



ALTErra

WAGENINGEN UR



Normering van de belasting situatie droogte

Een gestandaardiseerde methode om periodes van droogte en natheid weer te geven

Klaas Oostindie, Jan. G. Wesseling, Coen J. Ritsema

Normering van de belasting situatie droogte

In opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

Normering van de belasting situatie droogte

Een gestandaardiseerde methode om periodes van droogte en natheid weer te geven

Klaas Oostindie
Jan G. Wesseling
Coen J. Ritsema

Alterra-rapport

Alterra, Wageningen, 2010

REFERAAT

Oostindie, Klaas, Jan G. Wesseling en Coen J. Ritsema. *Normering van de belasting situatie droogte. Een gestandaardiseerde methode om periodes van droogte en natheid weer te geven.* Wageningen, Alterra, Alterra-rapport

Indien actuele maandelijkse neerslaghoeveelheden worden vergeleken met historische neerslagreeksen, dan kan men, gebruik makend van statistische technieken, inzichtelijk maken hoe de desbetreffende maand afwijkt ten opzichte van het langjarig gemiddelde. Er kan een kansberekening worden uitgevoerd, waardoor het mogelijk is de hoeveelheid neerslag te classificeren als droog, normaal, of nat. Voor 3 neerslagstations in west Nederland zijn deze analyses uitgevoerd. Bovendien is met behulp van HYDRUS-2D een dijkvak doorgerekend. Hierbij is gezocht naar relaties tussen de neerslaganalyses en berekende grondwaterstanden, waterafstotendheid en bodemvochtgehalten..

Trefwoorden: neerslaganalyse, veendijk, droogte

ISSN 1566-7197

© 2003 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel: (0317) 474700; fax (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Projectnummer 5237570

1	Inleiding	9
2	Neerslag en verdamping	10
3	Analyse van de neerslag.....	10
3.1	SPI index	10
3.2	Analyse van een historische neerslagreeks	12
3.3	Analyse van de actuele neerslag	16
4	Modelberekeningen met behulp van Hydrus-2D	20
4.1	Het model Hydrus-2D	20
4.2	Het doorgerekende gebied	20
4.3	Eigenschappen	21
4.4	Randvoorwaarden	22
4.5	Initiële toestand	23
4.6	Calibratie	23
4.7	Validatie	23
4.8	Uitkomsten	23
4.9	Beperkingen	24
5	Relatie tussen de gestandaardiseerde neerslag index en modelberekeningen en dijkdoorbraken	26
6	Conclusies en aanbevelingen	33
7	Referenties	33
8	Bijlage 1. Overzicht van de maandelijkse neerslag hoeveelheden toegepast op verschillende tijdschalen	35
9	Bijlage 2. Neerslag analyses van het station Hoorn.....	37
10	Bijlage 3. Neerslag analyses van het station Kerkwerpe	39
11	Bijlage 4. Risico kaarten op basis van onderschrijdingskansen	41

1 Inleiding

De dijkdoorbraken in 2003 bij Wilnis en Terbregge zijn aanleiding geweest tot het uitvoeren van onderzoek naar de droogtegevoeligheid van veen kaden. Inmiddels is door dit uitgevoerde onderzoek veel bekend geworden over deze problematiek. Doch voor een nauwkeurige en betrouwbare beoordeling van de stabiliteit van veen kaden ten aanzien van de situatie droogte wordt nog kennis gemist. In overleg met de commissie Waterwerken zijn in 2007 aanvullende onderzoeksvragen geformuleerd. Dit onderzoek moet een beter inzicht geven in de verdroging van de kaden en geeft ook een normering van de belastingssituatie droogte. Behalve de normering voor droogte kan op dezelfde wijze gekeken worden naar mogelijke problemen door wateroverlast.

Een neerslagtekort treedt op wanneer de verdamping groter is dan de neerslag. Deze situatie zal zich hoofdzakelijk voordoen tijdens het groeiseizoen. Het neerslagtekort wordt daarom normaliter vanaf 1 april tot eind oktober bekeken. Het is een belangrijke indicator voor droogte. Echter, ook de voorgeschiedenis kan een belangrijke rol spelen bij een droogtesituatie. Een andere methode is om de neerslaghoeveelheden te vergelijken met langjarige gemiddelden (McKee, 1993). Hierbij worden de overschrijdingskansen van de neerslaghoeveelheden ten opzicht van normaal op verschillende tijdschalen bijgehouden. Zowel in natte als in droge gebieden kan deze methode worden toegepast. Voorwaarde bij deze methode is dat er langjarige neerslaggegevens beschikbaar zijn (≥ 30 jaar).

Een ander belangrijk hulpmiddel bij droogtestudies zijn modellen die het watertransport in de bodem kunnen berekenen. Bij het doorrekenen van dijklichamen is hiervoor een 2- dimensionaal model gewenst. HYDRUS-2D is een hydrologisch grondwater model waarmee vochtspanningen in de bodem kunnen worden berekend. Het effect van verschillende klimatologische omstandigheden kan met behulp van het model worden berekend. De berekende vochtspanningen geven aan hoe een dijklichaam kan uitdrogen en tot welke mate deze uitdroging kan plaatsvinden. In deze studie is de Middelburgse kade gebruikt als representatieve veendijk. In het verleden zijn veel gegevens verzameld over deze kade aangaande de opbouw, bodemfysische eigenschappen, vochtgehalten van de bodem, waterafstotendheid en grondwaterniveaus.

2 Neerslag en verdamping

Om de effecten van verschillende regionale neerslagpatronen te onderzoeken zijn in deze studie drie KNMI neerslagstations geselecteerd die verspreid over west Nederland liggen. Voorwaarde voor selectie was dat er voldoende historische gegevens beschikbaar waren. Deze neerslagstations zijn Hoorn, Hoofddorp, en Kerkwerpe. Deze drie stations hebben neerslagreeksen beschikbaar vanaf 1-1-1906 tot heden. De gegevens over de referentie gewasverdamping zijn afkomstig van drie KNMI meteorologische stations, te weten De Kooy, De Bilt en Vlissingen.

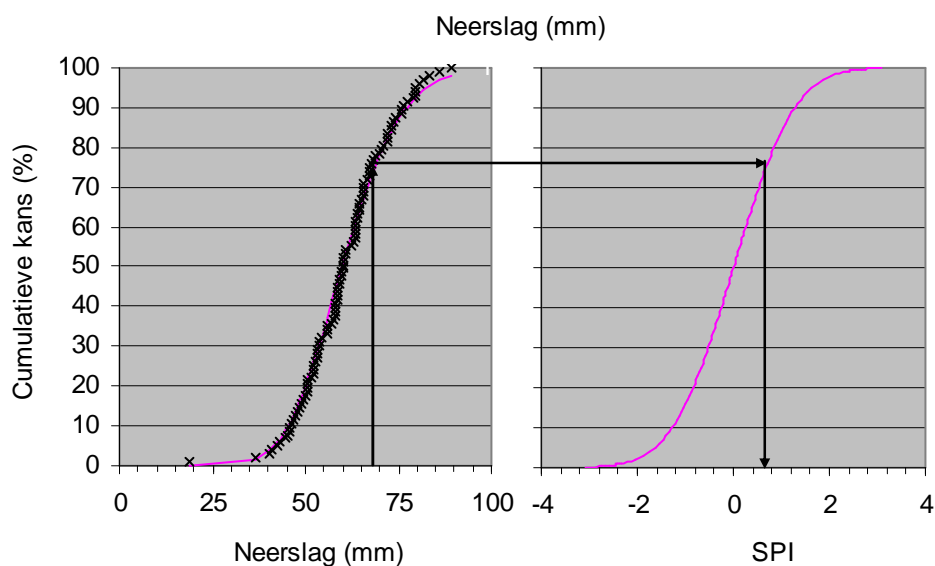
De gegevens over de referentie gewasverdamping zijn pas later beschikbaar. Op station De Kooy zijn deze metingen gestart in november 1964. In De Bilt zijn deze gegevens beschikbaar vanaf Juli 1957, terwijl in Vlissingen deze gegevens beschikbaar zijn vanaf Juli 1963. Indien het wenselijk is om minimaal 100 klimatologische jaren met het HYDRUS-2D model door te rekenen, dan moeten de verdamping gegevens voor de ontbrekende periode worden aangevuld. De referentie gewasverdamping heeft gedurende het jaar een soort van sinus vorm. De verdamping is het hoogst gedurende het groeiseizoen (max. 5.5 – 6.0 mm) en het laagst in de winter (min 0 mm). Om een goede schatting te maken zijn voor de drie meetstations decade gemiddelden berekend over de periode dat er gemeten is. Vervolgens zijn deze decade gemiddelden gebruikt als schatting voor de ontbrekende periode.

3 Analyse van de neerslag

3.1 SPI index

Ten aanzien van meteorologische droogte wordt in Nederland het doorlopend neerslagtekort bijgehouden vanaf 1 april tot 1 oktober. Het neerslagtekort wordt berekend als het cumulatieve verschil tussen neerslag en referentie gewasverdamping. Een meer algemene methode is het gebruik van de Standardized Precipitation Index (SPI). De SPI is een index die gebaseerd is op de kans dat een bepaalde hoeveelheid neerslag wordt gemeten. De SPI wordt op de volgende wijze berekend. Allereerst wordt een dataset samengesteld met maandelijks neerslagtotalen. Deze dataset moet idealiter een minimale periode van 30 jaar beslaan. Voor elke maand wordt de betreffende dataset gefit aan een gammaverdeling. Vervolgens wordt de gammaverdeling getransformeerd naar een standaardnormale verdeling met gemiddelde 0 en standaardafwijking 1. Als, vanuit de historische gegevens, het verband tussen neerslag en kans eenmaal is vastgesteld, dan kan voor elke maand afzonderlijk de afwijking van het gemiddelde worden vastgesteld (=SPI). Op dezelfde wijze kunnen ook langere periodes dan 1 maand worden geanalyseerd. Wanneer bijvoorbeeld een 3 maandelijks periode moet worden geanalyseerd, dan wordt opnieuw een maandelijks dataset samengesteld. Per maand wordt dan een gemiddelde neerslaghoeveelheid berekend van de laatste 3 maanden. Er wordt dus een voortschrijdend 3-maandijks gemiddelde berekend. Vervolgens worden ook deze datasets gefit aan een gammaverdeling en getransformeerd naar een standaard normale verdeling. Op deze wijze kan de neerslag worden geanalyseerd voor verschillende periode lengten. McKee (1993) geeft aan dat agrarische droogte

(bodemvocht) veelal op de korte tijdschalen speelt, en dat hydrologische droogte (grondwater, open water peilen, reservoirs) op de langere tijdschalen speelt. Voorbeeld: In figuur 1a is de cumulatieve kansverdeling van neerslagstation Kerkwerpe over de maand augustus weergegeven. Door de afzonderlijke punten is een gammaverdeling gefit, hetgeen door de getrokken lijn wordt weergegeven. Vervolgens is deze gammaverdeling gestandaardiseerd in figuur 1b. Indien er in een bepaalde augustus maand 68 mm neerslag is gemeten, dan hoort hier een cumulatieve kans bij van 77%. Indien we deze kans projecteren op de standaard normale verdeling van fig 1b, dan is de afwijking 0.74 van het gemiddelde (=SPI)



Figuur 1. Transformatie van een cumulatieve kans verdeling naar een standaard normale verdeling.

De op deze manier berekende SPI heeft de volgende eigenschappen:

- Tamelijk eenvoudig, slechts afhankelijk van 1 variabele
- De SPI is uniek gerelateerd aan een kans
- De SPI kan op verschillende tijdschalen worden toegepast
- De SPI is normaal verdeeld, zodat zowel natte als droge perioden kunnen worden beschouwd
- De SPI is genormaliseerd zodat ook nattere en drogere klimaten op dezelfde wijze kunnen worden gepresenteerd en onderling vergeleken.

Tabel 1. Classificatie van de Standardized Precipitation Index (SPI)

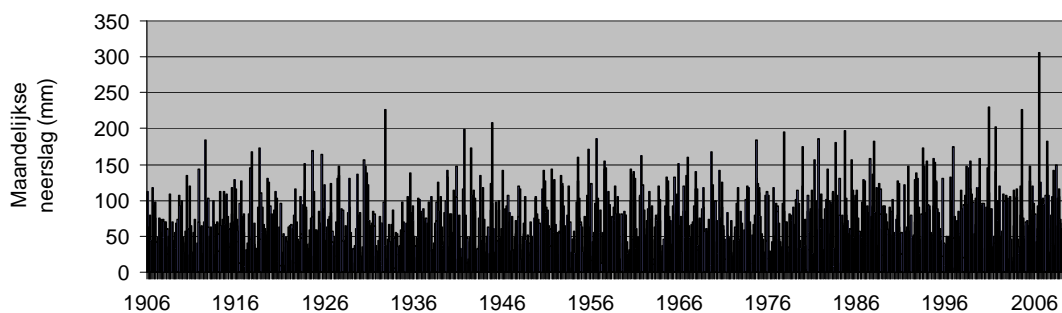
Onderschrijdingskans (%)	Klassificatie	SPI index
0-1	Extreem droog	< -2.33
1-3	Erg droog	-2.33 - -1.88
3-5	Droog	-1.88 - -1.64
5-15	Gematigd droog	-1.64 - -1.04
15-85	Dicht bij normaal	-1.04 - 1.04
85-95	Gematigd nat	1.04 - 1.64

95-97	Nat	1.64 - 1.88
97-99	Erg nat	1.88 - 2.33
99-100	Extreem nat	> 2.33

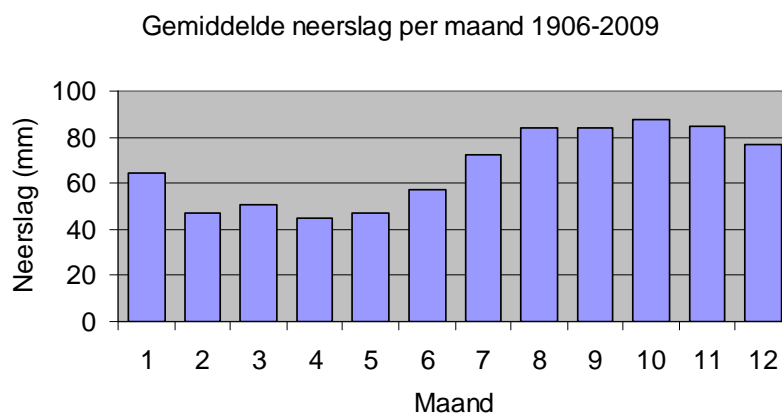
De SPI kan vervolgens worden geclassificeerd volgens tabel 1. Doordat de SPI normaal verdeeld is, is ook voor elke klasse de kans bekend. De SPI kan verder worden gebruikt om een droogte periode te definiëren. McKee definieert dit als een periode waarin de SPI continu negatief is en waarbij de SPI gedurende deze periode een waarde bereikt die kleiner is dan -1. De droogte periode begint wanneer de SPI negatief is en eindigt wanneer deze weer positief wordt.

3.2 Analyse van een historische neerslagreeks

De neerslag van het station Hoofddorp is beschikbaar vanaf 1906 tot heden. Dit is een voldoende lange reeks van waarnemingen om deze te kunnen standaardiseren en om een maandelijkse reeks van SPI indices samen te stellen. De maandelijkse hoeveelheden neerslagen die zijn gevallen in de periode 1906 tot 2009 staan weergegeven in figuur 2. Deze maandelijkse hoeveelheden worden vergeleken met de gemiddelde maandtotalen. Deze gemiddelde maandtotalen staan weergegeven in figuur 3.



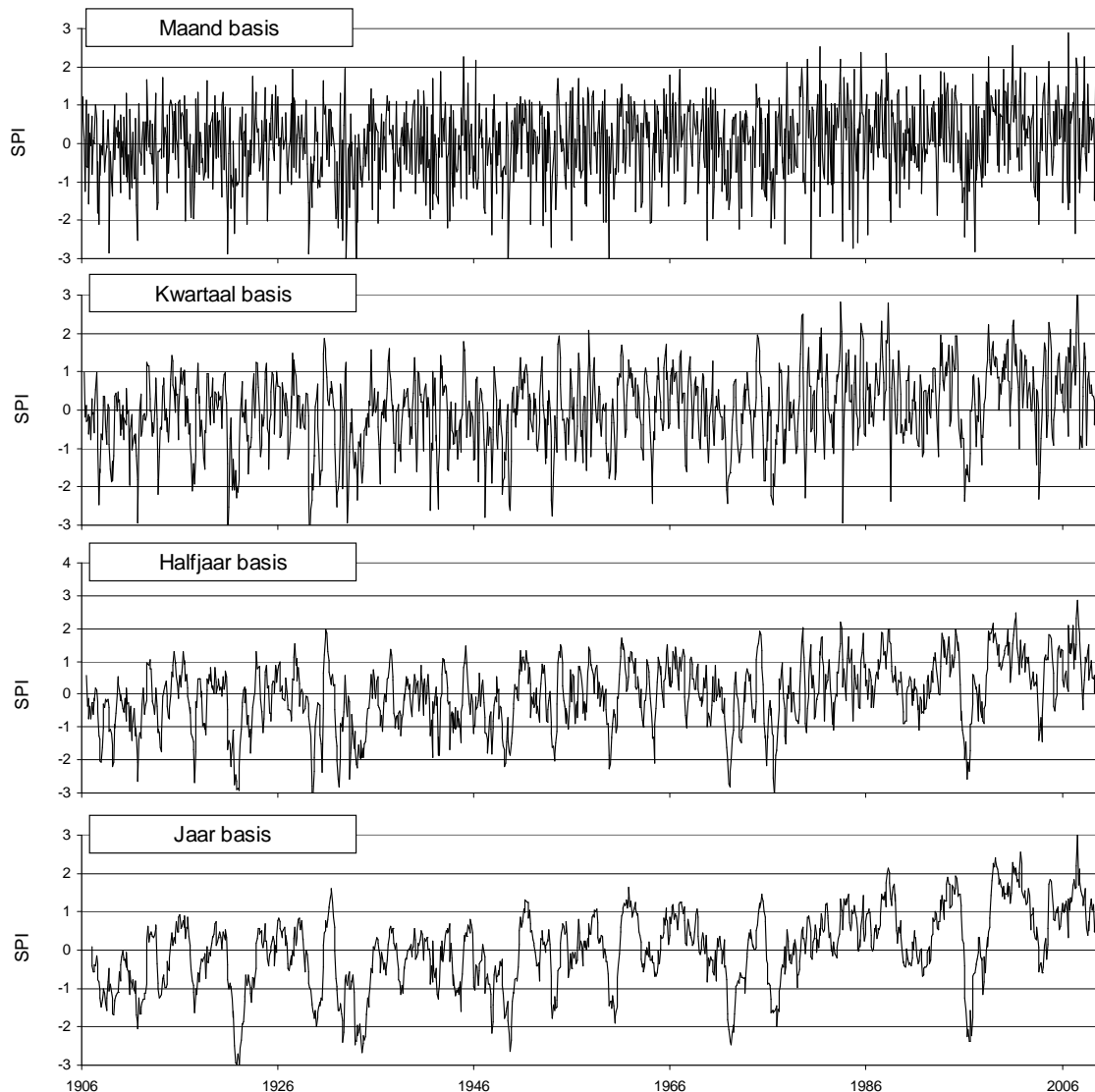
Figuur 2. Maandelijkse neerslaghoeveelheden in mm van het neerslagstation Hoofddorp gedurende de periode 1906 - 2009.



Figuur 3. Maandelijkse gemiddelde neerslaghoeveelheden in mm van het neerslagstation Hoofddorp gedurende de periode 1906 - 2009.

Opmerkelijk is dat de maand augustus behoort tot de maanden waarin de meeste neerslag valt (± 85 mm). Verder zijn februari t/m mei de droogste maanden van het jaar (40-50 mm).

Indien er op een langere tijdschaal wordt geanalyseerd, dan heeft dit gevolgen voor zowel de neerslag hoeveelheden per maand als ook de gemiddelde neerslag per maand. Er zijn dan minder extreme verschillen tussen nat en droog, de grote verschillen worden genivelleerd. De verschillen tussen de maandgemiddelden zijn ook afgenomen en op jaar basis geheel verdwenen (zie bijlage 1).

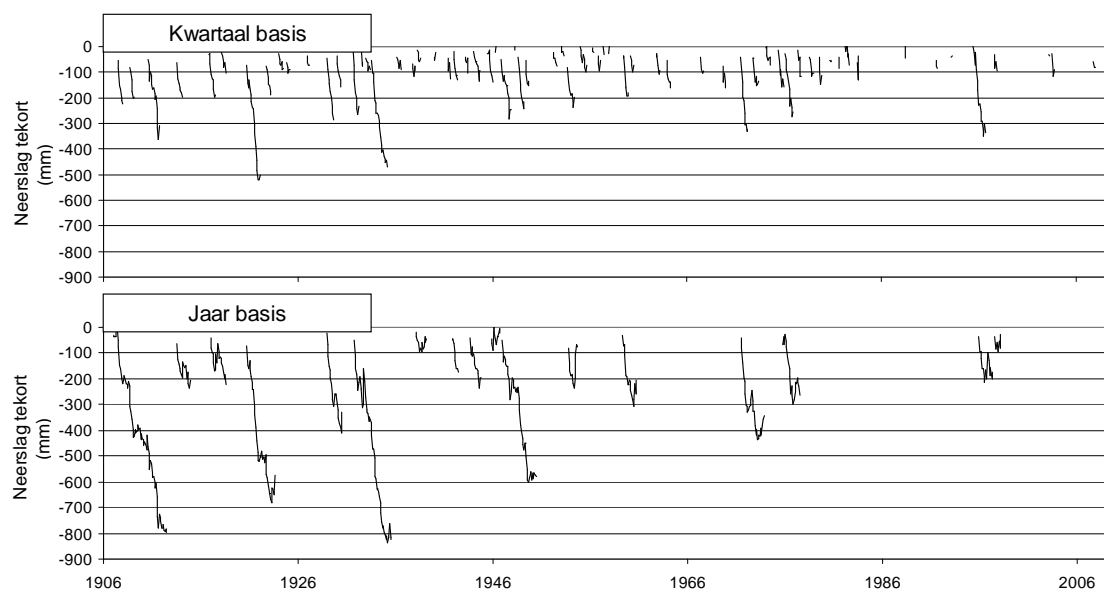


Figuur 4. Tijdreeksen van de Standardized Precipitation Index (SPI) voor verschillende tijdschalen van het neerslagstation Hoofddorp.

Analyse van deze historische reeks met neerslaggegevens laat zien dat het aantal droogte perioden sterk afhankelijk is van de tijdschaal waarop ernaar wordt gekeken (figuur 4). Op maandbasis worden er veel droogteperioden onderscheiden. Maar, het aantal droogteperioden neemt sterk af naarmate er op een langere tijdbasis naar wordt

gekeken. Zo zijn er op jaarbasis aanmerkelijk minder droogte periodes. De duur van de droogte is dan wel veel langer geworden. Verwonderlijk is dit niet omdat een maand met extreme droogte een jaar lang invloed uitoefent op het voortschrijdende gemiddelde. Korte, afzonderlijke droogte perioden kunnen zich aaneensluiten tot een langere periode indien de tijdschaal wordt vergroot. In figuur 4 staan de tijdreeksen van de SPI indices op verschillende tijdschalen weergegeven van het neerslagstation Hoofddorp. De omvang van de droogte kan worden afgeleid door gedurende de droogte periode de SPI waarde van de betreffende maanden te sommeren. Dit wordt de droogte magnitude genoemd.

Een andere mogelijkheid om de impact van de droogte weer te geven is om gedurende de droogteperiode het opgebouwde neerslagtekort ten opzicht van het langjarig gemiddelde weer te geven. In figuur 5 zijn deze neerslagtekorten op kwartaal en op jaarbasis weergegeven. Ook laat deze figuur duidelijk zien dat op jaarbasis een aantal droogte periodes zich hebben aaneengesloten. De neerslagtekorten zijn op jaarbasis daarom ook groter dan op kwartaalbasis. Bij de eerste drie droogte periodes op maand basis zijn er neerslagtekorten van 200, 200 en 350 mm. Deze drie perioden hebben zich op jaarbasis aaneengesloten tot één lange periode met een neerslagtekort van bijna 800 mm.



Figuur 5. Tijdreeksen van het opgebouwde neerslagtekort gedurende droogte periodes voor twee verschillende tijdschalen van het neerslagstation Hoofddorp

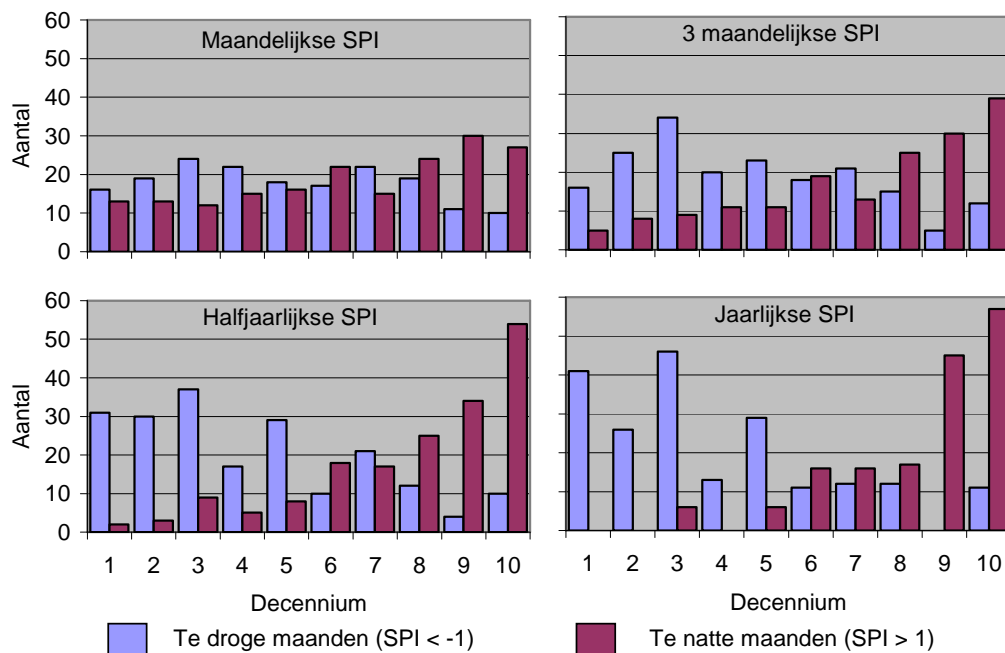
In tabel 2 is een overzicht gegeven van de 5 droogste periodes voor de vier verschillende tijdschalen. Deze zijn op basis van de droogte magnitude samengesteld. De periode van 1931 tot 1935 komt voor bij elke tijdsbasis. Op maanbasis zijn er dan zelfs twee afzonderlijke periodes.

Figuur 6 geeft een overzicht van het aantal maanden die in een bepaald decennium te nat ($SPI > 1$) of te droog zijn ($SPI < -1$). Decennium 1 begint in 1906 en eindigt in 1915, decennium 2 begint in 1916 en eindigt in 1925, enz. Het is opmerkelijk dat in de eerste 50 jaar meer droge dan natte maanden zijn waar te nemen. Echter, in de tweede 50 jaar zijn er meer natte dan droge perioden. In de laatste 3 decennia zijn het aantal te natte maanden verdubbeld t.o.v. de eerste 3 decennia. Op de grotere

Tabel 2. Overzicht van de top 5 droogte periodes voor vier verschillende tijdschalen van neerslagstation Hoofddorp.

Maand Basis			Kwartaal Basis			
Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	
1	Dec 1928 - Sep 1931 -	308	11.3	Okt 1920 - Feb 1922 - Aug 1933 -	502	27.2
2	Mrt 1932 - Feb 1976 -	266	8.3	Mrt 1935 - Jun 1995 -	470	21.6
3	Aug 1976 - Jul 1971 -	234	8.2	Sep 1996 - Jan 1929 -	335	17.9
4	Jan 1972 - Nov 1932 -	302	7.9	Sep 1929 - Jul 1971 -	286	16.7
5	Apr 1933	206	7.7	Apr 1972	321	13.9

Halfjaar Basis			Jaar Basis			
Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	
1	Nov 1932 - Mei 1935 -	648	38.1	Okt 1931 - Aug 1935 -	825	68.3
2	Okt 1920 - Mei 1922 -	513	34.9	Jul 1907 - Jul 1912 -	797	64.4
3	Jul 1928 - Jul 1930 -	325	26.9	Okt 1920 - Sep 1923 -	575	53.8
4	Jul 1975 - Jan 1977 -	330	24.9	Dec 1946 - Jun 1950 -	577	46.9
5	Jul 1907 - Jul 1909	410	23.7	Jul 1971 - Nov 1973	341	33.9



Decennium 1 = 1906 - 1915; Decennium 10 = 1996 - 2005)

Figuur 6. Aantallen maanden per decennium van het neerslagstation Hoofddorp die volgens de SPI als te droog of te nat worden aangemerkt

tijdschalen worden deze waarnemingen alleen nog maar versterkt. Zo zijn er op jaar basis in de eerste twee decennia geen te natte maanden waargenomen, maar in de laatste twee decennia waren er respectievelijk 45 en 57 maanden die als te nat werden aangemerkt. Dit is in tegenstelling tot de droge maanden die veelvuldig aanwezig waren vanaf het begin tot aan het midden van de waargenomen periode, maar in de tweede helft sterk zijn afgenomen.

In bijlagen 2 en 3 staan de SPI analyses van de neerslagstations Hoorn en Kerkwerve.

3.3 Analyse van de actuele neerslag

Behalve de analyse van een historische reeks is ook de actuele analyse van de neerslag interessant. Hiermee kan droogte, dan wel natheid scherp in de gaten worden gehouden. Na afloop van iedere maand kan de SPI index voor die maand worden berekend. Deze SPI index geeft dan de meest actuele situatie aan.

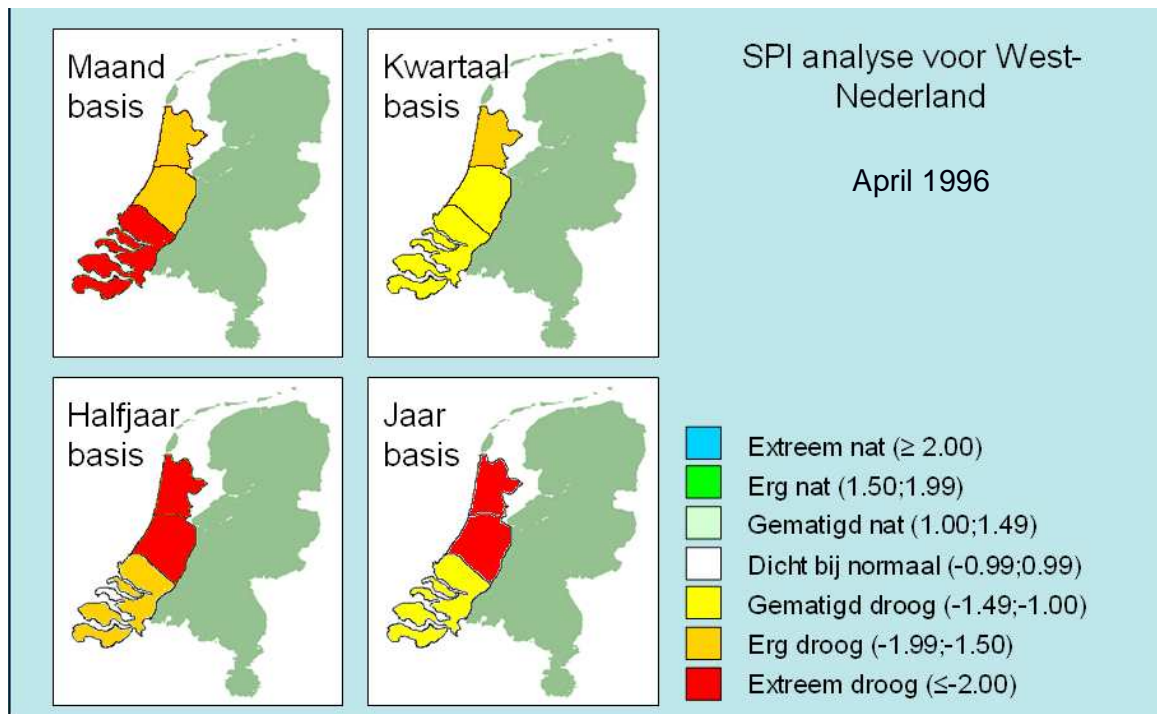
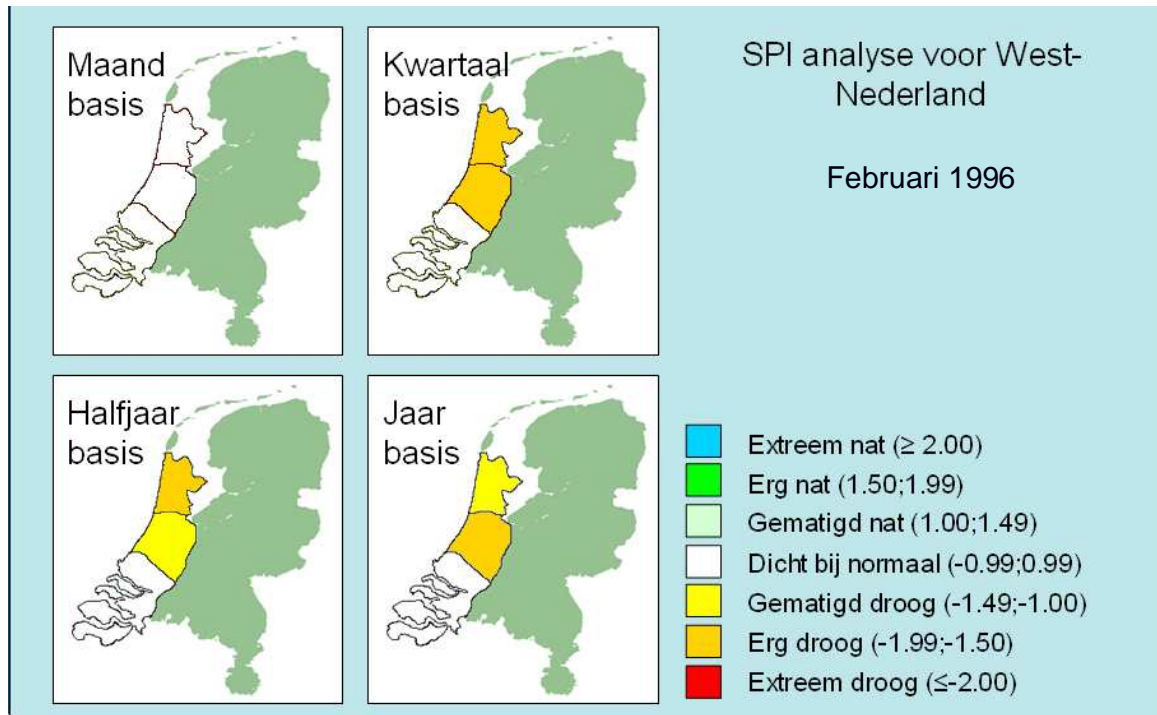
Neerslag is altijd gerelateerd aan een neerslag station. Voor verschillende neerslag stations kunnen SPI indices worden berekend en vergeleken. Indien elk neerslag station een bepaald gebied representeert, dan kan men op eenvoudige wijze risico kaarten maken op basis van de nieuw berekende SPI indices. In de figuren 7a en 7b zijn risico kaarten gegeven voor West-Nederland op 4 verschillende tijdstippen. De weergegeven tijdstippen zijn de maanden februari, april, juni en augustus 1996. Elk van de neerslag stations Hoorn, Hoofddorp en Kerkwerve representeert hier een bepaald hypothetisch gebied.

Uit deze figuren blijkt dat februari 1996 op maandbasis een normale hoeveelheid neerslag geeft. Op de langere tijdsbasis is het midden en noorden gematigd droog tot erg droog, hetgeen te maken heeft met een eerdere droge periode. Het zuiden daarentegen, geeft ook dan een vrij normale neerslag hoeveelheid te zien. Echter, in april 1996 is het op maand basis in het zuiden extreem droog en erg droog in het midden en noorden. Op halfjaar en jaar basis is het in het noorden en midden dan extreem droog. De maand Juni geeft op maand basis een heel wisselend beeld te zien. In het noorden is een normale hoeveelheid neerslag gevallen, in midden Nederland is het erg droog, terwijl het in het zuiden extreem droog is. Op kwartaal basis is het erg droog en op halfjaar- en jaarbasis is het extreem droog in midden en noord Nederland. In het zuiden van Nederland is het ook extreem droog op halfjaar basis en gematigd droog op jaar basis. In Augustus 1996 is alles weer dicht bij normaal, met uitzondering van 1) het noorden op halfjaar basis (erg droog) en op jaar basis (extreem droog) en 2) het midden op jaar basis (erg droog) en 3) het zuiden op maand basis (gematigd nat). Omdat de SPI-indices zijn gerelateerd aan kansen, kunnen deze kaarten ook basis van kansen worden samengesteld (bijlage 4). Echter, internationaal is dit minder gebruikelijk.

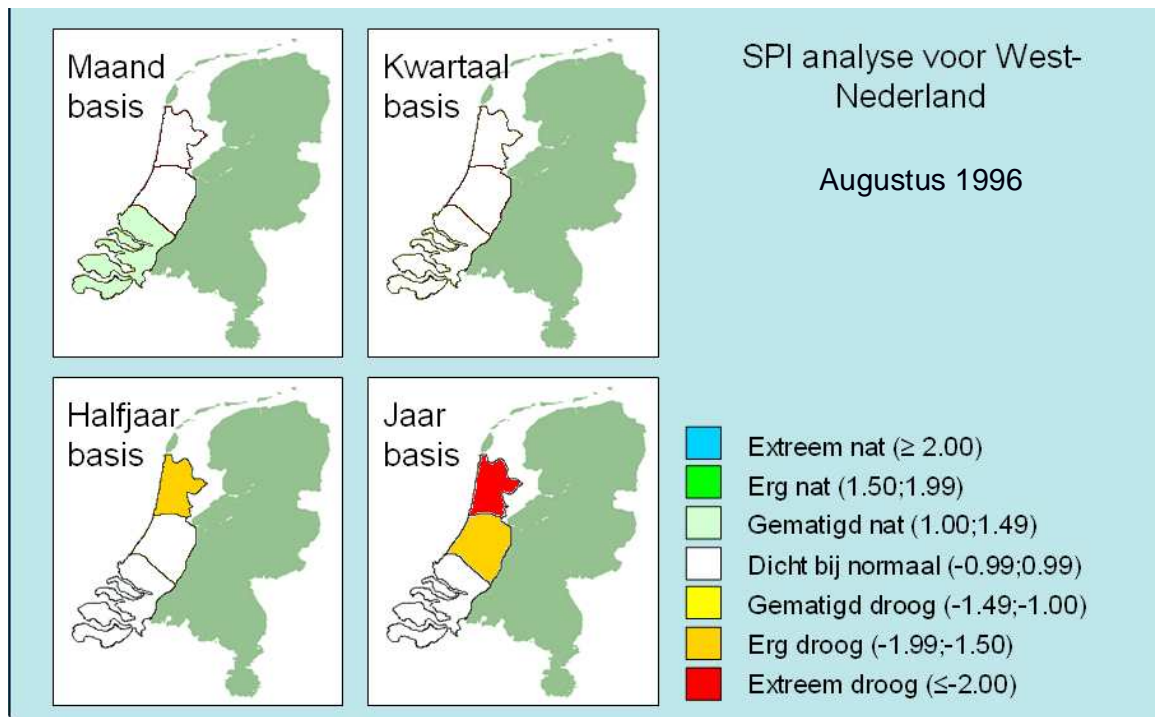
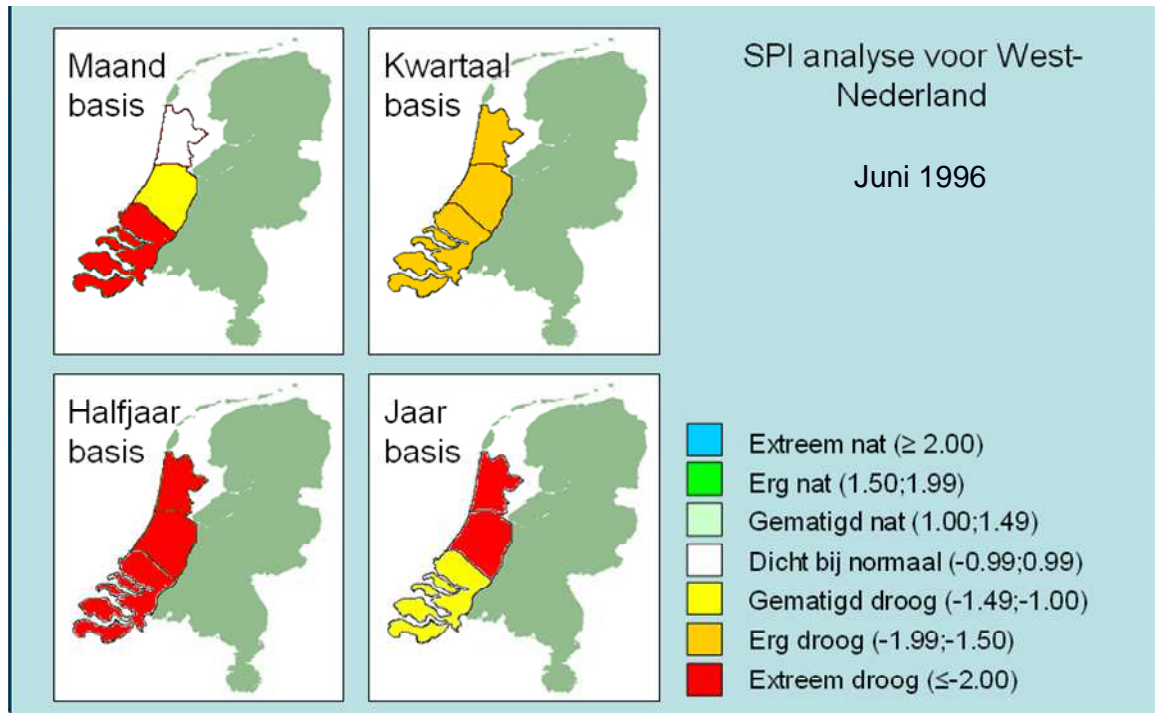
Tabel 3 geeft een overzicht van het neerslagtekort gedurende de droogteperiodes in 1996. Dit zijn de tekorten die worden opgebouwd ten opzichte van normaal.

Bovendien bevat deze tabel het neerslagtekort volgens het KNMI welke wordt berekend als de gecumuleerde som van neerslag minus verdamping vanaf 1 april tot eind oktober. De droogte die op basis van de SPI wordt berekend is al gestart in 1995.. Dit verklaart het grote neerslagtekort dat al in het begin van het jaar aanwezig is. Wanneer er wordt gelet op het neerslagtekort dat gedurende het groeiseizoen wordt opgebouwd (KNMI), wordt voorbijgegaan aan droogte die mogelijk al eerder is

ontstaan. Dit blijkt ook duidelijk uit de tabel waar er op kwartaal en halfjaarbasis in maart al veel minder neerslag is gevallen ten opzichte van wat er gemiddeld zou moeten vallen. Op kwartaalbasis is dit bijna 255 mm en op halfjaar basis ruim 230 mm.



Figuur 7a. Risico kaarten op basis van SPI analyses van drie neerslagstations.



Figuur 7b. Risico kaarten op basis van SPI analyses van drie neerslagstations.

Tabel 3. Opgebouwde neerslagtekorten vanaf 1 april tot 1 oktober volgens het KNMI en de afwijking van de langjarige gemiddelde neerslag die wordt opgebouwd gedurende droogte

Neerslagtekort		SPI			
Jaar	Maand	KNMI	3- maands	6- maand	12- maand
1996	jan		-226.7	-202.2	-93.9
1996	feb		-224.5	-200.0	-91.7
1996	mrt		-254.7	-230.3	-122.0
1996	apr	-57.5	-291.2	-266.8	-158.5
1996	mei	-76.1	-292.7	-268.3	-160.0
1996	jun	-145.8	-325.8	-301.3	-193.0
1996	jul	-179.7	-348.5	-324.0	-215.7
1996	aug	-120.3	-299.2	-274.7	-166.4
1996	sep	-121.7	-334.6	-310.1	-201.8
1996	oct	-49.8		-298.1	-189.8
1996	nov				-99.4
1996	dec				-127.9

4 Modelberekeningen met behulp van Hydrus-2D

Om het verloop van de grondwaterstand in de dijk te analyseren is gebruik gemaakt van het 2-dimensionale numerieke model Hydrus-2D (Šimůnek et al., 2006; Šimůnek et al., 2007). Dit had als bijkomend voordeel dat ook het vochtgehalte in een aantal punten in de dijk en het totaal aanwezige volume aan water konden worden gevisualiseerd. In dit hoofdstuk zal kort op het model, de gebruikte invoer en de verkregen resultaten worden ingegaan.

4.1 Het model Hydrus-2D

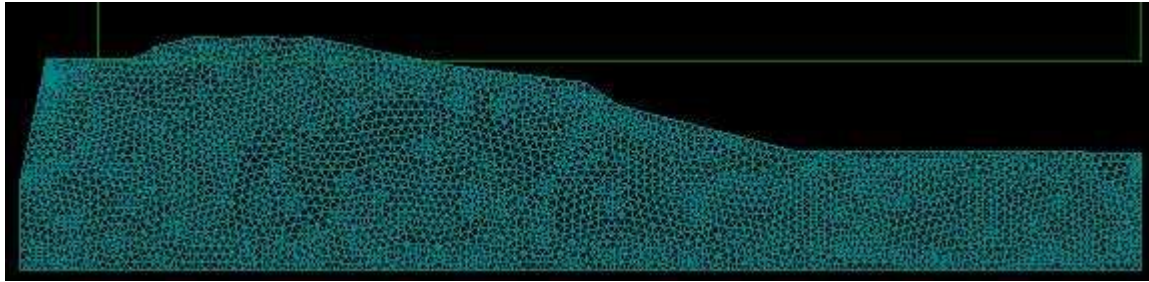
Hydrus-2d is een model voor het simuleren van vocht, warmte en stoffen in de bodem. De partiële differentiaalvergelijkingen die het transport beschrijven worden numeriek opgelost met behulp van de eindige elementen methode. Dit levert een groot aantal waarden voor drukhoogtes en vochtgehalten in de tijd. Voorwaarde is wel dat er aan de rand van het beschouwde gebied een opgegeven waarde bekend is. Dit kan (in geval van grondwaterstroming) een fluxdichtheid (kwel/wegzijging) of een potentiaal (slootpeil) zijn. Ook kan er een grens met de atmosfeer worden opgegeven. Voor deze grens wordt de randvoorwaarde berekend uit de opgegeven neerslag- en verdampingsgegevens voor het beschouwde moment. Het is mogelijk om de verdamping te simuleren door een gewas aan te nemen dat het water aan de grond onttrekt met zijn wortels. In dat geval moet de worteldiepte bekend zijn.

Het programma heeft een gebruikersinterface waarmee op eenvoudige wijze de benodigde invoer kan worden gegenereerd. Na het opgeven van de contouren van het door te rekenen gebied wordt er door de ingebouwde puntengenerator een netwerk van knooppunten en driehoeken gegenereerd waarmee gerekend gaat worden. De uitvoer wordt in principe weggeschreven naar ongeformatteerde bestanden. Nadat de berekeningen zijn uitgevoerd biedt Hydrus de mogelijkheid om deze bestanden te converteren naar (voor gebruikers) leesbare ASCII-bestanden die ook voor nabewerking kunnen worden gebruikt.

Er is een optie waarbij de waarden van drukhoogte en vochtgehalte in een aantal nader te specificeren knooppunten (Observation Nodes) naar een bestand worden weggeschreven voor maximaal 500 nader te specificeren tijdstippen gedurende de simulaties. Voor deze zelfde tijdstippen kan het programma automatisch contourplots van drukhoogte en vochtgehalte in het doorgerekende domein maken.

4.2 Het doorgerekende gebied

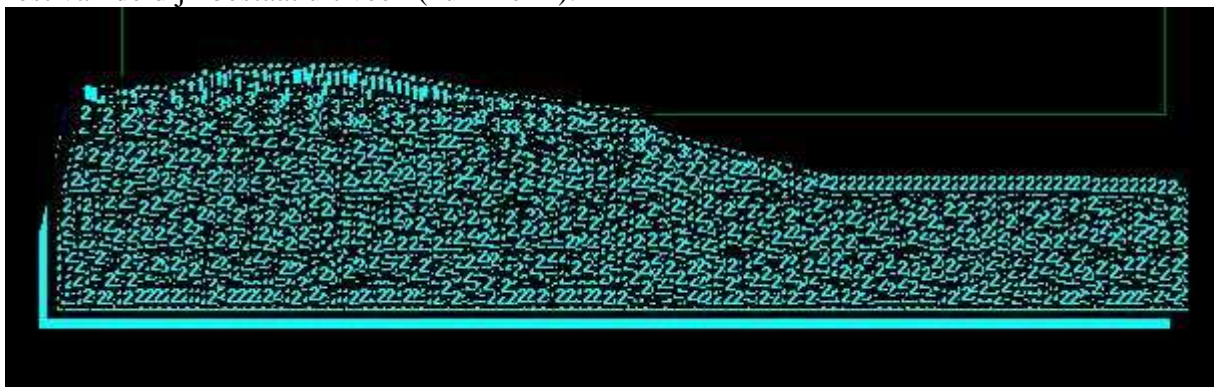
Ten behoeve van eerdere onderzoeken zijn de maten van de Middelburgse Kade (STOWA, 2002) bepaald. Deze gegevens zijn hier weer gebruikt om de contouren van de dijk vast te leggen (Figuur 8). Ervan uitgaande dat de oorsprong (0,0) van het coördinatensysteem gelijk ligt met de linker bovenhoek van de dijk, is de onderzijde van het doorgerekende gebied op -600 cm gezet. De totale breedte van het doorgerekende profiel is 32,25 m. Hierna is met behulp van de ingebouwde generator het netwerk gegenereerd (Figuur 8).



Figuur 8. Het door Hydrus-2D gegenereerde eindige elementen netwerk voor de Middelburgse Kade. Het bestaat uit 3525 knooppunten en 6765 driehoekige elementen.

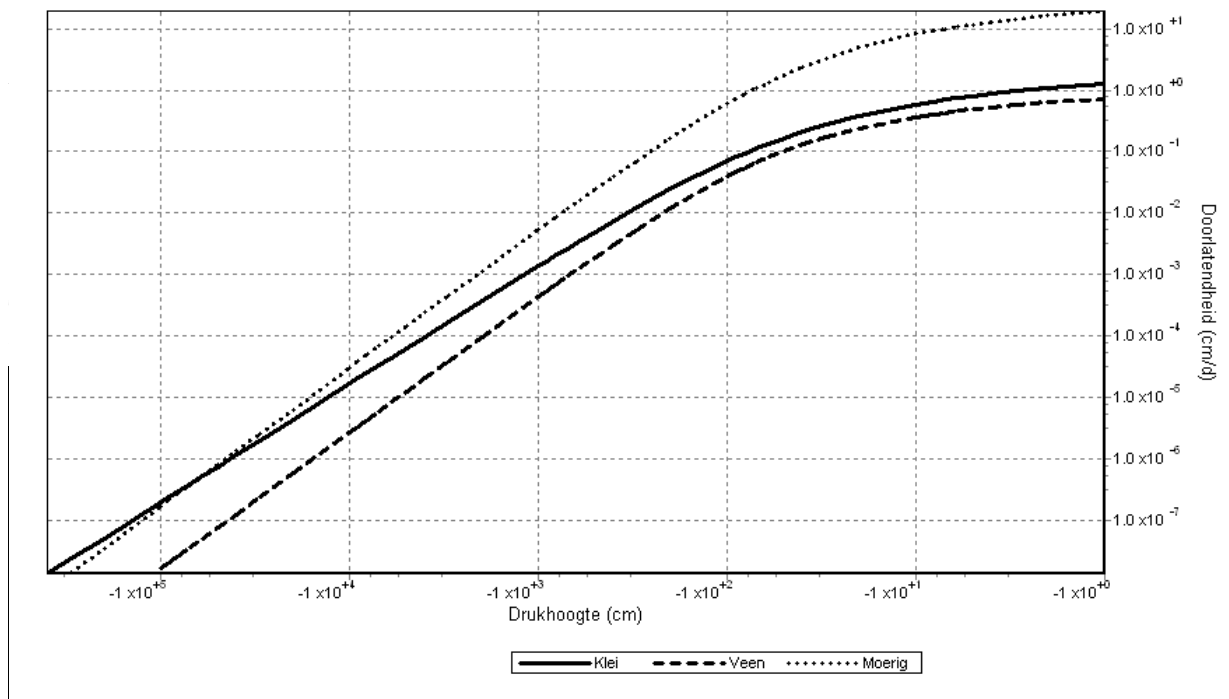
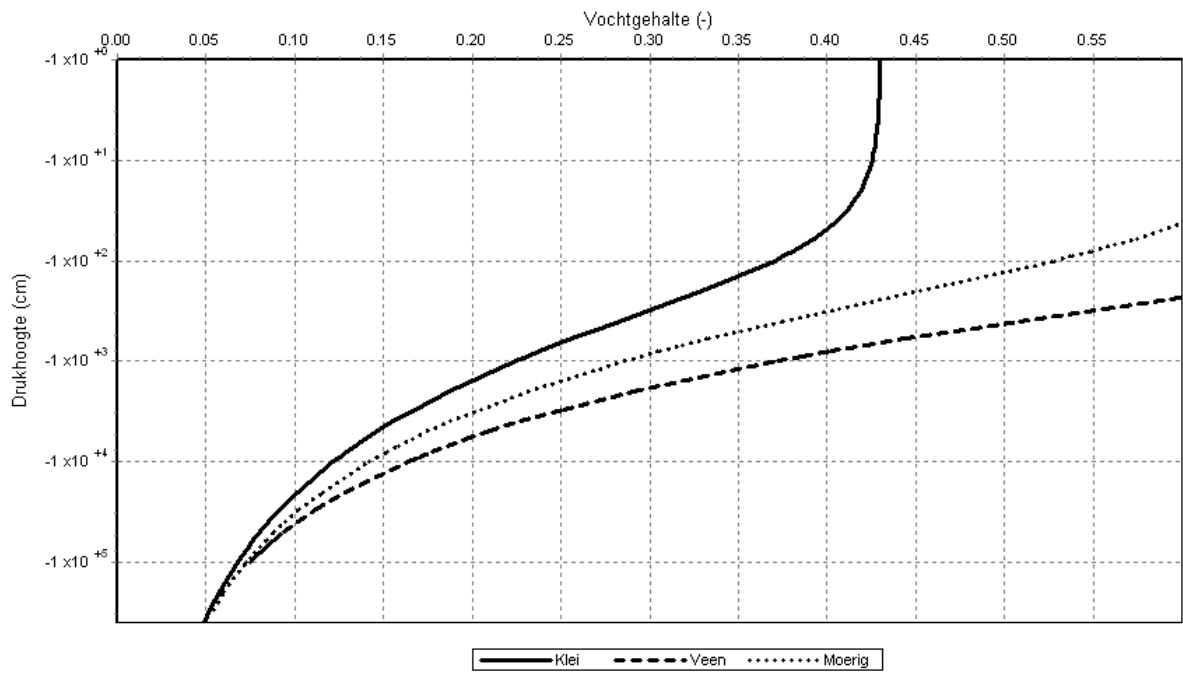
4.3 Eigenschappen

Uit bodemkundige analyses van de dijk is gebleken dat de dijk bestaat uit een buitengewoon heterogeen materiaal. De grondsoorten variëren zeer sterk, niet alleen met de diepte, maar ook in de lengte- en breedterichting van de dijk. Daardoor was het onmogelijk om de bodemfysische eigenschappen van de werkelijk aanwezige materialen te gebruiken voor de simulaties. Daarom is ervoor gekozen om de dijk sterk te schematiseren. Hierbij is de indeling in materialen gebruikt zoals weergegeven in Figuur 9. De bovenste laag (nummer 1) is een kleidek. Daaronder zit, als overgang naar het veenpakket, een laagje met moerig materiaal (nummer 3), en de rest van de dijk bestaat uit veen (nummer 2).



Figuur 9. De Middelburgse Kade met de gebruikte bodemmateriële.

De bodemfysische eigenschappen van deze materialen zijn weergegeven in Figuur 10.



Figuur 11. De toegepaste bodemfysische randvoorwaarden.

Aan de bovenzijde van de dijk is een atmosferische grens aangenomen. Dit maakt het mogelijk om met de reeds eerder beschreven meteorologische reeksen van 100 jaar te rekenen. Aan de linkerkant zien we drie types randvoorwaarden: boven het waterpeil van de boezem bevindt zich een kweloppervlak. Dit houdt in dat, mocht het grondwaterpeil boven het boezempeil uitkomen, het grondwater vrij naar buiten kan stromen. Daaronder bevindt zich de boezem. Deze boezem heeft een vast peil waardoor de drukhoogte hier gedurende de hele simulaties constant is. Daaronder

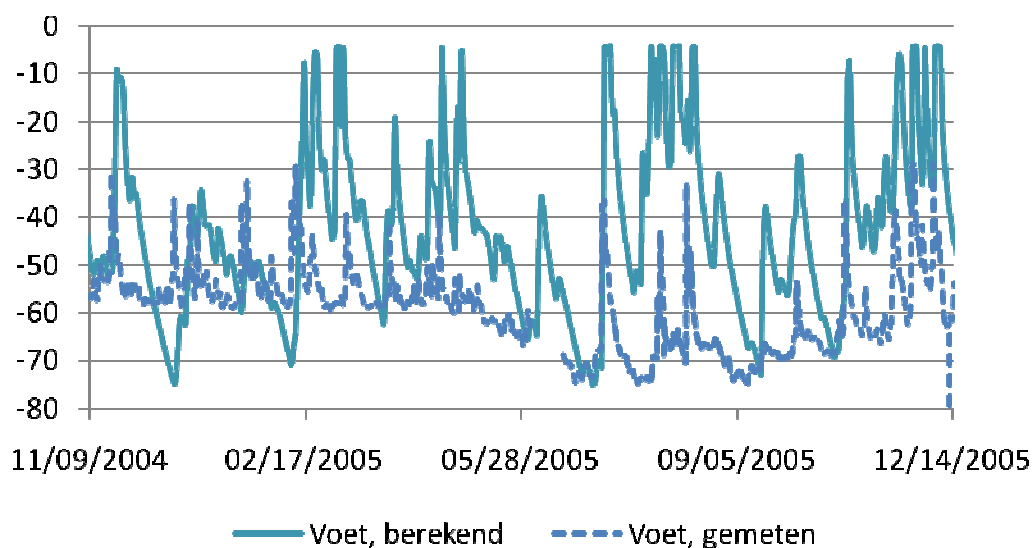
bevindt zich een vertikaal deel waarvan we aannemen dat er geen water doorheen stroomt. Aan de rechterzijde wordt ook een geen-flux randvoorwaarde aangenomen, met uitzondering van een punt waar een sloot met constant polderpeil wordt aangenomen (vaste drukhoogte). Aan de onderrand wordt een kwel/wegzijgingsflux aangenomen. De grootte van deze flux wordt gebruikt als calibratie variabele.

4.5 Initiële toestand

Om met numerieke modellen te kunnen rekenen is een initiele toestand nodig. Voor deze simulaties is aangenomen dat de initiele toestand een evenwichtstoestand is met het grondwater dat op -2 m ligt. Dit houdt in dat de eerste maanden van de gesimuleerde uitkomsten geen overeenkomst zullen hebben met de werkelijke waarden. Na deze periode is de invloed van de initiele toestand nihil.

4.6 Calibratie

Voor de calibratie is gebruik gemaakt van de gemeten grondwaterstanden in de dijk gedurende de periode van 9 November 2004 tot 30 mei 2005. De resultaten hiervan zijn gegeven in Figuur 12. Deze gegevens zijn verkregen bij een wegzijgingsflux van 2 mm/dag.



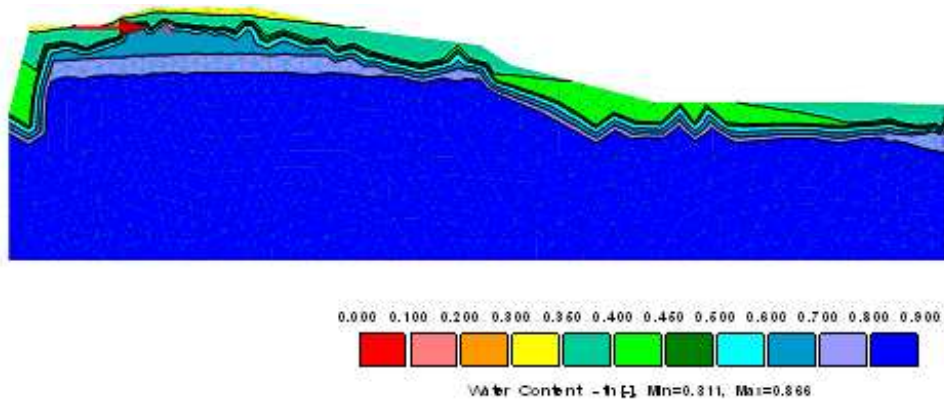
Figuur 12. De gecalibreerde grondwaterstanden in de periode 9 November 2004 tot 30 mei 2005.

4.7 Validatie

Om na te gaan hoe met deze randvoorwaarden de grondwaterstanden in een andere periode worden gesimuleerd ten opzichte van de gemeten grondwaterstand is gekeken naar de periode 1 juni 2005 t/m 14 december 2005. Deze zijn in Figuur 12 erbij getekend.

4.8 Uitkomsten

De uitkomsten van de berekeningen met de 100-jarige meteoreeks worden hier niet verder besproken. Deze resultaten zullen verderop in het verslag worden gebruikt. Figuur 13 toont als voorbeeld van de uitvoer een contourdiagram van de berekende vochtgehalten in de dijk.



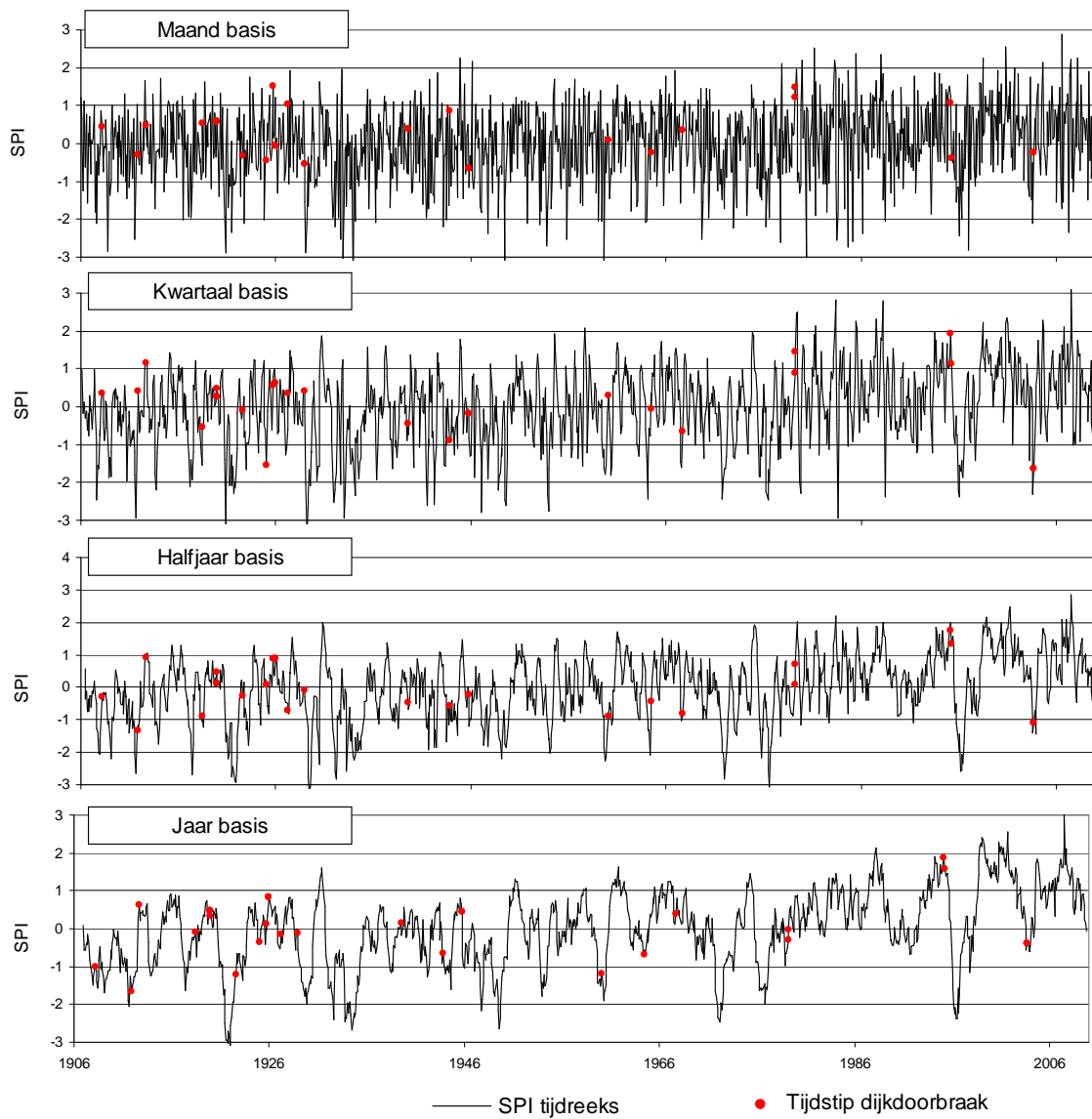
Project Dyke1 - Middelburgse Kade, meteo Hoofddorp/De Bilt
Results, Water Content, Time 494 - 9382 days

Figuur 13. Een voorbeeld van de verdeling van berekende vochtgehaltenes.

4.9 Beperkingen

Er is bij deze studie gerekend met het numerieke model Hydrus-2D. Hierbij zijn wel de volgende beperkende aannames gedaan:

- De bodemfysische opbouw van de dijk is sterk geschematiseerd. Er is geen rekening gehouden met de heterogeniteit van de bodem en evenmin met de exacte bodemfysische karakteristieken van de aanwezige bodemlagen.
- Er is gewerkt met meteorologische gegevens van een locatie die niet dezelfde is als die van de dijk. Bovendien zijn het dagtotalen, waardoor extreme waarden er al gedeeltelijk zijn uitgefilterd.
- Het winter en zomer boezem en polderpeil is constant gehouden, hetgeen in werkelijkheid niet het geval zal zijn.
- Omdat de dijk schuin loopt zal er zeker oppervlakkige afvoer plaatsvinden. Het is niet mogelijk om dit met Hydrus-2D te simuleren.
- In droge jaren kan waterafstotendheid optreden. Het toegepaste model houdt hier geen rekening mee, hierdoor kan de opname capaciteit van de dijk worden overschat.
- Er is een uniforme grasmat aangenomen. Ook dat zal in werkelijkheid niet altijd het geval zijn.

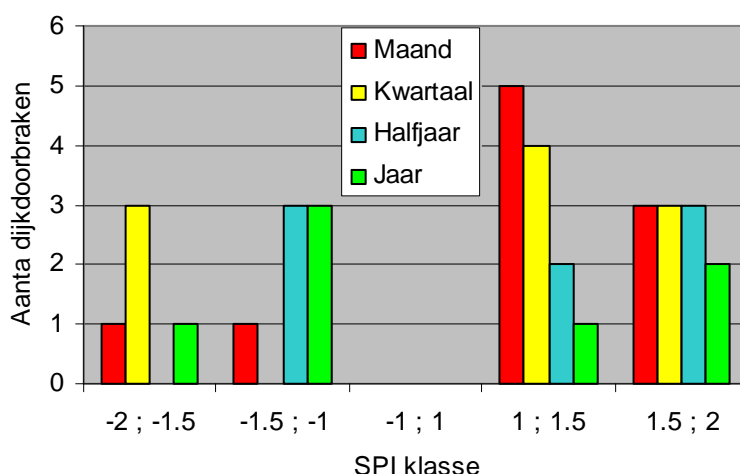


Figuur 14. Tijdreeksen van de Standardized Precipitation Index (SPI) voor verschillende tijdschalen en momenten van dijkdoorbraken.

5 Relatie tussen de gestandaardiseerde neerslag index en modelberekeningen en dijkdoorbraken

Het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen (COW) heeft in 1971 een document samengesteld met hierin een overzicht naar doorbraken in Amstelland, Rijnland, Delfland en Woerden (C-71.041). Op basis van dit document is een notitie geschreven over dijkdoorbraken van boezemkaden (versie 1) welke informatie in deze studie is gebruikt (Deltares, R. van Etten). De data van doorbraken, dan wel afschuivingen zijn gekoppeld aan de berekende SPI waarden voor de verschillende tijdschalen. Bij de doorbraken c.q. afschuivingen is niet gelet op de mogelijke oorzaken zoals droogte, overstromingen, kwel enz. In figuur 14 staan de berekende SPI waarden en ook de data waarop er dijken doorbraken dan wel afschoven.

Bij de dijkdoorbraken die in figuur 14 zijn uitgezet is niet gekeken naar de eventuele oorzaak. Analyse van de van de figuur waarbij de SPI waarden op maandbasis zijn gegeven leert dat in de meeste gevallen een doorbraak plaatsvond op het moment dat de hoeveelheid neerslag dicht bij normaal (SPI waarde tussen de -1 en +1) Op vijf momenten lag de SPI buiten dit interval. In alle vijf gevallen was het toen te nat.(1925, 1927, 1979, 1979 en 1995). Op kwartaal basis zijn er bij vier dijkdoorbraken waar de SPI een te natte situatie laat zien (1912, 1979, 1995, 1995). Er zijn dan ook twee doorbraken op het moment dat de SPI een te droge situatie aangeeft (1925 en 2003). Op halfjaar basis zijn er wederom twee momenten (1911 en 2003) die tijdens een dijkdoorbraak een te droge situatie kennen. Tevens zijn er dan twee dijkdoorbraken te zien in een natte periode (1995). Deze twee doorbraakmomenten zien we ook op jaar basis, terwijl toen drie doorbraken in een te droge situatie werden waargenomen (1911, 1922, 1960). Opmerkelijk is dat de dijkdoorbraken vaak plaatsvinden bij een omslag van een natte periode naar een droge of andersom (1911-1912; 1920-1922; 1958-1960-1961-1964; 1991-1995; 2001-2003).



Figuur 15. Frequentieverdeling van het aantal dijkdoorbraken waarbij de SPI duidt op droge (-), dan wel natte periode (+)

In figuur 15 is een frequentieverdeling gegeven van het aantal dijkdoorbraken dat is opgetreden tijdens droge of natte periodes. De meeste doorbraken (29-31) vonden plaats op momenten dat de index dicht bij normaal lag. Deze zijn niet in de figuur opgenomen. Onder natte omstandigheden ($SPI > 1$) waren er meer dijkdoorbraken dan tijdens droge periodes ($SPI < -1$). Op maandbasis waren er slechts 2 doorbraken gedurende een droogte periode, terwijl er 8 doorbraken waren tijdens natte omstandigheden. Indien er op een andere tijdsbasis naar wordt gekeken, dan zijn er wat meer doorbraken in de droge periodes. Echter, in de natte periodes blijft het aantal doorbraken gelijk (klasse 1.5-2) of neemt af (klasse 1-1.5)

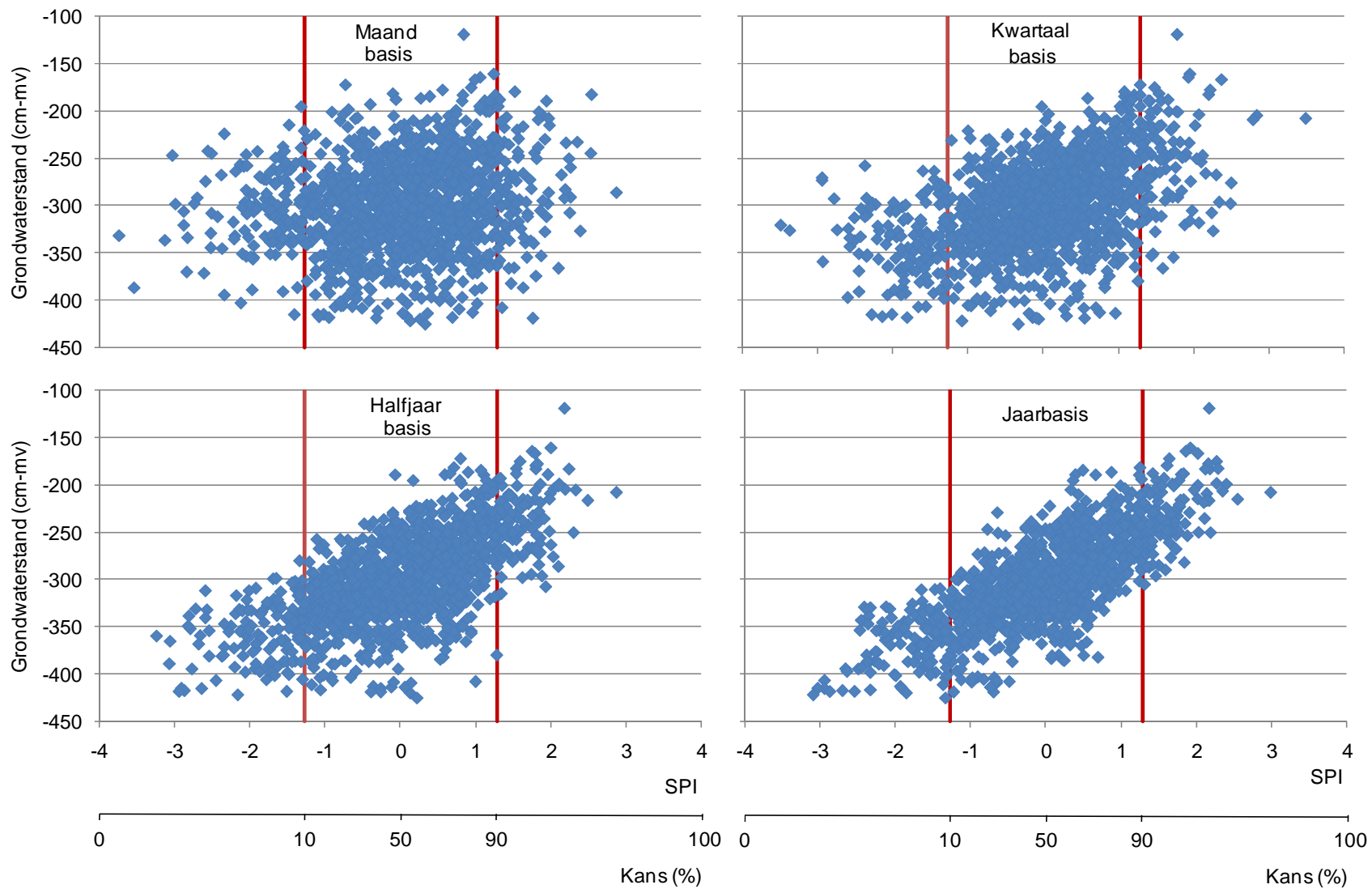
Tabel 3. Correlaties tussen de gestandaardiseerde neerslagindex (SPI) en modelsimulaties van HYDRUS-2D

Correlatie (R)	Bodemvocht	Verzadiging tov natst berekende toestand	Grondwaterstand
SPI (Maand)	0.33	0.26	0.17
SPI (Kwartaal)	0.56	0.50	0.47
SPI (Half jaar)	0.69	0.68	0.66
SPI (Jaar)	0.77	0.76	0.78

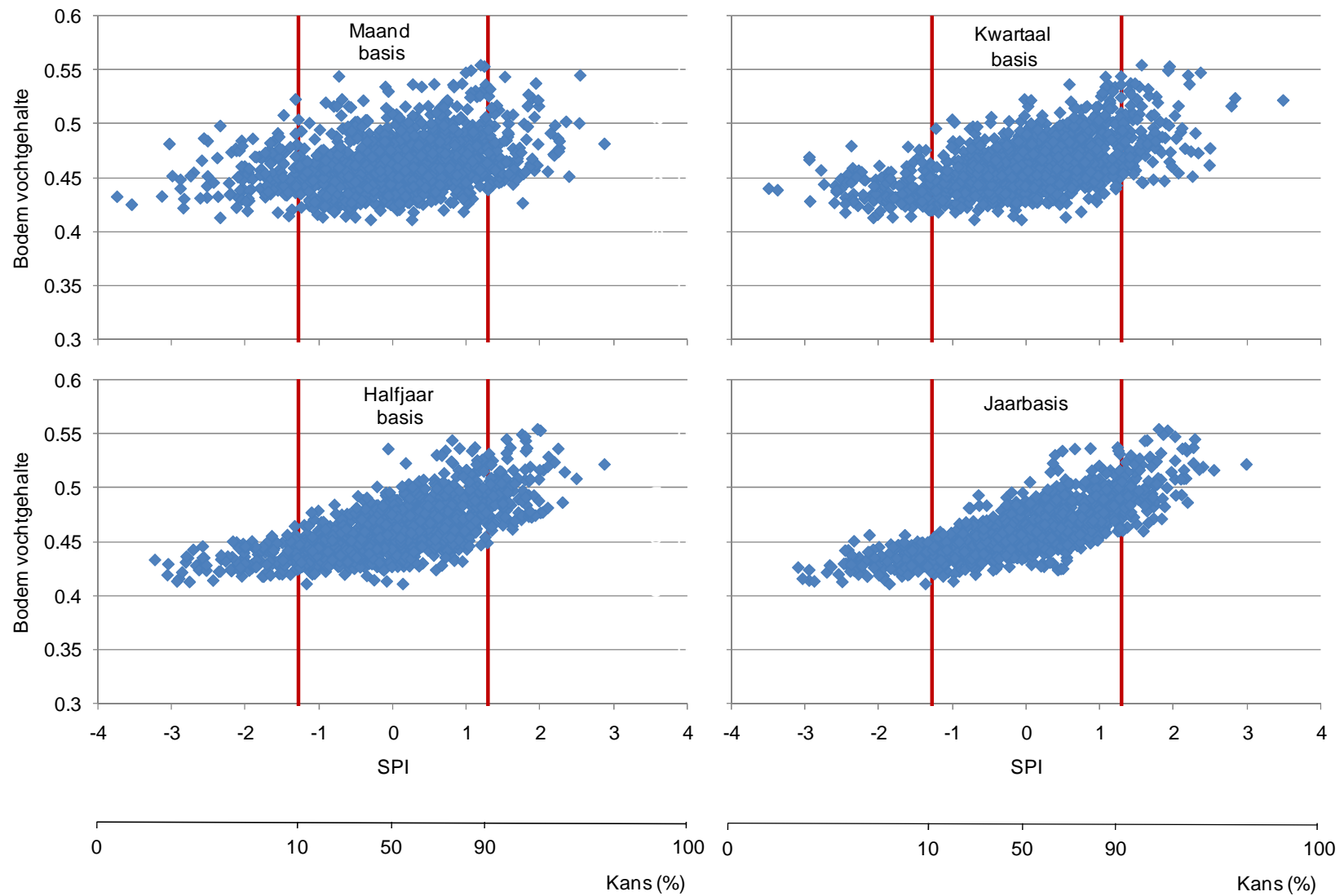
In de figuren 16 t/m 18 zijn de relaties weergegeven tussen de SPI enerzijds en de gesimuleerde grondwaterstand, bodemvochtgehalte en de verzadigings toestand anderzijds van een willekeurig punt uit de dijk. De door het model HYDRUS-2D als natst berekende moment was in oktober 1998. De verzadiging op de overige tijdstippen is als percentage van dat betreffende moment berekend. Bij alle drie de figuren zien we dezelfde trend, namelijk dat er een betere relatie met de SPI is naarmate de tijdschaal groter is (tabel 3). Op maand basis kan men nauwelijks spreken van enige relatie. Op jaar basis zijn de relaties redelijk te noemen. McKee (1993) gaf aan dat agrarische droogte (de kortere tijdschalen) vooral invloed heeft op vochtgehalte en dat hydrologische droogte (langere tijdschalen) invloed kan hebben op grond- en oppervlakte water. Deze relaties zijn echter niet duidelijk geworden. In alle drie de figuren zijn ook de 10% grenzen aangegeven voor natte en droge jaren, hetgeen mogelijk is omdat de SPI gerelateerd is aan een kans.

Voor drie locaties zijn de vochtberekeningen geanalyseerd met betrekking tot het mogelijk aanwezig zijn van waterafstotendheid. De eerste locatie ligt het dichtst bij de vaart. Op deze locaties zijn de punten op een diepte van 0, 27, 66 en 103 cm in beschouwing genomen. Op 4.80 meter landinwaarts ligt het tweede punt (dichtbij de kruin). De dieptes die op deze locatie zijn onderzocht zijn: 0, 64, 85, 104, en 144 cm. De derde locatie ligt op de helling van de dijk, op 11.86 meter vanaf het eerste punt. Hier zijn de dieptes 0, 41, 86, en 104 cm onderzocht.

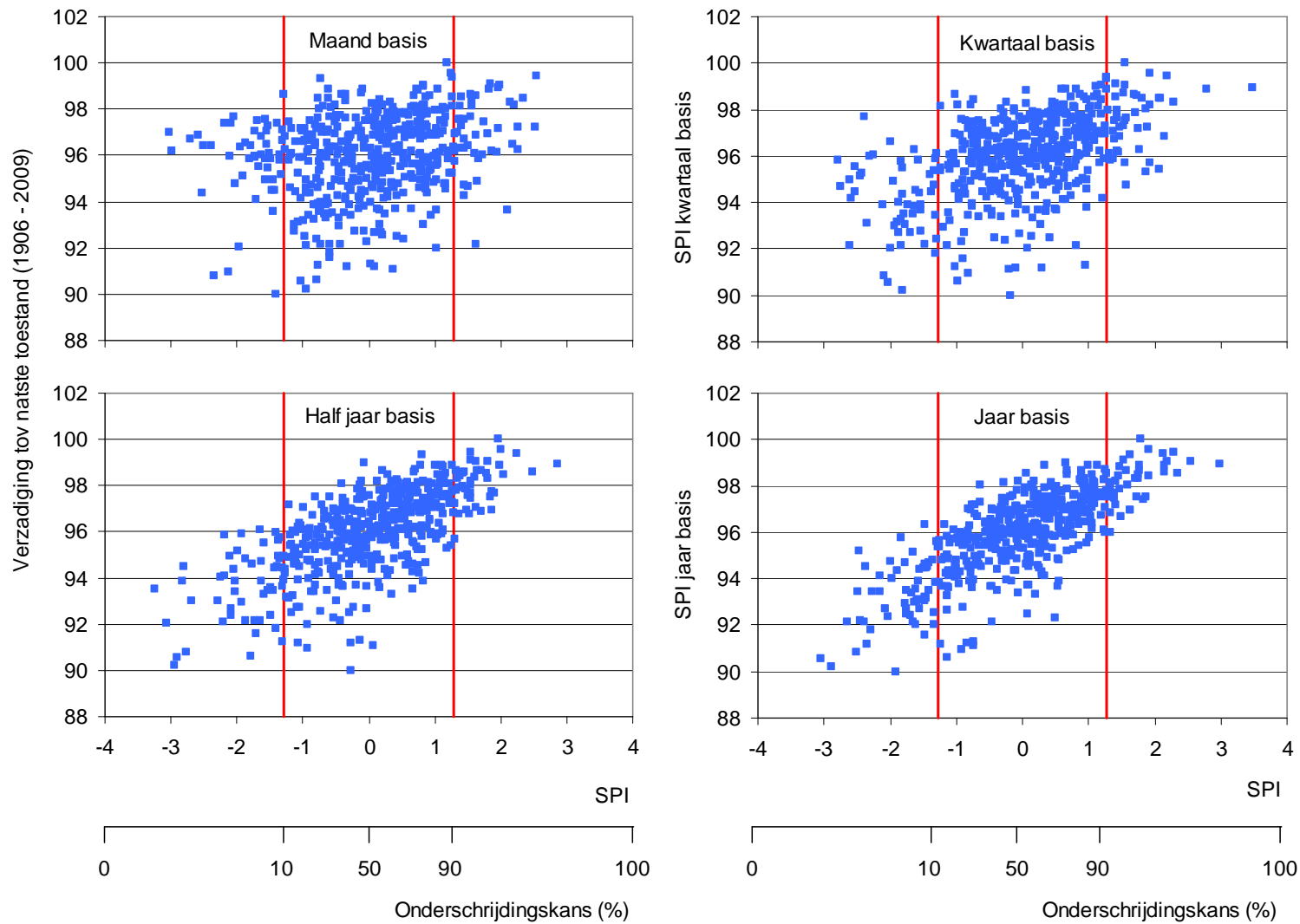
Veengronden worden waterafstotend zodra het vochtgehalte beneden een kritische waarde komt. Deze kritieke grens is voor veen 38 vol.% (Dekker and Ritsema, 1996) en is onafhankelijk van de diepte. Deze grenswaarde wordt gebruikt om te inventariseren wanneer de veendijk waterafstotend wordt en tot welke diepte zich dit voordoet. Figuur 19 laat zien wanneer op een diepte van 64 cm (locatie 2) het veen waterafstotend wordt. Boven de rode lijn is het veen bevochtigbaar, terwijl beneden de rode lijn waterafstotendheid optreedt. Zodra het veen eenmaal waterafstotend wordt, is het zeer moeilijk te bevochtigen.



Figuur 16. Relatie tussen de Standardized Precipitation Index en gesimuleerde grondwaterstanden voor vier verschillende tijdschalen.

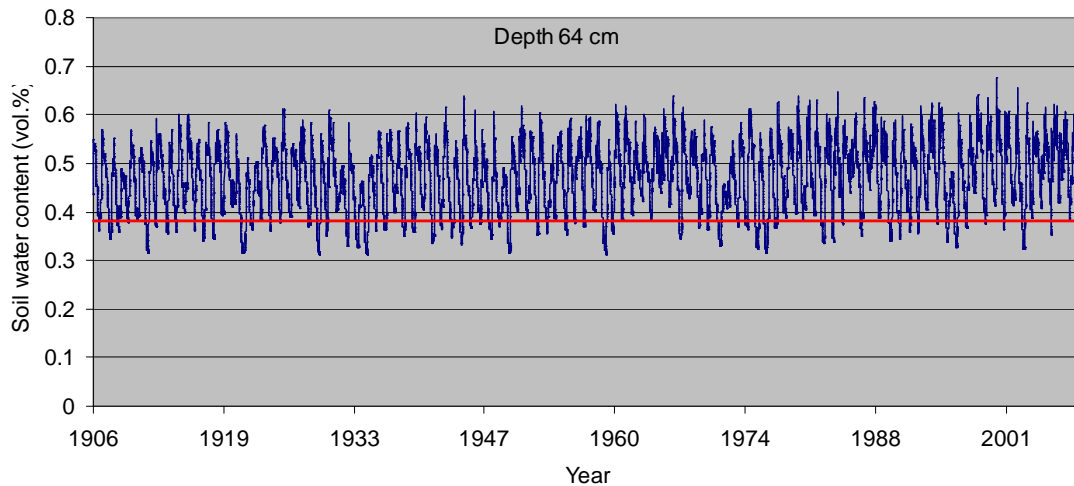


Figuur 17. Relatie tussen de Standardized Precipitation Index en gesimuleerde bodemvochtgehaltenes voor vier verschillende tijdschalen.

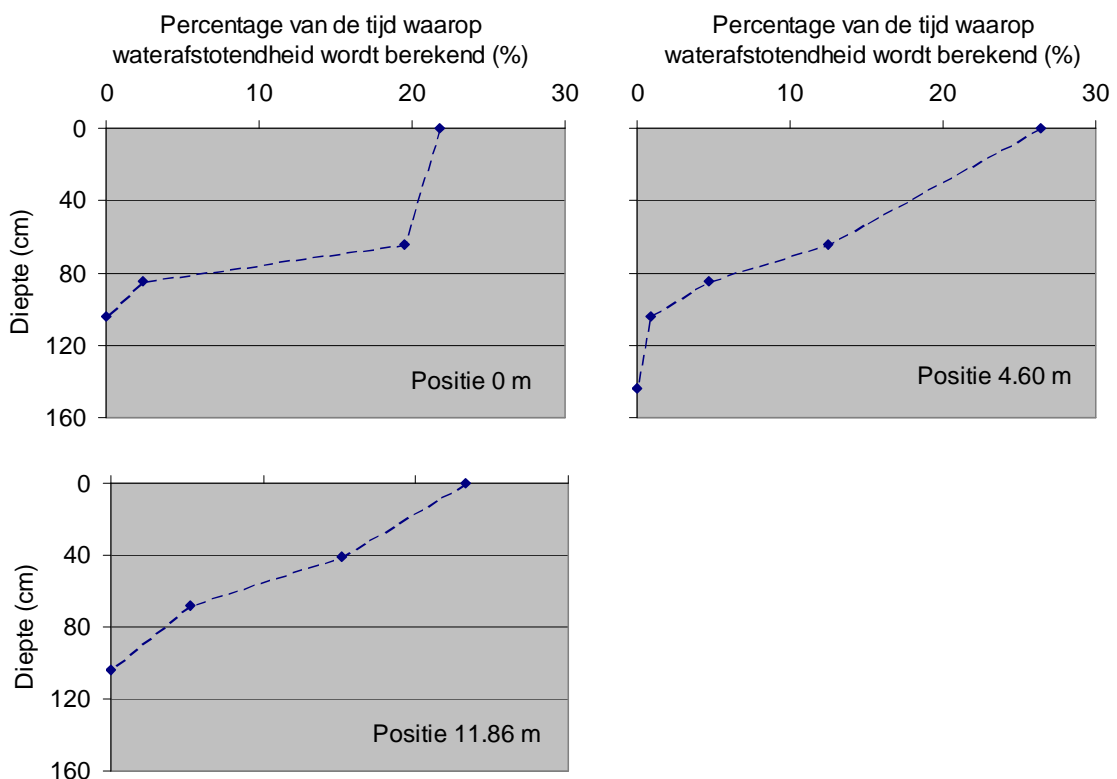


Figuur 18. Relatie tussen de Standardized Precipitation Index en de verzadiging (%) ten opzichte van de als het natst berekende toestand uit de periode 1906 - 2009 voor vier verschillende tijdschalen.

Het HYDRUS-2D model houdt geen rekening met waterafstotendheid, waardoor er een te snelle herbevochtiging wordt berekend nadat veen in werkelijkheid waterafstotend is geworden. Scheurvorming is een ander facet waarmee het model geen rekening houdt. Indien er scheurvorming optreedt, dan kan bij neerslag een belangrijk gedeelte direct via de scheuren naar de ondergrond stromen. Ook de verdamping via scheuren kan een betekenis spelen.

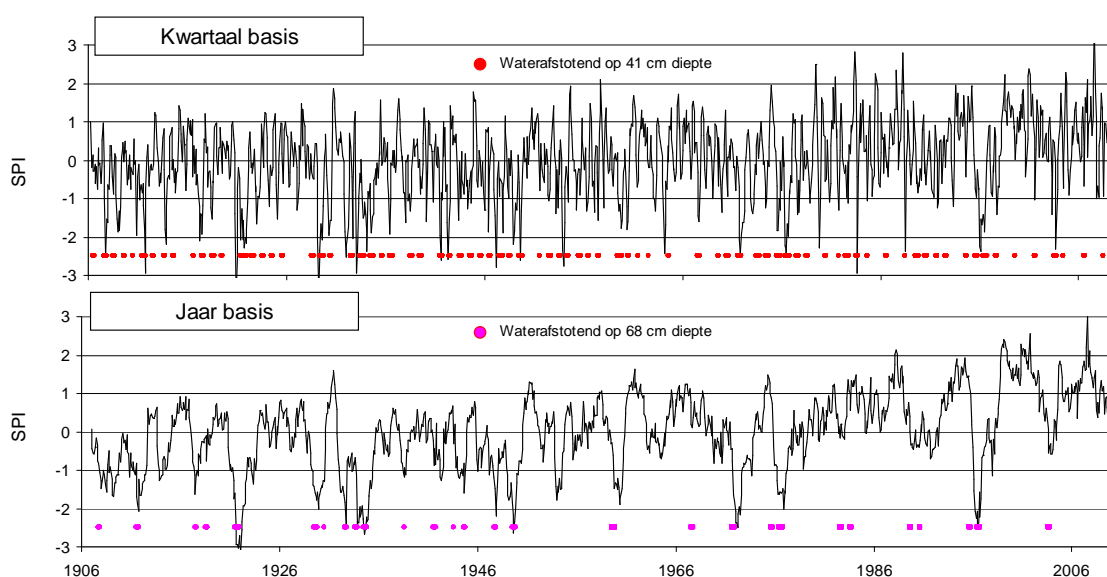


Figuur 19. Berekende vochtgehalten van een willekeurig punt in de dijk op een diepte van 64 cm en de lijn waar beneden het veen waterafstotend wordt.



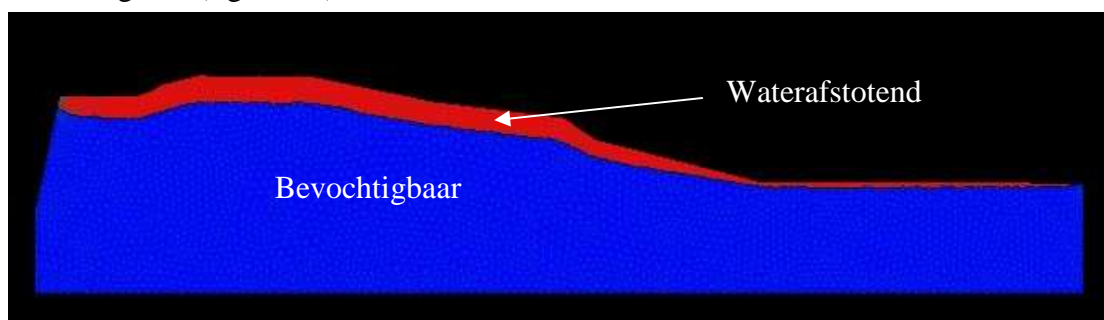
Figuur 20. Percentage van de tijd dat er op een bepaalde diepte waterafstotendheid wordt berekend voor 3 verschillende posities op de dijk. Positie 0 is het dichtste bij de boezemvaart. Diepten zijn willekeurig gekozen punten.

Voor de drie gekozen locaties op de dijk zijn op de verschillende dieptes de vochtgehalten geanalyseerd. Hierbij is gelet op wanneer er waterafstotendheid zou ontstaan. Vervolgens is per diepte berekend op hoeveel dagen in de reeks van 100 jaren zich dit voordoet en vervolgens zijn deze als percentage van het totaal aantal dagen uitgezet tegen de diepte (figuur 20). Uit deze figuur blijkt dat 1% van de tijd het profiel waterafstotend is tot een diepte van 104cm op locatie 2. Op een diepte van 85 cm is het veen waterafstotend gedurende 2.4% (locatie 1) en 4.7% (locatie 2) van de tijd. Het is interessant hoe deze berekende waterafstotendheid zich verhoudt tot de berekende SPI waarden. Hiertoe zijn in figuur 21 de tijden uitgezet waarop het veen waterafstotend is ten opzichte van de berekende SPI index. Het bovenste gedeelte van figuur 21 geeft de SPI index op kwartaalbasis met hierin aangegeven de momenten waarop op 41 cm diepte het veen waterafstotend is. Het onderste gedeelte van diezelfde figuur geeft de SPI-index op jaarbasis weer met hierin weergegeven de waterafstotendheid op 86 cm diepte.



Figuur 21. SPI-indices op kwartaal en jaarbasis met hierin aangegeven de momenten waarop het veen waterafstotend is op respectievelijk 41 cm en 68 cm diepte.

In augustus 2003 is de waterafstotendheid op basis van het berekende vochtgehalte geanalyseerd voor de hele dijk. Vervolgens is hier een dwarsdoorsnede gemaakt met hierin aangegeven welk gedeelte waterafstotend is en welk gedeelte goed bevochtigbaar (figuur 22).



Figuur 22. Berekende waterafstotendheid van de dijk in augustus 2003.

6 Conclusies en aanbevelingen

De HYDRUS-2D berekeningen zijn uitgevoerd zonder rekening te houden met waterafstotendheid en scheurvorming. Dit betekent dat droogte tijdens de berekeningen wordt onderschat omdat de herbevochtiging van waterafstotend veen langzamer gaat dan door HYDRUS wordt berekend. De scheurvorming heeft tot gevolg dat een groot deel van de neerslag via de scheuren versneld wordt afgevoerd naar de ondergrond. HYDRUS berekent echter een homogene infiltratie aan het bodem oppervlak. Ook processen als verdamping via krimpscheuren wordt niet meegenomen door HYDRUS-2D.

Er lijkt verband te bestaan tussen de HYDRUS-2D model simulaties en berekende SPI waarden. De SPI methode lijkt een goed instrument om droogte, dan wel natheid van het klimaat te monitoren. In deze studie zijn een drietal neerslagstations gebruikt om west Nederland te kunnen monitoren. Deze risico kaarten kunnen maandelijks worden geproduceerd en met behulp van extra neerslagstations landsdekkend worden gemaakt. Door deze kaarten op een web server te plaatsen is de informatie direct beschikbaar voor ondermeer dijkbeheerders, boeren, natuurbeheerders, brandwachten, enz.

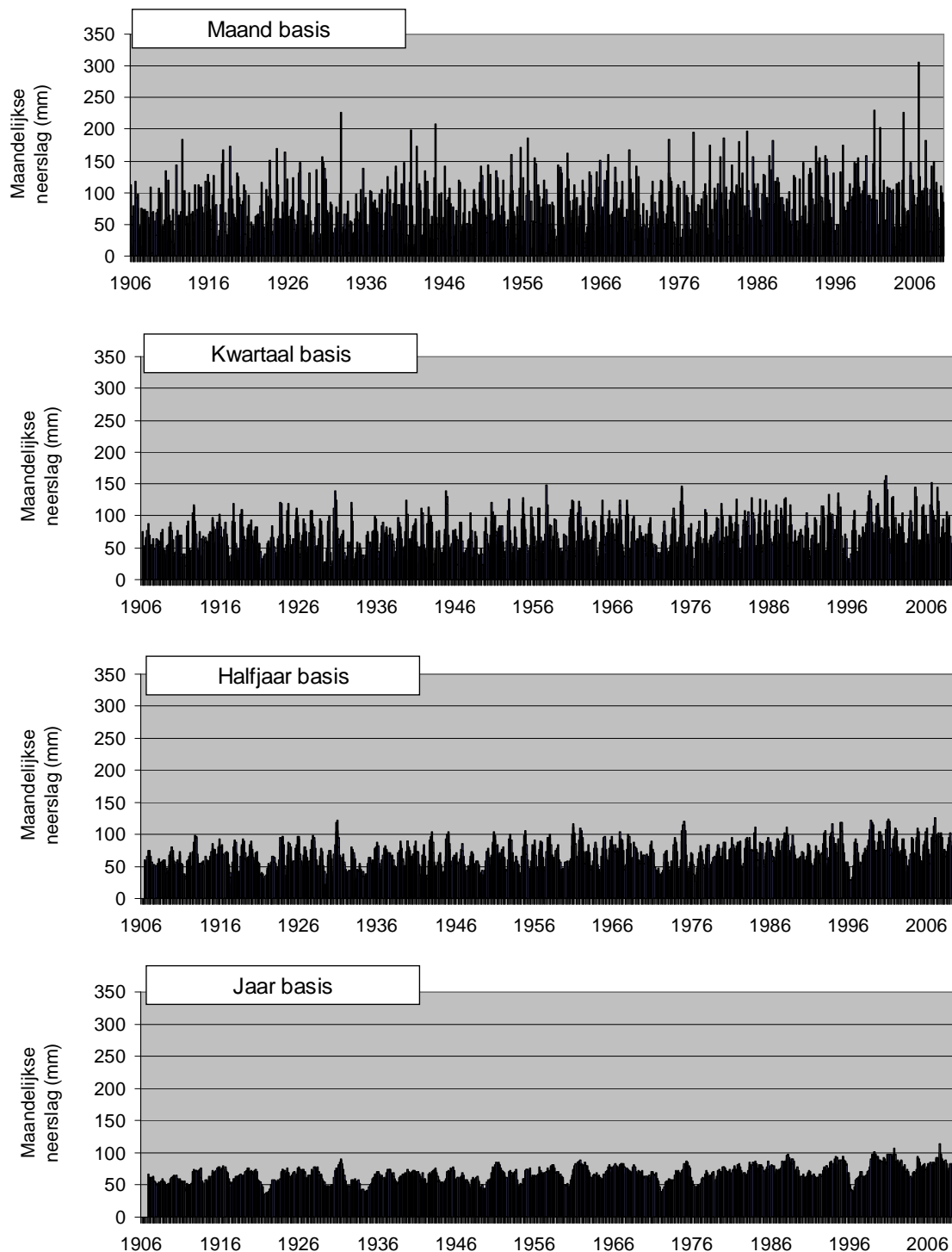
Om een goede feeling te krijgen wat de risicokaarten inhouden voor de waterhuishouding van dijken is een deugdelijk meetprogramma nodig, welke erop gericht is om meer inzicht te verschaffen tussen de SPI analyses en de grondwaterstanden en ook tussen de SPI en de vochtgehalten die in de dijk kunnen optreden. Ook interessant is de relatie tussen vochtgehalte en waterafstotendheid van dijken. Hiertoe zouden in droge perioden bemonsteringen moeten plaatsvinden. Deze relatie is verschillend per materiaal (veen, klei, zand).

Dijkdoorbraken of afschuivingen laten zich moeilijk correleren met de gestandaardiseerde neerslag index omdat niet altijd duidelijk is wat de oorzaak van de doorbraak c.q. afschuiving is. Wel is duidelijk dat doorbraken voorkomen in droge periodes, maar meer nog in natte periodes. Ook wordt regelmatig waargenomen dat doorbraken plaatsvinden doordat een droogte periode wordt gevolgd door een intensieve natte periode. Herbevochtiging van het dijklichaam blijft dan waarschijnlijk achter doordat het veen waterafstotend is geworden, terwijl een mogelijk stijgend boezempeil dan wellicht een dijkdoorbraak kan veroorzaken.

7 Referenties

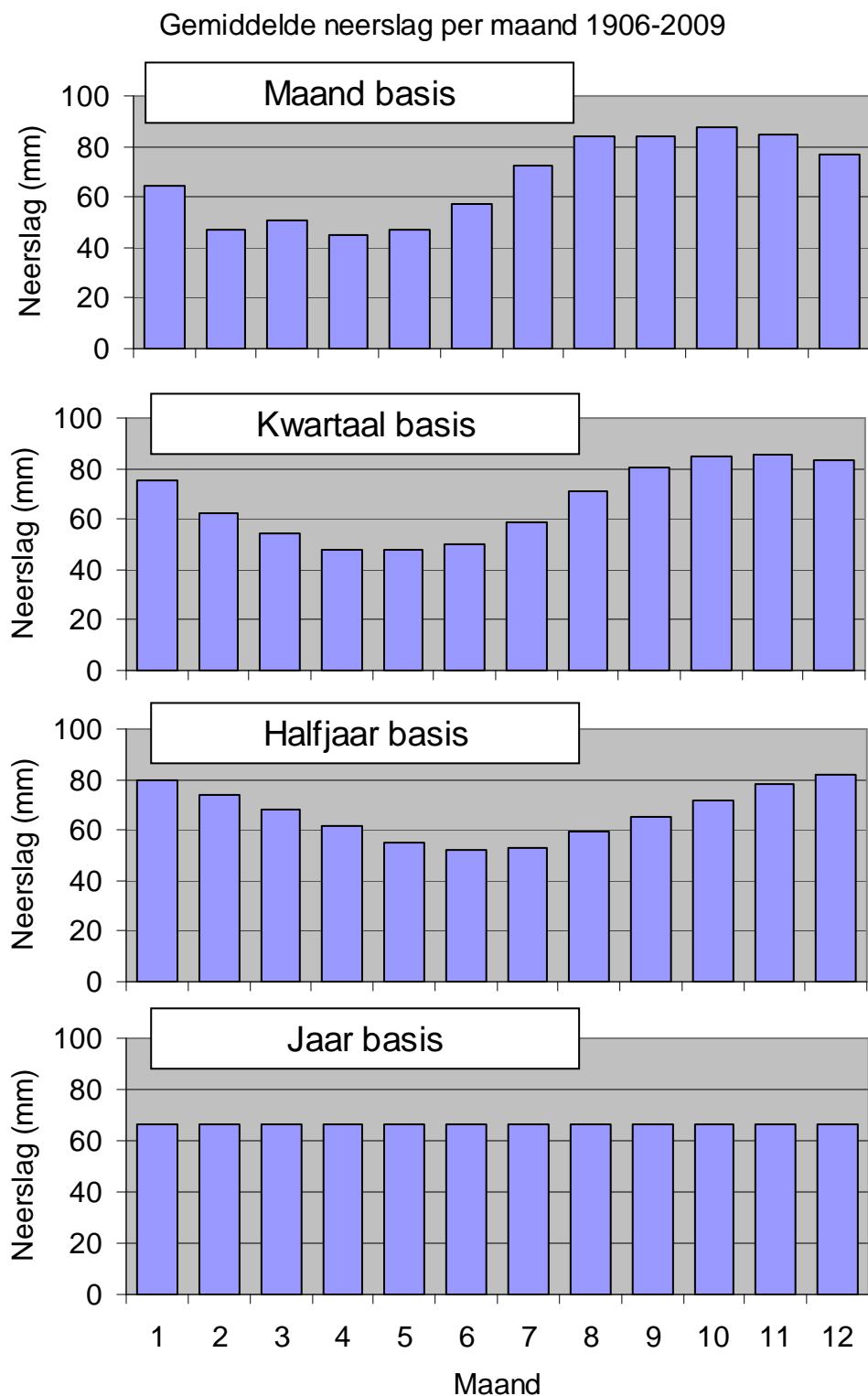
- Dekker, L.W. and C.J. Ritsema, 1996. Variation in water content and wetting patterns in Dutch water repellent peaty clay and clayey peat soils. *Catena* 28:89-105
- McKee, T.B.; N.J. Doesken; and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, pp. 179–184. January 17–22, Anaheim, California.
- Šimůnek, J., M. Th. van Genuchten, and M. Šejna, The HYDRUS Software Package for Simulating Two- and Three Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Technical Manual, Version 1.0, PC Progress, Prague, Czech Republic, 2006. 213 p.
- Šimůnek, J., M. Th. van Genuchten, and M. Šejna, The HYDRUS Software Package for Simulating Two- and Three Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Version 1.0, PC Progress, Prague, Czech Republic, 2006. 203 p
- STOWA, Grond voor kaden. Praktijkonderzoek naar de ontwikkeling van fysische kwaliteitseisen voor grond in de boezemkaden. 2002, W04

8 Bijlage 1. Overzicht van de maandelijkse neerslag hoeveelheden toegepast op verschillende tijdschalen



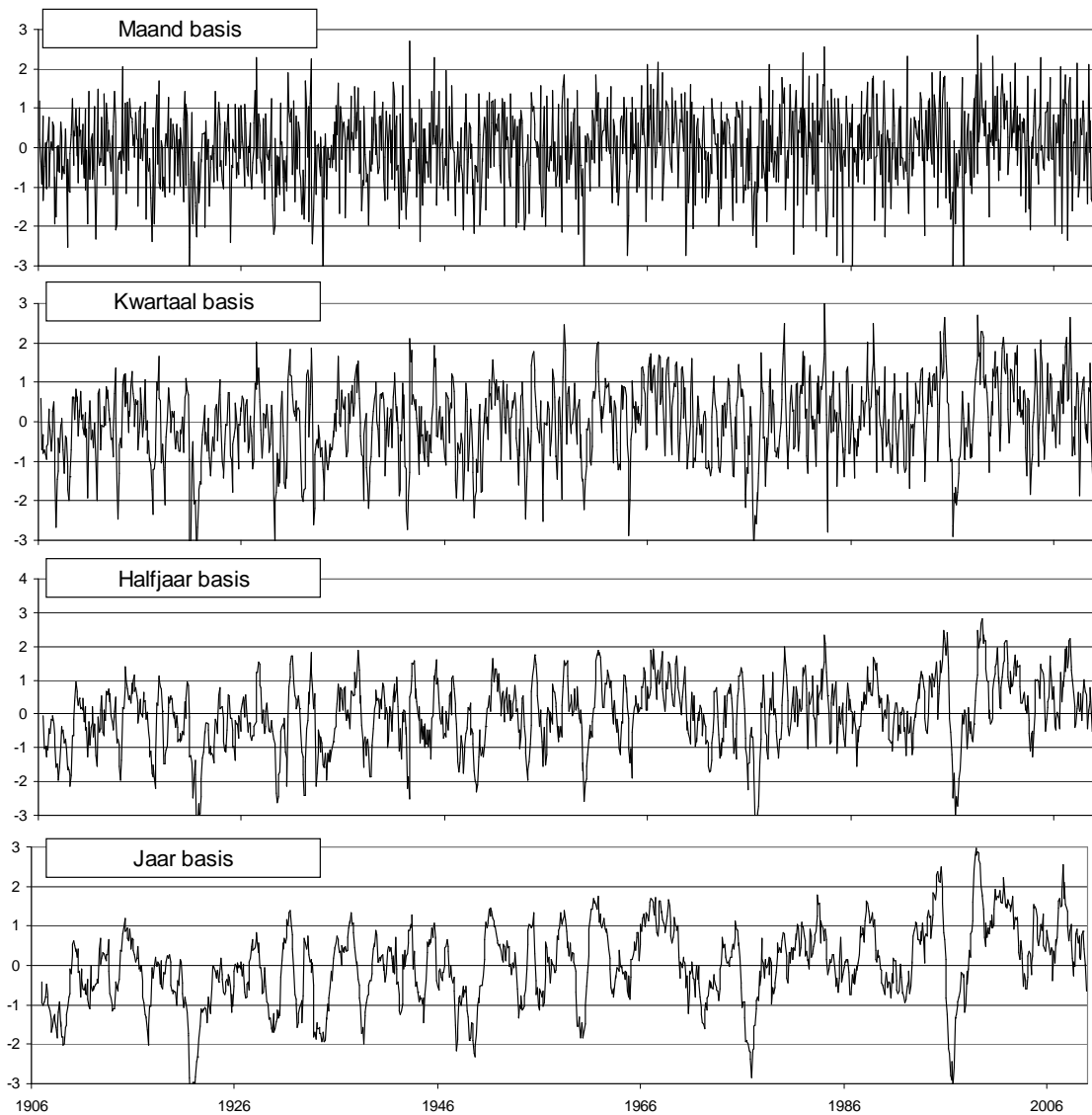
Tijdreeksen van de neerslag van het meteo station Hoofddorp toegepast op verschillende tijdschalen.

Bijlage 1. Overzicht van de maandelijkse neerslag hoeveelheden toegepast op verschillende tijdschalen (vervolg)



Gemiddelden van de neerslag van het meteo station Hoofddorp toegepast op verschillende tijdschalen

9 Bijlage 2. Neerslag analyses van het station Hoorn



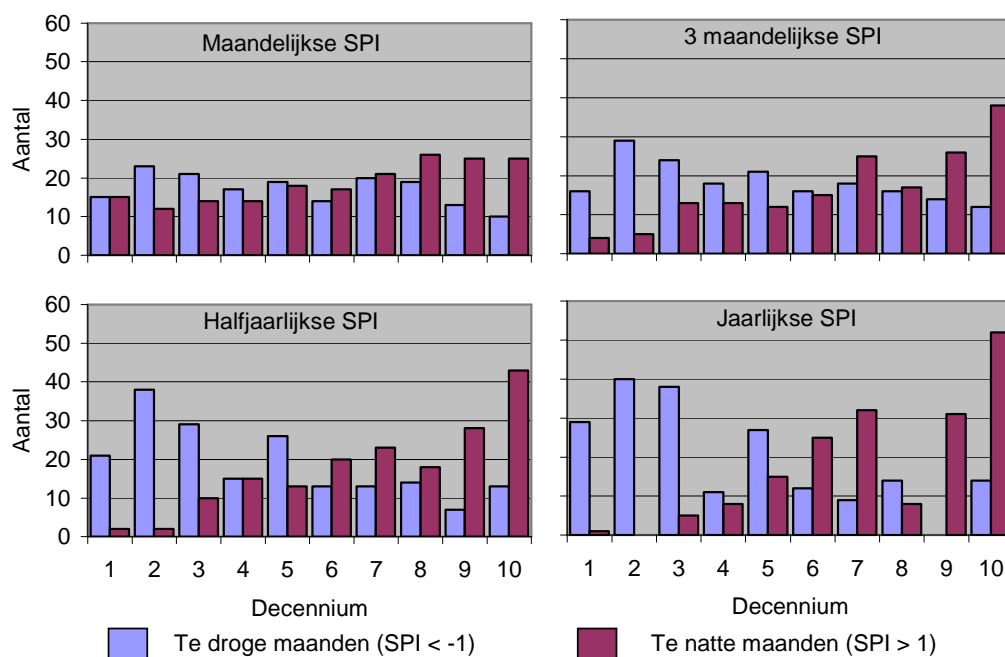
Tijdreeksen van de Standardized Precipitation Index (SPI) voor verschillende tijdschalen van het neerslagstation Hoorn.

Bijlage 2. Neerslag analyses van de stations Hoorn (vervolg)

Overzicht van de top 5 droogte periodes voor vier verschillende tijdschalen van neerslagstation Hoorn.

Maand Basis			Kwartaal Basis			
Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	
1	Feb 1921 - Jan 1922	388	12.7	Okt 1920 - Mrt 1922	525	30.0
2	Feb 1976 - Aug 1976	257	10.1	Jan 1933 - Jan 1935	425	23.1
3	Okt 1995 - Jan 1996	212	8.0	Aug 1995 - Okt 1996	394	21.5
4	Sep 1931 - Mrt 1932	240	7.2	Feb 1976 - Dec 1976	298	19.2
5	Nov 1941 - Jun 1942	198	7.2	Mrt 1929 - Sep 1929	259	13.8

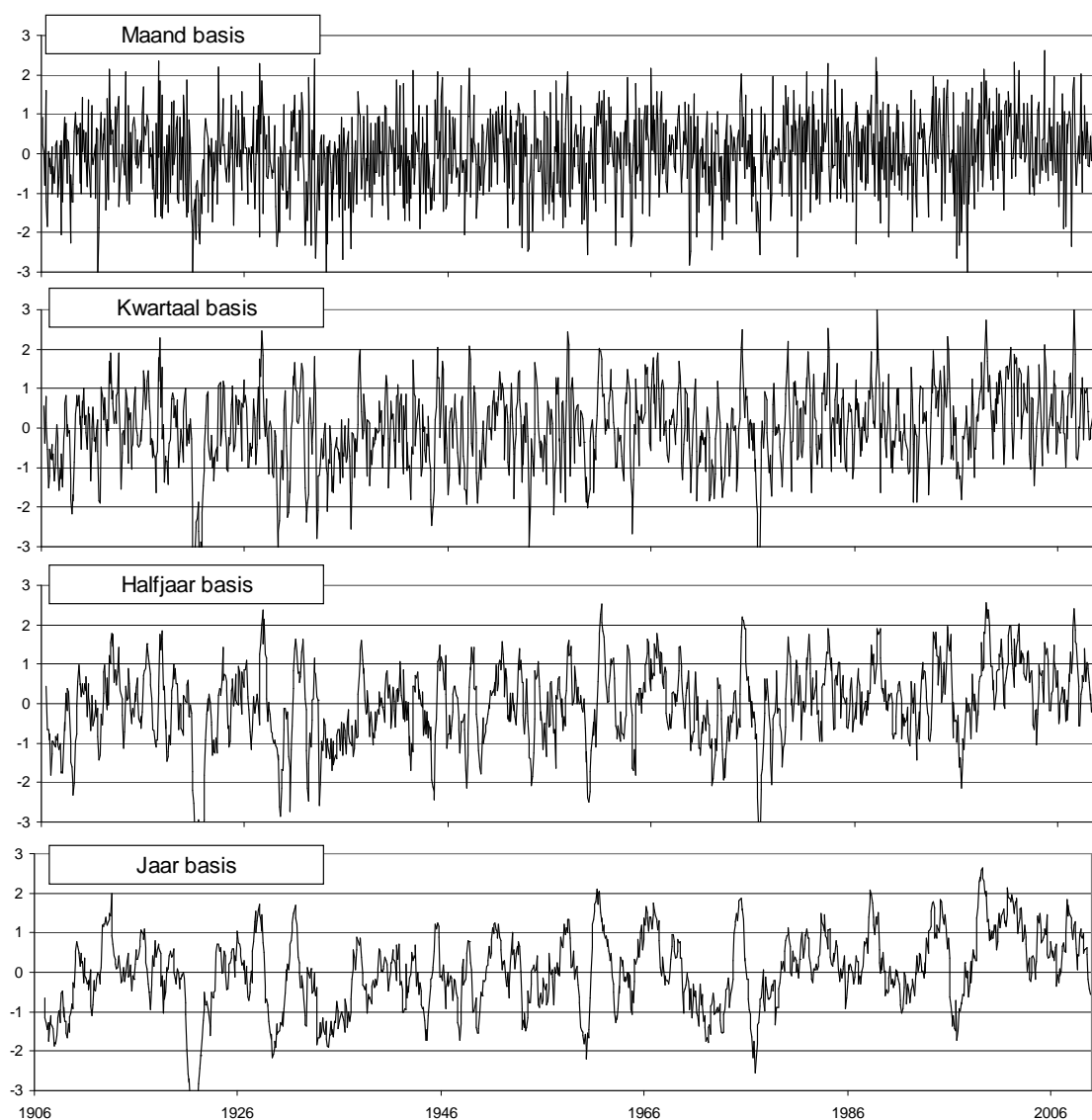
Halfjaar Basis			Jaar Basis			
Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	
1	Okt 1920 - Aug 1923	717	48.3	Okt 1920 - Jul 1924	750	62.8
2	Jun 1906 - Jun 1909	545	35.1	Dec 1906 - Nov 1909	422	42.8
3	Jul 1975 - Jan 1977	383	31.7	Mei 1947 - Jun 1950	430	42.6
4	Apr 1933 - Apr 1934	357	27.9	Okt 1975 - Okt 1977	395	34.6
5	Sep 1995 - Jan 1997	340	26.4	Jan 1996 - Mrt 1998	246	33.6



Decennium 1 = 1906 - 1915; Decennium 10 = 1996 - 2005)

Aantallen maanden per decennium van het neerslagstation Hoorn die volgens de SPI als te droog of te nat worden aangemerkt

10 Bijlage 3. Neerslag analyses van het station Kerkwerve



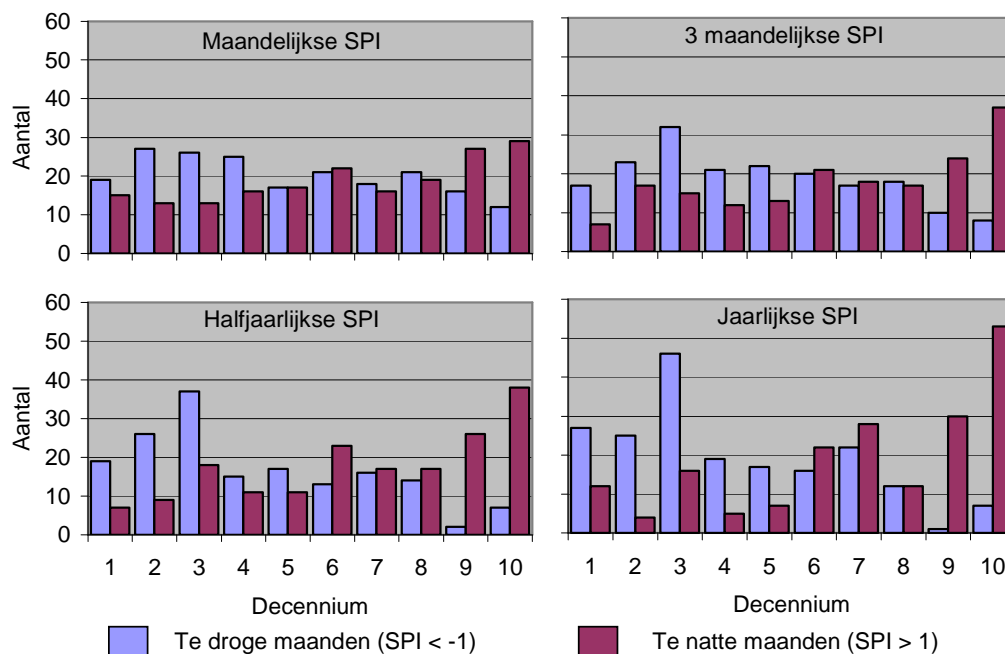
Tijdreeksen van de Standardized Precipitation Index (SPI) voor verschillende tijdschalen van het neerslagstation Kerkwerve.

Bijlage 3. Neerslag analyses van de stations Kerkwerve (vervolg)

Overzicht van de top 5 droogte periodes voor vier verschillende tijdschalen van neerslagstation Kerkwerve.

Maand Basis			Kwartaal Basis			
Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	
1	Sep 1920 - Dec 1921	685	22.5	Sep 1920 - Jan 1922	681	39.5
2	Dec 1975 - Aug 1976	313	10.9	Jul 1928 - Okt 1929	333	17.8
3	Dec 1928 - Mei 1929	179	7.7	Feb 1976 - Okt 1976	243	16.3
4	Nov 1932 - Apr 1933	194	7.1	Feb 1944 - Aug 1944	202	11.1
5	Sep 1931 - Mrt 1932	229	6.9	Apr 1959 - Jan 1960	219	10.8

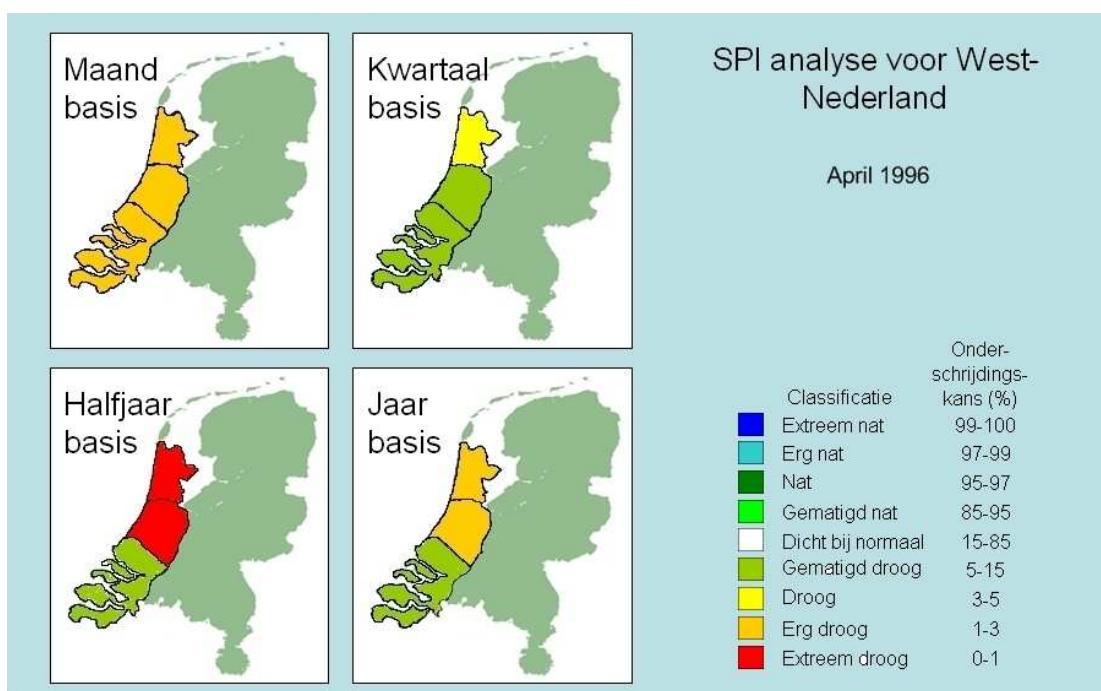
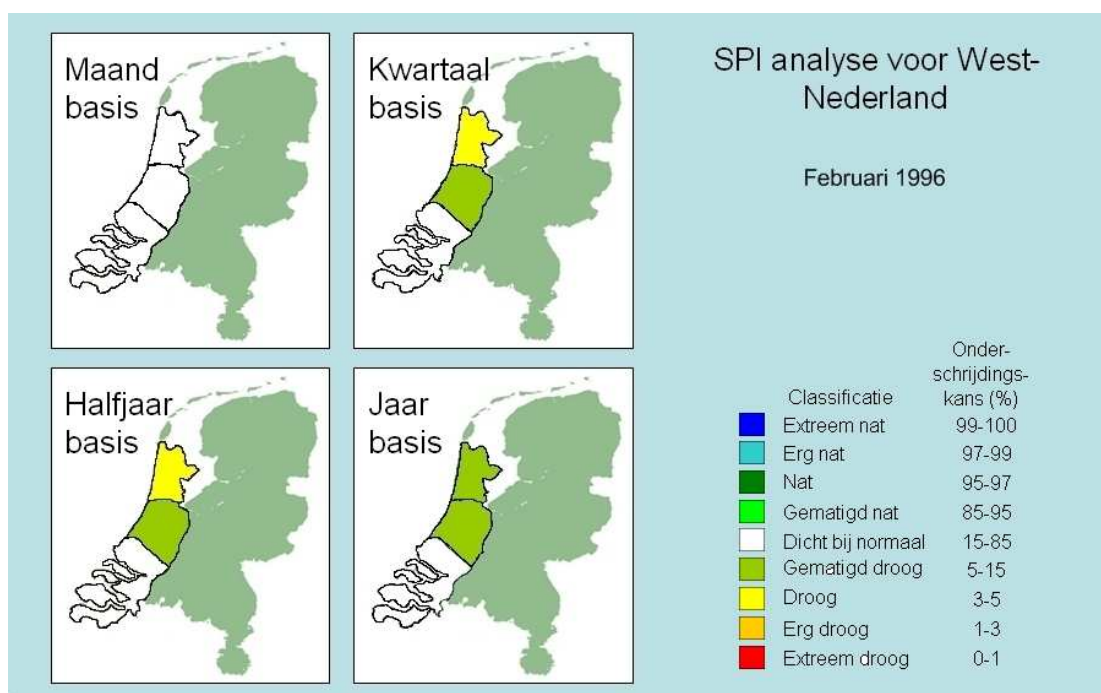
Halfjaar Basis			Jaar Basis			
Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	Periode	Neerslag tekort (mm)	Droogte magnitude (maand)	
1	Jun 1920 - Mrt 1922	655	52.8	Jan 1920 - Sep 1923	882	78.0
2	Apr 1933 - Jan 1937	749	47.0	Apr 1933 - Mrt 1937	671	56.5
3	Mei 1928 - Aug 1930	453	30.5	Sep 1969 - Aug 1974	818	50.7
4	Jul 1906 - Apr 1908	410	23.2	Dec 1906 - Nov 1909	496	43.0
5	Dec 1975 - Jan 1977	299	21.0	Aug 1928 - Aug 1930	444	33.0



Decennium 1 = 1906 - 1915; Decennium 10 = 1996 - 2005)

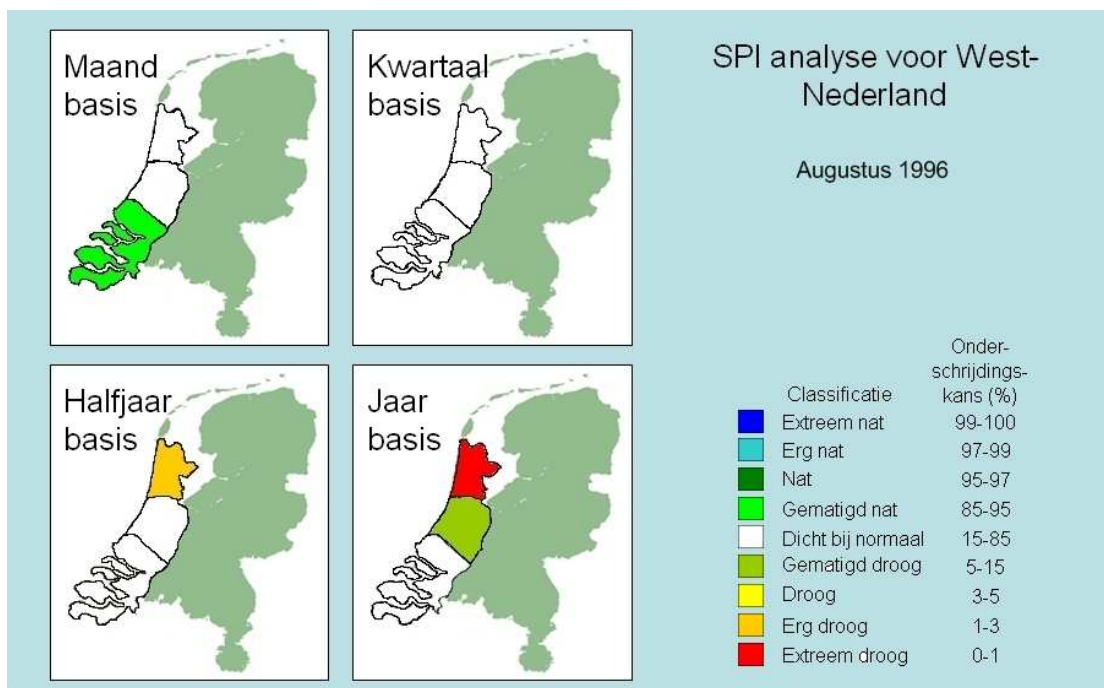
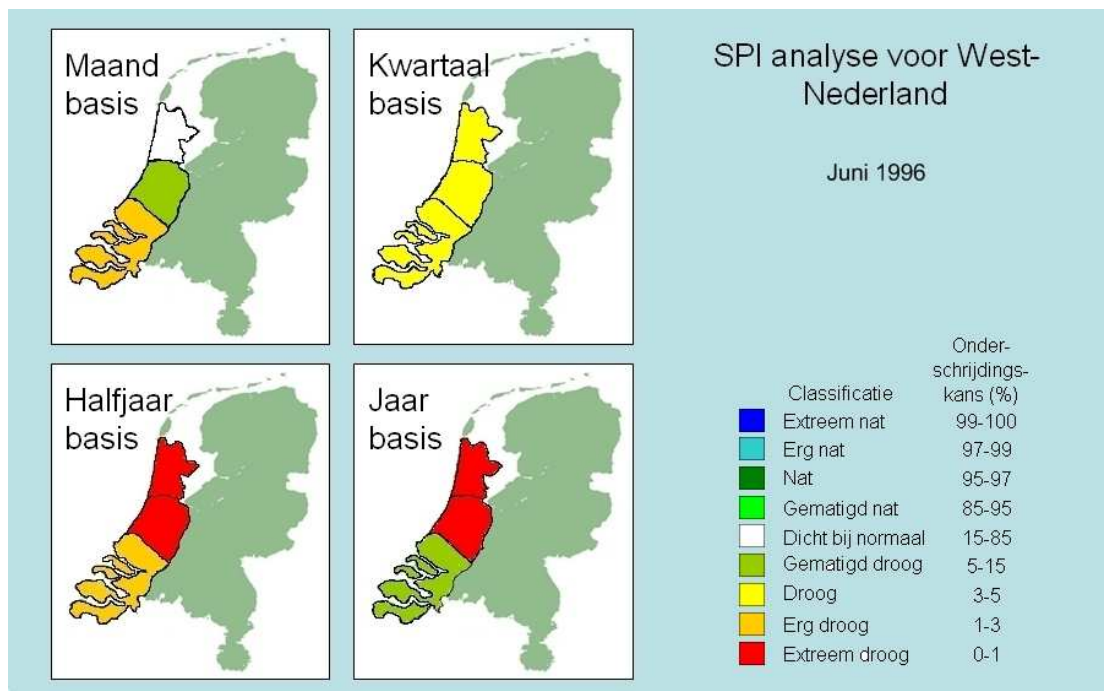
Aantallen maanden per decennium van het neerslagstation Kerkwerve die volgens de SPI als te droog of te nat worden aangemerkt

11 Bijlage 4. Risico kaarten op basis van onderschrijdingskansen



Risico kaarten op basis de onderschrijdingskansen van SPI analyses van drie neerslagstations.

Bijlage 4. Risico kaarten op basis van onderschrijdingskansen



Risico kaarten op basis van onderschrijdingskansen van SPI analyses van drie neerslagstations.