

750000

De waterhuishouding van het Bargerveen en het herinrichtingsgebied Schoonebeek

Veldonderzoek en simulatie van de regionale hydrologie

**P.E.V. van Walsum
J.W.J. van der Gaast
J.G. te Beest**

Rapport 534.1

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1998

15w 955060 deel 1

REFERAAT

P.E.V. van Walsum, J.W.J. van der Gaast, J.G. te Beest, 1998. *De waterhuishouding van het Bargerveen en het herinrichtingsgebied Schoonebeek; Veldonderzoek en simulatie van de regionale hydrologie*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 534.1 170 blz.; 37 fig.; 6 tab.; 30 ref.; 17 aanh.; 10 kaarten/bijlagen.

Voor het hoogveenreservaat 'Bargerveen' en omgeving wordt een gebiedsvisie ontwikkeld in het kader van het Natuurbeleidsplan. Het herinrichtingsgebied 'Schoonebeek' is in 1990 op het voorbereidingsschema voor de landinrichting geplaatst. Het opstellen van de gebiedsvisie en het herinrichtingsplan vereist kennis van de regionale hydrologie en aanverwante ecologische en landbouwkundige aspecten. Daartoe zijn een systeemverkenning en meetprogramma uitgevoerd: gedurende twee jaar zijn metingen verricht van de aan- en afvoertermen van een 67-tal waterbalanseenheden. Vervolgens is het model SIMGRO geïmplementeerd, waarbij gecalibreerd is op zowel afvoeren als stijghoogten. Met het model is een scenario-onderzoek verricht; aanvullend is een systeemanalyse gemaakt van stroombanen in het herinrichtingsgebied Schoonebeek. In deel 1 van dit rapport wordt het veldonderzoek en de modelimplementatie beschreven, in deel 2 het scenario-onderzoek, en in deel 3 de systeemanalyse Schoonebeek.

Trefwoorden: ecologie, hoogveen, hydrologie, Natuurbeleidsplan

ISSN 0927-4499

©1998 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

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

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Projecten 2183 en 2184

[Rap534-1.HM/12.97]

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	9
Samenvatting	11
1 Inleiding	13
1.1 Projectkader	13
1.2 Methodiek	14
1.2.1 Modelkeuze	14
1.2.2 Modelimplementatie en calibratie	14
1.2.3 Uitvoering van het onderzoek	17
1.3 Leeswijzer	17
2 Gebiedsbeschrijving	19
2.1 Inleiding	19
2.2 Ontstaansgeschiedenis	19
2.2.1 Geologie	19
2.2.2 Geomorfologie en bodemvorming	22
2.3 Het grondwatersysteem	24
2.3.1 Geohydrologie	24
2.3.2 Hydrologische systemen	27
2.4 Bodemgesteldheid en grondgebruik	27
2.5 Waterstaatskundige inrichting	29
2.5.1 Afwatering en aanvoer	29
2.5.2 Ontwatering	31
3 Meetgegevens	33
3.1 Inleiding	33
3.2 Neerslag en verdamping	33
3.3 Debietmetingen	35
3.3.1 Meetplan	35
3.3.2 Meetmethoden	36
3.3.3 Verwerking debietgegevens	37
3.3.4 Betrouwbaarheid	39
3.4 Waterbalansen oppervlaktewater	39
3.4.1 Methoden	39
3.4.2 Resultaten	39
3.4.3 Betrouwbaarheid	40
3.5 Stijghoogten	41
4 Simulatie van de regionale hydrologie	45
4.1 Inleiding	45
4.2 Implementatie van het model	45
4.2.1 Ruimtelijke indeling en tijdstappen	45
4.2.2 Grondwater	46
4.2.2.1 Schematisering van de ondergrond	46
4.2.2.2 Randvoorwaarden en grondwaterwinningen	46

4.2.3 Bodemwater en vegetatie-atmosfeer interacties	47
4.2.3.1 Schematisering, bodemgebruik en verdamping	47
4.2.3.2 Balansmodel van bodemwater in de wortelzone	49
4.2.3.3 Balansmodel van bodemwater in de ondergrond	50
4.2.3.4 Berging van water op het maaiveld	51
4.2.4 Oppervlaktewater	52
4.2.4.1 Schematisering	52
4.2.4.2 Interactie tussen grond- en oppervlaktewater	53
4.2.4.3 Dynamiek van het oppervlaktewater	57
4.3 Calibratie	61
4.3.1 Inleiding	61
4.3.2 Doelfunctie en zonering	61
4.3.3 Systematische gevoeligheidsanalyse	64
4.3.4 Aanpassingen van parameters	68
4.3.5 Validatie	72
4.3.6 Onzekerheidsanalyse	74
5 Conclusies	77
Literatuur	79

Tabellen

1 Stratigrafie en hydrogeologische indeling van de kwartaire afzettingen	25
2 Overzicht van bodemgebruik in het studiegebied	28
3 Parameters gebruikt in de gevoeligheidsanalyse	64
4 Parametervariaties van de gevoeligheidsanalyse	65
5 Waarden van de doelfunctie vóór en na calibratie	70
6 Waarden van de doelfuncties bij onzekerheidsanalyse	75

Figuren

1 Systeemanalytische methodiek	15
2 Schema van regionaal hydrologisch systeem	16
3 De Boven-Tertiaire en Kwartaire Formaties	20
4 Geografisch overzicht van kaartblad 17 (naar Ter Wee, 1979)	23
5 Areaalpercentage dat in gebruik is als bouwland	28
6 Areaalpercentage dat in gebruik is als grasland	29
7 Gebieden die van wateraanvoer kunnen worden voorzien	31
8 Neerslag per decade	34
9 Neerslagoverschot per decade	34
10 Neerslagoverschot per kwartaal	35
11 Wekelijks gemeten debieten bij stuw S57 uitgezet tegen S60	37
12 Gemeten en berekende dagdebieten bij stuw S57	38
13 Netto afvoer in mm/dag voor de waterbalansenheden	40
14 Overzicht van stijghoogte-meetlokaties	41
15 Tijd-stijghoogteverloop (voorbeeld landbouwgebied)	42
16 Tijd-stijghoogteverloop (voorbeeld Bargerveen)	43
17 Grens modelgebied en van het vergote modelgebied	47
18 Gewasfactor pijpestrootje	48
19 Relaties voor de berekening van de relatieve verdamping	48

20	Kenmerkend verloop van de freatische bergingscoëfficiënt	51
21	Kenmerkend verloop van de freatische bergingscoëfficiënt	52
22	Ontwateringsdiepte van afwateringsleidingen	53
23	Laag waar afwateringsleidingen mee in contact staan	54
24	Drainageweerstand van afwateringsleidingen	54
25	Ontwateringsdiepte van sloten	55
26	Laag waar sloten mee in contact staan	56
27	Drainageweerstand van sloten	56
28	Afvoerdrempel voor drainagesituaties ('rekenpeil')	58
29	Afvoerdrempel voor drainagesituaties ('effectief peil')	59
30	Zomerstreefpeil voor situaties met infiltratie ('rekenpeil')	60
31	Zomerstreefpeil voor situaties met infiltratie ('effectief peil')	60
32	Afwijkingen van afvoeren, ongecalibreerd model	70
33	Afwijkingen van afvoeren, gec calibreerd model	71
34	Afwijkingen van stijghoogten, ongecalibreerd model	71
35	Afwijkingen van stijghoogten, gec calibreerd model	72
36	Grondwatertrappen op Bodemkaart 1 : 50 000	73
37	Gesimuleerde grondwatertrappen	73

Aanhangsels

1	Geohydrologie	83
2	Bodemfysische karakterisering van bodemeenheden	89
3	Kunstwerken	99
4	Gemeten afvoerlopen	103
5	Standaardfouten debietmeetpunten	121
6	Aan- en afvoerpunten van waterbalanseenheden	123
7	Aan- en afvoertermen van waterbalanseenheden	125
8	Standaardfouten netto-afvoeren	127
9	Isohypsen van gemeten stijghoogten	129
10	Voorbeelden van resultaten gevoeligheidsanalyse	133
11	Calibratie-aanpassingen parameters	137
12	Resultaten calibratie	143
13	Voorbeelden van tijd-verlopen afvoeren	147
14	Voorbeelden van tijd-stijghoogteverlopen	153
15	Isohypsen van gesimuleerde stijghoogten vóór calibratie	161
16	Isohypsen van gesimuleerde stijghoogten na calibratie	165
17	Aanpassingen veenweerstand in onzekerheidsanalyse	169

Kaarten/bijlagen

1	Ligging van het studiegebied
2	Hoogtelijnenkaart
3	Afwatering
4	Afwateringsleidingen met kunstwerk-codes
5	Dichtheid van sloten
6	Profielklassen van sloten
7	Wijken (geen waterschapsleidingen)
8	Drains
9	Waterbalanseenheden
10	Stroomschema waterbalansonderzoek

Woord vooraf

In opdracht van de (toenmalige) Directie Natuur, Bos, Landschap en Faunabeheer (nu: opgegaan in Directie Noord) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij is een onderzoek uitgevoerd naar de waterhuishouding van het Bargerveen en omgeving. Tegelijkertijd is in opdracht van de (toenmalige) Landinrichtingsdienst (nu: Dienst Landelijk Gebied van het Ministerie van LNV) een onderzoek uitgevoerd ten behoeve van de herinrichting Schoonebeek. Het gecombineerd uitvoeren van deze twee opdrachten was mogelijk mogelijk door het in de tijd samenvallen van de twee projecten en de naaste ligging van de studiegebieden.

Het onderzoek is uitgevoerd in vier fasen:

- hydrologisch veldonderzoek;
- simulatie van de regionale hydrologie;
- scenario-onderzoek waterbeheer;
- systeemanalyse herinrichtingsgebied Schoonebeek.

De eerste en tweede fase van het onderzoek worden gerapporteerd in deel 1 van dit rapport, het scenario-onderzoek in deel 2 en de systeemanalyse in deel 3.

Een deel van de metingen van het veldonderzoek is uitgevoerd door het Waterschap Bargerbeek (nu: onderdeel van Waterschap 't Suydevelt). Aan het waterschap is tevens dank verschuldigd voor het verstrekken van gegevens over het oppervlakte-watersysteem. Door Staatsbosbeheer zijn een aantal grondwaterstandsbuizen gedurende de onderzoeksperiode bemeten, en is informatie verschaft over het waterbeheer in het hoogveenreservaat. Voor de uitvoering van het onderzoek is de actieve coördinerende en aanleverende rol van de Dienst Landelijk Gebied onmisbaar geweest. DLG vervulde tevens het voorzitterschap van de begeleidingscommissie. Die commissie bestond uit de volgende leden:

J. Bouwmans	Dienst Landelijk Gebied, Utrecht
F. van Diepen (voorzitter)	Dienst Landelijk Gebied, LNV-Directie Noord
E.J. de Gruijter (vanaf 4/1995)	Waterschap 't Suydevelt
L. Klamer	LNV-Directie Noord
H. Kamping	Waterschap 't Suydevelt
W. Markenstein	Staatsbosbeheer Drenthe
J.M.P.M. Peerboom (tot 4/1996)	DLO-Staring Centrum
R. Schuiling (tot 4/1995)	Waterschap 't Suydevelt
J.C. Smittenberg	Provincie Drenthe
J.G. Streefkerk	Staatsbosbeheer Driebergen
W. Takman	Staatsbosbeheer Drenthe
R. van Veen	Provincie Drenthe
P.E.V. van Walsum	DLO-Staring Centrum

Tot april 1995 was de projectleiding in handen van J.M.P.M. Peerboom, daarna van P.E.V. van Walsum. Het hier gerapporteerde onderzoek is verricht door M. Wijnsma en H. Breunissen (veldmetingen), J.G. te Beest (verwerking waterbalansmetingen),

J.W.J. van der Gaast (geohydrologische schematisering, interpretatie van stijghoogtegegevens, modelcalibratie), P.H.J. Hollanders (opbouw GIS-bestanden modelonderzoek), en P.E.V. van Walsum (modellering en modelcalibratie).

Samenvatting

Voor het hoogveenreservaat 'Bargerveen' en omgeving (Bijlage 1) wordt een gebiedsvisie ontwikkeld in het kader van het Natuurbeleidsplan. Het herinrichtingsgebied 'Schoonebeek' is in 1990 op het voorbereidingsschema voor de landinrichting geplaatst. Voor zowel gebiedsvisie als herinrichtingsplan is onder meer kennis vereist over de hydrologie en aanverwante aspecten. Daarbij gaat het om de relaties met ecologische potenties in natuur(ontwikkelings)gebieden en met gewasproductie in landbouwgebieden. Hier wordt verslaggedaan van de eerste twee fasen van het door SC-DLO uitgevoerde onderzoek:

- hydrologisch veldonderzoek;
- simulatie van de regionale hydrologie.

In het kader van het veldonderzoek is het studiegebied opgedeeld in 67 zogenaamde waterbalanseenheden. Deze indeling is gemaakt op basis van een analyse van het oppervlaktewatersysteem. Daarbij is rekening gehouden met de kwaliteit van meetlokaties voor het meten van afvoeren. Gedurende de periode 1 november 1992 tot 1 december 1994 zijn er met diverse methoden afvoermetingen verricht. Wat betreft de stijghoogte-informatie is er een analyse gemaakt van de beschikbare gegevens uit het OLGA-bestand van het voormalige TNO-GG (TNO-GG, 1994) en het bestand van Staatsbosbeheer.

Het model SIMGRO (Querner en Van Bakel, 1989; modificaties in het kader van de Fochteloërveenstudie, zie Van Walsum en Veldhuizen, 1996) is gebruikt voor de simulatie van de regionale hydrologie. Ten opzichte van het bij de Fochteloërveenstudie gebruikte model zijn wijzigingen in de programmacode aangebracht betreffende:

- de interactie tussen het oppervlaktewater en diepere lagen van de geohydrologische schematisering;
- simulatie van de onverzadigde zone per gridcel (d.w.z. per knooppunt van het eindige elementen netwerk), in plaats van per subgebied (meerdere knooppunten);
- simulatie van de capillaire opstijging in het vereenvoudigde model van de onverzadigde zone.

Bij de implementatie van het model voor het Bargerveen en omgeving is gebruikt gemaakt van informatie over:

- eigenschappen van het gebied;
- gemeten afvoeren, waterpeilen en grondwaterstanden, verkregen uit het veldonderzoek en uit reeds beschikbare informatiebronnen.

Het aanpassen van het model aan de gemeten afvoeren en waterstanden - de zogenaamde modelcalibratie - is volgens een stappenplan verricht:

- formulering doelfunctie(s);
- gevoeligheidsanalyse;
- aanpassing van parameters;
- validatie.

Uitvoering van de gevoeligheidsanalyse en aanpassing van parameters is geheel geautomatiseerd. Daarbij worden de resultaten van de gevoeligheidsanalyse op elkaar gesuperponeerd bij het voorspellen van de verbetering van de doelfunctie (zie ook van Walsum en Veldhuizen, 1996). In dit onderzoek is speciale aandacht besteed aan de calibratie van weerstanden, te weten de *c*-waarden van slechtdoorlatende lagen en de drainageweerstanden van ontwateringsmiddelen. Bij de gevoeligheidsanalyse zijn 'extreme' opties doorgerekend, die ook zijn toegelaten bij de parameter-aanpassing. Bij het ene extreem gaat het om het 'helemaal dichtmaken' van een weerstand, en bij het andere extreem om het 'helemaal open maken'.

Bij het vergelijken van gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden is opgevallen dat de gemeten fluctuaties slechts gedeeltelijk aan de hand van de waterbalansen en beschikbare bodemfysische parameters verklaard kunnen worden. Vermoed wordt dat tijdelijke luchtinsluiting ervoor verantwoordelijk is dat de in werkelijkheid optredende fluctuaties vaak veel groter zijn dan de berekende.

De gebruikte calibratieprocedure heeft redelijk goed gewerkt bij het verbeteren van de simulatie van waterbalansen: de gemiddelde balansafwijking was 0,58 mm/d vóór calibratie en 0,39 mm/d na calibratie. Het lukte echter niet om de voorspelfout van stijghoogten te verbeteren: de gemiddelde absolute waarde van de voorspelfout bleef steken op 35 cm.

De op *heuristieken* gebaseerde parameteraanpassings-methode is ongetwijfeld voor verbetering vatbaar. In toekomstig onderzoek zou bijvoorbeeld kunnen worden geprobeerd om voor de stijghoogten twee aparte doelfuncties te onderscheiden: resp. de afwijking van het *tijds*gemiddelde en het verschil tussen de gemeten en voorspelde *fluctuatie*. Door effecten van parameteraanpassingen op beide deel-doelfuncties apart te analyseren zal het wellicht mogelijk worden om meer inzicht te krijgen in de oorzaken van tekortkomingen in de stijghoogte-voorspellingen. Dat zou vervolgens de parameter-aanpassingen meer effectief kunnen maken.

1 Inleiding

1.1 Projectkader

Het hoogveenreservaat 'Bargerveen' in het zuidoosten van Drenthe (Bijlage 1) behoort tot de meest kansrijke gebieden voor hoogveenregeneratie in Nederland. De redenen hiervoor zijn het relatief gunstige klimaat, de grootte van het reservaat (ca. 2000 ha, met inbegrip van de aangesloten perifere natuurgebieden), het gedeeltelijk nog onvergraven zijn daarvan, en de weinig intensieve landbouw in de directe omgeving (Streefkerk en Oosterlee, 1984). Het Bargerveen en omgeving is opgenomen in de zogenaamde Ecologische Hoofdstructuur (EHS) van het Natuurbeleidsplan. Het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij geeft hier inhoud aan door het ontwikkelen van een gebiedsvisie op natuurontwikkeling voor het reservaat en omliggende gebied (totaal 12 000 ha). Het 'omliggende' gebied wordt hierbij ruim opgevat, en omvat ook een strook van ruim 2 km in Duitsland, met als oostgrens het *Süd-Nord Kanal*.

Het herinrichtingsgebied 'Schoonebeek' (Bijlage 1) is in 1990 op het voorbereidingsschema voor de landinrichting geplaatst. Het gebied heeft een oppervlakte van ca. 7900 ha, waarvan ca. 4000 ha een agrarisch grondgebruik heeft. In het gebied zijn enkele bos- en heideterreinen gelegen, zoals het Schoonebeekerveld, de voormalige schans De Katshaar en het Oosteindsche Veen. Veelal is in deze bos- en heideterreinen sprake van verdroging. In een deel van het landbouwgebied komt 's-winters wateroverlast voor en in de zomer is er sprake van watertekort. In het herinrichtingsgebied dient eveneens aandacht te worden besteed aan de potenties voor natuurontwikkeling, o.a. ten behoeve van weidevogels.

Het opstellen van een gebiedsvisie voor het Bargerveen en omgeving en het opstellen van een plan voor de waterstaatskundige inrichting van het herinrichtingsgebied 'Schoonebeek' vereist onder meer kennis over de hydrologie en ecologie. Dit onderzoek beoogt de hydrologie van het gebied in kaart te brengen, en tevens de relaties met ecologische potenties in natuur(ontwikkelings)gebieden en gewasproductie in landbouwgebieden. Echter, wat betreft de hydrologische relaties met gronden aan de Duitse kant van de grens wordt vooralsnog slechts gevraagd om een verkennende studie.

Het doel van de studie vereist dat met de gebiedskennis een operationeel instrument wordt opgetuigd, te weten een model van het regionale hydrologische systeem. Het onderzoek is in vier fasen opgesplitst, die in drie deelrapporten zijn gerapporteerd:

- een veldonderzoek in fase 1 en simulatie van de regionale hydrologie in fase 2 (tezamen gerapporteerd in deel 1);
- een scenario-onderzoek van het waterbeheer (deel 2);
- een systeem-analyse van stroombanen in het herinrichtingsgebied 'Schoonebeek' (deel 3).

1.2 Methodiek

1.2.1 Modelkeuze

De waterhuishouding van het Bargerveen en omgeving bevat alle elementen die kenmerkend zijn voor de hydrologie van 'hoog Nederland'. Het betreft onder andere:

- een mozaïek van bodemgebruiksvormen; per bodemgebruiksvorm verschilt de verdamping, die tevens gedurende het jaar varieert, en op verschillende wijzen reageert op te droge of te natte omstandigheden;
- peilfluctuaties in het grondwater, met als gevolg:
 - . ontwateringsmiddelen die slechts gedurende een deel van het jaar actief zijn; droogvallen van greppels en sloten tijdens de zomer is een normaal verschijnsel;
 - . tijdelijke inundatie van het maaiveld, vooral in natuurgebieden;
- peilfluctuaties in het oppervlaktewater, als gevolg van variaties in afvoer/aanvoer en beheersingrepen.

Voor het simuleren van deze aspecten is het nodig om gebruik te maken van een geïntegreerd model van bodem-, grond- en oppervlaktewater. Daarom is in de huidige studie gebruik gemaakt van SIMGRO (Querner en Van Bakel, 1989), te weten de aangepaste en uitgebreide versie die gebruikt is voor het onderzoek naar het Fochteloërveen en omgeving (Van Walsum en Veldhuizen, 1996). In het kader van deze studie zijn aan het model SIMGRO nog enkele verdere aanpassingen doorgevoerd. Dit betreft:

- de interactie tussen het oppervlaktewater en diepere lagen van de geohydrologische schematisering;
- simulatie van de onverzadigde zone per gridcel (d.w.z. per knooppunt van het eindige elementen netwerk), in plaats van per subgebied (meerdere knooppunten);
- simulatie van de capillaire opstijging in het vereenvoudigde model van de onverzadigde zone.

1.2.2 Modelimplementatie en calibratie

Een regionaal hydrologisch systeem is zeer complex. Het regionaal hydrologisch model SIMGRO bevat daarom duizenden parameters om het systeem te beschrijven. Om aan waarden voor al deze parameters te komen dient gebruik te worden gemaakt van alle soorten beschikbare informatie. Daarbij kan men onderscheid maken tussen:

- gegevens die een bepaald abiotisch of biotisch kenmerk van het gebied 'direct' beschrijven;
- gegevens over het functioneren van het systeem in hydrologische zin, te weten stijghoogte- en waterbalansinformatie.

Een andere vorm van informatie betreft de conceptualisering met betrekking tot het functioneren van het systeem. Ten grondslag aan die conceptualisering liggen enkele fundamentele fysische 'wetten' zoals de vergelijking van Darcy, en de wet van behoud van massa. Bij een systeemanalytische aanpak wordt van alle beschikbare soorten informatie gebruik gemaakt, op een manier zoals kan worden geïllustreerd

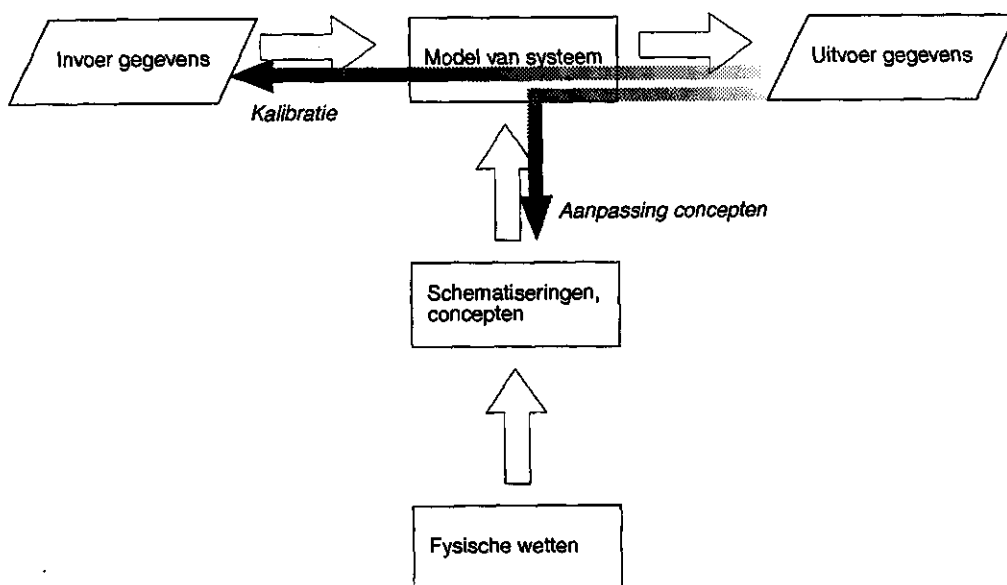


Fig. 1 Systeemanalytische methodiek

aan de hand van Fig. 1. In die aanpak wordt eerst alle beschikbare informatie omgezet naar een vorm die geschikt is als invoer van het systeem, c.q. model daarvan. Vervolgens worden de uitvoergegevens van het model vergeleken met beschikbare metingen van de betreffende toestandsvariabelen. Door kalibratie van parameters (pijl vanuit uitvoergegevens naar invoergegevens in Fig. 1) wordt getracht het model zodanig aan te passen dat de simulaties beter met de metingen overeenkomen. Indien nodig worden de gebruikte modelconcepten of de gehanteerde schematiseringen aangepast (pijl vanuit uitvoergegevens naar schematiseringen/concepten in Fig. 1).

Bij indirect gebruik van informatie (teruggaande pijlen vanuit uitvoergegevens) doen zich een aantal fundamentele problemen voor. In het onderstaande wordt daar summier op ingegaan.

Een model wordt gecalibreerd om het systeem zo goed mogelijk te beschrijven. Echter, de gebruikte waarnemingen dekken in de regel niet het complete scala van toestanden waar het systeem in kan verkeren. Indien bijvoorbeeld alleen gecalibreerd is voor grondwaterstanden ver beneden maaiveld, dan is de geldigheid van het model voor situaties met hoge grondwaterstanden nog niet gewaarborgd. Bij hoge grondwaterstanden gaan dan wellicht processen een rol spelen die bij lage grondwaterstanden niet of nauwelijks van belang waren. Om te toetsen of een model ook geldig is buiten het bereik van de ijking wordt calibratie veelal gevolgd door 'validatie'. Validatie houdt in dat het model wordt getoetst aan de hand van waarnemingen die niet zijn gebruikt bij de calibratie. Indien blijkt dat het model de validatie-waarnemingen nog niet goed reproduceert, dan dient een nieuwe calibratiecyclus te worden doorlopen. Een enkele validatie is beter dan niets; maar het zal duidelijk zijn dat een volledige validatie in de praktijk niet haalbaar is vanwege het grote aantal waarnemingen dat daarvoor nodig is. In de praktijk vervaagt

meestal het onderscheid tussen calibratie en validatie. Het is dan uiteindelijk meestal effectiever (en 'eerlijker') om alle beschikbare gegevens bij de calibratie te gebruiken, zoals ook aangegeven in Van der Valk en Boukes (1997).

Een ander fundamenteel probleem van calibratie is dat de resultaten van een regionaal model van veel parameters afhankelijk zijn. Er kan aan heel veel 'knoppen' worden gedraaid. Er zijn ook altijd meer combinaties van parameters die vrijwel hetzelfde simulatieresultaat opleveren; er is dus meestal sprake van onderlinge uitwisselbaarheid tussen parameters. Die onderlinge uitwisselbaarheid neemt doorgaans af naarmate het aantal waarnemingen toeneemt. Nieuwe waarnemingen hoeven echter niet per definitie nieuwe 'informatie' over het systeem op te leveren, bijvoorbeeld als gevolg van sterke ruimtelijke correlatie.

Idealiter dient het aantal waarnemingen afgestemd te worden op het aantal parameters dat men door middel van calibratie wil bepalen. In de praktijk is dat meestal niet haalbaar. Het is sterk aan te bevelen om bij de calibratie het aantal 'vrijheidsgraden' (= aantal te variëren parameters) af te stemmen op de hoeveelheid 'effectieve' informatie die de waarnemingen bieden. Helaas is er geen eenvoudige methode om dit aspect voor alle soorten situaties te toetsen. Wel kan men stellen dat in gebieden met hoge en lage gronden (en waarvan de hoge gronden bij tijd en wijlen afvoer vertonen), er per definitie sprake zal zijn van parameteruitwisselbaarheid indien er geen *waterbalansinformatie* beschikbaar is.

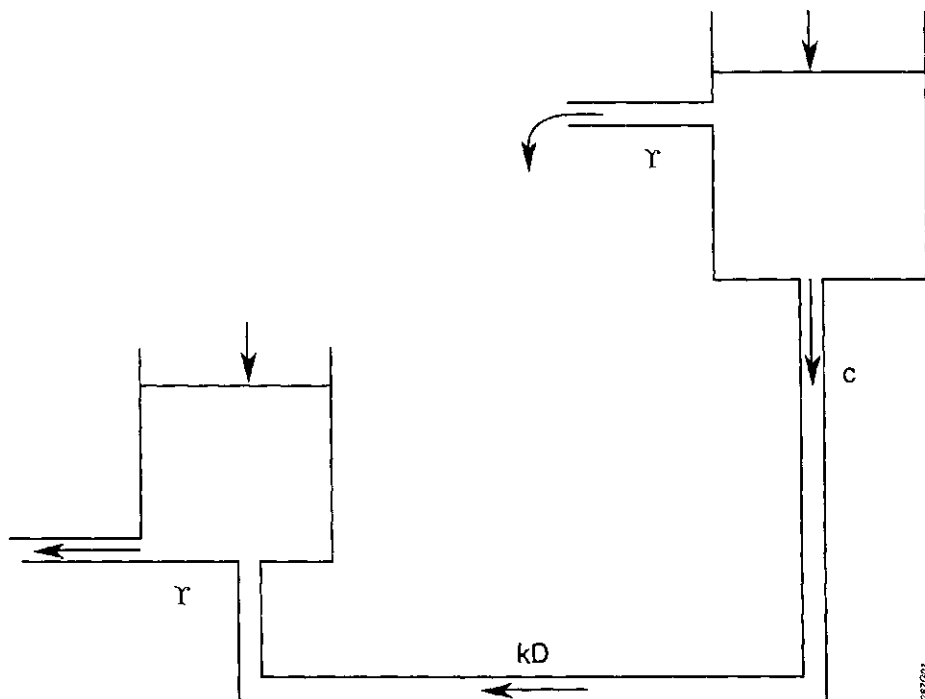


Fig. 2 Schema van regionaal hydrologisch systeem met hoge en lage gronden. Verklaring van symbolen:

- c : verticale stromingsweerstand (d)
- kD : doorlaatvermogen horizontale stroming ($m^2 \cdot d^{-1}$)
- r : drainageweerstand (d)

In Fig. 2 is een schema getekend van een regionaal hydrologisch systeem met hoge en lage gronden, die respectievelijk wegzijging en kwel vertonen. In het getekende schema vertonen de hoge gronden ook afvoer; deze situatie doet zich veelvuldig voor in de 'middelhoge' zandgebieden in Nederland. In dergelijke gebieden bestaat er meestal grote onzekerheid m.b.t. de drainageweerstand en de verticale stromingsweerstand. De waarden zullen dan met behulp van calibratie moeten worden bepaald. Om de c-waarde van de ondergrond te calibreren is evenwel het beschikken over stijghoogteinformatie niet voldoende; er zal ook waterbalansinformatie beschikbaar moeten zijn. Als die waterbalansinformatie er niet is, dan is het niet duidelijk hoeveel water er naar de ondergrond wegzijgt en hoeveel water er naar het oppervlaktewater afstroomt. Het 'draaien' aan de c-knop totdat de stijghoogtes kloppen hoeft dan helemaal niet te betekenen dat het gecalibreerde model de werkelijkheid zo goed mogelijk benadert: er kan namelijk ook een goede 'overeenstemming' worden verkregen door bijvoorbeeld tegelijkertijd aan de c- en Y-knoppen te draaien, en dat op een dusdanige manier te doen dat de gemeten stijghoogtes ook goed worden gereproduceerd.

Bij calibratie is verder het gevaar groot dat men niet volgens een bepaald plan te werk gaat. Ook wordt al gauw vergeten welke parameters reeds zijn aangepast, en hoe. Op de gevolgde procedure voor de calibratie wordt in par. 4.3 nader ingegaan.

1.2.3 Uitvoering van het onderzoek

Om het functioneren van het hydrologische systeem te kunnen analyseren is het studiegebied opgedeeld in zogenaamde waterbalanseenheden. Die indeling is gemaakt op basis van een analyse van het oppervlaktewatersysteem. Daarbij moest rekening worden gehouden met de geschiktheid van lokaties voor het meten van afvoeren. Gedurende de periode 1 november 1992 tot 1 december 1994 zijn er met diverse methoden afvoermetingen verricht. Wat betreft de stijghoogte-informatie is er een analyse gemaakt van de beschikbare gegevens uit het OLGA-bestand en het bestand van Staatsbosbeheer.

De gegevens ontleend aan het veldonderzoek en aan bestaande gegevensbanken zijn gebruikt voor het implementeren en kalibreren van het model. Tevens is een onzekerheidsanalyse gedaan met betrekking tot de waarden van gecalibreerde parameters.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving van het gebied gegeven, gericht op de uitgevoerde studie. In hoofdstuk 3 volgt de beschrijving van het veldonderzoek. In hoofdstuk 4 wordt de implementatie van het model SIMGRO beschreven, inclusief de calibratie aan de hand van de gegevens uit het veldonderzoek. Het scenario-onderzoek wordt beschreven in deel 2 van dit rapport.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Inleiding

In het onderstaande wordt eerst een beschrijving gegeven van de ontstaanswijze van de ondergrond van het studiegebied, en wordt een korte beschouwing gewijd aan de geomorfologie en bodemvorming (par 2.2). Daarna worden achtereenvolgens het grondwatersysteem (par. 2.3), de bodemgesteldheid en grondgebruik (par. 2.4), en tenslotte de waterstaatskundige inrichting (par. 2.5) beschreven. Voor de begrenzing van het studiegebied wordt verwezen naar Bijlage 1.

2.2 Ontstaansgeschiedenis

2.2.1 Geologie

Gedurende het Tertiair maakte Nederland vrijwel geheel deel uit van een groot dalingsbekken. Hierdoor zijn in het Oligoceen en Mioceen voornamelijk kleien afgezet in het toenmalige mariene milieu. Deze kleien, die respectievelijk behoren tot de Formatie van Rupel en de Formatie van Breda, vormen de hydrologische basis (Ter Wee, 1979; De Heer, 1989). Het bovenste deel van de Formatie van Breda bestaat uit mariene zanden. Tijdens het Pliocene werd de mariene sedimentatie geleidelijk aan verdrongen door een fluviatiele sedimentatie, als gevolg van een relatieve zeespiegeldaling. Deze afzettingen van pliocene ouderdom behoren tot de Formatie van Scheemda die bestaat uit een overwegend fijnzandig pakket met grofzandige inschakelingen.

In het Vroeg-Pleistoceen, gedurende het Tiglien, Eburonien en Waalien zijn de rivierafzettingen van de Formatie van Harderwijk gevormd (Fig. 3). Deze afzettingen zijn evenals de Formatie van Breda van oostelijke herkomst, maar komen in het studiegebied waarschijnlijk ten gevolge van erosie niet voor (Ter Wee, 1979). De Formatie van Enschede die tijdens het Menapien en Vroeg-Cromerien is afgezet komt uitsluitend in het westelijke deel van het studiegebied voor in de vorm van erosieresten. Deze afzettingen omvatten rivierafzettingen van oostelijke herkomst maar verschillen van de eerder genoemde afzetting door een verschuiving van het herkomstgebied. De afzetting bestaat voornamelijk uit grijswitte, overwegend grove, grindhoudende zanden. Onderin de Formatie van Enschede komt vaak een kenmerkende steenlaag voor (Hattem-laag). Ook kunnen er kleilagen in de Formatie van Enschede voorkomen.

Boven de Formatie van Enschede komt na een hiaat vaak discordant de Formatie van Urk I voor. Deze Formatie is gedurende het Laat-Cromerien en het Vroeg-Elsterien gevormd. In het algemeen bestaat deze afzetting uit grove zanden, soms met grind. Ook kunnen fijnzandige trajecten en op bepaalde niveaus dikke kleilagen en veen voorkomen. De Formatie van Urk I is een Rijnafzetting. Plaatselijk wordt,

Chronostratigrafie			Afzettingen in verband met landijs		Afzettingen van lokale herkomst		Afzettingen van grote rivieren		Afzettingen in zee en bij de kust	
			N	Z	N	Z	N	Z	N	Z
KWARTAIR	HOLOCEEN				Formatie van Kootwijk E Formatie van Singraven B Formatie van Griendtsveen V		Betuwe Formatie R + M		Westland Formatie	
					Formatie van Twente E + V + P + B		Formatie van Kreftenheye R + M			
	Boven	Weichselien*								
		Eemien			Formatie van Asten V				Eem Formatie	
	Midden	Saalien*	F. v. Drente							
		Holsteinien			Formatie van Eindhoven E + P B + V		Formatie van Urk R	Formatie van van Veghel M	***	
		Elsterien*	F. v. Peelo						***	
		'Cromerien complex**								
	Onder	Menapien*					Formatie van Sterksel R + M			
		Waalien			Form. van Kedichem (ten dele) B + P + V		Formatie van Enschede O	Formatie van Kedichem R + M		
		Eburonien*					Harderwijk O			
		Tiglien					Formatie van Tegelen R + M		Formatie van Maassluis	
		Praetiglien*								
TERTIAIR	PLIOCEEN	Boven (Reuverien)					Form. van Scheemda O	Kiezel-ooliet Form. R + M	Formatie van Oosterhout	
		Onder (Brunssumien)								
	MIOCEEN	Boven								
		Midden				Form. van Heksenberg			Formatie van Breda (ten dele)	
		Onder								

E = eolische afzettingen
P = periglaciaire afzettingen
B = beekafzettingen
V = veen

R = Rijn
M = Maas
O = oostelijke noordduitse rivieren en voorlopers

*koude tijd
**complexe eenheid bestaande uit tenminste 4 warme en 3 koude tijden
***nog onbenoemd, voorlopig bij Formatie van Urk

Fig. 3 De Boven-Tertiaire en Kwartaire Formaties gerangschikt naar ouderdom en genese (naar RGD, 1975)

vooral in het oosten van het studiegebied, de Formatie van Urk I afgesloten door een kleilaag (Ter Wee, 1979). Deze kleilaag is afgezet gedurende een warmere periode in het Cromerien. Vaak wordt deze laag aangeduid met de naam Cromerklei. De Cromerklei is afgezet door een meanderende rivier. Deze ontstaanswijze brengt met zich mee dat de leemlaag plaatselijk meer zandig ontwikkeld is en er zandinschakelingen in voor kunnen komen. Tevens kunnen er 'gaten' in de kleilaag voorkomen. Op de hoogste delen van de riviervlakte kan de kleilaag immers niet zijn afgezet of plaatselijk door latere erosie zijn opgeruimd (Streefkerk en Oosterlee, 1984). Ten noordoosten van Schonebeek bevindt zich een 'gat' in de Cromerklei (Provincie Drenthe, 1985).

Hoewel het gehele Pleistoceen bestaat uit een afwisseling van koude en warme tijden komt het glaciale aspect pas in het Elsterien duidelijk tot uiting. De Formatie van Peelo is in deze periode gevormd en bestaat uit een complexe eenheid die vermoedelijk bestaat uit glaciale maar ook uit periglaciaal afzettingen. Deze eenheid omvat potklei, smeltwaterklei, zanden die ook als smeltwaterafzetting worden opgevat en fijne tot grove zanden die als eolisch gekenschetst worden. Plaatselijk kunnen de afzettingen in geul- en beekvormige depressies voorkomen. Hierdoor kunnen potklei en zandpakketten aanzienlijke dikten bereiken. De Potklei ontbreekt vrijwel geheel in het studiegebied. Door de vorming van het Hunzedal gedurende het Saalien is de Formatie van Peelo in het noord-oosten van het studiegebied vrijwel geheel weggeërodeerd.

In het begin van het Saalien lag dit gebied in de periglaciaal klimaatzone en werden de afzettingen die toen aan de oppervlakte lagen omgewerkt. Deze eolische en fluvioglaciaal zanden behoren tot de Formatie van Eindhoven en bestaan hoofdzakelijk uit omgewerkt materiaal van lokale herkomst. In het studiegebied komt deze afzetting vrijwel niet voor. De daaropvolgende landijsbedekking heeft gezorgd voor een in dikte wisselende laag keileem die behoort tot de Formatie van Drenthe.

Door DLO-Staring Centrum is in het kader van dit onderzoek aan de Rijks Geologische Dienst (RGD) een opdracht verleend om de keileem nader te karteren. Bij dit onderzoek zijn 108 aanvullende handboringen gemaakt tot een diepte van 4 m (RGD, 1994). De gekarteerde verbreiding van de keileem wijkt op een aantal plaatsen sterk af van de voorheen gebruikte verbreidingskaarten (Provincie Drenthe, 1985; Streefkerk en Oosterlee, 1984; De Heer, 1989). De boorgegevens inclusief de aanvullende boringen geven echter geen duidelijke aanleiding om de voorheen gebruikte verbreidingskaarten geheel te herzien. Ook de nieuwe boorgegevens zijn niet in strijd met de voorheen gebruikte verbreidingskaarten. De geringe boordiepte van de aanvullende boringen geeft eveneens reden om niet zonder meer aan te nemen dat de keileem niet voorkomt op plaatsen waar de keileem niet binnen de 4 m wordt aangetroffen. Op zeer korte afstanden kan de keileem namelijk op sterk verschillende diepten worden aangetroffen. Van der Gaast en Van Bolhuis (1994) hebben in het Bargerveen de keileem aangetroffen op een diepte die varieert van 1,15 m tot 5,25 m op enkele honderden meters afstand van elkaar. Voor het onderzoek is om deze redenen geen gebruik gemaakt van de nieuwe verbreidingskaart.

Voor het gelobde ijsfront is onder invloed van het smeltwater een dal gevormd, het Hunzedal. Van de smeltwaterafzettingen is in het Hunzedal niet veel meer aanwezig als gevolg van erosieprocessen. Voor een deel is dit materiaal als fluvioglaciale afzetting in beekdalen en het Hunzedal tot afzetting gekomen. Deze afzettingen worden eveneens gerekend tot de Formatie van Drenthe.

In de relatief warme periode die volgde op de Saalien-ijstijd zijn in het gebied mariene en kustnabije afzettingen gevormd. Deze afzettingen van Eemien-ouderdom worden gerekend tot de Eem Formatie. De Formatie bestaat voornamelijk uit schelphoudende grove zanden. In het studiegebied komen echter alleen de kustnabije afzettingen voor die in het Hunzedal afgezet zijn. In deze kustnabije afzettingen komen hoofdzakelijk klei- en veenlagen voor.

In de laatste ijstijd, het Weichselien, bereikt het landijs het studiegebied niet. Gedurende deze periode is het grondmorene-landschap sterk versneden onder invloed van erosieprocessen. Hierbij zijn veel diepe beekdalen gevormd die later weer zijn opgevuld met fluvioperiglaciale afzettingen onder periglaciale omstandigheden. Deze afzettingen behoren tot de Formatie van Twente. Deze beekdalafzettingen bestaan voornamelijk uit zanden, maar ook leemlagen en gyttja kunnen in de afzetting voorkomen. Gezien de vorming van de leemlagen uit deze Formatie, worden ze vaak aangeduid als beekleem. In de slotfase van deze ijstijd werd het klimaat droger en werden de dekzanden als een deken over het gebied afgezet onder invloed van de wind. Deze eolische afzetting behoort eveneens tot de Formatie van Twente.

Gedurende het Holoceen veranderde de klimaatomstandigheden naar een vochtig warm klimaat. Hierdoor kon de zeespiegel rijzen. Onder invloed van de stijgende zeespiegel en het gunstige klimaat voor de plantengroei vormde zich in eerste instantie in de beekdalen een veenpakket. De vroege veenvorming die plaatsvond in de laaggelegen beekdalen bestond voornamelijk uit eutroof laagveen dat gerekend wordt tot de Formatie van Singraven. Geleidelijk is het veen overgegaan in oligotroof hoogveen dat behoort tot de Formatie van Griendtsveen. Tevens is de verbreiding van de veenvorming geleidelijk toegenomen. Ook kunnen plaatselijk stuifzanden voorkomen die eveneens in het Holoceen gevormd zijn. Deze goed gesorteerde zanden behoren tot de Formatie van Kootwijk.

2.2.2 Geomorfologie en bodemvorming

Een kaart met de huidige hoogteligging van het maaiveld is opgenomen in Bijlage 2. Op regionale schaal is het Bargerveen en omgeving op te delen in verschillende hoofdeenheden. De Hondsrug vormt de hoge oostrand van het Drenthse Plateau, welke zich over 80 km uitstrekt van Groningen tot Emmen. Deze heuvelruggen, die ontstaan zijn in het vroeg en midden Pleistoceen, zijn mogelijk door tektonische beweging ontstaan en later door landijs beïnvloed (Buro Hemmen, 1991). De Hondsrug wordt in eerste instantie dus niet als een stuwwal gekenschetst. Vooral de in het veld opvallende oostgrens, de grens met het Hunzedal, is erg scherp en recht. Deze rechtlijnigheid die eveneens in de ruggen van het Hondsrug-complex voorkomt geeft een tektonische ontstaanswijze aan. In het zuidelijke deel van de

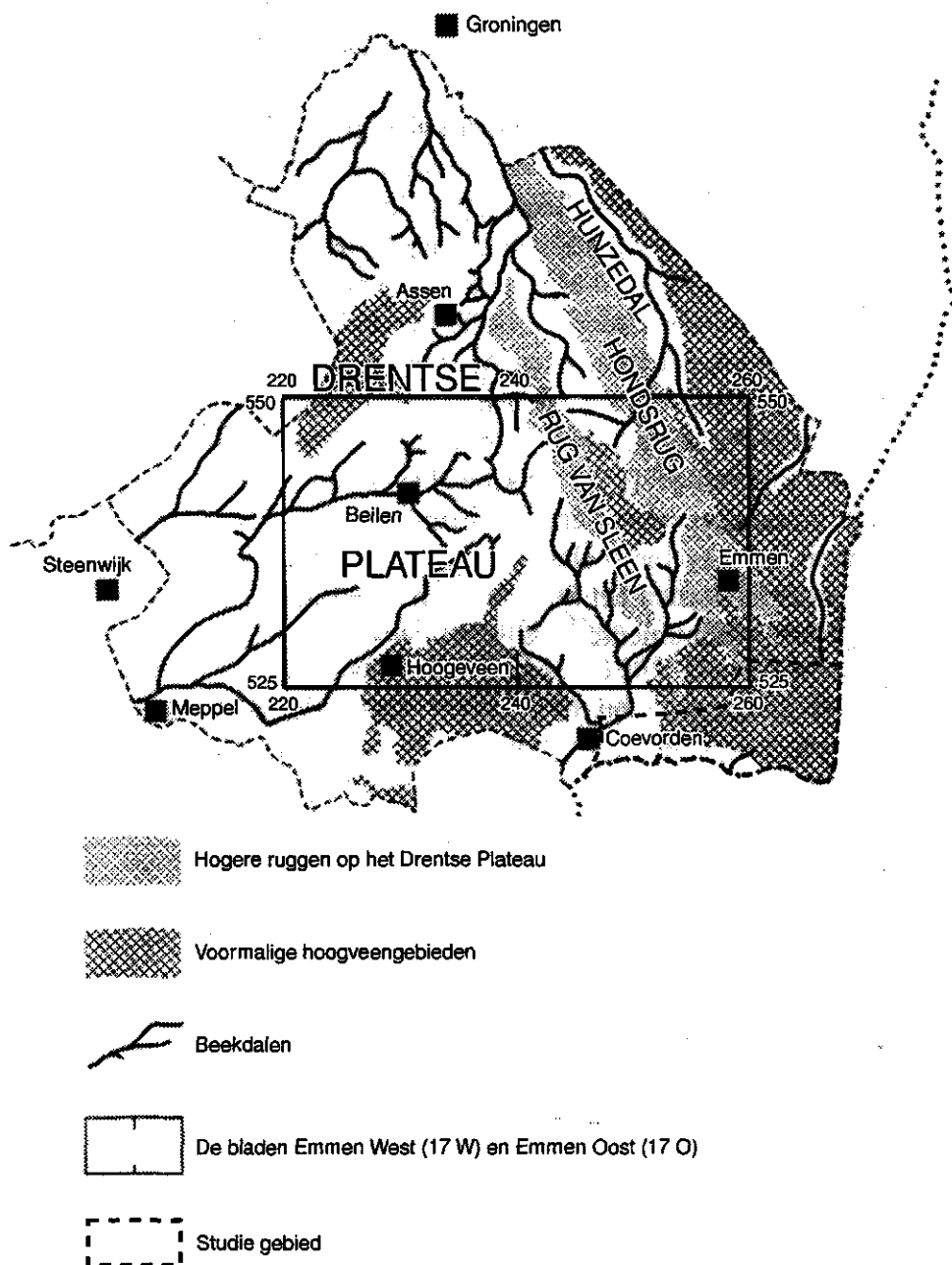


Fig. 4 Geografisch overzicht van kaartblad 17 (naar Ter Wee, 1979)

Hondsrug heeft wel stuwing plaatsgevonden. De richting van deze stuwing is echter ongeveer haaks op de Hondsrug-richting. De theorie van de tektonische ontstaanswijze lijkt aannemelijk. Aan de hand van seismisch onderzoek is deze theorie echter niet te onderbouwen.

De uitlopers van de Hondsrug, in zuid-oostelijke richting, zijn door landijs beïnvloed. De omgeving van de uitlopers van de Hondsrug bestaan uit veenontginningen en

veenrestanten. Het Bargerveen en omgeving bestaat uit gedeeltelijk veenkoloniale ontginningsvlakten of ontgonnen veenvlakten al dan niet met klei en/of zand bedekt. De restanten veen bestaan voor een groot deel uit ruggen en plateau-achtige vormen. Het zijn deze terreinvormen die de geomorfologie van het Bargerveen bepalen.

Ten zuiden van het natuurreservaat Bargerveen, ter hoogte van Schoonebeek en Nieuw-Schoonebeek komen dekzand-welvingen en -ruggen voor. Deze dekzand-welvingen zijn eventueel bedekt met vergraven veen of een oud bouwlanddek. Verder naar het zuiden en oosten is het vergraven veen gelegen op beekdalbodems.

2.3 Het grondwatersysteem

2.3.1 Geohydrologie

Geohydrologisch gezien is het studiegebied een complex geheel. De deklaag bestaat uit veenafzettingen; deze komen voornamelijk voor in het oostelijke deel van het studiegebied. In het westelijke deel komt deze deklaag maar plaatselijk voor, evenals de scheidende lagen. Hierdoor kan in het westelijke deel over het algemeen gesproken worden van maar één watervoerend pakket terwijl in het oostelijke deel één of meerdere scheidende lagen voor kunnen komen (Tabel 1; Aanhangel 1).

De Holocene deklaag van veenafzettingen komt voornamelijk voor in het oostelijke deel van het studiegebied (Aanhangel 1). Ten gevolge van de ontwatering voor de turfwinning is de veenlaag in dikte gereduceerd door inklinking, oxidatie en turfwinning. In de van oudsher laag gelegen beekdalen en geulen is veelal direct op de zandondergrond een zogenaamde meerbodem gevormd. Deze meerbodem bestaat uit een lemig, uiterst fijn zand met een hoog organisch stof gehalte (Gyttja). Het materiaal is veelal grijsbruin van kleur en voelt smeug aan. De doorlatendheid van deze meerbodem is gering, tenzij deze doorworteld is. Op de van oudsher hoger gelegen zandgronden komt op de overgang van oligotroof veen naar de humuspodzool vaak een gliedelaag voor. Deze gliedelaag bestaat uit een donkerbruine tot zwarte, meer of minder zandhoudende en veelal sterk smerende, moerige laag zonder plantenresten. Deze laag is gevormd door inspoeling, en is door de geringe doorlatendheid van groot belang voor de hydrologie van het gebied. In deze studie is voor de specifieke weerstand een eerste schatting van 3000 d/m aangehouden.

Het eerste watervoerend pakket heeft een maximale dikte van 20 m (Aanhangel 1) en bestaat hoofdzakelijk uit dekzanden en soms ook uit fluvioperiglaciale zanden die behoren tot de Formatie van Twente. In het westelijke deel van het studiegebied, waar over het algemeen geen scheidende lagen voorkomen, kan deze Formatie tot het fijnzandige bovenste deel van het tweede en soms derde watervoerend pakket gerekend worden. In het oostelijke deel van het studiegebied wordt het eerste watervoerende pakket vaak begrensd door een eronder gelegen scheidende laag. Tot de eerste scheidende laag worden het veen en beekleem van de Formatie van Twente, de keileem van de Formatie van Drenthe en de continentale veen en kleiafzettingen van de Eem Formatie gerekend. De heterogeniteit van deze scheidende

Tabel 1 Schematische weergave van de stratigrafie en hydrogeologische indeling van de kwartaire afzettingen

<i>Lithostratigrafie</i>	<i>Chronologie</i>	<i>Milieu van afzetting</i>	<i>Textuur</i>	<i>Hydrologische Betekenis</i>
Formatie van Griendtsveen	Holoceen	organogeen	oligotroof veen	afdekkend pakket c 1500-15000 dagen
Formatie van Singraven	Holoceen	organogeen	mesotroof veen	
Formatie van Twente	Weichselien	periglaciaal	zanden en leemlagen	1 ^e watervoerend pakket kD 10-100 m ² d ⁻¹
Eem Formatie	Eemien	organogeen	veenlagen en klei	1 ^e scheidende laag c 0-400 dagen
Formatie van Drenthe	Laat-Saalien	glaciaal	(Kei)leem en grof zand	-
Formatie van Peelo	Elsterien	fluvioglaciaal	fijn zand	2 ^e watervoerend pakket kD 100-400 m ² d ⁻¹
Formatie van Urk	Holsteinien Elsterien Cromerien	fluviatiel	grof zand en Cromerklei	2 ^e scheidende laag c 0-5000 dagen
Formatie van Enschede	Cromerien Menapien	fluviatiel	grof zand en grind, aan basis lokaal klei	3 ^e watervoerend pakket kD 1000-4500 m ² d ⁻¹
Formatie van Scheemda	Ploceen	fluviatiel	fijn zand	
Formatie van Breda	Mioceen	marien	kleirijk	hydrologische basis

laag, die uit drie verschillende Formaties bestaat, zorgt voor een ingewikkeld patroon van laterale verbreiding (Aanhangsel 1). De slecht doorlatende laag van de Formatie van Twente komt voornamelijk voor in de beekdalen. De diepte waarop deze laag kan voorkomen varieert van ongeveer 6 tot 19 meter ten opzichte van NAP, met een dikte tot ongeveer 2 meter. De keileem van de Formatie van Drenthe komt in het onderzoeksgebied voornamelijk voor in het oosten, waar deze afzetting een grotere verbreiding heeft dan de beekleem. De weerstand van de keileem is zeer variabel als gevolg van erosie en vertering. Door de hoge ligging kunnen op de keileem schijngrondwaterspiegels voorkomen. De slecht doorlatende afzettingen van de Eem Formatie komen uitsluitend in het gebied van het Hunzedal voor. De verbreiding is vermoedelijk gering, maar door het beperkte aantal boringen is in het voorkomen van de Eem Formatie nog geen goed inzicht. De diepteligging varieert van ongeveer NAP niveau tot 10 m daar onder.

Het tweede watervoerend pakket, met een maximale dikte van 35 m (Aanhangsel 1), is hoofdzakelijk opgebouwd uit een fijn tot matig fijnzandig pakket. In het westelijke deel van het studiegebied vormt dit pakket over het algemeen één geheel met het eerste en derde watervoerend pakket. In het oostelijke deel van het gebied komt het tweede watervoerende pakket als zelfstandige eenheid voor. Hier bestaat het uit de zandige afzettingen van Peelo en Eindhoven. In het Hunzedal waar de bovenkant van het tweede watervoerend pakket begrensd wordt door de Eem Formatie, bestaat het pakket uit de zandige afzettingen van de Eem Formatie en de Formatie van Drenthe.

Indien aanwezig wordt de onderkant van het tweede watervoerende pakket gevormd door de Cromerklei. Deze tweede scheidende laag komt voornamelijk in het oostelijk deel van het onderzoeksgebied voor. De laag is hoofdzakelijk opgebouwd uit klei maar kan ook plaatselijk veenlagen bevatten. De klei is van Cromerien ouderdom en wordt gerekend tot de Formatie van Urk. In het studiegebied bereikt deze laag een maximale dikte van 10 m (Aanhangsel 1).

Het derde watervoerend pakket wordt gevormd door de zandige afzettingen van de Formaties van Urk, Enschede, Scheemda en Breda. Het onderste deel van dit watervoerend pakket wordt gevormd door overwegend fijne en soms slibhoudende zanden van de Formaties van Enschede, Scheemda en Breda. Ook kunnen in deze formaties klei- en leemlagen voorkomen. Over het algemeen is de doorlatendheid van dit pakket dan ook gering. In het bovenste deel komen meer grove zanden voor die behoren tot de Formatie van Urk, en in het Hunzedal eveneens de Formatie van Drenthe. Deze zanden hebben de grootste doorlatendheid van het derde watervoerend pakket en zijn ongeveer 30 meter dik. De totale dikte van het derde watervoerend pakket varieert tussen de 40 m en 130 m. Het doorlaatvermogen (kD-waarde) van het derde watervoerend pakket varieert van minder dan 1000 m²/dag in het oosten van het onderzoeksgebied tot bijna 4500 m²/dag nabij Coevorden (De Heer, 1989). De volgende pompproeven zijn in het studiegebied uitgevoerd: pompproef Klazinaveen met een uitkomst van 1450 m²/dag, pompproef Schoonebeek met 3500 m²/dag en pompproef De Bente (Coevorden) met 4500 m²/dag (Provincie Drenthe, 1985).

De basis van het hydrologische pakket wordt gevormd door de bovenste kleilagen van de Formatie van Breda. In het westen wordt het bovenste deel van de Formatie van Breda, dat bestaat uit slibhoudende zanden, gerekend tot het derde watervoerend pakket. In het oosten komt veelal een afwisseling van zandige kleien en slibhoudende fijne zanden voor. Het is onduidelijk in hoeverre dit gedeelte van de Formatie van Breda deelneemt aan de hydrologische kringloop.

2.3.2 Hydrologische systeemsschets

Het Hondsrug-complex bestaat uit de Hondsrug en de hieraan parallel gelegen minder hoge rug van Sleen (Fig. 4). De uitlopers van het Hondsrug-complex vormen samen met het hoogveengebied een groot wegzijgingsgebied.

De wegzijging vanuit de Hondsrug en het in Duitsland gelegen hoogveengebied heeft in het Hunzedal (voornamelijk) ondiepe kwel tot gevolg. Het Hunzedal wordt naar het oosten toe ingesloten door het Duitse verveningsgebied en naar het westen toe door de Hondsrug die een noord-west zuid-oost gelegen strekking heeft. Ten westen van de uitlopers van de Hondsrug komt kwel voornamelijk voor in het gebied rond Barger-Oosterveen en in het gebied tussen de uitlopers van de Hondsrug en de rug van Sleen. In het zuiden wordt het wegzijgingsgebied begrensd door het beekdal van het Schoonebekerdiep. Het Schoonebekerdiep is ten opzichte van de omgeving een laaggelegen beekdal. In het grootste deel van het beekdal komt kwel voor. In de omgeving van Schoonebeek heeft de kwel de grootste intensiteit.

In westelijke richting wordt het kwelgebied rondom het Schoonebekerdiep geleidelijk breder. In de omgeving van Coevorden komt een groot kwelgebied voor. Dit is een relatief laag gelegen gebied waar enkele beken samenkomen. De kwel in dit gebied wordt onder andere gevoed door de west-oost gerichte regionale stroming in het diepe watervoerende pakket. In de ondieper gelegen watervoerende pakketten heeft het Hondsrug-complex meer invloed.

2.4 Bodemgesteldheid en grondgebruik

In het kader van deze studie is wat betreft de bodemgesteldheid alleen de vochthuishouding van belang. Om die te kunnen beschrijven is een vorm van parameterisering noodzakelijk. Voor het studiegebied Fochteloërveen en omgeving is door Stolte e.a. (1995) een bodemfysische schematisering uitgevoerd, met onder andere als resultaat een vertaalslag tussen de eenheden van de Bodemkaart 1:50 000 (Stiboka, 1980; SC-DLO, 1990) en de opbouw van lagen in termen van 'bodemfysische bouwstenen' uit de zogenaamde Staringreeks (Wösten e.a., 1994). Aan ieder subgebied is een bepaalde bodemeenheid toegekend. Voor het huidige studiegebied is de vertaalslag uitgebreid met enkele bodemeenheden, die zijn beschreven in Aanhangsel 1.

Tabel 2 geeft een overzicht van het bodemgebruik in het gebied. De gegevens voor dit overzicht zijn ontleend aan het LandGebruik Nederland (LGN) bestand dat door Thunnissen e.a. (1992) is afgeleid uit *remote sensing* beelden, met een resolutie van 25 x 25 m. Daaruit blijkt dat de dominante vorm van bodemgebruik is ondergebracht in de categorie 'Overige landbouw'; het betreft een mengteelt van aardappelen (40%), bieten (25 %) en graan (35%). In Fig. 5 is een overzicht gegeven van het areaalpercentage dat in gebruik is als bouwland en Fig. 6 het percentage dat in gebruik is als grasland.

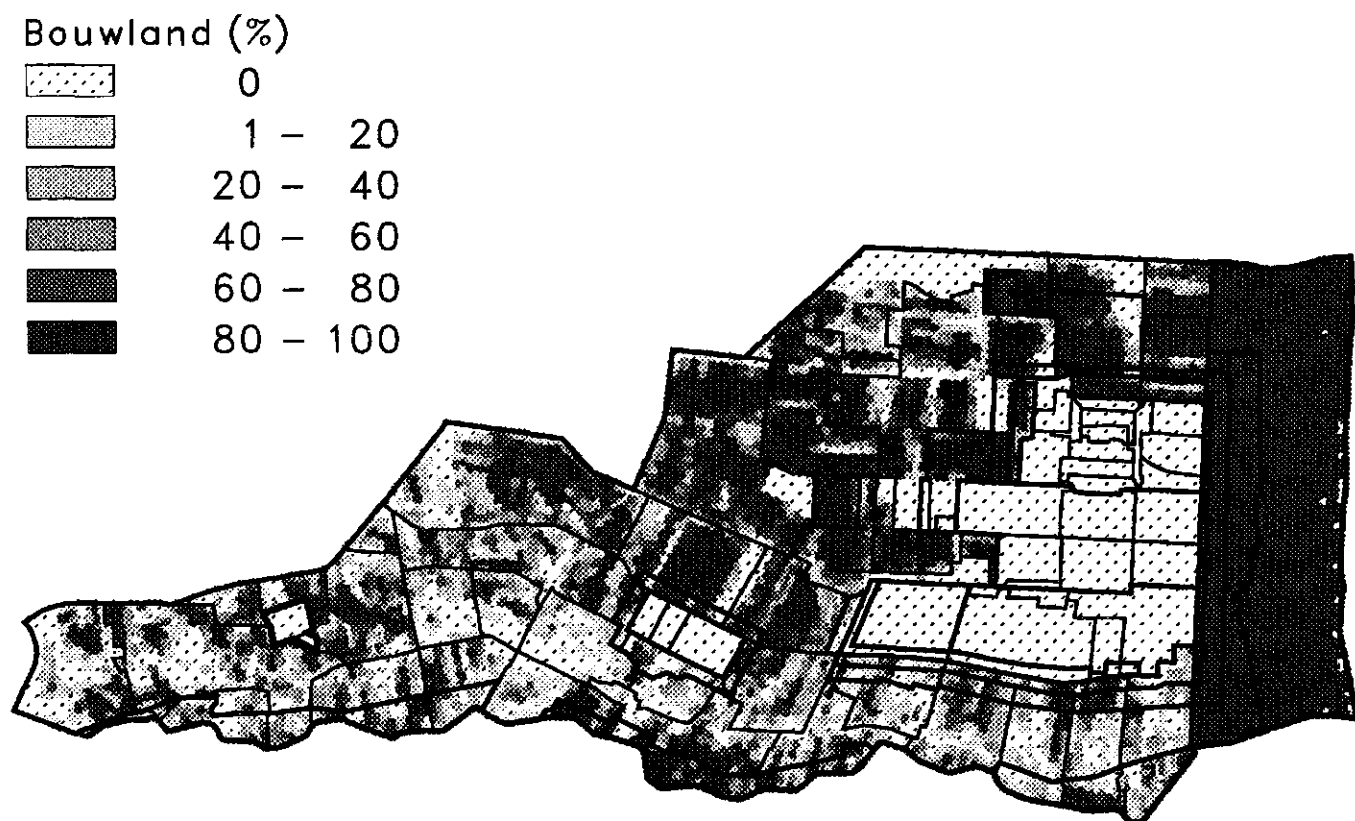
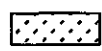


Fig. 5 Areaalpercentage dat in gebruik is als bouwland

Tabel 2 Overzicht van bodemgebruik in het studiegebied , ontleend aan het LGN-bestand (Thunnissen e.a., 1992). de categorie 'Overige landbouw' bestaat uit een mengteelt van aardappelen (40%), bieten (25%) en graan (35%)

Bodemgebruiksvorm	Onberegend		Beregend		Totaal	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Gras	4030	29,5			4030	29,5
Mais	59	0,4			59	0,4
Aardappelen	0	0,0	159	1,2	159	1,2
Granen	443	3,2			443	3,2
Overige landbouw	2036	14,9	4093	30,0	6129	44,9
Kale grond	64	0,5			64	0,5
Loofbos	389	2,8			389	2,8
Naaldbos	18	0,1			18	0,1
Natuurgebied	1562	11,4			1562	11,4
Open water (groot)	327	2,4			327	2,4
Bebouwde gebied	471	3,5			471	3,5
Totaal	9399	68,7	4252	31,2	13651	100

Grasland (%)

	0
	1 - 20
	20 - 40
	40 - 60
	60 - 80
	80 - 100

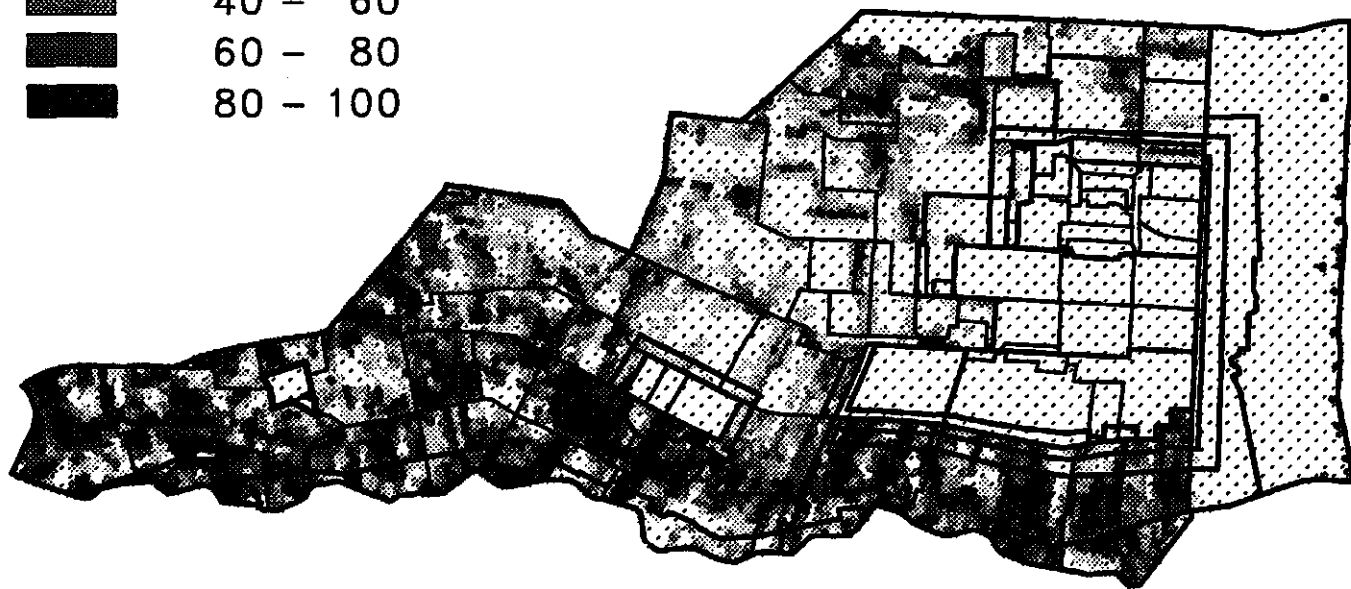


Fig. 6 Areaalpercentage dat in gebruik is als grasland

Vanwege het ontbreken van directe (en gebiedsdekkende) informatie over het beregende areaal moest op indirecte wijze aan deze informatie worden gekomen. Er is aangenomen dat alle vormen van bouwland beregend zijn op plaatsen waar ook wateraanvoer beschikbaar is (voor een overzicht zie par. 2.5). Berekening uit grondwater komt namelijk in het gebied nauwelijks voor, maar is overigens wel een nieuwe ontwikkeling.

2.5 Waterstaatskundige inrichting

2.5.1 Afwatering en aanvoer

De afwateringsstructuur van een gebied beslaat het gehele stelsel van waterlopen, tot in de fijnste bovenstroomse vertakkingen. Voor de meeste praktische doeleinden volstaat het om de bovenstroomse vertakkingen niet expliciet te administreren maar te groeperen tot 'afwateringseenheden'. Een afwateringseenheid is een ruimtelijk begrensde oppervlakte die gedefinieerd en gekenmerkt wordt door één gemeenschappelijk uitstroompunt van het water dat via het ontwateringssysteem

(inclusief het maaiveld) tot afvoer komt. De gebruikte indeling van het studiegebied in afwateringseenheden is opgenomen in Bijlage 3; deze indeling is ontleend aan:

- de waterschapskaarten van Waterschap 't Suydevelt;
- informatie afkomstig van de terreinbeheerder van het Bargerveen, Staatsbosbeheer;
- veldverkenning.

Per afwateringseenheid is met een stippellijn (geen echte waterloop) aangegeven hoe de verbinding wordt gemaakt met de afwateringsstructuur van grotere waterlopen, de zogenaamde afwateringsleidingen. Er worden hier drie categorieën van dergelijke leidingen onderscheiden:

- kanalen die in beheer zijn bij de provincie;
- waterlopen die in beheer zijn bij het waterschap, zogenaamde waterschapsleidingen;
- grotere waterlopen die niet in beheer zijn bij het waterschap, gelegen binnen een natuurgebied.

Binnen de natuurgebieden zijn een groot aantal van de ingetekende leidingen 'fictief', die uitsluitend zijn toegevoegd voor het definiëren van de afwateringsstructuur. Bij berekeningen van drainageweerstand e.d. worden deze leidingen uiteraard weggelaten.

In veel gevallen loopt een afwateringsleiding langs de rand van een afwateringseenheid (er net binnen). Er zijn ook leidingtrajecten die puur voor watertransport dienen, en precies tussen twee afwateringseenheden lopen. Dit zijn de zogenaamde koppelleidingen. In het veld zijn deze leidingtrajecten vaak te herkennen door de aanwezigheid van dijkjes aan weerszijden. Op Bijlage 3 zijn de koppelleidingen te herkennen aan het ontbreken van een verbindende stippellijn met een afwateringseenheid. Hydrologisch gezien kunnen deze leidingtrajecten van grote invloed zijn in verband met de vaak afwijkende ligging ten opzichte van het maaiveld. Ze kunnen extra diep insnijden en hebben dan vaak een sterke ontwaterende werking. Ze kunnen ook 'in ophoging' liggen, zoals bij boezemwateren gebruikelijk is.

De afwateringsleidingen van het studiegebied zijn vrijwel allemaal sterk overgedimensioneerd, als gevolg van hun ontstaanswijze (ten tijde van de vervening). Om die reden is het verhang van de waterspiegel gering of te verwaarlozen. Dat heeft onder andere tot gevolg dat uit de stuwcode van een bepaald leidingvak meteen ook het peilregime is af te lezen. Dat volgt namelijk uit de tabel met kunstwerk-kenmerken. Die tabel is opgenomen in Aanhangsel 3. Per kunstwerk is aangegeven om wat voor type het gaat, het soort peilregime, en de bijbehorende peilen. Drie soorten peilregimes worden onderscheiden:

- peilregeling, met resp. winter- en zomerpeilinstelling;
- peilregeling in de zomer, en vaste stuw drempel hoogte (platgelegde stuw) in de winter;
- vaste stuw drempel in zomer en winter; tevens een maximum peil dat niet of nauwelijks wordt overschreden.

Indien sprake is van 'peilregeling' dan betreft dat meestal stuwen die afhankelijk van de neerslag worden bijgesteld. In het gebied komen volledig geautomatiseerde stuwen (nog) weinig voor. Het peilregime met maximum peil komt alleen in natuurgebieden voor.

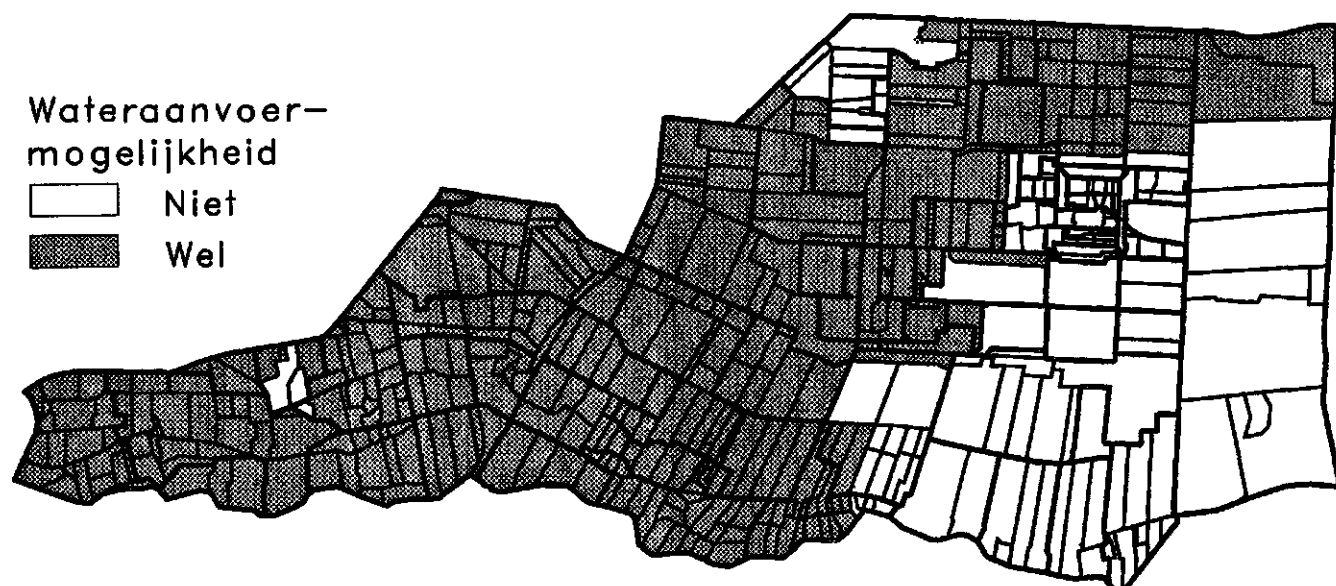


Fig. 7 Gebieden die van wateraanvoer kunnen worden voorzien

Op Bijlage 4 is de afwateringsstructuur nog eens apart uitgebeeld, waarbij de invloed van kunstwerken op de waterpeilen in beeld is gebracht. Per leidingtraject is de kode van het kunstwerk dat plaatselijk bepalend is voor het peil aangegeven. Indien de kode van het kunstwerk voorafgegaan wordt door een '>' teken, dan wordt daarmee aangegeven dat het kunstwerk aan het einde van het betreffende leidingtraject is gelokaliseerd.

Een groot deel van het studiegebied kan worden voorzien van gebiedsvreemd water, zoals aangegeven in Fig. 7. Langs de noordrand van het gebied kan water worden ingelaten vanuit de Verlengde Hoozeveense Vaart. Het centrale en oostelijke deel van het studiegebied wordt van water voorzien via het Dommerskanaal en vertakkingen daarvan.

2.5.2 Ontwatering

Informatie over de dichtheid van sloten is ontleend aan bestanden die in beheer zijn bij de provincie (Provincie Drenthe, 1991; Van Veen, pers. med.). Het betreft gridbestanden met een resolutie van 500x500 m. Bijlage 5 is een weergave van de slootdichtheid in termen van m/ha. Omdat gegevens over dwarsprofielen ontbraken is in het gebied een inventarisatie gemaakt; Bijlage 6 toont het resultaat daarvan.

In de omgeving van het Bargerveen-complex komen grotere waterlopen voor, de zogenaamde wijken, die niet de status van een 'waterschapsleiding' hebben. Deze wijken steken door de deklaag heen en staan in contact met de zandondergrond. Daarom zijn deze waterlopen van belang voor de regionale waterhuishouding en om deze reden apart gedigitaliseerd (Bijlage 7).

Bijlage 8 is een kaart van de gedraineerde gronden in het studiegebied, afkomstig van de Provincie Drenthe (Van Veen, pers. med.). De kaart is overigens niet meer actueel: de inventarisatie vond plaats in het begin van de jaren '90. Het is bekend dat nadien de drainage zich fors heeft uitgebreid.

3 Meetgegevens

3.1 Inleiding

Meetgegevens zijn verzameld voor de periode tussen 1 november 1992 en 30 oktober 1994. Het doel was inzicht te krijgen in de regionale hydrologie van het studiegebied en om het simulatiemodel SIMGRO te kunnen calibreren (zie ook par. 1.2). De grootste inspanning is gepleegd voor het waterbalansonderzoek, dat gericht was op het verzamelen van relevante gegevens waarmee de netto afvoer van oppervlaktewater kan worden berekend. Daarnaast zijn de beschikbare grondwaterstandsgegevens geïnventariseerd en geanalyseerd. Tevens zijn in het kader van dit onderzoek een aantal nieuwe peilbuizen geplaatst en bemeten. Uiteraard is in het verdere (model)onderzoek gebruik gemaakt van meteorologische gegevens. In de navolgende paragraaf wordt daarop ingegaan. Vervolgens komen respectievelijk aan bod de debietmetingen (par. 3.3), de verwerking tot netto afvoeren/aanvoeren (par. 3.4) en de isohypsen (par. 3.5).

3.2 Neerslag en verdamping

Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van meteorologische gegevens (dagwaarden) die zijn verzameld door het KNMI. Wat betreft de neerslag betrof dat de gegevens van stations Schoonebeek en Klazienaveen. Van deze twee stations ontloopt het langjarig gemiddelde van de neerslag elkaar niet veel: voor Schoonebeek is het 707 mm en voor Klazienaveen 714 mm (verschil van ca. 1%). Tijdens de meetperiode was het verschil iets groter: Schoonebeek noteerde 1987 mm en Klazienaveen 2031 mm (verschil van 2,2%). Voor de berekeningen is gewerkt met een gewogen gebiedsgemiddelde, waarbij respectievelijk de weegfactoren 2/3 en 1/3 zijn aangehouden. Schoonebeek ligt het meest centraal in het studiegebied, vandaar de tweemaal zo hoge weegfactor. Voor de potentiële verdamping zijn de gegevens van het KNMI-station Hoogeveen gebruikt.

Het veldonderzoek vond plaats in een zeer neerslagrijke periode, zoals blijkt uit het staafdiagram van de decade-neerslag in Fig. 8. Het blijkt dat in een uitzonderlijk groot aantal decaden een neerslagtotaal van meer dan 40 mm is gemeten. Hoe regenrijk de onderzoeksperiode is geweest blijkt ook uit Fig. 9 en Fig. 10. Daarin is resp. per decade en kwartaal het neerslagoverschot uitgezet, waarbij voor de verdamping de referentiegewas-verdamping is genomen. Overigens beslaan zowel het eerste als laatste 'kwartaal' van de meetperiode slechts twee maanden. Uit het staafdiagram van Fig. 10 blijkt dat alleen het tweede kwartaal van 1993 een neerslagtekort vertoont, en dat het derde en vierde kwartaal van 1993 en het eerste van 1994 allemaal een groot neerslagoverschot vertonen.

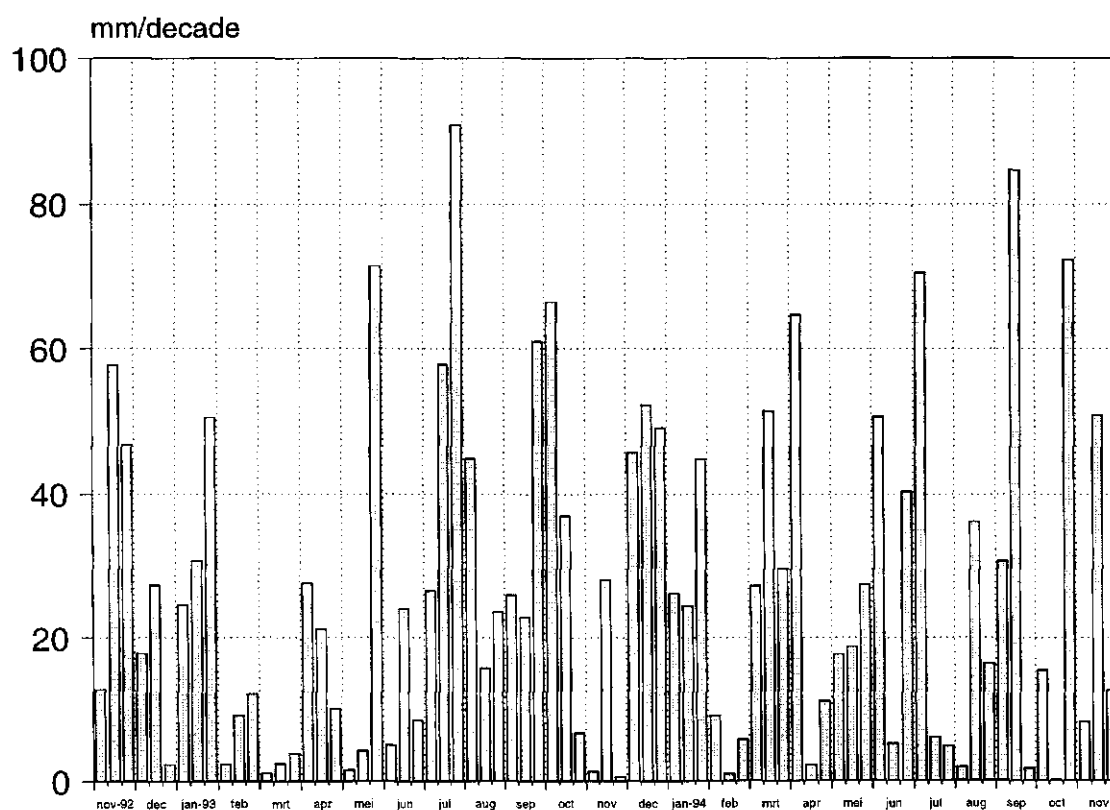


Fig. 8 Neerslag per decade gedurende de periode van het veldonderzoek

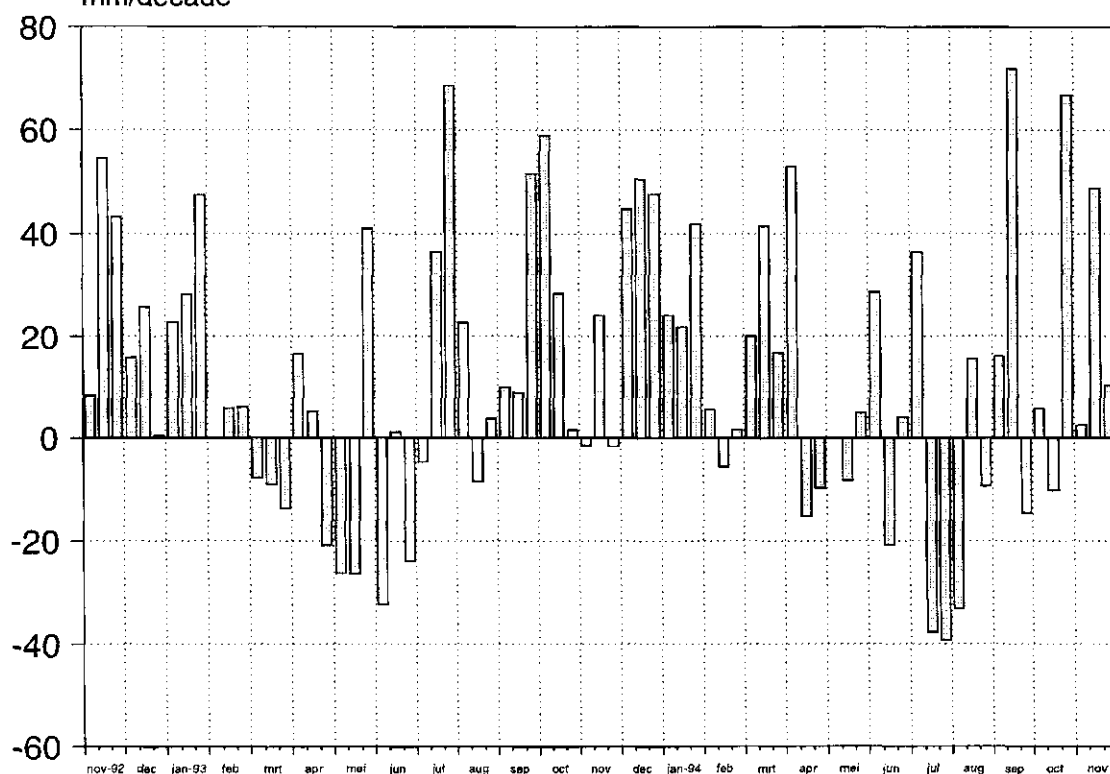


Fig. 9 Neerslagoverschot per decade gedurende de periode van het veldonderzoek

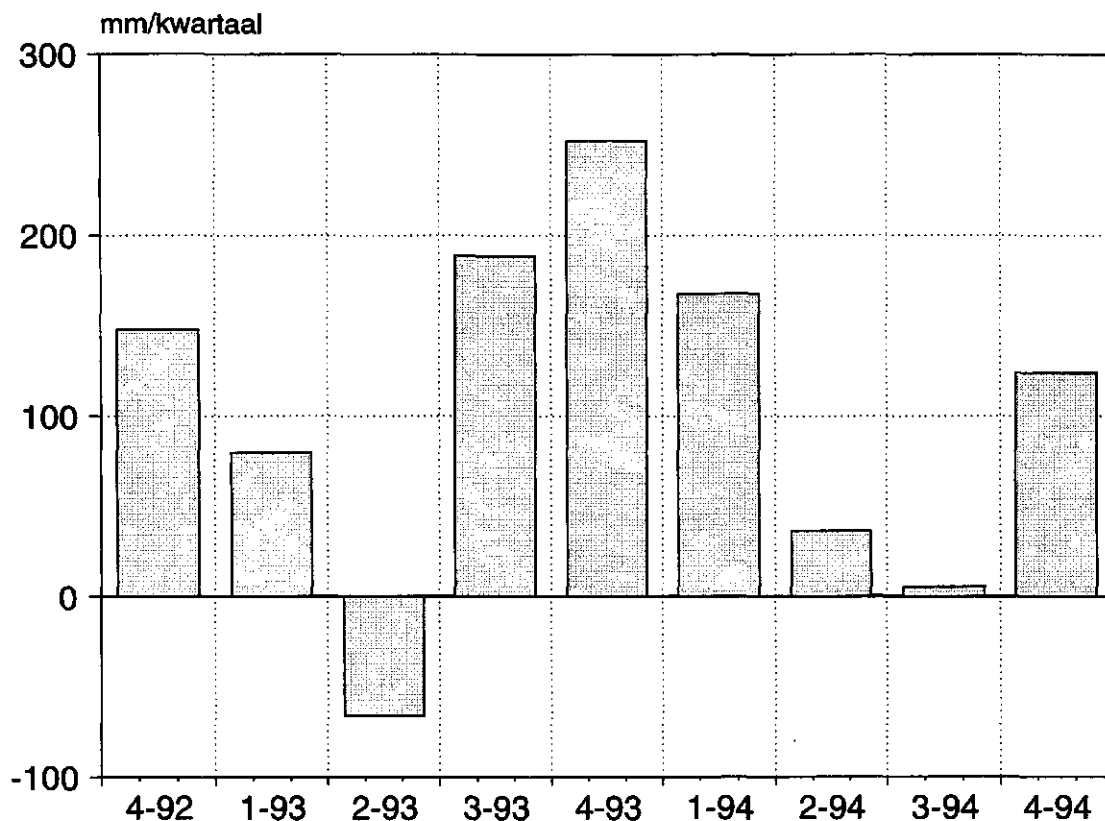


Fig. 10 Neerslagoverschot per kwartaal gedurende de periode van het veldonderzoek

3.3 Debietmetingen

3.3.1 Meetplan

Een regionaal hydrologisch onderzoek is gebaat bij een zo groot mogelijke ruimtelijke differentiatie van de waterbalansinformatie. Vooral daar waar er overgangen zijn m.b.t. gebiedskenmerken is het wenselijk om aparte eenheden te hebben, bijvoorbeeld bij de overgang van natuur naar landbouw. Waterbalansonderzoek is echter zeer arbeidsintensief, wat een sterke beperking op het aantal te onderscheiden waterbalanseenheden legt.

Het gehele onderzoeksgebied is uiteindelijk ingedeeld in een 67-tal bemeten waterbalanseenheden, zoals weergegeven op Bijlage 9 (waterbalanseenheden 68 en 69 bestaan niet; van waterbalanseenheden 71-74 zijn geen meetgegevens beschikbaar). De indeling is geschied op basis van één of meerdere afwateringseenheden, met dien verstande dat er een mogelijkheid moest zijn om voor iedere eenheid de totale aan- en afvoer te bepalen.

Een stroomschema met de ligging van meetpunten in relatie tot de waterbalans-eenheden is opgenomen in Bijlage 10. Er zijn drie verschillende soorten meetpunten gebruikt:

- stuwen, zowel beweegbare (code S) als vaste (code SZ);
- duikers (code D) en pvc-buizen (code P);
- gemalen (code G).

Tevens zijn in de zomer van 1994 een aantal inlaatpunten (I) bemeten.

3.3.2 Meetmethoden

Door het grote aantal en de verscheidenheid van de meetpunten was het niet mogelijk om alle meetpunten in het gebied op eenzelfde manier te bemeten. Bij 26 meetpunten is door SC-DLO registratie-apparatuur geplaatst: 20 bij stuwen en 6 bij duikers en pvc-buizen. Bij de rest van de 100 meetpunten moest worden volstaan met wekelijkse metingen.

Bij alle stuwen, ook die met continue peilregistratie, is iedere week de hoogte van de kruin gemeten, en is voor een extra controle de overstorthoogte direct gemeten met een overstorthoogtemeter. Daarnaast wordt in veel gevallen wekelijks nog een controlemeting uitgevoerd aan een vast punt bij de stuw. Voor het berekenen van de afvoer is gebruik gemaakt van een stuwformule (Wit e.a., 1995). Daarbij is meestal uitgegaan van een stuwconstante van 1,7. (Uitzonderingen waren: S12 met een waarde van 1,2; S29 met 1,6; S45 met 2,0; S47 met 2,2; S48 met 1,45; S55 met 2,1; S66 met 1,9.)

In een aantal gevallen is bij een stuw de afvoer gemeten met behulp van een electromagnetische fluxmeter. Dat is gebeurd indien een stuw bij het wekelijkse bezoek 'verdrongen' bleek te zijn als gevolg van een hoge benedenstroomse waterstand. Het verdringen van een stuw gaat vaak samen met 'platleggen': bij een hoge afvoer wordt een stuw al gauw gestreken om voor een maximale doorlaatcapaciteit te zorgen en daarmee zo lang mogelijk aan de droogleggingsnorm te blijven voldoen. Dat werkt verdrinking in de hand.

Bij alle duikers, ook die met continue peilregistratie, is iedere week het debiet gemeten met een electromagnetische fluxmeter of (bij lage afvoeren) via een 'bakmeting'. Met deze debietmetingen is het mogelijk om een relatie tussen afvoer en waterstand te bepalen. Ook op deze methoden wordt nader ingegaan in Wit e.a. (1995).

Van iedereemaal is het aantal draaiuren bijgehouden door het waterschap. Met de door de fabrikant bijgeleverde ijk-grafiek is uit een 'urenmeting' de uitgemalen hoeveelheid water te bepalen. Een deel van de gemalen zijn op deze wijze (vrijwel) continu bemeten, de rest op weekbasis.

3.3.3 Verwerking debietgegevens

Vanwege het grote aantal meetmethoden, de zeer verschillende aard van de metingen en de verschillende wijze van registratie, was de verwerking van de meetgegevens een bewerkelijk geheel. De belangrijkste aandachtspunten waren de omzetting van wekelijkse metingen naar continue reeksen en het aanvullen van de onvermijdelijke hiaten als gevolg van uitval van meetapparatuur, bijzondere hydrologische omstandigheden, en het tussentijds veranderen van kruinhoogtes van stuwen.

De continue reeksen speelden een belangrijke rol bij de interpolatie van de wekelijkse metingen. Daarom zijn allereerst de hiaten in de continue reeksen aangevuld, na omzetting van de peilregistraties naar debieten via de relevante stuwformule (stuwen) of Q-H relatie (duiker of sloot). Voor stuwen waarvan de meetreeks hiaten vertoonde is getracht een verband op te stellen tussen de afvoer (van de wél bemeten tijdsperiode) en afvoeren gemeten op andere meetpunten. Daarbij is gebruik gemaakt van *multiple* lineaire regressie.

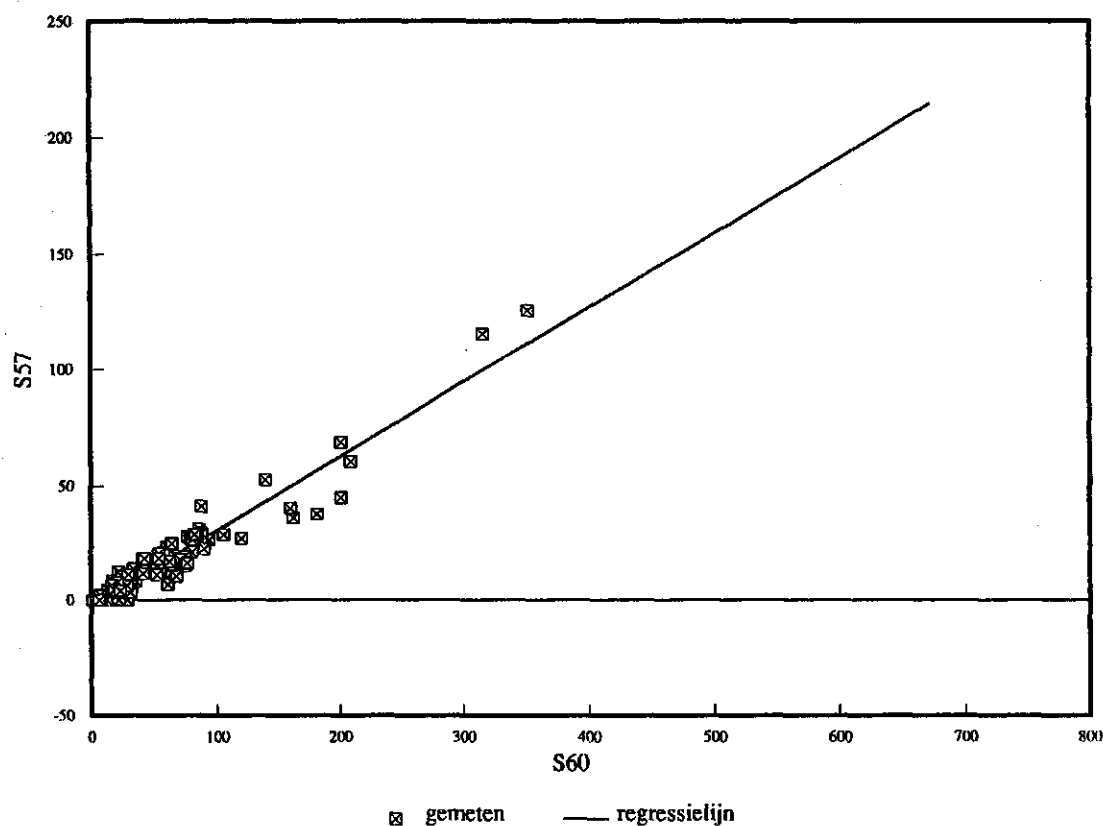


Fig. 11 Wekelijks gemeten debieten bij stuw S57 uitgezet tegen de corresponderende debieten bij stuw S60. Tevens ingetekend is de berekende regressielijn.

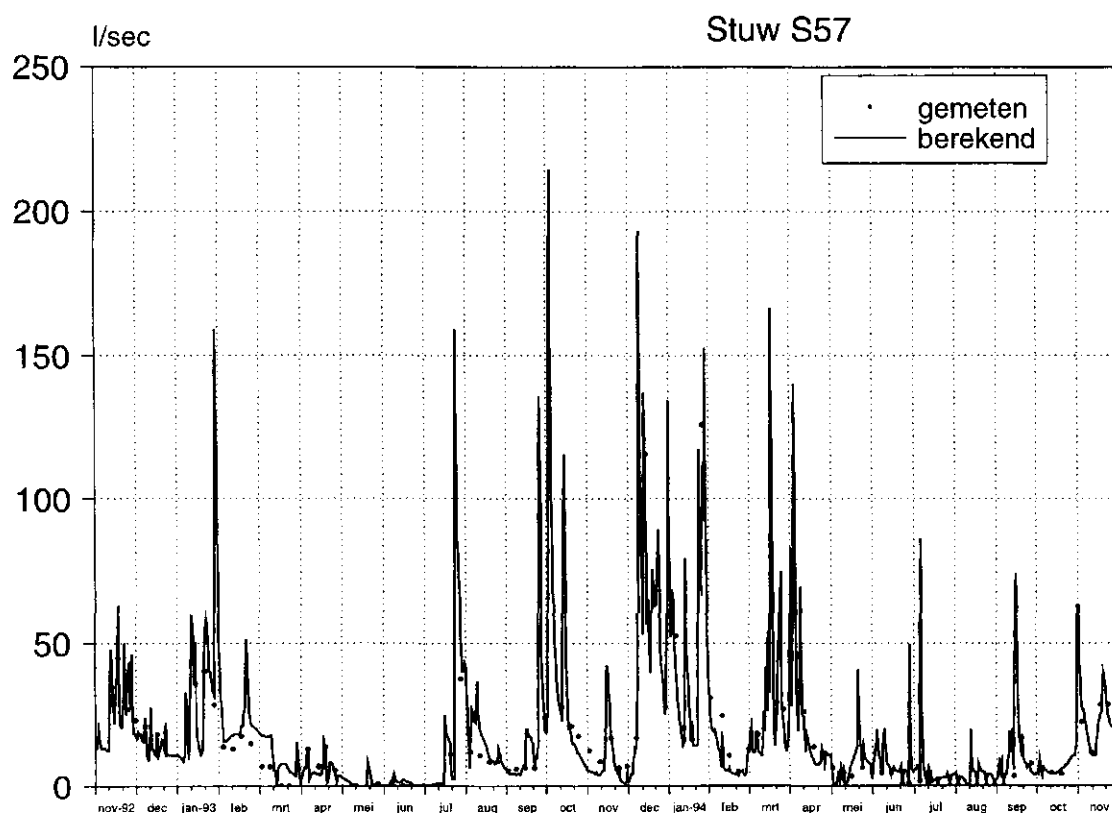


Fig. 12 Gemeten en berekende dagdebieten bij stuw S57

Ook bij de omzetting van wekelijkse metingen naar dagwaarden is gebruik gemaakt van regressie-relaties tussen afvoeren. Per wekelijks bemeten punt is op basis van de afwateringsstructuur het meest in aanmerking komende continu-bemeten punt opgespoord. Als voorbeeld zijn in Fig. 11 de wekelijkse gemeten afvoeren bij stuw S57 uitgezet tegen de corresponderende afvoeren bij de (continu-bemeten) stuw S60. Tevens is de berekende regressie-lijn ingetekend. De meetreeks voor stuw S57 is vervolgens compleet gemaakt door de afgeleide regressie-relatie toe te passen op de gehele meetreeks van dagdebieten bij stuw S60. In Fig. 12 zijn de berekende en gemeten dagdebieten van S57 uitgezet voor de hele meetperiode.

Voor de verwerking van wekelijkse debieten van gemalen is geen speciale procedure gevolgd. De debieten zijn gelijkmatig over de dagen van een week verdeeld. Een complete set van figuren met gemeten afvoeren is opgenomen in Aanhangsel 4.

3.3.4 Betrouwbaarheid

Om iets over de betrouwbaarheid van het berekende danwel gemeten debiet te kunnen zeggen is aan ieder meetpunt een bepaalde waardering toegekend. De maximale waardering is gesteld op 90%. Die geldt dan voor een stuwmeting waarbij registratieapparatuur stond opgesteld. Daarna is voor ieder meetpunt gekeken welke 'strafpunten' toegekend moesten worden. Een extra strafpunt werd toegekend indien:

- het meetpunt niet een stuwmeting betreft;
- een stuw ooit 'verdronken' is geraakt;
- er een hiaat in de meetperiode is (één strafpunt per hiaat);
- de meting wekelijks is;
- andere voor de meting nadelige omstandigheden zich hebben voorgedaan, zoals slecht functioneren van meetapparatuur, vuile stuwen enz.

Voor iedere strafpunt is de betrouwbaarheid met 5% verminderd.

Een overzicht van de strafpunt-toekenning is opgenomen in Aanhangsel 5. In de voorlaatste kolom is de resulterende 'betrouwbaarheid' aangegeven. Het verschil met 100% wordt opgevat als een 'standaardfout' van de meting. In de laatste kolom is de waarde in % omgezet naar een waarde in m³, door te vermenigvuldigen met de totaal gemeten afvoer tijdens de onderzoeksperiode.

3.4 Waterbalansen oppervlaktewater

3.4.1 Methoden

Aan de hand van het stroomschema in Bijlage 10 is voor iedere waterbalanseenheid een inventarisatie gemaakt van meetpunten waar aan- en afvoer is bemeten. Tevens is per waterbalanseenheid de oppervlakte bepaald (Aanhangsel 6). Tijdens de uitvoering van het onderzoek is gebleken dat voor een aantal waterbalanseenheden geen volledige bemeting van alle aan- en afvoerpunten mogelijk was. Bij de verwerking van de gegevens kon dat gedeeltelijk worden opgevangen door een aantal waterbalanseenheden samen te voegen (Aanhangsel 6). Voor een aantal waterbalanseenheden bleef het echter onmogelijk om een balans van aan- en afvoertermen te berekenen.

3.4.2 Resultaten

De berekende balanstermen van het oppervlakte water zijn per (samengevoegde) waterbalanseenheid weergegeven in Aanhangsel 7. De termen zijn gesommeerd over de gehele onderzoeksperiode van 1 november 1992 tot en met 30 november 1994. De berekende netto-afvoer (omgezet naar een tijdgemiddelde in mm/d) is uitgezet in Fig. 13. Opvallend zijn de relatief hoge waarden in het westelijke deel van het studiegebied, langs een deel van het Schoonebeekerdiep, en in het dal tussen twee uitlopers van het Hondsrugcomplex. Dat komt overeen met de verwachting, in verband met de aanwezigheid van kwel in die gebiedsdelen (zie ook par. 2.3.2).

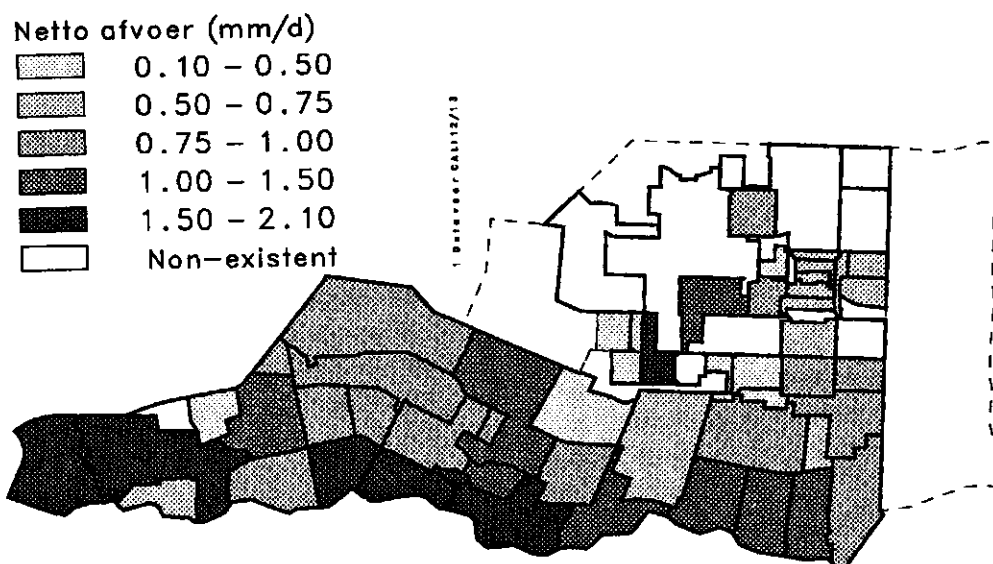


Fig. 13 Netto afvoer in mm/dag voor de waterbalansenheden

3.4.3 Betrouwbaarheid

Om iets te kunnen zeggen over de betrouwbaarheid van berekende waterbalansen termen is een berekening gemaakt van de foutvoortplanting. Voor de foutvoortplanting bij onafhankelijke variabelen, en indien bij een berekening alleen gebruik wordt gemaakt van optellen en aftrekken, kan gebruik worden gemaakt van het volgende verband (Parratt, 1961; Burrough, 1986; Van der Gaast en Peerboom, 1996):

$$S_y = \sqrt{(S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2 + \dots)} \quad (1)$$

waarin:

- S_y = standaardfout van y (berekende variabele);
- S_{x_1} = standaardfout van de x_1 variabele van de berekening;
- S_{x_2} = standaardfout van de x_2 variabele van de berekening.

Bovenstaande formule is toegepast op alle (samengevoegde) waterbalansen eenheden waarvoor daadwerkelijk een balans kon worden opgesteld. De verkregen waarden voor de standaardfout zijn vervolgens omgezet naar percentages van de netto afvoer. De uitkomsten van de berekeningen zijn opgenomen in Aanhangsel 8. Een aantal eenheden hebben een opvallend hoge standaardfout:

- het hoge percentage bij het samengevoegde gebied 21+27 wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de onzekerheid m.b.t. S28 (platleggen in een aantal situaties), waardoor infiltratie wordt berekend, wat fysisch niet mogelijk is;
- de grote afwijking bij gebied 64 wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de 'onzekerheid' over de gegevens van G11.

3.5 Stijghoogten

Gegevens over grondwaterstanden en stijghoogten zijn voor het grootste gedeelte ontleend aan het OLGA-bestand (TNO-GG, 1994) en aan het bestand van Staatsbosbeheer. Op enkele plaatsen zijn door SC-DLO aanvullende boringen verricht om de geologie en de stijghoogten beter in kaart te kunnen brengen. In Fig. 14 is een overzicht gegeven van de lokaties van de meetpunten. Het grootste aantal waarnemingsfilters is te vinden in het oostelijke deel van het studiegebied. Door de ingewikkelde geologische opbouw van dit deel van het studiegebied zijn hier ook meer meetpunten noodzakelijk. Het merendeel van de meetpunten bestaan uit peilbuizen op meerdere diepten, bestaande uit een landbouwbuis in het veen en een tweede buis in de Formatie van Twente. In het hoogveengebied zijn de peilbuizen vaak op meerdere diepten binnen het veen geplaatst, en slechts sporadisch tot in de zandondergrond.

In het westelijke deel van het modelgebied zijn veel minder meetpunten aanwezig. In dat gebied zijn echter ook minder meetpunten noodzakelijk omdat maar één watervoerend pakket voorkomt. Het merendeel van de meetpunten in het westelijke deel van het gebied heeft maar één waarnemingsfilter in de Formatie van Twente. Bij aanwezigheid van een dikke veenlaag zit daar meestal ook een buis in.

Er is veel aandacht besteed aan een zo correct mogelijke toekenning van filters aan lagen uit de geohydrologische schematisering. Voor deze toekenning is in eerste instantie gebruik gemaakt van de beschikbare boorbeschrijvingen. De boorbeschrijvingen waren echter niet voor alle meetpunten beschikbaar. Problemen deden zich verder voor als gevolg van:

- onzekerheid in filterdiepte-informatie in het OLGA-bestand;
- onzekerheid in de plaatselijke dikte van geohydrologische lagen.

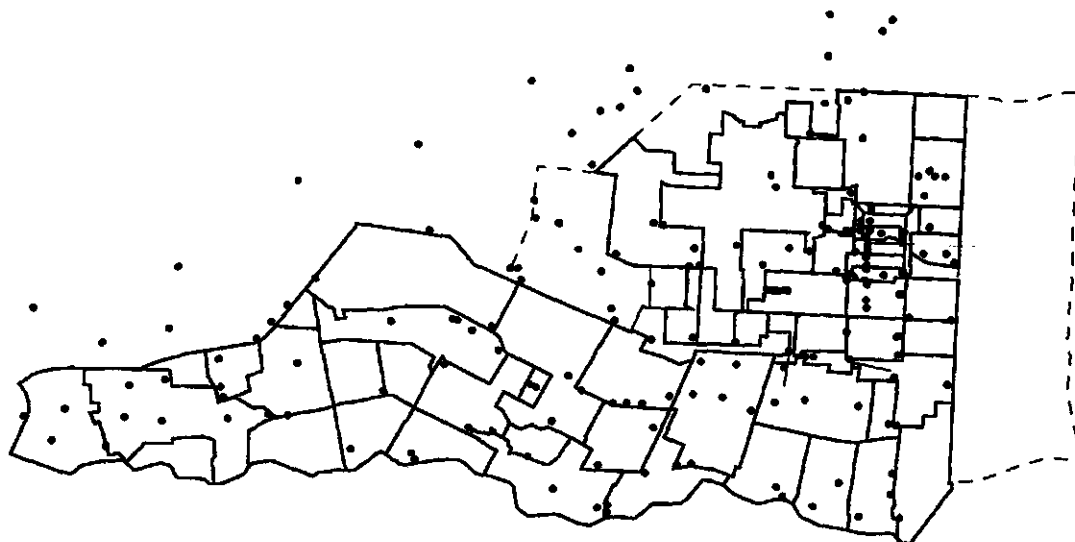


Fig. 14 Overzicht van lokaties van waarnemingsfilters voor stijghoogten

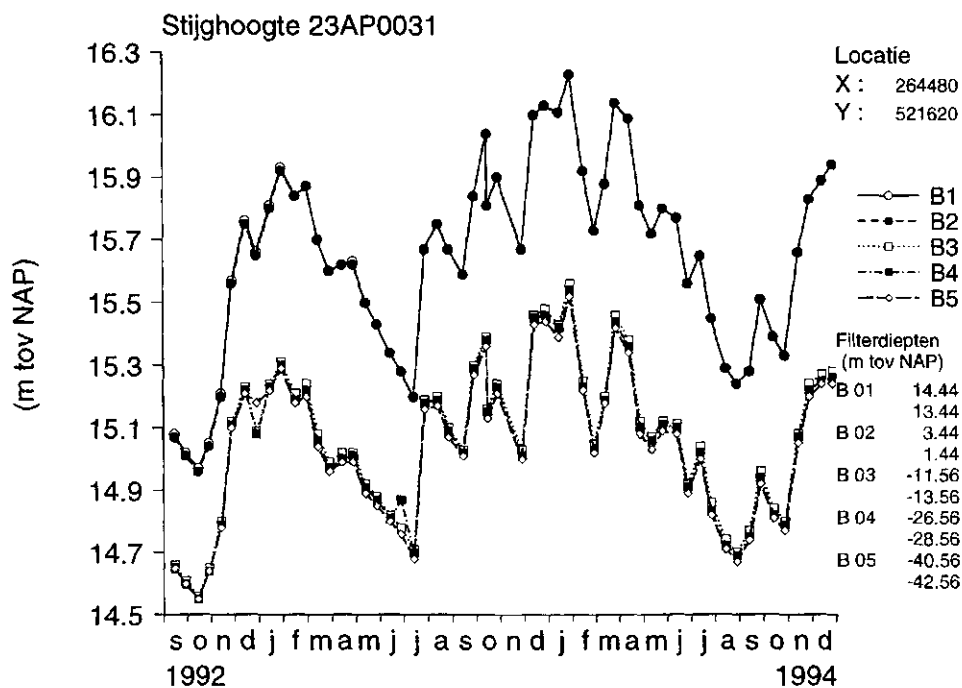


Fig. 15 Tijd-stijghoogteverloop voor een willekeurige meetlocatie met meerdere waarnemingsfilters.

Alvorens gebruik is gemaakt van de stijghoogtegegevens zijn, aan de hand van het stijghoogteverloop de grondwaterstanden gecontroleerd en zo mogelijk gecorrigeerd. Hierna is het stijghoogteverloop gebruikt voor de toekenning van de waarnemingsfilters aan de te onderscheiden watervoerende pakketten. Hierdoor is gebruik gemaakt van het stijghoogteverloop van de waarnemingsfilters op meerdere diepten om te kunnen bepalen in welk pakket de waarnemingsbuis geplaatst is (Fig. 15).

Over het algemeen is zeer weinig fluctuatie in het stijghoogteverloop te zien. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het ontbreken van een substantieel tijdvak met een neerslagtekort gedurende de meetperiode.

Voor een ruimtelijke interpretatie van de meetgegevens zijn isohypsenkaarten vervaardigd. De kaarten zijn met behulp van de computer automatisch gemaakt waarbij gebruik is gemaakt van kriging als interpolatiemethode. Gezien de grote verscheidenheid in opnamefrequentie van de waarnemingsfilters zijn de isohypsenkaarten opgesteld voor een langere periode. Hierdoor kunnen zo veel mogelijk gegevens worden meegenomen. De isohypsenkaarten zijn opgesteld voor de periode 14 december 1993 t/m 18 januari 1994. Voor deze periode, waarin de stijghoogten ongeveer constant waren, zijn de beschikbare peilgegevens gemiddeld. De isohypsenkaarten zijn geconstrueerd voor de drie watervoerende pakketten (Aanhangsel 9).

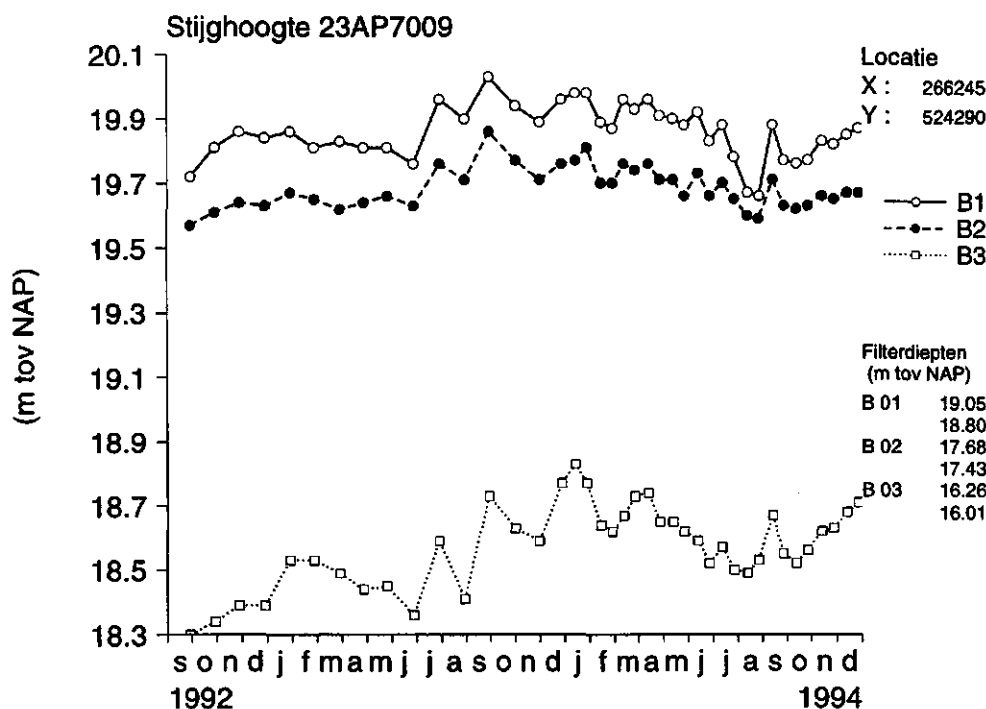


Fig. 16 Tijd-stijghoogteverloop voor een willekeurige meetlocatie met meerdere waarnemingsfilters in het veenpakket

Voor het veenpakket is geen isohypsenkaart opgesteld. Door het ingewikkelde patroon van compartimenten en stijghoogten kunnen deze isohypsen niet geautomatiseerd vervaardigd worden. Daarnaast is door de grote weerstanden in het veen de gemeten stijghoogte in het veen afhankelijk van de diepte van een waarnemingsfilter (Fig. 16). Dit maakt het zeer ingewikkeld om een isohypsenkaart van het veenpakket te vervaardigen.

Voor de isohypsen van het eerste watervoerende pakket waren voldoende goede peilbuiswaarnemingen voorhanden. Voornamelijk in het oostelijke deel van het studiegebied zijn veel peilbuizen aanwezig. Door de geautomatiseerde vervaardiging van de isohypsenkaarten is geen rekening gehouden met het oppervlaktewater. Hierdoor kunnen afwijkingen voorkomen op plaatsen waar grote waterlopen diep insnijden en relatief weinig peilbuizen voorhanden zijn.

Voor de isohypsen in het tweede watervoerende pakket, waren voornamelijk in het oostelijke deel van het gebied minder waarnemingen beschikbaar. In het westelijke deel van het studiegebied is de potentiaal gelijk aan de stijghoogte van het eerste watervoerende pakket door het ontbreken van de keileem en de beekleem.

In het isohypsenpatroon zijn de invloed van de Hondsrug en van het hoogveengebied duidelijk waar te nemen. Op deze lokaties is in het stijghoogteverloop een verhoging te zien.

Voor de isohypsen van het derde watervoerende pakket zijn veel minder waarnemingen beschikbaar. In het westelijke deel van het gebied komen de stijghoogten door het ontbreken van de tweede scheidende laag overeen met de stijghoogten in het tweede watervoerende pakket. Globaal gezien is de regionale stroming in dit pakket westelijk gericht. Door de geringe interactie van het pakket met het oppervlaktewater en een afname van het aantal waarnemingen is bij de isohypsen een geleidelijk verloop te zien.

4 Simulatie van de regionale hydrologie

4.1 Inleiding

Het implementeren van SIMGRO verloopt in twee fasen (zie ook par. 1.2). In de eerste fase wordt gebruik gemaakt van de beschikbare informatie over ruimtelijke kenmerken van het gebied en van informatie over eigenschappen van het abiotische en biotische systeem. In deze fase gaat het om 'direct' gebruik van informatie. In de tweede fase wordt beschikbare informatie over afvoeren, oppervlaktewaterpeilen en grondwaterstanden gebruikt voor het aanpassen van parameters. Het gaat daarbij om 'indirect' gebruik van informatie, bij de calibratie van het model.

In het navolgende wordt aangegeven hoe het model voor het (gecombineerde) studiegebied is geïmplementeerd; daarbij wordt de bovengenoemde indeling in fasen gevolgd.

Tegelijkertijd met de beschrijving van de eerste fase wordt op summiere wijze het model zelf beschreven. Die beschrijving dient ook om duidelijk te maken hoe ingrepen in het regionale systeem in het model worden ingevoerd in de scenario's (deel 2 van dit rapport).

4.2 Implementatie van het model

4.2.1 Ruimtelijke indeling en tijdstappen

Een driehoeksnetwerk vormt de meetkundige basis van de 'numerieke' berekening van grondwaterstroming met de methode van 'eindige elementen'. Aan de hand van het driehoeksnetwerk kan voor ieder knooppunt een zogenaamd 'invloedsoppervlak' worden geconstrueerd, dat hier een 'gridcel' zal worden genoemd.

In SIMGRO worden de gridcellen gegroepeerd tot 'afwateringseenheden'. Voorheen was er nog een tussenniveau in de ruimtelijke indeling (Van Walsum en Veldhuizen, 1996), namelijk die van subgebieden van de bodemwatermodule. In de huidige modelleringspraktijk wordt evenwel het bodemwater net als het grondwater op gridcel-niveau berekend. De daarvoor vereiste extra rekeninspanning is relatief gering, terwijl de rekennauwkeurigheid van het model fors verbetert. In het modelonderzoek als geheel spelen de waterbalanseenheden (par. 1.2 en 3.3.1) een cruciale rol bij de calibratie (par. 1.2 en 4.3), maar niet bij de simulaties.

Het model voor het studiegebied is geïmplementeerd met 659 afwateringseenheden en 8282 knooppunten. Om de afwateringseenheden in het model zo goed mogelijk te laten overeenkomen met die op de waterschapskaart zijn de punten van het

driehoeksnetwerk symmetrisch geplaatst ten opzichte van de begrenzingslijnen. Om dit met zo min mogelijke inspanning te bereiken zijn een aantal hulpprocedures opgenomen in het GIS-menu waarmee het model wordt opgezet (Van der Heijden en Van Walsum, in voorbereiding). Bij de plaatsing van de punten van het driehoeksnetwerk is alvast rekening gehouden met de begrenzingsvoorstellen voor maatregelen die in het scenario-onderzoek zijn doorgerekend (deel 2 van dit rapport).

In het model wordt met verschillende tijdstappen gewerkt voor de verschillende deelsystemen, toegesneden op hun reactietijd. Voor het grond- en bodemwater is dat 1 dag, voor het oppervlaktewater is dat 15 minuten.

4.2.2 Grondwater

4.2.2.1 Schematisering van de ondergrond

De stroming van grondwater wordt in SIMGRO op een geschematiseerde wijze beschreven door de ondergrond voor te stellen als een opeenvolging van (afwisselend) 'watervoerende' en 'slecht doorlatende' lagen. In de watervoerende lagen wordt de stroming geacht horizontaal te zijn, en in de slecht doorlatende verticaal. De onderste laag wordt altijd gevormd door de hydrologische basis, die als ondoorlatend wordt beschouwd. Voor de gehanteerde indeling wordt verwezen naar par. 2.3.1.

4.2.2.2 Randvoorwaarden en grondwaterwinningen

Voor het simuleren van de regionale grondwaterstroming is het nodig om langs de rand van het model de randvoorwaarden te kennen. Het beste is om daarvoor randvoorwaarden in de vorm van fluxen te nemen, in verband met het doorrekenen van scenario's. Stijghoogten als randvoorwaarden kunnen namelijk leiden tot niet-realistische waterbalans-effecten.

Voor het aanleveren van randvoorwaarden is gebruik gemaakt van het nationale grondwatermodel NAGROM (De Lange, 1991). NAGROM is een stationair model, zonder variatie in de tijd. SIMGRO is evenwel een niet-stationair model. Om dit verschil in type model te overbruggen is voor het studiegebied inclusief een schil van ca. 3 km breed (Fig. 17) een 'grof' SIMGRO-model opgezet, met als doel het berekenen van randvoorwaarden voor het eigenlijke modelgebied. Dit model is slechts een technisch hulpmiddel voor het berekenen van randvoorwaarden, waarvan behalve de maaiveldshoogten en geohydrologische parameters de databestanden met geschatte gebiedsgemiddelden zijn gevuld.

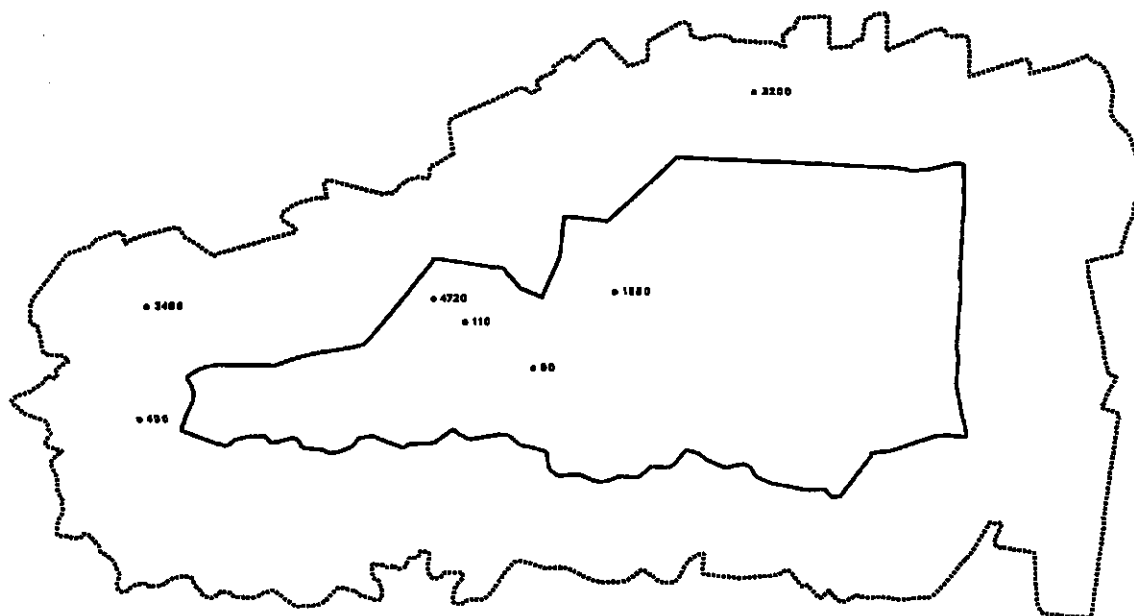


Fig. 17 Grens modelgebied en van het vergote modelgebied, inclusief 'schil'. Het vergote modelgebied wordt gebruikt voor de berekening van randvoorwaarden van het grondwatersysteem met een 'grof' model. Tevens zijn aangegeven de grondwaterwinningen in het gebied in m^3/d

4.2.3 Bodemwater en vegetatie-atmosfeer interacties

4.2.3.1 Schematisering, bodemgebruik en verdamping

In de bodemwater-module wordt onderscheid gemaakt tussen:

- vegetatie-atmosfeer-interacties;
- de wortelzone;
- het onverzadigde deel van de ondergrond (tussen onderkant wortelzone en grondwaterstand).

Voor de wortelzone en de ondergrond wordt met eenvoudige balans-modellen de dynamiek van het watergehalte gesimuleerd. Per gridcel en per bodemgebruiksvorm wordt een aparte simulatie uitgevoerd, waar in par. 4.2.3.2 nader op in wordt gegaan.

De berekening van de gewasverdamping wordt verricht in twee stappen:

- berekening van potentiële verdamping, door vermenigvuldiging van de referentie-gewasverdamping (van Makkink) met een gewasfactor;
- berekening van de actuele verdamping door (eventuele) reductie van de potentiële verdamping aan de hand van het berekende vochttekort.

De gebruikte gewasfactoren zijn ontleend aan Feddes (1987), behalve die voor 'natuur'. Daarvoor wordt gebruikt de gewasfactor voor pijpestrootje (*Molinea Caerulea*) die is bepaald door Schouwenaars (1990), en gereproduceerd in Fig. 18. Bij tijdelijke inundatie wordt een 'gewasfactor' van 1,0 gebruikt, en niet die van open water (ca. 1,25). Door de vegetatie wordt namelijk het inundatiewater afgeschermd tegen de wind, waardoor de verdamping wordt getemperd. Deze conclusie is

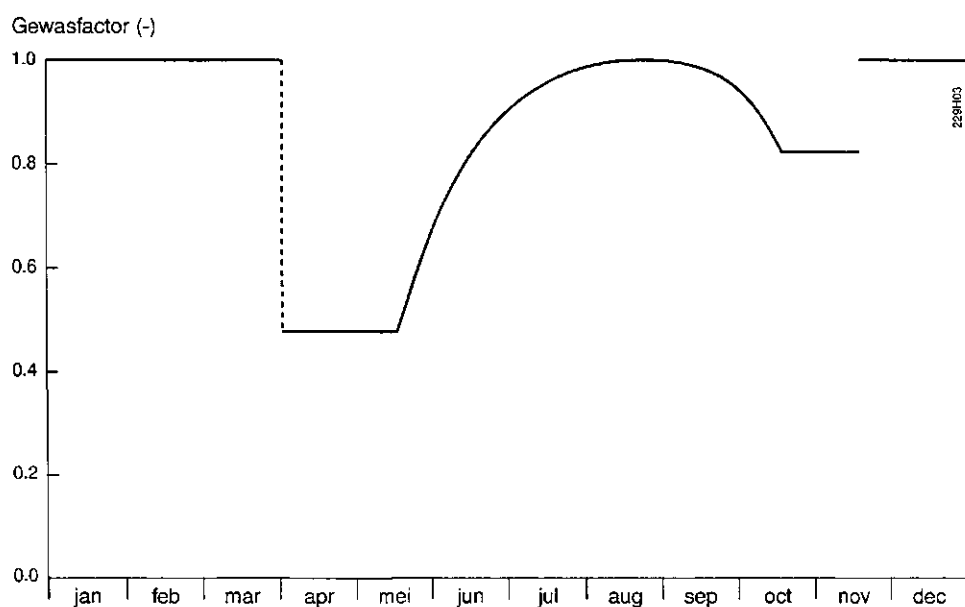


Fig. 18 Gewasfactor voor de berekening van de potentiële verdamping van pijpestrootje uit de referentieverdamping van Makkink, ontleend aan Schouwenaars (1990).

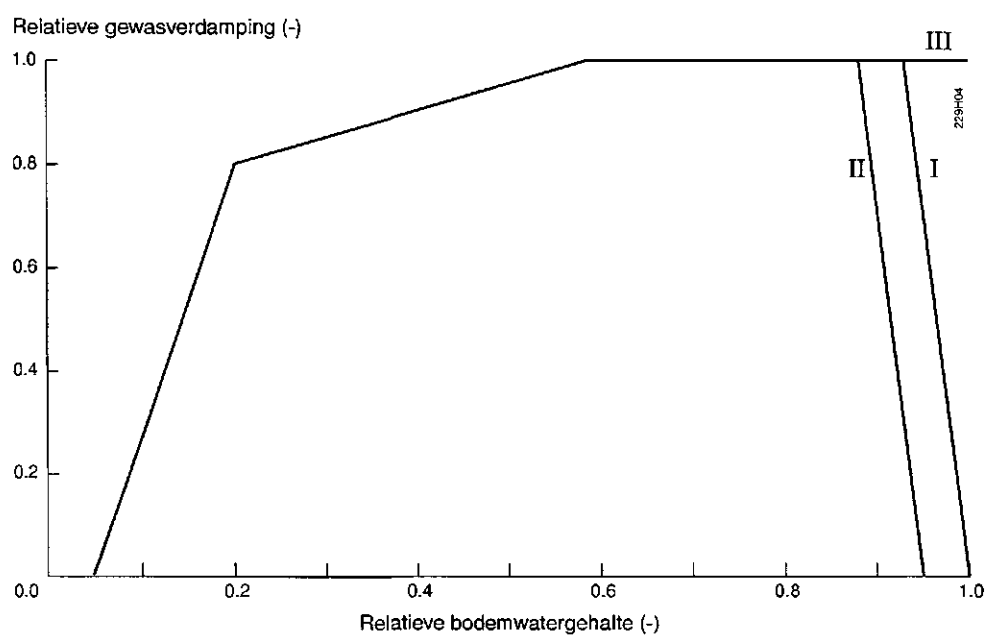


Fig. 19 Relaties voor de berekening van de relatieve verdamping (actuele verdamping gedeeld door de potentiële verdamping); I = standaardcurve, II = gewassen die gevoelig zijn voor wateroverlast, b.v. aardappelen; III = grasland en vegetaties in natte natuurgebieden

gebaseerd op ervaringen in zowel de Fochteloërveenstudie (van Walsum en Veldhuizen, 1996) als de huidige.

De (eventuele) reductie van de potentiële verdamping tot de actuele verdamping wordt in SIMGRO gebaseerd op de verhouding tussen het totale watergehalte van de

wortelzone gedeeld door het evenwichts-watergehalte. De gebruikte relaties zijn weer-gegeven in Fig. 19. Voor 'natuur' wordt gebruik gemaakt van relatie III.

4.2.3.2 Balansmodel van bodemwater in de wortelzone

In het balansmodel van het water in de wortelzone worden alle in- en uitgaande termen bijgehouden:

- neerslag en verdamping;
- oppervlakkige afstroming;
- percolatie en capillaire opstijging.

Oppervlakkige afstroming wordt berekend indien de neerslagintensiteit de infiltratie-capaciteit overschrijdt of indien er water op het maaiveld staat ('inundatie'). Of deze afstroming ook daadwerkelijk plaatsvindt hangt echter ook af van de situatie in het afwateringssysteem: indien de waterlopen afgedamd zijn, zoals in vernatte natuurgebieden, dan moet het peil eerst zijn gestegen tot boven de 'afvoerdrempel' om het afvoerproces te kunnen laten beginnen. Hier wordt in par. 4.2.4 verder op ingegaan.

Percolatie wordt berekend indien het watergehalte van de wortelzone het zogenaamde evenwichtswatergehalte overschrijdt. Het evenwichtswatergehalte is het watergehalte dat in evenwicht is met de diepte van de grondwaterstand, in afwezigheid van stroming (d.w.z. er heerst een hydrostatische drukverdeling). Capillaire opstijging wordt berekend wanneer het watergehalte beneden de evenwichtswaarde blijft.

Het balans-model maakt gebruik van rekenresultaten die vooraf met het ééndimensionale numerieke model CAPSEV zijn verkregen (Wesseling, 1991). Het model CAPSEV heeft als invoer de opbouw van lagen en de bijbehorende bodemfysische parameters. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van een vertaling van bodemeenheden op de Bodemkaart 1 : 50 000 naar bouwstenen van de Staringreeks, zoals die voor het Fochteloërveen en omgeving is opgesteld (Stolte e.a. 1996). Deze vertaling aangevuld is met enkele bodemeenheden die wel in het huidige studiegebied voorkomen maar niet in de omgeving van het Fochteloërveen (Aanhangsel 1).

Voor iedere bodemeenheid wordt met CAPSEV een reeks berekeningen gemaakt voor een opeenvolging van grondwaterstandsdiepten. De volgende parameters worden daarbij verkregen voor gebruik in het balansmodel, voor iedere grondwaterstandsdiepte:

- het evenwichtswatergehalte van de wortelzone, d.w.z. het watergehalte van de wortelzone dat in evenwicht is met een bepaalde diepte van de grondwaterstand;
- de capillaire opstijging bij een pF-waarde van 3,0 in de wortelzone.

In het kader van deze studie is de SIMGRO-berekening van capillaire opstijging gemodificeerd. Voorheen werd de *maximale* capillaire opstijging berekend *zodra* het watergehalte beneden de evenwichtswaarde dreigde te zakken (wel werd vermeden dat het watergehalte nadien hoger uitkwam dan de evenwichtswaarde). In deze studie is de capillaire opstijging geïnterpoleerd met:

$$q_c = q_{c,pF=3} \sqrt{(V_{eq} - V)/(V_{eq} - V_{pF=3})} \quad (2)$$

waarin:

- q_c - capillaire opstijging berekend door SIMGRO (m/d)
- $q_{c,pF=3}$ - capillaire opstijging berekend door CAPSEV bij $pF=3,0$ (m/d)
- V - watergehalte wortelzone in SIMGRO (m)
- V_{eq} - evenwichtswatergehalte wortelzone (m)
- $V_{pF=3}$ - watergehalte wortelzone bij $pF=3,0$ (m)

Deze wijze van interpolatie houdt er rekening mee dat capillaire opstijging pas kan plaatsvinden als het watergehalte daalt tot beneden de evenwichtswaarde (die afhankelijk is van de heersende grondwaterstand). Gebruik van de genormaliseerde wortelfunctie brengt tot uitdrukking dat de capillaire opstijging bij beginnende uitdroging eerst snel toeneemt en daarna afvlakt als gevolg van het afnemen van de onverzadigde doorlatendheid bij afnemend vochtgehalte. Overigens ligt het meer voor de hand om in toekomstig onderzoek de interpolatiefunctie aan CAPSEV-berekeningen te ontleen.

4.2.3.3 Balansmodel van bodemwater in de ondergrond

Berging in het deel van de ondergrond dat onverzadigd kan raken, wordt eveneens gesimuleerd met een eenvoudig balansmodel. Voor het maken van de balans wordt een systeemvolume gehanteerd een ondergrens beneden de laagst voorkomende grondwaterstand. In- en uitgaande termen zijn onder andere de percolatie-/capillaire opstijgingshoeveelheden die berekend zijn met het model voor de wortelzone. Andere termen hebben betrekking op het verzadigde deel van het grondwater (par. 4.2.2) en de interactie met het oppervlaktewater (par. 4.2.4). De berekende balansafwijking wordt omgezet naar een verandering van grondwaterstand via de zogenaamde freatische bergingscoëfficiënt. Deze coëfficiënt geeft aan hoeveel balansafwijking nodig is per eenheid van grondwaterstandsverandering.

In het model wordt met een variërende waarde van de freatische bergingscoëfficiënt gewerkt, waarbij deze coëfficiënt geheel afhankelijk wordt gesteld van de diepte van de grondwaterstand. In werkelijkheid is de bergingscoëfficiënt ook afhankelijk van het watergehalte van de wortelzone. Voor het modelleren op regionale schaal wordt de gevolgde benadering echter als voldoende nauwkeurig beschouwd.

De waarde van de freatische bergingscoëfficiënt als functie van de grondwaterstands-diepte is eveneens met CAPSEV berekend, door een serie berekeningen te maken voor verschillende grondwaterstandsdieptes. Per grondwaterstandsdiepte is voor een representatief geachte bodemwaterdruk in de wortelzone ($pF=2,5$) een berekening gemaakt van het totale watergehalte van de ondergrond. Het verschil in het totale watergehalte tussen twee opeenvolgende diepten van de grondwaterstand is het bergingsverschil voor dat traject. Deling door het grondwaterstandsverschil geeft de waarde van de freatische bergingscoëfficiënt. Een kenmerkend verloop van de aldus

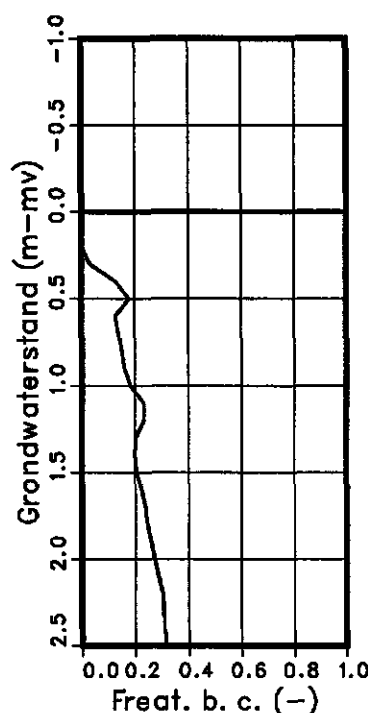


Fig. 20 Kenmerkend verloop van de freatische bergingscoëfficiënt, als functie van de grondwaterstandsdiepte, berekend met CAPSEV (Wesseling, 1991). De bergingscoëfficiënt boven 0,2 m-mv is per definitie nul, omdat deze berging apart wordt bijgehouden in het balansmodel voor de wortelzone

berekende bergingscoëfficiënt is weergegeven in Fig. 20. Boven het niveau van de wortelzone is de coëfficiënt 0.0, omdat de berging in de wortelzone elders wordt berekend (par. 4.2.3.2).

4.2.3.4 Berging van water op het maaiveld

Water dat op maaiveld staat als gevolg van volledige verzadiging van de ondergrond is in feite 'zichtbaar' grondwater, dat via voortplanting van de waterdruk in contact staat met het diepere grondwater (dit geldt overigens ook voor open water). De extra waterdruk door plasvorming op het maaiveld heeft gevolgen voor wegzijging (of kwel). Om deze reden wordt de berging van water op het maaiveld meegenomen in de balansberekening van de ondergrond: de relatie tussen de grondwaterstand en de freatische bergingscoëfficiënt wordt aangepast.

In werkelijkheid begint inundatie meestal op lokale schaal, terwijl de kleinste model-eenheden, de gridcellen van het grondwatermodel, representatief zijn voor ca. 2,3 ha elk. Om dit schaalverschil te overbruggen maakt het model gebruik van de maaiveldshoogteverdeling binnen een gridcel. Deze maaiveldshoogteverdeling wordt verwerkt tot een diagram dat de relatie aangeeft tussen het waterpeil ten opzichte van het gemiddelde maaiveld en het aandeel van een gridcel dat onder water is gelopen, het zogenaamde fractioneel inundatie-diagram (Fig. 21).

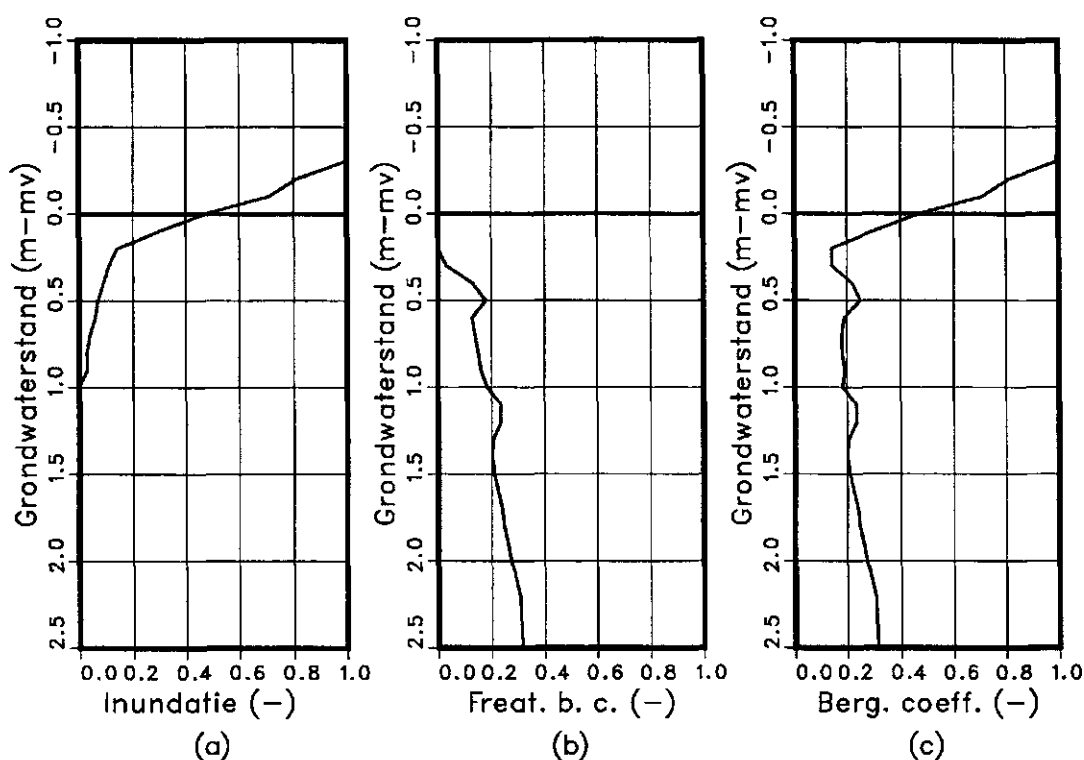


Fig. 21 Voorbeeld van een fractioneel inundatie-diagram (a): het aandeel van een gridcel dat onder water is gelopen als functie van de grondwaterstand ten opzichte van het gemiddelde maaiveld. Opgeteld bij de freatische bergingscoëfficiënt van de ondergrond (b) levert dit de totale bergingscoëfficiënt (c)

Het fractioneel inundatie-diagram wordt gebruikt voor het opsplitsen van een gridcel in open water en grond. Dat heeft gevolgen voor zowel de grondwaterberging (het open water wordt bij het grondwater gerekend) als de verdamping (zie par. 4.2.3.1). De totale grondwaterberging wordt berekend als de optelsom in het open-water-deel en het grond-deel (Fig. 21). Daarbij wordt de curve voor de berging in het gronddeel gehanteerd als een curve die geldig is voor de gemiddelde omstandigheden, gerekend over de hele gridcel: Als gevolg van de variatie van de maaiveldsligging zal in werkelijkheid een deel van de grond reeds geheel verzadigd zijn (d.w.z. onder water staan, met een freatische bergingscoëfficiënt van nul); het resterende zal daarentegen hoger boven de grondwaterspiegel uitsteken dan gemiddeld (met een freatische bergingscoëfficiënt die hoger is dan de waarde bij gemiddelde grondwaterstand).

4.2.4 Oppervlaktewater

4.2.4.1 Schematisering

Binnen een afwateringseenheid wordt onderscheid gemaakt tussen vier klassen van waterlopen, die via een afwateringsstructuur met elkaar verbonden zijn:

- grotere waterlopen met vooral een afwateringsfunctie;
- kleinere waterlopen met vooral een ontwateringsfunctie (sloten);
- drains;
- greppels.

De dynamiek van het oppervlaktewater wordt gesimuleerd met een netwerk van reservoirs, één per afwateringseenheid. De netwerkstructuur definieert de wijze waarop de reservoirs een cascade vormen, en komt overeen met de afwateringsstructuur zoals die door het waterschap is geïnventariseerd (zie Bijlage 3 en 4).

Indien een grotere waterloop niet bij het natuurlijke afwateringssysteem hoort (b.v. een kanaal dat in ophoging tussen twee dijken loopt), dan wordt deze in een aparte afwateringseenheid ondergebracht. Dergelijke afwateringseenheden hebben geen onderverdeling in gridcellen, en vormen wat dit aspect betreft een uitzondering op het in par. 4.2.1 beschreven indelingsprincipe van ruimtelijke eenheden. Wel is het mogelijk dat de kanaalsegmenten van een 'gridcel-loze afwateringseenheid' een wisselwerking hebben met de gridcellen van het grondwatersysteem die binnen een naastgelegen afwateringseenheid vallen.

4.2.4.2 Interactie tussen grond- en oppervlaktewater

De interacties tussen grond- en oppervlaktewater worden berekend op het niveau van gridcellen van het grondwatermodel. Een drainage-/infiltratieflux wordt per klasse van waterlopen berekend door het peilverschil tussen grond- en oppervlaktewater te delen door de drainage-/infiltratieweerstand. Daarom moet per ontwateringsmiddel een drainage- en infiltratieweerstand bekend zijn, en tevens de ontwateringsdiepte in de vorm van een bodemhoogte.

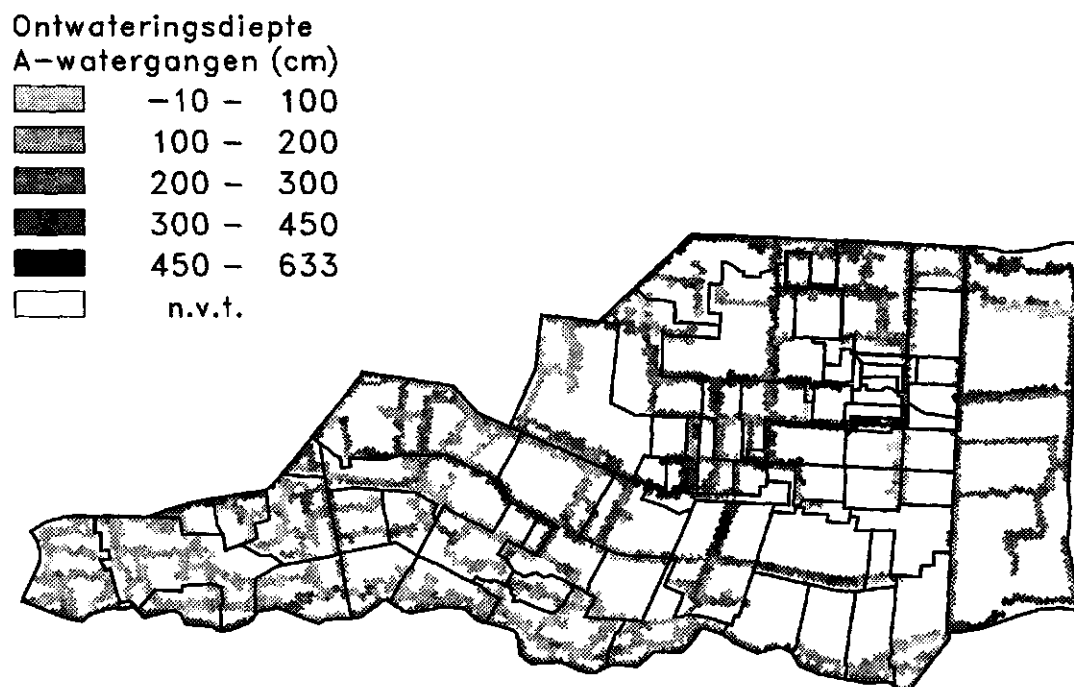


Fig. 22 Ontwateringsdiepte van grotere waterlopen ("A-watergangen"), voor gridcellen van het grondwatermodel

Laag ondergrond

A-watergangen

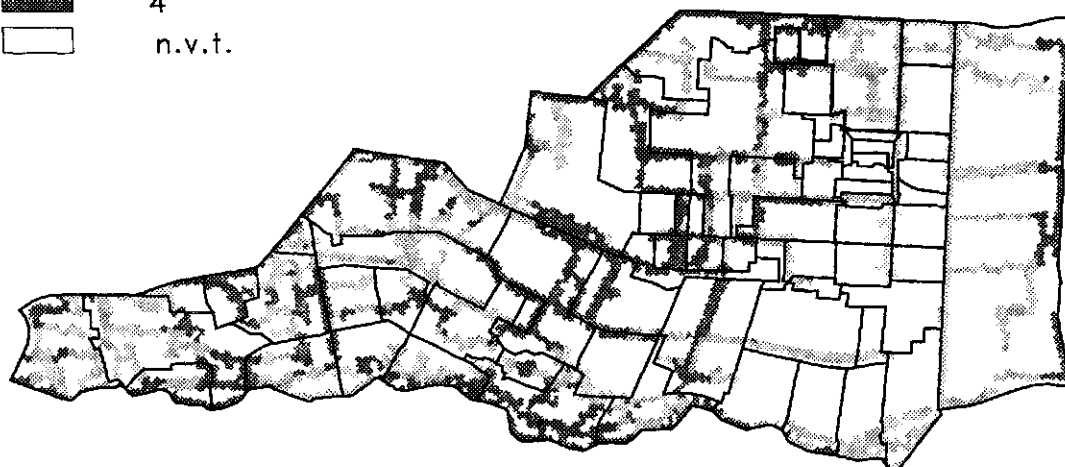
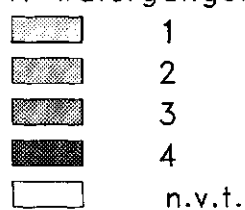


Fig. 23 Geohydrologische laag waar grotere waterlopen ("A-watergangen") mee in contact staan, voor gridcellen van het grondwatermodel

Drainageweerstand

A-watergangen (d)

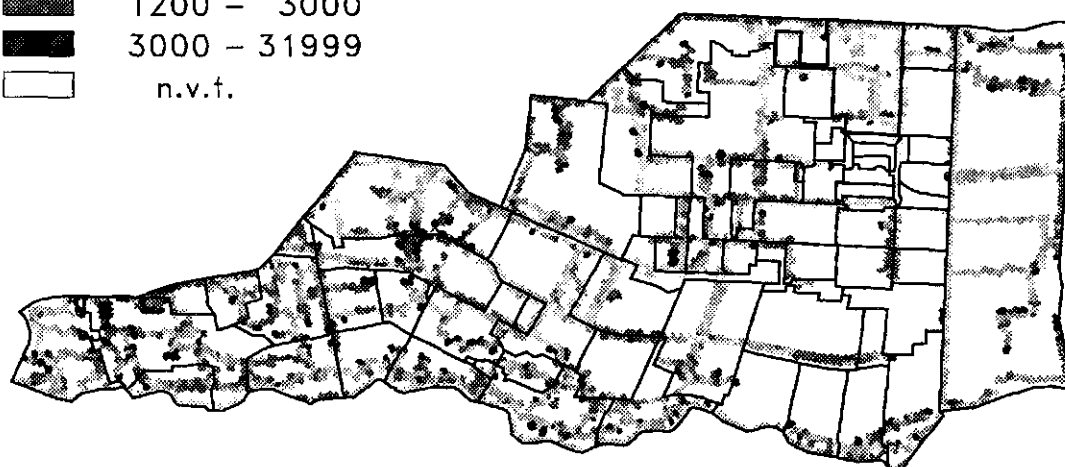
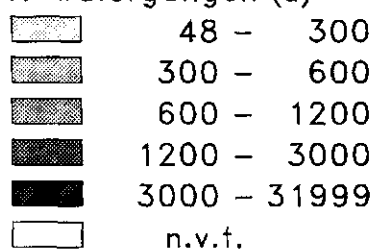


Fig. 24 Drainageweerstand (vervangingswaarde) van grotere waterlopen ("A-watergangen"), voor gridcellen van het grondwatermodel

Voor de grotere waterlopen is een overzicht van de ontwateringsdiepte gegeven in Fig. 21. Bij de berekening van drainageweerstand aan de hand van simulaties met FLONET (Guigier e.a., 1991) is dit niveau als potentiaalrandvoorwaarde ingevoerd. Bij die berekeningen is ook rekening gehouden met de echte (dieper gelegen) bodemhoogtes. Een dieper gelegen bodemhoogte kan namelijk inhouden dat een slecht doorlatende deklaag volledig wordt doorsneden, waardoor de drainageweerstand sterk omlaaggaat (met name bij doorsnijding van de keileemlaag). Een overzicht van de aangesneden laag is gegeven in Fig. 23. De drainageweerstand van grotere waterlopen is in het model ingevoerd voor ieder stukje waterloop dat een afwijkend dwarsprofiel heeft. Voor presentatie- en interpretatiedoeleinden is per gridcel een vervangingsweerstand berekend (Fig. 24).

In Fig. 25 is een overzicht gegeven van de bodemdieptes van sloten en in Fig. 26 van de geohydrologische laag waar de sloten mee in contact staan (die van gridcel tot gridcel kan verschillen). In Fig. 27 is een overzicht gegeven van de met FLONET berekende drainageweerstand.

Ontwateringsdiepte
sloten (cm)

	30
	85 – 100
	100 – 150
	150 – 250
	250 – 389
	n.v.t.

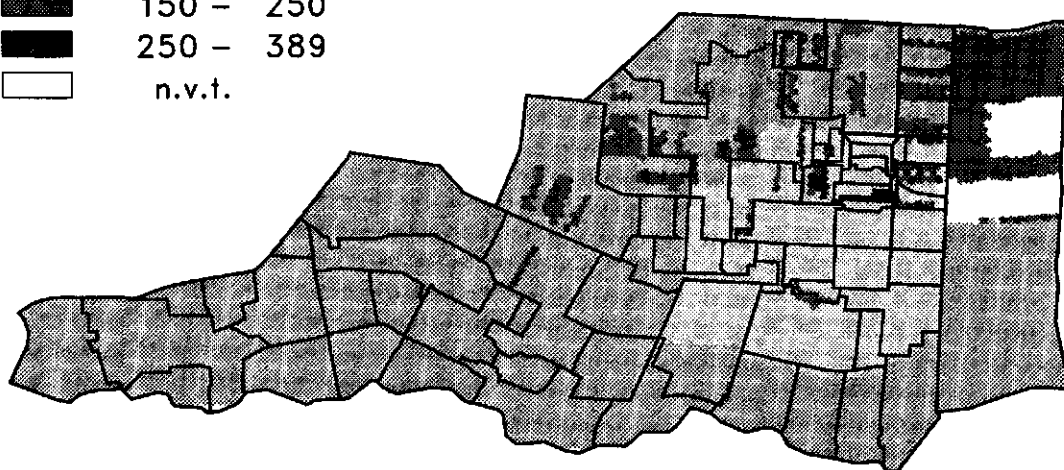


Fig. 25 Bodemdiepte van sloten, voor gridcellen van het grondwatermodel

Laag ondergrond
sloten

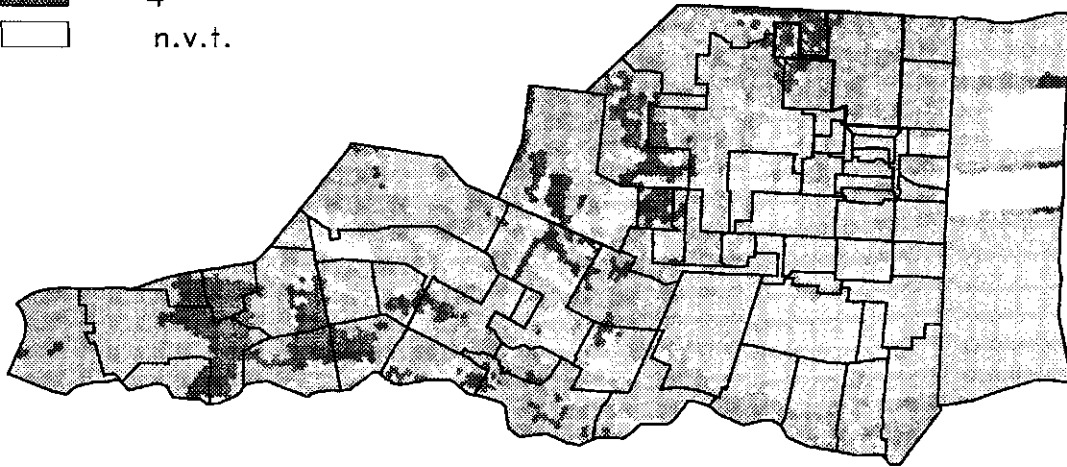
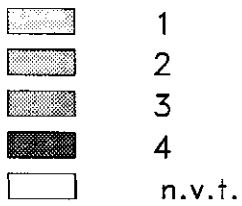


Fig. 26 Geohydrologische laag waar sloten mee in contact staan, voor gridcellen van het grondwatermodel

Drainageweerstand
sloten (d)

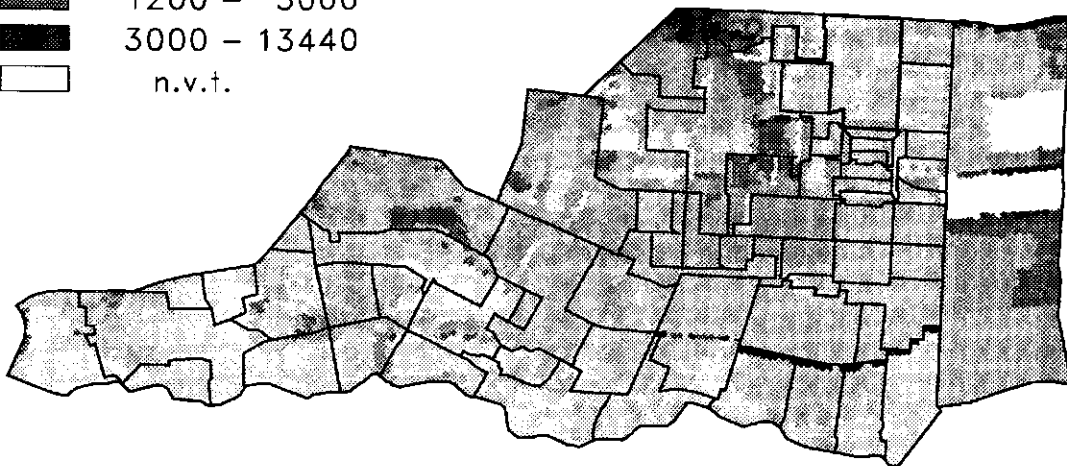
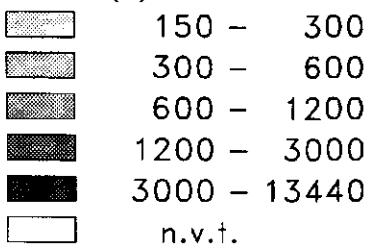


Fig. 27 Drainageweerstand van sloten, voor gridcellen van het grondwatermodel

In de studie is abusievelijk aangenomen dat er in het gebied nauwelijks sprake is van buisdrainage. In het model komt dit type ontwateringsmiddel derhalve niet voor. In werkelijkheid zijn er aanzienlijke arealen gedraineerd, ook al blijkt dat niet uit de (verouderde) inventarisatie die is opgenomen in Bijlage 8. Dit is evenwel goeddeels rechtgezet doordat bij de calibratie de slootweerstandens plaatselijk sterk zijn verlaagd (zie par. 4.3).

Greppels zijn er altijd, eventueel in de vorm van het lagere gelegen deel van het maaiveld. Bij stijgende grondwaterstand komt een steeds groter deel van het maaiveld blank te staan. Dat heeft niet alleen gevolgen voor de bergingscoëfficiënt (die bij volledig blank staan 1,0 bedraagt), maar ook voor de 'greppel'-weerstand: die neemt steeds verder af, totdat bij volledig blank staan er geen sprake meer is van een weerstand. Het afnemen van de greppelweerstand bij stijgende waterstand wordt in het model gesimuleerd. In het model is als greppeldiepte een standaardwaarde van 0,2 m-mv genomen en een drainageweerstand van 25 d.

Afhankelijk van het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand wordt er drainage (of infiltratie) berekend voor maximaal vier soorten ontwateringsmiddelen. Om een ontwateringsmiddel 'actief' te laten zijn moet of het oppervlaktewaterpeil of de grondwaterstand (of beide) de bodemhoogte overstijgen. Indien de grondwaterstand hoger is dan het oppervlaktewaterpeil (drainage) dan wordt per gridcel van een afwateringseenheid het oppervlaktewaterpeil vertaald naar een ontwateringsbasis, voor iedere klasse van waterlopen:

- indien het peil *lager* is dan de bodemhoogte van de betreffende klasse van waterlopen, dan wordt de ontwateringsbasis gelijkgesteld aan de bodemhoogte;
- indien het peil *hoger* is dan de bodemhoogte, dan wordt de ontwateringsbasis gelijkgesteld aan het oppervlaktewaterpeil.

De drainage/infiltratiefluxen van de verschillende ontwateringsmiddelen worden vervolgens bij elkaar opgeteld. Deze methode is gebaseerd op de aanname dat de drainage-/infiltratieweerstand geconcentreerd is in de directe omgeving van een waterloop.

4.2.4.3 Dynamiek van het oppervlaktewater

De waterbalans van een afwateringseenheid wordt gesimuleerd met één reservoir voor het geheel van grotere en kleinere waterlopen. Voor ieder reservoir wordt een relatie afgeleid tussen berging en peil, de zogenaamde bergingsrelatie, en tussen afvoer en peil, de afvoerrelatie. Tevens wordt voor periodes met automatische peilregeling het streefpeil ingevoerd. In het studiegebied gaat het in veel gevallen niet alleen om een zomerstreefpeil, maar ook om een (lager) winterstreefpeil (zie ook par. 2.5.1). Bij de simulatie van het peil wordt altijd een waterbalans opgesteld. Afhankelijk van inrichting, type beheer, en de tijdsperiode in het jaar (zomer/winter) wordt of van de afvoerrelatie of van het streefpeil gebruikt gemaakt bij de peilsimulatie. Op de verschillende soorten simulaties wordt in het onderstaande ingegaan.

Bij gebruik van de afvoerrelatie wordt een natuurlijke situatie gesimuleerd (waterloop met een bepaalde bodemhoogte) of een stuw met een vaste klepstand ('vaste stuw'). Bij gebruik van een streefpeil wordt een 'automatische stuw' gesimuleerd; de klepstand wordt automatisch bijgesteld, gericht op handhaving van het ingestelde streefpeil. Per afwateringseenheid kan in het model de simulatie-optie worden gespecificeerd, die voor het zomer- en winterhalfjaar kan verschillen. Voor natuurlijke situaties zal tijdens zowel zomer en winter de berekening geschieden op basis van de afvoerrelatie. In veel 'kunstmatige' situaties zal tijdens de winterperiode de automatische stuw zijn gestreken; het peil wordt dan gesimuleerd met de afvoerrelatie. In de zomerperiode zullen de stuwen worden ingesteld om een bepaald streefpeil te handhaven.

Het peil waarbij nog net geen afvoer optreedt wordt hier de afvoerdrempel genoemd. In het geval van een vaste stuw komt de afvoerdrempel overeen met het nulpunt van de afvoerrelatie. In het geval van een automatische stuw komt de afvoerdrempel overeen met het streefpeil. In situaties met wateroverschot (drainage) is de afvoerdrempel een van de belangrijkste inrichtingsparameters. In Fig. 28 is (als voorbeeld) een ruimtelijk beeld gegeven van de afvoerdrempel, vertaald naar een niveau ten opzichte van maaiveld. Daarbij is aangenomen dat bij het bovenstrooms 'doorwerken' van een bepaald peil er geen verdere opstuwing is. Die aanname is gebaseerd op het feit dat in het studiegebied de waterlopen (vrijwel) overal overgedimensioneerd zijn.

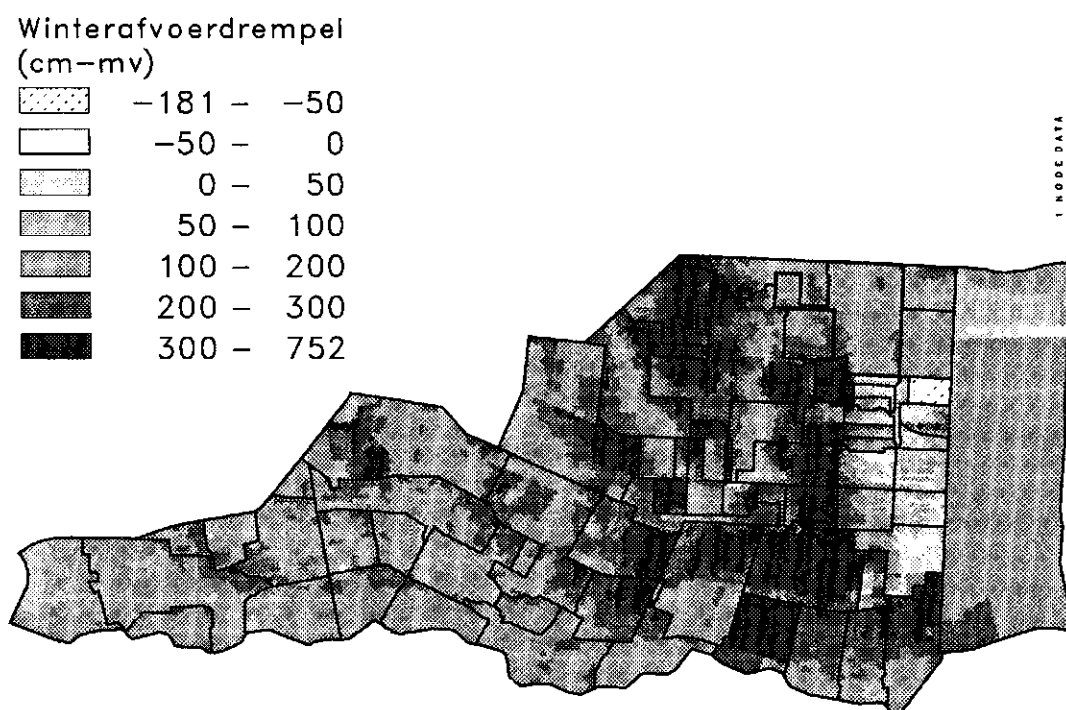


Fig. 28 Afvoerdrempel voor drainagesituaties in de winterperiode. De afvoerdrempel is het niveau waarop nog net geen afvoer plaatsvindt. In de figuur is nog geen rekening gehouden met de invloed van kleinere waterlopen

Winterafvoerdrempel
(cm-mv)

	-181 - -50
	-50 - 0
	0 - 50
	50 - 100
	100 - 200
	200 - 300
	300 - 477

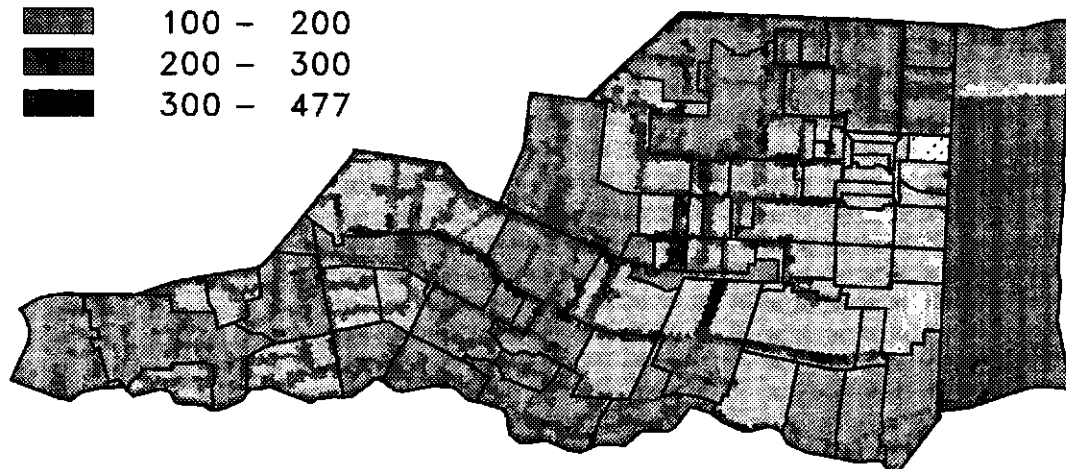


Fig. 29 Afvoerdrempel voor drainagesituaties in de winterperiode, waarbij wél rekening is gehouden met de diepte van kleinere waterlopen (vgl. Fig. 28). In gridcellen die niet worden doorsneden door een grotere waterloop wordt de afvoerdrempel bepaald door de bodemdiepte van kleinere waterlopen

In het ruimtelijk beeld van Fig. 28 is nog geen rekening gehouden met de bodemhoogtes van de kleinere waterlopen; vandaar de grote 'maximale' diepte van de drempel, zoals door de legenda is aangegeven. In Fig. 29 is wél rekening gehouden met de bodemdiepte van de kleinere waterlopen. Dan blijkt de maximale drempeldiepte sterk te verminderen in gridcellen die niet worden doorsneden door een grote waterloop. Overigens is in geen van de twee figuren iets terug te zien van de zogenaamde koppelleidingen. Dat zijn de leidingen die in feite 'tussen' de grens van twee afwateringseenheden lopen, die 'nergens' bijhoren. Deze leidingen hebben een directe invloed op de gridcellen van aangrenzende afwateringseenheden. Een geschikte visualisatie is vooralsnog niet voorhanden.

In situaties met watertekort is een van de belangrijkste inrichtingsparameters het streefpeil. In Fig. 30 is (als voorbeeld) een overzicht gegeven van de zomerstreefpeilen. In gebieden met een 'automatische' stuwpeilregeling komt het zomerstreefpeil overeen met het ingestelde peil. In de praktijk hoeft er overigens niet sprake te zijn van een 'echte' automatische stuw, maar kan een vaste stuw op en neer gelaten worden gelaten, al naar gelang de omstandigheden, gericht op het zo goed mogelijk handhaven van een bepaald streefpeil. In gebieden met een vaste stuw (ook in zomer) is het nulpunt van de afvoerrelatie als streefpeil geïnterpreteerd. In Fig. 30 is nog geen rekening gehouden met het feit dat een streefpeil lokaal pas invloed kan hebben

Zomerstreefpeil
(cm-mv)

	-181 -	-50
	-50 -	0
	0 -	50
	50 -	100
	100 -	200
	200 -	300
	300 -	674

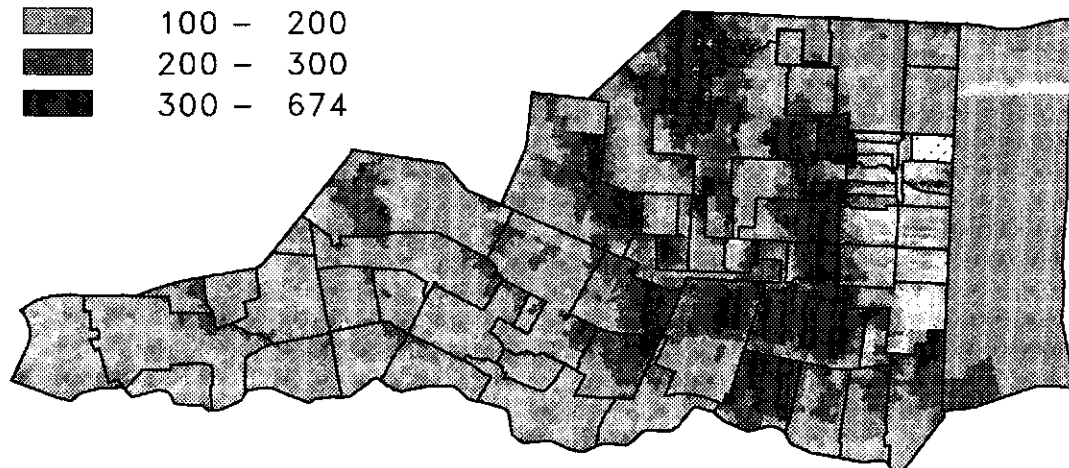


Fig. 30 Zomerstreefpeil voor situaties met infiltratie in de zomerperiode. In de figuur is nog geen rekening gehouden met de invloed van de bodemdiepte van kleinere waterlopen, het betreft dus een 'rekenpeil'

Zomerstreefpeil
(cm-mv)

	-181 -	-50
	-50 -	0
	0 -	50
	50 -	100
	100 -	200
	200 -	300
	300 -	477
	n.v.t.	

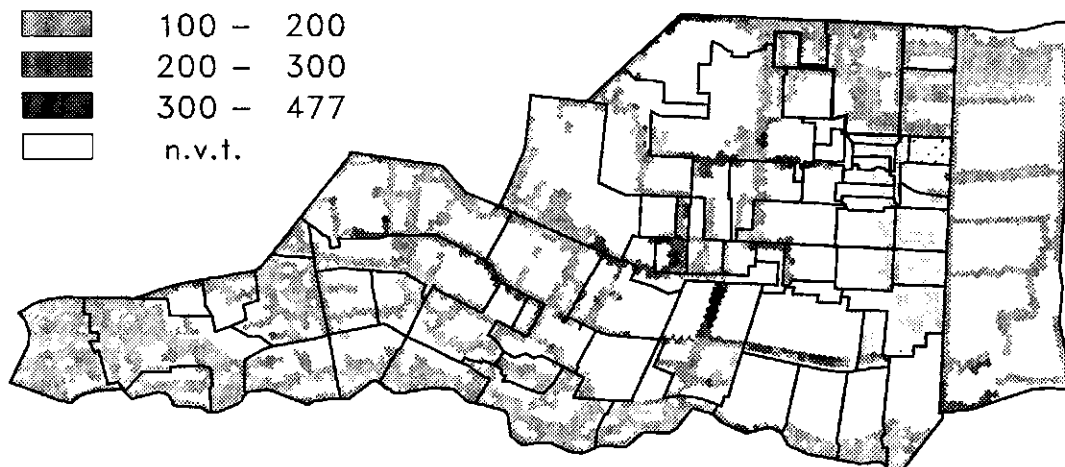


Fig. 31 Zomerstreefpeil voor situaties met infiltratie in de zomerperiode. In de figuur is wél rekening gehouden met de bodemdiepte van kleinere waterlopen in gridcellen die niet worden doorsneden door een grotere waterloop (vgl. Fig. 30): het streefpeil is alleen ingekleurd indien het peil de bodemhoogte van een grotere en/of kleinere waterloop in een gridcel overstijgt

als het niveau zich boven de bodemhoogte van een waterloop bevindt. Als het streefpeil de bodemhoogte van geen enkele soort waterloop in een gridcel overstijgt, dan heeft het nog slechts een rol als 'rekenpeil'. In Fig. 31 is de uitbeelding van het streefpeil beperkt tot die gridcellen waar het peil zich ook daadwerkelijk manifesteert. De gridcellen die in watertekort-situaties droog komen te vallen zijn blanco gelaten. Of een streefpeil wordt gerealiseerd hangt tenslotte af van het aanbod van gebiedseigen water dat op natuurlijke wijze afstroomt via de afwateringsstructuur, of van aanvoer van gebiedsvreemd water (zie Fig. 7).

4.3 Calibratie

4.3.1 Inleiding

Het is van groot belang dat bij de calibratie op een systematische manier wordt gewerkt, door een van te voren opgesteld stappenplan te volgen (zie ook par 1.2). Het volgende plan is hier gevolgd:

- om het resultaat van een run te kunnen 'waarderen' is een doelfunctie gedefinieerd, die een maat is voor het verschil tussen model en waarnemingen;
- op basis van kennis en inzicht is een keuze gemaakt voor de te onderzoeken parameters; daarbij is tevens een indeling in zones gemaakt, waarbinnen de parameters op gelijksoortige wijze worden gevarieerd;
- om de gevoeligheid van het model af te tasten voor veranderingen van parameters is een systematische gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, door per zone en per parameter enkele runs te maken;
- met een geautomatiseerde procedure zijn per waterbalansenheid de meest gevoelige parameters geselecteerd en zijn aanpassingen van parameters doorgevoerd;
- naderhand is een onzekerheidsanalyse doorgevoerd, die doorgetrokken is naar de simulaties van de belangrijkste scenario's.

Na afloop van de calibratie is het 'gebruikelijk' om te trachten het model te toetsen aan de hand van een onafhankelijke waarnemingsset. Zoals aangegeven in par. 1.2 gaat de validatie meestal onderdeel vormen van de calibratie. Dan kan men beter de validatie niet als formele stap benoemen, omdat dit niet terecht is. Daarom is ervoor gekozen om alle beschikbare gegevens te gebruiken bij de calibratie, d.w.z. de gegevens van 1 november 1992 tot en met 30 november 1994.

In de navolgende paragrafen worden achtereenvolgens de doorlopen stappen beschreven.

4.3.2 Doelfunctie en zonering

De doelfunctie is een maat voor de overeenkomst tussen waarnemingen en simulaties. Voor deze maat zijn er verschillende mogelijkheden. Het maken van een wetenschappelijk verantwoorde keuze daaruit is vooralsnog een onhaalbare kaart.

Daarvoor zijn er teveel factoren die een rol kunnen spelen, zoals de beschikbaarheid en kwaliteit van de individuele waarnemingen, het doel van het modelonderzoek, enz. Dat neemt niet weg dat bij het maken van een keuze enkele principes kunnen worden gevolgd die de kwaliteit van de calibratie ten goede komen.

Zowel afvoer- als stijghoogtegegevens waren beschikbaar. Het lag voor de hand om beide typen gegevens te gebruiken bij de calibratie. Daarbij dient men zich te bedenken dat afvoer- en stijghoogtegegevens geheel anderssoortig zijn. De afvoer is de restterm van de waterbalans en geeft informatie over een vlak. Wel moet worden bedacht dat de meeste afvoermetingen voor individuele waterbalanseenheden zijn afgeleid uit het verschil tussen metingen van in- en uitstroming. Dat kan grote relatieve fouten ten gevolge hebben (zie Aanhangsel 8).

Stijghoogtegegevens zijn op zichzelf vaak heel nauwkeurig. Maar met name metingen van de bovenste lagen bevatten slechts puntinformatie die door toevallige lokale omstandigheden sterk kunnen zijn beïnvloed. Vooral het microreliëf kan grote invloed uitoefenen op de lokale grondwaterstand.

Een belangrijke keuze betrof de indeling in ruimtelijke eenheden die bij de calibratie wordt gehanteerd, de zogenaamde zonering. Deze zonering bepaalt de ruimtelijke schaal waarop de deeltermen van de doelfunctie worden berekend en tevens de zones waarbinnen parameters nog op een gelijksoortige wijze worden bijgesteld. Het lag voor de hand de zonering aan te laten sluiten bij de indeling in waterbalanseenheden van het veldonderzoek.

De afwijkingen tussen metingen en simulaties kunnen op verschillende manieren worden uitgedrukt. In deze studie is ervoor gekozen om voor de afvoeren te werken met de systematische afwijking ME_q en voor de stijghoogten te werken met de gemiddelde absolute fout, de MAE_H . De berekening van de ME_q geschiedt per waterbalanseenheid als volgt:

$$ME_q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_{si} - q_{mi}) \quad (3)$$

waarin:

- ME_q = systematische afwijking (geen absolute waarde) van de dagafvoeren (mm.d^{-1})
- n = aantal waarnemingen van de dagafvoeren binnen de calibratieperiode
- q_s = gesimuleerde dagafvoer (mm.d^{-1})
- q_m = gemeten dagafvoer (mm.d^{-1})

Per meetlokatie van de stijghoogte wordt de standaardfout berekend met:

$$MAE_H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |H_{si} - H_{mi}| \quad (4)$$

waarin:

- MAE_H = gemiddelde absolute fout van de stijghoogten (m)
 n = aantal waarnemingen van stijghoogten binnen de calibratieperiode(-)
 H_s = gesimuleerde stijghoogte (m+NAP)
 H_m = gemeten stijghoogte (m+NAP)

Gekozen is voor de *MAE* en niet voor de *RMSE* (*Root Mean Squared Error*) omdat de *MAE* minder gevoelig is voor uitschieters. De *RMSE* kan men eigenlijk alleen gebruiken bij 'normaal' verdeelde residuën.

Per waterbalanseenheid wordt een gemiddelde MAE_H berekend, waarbij zowel freatische als diepe filters worden meegemiddeld. Voor zover mogelijk zijn de ME_q en de gemiddelde MAE_H voor alle (67) waterbalanseenheden berekend. Deze waterbalanseenheden variëren in grootte van 50 tot 1000 ha. Behalve qua grootte variëren de balanseenheden ook in belangrijkheid. Het is belangrijker om de hydrologie in het veengebied goed te simuleren dan aan de rand van het modelgebied. De gewichten bij de calibratie van de verschillende afwateringseenheden zijn recht evenredig gekozen met zowel de oppervlakte als het subjectieve belang.

In de uiteindelijke doelfunctie zijn alle bovengenoemde punten verwerkt. De functie die voor deze studie moet worden geminimaliseerd heeft de volgende vorm:

$$OF = \sum_{j=1}^{NC} w_j \cdot [f_H MAE_{Hj} + f_q |ME_{qj}|] \quad (5)$$

waarin:

- OF = doelfunctie van de calibratie (-)
 $|ME_q|$ = absolute waarde van de gemiddelde afwijking van de dagafvoeren (mm/d)
 MAE_H = gemiddelde absolute fout van de stijghoogten (m)
 w = gewicht van de waterbalanseenheid (-)
 f_H = gewicht van MAE_H (m^{-1})
 f_q = gewicht van ME_q (d/mm)
 j = index van waterbalanseenheid
 NC = aantal waterbalanseenheden

In de doelfunctie *OF* (*Objective Function*, vgl. 5) is voor de afwijking van afvoeren per waterbalanseenheid de absolute waarde genomen, terwijl dat niet gedaan is bij het sommeren van de afwijkingen in de tijd (vgl. 3). De achtergrond daarvan is dat bij het sommeren in de tijd het als minder bezwaarlijk wordt geacht dat er verschuivingen zijn binnen de reeks dan bij het sommeren over de ruimte. In dat laatste geval vertoont het model tekortkomingen die grotere gevolgen kunnen hebben voor het simuleren van scenario's dan in het eerste geval, met name wanneer het gaat om kwantificering van wisselwerkingen tussen verschillende delen van het studiegebied.

In het Fochteloërveenproject (Van Walsum en Veldhuizen, 1996) zijn ME_q en $RMSE_H$ (hier: MAE_H) verwerkt in de verhouding 3:1, waarbij de systematische

afwijking van afvoeren in mm/d wordt uitgedrukt en de standaardfout van stijghoogten in m. Dat was een subjectieve keuze, die niet verder is onderbouwd. Achteraf gezien is door deze keuze waarschijnlijk te weinig gewicht gegeven aan afwijkingen van gesimuleerde stijghoogten. Dat vermoeden rees als gevolg van het nauwelijks verbeteren van de $RMSE_H$ door de geautomatiseerde aanpassing. Daarom is in deze studie gekozen voor een verhouding van 1:1. Om het effect van deze verhouding op de modelresultaten te onderzoeken is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij de verhouding werd veranderd in 4:1 en 1:4 (zie par. 4.3.6)

De doelfunctie OF is overigens berekend als een dimensieloze parameter, omdat deze ontstaat uit een optelsom van ongelijksoortige grootheden. Voor de 'omrekening' zijn de (in eerste instantie) vreemd aandoende dimensies van de gewichten f_H en f_q verantwoordelijk (zie vgl. 4). Hiermee wordt tot uitdrukking gebracht dat de doelfunctie slechts een hulpmiddel is bij de calibratie. Slechts aan relatieve veranderingen kan enige betekenis worden gehecht. De mate waarin het model 'de werkelijkheid simuleert' moet nog steeds worden afgemeten aan de waarden van de doelfunctiecomponenten.

4.3.3 Systematische gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse houdt in dat onderzocht wordt hoe groot de gevoeligheid is van de modeluitkomsten voor veranderingen van de waarden van de modelparameters. Een gevoeligheidsanalyse is om te beginnen een voorbereiding op de calibratie. Tevens is de gevoeligheidsanalyse een hulpmiddel bij het interpreteren van modelresultaten en het samenstellen en onderbouwen van scenario's. In deze paragraaf wordt de systematische gevoeligheidsanalyse besproken, waarbij deze met name als hulpmiddel wordt gezien bij de calibratie.

Tabel 3 Parameters gebruikt in de gevoeligheidsanalyse. De parameters hebben een type (T), volgens welke ze worden gevarieerd in de gevoeligheidsanalyse (zie Tabel 4). De R-code geeft aan hoe met de parameter wordt omgesprongen bij de calibratie:

- 1 = mag bij de calibratie niet ruimtelijk worden gevarieerd;
 - 2 = mag bij de calibratie wel ruimtelijk worden gevarieerd (per waterbalanseenheid);
- De G-code geeft aan welke opties bij de calibratie mogen worden gekozen:*
- 1 = alleen de minder extreme opties mogen worden gebruikt (2,3, en 4 van Tabel 4)
 - 2 = alle opties mogen worden gebruikt

Code	Parameter-omschrijving	Eenheid	T	R	G
CDCT1	weerstand van het veen	d	1	2	2
CDCT2	doorlatendheid van de Twente-formatie	m/d	2	2	1
CDCT3	weerstand van de keileem	d	1	2	2
CDCT4	doorlatendheid van de Eindhoven-formatie	m/d	2	2	1
CDCT5	weerstand van de potklei	d	1	2	2
CDCT6	doorlatendheid van de Urk/Harderwijk-formatie	m/d	2	2	1
DRNG1	drainageweerstand van de grotere waterlopen	d	3	2	2
DRNG2	drainageweerstand van de sloten	d	4	2	2
DISH1	berging oppervlaktewater	m ³ /ha	5	2	2
DISH2	Q-h relatie van de afwateringseenheid	m ³ /s	5	2	2
STOR1	freatische berging	-	6	2	2
METE1	neerslag	mm/d	7	1	1
METE2	verdamping	mm/d	7	1	1

Tabel 4 De parametervariaties van de gevoeligheidsanalyse. Optie 3 is de referentiesituatie; voor de drainageweerstand van sloten is daarvoor een verdubbelde weerstand genomen, op basis van enkele testruns. De optie D houdt in dat 'gaten' in een weerstandslaag binnen een bepaalde afwateringseenheid worden gedicht (zie tekst), optie O houdt in dat bij aanwezigheid van een 'klein gat' de slechtdoorlatende laag helemaal 'open' wordt gemaakt in een bepaalde afwateringseenheid (zie tekst)

	Optie 1	2	3	4	5
Type parameter (zie Tabel 3)					
1	*4 of D	*2	*1	/2	/4 of O
2	*3	*1,5	*1	/1,5	/3
3	D	*2	*1	*/2	/4
4	D	*4	*2	*1	/2
5	*4	*2	*1	/2	/4
6	*1,4	*1,2	*1	*0,8	*0,6
7	*1,1	*1,05	*1,0	*0,95	*0,9

Een model als SIMGRO is zo complex dat een complete gevoeligheidsanalyse eigenlijk noodzakelijk is, maar tegelijk niet praktisch uitvoerbaar; het aantal combinaties van mogelijkheden dat zou moeten worden onderzocht is ontelbaar. Toch is ervoor gekozen om hoe dan ook een systematische gevoeligheidsanalyse uit te voeren, zij het in beperkte vorm. Daarbij zijn verschillende modelparameters vier keer in waarde gevarieerd ten opzichte van hun referentiewaarden, waarbij de overige parameters constant (op hun referentiewaarde) zijn gehouden. De referentiewaarden zijn de waarden van de parameters van het ongecalibreerde model.

Voor de systematische gevoeligheidsanalyse zijn 13 parameters gekozen (zie Tabel 4). Het systematische in de analyse bestond eruit de parameters volgens 'type' (zie Tabel 3 en 4) te laten variëren. De meeste van die parametervariaties bestaan uit vermenigvuldigingen met een bepaalde factor; dat is ook de normale praktijk. Bij de weerstanden is echter besloten om van die gebruikelijke werkwijze af te wijken. Het betreft zowel weerstanden van slechtdoorlatende lagen als van drainageweerstanden.

Weerstanden verdienen om meerdere redenen bijzondere aandacht. Het is een bekend gegeven dat weerstanden een grote onzekerheid hebben. Dat heeft te maken met het feit dat water de weg van de minste weerstand kiest. Als er in een slechtdoorlatende laag 'gaten' zitten, dan kan de weerstand heel laag zijn, ook al is de laag gemiddeld gesproken erg dik. Zou een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd waarbij de weerstand wordt gevarieerd met een bepaalde factor, dan is het zelfs bij een factor *8 nog mogelijk dat de 'werkelijke' waarde niet wordt bereikt. Als de uitgangswaarde bijvoorbeeld 100 d is, dan is de *8-waarde nog maar 800 d, wat voor een weerstand niet bijzonder veel is. Eenzelfde constatering geldt voor het verlagen van de weerstand: ook het delen door 8 hoeft nog niet te betekenen dat de resulterende waarde overeenkomt met het 'lek gaan' van de weerstand. Achtereenvolgens zal worden uiteengezet hoe met het bijzondere karakter van weerstanden worden omgegaan bij resp. de veenweerstand (laag 1 van geohydrologische schematisering), laag 3 en 5, en de drainageweerstanden.

Wat betreft de weerstand van het veen wordt per afwateringseenheid nagegaan of er veen in een behoorlijke mate aanwezig is. Het criterium daarvoor is of er minstens één gridcel is met minimaal 1,5 m veen aanwezig is, en dus een toegekende weerstand heeft van 4500 d (specifieke weerstand van 3000 d/m). Andere knooppunten binnen een dergelijk afwateringseenheid met minder dan 1,5 m veen worden aangemerkt als 'gaten in het veen'. Bij maximale verhoging van de weerstand (optie 1 uit Tabel 3) worden eerst alle veenweerstanden met een factor 4 vermenigvuldigd. Indien een knooppunt een weerstand van minder dan 4500 d heeft gekregen, dan wordt de weerstand alsnog op 4500 d gebracht. Bij verlaging van de weerstanden worden de als 'gaten' aangemerkte knooppunten helemaal 'lek' gemaakt, d.w.z. een weerstand van 25 d gegeven. Maar dit gebeurt dus alleen indien de afwateringseenheid is aangemerkt als een eenheid waar ook flink veen zit, en tegelijkertijd ook knooppunten bevat die als een 'gat' zijn aangemerkt. In andere afwateringseenheden worden gewoon de factoren uit de tabel toegepast. Deze werkwijze is bedoeld om enerzijds de extremen goed af te tasten, maar om anderzijds te voorkomen dat extreme waarden worden doorgerekend in afwateringseenheden waar dat totaal onrealistisch is.

Bij de laag 3 van de geohydrologische schematisering - de keileem van de Formatie van Drenthe - wordt de weerstandsverhoging bij de *4 variant eventueel aangepast indien blijkt dat:

- er volgens de diktekaart van de Provincie Drenthe de betreffende laag wel aanwezig is (minimale laagdikte van 0,2 m);
- de resulterende weerstand van de keileem kleiner blijft dan 500 d; in dat geval wordt de weerstand alsnog op die waarde gezet.

Bij de variant met extreme verlaging van de weerstand - de optie aangeduid met O(pen) - wordt de weerstand omlaaggebracht naar 25 d.

Bij laag 5 van de geohydrologische schematisering - de Cromerklei - wordt een gelijksoortige procedure gevolgd, in plaats van op 500 d wordt de weerstand op 5000 d gezet. Ook bij laag 5 wordt de O(pen)-optie ingevuld door de weerstand naar 25 d omlaag te brengen.

De drainageweerstanden van afwateringsleidingen zijn in meerdere opzichten belangrijk. Door de relatief diepe ligging van de leidingen hebben deze watergangen eerder dan sloten contact met diepere lagen van de ondergrond. Deze waterlopen kunnen dan behalve hun normale functie (wisselwerking met oppervlaktewater) ook een doorgeefluik-functie hebben voor het grondwater. Diep ingesneden waterlopen zijn namelijk perforaties van afdekkende lagen. In natte natuurgebieden, met plasvorming op het maaiveld als gevolg van afdamming van waterlopen (zoals ook in het Bargerveen heeft plaatsgevonden) kan dit van wezenlijk belang zijn voor de waterhuishouding. Water kan dan via de (lage) greppelweerstand vrijwel ongehinderd afstromen naar het oppervlaktewater. Via de drainageweerstand van afwateringsleidingen kan het vervolgens doorstromen naar een van de diepere watervoerende lagen. Onder andere vanwege dit aspect is als extreme variant van aanpassing genomen het geheel dichtmaken van een waterloop, in de Tabel 4 aangeduid met 'D'.

Ook sloten kunnen contact hebben met diepere lagen, vooral als plaatselijk enkele lagen van de aangehouden schematisering feitelijk ontbreken. Vaak komt het onderscheid tussen 'afwateringsleidingen' en 'sloten' ook niet overeen met de grootte-verhoudingen die in de praktijk aanwezig zijn, en is het onderscheid ontstaan uit een administratieve achtergrond. Dit geldt met name voor de 'wijken' in het gebied, die meestal diep zijn. Ook voor de waterlopen aangeduid als 'sloten' is derhalve als extreme variant het geheel dichtmaken genomen, door de weerstand oneindig hoog te stellen (in de modelleringspraktijk is dit 32 000 d).

Er is om praktische redenen (benodigde rekentijd) voor gekozen om bij de gevoeligheidsanalyse alle parameters over het gehele gebied tegelijk (alle 67 balans-eenheden) te variëren, hoewel het wenselijk was geweest om per run de veranderingen te beperken tot één enkele balanseenheid. Per waterbalanseenheid is steeds uitgerekend wat het effect is op de doelfuncties. De resultaten voor enkele waterbalanseenheden zijn opgenomen in Aanhangsel 10. Bij de interpretatie dient niet uit het oog te worden verloren dat de verticale assen kunnen verschillen. Een aantal punten worden eruit gelicht (voor het gebied als geheel, niet alleen de resultaten in Aanhangsel 10):

- verhoging van de weerstand van de veenlaag biedt in veel gevallen een verbetering; dit komt overeen met de inschatting (Streefkerk, pers. med.) dat de aangenomen specifieke weerstand van 3 000 d/m aan de lage kant is;
- de invloed van de verandering van de keileem is relatief gering, ondanks de extreme opties om de laag dicht/open te maken;
- de invloed van doorlatendheidsveranderingen van de eerste twee watervoerende pakketten is kennelijk niet groot, wat kan worden verklaard uit het feit dat deze pakketten relatief dun zijn;
- laag 5 (de Cromerklei) geeft behoorlijke effecten, vooral a.g.v. dicht- en openmaken (extreme opties);
- laag 6 geeft forse effecten, het is immers de belangrijkste aquifer;
- zowel drainageweerstand van afwateringsleidingen als sloten geven forse effecten;
- de berging in de bovengrond blijkt wat minder invloed te hebben dan verwacht;
- de oppervlaktewater-parameters hebben nauwelijks effect;
- aanpassing van de meteorologische invoergegevens geeft natuurlijke forse effecten op met name waterbalansen.

Van de parameters die een zeer lokale uitstraling hebben, zoals de greppelweerstand, kan worden aangenomen dat de effecten die met de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse zijn berekend 'lokaal' bepaald zijn. Met andere woorden, de effecten die worden berekend voor een bepaalde balanseenheid zijn (vrijwel) onafhankelijk van de tegelijkertijd doorgevoerde parameteraanpassingen in naastgelegen balanseenheden. Het per afzonderlijke balanseenheid uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse had in dat geval geen andere informatie opgeleverd dan is verkregen door voor het gehele gebied tegelijkertijd de betreffende parameter te variëren.

Er zijn echter ook parameters die wel degelijk andere informatie hadden gegeven indien de variatie per afzonderlijke waterbalanseenheid was uitgevoerd. Het betreft parameters die een regionale 'uitstraling' hebben: een verandering in balanseenheid

i heeft ook effecten op een naastgelegen balanseenheid *j*. Dit houdt omgekeerd dus in dat de nu berekende resultaten voor balanseenheid *j* niet alleen worden veroorzaakt door de parameterverandering in balanseenheid *j*, maar (onder andere) ook door die in balanseenheid *i*.

Een voorbeeld van een parameter die een regionale uitstraling heeft is de doorlatendheid van het derde watervoerend pakket. Doordat deze parameter over het gehele gebied tegelijkertijd is gevarieerd, is achteraf niet meer te achterhalen wat de effecten van aanpassingen in afzonderlijke balanseenheden zouden zijn geweest.

4.3.4 Aanpassingen van parameters

De calibratie-aanpassingen op grond van de gevoeligheidsanalyse zijn verricht met een op *heuristieken* gebaseerd rekenprogramma. Daarbij wordt de gevoeligheidsanalyse niet steeds herhaald, zoals gebeurt bij toepassing van b.v. het calibratiepakket PEST (Doherty, 1994). Voor het kunnen toepassen PEST moet het model namelijk zeer vaak worden gedraaid. Als gevolg van het geïntegreerd karakter van SIMGRO (grond-, bodem, en oppervlaktewater) is voor het herhaald draaien de vereiste rekentijd veel te groot (duizenden uren).

In het rekenprogramma is uiteindelijk geen onderscheid gemaakt tussen parameters met een 'regionale' uitstraling (zoals de *k*-waarde van het diepste watervoerend pakket) en parameters met een lokale uitstraling (zoals de greppel-drainageweerstand). Het onderscheid is niet gemaakt omdat anders het calibratie-algoritme te weinig mogelijkheden zou hebben gehad om de doorlatendheden van de diepere lagen aan te passen op een manier die ruimtelijk verschillend is, d.w.z. dat per waterbalanseenheid een aanpassingsfactor kan worden toegepast.

In Tabel 3 is het onderscheid tussen gebiedsgewijze aanpassing en aanpassing per waterbalanseenheid aangegeven met de R-code (met resp. waarden 1 en 2). In feite zijn alleen neerslag en referentieverdamping over het gehele gebied uniform aangepast. Per waterbalanseenheid wordt een selectie gemaakt van de 5 meest gevoelige parameters uit de lijst in Tabel 3. Alleen deze parameters worden aangepast.

Verder wordt in het rekenprogramma ervan uitgegaan dat de deelresultaten van de gevoeligheidsanalyse superponeerbaar zijn. Dit zal worden toegelicht aan de hand van twee eenvoudige voorbeelden. Stel dat een verhoging van de afvoerdrempel met 30 cm in een deelgebied de systematische afwijking van afvoeren ME_q doet afnemen van 0,50 naar 0,40, en dat een verdubbeling van de weerstand een afname geeft van 0,50 tot 0,30, dan wordt berekend dat bij de combinatie van beide maatregelen de verwachte ME_q een waarde krijgt van $0,50 - (0,50 - 0,40) - (0,50 - 0,30) = 0,20$. Voor de MAE_H is een andere rekenwijze gebezigd, omdat de MAE_H per definitie niet negatief kan worden. Bij het gebruik van dezelfde getallen als boven wordt een MAE_H verwacht van $0,50 * (0,4/0,5) * (0,3/0,5) = 0,24$. Hierbij wordt er dus van uitgegaan dat iedere verbetering verhoudingsgewijs doorwerkt. Het toepassen van het superpositieprincipe zoals boven uiteengezet is een *heuristische* manier van werken.

Het enige wat daarbij telt is of er een verbetering wordt bereikt met betrekking tot de totale doelfunctie. Uiteraard is dit laatste getoetst aan de hand van een simulatierun.

Van een tiental waterbalanseenheden ontbraken waarnemingen van stijghoogten en/of waterbalansen. Om toch gebiedsdekkend de calibratie te kunnen uitvoeren is op basis van kennis en inzicht een koppeling tot stand gebracht tussen wel en niet bemeten eenheden. Die koppeling bestond uit het overnemen van de doelfunctie-componenten in de uitgangssituatie en tevens van de parameters van de gevoeligheidsanalyse.

De feitelijke aanpassingen van parameters in de calibratie werden in twee deelstappen uitgevoerd, echter zonder tussentijdse simulatie:

- aanpassingen van parameters die voor het hele gebied op dezelfde wijze worden aangepast ($R = 1$ van Tabel 3 d.w.z. neerslag en verdamping);
- aanpassingen van parameters die voor iedere balanseenheid op dezelfde wijze worden aangepast ($R = 2$ van Tabel 3).

De aanpassing van neerslag en verdamping werd beperkt tot maximaal 5%. Het rekenprogramma leverde op dat de neerslag kon worden verhoogd met 5%, wat overeenkomstig de standaardpraktijk is (de zgn. Warmerdam factor, zie Warmerdam, 1981).

Van de parameters die per waterbalanseenheid mochten worden aangepast zijn de extreme aanpassingen (opties 1 en 5) alleen toegestaan voor weerstanden, de berging van de bovengrond, en de oppervlaktewaterparameters. Per waterbalanseenheid is naar de vijf meest gevoelige parameters gezocht. Door alle combinaties van mogelijkheden ($5^5 = 3125$ stuks) af te tasten is de doelfunctie voor alle balansen-eenheden afzonderlijk geminimaliseerd. Hierbij is rekening gehouden met de 5%-verhoging van de neerslag (aan de hand van de gesuperponeerde effecten van de gevoeligheidsanalyse). Voor grafische uitbeelding van de aanpassingen zie Aanhangel 11.

Het rekenprogramma heeft de waarde van de doelfunctie van 0,94 tot 0,74 omlaaggebracht. Op grond van de veronderstelde superponeerbaarheid (en onderlinge onafhankelijkheid van naast elkaar liggende waterbalansen-eenheden) werd een doelfunctiewaarde van 0,65 verwacht, met voor de MAE_H een waarde van 0,21 en voor de ME_q een waarde van 0,44. Vooral de voorspelde verbetering van de doelfunctie-component voor de stijghoogten is uitgebleven. De beperkte geldigheid van de superponeerbaarheid heeft echter niet verhinderd dat de procedure redelijk heeft gewerkt. Maar natuurlijk is het 'echte' optimum niet bereikt.

Behalve de referentierun (run 0, d.w.z. model zonder aangepaste parameters) zijn de volgende twee runs gemaakt:

- met parameteraanpassingen, maar niet van de neerslag (1);
- met ook 5% extra neerslag (2).

Het verloop van de calibratie is gevisualiseerd (doelfunctie per waterbalansen-eenheid) in Aanhangel 12. Voor het gebied als geheel zijn de doelfunctie-componenten opgesomd in Tabel 5

Tabel 5 Waarden van de doelfunctie in de uitgangssituatie (stap 0) en na de 2 stappen van de calibratie (stap 1 zonder en stap 2 met verhoging neerslag met 5%), gesommeerd over het gehele modelgebied. OF = doelfunctie hele modelgebied ('Objective Function'); MAE_H = gemiddelde absolute fout stijghoogten (m). $|ME_q|$ = gemiddelde absolute waarde van de afwijking van afvoeren (mm/d); OF wordt berekend met $OF = |ME_q| + MAE_H$. De op basis van de superpositie verwachte waarde is tussen haakjes opgenomen.

Doelfunctie	Stap 0	1	2
MAE_H	0,36	0,36	0,35 (0,21)
$ ME_q $	0,58	0,44	0,39 (0,44)
OF	0,94	0,80	0,74 (0,65)

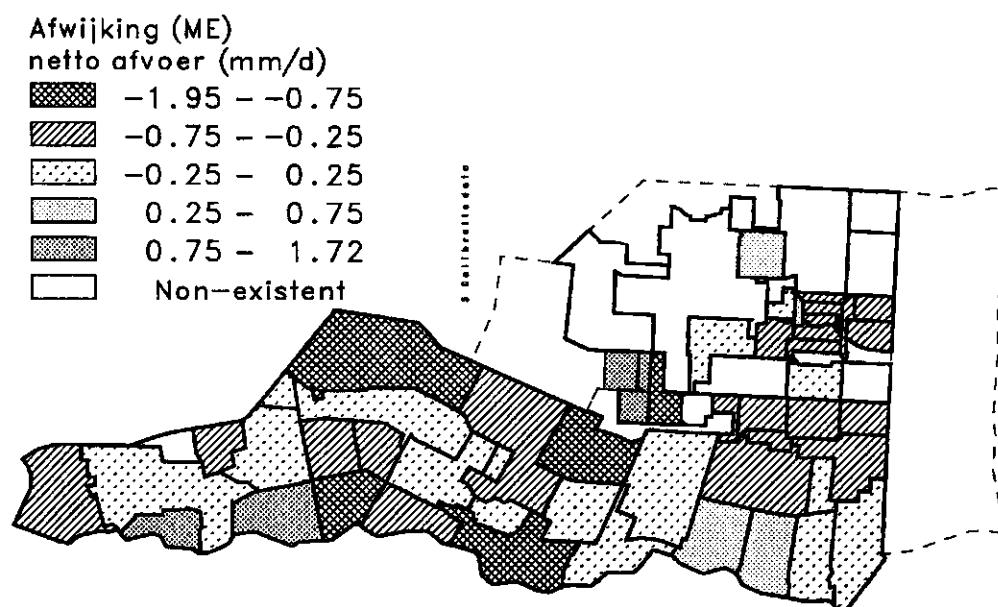
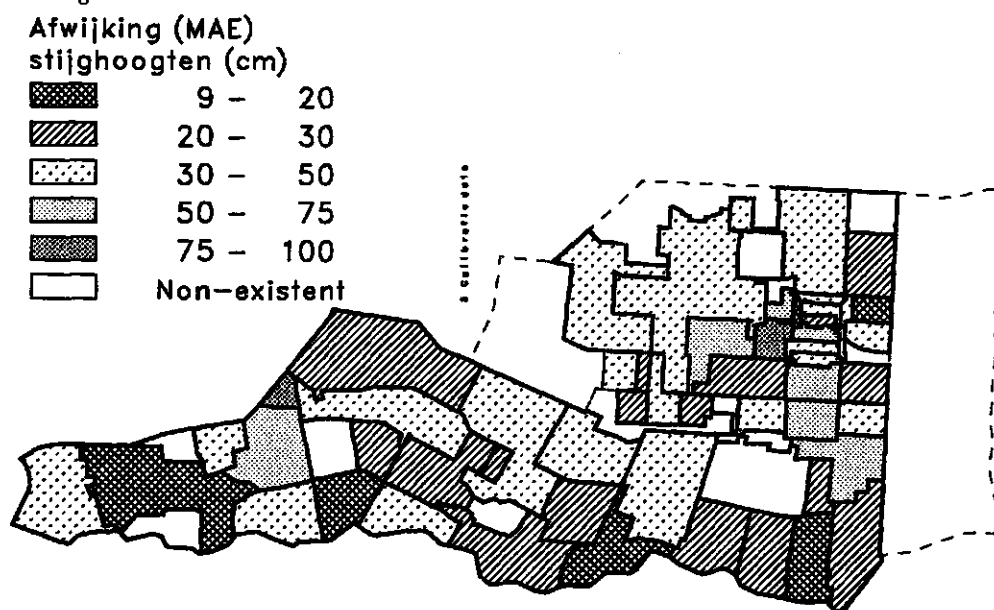
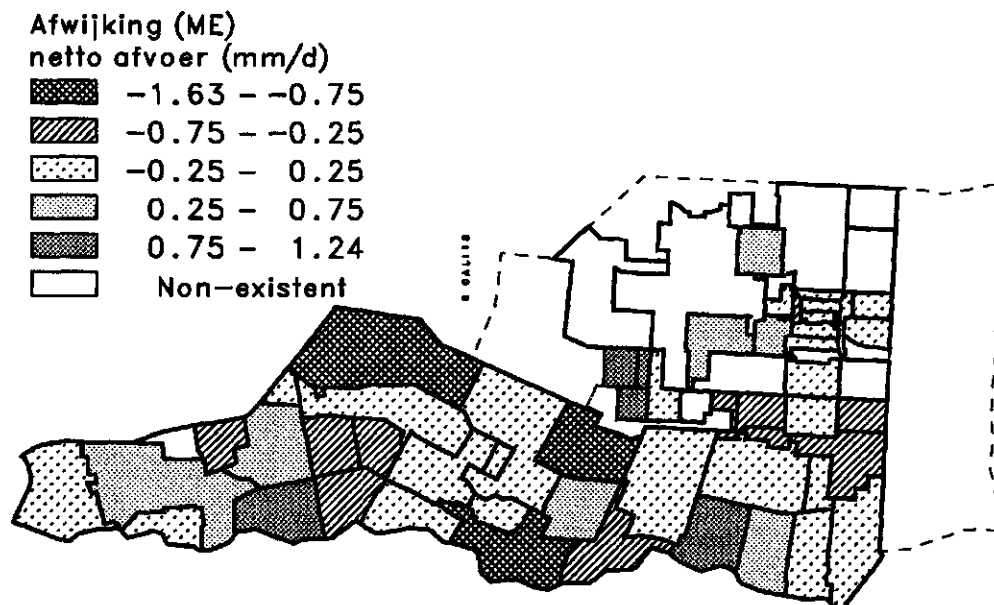


Fig. 32 Afwijkingen van afvoeren van het ongecalibreerde simulatiemodel ten opzichte van de metingen

De 'fouten' in de voorspelde afvoeren worden voor een belangrijk deel veroorzaakt door een paar notoire uitschieters (zie voor enkele verklaringen par. 3.4.3). Deze uitschieters manifesteren zich als inkleuringen van de uiterste legenda-eenheden in Fig. 32 en 33, waarin de resultaten per waterbalanseenheid zijn gevisualiseerd, resp. voor het ongecalibreerde en gec calibreerde model. In Aanhangsel 13 zijn enkele voorbeeldverlopen opgenomen van gesimuleerde en gemeten afvoer verlopen, resp. vóór en na calibratie van het model.

In Fig. 34 en 35 zijn de afwijkingen van de stijghoogten (MAE_H) gevisualiseerd vóór en na calibratie. Uit de figuren blijkt dat er door de calibratie wel enige verschuivingen worden veroorzaakt, ook al blijft de gemiddelde doelfunctiewaarde gelijk (voor het hele modelgebied).



In Aanhangsels 13 en 14 zijn voorbeelden opgenomen van tijd-verlopen van afvoeren en stijghoogten. Met de fluctuatie van gesimuleerde stijghoogten lijkt het niet goed te komen. Nadere analyse leert dat het echter meevalt, en dat het vooral te maken heeft met het feit dat van de negen kwartalen in de meetperiode slechts het tweede kwartaal van 1993 neerslagtekort heeft, en wel van ca. 70 mm (Fig. 10). De pieken in de afvoeren worden voornamelijk veroorzaakt door snelle processen; dat hoeft niet gepaard te gaan met een sterke stijging van peilen. De peilfluctuaties die zijn gemeten zijn vermoedelijk voor een belangrijk deel terug te voeren op luchtinsluiting na buien, iets wat niet in het model zit (en zelfs niet in de meest gedetailleerde modellen van de onverzadigde zone).

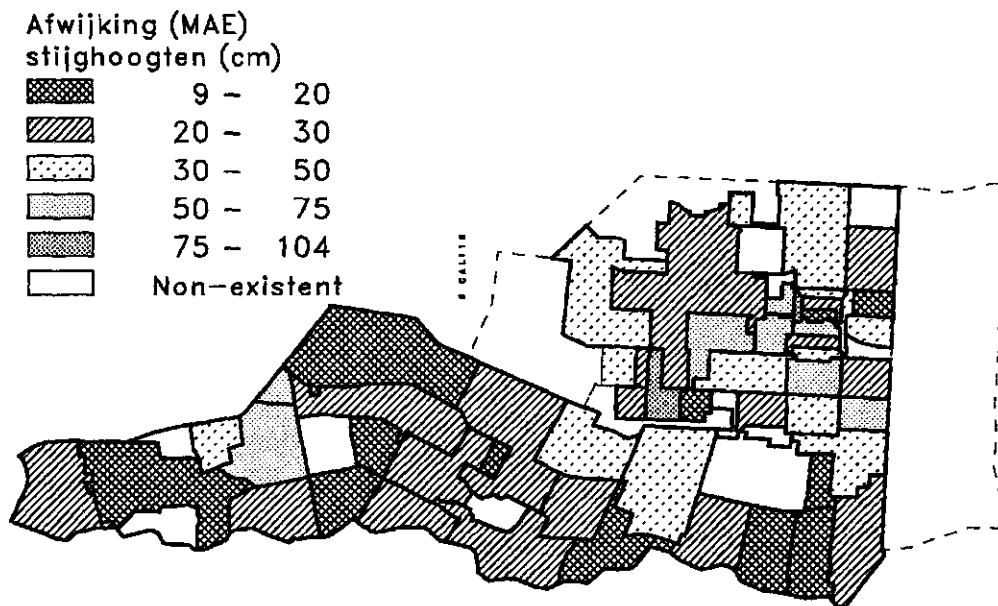


Fig. 35 Afwijkingen van stijghoogten van het gecalibreerde simulatiemodel ten opzichte van de metingen

4.3.5 Validatie

Validatie houdt in dat vastgesteld wordt dat het model 'goed' is en 'goede' voorspellingen kan doen. Strict gesproken is validatie per definitie onmogelijk, omdat in scenarios diepe ingrepen in het systeem kunnen worden gepleegd. Wel wordt vaak getracht een toetsing uit te voeren aan de hand van waarnemingen die niet zijn gebruikt bij de calibratie. Indien de toetsing aangeeft dat het model de werkelijkheid nog niet goed beschrijft, dan dient een nieuwe calibratiecyclus te worden doorlopen.

In deze studie is om redenen uiteengezet in par. 1.2 ervoor gekozen om alle waarnemingen te gebruiken bij de calibratie. De vergelijking tussen gemeten en berekende isohypsen is derhalve niet zo zeer validatie als wel illustratie. In Aanhangel 15 en 16 zijn kaarten met isohypsen van gesimuleerde stijghoogten opgenomen, resp. van vóór en na calibratie. Uit de vergelijking met 'gemeten' isohypsen (Aanhangel 9) blijkt dat voor de diepste laag de overeenkomst heel redelijk is, zeker gezien het feit dat de randvoorwaarden in termen van fluxen zijn gespecificeerd. Hoe hoger men in de geohydrologische schematisering komt, hoe slechter de overeenstemming. Dit hoeft niet te betekenen dat het model in dezelfde mate minder goed is. Een belangrijk deel van de afwijkingen wordt namelijk veroorzaakt door de lage dichtheid van het meetnet (enkele honderden waarnemingspunten) in vergelijking met het aantal knooppunten van het model (meer dan achtduizend). Hoe hoger men in het systeem komt, hoe groter de invloed van het maaiveldsverloop, en hoe grilliger het 'gemeten' beeld van isohypsen zou moeten zijn. Door de relatief lage dichtheid van meetpunten komt deze grilligheid onvoldoende uit de verf, terwijl de modelresultaten een meer realistisch patroon vertonen wat dit aspect betreft. (In werkelijkheid is het beeld overigens nog grilliger dan dat van de simulatie.)

Grondwatertrap

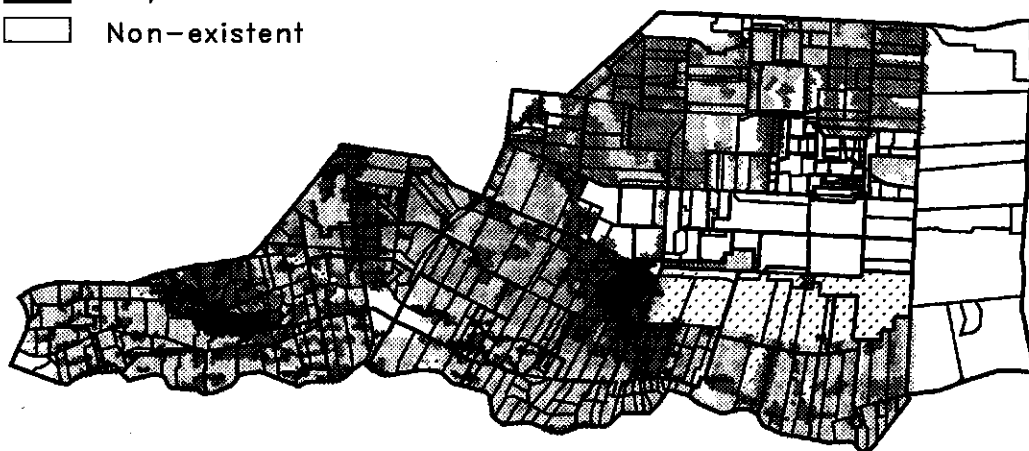
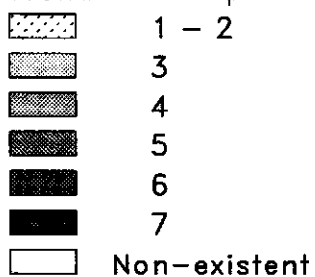


Fig. 36 Grondwatertrappenkaart (STIBOKA, 1980; SC-DLO, 1990)

Grondwatertrap

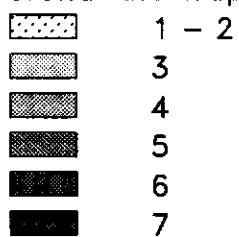


Fig. 37 Gesimuleerde grondwatertrappenkaart

Wat meer in de richting van een echte validatie komt de vergelijking tussen de 'gemeten' grondwatertrappenkaart (Fig. 36, afkomstig van de Bodemkaart 1: 50 000) en de gesimuleerde grondwatertrappenkaart (Fig. 37). De voor de simulatie gebruikte rekenperiode is 1982 tot en met 1990, die 'representatief' is voor het klimaat (zie deel 2 van dit rapport). De ruimtelijke beelden van gesimuleerd/'gemeten' komen redelijk met elkaar overeen. Het belangrijkste manco van de simulatiekaart is het naar verhouding te weinig voorkomen van Gt V: daar waar de Bodemkaart een Gt V aangeeft wordt door het model vaak een VI of VII berekend. Dit kan het gevolg zijn schijngrondwaterspiegels, maar ook van fluctuaties die het gevolg zijn van luchtinsluiting. Tijdelijke luchtinsluiting is een nog weinig bestudeerd fenomeen en wordt door geen enkel model gesimuleerd. Uit de vergelijking tussen gemeten en berekende grondwaterstandsverlopen kwam ook in deze studie naar voren dat waargenomen verlopen bijna altijd meer pieken vertonen dan gesimuleerde verlopen. Dit heeft ook gevolgen voor de gesimuleerde grondwatertrappen. Door het afgezwakt simuleren van de pieken wordt de bij Gt V horende fluctuatie meestal niet gehaald.

4.3.6 Onzekerheidsanalyse

Van een calibratieprocedure mag men hopen dat de gecalibreerde parameters dichter bij de werkelijke waarden liggen dan de ongecalibreerde. Op een wetenschappelijke wijze dat aantonen is voor complexe modellen als SIMGRO een onhaalbare kaart. Een stap in die richting is het laten zien wat de gevoeligheid van de procedure is voor bepaalde aannames die zijn gedaan, te weten aannames die op basis van *expert judgement* zijn gemaakt. Een belangrijke aanname betreft de weging tussen de afwijkingen van afvoeren (ME_q) en de afwijkingen van stijghoogten (MAE_H). Voor die weging is een verhouding van 1:1 genomen. Om de gevoeligheid voor die weging te onderzoeken is de calibratieprocedure opnieuw gedraaid met een weging van 1:4 en 4:1. In Tabel 6 zijn de berekende waarden van de doelfuncties opgesomd, voor beide wegenen. In Aanhangel 18 zijn de (veranderde) aanpassingen van de veenweerstand weergegeven, voor de vier parametersets van de onzekerheidsanalyse.

Uit de resultaten voor run '4*H+1*q' blijkt dat de afwijking van stijghoogten met 17% afneemt van 35 naar 29 cm, terwijl de afwijking van afvoeren met 33% oploopt van 0,39 naar 0,52 mm/d. Gezien de onzekerheid in de gemeten afvoeren (zie ook onder) had deze variant misschien de voorkeur moeten hebben. Uit de resultaten voor run '1*H+4*q' blijkt dat de afwijking van stijghoogten gelijkblijft op 35 cm, terwijl de afwijking van afvoeren zeer licht afneemt van 0,39 naar 0,38 m. Vergelijking van Fig. A18.1 met A18.2 in Aanhangel 18 laat zien dat de aanpassingen van de veenweerstand ook vrijwel hetzelfde blijven.

De afvoermetingen zijn behept met een bepaalde onzekerheid. Voor het kwantificeren van die onzekerheid is in par. 3.4 een procedure beschreven en toegepast. Ondanks forse waarden van de relatieve standaardfout in de waterbalansmetingen (Aanhangel 8), zijn die metingen toch gebruikt bij de calibratie. Dat is gedaan vanuit het besef dat ondanks de forse standaardfouten de gemeten waarden nog altijd de *meest waarschijnlijke* waarden zijn van de betreffende grootheden.

Tabel 6 De waarden van de doelfuncties na varianten op de calibratie, berekend in het kader van een (beperkte) onzekerheidsanalyse. De varianten zijn:

- $1 \cdot H + 1 \cdot q$, te weten de 'hoofdvariant' met 1:1 weging van MAE_H en $|ME_q|$
 - $4 \cdot H + 1 \cdot q$, met weging 4:1
 - $1 \cdot H + 4 \cdot q$, met weging 1:4
 - Q_{ond} , met lage schatting gemeten netto afvoeren
 - Q_{bov} , met hoge schatting gemeten netto afvoeren
- MAE_H = gemiddelde absolute fout stijghoogten (m).
 $|ME_q|$ = gemiddelde absolute waarde van de afwijking van afvoeren (mm/d);

Doelfunctie	Run $1 \cdot H + 1 \cdot q$	$4 \cdot H + 1 \cdot q$	$1 \cdot H + 4 \cdot q$	Q_{ond}	Q_{bov}
$ ME_q $	0,39	0,52	0,39	0,50	0,39
MAE_H	0,35	0,29	0,35	0,34	0,34

Om de gevoeligheid van de calibratie voor fouten in de gemeten afvoeren te onderzoeken is de calibratie herhaald voor lage en hoge schattingen van de netto afvoeren, waarbij resp. de standaardfouten van de metingen zijn afgetrokken en opgeteld. Uit de resultaten blijkt dat de calibratie nog wel redelijk de hoge schattingen van afvoeren kan 'volgen', gezien het gelijkblijven van het foutcriterium voor de afvoeren (0,39 in Tabel 6). Bij de lage schattingen lukt dat in mindere mate, gezien de stijging van het foutcriterium.

Uiteindelijk is de onzekerheidsanalyse het meeste van belang voor het scenario-onderzoek. De vraag daarbij is op welke wijze de scenarioresultaten onzeker zijn als gevolg van onzekerheid in de gecalibreerde parameters. Om dat te onderzoeken zijn extra scenarioberekeningen gedaan die in deel 2 van dit rapport worden gepresenteerd.

5 Conclusies

Het model SIMGRO is voor het Bargerveen en omgeving succesvol geïmplementeerd. Daarbij is gebruikt gemaakt van informatie over:

- eigenschappen van het gebied;
- gemeten afvoeren, waterpeilen en grondwaterstanden, verkregen uit het veldonderzoek en uit reeds beschikbare informatiebronnen.

Voor het ontsluiten, bewerken, en omzetten van gebiedsinformatie naar modelinvoerbestanden is gebruik gemaakt van geografische informatiesystemen (GIS).

Voor het aanpassen van het model aan de gemeten afvoeren en waterstanden - de zogenaamde modelcalibratie - is volgens een stappenplan te werk gegaan:

- formulering doelfunctie(s);
- keuze van calibratieparameters;
- gevoeligheidsanalyse;
- aanpassing van parameters;
- validatie.

Uitvoering van de gevoeligheidsanalyse en de aanpassing van parameters zijn geheel geautomatiseerd. Daarbij worden de resultaten van de gevoeligheidsanalyse op elkaar gesuperponeerd bij het voorspellen van de verbetering van de doelfunctie (zie ook van Walsum en Veldhuizen, 1996). In dit onderzoek is speciale aandacht besteed aan de calibratie van weerstanden, te weten de *c*-waarden van slechtdoorlatende lagen en de drainageweerstanden van ontwateringsmiddelen. Bij de gevoeligheidsanalyse zijn 'extreme' opties doorgerekend, die ook zijn toegelaten bij de parameteraanpassing. Bij het ene extreem gaat het om het 'helemaal dichtmaken' van een weerstand, en bij het andere extreem om het 'helemaal open maken'.

Bij het vergelijken van gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden is opgevallen dat de gemeten fluctuaties slechts gedeeltelijk aan de hand van de waterbalansen en beschikbare bodemfysische parameters verklaard kunnen worden. Vermoed wordt dat tijdelijke luchtinsluiting ervoor verantwoordelijk is dat de in werkelijkheid optredende fluctuaties vaak veel groter zijn dan de voorspelde. De gebruikte calibratieprocedure heeft redelijk goed gewerkt bij het verbeteren van de simulatie van waterbalansen: de gemiddelde balansafwijking was 0,58 mm/d vóór calibratie en 0,39 mm/d na calibratie. Het lukte echter niet om de voorspelfout van stijghoogten te verbeteren: de gemiddelde absolute waarde van de voorspelfout bleef steken op 35 cm.

De op *heuristieken* gebaseerde parameteraanpassings-methode is ongetwijfeld voor verbetering vatbaar. In toekomstig onderzoek zou bijvoorbeeld kunnen worden geprobeerd om voor de stijghoogten twee aparte doelfuncties te onderscheiden: resp. de afwijking van het *tijds*gemiddelde en het verschil tussen de gemeten en voorspelde *fluctuatie*. Door effecten van parameteraanpassingen op beide deel-doelfuncties apart te analyseren zal het wellicht mogelijk worden om meer inzicht te krijgen in de oorzaken van tekortkomingen in de stijghoogte-voorspellingen. Dat zou vervolgens de parameter-aanpassingen meer effectief kunnen maken.

Literatuur

- Buro Hemmen, 1991. *Beheersplan Bargerveen*. Hemmen.
- Burrough, P.A., 1986. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford, Clarendon press.
- De Heer, E., 1989. *Grondwaterkaart van Nederland; Emmen, ter Apel 17oost, 18west*. Delft/Oosterwolde, Dienst grondwaterverkenning TNO.
- Doherty, J. 1994. *PEST; Model Independent Parameter Estimation*. Oxley (Australië), Watermark Computing.
- Feddes, R.A., 1987. 'Crop factors in relation to Makkink reference-crop evapotranspiration'. In: J.C. Hooghart (ed.) 1987. *Evaporation and weather*. Den Haag, TNO Commissie voor Hydrologisch Onderzoek (CHO-TNO). Proc. and Inf. No. 39:33-44.
- De Lange, W.J., 1991. *A groundwater model of The Netherlands*. Lelystad, RIZA (Ministerie van Verkeer en Waterstaat).
- Guigier, J.M. en E.O. Frind, 1991. *FLONET (version 2.0); Two-dimensional steady-state flownet generator*. Waterloo, (Ontario, Canada), Waterloo Centre for Groundwater Research.
- Parratt, L.G., 1961. *Probability and experimental errors in science*. New York, John Wiley & Sons, inc.
- Provincie Drenthe, 1985. *Rapport van de technische werkgroep grondwaterplan 2*. Assen, Provincie Drenthe.
- Provincie Drenthe, 1991. *Uitwerking grondwaterplan Drenthe*. Assen, Provincie Drenthe.
- Querner, E.P. en P.J.T. van Bakel, 1989. *Description of the regional groundwater flow model SIMGRO*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Report 7.
- RGD, 1994. *Beekleem- en keileemafzettingen in het Bargerveen/Schonebeekgebied*. Oosterwolde, Rijks Geologische Dienst.
- SC-DLO, 1990. *Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000. Toelichting bij kaartblad 22 oost, Coevorden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum.
- Schouwenaars, J.M., 1990. *Problem-oriented studies on plant-soil-water relations*. Wageningen, Landbouwniversiteit, proefschrift.

Stolte, J., H. Rosing, en A.A. Veldhuizen, 1995. *Bodemfysische schematisatie van het Fochteloërveen en omliggende landbouwgronden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 382.

STIBOKA, 1980. *Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000. Toelichting bij kaartblad 18-23, Ter Apel Nieuw-Schoonebeek*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.

Streefkerk, J.G. en P. Oosterlee, 1984. *Een beschouwing over hydrologische ingrepen in het hoogveenreservaat Bargerveen*. Hydrologische werkgroep Bargerveen, Staatsbosbeheer.

Ter Wee, M.W., 1979. *Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1: 50.000; blad Emmen west (17w) en blad Emmen oost (170)*. Haarlem, Rijks Geologische Dienst.

Thunnissen, H., R. Olthof, P. Getz, 1992. *Grondgebruiksdatabase van Nederland vervaardigd met behulp van Landsat Thematic Mapper opnamen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technisch Document 18.

TNO-GG, 1994. *Handleiding voor het gebruik van OLGA; On Line Grondwater Archief*. Delft, Instituut voor Grondwater en geo-Energie TNO (GG). TNO-rapport PN94-01-A.

Van der Gaast, J.W.J. en M. van Bolhuis, 1994. *Elektromagnetische metingen voor het bepalen van de diepte tot hydrologisch slecht doorlatende lagen; Een statistische en ruimtelijke analyse van hydrologisch slecht doorlatende bodemlagen, gebruikmakend van niet-destructieve elektromagnetische meetmethoden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 321.

Van der Gaast, J.W.J. en J.M.P.M. Peerboom, 1996. *Effecten van de sanering van gasbronnen in Noord-Holland benoorden het IJ op de nutriënten- en chloridebelasting van het oppervlaktewater*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 411.

Van der Heijden en Van Walsum, in voorbereiding. *GIS for an integrated regional model of groundwater surface water and soil moisture - User's manual*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technical Document.

Van der Valk, M.R. en H. Boukes, red. (1997). *Modelcalibratie; het automatisch ijken van grondwatermodellen*. Utrecht, Nederlandse Hydrologische Vereniging, NHV-special nummer 2.

Van Walsum, P.E.V. en A.A. Veldhuizen (1996). *Modelstudie waterhuishouding Fochteloërveen en omgeving; simulatie van scenario's voor het waterbeheer met SIMGRO*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 399.

Warmerdam, P.M.M. 1981. *De invloed van wind op regenwaarnemingen; een vergelijkend regenmeteronderzoek*. H₂O jrg. 14, nr 1.

Wesseling, J.G. 1991. *CAPSEV; Steady state moisture flow theory; program description; user manual*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Report 37.

Wit, K.E., J.M.P.M. Peerboom, H. Th. L. Massop, en J.W.J. van der Gaast. 1995. *Modelstudie waterhuishouding Fochteloërveen; systeemverkenning en resultaten meetprogramma*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 347, deel 1.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J.Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technisch Document 18.

Zagwijn, W.H., en C.J. van Staalduinen, 1975. *Toelichting bij de geologische overzichtskaart van Nederland*. Haarlem, Rijks Geologische Dienst.

Aanhangsel 1 Geohydrologie

Veendikte (m)

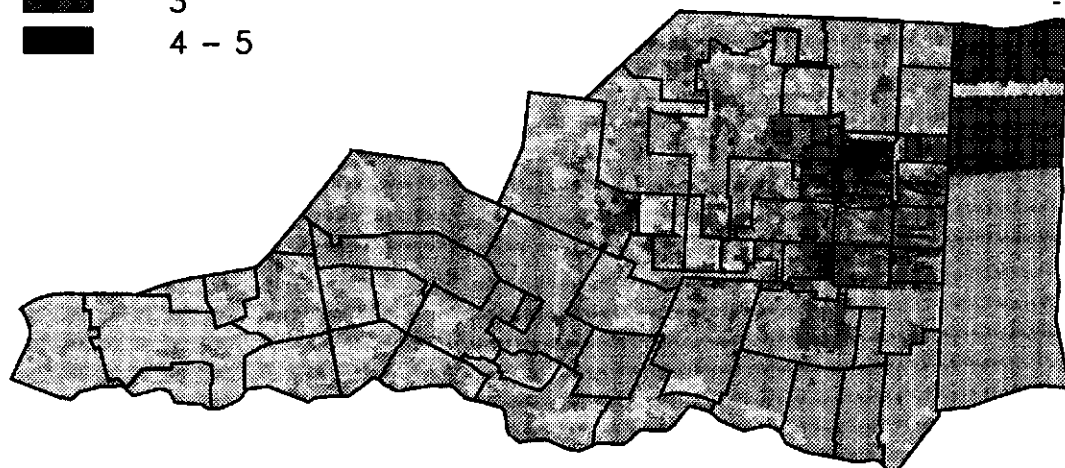
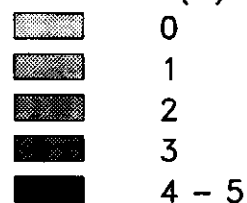


Fig. A1.1 Dikte van het afdekkend pakket

Weerstand veen (d)

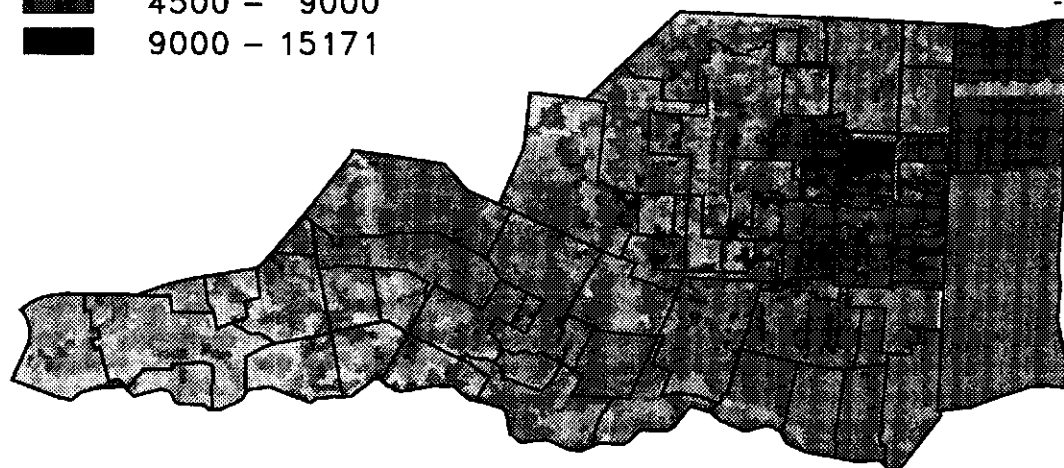
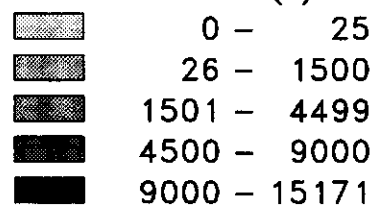
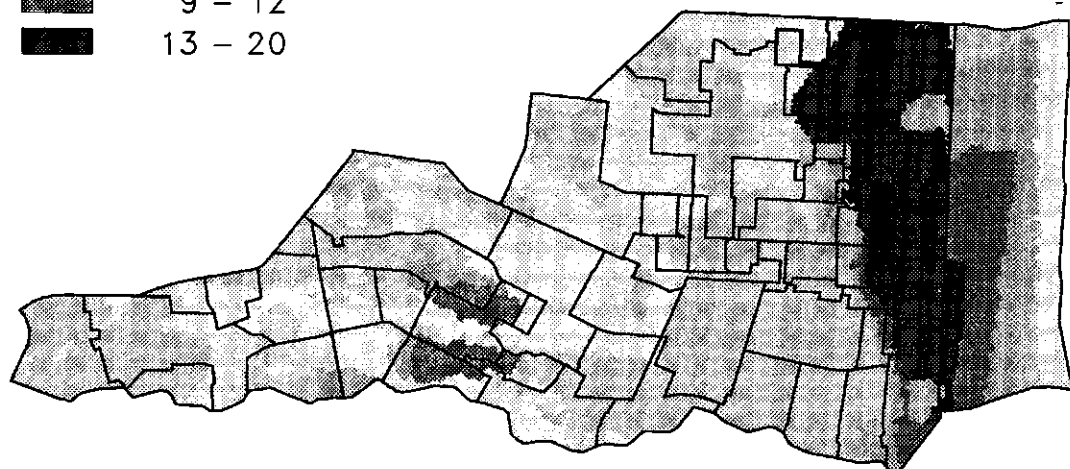
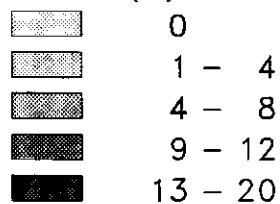


Fig. A1.2 Weerstand van het afdekkend pakket

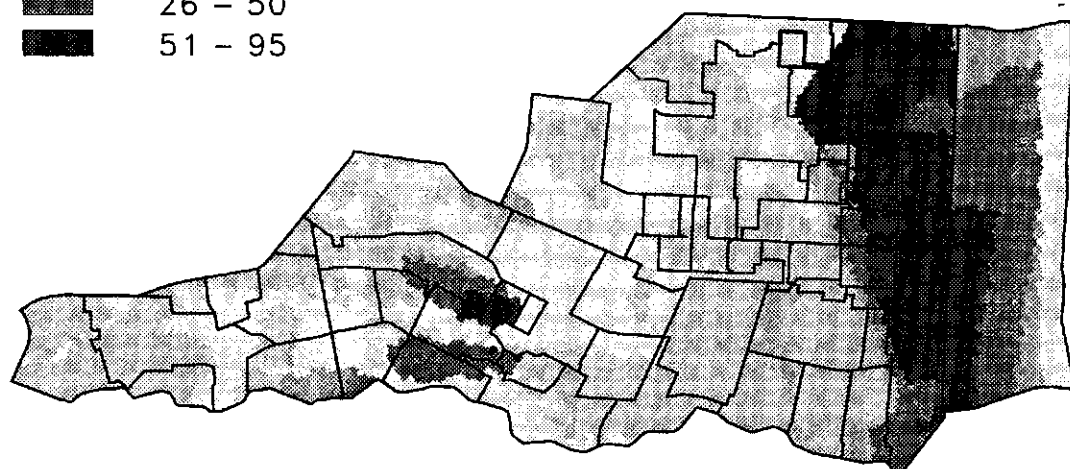
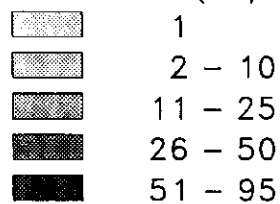
Dikte Formatie van Twente (m)



16 UNNAMED SCENARIO

Fig. A1.3 Dikte van het eerste watervoerend pakket (Formatie van Twente; laag 2 van de geohydrologische schematisering)

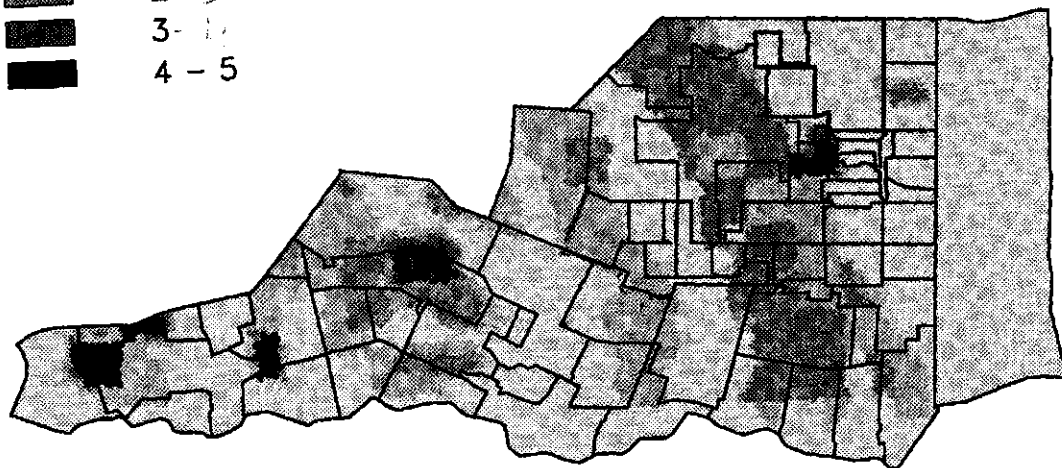
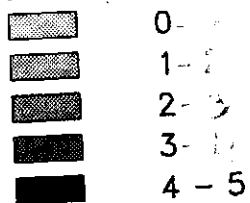
kD-waarde Formatie van Twente (m²/d)



15 UNNAMED SCENARIO

Fig. A1.4 Doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket (Formatie van Twente; laag 2 van de geohydrologische schematisering)

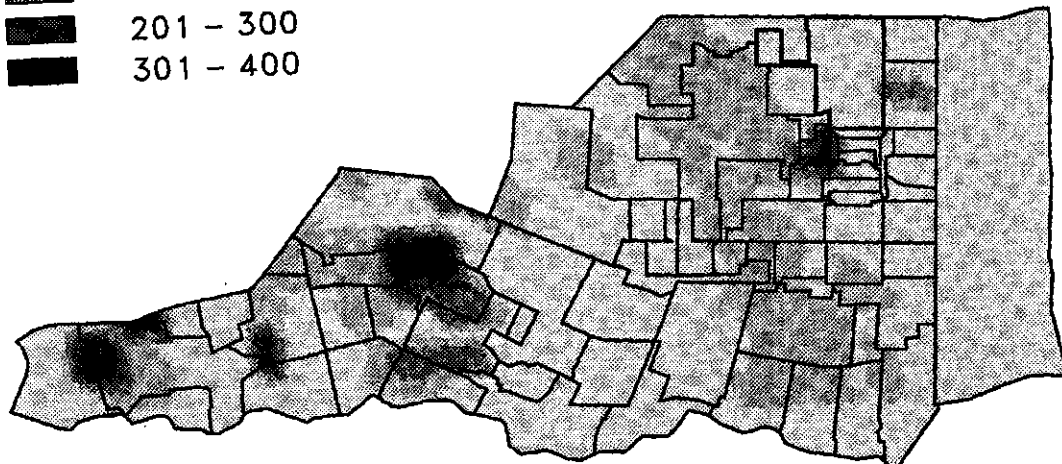
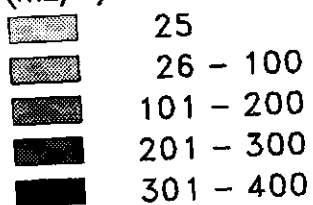
Dikte keileem (m)



IS UNRAINED SCENARIO

Fig. A1.5 Dikte van de tweede slechtdoorlatende laag (keileem, laag 3 van de geohydrologische schematisering)

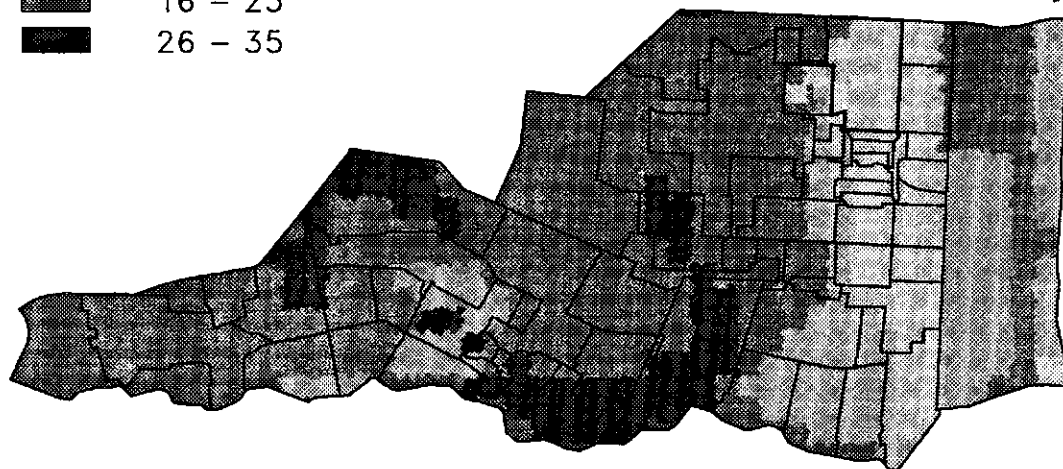
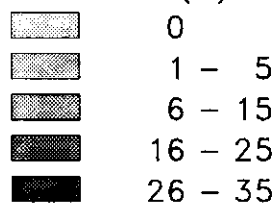
Weerstand keileem
(m²/d)



IS UNRAINED SCENARIO

Fig. A1.6 Weerstand van de tweede slechtdoorlatende laag (keileem, laag 3 van de geohydrologische schematisering)

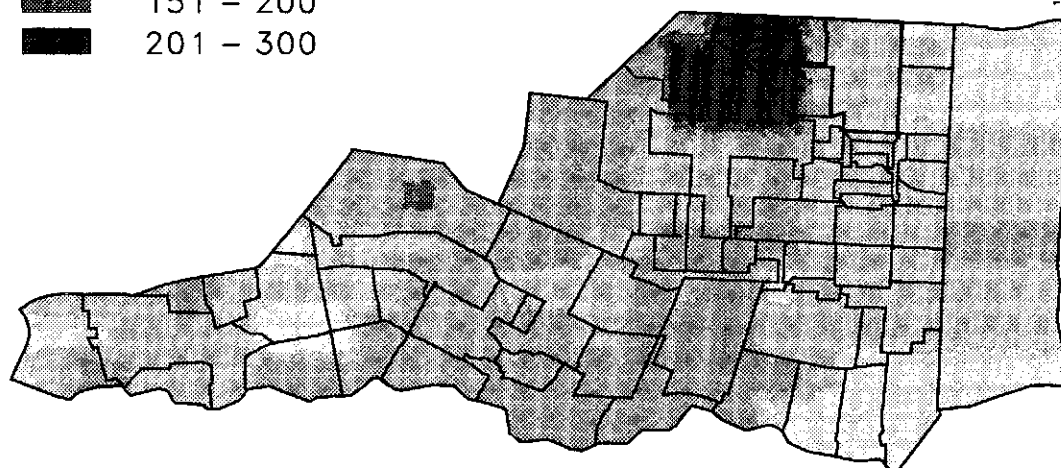
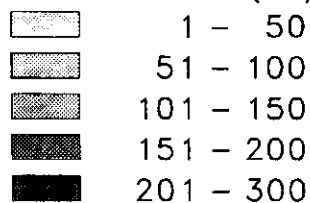
Dikte Formatie van
Eindhoven (m)



18 UNNAMED SCENARIO

Fig. A1.7 Dikte van het tweede watervoerend pakket (Formatie van Eindhoven; laag 4 van de geohydrologische schematisering)

kD-waarde Formatie
van Eindhoven (m²/d)



18 UNNAMED SCENARIO

Fig. A1.8 Doorlaatvermogen van het tweede watervoerend pakket (Formatie van Eindhoven; laag 4 van de geohydrologische schematisering)

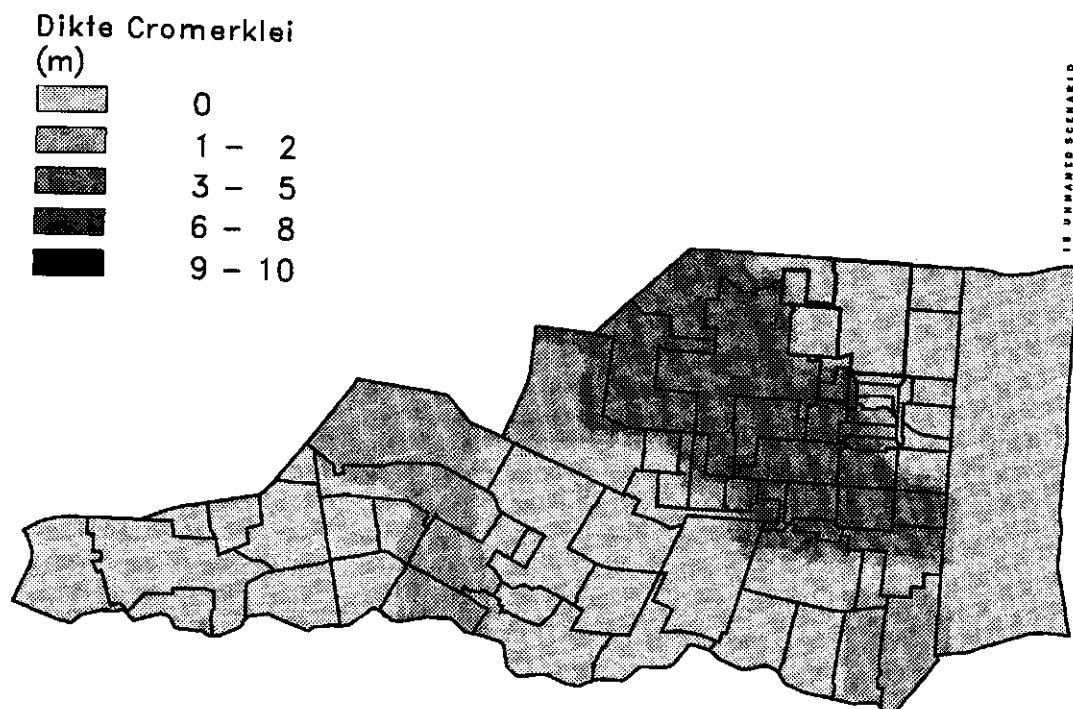


Fig. A1.9 Dikte van de derde slechtdoorlatende laag (Cromerklei; laag 5 van de geohydrologische schematisering)

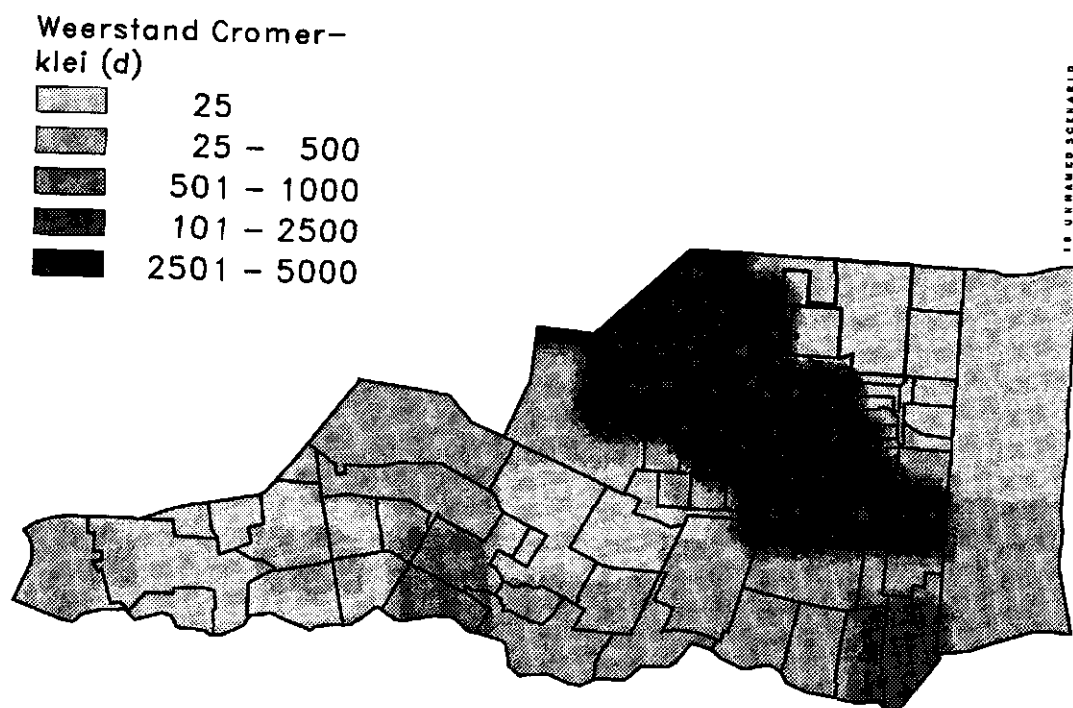
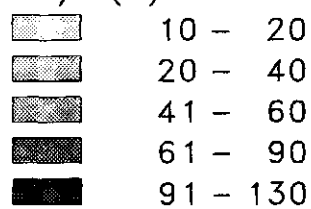


Fig. A1.10 Weerstand van de derde slechtdoorlatende laag (Cromerklei; laag 5 van de geohydrologische schematisering)

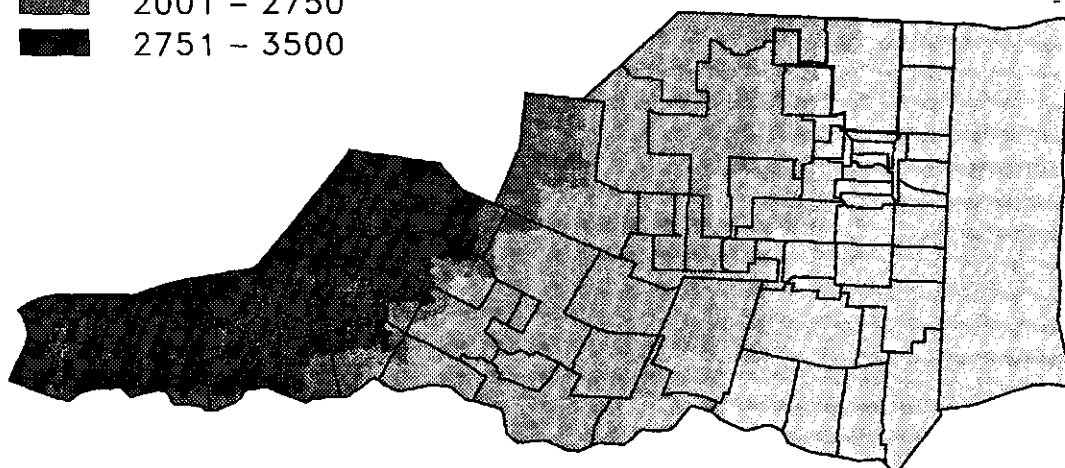
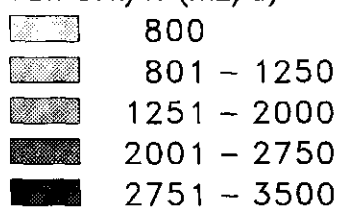
Dikte Formatie van
Urk/H (m)



16 UNNAMED SCENARIO

Fig. A1.11 Dikte van het derde watervoerend pakket (Formatie van Urk/Hardewijk; laag 6 van de geohydrologische schematisering)

kD-waarde Formatie
van Urk/H (m^2/d)



16 UNNAMED SCENARIO

Fig. A1.12 Doorlaatvermogen van het derde watervoerend pakket (Formatie van Urk/Hardewijk; laag 6 van de geohydrologische schematisatie)

Aanhangsel 2 Bodemfysische karakterisering bodemeenheden

legenda eenheid: Zd21		grondwatertrap: VII*
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 4	A1	B16
4 - 12	A2/B	B1
12 - 20	B3	B1
20 - 75	AC11b	O1
75 - 120	AC12b	O1

legenda eenheid: Zn21/Zd21		grondwatertrap: VI/VII*
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 50	A	B1
50 - 200	C	O1

*geen volledige profielbeschrijving

legenda eenheid: pZn23x		grondwatertrap: V
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 35	Aan	B3
35 - 70	C11	O3
70 - 100	C12g	O2
100 - 150	D1g	O6

legenda eenheid: KX		grondwatertrap: V
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 30	Ap	B3
30 - 45	ACg	O6
45 - 66	C11g	O13
60 - 75	D1g	O6
75 - 120	C12g	O13

* potklei, nog geen metingen binnen SR aan verricht, keuze O13, zeer zware klei

legenda eenheid: pZg23x		grondwatertrap: V
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 31	A1g	B3
31 - 40	C11g	O3
40 - 84	C12g	O2
84 - 94	D11g	O8
94 - 105	C13g	O3
105 - 120	D12g	O9
120 - 150	C14g	O1
150 - 180	G	O1

legenda eenheid: p2g23

grondwatertrap: V*

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 25	A1	B3
25 - 50	C11g	O3
50 - 120	??	O2

legenda eenheid: cHd23x

grondwatertrap: VI/VII

laag (cm-mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 35	Aanp	B2
35 - 50	B2b	B2
50 - 70	C11b	O2
70 - 120	Db	O6

* gezien het humus gehalte (16 %) zou het een B16 moeten zijn. Daar is geen leemfractie bij gegeven, en het lijkt niet waarschijnlijk dat hier een zandig veen wordt bedoeld.

legenda eenheid: zEz23x

grondwatertrap: VII

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 32	Aan1	B2
32 - 70	Aan2	B2
70 - 75	B2b	B3
75 - 80	B3gb	B3
80 - 100	BCgb	O3
100 - 120	Dgb	O6

legenda eenheid: cHn23x

grondwatertrap: V*

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 30	Aanp	B3
30 - 50	B2pb	B2
50 - 70	C1gb	O2
70 - 120	Dgb	O6

legenda eenheid: cHn23

grondwatertrap: VI

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 35	Aanp	B3
35 - 45	A1b	B3
45 - 65	B2b	B2
65 - 90	C11b	O2
90 - 120	C12gb	O3

legenda eenheid: cHn21

grondwatertrap: V

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 35	Aanp	B2
35 - 50	B2b	O2
50 - 120	C1b	O1

*geen volledig profielbeschrijving

legenda eenheid: Hn23x

grondwatertrap: VI

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 22	Ap	B3
22 - 35	B2	B3
35 - 47	B3	B3
47 - 80	D11g	O6
80 - 90	D12g	O6
90 - 110	D21g	O6
110 - 200	D22g	O1
200 - 230	D2g	O1

legenda eenheid: Hn23x

grondwatertrap: V

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
+8 - 0	A0	B16
0 - 7	A1	B2
7 - 20	AB	B2
20 - 45	B3	O2
45 - 120	Dg	O6

* zwarte venige heideplag, niet in SR, keuze B16 (zandig veen en veen)

legenda eenheid: Hn23x

grondwatertrap: V*

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	Ap	B3
20 - 25	A2p	B3
25 - 40	B2p	B2
40 - 55	B22	B2
55 - 70	BC	O3
70 - 90	B23	O3
90 - 100	D1	O6
100 - 150	D2	O1

legenda eenheid: Hn21

grondwatertrap: VII

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 40	A1	B2
40 - 80	??	O2
80 - 120	??	O2

legenda eenheid: Hn21x

grondwatertrap: VII

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 80	A/B	B2
80 - 100	C	O2
100 - 200	D	O6

* geen volledige profielbeschrijving

legenda eenheid: Hn23

grondwatertrap: VI

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 22	Ap	B3
22 - 26	A2	B2
26 - 33	B2h	B2
33 - 42	B22	B3
42 - 62	B3	O3
62 - 88	D11g	O6
88 - 120	D12g	O6

legenda eenheid: cy23

grondwatertrap: VII

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 32	Aanp	B3
32 - 42	ABb	B3
42 - 50	B2b	B3
50 - 75	BCb	O3
75 - 90	C11b	O2
90 - 120	C12b	O3

legenda eenheid: Hn21

grondwatertrap: VI

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 25	Ap	B2
25 - 45	B2	B2
45 - 70	C11	O2
70 - 120	C12g	O2

legenda eenheid: zWzx

grondwatertrap: III

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 15	Aan	B3
15 - 30	Dd	B16
30 - 40	ACgb	O4
40 - 80	C1gb	O3
80 - 120	Dgb	O6

legenda eenheid: zWz

grondwatertrap: ?

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 15	A	B3
15 - 30	D	B16
30 - 40	AC	B3
40 - 120	C	O2

legenda eenheid: iVz

grondwatertrap: III

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 15	Alp	B15
15 - 65	C12	O16
65 - 105	C13	O17
105 - 115	C11b	O4
115 - 200	C14b	O2

* niet genoeg metingen voor een gemiddelde lijn in de Staring reeks
 ** qua textuur een O1, echter met opmerking 'waterhard', dus qua structuur geen gemiddelde curve in SR, dan toch maar O1

legenda eenheid: iVzx

grondwatertrap: III

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 14	Alp	B15
14 - 32	C11p	O16
32 - 60	C12	O16
60 - 80	C13	O17
80 - 88	Alb	O4
88 - 100	C11b	O2
100 - 120	D	O6

* niet genoeg metingen voor een gemiddelde lijn in de Staring reeks

legenda eenheid: iWz

grondwatertrap: III*/III

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	A	B16
20 - 40	C1	O16
40 - 50	Alb	O4
50 - 120	C2	O2

legenda eenheid: iWzx

grondwatertrap: V

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 40	A/C	B15
40 - 50	Alb	O4
50 - 75	C	O2
75 - 120	D	O6

legenda eenheid: vWzx

grondwatertrap: III

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 25	A1	B16
25 - 42	ACb	B16
42 - 76	C1gb	O3
76 - 80	Dgb	O6
80 - 175	DG	O6

legenda eenheid: iWp1

grondwatertrap: VI

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	Alp	B15
20 - 40	Dp	O17
40 - 55	AB2/3b	O20
55 - 100	C11/12b	O2
100 - 120	C13/14b	O6

legenda eenheid: vWz

grondwatertrap: III

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 25	A1	B16
25 - 30	D	O17
30 - 43	C11b	O4
43 - 100	C12b	O2
100 - 120	Cgb	O2

* niet genoeg metingen voor een gemiddelde lijn in de Staring reeks

legenda eenheid: iWpx		grondwatertrap: V
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	A1p	B15
20 - 40	??	O17
40 - 55	??	O20
55 - 100	B2b/Bcb	O2
100 - 120	Dgb	O6

* niet genoeg metingen voor een gemiddelde lijn in de Staring reeks
 ** gliedelaag, geen curve in SR, keuze 09 (matig lichte zavel)

legenda eenheid: iWp2		grondwatertrap: V/ VI
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	A1p	B1
20 - 42	Dp	B16
42 - 50	ABb	B1
50 - 77	BCh	B1
77 - 85	C11b	O3
85 - 96	C12b	O1
96 - 105	B2b	O1
105 - 120	C13b	O2

legenda eenheid: zWp		grondwatertrap: V
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 15	Aanp	B2
15 - 30	Dp	O16
30 - 35	??	O20
35 - 85	B2b	O2

legenda eenheid: zWpx		grondwatertrap: V
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 25	Aanp	B3
25 - 30	Dp	O16
30 - 40	B21b	O2
40 - 55	B22b	O2
55 - 65	B3b	O2
65 - 90	Dgb	O6
90 - 170	DG	O6

legenda eenheid: vWpx		grondwatertrap: V
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	Ap	B16
20 - 35	D	O16
35 - 40	A0/Bv	O20
40 - 110	??	O2
110 - 130	??	O6

* niet genoeg metingen voor een gemiddelde lijn in de Staring reeks

legenda eenheid: iVc

grondwatertrap: IV

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 15	A1p	B2
15 - 60	C12	O16
60 - 125	G	O17
125 - 135	A1b	O4
135 - 200	C11b	O2

* omschrijving is zavel met lössleembandjes

legenda eenheid: iVs

grondwatertrap: III

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 15	A1p	B15
15 - 60	C1p	O16
60 - 120	C12	O16

* niet genoeg metingen voor een gemiddelde lijn in de Staring reeks

legenda eenheid: iVpx

grondwatertrap: V

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 15	A1p	B2
15 - 50	C1p	O16
50 - 60	C12	O20
60 - 110	B2b	O3
110 - 160	Dgb	O6
160 - 220	Dg	O6

* niet genoeg metingen voor een gemiddelde lijn in de Staring reeks

** gliedelaag, geen curve in SR, keuze O9 (matig lichte zavel)

legenda eenheid: iVp

grondwatertrap: III/IV

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 15	A1p	B15
15 - 50	C1p	O16
50 - 70	C12	O19
70 - 80	A/B	O20
80 - 120	C	O2

* geen volledige profielbeschrijving

** niet genoeg metingen voor een gemiddelde lijn in de Staring reeks

legenda eenheid: sVz

grondwatertrap: VI

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 8	Aan	B3
8 - 55	C1	O16
55 - 70	CG	O17
70 - 120	G	O3

profielopbouw zoals aangetroffen in gebied Ravenswoud. In de rest van de kaart CG tot 90 cm (O16), dan een meerbodem tot 95 cm (geen fysische eenheid in de Staring reeks) gevolgd door een leemarm fijn zand (O1)

legenda eenheid: Vs		grondwatertrap: I/II/IV
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	A	B16
20 - 120	D	O16
*geen volledige profielbeschrijving		

legenda eenheid: Vp		grondwatertrap: II/V
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	A	B16
20 - 100	D	O16
100 - 120	??	O20
120 - 140	??	O2
* geen volledige profielbeschrijving		

legenda eenheid: Vpx		grondwatertrap: V
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 10	A	B16
10 - 80	D1	O16
80 - 90	C	O3
90 - 120	D2	O6
* geen volledige profielbeschrijving		

legenda eenheid: sVp		grondwatertrap: VI
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 8	Aan	B2
8 - 60	C11	O16
60 - 80	C12	O16
80 - 90	Alb	O2
90 - 100	B3b	O2

legenda eenheid: zVc		grondwatertrap: II
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	Aanp	B2
20 - 70	D	O17
70 - 120	G	O17

legenda eenheid: zVz		grondwatertrap: III
laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	Aanp	B2
20 - 50	D1	O17
50 - 65	D2	O17
65 - 70	Acb	O4
70 - 100	CG	O2
100 - 120	G	O2
* meerbodem, niet in SR, keuze O9 (matig lichte zavel)		

legenda eenheid: zVzx

grondwatertrap: III

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	Aanp	B3
20 - 50	D1	O17
50 - 65	D2	O17
65 - 100	C	O3
100 - 120	D	O6

* geen volledige profielbeschrijving

legenda eenheid: zVp

grondwatertrap: III

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	Aanp	B2
20 - 75	D	O16
75 - 80	A0/Bvb	O20
80 - 100	B2b	O2
100 - 120	BCb	O2

* gliedelaag, geen curve in SR, gezien textuur O3, keuze dan maar O3 (sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand)

legenda eenheid: zVs

grondwatertrap: III(*)/IV

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 20	Aanp	B2
20 - 120	D	O16

legenda eenheid: aVc

grondwatertrap: II

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 15	A1	B16
15 - 70	C1	O17
70 - 120	G	O17

legenda eenheid: aVz

grondwatertrap: III

laag (cm - mv)	code	Staringreeks bouwsteen
0 - 35	A11	B16
35 - 80	C1	O17
80 - 105	G1	O4
105 - 110	A1b	O2
110 - 125	G2	O2
	(voor gebied Peizerdiep:	O1)

* meerbodem, geen curve in SR, volgens textuur O3, keuze O3 (sterk lemig zeer fijn tot matig fijn zand)

Aanhangsel 3 Kunstwerken

De lokaties van kunstwerken zijn terug te vinden op de kaart in Bijlage 4: kunstwerken bevinden zich aan het einde van waterlooptrajecten waarvan de codes worden voorafgegaan door een '>' -teken. De in de tabel opgenomen 'leggercodes' verwijzen naar de codering van waterlopen in het model. Indien de code eindigt op een '0' dan betreft het een code van het waterschap die t.b.v. het modelonderzoek is voorzien van een extra '0' (waarmee een subnummering van deeltrajecten werd mogelijk gemaakt). Kunstwerkkodes beginnend met een 'S' verwijzen naar stuwen; codes beginnend met 'G' verwijzen naar gemalen; codes beginnend met een 'N' verwijzen naar stuwen of duikers in een natuurgebied; codes beginnend met een 'E' verwijzen naar kunstwerken die in de modelopzet zijn toegevoegd om peilen te realiseren die ook in de praktijk aanwezig zijn (in kanalen en in het duitse deel). De kolom 'soort' geeft informatie over de feitelijke inrichting van de betreffende 'stuw': VAST= vaste stuw; BEW = beweegbare stuw; AUT= automatische peilregeling.

Voor het peilregime (p.r.) zijn er drie opties:

- 1 : automatische peilregeling met zomer- en winterpeil (zp en wp)
- 2 : automatische peilregeling in de zomer, vaste stuwdrempel hoogte in de winter (platgelegde stuw)
- 3 : vaste stuwdrempel in zomer en winter; tevens een maximum peil (mp) dat niet of nauwelijks wordt overschreden (door vormgeving overlaat)

leg- ger	kunst- werk	soort	p.r.	zp	wp (m+NAP)	mp
11350	S97	BEW	1	15.80	15.80	-
11550	G18	ELEK	1	15.45	15.15	-
11950	N0	VAST	3	15.40	15.40	15.60
11980	N9	VAST	1	16.25	16.25	-
12040	S98	BEW	1	15.70	15.40	-
13200	S62	BEW	1	16.05	15.25	-
13300	S32	BEW	1	15.50	15.20	-
13450	S61	AUT	1	15.45	15.15	-
13750	S84	VAST	1	15.00	15.00	-
14400	S63	BEW	1	15.50	15.10	-
14550	G12	ELEK	1	15.40	15.05	-
14760	G14	AUT	1	15.20	15.20	-
15300	E90	VAST	1	17.68	17.68	-
15501	N40	VAST	3	16.10	16.10	16.30
15520	N32	VAST	3	17.15	17.15	17.35
15550	N33	VAST	3	16.90	16.90	17.10
15620	N25	VAST	3	17.15	17.15	17.35
15650	N26	VAST	3	16.90	16.90	17.10
15750	N1	VAST	3	14.60	14.60	14.80
16150	S30	BEW	1	15.30	14.90	-
16950	S95	BEW	1	16.30	15.90	-
17050	S96	BEW	1	15.80	15.80	-
18052	S88	BEW	1	18.65	18.65	-
18100	S89	BEW	1	17.80	17.80	-
18550	S94	BEW	1	16.85	16.45	-
18650	S96	BEW	1	15.80	15.80	-
20650	S27	BEW	2	14.40	13.62	13.87
20800	N39	VAST	3	15.50	15.50	15.70
21050	S46	BEW	2	14.60	13.82	14.07
22230	S90	BEW	1	14.10	13.75	-
22290	G16	AUTO	1	13.60	13.60	-

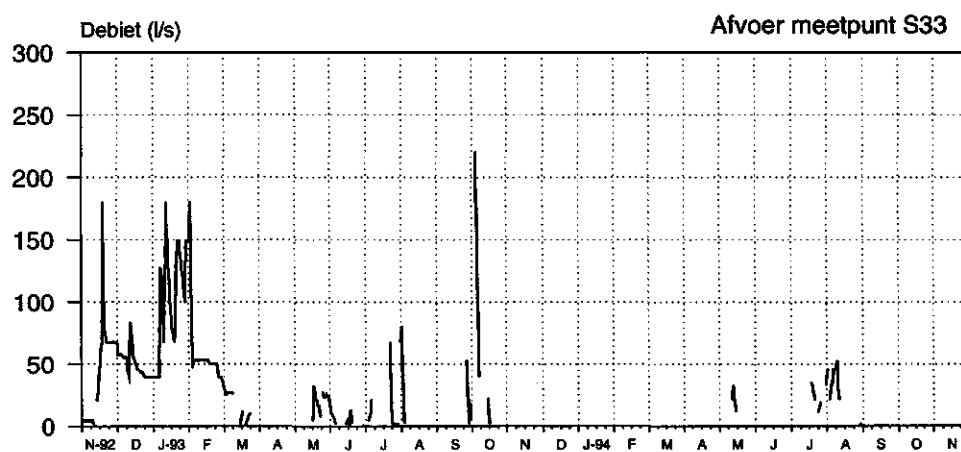
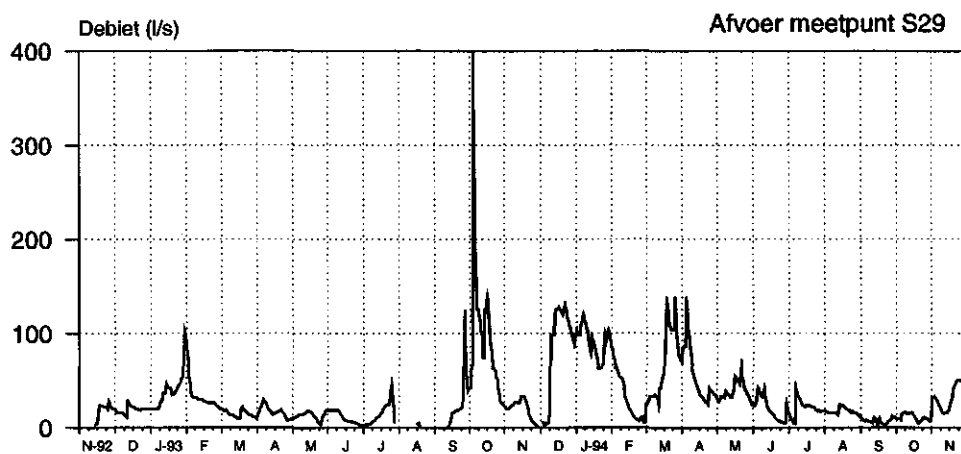
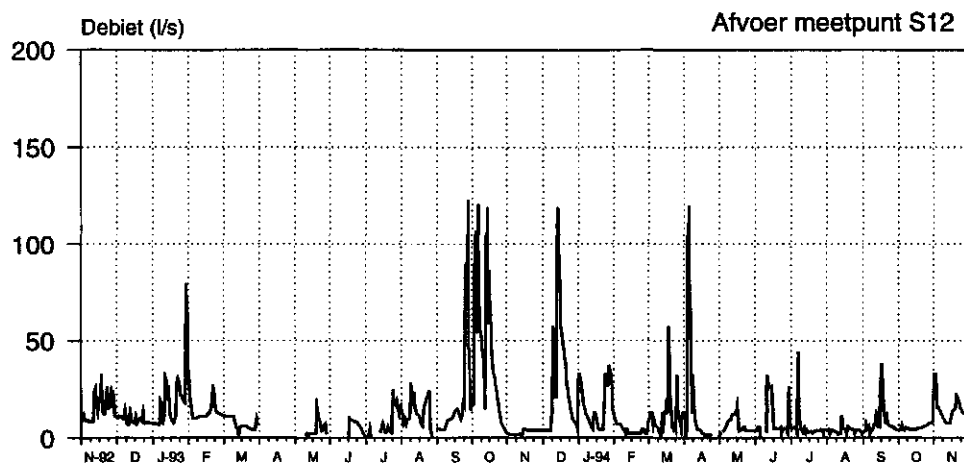
....

leg- ger	kunst- werk	soort	p.r.	zp	wp (m+NAP)	mp
23550	S76	BEW	1	15.10	14.50	-
23700	G15	ELEC	1	14.30	13.60	-
23800	S28	BEWE	2	14.25	13.04	13.29
24600	S26	ELEC	1	14.10	14.10	-
25000	S36	BEW	1	15.30	15.10	-
25800	S18	BEWE	2	13.80	13.55	13.80
26150	S19	BEW	1	13.40	13.05	-
26500	S35	BEW	1	13.35	13.15	-
26650	G7	ELEK	1	12.65	12.55	-
28850	S56	BEW	1	12.00	11.95	-
29250	S7	VAST	1	13.50	13.50	-
29300	S8	BEW	1	13.00	13.00	-
29400	S8	BEW	1	13.00	13.00	-
29550	S74	BEW	1	12.70	12.40	-
29650	S74	BEW	1	12.70	12.40	-
30350	S75	BEW	1	12.80	12.60	-
30700	S55	BEW	1	12.05	11.65	-
31150	S70	BEW	1	11.45	11.15	-
43150	S9	BEW	1	12.50	12.15	-
45750	S69	AUT	1	11.55	11.15	-
46000	S37	ELEK	1	11.10	10.70	-
47900	S43	AUT	1	11.25	10.95	-
48050	S44	VAST	1	10.60	10.15	-
48200	S41	BEW	1	10.35	9.85	-
48450	S54	BEW	1	11.90	11.50	-
49000	S45	BEW	1	11.30	10.90	-
49350	S87	BEW	1	11.40	11.00	-
49450	G10	AUT	1	10.70	10.70	-
50150	S42	BEW	1	10.60	10.25	-
50250	S42	BEW	1	10.60	10.25	-
51700	S38	BEW	1	10.45	9.80	-
52200	S39	BEW	1	10.50	10.25	-
52450	S40	BEW	1	9.70	9.50	-
52852	S91	BEW	1	9.55	8.80	-
53250	S11	BEW	1	9.85	9.40	-
53400	S11	BEW	1	9.85	9.40	-
54750	G3	AUT	1	9.05	8.80	-
56150	G3	AUT	1	9.05	8.80	-
57000	S93	BEW	1	13.60	13.60	-
61100	S65	BEW	1	14.90	14.45	-
61400	S60	BEW	1	14.25	13.80	-
62150	S57	BEW	1	14.25	13.85	-
62250	S4	AUT	1	13.80	13.50	-
63850	S80	VAST	1	13.45	13.45	-
63900	S3	AUT	1	12.50	12.10	-
64950	S78	BEW	1	13.20	12.80	-
65050	S79	BEW	1	12.80	12.40	-
65750	S68	BEW	1	12.75	12.35	-
66450	S66	BEW	1	12.50	12.00	-
67100	S67	BEW	2	12.15	11.18	11.43
67200	S59	BEW	2	11.90	11.01	11.26
67800	S58	BEW	2	11.75	11.03	11.28
68700	S53	BEW	1	11.75	11.25	-
69300	S52	BEW	1	11.40	10.70	-
69350	S2	AUT	1	11.10	10.70	-
69750	S49	BEW	1	11.15	10.70	-
69850	S6	VAST	1	10.40	10.40	-
70000	S5	VAST	1	10.50	10.50	-
70050	S48	AUT	1	10.75	10.45	-
70200	S1	AUT	1	10.25	9.85	-
70700	S47	BEW	1	10.55	10.05	-
70850	S47	BEW	1	10.55	10.05	-
71900	G11	ELEC	1	10.05	9.80	-
72050	E94	VAST	1	9.10	9.10	-
80300	E93	VAST	1	15.80	15.80	-
90100	E91	VAST	1	12.95	12.95	-
90300	E92	VAST	1	9.10	9.10	-
99921	N18	VAST	3	17.00	17.00	17.20

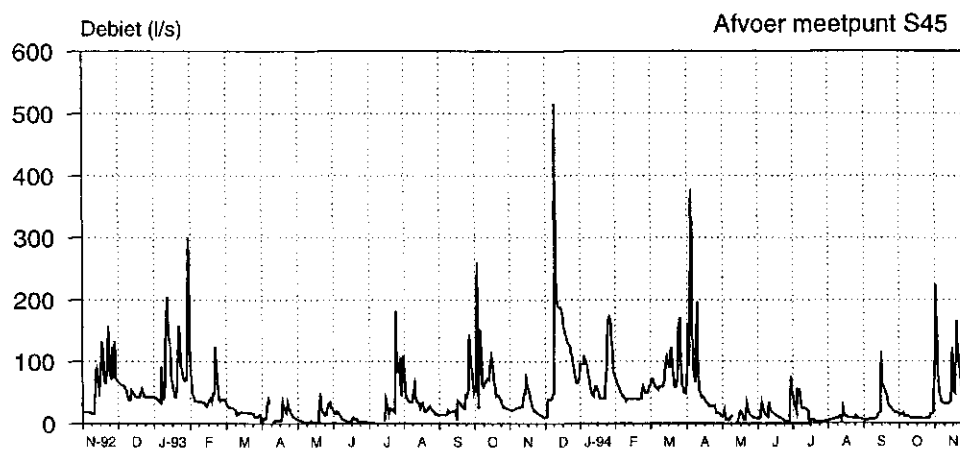
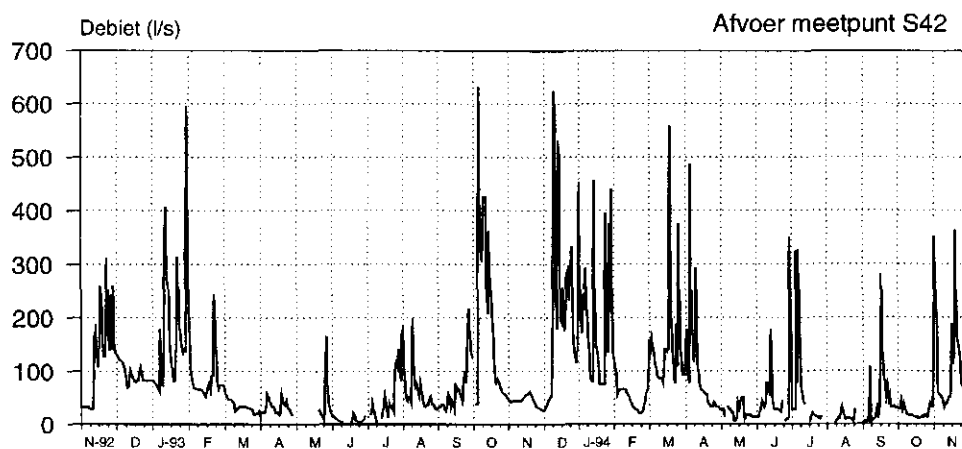
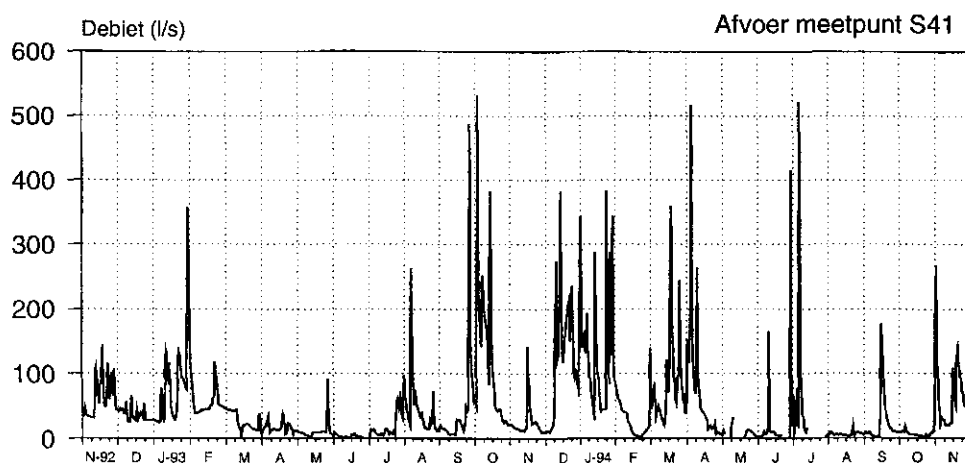
....

leg- ger	kunst- werk	soort	p.r.	zp	wp (m+NAP)	mp
99929	N11	VAST	3	17.00	17.00	17.20
99957	N17	VAST	3	18.00	18.00	18.20
99931	N16	VAST	3	19.00	19.00	19.20
99948	N15	VAST	3	19.00	19.00	19.20
99955	N10	VAST	3	19.20	19.20	19.40
99958	E86	VAST	1	14.75	14.75	-
99959	E81	VAST	1	14.75	14.75	-
99968	E82	VAST	1	15.10	15.10	-
99972	E83	VAST	1	15.50	15.50	-
99978	E85	VAST	1	16.57	16.57	-
99979	E80	VAST	1	15.40	15.40	-
99980	E80	VAST	1	15.40	15.40	-
99989	E84	VAST	1	15.60	15.60	-

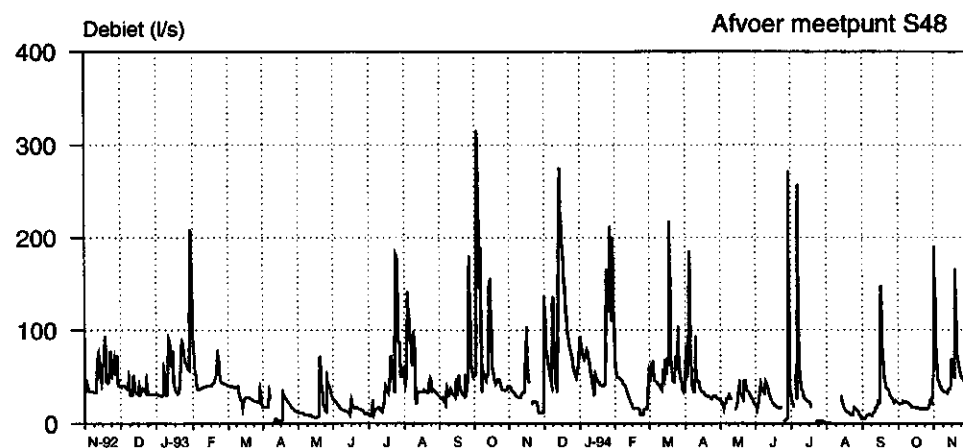
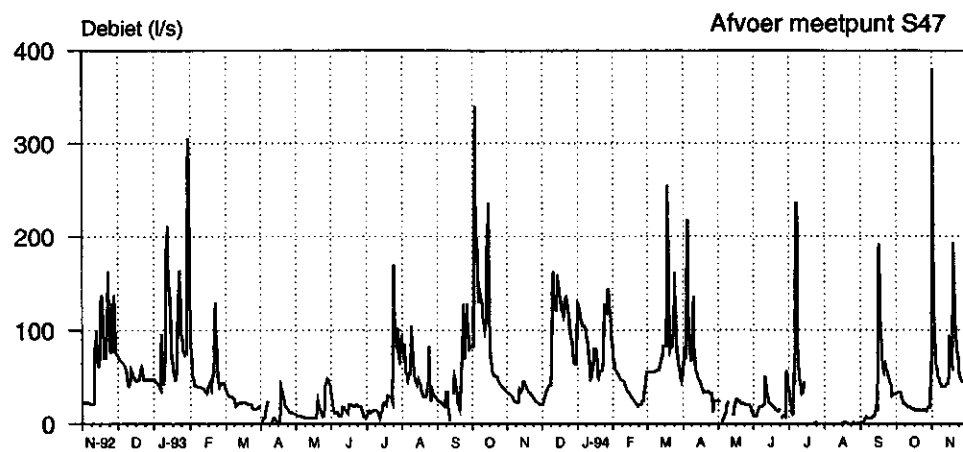
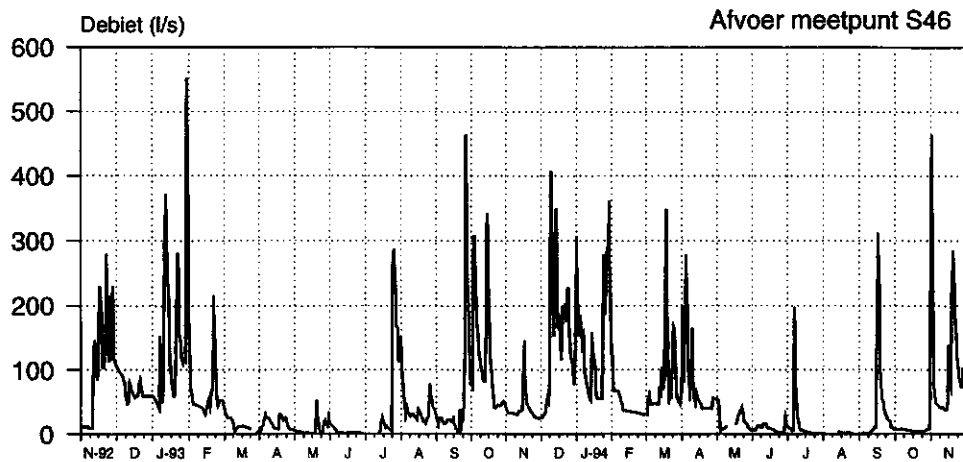
Aanhangsel 4 Gemeten afvoerverlopen



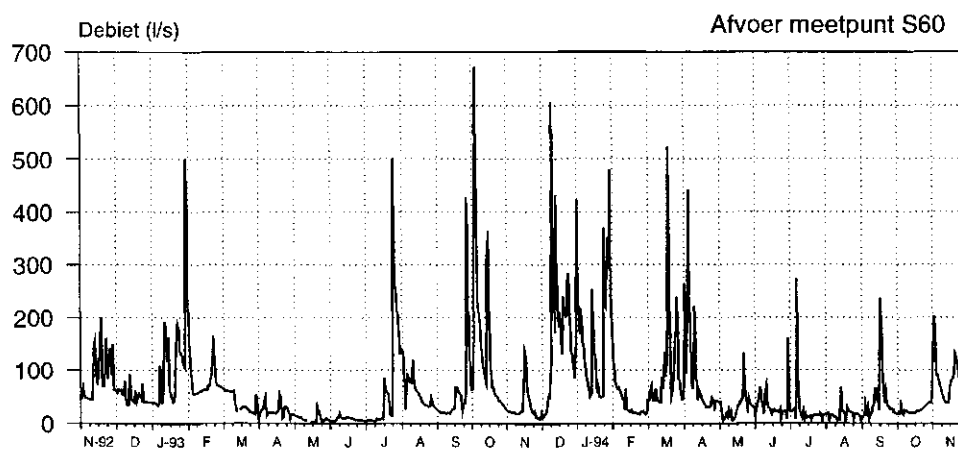
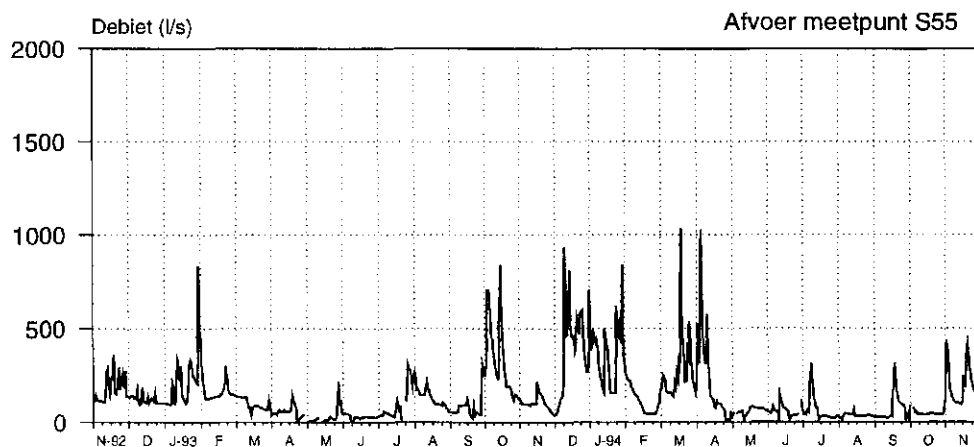
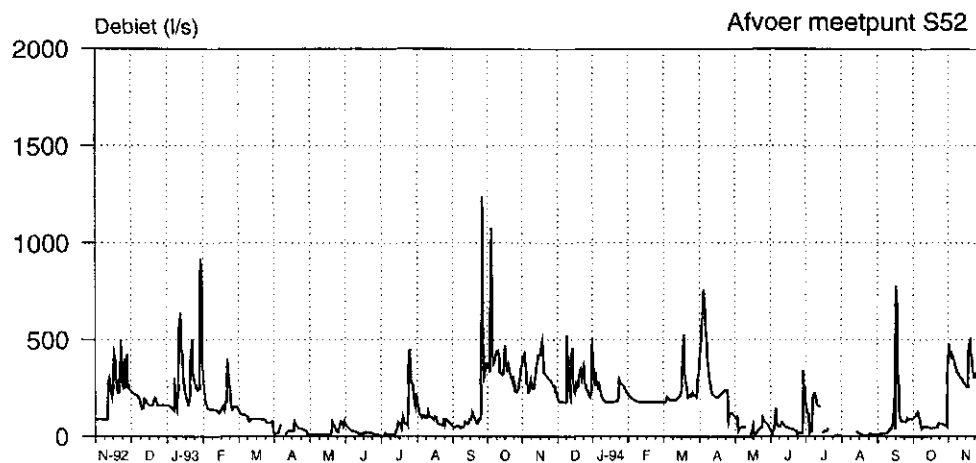
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



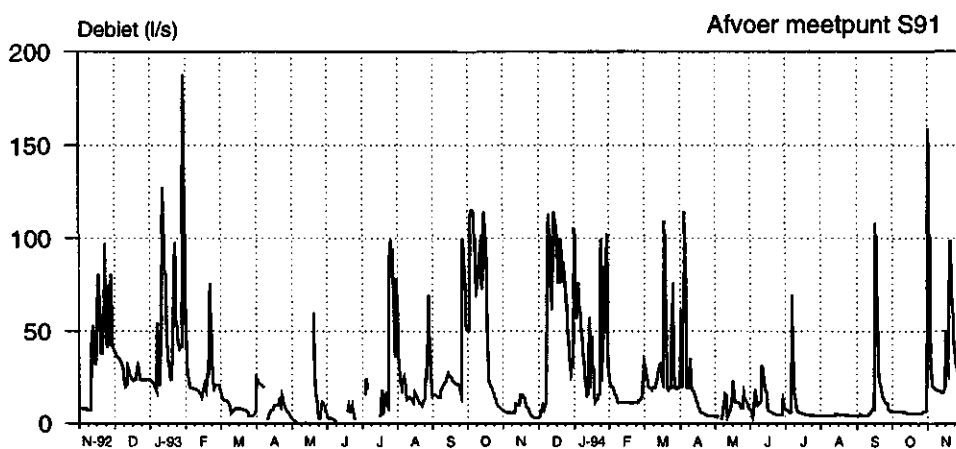
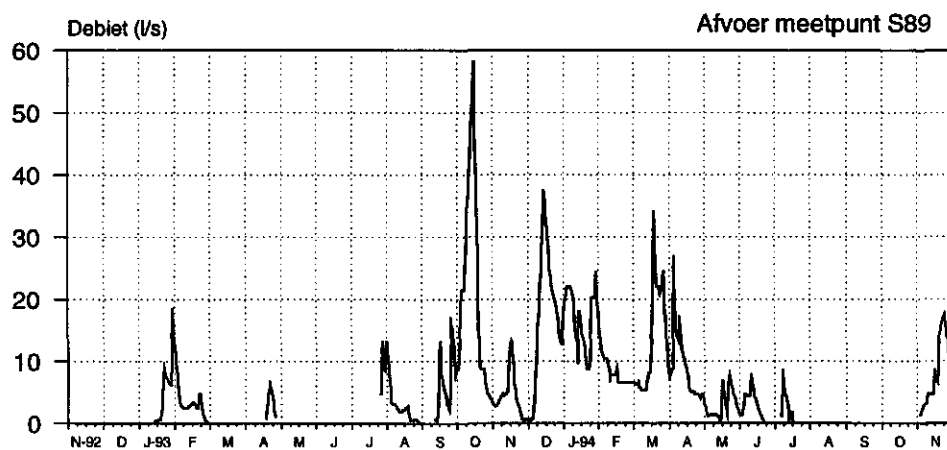
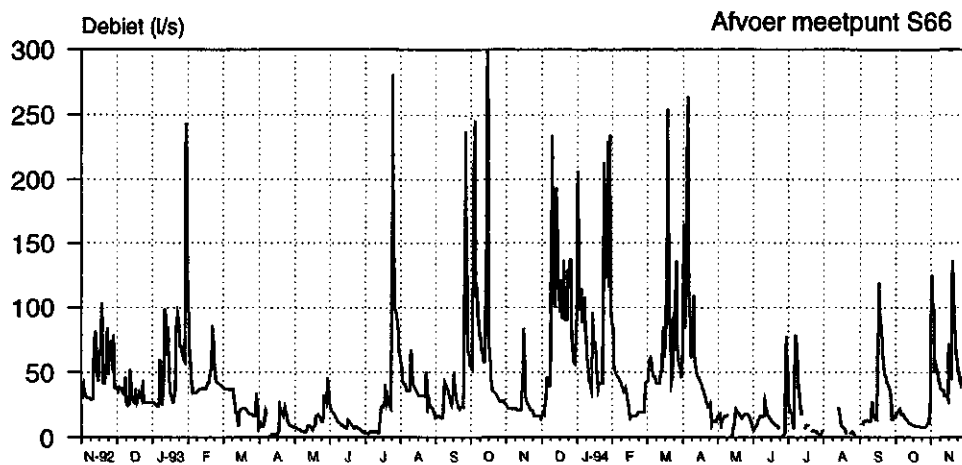
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



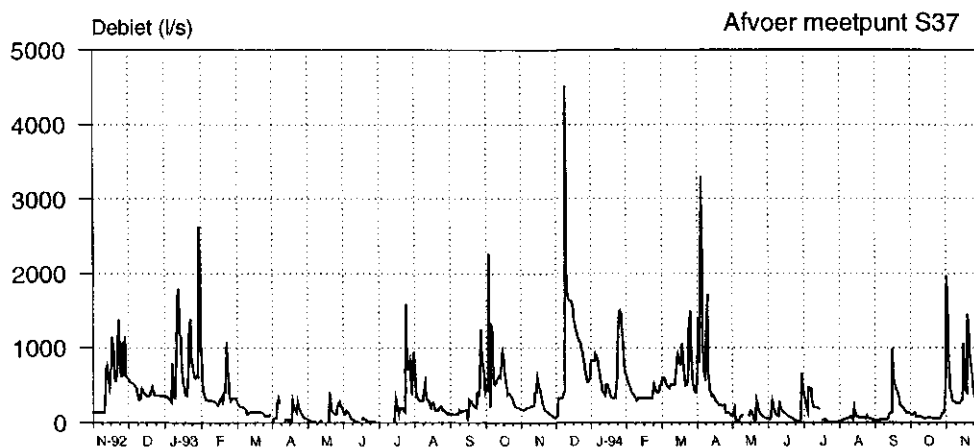
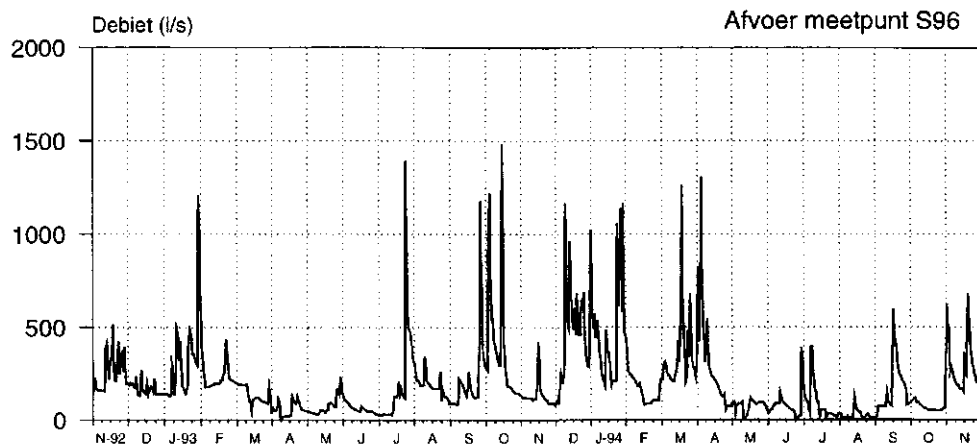
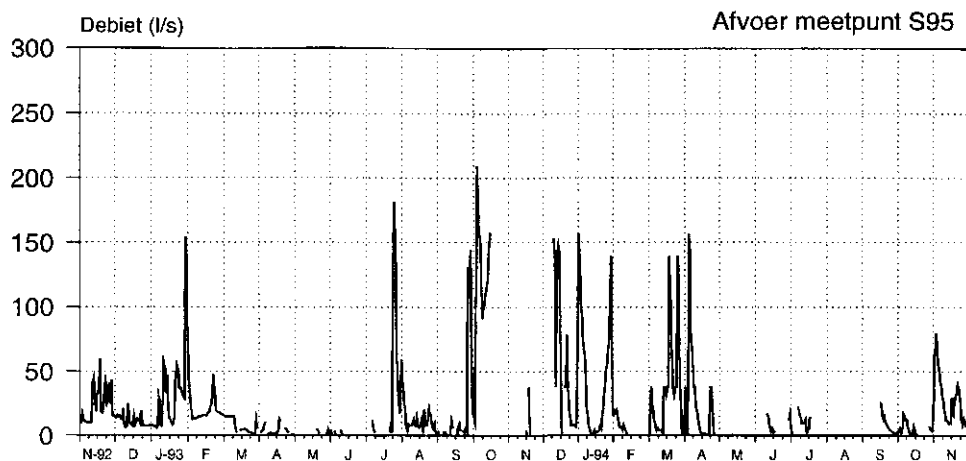
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



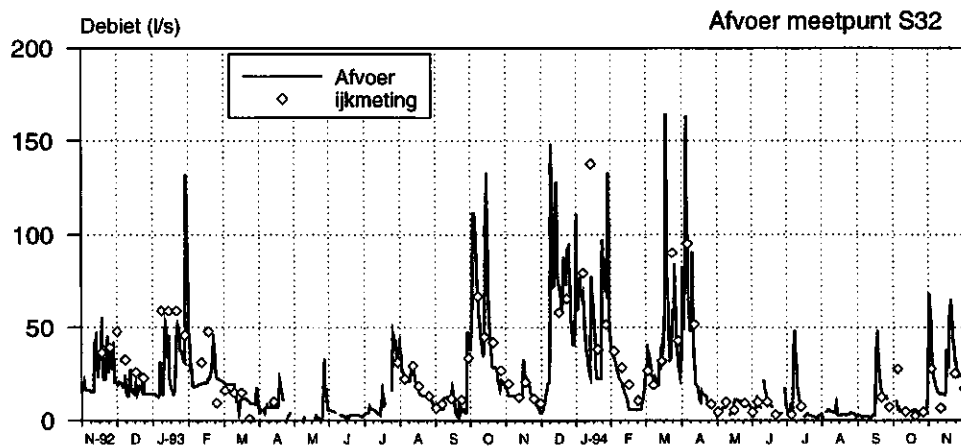
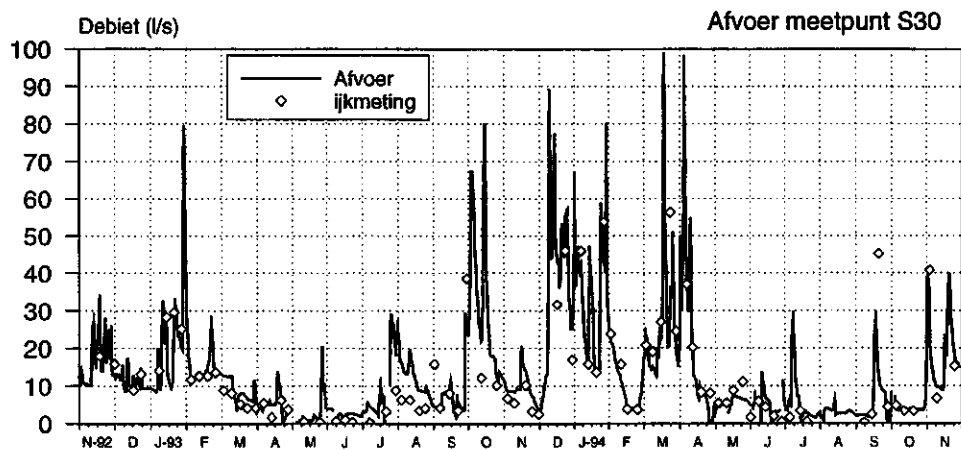
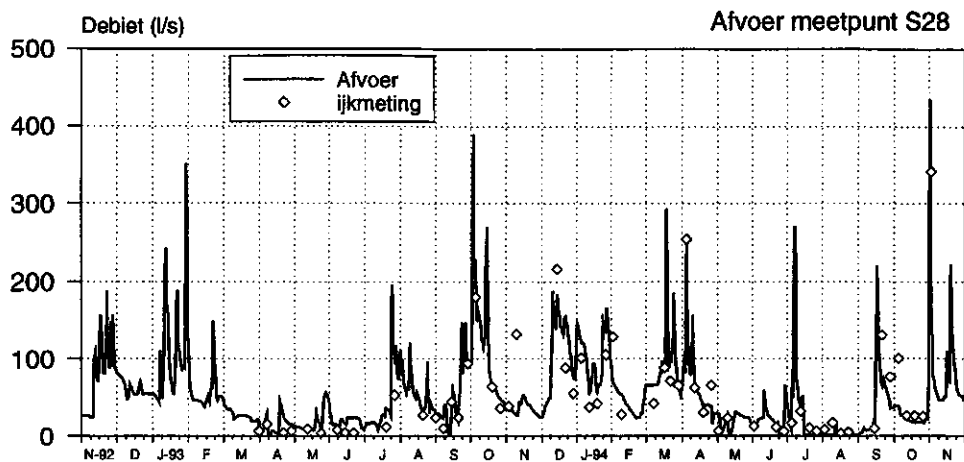
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



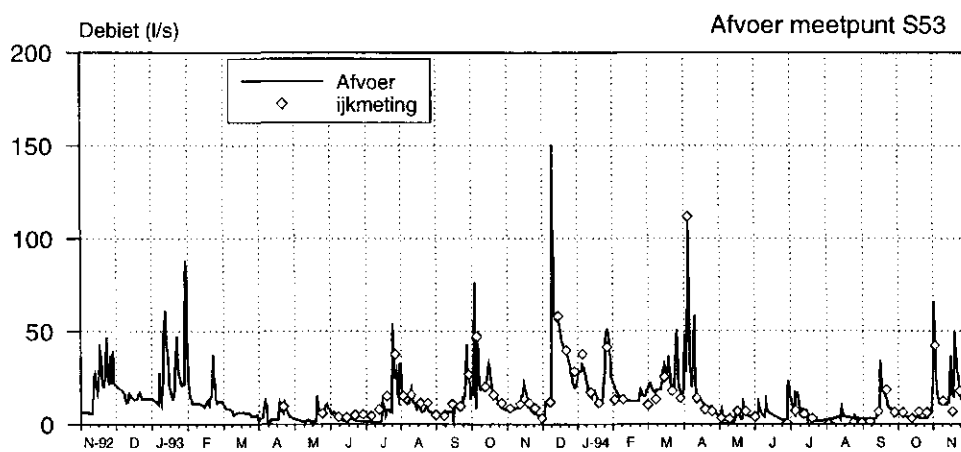
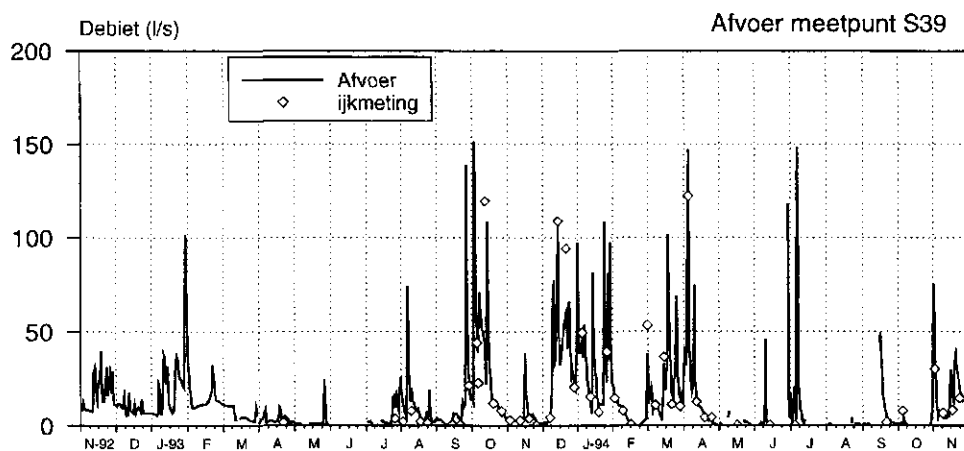
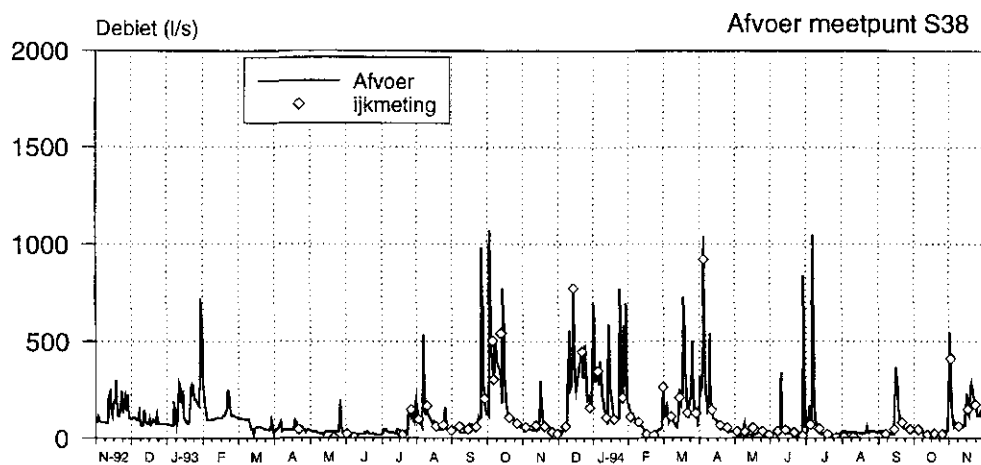
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



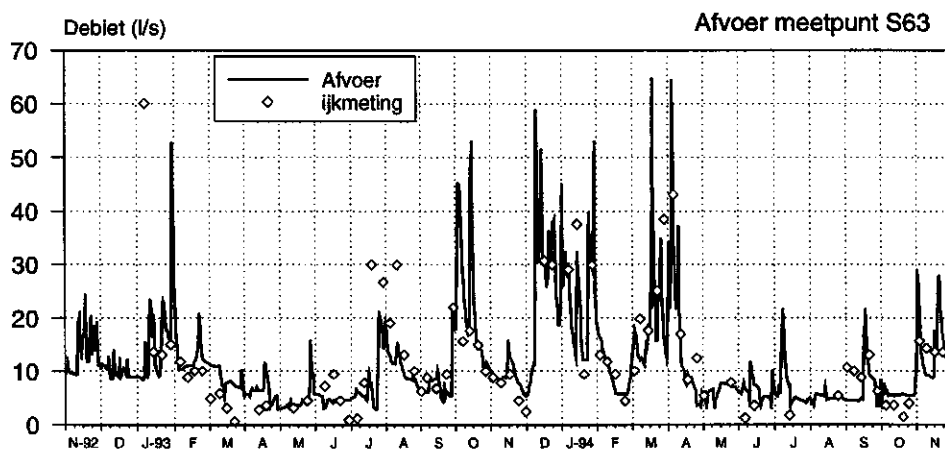
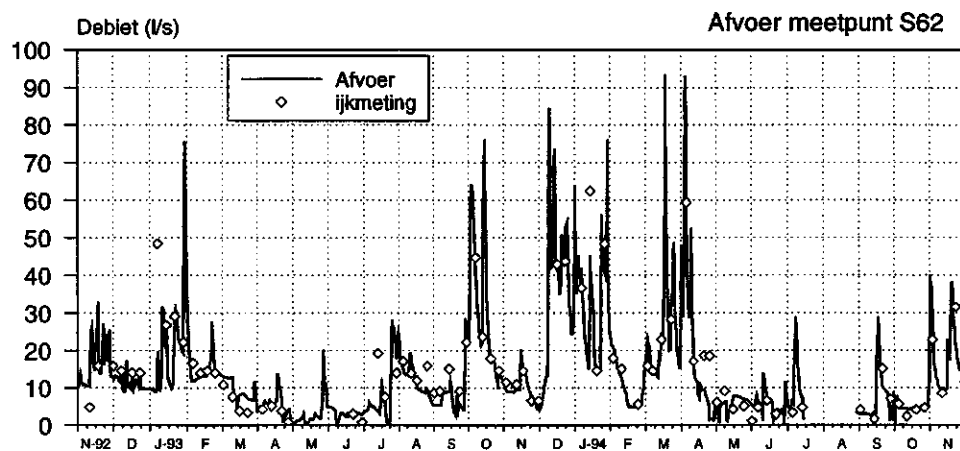
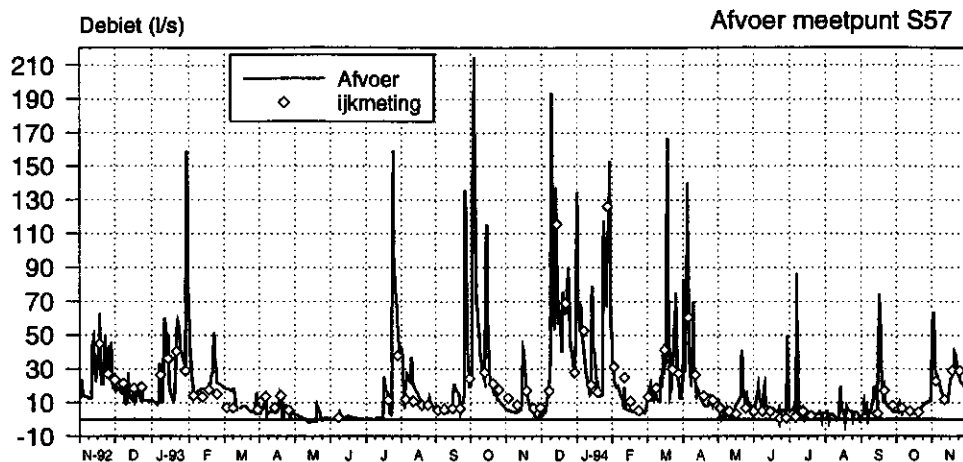
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



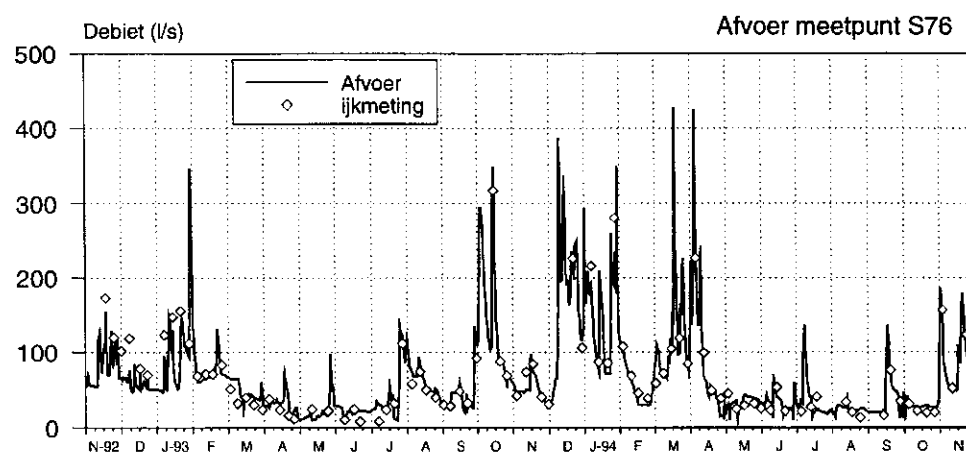
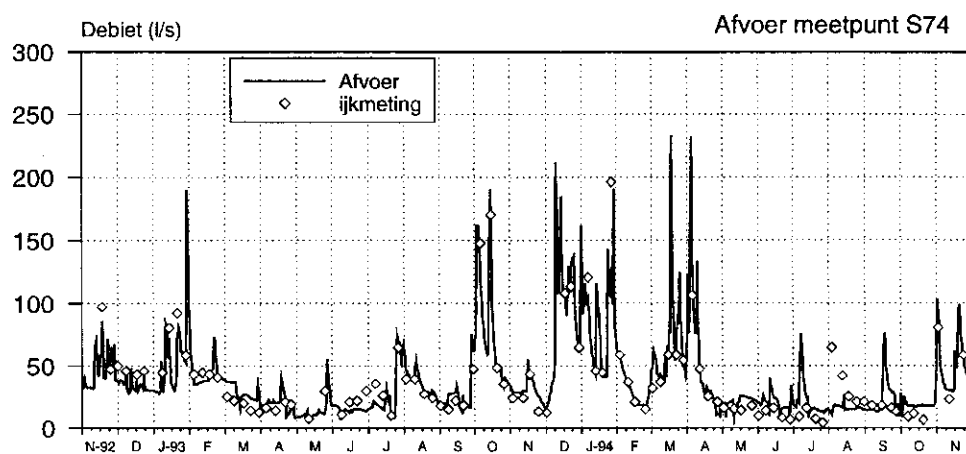
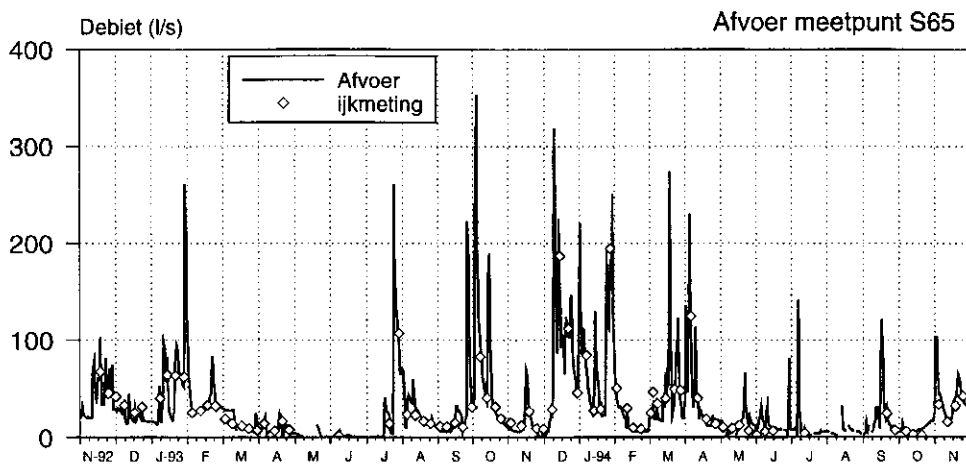
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



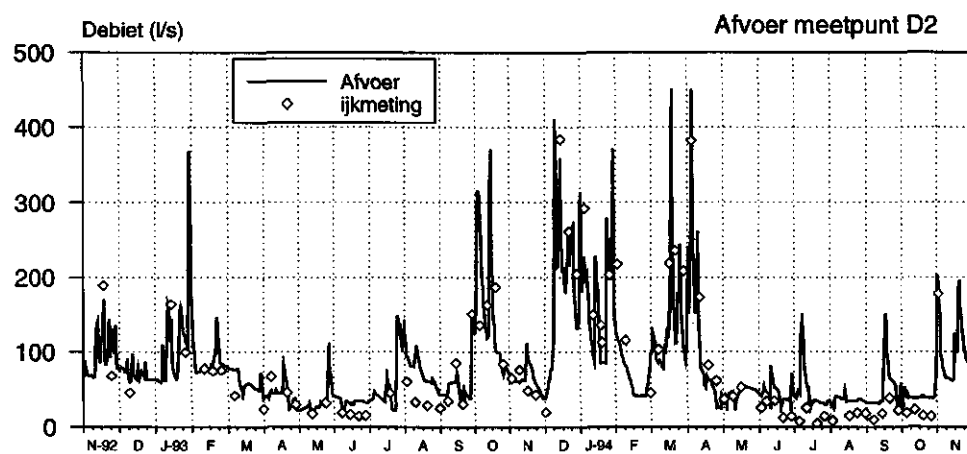
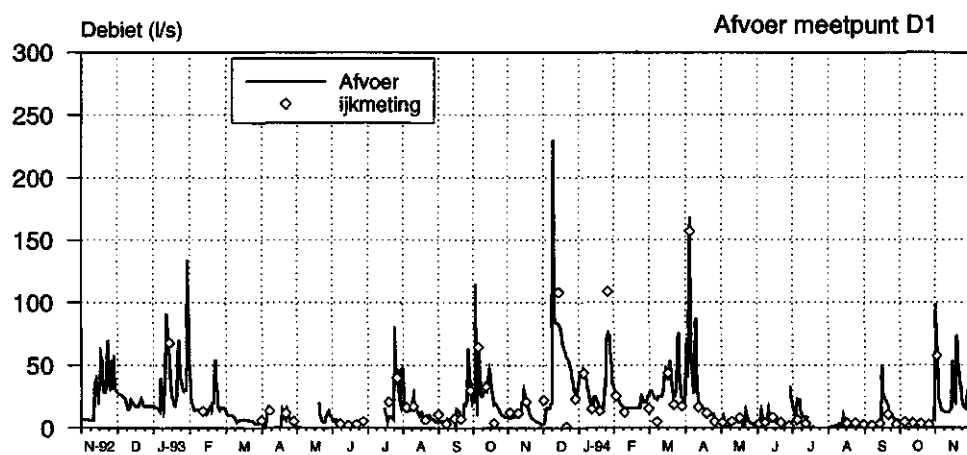
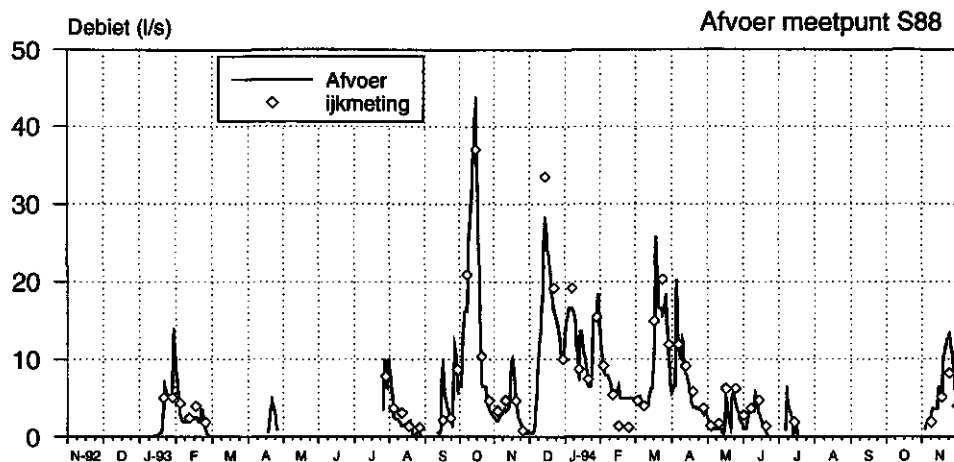
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



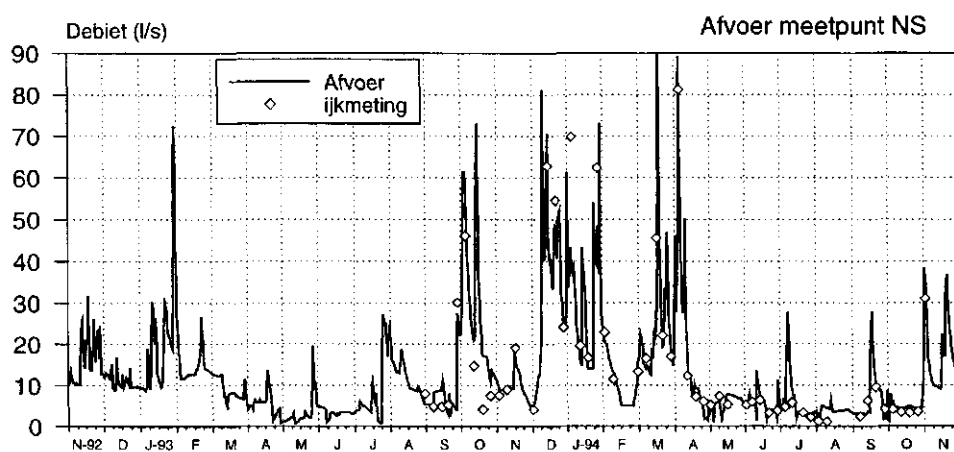
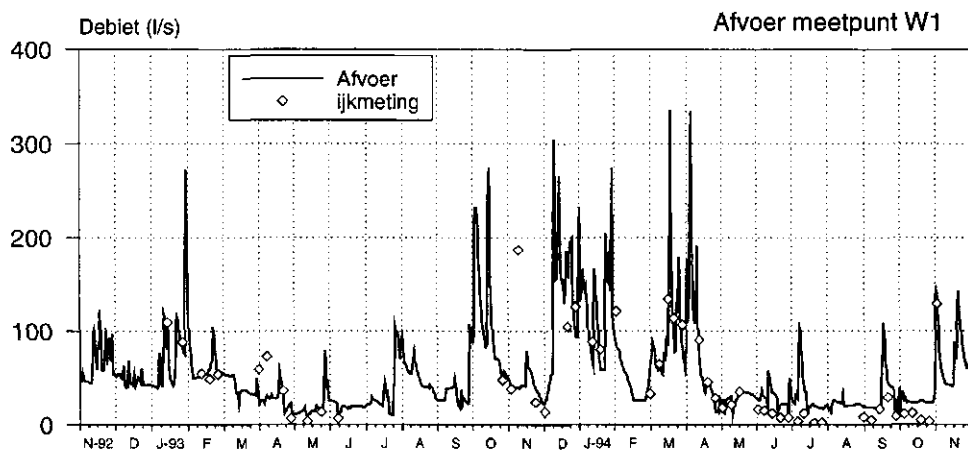
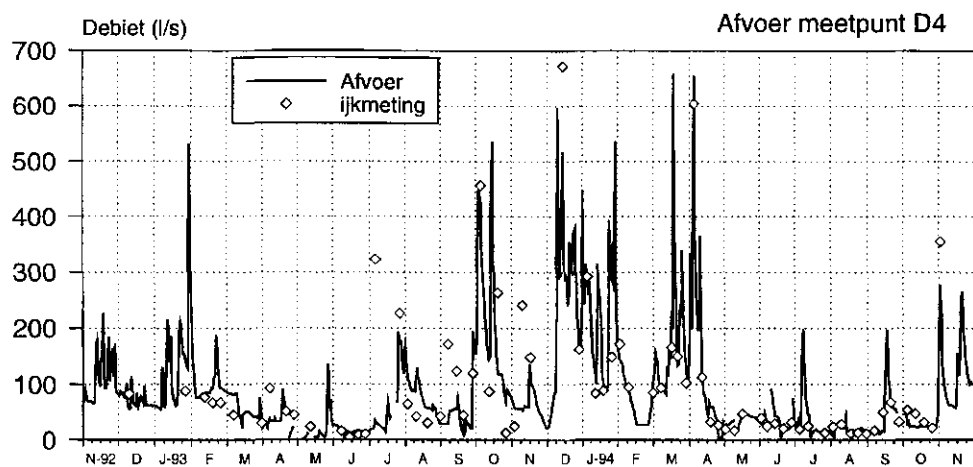
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



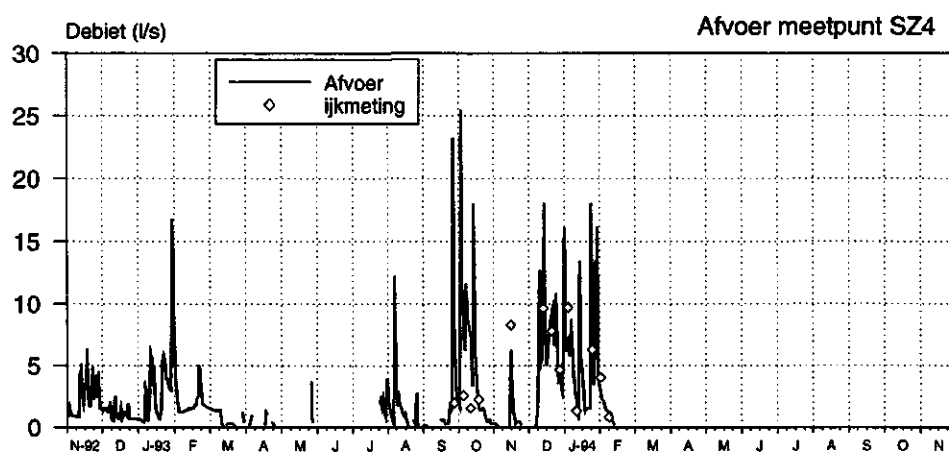
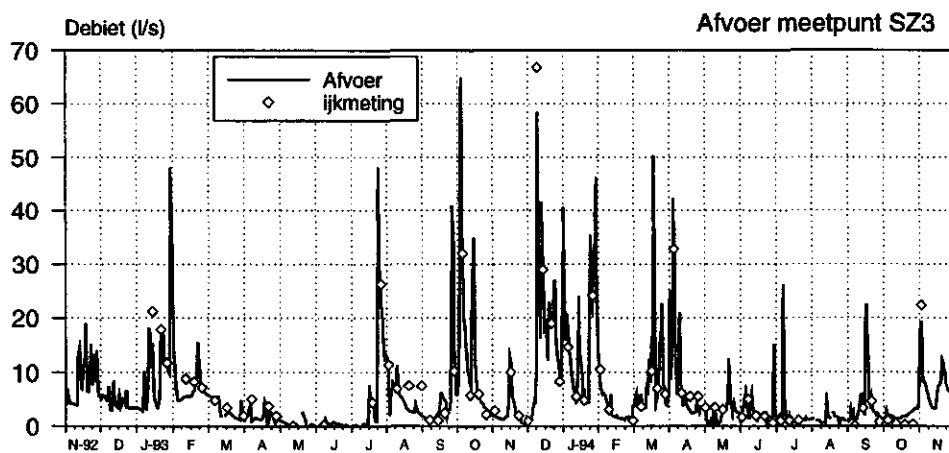
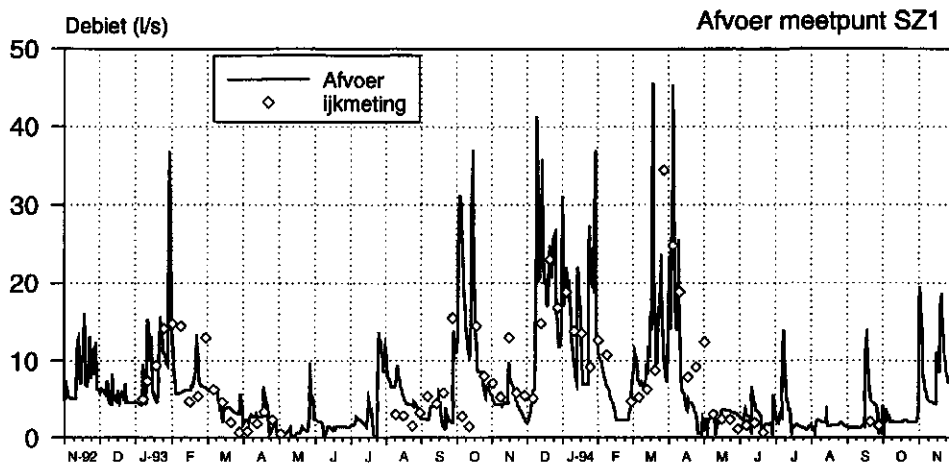
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



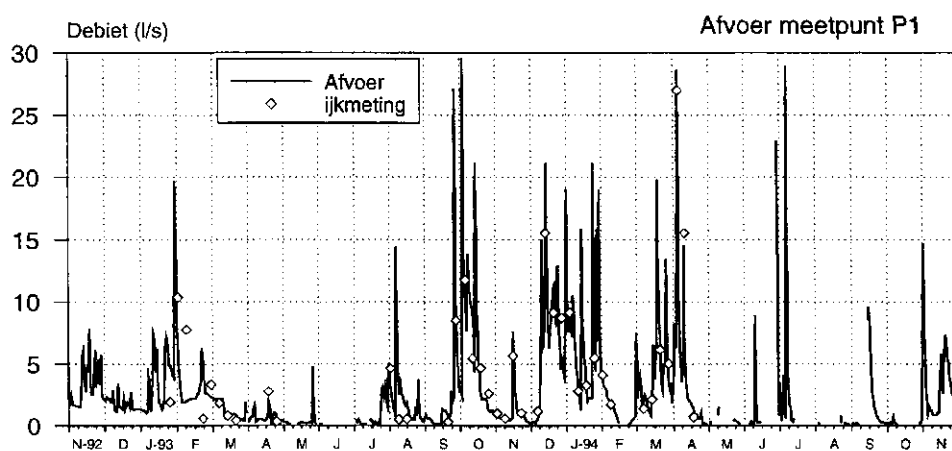
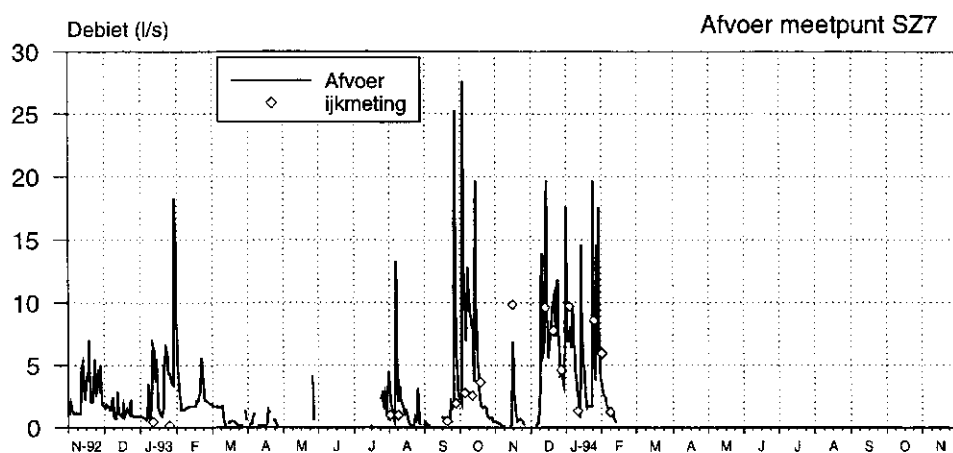
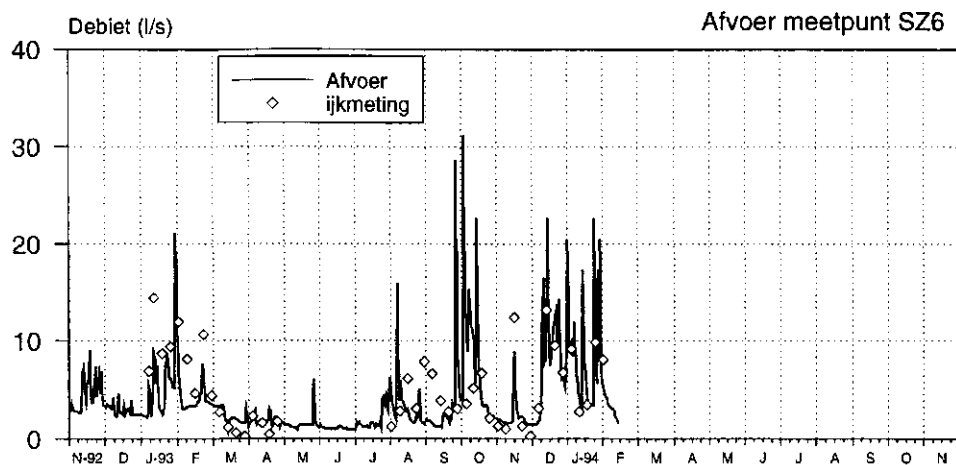
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



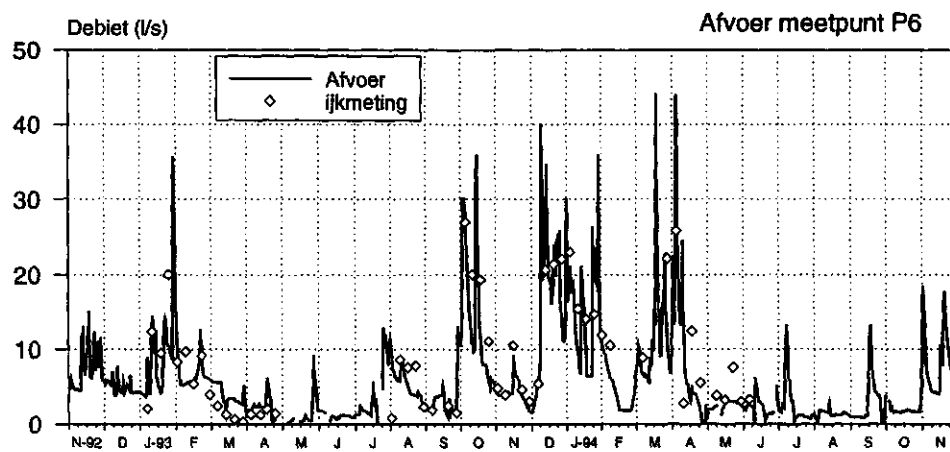
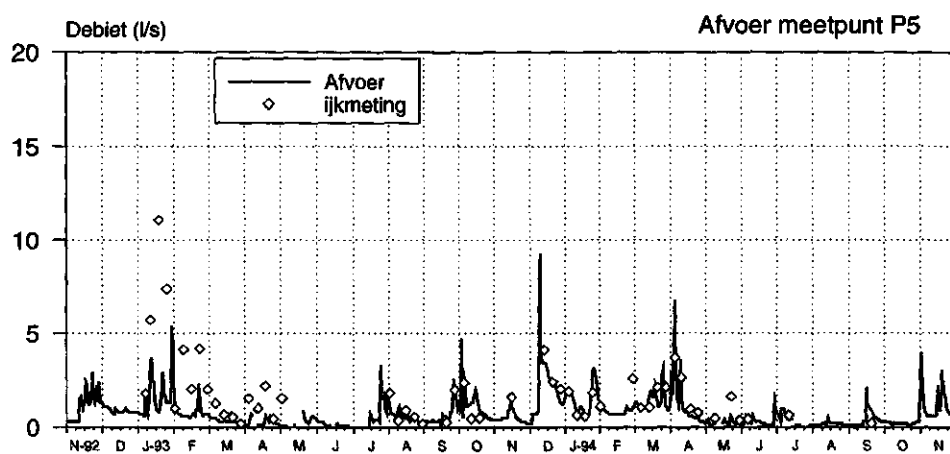
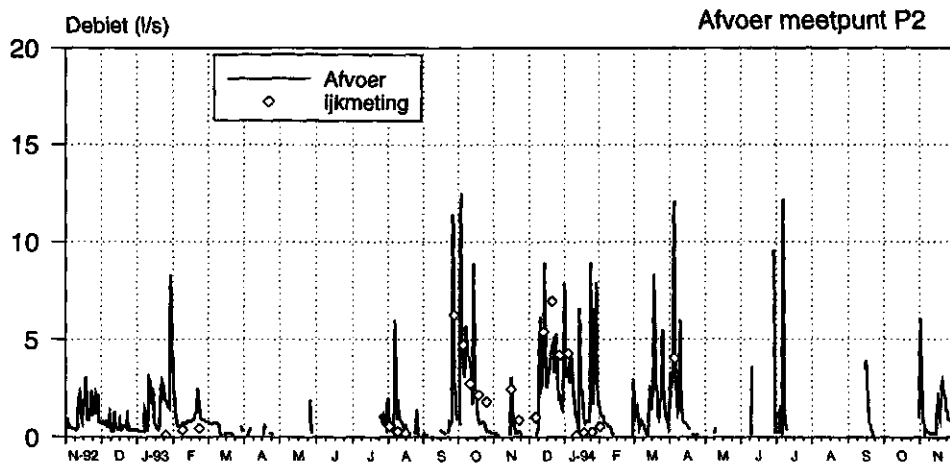
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



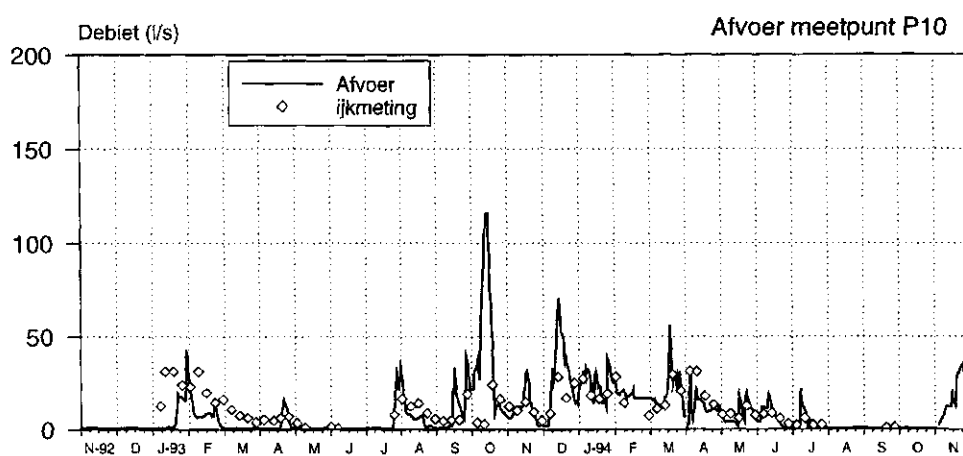
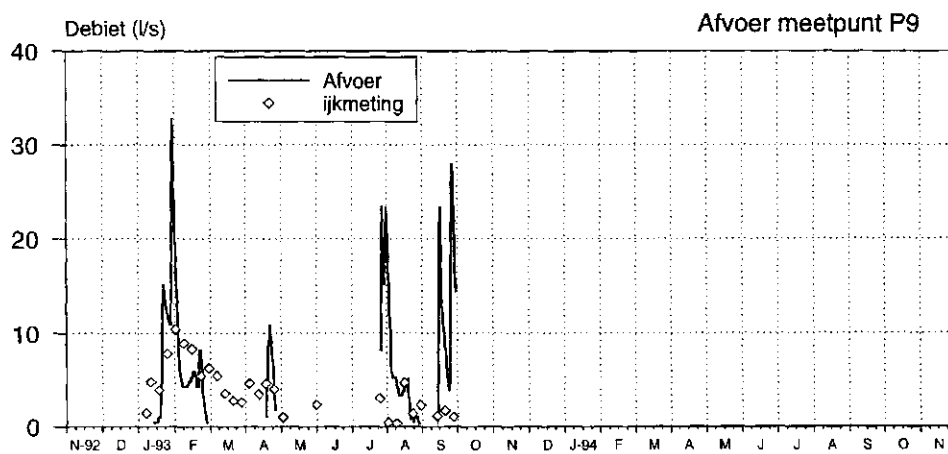
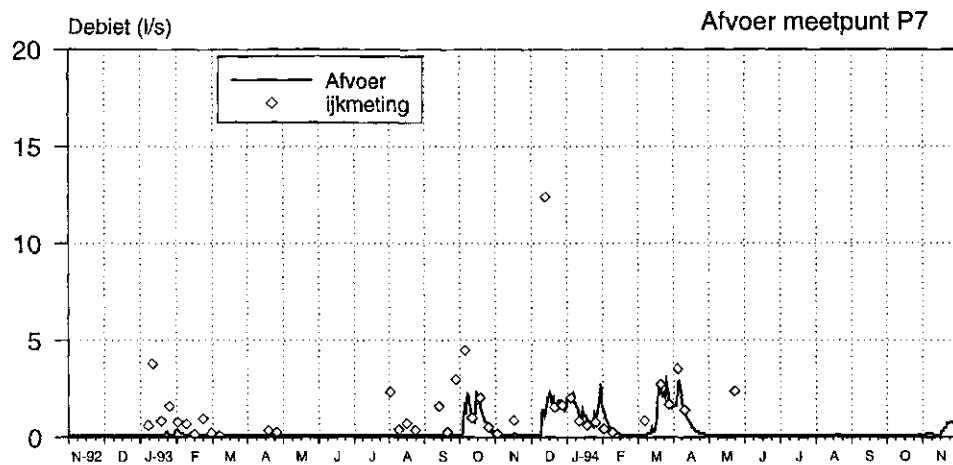
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



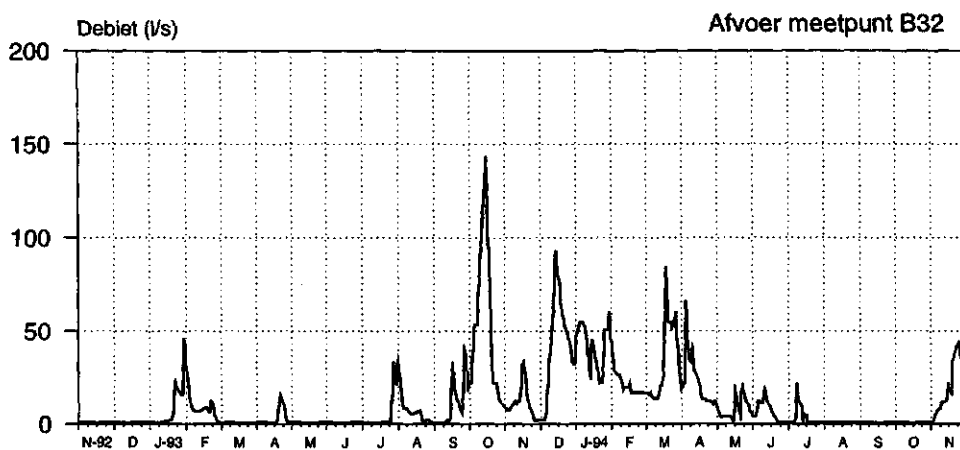
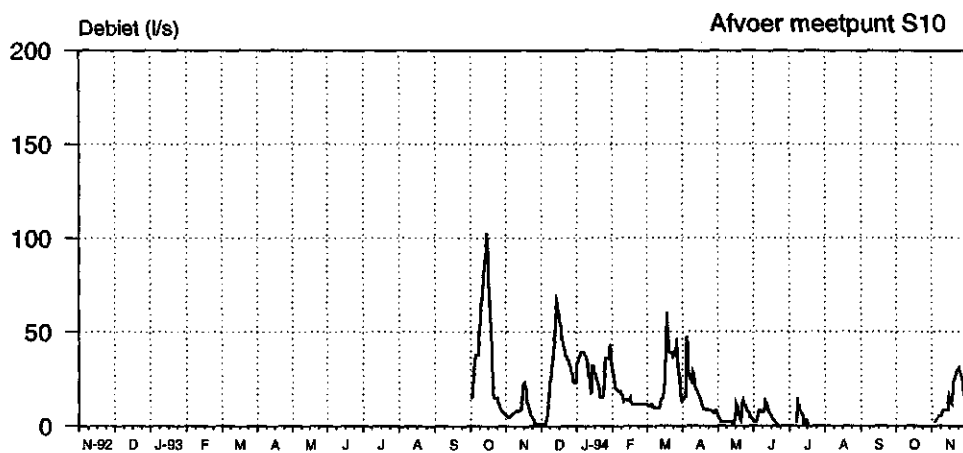
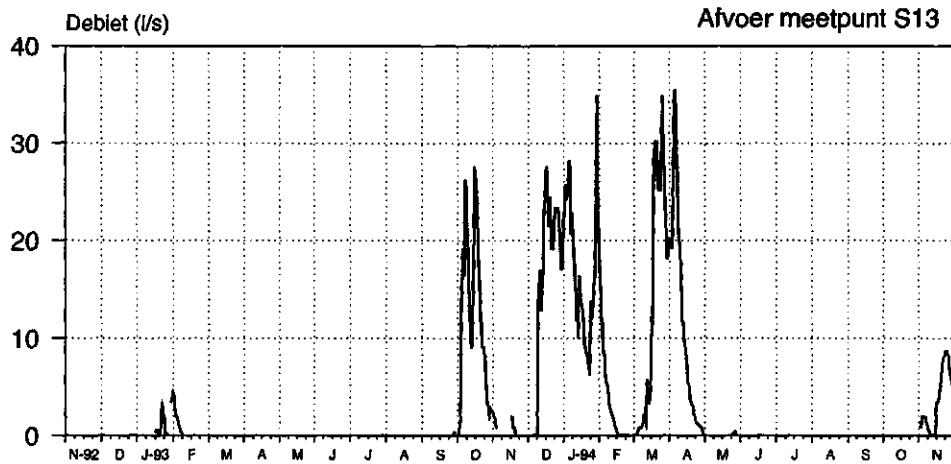
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



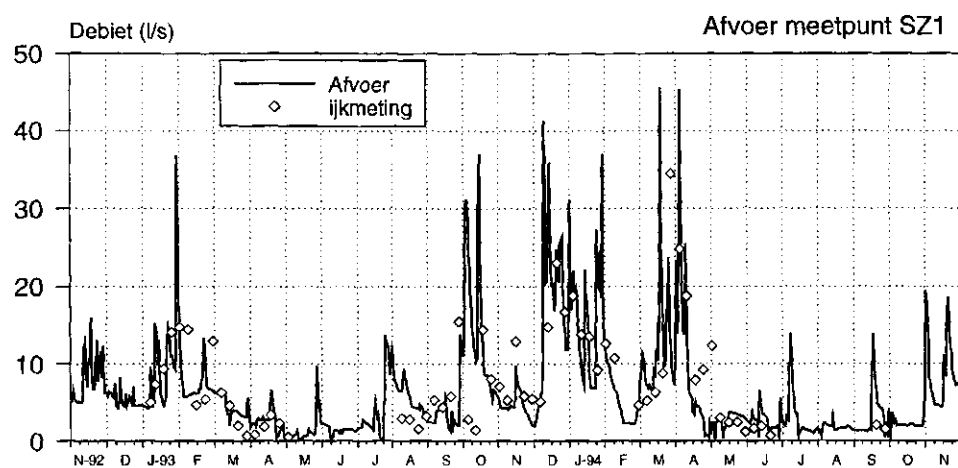
Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek



Meetprogramma Bargerveen/Schoonebeek

Aanhangsel 5 Schatting meetfouten debietmetingen

Bij de schatting van de standaardfout van een debietmeting is uitgegaan van een 'basisfout' van 10%. Daar is 5% (1 punt) of 10 % (2 punten) aan toegevoegd voor iedere omstandigheid die de meetnauwkeurigheid kan beïnvloeden:

A = verdronken stuw B = duiker
C = gemaal D = inlaat
E = onvolledige meetperiode F = geen continue meting
G = weekmeting overstort H = weekmeting met bak
I = wekelijkse fluxmeting K = bijzonderheden

meet- punt	Omstandigheden											stan- daard fout (%)	af- voer (1000 m3)	stan- daard- fout
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K				
S12					2							20	754	151
S29											2	20	2110	422
S33										1		15	868	130
S41					1							15	3071	461
S42	1				1							20	5210	1042
S45					1							15	2694	404
S46	1											15	3759	564
S47					1							15	3030	455
S48					1							15	2667	400
S52	1				1							20	10509	2102
S55					1							15	9282	1392
S60	1											15	4234	635
S66					1							15	2550	382
S89												10	322	32
S91					2							20	1496	299
S95												10	1054	105
S28	1					1			1			25	3543	886
S30						1						15	865	130
S32						1						15	1346	202
S37					2	1					1	30	22873	6862
S38					1	1						20	7186	1437
S39					1	1					1	25	773	193
S53					1	1						20	849	170
S57						1						15	1240	186
S62						1						15	858	129
S63	1					1						80	744	149
S65						1						15	1991	299
S74						1						15	2537	381
S76						1						15	4391	659
S88						1						15	244	37
S96					2	1					1	30	13139	3942
D1		1				1			1			25	1124	281
D2		1							1			20	5237	1047
D4		1					1		1			25	5702	1426
W1		1							1			20	3592	718
NS		1			2	1			1			35	847	296
O2		1			2	1			1			35	2530	886
SZ1								1				15	419	63
SZ3						1	1					20	383	77
SZ4					1			1		2		30	77	23
SZ6					1			1		2		30	160	48
SZ7					1			1		2		30	90	27
P1								1				15	152	23

meet- punt	Omstandigheden											stan- daard fout (%)	af- voer (1000 m3)	stan- daard- fout
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K				
P2						1		1		1	25	53	13	
P3						1		1		1	25	61	15	
P4						1		1		1	25	37	9	
P5						1		1		1	25	50	12	
P6						1		1		1	25	386	96	
P7						1		1		1	25	21	5	
P9				2				1		1	30	73	22	
S10					1						15	490	74	
P10						1		1		1	25	619	155	
S13											10	202	20	
G3-1			1							1	20	5632	1126	
G3-2			1							1	20	8046	1609	
G10			1			1				1	25	1769	442	
G11-1			1			1				1	25	1118	279	
G11-2			1			1				1	25	1429	357	
G12			1							1	20	9856	1971	
G15			1			1				1	25	1218	305	
G16			1			1				1	25	1400	350	
G18			1			1				1	25	1619	405	
I2				1		1			1		25	5	1	
I6				1		1			1		25	21	5	
I10						1					15	0	0	
I14				1		1			1		25	21	5	
I15						1					15	0	0	
I16						1					15	0	0	
I17				1		1			1		25	4	1	
I18				1		1			1		25	2	1	
I19				1		1			1		25	18	4	
I20				1		1			1		25	6	1	
I21						1			1		20	0	0	
I22				1		1			1		25	12	3	
I23						1			1		20	0	0	
I27						1			1		20	0	0	
I28						1			1		20	0	0	
I30				1		1			1		25	18	4	
I31				1		1			1		25	19	5	
I32				1		1			1		25	62	16	
I33						1			1		20	0	0	
I37				1		1			1		25	33	8	
I38						1			1		20	0	0	
I43						1			1		20	0	0	
I-G3						1			1		20	0	0	
I-G11				1		1			1	1	30	69	21	
I-S39				1		1			1	1	30	51	15	
S64											10	0	0	

Aanhangsel 6 Aan- en afvoerpunten van waterbalanseenheden

Waterbalanseenheden	Aanvoerpunten	Afvoerpunten
1	D3, I26, P1, S32, S63, S98	G12
2	I44	G18
3	I-G9, I27, S89	S33, S62, S94
4	S62	S32
5	S64, S97	S98
6	I9	S76
7	geen	D3
8	geen	P2, P3, P4
9	geen	ni-B9
10	geen	SZ1
11	SZ1	ni-B11
12	S33	S95
13	geen	S89
14	P2, P3, P4	P1
15	geen	P5
16	geen	onbekend
17	geen	P6, P7
18	geen	SZ2
19	P5, P6, P7, SZ2, en meer	S64, S29
20	geen	P8
21	I42	G15
22+23	D2, S29, P8, S30, S94, S95	I43, S96
24	S10, S13, W1	D2
25	geen	P9, S10
26	P9	ni-B26
27	G15, S76	I42, S28
28	I43	G16
29	S96	S27
30+31	geen	S30
32	geen	P10, S13
33+40	P10	W1
34	I32	S74
35	S46	D4, I37
36 (+)	SZ3	S46
37+38	geen	SZ4, SZ6, SZ7
39	geen	SZ3
40	onbekend	W1
41	geen	D1
42	geen	NS
43	I23	S57
44	S65	S60, I23
45	geen	S65
46	D1, I31, S74	I19, I20, I33, S55
47+48+49	I2, I33, O2, S55	I17, S37
50	I21	S53
51+52	I19	S45
53+56	I17	I14, S41
54	S45	G10
55	I14, G10	I18, S42
57	S42	I15, S38
58	I15, I-S39	S39
59	geen	S40
60	I37	I30, S66, S80
61	I20, I30, S53	I21, I22, S52
62	I22	S48
63	geen	S47
64	I-G11, S47	I6, G11
65	S12	S91
66	I6, I-G3	G3(2)
67	I28, I38, I-G3	G3(1)

Aanhangsel 7 Aan- en afvoertermen van waterbalansenheden

Waterbalansen van het oppervlaktewater voor de periode 1-11-19 t/m 30-11-97, zijnde een periode van 760 dagen; NA = geen waarde beschikbaar

Water- balans- eenheden	Opperv- vlakte (ha)	Inlaat (mm)	Afvoer (mm)	Netto afvoer (mm)
1	429	NA	2298	NA
2	103	NA	1567	NA
3	717	NA	NA	NA
4	111	773	1214	440
5	178	NA	NA	NA
6	413	NA	1063	NA
7	32	0	NA	NA
8	41	0	365	365
9	22	0	NA	NA
10	54	0	782	782
11	103	406	NA	NA
12	162	537	652	115
13	77	0	418	418
14	19	811	818	7
15	30	0	164	164
16	21	0	NA	NA
17	37	0	1085	1085
18	45	0	NA	NA
19	28	NA	7520	NA
20	10	0	NA	NA
21	83	NA	1474	NA
22+23	203	NA	6464	NA
24	11	38246	46755	8509
25	107	0	526	526
26	103	71	NA	NA
27	71	7915	NA	NA
28	80	0	1759	1759
29	56	23363	NA	NA
30+31	229	0	377	377
32	114	0	723	723
33+40	276	224	1299	1075
34	302	21	840	819
35	507	741	1131	390
36 (+)	220	174	1711	1537
37+38	45	0	723	723
39	73	0	524	524
40	192	NA	1867	NA
41	180	0	626	626
42	206	0	411	411
43	233	0	532	532
44	203	979	2083	1103
45	281	0	708	708
46	489	753	1905	1151
47+48+49	624	1893	3665	1772
50	105	0	809	809
51+52	296	6	909	903
53+56	410	1	754	753
54	117	2305	1514	-791
55	148	1209	3520	2311
57	284	1836	2532	696
.....				

Waterbalansen (vervolg)

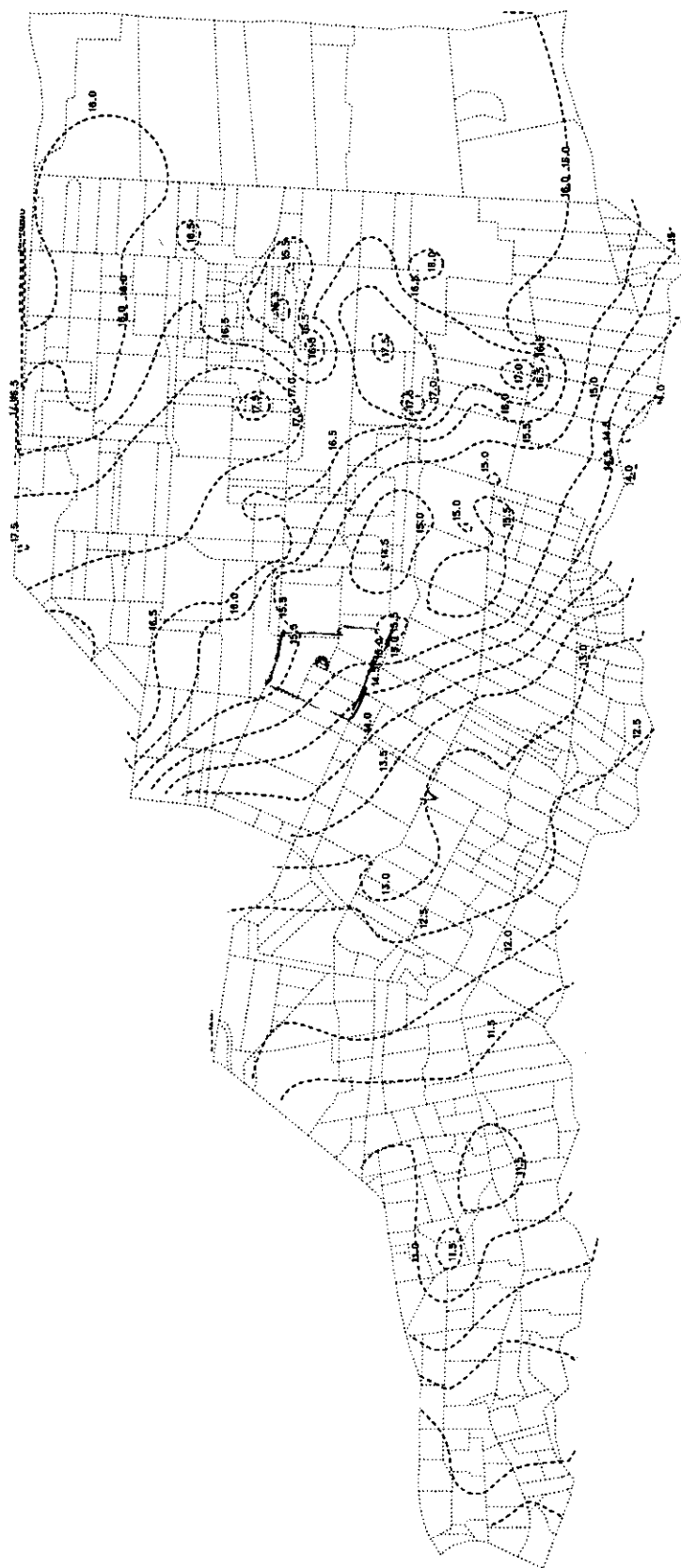
Water- balans- eenheden	Oppervlakte (ha)	Inlaat (mm)	Afvoer (mm)	Netto afvoer (mm)
58	114	45	680	635
59	84	0	NA	NA
60	181	18	1420	1402
61	333	262	3160	2898
62	178	7	1499	1493
63	181	0	1674	1674
64	237	1309	1084	-225
65	121	621	1233	611
66	546	4	1473	1469
67	338	0	1668	1668
54+55	265	1017	1966	950
65+66	668	3	1205	1202
36-39	293	0	1284	1284
Bargerveen	952	0	772	772
50+61	438	5	2403	2395

Aanhangsel 8 Standaardfouten waterbalansen

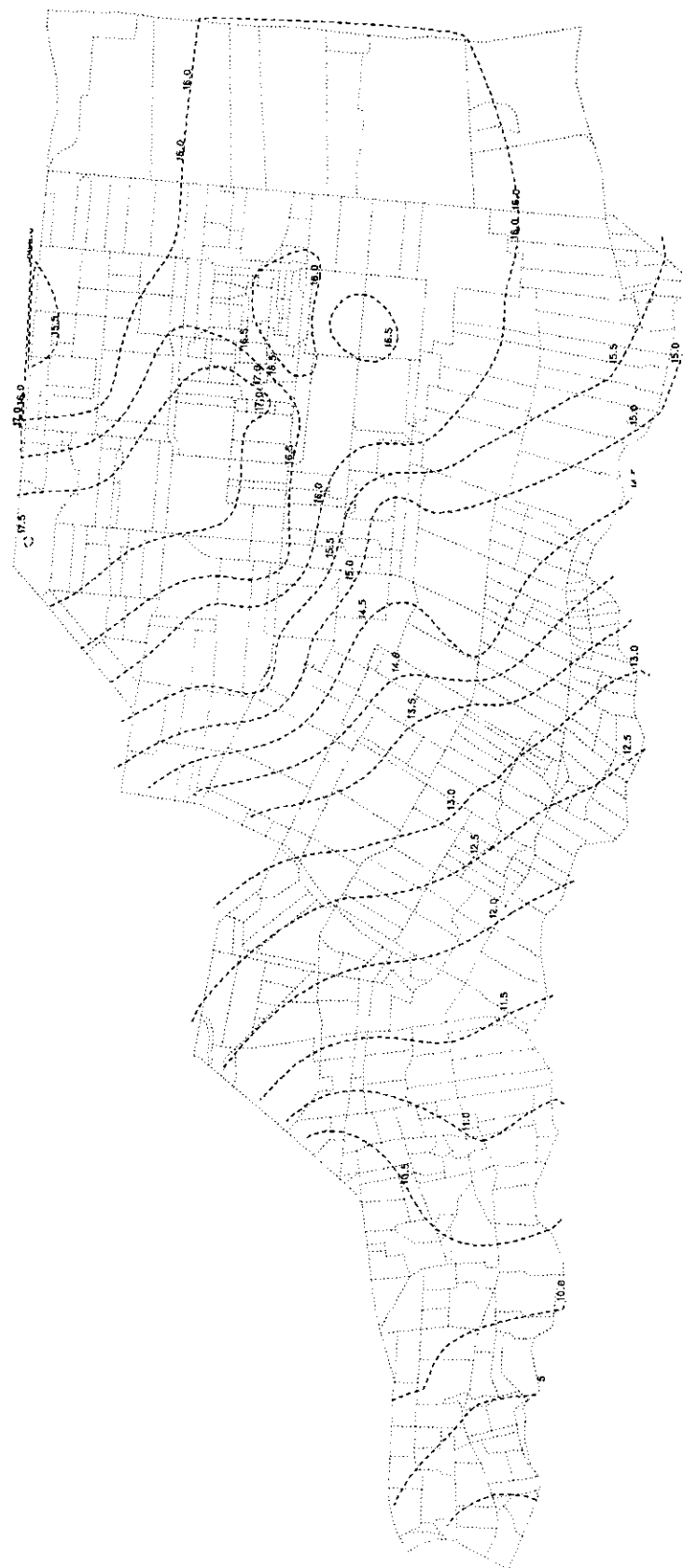
Waterbalans- eenheden	Netto afvoer (1000 m ³)	Standaardfout (1000 m ³)	Standaardfout (% netto afvoer)
4	488	239	49
8	151	22	15
9	2110	422	20
12	186	167	90
13	322	32	10
14	152	23	15
21	-848	1104	130
25	564	77	14
28	1400	350	25
30	865	130	15
32	821	156	19
33	2972	735	25
34	2475	381	15
35	1911	1533	80
36	3376	569	17
39	383	77	20
41	1124	281	25
42	847	296	35
43	1240	129	10
44	2243	702	31
45	1991	299	15
46	9263	1392	15
47	22869	6862	30
50	849	170	20
51	2677	404	15
53	3066	461	15
54	2497	1118	45
57	1976	1775	90
58	722	194	27
60	2535	383	15
61	9648	2109	22
62	2655	400	15
63	3030	455	15
64	-463	642	139
65	742	335	45
66	8025	1609	20
67	5632	1126	20

Aanhangsel 9 Isohypsens van gemeten stijghoogten

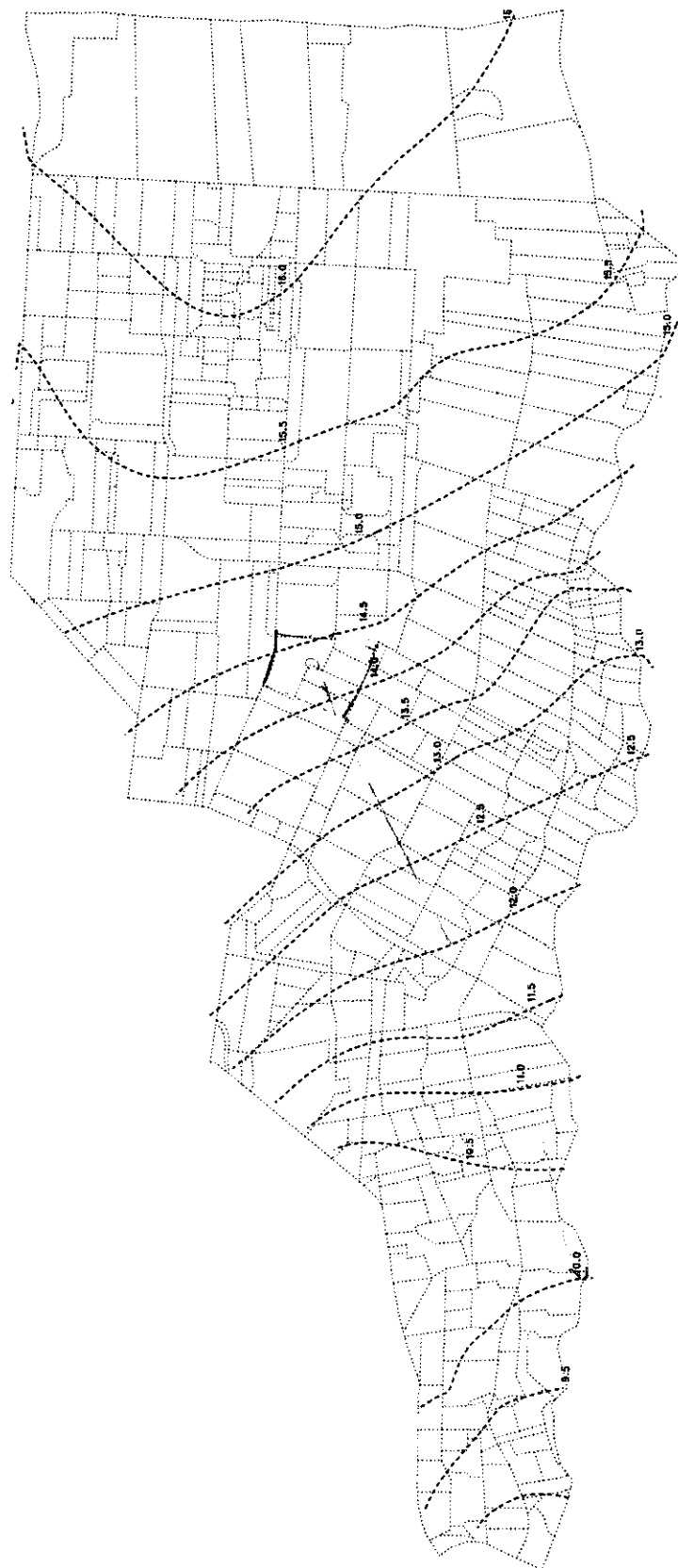
Isohypsens van gemeten stijghoogten voor laag 2



Isolijsen van gemeten stijghoogten voor laag 4



Isohypsen van gemeten stijghoogten voor laag 6



Aanhangsel 10 Voorbeelden van resultaten gevoeligheidsanalyse

Waterbalansenheid 16

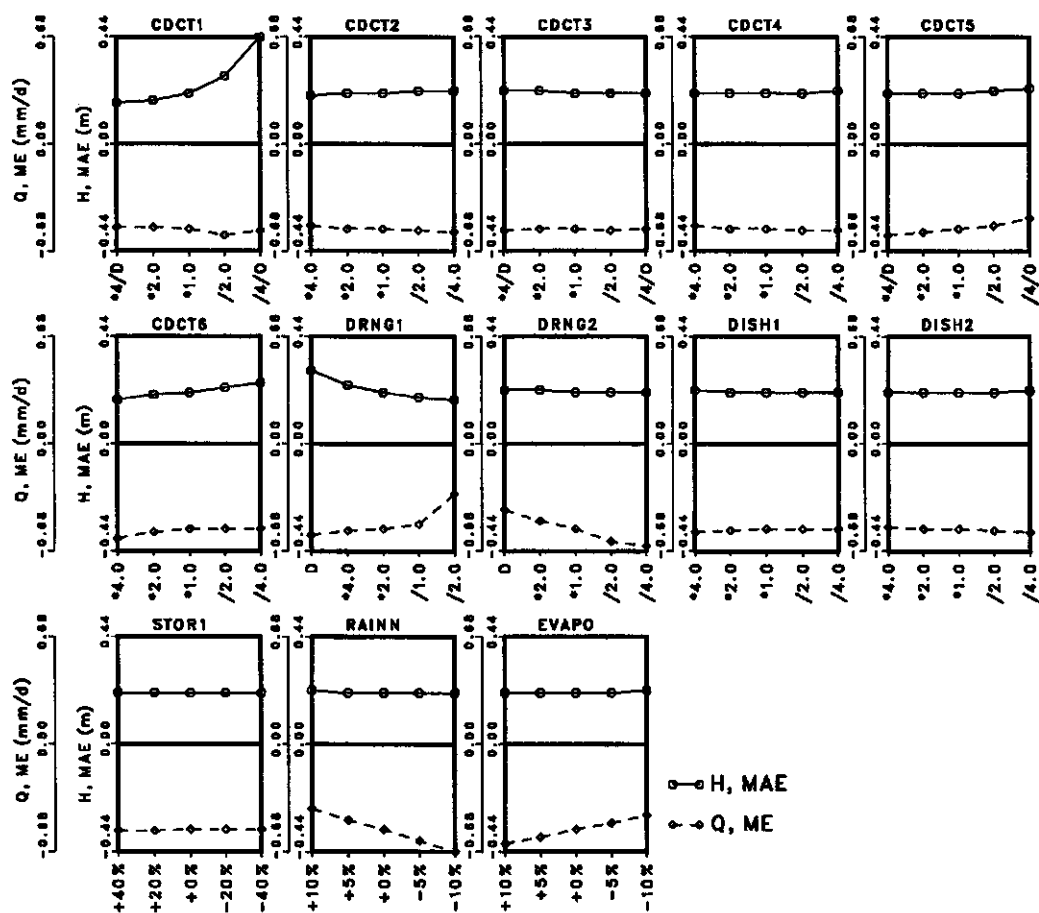


Fig. A10.1 Voorbeeld van resultaten gevoeligheidsanalyse voor een waterbalansenheid in het Meerstalblok. Voor een verklaring van de symbolen CDCT1 enz. zie Tabel 3

Waterbalansenheid 32

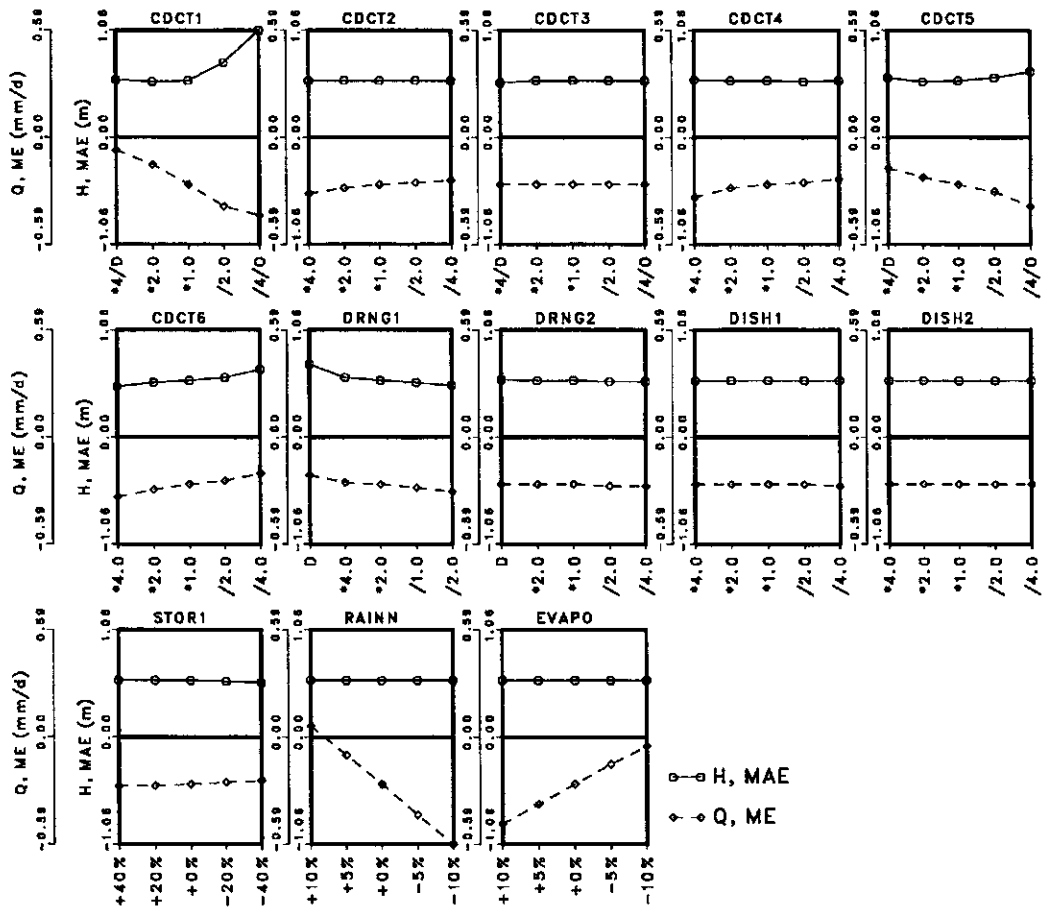


Fig. A10.2 Voorbeeld van resultaten gevoeligheidsanalyse voor een waterbalansenheid in het Amsterdamse Veld. Voor een verklaring van de symbolen CDCT1 enz. zie Tabel 3

Waterbalansenheid 61

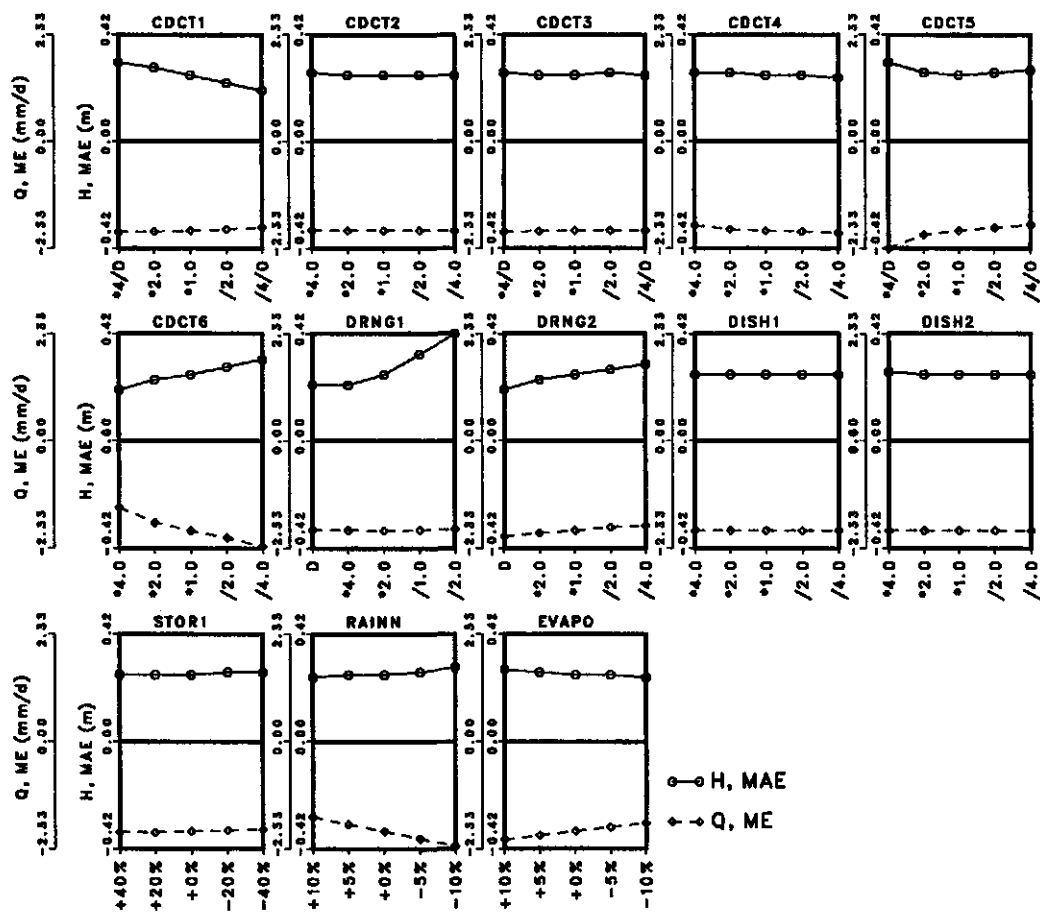


Fig. A10.3 Voorbeeld van resultaten gevoeligheidsanalyse voor een waterbalansenheid met kwel langs het Schoonebeekerdiep. Voor een verklaring van de symbolen CDCT1 enz. zie Tabel 3

Waterbalansenheid 34

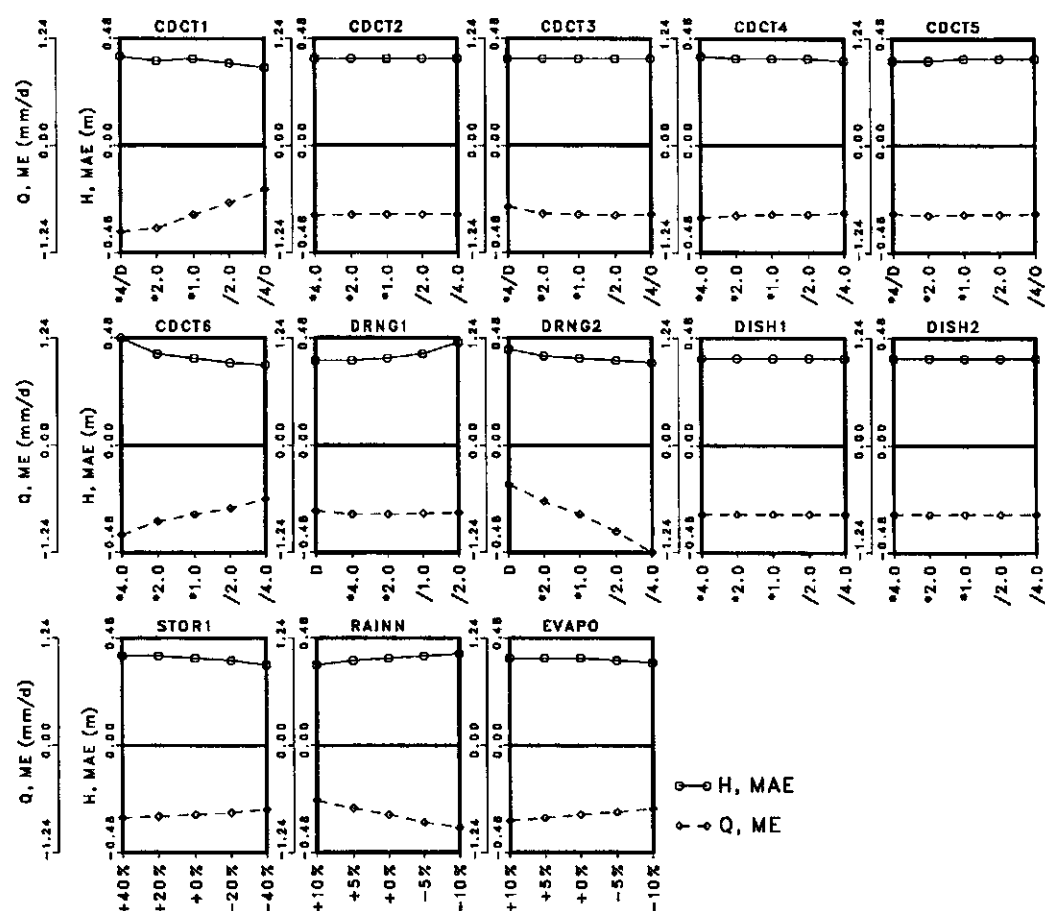


Fig. A10.4 Voorbeeld van resultaten gevoeligheidsanalyse voor een waterbalansenheid met wegzijging gelegen op een uitloper van de Hondsrug. Voor een verklaring van de symbolen CDCT1 enz. zie Tabel 3

Aanhangsel 11 Calibratie-aanpassingen parameters

Aanpassing c-waarde
laag 1 (%)

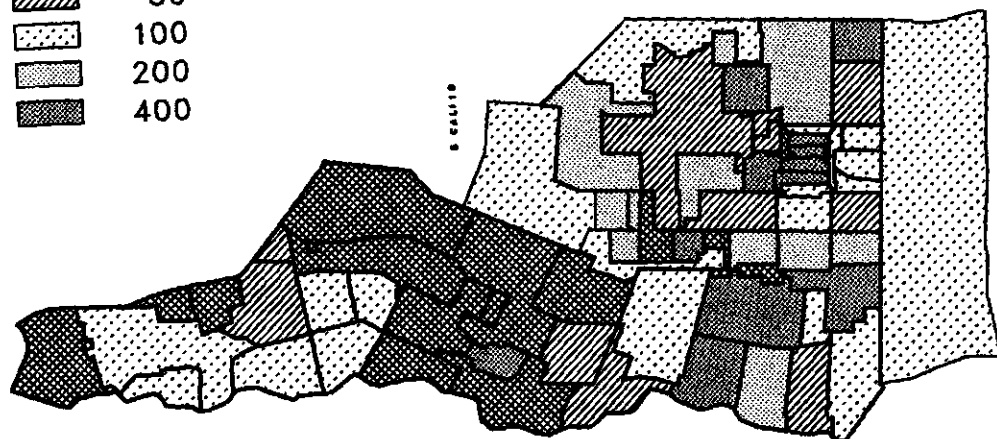
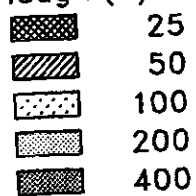


Fig. A11.1 Calibratie-aanpassing van c-waarde afdekkend pakket

Aanpassing kD-waarde
laag 2 (%)

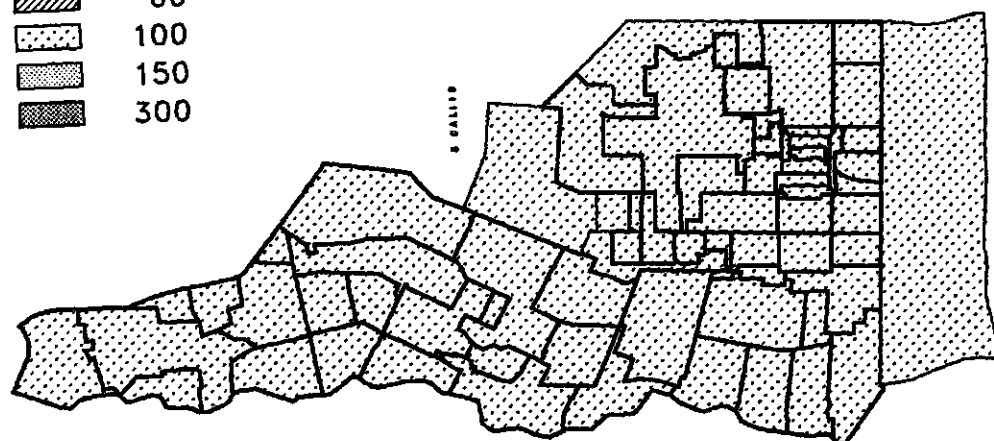
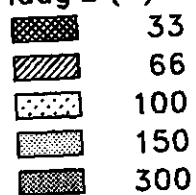


Fig. A11.2 Calibratie-aanpassing van doorlaatvermogen eerste watervoerend pakket (Formatie van Twente; laag 2 van geohydrologische schematisatie)

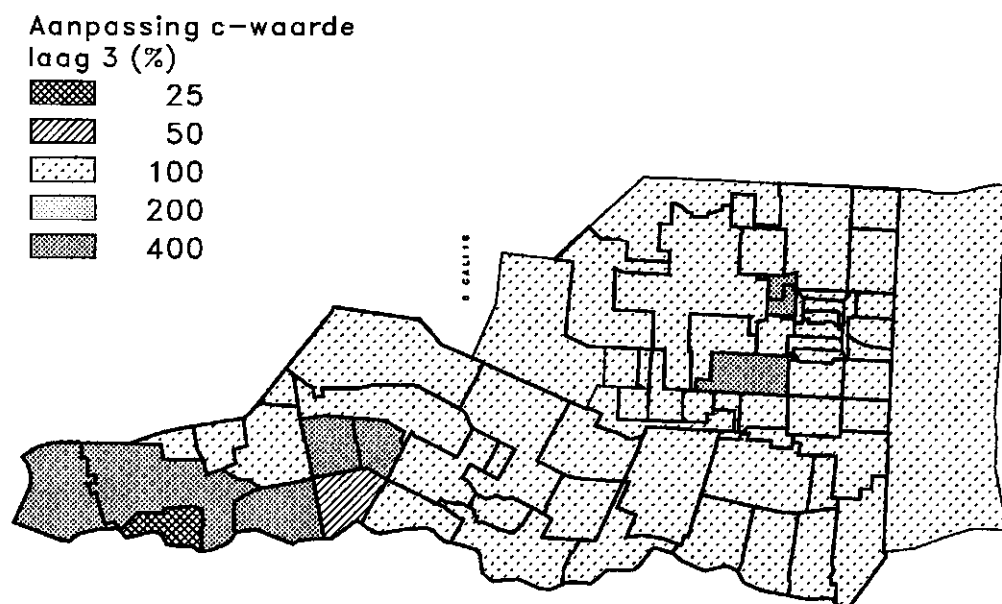


Fig. A11.3 Calibratie-aanpassing van c-waarde tweede slechtdoorlatende laag (keileem; laag 3 van de geohydrologische schematisatie)

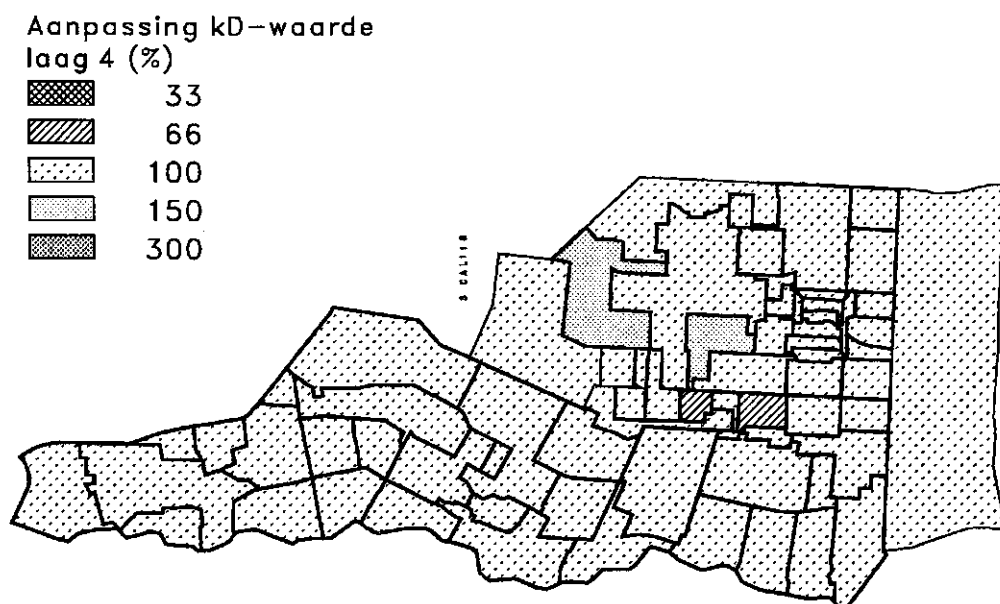


Fig. A11.4 Calibratie-aanpassing van doorlaatvermogen tweede watervoerend pakket (Formatie van Eindhoven; laag 4 van geohydrologische schematisatie)

Aanpassing c-waarde
laag 5 (%)

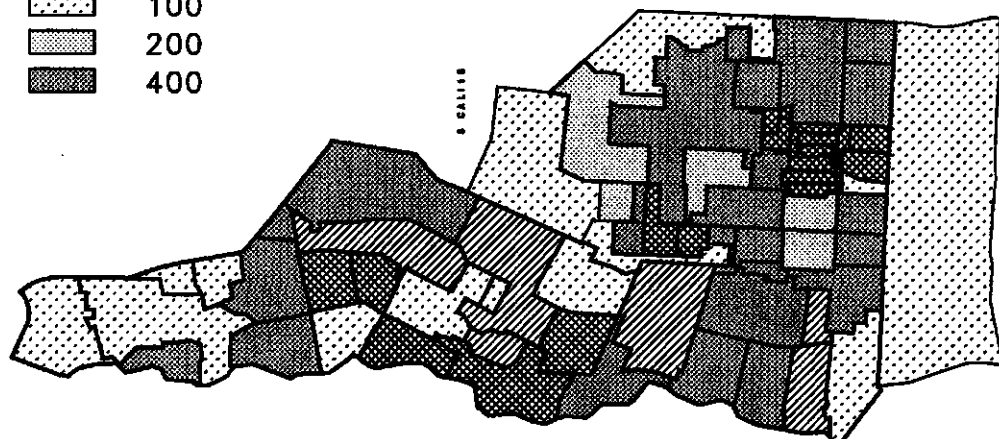
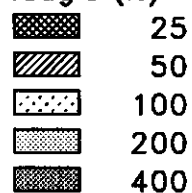


Fig. A11.5 Calibratie-aanpassing van c-waarde derde slechtdoorlatende laag (Cromerklei; laag 5 van de geohydrologische schematisatie)

Aanpassing kD-waarde
laag 6 (%)

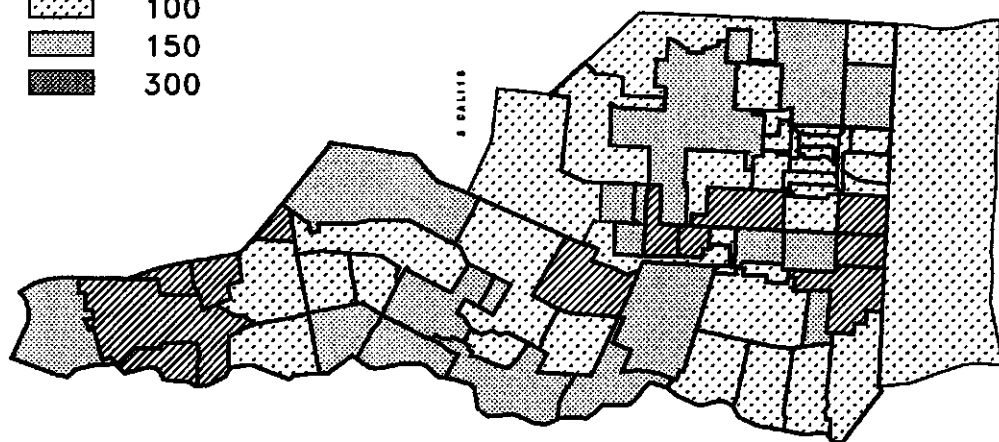
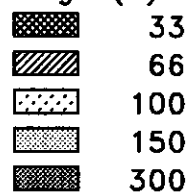


Fig. A11.6 Calibratie-aanpassing van doorlaatvermogen derde watervoerend pakket (Formatie van Urk/Harderwijk; laag 6 van geohydrologische schematisatie)

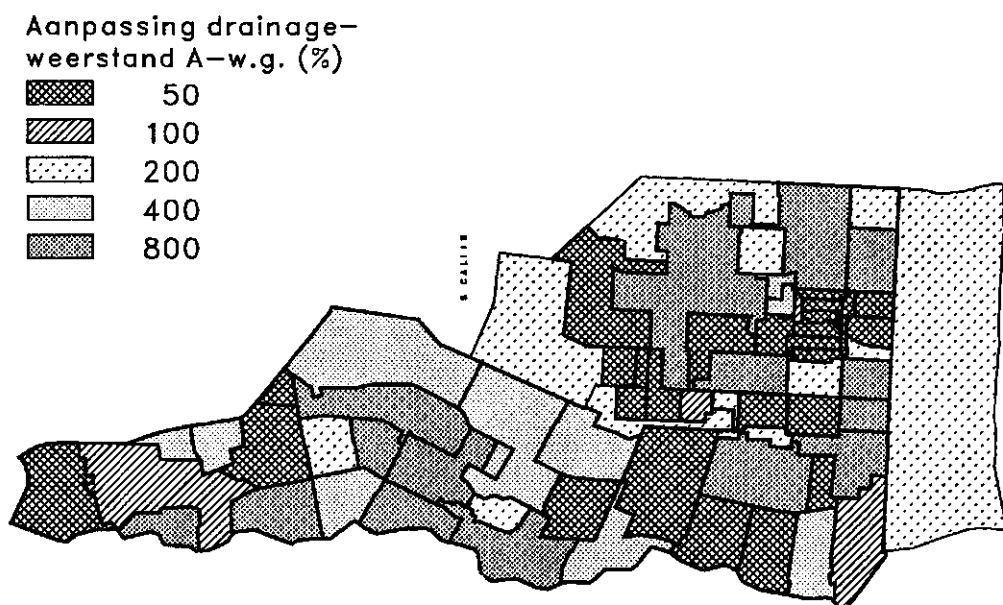


Fig. A11.7 Calibratie-aanpassing van drainageweerstand grotere waterlopen ('A-watgangen')

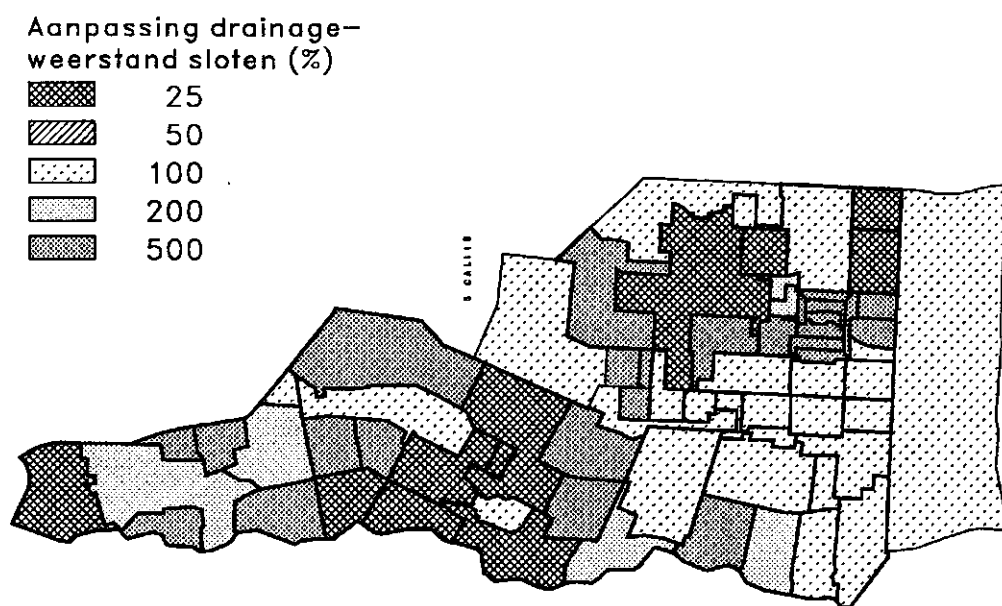


Fig. A11.8 Calibratie-aanpassing van drainageweerstand sloten

Aanpassing berging
bovengrond (%)

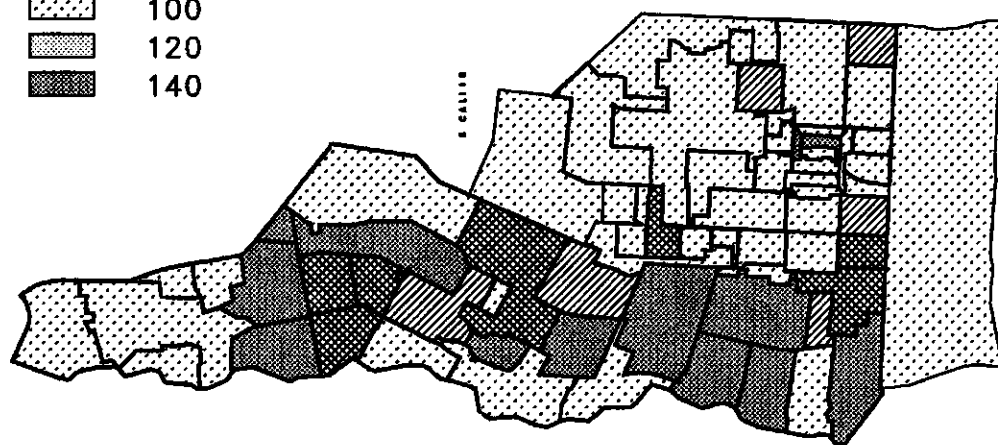
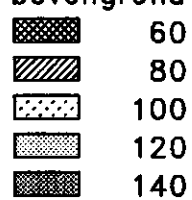


Fig. A11.9 Calibratie-aanpassing freatische bergingscoëfficiënten

Aanhangsel 12 Resultaten calibratie

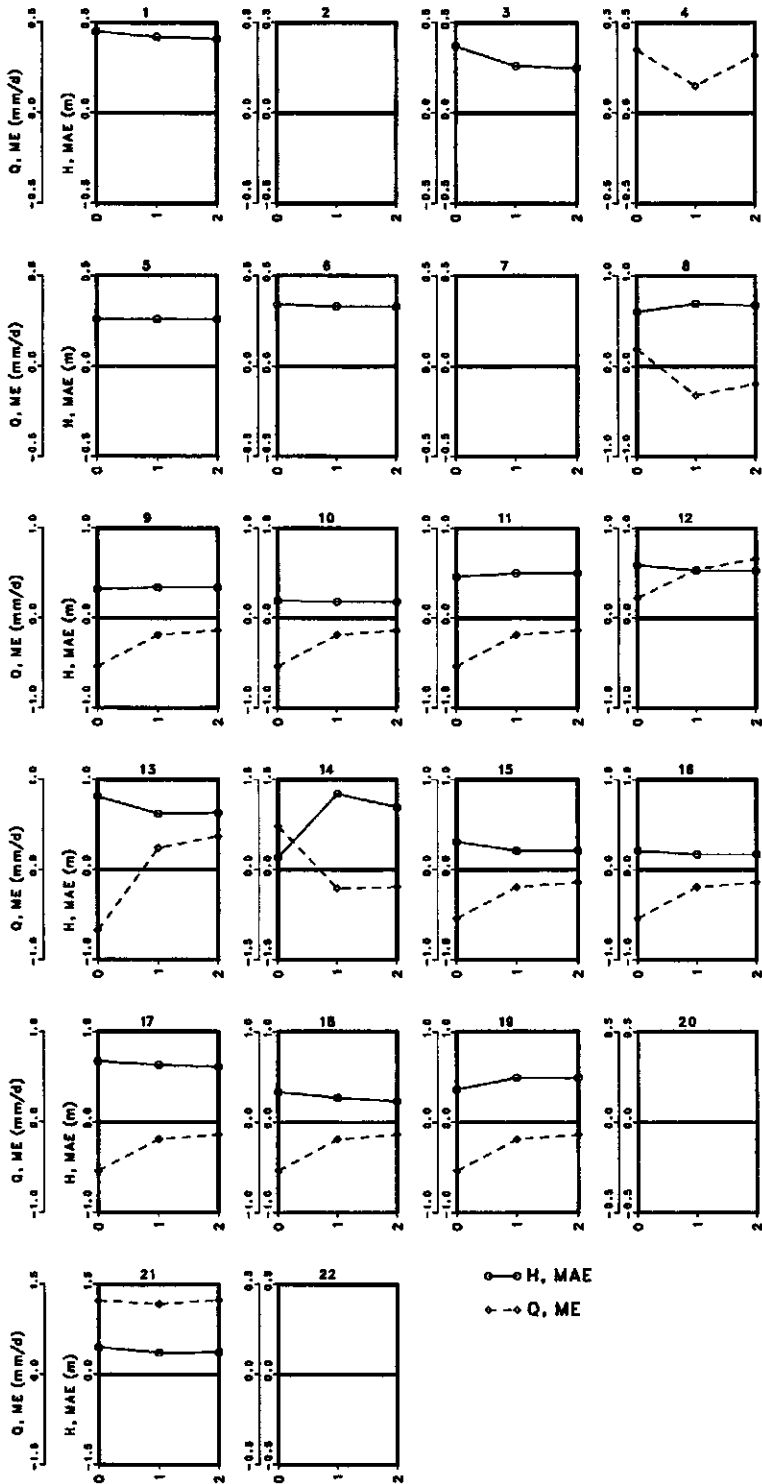


Fig. A12.1 Verloop van de doelfuncties voor waterbalanseenheden 1 tot en met 22; stap 0 - ongecalibreerd; stap 1 - met gecalibreerde parameters, zonder aanpassing neerslag; stap 2 - eindresultaat calibratie

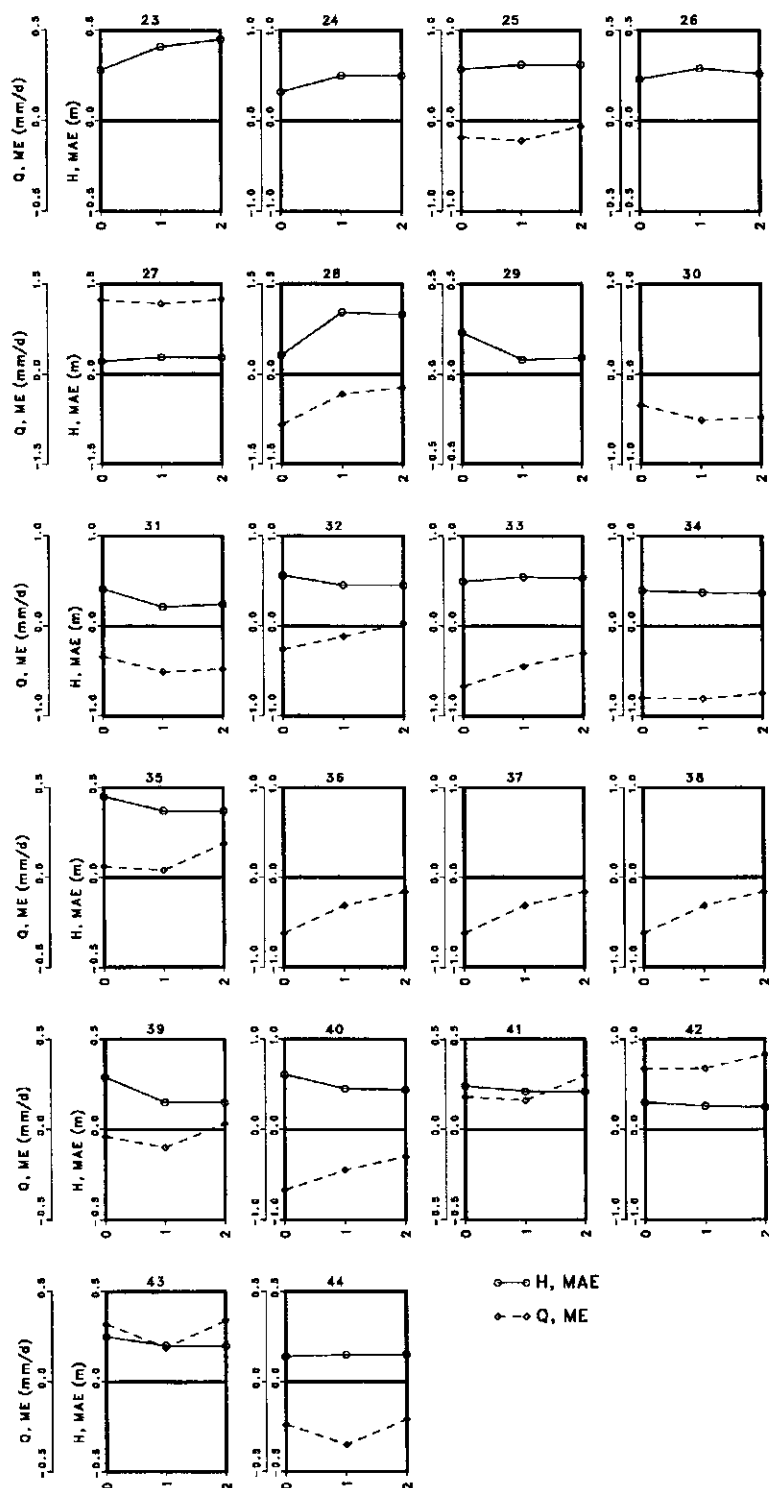


Fig. A12.2 Verloop van de doelfuncties voor waterbalanseenheden 23 tot en met 44; stap 0 - ongecalibreerd; stap 1 - met gecalibreerde parameters, zonder aanpassing neerslag; stap 2 - eindresultaat calibratie

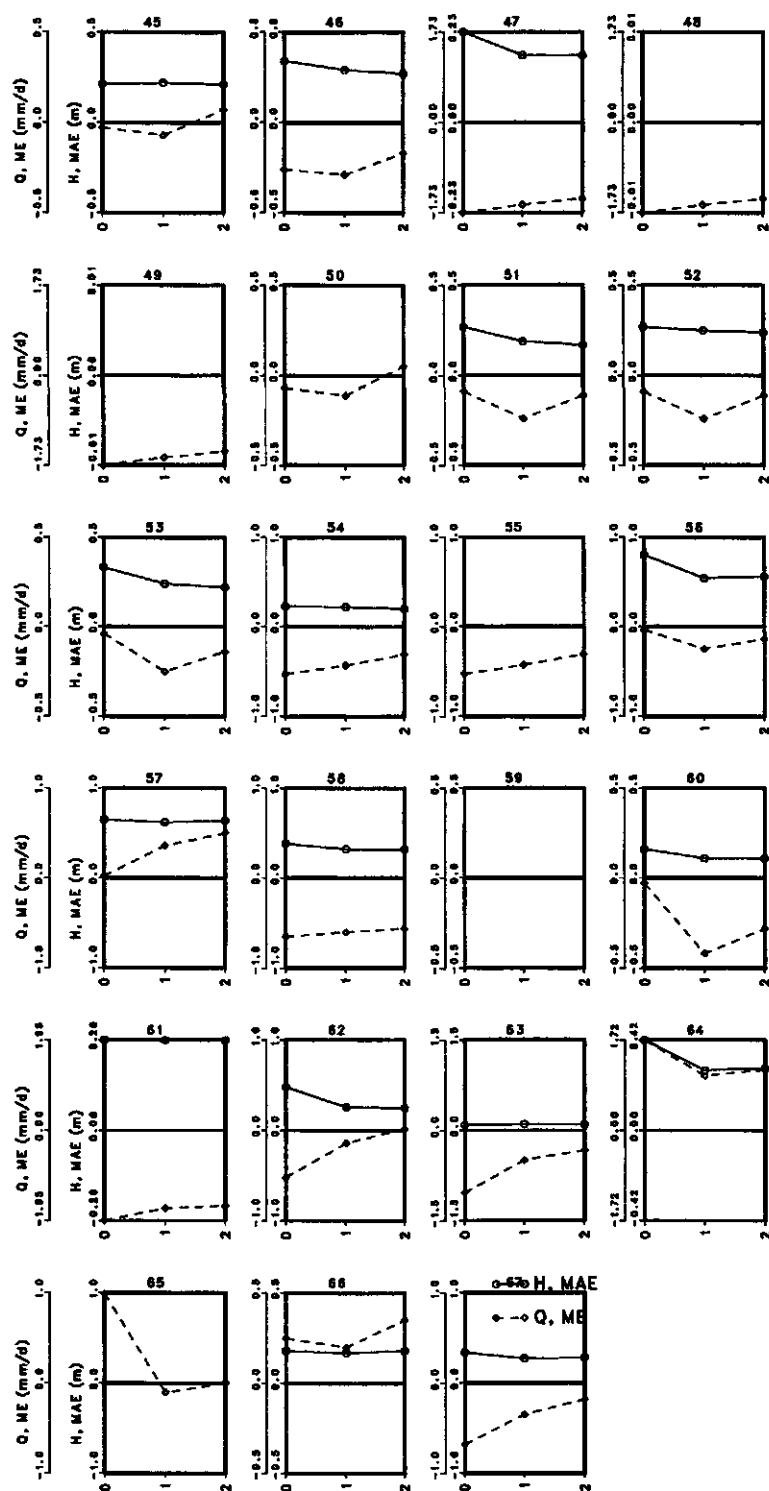
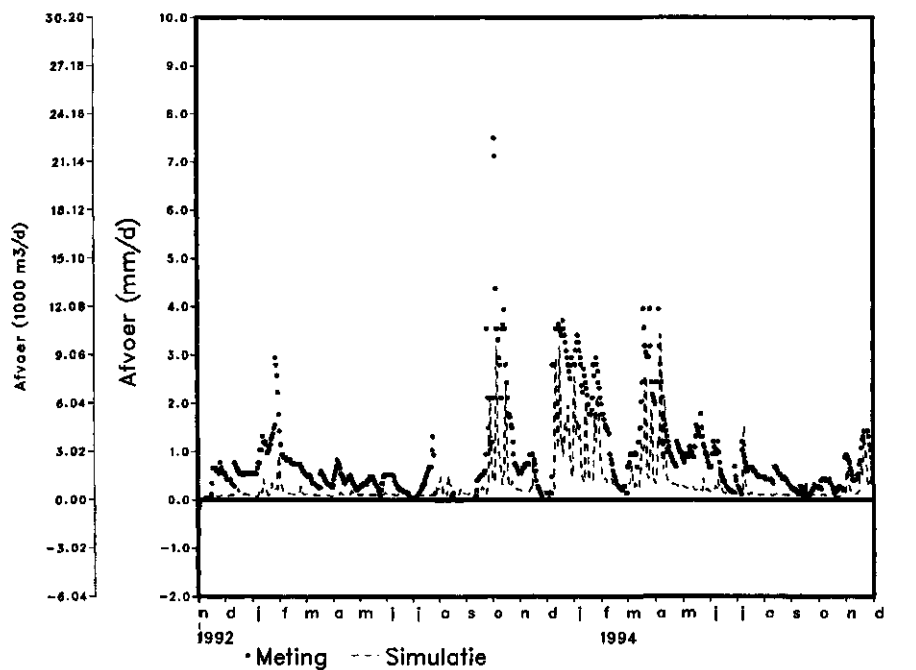
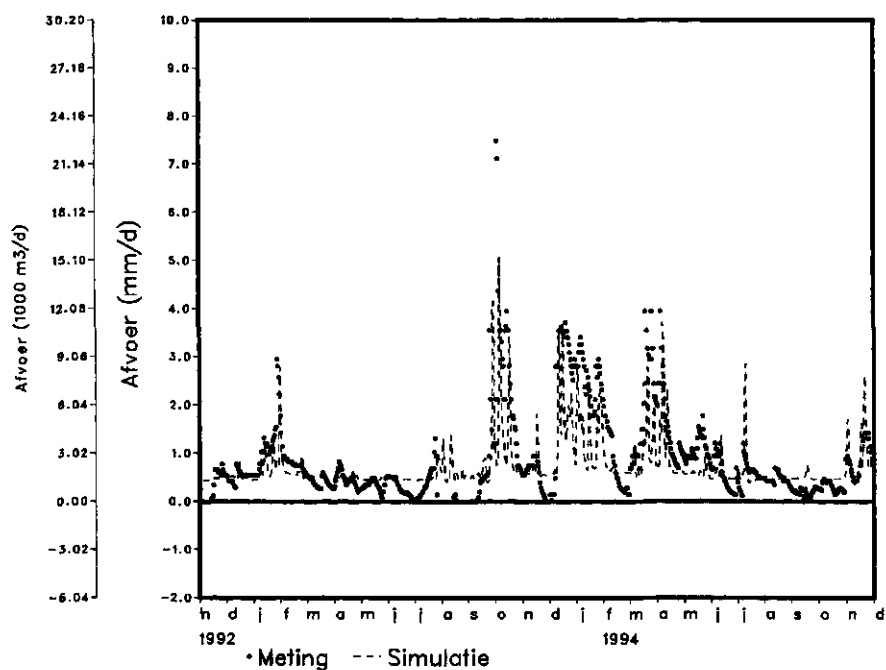


Fig. A12.3 Verloop van de doelfuncties voor waterbalansenheden 45 tot en met 67; stap 0 - ongecalibreerd; stap 1 - met gecalibreerde parameters, zonder aanpassing neerslag; stap 2 - eindresultaat calibratie

Aanhangsel 13 Voorbeelden van tijd-verlopen afvoeren



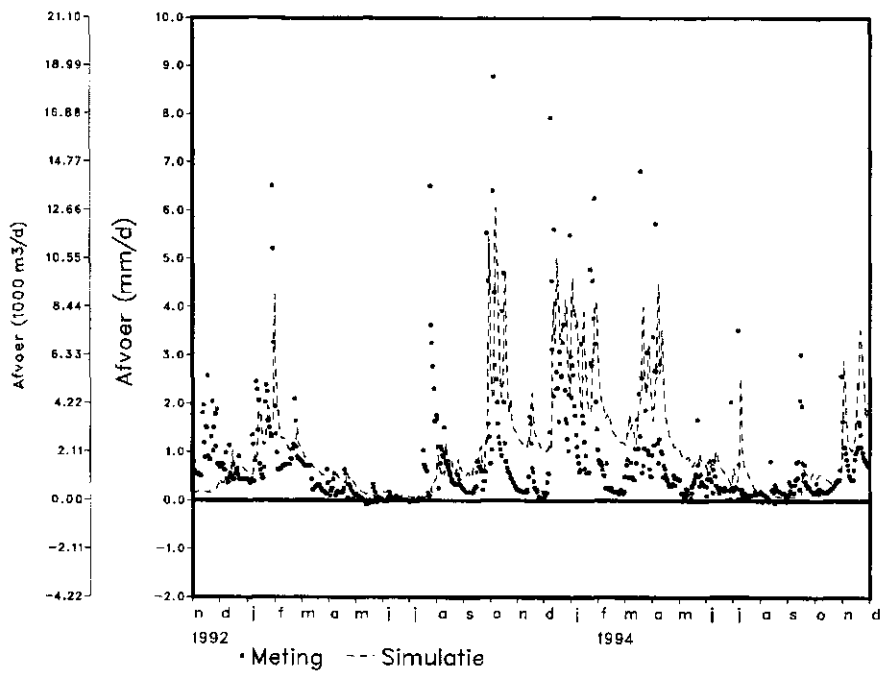
27-JUL-96



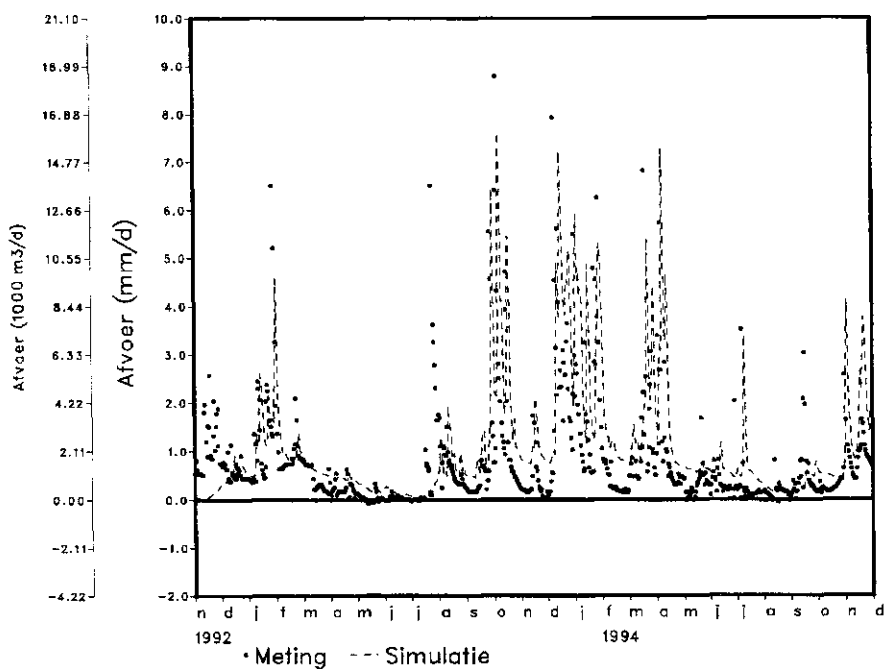
22-JUL-96

Fig. A13.1 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde afvoerverlopen voor waterbalanseenheid 9, voor:

- het ongecalibreeerde model (boven)
- het gecaliibreerde model (onder)



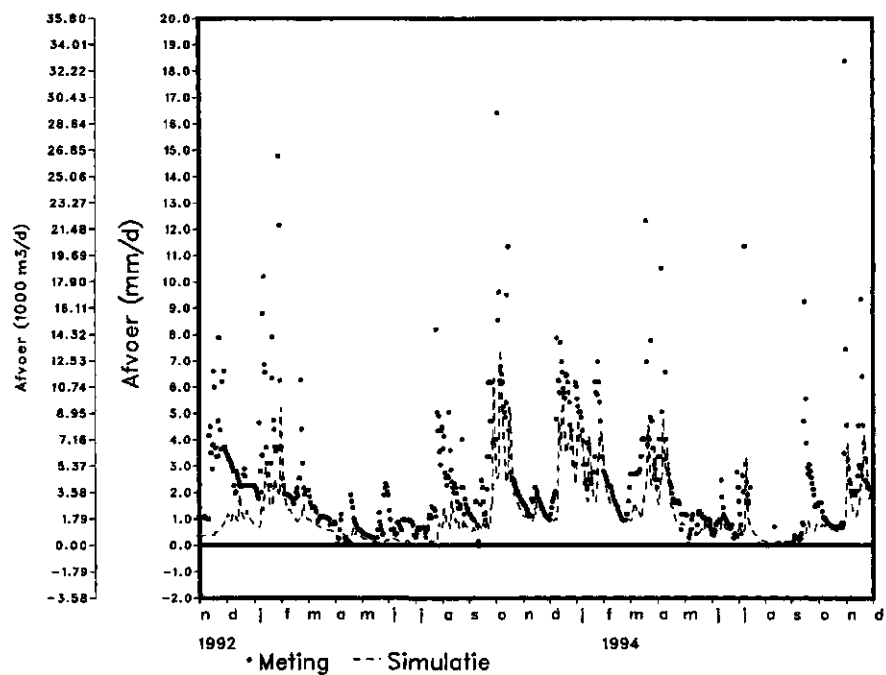
27-JUL-96



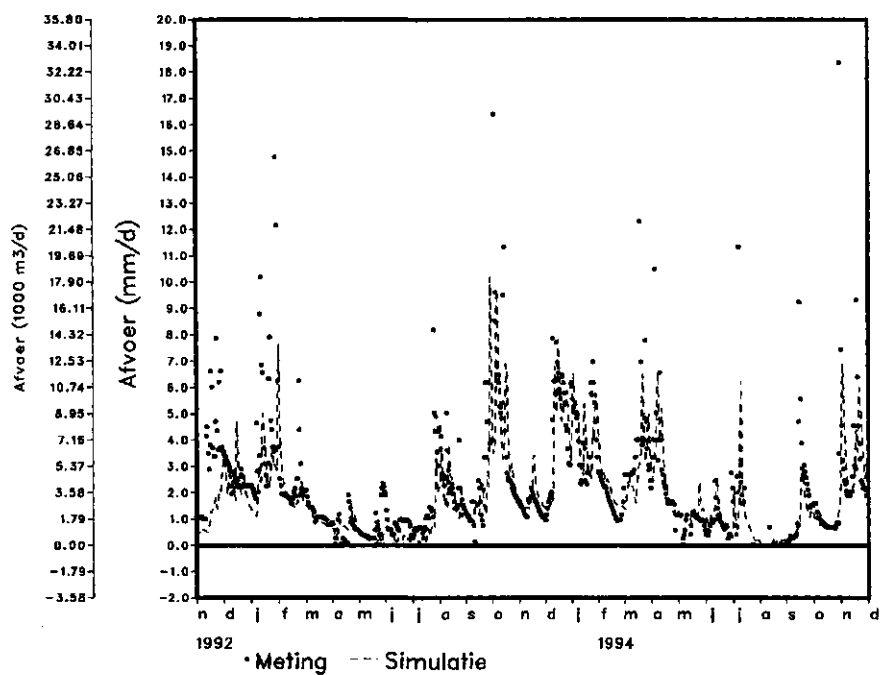
22-JUL-96

Fig. A13.2 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde afvoerverlopen voor waterbalansenheid 43, voor:

- het ongecalibreeerde model (boven)
- het gecaliibreerde model (onder)



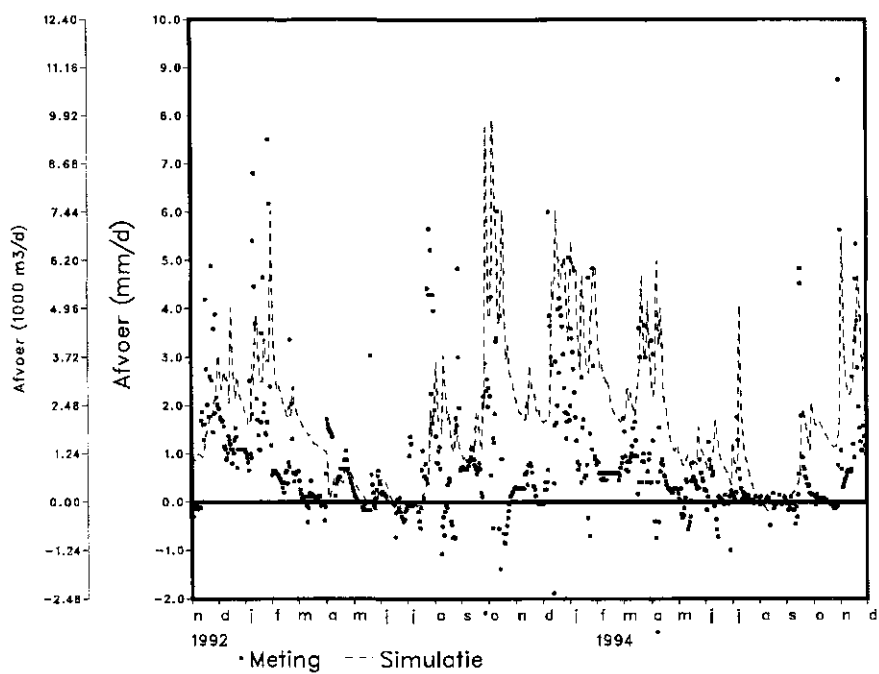
27-JUL-96



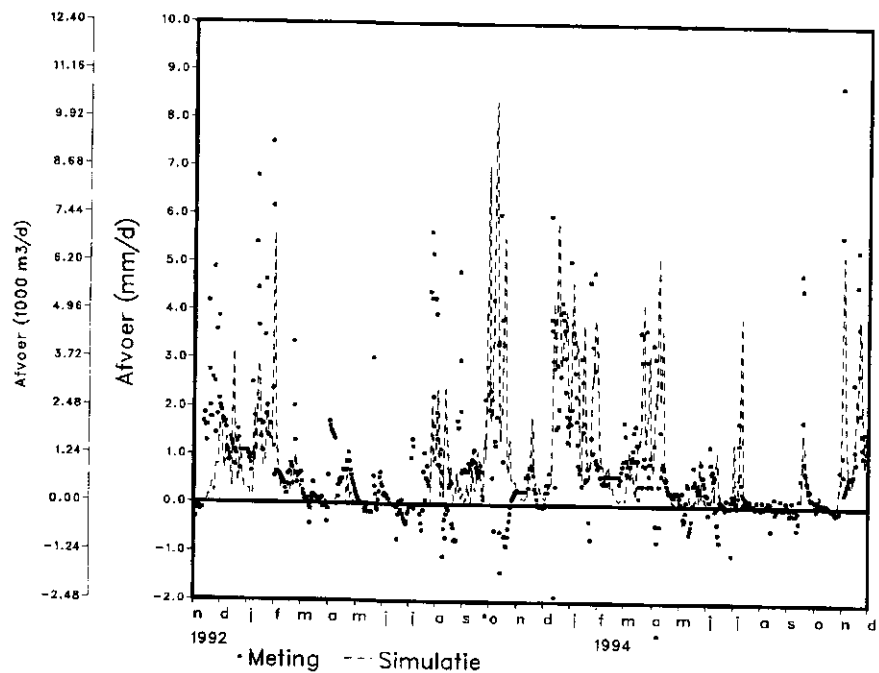
22-JUL-96

Fig. A13.3 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde afvoerverlopen voor waterbalansenheid 63, voor:

- het ongecalibreerde model (boven)
- het gecalibreerde model (onder)



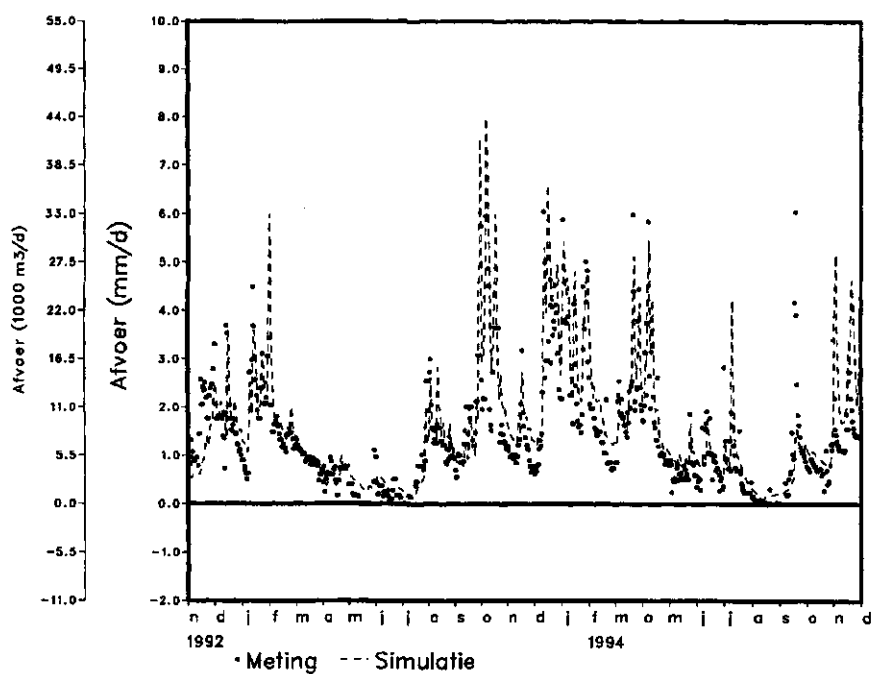
27-JUL-96



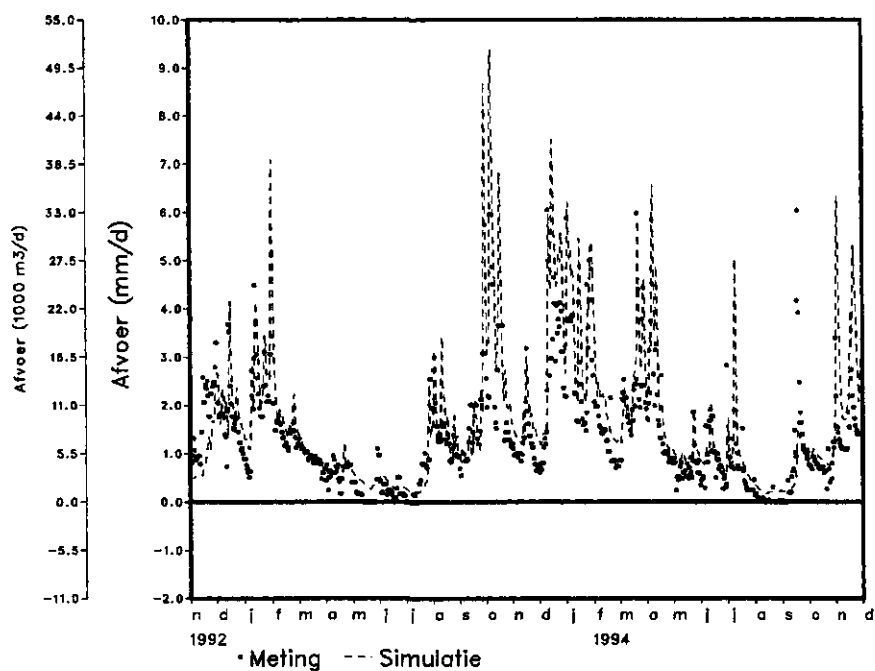
22-JUL-96

Fig. A13.4 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde afvoerverlopen voor waterbalansenheid 65, voor:

- het ongecalibeerde model (boven)
- het gecalibreerde model (onder)



27-JUL-96



22-JUL-96

Fig. A13.5 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde afvoerverlopen voor waterbalansenheid 66, voor:

- het ongecalibreerde model (boven)
- het gec calibreerde model (onder)

Aanhangsel 14 Voorbeelden van tijd-stijghoogteverlopen

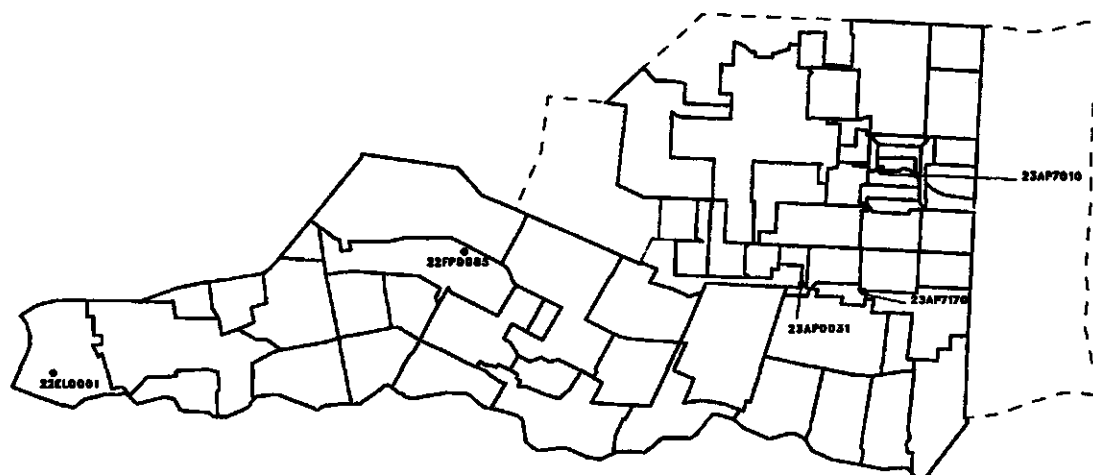


Fig. A14.1 Lokaties van peilbuizen (alleen van voorbeelden)

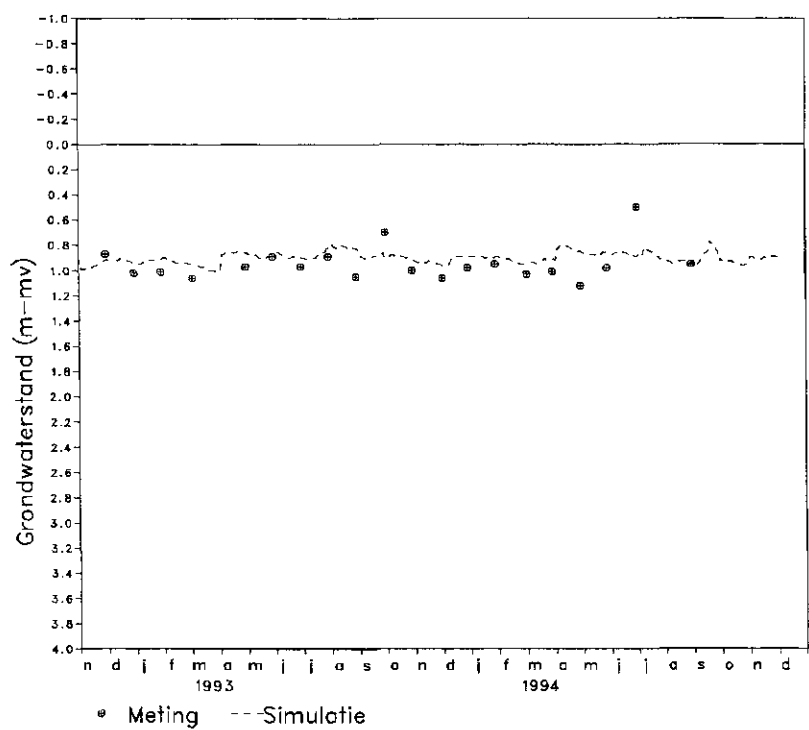
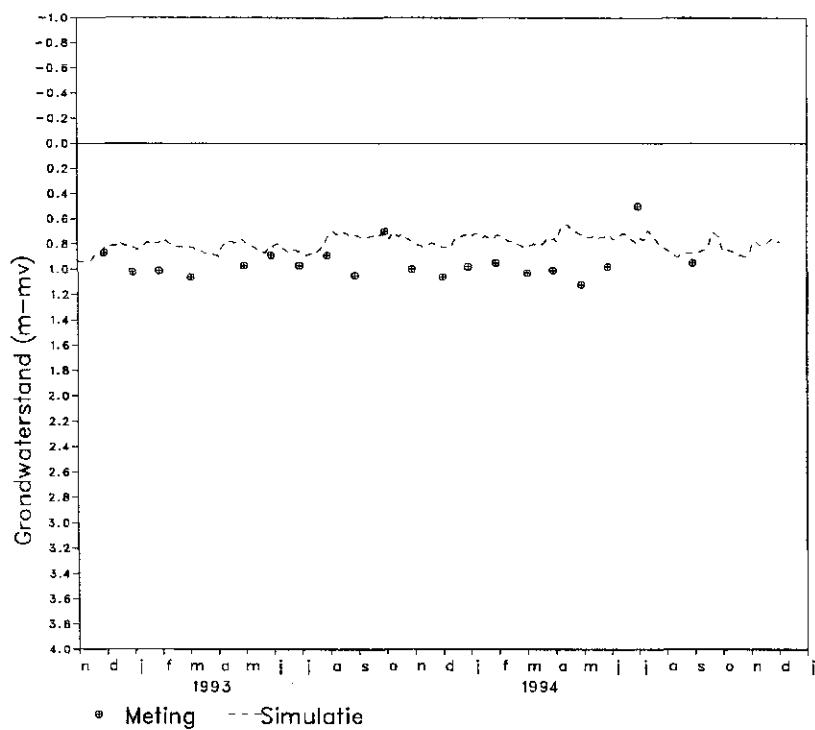
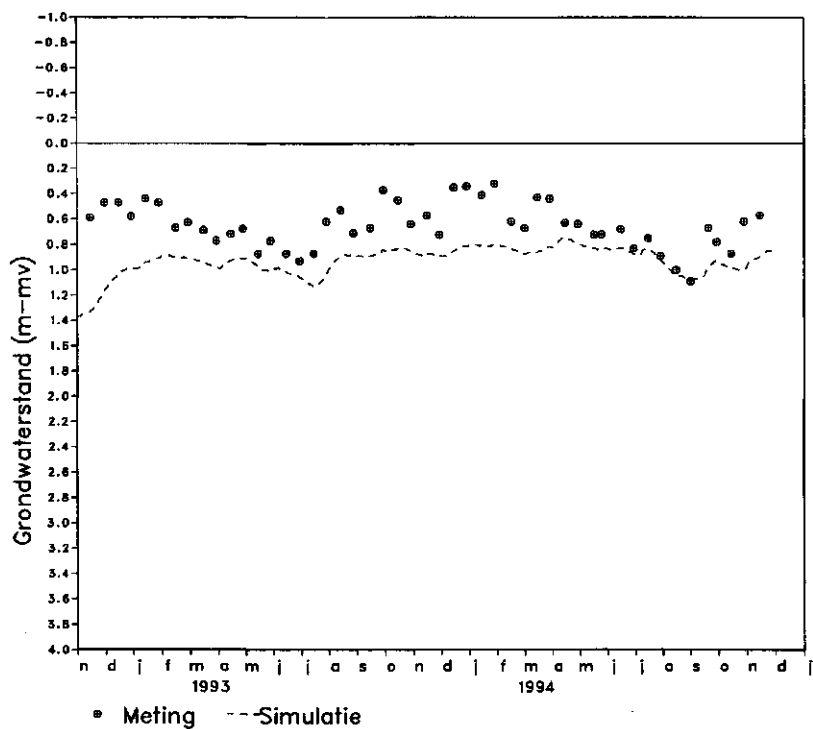
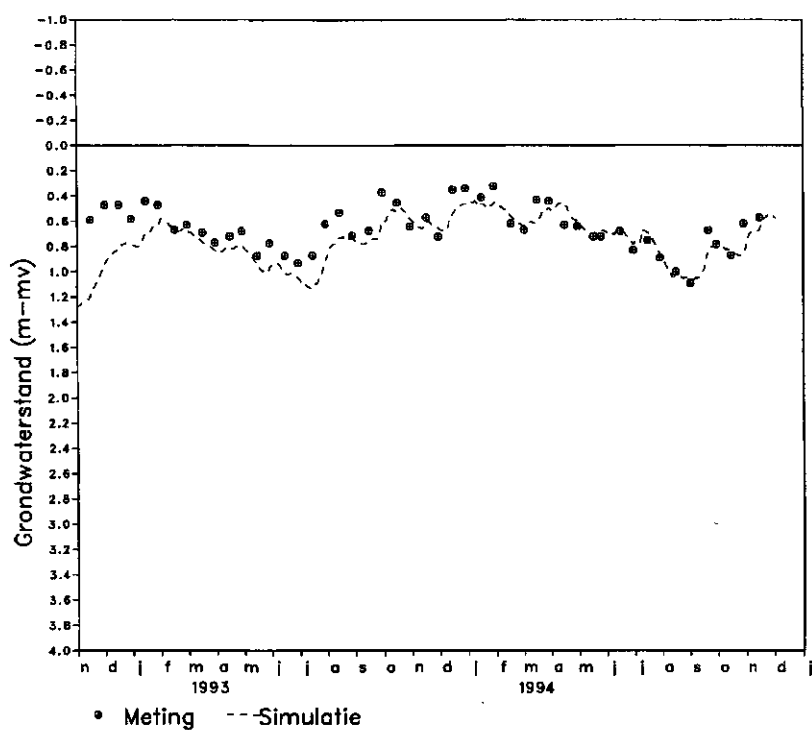


Fig. A14.2 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde tijd-stijghoogteverlopen voor peilbuis 22EL0001 met filter in laag 2, voor:

- het ongecalibreeerde model (boven)
- het gecalibreeerde model (onder)



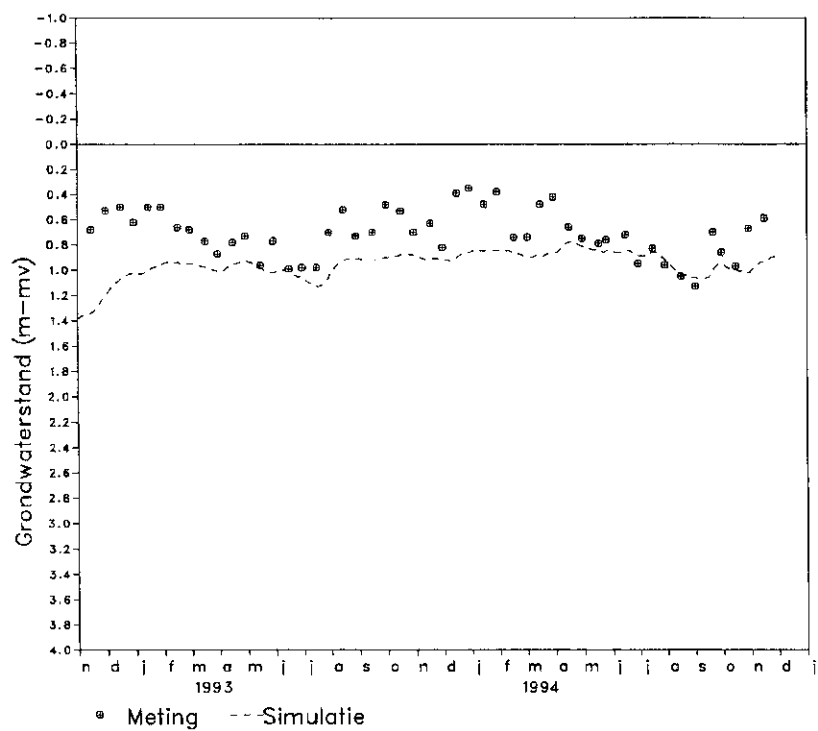
29-JUL-96



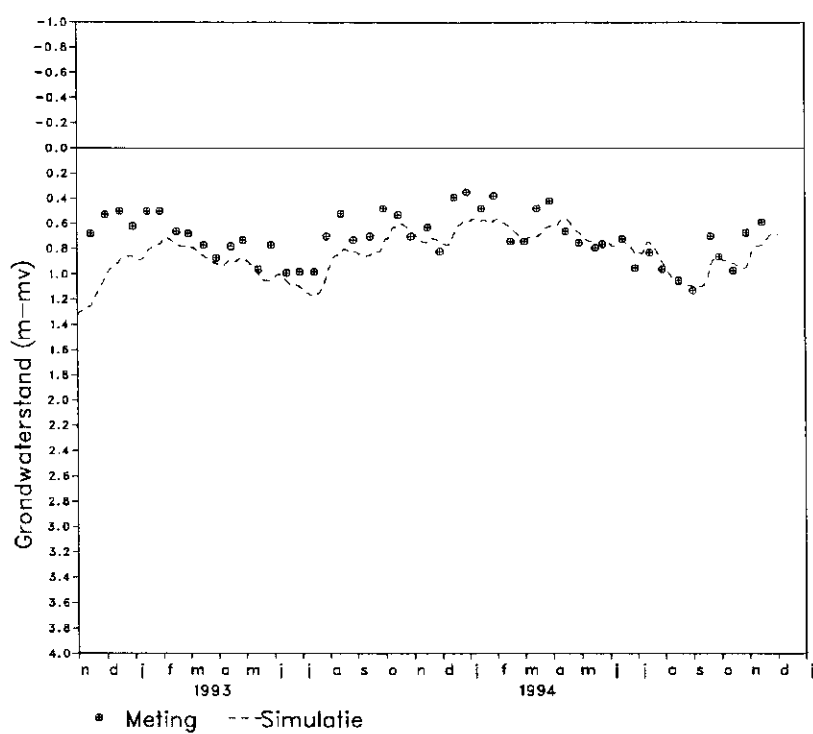
29-JUL-96

Fig. A14.3 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde tijd-stijghoogteverlopen voor peilbuis 22FP0085 met filter in laag 2, voor:

- het ongecalibreerde model (boven)
- het gec calibreerde model (onder)



29-JUL-96



29-JUL-96

Fig. A14.4 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde tijd-stijghoogteverlopen voor peilbuis 22FP0085 met filter in laag 4, voor:

- het ongecalibreerde model (boven)
- het gec calibreerde model (onder)

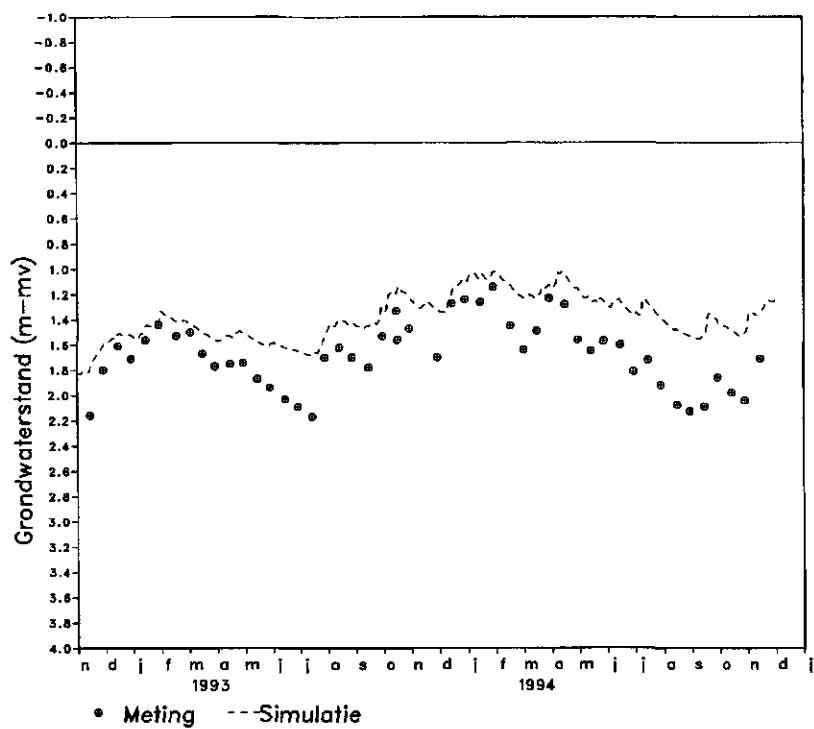
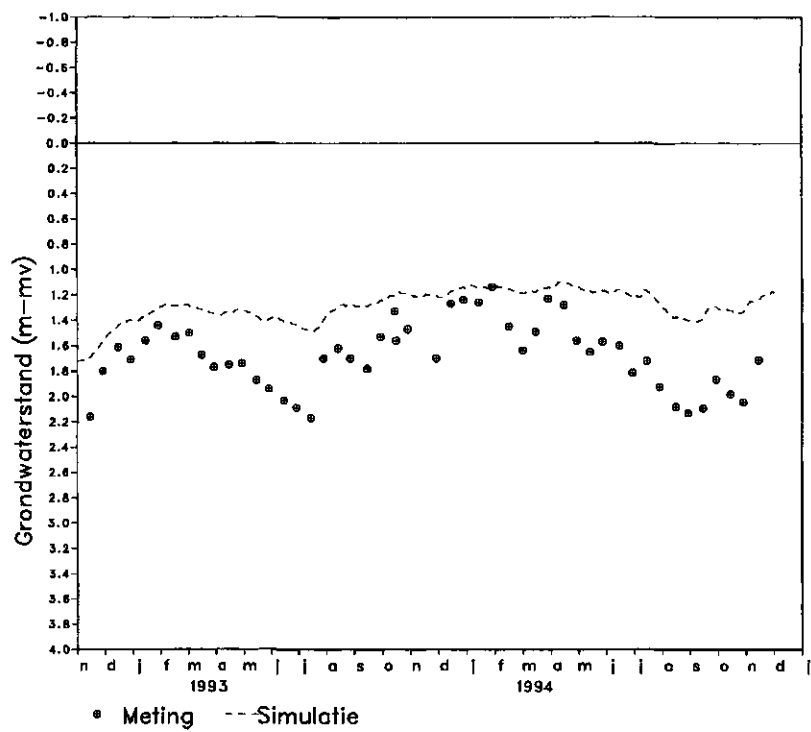
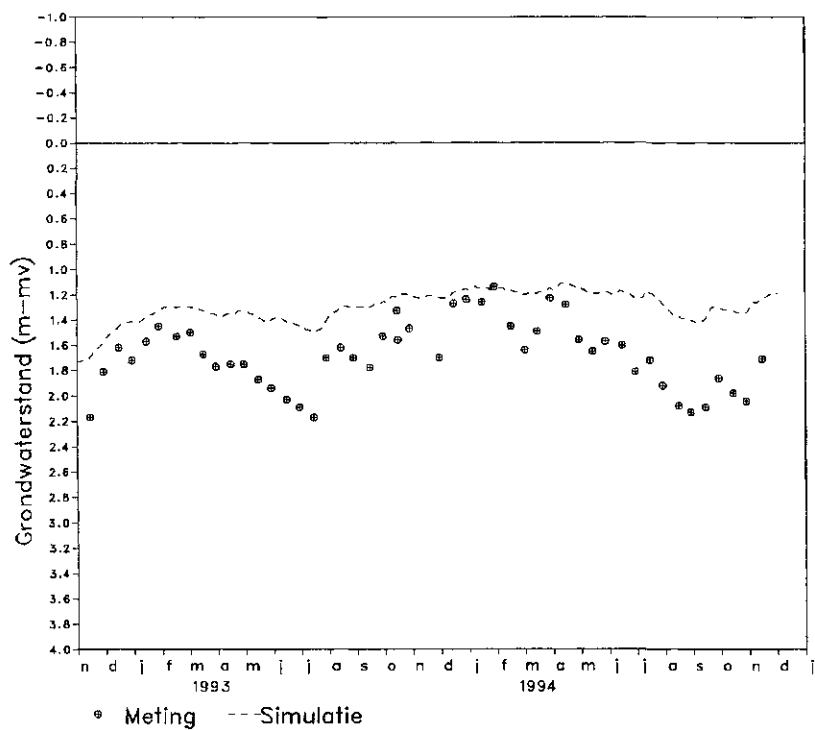
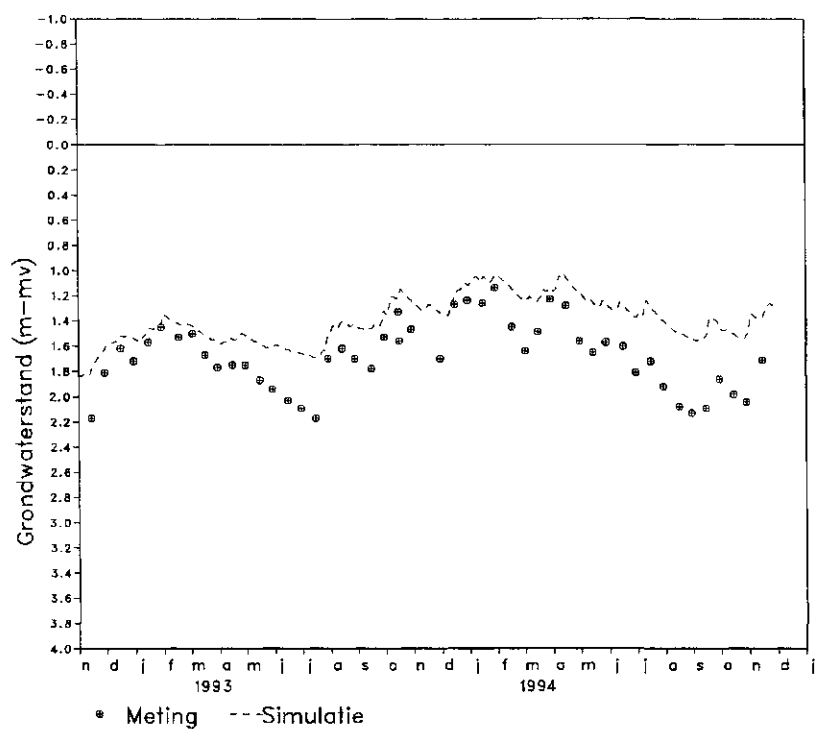


Fig. A14.5 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde tijd-stijghoogteverlopen voor peilbuis 23AP0031 met filter in laag 2, voor:

- het ongecalibreeerde model (boven)
- het gecaliibreeerde model (onder)



29-JUL-96



29-JUL-96

Fig. A14.6 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde tijd-stijgheighteverlopen voor peilbuis 23AP0031 met filter in laag 4, voor:

- het ongecalibreeerde model (boven)
- het gecalioreerde model (onder)

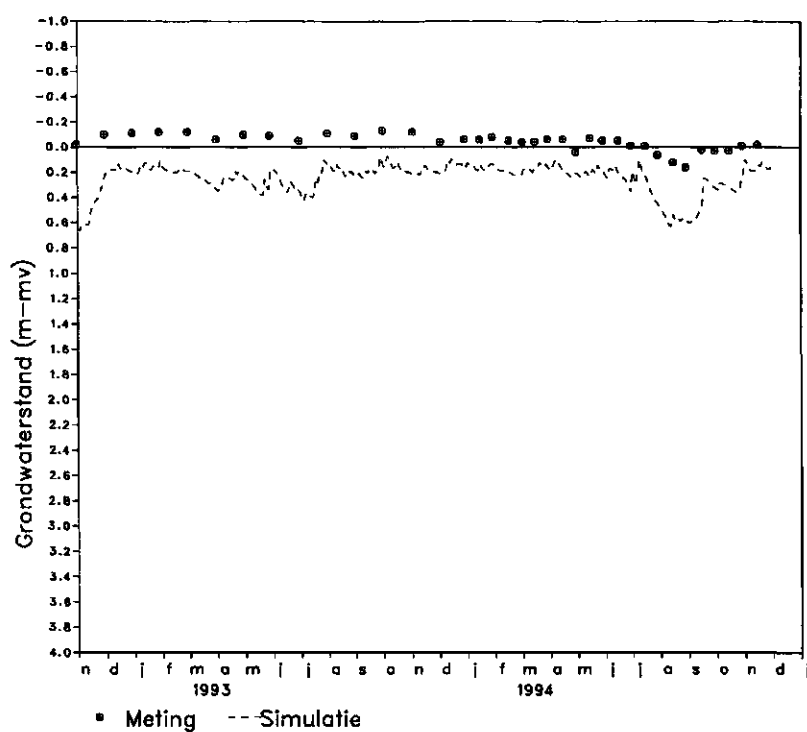
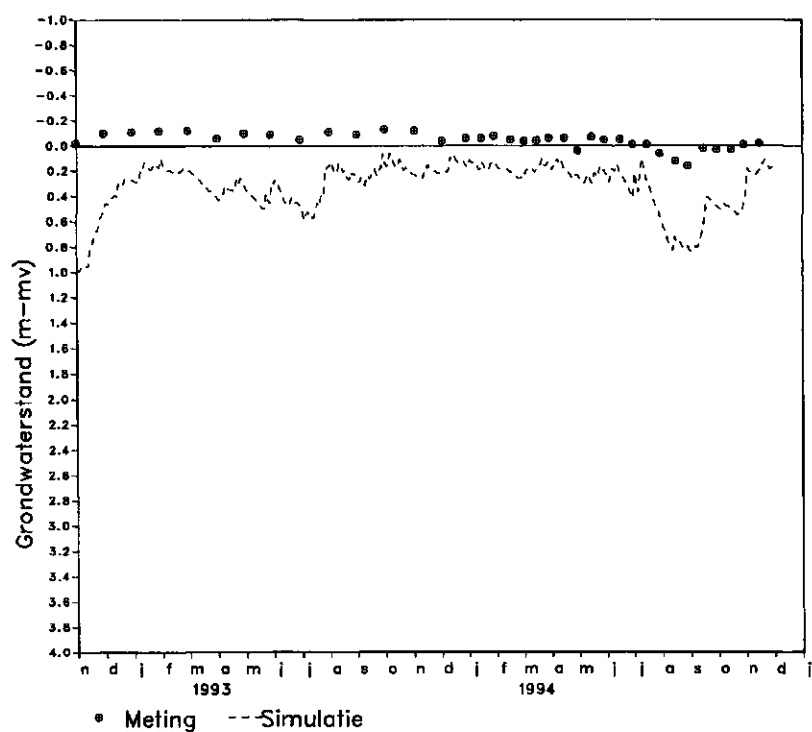
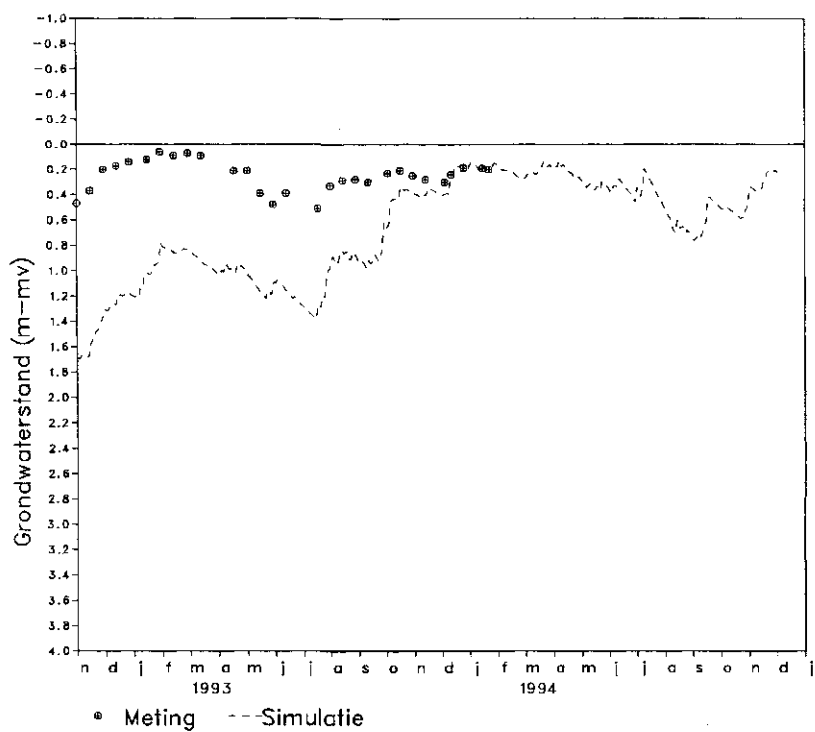
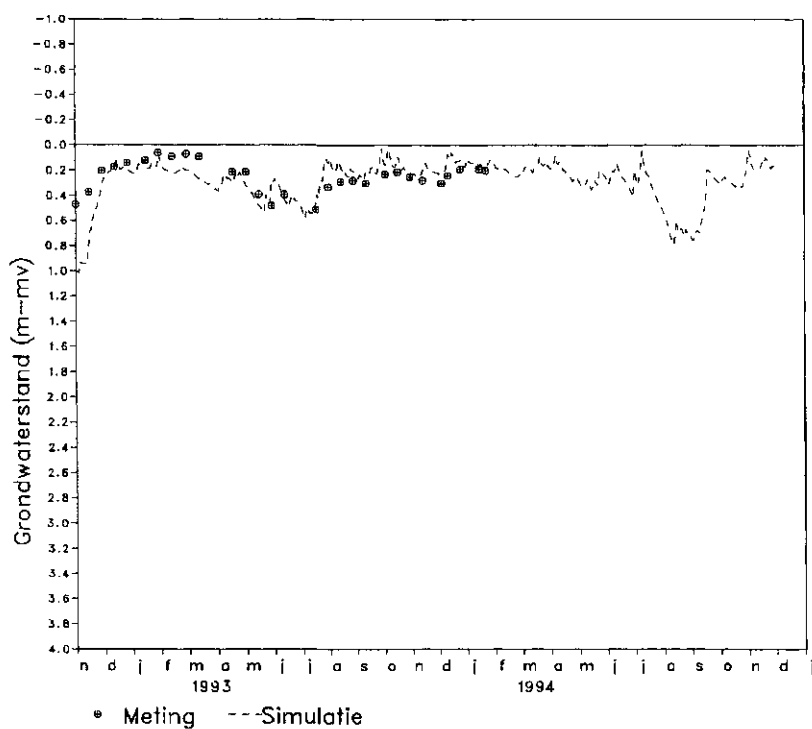


Fig. A14.7 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde tijd-stijghoogteverlopen voor peilbuis 23AP7008 met filter in laag 1, voor:

- het ongecalibreerde model (boven)
- het gec calibreerde model (onder)



29-JUL-96



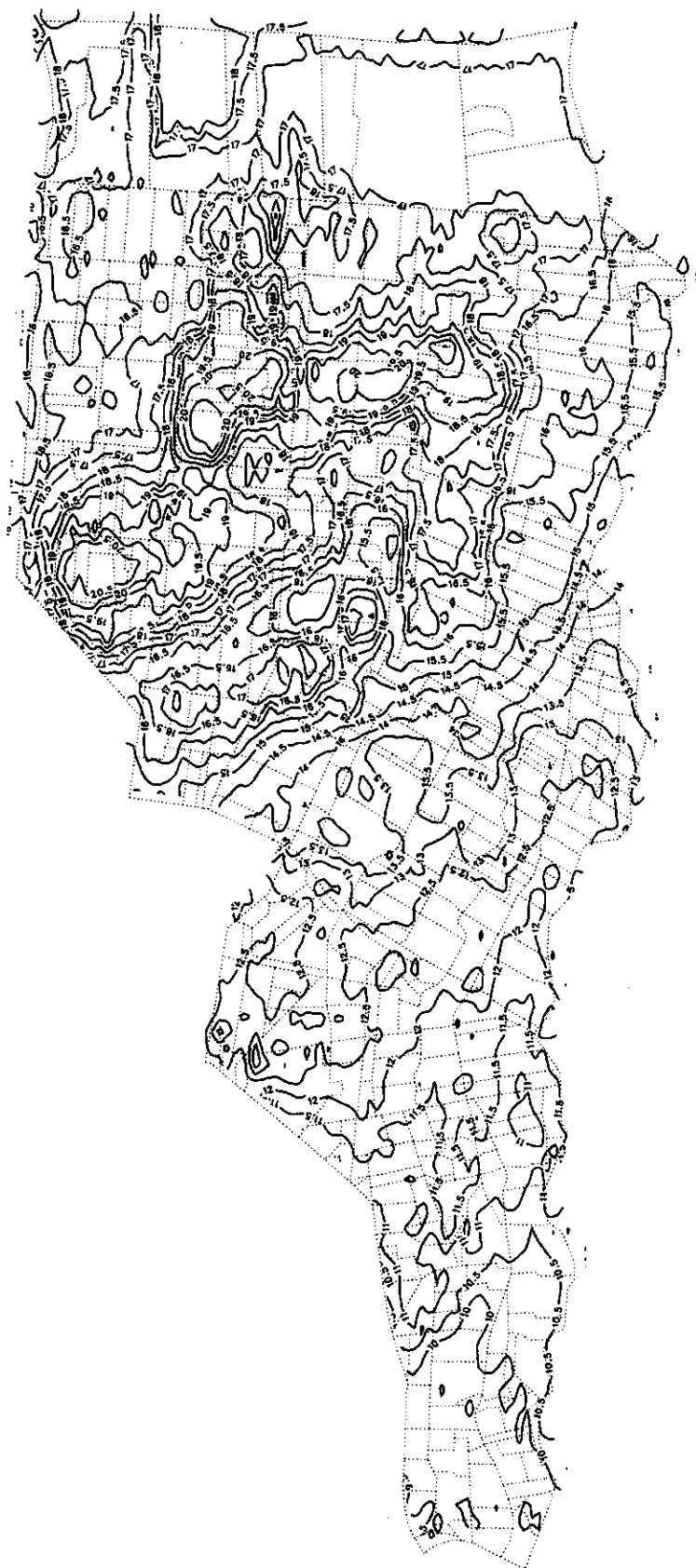
29-JUL-96

Fig. A14.8 Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde tijd-stijghoogteverlopen voor peilbuis 23AP7170 met filter in laag 1, voor:

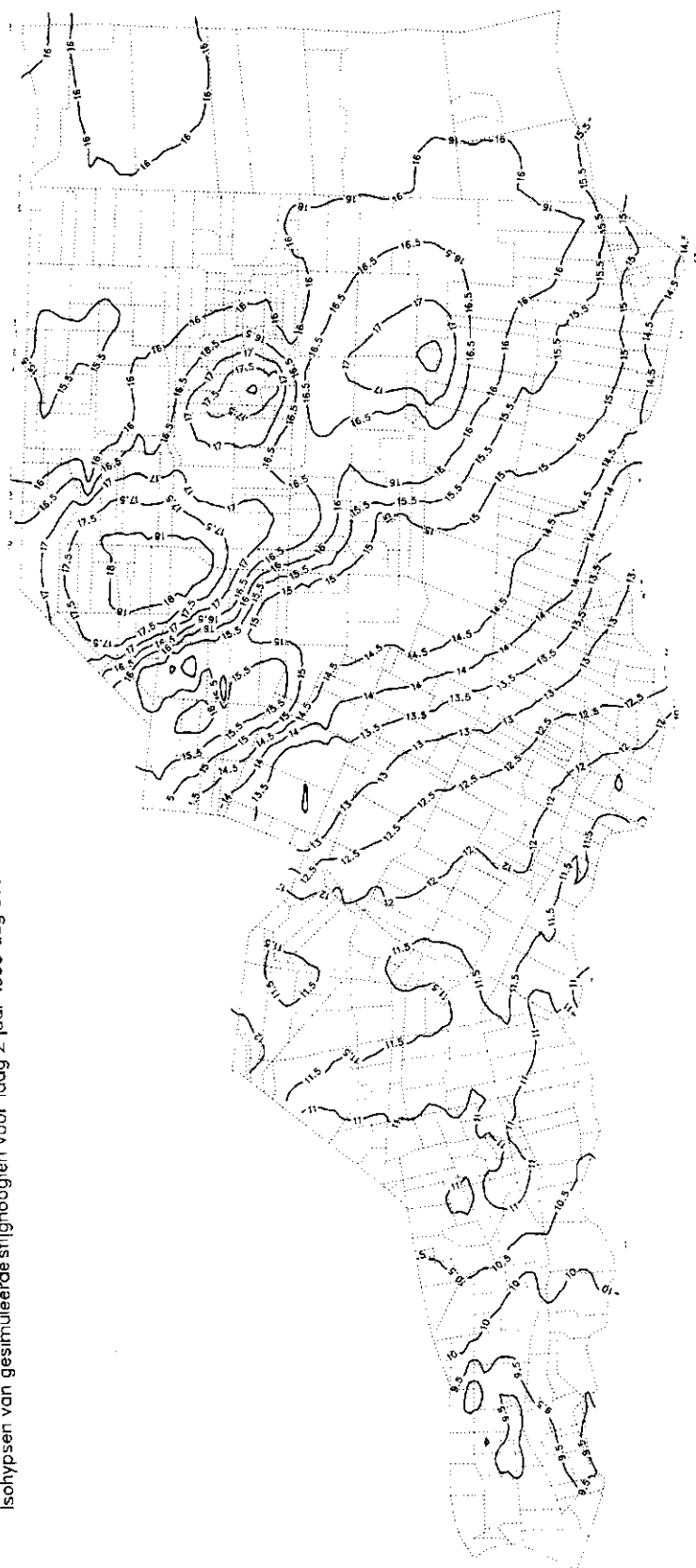
- het ongecalibreeerde model (boven)
- het gecaliibreeerde model (onder)

Aanhangsel 15 Isohypsens van gesimuleerde stijghoogten ongecalibreerd model

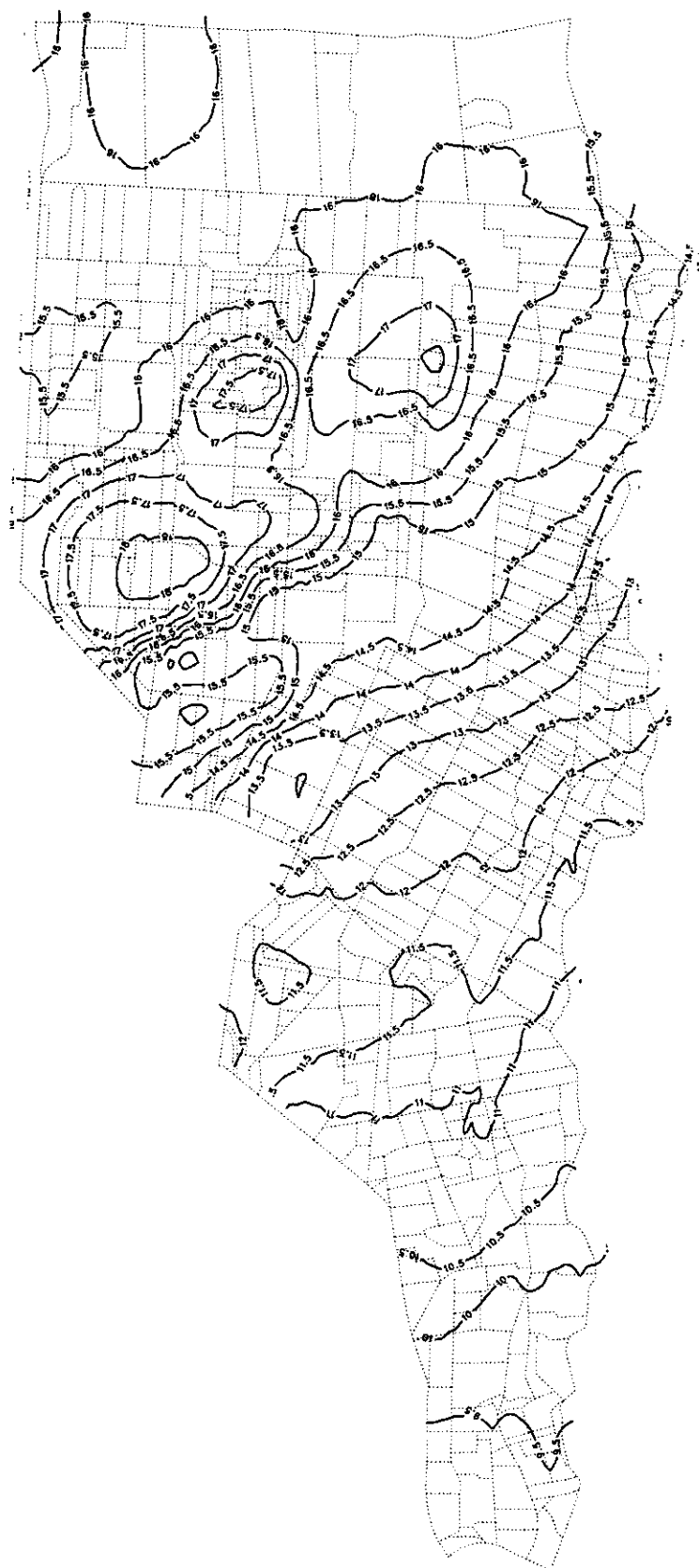
Isohypsens van gesimuleerde stijghoogten voor laag 1 jaar 1993 dag 365



Isohypsen van gesimuleerde stijghoogten voor laag 2 jaar 1993 dag 365



Isolijnen van gesimuleerde stijghoogten voor laag 4 jaar 1993 dag 365



Isonypsen van gesimuleerde stijghoogten voor laag 6 jaar 1993 dag 365

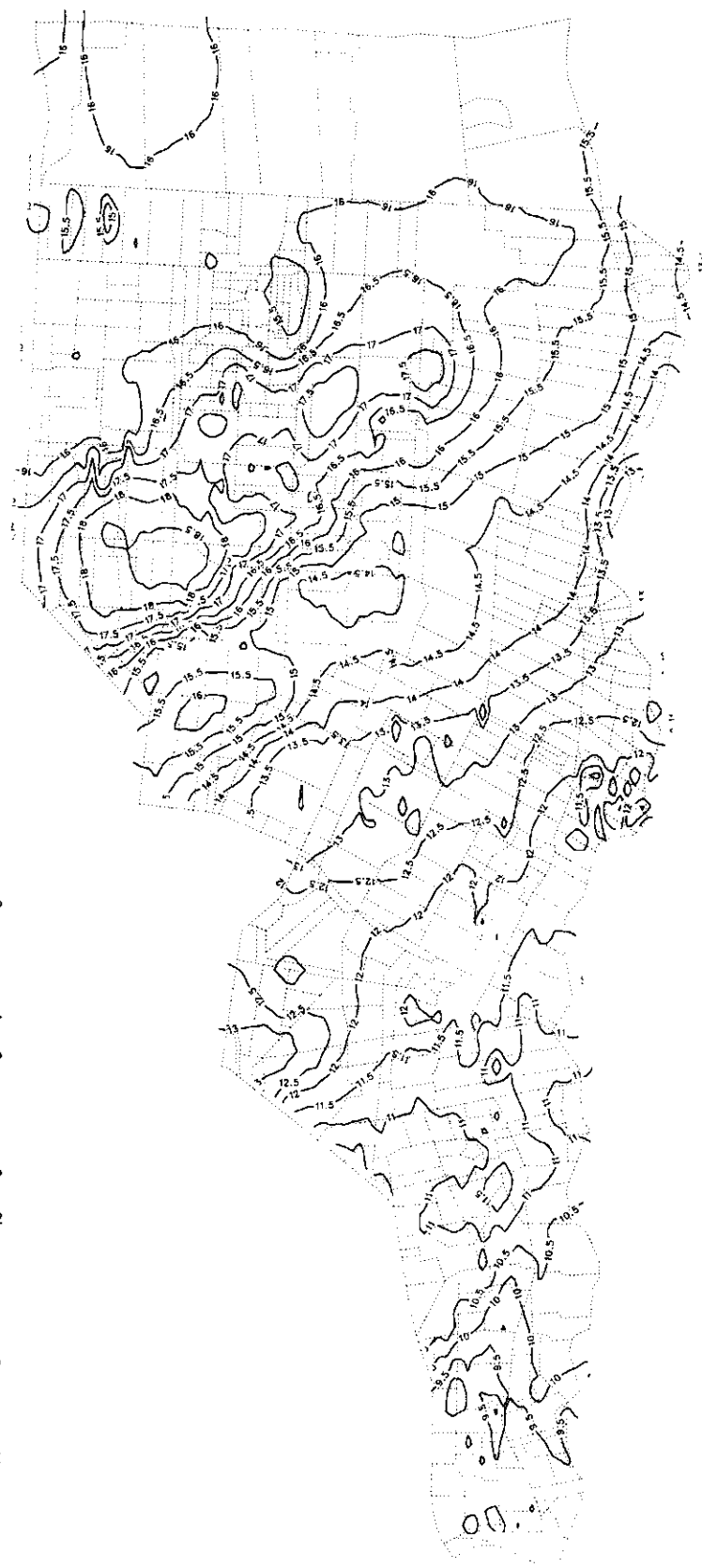


**Aanhangsel 16 Isohypsens van gesimuleerde stijghoogten
gecalibreerd model**

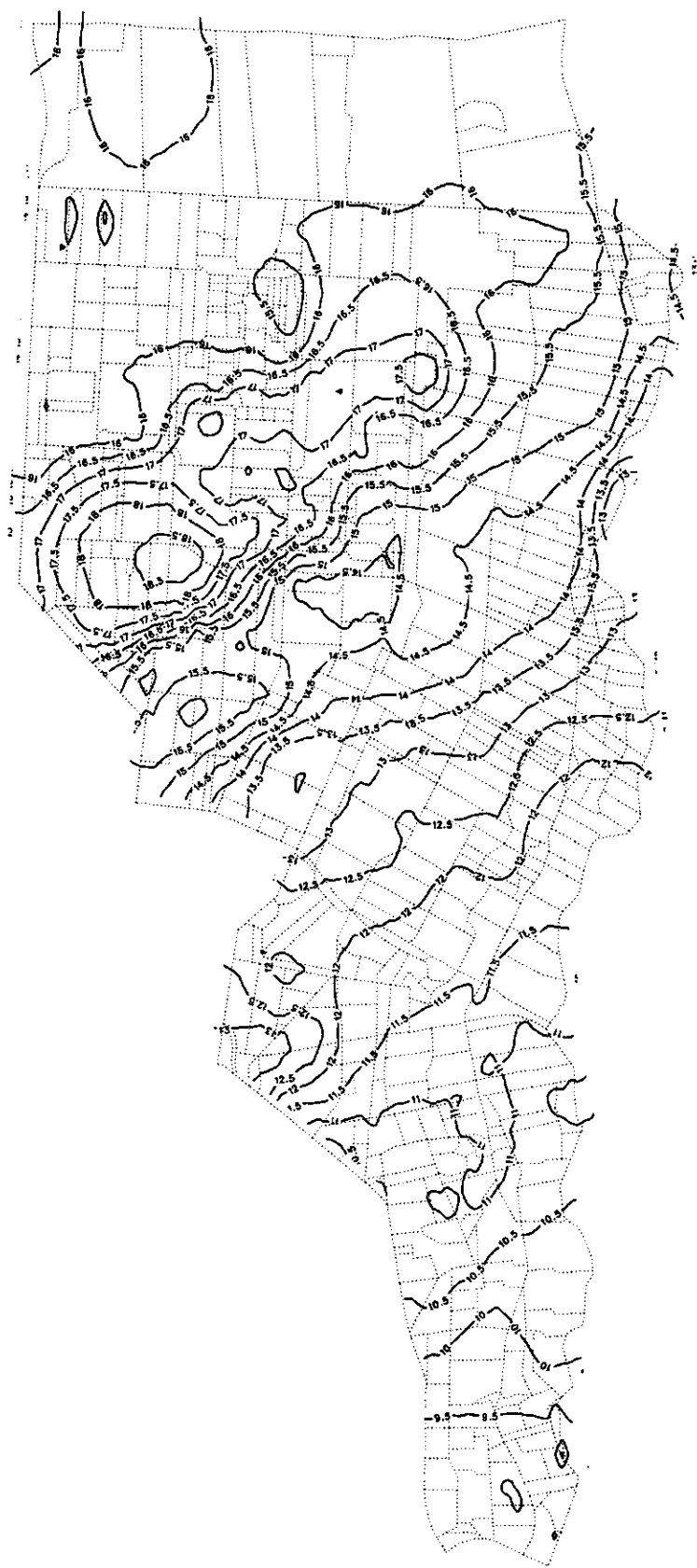
Isohypsens van gesimuleerde stijghoogten voor laag 1 jaar 1993 dag 365



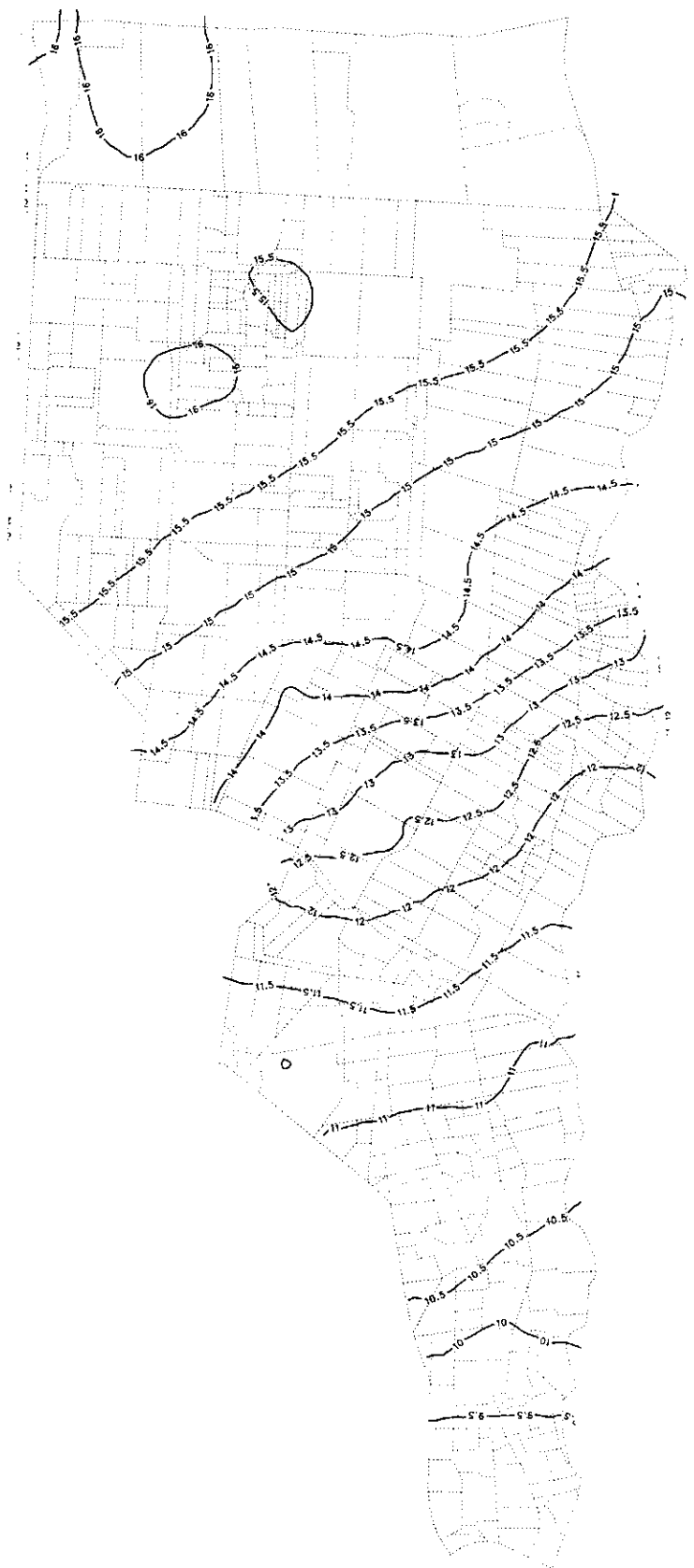
Ischypsen van gesimuleerde stijfhoogten voor laag 2, jaar 1993 dag 365



Isolijnen van gesimuleerde stijghoogten voor laag 4 jaar 1993 dag 365



Isohypsen van gesimuleerde stijghoogten voor laag 6 jaar 1993 dag 365



Aanhangsel 17 Aanpassingen veenweerstand in onzekerheidsanalyse

Aanpassing c-waarde
laag 1 (%)

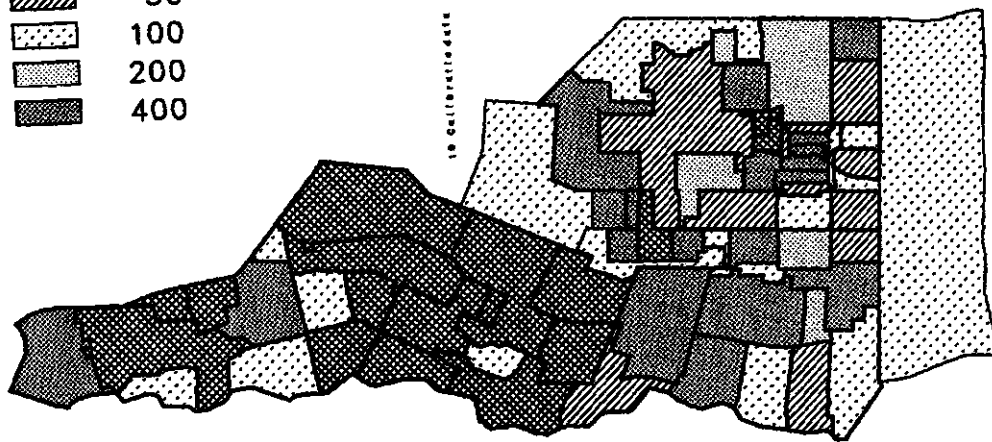
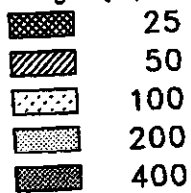


Fig. A17.1 Calibratie-aanpassing van c-waarde afdekkend pakket, voor calibratie variant
'4*H+1*q' (zie Tabel 6)

Aanpassing c-waarde
laag 1 (%)

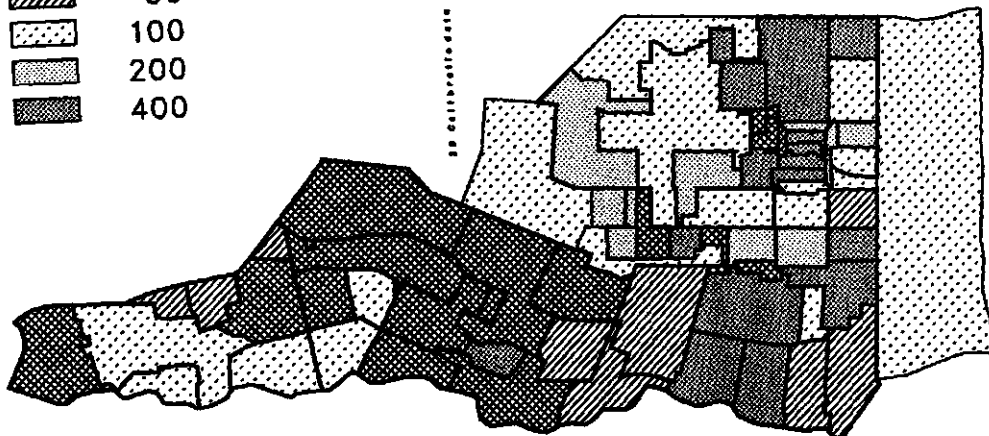
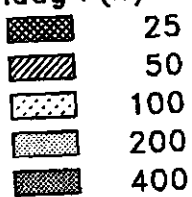


Fig. A17.2 Calibratie-aanpassing van c-waarde afdekkend pakket, voor calibratie variant
'1*H+4*q' (zie Tabel 6)

Aanpassing c-waarde
laag 1 (%)

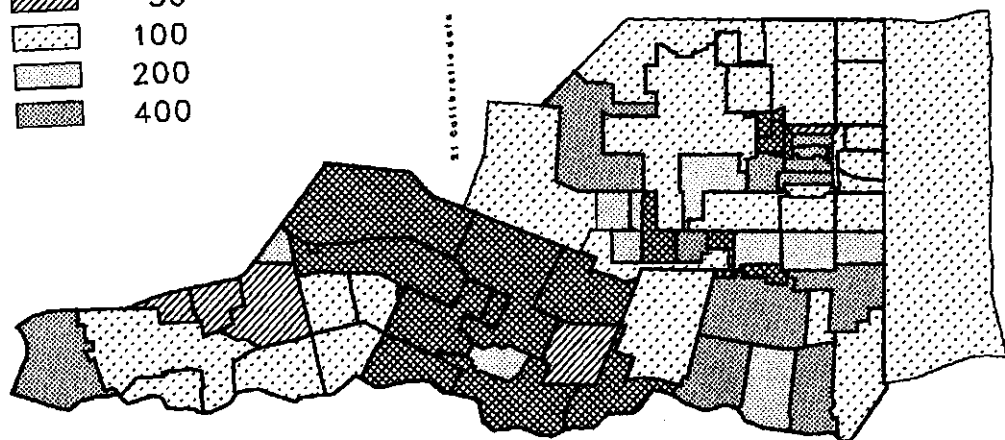
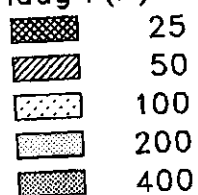


Fig. A17.3 Calibratie-aanpassing van c-waarde afdekkend pakket, voor calibratie variant ' q_{ond} ' (zie Tabel 6)

Aanpassing c-waarde
laag 1 (%)

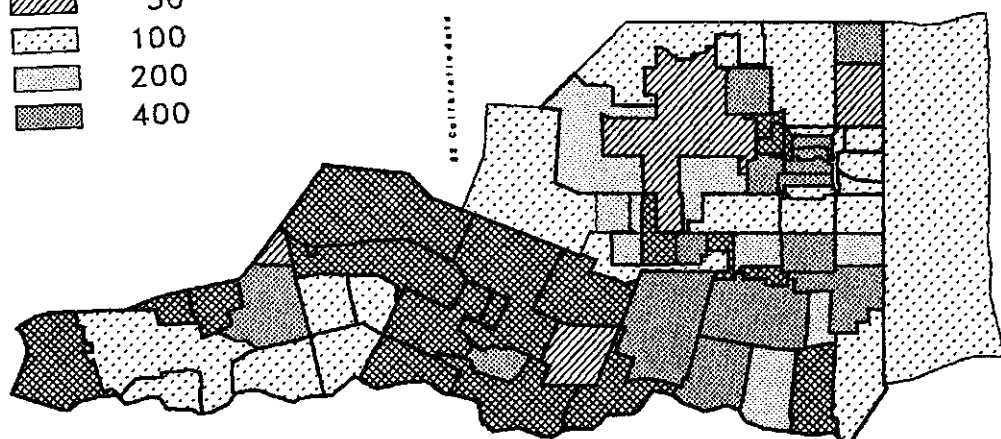
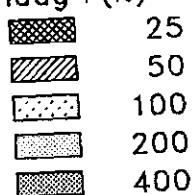


Fig. A17.4 Calibratie-aanpassing van c-waarde afdekkend pakket, voor calibratie variant ' q_{bov} ' (zie Tabel 6)