

Grondwaterdynamiek van vegetatiestandplaatsen

Grondwaterdynamiek van vegetatiestandplaatsen

Analyse van zesentwintig tijdreeksen

M. Knotters

M.F.P. Bierkens

C.P. Beets

Alterra-rapport 095

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000

REFERAAT

M. Knotters, M.F.P. Bierkens, C.P. Beets, 2000. *Grondwaterdynamiek van vegetatiestandplaatsen; Analyse van zesentwintig tijdreeksen*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 095. 104 blz. 35 fig.; 5 tab.; 14 ref.; 4 aanh.

De grondwaterdynamiek van 26 vegetatiedoeltypen in terreinen van het Staatsbosbeheer is gemodelleerd met behulp van een stochastische differentiaalvergelijking. Op basis van neerslag-overschotreeksen van 30 jaar lang is het langjarige grondwaterstandsverloop gesimuleerd op dagbasis. Uit deze reeksen zijn karakteristieken berekend zoals duurlijnen, SOW-waarden, inundatieduren en regimecurves van zowel de grondwaterspiegel als de saturatie- en aeratiegraad en het cumulatieve verdampingstekort.

Trefwoorden: duurlijn, freatische grondwaterstand, grondwaterdynamiek, inundatie, regime-curve, SOW, stochastische differentiaal vergelijking,

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 50,00 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 095. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2000 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl
Staatsbosbeheer
Postbus 1300
3970 BH Driebergen

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. en Staatsbosbeheer.

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

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Materialen en methode	15
2.1 Tijdreeksen van grondwaterstand, neerslagoverschot en drainageniveau	15
2.2 Beschrijving van de locaties	16
2.3 Schematisatie van de hydrologische omstandigheden	25
2.4 De stochastische differentiaalvergelijking	31
2.5 Evaluatie van de kalibratieresultaten	31
2.6 Simulatie van de grondwaterdynamiek	32
2.7 Karakteristieken voor de grondwaterdynamiek	32
2.8 Trendanalyse	35
2.9 Programmatuur	35
3 Resultaten	37
3.1 Resultaten van de kalibratie	37
3.2 Trendanalyse	39
3.3 Resultaten van de simulaties	40
3.4 Minimaal benodigde reekslengte; maximaal waarnemingsinterval	41
4 Conclusies en aanbevelingen	43
Literatuur	45
<i>Aanhangsels</i>	
1 Een stochastische differentiaalvergelijking	47
2 Toelichting bij de programmatuur	71
3 Tijdreeksgrafieken van gemeten en gecalibreerde grondwaterstanden	83
4 Simulatieresultaten voor SB1: buis B132 Wijnjeterperschar	97

Woord vooraf

De natuur, en daar rekenen we ook de grondwaterspiegel toe, is grillig en plaatst ons steeds weer voor verrassingen. Zich uitspreken over de dynamiek van de grondwaterspiegel zonder zich van de grilligheid en onvoorspelbaarheid bewust te zijn, zou net zo verstandig zijn als op fietsvakantie gaan in Nederland zonder regenkleding mee te nemen. In dit onderzoek vindt daarom een stochastische methode om grondwaterstandstijdreeksen te modelleren, namelijk de stochastische differentiaalvergelijking, een van haar eerste toepassingen. Karakteristiek voor stochastische modellen zoals de stochastische differentiaalvergelijking is de belangrijke rol die de informatie over het verschil tussen model en waarneming van de werkelijkheid speelt in simulaties. Karakteristieken voor het dynamische gedrag die worden berekend uit deze simulaties hebben hierdoor een hoger realiteitsgehalte dan wanneer een niet-stochastisch, deterministisch model zou zijn gebruikt. Bovendien stelt een stochastisch model ons in staat de grondwaterdynamiek te karakteriseren in termen van risico's of overschrijdingskansen.

In dit onderzoeksproject is in samenspraak met de opdrachtgever een poging gedaan om de veelheid aan cijfermateriaal die al snel uit stochastische simulaties voortvloeit te stroomlijnen tot heldere, inzichtelijke curven en kengetallen die mogelijk relevant zijn voor de typering van vegetatiestandplaatsen. Gezien de omvang van de resultaten - vele *spread sheet*-bestanden - geeft dit rapport behalve een toelichting van de methodiek slechts een samenvatting van de resultaten die op CD aan de opdrachtgever zijn verstrekt.

In dit woord vooraf willen de auteurs graag Jan Streefkerk van het Staatsbosbeheer bedanken voor zijn bijdrage in de gesprekken die geleid hebben tot de karakteristieken die uiteindelijk zijn berekend. Peter Jansen en Rein de Waal van Alterra bedanken wij voor de standplaatsgegevens die zij beschikbaar hebben gesteld. Han Runhaar van Alterra bedanken wij voor zijn commentaar op het eerste manuscript.

Samenvatting

De grondwaterstand is in Nederland vanwege zijn geringe diepte van grote invloed op de plantengroei en daarmee ook op de samenstelling van vegetaties. Om inzicht te krijgen in de relatie tussen grondwaterdynamiek en vegetatie, is in opdracht van het Staatsbosbeheer voor 26 locaties de dynamiek van de grondwaterstand geanalyseerd. Voor dit doel is gebruik gemaakt van een stochastische differentiaalvergelijking. Dit is een niet-lineair model dat de relatie tussen neerslag, verdamping, eventueel oppervlaktewaterpeilen en de grondwaterstand beschrijft. Het model bevat een stochastische component, dat wil zeggen dat de informatie over het verschil tussen model en waarneming van de werkelijkheid niet verloren gaat maar wordt gebruikt bij het optimaliseren van het model en bij het simuleren van grondwaterstandstijdreeksen. De stochastische differentiaalvergelijking is in het bijzonder geschikt voor de beschrijving van ondiepe grondwaterstanden, zoals het geval is bij de 26 onderzochte locaties. Bovendien levert de stochastische differentiaalvergelijking uitvoer op dagbasis en heeft het model betrekkelijk weinig invoer nodig. Daarom verdient de stochastische differentiaalvergelijking de voorkeur boven alternatieven zoals het transfer-ruismodel, het ARX-model, het TARSO-model, SWATRE met een additief ARMA-model voor de ruis en het model EMERALD.

Het doel van dit onderzoek is om de grondwaterdynamiek voor de 26 locaties te beschrijven met een groot aantal karakteristieken. Verondersteld is dat karakteristieken die gebaseerd zijn op een periode van 30 jaar (klimaatrepresentatieve periode) relevant zijn voor de huidige, stabiele, vegetatietypen. In een vervolg op dit onderzoek zal worden bepaald welke karakteristieken het meest onderscheidend zijn voor het voorkomen van vegetatietypen. Voorts zullen de reeksen worden geanalyseerd op aanwezigheid van trend en zal de minimale reekslengte die nodig is voor een beschrijving van de grondwaterstandsdynamiek onder de heersende klimatologische omstandigheden worden geanalyseerd.

De 26 grondwaterstandsreeksen variëren in lengte van 41 tot 220 waarnemingen en bestrijken een periode van ca. 2 tot ca. 12 jaar, globaal tussen 1988 en 1999. De locaties liggen verspreid over Nederland, in zowel het Pleistocene zandgebied als in het rivierendistrict en in het Zeeuwse kustgebied. Van de locaties is de lokale waterhuishoudkundige situatie geïnventariseerd; drainageniveaus zijn zoveel mogelijk ingemeten t.o.v. de maaiveldhoogte van de opname.

De stochastische differentiaalvergelijking is uitvoerig beschreven door Bierkens in het tijdschrift *Stromingen* (1998). De systematische fout in de model-*fit* is gekwantificeerd met behulp van de gemiddelde fout (*ME*). Met behulp van de *root mean squared error* (*RMSE*) en de gemiddelde absolute fout (*MAE*) is de totale afwijking van model t.o.v. waarnemingen gekwantificeerd.

Met de gekalibreerde modellen zijn vervolgens simulaties uitgevoerd. Voor elk van de 26 locaties zijn 100 realisaties van het grondwaterstandsverloop op dagbasis

gesimuleerd voor een periode van 30 jaar. Uit deze simulaties zijn op verzoek van het Staatsbosbeheer de volgende karakteristieken berekend:

1. de regimecurve van de grondwaterstand met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
2. de regimecurve van de saturatiegraad met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
3. de regimecurve van de aeratiegraad met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
4. de regimecurve van het cumulatieve verdampingstekort met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
5. de overschrijdingsduurlijn van de grondwaterstand met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
6. de herhalingsstijd waarmee een bepaalde grondwaterstand een bepaald aantal dagen achtereenvolgend wordt overschreden. Grondwaterstanden zijn hierbij om de 10 cm beschouwd en het aantal dagen is 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 50 en 100;
7. de herhalingsstijd waarmee een bepaalde grondwaterstand een bepaald aantal dagen achtereenvolgend wordt onderschreden. Grondwaterstanden zijn hierbij om de 10 cm beschouwd en het aantal dagen is 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 50 en 100;
8. de verwachte duur van een inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
9. de verwachte einddatum van een inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
10. de verwachte duur van de jaarlijkse langste inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
11. de verwachte einddatum van de jaarlijkse langste inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
12. de SOW-waarden voor overschrijding van grondwaterstanden, in stapjes van 10 cm, te rekenen vanaf 1 oktober tot 1 maart, 15 maart, 1 april, 15 april, 1 mei, 15 mei en 1 juni en met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
13. de SOW-waarden voor onderschrijding van grondwaterstanden, in stapjes van 10 cm, te rekenen vanaf 1 oktober tot 1 maart, 15 maart, 1 april, 15 april, 1 mei, 15 mei en 1 juni en met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
14. de volgende statistieken: gemiddelde, variantie, standaardafwijking, derde moment, mediaan, de kwartielen, minimum, maximum, de z/x -waarde, de GHG, GLG en GVG berekend over een geheel hydrologisch jaar, met gemiddelde, mediaan, 5-de en 95-ste percentiel, de GHG en GLG berekend over resp. het winter- en het zomerhalfjaar met gemiddelde, mediaan, 5-de en 95-ste percentiel.

De resultaten van de kalibraties stemmen in grote lijnen overeen met resultaten die voor andere situaties met andere modellen zijn gevonden: de $|ME|$ varieert van 0 tot 5 cm. De $RMSE$ varieert van 6.3 tot 20.9 cm. De $RMSE$ moet worden gezien in relatie tot de totale variatie van de grondwaterstand. Grote afwijkingen tussen model en werkelijkheid worden vooral in situaties aangetroffen waarbij de 'grondwaterstand zich grote delen van het jaar boven het maaiveld bevindt. Verder spelen meetfouten, fouten en onzekerheden in de informatie over drainageniveaus en onbekende invloeden die niet door het model worden beschreven een rol bij het ontstaan van afwijkingen tussen model en werkelijkheid.

Uit de trendanalyses blijkt dat in zes van de zesentwintig gevallen er een aanwijzing is voor een trendmatige verandering in het grondwaterstandsverloop gedurende de kalibratieperiode, die niet kan worden verklaard uit het neerslagoverschot. In vier gevallen betreft dit een trendmatige stijging; de locaties liggen alle vier in de Provincie Drenthe en de kalibratieperiode bestrijkt de jaren 1997 t/m 1999.

De reekslengte die minimaal nodig is om de dynamiek van de grondwaterstand te kunnen karakteriseren wordt in de 26 situaties bepaald door de variatie die optreedt in het neerslagoverschot: in principe is één jaar voldoende, als er in dit jaar zowel hoge als lage grondwaterstanden optreden, m.a.w. als er een normale seizoensfluctuatie plaatsvindt.

De simulatieresultaten tonen uiteenlopende karakteristieken voor de verschillende standplaatsen. In een vervolgonderzoek zal moeten blijken welke karakteristieken het meest onderscheidend zijn voor het voorkomen van vegetatietypen, eventueel in relatie met andere factoren zoals bodem, beheer, gebruik en historie.

1 Inleiding

Het grondwater komt in Nederland vaak al binnen een of enkele meters beneden maaiveld voor en is daarom van groot belang voor de plantengroei. Via de vocht- en zuurstofvoorziening oefent de grondwaterstand invloed op de vegetatie uit (Runhaar *et al.*, 1997; Runhaar, 1999). Aannemelijk is dat daarbij de duur en het tijdstip van perioden met hoge of lage grondwaterstanden een grote rol speelt. Beheerders van natuurterreinen hebben behoefte aan inzicht in de relatie tussen vegetatie en grondwaterdynamiek, zodat zij door middel van beheersmaatregelen zoals peilbeheer zich in staat kunnen stellen om voor het behoud of herstel van een bepaalde vegetatie de gewenste grondwaterdynamiek te creëren. Vanuit deze behoefte zijn 26 locaties in natuurterreinen geselecteerd (23 in terreinen van het Staatsbosbeheer, 2 in terreinen van It Fryske Gea en 1 in een terrein van Natuurmonumenten) waarvoor het waardevol werd geacht om inzicht te krijgen in de relatie tussen vegetatie en grondwaterdynamiek.

Bij het karakteriseren van de grondwaterdynamiek wordt gebruik gemaakt van tijdreeksen van de grondwaterstand die zijn waargenomen nabij de vegetatieopnames. Omdat deze reeksen vaak een beperkte lengte hebben geven zij geen volledig beeld van de grondwaterdynamiek onder de heersende hydrologische en klimatologische omstandigheden. Bovendien zijn de grondwaterstanden niet dagelijks waargenomen, waardoor de reeksen niet direct inzicht bieden in de dagelijkse schommelingen van de grondwaterstand. Om inzicht te krijgen in de grondwaterdynamiek op dagbasis en onder de heersende hydrologische omstandigheden wordt gebruik gemaakt van modellen die de relatie beschrijven tussen neerslagoverschot en grondwaterstand (Bierkens *et al.*, 1999; Knotters en Bierkens, 1999a en b; Knotters en Van Walsum, 1994). Een van deze modellen is de stochastische differentiaalvergelijking die is beschreven door Bierkens (1998). Dit model is in het bijzonder geschikt voor relatief ondiepe grondwaterstandsverlopen, zoals deze in natuurterreinen vaak voorkomen. Bovendien biedt de fysische basis van dit model de mogelijkheid om naast informatie over de grondwaterdynamiek ook informatie te geven over de saturatiegraad en de aeratiegraad. De stochastische differentiaalvergelijking biedt de mogelijkheid om, als het neerslagoverschot op dagbasis bekend is, op dagbasis grondwaterstanden, saturatie- en aeratiegraden te simuleren. Het stochastische karakter van het model biedt de mogelijkheid om, op basis van de kennis van het verschil tussen waarneming en model, alle karakteristieken van de grondwaterdynamiek uit te drukken in termen van verwachtingen en overschrijdingskansen. Eenvoudig gezegd betekent dit dat de resultaten aangeven wat gemiddeld genomen in enig toekomstig jaar onder de huidige hydrologische omstandigheden de grondwaterdynamiek zal zijn en wat het met een bepaalde waarschijnlijkheid ook nog kan zijn.

Andere stochastische methoden om de samenhang tussen neerslagoverschot en grondwaterstand te beschrijven zijn het transfer-ruismodel (Knotters en Van Walsum, 1997), het ARX-model (Knotters en Bierkens, 1999a en b, 2000), het TARSO-model (Knotters en De Gooijer, 1999), EMERALD (Bierkens en Walvoort,

1998) en SWATRE met een additief ARMA-model (Knotters en Van Walsum, 1997). Lineaire tijdreeksmodellen zijn voor toepassing op ondiepe reeksen minder aantrekkelijk, omdat moet worden verondersteld dat de samenhang tussen neerslagoverschot en grondwaterstand vaak niet-lineair is, zeker gezien het feit dat er regelmatig standen boven maaiveld worden gemeten. Het TARSO-model zou een goed alternatief zijn, maar dit model heeft als nadeel dat het alleen gekalibreerd kan worden op equidistante reeksen en dan uitvoer geeft in de (halfmaandelijke) frequentie van de uitvoervariabele grondwaterstand. Uitvoer op dagbasis is voor het berekenen van overschrijdingsduren echter veel aantrekkelijker; de frequentie waarmee een bepaald niveau een bepaald aantal dagen achtereen wordt overschreden zou immers een belangrijk onderscheidend criterium kunnen zijn voor het voorkomen van vegetaties. Het model EMERALD (Bierkens en Walvoort, 1998) is niet-lineair en werkt weliswaar op dagbasis, maar is vooral geschikt voor diepere grondwaterstanden. Het model SWATRE met een additief ARMA-model (Knotters en Van Walsum, 1997) is niet-lineair maar werkt niet op dagbasis en vereist gedetailleerde invoer over de bodemfysische en hydrologische omstandigheden.

Het doel van het onderzoek dat in dit rapport wordt beschreven is om voor 26 locaties de grondwaterdynamiek te beschrijven op basis van een groot aantal karakteristieken. Daarnaast zullen de reeksen worden geïnspecteerd op de aanwezigheid van trends die niet uit het neerslagoverschot zijn te verklaren. Ook zal er een analyse plaatsvinden van de minimale reekslengte die nodig is om de grondwaterdynamiek zoals die zich voordoet onder de heersende klimatologische condities te beschrijven. Verondersteld is dat karakteristieken die gebaseerd zijn op een periode van 30 jaar (klimaatrepresentatieve periode) relevant zijn voor de huidige, stabiele, vegetatietypen. In een vervolg op dit onderzoek zal worden bepaald welke karakteristieken het meest onderscheidend zijn voor het voorkomen van een bepaald vegetatietype. De karakteristieken die zijn berekend zijn onder meer de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand (GHG en GLG), de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) (Van der Sluijs, 1990), de z/x -waarde (Jansen, 1981), de grondwaterstandsduurlijn (De Haan, 1992), de regimecurven van grondwaterstand, aeratiegraad en saturatiegraad, de SOW-waarden voor zowel over- als onderschrijding van niveaus, inundatieduren en de herhalingstijd waarmee een bepaald niveau een bepaald aantal dagen achtereen wordt over- of overschreden.

De opbouw van het rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de beschikbare gegevens en de methodologische achtergronden van het onderzoek. De stochastische differentiaalvergelijking wordt in Bierkens (1998) beschreven. Dit artikel is als Aanhangsel 1 aan dit rapport toegevoegd. Vervolgens worden de kalibratie- en simulatieprocedure verduidelijkt. In Aanhangsel 2 worden de *headers* van de programma's gegeven, waarin het formaat van de in- en uitvoerfiles is beschreven. In hoofdstuk 3 worden de resultaten gepresenteerd, eerst van de kalibraties en vervolgens van de simulaties. Deze laatste zijn vanwege de omvang niet in de tekst opgenomen maar digitaal aan de opdrachtgever geleverd. Het rapport wordt afgesloten met enkele conclusies en ideeën voor vervolgonderzoek in hoofdstuk 4.

2 Materialen en methode

2.1 Tijdreeksen van grondwaterstand, neerslagoverschot en drainageniveau

Door het Staatsbosbeheer zijn 26 tijdreeksen van de grondwaterstand geselecteerd die zich in de nabijheid bevinden van vegetatieopnames. Tabel 1 geeft een overzicht van deze reeksen. In dit rapport zijn ter vereenvoudiging van de rapportage werkcodes gehanteerd die in Tabel 1 worden gegeven. Tabel 2 geeft een overzicht van de neerslag- en verdampingsreeksen uit de omgeving van de 26 locaties, die zijn gebruikt bij de modellering van de grondwaterdynamiek. In enkele situaties varieerde het drainageniveau in de tijd en was zodoende van invloed op de grondwaterdynamiek. Op basis van de gegevens die door het Staatsbosbeheer zijn verstrekt zijn er tijdreeksen van deze drainageniveaus geconstrueerd. Deze worden beschreven in paragraaf 2.3.

Tabel 1 Overzicht van de grondwaterstandstijdreeksen

grondwaterstandsreeks	werkcode	x-coördinaat (m, RDM)	y-coördinaat (m, RDM)	begindatum	einddatum	aantal waarnemingen
Wijnjeterperschar B132	SB1	206410	563785	14-3-1994	29-4-1999	106
Wijnjeterperschar B138	SB2	207075	563800	14-11-1995	29-4-1999	66
Ule Krite B3c	SB3	191870	570900	14-11-1989	28-1-1999	189
Ule Krite B3c	SB4	191870	570900	14-11-1989	28-1-1999	188
Oude Riet B16a	SB5	216390	576570	15-12-1994	28-5-1999	107
Reitma B8	SB6	241600	543960	15-1-1996	31-5-1999	79
Roodzanden B2b	SB7	240523	564489	16-3-1988	28-5-1999	220
Roodzanden B2b	SB8	240523	564489	16-3-1988	28-5-1999	220
Drentsche Aa B601a	SB9	239382	563264	14-7-1997	28-10-1999	46
Drentsche Aa B601a	SB10	239382	563264	14-7-1997	28-10-1999	46
Burgvallen B605a	SB11	240597	563298	30-6-1997	28-10-1999	46
Oudemolen B602a	SB12	239169	562673	14-7-1997	28-6-1999	41
Eexterveld B608a	SB13	243028	558683	28-6-1997	28-10-1999	54
Stelkampsveld B2	SB14	229640	459270	28-4-1993	27-4-1999	131
Stelkampsveld B2	SB15	229640	459270	28-4-1993	27-4-1999	131
Put van Bullee B11a	SB16	136930	431660	14-12-1992	29-4-1999	121

grondwater-standsreeks	werkcode	x-coördinaat (m, RDM)	y-coördinaat (m, RDM)	begindatum	einddatum	aantal waarnemingen
Dijkwater B4a	SB17	59990	411230	13-1-1995	28-7-1998	81
Dijkwater B6a	SB18	60970	411010	13-1-1995	28-7-1998	81
Schotsman B2	SB19	34260	401070	13-1-1995	28-5-1998	77
Blauwe Hel B14b	SB20	167595	447130	14-3-1989	28-5-1999	235
Bennekomse Meent B4	SB21	169310	446550	8-1-1990	30-12-1997	177
Groot Zandbrink B12	SB22	161100	459850	28-3-1991	27-11-1998	192
Groot Zandbrink A	SB23	161100	459800	28-3-1991	27-11-1998	188
Groot Zandbrink 10a	SB24	161260	459820	28-3-1991	27-11-1998	192
Punthuizen B8c	SB25	269161	485856	15-1-1996	27-7-1999	76
Korenburgerveen B2d	SB26	242660	445000	28-5-1991	14-5-1998	126

Tabel 2 Neerslag- en verdampingsreeksen

Grondwater-standsreeks	neerslagreeks	verdampingsreeks	grondwater-standsreeks	neerslagreeks	verdampingsreeks
SB1	Marum	Eelde	SB14	Borculo	Twente VB
SB2	Marum	Eelde	SB15	Borculo	Twente VB
SB3	Eernewoude	Eelde	SB16	Geldermalsen	De Bilt
SB4	Eernewoude	Eelde	SB17	Kerkwerve ¹⁾	Vlissingen
SB5	Marum	Eelde	SB18	Kerkwerve ¹⁾	Vlissingen
SB6	Zweelo	Eelde	SB19	Wolphaartsdijk	Vlissingen
SB7	Eext	Eelde	SB20	Wageningen ²⁾	De Bilt
SB8	Eext	Eelde	SB21	Wageningen ²⁾	De Bilt
SB9	Eext	Eelde	SB22	Barneveld	De Bilt
SB10	Eext	Eelde	SB23	Barneveld	De Bilt
SB11	Eext	Eelde	SB24	Barneveld	De Bilt
SB12	Eext	Eelde	SB25	Denekamp	Twente VB
SB13	Eext	Eelde	SB26	Winterswijk	Twente VB

De neerslagcijfers zijn dagsommen die zijn waargenomen om 8.00 u. De verdampingscijfers zijn dagsommen van de referentiegewasverdamping volgens Makkink. Het referentiegewas is gras. Voor een dag i is uitgegaan van de dagneerslagsom gemeten om 8.00 u op dag i en van de dagsom van de referentiegewasverdamping tussen 0.00 u en 24.00 u van dag $i-1$.

2.2 Beschrijving van de locaties

Hieronder volgt een beschrijving van de locaties zoals deze is verstrekt door het Staatsbosbeheer. De tophoogten en filterdiepten zijn weergegeven in m t.o.v. de gemiddelde maaiveldhoogte van de vegetatieopname. De beschrijvingen zijn

aangevuld met de maaiveldhoogten van de opnames t.o.v. NAP. De werkcode is telkens vet afgedrukt.

SB1 *Cirsio-Molinietum nardetosum*

Wijnjeterperschar (Fr.)

peilbuis: *B132*

- tophoogte: 0.23

- filterdiepte: 0.96

- maaiveldhoogte opname: 2.18 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Ca. 30 m noordoostelijk van B132 bevindt zich een sloot. De slootbodem bevindt zich op een niveau van ca. 0.65 m beneden de m.v.-hoogte van de opname. Ter beperking van te sterke ontwatering bevindt zich in het slootje een dam. De bovenkant van de dam ligt ca. 2 dm lager dan het aanliggende maaiveld. De NAP-hoogte van de dam is niet bekend.

SB2 *Cirsio-Molinietum peucedanetosum*

Wijnjeterperschar (Fr.)

peilbuis: *B138*

- tophoogte: 0.21

- filterdiepte: 1.14

- maaiveldshoogte opname: 2.35 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Binnen ca. 30 m zuidwestelijk van de peilbuis bevindt zich een slootje. Het peil in het slootje wordt geregeld met een stuw. Tot aan 1997 was het stuwniveau 2.36 m +NAP; daarna 2.50 m+NAP.

SB3 *Cirsio-Molinietum peucedanetosum*

Ule Krite (Fr.)

peilbuis: *B3c*

- tophoogte: 0.43

- filterdiepte: 0.96

- maaiveldhoogte opname: 0.43 m-NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

De peilbuis (en vegetatieopname) bevindt zich in een vaste kragge in de Friese boezem. Het boezempeil is 0.50 m-NAP. Onder andere door wind zullen hogere of lagere peilen voorkomen.

SB4 *Eriophoro-Caricetum lasiocarpae typicum*

Ule Krite (Fr.)

peilbuis: *B3c*

- tophoogte: 0.47 m

- filterdiepte: 0.92 m

- maaiveldhoogte opname: 0.47 m-NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

De peilbuis (en vegetatieopname) bevindt zich in een vaste kragge in de Friese boezem. Het boezempeil is 0.50 m-NAP. Onder andere door wind zullen hogere of lagere peilen voorkomen.

SB5 RG Moerasrolklaver en Echte koekoeksbloem

Oude Riet (Gr.)

peilbuis: B16a

- tophoogte: 0.67

- filterdiepte: 1.61

- maaiveldhoogte opname: 0.57 m-NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Aan weerszijden van het perceel waar de opname zich bevindt zich een sloot. Ten tijde van het veldbezoek waren de peilen en slootbodemoogten t.o.v. de opname aan zuid en noord sloot respectievelijk:

- noordelijke sloot: peil : 0.29 m –m.v. (0.86 m-NAP) / bodem: 0.44 m –m.v.

- zuidelijke sloot: peil: 0.34 m –m.v. (0.91 m-NAP) / bodem: 0.61 m – m.v.

Bij natte omstandigheden wordt t.b.v. maaien en afvoeren het peil soms ca. 0.25 m verlaagd.

SB6 RG Blauwe knoop en Blauwe zegge

Reitma (Elperstroom; Dr.)

peilbuis: B8

- tophoogte: 0.53

- filterdiepte: 1.47

- maaiveldhoogte opname: 15.60 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

De peilbuis bevindt zich globaal 25 m van de noordelijke perceelsloot. De sloten aan weerskanten van het perceel wateren af in zuidelijke richting. Vrije afstroming in zuidelijke richting vindt plaats tot een niveau van 15.25 m+NAP (vaste drempel). Bij het veldbezoek (21-17-1999) is in de noordelijke en zuidelijke randsloot een peil gemeten van respectievelijk 15.19 en 15.21 m+NAP. De bodemoogten in deze sloten zijn gemeten op respectievelijk 15.09 en 14.83 m+NAP.

SB7 Carici curtae-Agrostietum caninae typicum

Roodzanden (Dr.)

peilbuis: B2b

- tophoogte: 0.20

- filterdiepte: 1.92

- maaiveldhoogte opname: 3.25 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Op ca. 5 m afstand van de opname bevindt zich een greppeltje. Bij het veldbezoek (23-7-1999) is de bodemhoogte hiervan ingemeten op een niveau van 3.04 m+NAP. Het peil in de greppel was toen 3.09 m+NAP. De grondwaterstand in peilbuis B2b was toen 3.14 m+NAP. Op ca. 50 m afstand van de referentieplek bevindt zich een slootje (grotendeels dichtgegroeid). De bodem en het peil hierin waren

respectievelijk: 2.61 m+NAP en 2.81 m+NAP. Op globaal 100 m afstand bevindt zich een beek (Schipborgse Diep); het peil hiervan is niet ingemeten.

SB8 RG Zwarte zegge en Moerasstruisgras

Roodzanden (Dr.)

peilbuis: B2b

- tophoogte: 0.23

- filterdiepte: 1.89

- maaiveldhoogte opname: 3.22 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

De opname bevindt zich tussen twee greppeltjes. Bij het veldbezoek (23-7-1999) is de bodemhoogte van het noordelijke greppeltje ingemeten op een niveau van 2.99+m NAP. Het peil in deze greppel was toen 3.08 m+NAP. Het zuidelijke greppeltje stond droog op een niveau van 3.12 m+NAP (bodemhoogte). De grondwaterstand in peilbuis B2b was toen 3.14 m+NAP. Op ca. 50 m afstand van de referentieplek bevindt zich een slootje (grotendeels dichtgegroeid). De bodem en het peil hierin waren respectievelijk: 2.61 m+NAP en 2.81 m+NAP.

SB9 RG Waterdrieblad

Drentsche Aa (bij kantoor SBB; Dr.)

peilbuis: B601a

- tophoogte: 0.65

- filterdiepte: 0.85

- maaiveldhoogte opname: 3.68 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Op ca. 2 m van de peilbuis bevindt zich een dichtgroeïend greppeltje. De waterstand en het bodemniveau zijn tijdens het veldbezoek op 22 juli 1999 ingemeten op respectievelijk 0.04 m en 0.35 m onder het maaiveld van de opname (respectievelijk 3.64 m+NAP en 3.33 m+NAP). Op een afstand van ca. 25 m bevindt zich een dwarsgreppel; het peil en de bodem hiervan zijn ingemeten op resp. 0.19 en 0.73 m onder het niveau van de opname (respectievelijk 3.49 m+NAP en 2.95 m+NAP).

N.B. Ten tijde van het veldbezoek liep peilbuis B601b over op een niveau van 0.58 m boven het niveau van de opname (4.26 m+NAP).

SB10 RG Snavelzegge en Wateraardbei

Drentsche Aa (bij kantoor SBB; Dr.)

peilbuis: B601a

- tophoogte: 0.68

- filterdiepte: 0.82

- maaiveldhoogte opname: 3.65 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Op ca. 2 m van de peilbuis bevindt zich een dichtgroeïend greppeltje. De waterstand en het bodemniveau zijn tijdens het veldbezoek op 22 juli 1999 ingemeten op respectievelijk 0.04m en 0.35 m onder het maaiveld van de opname (respectievelijk 3.64 m+NAP en 3.33 m+NAP). Op een afstand van ca. 25 m bevindt zich een dwarsgreppel; het peil en de bodem hiervan zijn ingemeten op resp. 0.19 en 0.73 m onder het niveau van de opname (respectievelijk 3.49 m+NAP en 2.95 m+NAP).

N.B. Ten tijde van het veldbezoek peilbuis liep B601b over op een niveau van 0.61 m boven het niveau van de opname (4.26 m+NAP).

SB11 Crepido-Juncetum orchidietosum praetermissae

Burgvallen (Dr.)

peilbuis: B605a

- tophoogte: 0.53

- filterdiepte: 1.17

- maaiveldhoogte opname: 5.15 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Globaal op 35 m afstand van de peilbuis bevindt zich een slootje. Het peil en de slootbodem zijn tijdens het veldbezoek (23-7-1999) ingemeten op respectievelijk 0.45 m en 0.55 m onder het maaiveldniveau van de opname (resp. 4.70 en 4.60 m+NAP). Tijdens het veldbezoek is een grondwaterstand gemeten (in B605a) van 0.12 m –m.v. van opname (5.03 m+NAP).

SB12 Scirpetum sylvatici

Oudemolen (Dr.)

peilbuis: B602a

- tophoogte: 0.76

- filterdiepte: 1.02

- maaiveldhoogte opname: 4.27 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Het meetpunt wordt niet omgeven door greppeltjes. Op ca. 15 m afstand bevindt zich echter de Drentsche Aa. Tijdens het veldbezoek is hierin een peil gemeten van 1.30 m onder het m.v. van de opname (2.97 m+NAP). Bij het veldbezoek is in B602a een grondwaterstand gemeten van 0.14 m onder het m.v. van de opname (4.13 m+NAP).

SB13 Cirsio-Molinietum nardetosum

Eexterveld (Dr.)

peilbuis: B608a

- tophoogte: 0.63

- filterdiepte: 1.87

- maaiveldhoogte opname: 12.63 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

In de buurt van de peilbuis bevindt zich geen greppel of sloot. Recent (enkele weken voor het veldbezoek op 22-7-1999) is echter een slenk uitgegraven binnen een afstand van ca. 20 m. Tijdens het veldbezoek stond deze droog; de bodemhoogte is ingemeten op 0.29 m –m.v. van de opname (12.34 m+NAP).

SB14 Cirsio-Molinietum parnassietosum

Stelkampsveld (Barchem; Gld.)

peilbuis: B2

- tophoogte: 0.41

- filterdiepte: 1.50

- maaiveldhoogte opname: 13.46 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Op ca. 25 m zuidwestelijk van B2 ligt een afvoerslootje, dat in noordwestelijke richting afvoert. Op empirische wijze wordt met een schotbalkenstuwkje benedenstrooms van B2 het waterpeil beheerst. 's Zomers (vanaf ca. begin maart) wordt een maximumpeil van ca. 0.04 m boven het m.v. in de opname (13.50 m+NAP) (1 schotbalkje van ca. 10 cm boven de stuwdrempel met een niveau op 13.40 m+NAP) ingesteld en zakt het peil in droge perioden verder uit. Aan het eind van de zomer (na het maaien en afvoeren, vanaf ca. eind augustus) wordt het peil door het plaatsen van 2 schotbalkjes van elk ca. 10 cm het afvoerniveau verhoogd tot ca. 13.70 m+NAP, zijnde 24 cm boven het maaiveldniveau in de opname. De afgelopen jaren is echter wat met de instelling van het stuwkje gemanipuleerd. (Recent, voorjaar 1999, is ook voor de winterperiode een maximum stuwstand van 13.50 m+NAP afgesproken). Bij het veldbezoek op 9-6-1999 is in het afvoerslootje een peil gemeten van 13.30 m+NAP. In B2 is toen de grondwaterstand eveneens gemeten op 13.30 m+NAP. In een terreindepressie naast de peilbuis is een peil gemeten van 13.31 m+NAP. De slootbodem is gemeten op 13.07 m+NAP.

SB15 *Cirsio-Molinietum peucedanetosum*

Stelkampsveld (Barchem; Gld.)

peilbuis: B2

- tophoogte: 0.47

- filterdiepte: 1.44

- maaiveldhoogte opname: 13.40 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Op ca. 25 m zuidwestelijk van B2 ligt een afvoerslootje, dat in noordwestelijke richting afvoert. Op empirische wijze wordt met een schotbalkenstuwkje benedenstrooms van B2 het waterpeil beheerst. 's Zomers (vanaf ca. begin maart) wordt een maximumpeil van ca. 0.10 m boven het m.v. in de opname (13.50 m+NAP) (1 schotbalkje van ca. 10 cm boven de stuwdrempel met een niveau op 13.40 m+NAP) ingesteld en zakt het peil in droge perioden verder uit. Aan het eind van de zomer (na het maaien en afvoeren, vanaf ca. eind augustus) wordt het peil door het plaatsen van 2 schotbalkjes van elk ca. 10 cm het afvoerniveau verhoogd tot ca. 13.70 m+NAP, zijnde 24 cm boven het maaiveldniveau in de opname. De afgelopen jaren is echter wat met de instelling van het stuwkje gemanipuleerd. (Recent, voorjaar 1999, is ook voor de winterperiode een maximum stuwstand van 13.50 m+NAP afgesproken). Bij het veldbezoek op 9-6-1999 is in het afvoerslootje een peil gemeten van 13.30 m NAP. In B2 is toen de grondwaterstand eveneens gemeten op 13.30 m+NAP. In een terreindepressie naast de peilbuis is een peil gemeten van 13.31 m+NAP. De slootbodem is gemeten op 13.07 m+NAP.

SB16 *Equiseto variegati-Salicetum repentis*

Put van Bullee (Acquoy; Gld.)

peilbuis: B11a

- tophoogte: 0.54

- filterdiepte: 1.21

- maaiveldhoogte opname: 0.02 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

In de omgeving van de peilbuis en opname komen geen greppels of sloten voor. In natte perioden komt het gebied blank te staan en stroomt het water mogelijk via terreindepressies af. Op iets grotere afstand (ca. 200 m) stroomt de Linge, die van invloed zal zijn in het object. Het streefpeil in de Linge is 0.85 m+NAP (voorkomende extremen zijn 0.70 m+NAP in droge perioden tot 1.40 m+NAP (gem. enkele weken per jaar) tot zelfs 2.00 m+NAP; mondelinge opgave Waterschap van de Linge).

SB17 Ononido-Caricetum distantis typicum

Dijkwater (Z.)

peilbuis: B4a

- tophoogte: 0.87

- filterdiepte: 2.23

- maaiveldhoogte opname: 0.16 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

In de omgeving van de peilbuis en opname bevinden zich geen greppels of slootjes. Globaal op 100 m afstand bevindt zich het Dijkwater. Beneden een peil van 0.8 m-NAP (drempelniveau) vindt geen vrije afstroming meer plaats. Bij het veldbezoek (27 juli 1999) is in het Dijkwater een peil gemeten van 0.97 m-NAP. Voorts kan het peil (0.20 m-NAP) in het Grevelingen van belang zijn.

SB18 Trifolio fragiferi-Agrostietum stoloniferae centaurietosum

Dijkwater (Z.)

peilbuis: B6a

- tophoogte: 0.63

- filterdiepte: 1.75

- maaiveldhoogte opname: 0.12 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

In de omgeving van de peilbuis en opname bevinden zich geen greppels of slootjes. Op enkele tientallen meters bevindt zich een terreindepressie (poel). Het oppervlaktewater hierin is geïsoleerd. Tijdens het veldbezoek (op 27 juli 1999) is hierin een peil gemeten van 0.46 m-NAP. Globaal op 400 m afstand bevindt zich het Dijkwater. Beneden een peil van 0.8 m-NAP (drempelniveau) vindt geen vrije afstroming meer plaats. Bij het veldbezoek (27 juli 1999) is in het Dijkwater een peil gemeten van 0.97 m-NAP. Voorts kan het peil (0.20 m-NAP) in het Grevelingen van belang zijn.

SB19 RG Zeegroene zegge

Schotsman (Z.)

peilbuis: B2

- tophoogte: 0.59

- filterdiepte: 2.20

- maaiveldhoogte opname: 0.68 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

In de omgeving van de peilbuis en de opname bevinden zich geen greppels of slootjes. Op ca. 100 m afstand bevindt zich het Veerse Meer. Het (streef)peil hierin is:

- 1 november tot 1 april: 0.7 m-NAP
- 1 april tot 1 november: 0 m-NAP

SB20 Scirpidio-Caricetum diandrae sphagnetosum

Blauwe Hel (Veenendaal; Ut.)

peilbuis: B14b

- tophoogte: 0.46
- filterdiepte: 1.48
- maaiveldhoogte opname: 5.13 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Op een afstand van ca. 50 m van de peilbuis en opname bevindt zich een slootje. Tijdens het veldbezoek op 1 juni 1999 zijn de waterstand en de slootdiepte ingemeten op respectievelijk: 5.04 m+NAP en 4.46 m+NAP (de (grond-)waterstand in de opname was toen 5.13 m+NAP). Ten behoeve van het maaien en afvoeren wordt onder natte omstandigheden soms water afgelaten.

SB21 Cirsio-Molinietum typicum

Bennekomse Meent (De Kraats; Gld.)

peilbuis: B4

- tophoogte: 0.67
- filterdiepte: 0.66
- maaiveldhoogte opname: 4.92 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

De peilbuis en referentiepunt liggen op globaal 50 m afstand van de "centrale" sloot door het reservaat. Tijdens het veldbezoek (22-6-1999) is hier een peil gemeten van 4.67 m+NAP; de slootbodem op 4.12 m+NAP (uitgaande van de tophoogte van B4 van 5.59 m+NAP). 's Zomers wordt soms, indien het te nat voor maaien en afvoeren gevonden wordt, met een windmolentje enkele dm's water uitgemalen naar de Grift. In het beheersplan (1976-1986) wordt een maximum peil van 5.00 m+NAP genoemd, waarboven water wordt afgevoerd; desgewenst vindt 's zomers een tijdelijke peilverlaging plaats tot minimaal 4.70 m+NAP.

SB22 Cirsio-Molinietum typicum

Groot Zandbrink

peilbuis: B12

- tophoogte: 0.24
- filterdiepte: 1.56
- maaiveldhoogte opname: 3.79 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Ca. 35 m westelijk van de opname en de peilbuis bevindt zich een ondiep slootje. Het slootje stond tijdens het veldbezoek op 15 juni 1999 droog. De bodemhoogte is toen ingemeten op 0.49 m – m.v. hoogte van de opname (3.30 m+NAP). Verder benedenstrooms wordt het afwateringsniveau begrensd door een drempel op een niveau van 3.50 m+NAP.

SB23 Cirsio-Molinietum peucedanetosum

Groot Zandbrink

peilbuis: A

- tophoogte: 0.47
- filterdiepte: 1.03
- maaiveldhoogte opname: 3.74 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Ca. 40 m westelijk van de opname en de peilbuis bevindt zich een ondiep slootje. Het slootje stond tijdens het veldbezoek op 15 juni 1999 droog. De bodemhoogte is toen ingemeten op 0.44 m beneden de m.v. hoogte van de opname (3.30 m+NAP). Verder benedenstrooms wordt het afwateringsniveau begrensd door een drempel op een niveau van 3.50 m+NAP.

SB24 *Cirsio-Molinietum nardetosum*

Groot Zandbrink (Achterveld; Ut.)

peilbuis: 10a

- tophoogte: 0.07
- filterdiepte: 1.45
- maaiveldhoogte opname: 3.92 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Het schraallandje waarin de opname en de peilbuis zich bevinden wordt heel oppervlakkig ontwaterd door enkele greppeltjes. Tijdens het veldbezoek in juni 1999 stonden de greppeltjes droog. De diepte van de greppeltjes is toen ingemeten op een niveau van 0.15 à 0.18 m beneden de maaiveldhoogte van de opname (3.77 à 3.74 m+NAP).

SB25 RG Zwarte zegge en Moerasstruisgras

Punthuizen (Ov.)

peilbuis: B8c

- tophoogte: 0.05
- filterdiepte: 1.19
- maaiveldhoogte opname: 28.52 m+NAP

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

In het object is geen ontwaterings- en afwateringssysteem aanwezig. Wanneer het grondwater stijgt tot boven het maaiveld zal het zich via terreindepressies verplaatsen.

SB26 *Carici curtae-Agrostietum caninae juncetosum acutiflori*

Korenburgerveen (Winterswijk; Gld.)

peilbuis: B2d

- tophoogte: 0.45
- filterdiepte: 0.56
- maaiveldhoogte opname: onbekend

Ontwateringsmiddelen en peilbeheer in directe omgeving

Op ca. 4 m van de vegetatieopname bevindt zich een slootje. Tijdens het veldbezoek (9 juni 1999) is hierin een peil gemeten van 0.49 m beneden de bovenkant peilbuis van B2d (in de peilbuis is toen een grondwaterstand gemeten van 0.50 m beneden de bovenkant). De bodem van het slootje is gemeten op een diepte van 0.85 m (onder

top B2d). Het peilbeheer in het slootje is gericht op waterconservering; het is met een damwand afgesloten. Water kan slechts over het maaiveld afstromen.

2.3 Schematisatie van de hydrologische omstandigheden

In deze paragraaf wordt voor elk van de 26 locaties beschreven hoe de hydrologische omstandigheden zijn geschematiseerd alvorens de grondwaterdynamiek is gemodelleerd met behulp van een stochastische differentiaalvergelijking. Keuzes of vereenvoudigingen die zijn gemaakt op basis van de beschikbare informatie die is beschreven in hoofdstuk 2 worden hier toegelicht. De bodemkundige schematisatie is geschied op basis van profielgegevens die zijn verstrekt door drs. R. de Waal en ing. P. C. Jansen van Alterra. De stochastische differentiaalvergelijking gaat uit van een profiel dat uit één laag bestaat; daarom is telkens de bouwsteen van de Staringreeks gekozen die het meest overeenkomt met het materiaal waar het grootste deel van de fluctuatiezone uit bestaat.

In een aantal gevallen was niet duidelijk of er uitsluitend drainage naar ontwateringsmiddelen of zowel drainage als infiltratie plaatsvond. Er is in deze gevallen via *trial-and-error* meestal voor gekozen om uit te gaan van zowel drainage als infiltratie; dit leverde meestal een goede fit op.

SB1

De volgende drainageniveaus t.o.v. maaiveld zijn gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, oppervlakkige afvoer van inundatiewater;
- 0.20 m-maaiveld, drainage naar een sloot waarin zich een dam bevindt die de ontwatering moet beperken.

Aan het drainageniveau in maaiveld is een drainageweerstand van 5 dagen toegekend. Dit bleek via *trial and error* tot een goede benadering van de inundatiediepte te leiden. Het niveau van -0.20 m is eveneens vastgesteld d.m.v. *trial and error*, omdat de exacte hoogte van het drainageniveau bij deze locatie niet bekend was. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O3 van de Staringreeks (sterk lemig, zeer tot matig fijn zand).

SB2

Uitgaande van de verstrekte gegevens zijn de volgende drainageniveaus t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, oppervlakkige afvoer van inundatiewater;
- 0.01 m+maaiveld tot 1-1-1997, 0.15 m+maaiveld vanaf 1-1-1997, drainage naar en infiltratie vanuit een sloot.

Aan het drainageniveau in maaiveld is een drainageweerstand van 5 dagen toegekend. Dit bleek tot een goede benadering van de inundatiediepte te leiden. Tot aan 1997 was het drainageniveau $+0.01$ m t.o.v. maaiveld, sinds 1997 is het drainageniveau $+0.15$ m t.o.v. maaiveld. Bij de berekening van de karakteristieken is uitgegaan van de huidige hydrologische situatie, dus van $+0.15$ m. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O3 van de Staringreeks (sterk lemig, zeer tot matig fijn zand).

SB3

Uitgaande van de verstrekte gegevens zijn de volgende drainageniveaus t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, oppervlakkige afvoer van inundatiewater;
- 0.03 m-maaiveld, drainage en infiltratie naar en vanuit de Friese Boezem.

Aan het drainageniveau in maaiveld is een drainageweerstand van 10 dagen toegekend via *trial and error*. Dit bleek tot een goede benadering van de inundatiediepte te leiden. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O17 van de Staringreeks (mesotroof en eutroof veen).

SB4

Uitgaande van de verstrekte gegevens zijn de volgende drainageniveaus t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, oppervlakkige afvoer van inundatiewater
- 0.07 m-maaiveld, drainage en infiltratie naar en vanuit de Friese Boezem

Aan het drainageniveau in maaiveld is een drainageweerstand van 10 dagen toegekend via *trial and error*. Dit bleek tot een goede benadering van de inundatiediepte te leiden. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O17 van de Staringreeks (mesotroof en eutroof veen).

SB5

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.32 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit twee sloten in de omgeving van de buis.

De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen B18 van de Staringreeks (kleilig veen).

SB6

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, oppervlakkige afwatering van inundatiewater;
- 0.40 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit twee sloten in de omgeving van de buis.

De drainageweerstand van het maaiveld is vastgezet op 5 dagen. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen ZV2. Dit is een veen-op-zandprofiel met voor de helft veen en voor de helft zand in de zone waarin de grondwaterstand fluctueert.

SB7

Uitgaande van de verstrekte gegevens zijn de volgende drainageniveaus t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, oppervlakkige afwatering van inundatiewater;

- 0.21 m-maaiveld, drainage naar een greppeltje in de omgeving van de buis;
 - 0.44 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit een sloot.
- De drainageweerstand van het maaiveld is vastgezet op 5 dagen. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O16 van de Staringreeks (oligotroof veen).

SB8

Uitgaande van de verstrekte gegevens zijn de volgende drainageniveaus t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, oppervlakkige afwatering van inundatiewater;
- 0.18 m-maaiveld, drainage naar een greppeltje in de omgeving van de buis;
- 0.41 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit een sloot.

De drainageweerstand van het maaiveld is vastgezet op 5 dagen. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O16 van de Staringreeks (oligotroof veen);

SB9

Uitgaande van de verstrekte gegevens zijn de volgende drainageniveaus t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, oppervlakkige afwatering van inundatiewater;
- 0.04 m-maaiveld, drainage naar een greppeltje in de omgeving van de buis;
- 0.19 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit een dwarsgreppel.

De drainageweerstand van het maaiveld is vastgezet op 5 dagen. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen B16 van de Staringreeks (zandig veen en veen).

SB10

Uitgaande van de verstrekte gegevens zijn de volgende drainageniveaus t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, oppervlakkige afwatering van inundatiewater;
- 0.01 m-maaiveld, drainage naar een greppeltje in de omgeving van de buis;
- 0.16 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit een dwarsgreppel.

De drainageweerstand van het maaiveld is vastgezet op 5 dagen. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen B16 van de Staringreeks (zandig veen en veen).

SB11

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.45 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit een slootje.

De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O3 van de Staringreeks (sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand).

SB12

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 1.30 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit de Drentsche Aa.

De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O3 van de Staringreeks (sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand).

SB13

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, oppervlakkige afwatering/inundatie.

De drainageweerstand van het maaiveld is vastgezet op 5 dagen. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O3 van de Staringreeks (sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand).

SB14

Uitgaande van de verstrekte gegevens zijn de volgende drainageniveaus t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- periode 1-3 t/m 31-8, stuwpeil: 13.50 m+NAP, 0.04 m+maaiveld;
- periode 1-9 t/m 28-2, stuwpeil: 13.70 m+NAP, 0.24 m+maaiveld;
- periode 1-9 t/m 28-2, 0.14 m+maaiveld, teneinde rekening te houden met evt. lek, onderloopsheid e.d. van de stuw.

Aan het hoogste drainageniveau (0.24 m+maaiveld) is een drainageweerstand van 1 dag toegekend. Dit niveau is in de waarnemingsperiode niet door de grondwaterstand overschreden. Bij de overige drainageniveaus bleek een drainageweerstand van 10 dagen tot een goede benadering van de inundatiediepte te leiden. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O2 van de Staringreeks (zwak lemig, zeer tot matig fijn zand).

SB15

Uitgaande van de verstrekte gegevens zijn de volgende drainageniveaus t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- periode 1-3 t/m 31-8, stuwpeil: 13.50 m+NAP, 0.10 m+maaiveld;
- periode 1-9 t/m 28-2, stuwpeil: 13.70 m+NAP, 0.30 m+maaiveld;
- periode 1-9 t/m 28-2, 0.20 m+maaiveld, teneinde rekening te houden met evt. lek, onderloopsheid e.d. van de stuw.

Aan het hoogste drainageniveau is een drainageweerstand van 1 dag toegekend. Dit niveau is in de waarnemingsperiode niet door de grondwaterstand overschreden. Bij de overige drainageniveaus bleek een drainageweerstand van 10 dagen tot een goede benadering van de inundatiediepte te leiden. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O2 van de Staringreeks (zwak lemig, zeer tot matig fijn zand).

SB16

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, inundatie/oppervlakkige afwatering;

- 0.83 m+maaiveld, drainage naar en infiltratie uit de Linge;
- De drainageweerstand van het maaiveld is vastgezet op 5 dagen. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O5 van de Staringreeks (grof zand).

SB17

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.36 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie uit het Grevelingen;
 - 0.96 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie uit het Dijkwater.
- De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O8 van de Staringreeks (zeer lichte zavel).

SB18

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, inundatie/oppervlakkige afstroming over maaiveld;
 - 0.32 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie uit het Grevelingen;
 - 0.92 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie uit het Dijkwater.
- De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O4 van de Staringreeks (zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand).

SB19

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 1.38 m-maaiveld, van 1-11 t/m 31-3 drainage naar en infiltratie uit het Veerse Meer;
- 0.68 m-maaiveld, van 1-4 t/m 31-10 drainage naar en infiltratie uit het Veerse Meer.

De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O1 van de Staringreeks (leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand).

SB20

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, inundatie, afvoer over maaiveld;
 - 0.17 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit een slootje.
- De drainageweerstand van het maaiveld is vastgezet op 5 dagen. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen B16 van de Staringreeks (zandig veen en veen).

SB21

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, inundatie, afvoer over maaiveld;
- 0.07 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit een sloot. Dit is een benadering van het gemiddelde drainageniveau, uitgaande van een maximum peil van 5.00 m+NAP en een tijdelijke peilverlaging 's zomers tot minimaal 4.70 m+NAP (maaiveldhoogte is 4.92 m+NAP; $4.92 - ((4.70 + 5.00) / 2) = 0.07$);

De drainageweerstand van het maaiveld is vastgezet op 5 dagen. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen B16 van de Staringreeks (zandig veen en veen).

SB22

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, inundatie, afvoer over maaiveld;
- 0.49 m-maaiveld, drainage naar een slootje.

De drainageweerstand van het maaiveld is vastgezet op 5 dagen. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O3 van de Staringreeks (sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand).

SB23

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, inundatie, afvoer over maaiveld;
- 0.44 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit een slootje.

De drainageweerstand van het maaiveld is vastgezet op 20 dagen. De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O2 van de Staringreeks (zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand).

SB24

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.18 m-maaiveld, drainage naar greppeltjes.

De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O3 van de Staringreeks (sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand).

SB25

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.00 m-maaiveld, inundatie/oppervlakkige afwatering.

De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen O2 van de Staringreeks (zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand).

SB26

Uitgaande van de verstrekte gegevens is het volgende drainageniveau t.o.v. maaiveld gehanteerd:

- 0.04 m-maaiveld, drainage naar en infiltratie vanuit een slootje.
De bodemfysische karakteristieken zijn benaderd met aangepaste Van-Genuchten parameters voor bouwsteen ZV2 (veen op zand in de verhouding 1:1).

2.4 De stochastische differentiaalvergelijking

Voor een uitvoerige beschrijving van de stochastische differentiaalvergelijking verwijzen wij naar Bierkens (1998), waarvan de inhoud in Aanhangsel 1 is opgenomen.

2.5 Evaluatie van de kalibratieresultaten

De *fit* van de modellen is beschreven met de gemiddelde fout (*ME*), de *root mean squared error* (*RMSE*) en de *mean absolute error* (*MAE*). Deze drie maten zijn als volgt gedefinieerd:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i,$$

waarin n het aantal waarnemingen in de kalibratieperiode is en e_i het verschil tussen modelvoorspelling en waargenomen grondwaterstand:

$$e_i = H_i - \hat{H}_i,$$

waarin het dakje de voorspelling aangeeft. De *ME* is een maat voor de systematische afwijking van het model. De *RMSE* is een maat voor de nauwkeurigheid van het model; nauwkeurigheid wordt in de statistische literatuur omschreven als de mate van overeenstemming tussen voorspelling en werkelijkheid. Vallen voorspellingen en (waarnemingen aan) de werkelijkheid volledig samen dan is de *RMSE* gelijk aan 0. De *RMSE* wordt als volgt berekend:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}}.$$

De *RMSE* kan worden gezien als de optelsom van de systematische en toevallige fouten. als n groot is, dan geldt bij benadering

$$RMSE = \sqrt{ME^2 + SE^2},$$

waarin SE^2 de variantie van de foutenterm e is en dus de 'toevallige' afwijking van het model t.o.v. de werkelijkheid weergeeft. De *RMSE* is nogal gevoelig voor uitschieters. Daarom is ook de *MAE* berekend, die minder gevoelig voor uitschieters is. De *MAE* is gedefinieerd als

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n}.$$

2.6 Simulatie van de grondwaterdynamiek

De onzekerheid over de grondwaterdynamiek onder de heersende hydrologische omstandigheden komt voort uit

- onzekerheid over de samenhang tussen neerslag en verdamping, en eventueel oppervlaktewaterpeilen, en grondwaterstand. Dit is de 'modelonzekerheid';
- onzekerheid over de neerslag en de verdamping die op zullen treden in enig toekomstig jaar. Het weer in een toekomstig jaar wordt benaderd met het weer van de laatste 30 jaar. Dit is de periode waarover het heersende klimaat is gedefinieerd.

In de simulatieprocedure worden deze twee componenten van onzekerheid in rekening gebracht. De simulatieprocedure is nu als volgt:

1. transformeer een reeks met dagsommen van neerslag en verdamping met lengte L en eventueel reeksen van oppervlaktewaterpeilen met behulp van de gekalibreerde stochastische differentiaalvergelijking in N realisaties van het grondwaterstandsverloop. In dit onderzoek is $L=12053$ wat overeenstemt met 33 jaar. N is op 100 gesteld;
2. verwijder de eerste drie jaar van de gesimuleerde reeksen, om 'opwarmfouten' te elimineren. Er resteren nu N reeksen van lengte $L^*=10957$, wat overeenstemt met 30 jaar dagcijfers;
3. de variatie tussen de 30 jaren wordt veroorzaakt door de natuurlijke variatie in neerslag en verdamping. De variatie tussen de 100 realisaties wordt veroorzaakt door de onzekerheid over de samenhang tussen neerslag en verdamping, eventueel oppervlaktewaterpeilen en grondwaterstand. De simulaties leveren $30 \times 100 = 3000$ mogelijke grondwaterstandsverlopen op die in enig toekomstig jaar op kunnen treden. Hieruit worden de karakteristieken voor de grondwaterdynamiek berekend.

2.7 Karakteristieken voor de grondwaterdynamiek

In overleg met de opdrachtgever zijn de volgende karakteristieken berekend:

1. de regimecurve van de grondwaterstand met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
2. de regimecurve van de saturatiegraad met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
3. de regimecurve van de aeratiegraad met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
4. de regimecurve van het cumulatieve verdampingstekort met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
5. de overschrijdingsduurlijn van de grondwaterstand met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
6. de herhalingsstijd waarmee een bepaalde grondwaterstand een bepaald aantal dagen achtereen wordt overschreden. Grondwaterstanden zijn hierbij om de 10 cm beschouwd en het aantal dagen is 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 50 en 100;

7. de herhalingstijd waarmee een bepaalde grondwaterstand een bepaald aantal dagen achtereen wordt onderschreden. Grondwaterstanden zijn hierbij om de 10 cm beschouwd en het aantal dagen is 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 50 en 100;
8. de verwachte duur van een inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
9. de verwachte einddatum van een inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
10. de verwachte duur van de jaarlijkse langste inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
11. de verwachte einddatum van de jaarlijkse langste inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
12. de SOW-waarden voor overschrijding van grondwaterstanden, in stapjes van 10 cm, te rekenen vanaf 1 oktober tot 1 maart, 15 maart, 1 april, 15 april, 1 mei, 15 mei en 1 juni en met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
13. de SOW-waarden voor onderschrijding van grondwaterstanden, in stapjes van 10 cm, te rekenen vanaf 1 oktober tot 1 maart, 15 maart, 1 april, 15 april, 1 mei, 15 mei en 1 juni en met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans;
14. de volgende statistieken: gemiddelde, variantie, standaardafwijking, derde moment, mediaan, de kwartielen, minimum, maximum, de z/x -waarde, de GHG, GLG en GVG berekend over een geheel hydrologisch jaar, met gemiddelde, mediaan, 5-de en 95-ste percentiel, de GHG en GLG berekend over resp. het winter- en het zomerhalfjaar met gemiddelde, mediaan, 5-de en 95-ste percentiel. Dit zijn in het totaal 35 kengetallen.

De **regimecurve** geeft het verwachte verloop in enig toekomstig jaar aan van grondwaterstand, saturatiegraad, aeratiegraad en cumulatief verdampingstekort, gegeven de huidige klimatologische omstandigheden. Deze worden gegeven door het weer van de laatste 30 jaar. De gemiddelde lijn verbindt de meest aannemelijke waarden die bijv. de grondwaterstand op een dag in een willekeurig toekomstig jaar aanneemt. De 5, 10, 20, ..., 90, 95% lijnen verbinden de waarden waarboven bijv. de grondwaterstand zich op een dag in een willekeurig toekomstig jaar met 5, 10, 20, ..., 90, 95% waarschijnlijkheid zal bevingen. De 50%-lijn is de mediaan. Deze zal bij een normale verdeling samenvallen met het gemiddelde. De verdeling van bijv. grondwaterstanden wijkt hier echter van af, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van drainagemiddelen die het verloop afromen of dempen, zodat de mediane en de gemiddelde regimecurve niet samenvallen. Per buis zijn 12x4=48 regimecurven geconstrueerd.

De **overschrijdingsduurlijn** is de cumulatieve frequentieverdeling van de grondwaterstand in een toekomstig jaar. Dit zijn dus de grondwaterstanden, van hoog naar laag gesorteerd. Het is belangrijk te onderkennen dat de niveaus niet het aangegeven aantal dagen *achtereen* overschrijden; dit in tegenstelling tot de curven die worden genoemd onder punt 6. Voor elk niveau wordt met het gemiddelde de meest aannemelijke overschrijdingsduur in een willekeurig toekomstig jaar aangegeven, als de huidige klimatologische omstandigheden ongewijzigd blijven. Met de 5, 10, 20, ..., 90, 95%-lijnen worden de duren aangegeven die met 5, 10, 20, ..., 90, 95%

waarschijnlijkheid in een willekeurig jaar worden overschreden. Per buis wordt dus een bundel van 12 overschrijdingsduurlijnen geconstrueerd.

De ***z/x-waarde*** geeft de verhouding tussen de mediaan van de grondwaterstand en het gemiddelde. Een *z/x*-waarde groter dan 1 geeft een aanwijzing dat er sprake is van wegzijging, terwijl een waarde kleiner dan 1 kwel indiceert (Jansen, 1981). Overigens wordt er een ondergrondflux gekalibreerd in de stochastische differentiaalvergelijking, die eveneens een indicatie van kwel of wegzijging geeft.

De curven van ***herhalingstijden waarmee een bepaalde grondwaterstand een bepaald aantal dagen achtereen wordt overschreden of onderschreden*** gaan in tegenstelling tot de overschrijdingsduurlijn niet uit van een cumulatieve frequentieverdeling, oftewel een gesorteerde reeks, maar van periodes van een bepaalde duur waarmee een niveau wordt over- of onderschreden. De lijnen geven aan dat 1 maal per *x* jaar de grondwaterstand zich *y* dagen of langer achtereen boven of onder een bepaald niveau bevindt. Dit levert per buis voor 12 niveaus, 10 periodes en over- en onderschrijding 240 curven op.

Bij de ***inundatieduren*** is onderscheid gemaakt tussen

- een inundatie;
- de jaarlijkse langste inundatie.

Voor beiden is de verwachte, meest aannemelijke waarde uitgerekend, alsmede de waarden waarboven de duur zich met 5, 10, 20, ..., 90, 95% waarschijnlijkheid bevindt. Verder is de verwachte, meest aannemelijke einddatum van zowel enige inundatie als de jaarlijkse langste inundatie uitgerekend alsmede de datum waarvoor de inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% waarschijnlijkheid is geëindigd. Per buis is de inundatieduur dus met 24 kengetallen beschreven. Daarnaast bevatten de regimecurven, de overschrijdingsduurlijnen, de lijnen van herhalingstijden waarmee een niveau een aantal dagen achtereen wordt overschreden en de SOW-lijnen informatie over inundatiediepten en -duren.

Een ***SOW-waarde*** voor overschrijding moet als volgt worden verklaard:

- kies een niveau *x*;
- kies een periode, bijvoorbeeld 1 oktober tot 1 maart;
- tel van elke dag dat de grondwaterstand zich boven *x* bevindt binnen de gekozen periode het aantal cm waarmee *x* wordt overschreden bij elkaar op.

Voor een willekeurig toekomstig jaar kan dan vervolgens de meest aannemelijke, verwachte SOW-waarde worden berekend, alsmede de SOW-waarde die met 5, 10, 20, ..., 90, 95% waarschijnlijkheid wordt overschreden. De SOW-waarden voor onderschrijding komen analoog tot stand. Standen boven maaiveld zijn meegeteld in de berekening van SOW-waarden. Voor 19 niveaus, 7 periodes, gemiddelde en 11 percentielen, over- en onderschrijding levert dit per buis dus $19 \times 7 \times 12 \times 2 = 3192$ curven op.

Samenvattend bevat het aantal curven per buis 3492 en het aantal kengetallen 59; in het totaal zijn dus 90792 curven en 1534 kengetallen berekend.

2.8 Trendanalyse

Op de residuen van het gekalibreerde model is trendanalyse toegepast, teneinde te kunnen beoordelen of het grondwaterstandsverloop trendmatig wijzigt door andere invloeden dan neerslag, verdamping of opgegeven oppervlaktewaterpeilen.

De procedure is als volgt:

1. de residuen N worden berekend als het verschil tussen de deterministische modelvoorspelling en de waargenomen grondwaterstand;
2. de residureeks wordt equidistant gemaakt, met een halfmaandelijks meetinterval;
3. het volgende transfer-ruismodel wordt aangepast:

$$N_t = N_t^* + e_t$$

$$N_t^* = \mathbf{w}_0 L_t$$

$$e_t - c = \mathbf{f}_1(e_{t-1} - c) + a_t$$

Hierin is e_t de ruiscomponent die verondersteld wordt een eerste-orde autoregressief proces te volgen, a_t is verondersteld een witte-ruisproces te volgen met eindige en constante variantie en gemiddelde 0. Verder is L_t een lineaire trend met stappen van 1/24; hierdoor krijgt de coëfficiënt \mathbf{w}_0 de betekenis van lineair-trendmatige verandering in cm/jaar.

2.9 Programmatuur

In Aanhangsel 2 zijn de *headers* afgedrukt van de programma's die in dit onderzoek zijn gebruikt. Hierin wordt het doel van de programma's beschreven en het formaat van de in- en uitvoerfiles. De volgende Fortran-programma's zijn digitaal ter beschikking van het Staatsbosbeheer gesteld:

- SSDKOPT.EXE: kalibratie van een stochastische differentiaalvergelijking op een grondwaterstandreeks met als invoer een neerslagreeks, een verdampingsreeks en eventueel reeksen van oppervlaktewaterpeilen;
- SSDSIM.EXE: simulatie van realisaties van het grondwaterstandsverloop, de saturatiegraad, de aeratiegraad en het cumulatief verdampingstekort;
- STATSIM4.EXE: berekening van regimecurven, duurlijnen, SOW-curven en statistieken uit de resultaten van SSDSIM.EXE;
- SBBINUND.EXE: berekening van inundatieduren en jaarlijkse langste inundatieduren, alsmede einddata van inundaties en jaarlijkse langste inundaties, uit de resultaten van SSDSIM.EXE;
- DURATION.EXE: berekening van herhalingstijden waarmee de grondwaterstand een bepaald niveau een bepaald dagen achtereen over- of onderschrijft, uit de resultaten van SSDSIM.EXE.

3 Resultaten

3.1 Resultaten van de kalibratie

Tijdreeksgrafieken van de gekalibreerde en de waargenomen grondwaterstanden staan afgebeeld in Aanhangsel 3. In Tabel 3 zijn de afwijkingen van het model t.o.v. de waarnemingen weergegeven met behulp van de *ME*, de *RMSE* en de *MAE*. De waarden liggen meestal in de orde van grootte van de afwijkingen die in validatiestudies met andere tijdreeksmodellen zijn gevonden (Knotters en Van Walsum, 1997; Knotters en De Gooijer, 1999). De waarden voor de *ME*, *RMSE* en *MAE* moeten echter in relatie worden gezien tot de totale variatie van de grondwaterstand, zoals deze blijkt uit de figuren in Aanhangsel 3. Voor buis SB20 (Blauwe Hel, Veenendaal) werden bijvoorbeeld relatief lage waarden voor de *ME*, *RMSE* en *MAE* gevonden, maar uit de figuur in Aanhangsel 3 blijkt het model niet goed bij de waarnemingen past. In deze en andere gevallen was geen beter kalibratieresultaat te bereiken om de volgende redenen:

1. de grondwaterstand bevond zich grote delen van de meetperiode (soms meer dan 50% van de tijd) boven maaiveld. Strikt genomen is er dan geen sprake van een grondwaterstand; zo hoeft het water boven maaiveld niet alleen grondwater te zijn dat het maaiveld 'ontstijgt', maar kan het ook inundatiewater van elders zijn. Inundatiewater dat van elders over maaiveld komt toestromen en via het maaiveld ook zal afstromen laat zich moeilijk beschrijven met een model voor een geschematiseerde grondkolom. De stochastische differentiaalvergelijking kan in deze situaties slechts bij benadering de temporele variatie van de 'grond'-waterspiegel beschrijven;
2. de grondwaterstandreeks bevat meetfouten. Deze kunnen niet alleen worden veroorzaakt door verkeerd aflezen, maar ook door bijvoorbeeld een verstopt filter of een beschadiging waardoor het referentieniveau van het meetpunt niet meer klopt;
3. naast neerslagoverschot en oppervlaktewaterpeilen zijn er andere, onbekende, factoren van invloed op de grondwaterdynamiek;
4. de opgegeven oppervlaktewaterpeilen bevatten fouten.

In al deze gevallen zullen er afwijkingen tussen gemodelleerde en waargenomen grondwaterstand optreden. De variatie van deze fouten wordt beschreven met het stochastische, 'onzekere', deel van het model en wordt bij de simulaties in rekening gebracht, zodat toch een beeld ontstaat van de werkelijke grondwaterdynamiek.

Tabel 3 Fit van de stochastische differentiaalvergelijking, uitgedrukt in ME (mean error), RMSE (root mean squared error) en MAE (mean absolute error). Waarden in cm.

werkcode	ME	RMSE	MAE	werkcode	ME	RMSE	MAE
SB1	-2.9	16.9	11.9	SB14	-0.2	14.4	11.1
SB2	0.0	14.5	9.9	SB15	-0.2	14.4	11.1
SB3	3.1	7.7	6.3	SB16	0.1	8.8	6.4
SB4	3.1	7.7	6.3	SB17	-1.2	15.3	12.9
SB5	-0.9	6.6	5.2	SB18	-5.0	20.9	16.1
SB6	-0.7	10.3	7.4	SB19	-0.8	12.6	9.8
SB7	-1.1	13.3	10.1	SB20	-0.1	8.5	6.3
SB8	-1.1	13.3	10.1	SB21	-0.9	10.4	7.7
SB9	0.0	6.3	3.8	SB22	-6.3	16.8	12.4
SB10	0.0	6.3	3.8	SB23	-0.0	16.9	13.6
SB11	-3.7	11.9	8.5	SB24	-0.8	16.2	11.5
SB12	-0.3	12.8	9.2	SB25	-1.1	18.6	14.6
SB13	0.1	18.2	13.0	SB26	-0.4	10.6	8.6

In Tabel 4 zijn de gekalibreerde parameterwaarden weergegeven. Hierbij moet worden opgemerkt dat na kalibratie fysische parameters aan fysische betekenis kunnen inboeten, door de aanwezigheid van meetfouten, foute modelveronderstellingen e.d.

De gekalibreerde regionale grondwaterflux moet in relatie worden gezien met de fluxen naar het oppervlaktewater in de omgeving. Bij buis SB19 is bijvoorbeeld het Veerse Meer als drainageniveau beschouwd, met zowel drainage als infiltratie. De gekalibreerde regionale grondwaterflux kan daarom niet volledig aan de invloed van het Veerse Meer worden toegekend.

Tabel 4 Gekalibreerde parameterwaarden. \hat{S}_p^2 = variantie op de neerslag ($\text{mm}^2 \text{d}^{-1}$), \hat{e} = elastische residuele grondwaterberging (-), \hat{q}_b = regionale grondwaterflux (mm d^{-1}), \mathbf{g}_i = drainageweerstand voor het i -de drainageniveau (d), zie paragraaf 2.3. (f) betekent dat de parameter is vastgezet.

werkcode	\hat{S}_p^2	\hat{e}	\hat{q}_b	\mathbf{g}_1	\mathbf{g}_2	\mathbf{g}_3
SB1	31.7	0.000543	0.49	5 (f)	99	
SB2	57.5	0.009026	0.49	5 (f)	859	
SB3	61.1	0.098285	1.19	10 (f)	1285	
SB4	61.1	0.098285	1.19	10 (f)	1285	
SB5	17.6	0.097502	1.51	67		
SB6	62.5	0.073014	0.00	5 (f)	440	
SB7	23.3	0.00194	2.28	5 (f)	57	800
SB8	23.3	0.00194	2.28	5 (f)	57	800
SB9	15.6	0.099973	2.15	5 (f)	1198	6371
SB10	15.6	0.099973	2.15	5 (f)	1198	6371
SB11	37.5	0.099345	3.38	75		
SB12	48.75	0.084168	10.03	105		
SB13	85	0.004698	0.18	5 (f)		
SB14	47.1	0.066018	-0.18	10 (f)	1 (f)	10 (f)
SB15	47.1	0.066018	-0.18	10 (f)	1 (f)	10 (f)
SB16	61.7	0.088716	-11.6	5 (f)	113	
SB17	25.8	0.062595	0.24	1046	324	
SB18	39.5	0.063642	0.14	22	2387	1283
SB19	35.7	0.091835	3.50	117		

werkcode	S_p^2	\hat{e}	\hat{q}_b	g_1	g_2	g_3
SB20	42.9	0.048514	4.08	5 (f)	300	
SB21	27.7	0.045432	-0.02	5 (f)	199	
SB22	25.6	0.030914	0.26	5 (f)	256	
SB23	35	0.030749	-0.34	20 (f)	1500	
SB24	14.7	0.001869	-0.03	4		
SB25	78.1	0.020202	-1.17	1040		
SB26	19.75	0.096277	-0.98	212		

3.2 Trendanalyse

Tabel 5 bevat de resultaten van de trendanalyse die is uitgevoerd op de residuen van de stochastische differentiaalvergelijking. Indien de absolute waarde t -statistiek groter is dan 2 dan is dit een aanwijzing voor een trendmatige wijziging gedurende de kalibratieperiode (Tabel 1), die niet verklaard kan worden uit neerslag, verdamping of eventueel oppervlaktewaterpeilen. De waarde van de parameter \hat{w}_0 kan worden geïnterpreteerd als de trendmatige verandering in cm/jaar.

Tabel 5 Resultaten van de trendanalyse. Verklaring der symbolen: zie paragraaf 2.8. Als de absolute waarde van t groter is dan 2 is er een aanwijzing voor een trend. De waarde van \hat{w}_0 geeft de trendmatige verandering in cm/jaar. Tussen haakjes: standaardfouten. Vet: aanwijzing voor trend

werkcode	\hat{w}_0 [cm/jaar]	t	\hat{c} [cm]	\hat{f}_1 [-]
SB1	1.62(1.44)	1.12	-7.10(4.27)	0.314(0.1)
SB2	1.28(1.33)	0.96	-2.25(4.03)	0.333(0.106)
SB3	-0.035(0.348)	-0.10	3.46(1.86)	0.5858(0.0598)
SB4	-0.035(0.348)	-0.10	3.46(1.86)	0.5858(0.0598)
SB5	1.200(0.703)	1.71	-3.58(1.85)	0.3791(0.0911)
SB6	0.98(1.33)	0.74	-2.35(2.64)	0.123(0.115)
SB7	0.409(0.688)	0.60	-2.91(4.39)	0.7566(0.0452)
SB8	0.409(0.688)	0.60	-2.91(4.39)	0.7566(0.0452)
SB9	4.34(1.96)	2.21	-4.82(2.60)	0.506(0.133)
SB10	4.34(1.96)	2.21	-4.82(2.60)	0.506(0.133)
SB11	7.03(2.96)	2.38	-10.86(3.89)	0.221(0.155)
SB12	11.81(2.73)	4.32	-12.19(3.13)	-0.269(0.192)
SB13	1.20(3.87)	0.31	-1.37(5.38)	0.068(0.141)
SB14	-1.80(1.36)	-1.32	4.89(4.78)	0.6067(0.0705)
SB15	-1.80(1.36)	-1.32	4.89(4.78)	0.6067(0.0705)
SB16	-0.464(0.673)	-0.69	1.51(2.52)	0.4851(0.0841)
SB17	0.05(2.95)	0.02	-0.75(6.19)	0.5561(0.0953)
SB18	-8.96(3.96)	-2.26	11.56(8.36)	0.6653(0.0846)
SB19	-0.06(2.99)	-0.02	-0.40(6.02)	0.6641(0.0865)
SB20	0.445(0.427)	1.04	-2.12(2.54)	0.7077(0.0464)
SB21	-0.555(0.605)	-0.92	0.98(2.81)	0.5472(0.0708)
SB22	-1.240(0.966)	-1.28	-0.99(4.50)	0.6174(0.0577)
SB23	-2.49(1.08)	-2.32	9.25(4.72)	0.6163(0.0591)
SB24	-3.32(3.39)	-0.98	-39.4(14.7)	0.7542(0.0499)
SB25	1.24(4.24)	0.29	-3.95(9.12)	0.6424(0.0935)
SB26	0.465(0.945)	0.49	-2.24(3.98)	0.6482(0.0718)

Voor enkele locaties is er een aanwijzing voor een trendmatige verandering van het grondwaterstandsverloop. Bij SB9 en SB10 (buis B601a Drentsche Aa, bij kantoor SBB) is er aanwijzing dat de grondwaterstand gedurende de periode 14-7-1997 t/m 28-10-1999 ca. 4.34 cm per jaar is gestegen. Bij SB11 (buis B605a Burgvallen) is er aanwijzing dat de grondwaterstand in de periode 30-6-1997 t/m 28-10-1999 ca. 7.03 cm per jaar is gestegen. Bij SB12 (buis B602a Oudemolen) is er aanwijzing dat de grondwaterstand in de periode 14-7-1997 t/m 28-6-1999 ca. 11.81 cm per jaar is gestegen. Bij SB18 (buis B6a Dijkwater) is er een aanwijzing voor een daling van de grondwaterstand met ca. 8.96 cm per jaar in de periode 13-1-1995 t/m 28-7-1998. Bij SB23 (buis A Groot Zandbrink) is er een aanwijzing dat de grondwaterstand gedurende de periode 28-3-1991 t/m 27-11-1998 met ca. 2.49 cm/jaar is gedaald.

3.3 Resultaten van de simulaties

De volgende resultaten van de simulaties zijn opgeslagen op een CD-rom die aan de opdrachtgever is verstrekt:

1. de regimecurve van de grondwaterstand met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans in de files REHS1.XLS t/m REHS26.XLS;
2. de regimecurve van de saturatiegraad met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans in de files RESSB1.XLS t/m RESSB26.XLS;
3. de regimecurve van de aeratiegraad met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans in de files REAS1.XLS t/m REAS26.XLS;
4. de regimecurve van het cumulatieve verdampingstekort met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans in de files RECSB1.XLS t/m RECSB26.XLS;
5. de overschrijdingsduurlijn van de grondwaterstand met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans in de files FOESB1.XLS t/m FOESB26.XLS;
6. de herhalingstijd waarmee een bepaalde grondwaterstand een bepaald aantal dagen achtereen wordt overschreden. Grondwaterstanden zijn hierbij om de 10 cm beschouwd en het aantal dagen is 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 50 en 100. De resultaten staan in de files DURSB1L.XLS t/m DURSB26L.XLS;
7. de herhalingstijd waarmee een bepaalde grondwaterstand een bepaald aantal dagen achtereen wordt onderschreden. Grondwaterstanden zijn hierbij om de 10 cm beschouwd en het aantal dagen is 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 50 en 100. De resultaten staan in de files DURSB1S.XLS t/m DURSB26S.XLS;
8. de verwachte duur van een inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans in de files SB1IND.OUT t/m SB26IND.OUT;
9. de verwachte einddatum van een inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans in de files SB1IND.OUT t/m SB26IND.OUT;
10. de verwachte duur van de jaarlijkse langste inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans in de files SB1IND.OUT t/m SB26IND.OUT;
11. de verwachte einddatum van de jaarlijkse langste inundatie met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans in de files SB1IND.OUT t/m SB26IND.OUT;
12. de SOW-waarden voor overschrijding van grondwaterstanden, in stapjes van 10 cm, te rekenen vanaf 1 oktober tot 1 maart, 15 maart, 1 april, 15 april, 1 mei, 15 mei en 1 juni en met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans in de files SOWSB1.XLS t/m SOWSB26.XLS;

13. de SOW-waarden voor overschrijding van grondwaterstanden, in stapjes van 10 cm, te rekenen vanaf 1 oktober tot 1 maart, 15 maart, 1 april, 15 april, 1 mei, 15 mei en 1 juni en met 5, 10, 20, ..., 90, 95% overschrijdingskans in de files SOWSB1.XLS t/m SOWSB26.XLS;
 14. de volgende statistieken: gemiddelde, variantie, standaardafwijking, derde moment, mediaan, de kwartielen, minimum, maximum, de z/x -waarde, de GHG, GLG en GVG berekend over een geheel hydrologisch jaar, met gemiddelde, mediaan, 5-de en 95-ste percentiel, de GHG en GLG berekend over resp. het winter- en het zomerhalfjaar met gemiddelde, mediaan, 5-de en 95-ste percentiel in de files STHSB1.OUT t/m STHSB26.OUT.
- Ter illustratie toont Aanhangsel 4 de resultaten voor SB1, dit is buis B132 in Wijnjeterperschar (Friesland).

3.4 Minimaal benodigde reekslengte; maximaal waarnemingsinterval

Aan de hand van de simulatieresultaten en de gegevens die zijn gepresenteerd in Knotters en Bierkens (1999b) is een uitspraak gedaan over de lengte die een waarnemingsreeks minimaal moet hebben om de grondwaterdynamiek te kunnen modelleren. Ook is een uitspraak gedaan over de maximale lengte van het interval dat is toegestaan tussen de waarnemingen. Uit de statistieken in STSB1.OUT t/m STSB26.OUT blijkt dat de 26 locaties in de Gt-klassen I, II, III en V liggen. Voor alle locaties geldt dat de GHG voorkomt binnen 20 cm-maaiveld. Uit Tabel 1 in Knotters en Bierkens (1999b) blijkt dat voor deze Gt-klassen de responstijd voor de relatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstand varieert van 12 tot 134 dagen. Hieruit kan worden opgemaakt dat een reeks die de seizoensfluctuatie van het neerslagoverschot bestrijkt lang genoeg is om de grondwaterdynamiek te modelleren. De minimaal reekslengte is dus één jaar, mits daarin een normale seizoensfluctuatie van het neerslagoverschot optreedt. Als er een vochtige zomer of een droge winter optreedt moet dus langer worden doorgemeten. De maximale intervallengte die is toegestaan is ca. 12 dagen, al zal in veel situaties de gebruikelijke 15 dagen (halve maand) ook voldoen. Het verdient echter aanbeveling om in zeer snel reagerende systemen frequenter, bijvoorbeeld wekelijks of dagelijks, te meten.

4 Conclusies en aanbevelingen

Het onderzoek naar de grondwaterdynamiek voor 26 vegetatiestandplaatsen in terreinen van het Staatsbosbeheer heeft een groot aantal curven en kengetallen opgeleverd, waarvan een voorbeeld wordt gegeven in Aanhangsel 4. Uit een eerste bestudering van de complete resultaten die digitaal zijn geleverd blijken meer en minder grote verschillen in grondwaterdynamiek tussen de 26 vegetatiestandplaatsen. In elk geval is er variatie, wat een belangrijke vereiste is voor vervolgonderzoek naar de samenhang tussen vegetatie en grondwaterdynamiek.

Voor enkele locaties is er een aanwijzing voor een trendmatige stijging van de grondwaterstand gedurende de kalibratieperiode: SB9 en SB10 (buis B601a Drentsche Aa, bij kantoor SBB), SB11 (buis B605a Burgvallen), SB12 (buis B602a Oudemolen). Bij SB18 (buis B6a Dijkwater) en bij SB23 (buis A Groot Zandbrink) is er een aanwijzing dat de grondwaterstand gedurende de kalibratieperiode is gedaald.

Reeksen met een lengte van één jaar waarin zowel een droog als een nat seizoen voorkomt zijn voldoende lang om de grondwaterdynamiek te modelleren. In de meeste situaties is de halfmaandelijke waarnemingsfrequentie voldoende om de dynamiek te modelleren; het verdient echter aanbeveling om in snel reagerende systemen wekelijks of dagelijks te meten.

Het aantal locaties van 26 is vrij beperkt voor bijvoorbeeld een regressie-analyse, te meer daar de berekende verklarende variabelen onderling sterk zijn gecorreleerd. Het is daarom aan te bevelen om in eerste instantie het onderzoek te richten op een fysische en fysiologische verklaring van de aangetroffen overeenkomsten en verschillen in grondwaterdynamiek tussen de verschillende locaties, dit ook in samenhang met andere abiotische factoren zoals de bodem en met het in beschouwing nemen van factoren zoals beheer, gebruik en historie. Hiermee kan de set kandidaat-modellen voor de samenhang tussen vegetatietype en grondwaterdynamiek worden beperkt, en kunnen een eventueel relevante verklarende factoren die niet uit de grondwaterdynamiek voortvloeien worden toegevoegd. Vervolgens kan wellicht een meer kwantitatieve analyse van samenhang plaatsvinden.

Literatuur

- Bierkens, M.F.P., 1998. Eenvoudige stochastische modellen voor grondwaterstandsfluctuaties. Deel 1: Een stochastische differentiaalvergelijking. *Stromingen* **4**(2): blz. 5-26.
- Bierkens, M.F.P., en D.J.J. Walvoort, 1998. Eenvoudige stochastische modellen voor grondwaterstandsfluctuaties. Deel 2: Gecombineerd bodem-grondwatermodel met stochastische invoer. *Stromingen* **4**(3): blz. 5-20.
- Bierkens, M.F.P., M. Knotters en F.C. van Geer, 1999. Tijdreeksanalyse nu ook toepasbaar bij onregelmatige meetfrequenties. *Stromingen* **5**(2): blz. 43-54.
- Haan, M.W.A. de, 1992. *De karakteristieken van duurlijnen van enige grondwaterafhankelijke plantengemeenschappen van de Littorelletea, Isoeto-Nanajuncetea, Oxycocio-Sphagnetea en Scheuchzerietea*. Nieuwegein, KIWA Rapport SWE92.015.
- Jansen, P., 1981. *Verwerking, interpretatie en toepassingsmogelijkheden van grondwaterstandsgegevens met behulp van overschrijdingsduurlijnen*. Wageningen, ICW nota 1260.
- Knotters, M. en P.E.V. van Walsum, 1994. *Uitschakeling van weersinvloeden bij de karakterisering van het grondwaterstandsverloop*. Wageningen, DLO-Staring Centrum Rapport 350.
- Knotters, M. en P.E.V. van Walsum, 1997. Estimating fluctuation quantities from time series of water-table depths using models with a stochastic component. *Journal of Hydrology* **197**: blz. 25-46.
- Knotters, M. en M.F.P. Bierkens, 1999. Tijdreeksmodellen voor de grondwaterstand, een kijkje in de black box. *Stromingen* **5**(3): blz. 35-49.
- Knotters, M. en M.F.P. Bierkens, 1999. Hoe lang moet je de grondwaterstand meten om iets over de dynamiek te weten? *Stromingen* **5**(4): blz. 5-12.
- Knotters, M. en J.G. de Gooijer, 1999. TARSO modeling of water table depths. *Water Resources Research* **35**: blz. 695-706.
- Knotters, M. en M.F.P. Bierkens, 2000. Physical basis of time series models for water table depths. *Water Resources Research* **36**: blz. 181-188.
- Runhaar, J., J.P.M. Witte en P.H. Verburg, 1997. Ground-water level, moisture supply, and vegetation in the Netherlands. *Wetlands* **17**(4): blz. 528-538.

Runhaar, J., 1999. *Impact of hydrological changes on nature conservation areas in the Netherlands*. Leiden, proefschrift.

Sluijs, P. van der, 1990. *Grondwatertrappen*. In: W.P. Locher en H. de Bakker (red.), *Bodemkunde van Nederland, Deel 1 Algemene bodemkunde*, blz. 167-180. Malmberg, Den Bosch.

Aanhangsel 1 Een stochastische differentiaalvergelijking

Deze tekst is in 1998 gepubliceerd in het tijdschrift *Stromingen*, jaargang 4 nummer 2 onder de titel 'Eenvoudige stochastische modellen voor grondwaterstandfluctuaties Deel 1: Een stochastische differentiaalvergelijking'.

Aanhangsel 2 Toelichting bij de programmatuur

Header van het kalibratieprogramma SSDKOPT; beschrijving van de invoer- en uitvoerfiles

```

cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
c Program: SSDKOPT - Soil Stochastic Differential equation Kalman filter
c               and OPTimization
c
c Goal:    Calibration of a stochastic model for the simulation of groundwater
c          heads and drainage discharge, using a Kalman filter form of the
c          Gaussian maximum likelihood criterium.
c          The model is postulated in the form of a Stratonovitch stochastic
c          differential equation which is numerically solved with Runge kutta
c          integration.
c
c Version: 1.1 (december 8th 1997)
c          * Equilibrium profile modelled with a modified van Genuchten model
c          * Maximum three drainage levels
c          * bouncing boundaries in optimization
c
c Author:  Marc F.P. Bierkens
c*****
c Input:
c interactive:
c     parfile1 - name of parameter file for the stochastic model
c     parfile2 - name of parameter file for the calibration part
c
c*****
c                               PARFILE1
c*****
c ***** The values should be put in the parameter file *****
c *****      in the following order:          *****
c
c     general input:
c     record 1) : outfile  - name output file of perdition routine
c     record 2) :
c         irandom  - integer flag which is set to 0 if the mean
c                   trajectory is required. All other values
c                   lead to the simulation of random paths.
c         iseed    - seed for the random generator; value must
c                   be negative; a value is always needed
c
c     meteo parameters:
c     record 3) : ipflag  - if zero, precipitation is constant,
c                       if not zero it is the unit number under which
c                       the precipitation is read.
c     record 4) : if ipflag .eq. 0 then
c                 xmp    - mean precipitation (mm/day)
c                 vp    - variance precipitation (mm2/day2)
c           else
c                 vp    - variance of noise on precipitation
c                       (mm2/day2)
c                       must be at first 10 positions
c                 icolnr - column nummer that must be read from file
c                       must be at positions 11-20
c                 precname - name of precipitation input file
c           endif
c     record 5) : iepflag - if zero, potential evapotranspiration is
c                       constant, if not zero it is the unit number
c                       under which the potential evapotranspiration
c                       is read.
c     record 6) : if iepflag .eq. 0 then
c                 xmep  - mean potential evapotranspiration (mm/day)
c                 vep  - variance potential evapotranspiration
c                       (mm2/day2)
c                 exps - exponent of the relation average soil
c                       saturation and actual evapotranspiration (-)
c                 cropf - crop factor (1.0 for grass)

```

```

c         else
c             input file
c             vep - variance of noise potential evapo-
c                 transpiration (m2/day2)
c                 must be at positions 1-10
c             exps - exponent of the relation average soil
c                 saturation and actual evapotranspiration (-)
c                 must be at positions 11-20
c             cropf - crop factor (1.0 for grass)
c                 must be at positions 21-30
c             icolnr - column number to read from file
c                 must be at positions 31-40
c             evapname - name of potential evapotranspiration
c                 input file
c         endif
c
c     soil physical parameters (modified van Genuchten model)
c     record 7):
c         thesat - saturated volumetric water content (-)
c         theres - residual volumetric water content (-)
c         alpha - alpha value of model (positive) (1/cm)
c         expn - exponent of the modified van genuchten
c             relation (-)
c         eps0 - elastic (residual) groundwater storage (-)
c
c     geohydrological parameters and inputs
c     record 8):
c         xsurf - surface elevation level (m reference level)
c     record 9):
c         gwstart - groundwater level at start simulation
c             (m reference level)
c     record 10) iwflag - if zero, water levels are constant,
c             if not zero it is the unit number under which
c             the water levels of nearby water courses are
c             read.
c         if iwflag .eq. 0 then
c     record 11):     nwc - number of different drainage levels
c                     (maximum of 3)
c     record 12):
c         do i = 1,nwc {
c             wl(i) - water level of nearby water course i
c                 (m reference) level
c             gamma(i) - drainage resistance of ith water
c                 course (days)
c         }
c         else
c     record 11):     nwc - number of different drainage levels
c                     must be placed in first ten positions
c         wlname - name of file with water levels
c     record 12):
c         do i = 1,nwc {
c             gamma(i) - drainage resistance of level i (days)
c                 must be placed in positions 11-20,
c                 21-30, etc.
c         }
c         endif
c     record 13) idrcode (i=1,nwc)
c         - if one, the water course is both draining
c         and infiltrating; if zero the water course
c         is only draining, i.e. when the groundwater
c         table is above the drainage level of this
c         water course.
c     record 14) ivflag - if zero, vertical fluxes are constant,
c             if not zero it is the unit number under which
c             the vertical fluxes are read.
c     record 15) if ivflag .eq. 0 then
c         vflux - flux to/from deeper groundwater (mm/day);
c             positive value for exfiltration (upwards)
c         else
c         vfname - name of file with vertical fluxes
c     endif

```



```

c      parameters for numerical integration:
c      record 16):
c          dstep - time step (days)
c          simtim - total integration time (days)
c          iwrite - frequency (time steps) of writing the results
c          intflag - if equal to 1 a first order Runge-Kutta
c                   integration will be performed, otherwise
c                   a fourth order Runge Kutta will be used.
c          iint - number of integration steps per time step
c                   not exceeding MAXINT
c
c***** end parameter file 1 *****
c
c*****
c      PARFILE2
c*****
c      record 1: measfile - name of file with measurements
c      record 2: kalfile - name of file with Kalman filter results
c      record 3: optfile - name of file with results of optimization
c      record 4: initial values of parameters to be calibrated: if a
c                 parameter is actually calibrated it should be given
c                 a non-zero initial value!
c          do i = 1,nwc {
c              par0(i) - initial drainage resistance
c                       [gamma(i)] (days)
c          }
c          par0(nwc+1) - initial value of eps0 [eps0] [-]
c          par0(nwc+2) - initial vertical flux [vflux] (mm/day)
c          par0(nwc+3) - initial additive noise variance [vp]
c                       (mm2/day2)
c          par0(nwc+4) - initial multiplicative noise variance [vep]
c                       (mm2/day2); If vp is calibrated vep must
c                       be set to "0." and icalcode (nwc+4) set
c                       to "0".
c      record 5: integer code to determine whether to calibrate
c                 a parameter: (1) or not: (0)
c          do i = 1,nwc+4 {
c              icalcode(i)
c          }
c      record 6: gw1 - initial value of groundwater level for
c                 filter algorithm (m reference level)
c          sgw1 - initial value of measurement update variance (m2)
c      record 7:
c                 smeas - variance of measurement error (m2)
c
c***** end parameter file 2 *****
c
c*****
c      MEASFILE - file with measurements of heads
c*****
c      record 1: nmeas - number of measurements
c                 convf - conversion factor to convert the numbers
c                       in the file to the numbers used in the program.
c          do i = 1,nmeas {
c              record(i+1): xmtime(i) - measurement time-step (days)
c                          xmeas(i) - measurement (m reference level)
c          }
c***** end file with measurements *****
c
c*****
c      FILES WITH METEODATA - precipitation or potential evapotranspiration
c*****
c      record 1: ndata - number data to read
c                 ncols - number of columns present
c                 cfac - multiplication factor (for unit conversion)
c                       if right unit: cfac = 1
c          do i = 1,ndata {
c              record(i+1): time(i) - time-step (days)
c                          ncols columns (one of which is precipitation or
c                          potential evapotranspiration)
c          }
c

```

```

c
c note : input will be assumed constant for time(i-1) < timestep <= time(i)
c***** end meteofile *****
c
c*****
c
c FILE WITH WATER LEVELS
c*****
c record 1: ndata - number data to read
c do i = 1,ndata {
c record(i+1): time(i) - time-step (days)
c nwc columns with water levels (m with respect
c to reference level; i.e. one column for
c every level of water course)
c }
c
c note : input will be assumed constant for time(i-1) < time step <= time(i)
c***** end file with water levels *****
c
c*****
c FILE WITH BOTTOM FLUXES
c*****
c record 1: ndata - number data to read
c do i = 1,ndata {
c record(i+1): time(i) - time-step (days)
c column with bottom fluxes (mm/day)
c }
c
c note : input will be assumed constant for time(i-1) < time step <= time(i)
c***** end file bottom fluxes*****
c
c Output:
c*****
c 1) outfile:
c file with a time series of the following record:
c record i = 1 to int(simtim/dstep):
c time - time (days)
c pnet - net precipitation P (mm/day)
c gwlev1 - groundwater level (m reference level)
c ssl - mean soil saturation (-)
c dflux - discharge flux (mm/day)
c (positive when out of system)
c plas - overland flow (mm/day)
c rest - rest term of water balance (Eq. 1) (mm/day)
c*****
c 2) balance.out:
c file with a time series of cumulative water balance components
c record i = 1 to int(simtim/dstep):
c time - time (days)
c stgw - cumalitive storage in groundwater (mm)
c stsoil - cumalitive storage in soil moisture (mm)
c cumpnet - cumlative amount of net precipitation (mm)
c cumdflux - cumalitive amount drained to water courses (mm)
c cumvflux - cumalitive amount from/to deeper
c groundwater (mm)
c cumplas - cumulative amount of generated surface
c water (mm)
c cumrest1 - rest term of cumulative water balance (mm)
c*****
c 3) kalfile:
c time - time (days)
c gw0 - time update (m below surface)
c gw1 - measurement update (m below surface)
c sgw0 - error variance time update (m2/day2)
c sgw1 - error variance measurement update (m2/day2)
c when measurements are available:
c xmeas - measured value (m below surface)
c (xmeas - gw0) - innovation (m below surface)
c*****
c 4) optfile:
c iter - iteration number
c do i = 1,nwc+4 {

```

```

c          par(i)          - parameters
c          {
c          funk(par)       - value of criterium
cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
c

```

Header van het simulatieprogramma SSDSIM; beschrijving van de invoer- en uitvoerfiles

```

cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
c Program: SSDSIM - Soil Stochastic Differential equation SIMulation
c          program
c
c Goal:    Simulation of multiple realizatiuons of groundwater head, drainage
c          discharge and soil saturation from a simplified model of
c          soil/groundwater interaction. The model is postulated in the form
c          of an Stratonovitch stochastic differential equation which is
c          numerically solved with Runge Kutta-integration.
c
c Version: 2.1 (april 3th 1997), modifications Spring 2000
c          * Equilibrium profile modelled with a modified van Genuchten model
c          * Maximum three drainage levels
c
c Author:  Marc F.P. Bierkens, further modifications by M. Knottters
c
c Input:
c          parfile - name parameter file
c
c ***** The values should be put in the parameter file *****
c          ***** in the following order: *****
c
c          general input:
c          record 1) : outfile1 - name binary output file gws
c          record 2) : outfile2 - name binary output file sat
c          record 3) : outfile3 - name binary output file dis
c          record 4) : outfile4 - name output file edf
c          record 5) : outfile5 - name output file ced
c          record 6) : outfile6 - name output file aer
c
c          record 7) :
c                    irandom - integer flag which is set to 0 if the mean
c                             trajectory is required. All other values
c                             lead to the simulation of random paths.
c                    iseed   - seed for the random generator; value must
c                             be negative; a value is always needed
c                    nsim    - number of realisations to be generated.
c
c          meteo parameters:
c          record 8) : ipflag - if zero, precipitation is constant,
c                             if not zero it is the unit number under which
c                             the precipitation is read.
c          record 9) : if ipflag .eq. 0 then
c                    xmp     - mean precipitation (mm/day)
c                    vp      - variance precipitation (mm2/day2)
c                    else
c                    vp      - variance of noise on precipitation
c                             (mm2/day2)
c                             must be at first 10 positions
c                    icolnr  - column nummer that must be read from file
c                             must be at positions 11-20
c                    precname - name of precipitation input file
c                    endif
c          record 10) : iepflag - if zero, potential evapotranspiration is
c                               constant, if not zero it is the unit number
c                               under which the potential evapotranspiration
c                               is read.
c          record 11) : if iepflag .eq. 0 then
c                    xmep    - mean potential evapotranspiration (mm/day)
c                    vep     - variance potential evapotranspiration

```

```

c                                     (mm2/day2)
c                                     exps - exponent of the relation average soil
c                                     saturation and actual evapotranspiration (-)
c                                     cropf - crop factor (1.0 for grass)
c     else
c         input file
c         vep - variance of noise potential evapo-
c               transpiration (m2/day2)
c               must be at positions 1-10
c         exps - exponent of the relation average soil
c               saturation and actual evapotranspiration (-)
c               must be at positions 11-20
c         cropf - crop factor (1.0 for grass)
c               must be at positions 21-30
c         icolnr - column number to read from file
c               must be at positions 31-40
c         evapname - name of potential evapotranspiration
c                   input file
c     endif
c
c     soil physical parameters (modified van Genuchten model)
c     record 12):
c         thesat - saturated volumetric water content (-)
c         theres - residual volumetric water content (-)
c         alpha - alpha value of model (positive) (1/cm)
c         expn - exponent of the modified van genuchten
c               relation (-)
c         eps0 - elastic (residual) groundwater storage (-)
c
c     geohydrological parameters and inputs
c     record 13):
c         xsurf - surface elevation level (m reference level)
c     record 14):
c         gwstart - groundwater level at start simulation (m
reference level)
c     record 15) iwflag - if zero, water levels are constant,
c                       if not zero it is the unit number under which
c                       the water levels of nearby water courses are
c                       read.
c         if iwflag .eq. 0 then
c     record 16):     nwc - number of different drainage levels
c                       (maximum of 3)
c     record 17):
c         do i = 1,nwc {
c             wl(i) - water level of nearby water course i (m
reference level)
c             gamma(i) - drainage resistance of ith water
c                       course (days)
c         }
c         else
c     record 16):     nwc - number of different drainage levels
c                       must be placed in first ten positions
c         wlname - name of file with water levels
c     record 17):
c         do i = 1,nwc {
c             gamma(i) - drainage resistance of level i (days)
c                       must be placed in positions 11-20,
c                       21-30, etc.
c         }
c     endif
c     record 18) idrcode (i=1,nwc)
c         - if one, the water course is both draining
c           and infiltrating; if zero the water course
c           is only draining, i.e. when the groundwater
c           table is above the drainage level of this
c           water course.
c     record 19) ivflag - if zero, vertical fluxes are constant,
c                       if not zero it is the unit number under which
c                       the vertical fluxes are read.
c     record 20) if ivflag .eq. 0 then
c         vflux - flux to/from deeper groundwater (mm/day);

```

```

c                                positive value for exfiltration (upwards)
c                                else
c                                vfname - name of file with vertical fluxes
c                            endif
c                    parameters for numerical integration:
c                record 21):
c                    dstep   - time step (days)
c                    simtim  - total integration time (days)
c                    iwrite  - frequency (time steps) of writing the results
c                    intflag - if equal to 1 a first order Runge-Kutta
c                               integration will be performed, otherwise
c                               a fourth order Runge Kutta will be used.
c                    iint   - number of integration steps per time step
c                               not exceeding MAXINT
c                record 22):
c                    year1   - first year to be simulated (start at januari 1)
c                record 23):
c                    startim - startup time (days)
c
c***** end parameter file *****
c*****
c    FILES WITH METEODATA - precipitation or potential evapotranspiration
c*****
c        record 1: ndata - number data to read
c                ncols - number of columns present
c                cfac  - multiplication factor (for unit conversion)
c                    if right unit: cfac = 1
c        do i = 1,ndata {
c            record(i+1): time(i) - time-step (days)
c                        ncols columns (one of which is precipitation or
c                        potential evapotranspiration)
c        }
c
c note : input will be assumed constant for time(i-1) < timestep <= time(i)
c***** end meteofile *****
c*****
c                    FILE WITH WATER LEVELS
c*****
c        record 1: ndata - number data to read
c        do i = 1,ndata {
c            record(i+1): time(i) - time-step (days)
c                        nwc columns with water levels (m with respect
c                        to reference level; i.e. one column for
c                        every level of water course)
c        }
c
c note : input will be assumed constant for time(i-1) < time step <= time(i)
c***** end file with water levels *****
c*****
c                    FILE WITH BOTTOM FLUXES
c*****
c        record 1: ndata - number data to read
c        do i = 1,ndata {
c            record(i+1): time(i) - time-step (days)
c                        column with bottom fluxes (mm/day)
c        }
c
c note : input will be assumed constant for time(i-1) < time step <= time(i)
c***** end file bottom fluxes*****
ccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
c

```

Header van het post-processing programma STATSIM4, voor regimecurves, overschrijdingsduurlijnen (frequency of exceedance, foe), statistieken, SOW-grafieken, histogrammen

```

cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
c Program: STATSIM4 - calculation of STATistics from simulated data
c
cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
c FINAL VERSION FOR STAATSBOSSBEHEER PROJECT c
cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
c
c Goal: From NSIM realizations of simulated data with:
c       kalmx
c       kaltfn
c       kalwat
c       ssdsim
c       emerald (after - converting emerald output via pas2asc (PC) and
c                   asc2for (on mainframe) if statsim is run on a
c                   mainframe
c                   - converting emerald output via pas2for if statsim
c                   is run on a pc.
c       swapsim (simulated residuals added to a deterministic trace
c                   of swap)
c       the program estimates: 1) univariate statistics, 2) regimecurve,
c       3) ghg/ghg, 4) histogram; 5) frequency of exceedance, 6) correlation
c       function: 5 and 6 are compared to data. So STATDAT should be run
c       on the data first before statsim can be applied to the simulated
c       realisations.
c Note: Apart from Emerald that works only on PC, the simulations should be
c       performed on the same platform as statsim is run. For the moment
c       statsim can be run on the PC (100 realisations). For a 1000
c       realisations it is probably better to compile the program on a main
c       frame computer due to memory requirements. It will be made more
c       suitable for PC in the very near future.
c Author: M.F.P. Bierkens
c Date: april 6th, 1998
c Modifications: M. Knotters (marked in the code by 'M. Knotters included:'
c                   or 'M. Knotters excluded:')
c Date: April, 2000
cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
c
c*****
c input: - file (unformatted) with simulated data starting at januari 1
c         record 1: year1, nsim, nsteps
c           - year1: first year of simulation
c           - nsim: number of realizations
c           - nyears: number of years in simulation
c         record 2 to nsteps*nsim + 1: simulated heads, discharges or
c                                     or soil saturation
c Excluded by M. Knotters:
cc      - file (ascii) with foe-curve estimated from measurements
cc        record 1: nfoe
cc        record 2 to nfoe + 1: foe, gwsfoe
cc          - foe : frequency of exceedance
cc          - gwsfoe: associated height of phreatic surface
cc
cc      - file (ascii) with correlation function from measurements
cc        record 1: maxlag
cc        record 2 to maxlag + 1: lag (days), correlation
c
c output:
c         - file with statistics and ghg/ghg 's
c         - file with approx 10000 data for histogram
c         - file with foe-curves for simulated data
c           (mean, 5,10,20,...,90,95 percentile)
c         - file with regimecurve (mean, 5,10,20,...,90,95 percentile)
cc Excluded:
```

```

cc          - file with correlation functions for measurements
cc          and simulated data
c M. Knotters included:
c          - file with probability that x at some day in a future year will
c            exceed predefined levels of water table depth
c          - file with SOW values for levels above and below predefined levels
c*****
c

```

Header van het programma SBBINUND, voor de berekening van inundatieduren en einddata van inundaties

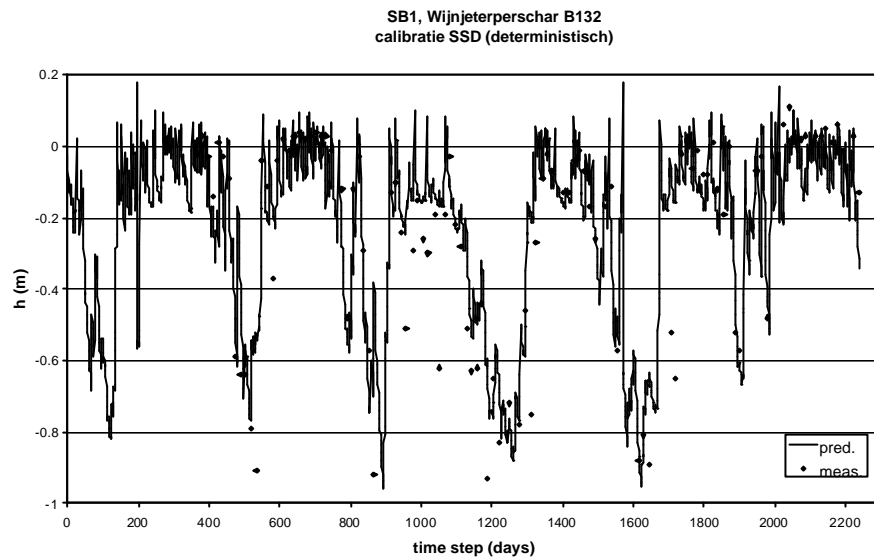
```

cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
c Program: SBBINUND
c Goal :   Based on NSIM realisations SBBINUND prepares file with
c          - expected number of consecutive days that the water table level
c            exceeds the ground surface;
c          - expected enddate of any inundation;
c          - (expected) duration of the (expected) longest inundation in
c            a year and 5, 10, 20,..., 90, 95% probabilities of
c            exceedance;
c          - (expected) enddate of the (expected) longest inundation in
c            a year and 5, 10, 20,..., 90, 95% probabilities of
c            exceedance.
c          Realisations can be simulated with:
c            kalmx
c            kaltfn
c            kalwat
c            ssdsim
c            emerald (after - converting emerald output via pas2asc (PC) and
c                       asc2for (on mainframe) if statsim is run on a
c                       mainframe
c                       - converting emerald output via pas2for if statsim
c                         is run on a pc.
c            swapsim (simulated residuals added to a deterministic trace
c                      of swap)
c Note: Apart from Emerald that works only on PC, the simulations should be
c        performed on the same platform as statsim is run. For the moment
c        statsim can be run on the PC (100 realisations). For a 1000
c        realisations it is probably better to compile the program on a main
c        frame computer due to memory requirements. It will be made more
c        suitable for PC in the very near future.
c Authors: M. Knotters and M.F.P. Bierkens
c Date: February 2000
cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
c
c*****
c input: - file (unformatted) with simulated data starting at januari 1
c         record 1: year1, nsim, nyears
c             - year1: first year of simulation
c             - nsim:  number of realizations
c             - nyears: number of years in simulation
c         record 2 to nsteps*nsim + 1: simulated heads, discharges or
c                                     or soil saturation
c output - file1 (ascii) with
c         record 1 - blank
c         record 2 - tover : expected number of consecutive days that
c                       level 0 is exceeded
c         record 3 - p(tover) 5,10,20,...,90,95 percentile
c         record 4 - blank
c         record 5 - endd  : expected enddate of any inundation
c                       period
c         record 6 - p(endd) 5,10,20,...,90,95 percentile
c         record 8 - blank
c         record 8 - dmax  : expected maximum duration in a year
c         record 9 - p(dmax) 5,10,20,...,90,95 percentile
c         record 10 - blank
c         record 11 - enddate : expected enddate of maximum duration
c         record 12 - p(enddate) 5,10,20,...,90,95 percentile
c*****

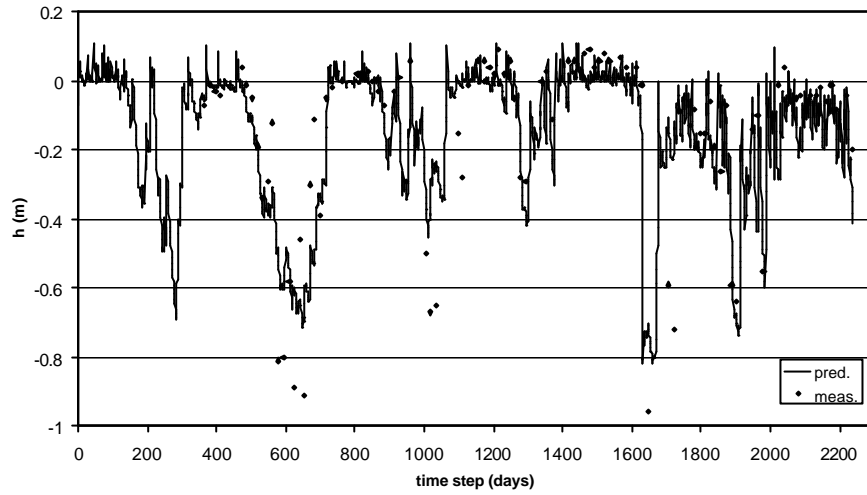
```


c level for which $T(I)$ is minimum. The graph
c describing the recurrence time for I consecutive
c days or more starts at this location and
c continues upward along the same column.
c*****
c

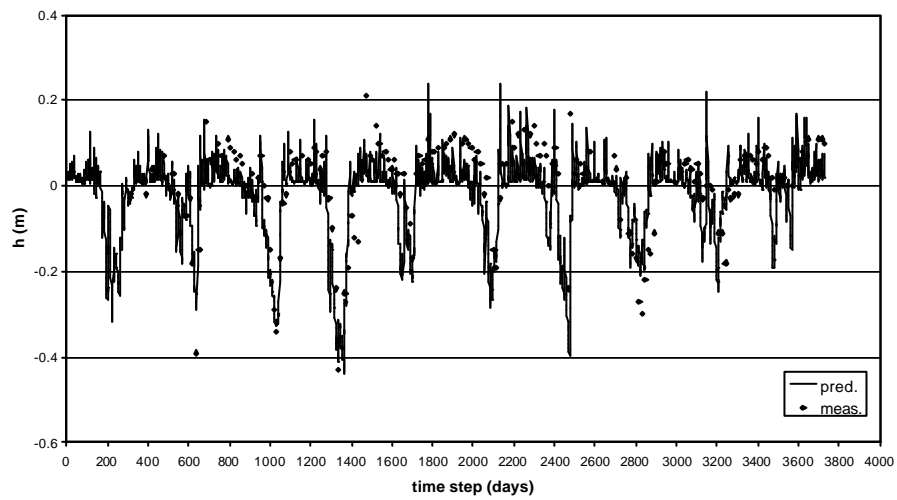
Aanhangsel 3 Tijdreeksgrafieken van gemeten en gecalibreerde grondwaterstanden



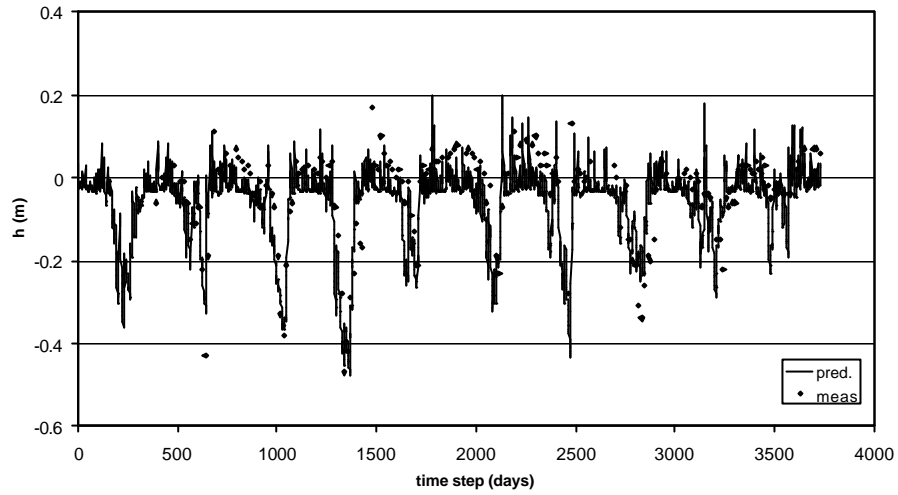
SB2, Wijnjeterperschar B138
calibratie SSD (deterministisch)



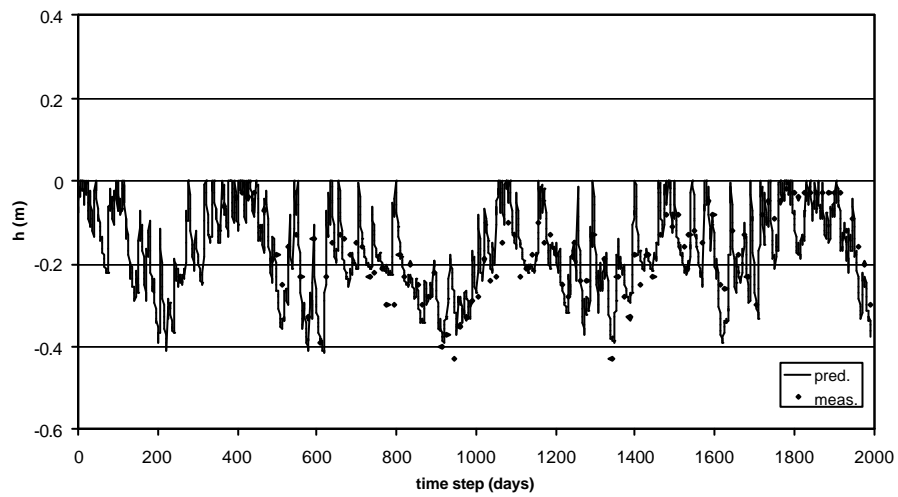
SB3, Ule Krite B3c
calibratie SSD (deterministisch)



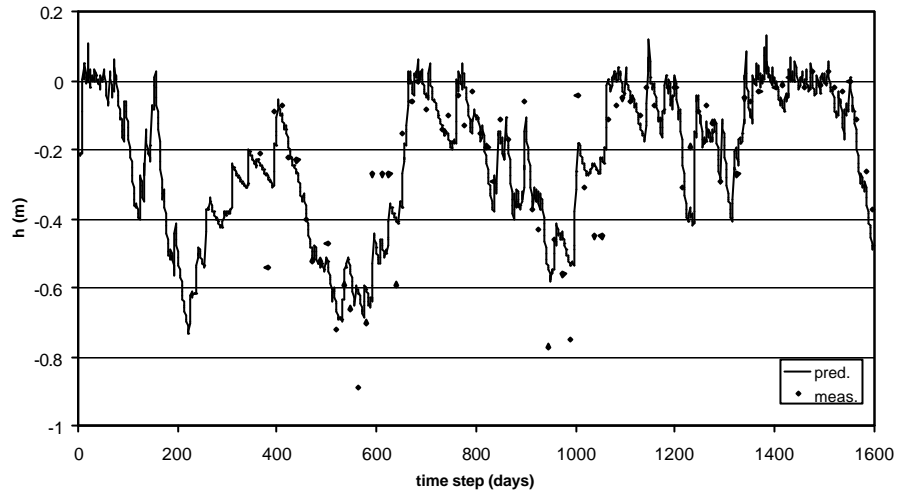
SB4, Ule Krite B3c
calibratie SSD (deterministisch)



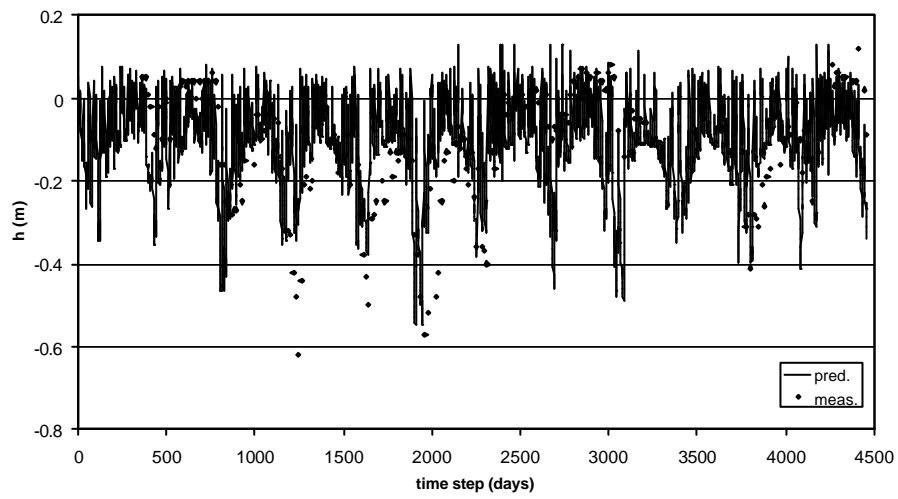
SB5, Oude Riet B16a
calibratie SSD (deterministisch)



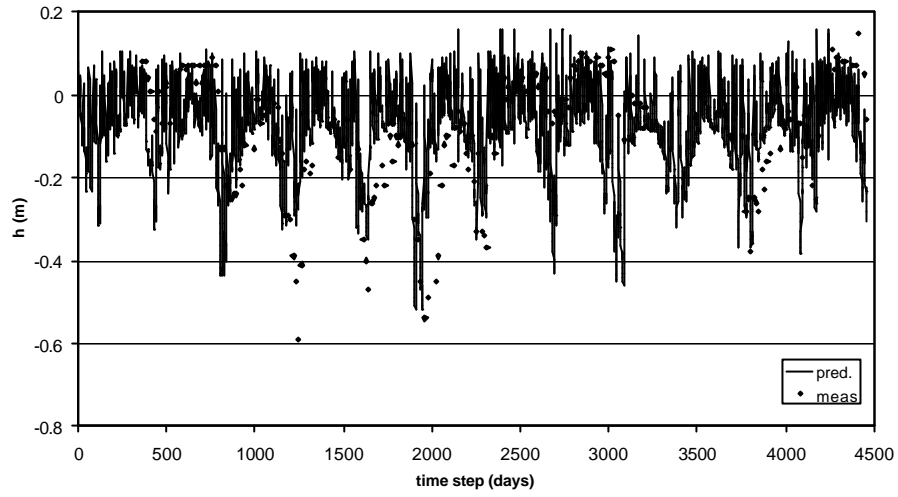
SB6, Reitma (Elperstroom) B8
calibratie SSD (deterministisch)



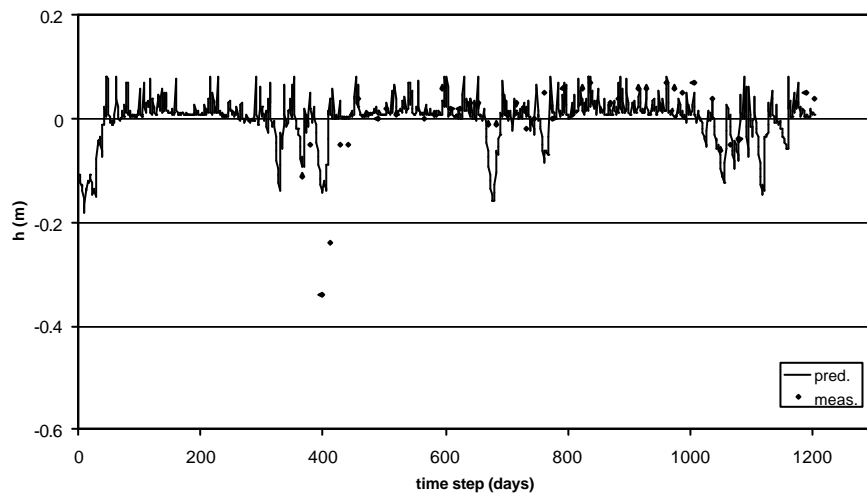
SB7, Roodzanden B2b
calibratie SSD (deterministisch)



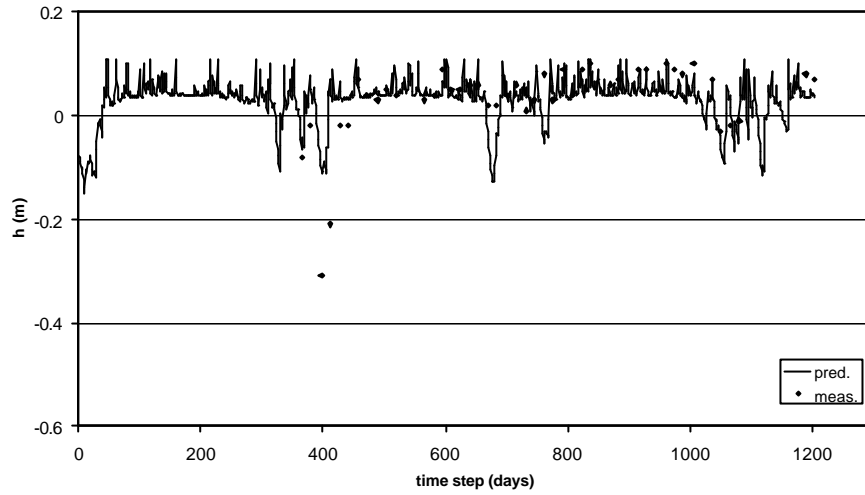
SB8, Roodzanden B2b
calibratie SSD (deterministisch)



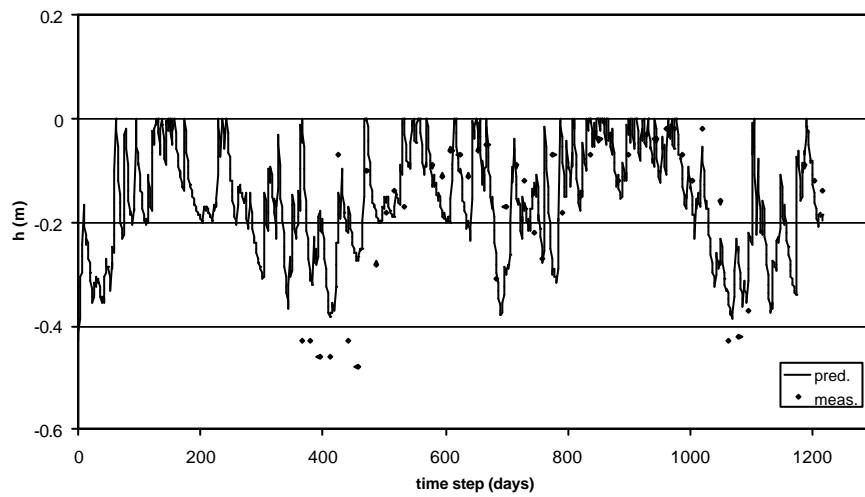
SB9, Drentsche Aa B601a
calibratie SSD (deterministisch)



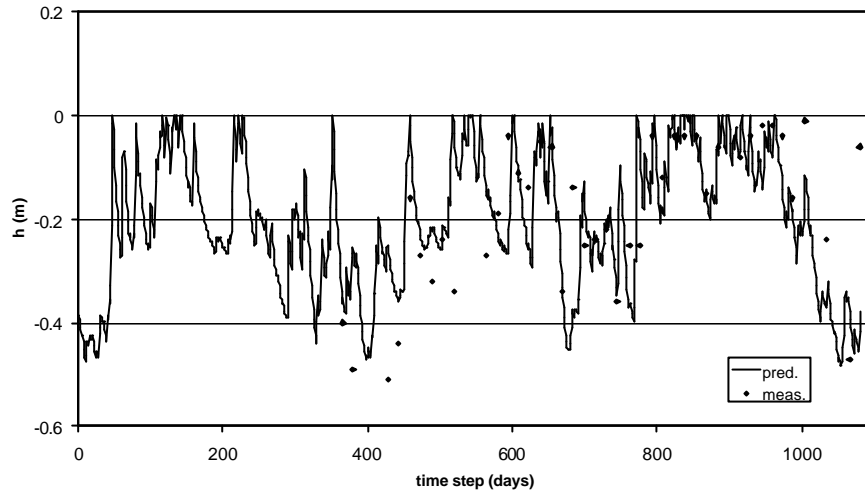
SB10, Drentsche Aa B601a
calibratie SSD (deterministisch)



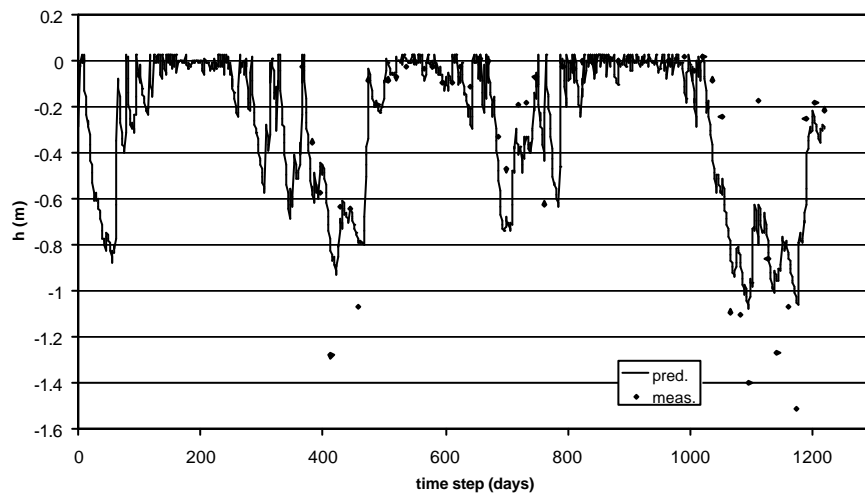
SB11, Burgvallen B605a
calibratie SSD (deterministisch)



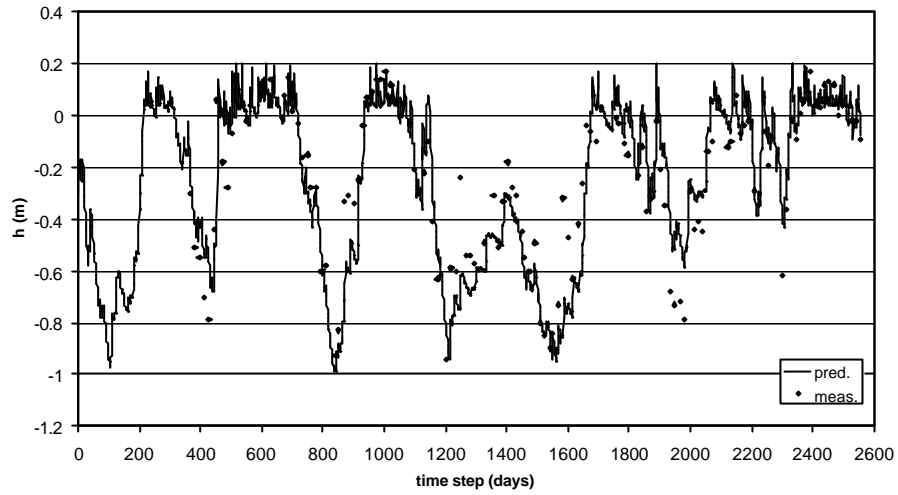
SB12, Oudemolen B602a
calibratie SSD (deterministisch)



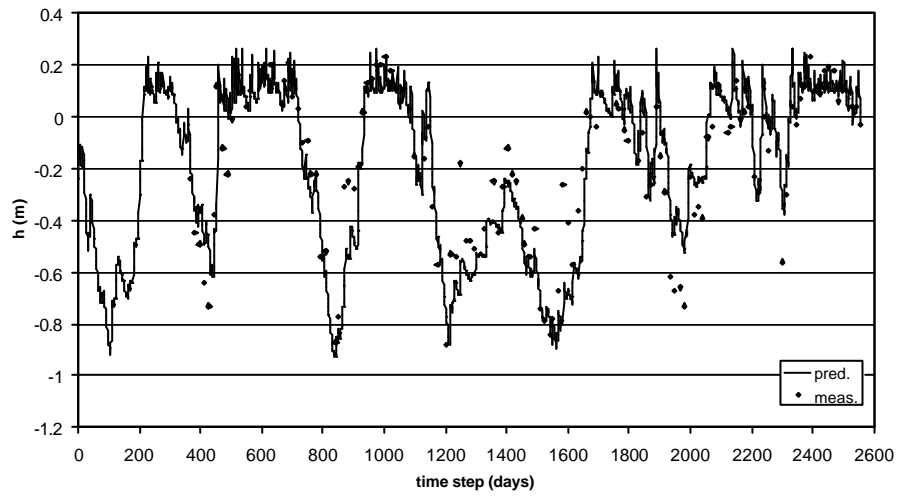
SB13, Eexterveld B608a
calibratie SSD (deterministisch)



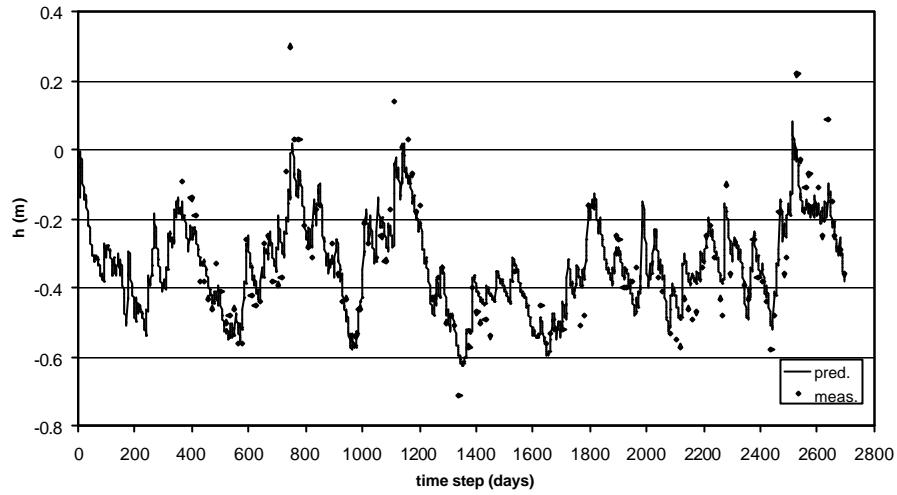
SB14, Stelkampsveld B2
calibratie SSD (deterministisch)



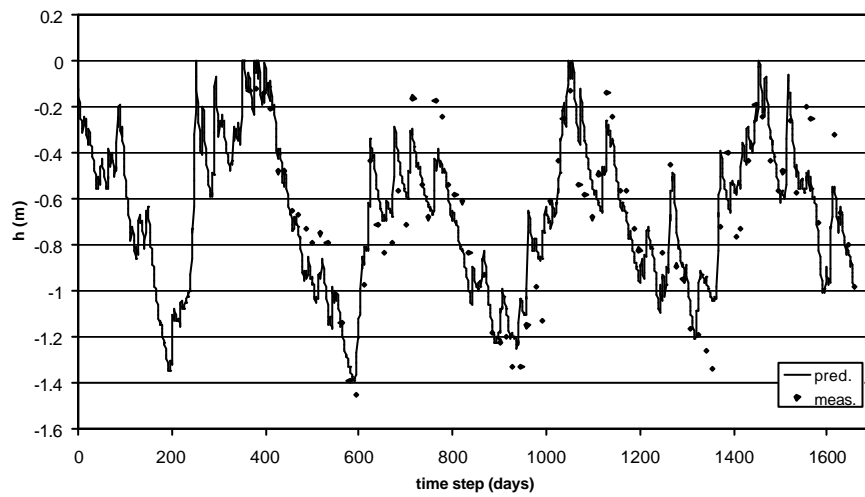
SB15, Stelkampsveld B2
calibratie SSD (deterministisch)



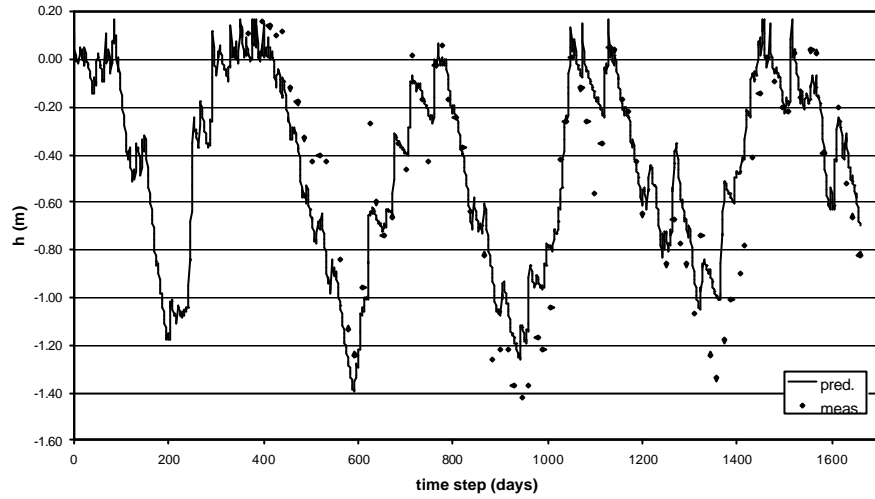
SB16, Put van Bullee B11a
calibratie SSD (deterministisch)



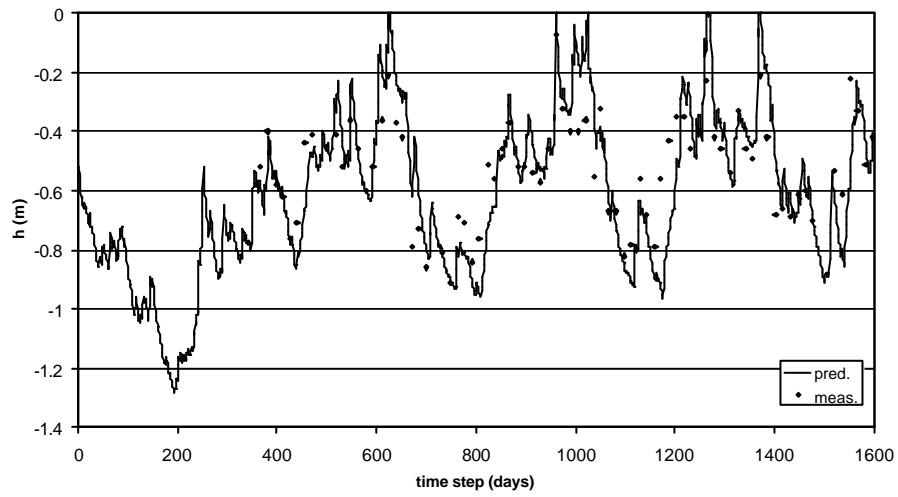
SB17, Dijkwater B4a
calibratie SSD (deterministisch)



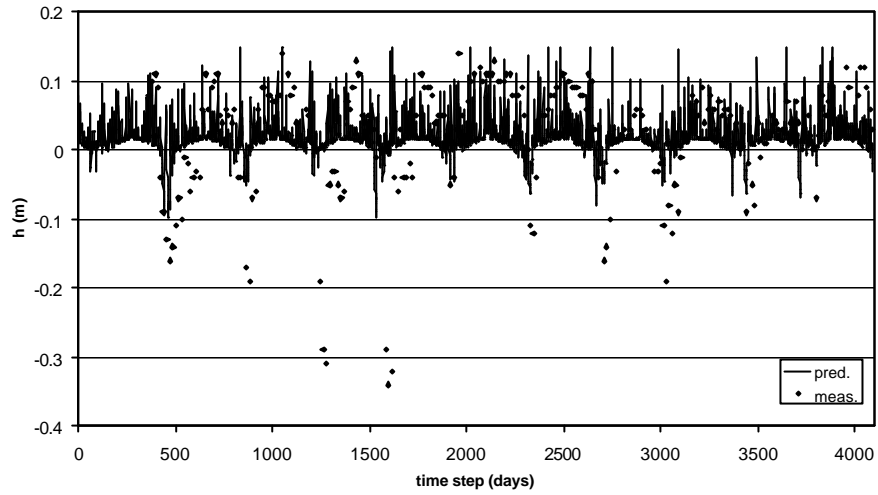
SB18, Dijkwater B6a
calibratie SSD (deterministisch)



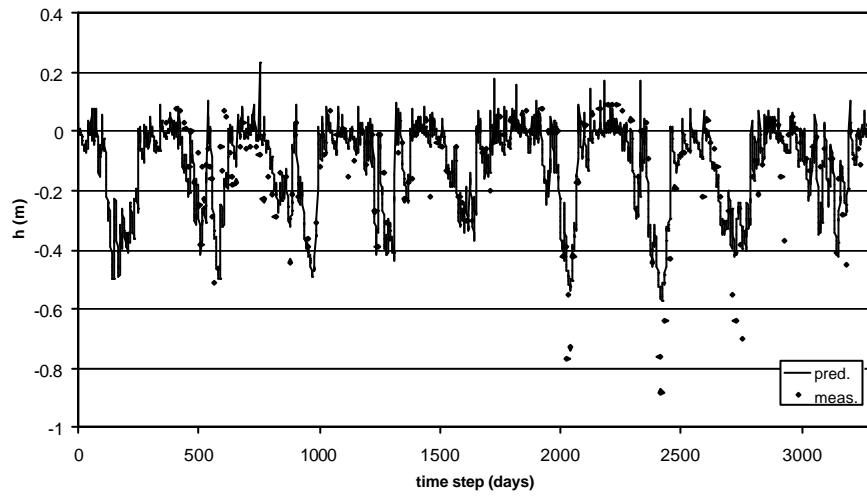
SB19, Schotsman B2
calibratie SSD (deterministisch)



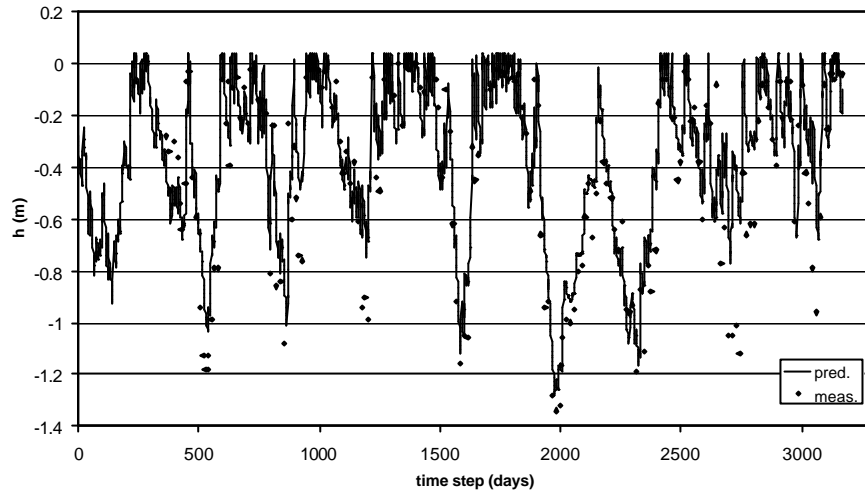
SB20, Blauwe Hel B14b
calibratie SSD (deterministisch)



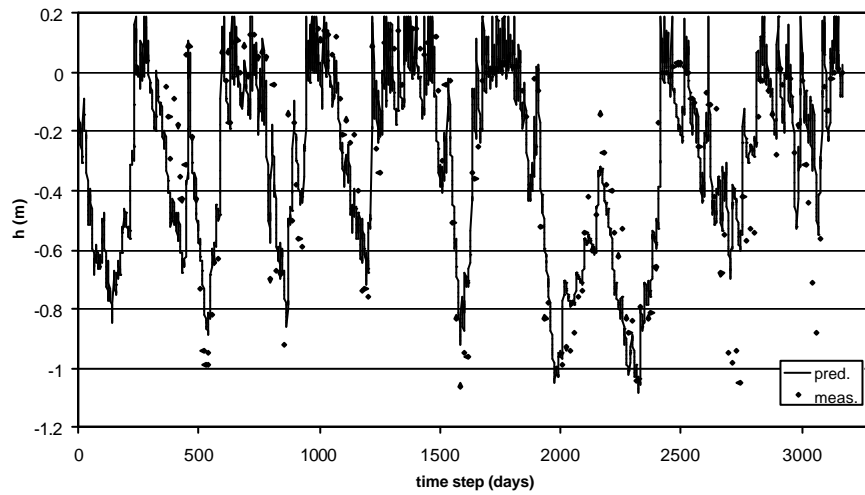
SB21, Bennekonse Meent B4
calibratie SSD (deterministisch)



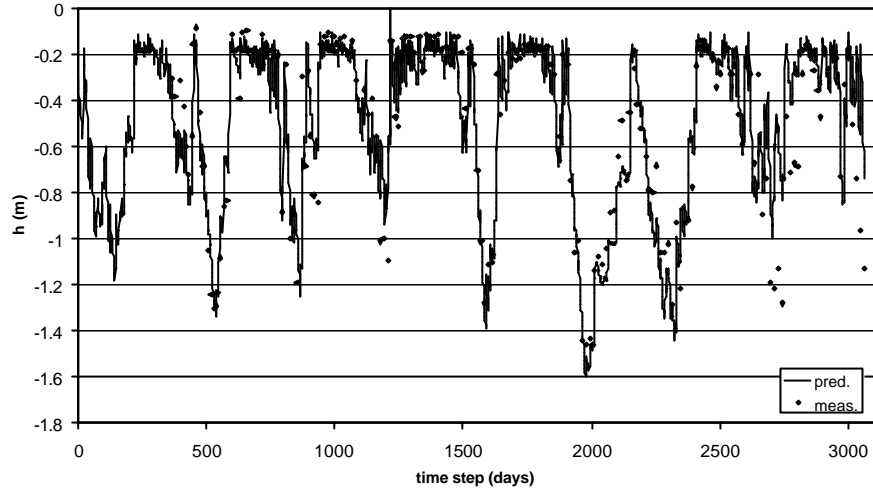
SB22, Groot Zandbrink B12
(*Cirsio-Molinietum typicum*)
calibratie SSD (deterministisch)



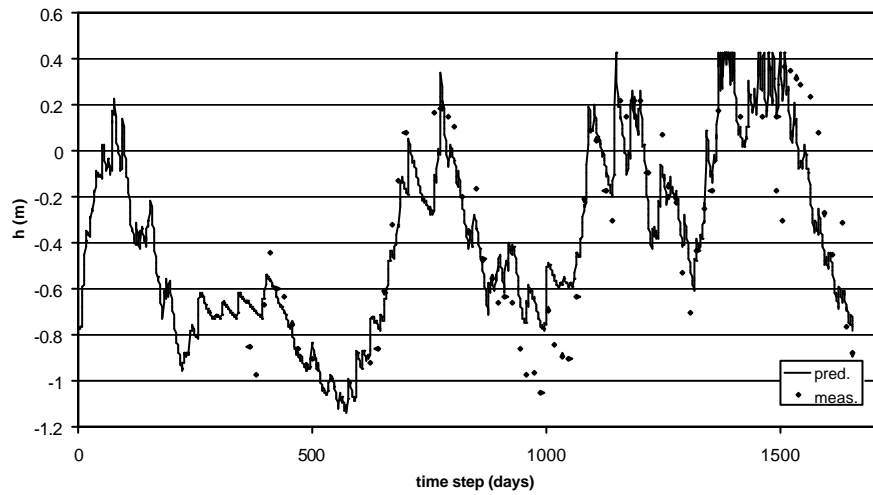
SB23, Groot Zandbrink A
calibratie SSD (deterministisch)



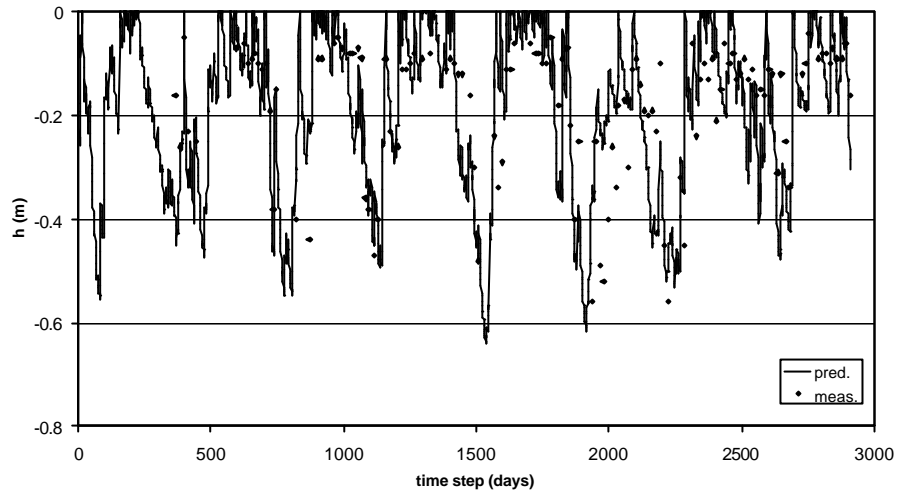
SB24, Groot Zandbrink 10a
(*Cirsio-Molinietum nardetosum*)
calibratie SSD (deterministisch)



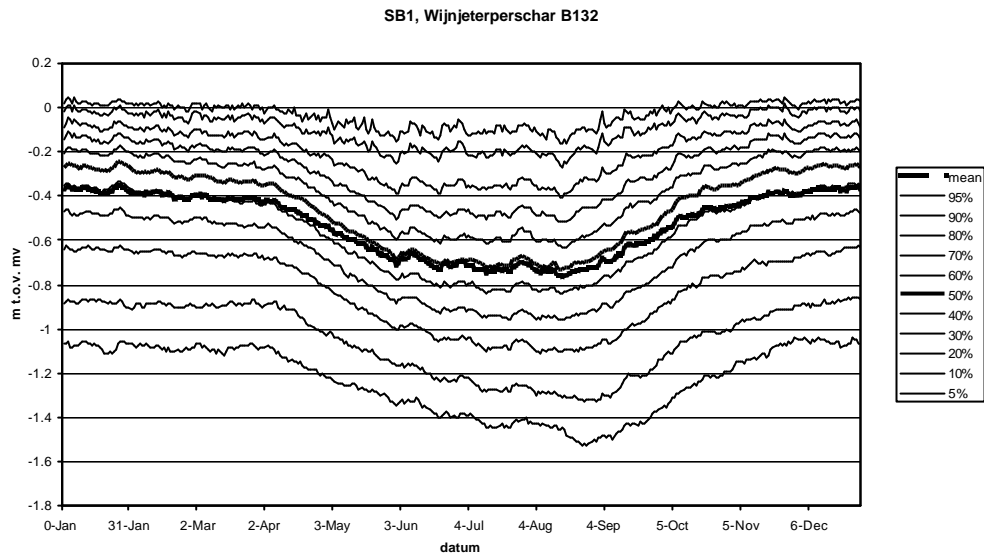
SB25, Punthuizen B8c
calibratie SSD (deterministisch)



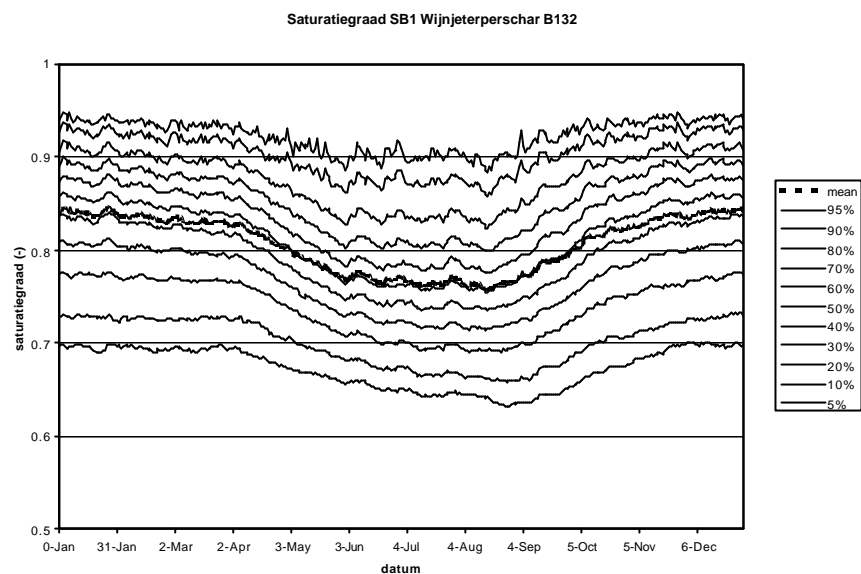
SB26, Korenburgerveen B2d
calibratie SSD (deterministisch)



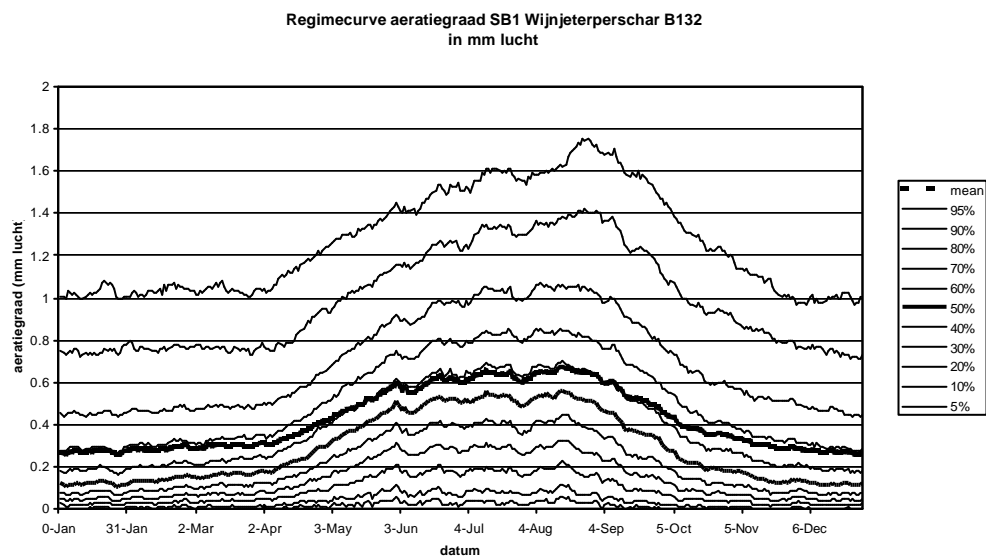
Aanhangsel 4 Simulatieresultaten voor SB1: buis B132 Wijnjeterperschar



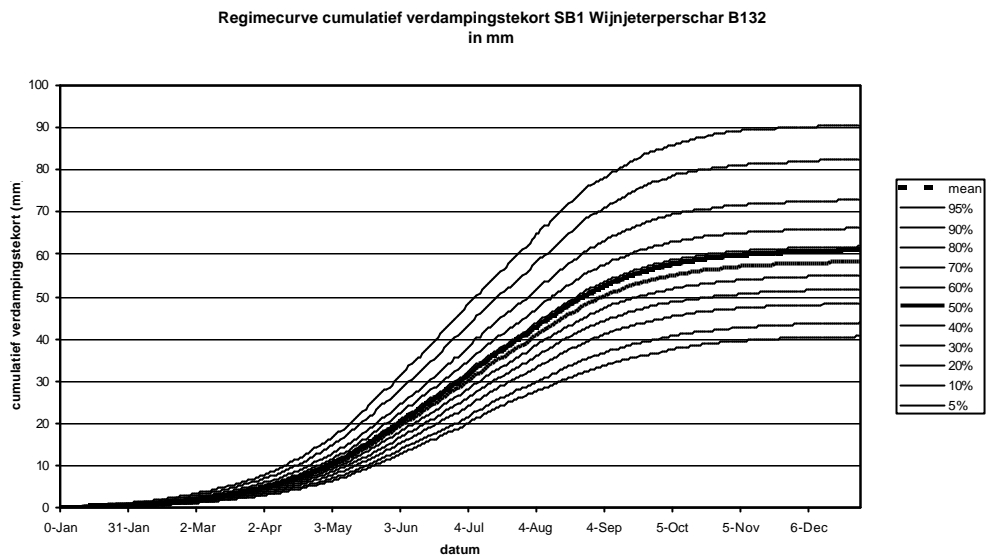
Figuur A2.1 Regimecurve van de grondwaterstand



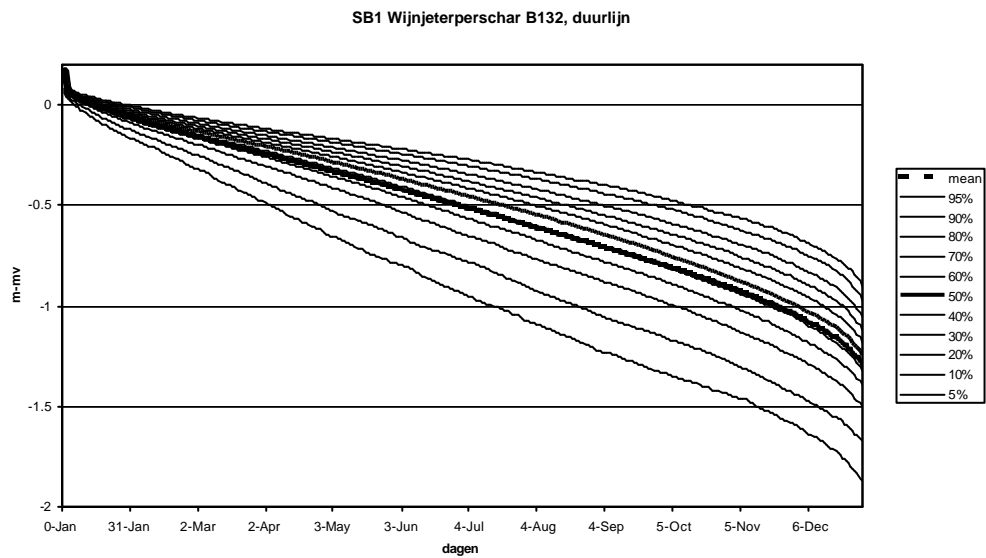
Figuur A2.2 Regimecurve van de saturatiegraad



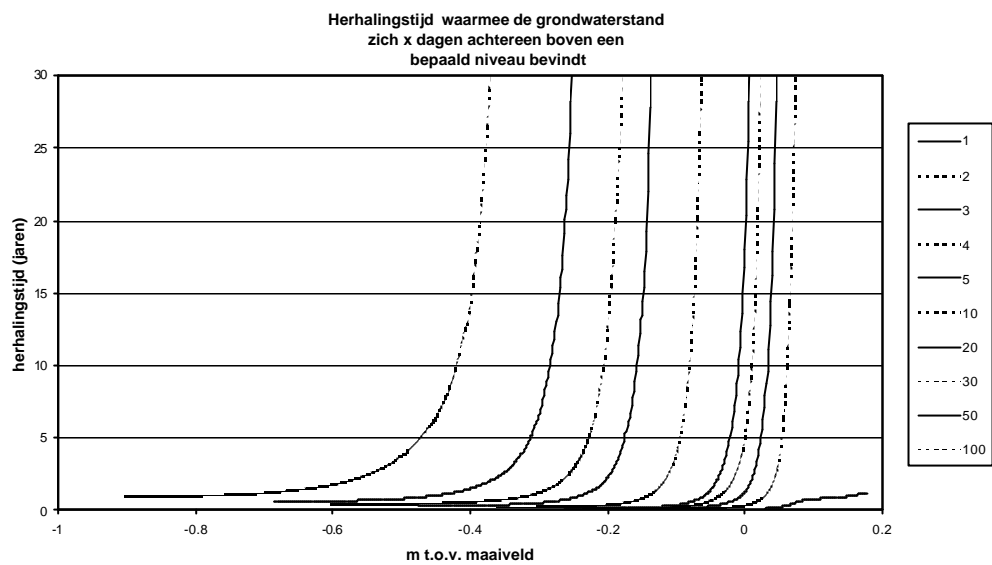
Figuur A2.3 Regimecurve van de aeratiegraad



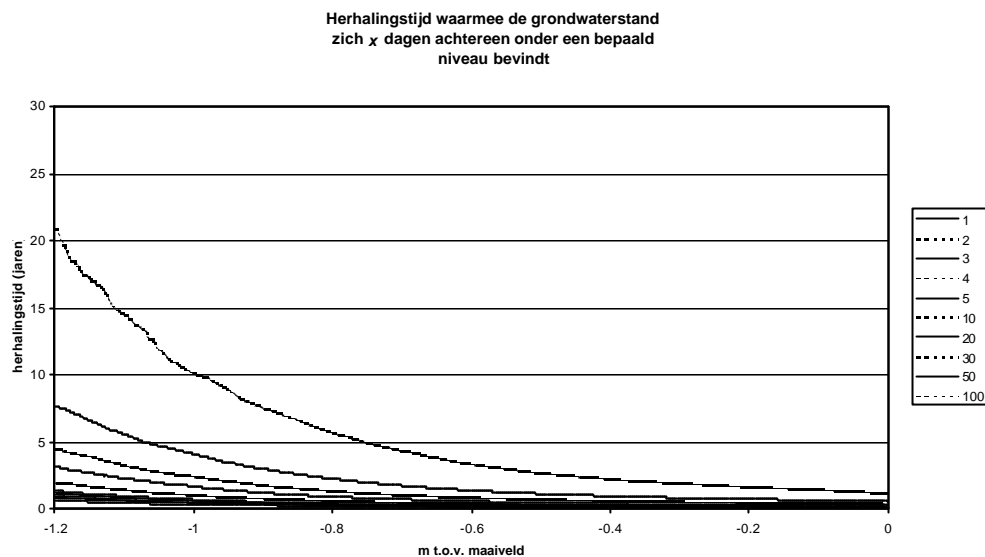
Figuur A2.4 Regimecurve van het cumulatief verdampingstekort



Figuur A2.5 Duurlijn van de grondwaterstand



Figuur A2.6 Herhalingstijd waarmee de grondwaterstand zich een bepaald aantal dagen achtereenvolgens boven een bepaald niveau bevindt



Figuur A2.7 Herhalingstijd waarmee de grondwaterstand zich een bepaald aantal dagen achtereenvolgend onder een bepaald niveau bevindt

```

Expected inundation duration:      1.329941
5-10-20-30-40-50-60-70-80-90-95 percentile:
  1.   1.   1.   1.   1.   1.   1.   1.   2.   2.   3.

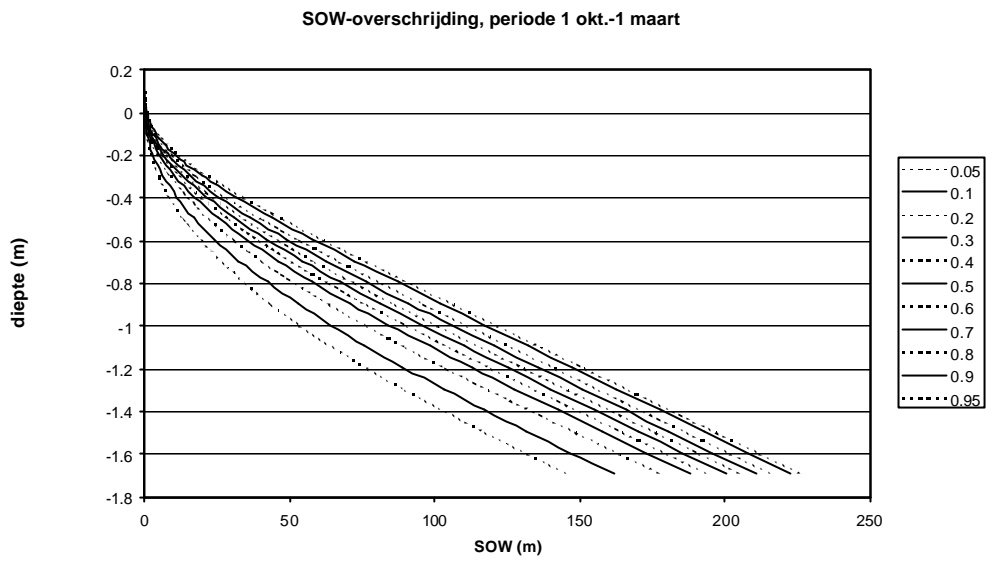
Expected enddate of any inundation:  185.4876
5-10-20-30-40-50-60-70-80-90-95 percentile:
  10.  21.  43.  72. 105. 184. 271. 302. 325. 346. 355.

Maximum yearly inundation duration:  2.735517
5-10-20-30-40-50-60-70-80-90-95 percentile:
  1.   2.   2.   2.   2.   3.   3.   3.   3.   4.   5.

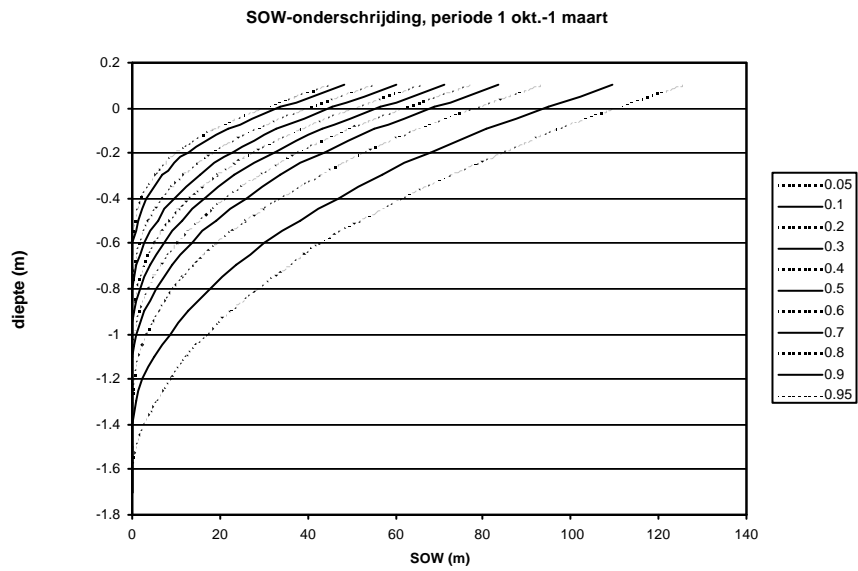
End datum:      148.2390
5-10-20-30-40-50-60-70-80-90-95 percentile:
  4.   8.  21.  33.  54.  84. 162. 280. 316. 337. 352.

```

Figuur A2.8 Voorbeeld uitvoer inundatieduren voor SB1, buis B132 Wijnjeterperschar. De einddata zijn uitgedrukt in dagnummers vanaf 1 januari



Figuur A2.9 SOW-waarden voor overschrijding, met overschrijdingskansen



Figuur A2.10 SOW-waarden voor onderschrijding, met overschrijdingskansen

Univariate Statistics	
mean	-0.527426
variance	0.166311
stdev.	0.407813
3rd moment	-0.060406
P25	-0.782839
P50	-0.454683
P75	-0.202480
min	-3.418032
max	0.180000
z/x	0.862078

Mean Highest and Mean Lowest Water Table					
	mean	5%	50%	95%	std
GLG(t)	-1.091701	-1.208719	-1.088354	-1.009825	0.060978
GHG(t)	-0.035122	-0.058103	-0.034556	-0.018883	0.012230
GLG(z)	-1.001668	-1.104555	-1.001526	-0.916360	0.053849
GHG(w)	-0.063716	-0.091513	-0.062643	-0.040285	0.015166
GVG(t)	-0.429039	-0.525724	-0.424918	-0.348673	0.053563

Figuur A2.11 Voorbeeld van de uitvoer van de statistieken voor SB1, buis B132 Wijnjeterperschar. Alle waarden zijn in m t.o.v. maaiveld

