Neerslag wordt daar, net als bij de meeste naburige stations, gemeten sinds 1951 en is dus beschikbaar voor de volledige periode, waarvoor ook geschatte of gemeten straling beschikbaar is. In de periode 1981-2010 werd in Vrouwenpolder iets meer neerslag gemeten dan het gebiedsgemiddelde in het modelgebied volgens de klimaatatlas (figuur 3.1). Ruimtelijk is er enige spreiding in maandgemiddelde neerslag, maar deze is klein ten opzichte van de natuurlijke sub- en interjaarlijkse variabiliteit. De neerslag zoals gemeten op AWS 310-Vlissingen wijkt overigens sterk af.

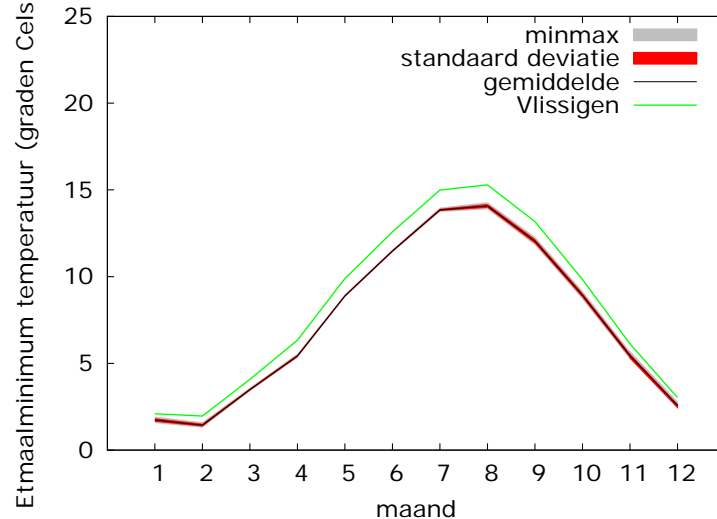


**Figuur 3.1** Klimatologie van de neerslagsom per maand van AWS 310-Vlissingen (groene lijn), van gemiddelde in modelgebied Noord Walcheren volgens klimaatatlas (zwarte lijn) en neerslagstation 751-Vrouwenpolder (blauwe lijn) voor de periode 1981-2010. Rode arcering geeft standaarddeviatie van de ruimtelijke spreiding volgens de klimaatatlas binnen het modelgebied en de grijze arcering het minimum en maximum.

#### 3.2 Temperatuur

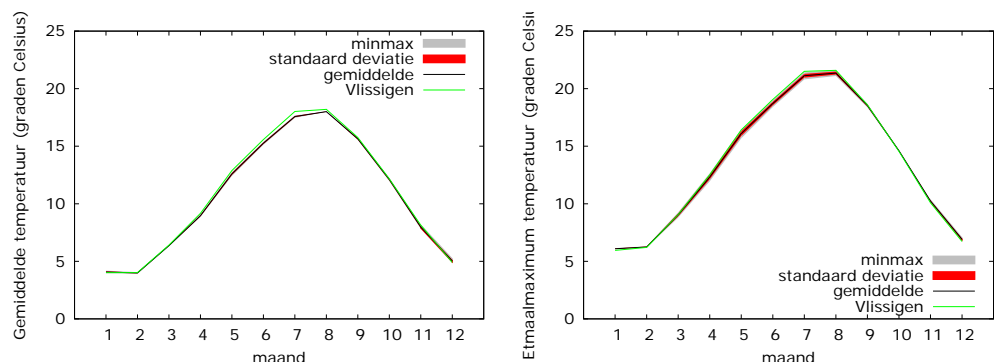
De ruimtelijke verschillen in minimum, maximum en gemiddelde temperatuur (TN, TX en TG) zijn in Zeeland relatief groot mede door een grote invloed van de

overgang van zee naar kust. In de klimaatatlas is het kusteffect op de temperatuur zo goed mogelijk meegenomen. Vooral in de zomer is de minimumtemperatuur zoals gemeten op AWS 310-Vlissingen veel hoger dan de gemiddelde minimumtemperatuur in het modelgebied (figuur 3.2). Dit komt doordat in AWS 310-Vlissingen, gelegen op een havenpier aan de Westerschelde, het effect van de zee (zeewatertemperatuur) groot is en het 's nachts minder kan afkoelen dan iets meer landinwaarts zoals bij het studiegebied.



**Figuur 3.2** Klimatologie maandgemiddelde etmaalminimum temperatuur in Vlissingen (groen) en van gemiddelde in modelgebied Noord Walcheren volgens klimaatatlas (zwart). Arceringen als in figuur 3.1.

Ook de gemiddelde en maximum temperatuur zijn in station 310-Vlissingen iets hoger dan in maandklimatologieën voor het modelgebied. Dit verschil komt doordat bij de interpolatie voor de klimaatatlas rekening is gehouden met een zeer sterke temperatuurgradiënt ten opzichte van een strak getrokken kustlijn; in deze denkbeeldige kustlijn zijn details als de Westerschelde niet zichtbaar (figuur 3.3).



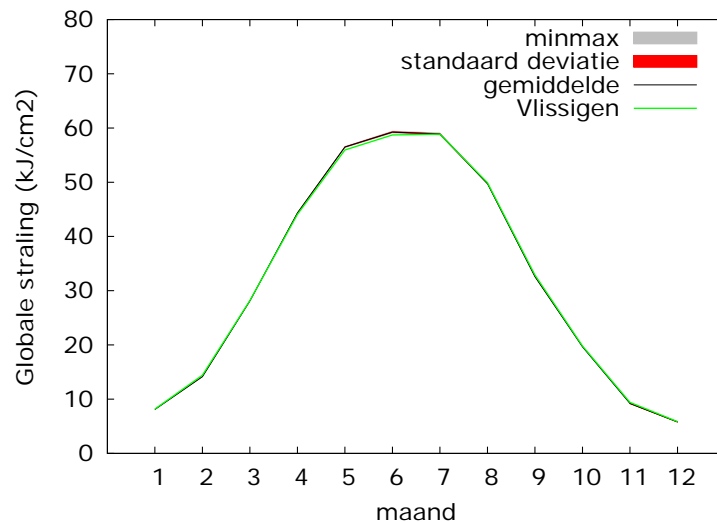
**Figuur 3.3** Klimatologie etmaalgemiddelde (links) en etmaalmaximum (rechts) temperatuur per maand in Vlissingen (groen) en van gemiddelde in modelgebied volgens klimaatatlas (zwart). Arcering zoals in figuur 3.1.

De ruimtelijke spreiding in de maandklimatologieën van TN, TX en TG zijn volgens de klimaatatlas zeer klein ten opzichte van de jaarlijkse gang (zie grijze en rode arcering in figuur 3.2 en 3.3). Daarom kan er volstaan worden met één tijdreeks voor het gehele gebied. Het verschil met de meetwaarden van Vlissingen is wel aanzienlijk. Daarom wordt een simpele correctie uitgevoerd om de temperatuur van Vlissingen zo representatief mogelijk te maken voor het modelgebied; De dagelijkse

temperatuur wordt geschat door het verschil in maandklimatologie ( $T_{\text{NoordWalcheren}} - T_{\text{Vlissingen}}$ ) op te tellen bij de dagelijkse temperatuurreeksen van Vlissingen.

### 3.3 Straling

De verschillen in de stralingsklimatologie binnen het modelgebied op Walcheren en met station 310-Vlissingen zijn zeer klein ten opzichte van de natuurlijke variabiliteit en de jaarlijkse gang (figuur 3.4). Er kan gebruik gemaakt worden van de gemeten en geschatte globale straling van station 310-Vlissingen.



**Figuur 3.4** Klimatologie van globale straling in Vlissingen (groen) en van gemiddelde in modelgebied volgens klimaatatlas (zwart). Arcering zoals in figuur 3.1.

### 3.4 Overige variabelen

Voor wind, dampspanning en relatieve vochtigheid is gebruik gemaakt van de gegevens zoals gemeten op of geschat voor AWS 310-Vlissingen.

#### *Relatieve vochtigheid en dampspanning*

Afgaande op de klimaatatlas zijn de ruimtelijke verschillen in relatieve vochtigheid binnen Nederland en op Walcheren klein. Een klimatologische correctie is dan ook niet noodzakelijk. De actuele dampspanning hangt via vergelijking 4 af van de temperatuur en relatieve vochtigheid en hoeft dus niet apart gecheckt te worden.

#### *Wind*

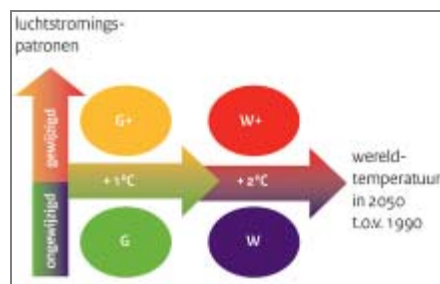
Voor de wind bestaan er lokaal juist wel grote verschillen. De verschillen zijn echter klein ten opzichte van de normale dag-op-dag variatie. Bovendien is de invloed van de wind op de actuele verdamping klein in een relatief vochtig gebied. Daarom wordt er vanuit gegaan dat de daggemiddelde wind zoals gemeten in Vlissingen representatief is voor de wind in het modelgebied; i.e. de discrepanties zullen een beperkte invloed hebben op de uiteindelijke modeluitkomsten.

## 4 Klimaatscenario's en bijpassende tijdreeksen

Tijdreeksen voor de toekomst worden verkregen door de veranderingsfactoren volgens de KNMI'06 klimaatscenario's (zie paragraaf 4.1) toe te passen op de historische meteorologische tijdreeksen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de laatste versie 2.0 van het transformatieprogramma, dat is ontwikkeld door het KNMI (zie paragraaf 4.2). Voor straling en dampspanning zijn geen veranderingsfactoren beschikbaar. Toekomstige tijdreeksen voor deze variabelen zijn indirect afgeleid (zie paragraaf 4.3 t/m 4.5). Voor wind worden de historische tijdreeksen zonder transformatie gebruikt, omdat de verandering veel kleiner is dan de interjaarlijkse variabiliteit.

### 4.1 KNMI'06 klimaatscenario's

In mei 2006 lanceerde het KNMI vier algemene klimaatveranderingsscenario's voor Nederland (Van den Hurk et al., 2006; 2007). Deze KNMI'06 scenario's geven voor het jaar 2050 en 2100 voor zowel de winter als de zomer de verandering van diverse klimatologische variabelen zoals de gemiddelde neerslag en temperatuur, aantal natte dagen, maar ook de verandering in extremen. De geprojecteerde verandering is afhankelijk van de wereldwijde temperatuurstijging en van veranderingen in de grootschalige atmosferische circulatie.



De scenario's zijn onder andere bedoeld om verkennende studies uit te voeren naar de effecten van klimaatverandering en mogelijke adaptatie. De klimaatscenario's doen geen uitspraken over het weer op een bepaalde datum, maar alleen over het gemiddelde weer en de kans op extreem weer in de toekomst. Het huidige klimaat is hiervoor beschreven met gegevens over de periode 1976 tot en met 2005 (ofwel het klimaat in de 30 jaar rond het 1990). De scenario's voor rond 2050 en rond 2100 zijn representatief voor het klimaat in de periode rond dat jaar.

In een aanvulling (2009) concluderen Klein Tank en Lenderink dat de KNMI'06 klimaatscenario's niet zijn achterhaald door recente wetenschappelijke ontwikkelingen tussen 2006 en 2009. Ook volgens de huidige inzichten beschrijven de vier KNMI'06 scenario's samen de meest waarschijnlijke veranderingen in Nederland met bijbehorende onzekerheden. Nieuwe inzichten geven wel aan dat de snelle opwarming van de afgelopen jaren in Nederland en West-Europa het beste wordt beschreven in de W/W+ scenario's. De toename van de intensiteit van relatief kortdurende zware buien in de zomer is goed weergegeven in de G/W scenario's en wordt in de G+ en W+ scenario's mogelijk onderschat met de verandering die wordt gegeven voor de hoeveelheid neerslag die eens in de 10 jaar in 24 uur wordt overschreden.

## 4.2 Transformatieprogramma

### *Achtergrond*

Spoedig na het uitkomen van de klimaatscenario's kwam vooral uit hydrologische hoek de roep om bijpassende meteorologische tijdreeksen op dagbasis voor het hele jaar rond. Hiervoor is eind 2006 een interpolatiemethode bedacht om de veranderingsfactoren voor de winter en zomer te vertalen naar twaalf maandwaarden (Bakker en Bessembinder, 2012). Verder is er een online-tool ([www.knmi.nl/klimaatscenarios/tijdreekstransformatie](http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/tijdreekstransformatie)) beschikbaar gesteld die deze veranderingsfactoren (zowel in het gemiddelde als in extremen) toepast op historische tijdreeksen met neerslag en temperatuur. Sinds het beschikbaar komen van de eerste versie zijn er enkele veranderingen doorgevoerd om de temporele en ruimtelijke consistentie te verbeteren. De verschillende versies zijn gebruikt in een groot aantal wetenschappelijke en populair-wetenschappelijke publicaties (zie Bessembinder et al., 2011; Bakker en Bessembinder, 2012).

In 'Aanvullingen op de KNMI'06 klimaatscenario's' (2009) geven Klein Tank en Lenderink aan dat de mogelijke verandering van het klimaat waarschijnlijk niet homogeen over Nederland verdeeld is. In de G+ en W+ scenario's verwachten we bijvoorbeeld dat de hevige buien in de zomer in de kustzone relatief meer in intensiteit kunnen toenemen dan meer in het binnenland. In de volgende generatie klimaatscenario's zal dit verschil waarschijnlijk beter gekwantificeerd worden, maar de KNMI'06 scenario's en bijbehorende tools zoals het transformatieprogramma kennen nog geen ruimtelijke differentiatie. Ruimtelijke verschillen tussen verschillende getransformeerde tijdreeksen (zelfde scenario en tijdshorizon) worden dus louter veroorzaakt door verschillen tussen de historische tijdreeksen.

### *Transformatie*

De neerslagtransformatie bestaat uit twee stappen. Eerst wordt het aantal natte dagen aangepast door natte dagen "droog" of droge "nat" te maken. Vervolgens wordt een machtsfunctie toegepast om de hoeveelheid van de natte dagen aan te passen.

Voor de daggemiddelde temperatuur gebruikt het transformatieprogramma een "pragmatic linear percentile scaling" om de absolute verandering te bepalen. Voor de minimum en maximum temperatuur op dezelfde dag wordt dezelfde absolute verandering toegepast.

## 4.3 Verdamping

Voor de referentiegewasverdamping  $E_{ref}$  is geen apart programma beschikbaar. Er zijn echter wel veranderingen per maand gepubliceerd (Bakker en Bessembinder, 2012; [http://climexp.knmi.nl/Scenarios\\_monthly/PotET.pdf](http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/PotET.pdf)). Omdat de KNMI'06 scenario's alleen relatieve veranderingen van het gemiddelde van  $E_{ref}$  geeft, kan gebruik worden gemaakt van een simpele Deltamethode (vergelijking 8).

$$E_{ref}^* = (1 + a_i) E_{ref} \quad (8)$$

Hierin is  $E_{ref}^*$  de getransformeerde waarde en  $a_i$  de relatieve verandering die afhankelijk is van de kalendermaand  $i$ .

## 4.4 Straling en zonschijnduur

Voor straling  $Q$  en relatieve zonschijnduur  $SP$  worden geen veranderingswaarden gegeven in de KNMI'06 scenario's. Voor elke dag kan de toekomstige waarde voor

de straling  $Q^*$  afgeleid worden van de getransformeerde verdamping  $E_{ref}^*$  en temperatuur  $T^*$  door gebruik te maken van de Makkinkformule (vergelijking 3 t/m 7).

Per dag wordt voor de  $SP$  vervolgens dezelfde relatieve verandering als berekend voor  $Q$  toegepast. Hierbij wordt er wel gezorgd dat de getransformeerde waarde niet groter dan 100% kan worden (vergelijking 9).

$$SP^* = \min(100\%, (Q^* / Q)SP) \quad (9)$$

#### 4.5 Dampspanning

De KNMI'06 scenario's gaan ook niet kwantitatief in op veranderingen in de vochtigheid. Voor deze studie is gebruik gemaakt van een methode die is ontwikkeld voor een project in samenwerking met Deltares (Kallen et al., 2008). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de relatie tussen de afname in relatieve vochtigheid  $\Delta UG$  [%] en de toename in de relatieve globale straling (= de inkomende straling aan het oppervlak gedeeld door de inkomende straling aan de top van de atmosfeer; Klein Tank en Buishand, 1995).

In het huidige klimaat bedraagt de relatieve globale straling in de zomer gemiddeld ongeveer 40% en kan de absolute verandering in de relatieve vochtigheid  $\Delta UG$  als volgt afgeleid worden van de relatieve verandering in de globale straling  $\Delta Q$  (vergelijking 10).

$$\Delta UG = -0.36\Delta Q \quad (10)$$

Op individuele zomerdagen kan de relatieve globale straling groter of kleiner dan 40% zijn. Op zeer zonnige dagen (relatieve globale straling groter dan 40%) wordt, door de aanname van een constante relatieve globale straling, de reductie van de relatieve vochtigheid als gevolg van een toename van de globale straling onderschat terwijl op zeer bewolkte dagen (relatieve globale straling kleiner dan 40%) de reductie van de relatieve vochtigheid als gevolg van de toename van de globale straling overschat. Het is zelfs mogelijk dat de historische waarde  $UG$  en de verandering  $\Delta UG$  samen kleiner zijn dan 0% of groter dan 100%. In dat geval wordt de getransformeerde waarde  $UG^*$  0% of 100% (vergelijking 11).

$$UG^* = \min(100\%, \max(0\%, UG + \Delta UG)) \quad (11)$$

Gemiddeld over een hele zomer of een zomerhalfjaar is er echter geen systematische afwijking in de reductie van de relatieve vochtigheid als gevolg van een toename van de globale straling te verwachten en is de verandering in de relatieve vochtigheid dus consistent met de veranderingen in de overige variabelen in de klimaatscenario's, maar op individuele dagen is die consistentie niet gewaarborgd.

#### *Overige seizoenen*

De relatie die is afgeleid voor de zomer is in deze studie ook gebruikt voor de overige seizoenen. Dit kan in principe voor kleine systematische afwijkingen zorgen.

#### *Dampspanning*

Uiteindelijk hebben de gebruikers dampspanning nodig. Deze is afgeleid van de getransformeerde vochtigheid en de verzadigingsdampspanning (afgeleid van  $T^*$  via vergelijking 4).

## 5 Vergridde meteorologische datasets

Dit hoofdstuk gaat in op het vergridden van historische en toekomstige neerslagdata. Later in het project is aanvullend gevraagd om een vergridde verdampingsset. Deze datasets worden behandeld in paragraaf 5.2.

### 5.1 Neerslag

#### *Referentieperiode*

In verband met de wens om de referentiedata zo snel mogelijk beschikbaar te hebben is er voor gekozen om gebruik te maken van een bestaande vergridde dataset op 1x1 km resolutie (de resolutie is geen maat voor de nauwkeurigheid). Deze dataset is gemaakt voor de kalibratie van het NHI (*kalibratie referentiedataset*). Voor het interpoleren van de dagelijkse neerslag is gebruik gemaakt van alle beschikbare neerslagstations (gekleurde rondjes in figuur 2.1) op de desbetreffende dag.

De set van gebruikte neerslagstations varieert dus met de tijd. Tussen 1981 en 2010 is het aantal neerslagstations echter vrij stabiel. In het modelgebied voor de Baakse Beek zijn 5 stations gestopt (rode cirkels, figuur 2.1) en 4 stations opgestart (groene cirkels, figuur 2.1), waarvan één een voortzetting van het gestopte station Deventer. Gezien het grote aantal beschikbare stations wordt niet verwacht dat dit tot grote inhomogeniteiten zal leiden.

#### *Klimaatscenario's*

Vergridde neerslagdata voor de KNMI'06 klimaatscenario's zijn verkregen door voor de interpolatie eerst de gemeten neerslag op de neerslagstations te transformeren volgens het desbetreffende klimaatscenario (zie hoofdstuk 4). Hierbij is alleen gebruik gemaakt van de neerslagstations, waarbij voor de gehele periode data beschikbaar zijn en waar voor elke maand maximaal één waarneming mist. Het aantal stations is hierdoor iets kleiner dan gebruikt voor de kalibratie referentiedataset (283 versus 295 voor heel Nederland).

Twee van de gebruikte meetstations stations zijn op 1 januari 1995 verplaatst. Voor deze stations zijn de coördinaten van na de verplaatsing gebruikt.

Station 733 Vlissingen-Ritthem

Station 977 Beesel-Reuver

#### *Vergridden*

De interpolatie is gedaan met Ordinary Kriging met genormaliseerde stationsdata (vierkantsworteltransformatie). Na interpolatie wordt de data teruggetransformeerd waarbij rekening wordt gehouden met de hoeveelheid nulwaarden in de brondata (zie Schuurmans et al., 2007). Voor iedere dag wordt automatisch een variogram gefit met een vastgestelde nuggetwaarde van 0, waardoor de interpolatie exact is: de geïnterpoleerde waarde op het punt komt overeen met de gemeten waarde op het punt. Het variogrammodel is sferisch of exponentieel, afhankelijk van de beste fit. Inherent aan de methode is dat de minimale en maximale waarden in de geïnterpoleerde kaart nooit lager of hoger zijn dan de minimale en maximale waarden in de invoerdata. De interpolatiemethode is kwantitatief en kwalitatief gevalideerd zoals beschreven in Soenario en Sluiter et al. (2010).

## 5.2 Verdamping

### *Referentieperiode*

In totaal zijn er 14 automatische weerstations in Nederland (vierkanten in figuur 2.1) waar voor de gehele periode 1981-2010 dagelijkse globale straling beschikbaar is of geschat kan worden met de methode zoals beschreven in paragraaf 2.3.

210-Valkenburg  
235-De Kooy  
240-Schiphol  
260-De Bilt  
270-Leeuwarden  
275-Deelen  
280-Eelde  
290-Twenthe  
310-Vlissingen  
344-Rotterdam  
350-Gilze-Rijen  
370-Eindhoven  
375-Volkel  
380-Maastricht

Behalve voor Eelde en Leeuwarden, zijn ontbrekende waarden geschat op basis van straling en relatieve zonneshijnduur in de Bilt en relatieve zonneshijnduur op het desbetreffende station. Ontbrekende waarden voor Eelde zijn geschat met behulp van gegevens van Leeuwarden en omgekeerd.

$E_{ref}$  is vervolgens geschat op basis van de Makkink formule (zie vergelijkingen 3 t/m 7). Het gebruik van de stralingsschattingen zoals hiervoor beschreven maakt het mogelijk om 14 stations te gebruiken voor de interpolatie in plaats van 5 stations. Het is echter niet gekwantificeerd hoeveel winst dit oplevert.

### *Klimaatscenario's*

Voor de klimaatscenario's zijn de verdampingsreeksen eerst getransformeerd zoals beschreven in paragraaf 4.3.

### *Vergridding*

De referentiegewasverdamping zoals geobserveerd of geschat voor de 14 meetstations is vergrid door het gebruik van splines (Hiemstra en Sluiter, 2011). De smoothing parameter  $\lambda$  is voor iedere dag ingesteld op 0,004. Theoretisch is het mogelijk dat in bepaalde gevallen de spline-interpolatie negatieve getallen produceert. In deze datasets wordt hiervoor gecorrigeerd en hebben negatieve waarden de waarde 0 gekregen.



## 6 Beschikbaarheid ontwikkelde meteoreeksen

Ten opzicht van de bestaande tools voor de KNMI'06 klimaatscenario's is in de onderhavige studie door het KNMI:

- een nieuwe methode ontwikkeld om ontbrekende stralingsdata te schatten en aan te vullen. Dit is ook nuttig voor verdampingsreeksen
- een methode ontwikkeld om toekomstige tijdreeksen te genereren voor straling en dampspanning
- ervaring opgedaan met het genereren van 4 nieuwe vergridde neerslagreeksen voor de klimaatscenario's (referentieperiode en de periode rond 2050)
- ervaring opgedaan met het genereren van 5 nieuwe vergridde verdampingsets; 1 voor het heden (1981-2010) op basis van de aangevulde verdampingsreeksen (met opvulling van de ontbrekende stralingsdata) en de 4 klimaatscenario's (referentieperiode en de periode rond 2050)

Deze resultaten zijn bestemd voor dit project en nog niet officieel voor andere projecten ter beschikking gesteld. Bij gebruik ervan voor andere projecten dient vermeld te worden dat het voorlopige resultaten zijn.

## Referenties

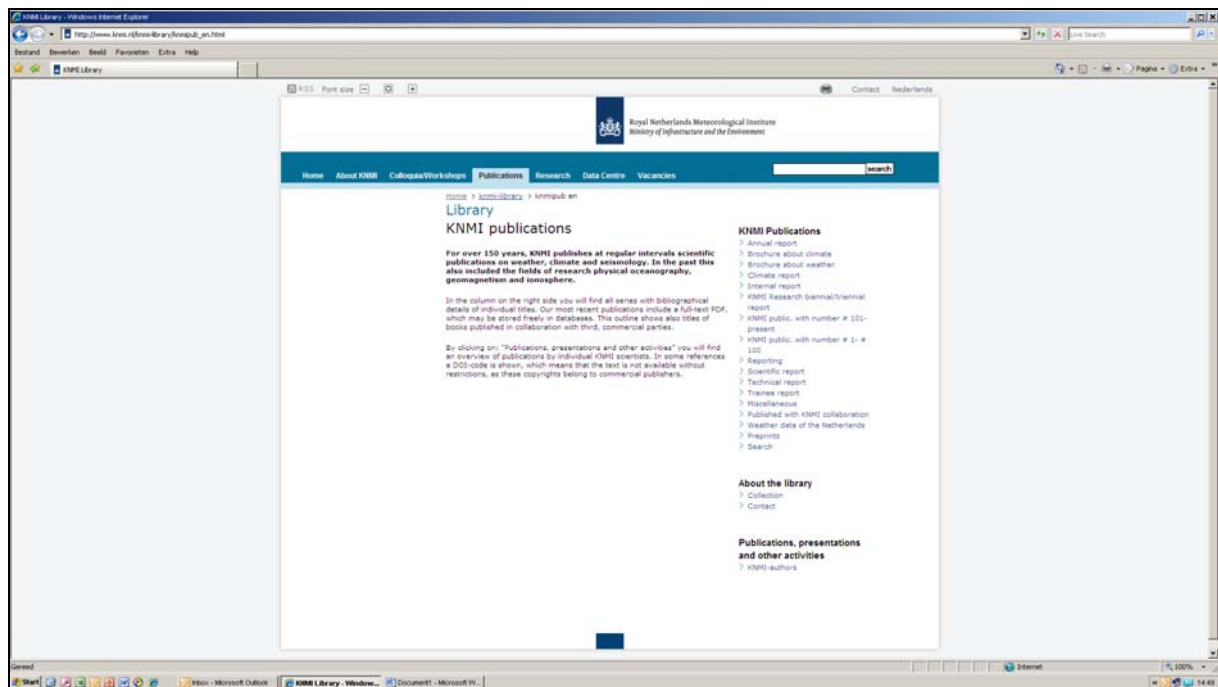
- Bakker, A.M.R. en J.J.E. Bessembinder, 2012. *Time series transformation tool: description of the program to generate time series for the future for the KNMI'06 climate scenarios*. Technisch rapport TR-326. KNMI, De Bilt.
- Bessembinder, J., A. Bakker, R. Leander and A. Feijt, 2011. *Time series transformation tool: development and use in CCsP projects*. Eindrapport Klimaat voor Ruimte project COM28, KvK.
- Hiemstra, P. en R. Sluiter, 2011. *Interpolation of Makkink evaporation in the Netherlands*. KNMI, De Bilt.
- Klein Tank, A. en A. Buishand, 1995. *Transformation of precipitation time series for climate change impact studies*. Klein Tank, A. M. G. en Buishand, T. A., KNMI Wetenschappelijk rapport WR 95-01. KNMI, De Bilt.
- Klein Tank, A. en G. Lenderink, 2009. *Klimaatverandering in Nederland: Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's*. KNMI-publicatie: Scenario brochure, pp36.
- Makkink, G.F., 1957. *Testing the Penman-formula by means of Lysimeters*. International Journal of Water Engineering 11 277-288.
- Schuermans, J.M., M.F.P. Bierkens en E.J. Pebesma, 2007. *Automatic Prediction of High-Resolution Daily Rainfall Fields for Multiple Extents: The Potential of Operational Radar*. Journal of Hydrometeorology 8, pp. 1204 - 1224.
- Sluijter, R.J., C.W.L. Reijmerink, B. Overbeek, J. Bessembinder, R. van Dorland, A. Kattenberg, H. Geurts, P. Siegmund, A. Feijt and J. Buisman, 2011. *Bosatlas van het klimaat*. Groningen, Noordhoff, ISBN 9789001120894, 112p.
- Soenario, I., R. Sluiter, 2010. *Optimization of Rainfall Interpolation*. De Bilt, KNMI-31.
- Van den Hurk, B.J.J.M., A.M.G. Klein Tank, G. Lenderink, A.P. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C.A. Katsman, H.W. van den Brink, F. Keller, J.J.F. Bessembinder, G. Burgers, G.J. Komen, W. Hazeleger and S.S. Drijfhout, 2006. *KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands*. Wetenschappelijk rapport WR-2006-01 (pp82), KNMI, De Bilt.
- Van den Hurk, B.J.J.M., A.M.G. Klein Tank, G. Lenderink, A. Van Ulden, G.J. Van Oldenborgh, C. Katsman, H. Van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger & S. Drijfhout, 2007. *New climate change scenarios for the Netherlands*. Water Science and Technology, 56, 4, p. 27-33, doi:10.2166/wst.2007.533.

### Gerelateerde links

- [http://climexp.knmi.nl/Scenarios\\_monthly](http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly) (NL): Transformation tool version 1.2;
- <http://climexp.knmi.nl> (EN): Climate explorer (linked to the transformation tool, for downloading time series, visualisation tool, statistical processing, etc.);
- <http://www.knmi.nl/climatescenarios> (EN)
- <http://www.knmi.nl/klimaatscenarios> (NL) KNMI website on climate scenarios;
- <http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/maatwerk> (NL): KNMI website: Examples of "Tailoring" projects (in several the transformation tool is used);

**A complete list of all KNMI -publications (1854 – present) can be found on our website**

[www.knmi.nl/knmi-library/knmipub\\_en.html](http://www.knmi.nl/knmi-library/knmipub_en.html)



**The most recent reports are available as a PDF on this site.**

