

Nederlands Instituut voor
Toegepaste Geowetenschappen TNO

Sturing op grondwater

Mogelijkheden van beslissingsondersteunende systemen in waterbeheer



back
staplers

NITG 98-173-A





TNO-rapport
NITG 98-173-A

Sturing op grondwater

Mogelijkheden van beslissingsondersteunende systemen in waterbeheer



Bibliotheek

Datum

september 1998

Auteur(s)

M. Quist

Begeleiders

TNO Delft

W. van der Linden

P. G. B. de Louw

LU Wageningen

P. J. J. F. Torfs

J. M. Verhallen

Schoemakerstraat 97
Postbus 6012
2600 JA Delft

Telefoon 015 269 69 00
Fax 015 256 48 00

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor
onderzoeksopdrachten aan TNO', dan
wel de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

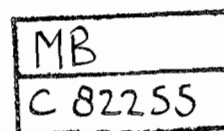
© 1996 TNO

Projectnummer

005.50112/01.01

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO
is gevestigd in Delft en Haarlem en heeft nevenvestigingen in
Haarlem, Heerlen, Nuenen, IJmuiden en Zwolle.

Het instituut is het centrale geowetenschappelijke informatie-
en onderzoeksinstituut van Nederland, ten behoeve van het
duurzaam beheer en gebruik van de ondergrond en de
ondergrondse natuurlijke bestaansbronnen.



BIBLIOTHEEK PROVINCIE OVERIJSEL



0105 9723

Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeeronderzoek van mijn studie aan de Landbouw Universiteit Wageningen. Het vormt de afronding van de studie Bodem, Water en Atmosfeer met als specialisatie richting hydrologie. Ik heb dit onderzoek uitgevoerd "binnen de poorten" van het instituut Nederlands Instituut Toegepaste Geowetenschappen (NITG)-TNO te Delft. Enthousiasme, interesse en expertise in het vak zijn kernwoorden waarmee de medewerkers die mij bij NITG hebben geholpen, kunnen worden gekarakteriseerd. Ik wil de volgende personen hartelijk bedanken voor hun hulp en ondersteuning: Wim van der Linden, Perry de Louw, Josef Reckman, Arthur van Ewijk en Roel Mulder.

In de eerst maand van het onderzoek ben ik voor een inventarisatie van de praktijksituatie, zeer gastvrij ontvangen bij SC-DLO, de Provincie Drenthe en de waterschappen Meppelerdiep, Groot Salland, en 't Suydevelt. Bij waterschap Meppelerdiep heb ik een week lang meegelopen in de praktijkwereld van de waterbeheerder. Ik wil de volgende personen die mij hebben geholpen praktijkinzicht te verwerven hartelijk danken: Hans ter Horst, Henk Jan Tobbe, Erik Broeze, Erik de Gruyter, de heer van de Eerenbeemt en Jan van Bakel.

Als laatste wil ik mijn begeleiders Paul Torfs en Annemiek Verhallen van de Landbouw Universiteit bedanken voor de hulp die zij hebben geboden om dit onderzoek op juiste wijze af te kunnen ronden.

Ik hoop dat met dit rapport de sturing van grondwater via oppervlaktewater een stap dichterbij komt.

Delft, 16 september 1998

Maarten Quist

Samenvatting

In Nederland behoort het freatisch grondwaterbeheer tot het nieuwe takenpakket van het waterschap. Om het freatisch grondwaterbeheer mogelijk te maken, zullen gegevens over actuele grondwaterstanden nodig zijn, aangevuld met sturingsmogelijkheden om grondwater op juiste wijze te kunnen beheren.

In opdracht van NITG-TNO is onderzoek verricht naar de sturingsmogelijkheden voor waterschappen, waarbij opgedane kennis als aanvulling kan dienen, bij de ontwikkeling en eventuele uitbreiding van de REGIS-peilbeheermodule voor waterschappen. Het onderzoek richtte zich op de vragen:

- Wat is de relatie tussen gegevens, benodigd voor de waterbeheerder, om sturing op het juiste moment en wijze mogelijk te maken?
- Hoe kan het sturingsvraagstuk door een beslissingssysteem ondersteund worden?

Door gebruik te maken van 3 fundamenteel verschillende modellen, is de relatie van verschillende processen die de grondwaterstand beïnvloeden, voor een aantal proefgebieden onderzocht. Deze proefgebieden zijn het Boetelerveld te Groot-Salland en landbouwgebied Berghuizen, wat deel uitmaakt van waterschap Meppelerdiep. Tevens zijn de modellen getest op eventuele toepassing als beslissingsondersteunend systeem in waterbeheer. Tot de geteste modellen behoorde een analytisch-, een numeriek- en een black-box model.

Het *analytisch model* is speciaal voor dit onderzoek ontwikkeld en gebaseerd op de infiltratieformule van Ernst. Met dit model kan het effect van het opzetten van het oppervlaktewaterpeil, op de grondwaterstand (infiltratie van oppervlaktewater) in de ruimte en in de tijd worden bepaald. Andere effecten die de grondwaterstand beïnvloeden zijn in dit model niet meegenomen.

Voor het *numeriek model* is gebruik gemaakt van het model Microfem. Met het numeriek model kunnen eenvoudig meerdere effecten die de grondwaterspiegel beïnvloeden worden gemodelleerd. In dit onderzoek is alleen het effect van infiltratie van oppervlaktewater ingevoerd, om de uitkomsten van het model te kunnen vergelijken met het analytisch model. Uit het onderzoek bleek dat de berekende waarden van het analytisch en numeriek model goed overeen kwamen.

Het geteste *black-box model* bestond uit een niet-lineair voorspellingsmodel, een zogenaamd neurale netwerk. Met dit model zijn grondwaterstanden voorspeld aan de hand van de oppervlaktewaterstand, neerslag, verdamping en grondwaterstanden voorafgaand aan de voorspelling. De waterbeheerder kan met het voorspellingsmodel een te nemen beslissing vooraf verifiëren. Het model berekent het effect van de sturingsactie op de grondwaterstand in de tijd.

Het voorspellen van het effect van de stuw op de grondwaterstand was niet goed mogelijk met het black-box model, omdat de vertragingstijd tussen stuw en

grondwaterbuis te groot was. In een gebied waar de grondwaterbuis dichterbij de stuw staat of waar het gebied sneller reageert, zouden effecten beter te voorspellen moeten zijn. Het effect van een neerslagbui op de grondwaterstand werd een stuk beter voorspeld door het model.

Alle drie de modellen hebben voor- en nadelen. Met het analytisch model wordt een goed inzicht verkregen in de relatie grond- en oppervlaktewater. Nadeel is de sterke schematisatie, waardoor het model niet in alle situaties toepasbaar is. Het numeriek model heeft als voordeel dat minder aannames hoeven worden gedaan en het model beter op de situatie is aan te passen. Dit leidt echter tot dusdanig arbeidsintensieve operaties dat baten in veel gevallen niet opwegen tegen de kosten. Voor het black-box model zijn lange meetreeksen gegevens gewenst. Het model geeft geen inzicht in de rekenprocessen die leiden tot een voorspelling.

Het analytisch model is vooral geschikt voor het verwerven van inzicht in de relatie grond- en oppervlaktewater. Het is niet direct geschikt als beslissings-ondersteunend systeem voor waterbeheer. Het numeriek model biedt betere mogelijkheden. Het is echter zeer arbeidsintensief om voor elke specifieke situatie een goed numeriek model te implementeren. Het black-box model heeft de potentie een situatiespecifiek beslissingssysteem te zijn. Er zijn op dit moment echter nog teveel zwakheden bij gebruik van het model, waardoor het in slechts weinig situaties inzetbaar zal zijn. Naast deze modellen is het gebruik, van de door SC-DLO ontwikkelde hydrotypen onderzocht. Per hydrotype zijn numerieke grondwatermodellerings uitvoeringen uitgevoerd, om het effect van een verhoogd peil op de grondwaterstand te bepalen. Het blijkt dat deze hydrotypen te grofschalig zijn voor gebruik bij dagelijkse sturing in waterbeheer.

Het numerieke model biedt de beste mogelijkheden als beslissingsondersteunend systeem (B.O.S.) voor sturingsvraagstukken. Arbeidsintensieve modelschematisaties zouden ondervangen kunnen worden door automatisch gegenereerde schematisaties met behulp van gegevens uit REGIS. Er kan dan gemakkelijk een gebiedsspecifieke modellering worden gemaakt, waarbij een indeling in klassen, zoals bij de hydrotypen, niet nodig is. De REGIS-applicatie is specifiek geschikt om te gebruiken voor automatische profielschematisatie, die nodig is voor modellering. Wel zullen extra gegevens over de toplaag in REGIS moeten worden ingevoerd, mogelijkheden hiertoe worden onderzocht in het LHTS-project. Een gekoppeld numeriek model met REGIS zou een goede basis kunnen bieden als B.O.S. voor sturing in waterbeheer.

Inhoud

Voorwoord.....	i
Samenvatting	iii
Lijst van figuren	ix
Lijst van tabellen	xi
1 Inleiding.....	1
1.1 Peilbeheer bij waterschappen	1
1.2 Sturing	3
1.3 Intelligentie en proces controle	5
1.4 Probleemstelling van het onderzoek	6
1.5 Het gebruik van modellen	7
1.6 Methode van aanpak	8
2 Theorie grondwaterstroming	11
3 Eéndimensionaal analytisch model	15
3.1 Theorie	15
3.2 Opzet van het model	24
3.3 Gevoeligheid	27
4 Tweedimensionaal numeriek model	29
4.1 Theorie	29
4.2 Opzet van het model	29
4.3 Gevoeligheid	32
5 Black-box modellen.....	37
5.1 Theorie	37
5.2 Opzet van het model	41
5.3 Gevoeligheid	42
6 Proefgebied Groot Salland	43
6.1 Gebiedsbeschrijving	43
6.2 Hydrogeologische beschrijving.....	45
6.2.1 Groot Salland	45
6.2.2 Boetelerveld	45
6.3 Watersysteem analyse	46
6.3.1 Neerslag en verdamping.....	46
6.3.2 Kwel	46

6.3.3 Infiltratie/Ontwatering	48
6.4 Infiltratieproef	49
6.4.1 Relatie grond- en oppervlaktewater	49
6.5 Modellerings	51
6.5.1 Locatie	51
6.5.2 Randvoorwaarden.....	51
6.5.3 Invoerparameters.....	52
6.5.4 Uitkomsten analytisch model	52
6.5.5 Uitkomsten numeriek model	54
7 Proefgebied Meppelerdiep.....	57
7.1 Locatie.....	57
7.2 Invoerparameters.....	58
7.3 Uitkomsten Black-box model	60
8 Hydrotypen	65
8.1 Theorie	65
8.2 Hydrotypen in praktijk	67
8.3 De verbetering met REGIS als basis	69
9 Toepasbaarheid in waterbeheer	71
9.1 Verschillen analytisch en numeriek model	71
9.2 Sterke en zwakke punten van de modellen	72
9.3 Toepassing als beslissingsondersteunend systeem	73
10 Conclusies.....	77
11 Literatuur	81

Bijlagen

Bijlage hoofdstuk 1
 Bijlage hoofdstuk 3
 Bijlage hoofdstuk 4
 Bijlage hoofdstuk 6
 Bijlage hoofdstuk 7
 Bijlage hoofdstuk 8

Bijlage B Basistheorie neurale netwerken
 Bijlage C Inventarisatie rapport waterschap Meppelerdiep
 Bijlage D Inventarisatierapport waterschap Groot Salland
 Bijlage E Inventarisatierapport waterschap 't Suydevelt
 Bijlage F Inventarisatierapport Provincie Drenthe

Lijst van figuren

Figuur 1.1	Drooglegging en ontwateringsdiepte	2
Figuur 1.2	Streefpeilen verloop	2
Figuur 1.3	Sturingsrelatie-diagram	4
Figuur 1.4	Verschillende sturingsniveaus	6
Figuur 1.5	In-en outputs van het beslissingsniveau	7
Figuur 1.6	Opbouw van het rapport	9
Figuur 2.1	Aan- en afvoer van water binnen het Representatief Elementaire Volume	11
Figuur 2.2	Grondwaterstroming naar de sloot.....	12
Figuur 3.1	Ongestoorde toestand in het zomerhalfjaar met normale daling van freatisch vlak en constant beekpeil	15
Figuur 3.2	Verloop van de grondwaterspiegel indien vanaf $t = 0$ het beekpeil verhoogd wordt tot $a_0 = 1$	16
Figuur 3.3	Beïnvloeding, welke op figuur 3.1 moet worden gesuperponeerd om figuur 3.2 te krijgen	16
Figuur 3.4	Het opzetten van het peil waardoor grondwaterspiegel stijgt als gevolg van een verminderde drainerende werking van de sloot.....	17
Figuur 3.5	Uittreden van water uit de sloot in het pakket, uitvergroet ter hoogte van de slootwand	18
Figuur 3.6	De uitgangssituatie van de berekening, na het opzetten van het oppervlaktewaterpeil	21
Figuur 3.7	Model I, Infiltratie van slootwater zonder uittreeweerstand van de sloot	22
Figuur 3.8	Model II, Infiltratie van slootwater met uittreeweerstand van de sloot	22
Figuur 3.9	Verandering van de stijghoogte op verschillende tijdstippen, als gevolg van infiltratie van het oppervlaktewater, door opzetten van het oppervlakte-waterpeil (voor invoerwaarden zie tabel 3.2).....	25
Figuur 3.10	Schematische weergave van verschillende stappen in het calibratieproces	26
Figuur 4.1	Microfem grid	30
Figuur 4.2	De breedte van de sloot (b) in verhouding tot het beïnvloedingsgebied (a) van een knooppunt in microfem.....	31
Figuur 4.3	Verandering van de grondwaterspiegel als gevolg van het opzetten van het oppervlaktewater, voor verschillende kD- waarden.	33
Figuur 4.4	Verskil in stijghoogte berekend voor de modellen met kD- waarden 50% en 200% ten opzichte van het model met kD- 100%.	34
Figuur 5.1	Veralgemeneerde regressie	38

Figuur 5.2	Neurale netwerkstructuur	39
Figuur 5.3	Voorspellingsprincipe van het neurale netwerk, 4 dagen voortuit	40
Figuur 6.1	Geografische ligging van het gebied	44
Figuur 6.2	Verschillende lagen in bodemdoorsnede	48
Figuur 6.3	Berekende waarden met het analytisch model uitgezet tegen de veldwaarnemingen in de Noord-raai (voor calibratie).	52
Figuur 7.1	Geografische ligging van het proefgebied in waterschap Meppelerdiep	57
Figuur 7.2	Stijghoogte van grondwater in de tijd, voor veld- en modelwaarden	59
Figuur 8.1	Indeling in profieltypen	66
Figuur 8.2	Stappenschema voor bepaling profieltypen	66
Figuur 8.3	Bodemdoorsnede met aan de linkerrand een sloot, waarin het water is opgezet.	69
Figuur 8.4	Stroomschema met als basis REGIS	70
Figuur 9.1	Verandering van de stijghoogte van grondwater in de tijd, berekend voor het analytisch en numeriek model	72

Lijst van tabellen

Tabel 3.1	Parameters van belang bij koppeling grond- en oppervlaktewater.....	19
Tabel 3.2	Invoerwaarden analytisch model	25
Tabel 3.3	Gevoeligheidsanalyse: invoerwaarden model (100%)	27
Tabel 3.4	Gevoeligheidsanalyse: verandering van de stijghoogte dichtbij de sloot (50m afstand)	28
Tabel 3.5	Gevoeligheidsanalyse: Verandering van de stijghoogte op 500m afstand van de sloot	28
Tabel 4.1	Waarde invoerparameters 100%	32
Tabel 4.2	Verandering van de stijghoogte dichtbij de sloot	35
Tabel 4.3	Verandering van de stijghoogte op 500m afstand	35
Tabel 5.1	Invoerparameters Neurale Netwerk	41
Tabel 5.2	Invoerwaarden neurale netwerk.....	42
Tabel 6.1	Gegevens specificatie	44
Tabel 6.2	Correlatiecoëfficiënten	49
Tabel 6.3	De basisinvoergegevens van het model	52
Tabel 6.4	Verschil tussen veldwaarnemingen en modelwaarden	53
Tabel 6.5	Verschil tussen veldwaarnemingen en modelwaarden, voor S=0.012	53
Tabel 6.6	Verschil tussen veldwaarnemingen en modelwaarden, voor S=0.017	54
Tabel 6.7	Verschil tussen veldwaarnemingen en modelwaarden	55
Tabel 6.8	Verschil tussen veldwaarnemingen en modelwaarden	55
Tabel 7.1	Voorspelde grondwaterstandsverschil na 4 dagen.....	63
Tabel 7.2	Afwijking van de vooruitvoorspelling voor model 5	64
Tabel 7.3	MSE-waarden voor modellen met een trainingslengte van respectievelijk 300 en 500 waarnemingen.....	64
Tabel 8.1	Parameters, huidige en toekomstige gegevens bronnen	67
Tabel 9.1	Invoerwaarden analytisch en numeriek model	71
Tabel 9.2	Samenvatting sterke- en zwakke punten van de verschillende modellen	74
Tabel 9.3	De mogelijke functie van de modellen in waterbeheer, aangevuld met een kanttekening.....	75

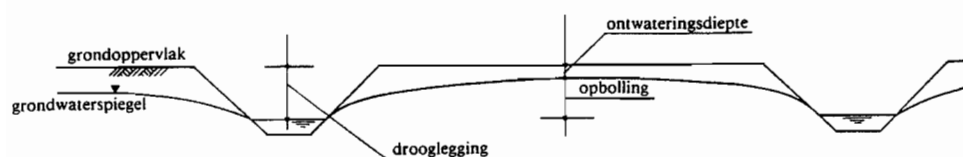
1 Inleiding

In Nederland behoort het freatisch grondwaterbeheer tot het nieuwe takenpakket van het waterschap. Om het freatisch grondwaterbeheer mogelijk te maken, zullen gegevens over actuele grondwaterstanden nodig zijn, aangevuld met sturingsmogelijkheden om grondwater op juiste wijze te kunnen beheren. Het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO werkt momenteel aan een uitbreiding van REGIS^{view} in opdracht van de waterschappen: Wold en Wieden, Regge en Dinkel, Meppelerdiep, Groot Salland, Vechtlanden en 't Suydevelt. Deze uitbreiding bestaat uit een database, waarin gegevens die van belang zijn voor het peilbeheer, kunnen worden verwerkt en opgeslagen. Deze gegevens bestaan onder andere uit de metingen van waterstanden en debieten van oppervlaktewater, klepstanden van stuwen, draaiuren van gemalen, streef- en grondwaterpeilen. Naast de gegevensinvoer biedt het programma de mogelijkheid tot weergave van gegevens in rapporten en grafieken en het aanmaken van actielijsten en route schema's. Deze database, waarin een koppeling van grond- en oppervlaktewatergegevens tot stand komt, draagt de naam peilbehermodule.

De belangrijkste functie van de peilbehermodule is het verwerken en opslaan van gegevens. TNO stelt zich hierbij de vraag hoe deze database naast het gegevensbeheer ook ingezet kan worden bij actief-peilbeheer. De database zou de waterbeheerder een beter inzicht moeten geven in de waterhuishouding in het gebied, om beslissingen beter af kunnen te wegen. Daarnaast biedt een verhoogd inzicht de mogelijkheid directer en actiever op de situatie te reageren, waardoor peilbeheersing nog fijner afgestemd kan worden. Dit heeft tot gevolg dat beter kan worden voldaan aan de gestelde eisen in het gebied en streefpeilen nauwkeuriger kunnen worden bepaald en beheerd.

1.1 Peilbeheer bij waterschappen

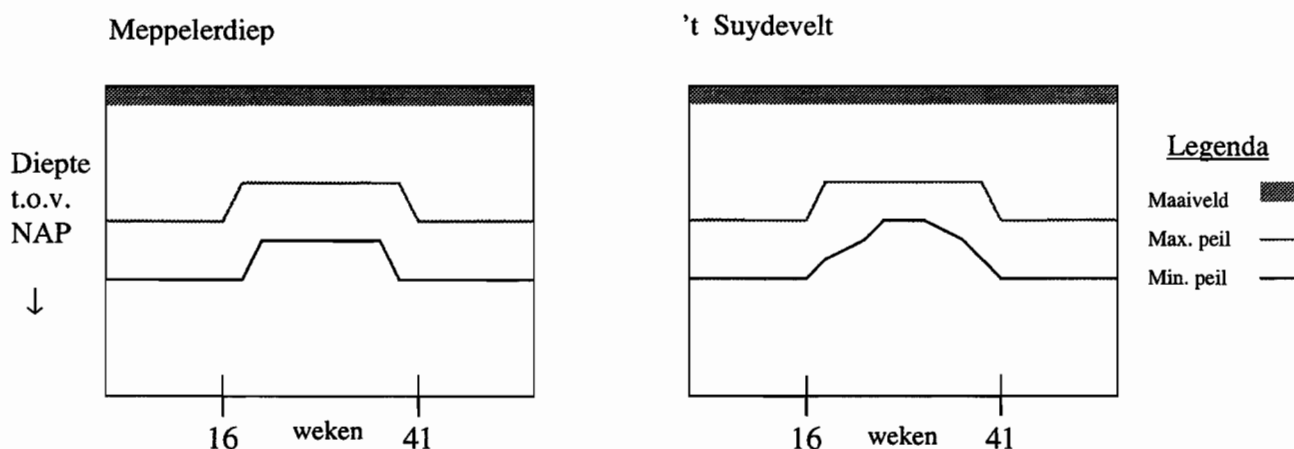
Bij waterschap Meppelerdiep wordt peilbeheersing uitgevoerd aan de hand van een maximale en minimale drooglegging respectievelijk ontwateringsdiepte bepaald per jaargetijde (zie figuur 1.1). Dit zijn de zogenaamde maximale en minimale streefpeilen, welke de bandbreedte vormen waarbinnen het grondwater aangestuurd kan worden door het oppervlaktewater. Deze zijn bepaald aan de hand van vastgestelde waarden, vastgelegd in het cultuurtechnisch vademecum. Het grondwaterregime per gebied wordt getoetst aan het door de provincie vastgestelde grondwatertrappen beleid (Inventarisatie waterschap Meppelerdiep, bijlage C).



Figuur 1.1 Drooglegging en ontwateringsdiepte

Waterschap 't Suydevelt is bezig met de ontwikkeling van een gewenst grondwaterstandsverloop. Het verschil met de methode van waterschap Meppelerdiep is dat de minimale waarde van het grondwaterstreefpeil niet een vaste waarde heeft, maar een verloop in het groeiseizoen. Deze waarde is afhankelijk van de vochtlevering tijdens het groeiseizoen per grondsoort en gewas. Het zijn vooraf vastgestelde ideale regimes, die moeten waarborgen dat de capillaire nalevering voldoende blijft om het doeltypen optimaal te kunnen laten functioneren. Er wordt hierbij niet direct gestuurd op de actuele vochttoestand in het profiel, omdat deze moeilijk te bepalen is. Wat het verschil oplevert tussen werkwijze van de twee waterschappen is zichtbaar gemaakt in figuur 1.2 (Inventarisatie waterschap 't Suydevelt, bijlage E). Voor verdere uitleg over totstandkoming van deze streefpeilen wordt verwezen naar de inventarisatie rapporten.

Waterschap Groot Salland heeft op dit moment nog geen plannen voor directe sturing op grondwater. Het waterschap richt zich op dit moment op modellering van het watersysteem. De ontwikkelde modellen spelen voornamelijk een rol bij de planvorming en niet direct in het operationele waterbeheer. (Inventarisatie waterschap Groot Salland, bijlage D)



Figuur 1.2 Streefpeilen verloop

1.2 Sturing

Om te komen tot een juiste formulering van de onderzoeksvraag, moet eerst duidelijk zijn welke sturingsrelaties er zijn en hoe deze elkaar beïnvloeden. In het vooronderzoek van deze studie is een sturingsrelatie-diagram ontwikkeld (zie figuur 1.3), geïnspireerd op het besturingssysteem van Lobbrecht (Lobbrecht, 1997). Het sturingsschema geeft een goed inzicht in de onderlinge relaties en koppelingen van de verschillende sturingseenheden. Het schema heeft ten doel, het inzicht in verschillende relaties te vergroten en is ontwikkeld vanuit het perspectief van het waterschap.

De ontwikkelde sturingsrelaties zijn opgebouwd uit elementen die op vier niveaus kunnen worden geplaatst:

- Strategisch niveau
- Het beslissingsniveau
- Het centraal besturingsniveau
- Het lokaal besturingsniveau.

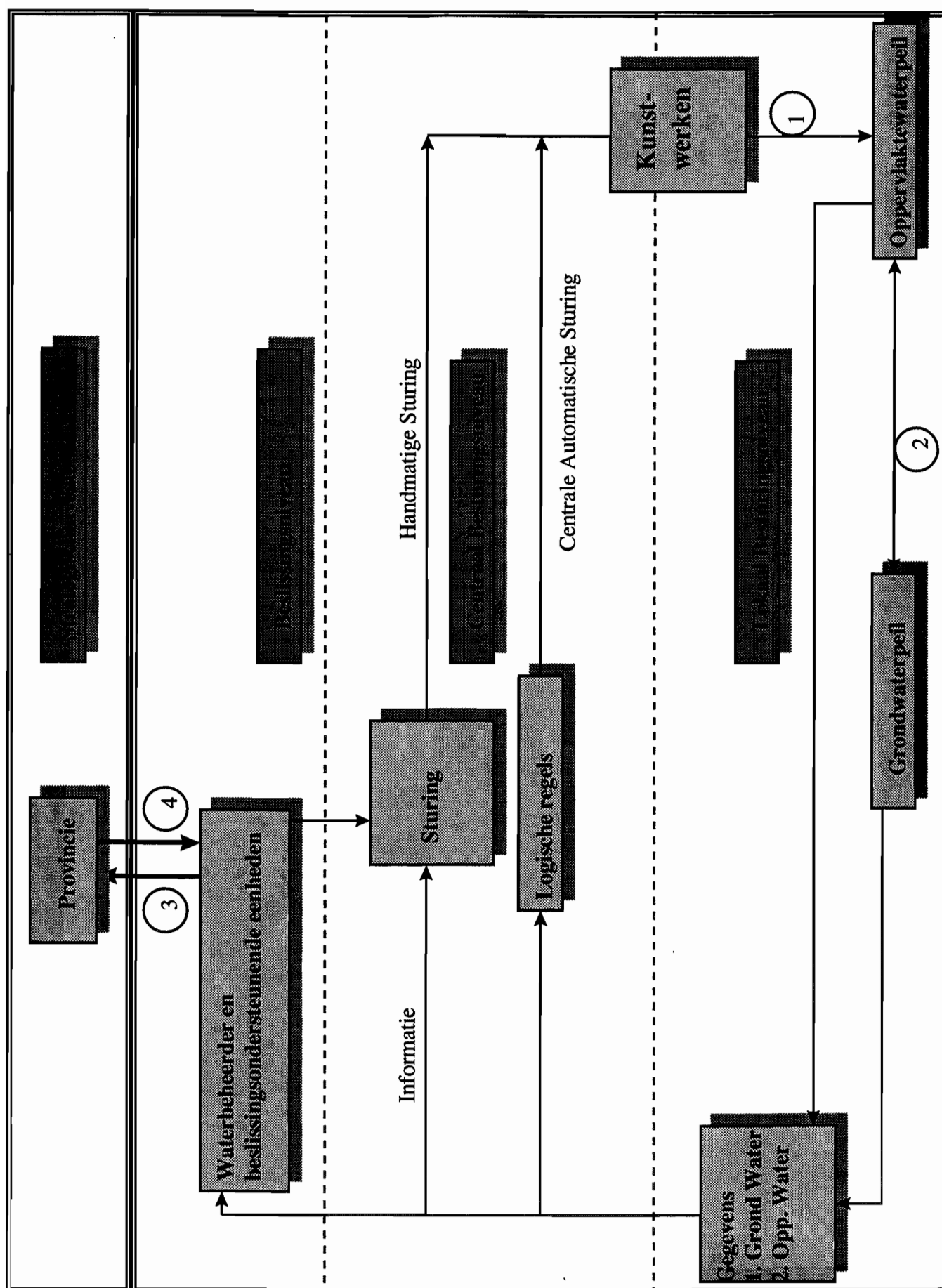
Het strategisch niveau wordt gevormd door de provincie. Het maakt niet direct deel uit van het systeem, maar is hoger geplaatst buiten het systeem. Het sturingsrelatie-diagram is ontwikkeld vanuit het perspectief van het waterschap.

De cijfers in het model geven het volgende weer:

- ① Beïnvloeding van kunstwerken op het oppervlaktewater
- ② Beïnvloeding van het oppervlaktewater op het grondwater
- ③ Streekplan
- ④ Waterhuishoudingsplan.

De feitelijke regeling vindt plaats door kunstwerken in het watersysteem. Deze worden automatisch of handmatig aangestuurd. Deze kunstwerken beïnvloeden het oppervlaktewatersysteem. Het oppervlaktewater heeft invloed op het grondwater en vice versa.

De volgende stap op het lokale niveau is meting van grondwater- en oppervlaktewaterpeilen. Deze gegevens vormen de invoer voor het centrale besturingsniveau. Op grond van verschillen tussen de gewenste en de actuele toestand in het watersysteem, beslist de beheerder over uit te voeren sturingsacties. De noodzakelijke sturingsacties kunnen ook door een centrale eenheid worden bepaald en ingezet op grond van automatisch ingezamelde gegevens en logische beslisregels. Een voorbeeld hiervan zijn de op dit moment werkende stuwen, die zorgen voor automatische peilhandhaving.



Figuur 1.3 Sturingsrelatie-diagram

Op beslissingsniveau zal de beheerder met behulp van beslissingsondersteunende eenheden de gewenste sturingsstrategie bepalen (voor verdere detaillering van dit niveau zie figuur 1.5). Mogelijke beslissingen kunnen op hun effectiviteit worden getoetst, bijvoorbeeld door het gebruik van computermodellen.

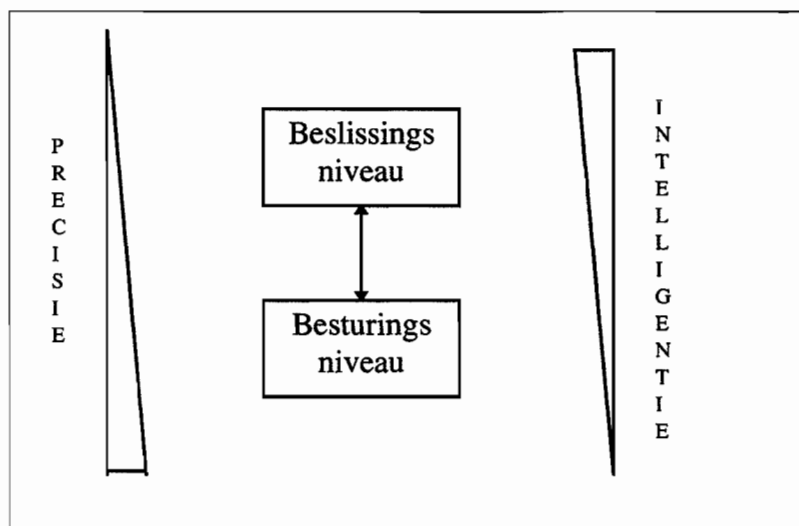
Het vierde niveau wordt gevormd door de provincie en is het strategisch niveau. De provincie maakt het waterhuishoudingsplan, welke een strategische richtlijn vormt voor de waterschappen. De waterschappen maken een streekplan op basis van het waterhuishoudingsplan, waarna toetsing van het streekplan zal plaatsvinden door de provincie.

1.3 Intelligentie en proces controle

Traditioneel gezien lag de proces controle volledig op het lagere besturingsniveau en werd de planning en management uitgevoerd op het beslissingsniveau. Deze taken werden allen uitgevoerd door de mens. In de toekomst echter zullen sturingsacties geoptimaliseerd moeten worden. De optimalisaties zullen verder gaan dan de capaciteiten van de menselijke uitvoering. De technologische ontwikkeling van hard- en software maakt een directe implementatie van gecompliceerde optimalisatie algoritmes mogelijk.

In figuur 1.4 is de hiërarchische structuur tussen beslissings- en besturingsniveau zichtbaar gemaakt. Ook kan onderscheidt gemaakt worden op basis van precisie en intelligentie. Saradis (1977) maakt onderscheidt in drie niveaus, verenigend de "toenemende precisie met afnemende intelligentie". Voor deze studie, waar vanuit het oogpunt van de waterbeheerder wordt gekeken, vallen het middelste- en hoogste niveau samen en vormen het beslissingsniveau.

Op het besturingsniveau is precisie zeer belangrijk. Accurate en kwantitatieve informatie is nodig voor een goed beheer van de systemen. De operaties worden gekarakteriseerd door numerieke waarden die worden verkregen door directe bepalingen en metingen, zonder een al te grote mate van benodigde intelligentie. Op het beslissingsniveau is precisie belangrijk maar ook duur. Op dit niveau zijn de kwantitatieve processen minder duidelijk en kunnen intelligentie en lerende capaciteiten, bijvoorbeeld neurale netwerken en analytische modellen, goede gereedschappen zijn. Het doel is het vergroten van de flexibiliteit en toename van de standaard automatische controle systemen, zodat actieve sturing op grondwater mogelijk wordt.



Figuur 1.4 Verschillende sturingsniveaus

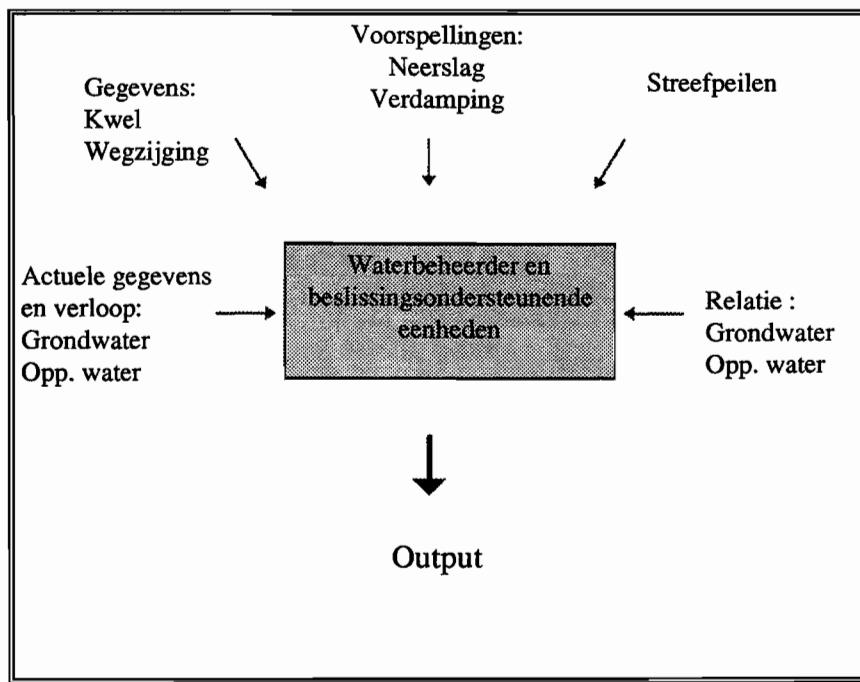
1.4 Probleemstelling van het onderzoek

Voordat precisie vergroot kan worden, zodat actieve beslissingen kunnen worden genomen, moet allereerst bekend zijn hoe het watersysteem te sturen is. In het sturingsrelatie-diagram (figuur 1.3) is te zien dat kunstwerken de oppervlakte-waterspiegel kunnen beïnvloeden. Deze beïnvloeding is vrij goed te meten en wordt in dit onderzoek als bekend verondersteld. De tweede relatie: grond- en oppervlaktewater is veel moeilijker te bepalen. Het is nodig deze relatie te onderzoeken, omdat deze de input vormt voor het beslissingsniveau.

Om binnen de bandbreedte van het maximale en minimale streefpeil te blijven met het grondwaterpeil, is het juiste moment van sturing van belang. Dit moment van sturing hangt af van de reactiesnelheid van het grondwater, reagerend op een verandering in het oppervlaktewater. Ook van belang zijn voorspellingen ten aanzien van neerslag en verdamping. Voor in- en outputs van het systeem zie figuur 1.5.

Een belangrijke output van het beslissingsniveau is het moment en wijze van sturing van het systeem. Deze output vormt een belangrijke input voor het sturingsniveau, waar de eigenlijke aansturing van het systeem plaatsvindt (zie figuur 1.3). De REGIS-peilbeheermodule, ontwikkeld door TNO, vormt de basis van het beslissingsniveau. Hierin worden alle gegevens opgeslagen en beheerd. Het vormt de basis van de beslissingsondersteunende eenheid. Hieruit volgt de onderzoeksvraag opgesplitst in twee delen:

- *Wat is de relatie tussen gegevens, benodigd voor de waterbeheerder, om sturing op grondwater op het juiste moment en wijze mogelijk te maken?*
- *Hoe kan het sturingsvraagstuk door een beslissingssysteem ondersteund worden?*



Figuur 1.5 In-en outputs van het beslissingsniveau

Deelvragen

Om de hoofdvraag te beantwoorden zijn antwoorden gezocht op de volgende deelvragen.

- Hoe vindt het peilbeheer bij waterschappen plaats?
- Wat zijn de reactiefactoren van grond- op oppervlaktewater?
- Wat is de ruimtelijke relatie tussen grond- en oppervlaktewater?
- Wat bieden de inputs aan inzicht voor de beheerder?
- Hoe moeten inputs worden gecombineerd om een goede output te krijgen (zie figuur 1.5)?

1.5 Het gebruik van modellen

Eén van de belangrijkste doelstellingen van de wetenschap is om de processen zoals die zich om ons heen afspelen te begrijpen. Om deze reden maar ook om het te bestuderen proces te regelen of te besturen worden vaak modellen gebruikt. Modellen kunnen worden onderverdeeld in drie groepen: witte, grijze en zwarte modellen. Een wit model is een gestructureerd en op proceskennis gebaseerd model en wordt ook wel een deterministisch of mechanisch model genoemd. Een zwart model daarentegen is ongestructureerd en slechts gebaseerd op gemeten data. Grijze modellen combineren elementen van beide modelvormingsfilosofien (Braake, 1997).

In dit onderzoek is gekozen om gebruik te maken van zowel een wit als een zwart model. Dit om na te gaan wat de meest geschikte methode is als ondersteuning voor sturing in waterbeheer. In dit onderzoek is het ontwikkelde analytisch model, wat gebruikt wordt voor simulatie van de verspreiding van grondwater, een voorbeeld van een wit model. Het in dit onderzoek gebruikte neurale netwerkmodel, behoort tot de categorie van zwarte modellen. Grijs modellen (ook wel hybride modellen genoemd) worden in dit onderzoek niet gebruikt, maar zouden in de toekomst misschien goede mogelijkheden kunnen bieden.

1.6 Methode van aanpak

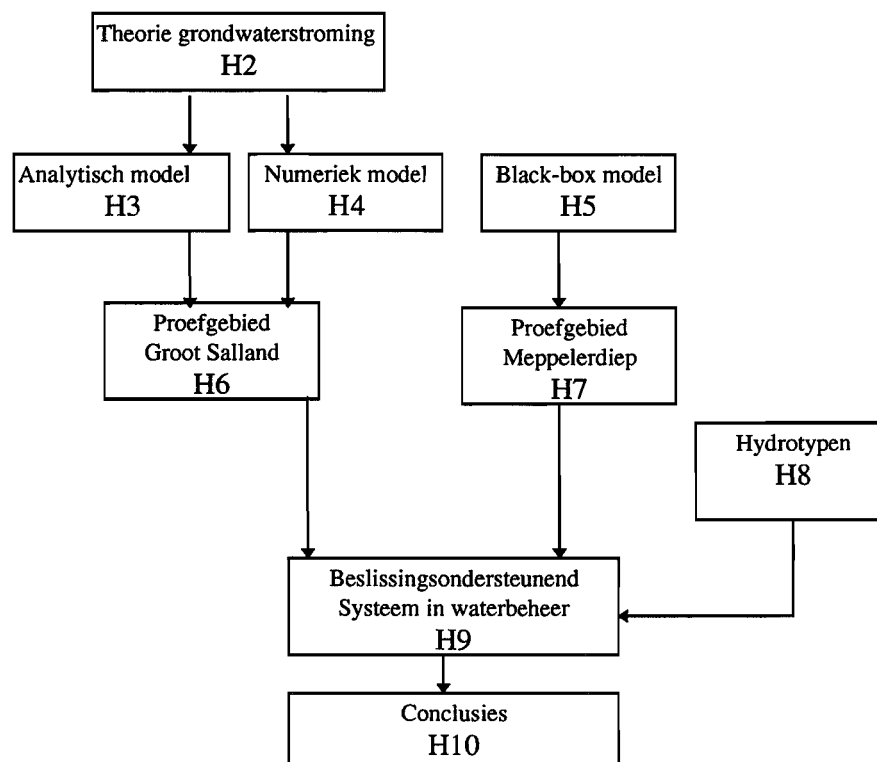
De inventarisatie bij de waterschappen Meppelerdiep (bijlage C), Groot Salland (bijlage D) en 't Suydevelt (bijlage E) vormde het eerste onderdeel van onderzoek. Er is tevens een bezoek gebracht aan de provincie Drenthe (bijlage F), voor inventarisatie van het strategisch niveau. Van deze inventarisaties zijn rapportages gemaakt, deze zijn bijgevoegd in de bijlagen.

Het onderzoek naar beslissingsondersteunende systemen voor het waterbeheer is op te delen in onderzoek naar 3 modellen. Om het geheugen op te frissen komt als eerste de basistheorie van grondwaterstroming aan bod (hoofdstuk 2). Dit wordt gevolgd door het hoofdstuk waar een analytisch model, op basis van de infiltratieformule van Ernst onderzocht is (hoofdstuk 3). Daarnaast is onderzoek gedaan naar het gebruik van een numeriek model (hoofdstuk 4) en als laatste is het black-box model op mogelijke toepassing onderzocht (hoofdstuk 5). In deze eerste hoofdstukken komen theorie, opzet en gevoeligheid van de modellen aan bod.

De keuze van deze modellen kwam voort uit het feit dat de drie modellen fundamenteel in aard verschillen. Het is de bedoeling deze fundamenteel verschillende methoden te testen voor toepassing van sturing in waterbeheer. De toepasbaarheid van de modellen in de praktijksituatie, is onderzocht voor twee proefgebieden. Deze proefgebieden zijn natuurgebied het Boetelerveld te Groot Salland (hoofdstuk 6) en een proefgebied in het Meppelerdiep (hoofdstuk 7). Naast het gebruik van de modellen is onderzocht wat meetgegevens voor inzicht bieden aan de waterbeheerder. Door middel van analyse van historische gegevens zijn relaties onderzocht. Er is gebruik gemaakt van de gegevens van proefgebied Boetelerveld, waar een infiltratieproef heeft plaatsgevonden, waarvan tweewekelijkse metingen van 100 peilbuizen beschikbaar zijn (hoofdstuk 6).

Naast deze modellen zijn de door SC-DLO ontwikkelde hydrotypen onderzocht (hoofdstuk 8). Tevens zijn in dit onderzoek verschillende modellen onderling vergeleken en is de toepasbaarheid van de modellen voor waterbeheer onderzocht (hoofdstuk 9). Tenslotte heeft dit geleid tot een aantal algemene en specifieke conclusies aangevuld met aanbevelingen voor verder onderzoek (hoofdstuk 10).

De opbouw van het rapport is in figuur 1.6 schematisch weergegeven. Voor de gebruikte termen in het rapport is zoveel mogelijk de verklarende hydrologische woordenlijst aangehouden. Specificatie van deze termen is te vinden in bijlage 1.

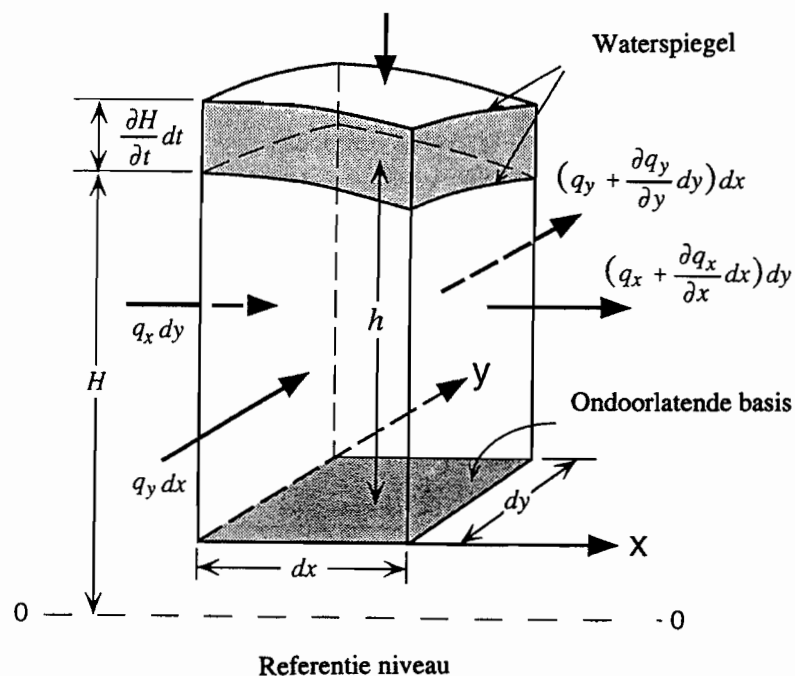


Figuur 1.6 Opbouw van het rapport

2 Theorie grondwaterstroming

In dit hoofdstuk worden de afleidingen gegeven die leiden tot de stromingsvergelijking. Dit deel algemene theorie is in het rapport opgenomen, omdat het de fundamenteen vormt voor afleiding van het analytisch zowel als het numeriek model, welke in hoofdstukken 3 en 4 aan bod komen.

De basisformule voor grondwaterstroming wordt afgeleid met behulp van het Representatief Elementair Volume (REV), weergegeven in figuur 2.1. De dimensies van het REV zijn oneindig klein, dit om afleiding van de wiskundige vergelijkingen mogelijk te maken. Volgens de continuïteitsvergelijking geldt dat de verandering in de geborgen hoeveelheid gelijk is aan het verschil tussen aan- en afvoer, zowel horizontaal als verticaal.



Figuur 2.1 Aan- en afvoer van water binnen het Representatief Elementaire Volume

Bij berekening van niet-stationaire grondwaterstroming zijn twee algemene wetten van belang: de wet van Darcy en de continuïteitswet. Voor afleiding van de gangbare wet van Darcy, zoals deze in vergelijking 2.1 staat vermeld, is de volgende aanname gedaan $H=D+h$ waarbij $h \ll$ (oneindig klein controle volume). Dit omdat kH afhankelijk is van x en zonder de aanname niet zomaar buiten de integraaltekens kan worden gehaald.

Wet van Darcy (in x-richting):

$$q_x = -kH \frac{\partial H}{\partial x} \quad (2.1)$$

in y-richting,

$$q_y = -kH \frac{\partial H}{\partial y} \quad (2.2)$$

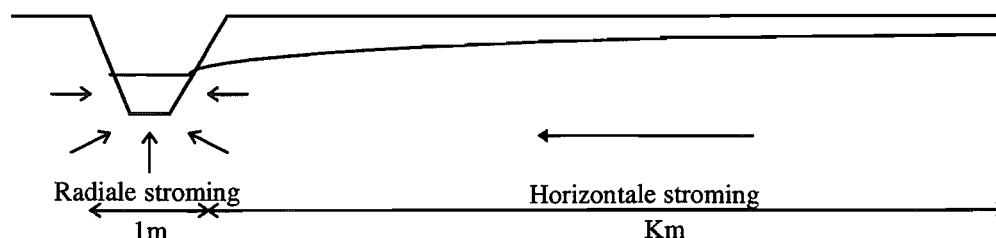
waarbij

k doorlatendheid (m/dag)

H stijghoogte (m)

q stroming (m^2/dag)

In figuur 2.2 is de praktijksituatie voor afleiding van de stromingsvergelijking weergegeven. In de figuur is de drainerende werking van een sloot weergegeven. De weerstand die het water bij stroming naar de sloot ondervindt, is de weerstand van de slootwand, de radiale weerstand en de horizontale weerstand. Het water ondervindt een horizontale weerstand over een zeer grote afstand (orde grote van kilometer). De radiale weerstand treedt op vlakbij de sloot en is veel kleiner dan de horizontale weerstand. De radiale weerstand wordt in dit onderzoek niet apart beschouwd, maar meegenomen in de slootweerstand. Bij afleiding van de stromingsvergelijking wordt horizontale stroming verondersteld. De verticale component in de vergelijking vervalt hiermee.



Figuur 2.2 Grondwaterstroming naar de sloot

Verandering volume water opgeslagen in het REV bij verandering van de waterspiegel in de tijd:

$$\Delta V = \frac{\partial H}{\partial t} dt \cdot dx \cdot dy \cdot S \quad (2.3)$$

waarbij

S = Bergingscoëfficiënt

ΔV = Verandering van het volume water dat is opgeslagen

Het verschil wat instroomt en uitstroomt in het REV is gelijk aan vergelijking (2.4):

$$q_x dydt - (q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx) dydt + q_y dxdt - (q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy) dxdt + R^* dx dydt = \frac{\partial H}{\partial t} dt dx dy S \quad (2.4)$$

Vereenvoudigen levert de continuïteitvergelijking:

$$-\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} + R^* = \frac{\partial H}{\partial t} S \quad (2.5)$$

In vergelijking (2.5) voor q de wet van Darcy invullen levert:

$$\frac{\partial(kH \frac{\partial H}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial(kH \frac{\partial H}{\partial y})}{\partial y} + R^* = S \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2.6)$$

Vergelijking 2.6 is de niet-lineaire partiële differentiaalvergelijking geldig voor een watervoerend grondwaterpakket en wordt in de literatuur beschreven als de Boussinesq vergelijking (naar de Franse ingenieur die als eerste deze vergelijking lineariseerde). Hij veronderstelde het volgende:

- Er geldt $H=D+h$, waarbij $h \ll d$, w.z. $H \approx D$ (voor een klein controle volume)

Dit leidt tot de stromingsvergelijking (2.7), die de basis vormt voor het analytisch en numeriek model:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(kD \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(kD \frac{\partial h}{\partial y} \right) + R^* = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.7)$$

3 Eéndimensionaal analytisch model

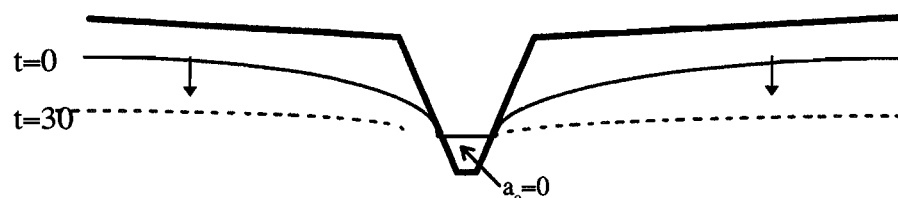
In het eerste deel van dit hoofdstuk wordt de theorie die ten grondslag ligt aan het analytisch model beschreven. Daarop volgt een beschrijving van de opzet van het model en tenslotte komt de gevoeligheid van het model aan bod. Voor modellering van de praktijksituatie wordt verwezen naar hoofdstuk 6.

3.1 Theorie

Kernvragen die bij het opstuwten van beken een rol spelen, zijn zowel van ruimtelijke als van tijdsafhankelijke aard:

- 1). Welke grondwaterstand kan praktisch bereikt worden (ruimtelijke schaal)?
- 2). Hoelang duurt het voor de grondwaterstandsverhoging bereikt is (tijdsschaal)?

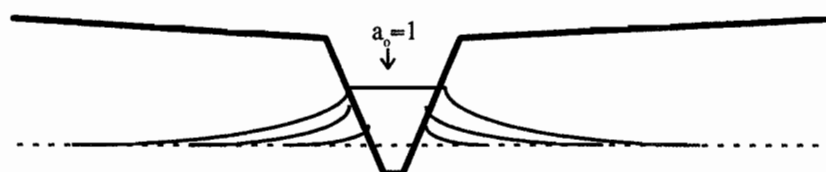
De opstuwung van een beek, waarvan het peil aan het begin van het zomerhalfjaar met een constant bedrag is verhoogd, wordt in beschouwing genomen. In figuur 3.1 is een voorbeeld gegeven van een optredende veldsituatie. Het effect van de opstuwung is zichtbaar gemaakt in figuur 3.2. Om figuur 3.2 te krijgen, is figuur 3.3 bepaald en gesuperponeerd op figuur 3.1. Uit de figuren blijkt, dat het nodig is de grondwaterstroming te berekenen, die met figuur 3.3 overeenkomt. In de figuur zijn de invloeden van kwel, wegzijging, neerslag en verdamping verdwenen. In figuur 3.3 zijn alleen nog de peilverhogung en de eigenschappen van de bodem van belang. Het gaat hierbij om directe infiltratie van water uit de sloot in het profiel.



Figuur 3.1 Ongestoorde toestand in het zomerhalfjaar met normale daling van freatisch vlak en constant beekpeil

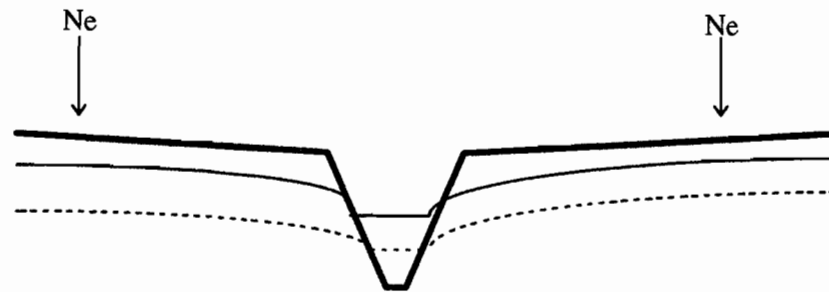


Figuur 3.2 Verloop van de grondwaterspiegel indien vanaf $t = 0$ het beekpeil verhoogd wordt tot $a_0 = 1$



Figuur 3.3 Beïnvloeding, welke op figuur 3.1 moet worden gesuperponeerd om figuur 3.2 te krijgen

Het is goed op te merken dat er nog een tweede situatie voorkomt, die belangrijk is bij het opzetten van het slootpeil. Deze situatie is weergegeven in figuur 3.4. De situatie weergegeven in figuur 3.3 verschilt wezenlijk van de situatie weergegeven in figuur 3.4. In figuur 3.4 vindt er weliswaar ook een peilverhoging plaats, maar dit resulteert in een verminderde drainerende werking van de sloot en niet in directe infiltratie van slootwater in het profiel. Hierbij wordt verondersteld dat het effect van directe infiltratie (van slootwater) in het profiel een secundair effect is. Dit secundaire effect wordt in figuur 3.4 niet meegenomen.



Figuur 3.4 *Het opzetten van het peil waardoor grondwaterspiegel stijgt als gevolg van een verminderde drainerende werking van de sloot.*

Belangrijk verschil bij berekening van beide situaties, is dat in de eerste situatie (figuur 3.3) rekening moet worden gehouden met de uittreeweerstand en in de tweede situatie (figuur 3.4), met de drainage weerstand. De drainageweerstand is opgebouwd uit een horizontale, een verticale en een radiale component. De drainageweerstand is tevens opgebouwd uit een intreeweerstand, welke in de tijd niet gelijk hoeft te zijn aan de uittreeweerstand (gebruikt in de situatie van figuur 3.3). Dit wordt veroorzaakt doordat poriën in de grond vaak dichtslaan bij uittreden van oppervlaktewater, zodat de uittreeweerstand hoger wordt dan de intreeweerstand (Jousma en Massop, 1996). Omdat de termen intreeweerstand en uittreeweerstanden nog wel eens verwisseld worden, is hier een definitie gegeven zoals de termen in dit rapport gebruikt worden.

Intreeweerstand

Intreeweerstand is de weerstand ondervonden door grondwater bij het intreden, van een open of gesloten leiding ten gevolge van een weerstandbiedende laag.

Uittreeweerstand

Uittreeweerstand is de weerstand ondervonden door het grondwater bij het uittreden, van een open of gesloten leiding ten gevolge van een weerstandbiedende laag.

Parameters van belang bij koppeling grond- en oppervlaktewater

In het model van directe infiltratie (van water van de sloot naar het pakket), speelt de uittreeweerstand een belangrijke rol. Dit wordt vooral veroorzaakt door het eerder beschreven effect waarbij poriën dichtslaan, waardoor de weerstand verhoogd wordt. De slootwand zorgt voor een potentiaalsprong tussen oppervlaktewater en grondwater (zie figuur 3.5). Als ter hoogte van de slootwand uitvergroot wordt, is te zien dat in werkelijkheid geen potentiaalsprong optreedt, maar dat het potentiaalverschil sterk daalt bij stroming van water door de wand

Wiskundige afleiding van het analytisch model

De basisvergelijking voor afleiding van het analytisch model, is de stromingsvergelijking (afgeleid in hoofdstuk 2):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(kD \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(kD \frac{\partial h}{\partial y} \right) + R^* = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3.2)$$

Om deze vergelijking bruikbaar te maken, worden een aantal *aannamen* gedaan:

- Het pakket is homogeen, zodat $k = \text{constant}$.
- 1-dimensionale stroming $\begin{cases} q_y = 0 \\ \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \end{cases}$
- Geen aanvulling van boven of van onder naar het controlevolume (figuur 2.1), zodat $R^* = 0$.

De veronderstellingen leiden tot de gelineariseerde vorm van de Boussinesq vergelijking:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{S}{kD} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3.3)$$

stel,

$$\Phi = \frac{kD}{S} \quad (3.4)$$

dan wordt vergelijking (3.3):

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \Phi \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad (3.5)$$

Begin-, randvoorwaarden en aannamen

Om vergelijking (3.5) te kunnen oplossen zijn de volgende aannamen gedaan:

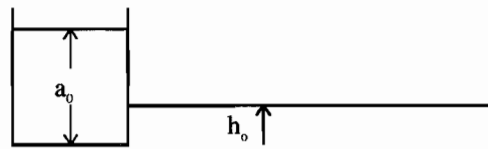
- $a(t) = h_o$ voor $t < 0$
- $a(t) = a_o$ voor $t > 0$

waarbij

$a(t)$ = oppervlaktewaterspiegel op tijdstip t

$h(t)$ = stijghoogte van het grondwater op tijdstip t

Het opzetten van het water in de sloot bevindt zich direct in de uitgangssituatie. Er wordt geen rekening gehouden met de tijd die het vullen van de sloot kost (figuur 3.6)



Figuur 3.6 De uitgangssituatie van de berekening, na het opzetten van het oppervlaktewaterpeil

De volgende (begin)voorwaarden zijn van belang:

- $h(t, x) = h_o + \Delta h(t, x)$ voor $t > 0$
- $h(0, x) = h_o$ voor $t < 0$

De randvoorwaarden zijn:

- De sloot vormt de linkerrand van het model, waarbij x is de afstand tot de sloot.
- Aan de rechterrind wordt de grondwaterspiegel niet beïnvloed (door de sloot).

$$h(t, \infty) = h_o \quad (\text{voor } x \rightarrow \infty \text{ en } t=t) \quad (3.6)$$

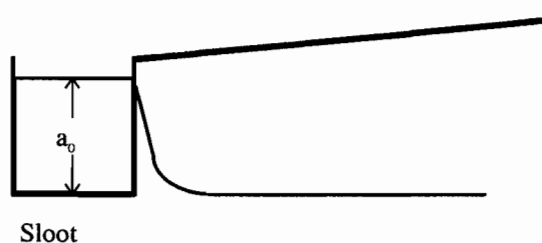
- Er is geen verticale aanvulling van de aquifer ($R^*=0$).

De modellen zijn alleen geldig, als deze voldoen aan de volgende randvoorwaarde: formule 3.7 (voor model I, zonder slootweerstand) of formule 3.8 (voor model II, met slootweerstand).

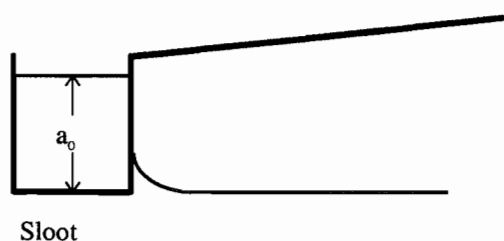
Randvoorwaarde:

$$\text{Model I.} \quad h(t,0) = a_0 \quad (3.7)$$

$$\text{Model II.} \quad kD \frac{\partial h(t,0)}{\partial x} = \frac{h(t,0) - a_0}{C} \quad (3.8)$$



Figuur 3.7 Model I, Infiltratie van slootwater zonder uitteeweerstand van de sloot



Figuur 3.8 Model II, Infiltratie van slootwater met uitteeweerstand van de sloot

Voor model I, waarbij geen uitteeweerstand wordt ingevoerd, bestaat een analytische oplossing van het probleem (Lebedev, 1968):

Model I

$$\Delta h(t, x) = \Delta a(t) \cdot \text{erfc}(\lambda) \quad (3.9)$$

waarbij

$\Delta h(t, x)$	een functie van plaats en tijd
$\Delta a(t)$	de verandering aan de rand (= stijghoogte van het oppervlaktewater)
$erfc(\lambda)$	de complementaire error functie

waarbij

$$erfc(\lambda) = 1 - erf(\lambda) \quad (3.10)$$

De oplossingen van error functies staan vermeld in tabellen (zie bijlage 2.1). Voor het model geldt voor twee dimensionale stroming de volgende vergelijking;

$$erf(\lambda) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\lambda} e^{-\lambda^2} d\lambda \quad (3.11)$$

Waar λ is:

$$\lambda = \frac{x}{2\sqrt{\frac{kDt}{S}}} \quad (3.12)$$

Voor model II moet worden voldaan aan vergelijking 3.8. In de literatuur is gezocht naar de analytische oplossing van het probleem. In de dissertatie van Ernst (1962) is een formule gevonden die voldoet. Vergelijking 3.13 is de vergelijking die moet worden opgelost en vormt de basis van het analytisch model.

Model II

$$\frac{\Delta h(t, x)}{\Delta a(t)} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left\{ \int_{\frac{x}{2\sqrt{\tau}}}^{\infty} e^{-\lambda^2} d\lambda - e^{\tau+x} \int_{\frac{x}{2\sqrt{\tau}} + \sqrt{\tau}}^{\infty} e^{-\lambda^2} d\lambda \right\} \quad (3.13)$$

De oplossing van deze formule, zoals deze bij modellering in het programma Excel gebruikt wordt:

$$\frac{\Delta h(t, x)}{\Delta a(t)} = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\tau}}\right) - e^{x+\tau} \left(1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\tau}} + \sqrt{\tau}\right)\right) \quad (3.14)$$

waarbij

$$x = \frac{l}{2 \cdot k \cdot D \cdot W} \quad (3.15)$$

$$\tau = \frac{t}{4 \cdot S \cdot k \cdot D \cdot W^2} \quad (3.16)$$

$$W = \frac{C}{p} \quad (3.17)$$

en

- l = Afstand tot de sloot (m)
- t = Tijd na aanvang van opzetten slootpeil (s)
- S = Bergingscoëfficiënt (-)
- k = Horizontale doorlatendheid (m/dag)
- D = Dikte watervoerend pakket (m)
- C = Uittreeweerstand (dag)
- P = Natte omtrek van de sloot (m)

3.2 Opzet van het model

Het analytisch model berekend de verandering van de stijghoogte van freatisch grondwater, als gevolg van infiltratie van oppervlaktewater. Het fundament van het model is formule 3.13 (model II) en de invoerwaarden zijn weergegeven in tabel 3.2.

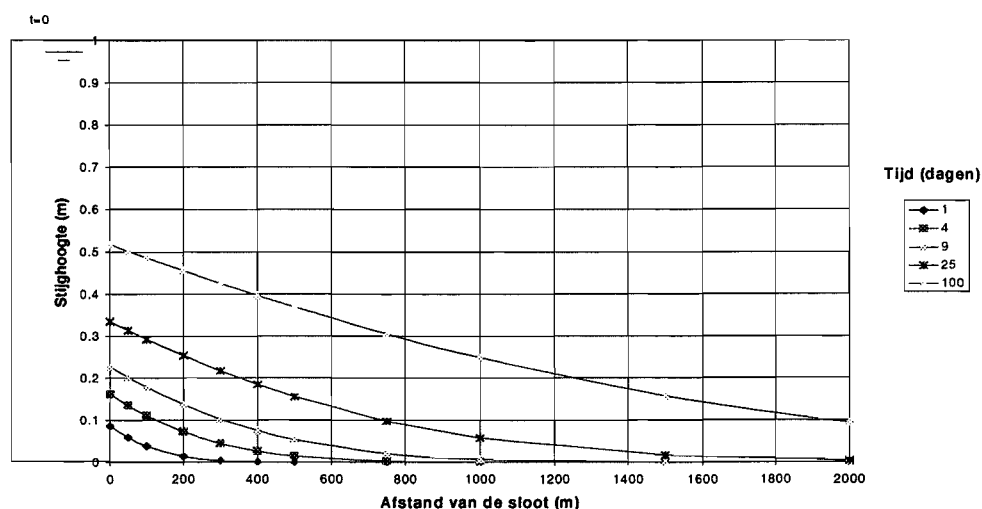
Tabel 3.2 Invoerwaarden analytisch model

Invoerwaarden model		Eenheden
kD	(doorlatendheid pakket)	$\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$
C	(Uittreeweerstand)	d
S	(berging)	-
P	(natte omtrek sloot)	m

Het berekeningsschema voor het model, zoals het is ingevoerd in het spreadsheetprogramma Excel, is weergegeven in bijlage 3.2. Het model bestaat uit 3 sheets en draagt de naam Ernst-infiltratiemodel:

- Invoerblad (bijlage 3.2a)
- Weergaveblad (bijlage 3.2b)
- Berekeningsblad (bijlage 3.2c)

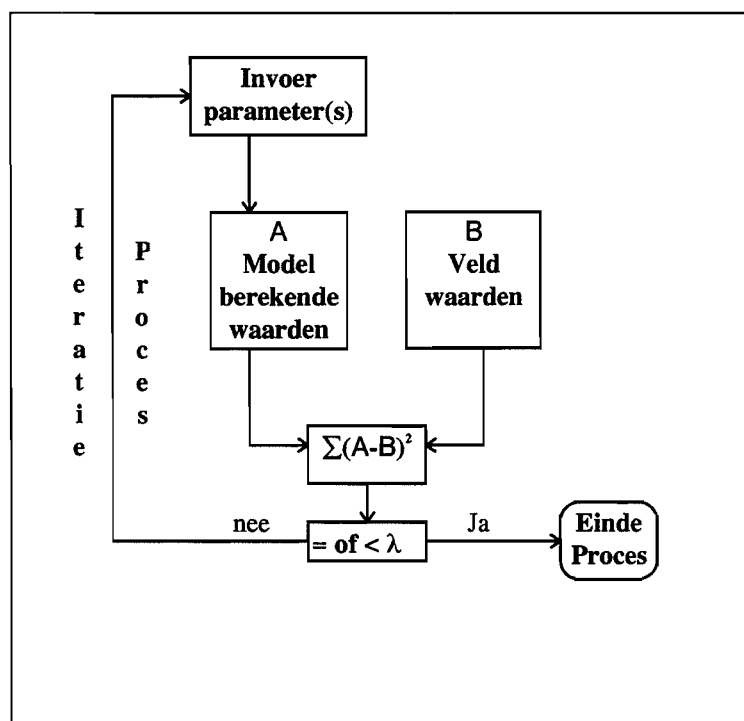
Het model berekend op verschillende afstanden van de sloot voor een aantal tijdstappen, de stijghoogte van het grondwater als gevolg van het opzetten van het oppervlaktewaterpeil. De uitkomsten van de berekeningen worden direct getoond in een grafiek. Zo'n grafiek is weergegeven in figuur 3.9. De linkerrand vormt de sloot, waarin het waterpeil wordt opgezet tot $a = 1\text{ m}$, op $t = 0$. De stijghoogte van het grondwater in het bodemprofiel heeft een startwaarde van 0 m , op $t = 0$. Voor verschillende tijdstippen na het opzetten van het slootpeil is de stijging van de grondwaterspiegel in de figuur zichtbaar gemaakt. De rechterrand van het model loopt tot oneindig en de begintoestand van de grondwaterspiegel is vlak.



Figuur 3.9 Verandering van de stijghoogte op verschillende tijdstippen, als gevolg van infiltratie van het oppervlaktewater, door opzetten van het oppervlaktewaterpeil (voor invoerwaarden zie tabel 3.2)

Ingebouwde calibratie functionaliteit

Om een snelle calibratie van het model mogelijk te maken is een extra functionaliteit ingebouwd. Het calibratieproces is schematisch weergegeven in figuur 3.10. De eerste stap in het calibratieproces is het zo klein mogelijk maken van het verschil tussen de berekende waarde en de veldwaarneming, door telkens één van de invoerparameters van het model aan te passen. Dit is in Excel ingebouwd, door het verschil tussen veldwaarnemingen en modelberekeningen, volgens het kleinste kwadraten criterium te berekenen. De tweede stap is het berekenen van het kleinste kwadraten criterium. De waarde die met het kleinste kwadraten criterium wordt berekend, wordt vergeleken met λ , waarbij de waarde voor λ zelf is te kiezen. Zijn deze waarden niet aan elkaar gelijk, dan zal de waarde van de invoerparameter opnieuw worden aangepast. Dit iteratieproces gaat net zo lang door tot λ gelijk of kleiner is dan het kleinste kwadraten criterium. Dit proces wordt in Excel uitgevoerd door de zogenaamde Solver-functie (n.b. in sommige versies van Excel is het ook mogelijk alle invoerparameters in één keer aan te passen).



Figuur 3.10 Schematische weergave van verschillende stappen in het calibratieproces

3.3 Gevoeligheid

Zeer belangrijk bij de modellering, is om te weten hoe gevoelig het model is, voor variatie van verschillende invoerparameters. De gevoeligheid van de parameters zou gebruikt kunnen worden bij overwegingen met betrekking tot eventueel te verrichten veldmetingen. Bij deze metingen moet de aandacht met name gericht zijn op de gevoelige parameters. De gevoeligheid is onderzocht door middel van berekeningen, waarbij telkens één parameter in waarde is gevarieerd. De uitkomsten hiervan worden in de volgende paragrafen besproken. De vaste waarden (100%), ten opzichte waarvan gevarieerd is met 50% en 200%, zijn weergegeven in tabel 3.3. De waarden van de parameters zijn zo gekozen, dat bij variatie een objectief beeld verkregen wordt van de gevoeligheid van de modellen. In figuren in bijlagen 3.3a t/m 3.3f is het effect van elk van de te variëren parameters weergegeven. Voor uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse wordt verwezen naar het einde van de paragraaf *conclusies gevoeligheid*. Tijdens het testen van het numeriek model is voor variatie van de invoerparameters (met 50 en 200%), hetzelfde niet-lineaire effect gevonden, als voor het analytisch model. In § 4.3 is een voorbeeld gegeven van variatie van de kD-waarden en worden de effecten besproken. De verschillen tussen het analytisch en numeriek model staan vermeld in § 9.1.

Tabel 3.3 Gevoeligheidsanalyse: invoerwaarden model (100%)

Invoerwaarden model (100%)
kD = 400 (m ² /dag)
C = 2.6 (dag)
S = 0.1 (-)
P = 4 (m)

Conclusies gevoeligheid

In tabellen 3.4 en 3.5 zijn de uitkomsten weergegeven van de gevoeligheidsanalyse. Het is een opsomming van de stijghoogteverandering (in cm) in verticale richting, voor verschillende waarden van de invoerparameters. Het effect van de variërende C-parameter blijkt het grootst te zijn. De invloed van variatie van kD-waarden het kleinst. Hoe groter het effect van invoerparameter is, hoe nauwkeuriger de waarde dient ingevoerd te worden. De uitreeeweerstand vormt dus de parameter, die het nauwkeurigst bekend dient te zijn. In praktijk blijkt informatie over deze parameter slechts sporadisch voor handen te zijn.

Aan de 'absolute' waarden (van de afwijking in cm) kunnen geen conclusies worden verbonden, omdat deze afhankelijk zijn van de invoerwaarden in het model (tabel 3.3). Het variëren van de verschillende parameters levert niet-lineaire uitkomsten. Dit is te zien in de figuur in bijlage 3.4. In de figuur is voor een

afstand van 50m van de sloot (na 5 dagen) de verandering van de stijghoogte zichtbaar, als gevolg van variëren van de kD-waarden. Bij lineariteit zou een rechte lijn te zien moeten zijn geweest. Opgemerkt moet worden dat, met uitzondering van de zeer kleine kD-waarden, geen grote fout zou zijn gemaakt als lineariteit was verondersteld voor variatie van de kD-waarden (n.b. uitspraak alleen geldig op 50m afstand van de sloot en voor 5 dagen!). In de tabellen wordt de afwijking gegeven, wat vooral is bedoeld om onderlinge vergelijking van de verschillende parameters mogelijk te maken.

Tabel 3.4 Gevoeligheidsanalyse: verandering van de stijghoogte dichtbij de sloot (50m afstand)

	Verandering van de stijghoogte in verticale richting (dichtbij de sloot)	
	Na 5 dagen	Na 100 dagen
kD-50 % (Bijlage 3.3a)	8 cm	10 cm
kD-200 % („)	-6 cm	-10 cm
C-50 % (Bijlage 3.3e)	17 cm	17 cm
C-200 % („)	-11 cm	-18 cm
S-50 % (Bijlage 3.3c)	7 cm	9 cm
S-200 % („)	-6 cm	-9 cm

Tabel 3.5 Gevoeligheidsanalyse: Verandering van de stijghoogte op 500m afstand van de sloot

	Verandering van de stijghoogte in verticale richting (op 500m afstand van de sloot)	
	Na 5 dagen	Na 100 dagen
kD-50 %	0 cm	-6 cm
kD-200 %	1 cm	2 cm
C-50 %	0 cm	10 cm
C-200 %	0 cm	-11 cm
S-50 %	1 cm	14 cm
S-200 %	0 cm	-13 cm

4 Tweedimensionaal numeriek model

Met behulp van het grondwatermodel Microfem (versie 3.0) is de relatie grond- en oppervlaktewater onderzocht (Hemker, 1997). Hierbij vormt een effect-berekening van de grondwaterstijging, als gevolg van het opzetten van het slootpeil (waarbij directe infiltratie optreedt), het kernpunt. In dit hoofdstuk is de theorie, de opzet en de gevoeligheid van het model uiteengezet. Voor de uitkomsten van het model, waarbij uitkomsten worden vergeleken met de waarden die zijn gevonden tijdens de proef in het Boetelerveld, wordt verwezen naar hoofdstuk 6.

4.1 Theorie

De algemene grondwaterstromingsvergelijking is:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(kD \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(kD \frac{\partial h}{\partial y} \right) + R^* = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4.1)$$

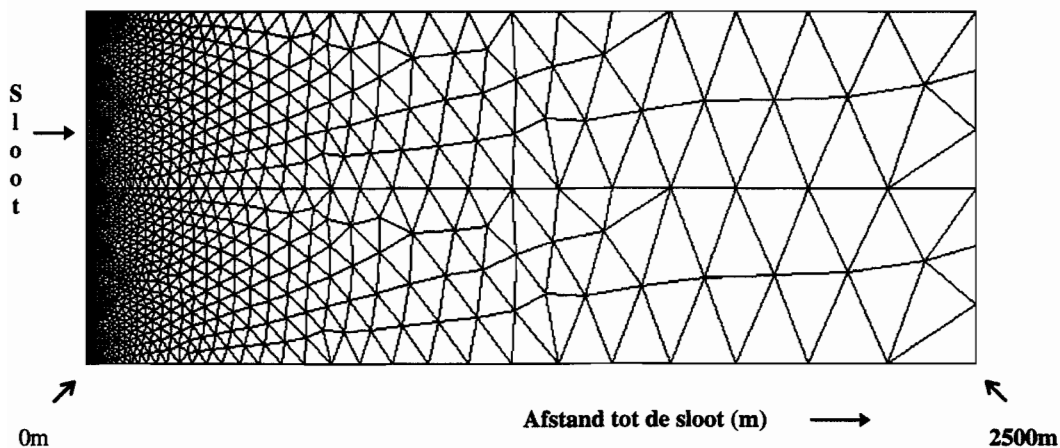
Voor afleiding van deze vergelijking wordt verwezen naar hoofdstuk 2 (vergelijking 2.7). Deze vergelijking is gebaseerd op de wet van Darcy (bewegingsvergelijking in poreuze media) en de massabalans vergelijking (continuïtetsvergelijking), waarbij de aannames van Boussinesq (Dupuit) gelden. Om de stromingsvergelijking op te lossen worden numerieke methoden gebruikt. Het oplossingsproces in microfem, bestaat uit het toepassen van de eindige elementen methoden op de stromingsvergelijking, waarbij oplossing in matrix vergelijkingen plaatsvindt. Voor uitgebreide achtergronden van grondwatermodellering wordt verwezen naar "Applied Groundwater Modeling" (Anderson et al., 1992).

4.2 Opzet van het model

In Femgrid is een grid aangemaakt van 2,5 kilometer lang en 1 kilometer breed (figuur 4.1). De linkerrand vormt de sloot, de rechterrand is op een zodanige afstand gekozen dat de stijghoogte aan de rechterrand niet wordt beïnvloed. De grootte van de grids neemt toe van links naar rechts. De grids aan de linkerkant zijn kleiner, omdat ter plaatse van de sloot een meer gedetailleerde informatie gewenst is, omdat de grondwaterspiegel sterker gekromd is.

In femmodel is aan de linkerrand van het model een sloot geschematiseerd, waarin het water wordt opgezet. De stijghoogte in de sloot wordt verondersteld in één stap 100% te zijn. Hiervoor is gekozen, om een goede vergelijking met het ontwikkelde analytisch model, die op deze aanname gebaseerd is, mogelijk te maken. In

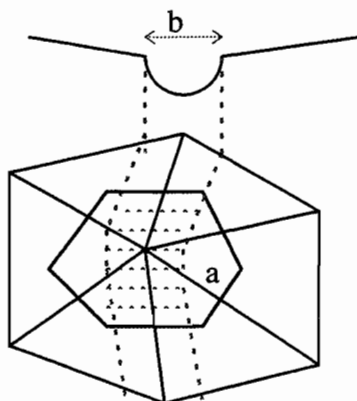
bepaalde situaties in het veld zal het vullen van de sloot tijd kosten, dit kan zonodig gemakkelijk in microfem ingebouwd worden.



Figuur 4.1 Microfem grid

De sloot wordt in het model ingevoerd, door de knooppunten aan de linkerrand van het model, een stijghoogte (in microfem H0) van 1m toe te kennen (zie figuur 4.1). Aan de overige knooppunten in het model, wordt voor de beginsituatie een stijghoogte gekozen van 0 meter. De stijghoogte in de aquifer (in microfem H1) wordt ook op 0 meter gezet. Voor het model wordt alleen de invloed van het oppervlaktewater op het grondwater onderzocht. Andere factoren (Kwel/neerslag etc.) die de grondwaterstand beïnvloeden zijn 0.

De slootweerstand is ingevoerd door een weerstand toe te kennen aan de knooppunten op de linkerrand. Doordat de lengte*breedte van de sloot niet overeenkomt met de oppervlakte (a) van het invloedsgebied per knooppunt (in microfem), wordt met formule 4.2 de knooppuntsweerstand berekend. Voor verduidelijking zie figuur 4.2. In de figuur is te zien dat de oppervlakte van het invloedsgebied (a) groter is dan de oppervlakte van de sloot.



Figuur 4.2 De breedte van de sloot (b) in verhouding tot het beïnvloedingsgebied (a) van een knooppunt in microfem

Om nu toch de weerstand goed uit te rekenen wordt met behulp van formule 4.2 een omrekening gemaakt. Deze omgerekende weerstand is het product van slootbreedte en slootweerstand en zal in dit rapport de knooppuntsweerstand genoemd worden. De knooppuntsweerstand wordt in microfem als volgt berekend (Hemker, 1997):

$$C_k = \frac{C \cdot a}{l \cdot b} \quad (4.2)$$

waarbij

- C_k = knooppuntweerstand (d)
- l = lengte tussen twee knooppunten, aan de linkerrand (m)
- a = oppervlakte invloedsgebied, in microfem (m²)
- b = slootbreedte (m)
- C = uittreeweerstand (d)

In parameterfiles zijn de bergingscoëfficiënten ingevoerd. Tevens zijn te variëren parameters voor de berekening van verschillende scenario's in parameterfiles ingevoerd. De weerstand van het watervoerend pakket is in de kD-waarden verwerkt. Het model is niet-stationair doorgerekend, door het aanmaken van batch-files en berekend in Femcat (batch file, zie bijlage 4.1).

Grondwaterstanden worden berekend voor een raai van knooppunten loodrecht op de sloot. Het aantal knooppunten neemt met toenemende afstand van de sloot af. Met het spreadsheet programma Excel zijn plots gemaakt, die de invloed op het grondwater, als gevolg van het opzetten van het oppervlaktewater weergeven.

4.3 Gevoeligheid

Zeer belangrijk bij de modellering, is te weten hoe gevoelig het model is, voor variatie van verschillende parameters. De gevoeligheid is onderzocht door middel van berekeningen, waarbij telkens één parameter in waarde is gevarieerd. De uitkomsten hiervan worden in de volgende paragrafen besproken. De vaste waarden (100%), ten opzichte waarvan gevarieerd is met 50% en 200%, zijn weergegeven in tabel 4.1. De waarden van de parameters zijn zo gekozen, dat bij variatie een objectief beeld verkregen wordt van de gevoeligheid van de modellen. In figuren is het effect van elk van de te variëren parameters weergegeven. Hierbij is in de tekst beschreven welke effecten waar te nemen zijn (bijvoorbeeld optredende niet-lineaire afhankelijkheid relaties). Voor uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse wordt verwezen naar het einde van de paragraaf *conclusies gevoeligheid*.

Tabel 4.1 Waarde invoerparameters 100%

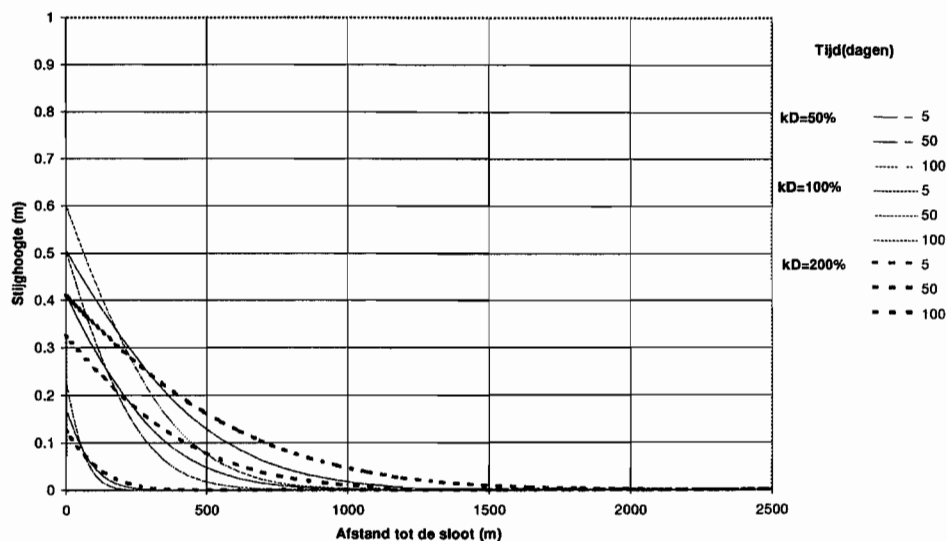
Parameter	Invoerwaarde
kD	400 ($\text{m}^2 \cdot \text{dag}^{-1}$)
S	0.1 (-)
C	2.6 (d)
b	2.3 (m)

Variatie van de kD-waarden

In figuur 4.3 is de verandering van de stijghoogte te zien als gevolg van het opzetten van het slootpeil van 0 tot één meter. In de figuur is de afstand tot de sloot uitgezet tegen de stijghoogte. De plot geeft de stijghoogtes weer op de tijdstippen 5, 50 en 100 dagen na aanvang van het opzetten van het slootpeil, voor drie verschillende kD- waarden van het pakket. Twee belangrijke effecten als gevolg van het variëren van de kD-waarden zijn uit de plot op te maken.

1. Reikwijdte van de beïnvloeding in horizontale richting.
2. Steilheid in verticale richting.

De uitleg hiervoor is als volgt: hoe groter de kD-waarde, des te kleiner de weerstand en des te sneller de verplaatsing van de golf door het profiel. De reikwijdte van de golf wordt bij grotere kD-waarden dus groter. Doordat het water zich sneller voortplant is de beïnvloeding in verticale richting minder groot. In figuur 4.3 is dit waar te nemen voor kD~200%, de verspreiding is horizontaal gericht en de stijghoogtelijnen zijn gekanteld ten opzichte van de lagere kD-waarden.



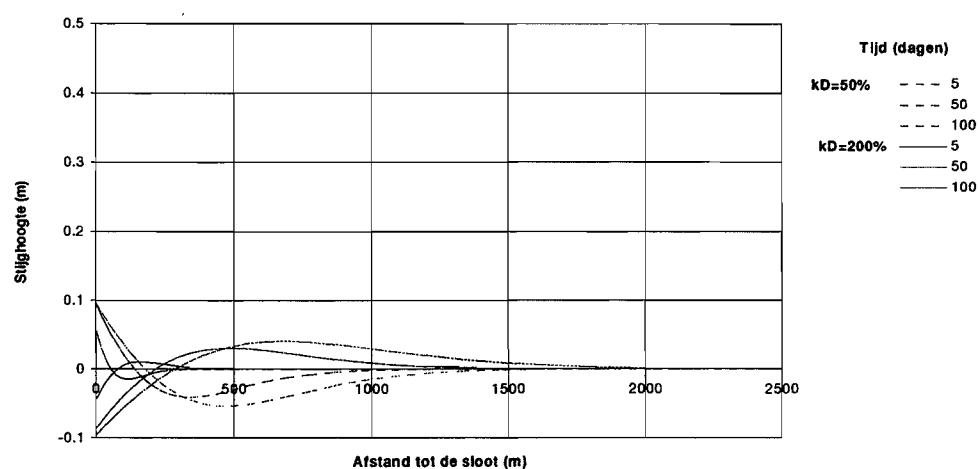
Figuur 4.3 Verandering van de grondwaterspiegel als gevolg van het opzetten van het oppervlaktewater, voor verschillende kD -waarden.

De gevoeligheid van het model voor de verschillende kD -waarden is zichtbaar gemaakt in figuur 4.4. In de figuur is de afwijking van de stijghoogte uitgezet tegen de afstand tot de sloot. De afwijking is berekend voor $kD \sim 200\%$ en $\sim 50\%$ ten opzichte van het model met $kD \sim 100\%$. Ook in deze figuur is te zien, dat een hogere kD -waarde dichtbij de sloot zorgt voor lagere stijghoogte en verder van de sloot overgaat in een hogere stijghoogte. De afwijking van $kD \sim 50\%$ en $\sim 200\%$ t.o.v. $kD \sim 100\%$ ligt dichtbij de sloot in orde grootte van 5cm na 5 dagen en 10cm na 50/100 dagen.

Belangrijk is op te merken, dat de lijnen van $kD \sim 50\%$ niet symmetrisch ten opzichte van de lijnen van $kD \sim 200\%$ liggen. De eerder besproken verschillen in golfsnelheid, die zorgen voor het verschil in reikwijdte en steilheid van de golf (het zogenaamde kantelingseffect), zijn de veroorzakers in dit proces. Het zijn niet-lineaire processen in de tijd. In de figuur is dit zichtbaar, doordat de golf bij $kD \sim 200\%$ op grotere afstand gevorderd is en ook de verticale afstand minder groot is dan de golf $kD \sim 50\%$.

In de figuur in bijlage 4.2a is een tijdstijghoogtegrafiek weergegeven, waarin een opmerkelijk effect is waar te nemen. In de figuur is op de horizontale as de tijd uitgezet tegen de stijghoogte op de verticale as. In de grafiek zijn drie verschillende lijnen weergegeven voor drie kD -waarden. Opmerkelijk effect is dat de lijn van $kD=800$ de andere lijnen kruist. Normaal wordt in tijd-stijghoogte grafieken, dit effect niet waargenomen (dit wordt veroorzaakt, doordat in het model gerekend wordt met een oneindig lang profiel). Het effect is te verklaren aan de hand van de golftheorie (zie bijlage 4.2b). Door opzetten van het slootpeil zal een golf water door het profiel gaan lopen. Bij een grotere doorlatendheid zal

de golf een grotere snelheid hebben. Het potentiaalverschil dat nodig is om een verplaatsing mogelijk te maken is kleiner. De golf bij hogere kD -waarden zal dus platter zijn. In de figuur in bijlage 4.2b is dit zichtbaar. Na 80 dagen wordt de golf met kD 800 overschreden door de golven in een profiel met kleinere kD -waarde.



Figuur 4.4 Verschil in stijghoogte berekend voor de modellen met kD -waarden 50% en 200% ten opzichte van het model met kD -100%.

Voor variatie van de overige invoerparameters werden soortgelijke niet-lineaire effecten gevonden. Voor bespreking van deze effecten en figuren wordt verwezen naar bijlage 4.3.

Conclusies gevoeligheid

In tabellen 4.2 en 4.3 zijn de uitkomsten weergegeven van de gevoeligheidsanalyse. Het is een opsomming van de stijghoogteverandering (in cm) in verticale richting, voor verschillende waarden van de invoerparameters. Het effect van de variërende C-parameter blijkt het grootst te zijn. De invloed van variatie van kD-waarden het kleinst. Hoe groter het effect van de invoerparameter is, hoe nauwkeuriger de waarde dient ingevoerd te worden. De slootweerstand vormt dus de parameter, die het nauwkeurigst bekend dient te zijn. C-waarden hebben over het algemeen de grootste invloed op de variatie van het model (zie onderstaande tabellen). Opgemerkt dient te worden dat de bergingscoëfficiënt vooral een grote invloed heeft na langere tijd en op grotere afstand van de sloot.

Tabel 4.2 Verandering van de stijghoogte dichtbij de sloot

	Verandering van de stijghoogte in verticale richting (dichtbij de sloot)	
	Na 5 dagen	Na 100 dagen
kD-50 %	6 cm	10 cm
kD-200 %	-4 cm	-10 cm
C-50 % (bijlage 4.4a)	18 cm	18 cm
C-200 % (,,)	-12 cm	-19 cm
S-50 % (bijlage 4.4b)	10 cm	10 cm
S-200 % (,,)	-8 cm	-10 cm

Tabel 4.3 Verandering van de stijghoogte op 500m afstand

	Verandering van de stijghoogte in verticale richting (op 500m afstand van de sloot)	
	Na 5 dagen	Na 100 dagen
kD-50 %	0	-5 cm
kD-200 %	0	4 cm
C-50 %	0	12 cm
C-200 %	0	-12 cm
S-50 %	1 cm	15 cm
S-200 %	0	-15 cm

5 Black-box modellen

Een black-box model is een ongestructureerd en op gemeten data gebaseerd model. Het intern functioneren van het model is niet bekend. Bij black-box modellen wordt onderscheid gemaakt tussen lineaire en niet-lineaire black-box modellen. Om een voorspelling van grondwater te kunnen maken is het nodig alle factoren die op de grondwaterspiegel van invloed zijn in de voorspelling mee te nemen. De relaties tussen de verschillende factoren en het grondwater leveren tezamen een niet-lineair beeld op. Om voorspelling mogelijk te maken is daarom gekozen voor het gebruik van niet-lineaire black-box modellen. Het in dit onderzoek gebruikte black-box model is een zogenaamd Neuraal Netwerk. Voor de uitleg naar totstandkoming van Neurale Netwerken, wordt verwezen naar bijlage B. In de volgende paragraaf is de theorie, dat de basis vormt voor het gebruikte model, beschreven.

5.1 Theorie

Het neurale netwerk waarvan gebruik is gemaakt in deze studie, behoort tot de familie van Probabilistische Neurale Netwerken (PNN). De keuze voor deze netwerkvorm komt voort uit het feit, dat trainingstijden veel korter zijn als bijvoorbeeld een Multilayer Feedforward Neuraal Netwerk (MFLN). Voor een uitgebreide beschrijving van beide systemen wordt verwezen naar *Advanced algorithms for neural networks* (Masters, 1995-II).

Er wordt bij dit onderzoek gebruik gemaakt van een "General Regression Neural Network" (=GRNN). De basisformule van het GRNN is formule 5.1. Deze formule is gebaseerd op een voorwaardelijke verwachting, geconstrueerd met behulp van kansdichtheden, die met de methode van Parzen zijn geschat. Met deze methode worden de gezamenlijke dichtheden van de verschillende invoersignalen berekend. Het sterke van deze methode is dat vooraf geen veronderstellingen hoeven worden gemaakt aangaande de vorm van de distributie van geobserveerde punten. In het volgende voorbeeld wordt op intuïtieve wijze de benadering van basisformule 5.1 besproken.

$$\tilde{Y}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \exp(-D(x, x_i))}{\sum_{i=1}^n \exp(-D(x, x_i))} \quad (5.1)$$

waarbij

$$D(x, x_i) = \sum_{j=1}^p \left(\frac{x_j - x_{ij}}{\sigma_j} \right)^2 \quad (5.2)$$

en

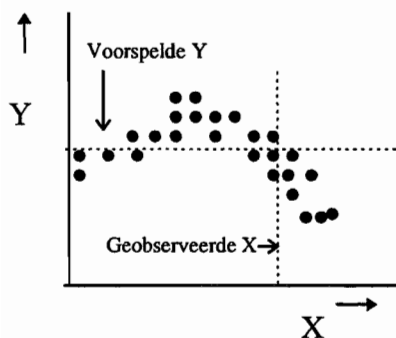
x_j : j^{de} coördinaat van x

x_{ij} : j^{de} coördinaat van i^{de} waarneming x_i

Intuïtieve benadering

In figuur 5.1 zijn een aantal observatie punten weergegeven. Op de horizontale as is X uitgezet tegen Y op de verticale as. Het is de kunst op een bepaalde afstand X , de corresponderende Y -waarde te bepalen. In figuur 5.1 is te zien dat op afstand X meerdere punten liggen, de vraag is wat de bijbehorende Y is. Met het oog kan gemakkelijk een goede schatting worden gemaakt van de waarde Y , maar is er ook een handiger methode?

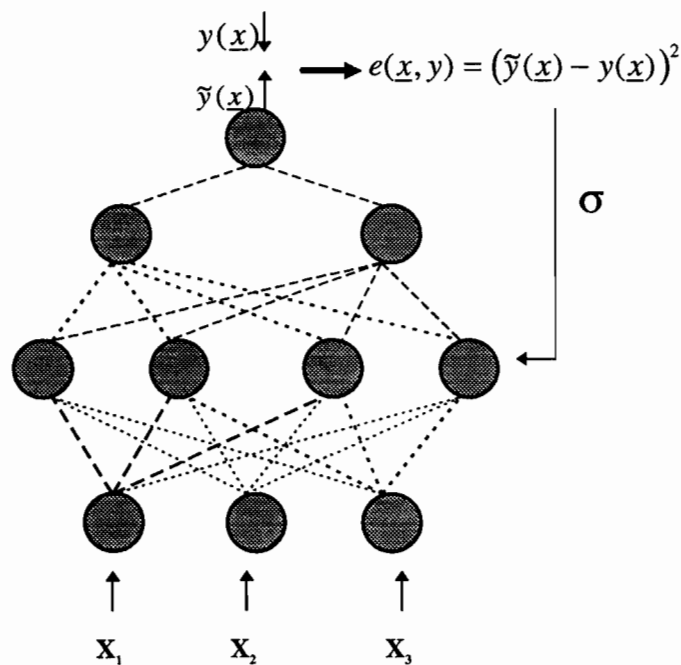
Van alle punten wordt de afstand X berekend ten opzichte van de geobserveerde X . Er wordt een gewogen gemiddelde berekend op basis van gewichten en afstand. Hoe verder een punt van de geobserveerde X ligt des te minder invloed dit punt heeft. Om het gewogen gemiddelde te berekenen, moeten de Y -waarden van elk punt worden vermenigvuldigd met het gewicht, opgeteld worden voor alle data, en ten slotte gedeeld worden door de som van de gewichten. Dit is wat staat in formule 5.1 en dus wat GRNN uitvoert.



Figuur 5.1 Veralgemeeniseerde regressie

Neurale netwerken bouwen in wiskunde na, wat in de biologische computer van de hersenen geobserveerd is (P. Torfs, 1998). In figuur 5.2 is het neurale netwerk

weergegeven. De neuronen vormen, de basisbouwstenen van het systeem. Het netwerk in de figuur is de weergave van de berekeningsstructuur van formule. Er wordt onderscheidt gemaakt tussen verschillende lagen, die de afzonderlijke stappen in het berekeningsproces vormen.



Figuur 5.2 Neurale netwerkstructuur

Training van het neurale netwerk

Voordat met het neurale netwerk voorspellingen kunnen worden gemaakt, zal het netwerk eerst getraind moeten worden. Belangrijke factoren, die de voorspellingsset direct beïnvloeden worden ingevoerd. Aan de neuronen van de invoerlaag worden de data sets van beïnvloedingsfactoren en de voorspellingsset ingevoerd (zie X1, X2 en X3 in figuur). In stappen wordt via de verschillende lagen de uitvoerwaarde berekend van de te voorspellen set. Deze waarde (zie $\tilde{y}(\underline{x})$ in de figuur) wordt vergeleken met de veldwaarden ($Y(\underline{x})$) en het verschil wordt berekend volgens het kleinste kwadraten criterium. De waarde σ wordt, volgens een iteratief proces, aangepast tot de trainingsset goed overeenkomt met de veldwaarden ($Y(\underline{x})$). Voor GRNN betekent dit de goede waarden van de σ_j 's zoeken (Wójcik, 1998).

Testfase

Na de trainingsfase volgt de testfase. Nu kan worden getest of het model een goede voorspelling geeft. De voorspellingen van het model worden vergeleken

met de veldwaarnemingen. Hoe groter de verschillen des te slechter de voorspelling. Komt de testset goed overeen, dan kunnen voorspellingen met het getrainde model worden gemaakt.

De afwijking tussen model- en veldwaarden (zie figuur 5.3) kan met behulp van een aantal methoden worden berekend. Een algemene en zeer vaak toegepaste methode is de berekening van de 'Mean Square Error' (MSE). De MSE wordt berekend aan de hand van formules 5.3 en 5.4.

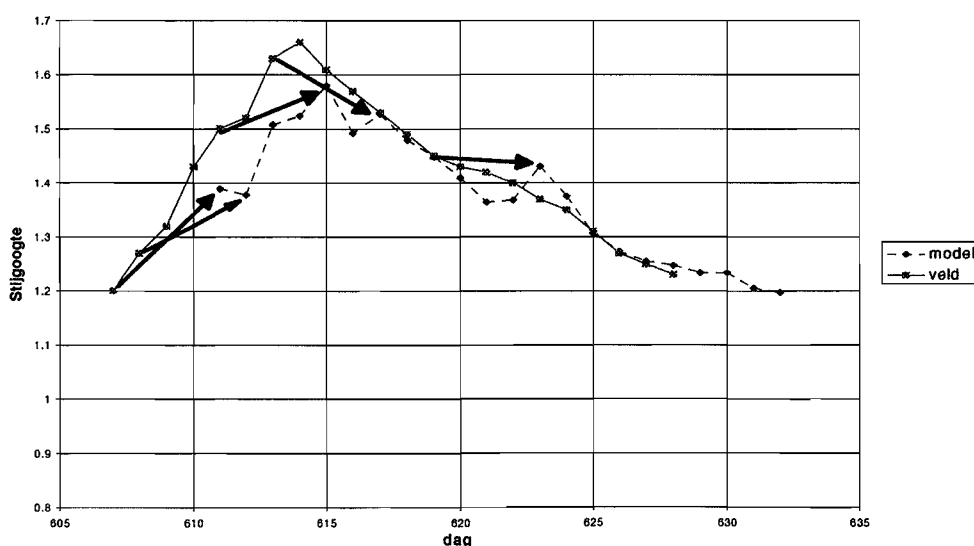
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (t_i - \sigma_i)^2 \quad (5.3)$$

Waarbij,

$$\sigma_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.4)$$

De wijze waarop testwaarden berekend worden, is in onderstaand voorbeeld weergegeven

De testwaarden worden berekend aan de hand van het principe weergegeven in figuur 5.3. Vanuit elke veldwaarneming wordt een volgende waarde 4 dagen vooruit voorspeld. Deze punten vormen de modelwaarden. N.B. het model dat getest is op vier dagen vooruit voorspellen, behoort ook getraind te worden op vier dagen vooruit voorspellen.



Figuur 5.3 Voorspellingsprincipe van het neurale netwerk, 4 dagen vooruit

5.2 Opzet van het model

Voor het voorspellen van grondwater is informatie nodig over parameters die de grondwaterspiegel beïnvloeden. Parameters die meegenomen worden zijn neerslagoverschot en oppervlaktewater. Hierbij wordt verondersteld dat er geen kwel of wegzijging optreedt in het gebied.

Het doel van het voorspellingsmodel in waterbeheer:

De waterbeheerder moet een te nemen beslissing kunnen verifiëren, door de sturingsactie in te voeren in het model, waarbij het model het effect van de sturingsactie op het grondwater in de tijd doorrekend.

Praktijkvoorbeeld

Als de grondwaterspiegel te veel daalt kan de waterbeheerder een beslissing nemen over een sturingsactie, die ervoor zorgt dat de grondwaterspiegel weer terugkomt in de gewenste situatie. Er kan bijvoorbeeld voor worden gekozen de oppervlaktewaterspiegel te laten stijgen door het opzetten van de stuw. Het voorspellingsmodel kan het effect van het opzetten van de stuw op het grondwater voorspellen. De waterbeheerder kan nagaan of het juiste effect bereikt wordt.

Invoer in het model

In tabel 5.1 zijn de invoerparameters van het neurale netwerk weergegeven. Wat opvalt in tabel 5.1 is de voorspellingsset. In deze set kan een sturingsparameter worden ingevoerd. De waterbeheerder kan voor de laatste waarneming zelf een waarde invoeren bij de voorspellingsset. Het neurale netwerk neemt de voorspellingssparameter mee in de voorspelling.

Tabel 5.1 Invoerparameters Neurale Netwerk

Nummer	Invoerparameter
1	Grondwaterstand
2	Stuwhoogte
3	Neerslagoverschot
4	Voorspellingsset

In tabel 5.2 is een voorbeeld gegeven van de invoerwaarden. In de tabel geeft de voorspellingsset de mogelijkheid het effect van een sturingsactie van de stuwhoogte te berekenen. Het model is zo getraind dat de voorspellingsset de waarde van de stuw een dag vooruit ideaal kan voorspellen. Dit is te zien in de tabel 5.2, doordat de waarden van de voorspellingsset een stap verschoven zijn ten opzichte van de waarden van de stuwhoogte. Voor de laatste waarneming in de voorspellingsset, zie tabel: (..), is door de waterbeheerder de sturingsactie in te

voeren. Het model berekend nu het effect van de voorspellingsparameters in combinatie met de andere parameters.

Tabel 5.2 Invoerwaarden neurale netwerk

Tijd (d)	Grondwater (m+NAP)	Neerslagoverschot (mm/d)	Stuwhoogte (m+NAP)	Voorspellingsset (m+NAP)
0	1.21	-2.11	1.38	1.25
1	1.10	-1.12	1.25	1.30
2	1.07	5.53	1.30	1.28
3	1.12	4.54	1.28	1.20
4	1.21	-4.12	1.20	1.34
5	1.11	-3.67	1.34	1.38
6	1.05	-3.70	1.38	1.40
7	1.01	-4.06	1.40	1.47
8	0.98	-2.45	1.47	(..)

In te voeren

5.3 Gevoeligheid

Uitspraken doen over de gevoeligheid van neurale netwerken, is niet eenvoudig en situatiespecifiek. Waarden die de gevoeligheid bepalen zijn:

- 1). Lengte van de trainingsset
- 2). De invoerparameters die gebruikt worden
- 3). Het aantal dagen terug, die meegenomen worden bij een vooruitvoorspelling.

De gevoeligheid wordt kleiner en de voorspelling beter als de trainingsset langer wordt. De lengte van de benodigde trainingsset is situatie afhankelijk. Bij de invoerparameters die gebruikt worden is het vooral belangrijk, dat niet teveel onderling afhankelijke parameters gebruikt worden. Dit vergroot de kans op instabiliteit van het netwerk. Het aantal dagen terug, die meegenomen worden bij een vooruitvoorspelling, hangt af van de reactietijden van het gebied. Bij een traag reagerend systeem zullen de waarden terug in de tijd van meer belang zijn dan bij een snel reagerend systeem. De gevoeligheid voor dit laatste punt is dus ook zeer gebiedsafhankelijk.

Al deze waarden kunnen een belangrijke invloed hebben op de gevoeligheid van het systeem en zijn dus situatie afhankelijk. Er kunnen daarom geen algemene uitspraken over de gevoeligheid worden gedaan, zoals bij het analytisch en numeriek model. Per situatie kunnen wel gevoeligheden worden aangegeven, wat echter zeer arbeidsintensief is. Dit wordt veroorzaakt door het aantal mogelijk te variëren parameters, die invloed hebben op de gevoeligheid, en de lange berekeningstijden van het neurale netwerk.

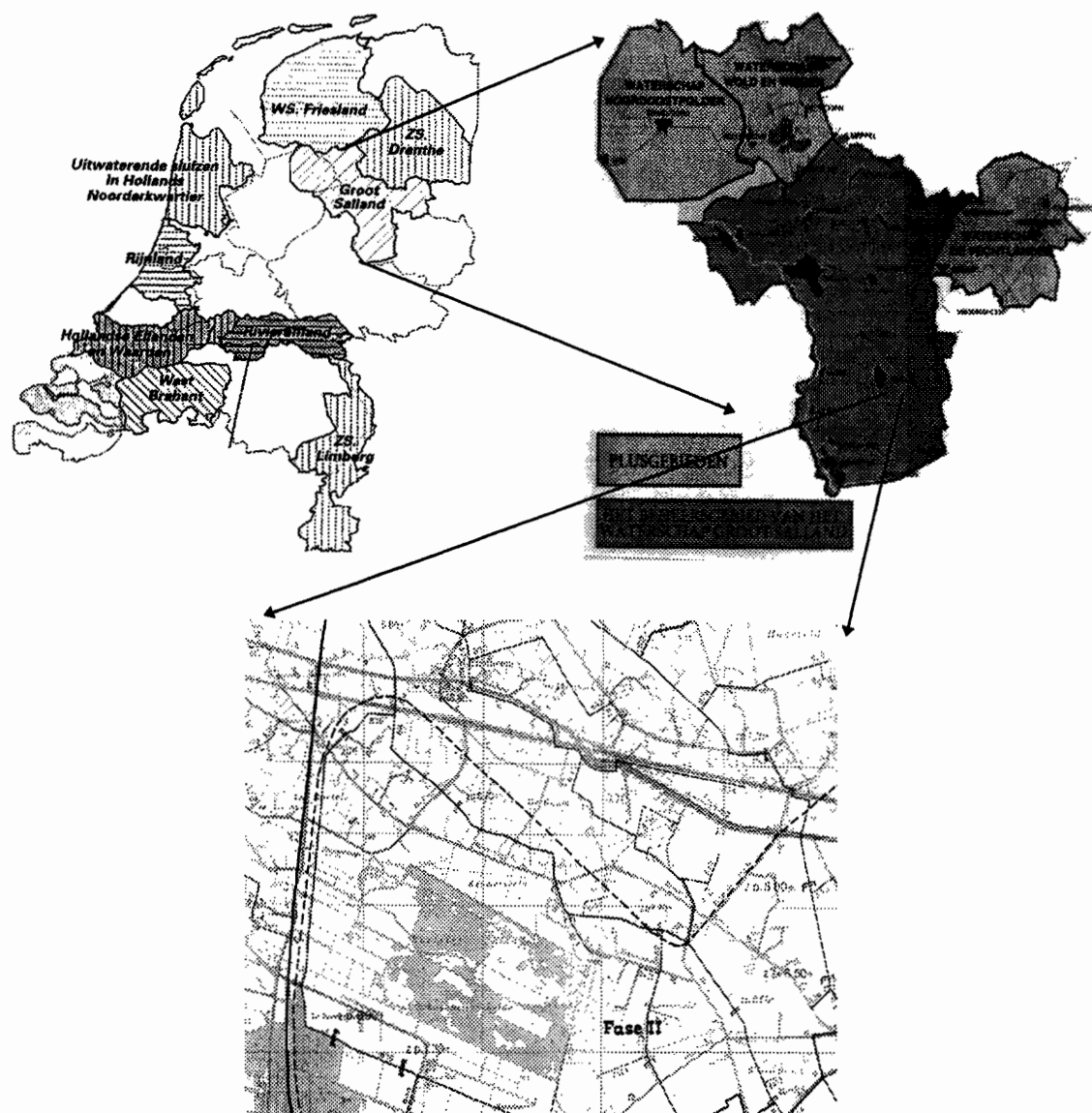
6 Proefgebied Groot Salland

In de maanden juni en juli van het jaar 1996 is in een proefgebied in het waterschap Groot Salland een infiltratieproef uitgevoerd door Internationale Hogeschool Larenstein. Deze proef had tot doel het effect, in ruimte en tijd, te bepalen van een verhoging van het oppervlaktewater op de grondwaterstand in en rondom het Boetelerveld (Broekhuizen et al, 1996). Tijdens deze proef werden een groot aantal grond- en oppervlaktewaterstanden gemeten. Deze gegevens lenen zich goed voor een studie naar de relatie grond- en oppervlaktewater, en het testen van het analytisch en numeriek model. In dit hoofdstuk worden de termen proefgebied en Boetelerveld door elkaar gebruikt, hiermee wordt hetzelfde bedoeld. In dit hoofdstuk wordt als eerste een gebiedsbeschrijving gegeven en daaropvolgend een hydrogeologische beschrijving. Aansluitend is het onderzoek naar het watersysteem (§6.3) en de infiltratieproef (§6.4) beschreven. In §6.5 wordt de modellering met het analytisch en numeriek model beschreven.

6.1 Gebiedsbeschrijving

Het beheersgebied van waterschap Groot Salland is gelegen in het oosten van Nederland en maakt deel uit van de provincie Overijssel (figuur 6.1). Waterschap Groot Salland is op 1 januari 1997 ontstaan uit een fusie van de waterschappen IJsseldelta, Bezuiden de Vecht, Salland, de Noorder Vechtdijken, Benoorden de Dedemsvaart en Zuiveringschap West-Overijssel. Het door het waterschap te beheren gebied beslaat een oppervlakte van ca. 122.500 ha (Broch. Groot Salland, 1997).

In het oosten van het waterschap is het hoogste punt de Holterberg, met een hoogte van ca. 70m + NAP. De Holterberg vormt de geografische scheiding met het waterschap Regge en Dinkel. In het waterschap ligt het grootste gedeelte van het maaiveld op hoogtes uiteenlopend van ca. 11m + NAP tot 0.5m - NAP. Het proefgebied dat in deze studie wordt beschreven, bestaat uit de gebieden landgoed Schoonheten en Boetelerveld (figuur 6.1) en beslaat een totale oppervlakte van ca. 2000 ha. Het landgebruik in Landgoed Schoonheten bestaat voornamelijk uit bos, afgewisseld met grasland. Het Boetelerveld bestaat uit vergrast heidegebied waar afwisselend kleine percelen naald- en loofwoud voorkomen. Het proefgebied is gelegen ten zuidoosten van de gemeente Raalte. De Sallandse Heuvelrug vormt de oostgrens van het gebied. Vanaf de Sallandse Heuvelrug neemt de terreinhoogte af in westelijke richting.



Figuur 6.1 Geografische ligging van het gebied

Tabel 6.1 Gegevens specificatie

Onderwerp	Specificatie
Totale oppervlakte Groot Salland	122.500 ha
Totale oppervlakte proefgebied	2000 ha
Landgebruik Groot Salland	94% Landbouw, 5% Stedelijk, 1% Overig
Hoogteverschillen	-0.5 tot 11 m (+ NAP)

6.2 Hydrogeologische beschrijving

6.2.1 Groot Salland

In grote lijnen is de afwatering van waterschap Groot Salland in noord-westelijke richting. In het grootste gedeelte van het gebied vindt vrije afstroming plaats, met uitzondering van de in het noorden gelegen Mastbroekpolder.

In het gebied beheerd door waterschap Groot Salland bestaat de deklaag afwisselend uit humuspodsolgronden en eerdgronden. Langs de IJssel komen voornamelijk rivierkleigronden voor. In het noorden zijn veengronden te vinden (bodemkaart nederland).

6.2.2 Boetelerveld

De deklaag in het proefgebied is een veldpodzolgrond, welke bestaat uit lemig fijn zand (formatie van Twente). De dikte van dit pakket varieert van 0 tot 4 meter. Aan de onderkant van de deklaag wordt over het algemeen een leemarm en grover zand aangetroffen. De deklaag is een redelijk goed doorlatend pakket en wordt daarom geschematiseerd als freatisch watervoerend pakket (bijlage 6.1).

Na de deklaag volgt direct een watervoerend pakket. De deklaag en het watervoerend pakket zijn niet gescheiden door een slecht doorlatende laag in deze regio. Het op regionaal niveau aanwezig zijnde eerste watervoerend pakket, is niet aanwezig in en om het proefgebied. Na de deklaag volgt dus het tweede watervoerende pakket, met een dikte van 22 tot 28 meter op de plaats van het Boetelerveld. De dikte van het tweede watervoerend pakket neemt in de richting van het oosten sterk af (bijlage 6.1), wat lagere k_D -waarden tot gevolg heeft. Het tweede watervoerend pakket bestaat uit grove zanden met een goede horizontale doorlatendheid ($k = 57$ m/dag).

Ook tussen het tweede en derde watervoerende pakket is, ter hoogte van het Boetelerveld, de slecht doorlatende laag niet aanwezig. De slecht doorlatende laag, welke bestaat uit Bekkenklei (formatie van Drenthe), komt in grote delen van de ondergrond van het waterschap wel voor. Deze laag heeft een grote invloed, wat wordt veroorzaakt door de grote weerstand van de laag. Precies onder het Boetelerveld is echter een onderbreking van de slecht doorlatende laag waar te nemen (zie bijlage 6.1).

Het derde watervoerende pakket bestaat uit goed doorlatende zanden. Een zeer dik kleipakket (formatie van Oosterhout) vormt de geohydrologische basis van het systeem.

In bijlage 6.2 zijn de geohydrologische gegevens weergegeven, deze gegevens komen uit REGIS.

6.3 Watersysteem analyse

In de huidige situatie vindt de afvoer van oppervlaktewater in en rond het Boetelerveld plaats via de secundaire- en de hoofdwatgangen WG 83, WG 84, WG 836 en WG 837 naar het Overijsselsch kanaal (bijlage 6.3). De oppervlaktewaterafvoer vindt plaats in noord-westelijke richting.

Het grondwaterniveau in het gebied wordt bepaald door de volgende processen:

- Neerslag/Verdamping
- Kwel
- Infiltratie/Ontwatering

6.3.1 Neerslag en verdamping

De invloed van effectieve neerslag op de stijghoogte in het tweede watervoerend pakket is weergegeven in bijlage 6.4. In deze figuur is het verloop van de stijghoogte in de tijd weergegeven. De dagelijkse waarden zijn afkomstig van een automatische peilschrijver. Het neerslagoverschot is de neerslag vermindert met de verdamping. Voor de verdamping is de referentie-gewasverdamping genomen, aangeleverd door het KNMI.

In de figuur is te zien dat de grondwaterspiegel in het tweede watervoerend pakket sterk reageert op het neerslagoverschot. In de zomer is de verdamping groter, waardoor het neerslagoverschot over grote delen negatief is. Het gevolg voor de grondwaterspiegel is, dat deze daalt tijdens deze perioden, ook waar te nemen in de figuur.

De reactiesnelheid van de grondwaterspiegel op neerslag is moeilijk nauwkeurig te bepalen uit de grafieken, doordat de grondwaterspiegel een produkt is van meerdere factoren. In bijlage 6.4 is te zien dat de grondwaterspiegel vrijwel direct reageert op een bui. Naast processen als neerslag en verdamping, die direct het complexe beeld beïnvloeden, zijn er ook nog factoren die indirect een rol spelen. De indirecte effecten zijn afhankelijk van de hoeveelheid vocht in de onverzadigde zone, welke beïnvloed worden door (het naijlingseffect van) eerder opgetreden buien. De twee effecten die een rol spelen zijn op te splitsen in een 'directe impuls' en een effect als gevolg van het 'geheugen'. Er kan dus slechts een orde grootte van reactiesnelheid voor het gebied worden bepaald.

6.3.2 Kwel

Het optreden van kwel of wegzijging in het gebied kan worden bepaald aan de hand van de stijghoogtes, gemeten in de verschillende pakketten. In bijlage 6.5a zijn de tijd-stijghoogteverschillen weergegeven van 3 filters van een TNO-peilput. Deze peilput is gelegen in het Boetelerveld (zie bijlage 6.5b, voor de plaats van de peilput). Er is nauwelijks verschil in stijghoogte, tussen de watervoerende

pakketten. Hiermee wordt de aanname, dat de drie pakketten kunnen worden geschematiseerd tot één watervoerend pakket, ondersteund. Processen die de grondwaterspiegel beïnvloeden hebben een zeer snelle invloed op de stijghoogte in alle drie de pakketten. Dit voldoet aan de verwachting, omdat de pakketten goed doorlatend zijn en weerstandsbiedende lagen ontbreken.

Om te bepalen hoeveel kwel of wegzijging optreedt, is het precieze stijghoogteverschil tussen de filters van de TNO-peilput bepaald (bijlage 6.5a). In de grafiek is te zien dat het verschil in stijghoogte tussen filter1 en filter2, over het algemeen niet meer dan één centimeter bedraagt. De afleesfout van peilbuizen is in orde grootte van één centimeter, dus in principe mag aan deze waarde geen conclusie worden verbonden. In de grafiek is wel te zien dat de waarde van filter 2 constant hoger ligt, dus kan geconcludeerd worden dat in ieder geval geen wegzijging optreedt in het gebied, en de overheersende trend kwel zal zijn. Een constante trend is de belangrijkste waarneming uit deze grafiek, voor het onderzoek. De verschillen tussen filter 1 en filter 3 zijn groter. Over het algemeen is de stijghoogte in filter 3 een paar centimeter groter dan in filter 1, er kan gesteld worden dat vanuit het derde watervoerende pakket een verticale stroming plaats vindt naar het tweede watervoerend pakket. Dit is echter voor dit onderzoek nauwelijks van belang, omdat vooral interessant is wat de stroming van het tweede naar het freatisch watervoerende pakket is. De kleine hoeveelheid aangevoerd grondwater (kwel), wordt veroorzaakt door de ten oosten van het Boetelerveld gelegen Sallandse heuvelrug.

Berekening hoeveelheid kwel

Voor het berekenen van de hoeveelheid kwel, kan gebruik worden gemaakt van de wet van Darcy.

$$v = k \frac{dH}{dz} \quad (6.1)$$

Waarbij,

v Stroming (m/dag)

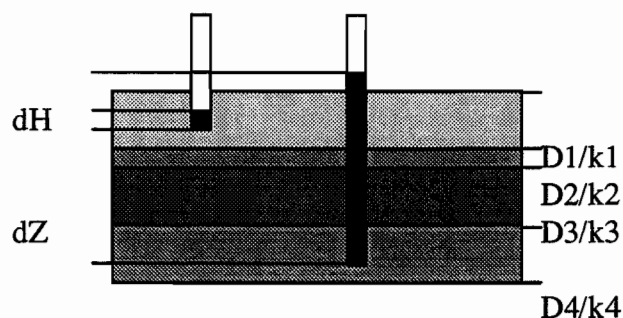
k Doorlatendheid (m/dag)

dH Stijghoogte verschil (m)

dz Afstand (m) (In de hieropvolgende berekening is dz de afstand tussen de filters van hart tot hart)

Voor berekening van de hoeveelheid kwel is het verschil in stijghoogte tussen twee filters, de afstand tussen deze filters en verticale doorlatendheid van belang. Omdat er geen directe verticale doorlatendheid tussen de filters bekend is, wordt deze berekend aan de hand van horizontale k-waarden gevonden in boorprofielen. Uit alle afzonderlijke k-waarden wordt met behulp van de dikte van elke

afzonderlijke laag de totale k berekend. Voor schematische weergave is de volgende figuur gemaakt.



k_i = Doorlatendheid van het pakket

D_i = Dikte pakket

Figuur 6.2 Verschillende lagen in bodemdoorsnede

De boorprofielen geven voor de afzonderlijk lagen alleen horizontale k -waarden. Voor de berekening wordt aangenomen dat de verticale doorlatendheid gelijk is aan 0.1 maal de horizontale doorlatendheid in die laag (dit geldt voor watervoerende lagen). k wordt als volgt berekend:

$$K = \frac{\sum \frac{D_i}{k_i}}{\sum \frac{D_i}{K_i}} \quad (6.2)$$

Voor uitwerking van de berekening zie bijlage 6.6. De gevonden k -verticaal is 0,61 m/dag, wat een goede doorlatendheid inhoud. Voor een stijghoogteverschil van 1 cm wordt een hoeveelheid kwel van 0,42 mm/dag berekend. De waarde komt goed overeen, met de door het waterschap gevonden waarden. Doordat de gekozen waarde voor een stijghoogteverschil van 1 centimeter binnen de afleesfout van peilbuizen ligt, zal de waarde van 0,42mm/dag slechts in orde grote juist zijn.

6.3.3 Infiltratie/Ontwatering

In de natuurlijke situatie vindt ontwatering van het gebied plaats. Door het aanleggen van een efficiënt waterafvoersysteem is de drooglegging in het gebied door de jaren heen groter geworden. Hierdoor worden neerslag en grondwater, sneller afgevoerd. Dit heeft de afgelopen jaren geresulteerd in een daling van de grondwaterstand (Broekhuizen et al, 1996).

6.4 Infiltratieproef

Tijdens de infiltratieproef werd de functie van de ontwateringskanalen omgekeerd en diende als wateraanvoerkanalen. De periode waarbij het water in de watergangen is opgestuwd, had in totaal een duur van 7 weken. De watergangen die van water moesten worden voorzien, zijn hierbij verdeeld in vier trace's (Bijlage 6.7). Er werd met pompen water aangevoerd vanuit de lager gelegen tracés. Er werd gestreefd naar een continu streefpeil in de tracés, wat echter niet geheel gelukt is.

Het meetnet bestond uit peilbuizen, een recorder en een datalogger om grondwaterstanden te kunnen meten. Een handmatige en zelfregistrerende regenmeter voor het registreren van de neerslag en debiet/flowmeters voor het meten van de hoeveelheid aangevoerd water. Het bestaande meetnet werd uitgebreid met 2 raaien peilbuizen loodrecht op de wateraanvoerkanalen, een zogenaamde Noord-zuid (6.8) en een Oost-west raai (bijlage 6.9).

6.4.1 Relatie grond- en oppervlaktewater

Om een eerste inzicht te verwerven in de relatie grond- en oppervlaktewater zijn figuren gemaakt, die het verloop van de stijghoogte in de tijd weergeven. In bijlage 6.10 is de oost raai weergegeven. In deze figuur is het verloop van de stijghoogte van buizen G, H en I weergegeven, de bovenste lijn geeft het oppervlaktewater weer.

Er was geen neerslag tijdens de periode uitgezet in deze figuur. In de vier dagen voorafgaand aan de proef was ook geen neerslag gevallen, zodat geen directe invloed van neerslag op de weergave van de stijghoogtes in de figuur aanwezig is.

correlatiecoëfficiënten

In de figuur is zichtbaar dat de peilbuis dicht bij de sloot, de veranderingen in het oppervlaktewater beter volgt. De reactietijd van een peilbuis verder uit de sloot is trager en het stijghoogteverloop is gedempter. Dit is conform de verwachtingen. Om de relatie in een getal te samen te vatten zijn de correlatiecoëfficiënten tussen de verschillende stijghoogtelijnen berekend. Voor uitkomsten van de berekening zie tabel 6.2, met formule 6.3 is de correlatiecoëfficiënt berekend.

Tabel 6.2 Correlatiecoëfficiënten

	opp	buisG	buisH	buisI
opp	1			
buisG	0,922143	1		
buisH	0,920206	0,993144	1	
buisI	0,864778	0,974253	0,976297	1

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} \quad (6.3)$$

waarbij

$$\sigma_X^2 = \frac{1}{n} \sum (X_j - \mu_X)^2$$

en

$$\sigma_Y^2 = \frac{1}{n} \sum (Y_j - \mu_Y)^2$$

De correlatiecoëfficiënt geeft een bevestiging van de relatie grond- en oppervlaktewater. De buizen met toenemende afstand van de sloot geven een afnemende correlatie weer, wat coform de verwachtingen is. Er kunnen echter niet meer gedetailleerde conclusies aan verbonden worden, omdat het getal weinig inzicht oplevert.

Reactietijden

Om de reactietijd van een verandering in oppervlaktewater te bepalen wordt gebruik gemaakt van bijlage 6.10. In de figuur is te zien dat bij een verandering in het oppervlaktewater de buizen G, H en I bijna allen direct reageren. Er is enige vertraging waar te nemen bij de peilbuizen, die verder van de sloot liggen, dit is te zien in de grafiek op 6/5/96 om 12 uur. De top bij buis I wordt 2 uur later bereikt nadat het oppervlaktewater op het maximum is. Hierna is een daling van de oppervlaktewaterspiegel waarneembaar, het verschil in maximum van daling in oppervlaktewater en buis I is 6 uur. Deze getallen zeggen nog niet veel, omdat de reactiesnelheid afhankelijk is van het potentiaalverschil tussen sloot en buis. In bijlage 6.11 is het verdere verloop in de tijd van de figuur gegeven. Aan deze figuur kunnen weinig conclusies worden verbonden, doordat de gegevens beïnvloed zijn door neerslag, waarvan de precieze tijd niet bekend is. De meetgegevens zijn ook minder frequent, waardoor reactietijden, die in de orde van uren zijn, moeilijk uit deze figuur te bepalen zijn. De bepaling van de reactietijden uit figuren is niet goed mogelijk, daarom is het handiger om een eenvoudig programma te maken die het proces simuleert.

Voor bepaling van het effect van verandering van de oppervlaktewaterspiegel is de figuur als weergegeven in bijlage 6.12 te gebruiken. De figuur geeft een goed inzicht in de wijze van reactie van de grondwaterspiegel in het veld. Beïnvloeding op ruimtelijke- zowel als op tijdsschaal, zijn goed uit de figuur op te maken. Voor sturing in waterbeheer op lokale schaal is dit dan ook een belangrijke grafiek. Er zal bij de simulatiemodellen van dit type grafiekweergaves gebruik gemaakt worden.

6.5 Modellerings

De modellerings van de actuele situatie is zowel getest voor het analytisch- als het numeriek model. Er wordt hierbij onderscheidt gemaakt tussen modellerings zonder calibratie, met als invoerparameters gemiddelde gebiedswaarden, en gecalibreerde modellerings. Modellerings zonder calibratie is uitgevoerd om te testen hoe goed de modellen overeenkomen met de werkelijkheid, zonder op de situatie te zijn aangepast. Dit om na te gaan of de waterbeheerder het model direct kan gebruiken zonder uit te voeren calibratie.

6.5.1 Locatie

Voor modellerings van de actuele situatie worden de Oost- en de Noord-raai, uitgezet tijdens de infiltratieproef, in het Boetelerveld gebruikt (zie bijlagen 6.7, 6.8 en 6.9).

Schematisatie

Het analytisch model kan slechts rekening houden met één watervoerend pakket, ter vergelijking is voor het numeriek model ook één pakket gemodelleerd. De in de werkelijkheid voorkomende deklaag wordt daarom niet meegenomen. De deklaag is erg dun en de slootbodem ligt aan de onderkant van de deklaag. Er wordt vanuit gegaan dat het water zich verspreid via het onderliggende watervoerend pakket en dat in de deklaag alleen verticale stroming optreedt. In het veld wordt waargenomen dat het water, dat opgezet wordt in de sloot, een erg snelle verspreiding heeft. Dit wordt veroorzaakt, door een onderliggend watervoerende pakket dat goed doorlatend ($kD = 1200 \text{ m}^2/\text{dag}$) is, waardoor het water dat is opgezet in de sloot een zeer snelle reactie in het veld tot gevolg heeft. De aanname (dat de ondergrond als één pakket kan worden geschematiseerd), zal dus goed overeenkomen met de werkelijkheid.

Het probleem ligt bij het tweede en derde watervoerend pakket. Deze zijn niet gescheiden door een weerstandsbiedende laag. Ook is het stijghoogteverschil tussen beide lagen erg klein (zie §6.3.2). Dus zouden het tweede en derde watervoerende pakket meegenomen kunnen worden als één watervoerend pakket. Het is echter moeilijk voor te stellen, dat een sloot van een meter diep directe invloed ondervindt, van het derde watervoerend pakket op 25 meter diepte. Om te na te gaan welke schematisatie het best voldoet, zijn beide situaties afzonderlijk gemodelleerd. (voor uitgebreide beschrijving van de geohydrologie van het gebied wordt verwezen naar §6.2).

6.5.2 Randvoorwaarden

De grenzen van het model worden als volgt genomen. De formatie van Oosterhout vormt de ondergrens. De linker grens in het model is de slootwand. De rechter

grens wordt zo ver gekozen dat geen stijging van de grondwaterspiegel aan de rand optreedt.

6.5.3 Invoerparameters

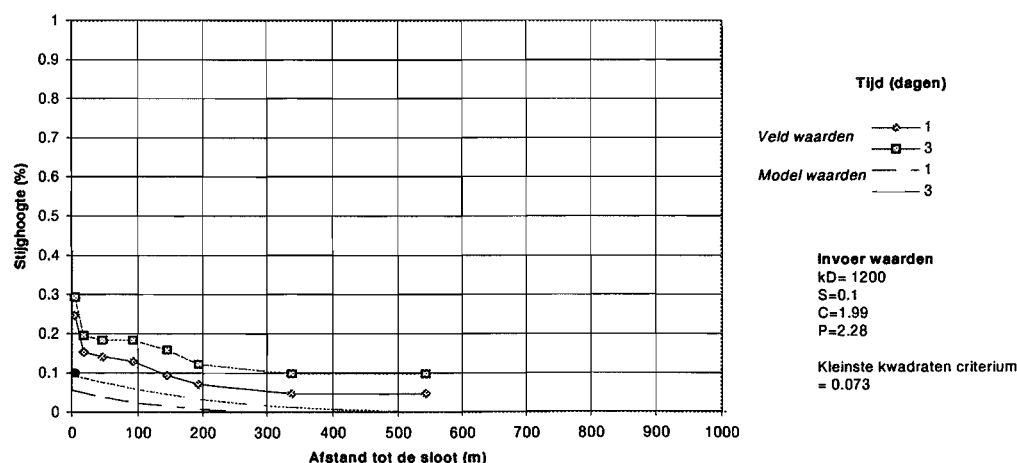
De basisinvoergegevens van het model staan vermeld in tabel 6.3. kD_2 is het doorlaatvermogen van het tweede watervoerend pakket. KD_{2+3} is doorlaatvermogen van het tweede- en derde watervoerendpakket tezamen. De waarde voor de bergingscoëfficiënt (S) is de gemiddelde waarde die door Waterschap Groot Salland gebruikt wordt voor het gebied. Doordat deze parameter sterke variaties vertoont, op kleine afstand (afhankelijk v/d sortering), wordt deze parameter vaak als calibratie parameter gebruikt. De uittreeweerstand (C) die staan vermeld in de tabel, zijn de waarden bepaald tijdens de infiltratieproef. P is de natte omtrek van de sloot en b de breedte van de sloot.

Tabel 6.3 De basisinvoergegevens van het model

	KD2 (m ² /d)	kD2+3(m ² /d)	S (-)	C (d)	b (m)	P (m)
Oost-raai	1200	2750	0.1	4.3	4.6	5.2
Noord-raai	1200	2750	0.1	2.0	2.1	2.3

6.5.4 Uitkomsten analytisch model

De plots met de uitkomsten van de modelberekeningen zijn weergegeven in bijlagen 6.13a t/m 6.13g. Tevens zijn in de figuren de veldwaarnemingen uitgezet en zijn de invoerwaarden en de waarde van het kleinste kwadraten criterium vermeld. Figuur 6.3 is een voorbeeld van zo'n plot.



Figuur 6.3 Berekende waarden met het analytisch model uitgezet tegen de veldwaarnemingen in de Noord-raai (voor calibratie).

Voor calibratie

De waarden berekend met het analytisch model staan weergegeven in de figuur in bijlage 6.13a en 6.13b. De eerste figuur geeft de waarden voor de Noord-raai weer, de tweede figuur de waarden voor de oost-raai. In de figuur is te zien dat de berekende waarden afwijken van de veldwaarnemingen. De grootte van de afwijking kan worden afgeleid uit het kleinste kwadraten criterium, dit getal geeft echter weinig inzicht en daarom is de afwijking in cm-stijghoogte, ten opzichte van opzetten slootpeil, berekend (zie tabel 6.4). Uit de tabel is op te maken, dat dichtbij de sloot de grootste afwijkingen voorkomen. Daarnaast is op te maken dat het model van de Oost-raai een duidelijk grotere afwijking vertoont dan het model van de Noord-raai.

Tabel 6.4 Verschil tussen veldwaarnemingen en modelwaarden

	Afwijking stijghoogte	
	1 dag	3/4 dagen
Noord-raai		
50 m van de sloot	-10cm	-11cm
400m van de sloot	-5cm	-8cm
Oost-raai		
50 m van de sloot	-19cm	-32cm
400m van sloot	0	-6cm

Na calibratie

Om de afwijkingen tussen model- en veldwaarden te verkleinen is allereerst gecalibreerd op de waarde van de bergingscoëfficiënt. De figuren zijn weergegeven in bijlage 6.13c en 6.13d. De waarde van de gecalibreerde bergingscoëfficiënt bedraagt $S = 0.012$. Dit is een zeer kleine waarde en geen reële veldwaarde.

De afwijkingen in cm-stijghoogte zijn weergegeven in tabel 6.5. De afwijking voor de Noord-raai zijn zeer klein. Het model komt goed overeen met de veldwaarde. Voor de Oost-raai worden grotere afwijkingen gevonden. De waarden zijn kleiner dan de niet gecalibreerde waarden, het model is echter nog niet optimaal.

Tabel 6.5 Verschil tussen veldwaarnemingen en modelwaarden, voor $S=0.012$

S=0.012 kD ₂ = 1200	Afwijking stijghoogte	
	1 dag	3/4 dagen
Noord-raai		
50 m van de sloot	-1cm	3cm
400m van de sloot	-1cm	2cm
Oost-raai		
50 m van de sloot	-13cm	-22cm
400m van sloot	5cm	7cm

Om het model van de Oost-raai te verbeteren is het model gecalibreerd, voor zowel de kD -waarde als de bergingscoëfficiënt. De gevonden waarden staan vermeld in tabel 6.6 (en figuur bijlage 6.13g). Deze invoerwaarden komen niet overeen met de veldsituatie en leiden tot een onacceptabel model. De afwijkingen zijn tevens in de tabel aangegeven.

De C-waarden zijn direct gemeten waarden (tijdens de proef in het Boetelerveld) en zijn dus vaste waarden. Er kan daarom ook niet op C-waarden worden gecalibreerd. Als echter de C-waarden kleiner worden gemaakt dan de in het veld gevonden waarden, verbeterd de modellering sterk. Dit roept de vraag op of de gemeten C-waarden niet aan de hoge kant zijn. Dit wordt tevens ondersteund door de meetgegevens die duiden op een snelle reactie van oppervlakte- op grondwater (in het Boetelerveld). Hier past een slootweerstand van 4.3 dagen niet bij.

Tabel 6.6 *Verskil tussen veldwaarnemingen en modelwaarden, voor $S=0.017$*

S = 0.017 $kD = 237$	Afwijking stijghoogte	
	1 dag	3/4 dagen
Oost-raai		
50 m van de sloot	-4cm	-4cm
400m van sloot	1cm	0

In bijlagen 6.13e en 6.13f is nog een aantal grafieken weergegeven. In de grafieken is de kD_{243} -waarde (=2750) uitgezet.

6.5.5 Uitkomsten numeriek model

De plots met de uitkomsten van de modelberekeningen zijn weergegeven in bijlagen 6.14 a t/m 6.14d. Tevens zijn in de figuren de veldwaarnemingen uitgezet. Voor calibratie van het numeriek model wordt in het programma microfem FEMINVS gebruikt.

Om het numeriek model te kunnen vergelijken met het analytisch model zijn dezelfde invoerwaarden gekozen. Voor bespreking van de uitkomsten van de vergelijking van beide modellen wordt verwezen naar § 9.1.

Voor calibratie

De waarden berekend met het numeriek model staan weergegeven in figuren 'a' en 'b' in bijlage 6.14. De eerste figuur geeft de waarden voor de Noord-raai weer, de tweede figuur de waarden voor de oost-raai. Zie tabel 6.7 voor afwijkingen van de stijghoogte tussen door het model berekende waarden en de veldwaarden. De waarden in de tabel komen in grote lijnen goed overeen met de waarden gevonden voor het analytisch model. Er kunnen dus ook dezelfde conclusies worden getrokken, zie §6.5.4.

Tabel 6.7 *Vershil tussen veldwaarnemingen en modelwaarden*

S = 0.1 kD = 1200	Afwijking stijghoogte	
	1 dag	3/4 dagen
Noord-raai		
50 m van de sloot	-11cm	-14cm
400m van de sloot	-5cm	-10cm
Oost-raai		
50 m van de sloot	-20cm	-38cm
400m van sloot	0	-5cm

Na calibratie

De waarden voor de bergingscoëfficiënt is dezelfde waarde die voor het analytisch model is ingevoerd (zie bijlage 6.14c en 6.14d). De waarden in de tabel 6.8 komen redelijk overeen met de waarden in het analytisch model.

Tabel 6.8 *Vershil tussen veldwaarnemingen en modelwaarden*

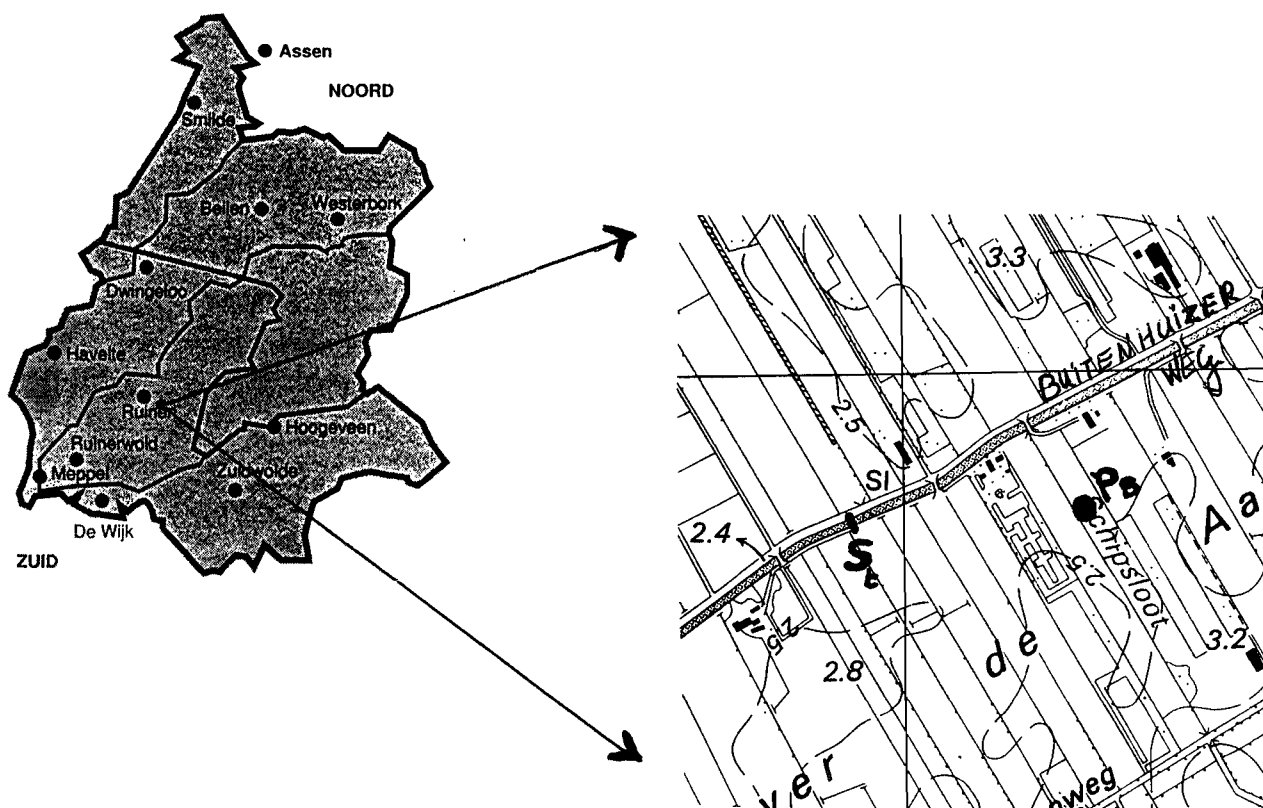
S = 0.012 kD = 1200	Afwijking stijghoogte	
	1 dag	3/4 dagen
Noord-raai		
50 m van de sloot	-3cm	0
400m van de sloot	-1cm	0
Oost-raai		
50 m van de sloot	-11cm	-18cm
400m van sloot	4cm	9cm

7 Proefgebied Meppelerdiep

In dit hoofdstuk zijn de uitkomsten beschreven van de modellering met het black-box model. Er zijn geen gegevens nodig over specifieke gebiedsparameters, omdat het model getraind wordt op meetgegevens. In §7.1 wordt in het kort de locatie en in §7.2 worden de verschillende invoerparameters behandeld. Ten slotte komen de uitkomsten van het black-box model aan bod.

7.1 Locatie

De locatie van het proefgebied is gelegen in waterschap Meppelerdiep, in de buurt van Berghuizen. Het proefgebied bestaat uit een stuw (S_p) en een bovenstrooms gelegen peilbuis (P_p) op ongeveer 500m afstand (zie figuur 7.1). Voor het inzicht is de opbouw van de ondergrond van de locatie weergegeven in bijlage 7.1.



Figuur 7.1 Geografische ligging van het proefgebied in waterschap Meppelerdiep

7.2 Invoerparameters

De stuw in het proefgebied is een automatische stuw waarvoor kwartierwaarden gemeten zijn van de volgende parameters:

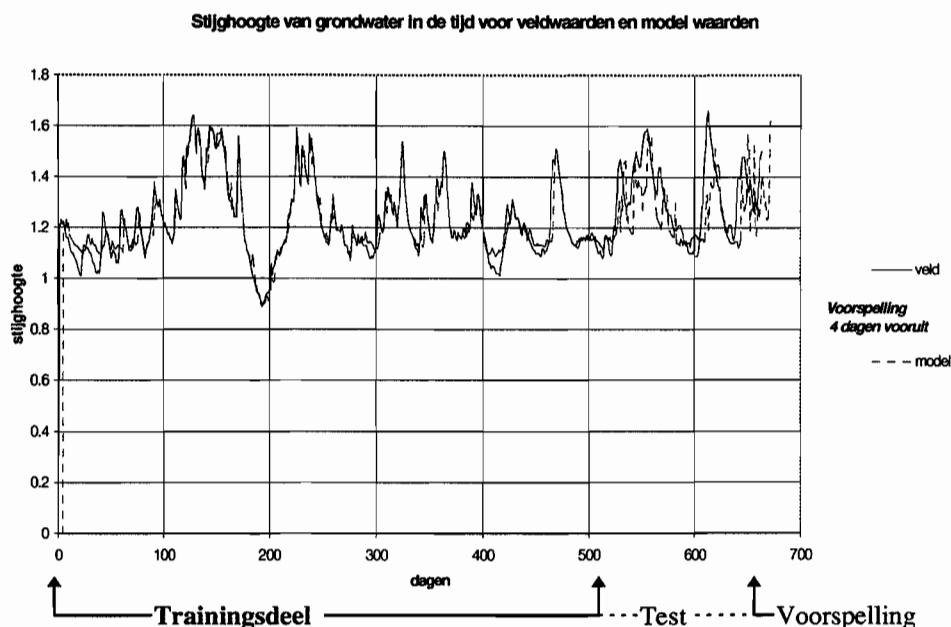
- Bovenstroomsstuwpeil (Bo)
- Benedenstroomsstuwpeil (Be)
- Stuwklephoogte (St)
- Grondwaterstand (Gr)

Uit de kwartierwaarden zijn dagwaarden gefilterd, waarbij de waarden gemeten op tijdstip 12 uur gekozen zijn. Als op tijdstip 12 uur niet gemeten was, dan werd de waarde gemeten op tijdstip 12.15 uur genomen (dit kwam sporadisch voor). Naast de gefilterde dagwaarden van bovengenoemde parameters zijn dagwaarden van neerslag en verdamping gebruikt (meetstation Hoogeveen), deze worden samengenomen als neerslagoverschot (Ne). In bijlage 7.2 is een grafiek met een korte set meetgegevens weergegeven, waarin alle parameters zijn uitgezet. De parameters bovenstrooms-, benedenstrooms- en stuwpeil zijn direct afhankelijk. Voor het basismodel zijn daarom de parameters stuwklephoogte, grondwater en neerslag gebruikt en de parameters boven- en benedenstroomspeil in eerste instantie weggelaten. Om het model te testen op de gevoeligheid zijn de parameters op verschillende manieren gecombineerd. Er zijn afwisselend parameters meegenomen en weggelaten.

Test- en trainingsset

In figuur 7.2 is de stijghoogte van het grondwater uitgezet in de tijd. Er zijn in totaal 663 dagen van veldwaarnemingen geplot. De doorgetrokken lijn bestaat uit veldwaarnemingen. De gestippelde lijn bestaat uit de gemodelleerde waarden met het black-box model.

De gemodelleerde waarden zijn onder te verdelen in een trainings- en een testset. De trainingsset bevat de eerste 500 waarnemingen en de testset bevat daaropvolgende waarnemingen (zie figuur 7.2). In de plots is te zien dat trainingswaarden veel beter overeenkomen met de veldwaarnemingen dan de testwaarden. Dit is logisch omdat het model getraind is op de trainingswaarden en niet op de testwaarden.



Figuur 7.2 Stijghoogte van grondwater in de tijd, voor veld- en modelwaarden

Opgemerkt dient te worden dat het model dat in figuur 7.2 is weergegeven niet het beste model is. Er is gekozen voor een model dat grote verschillen oplevert tussen modelwaarden en veldwaarnemingen, om het verschil tussen test- en trainingsfase duidelijk te maken.

Voorspellingsset

Voor de voorspellingen zijn extra voorspellingsparameters meegetraind. Voor uitleg van de voorspellingsset wordt verwezen naar hoofdstuk 4. De sturingswaarde die is ingevoerd voor de neerslagvoorspeller is standaard 20mm. Voor de stuwklepvoorspeller is dit de maximale stuwklephoogte van 1.49m. Het voorspellingsdeel in de figuur begint, waar de veldwaarnemingen eindigen (zie figuur 7.2).

Respons en geheugen

Een grondwatersignaal is opgebouwd uit een combinatie van respons en een deel geheugen. Een bui bijvoorbeeld veroorzaakt een directe respons van het grondwater. De invloed van de bui is nog een aantal dagen merkbaar afhankelijk van het gebied. De tijd dat een bui nog een redelijke invloed heeft op het grondwater wordt de geheugentijd genoemd.

Voor een vooruitvoorspelling is het van belang om rekening te houden met, wat er in de dagen voorafgaand aan de voorspelling is gebeurd. In het model wordt hiermee rekening gehouden, doordat opgegeven kan worden wat er in de tijd voorafgaand is gebeurd. Opgegeven kan worden hoeveel dagen terug, meegenomen moeten worden bij een vooruitvoorspelling.

Voor het mogelijk maken van onderling vergelijken van de modellen, zijn voor alle in de tekst besproken modellen dezelfde waarden ingevoerd:

Grondwater	= 5 dagen
Stuwklephoogte	= 2 dagen
Bovenstroomsstuwpeil	= 2 dagen
Benedenstroomsstuwpeil	= 2 dagen
Neerslagoverschot	= 5dagen

De waarden zijn niet al te lang gekozen, omdat dit rekestijden van het model aanmerkelijk verlengd. Voor neerslag is tevens een model van 15 dagen en voor grondwater 10 dagen doorgerekend, dit had geen enkele invloed op de uitkomsten van de modellen.

7.3 Uitkomsten Black-box model

De uitkomsten van het black-box model zijn kort gekarakteriseerd in onderstaande tekst. Het doel was na te gaan welke set van parameters het beste resultaat opleverd. Daarnaast is bekeken of voorspellingssets goede uitkomsten opleveren. Bij ieder model zijn apart de trainingsparameters vermeld en de bijlagen waarin de figuren zijn weergegeven. In het kort wordt ingegaan op:

- Test- en Trainingsset
- Voorspelling
- Conclusie

Na deze weergave worden de resultaten kort besproken.

Invoerparameters

model 1 (i)

- | | |
|----|---|
| St | <ul style="list-style-type: none"> • De test en trainingswaarden voor het model zijn zeer goed voor sets 1 en 4 dagen. Dit betekent dat test- en trainingswaarden van het model goed overeenkomen met de veldwaarnemingen. Voor de set 7 dagen vooruit worden zowel trainings- als testwaarden minder goed. • De vooruitvoorspelling is een voorzetting van het voorgaande patroon. |
| Ne | |
| Gr | |

Model 2 (v)

- | | |
|----|---|
| Ne | <ul style="list-style-type: none"> • De trainingswaarden zijn slechter dan model 1 voor 4 en 7 dagen voout. De testwaarden zijn vreemd genoeg iets beter dan die van model 1. • De vooruitvoorspelling is een uitdovend signaal en duidelijk slechter dan model 1. • De stuwklep lijkt bij de vooruitvoorspelling belangrijk te zijn. Dit strookt echter niet geheel met de testset, die beter |
| Gr | |

is als geen St-parameter wordt meegenomen.

Model 3 (II)

St
Gr

- Voor zowel test- als trainingswaarden komt het model bijna volledig overeen met model 1. Op een aantal plaatsen (vlak na een bui), is de testset van model 1 beter, omdat neerslag wordt meegenomen in de voorspelling.
- Ook de vooruitvoorspelling komt zeer goed overeen met model 1.
- De neerslag-parameter, die weggelaten is in het model heeft invloed op test- en trainingswaarden, echter minder frequent dan de stuwklep.

Model 4 (iii)

St
VSt
Gr

- Voor zowel test- als trainingswaarden is weinig verschil waar te nemen met model 3.
- De vooruitvoorspelling komt eveneens overeen met model 3.
- De stuwklepvoorspeller (zie hfst. 4), waar voor de laatste waarde een hoogte van 1.49m is ingevoerd, heeft geen invloed op de voorspelling van grondwater.

Model 5 (IV)

St
Ne
Vne
Gr

Bijlage 7.3

- Zowel test- als trainingswaarden (4 en 7 dagen) zijn beter dan model 1. Het model is zeer goed, de testwaarden wijken zowel voor 1 en 4 dagen vooruit, maximaal 1 cm af van de veldwaarnemingen
- In de voorspellingsset is voor de laatste parameter een waarde van 20 mm ingevoerd. De voorspellingsset reageert hier overtuigend op en laat een grondwaterstandsverhoging van 12 cm zien, na 1 dag (na 4 dagen is dit nog + 8 cm).
- De neerslagvoorspeller werkt in dit model.

Model 6 (VI)

St
VSt
Ne
Vne
Gr

- Test- en trainingsset komen precies overeen met de waarden gevonden in model 5.
- De voorspelling komt ook precies overeen met model 5.
- De stuwklepvoorspeller waarbij een maximale stuwklepstand van 1.49m is ingevoerd, heeft geen enkele invloed, niet op test- en trainingswaarden en ook niet op de voorspelling. Dit komt overeen met wat is geconcludeerd bij model 4.

Model 7 (VII)

- | | | |
|-----|---|---|
| Bo | • | De trainingswaarden van dit model in vergelijking met |
| Be | | model 5, waar geen boven- en benedenstroomse |
| St | | waterstanden zijn meegetraind, is duidelijk beter. De testset |
| Ne | | voor model 5 is beter (geen grote verschillen). Model 7 |
| VNe | | geeft een maximale afwijking (tijdens pieken) van 6 cm. |
| Gr | • | De voorspelling van model 5 is iets stabiel, maar levert |
| | | voor beide modellen hetzelfde resultaat |
| | • | Ook in dit model voorspeld de neerslag voorspeller een |
| | | grondwaterstandsverhoging van 12cm (1 dag vooruit). |

Resultaten besproken

Stuwklep

In het geteste model heeft de stuwklepvoorspeller nauwelijks invloed. Hier kan de volgende verklaring voor worden gegeven. De grondwaterstand reageert traag op een verandering in het oppervlaktewaterpeil. Uit bijlage 7.2 is dit moeilijk op te maken, wel is zichtbaar dat de neerslag een veel grotere invloed heeft op de grondwaterstand. Dit is de belangrijkste reden dat de stuwklepvoorspeller weinig effect heeft.

De stuwklepstanden zijn belangrijk voor het maken van een goede voorspelling (model 2) en zullen een zekere invloed in de tijd hebben. Daarom is er nog een tweede verklaring nodig die duidelijk maakt dat de stuwklepvoorspeller weinig effect heeft, maar stuwklepstanden wel belangrijk zijn bij vooruitvoorspellingen. Het model is getraind op stuwklepstanden. Het model heeft bij de training geleerd, dat bij een stijging van de grondwaterspiegel de stuwklep zal dalen. De reden hiervoor is dat de stuwklep indirect gekoppeld is aan het grondwater, via het oppervlaktewaterpeil. Het invoeren van een stuwklepvoorspeller levert problemen op, omdat deze niet waarde vrij is en niet vast te houden.

Neerslag

De neerslagvoorspeller werkt veel beter dan de stuwklepvoorspeller. Dit komt omdat neerslag onregelmatig valt, goed is in te voeren en zodanig als beïnvloeder wordt herkend. Neerslag heeft een grote invloed op de grondwaterstand, wat goed overeenkomt met wat uit de figuur in bijlage 7.2 is op te maken. Opgemerkt moet worden dat een bui van 20 mm niet altijd dezelfde de grondwaterstandsverhoging tot gevolg zal hebben, omdat dit afhankelijk is van de hoeveelheid vocht die in het profiel aanwezig is. De grondwaterstand zal dus op verschillende tijdstippen anders reageren. Het sterke van neurale netwerken is dat hier rekening mee gehouden wordt. Omdat het netwerk voor de specifieke situatie is getraind op neerslagoverschot (er is verdamping meegenomen).

De neerslagwaarden hebben minder frequent invloed op de testset als de stuwklepstanden, doordat grotere hoeveelheden neerslag (die direct de grondwaterstand beïnvloeden) minder vaak voorkomen.

Model test

Naast het trainen en testen van modellen, kunnen de getrainde modellen ook gebruikt worden om direct voorspellingen te maken. De modellen hoeven niet opnieuw getraind te worden. Met nieuwe invoerwaarden maakt het getrainde model direct een voorspelling. Dit werkt vooral goed als bijvoorbeeld de laatste parameter in de neerslagvoorspeller gevarieerd wordt. Het effect van de verschillende neerslagwaarden wordt berekend.

Dit levert de waarden op in tabel 7.1 weergegeven. Voor het getrainde model 5 is voor de laatste waarneming van neerslag -2 mm (=neerslagoverschot) ingevoerd. Het model berekend een grondwaterstands daling van -15 cm na 4 dagen. Dit is een grote waarde, omdat tevens water naar de sloot is gestroomd. Om de grondwaterstands daling ten gevolge van verdamping te bepalen, moet de effectieve verdamping van 0 mm afgetrokken worden. Dit levert een grondwaterstands daling, als gevolg van verdamping, van 2 cm op. De grondwaterstijging voorspeld door het model van bijvoorbeeld 20 mm is een zeer reële waarde.

Tabel 7.1 Voorspelde grondwaterstandsverschil na 4 dagen

<i>Getest met model5</i>	
Neerslagoverschot	Voorspelde grondwaterstandsverschil
-2 mm	- 15cm
0 mm	- 13 cm
5 mm	+ 4 cm
20 mm	+ 8 cm

Juistheid van de voorspelling

Als eerste is het zeer belangrijk om te weten hoe goed het voorspellingsmodel is. Een eerste indruk kan worden verkregen door na te gaan hoeveel de gemodelleerde waarden in de testset afwijken van de veldwaarnemingen. Vooral voor de in tabel 7.1 weergegeven voorspellingswaarden, is het belangrijk om te weten wat de afwijkingen kunnen zijn van de voorspelde waarde. Met de berekening van de 'Mean Square Error' kan de afwijking bepaald worden (zie §5.3). Door de wortel uit de MSE te nemen en met 100 te vermenigvuldigen, kan de afwijking van de voorspelling voor het model in cm worden bepaald. Dit levert voor model 5 de waarden als weergegeven in tabel 7.2

Tabel 7.2 Afwijking van de vooruitvoorspelling voor model 5

Vooruitvoorspelling	MSE (m)	100* $\sqrt{MSE}$ (cm)
1 dag	0.000701	2.7
4 dagen	0.00642	8.0
7 dagen	0.0169	13

Opgemerkt dient te worden dat de MSE- waarde een gemiddelde is voor de gehele testset. In figuur 5.3 is goed te zien is dat de afwijkingen voornamelijk optreden in de stijgende gedeelten van de grafiek. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door plotseling optredende buien. Bij gebruik van de MSE-waarde moet rekening gehouden worden, dat de afwijkingen in de stijgende gedeelten van de grafieken groter zijn, dan de MSE-waarden aangeven.

Gevoeligheid van het model

Waarden die de gevoeligheid van het model bepalen (zie hoofdstuk 4), zijn:

- 1). De invoerparameters die gebruikt worden
- 2). Lengte van de trainingsset
- 3). Het aantal dagen terug, welke bij een vooruitvoorspelling meegenomen worden

Het eerste punt: De invoerparameters die de gevoeligheid van het model beïnvloeden zijn besproken in de vorige paragraaf. Het tweede punt: De benodigde lengte van de trainingsset is onderzocht voor model 5. Bij een korte trainingsset worden de testwaarden duidelijk slechter, dit is te zien in de figuur in bijlage.... Een tweede methode om de modellen te vergelijken is om de MSE-waarden te berekenen. De MSE-waarden zijn zeer geschikt om de modellen met elkaar te vergelijken. In tabel 7.3 zijn $\sqrt{MSE}$ -waarden van het model, met een trainingsset lengte van 300 waarnemingen en één van 500 waarnemingen (model 5) samengevat. In de tabel 7.3 is te zien dat de voorspelling 1 dag vooruit (voor $\sqrt{MSE}$ model-300), een grote afwijking vertoont en de waarde van $\sqrt{MSE}$ meer dan twee maal zo groot is dan $\sqrt{MSE}$ model-500 .

Tabel 7.3 MSE-waarden voor modellen met een trainingslengte van respectievelijk 300 en 500 waarnemingen

Vooruitvoorspelling	$\sqrt{MSE}$ -300 (cm)	$\sqrt{MSE}$ -500 (cm)
1 dag	6.62	2.65
4 dagen	12.6	8.01
7 dagen	16.23	13.00

Het derde punt, het aantal dagen terug, dat meegenomen moet worden bij een vooruitvoorspelling, had in dit model weinig invloed. Allen bij zeer korte sets werd waargenomen dat voorspellingen een stuk slechter werden. Het langer maken van de sets dan de standaard modellen gaf geen verschil (zie § 7.2).

8 Hydrotypen

In dit hoofdstuk is een korte karakteristiek gegeven van de door SC-DLO ontwikkelde hydrotypen. Het doel is aan te geven hoe de hydrotypen op dit moment gebruikt kunnen worden en hoe deze in verhouding staan tot de andere modellen getest in dit onderzoek (zie hoofdstuk 9). Als eerste wordt de theorie achter de hydrotypen in het kort samengevat. Voor een uitgebreide beschrijving, wordt verwezen naar het rapport *invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand* (Massop et al., 1997).

8.1 Theorie

Om beter inzicht te krijgen op de interactie grond- en oppervlaktewater is, in samenhang met het project 'waterlood' door het Staring Centrum een onderzoeksproject uitgevoerd om de huidige kennis te inventariseren. Aangegeven wordt welke parameters de interactie beïnvloeden en hoe de waarde ervan het beste kan worden bepaald. Verder worden op grond van hydrologische en algemene gebiedseigenschappen (geohydrologie, topografie) eenheden afgeleid die qua impuls-respons binnen zekere grenzen hetzelfde reageren. Deze eenheden worden 'hydrotypen' genoemd (Massop, 1997). Hydrotypen staat voor **hydrologische gebiedstypen**. De indelingssystematiek is analoog aan de indeling in bodemtypen.

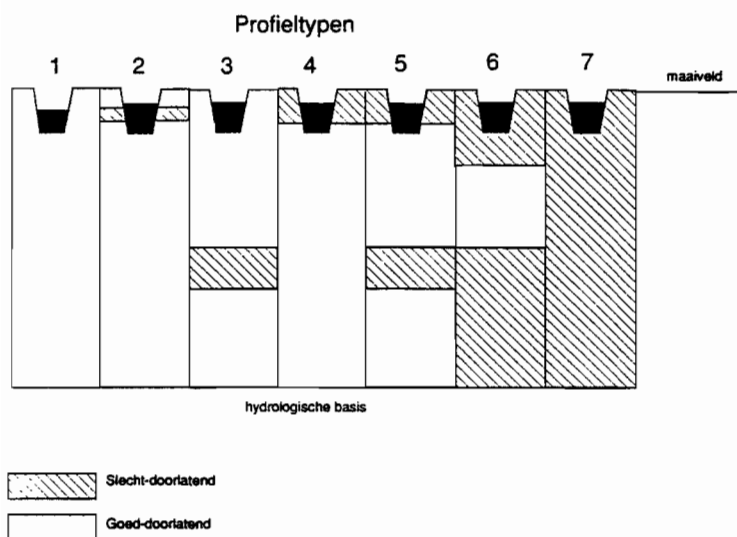
De kern van hydrotypen is als volgt te beschrijven:

Het is een systeem waarbij regio's worden ingedeeld in klassen, waarbij de grondwaterstand hetzelfde reageert, bij een verandering van het oppervlaktewater.

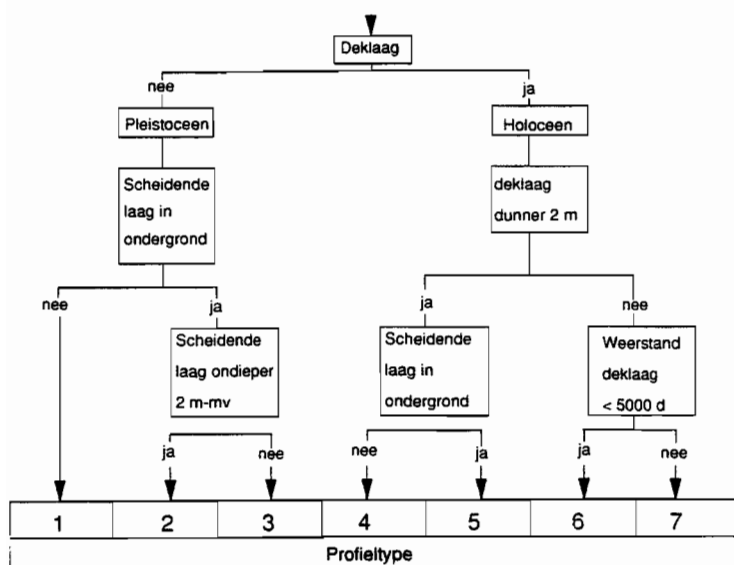
Het belangrijkste uitgangspunt bij dit classificatieschema is de geohydrologische opbouw. Er worden zeven elementaire profieltypen onderscheiden (zie figuur 8.1). De keuze voor het juiste profieltype wordt verkregen door figuur 8.2 te doorlopen. Deze profieltypen zijn nader opgesplitst in zogenaamde hydrotypen, op basis van grootte van kD -waarden van watervoerende pakketten, en de c -waarden van weerstandbiedende lagen.

Om de reactie per hydrotipe te onderzoeken zijn de volgende twee effecten gesimuleerd:

- Het effect van een verhoging van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand;
- Het effect van de passage van een afvoergolf in open leidingen op de grondwaterstand



Figuur 8.1 Indeling in profieltypen



Figuur 8.2 Stappenschema voor bepaling profieltypen

In situaties waarbij het peil in beheersbare waterlopen doelbewust is opgezet, is 31 dagen na dato, het effect op de grondwaterstand berekend en wel op afstanden van 10, 30 en 60m vanuit de waterlopen.

Op basis van de gegevens weergegeven in tabel 8.1, is een hydrotypen kaart voor Nederland ontwikkeld (zie bijlage 8.1). De specificatie per hydrotype is samengevat in zogenaamde staalkaarten, waarin gegevens en uitkomsten zijn weergegeven.

De uitkomsten zijn bepaald voor hydrotypen 12, 31 en 32, door het uitvoeren van uitgebreide modellering in modflow. De andere hydrotypen zijn berekend door additionele berekeningen met enigszins aangepaste versie van Modflow uit te voeren, voor hydrotypen 12 en 31. Deze aanpassingen betreffen de parameters kD en c .

Tabel 8.1 Parameters, huidige en toekomstige gegevens bronnen

Gegevens	Parameter	Huidige bron*	Toekomstige bron*
Geohydrologie	k_v	literatuur	veldonderzoek/LHTS
	k_h	GK/SK/LGM	LHTS(REGIS)
	D	GK/SK/LGM	LHTS(REGIS)
	kD	GK/SK/LGM	LHTS(REGIS)
	c	LGM	LHTS(REGIS)
Waterlopen	L	Top10-vector	TOP10-vector
	B	veldonderzoeken	veldonderzoek/LHTS
	c_b	literatuur	veldonderzoek/LHTS
Topografie		LKN	AHN
Bergingscoëfficiënt	μ	BIS (indirect)	BIS(indirect)

Belangrijk is op te merken dat voor de slootweerstand, in alle gevallen, een gemiddelde waarde van 0,5 dag is genomen. Dit komt voort uit het feit dat de weerstand van sloten in de meeste gevallen niet bekend is.

8.2 Hydrotypen in praktijk

Met de hydrotypen modellen kan snel inzicht verworven worden, in het effect van het opzetten van slootpeilen. Het kan eigenlijk hetzelfde als het analytisch model en er zijn dus dezelfde sterke en zwakke punten van kracht. De hydrotypen kunnen niet worden ingezet bij dagelijks te nemen beslissingen over sturingsacties, omdat meerde parameters hierbij een rol spelen (neerslag/verdamping/kwel...etc), die in het model niet meegenomen worden.

Voor effect bepaling van sturingsacties op de lange termijn, is het hydrotypen model ontwikkeld. SC-DLO omschrijft het gebruik van hydrotypen voor de waterbeheerder als volgt:

Het hydrotypenbestand is bedoeld om de waterbeheerder een flink eind op weg te helpen. Het kan zijn dat de schaal van de gridcellen 1 km² te groot is, voor een waterbeheerder die uitspraken wil doen op perceelsniveau. Wil een waterbeheerder op basis van de hydrotypen modellen niet 'kort door de bocht' en gaat hij zelf de effecten van beheersvraagstukken doorrekenen, dan moet hij beschikken over relevante gegevens op de juiste schaal.

SC-DLO levert de contouren van het gebied, inclusief eerste schattingen van effecten, en een methodiek om deze effecten meer gebiedsspecifiek te kunnen uitrekenen (Massop et al, 1997).

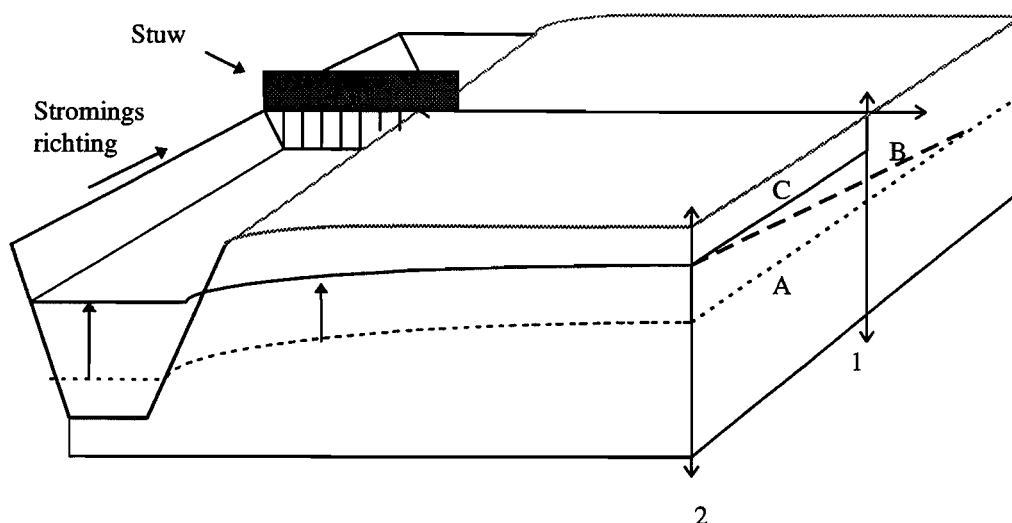
Er kleven twee belangrijke nadelen aan het gebruik van de hydrotypen voor waterbeheerders:

- Schaalgrootte is te grof (km² hokken)
- Te weinig situatiespecifiek op perceelsniveau

De schaalgrootte is te grof voor waterbeheerders, die op een bepaalde plaats in een gebied, het effect van het opzetten van een slootpeil willen berekenen. Dit wordt veroorzaakt doordat kD- en c-waarden verdeeld zijn in klassen (hydrotypen), wat een gemiddelde is per gebied. De hydrotypen zijn te weinig situatiespecifiek op perceelsniveau.

Ten tweede is de modellering niet genoeg op de veldsituatie gericht. In figuur 8.3 is weergegeven hoe modellering van de hydrotypen de praktijk simuleerd. De figuur is een dwarsdoorsnede van de bodem, met aan de linkerrand een sloot, waarin het peil wordt opgezet door het plaatsen van een stuw. Bij modellering van de hydrotypen zijn lijnen 1 en 2 als dichte rand opgegeven en is het slootpeil hier tussen opgezet. Doordat er in werkelijkheid afstroming van water door rand 1 optreedt, zal het effect van het opzetten van het peil lager zijn. Dit is schematisch weergegeven in de dwarsdoorsnede. Lijn A is het peil voor verhoging, lijn C de met hydrotypen berekende waarde (na verhoging) en lijn B de reële waarde na verhoging. Er is een duidelijk verschil in de situaties B en C waar te nemen, waarbij in situatie C een te grote waarde wordt berekend als gevolg van het opzetten van het peil. Bij modellering kan dit probleem opgelost worden door een groter gebied te nemen, zodat randen het model niet beïnvloeden.

De gedachtengang achter de hydrotypen is bruikbaar, alleen de uitwerking levert nog teveel nadelen op voor een juiste toepassing in waterbeheer. Door een gecombineerd gebruik van zowel REGIS als een Numeriek model, kunnen een aantal problemen omzeild worden.



Figuur 8.3 Bodendoorsnede met aan de linkerrand een sloot, waarin het water is opgezet.

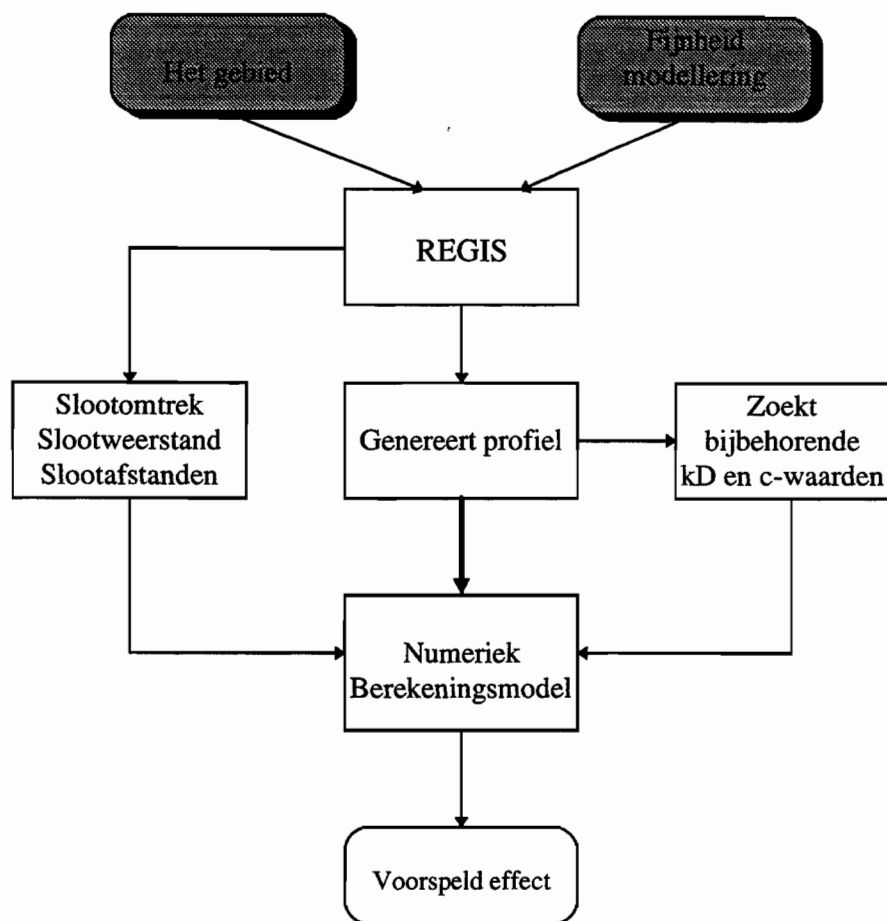
8.3 De verbetering met REGIS als basis

Om de hydrotypen beter geschikt voor waterbeheer te maken zal afgestapt moeten worden van de indeling in km^2 hokken. Dit is mogelijk met de software REGIS. REGIS kan automatisch een profielschematisatie genereren, zodat een situatiespecifiek profieltype ontstaat. Hier worden de gegevens als kD en c -waarden door REGIS bijgezocht. De term hydrotype verdwijnt hiermee, omdat een situatie specifieke modellering wordt gemaakt. Nadelen als overlappende kilometer hokken verdwijnen hiermee.

Dit zal de werkwijze opleveren zoals deze in figuur 8.4 is geschetst. De waterbeheerder zal zowel de gebiedsgrenzen aan moeten geven en de mate van detaillering van modellering (fijnheid model). Deze waarden worden ingevoerd in REGIS, waarbij het programma dus zelf een profiel genereert en bijbehorende kD - en c -waarden zoekt. Aangevuld met de specifieke gegevens als slootomtrek/slootweerstand en slootafstand kan het Numeriek model het effect berekenen van het opzetten van de sloot. Deze laatst genoemde parameters staan niet standaard in REGIS. Er is een ingebouwde functionaliteit, waarin deze gegevens, door de waterbeheerder, kunnen worden beheerd en opgeslagen.

Op dit moment zijn de gegevens die in REGIS zijn opgeslagen nog niet gedetailleerd genoeg om te kunnen dienen als goede basis voor sturing in

waterbeheer. Met de gegevens die op dit moment in REGIS zitten, zal dus geen grote verbetering ten opzichte van de hydrotypen verkregen worden. De software biedt echter een goede basis en zal in de toekomst als meer gegevens ingevoerd worden, als basis kunnen dienen voor sturing op grondwater.



Figuur 8.4 Stroomschema met als basis REGIS

9 Toepasbaarheid in waterbeheer

Het eerste punt van onderzoek richtte zich op de vraag wat weergave van gegevens in grafieken voor inzicht oplevert voor een waterbeheer. Het probleem bij interpretatie van gegevens is, dat de grondwaterspiegel door meerdere factoren tegelijk beïnvloed wordt. Er is hierbij onderscheid te maken tussen 'natuurlijke beïnvloeding' en 'sturingsacties'. Het effect van alleen de sturingsactie is daarom vaak moeilijk te bepalen. Wat de grafieken wel aan mogelijkheden bieden, is inzicht geven in de processen en inzicht geven in de orde groottes van reactietijden, die van belang zijn in het gebied. Goede grafieken vormen de basisinformatie voor de waterbeheerder. Voor een te nemen beslissing in waterbeheer, is echter meer specifieke informatie nodig. Voor dit doeleinde moeten grafieken aangevuld worden door modellen.

Om de toepasbaarheid voor gebruik in waterbeheer te onderzoeken worden de verschillen tussen de twee meest overeenkomende modellen beproven (§ 9.1). Omdat de modellen verschillende voor- en nadelen hebben, worden de sterke en zwakke punten samengevat en vergeleken (§ 9.2), waarna de toepasbaarheid als beslissingsondersteunend systeem aan bod komt (§ 9.3).

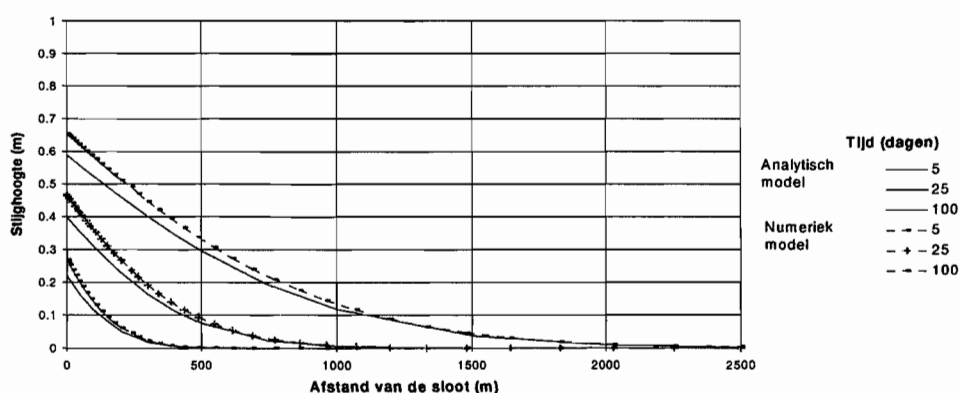
9.1 Verschillen analytisch en numeriek model

De verschillen tussen het analytisch en numeriek model zijn berekend voor de waarden vermeld in tabel 9.1. In het numeriek model is gerekend met bovenbreedte van de sloot en in het analytisch model is gerekend met een natte omtrek. Om beide modellen te kunnen vergelijken moeten beide sloten van gelijke grootte zijn. Om dit te bewerkstelligen is de natte omtrek waarmee gerekend wordt in het analytisch model, berekend uit de gegevens van het numeriek model. Met de gegevens van slootdiepte, slootbreedte en de verhouding van de schuine zijde (1:2), is de natte omtrek van de sloot berekend.

Tabel 9.1 Invoerwaarden analytisch en numeriek model

Invoerwaarden	Analytisch model	Numeriek model
kD (m ² /dag))	400	400
C (dagen)	2.6	2.6
S (-)	0.1	0.1
b (m)		2.3
P (m)	3.5	

Door de modellen werden waarden berekend, die weergegeven zijn in figuur 9.1. In de figuur is zichtbaar dat de waarden die door de modellen worden berekend niet geheel overeenkomen. De verspreiding in horizontale, zowel als in verticale richting berekend door het numeriek model is groter dan verspreiding berekend door het analytisch model. De verschillen in verticale richting liggen in de orde grootte van 4cm (na 5 dagen) en 7cm (na 100 dagen), vlakbij de sloot. De verschillen berekend op 500m van de sloot zijn 0.4 cm (na 5 dagen) en 3.5 cm (na 500 dagen). De modellen berekenen voor het effect van verspreiding van grondwater in horizontale richting hetzelfde effect.



Figuur 9.1 Verandering van de stijghoogte van grondwater in de tijd, berekend voor het analytisch en numeriek model

De gevoelheden, voor de invoerparameters, berekend voor beide modellen in hoofdstukken 2 en 3, komen zeer goed overeen. Ook de niet-lineaire effecten berekend met beide modellen komen zijn eender. De in figuur 9.1 weergegeven verschillen zijn niet erg groot en voornamelijk in verticale richting. Er kan algemeen worden geconcludeerd, dat beide modellen redelijk goed overeenkomen in de berekening van het effect, van het opzetten van oppervlaktewater.

9.2 Sterke en zwakke punten van de modellen

Het sterkste punt van het analytisch model is, dat het model een zeer goed inzicht geeft in de relaties tussen de verschillende gebiedsparameters en de invloed daarvan op de fysische processen, van belang bij de relatie grond- en oppervlaktewater. Tevens is het model zeer snel te calibreren door gebruik te maken van de ingebouwde solverfunctie. Een nadeel is dat door grote schematisatie, vele aannames moeten worden gemaakt, waardoor het model niet op elk gebied toepasbaar zal zijn. Het invoeren van meerdere geohydrologisch te onderscheiden pakketten is niet mogelijk.

Het numeriek model heeft als voordeel, dat minder aannames hoeven worden gedaan en meer optredende processen, die van belang zijn bij de relatie grond- en oppervlaktewater, kunnen worden meegenomen in het model. Dit heeft als grote nadeel, dat er veel meer invoerparameters nodig zijn en er dus meer gegevens over het gebied bekend moeten zijn. Het uitbreiden van het model leidt echter tot dusdanig arbeidsintensieve operaties, dat afgevraagd moet worden of de kosten nog opwegen tegen de baten.

Het black-box model heeft als grote voordeel, dat geen gebiedsspecifieke invoerparameters nodig zijn. Wel zijn lange meetreeksen gegevens nodig om het model te trainen (neurale netwerken). Een groot nadeel is dat het black-box model geen inzicht geeft in de rekenprocessen die leiden tot een voorspelling. Er kan dus niet worden nagegaan hoe een bepaalde uitkomst tot stand komt.

Hydrotypen valt wat betreft sterke en zwakke punten in de categorie van het analytisch model. Er worden teveel schematisaties gemaakt voor toepasbaarheid van sturing in waterbeheer. Voor weergave van alle sterke en zwakke punten wordt verwezen naar tabel 9.2.

9.3 Toepassing als beslissingsondersteunend systeem

Het analytisch model kan worden ingezet bij de bepaling van interactie grond- en oppervlaktewater. Dagelijkse variërende effecten als neerslag/verdamping en kwel/wegzijging kunnen niet worden meegenomen in het model. Het model kan worden ingezet om als indicatie te dienen, wat de effecten zijn, van het opzetten van het oppervlaktewater. Het probleem is echter dat voor een goede modellering van de werkelijke situatie, een calibratie van het model nodig is. Zonder calibratie van het model kunnen in sommige situaties grote afwijking met de werkelijkheid optreden. Voor deze calibratie zal eerst de relatie grond- en oppervlaktewater in het veld onderzocht moeten worden, waarbij de functie het dienen als eerste indicatie verloren gaat. Het model is vooral geschikt als hulpmiddel voor het verwerven van inzicht in de relatie grond- en oppervlaktewater, en niet als beslissend ondersteunend systeem in dagelijks te sturen peilbeheer.

Het numeriek model kan wel rekening houden met optredende effecten als neerslag/ kwel etc.. Het numeriek model zou als ondersteuning kunnen dienen bij dagelijkse sturingsacties. Kanttekening hierbij is de grote hoeveelheid arbeid, die nodig is om het model te implementeren. Dit wordt veroorzaakt door de grote hoeveelheid invoergegevens, waardoor calibratie tijden lang worden.

	<i>Sterke punten</i>	<i>Zwakke punten</i>
Analytisch model	• Model is zeer snel te calibreren • Geeft groot inzicht in de fysische processen die optreden • Eenvoud model • Geeft goed inzicht in de rekenprocessen	• Schematisaties, waardoor niet op elk gebied toepasbaar • Kan alleen het effect van het opzetten van water in de sloot berekenen. (geen neerslag/verdamping/kwel/wegzijging) • Kan geen ruimtelijke variabiliteit van de bodem meegenomen worden
Numeriek model	• Mogelijkheid meerdere effecten die op de grondwaterspiegel van invloed zijn mee te nemen • Op elk gebied toe te passen • Geeft een goed inzicht in de fysische processen die optreden	• Veel invoerparameters nodig • Lange calibratie-tijd • Minder inzicht in rekenprocessen
Black-Box model	• Geen gebiedsspecifieke invoerparameters nodig (Doorlatendheden, bergingscoëfficiënten....etc) • Geen calibratie nodig	• Geeft geen inzicht in de rekenprocessen die optreden • Situatie specifiek; bij fundamentele situatie veranderingen in het gebied moet het model opnieuw getraind worden • Lange reeks invoerdata benodigd

Tabel 9.2

Samenvatting sterke- en zwakke punten van de verschillende modellen

Het black-box model kan worden ingezet bij dagelijks te nemen beslissingen over sturingsacties. Het kan grondwaterstanden een aantal dagen vooruit voorspellen en uit te voeren sturingsacties kunnen van tevoren doorgerekend worden. Kanttekening hierbij is, dat bij een fundamentele verandering in het gebied (bijvoorbeeld sloten die verbreed worden), opnieuw moet worden nagegaan of de situatie juist voorspeld wordt. Voldoet de voorspelling niet meer, dan zal het model op de nieuwe situatie getraind moeten worden.

Op dit moment zijn hydrotypen te grof schalig gedefinieerd. In de toekomst zouden bij verdere detaillering van invoergegevens (LHTS) betere en fijnere schalen bereikt kunnen worden. Verder is het moeilijk om lokale invloeden die een grote rol kunnen spelen mee te nemen in de modellen. Voor de sloot weerstanden is voor alle sloten een vaste waarde aangenomen van 0.5 dagen. Op dit moment kunnen hydrotypen worden gebruikt om gebieden van elkaar te kunnen onderscheiden. Het zou een handig hulpmiddel voor beleidsontwikkelaars kunnen zijn, om bij planvorming na te gaan welke gebieden de potentie bezitten voor sturing op grondwater. Voor sterke verbetering van de hydrotypen, op gebiedsspecifieke schaal, moet worden gedacht aan de verbetering met REGIS (zie hoofdstuk 8.1). De mogelijke functies van de modellen in waterbeheer staan weergegeven in tabel 9.3. Tevens is het zwakste punt van het model vermeld.

Tabel 9.3 De mogelijke functie van de modellen in waterbeheer, aangevuld met een kanttekening

	Functie	kanttekening
Analytisch model	Inzicht vergroten in relatie grond- en oppervlaktewater	In een aantal gevallen een te simpele voorstelling van de werkelijkheid
Numeriek model	Inzet bij dagelijkse sturing in peilbeheer	Veel arbeid nodig om een goed model te implementeren
<i>Hydrotypen</i>	Inzicht vergroten in relatie grond- en oppervlaktewater	Sterk geschematiseerd
Black-box	Inzet bij dagelijkse sturing in peilbeheer	Alleen inzetbaar bij een constante situatie van het gebied

10 Conclusies

Om sturing in waterbeheer mogelijk te maken is het nodig dat gegevens van belang voor waterbeheer, eenvoudig kunnen worden beheerd en weergegeven. Uit het onderzoek is gebleken dat weergavefuncties (in grafieken), vooral geschikt zijn om inzicht te geven in de processen en in de "orde grootte" van reactietijden. Goede weergavefuncties vormen de basisinformatie voor de waterbeheerder. De REGIS-peilbeheermodule, met de mogelijkheid van eenvoudig beheer en weergave van gegevens, zou daarom een goede basis moeten bieden voor sturing in waterbeheer.

Om sturing op het goede moment en op juiste wijze mogelijk te maken, is gebleken dat inzicht dat uit grafieken wordt verkregen, in een aantal gevallen onvoldoende is. Dit komt doordat verschillende natuurlijke beïnvloedingsprocessen de relaties vertroebelen, zodat het effect van sturing vaak moeilijk te bepalen is. De relaties tussen de verschillende parameters, die de sturing beïnvloeden, kunnen eenvoudig worden bepaald met behulp van modellen.

Gebiedsparameters en relatie grond- en oppervlaktewater

Om effecten van sturingsacties te kunnen bepalen, zijn de waarden en relaties van gebiedsparameters van groot belang. Om relaties te bepalen zijn het analytisch- en numeriek model gebruikt. Uit dit onderzoek is gebleken dat op de hoge zandgronden, bij goed doorlatende pakketten, de waarde van de uittreeweerstand (C) een grote rol speelt bij de relatie grond- en oppervlaktewater. Een probleem is dat de uittreeweerstand in veel gebieden slechts sporadisch bekend is.

Verder is uit dit onderzoek gebleken dat de bergingscoëfficiënt een grotere rol speelt bij de verspreiding van het grondwater, bij toenemend aantal dagen (na opzetten van oppervlaktewater) en op grotere afstand van de sloot.

KD-waarden zijn vooral belangrijk bij de vorm van de beïnvloeding van het grondwater. De effecten van variatie van KD-waarden zijn kleiner dan de effecten van variatie van C en S-waarden. Ten slotte dient nog opgemerkt te worden, dat bij het testen van de modellen gebleken is dat variatie van de verschillende invoerparameters niet-lineaire effecten tot gevolg had.

Uitkomsten modellering

Bij modellering van het effect van opzetten van het oppervlaktewater op het grondwater, werden voor het numeriek model (ongeveer) dezelfde waarden gevonden als voor het analytisch model.

De modellen leverde voor ongecalibreerde modellering van de Noord-raai (proefgebied Boetelerveld) een afwijking met de veldwaarnemingen op van 10cm tot 14cm op 50m afstand van de sloot, en 5cm tot 10cm op 400m van de sloot. Voor de Oost-raai werden afwijkingen gevonden van 20cm tot 38cm op 50m van de sloot en van 0 tot 6cm op 400m van de sloot. Dichtbij de sloot vertoonde de gemodelleerde waarden, de grootste afwijkingen met de veldwaarden.

Calibratie op de S-waarden kD-waarden leverde niet het gewenste resultaat. Voor een juiste modellering moesten S en kD-waarden zodanig aangepast worden, dat deze niet meer overeenkwamen met de in het veld gevonden waarden. Op de C-waarden kon niet worden gecalibreerd, omdat deze waarden door het waterschap waren gemeten. De invoer van lagere C-waarden, dan de door het waterschap gevonden waarden, leverde een betere modellering. Dit leidt tot de conclusie dat de in het veld bepaalde C-waarden aan de hoge kant zijn.

Met een black-box model is voor proefgebied Meppelerdiep een voorspelling van het de grondwaterstand gemaakt. Het model dat het beste voldeed was getraind op stuwklepstanden, grondwaterstanden en neerslaggegevens. Voor een redelijke voorspelling was een trainingsset nodig van minstens één jaar daggegevens van neerslag, grondwater en stuwklepstanden. De voorspelling werd beter bij toename van de lengte van de trainingsset. De afwijkingen voor het model zijn bepaald door berekening van de Root-Mean Square Error. Dit leverde een afwijking op van 2.7cm en 8.0cm, voor voorspellingen van respectievelijk 1 en 4 dagen vooruit.

Modellen als beslissingsondersteunend systeem

Zoals gebleken is uit het onderzoek heeft ieder model de nodige beperkingen. Het belangrijkste knelpunt bij de vraag “op welk moment de sturing moet worden ingezet”, wordt veroorzaakt door de traagheid van het systeem. Het aanpassen van het grondwater aan een ingestelde sturing duurt vaak zo lang, dat het systeem in de tussentijd door allerlei andere processen beïnvloed wordt en een andere situatie bereikt wordt dan gewenst. Het is in een aantal gebieden moeilijk gebleken het traag reagerend systeem dynamisch te sturen. In deze gebieden zullen goede B.O.S.-systemen weinig hulp bieden. In onderstaande paragraaf worden alle modellen nader belicht, op mogelijke toepassing als beslissingsondersteunend systeem.

Het analytisch model geeft een goed inzicht in de relaties tussen de verschillende gebiedsparameters en de invloed daarvan op de fysische processen, van belang bij de relatie grond- en oppervlaktewater. Belangrijk is op te merken dat het analytisch model alleen het effect van directe infiltratie, van oppervlaktewater naar het pakket, kan simuleren en niet het effect van verminderde drainage (zie hfst. 2). Als het model ongecalibreerd gebruikt wordt zal dit in veel gevallen tot afwijkingen met de veldwaarnemingen leiden.

Het model biedt goede mogelijkheden als het wordt ingezet om inzicht te verwerven in de processen en parameters, die van belang zijn bij infiltratie van oppervlaktewater. Om dagelijkse sturingsacties vooraf uit te rekenen voldoet het model minder goed, omdat parameters als kwel, neerslag en verdamping niet in het model kunnen worden ingevoerd. Ook het invoeren van meerdere geohydrologisch te onderscheiden pakketten is niet mogelijk.

Bij gelijke schematisatie van zowel het analytisch- als numeriek model, wordt voor berekening van het effect van opzetten van het oppervlaktewaterpeil, voor beide modellen (zoals eerder vermeld) dezelfde waarde berekend. Het voordeel van het analytisch model is de doorzichtigheid in opbouw en structuur en de snelle calibratie mogelijkheid.

Het geteste numeriek model kan eventueel uitgebreid worden met extra beïnvloedingsparameters en geohydrologische pakketten, waardoor het model de potentie heeft om ingezet te worden bij dagelijkse sturing in waterbeheer. Het uitbreiden van het model leidt echter tot dusdanig arbeidsintensieve operaties, dat afgevraagd moet worden of de kosten nog opwegen tegen de baten.

Het black-box model dat in dit onderzoek gebruikt wordt (een zogenaamd General Regression Neuraal Netwerk), heeft de potentie specifiek geschikt te zijn om vooraf sturingsacties door te rekenen. De voorspelling van het effect van een neerslagbui op de grondwaterspiegel is mogelijk met het model. Het invoeren van een stuwvoorspeller gaf meer problemen, doordat de stuw indirect reageerde op grondwater en dus niet vast te houden was op één waarde. Een stuw die niet automatisch reageert op variaties van grond- of oppervlaktewater zou beter moeten kunnen voldoen. Hier zal nog aanvullend onderzoek naar moeten worden gedaan. Als beslissingsondersteunend systeem in waterbeheer is het black-box model, zoals voor deze situatie getest, op dit moment niet geschikt. Dit komt doordat het effect van sturingsacties met de stuw, niet vooraf doorgerekend kunnen worden.

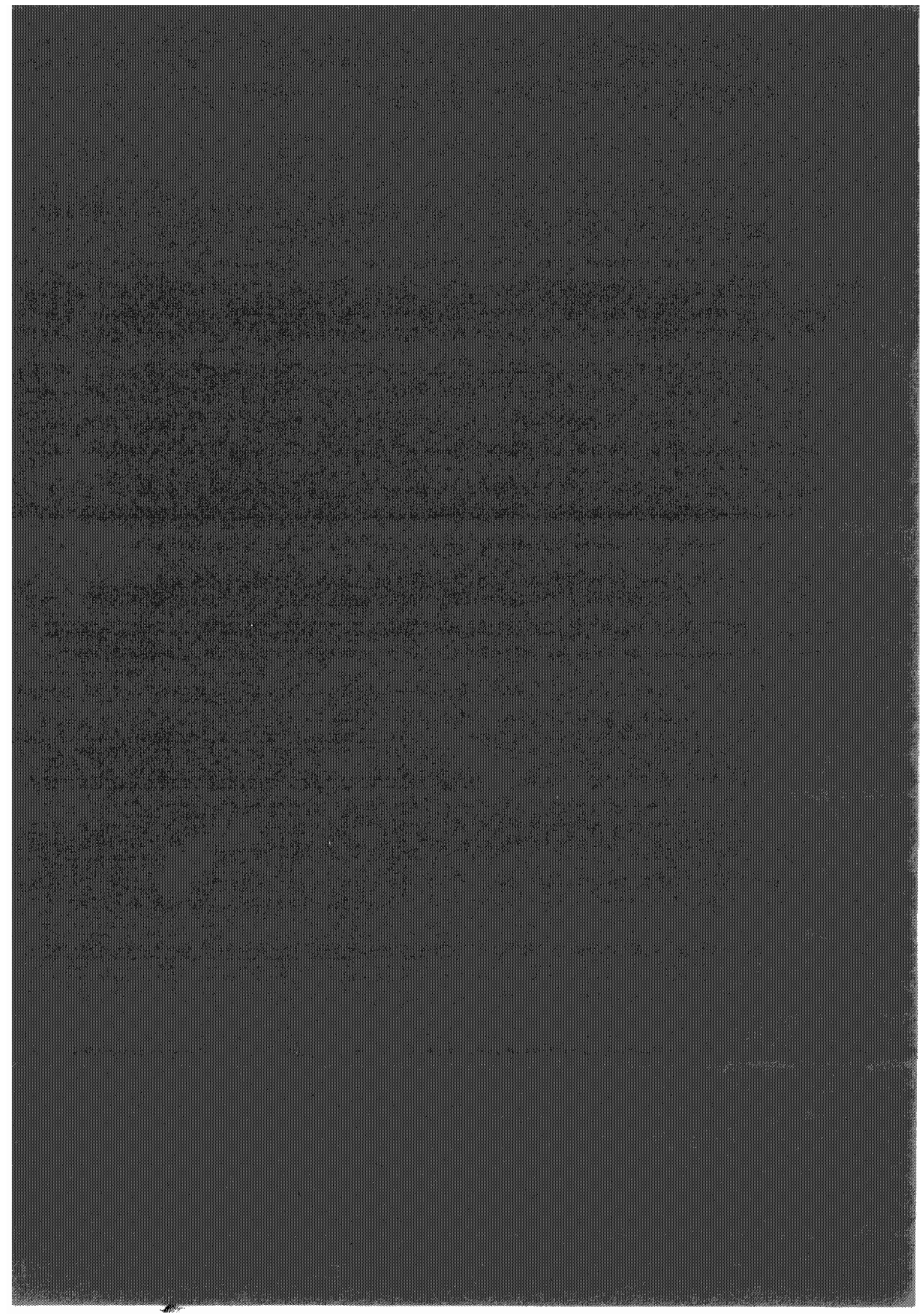
Het numerieke model biedt de beste mogelijkheden als beslissingsondersteunend systeem (B.O.S.) voor sturingsvraagstukken. Arbeidsintensieve modelschematisaties zouden ondervangen kunnen worden door automatisch gegenereerde schematisaties met behulp van gegevens uit REGIS. Er kan dan gemakkelijk een gebiedsspecifieke modellering worden gemaakt, waarbij een indeling in klassen, zoals bij de hydrotypen, overbodig is. De REGIS-applicatie is specifiek geschikt om te gebruiken voor automatische profielschematisatie, die nodig is voor modellering. Wel zullen extra gegevens over de toplaag in REGIS moeten worden ingevoerd, mogelijkheden hiertoe worden onderzocht in het LHTS-project. Een gekoppeld numeriek model met REGIS zou de basis kunnen bieden als B.O.S. voor sturing in waterbeheer.

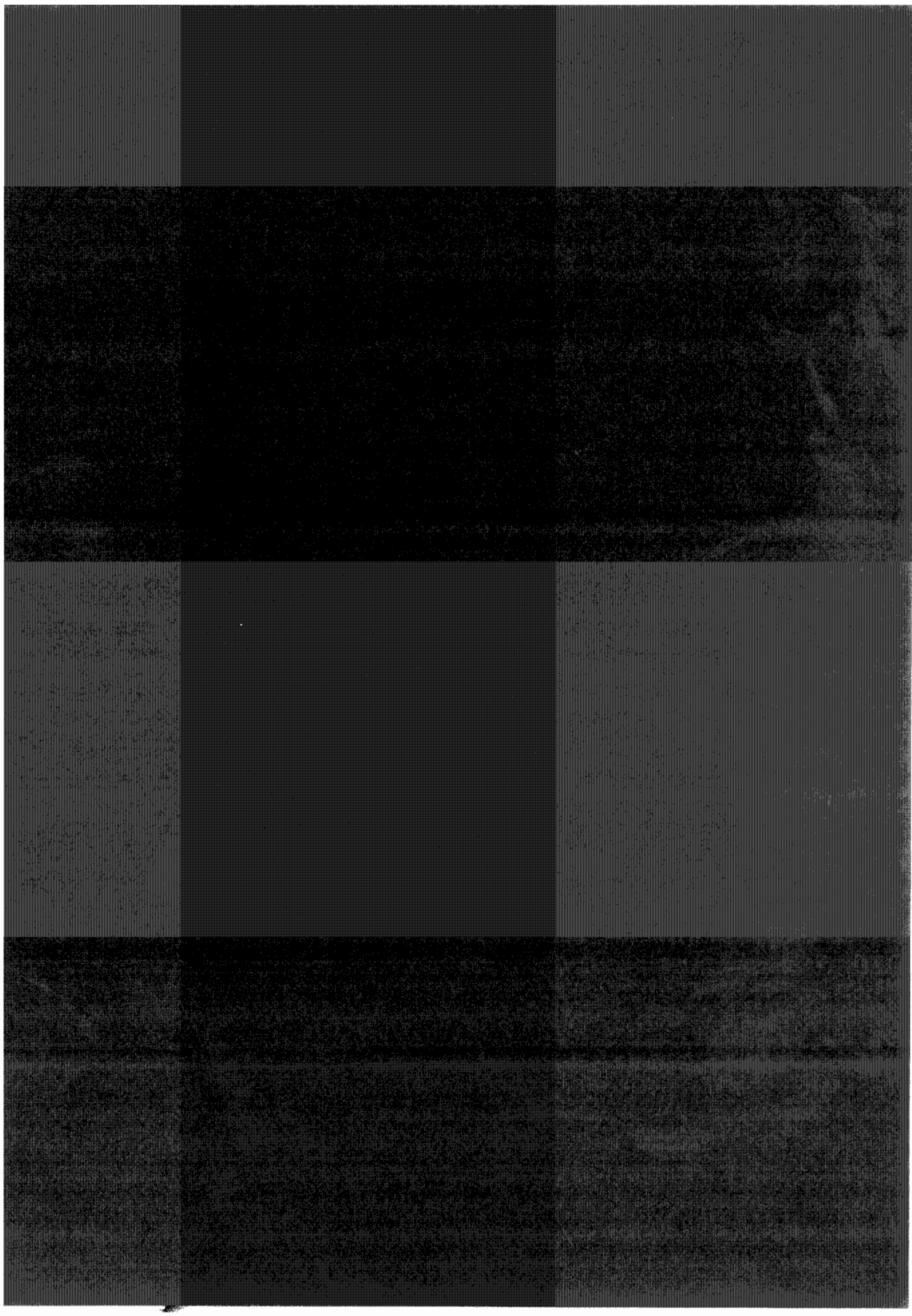
11 Literatuur

- Akker, M.F.A. van den & Wiel, B.J.H van de (1996). *Hoogwatervoorspellingen voor de Rijn bij Lobith met Hybride modellen; De hydrologische Muskingum methode uitgebreid met lineaire en niet-lineaire updatingstechnieken*. Afstudeerscriptie, vakgroep waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Andersson, M. P.; Woessner W. W. (1992). *Applied Groundwater Modeling; Simulation of flow and Advective transport*. USA.
- Bakel, P.J.T. van (1986). *Planning, design and operation of surface water management systems; a case study*. ICW, Wageningen.
- Beltratti, R.; Margarita S.; Terna P. (1996). *Neural Networks for economic and financial modelling*. University of Turin, Italy.
- Braake, H. te (1997). *Neural control of biotechnological processes*. Proefschrift, TU, Delft.
- Brochure Groot Salland (1997). Groot Salland waterschap. Zwolle.
- Broekhuizen, R.; Peters D.; Renting J.; Rijsman M.; Vroonhof K. (1996). *Pompen of vedrogen; Infiltratie onderzoek Boetelerveld*. IAH-Larenstein.
- CUV (1988). Cultuurtechnisch vademecum. *Werkgroep herziening cultuurtechnisch vademecum*. Cultuurtechnische vereniging, Utrecht.
- Edelman, J. H. (1947). *Grondwaterstandsverlaging ten gevolge van kanaalpeilverlaging*. Proefschrift, Delft.
- Ernst, L. F. (1958). *Verhoging van grondwaterstanden en vermindering van afvoer door opstuwing van beken*. Overdruk uit verslagen technische bijeenkomsten 11-12, commissie hydrologische onderzoekingen. T.N.O. No. 3.
- Ernst, L. F. (1962). *Grondwaterstroming in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen*. Verslagen landbouwkundige onderzoekingen, proefschrift, Wageningen.
- Gruyter, E. de (1998). *Project gewenste grond- en oppervlakesituatie voor waterschap 't Suydevelt*. Coevorden.

- Hemker, C.J. & G.-J. Nijsten (1997); *Groundwater Flow Modeling using Micro-Fem*. Versie 3.0, A'dam.
- Hipel, K.W. & McLeod, A.I. (1994). *Time series modelling of water resources and environmental systems; Developments in water science*. Elsevier nr. 45. University of Waterloo, Ontario, Canada.
- Jousma, G.; Gehrels, J.C.; Laeven M.P.; Dael, J.G.F. van (1997). *Evaluatie van provinciale grondwatermeetnetten; Methodiek en voorbeelden*. TNO-rapport, NITG 97-256B, Delft.
- Jousma, G. & H. Th. L. Massop (1996). *Intreeweerstand waterlopen; Inventarisatie en analyse*. DLO-Staring centrum en TNO-grondwater en Geo-energie, TNO-rapport GG-R-96-15(A).
- Kresic, N. (1997). *Quantitative solutions in hydrology and groundwater modeling*. USA.
- LHTS (1997). *Landelijke hydrologische analyse van het topsysteem*. Interceptierapport, TNO-rapport concept 2, NITG, Delft.
- Lobbrecht, A.H. (1997). *Dynamic water-system control; Design and operation of regional water-resources systems*. Proefschrift. STOWA nummer: 97-24.
- Louw, P.G.B. de & Stuurman R.J. (1997). *Mogelijkheden voor watersysteemoptimalisatie door actief peilbeheer in het Merkske stroomgebied, deelrapport 2*. TNO-rapport, NITG 97-277-B, Delft.
- Massop, H.Th.L.; Stuyt, L.C.P.M.; Bakel, P.J.T. van; Prak, H. & Bouwmans, J.M.M. (1997). *Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand; Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand*. SC-DLO, Rapport 527.1 Wageningen.
- Masters, T. (1995)-I; *Neural, novel & hybrid algorithms for times series prediction*. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Masters, T. (1995)-II; *Advanced Algorithms for neural networks; A c++ sourcebook*. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Saradis, G.N. (1977). *Self organizing controls of stochastic systems*. New York, USA.
- Seyhan, E. (1980). *Application of statistical methods to hydrology*. VU, Amsterdam.

- Torfs, P.J.J.F. (1998). *Algebraische Neurale Netwerken*. Colledictaat, LU, Wageningen.
- Vries, J.J. de (1982). *Anderhalve eeuw hydrologisch onderzoek in Nederland; Overzicht van de ontwikkeling van de wetenschappelijke kennis van het water in Nederland tussen 1830 en 1980, beschouwd vanuit een geohydrologische gezichtshoek*. VU, Amsterdam.
- Yevjevich, V. (1972). *Stochastic processes in hydrology*. Water resources publications Fort Collins, Colorado, U.S.A.





Bijlage hoofdstuk 1

Bijlage 1

Verklaring van de in het rapport gebruikte symbolen

Term	Symbool	Eenheid
Bergingscoëfficiënt	S	-
Intreeweerstand\uitreeweerstand	C	d
Doorlaatvermogen	kD	m ² .d ⁻¹
Drainage weerstand	v	d
Natte omtrek	P	m
Stijghoogte	h	m
Stroomsnelheid	v	m ² .d ⁻¹
Verticale weerstand (pakket)	c	d
Volume	V	m ³

Bron: Verklarende hydrologische woordenlijst

Definities

Intreeweerstand/uitreeweerstand

Weerstand ondervonden door grondwater bij het intreden/uit treden, van een open of gesloten leiding tengevolge van een weerstandbiedende grenslaag.

Drainage weerstand

Totale weerstand ondervonden door grondwater bij toestroming naar een systeem van open leidingen. De drainageweerstand is per definitie te berekenen als het quotient van de opbolling van het freatisch vlak tussen de waterlopen, en de specifieke afvoer bij stationaire stroming. (Jousma en Massop, 1996)

Bijlage hoofdstuk 3

(λ)	erfc (λ)	(λ)	erfc (λ)	(λ)	erfc (λ)
0.00	1.000	0.42	0.552	0.84	0.235
0.01	0.989	0.43	0.543	0.85	0.229
0.02	0.977	0.44	0.534	0.86	0.224
0.03	0.966	0.45	0.524	0.87	0.219
0.04	0.955	0.46	0.515	0.88	0.213
0.05	0.944	0.47	0.506	0.89	0.208
0.06	0.933	0.48	0.497	0.90	0.203
0.07	0.921	0.49	0.488	0.91	0.198
0.08	0.910	0.50	0.480	0.92	0.193
0.09	0.899	0.51	0.471	0.93	0.188
0.10	0.887	0.52	0.462	0.94	0.184
0.11	0.876	0.53	0.453	0.95	0.179
0.12	0.865	0.54	0.445	0.96	0.175
0.13	0.854	0.55	0.437	0.97	0.170
0.14	0.843	0.56	0.428	0.98	0.166
0.15	0.832	0.57	0.420	0.99	0.161
0.16	0.829	0.58	0.412	1.00	0.157
0.17	0.810	0.59	0.404	1.05	0.138
0.18	0.799	0.60	0.396	1.10	0.120
0.19	0.789	0.61	0.388	1.15	0.103
0.20	0.777	0.62	0.381	1.20	0.090
0.21	0.766	0.63	0.373	1.25	0.072
0.22	0.756	0.64	0.365	1.30	0.066
0.23	0.745	0.65	0.358	1.35	0.056
0.24	0.734	0.66	0.351	1.40	0.048
0.25	0.723	0.67	0.343	1.45	0.040
0.26	0.713	0.68	0.336	1.50	0.034
0.27	0.703	0.69	0.329	1.60	0.024
0.28	0.692	0.70	0.322	1.70	0.016
0.29	0.682	0.71	0.315	1.80	0.011
0.30	0.671	0.72	0.309	1.90	0.007
0.31	0.661	0.73	0.302	2.00	0.0048
0.32	0.651	0.74	0.295	2.10	0.0030
0.33	0.641	0.75	0.289	2.20	0.0019
0.34	0.631	0.76	0.282	2.30	0.00117
0.35	0.621	0.77	0.276	2.40	0.00070
0.36	0.611	0.78	0.270	2.50	0.00042
0.37	0.601	0.79	0.264	2.60	0.00024
0.38	0.591	0.80	0.258	2.70	0.00013
0.39	0.581	0.81	0.252	2.80	0.00008
0.40	0.572	0.82	0.252	2.90	0.00004
0.41	0.562	0.83	0.240	3.00	0.00002

Invoer

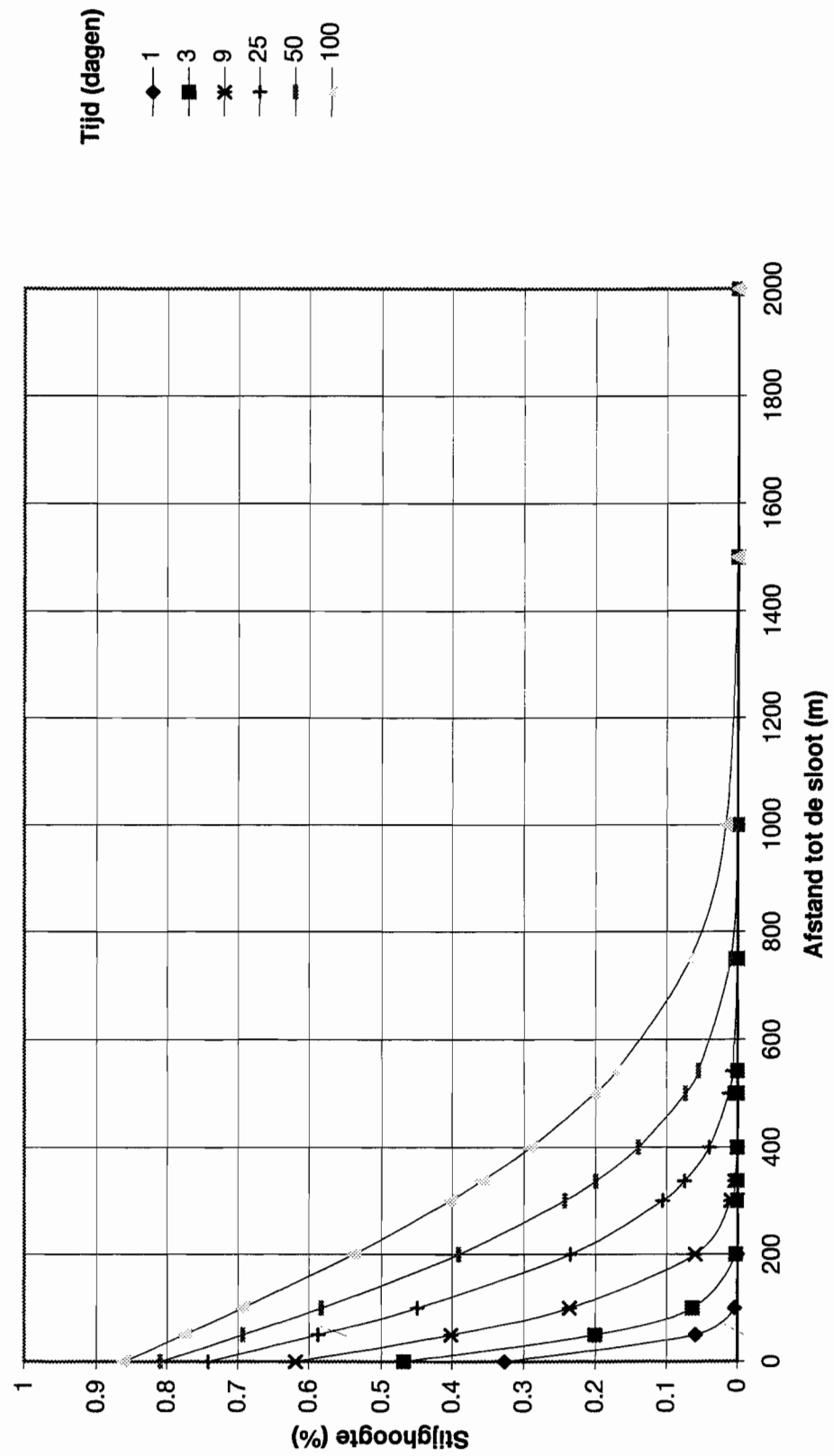
Invoer sheet voor Ernst-infiltratiemodel

Invoerwaarden

kD	200	m ² /d
S	0.2	(-)
C	2	(d)
P	5	(m)

Doorlatendheid pakket
 Bergingscoefficient
 Uittreeweerstand sloot
 Natte omtrek sloot

Uitkomsten analytisch model

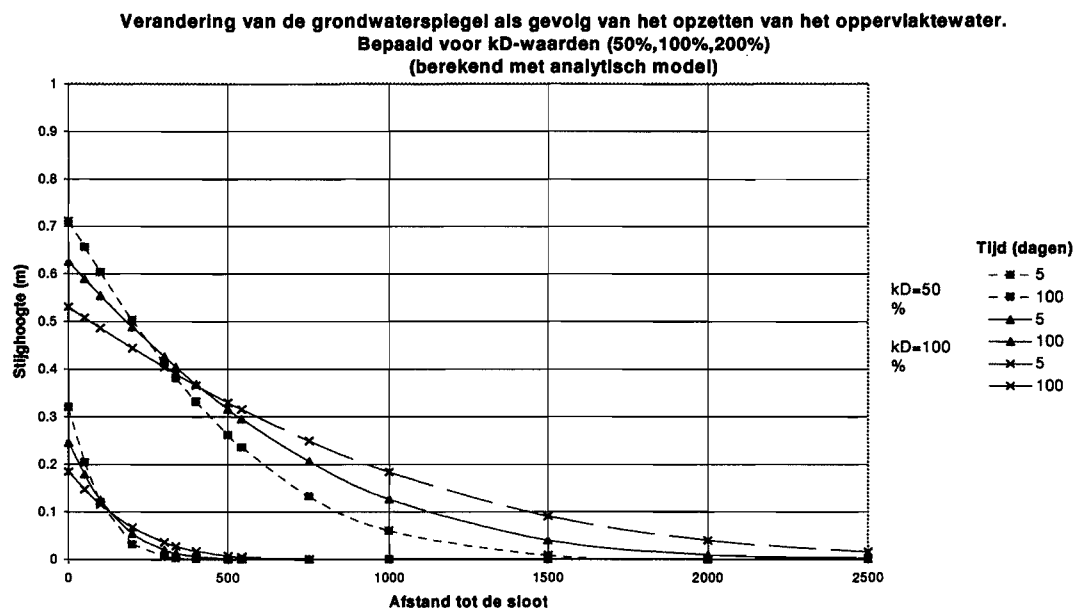


	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Berekeningssheet								
2									
3	Formule								
4	$\frac{\Delta h(x,t)}{\Delta a(t)} = \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{t}} - e^{x+\tau} (1 - \operatorname{erf}(\frac{x}{2\sqrt{t}} + \sqrt{\tau}))$								
5									
6									
7	waarbij								
8	$x = \frac{l}{2kDW}$								
9									
10									
11	Invoer waarden								
12	kD	200	M2/dag						
13	S	0.2							
14	C	1 dag							
15	P	5 m							
16									
17									
18	Berekende waarden								
19	w	0.2	dagen/m						
20	$\nearrow$								
21	=	C/P							
22									
23	X								
24	L (afstand tot sloot)	t (dagen)		0	50	100	...		
25		1		0	...	...	...		
26		3	...	...	...	...	...		
27	$\nwarrow$ (E24)/(2*kD*w)								
28									
29	T								
30	L (afstand tot sloot)	t (dagen)		0	50	100	...		
31		1		0.156	...	..	...		
32		3		..	...	...	...		
33	$\nwarrow$ (C33)/(4*S*kD*(w)^2)								
34									
35									
36									
37	ERFcY1								
38	L (afstand tot sloot)	t (dagen)		0	50	100	...		
39		1		1	..	..	...		
40		3		..	..	..	...		
41	$\nwarrow$ ERF((D26)/(2*SQRT(D33)))								
42									
43									
44									
45	ERF(Y2)								
46	L (afstand tot sloot)	t (dagen)		0	50	100	...		
47		1		0.424	...	...	...		
48		3		...	...	...	...		
49	$\nwarrow$ ERF((D26)/(2*SQRT(D33))+SQRT(D33))								
50									
51									

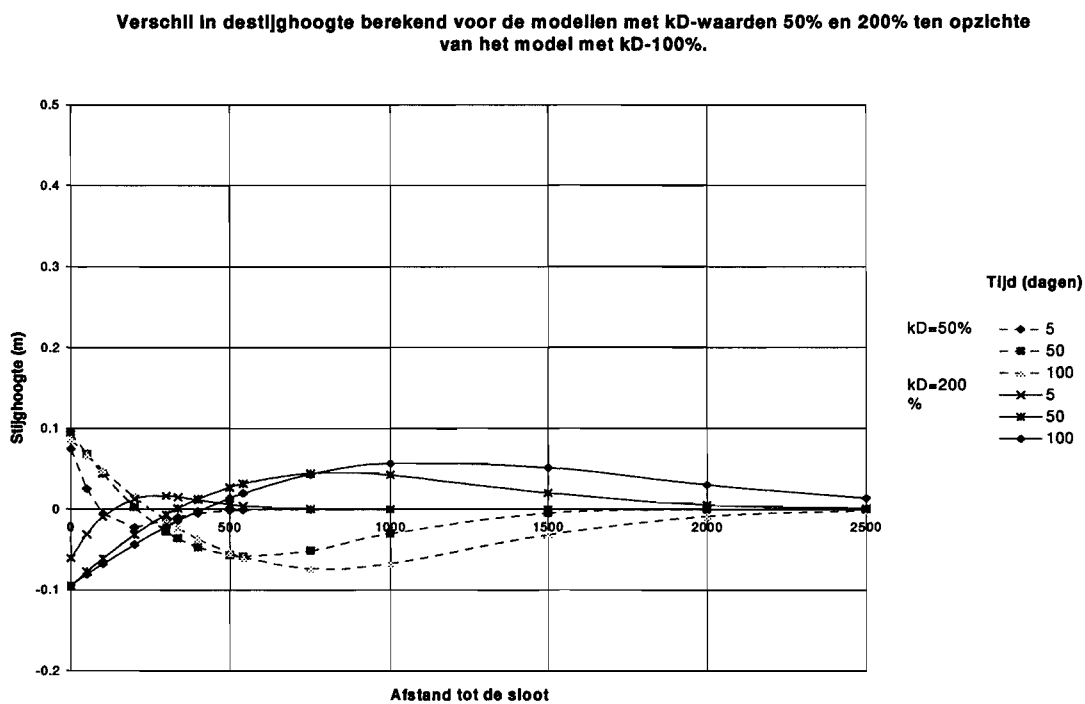
Berekeningssheet

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
52									
53						Y			
54			t (dagen)						
55		L (afstand		0	50	100	...		
56		tot sloot)	1	0.361	...	...	De uitkomsten van deze tabel		
57			3		...	...	worden weergegeven in de grafiek		
58		..			(D41)-(EXP(D26+D33))*(1-E49)				
59									
60									
61	Noord-raai								
62		5	18.25	50	92.48	144.8	193.5	337.41	542
63	1	0.25	0.15	0.14	0.13	0.09	0.07	0.05	0.05
64	3	0.29	0.20	0.18	0.18	0.16	0.12	0.10	0.10
65									
66									
67	Kleinste kwadraten criterium			(a-b) ²					
68									
69	=	(D63-E56)^2+(D64-E57)^2+.....							

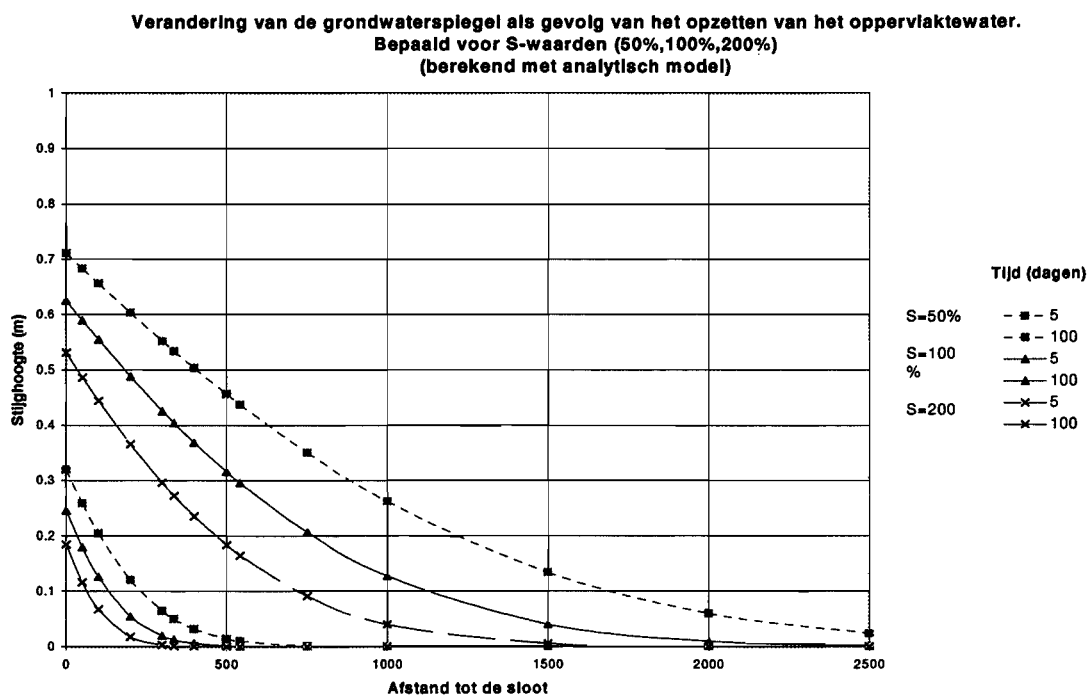
Bijlage 3.3a



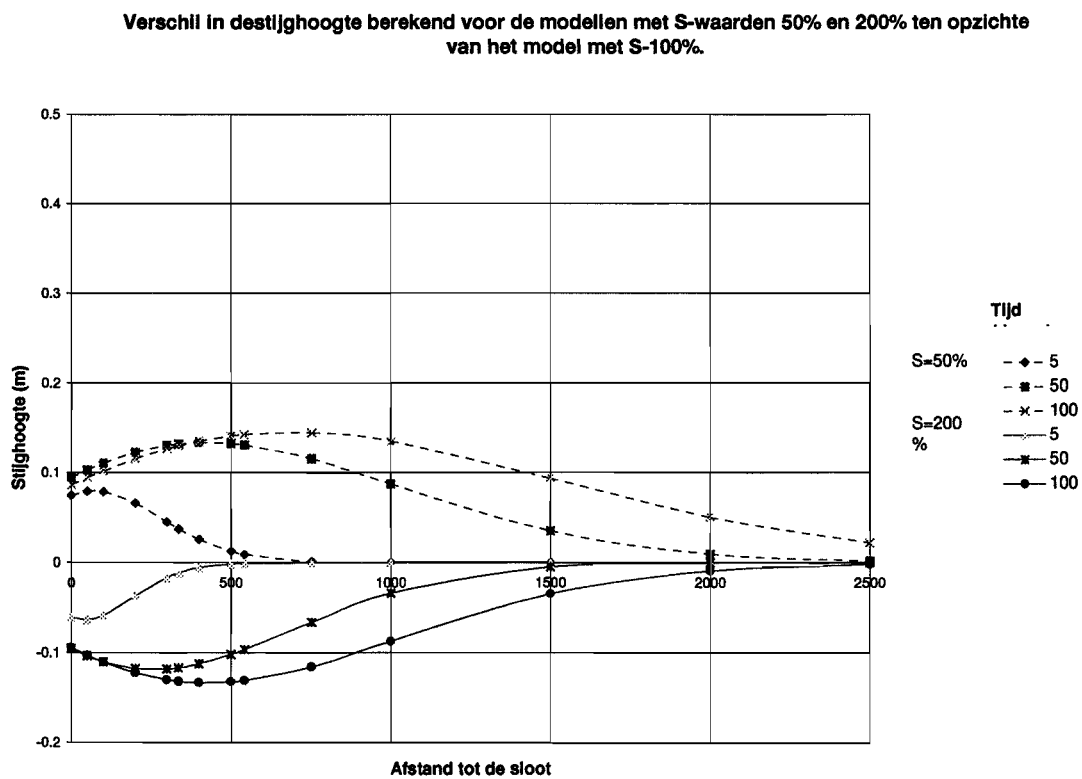
Bijlage 3.3b



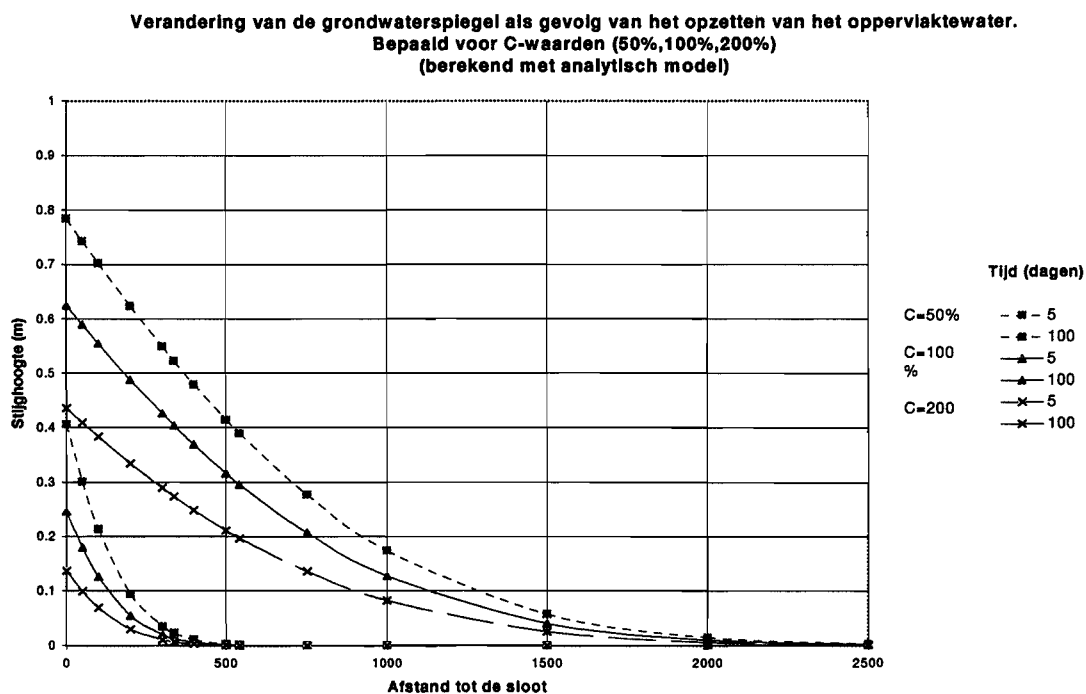
Bijlage 3.3c



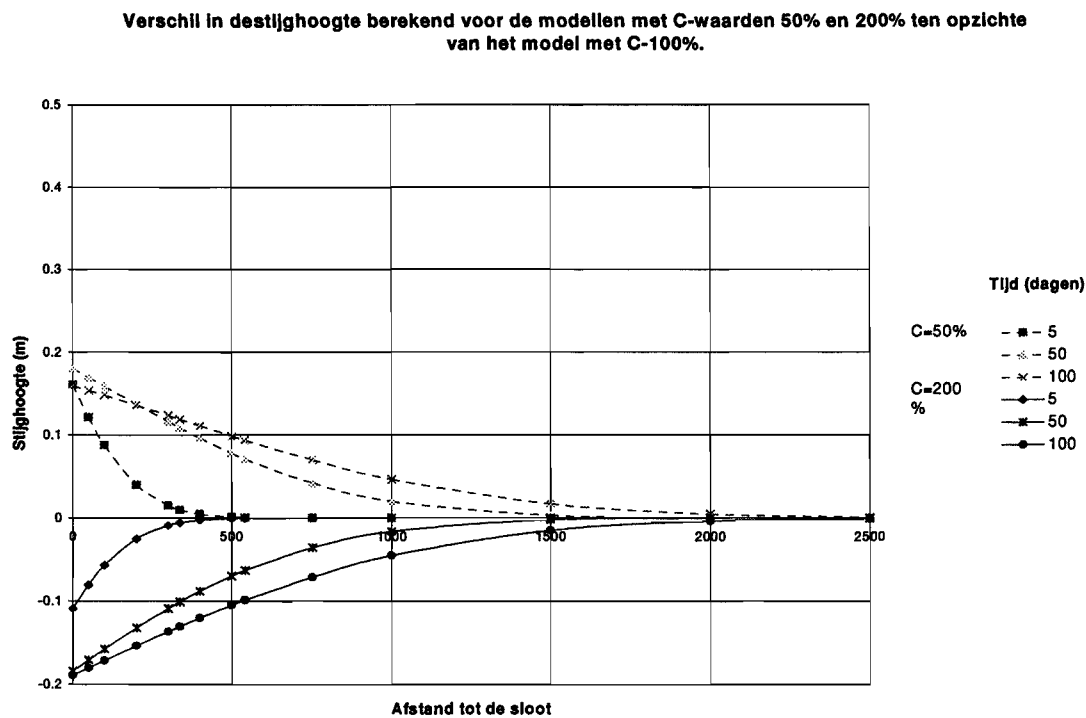
Bijlage 3.3d



Bijlage 3.3e

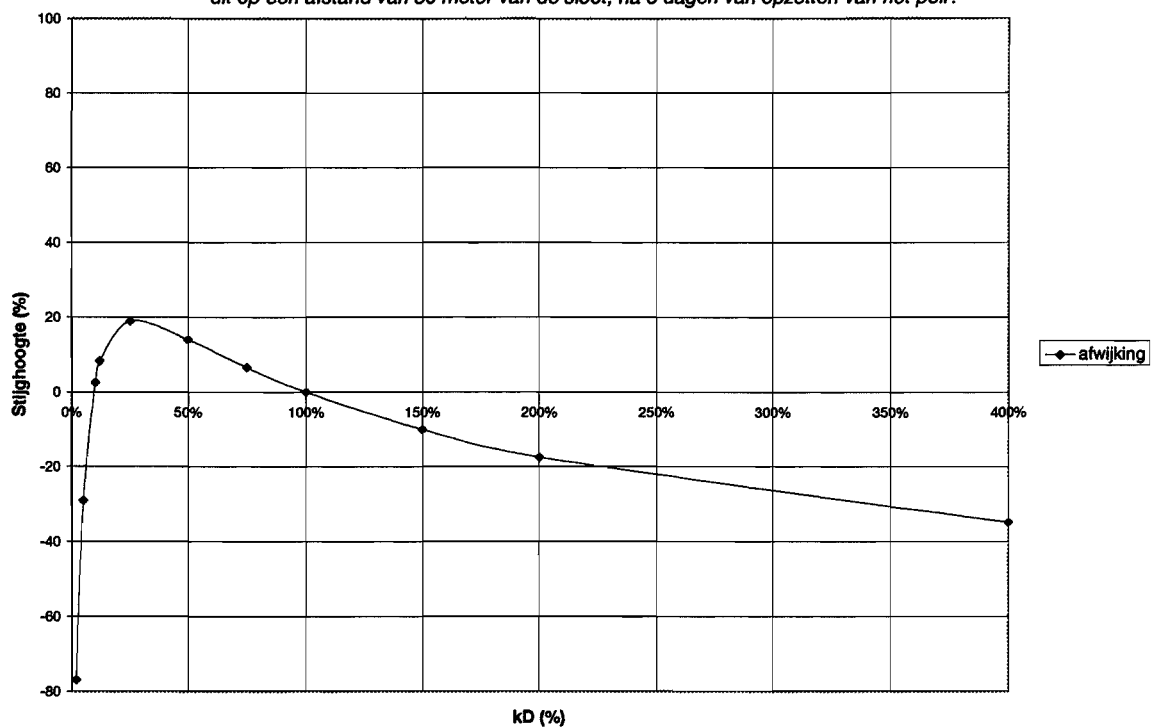


Bijlage 3.3f



Bijlage 3.4

**Verandering van de stijghoogte (in %), als gevolg van varlerende kD-waarden (%),
dit op een afstand van 50 meter van de sloot, na 5 dagen van opzetten van het peil.**



Bijlage hoofdstuk 4

Batch file

```
load fem = doorsned
s1 = s1
open * = scen1.fth
time days =5
run
time days =45
steps =1
run
time days =50
steps =1
run

save fem=100dag

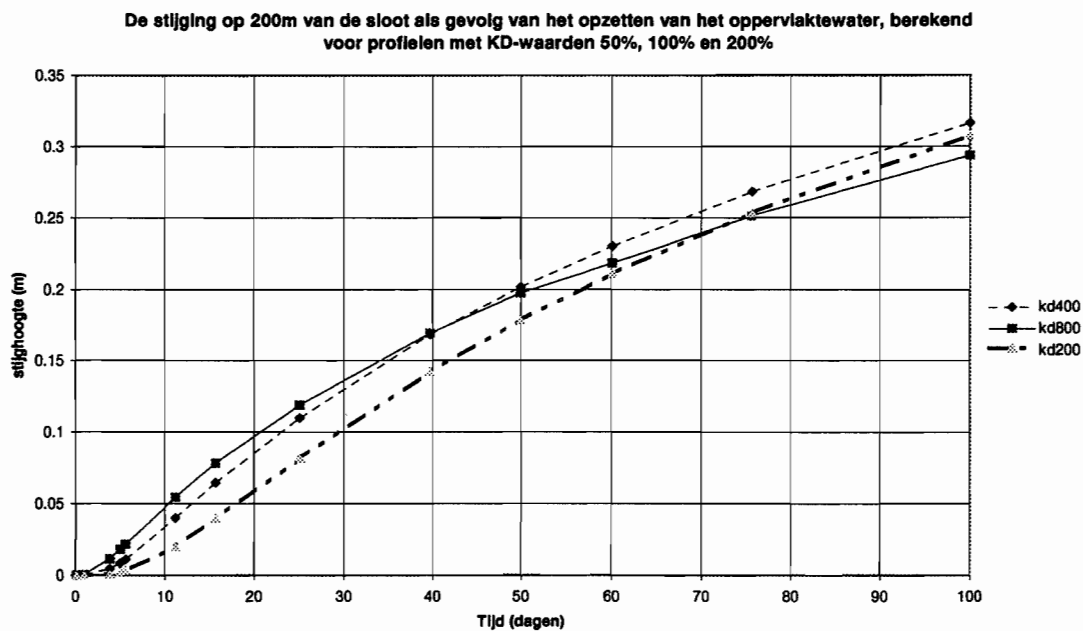
close

load fem = doorsned
s1 = s2
open * = scen2.fth
time days =5
run
time days =45
steps =1
run
time days =50
steps =1
run

save fem=100dag

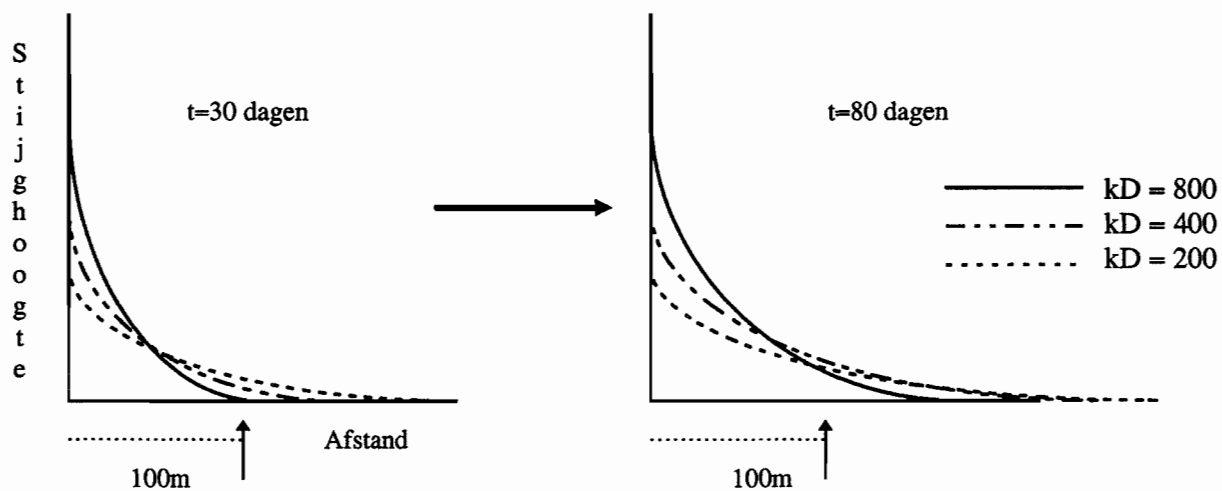
end
```

Bijlage 4.2a



Figuur.. Microfem model (opgeslagen: C:\microfem\quist create\scen4-step20-profiel)

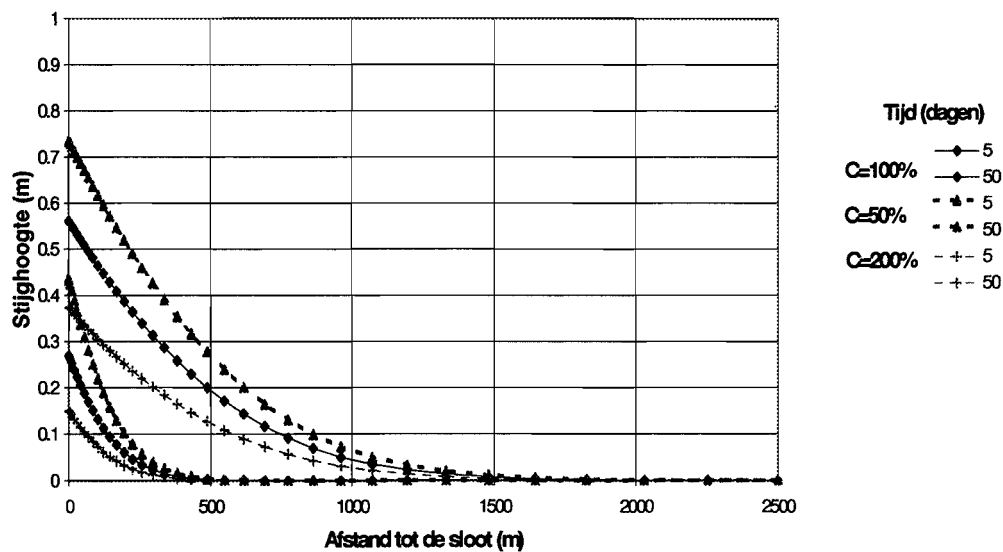
Bijlage 4.2b



Bijlage 4.3

Variatie van de slootweerstand

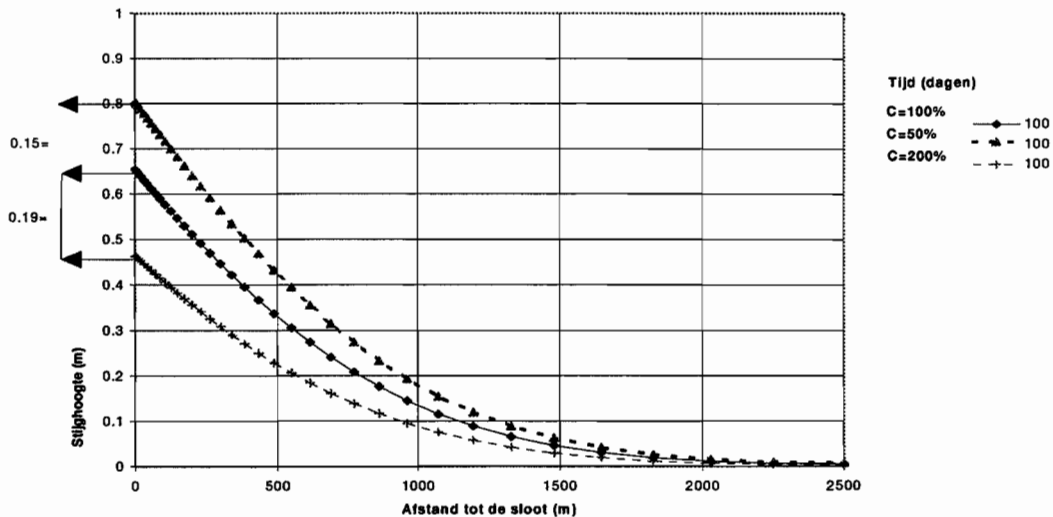
Bij een variatie in de slootweerstand is een effect in de verticaal waar te nemen (figuur 1). Een lagere slootweerstand geeft een verhoging van de stijghoogte in verticale richting, de reikwijdte van de golf in horizontale richting wordt niet groter.



Figuur 1 Verandering van de stijghoogte als gevolg van het opzetten van het oppervlaktewater. Bepaald voor verschillende C-waarden (voor 5 en 50 dagen)

In figuur 2 is goed waar te nemen dat een verhoging of verlaging van de weerstand, tevens niet-lineair gekoppeld is aan de stijghoogte in het profiel. Het effect kan worden verklaard door aan te tonen of de weerstand in de stromingsvergelijking tevens niet-lineair afhankelijk is van de stijghoogte. Echter de stromingsvergelijking is een niet eenvoudig op te lossen tweedegraads partiële differentiaalvergelijking.

Bijlage 4.3 (vervolg)



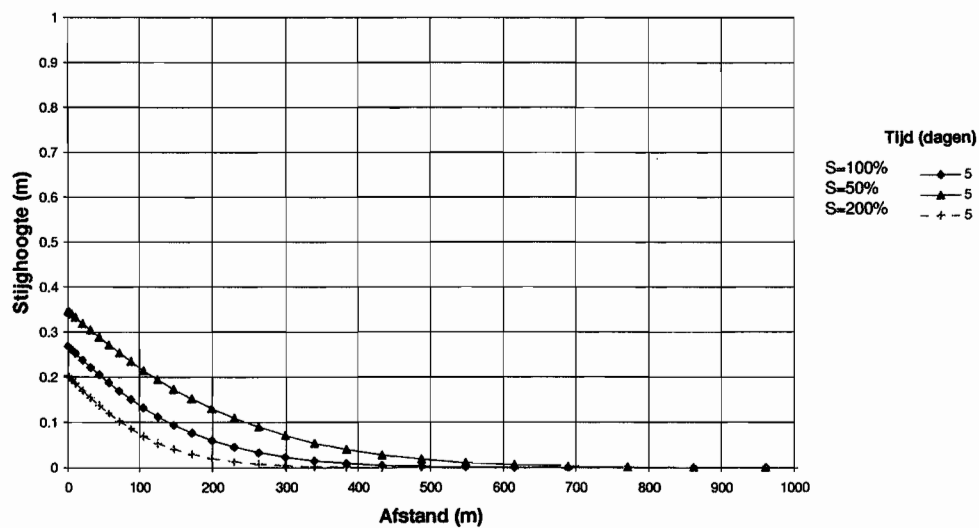
Figuur 2 Verandering van de stijghoogte als gevolg van het opzetten van het oppervlaktewater. Bepaald voor verschillende C-waarden (voor 100 dagen).

De variatie van de slootweerstand van 50% en 200% ten opzichte van 100% is uitgezet in bijlage 4.4a. In de figuur is te zien, dat bij een variatie van de slootweerstand met 50% en 200%, de stijghoogte verandert met 18cm-20cm dichtbij de sloot en naar nul (cm) loopt verderop van de sloot. Een Afwijking is zichtbaar voor de lijn van weerstand 200% en 5 dagen. De afwijking is dichtbij de sloot slechts 12cm (Ipv. 18cm). Dit wordt veroorzaakt doordat in het model de weerstandsverandering niet-lineair gekoppeld is aan stijghoogteverandering in de tijd. Met andere woorden, een hogere weerstand zorgt ervoor dat meer tijd nodig is voordat de stijghoogte het maximum bereikt heeft.

Variatie van de berging

Bij een variatie in de bergingscoëfficiënt is het effect op de stijghoogte zowel in de verticaal als in de horizontaal waar te nemen (figuur 3). Deze processen zijn tevens niet-lineair in de tijd.

Bijlage 4.3 (vervolg)

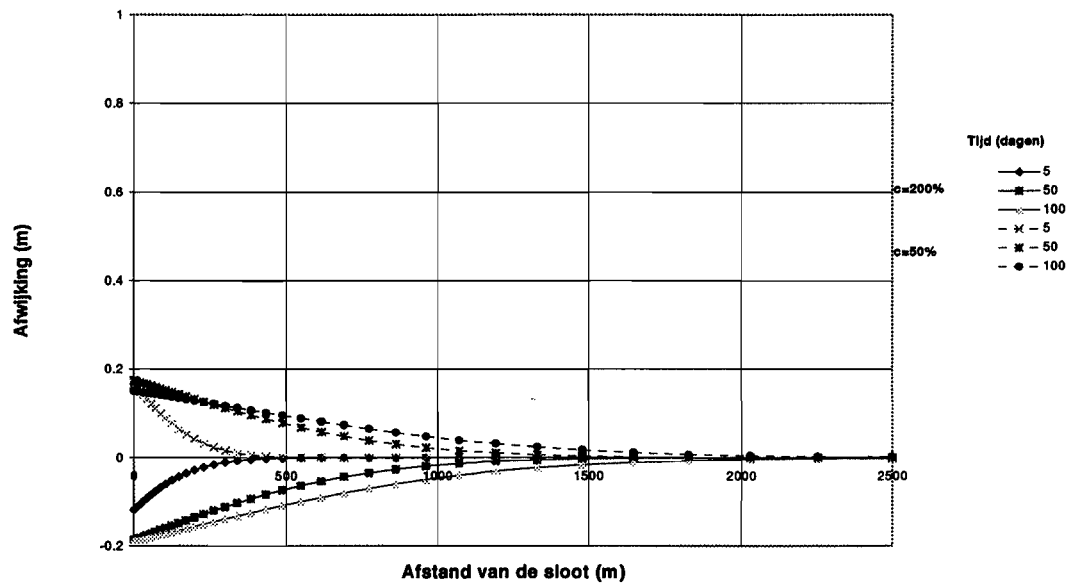


Figuur 3 Verandering van de grondwaterspiegel als gevolg van het opzetten van het oppervlaktewater, voor verschillende *S*-waarden.

In bijlage 4.4b is de afwijking van de stijghoogte bij variatie van de bergingscoëfficiënt weergegeven.

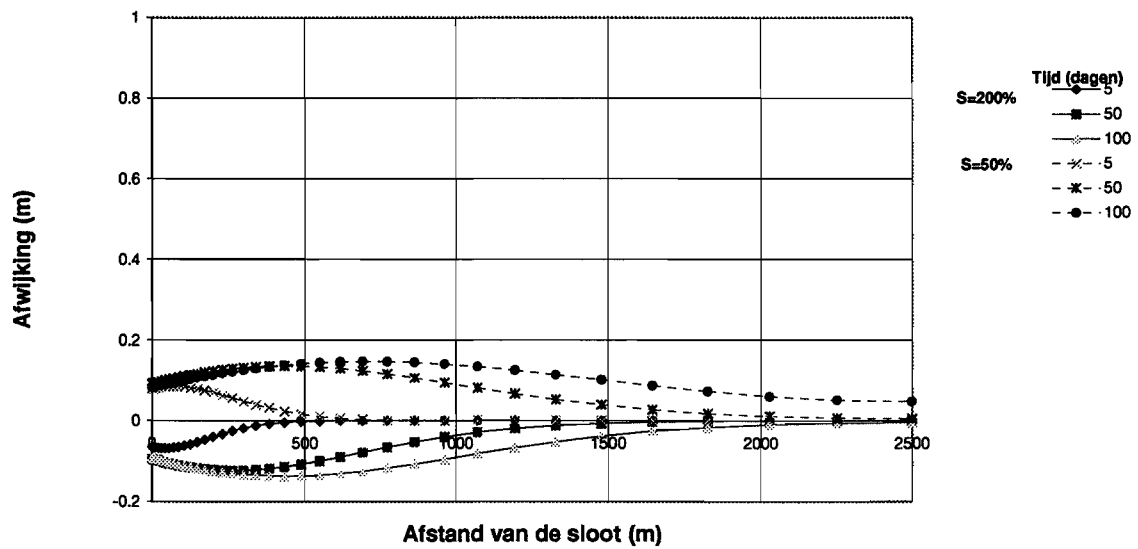
Bijlage 4.4a

Verskil in de stijgahoogte berekend voor de modellen met C-waarden 50% en 200% ten opzichten van het model met C-100%.



Bijlage 4.4b

Afwijking van de stijgahoogte bij variatie van de bergingscoëfficiënt



Bijlage hoofdstuk 6

bron: REGIS



Nederlands Instituut
voor Toegepaste
Geowetenschappen TNO

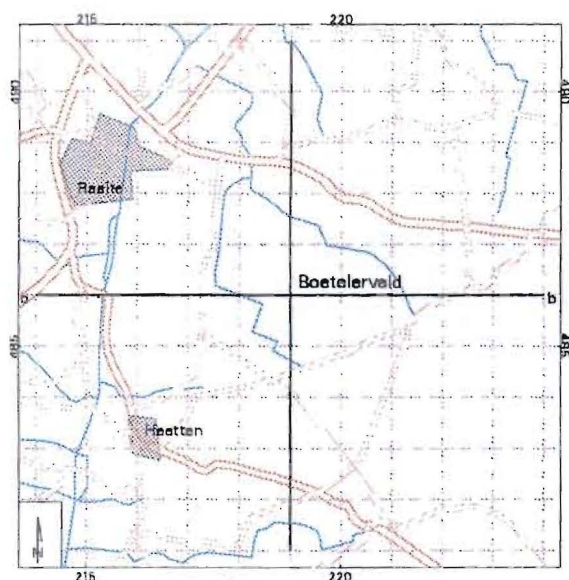


locatie: Boetelerveld

Kartering op schaal 1:50000

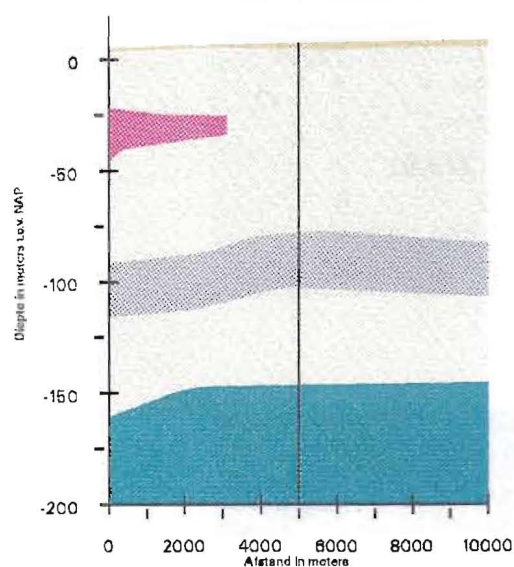
Aanmaakdatum plot: 23-04-1998

Profielen gebaseerd op uit
boringen en/of gedigitaliseerde
contouren geïnterpolerde gride
met een sample-afstand van
100 meter langs de profiellijn

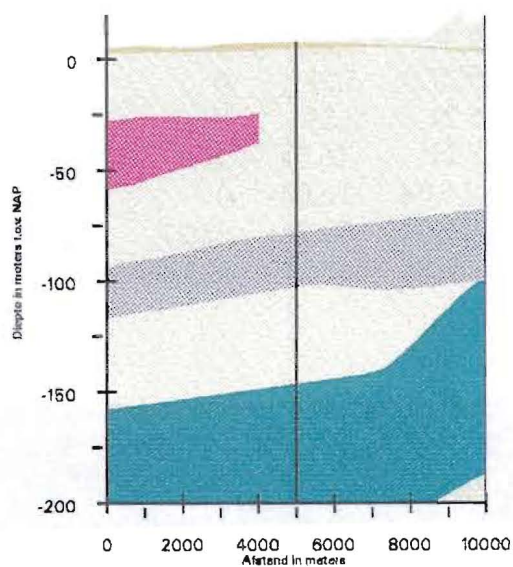


Schaal 1:150000

Profiel gidslagenmodel a-a'



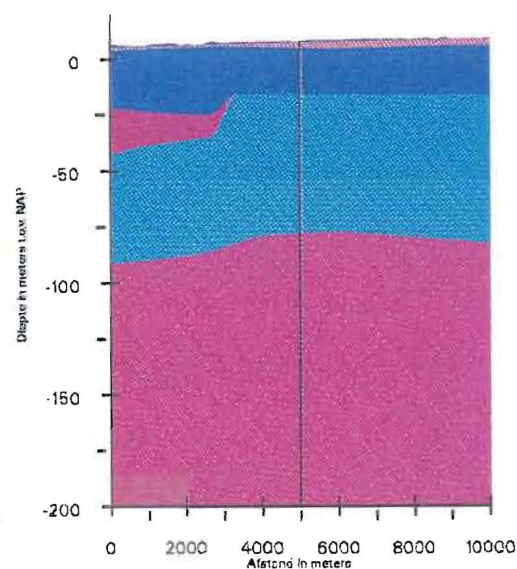
Profiel gidslagenmodel b-b'



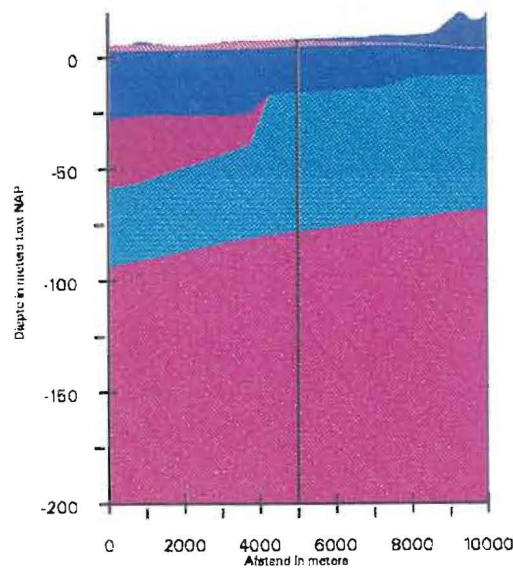
Gidslagen

- Doorlatend materiaal
- Tw16lv
- Dr26k
- Dh44k
- Bd52k

Profiel geohydrologisch model a-a'



Profiel geohydrologisch model b-b'



Geohydrologische eenheden

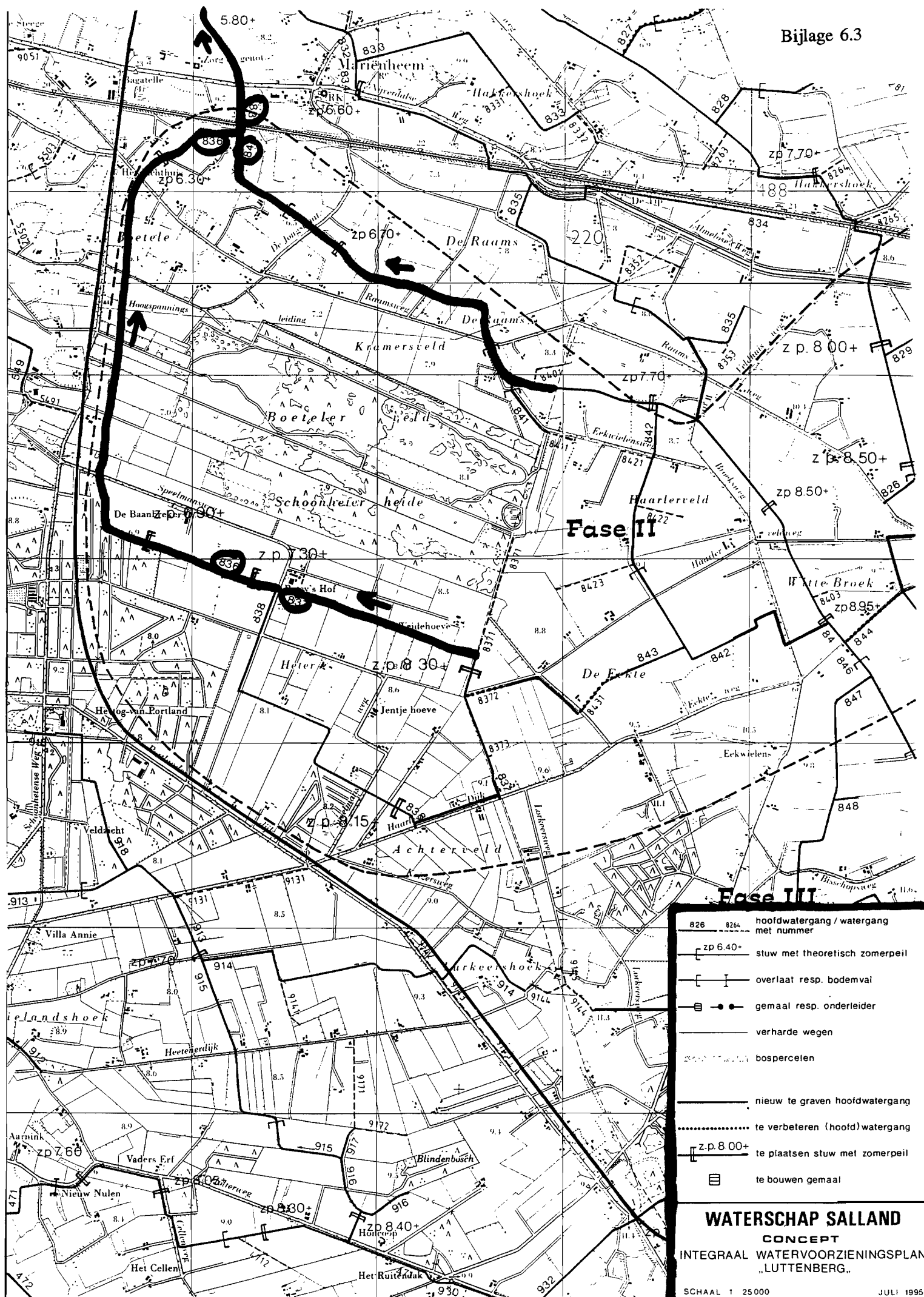
- FRP
- DKL
- WVP1
- SDL1
- WVP2
- SDL2
- WVP3
- QHB

Bijlage 6.2 Gegevens ondergrond (REGIS)

Locatie:	216419, 486991 (zie bijlage..punt1)						
Maaiveld:	5,85						
Eenheid	Top	Basis	Dikte	K-hor	K-ver	KD	C
FRP	5,85	5,85	0	5,32	?	0	?
DKL	5,85	2,93	2,91	?	0,03	?	103,67
WVP1	2,93	2,93	0	27,92	?	0	?
SDL1	2,93	2,93	0	?	0	?	?
WVP2	2,93	-26,23	29,23	42,1	?	1230,46	?
SDL2	-26,23	-45,49	19,26	?	0	?	8864,92
WVP3	-45,49	-85,06	39,57	13,62	?	538,95	?
GHB	-85,06	-423,83	338,77	?	?	?	?

Locatie:	218626, 486951 (zie bijlage..punt2)						
Maaiveld:	7,65						
Eenheid	Top	Basis	Dikte	K-hor	K-ver	KD	C
FRP	7,65	7,37	0,28	5,8	?	1,61	?
DKL	7,37	5,21	2,16	?	0,03	?	78,44
WVP1	5,21	5,21	0	22,14	?	0	?
SDL1	5,21	5,21	0	?	0	?	?
WVP2	5,21	-16,04	21,2	57,53	?	1219,81	?
SDL2	-16,04	-16,04	0	?	0,01	?	0
WVP3	-16,04	-79,31	63,27	24,5	?	1550,19	?
GHB	-79,31	-402,79	323,48	?	?	?	?

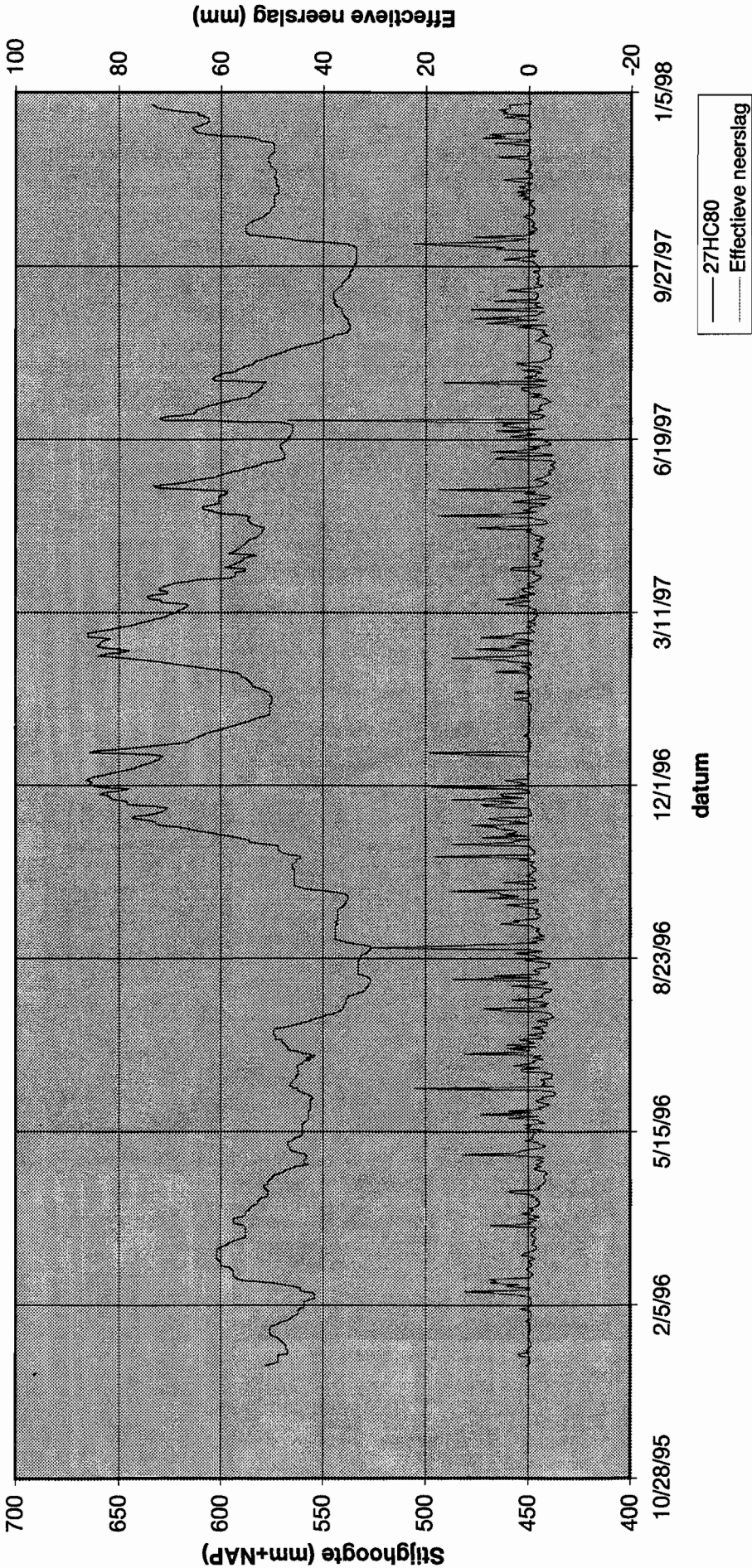
Locatie:	221216, 486991 (zie bijlage..punt3)						
Maaiveld:	9,03						
Eenheid	Top	Basis	Dikte	K-hor	K-ver	KD	C
FRP	9,03	5,67	3,36	9,73	?	32,66	?
DKL	5,67	4,87	0,8	?	0,01	?	108,5
WVP1	4,87	4,87	0	16,41	?	0	?
SDL1	4,87	4,87	0	?	0	?	?
WVP2	4,87	-12,88	18,02	39,06	?	703,68	?
SDL2	-12,88	-12,88	0	?	0,01	?	0
WVP3	-12,88	-74,2	61,32	35,38	?	2169,64	?
GHB	-74,2	-377,21	303	?	?	?	?



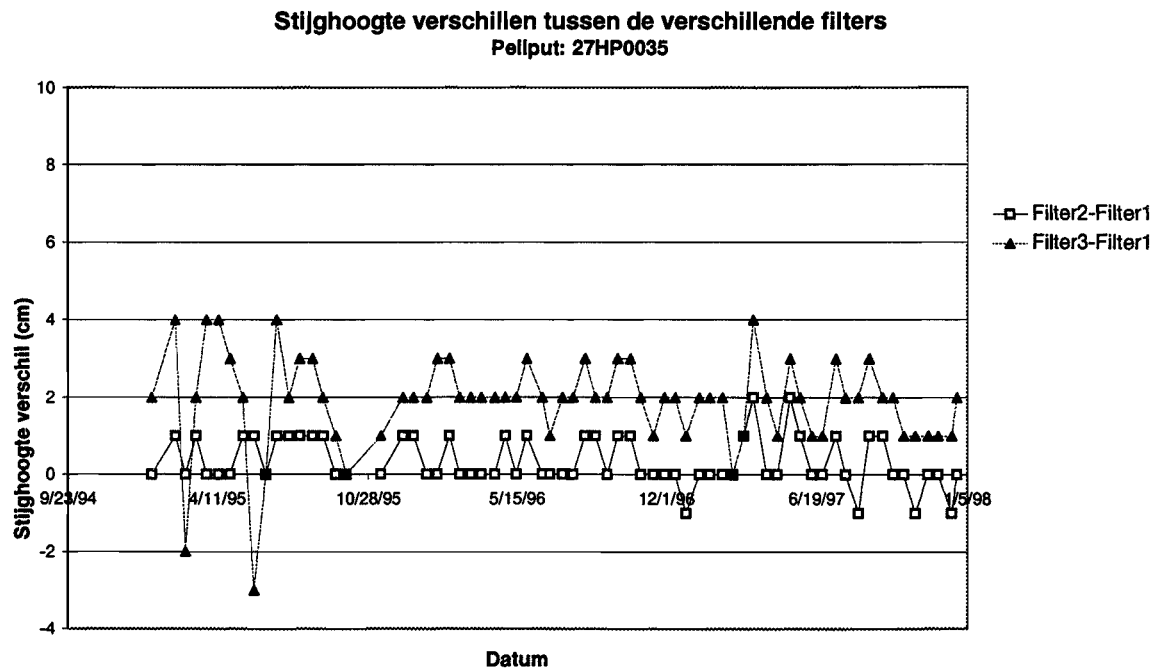
Tijd-Stijghoogtelijnen en effectieve neerslag

Peilbuis: 27HC80

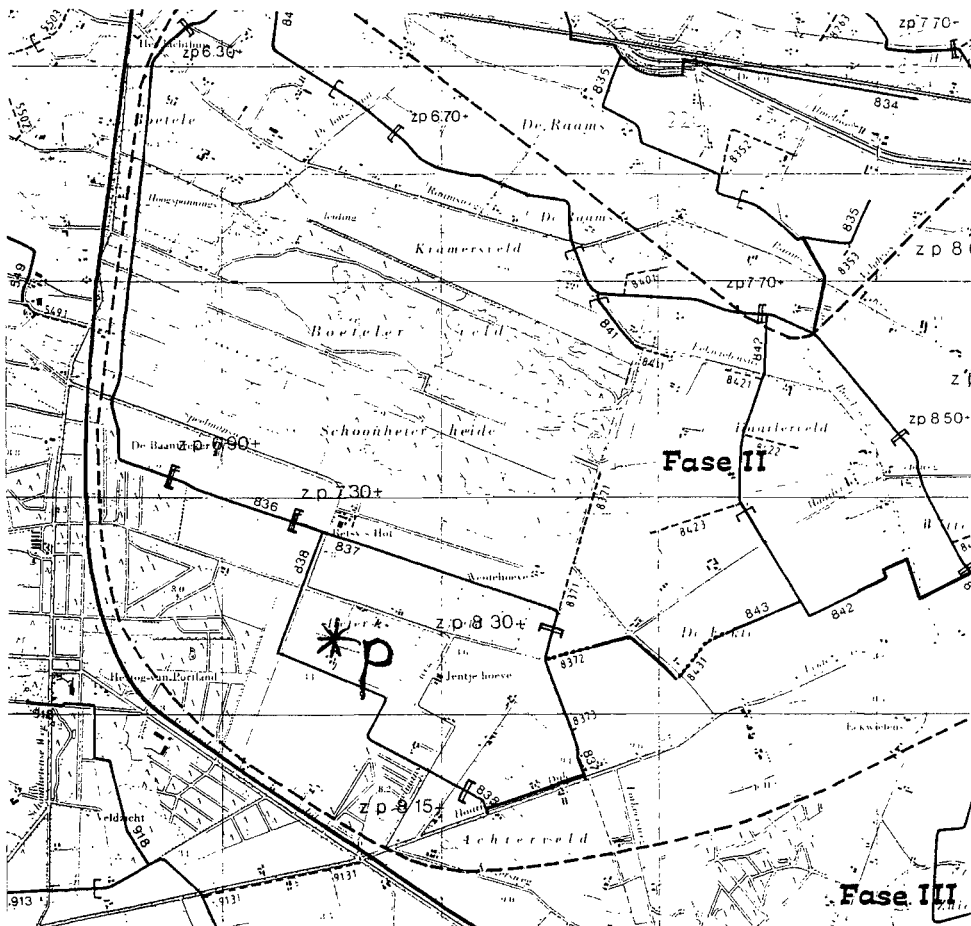
Filter: tweede watervoerend pakket



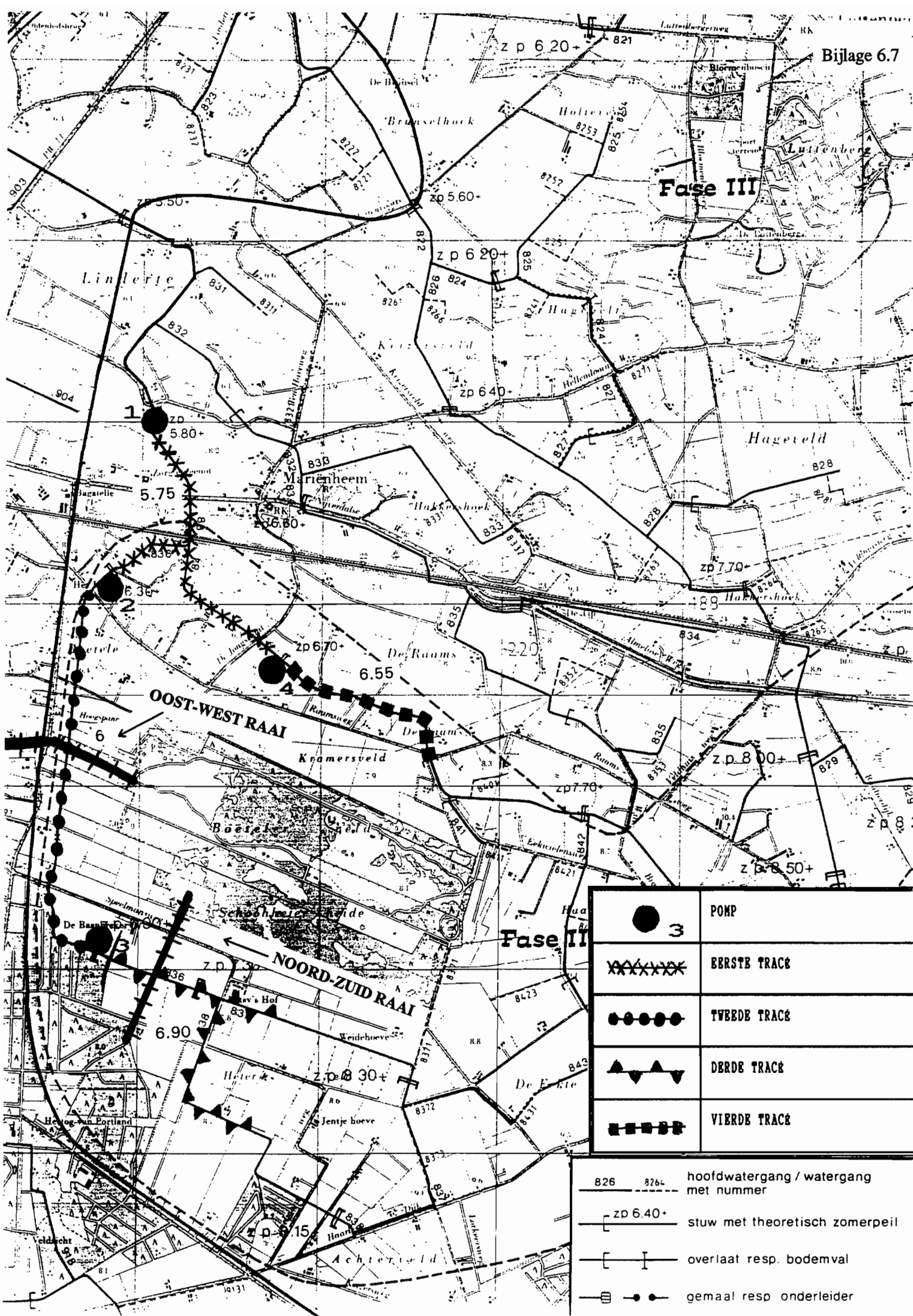
Bijlage 6.5a

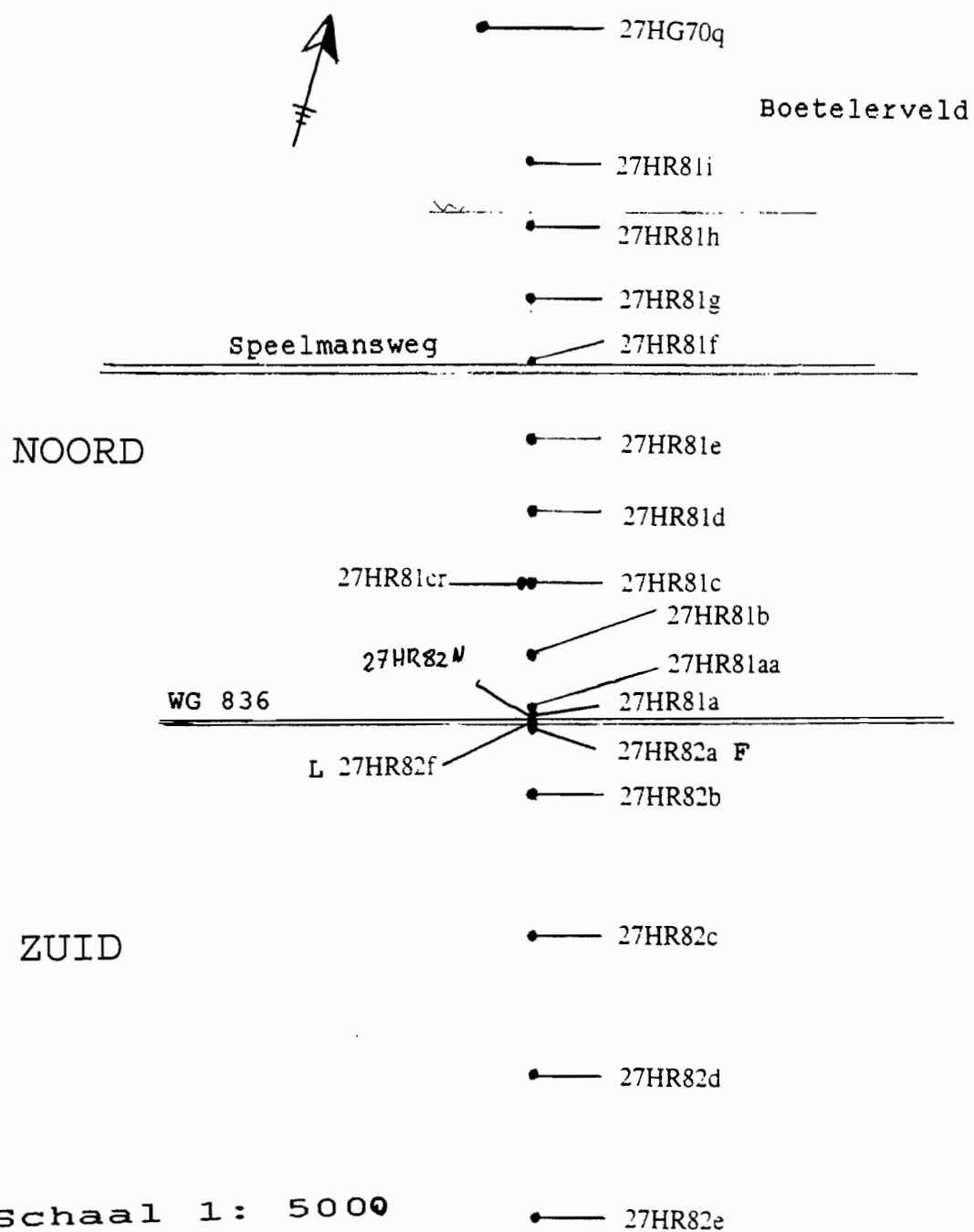


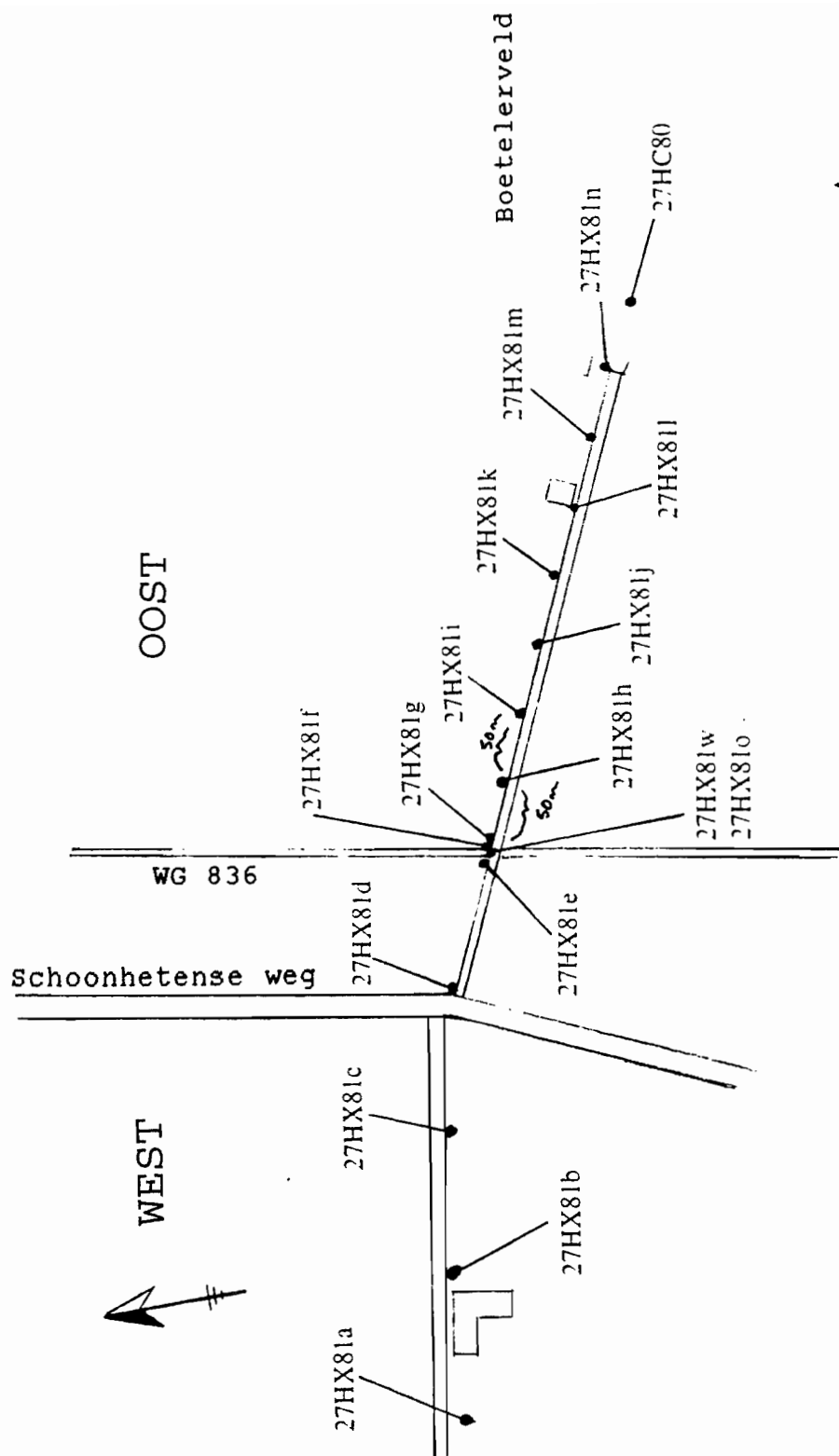
Bijlage 6.5b Plaats TNO-peilput (*p)



	A	B	C	D	E	F
1	Berekenen van K-verticaal tussen filter 1 en 2					
2	Peilbuis: 27HP0035					
3						
4	Diepte top	Diepte basis	dikte	Kh-waarde		Di/Ki
5	6.1	4.59	1.51	1		1.51
6	4.59	3.09	1.5	6.25		0.24
7	3.09	1.09	2	15.625		0.128
8	1.09	-1.41	2.5	36		0.069444
9	-1.41	-3.41	2	42		0.047619
10	-3.41	-4.91	1.5	60		0.025
11	-4.91	-6.91	2	6.25		0.32
12	-6.91	-8.41	1.5	36		0.041667
13		Sum	14.51		Sum	2.38173
14						
15	Kv= 0.1*(D/sumDi/Ki)					
16	0.609221	m/dag				
17			0.1*C13/F13			
18	Berekening van de hoeveelheid kwel(/m2)					
19						
20	Wet van Darcy					
21	Q=	0.419862845	mm/dag			
22						
23			1000*A16*(0.01/C13)			



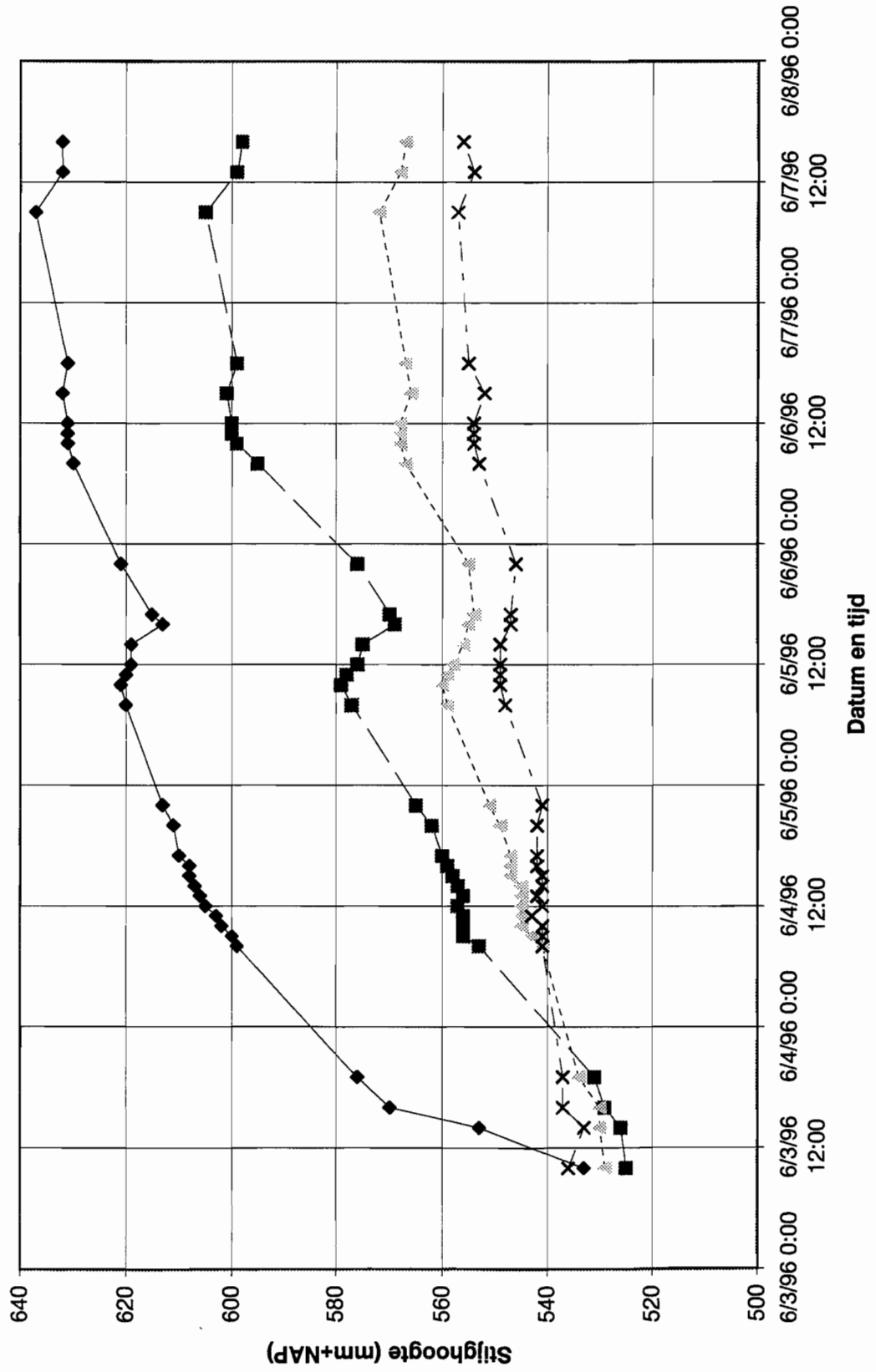




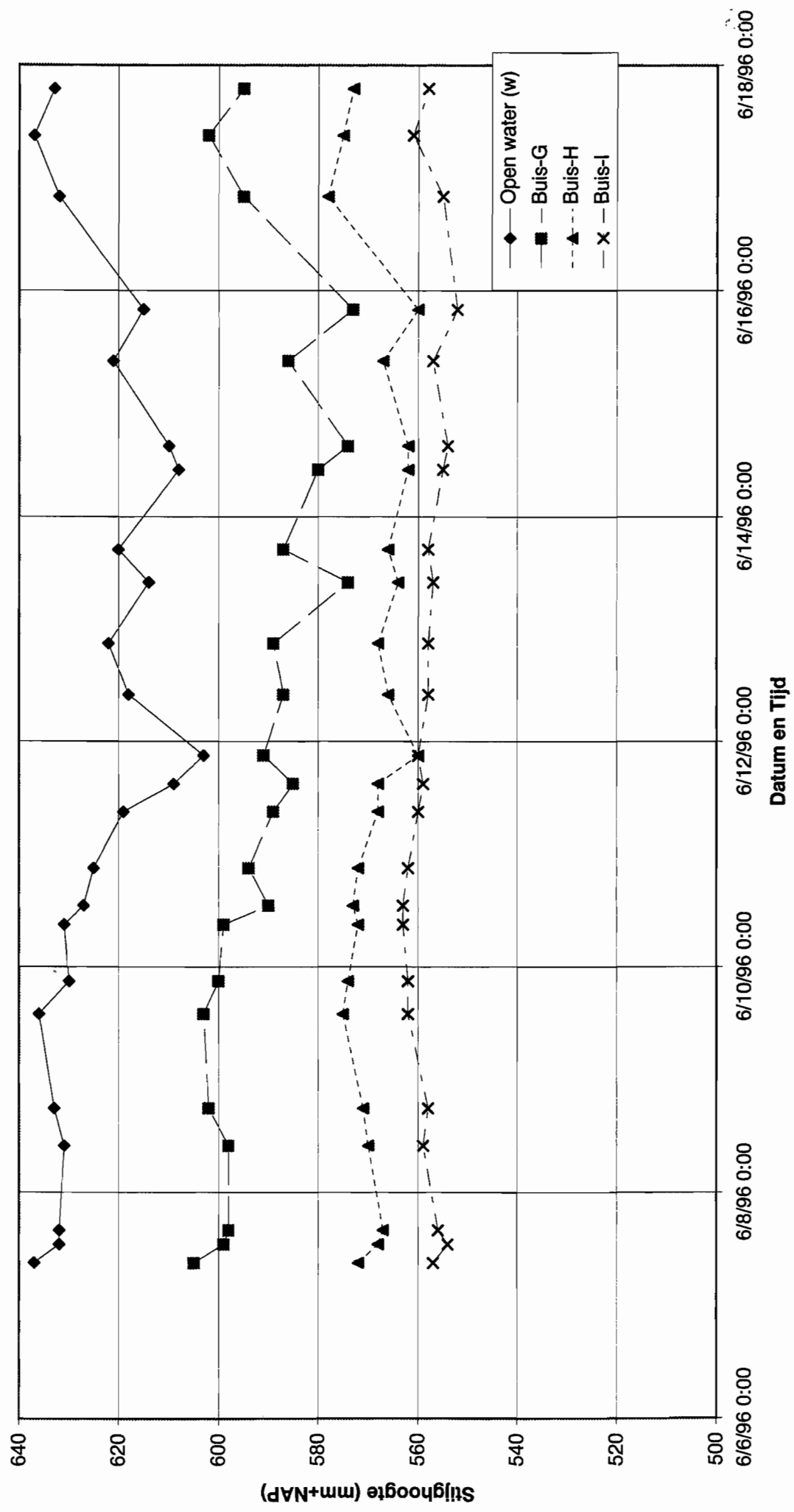
Schaal 1: 5000 ↑

Tijd-Stijghoogtelijnen

Raai: Oost-West



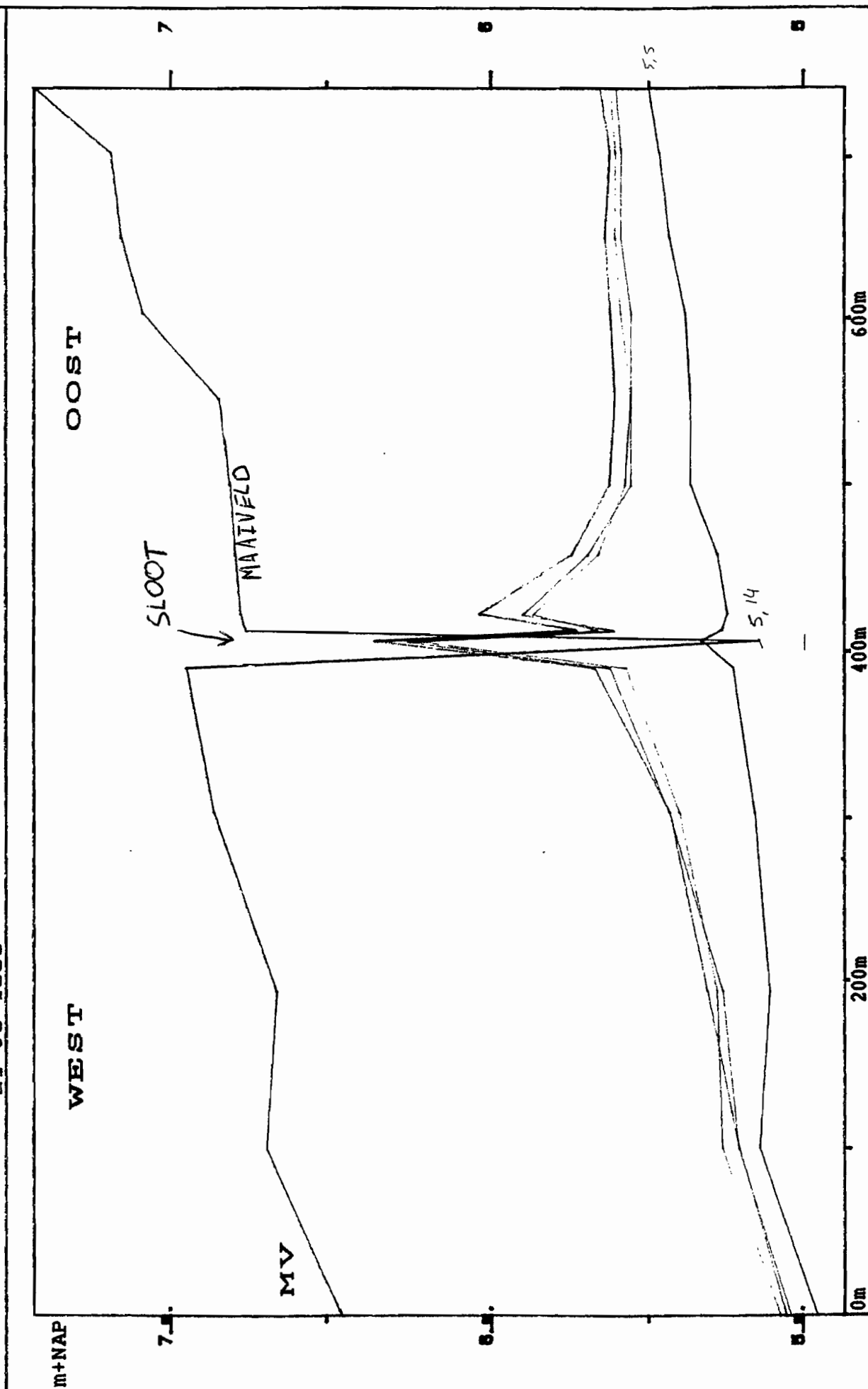
Tijd-Stijghoogtelijnen (Oost-Raai)



DWARSPROFIEL OOST-WEST RAAI

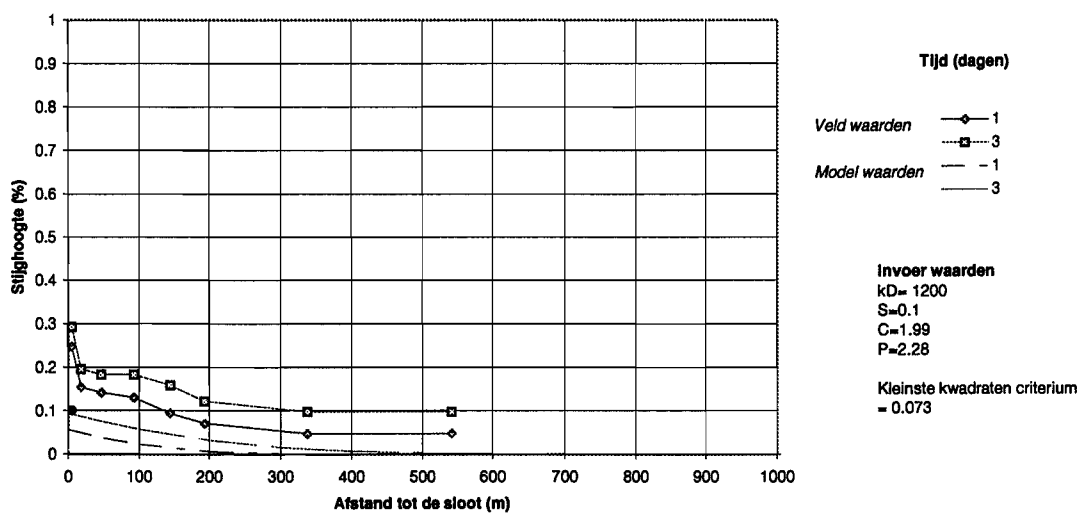
Schaal X: Y= 5238

Opnatedatum: 03-06-1996
09-06-1996
15-06-1996
21-06-1996



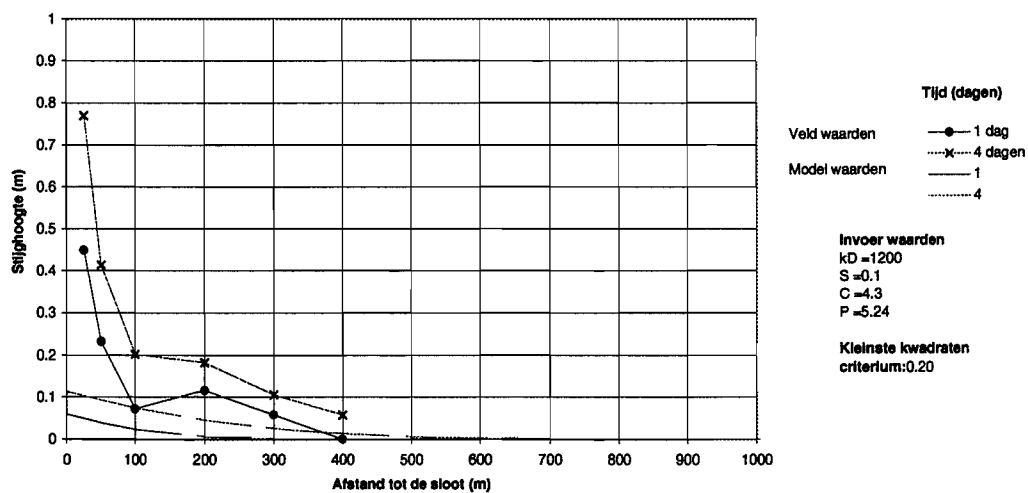
Bijlage 6.13a

Waarden analytisch model uitgezet tegen de veldwaarnemingen in de Noord-raai
Voor calibratie

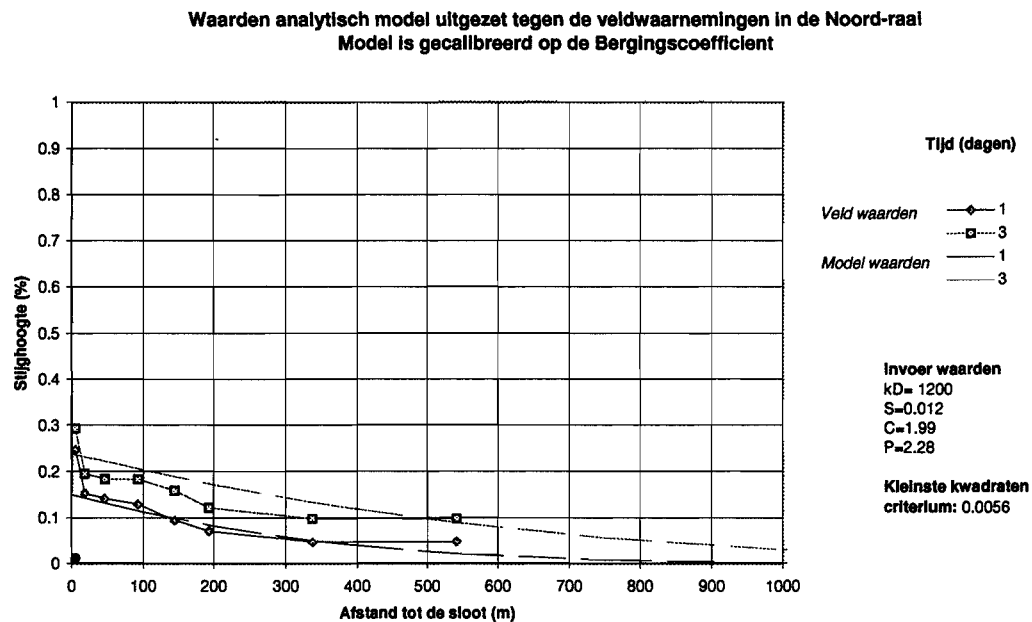


Bijlage 6.13b

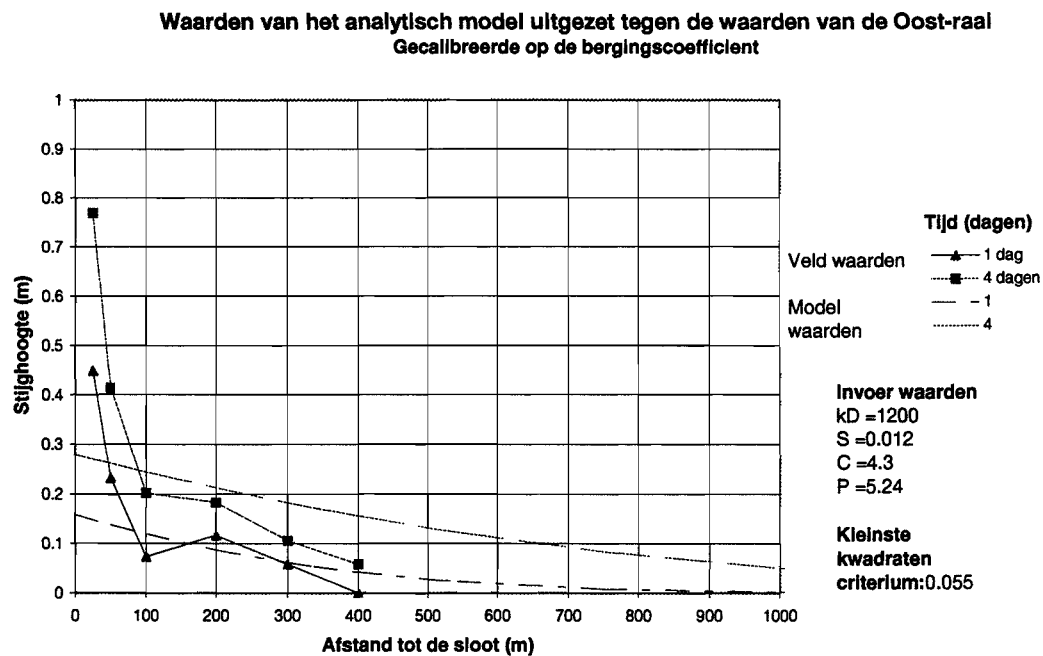
Waarden van het analytisch model uitgezet tegen de waarden van de Oost-raai
Ongecalibreerd



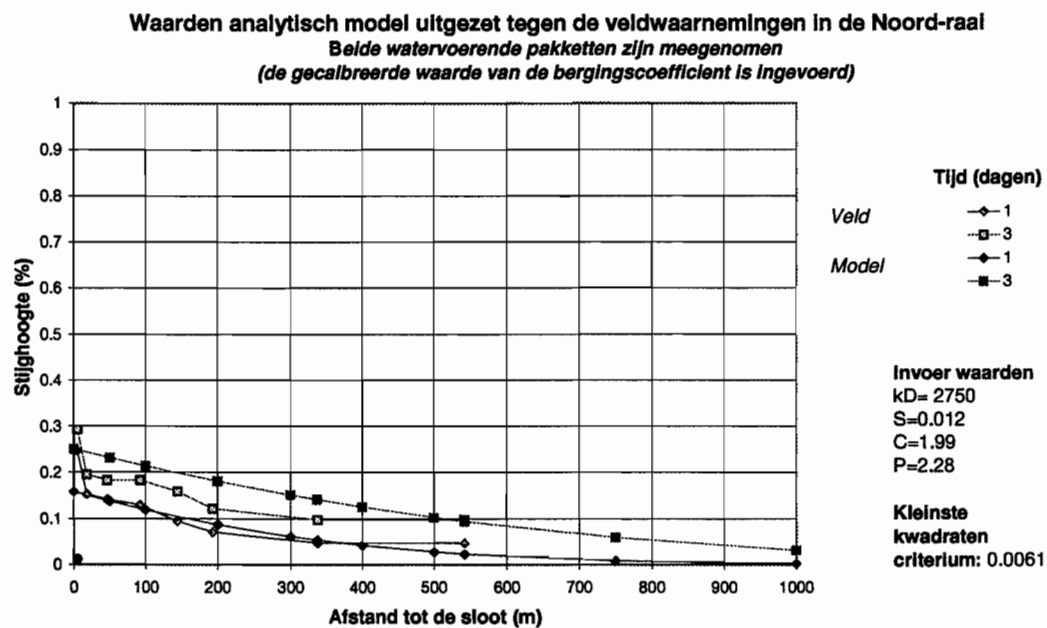
Bijlage 6.13c :



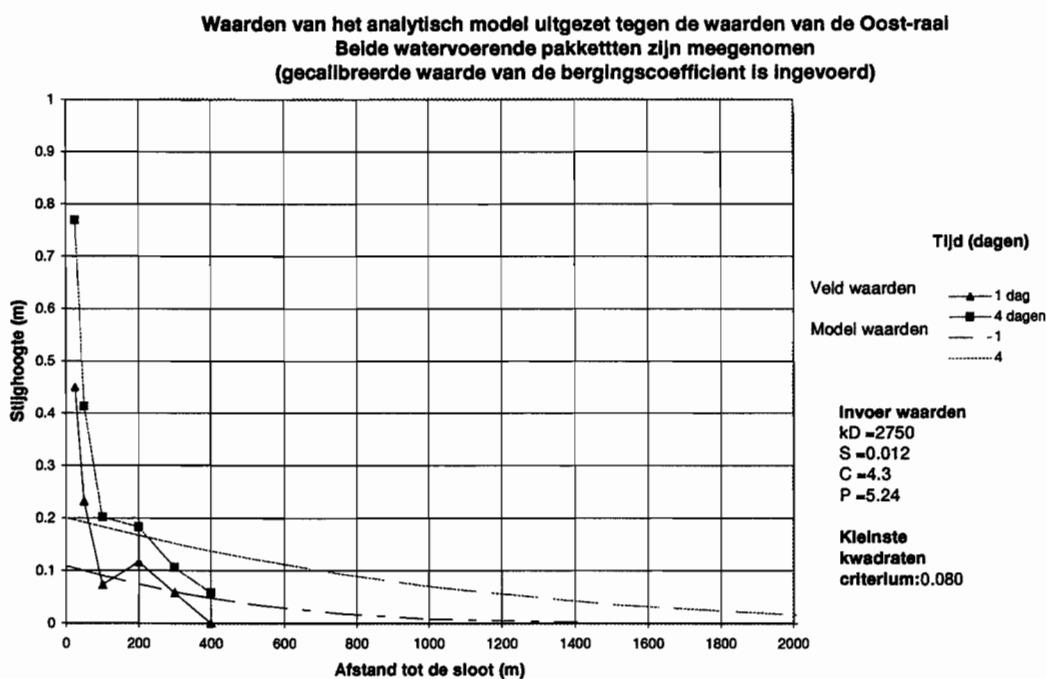
Bijlage 6.13d



Bijlage 6.13e

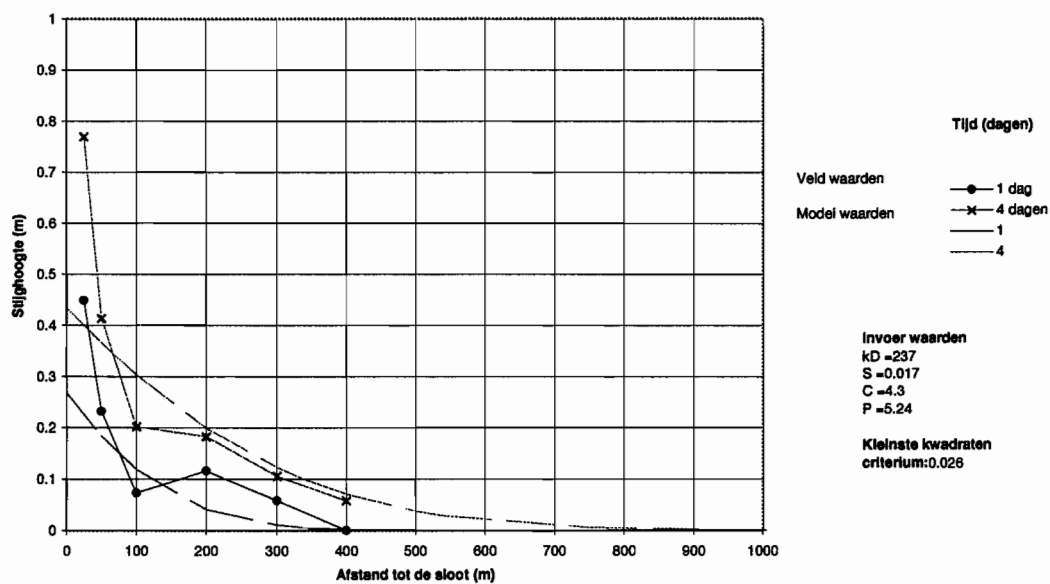


Bijlage 6.13f

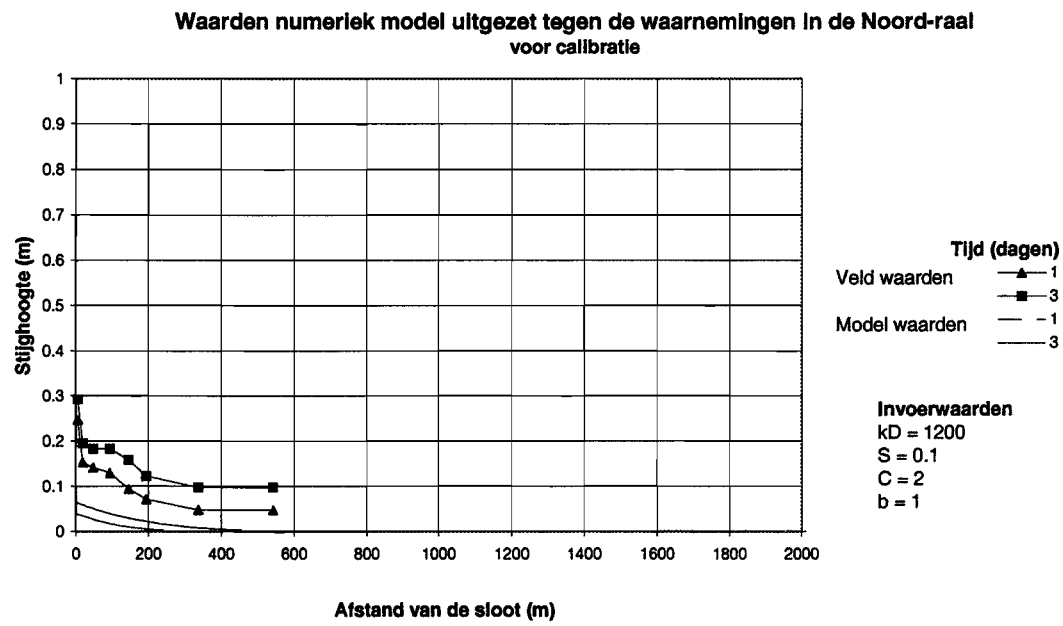


Bijlage 6.13g

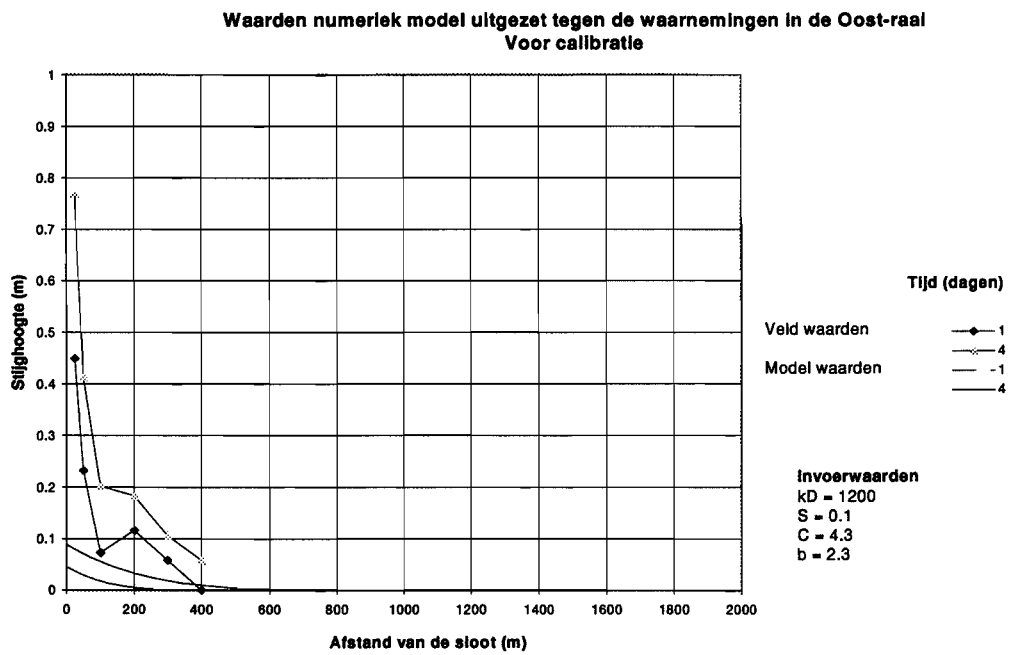
Waarden van het analytisch model uitgezet tegen de waarden van de Oost-raai
Gecalibreerd op de bergingscoefficient en de Kd-waarde van het pakket



Bijlage 6.14a

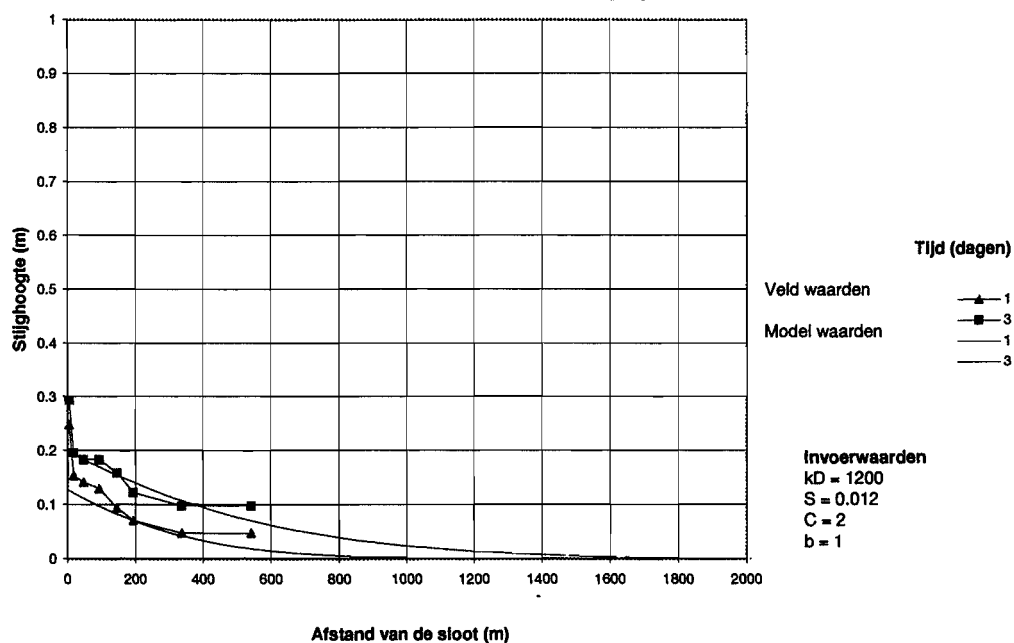


Bijlage 6.14b



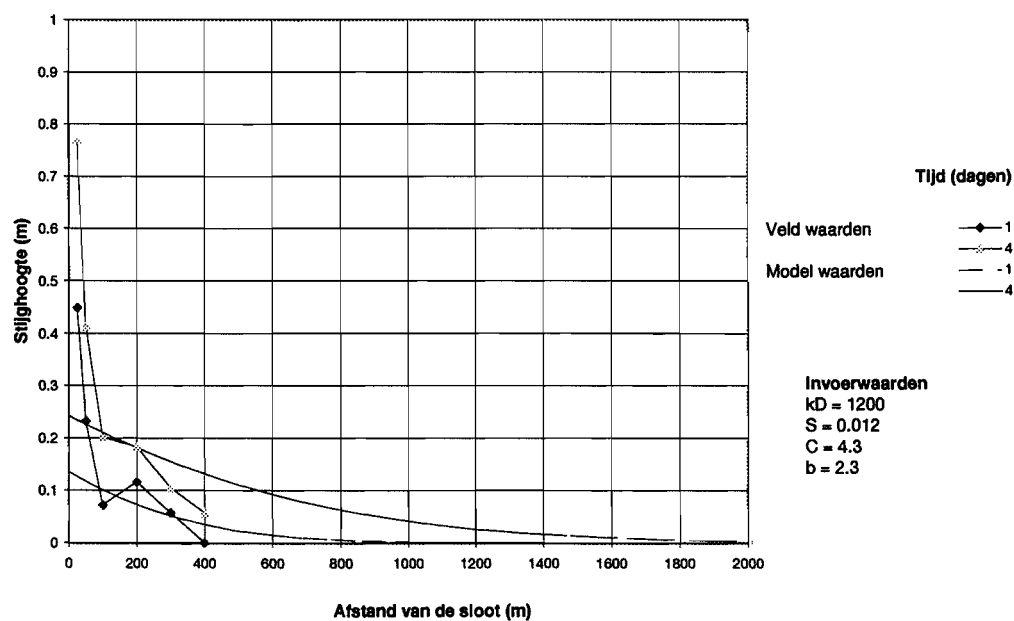
Bijlage 6.14c

Waarden numeriek model uitgezet tegen de waarnemingen in de Noord-raai
Gecalibreerd op de bergingscoefficient

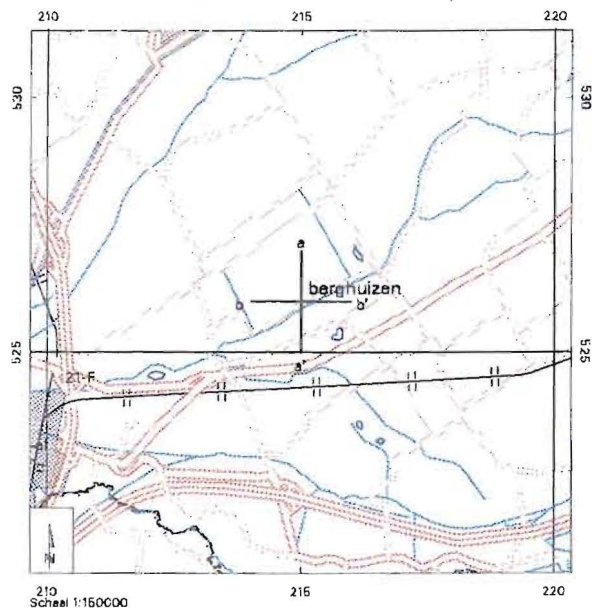


Bijlage 6.14d

Waarden numeriek model uitgezet tegen de waarnemingen in de Oost-raai
Model is gecallibreerd op de bergingscoefficient



Bijlage hoofdstuk 7



bron: REGIS



Nederlands Instituut
voor Toegepaste
Geowetenschappen TNO



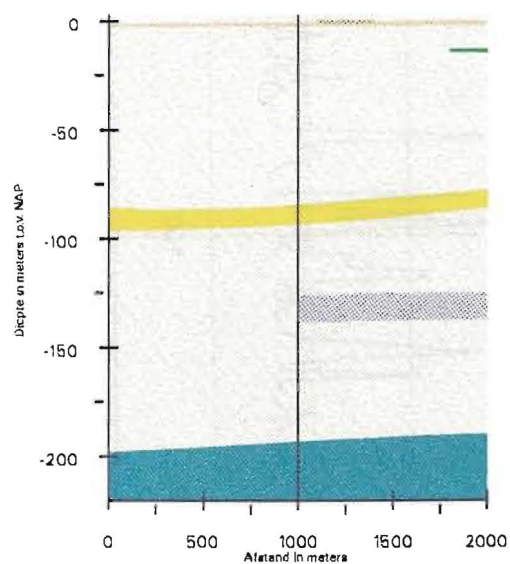
locatie: berghuizen

Kartering op schaal 1:60000

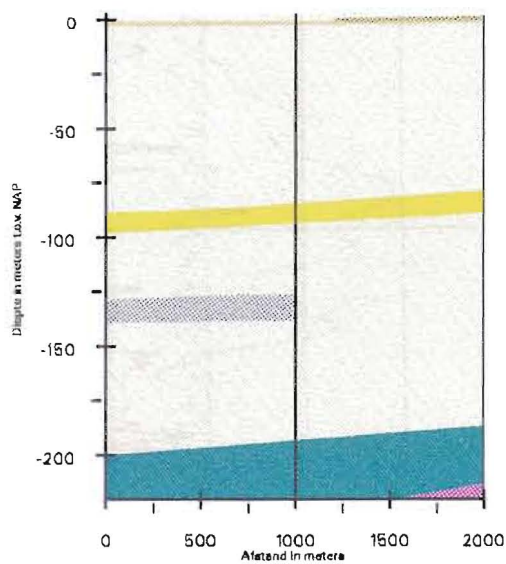
Aanmaakdatum plot: 21-07-1998

Profielen gebaseerd op uit
boringen en/of gedigitaliseerde
contouren geïnterpoleerde gride
met een sample-afstand van
100 meter langs de profiellijn

Profiel gidslagenmodel a-a'



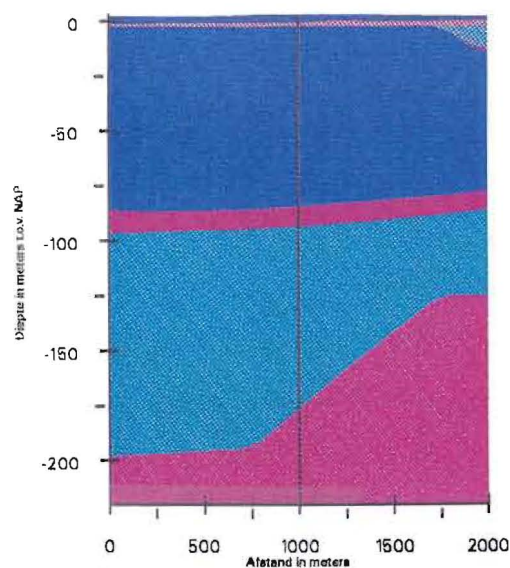
Profiel gidslagenmodel b-b'



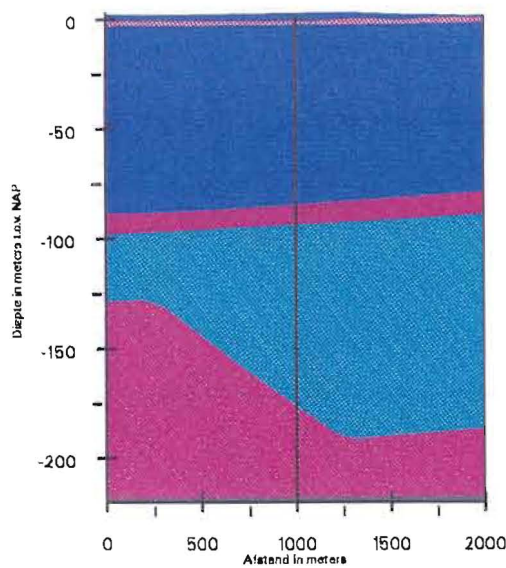
Gidslagen

- Doorlatend materiaal
- S150l
- Tiw15v
- Tg31k
- Oh44k
- Bd52k
- Bo40k

Profiel geohydrologisch model a-a'



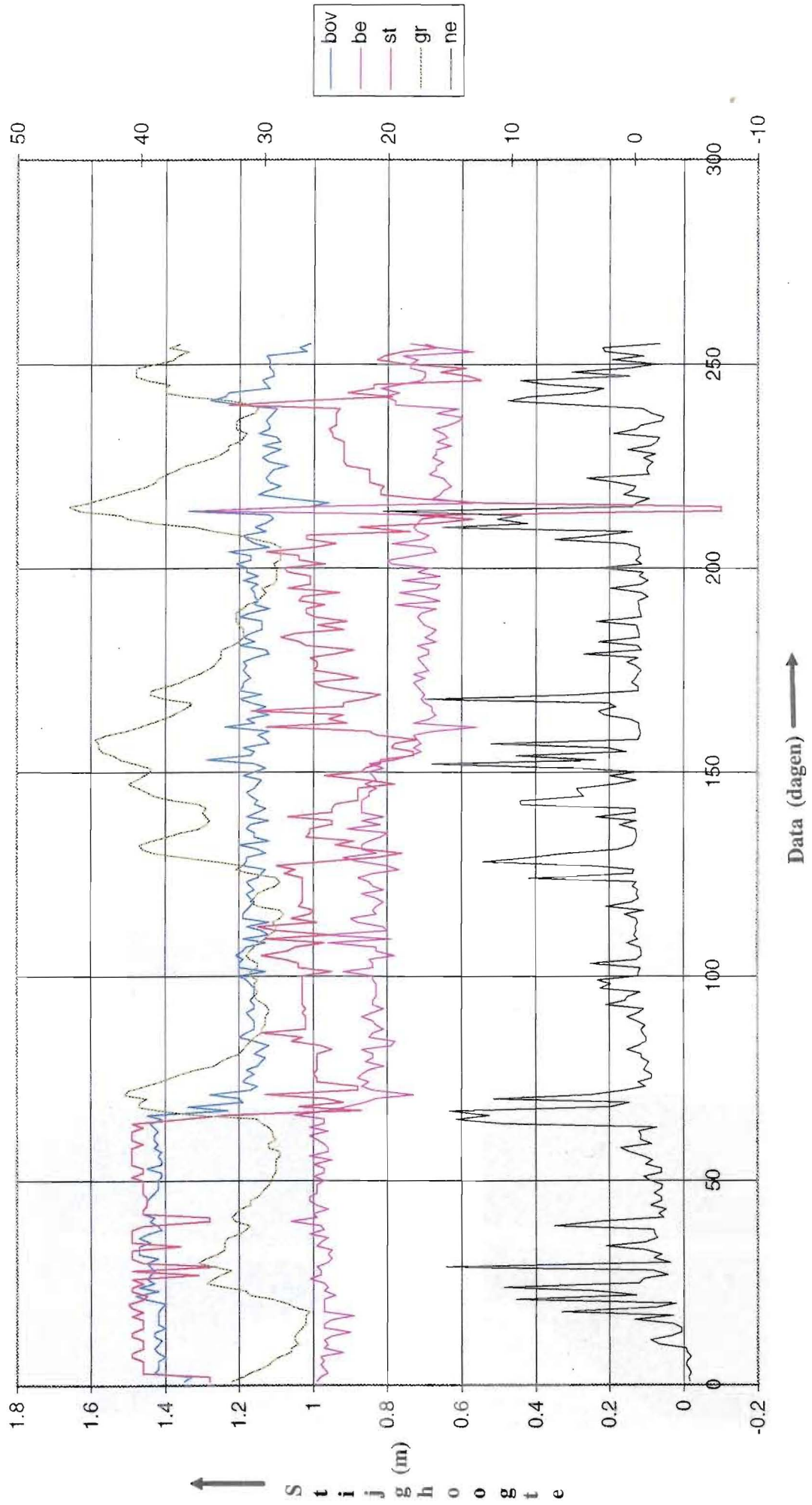
Profiel geohydrologisch model b-b'



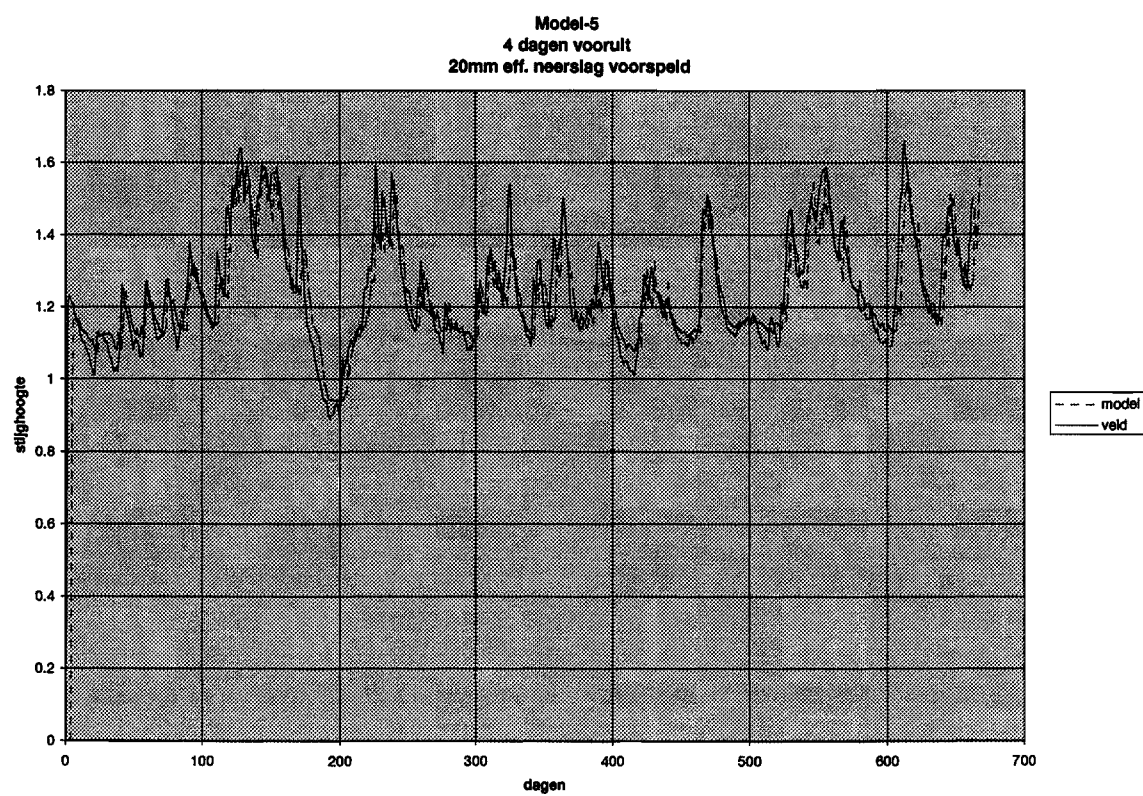
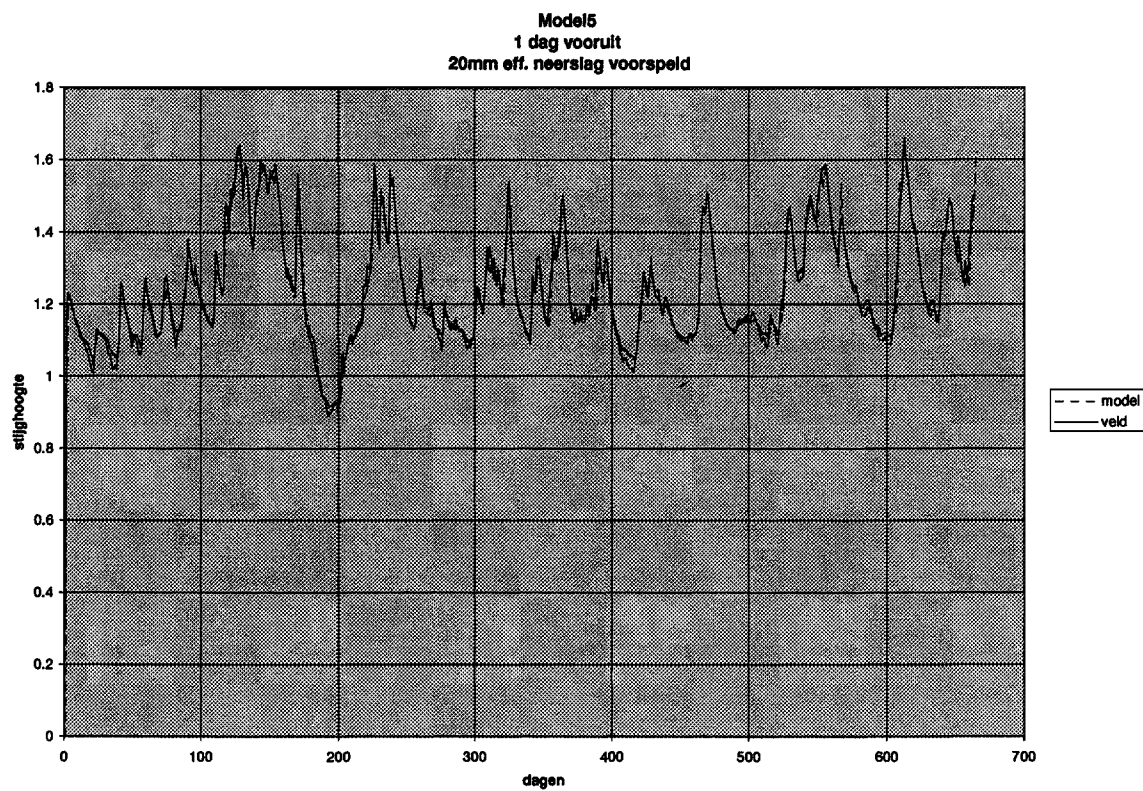
Geohydrologische
eenheden

- FRP
- DKL
- WVP1
- SDL1
- WVP2
- SDL2
- WVP3
- GHB

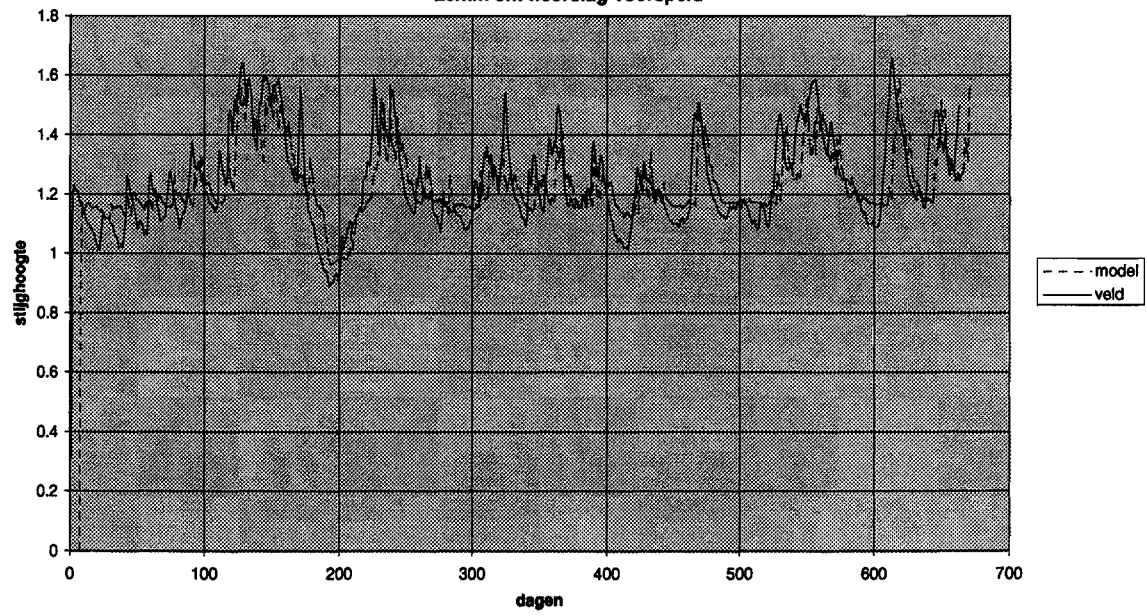
Verschillende waarden voor 1998



Model 5

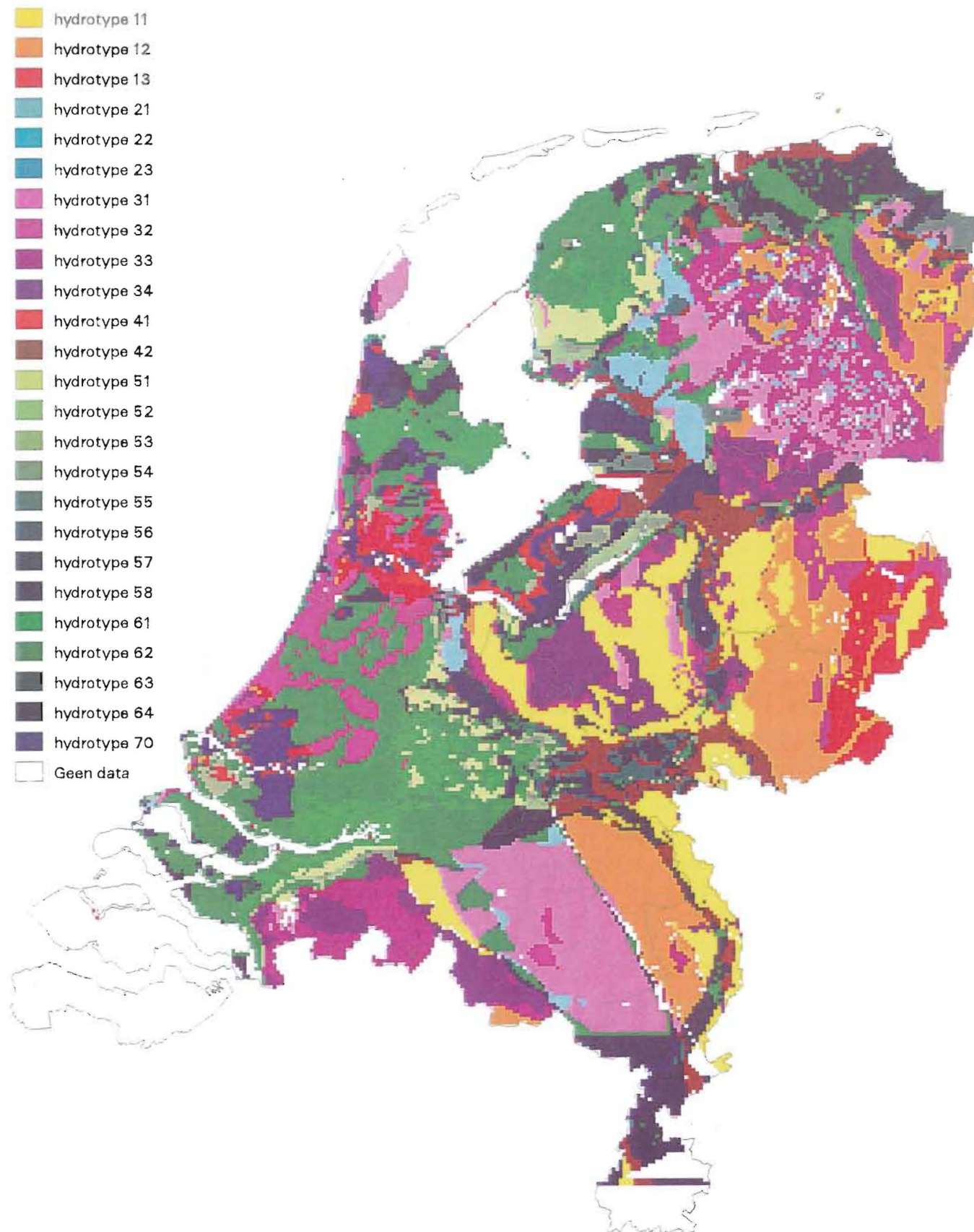


Model5
7 dagen vooruit
20mm eff. neerslag voorspeld



Bijlage hoofdstuk 8

Overzicht van de locaties van de hydrotypen



SCHAAL 1:1500000



DLO-STARING CENTRUM WAGENINGEN

Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied

Onderzoek Relatie grondwater – oppervlaktewater

H. Th. L. Massop – L. C. P. M. Stuyt

© 1997 DLO-Staring Centrum Wageningen

Bijlage B Basistheorie neurale netwerken

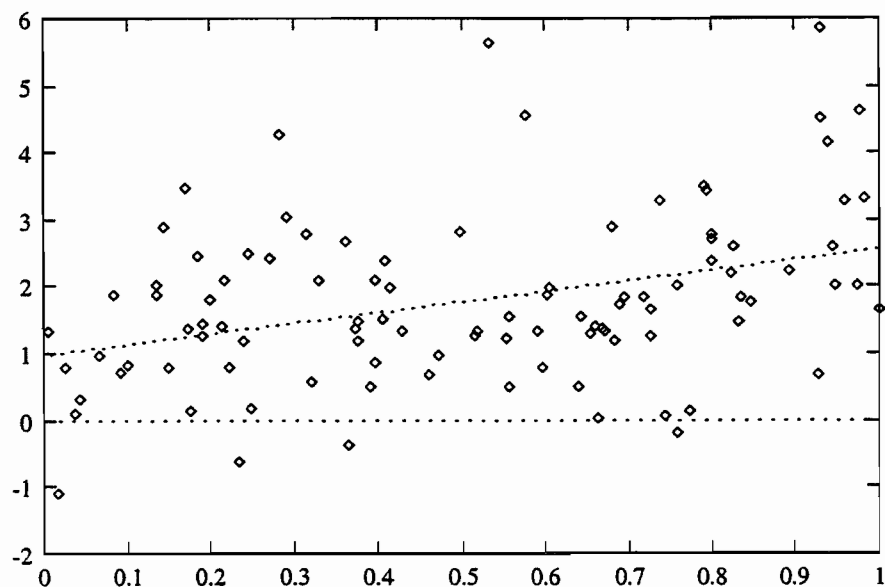
De onderstaande text zijn gedeelten, overgenomen uit het collegedictaat van Dr. Ir. P. Torfs (Landbouwniversiteit Wageningen), omdat het een goed inzicht geeft in de basis van ontstaan, van niet-lineaire modellen (P. Torfs, 1998).

Lineaire relatie

Een voorbeeld van een lineair model is lineaire regressie. In het geval van een input en een output betekent dit dat een a en b gezocht wordt, zodanig dat:

$$Y = aX + b$$

Na berekening van de regressielijn wordt een plot als figuur B1 verkregen.



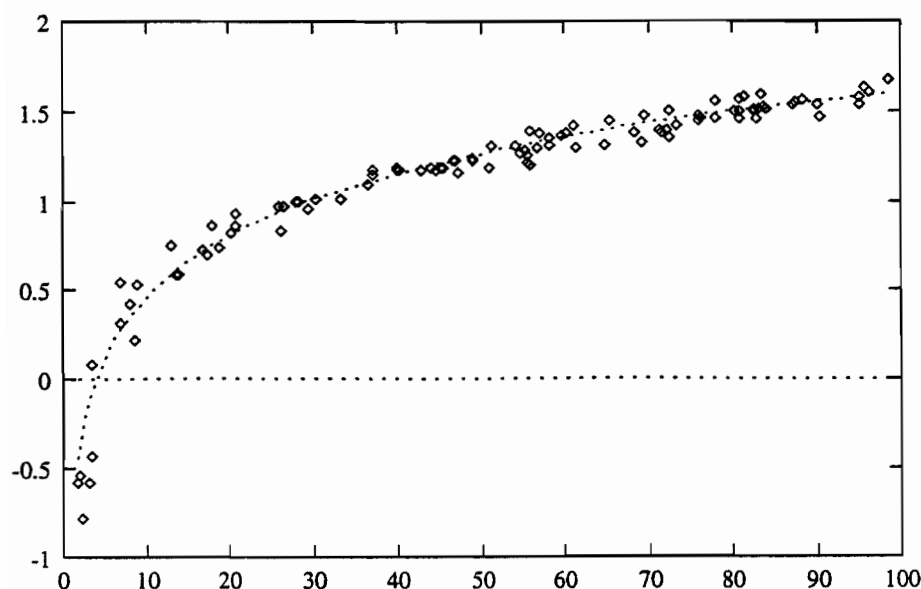
Figuur B1 Lineaire regressie

Hoe groter de variatie van de punten in de figuur hoe slechter de regressielijn een redelijk beeld geeft vertegenwoordigd. Voor veel toepassingen zal lineaire regressie dan ook niet voldoen.

Niet-lineaire relatie

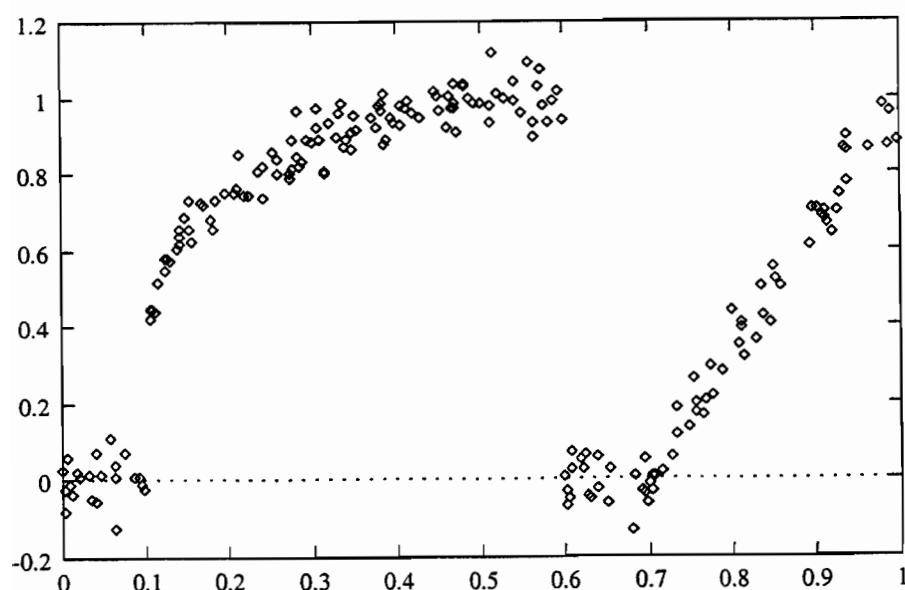
Eerste mogelijkheid om niet-lineaire relaties te beschrijven, is het zoeken naar ingewikkelder wiskundige functies. Een voorbeeld is gegeven in figuur B2. Onderstaande formule zal een goede weergave zijn van de relatie in de figuur.

$$Y = a \log(X) + b$$



Figuur B2 Niet-lineaire relatie

Problemen treden echter op, als relaties voorkomen als weergegeven in figuur B3. Het blijkt ondoendelijk om alle mogelijke formules te proberen en om daar de beste uit te selecteren. Voor vele systemen bestaan ook geen formules. Problemen treden vooral op, wanneer met meerdere in- en outputs rekening gehouden dient te worden. In meerdimensionale gevallen zijn figuren niet te maken en zijn het aantal mogelijke formules nog groter. Het is onmogelijk om een juiste wiskundige beschrijving voor deze gevallen te vinden.



Figuur B3 Moeilijk te parametriseren systeem

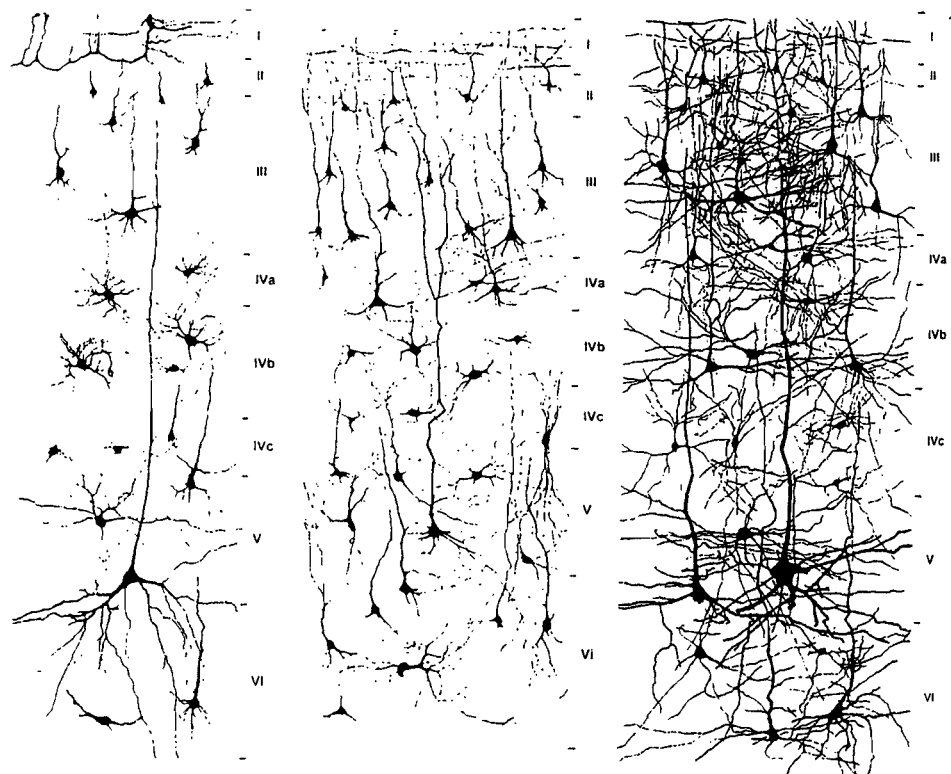
Het is dus de bedoeling een veralgemening van lineaire regressie te vinden die:

- Alle mogelijke vormen van systeemfuncties aankan: lineair, niet-lineair, logaritmisch, exponentieel gebroken en ook mengvormen.
- Systeemgegevens goed beschrijft, zonder dat vooraf vormbeperkingen worden opgelegd.
- In alle dimensies werkt

In de paragrafen hieropvolgend wordt een model beschreven, die deze mogelijkheden in zich heeft.

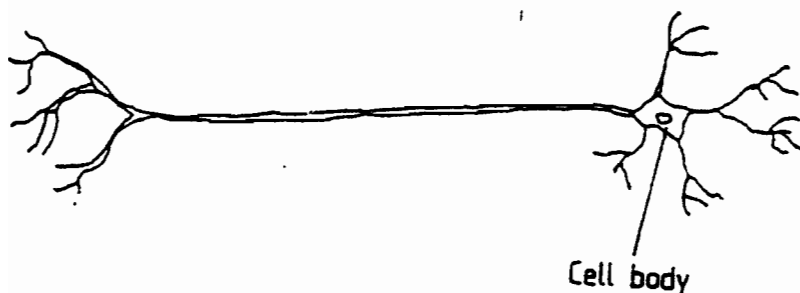
Hersenthoerie

De inspiratie is gekomen uit het bestuderen van de menselijke hersenen. Onze hersenen zijn wat het herkennen van systemen betreft zeer flexibel en beperken zich niet tot een lijst ingewikkelde wiskundige formules. Onderzoek naar menselijke hersenen toonden aan, dat de kracht van de menselijke hersenen niet kwam uit ontwikkeling van steeds complexere hersencellen, maar uit de toename en differentiatie van verbindingen tussen dezelfde basishersencellen (figuur B4).



Figuur B4 Ontwikkeling van de menselijke visuele cortex. Links pasgeboren, midden drie maanden oud, rechts twee jaar.

Figuur B5 toont zo'n basishersencel die neuron wordt genoemd. Een dergelijk neuron is verbonden met andere neuronen. Alle cellen in figuur B4 hebben dezelfde neuronale basisstructuur. Via de verbindingen met andere neuronen worden signalen verwerkt. Elk neuron kan signalen van verbonden neuronen ontvangen, deze verwerken en het verwerkte signaal doorgeven aan andere neuronen. Deze basisstructuur is universeel. Complexere problemen kunnen worden aangepakt, door complexere netwerken met dezelfde basisneuronen samen te stellen.



Figuur B5 Een schematische weergave van een neuron

Op dezelfde manier kan het eerder geschetste regressieprobleem worden opgelost. Er moeten niet complexere functies en formules ontwikkeld worden, maar eenvoudige formules moeten op complexere wijze gecombineerd worden. De mathematische uitwerking van dit principe heet Neurale Netwerken.

Bijlage C Inventarisatierapport waterschap Meppelerdiep

Inhoud

1	Dag 1	
1.1	Algemene Gegevens.....	1
1.2	Historie	2
1.3	Peilbeheer	3
2	Dag 2	
2.1	Gebiedsbeschrijving en peilbeheer	7
2.2	Automatisering van peilbeheer	7
2.3	Plaatsen van stuwen en duikers.....	8
3	Dag 3	8
4	Dag 4	9
5	Dag 5	10
6	Dag 6.....	10
7	Dag 7	11

Appendix

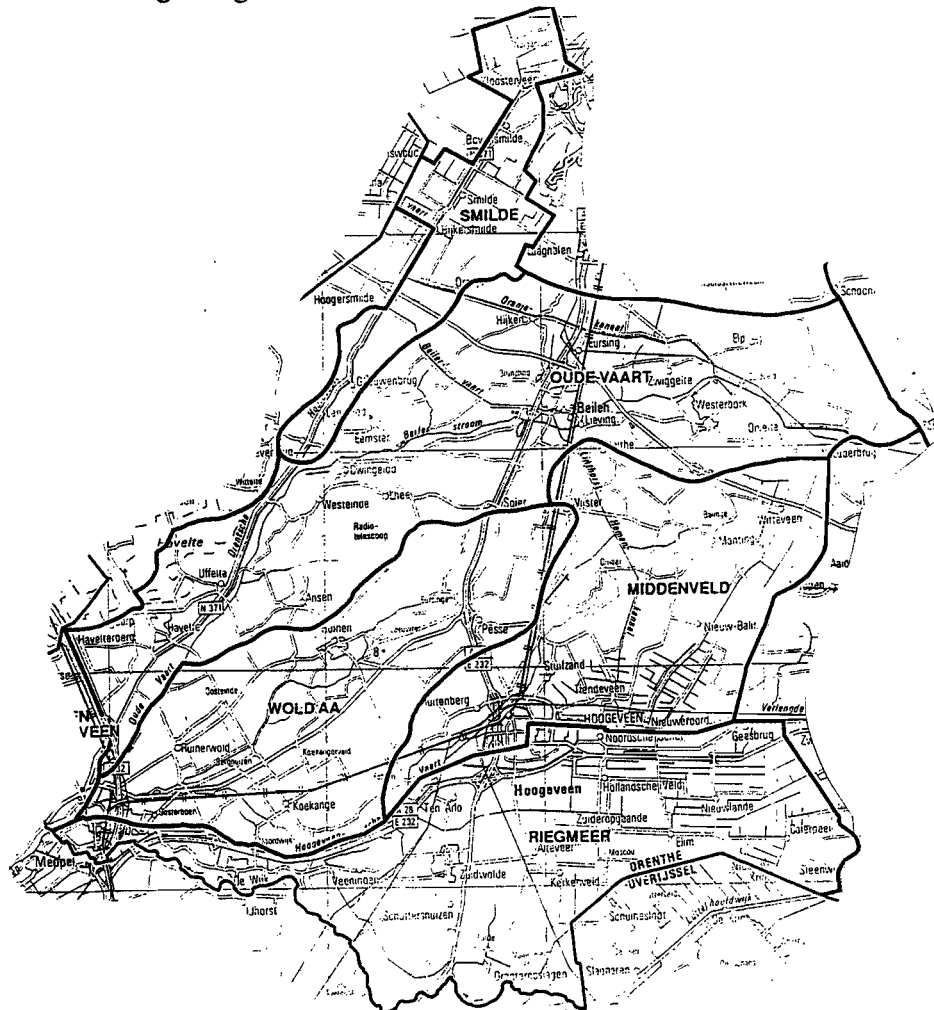
C1	Aanpak verdroogde gebieden
C2	Kwel en wegzijging in het waterschap
C3	Droogleggings- en ontwerpnormen
C4	Berekening Streefpeilen
C5	Grondwaterstanden

1 Dag 1

Ter inleiding een gesprek met dhr. ter Horst van wie ik veel informatie gekregen heb over het gebied en het peilbeheer uitgevoerd door het waterschap. Dit hoofdstuk is een samenvatting van de belangrijkste punten van dit gesprek aangevuld met gegevens uit de literatuur.

1.1 Algemene Gegevens

Waterschap Meppelerdiep is gelegen in Zuidwest-Drenthe en bestaat sinds 1 januari 1995. Op die datum is de fusie afgerond tussen de waterschappen Smilde, De Oude Vaart, Middenveld, De Wold Aa en Riegmeer (figuur 1). Het waterschap heeft als taak de zorg voor de kwantiteit van het oppervlaktewater en het daarmee samenhangende grondwater.



Figuur 1 Overzichtskartaal Meppelerdiep

Samenvatting

Algemeen	Specificaties
Totale oppervlakte gebied	87.600 ha
Aantal inwoners	120.000
Aantal gemeenten	22
Landgebruik	Landbouw/Natuur/Stedelijk gebied
Hoogteverschillen	0.2 m - NAP ten zuidoosten van Meppel 22 m + NAP ten zuiden van Schoonloo

(Bron: Integraal Waterbeheersplan, 1996)

Waterbeheersing	Specificaties
Lengte watergangen	1376 km
Aantal afvoergemalen	34
Oppervlakte bemalen gebied	11.545 ha
Aantal gemalen voor wateraanvoer	12
Aantal stuwen	469
Lengte watergangen	1376 km
Aantal grondwaterstandsbuizen	ca. 515

(Bron: Integraal Waterbeheersplan, 1996)

1.2 Historie

In vroeger tijden werd het peilbeheer uitgevoerd aan de hand van vaste besluiten voor zomer en winter. Er waren vaste data voor instelling van zomer en winterpeilen en er was dus geen sprake van dynamische sturing.

In de jaren '60 hebben er grote ruilverkavelingsprojecten plaatsgevonden. De provincie en de landinrichtingsdienst bepaalden de gewenste gronwatertrappen voor het gebied. Daarna werd het beheer overgedragen aan de waterschappen en deze moesten de gewenste toestand realiseren.

Tijdens deze ruilverkavelingen werden landbouwgronden gesticht, ontwaterd door hele diepe en brede sloten. Dit had tot gevolg dat in de omliggende natuurgebieden enorme verdroging op trad. Een probleem waar we vandaag de dag nog steeds mee te maken hebben.

Een simpele oplossing voor dit probleem was niet al te gemakkelijk te vinden. Dit werd veroorzaakt doordat het verhogen van de bodem van de sloten niet mogelijk was omdat de drainagebuizen, die uitkomen in de sloot, te diep liggen. Ook het verhogen van de peilen in de sloten stuitte op weerstand bij de boeren. Men was van mening dat de drainagebuizen die uitkomen in de sloten boven het oppervlaktewaterpeil moesten liggen, omdat de buizen anders het water niet zouden kunnen afvoeren.

Het gebied

Het waterschap Meppelerdiep heeft het beheer over een zeer glooiend gebied, gelegen aan en op de hoge zandgronden in Zuidwest Drenthe. Het gebied strekt zich uit van 0.2m -NAP bij Meppel tot 22m +NAP ten zuiden van Schoonloo. Het landgebruik is zeer divers en er komt afwisselend landbouw, natuur en stedelijke gebied voor. In het waterbeheer wordt onderscheid gemaakt in de landgebruiksfuncties:

- * Algemeen
- * Landbouw
- * Natuur
- * Ondersteunende natuurfuncties

Onder de laatste categorie “Ondersteunende Natuurfuncties” vallen gebieden die grenzen aan natuurgebieden (vaak landbouwgronden). Het beleid op deze gronden is erop gericht de natuur zoveel mogelijk te ondersteunen, binnen de grenzen waarbij de landbouw geen directe schade ondervindt.

Grondsoort

De grondsoorten die in het gebied voorkomen zijn: zand, veen en keileem. Deze grondsoorten leiden tot verschillende bodemtypen, door afwisseling en voorkomen van de verschillende lagen in het bodemprofiel.

1.3 Peilbeheer

Heden ten dagen heeft het waterschap Meppelerdiep het beheer over het oppervlaktewater en het freatisch grondwater. Het beheer van het freatisch grondwater lag van oudsher bij de provincie, echter deze heeft haar taak overgedragen aan het waterschap. Het diepere grondwater wordt nog steeds beheerd door de provincie.

Het dagelijks peilbeheer wordt uitgevoerd door 4 peilbeheerders en 1 telemetrie beheerder. De peilbeheerders hebben alle vier een eigen deelgebied waarin ze verantwoordelijk zijn voor het uit te voeren waterbeheer. De peilbeheerders hebben als taak:

- Het oplossen van problemen
- Het beheer van watergangen en kunstwerken
- De controle van de uitvoering van waterwerken.

Ze zijn de gehele dag in het gebied werkzaam en coördineren alle zaken die met het waterbeheer te maken hebben. De Telemetriebeheerder heeft als taak het beheren en verwerken van de gegevens van de automatische stuwen/gemalen/inlaten en peilbuizen vanaf het kantoor. De telemetriebeheerder controleert de automatische eenheden en bij veranderingen kunnen deze eenheden

ook direct aangestuurd worden. Een andere belangrijke taak is het invoeren, beheren en weergeven van de gegevens van peilbuizen, kunstwerken en gebiedsgegevens.

Peilvakken

Om de peilen op juiste wijze te kunnen beheren worden als eerste peilvakken gemaakt. Aan ieder kunstwerk is een peilvak gekoppeld. Al het water dat afwaterd op dat kunstwerk behoort tot dat peilvak. Een peilvak is dus een afwaterings-eenheid en er kan dus per peilvak maar één doel worden nagestreefd, omdat er één sturingsmechanisme is.

Grondwatertrappen

Naast de peilvakken zijn grondwatertrappen van belang. De grondwatertrap wordt bepaald door de drie hoogste grondwaterpeilen in de winter en de drie laagste zomerpeilen. De te beheren grondwatertrappen worden per gebied door de provincie bepaald en zijn vermeld in het Waterhuishoudingsplan Drenthe.

Aan de hand van grondwatertrappen, maaiveldshoogte, kwel en wegzijging wordt in combinatie met het landgebruik het streefpeil van het oppervlaktewater bepaald. (Voor uitleg totstandkoming van streefpeilen wordt verwezen naar hoofdstuk 4)

In het peilbeheer wordt voor het bepalen van de streefpeilen onderscheid gemaakt in (figuur 2):

- 1 Drooglegging (waterlopen)
- 2 Ontwatering (grondwater)



Figuur 2 Ontwateringsdiepte van grondwater en drooglegging van waterlopen

Def. De drooglegging is het hoogteverschil tussen de waterspiegel in de waterloop en het grondoppervlak.

Def. De ontwateringsdiepte is de afstand tussen het grondoppervlak en de hoogste grondwaterstand tussen de ontwateringsmiddelen

Er wordt per gebied een maximale en minimale drooglegging bepaald per jaargetijde. Dit zijn de zogenaamde maximale en minimale streefpeilen welke de

bandbreedte vormen waarbinnen het grondwater aangestuurd kan worden. Er wordt ook een maximaal en minimaal grondwaterstreefpeil bepaald en dit wordt beheerd met behulp van het oppervlaktewaterpeil. Voor het oppervlaktewaterpeil is dus een bandbreedte bepaald waarmee men kan sturen, zodat het grondwater binnen het vastgestelde streefpeil blijft.

Grondwater

Het grondwaterstandsverloop van het freatisch grondwater wordt door het waterschap gemeten. Er zijn op dit moment ongeveer 515 buizen die één keer per twee weken worden afgelezen. (Voor beschrijving grondwaterstandbuizen wordt verwezen naar hoofdstukken 3 en 4).

Naast deze grondwaterstandbuizen van het waterschap staan er een aantal buizen van TNO. Deze buizen staan voor het waterschap vaak op verkeerde plaatsen in het gebied, omdat ze vaak gelegen zijn vlak aan een weg of bij een sloot. Dit is voor het meten van het diepe grondwatersysteem vaak geen probleem echter voor metingen van het freatisch grondwater leidt dit nogal eens tot problemen.

Koppeling grond-en oppervlaktewater

Het grondwater wordt beheerd met het oppervlaktewater. De beheersing van het grondwater in het Meppelerdiep verschilt sterk met de plaats in het gebied. De lager gelegen delen reageren beter en sneller dan de hoger gelegen delen. De slootdichtheid in het lage gebied is veel groter. In de zomer is het waterpeil op de hoger gelegen delen moeilijk te beheersen. Het water zakt weg en is nauwelijks meer te beïnvloeden door het opzetten van peilen in de sloten en kanalen. In droge zomers wordt water van buiten het gebied aangetrokken. Dit water wordt opgepompt uit het ijsmeer en wordt afgenomen van de provincie, er wordt per kuub betaald. Het voordeel van dit aangevoerde water is de hoge waterstand in de kanalen, zodat het gebruikt kan worden voor de landbouw (berekening uit oppervlaktewater). Echter de invloed van het aangevoerde water op de grondwaterstand is marginaal.

Toekomst peilbeheer

Een probleem op dit moment is de grove schaal waarop het waterbeheer zijn basis heeft. De grondwatertrappen waaraan het beheer is opgehangen zijn te grofschalig, omdat de extreme situaties het peilbeheer bepalen. In de toekomst zal er gewerkt gaan worden met het gewenste grondwaterpeil (GeGos). Natuurlijk is dit niet één grondwaterstand voor het hele jaar, maar een grondwaterstandsverloop. Dit is veel nauwkeuriger dan de grondwatertrappen.

Er wordt door het waterschap niet gewerkt met hydrotypen, omdat op dit moment de hydrotypen (1km/1km) nog te grofschalig zijn gedefinieerd. Voor de toekomst zou het een mogelijkheid kunnen zijn om dynamisch peilbeheer te verbeteren. Alleen zullen dan eerst de hydrotypen veel nauwkeuriger moeten worden bepaald.

Verdroging

In Drenthe is verdroging omschreven in het waterhuishoudingsplan. Verdroging wordt als volgt gedefinieerd: een gebied is verdroogt als de huidige grondwaterstand niet voldoet aan de gewenste grondwaterstand. Dit wordt voornamelijk toegepast voor natuurwaarden.

Om verdroging te beheersen zijn er een aantal gebieden benoemd en is onderzocht welke huidige grondwatertrap aanwezig is en welke gewenst zou zijn (zie appendix C1). Het waterschap moet ervoor zorgen dat dit verschil in de toekomst geminimaliseerd wordt.

2 Dag 2

's morgens rondleiding van H. J. Tobbe door het gebied. We zijn langs verschillende stuwen/gemalen en inlaten in het gebied geweest. Bij deze kunstwerken diende de vaste instelwaarde van de elektrische meetapparatuur gecontroleerd te worden.

2.1 Gebiedsbeschrijving en peilbeheer

Het gebied wat als eerste bezocht werd was Riegmeer ten zuiden van Hoogeveen. De hoogtes in dit deelgebied lopen uiteen van 4 tot 14 meter boven NAP. De grondsoorten in het gebied zijn leem, veen en zand. Er komen dikke leempakketten voor in dit deel van het door het waterschap te beheren gebied. Deze pakketten zorgen voor een zeer slechte doorlatendheid van de grond. Het probleem is dat op een aantal plaatsen het water heel snel wegzakt, wat niet in de verwachting ligt kijkend naar het bodemtype. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door gaten in de leemlaag. Het is nog niet precies bekend wat de exacte oorzaak is en waar deze gelegen is.

Het water in dit gedeelte van het Meppelerdiep is dan ook niet gemakkelijk te beheren. In de zomer is het water op sommige plaatsen heel snel weg, waardoor water vanuit de Hoogeveens vaart moet worden aangevoerd. Dynamisch peilbeheer is hier slecht mogelijk, omdat er nauwelijks water is in droge tijden. Het peilbeheer is er voor de lente en zomer op gericht zoveel mogelijk water op te sparen, om in droge periodes bij watertekort zo min mogelijk water te hoeven aanvoeren.

2.2 Automatisering van peilbeheer

Voor goed dynamisch peilbeheer zijn betrouwbare weersvoorspellingen nodig. De weersgegevens op de langere termijn zijn op dit moment nog zo onbetrouwbaar, dat belangrijke beslissingen niet op basis van deze gegevens gemaakt kunnen worden.

Er wordt op dit moment gewerkt met een aantal automatische stuwen en elektronische registratie. De meeste brede kunstwerken zijn met een telemetriesysteem uitgevoerd, zodat ze vanaf het waterschap kunnen worden bediend. Een aantal kunstwerken reageert automatisch op de veranderingen in het waterpeil. Er kan van tevoren een streefpeil worden ingevoerd en het kunstwerk zorgt automatisch voor handhaving van het ingevoerde peil. Dit gebeurt als volgt: het gemeten waterpeil wordt vergeleken met het streefpeil en op basis van deze vergelijking reageert het kunstwerk. Dit werk in praktijk zeer goed en levert een goede bijdrage aan het dynamisch peilbeheer.

Een automatisering die minder goed werkt is de koppeling van grondwatermetingen en kunstwerken. Het probleem wat hierbij optreedt is de directe reactie van het kunstwerk bij een verandering van de grondwaterspiegel. Als er een flinke bui valt meet de peilbuis direct een verhoging van de grondwaterspiegel en geeft een signaal door aan het kunstwerk, welke direct reageert. Er wordt nu misschien wel overbodig water geloosd, omdat het de dagen erop wel droog kan blijven zodat het water hard nodig is. Deze directe koppeling leidt dus tot snelle en onnodige reacties in het peilbeheer. Een vertraging in het systeem zou het probleem misschien deels oplossen.

2.3 Plaatsen van stuwen en duikers

‘s middags ben ik aanwezig geweest en heb ook geholpen met het plaatsen van stuwen en duikers. Het werd nu goed duidelijk dat een kleine beslissing op kantoor, veel werk kan opleveren in het veld. Om meer water uit het gebied te kunnen afvoeren moest de bodem van de sloot 20 centimeter dalen. Dit had tot gevolg dat ook alle duikers 20 centimeter dieper moesten komen te liggen. Geen rekening was gehouden met het steiler worden van de taluds, waardoor deze binnen de kortste keren ondermijnd zullen worden en afkalving is het gevolg. Duidelijk werd de link van papier naar werkelijkheid.

3 Dag 3

Aflezen Peilbuizen

De derde dag bestond uit het aflezen van peilbuizen met dhr. W. Strijker. Er zijn op dit moment circa 515 peilbuizen in het gebied. In principe wordt in ieder peilvak een peilbuis geplaatst. De peilbuis wordt in het lage deel van het peilvak geplaatst, omdat daarop gestuurd wordt met het grondwater. De buizen staan bijna altijd midden in een kavel om ruis van sloten en wegen zoveel mogelijk te onderdrukken. Nog niet alle peilvakken zijn bepaald, dus zullen er nog buizen bijgeplaatst worden in toekomst. De metingen van buizen worden onderling vergeleken. Bij grote gelijkenis van het verloop van twee meetreeksen, wordt één van de twee buizen weggehaald. Zo wordt het meetnet ook weer langzaam uitgedund, zodat een karakteristieke set van buizen overblijft.

We zijn een hele dag onderweg geweest voor het meten van 60 buizen. Het is nogal arbeidsintensief werk, omdat de meeste buizen op een aantal kilometer van elkaar verwijderd zijn. Met een auto rijdt men door het gebied echter vanaf de begaanbare weg moet vaak nog een flinke afstand afgelegd worden om de peilbuis te bereiken. Het meten en verzamelen van gegevens is belangrijk, maar tegelijkertijd ook duur en arbeidsintensief.

4 Dag 4

Bepaling van streefpeilen

Voor het bepalen van de streefpeilen van grondwater en openwaterlopen moeten een aantal handelingen verricht worden:

Bepaling peilvak

Bepaling 5% laagste hoogtecijfers per peilvak

Bepaling 50% laagste hoogtecijfers per peilvak

Bepaling bodemtype en grondwatertrap per peilvak

Bepaling van het landgebruik

Bepaling van de kwel en wegzijging (zie appendix C2)

Benodigd

Detailkaart voorzien van alle maaiveldshoogtes/wegen/watergangen en kunstwerken

Bodemkaart

C. Kwel-/wegzijgingskaart

D. Landgebruikskaart.

Bepaling peilvak

Voor bepaling van een peilvak wordt als basis een stuw, gemaal of inlaat gekozen. Dan wordt op de kaart bepaald welk gebied hier op afwatert. De grenzen van deze afwateringseenheden kunnen wegen, watergangen of hoogtescheidingen zijn. Een peilvak vormt de basis voor dynamische sturing van het water. Er wordt per peilvak een maximaal en minimaal streefpeil voor grondwater en oppervlaktewaterpeil gemaakt. Binnen deze bandbreedte wordt het grondwater gestuurd met het oppervlakte water.

Bepaling 5% laagste hoogtecijfers per peilvak

De 5% laagste punten van de hoogtecijferkaart in het lage deel van het peilvak bepalen zomerpeil van grondwater gecorrigeerd voor een aantal waarden. Er wordt onderscheid gemaakt tussen maximaal en minimaal grondwaterpeil. Dit is namelijk de bandbreedte waarbinnen het grondwaterpeil moet blijven. Het maximaal zomerpeil wordt onder aftrek van de waarde voor hoog waternormpeil van het landgebruikstype en bodemtype (appendix C3). De berekening aan de hand van grondwatertrappen is ter evaluatie. Hier wordt bekeken of voldaan is aan de door de provincie gestelde richtlijnen. Voor een voorbeeld berekening zie appendix C4.

Op dezelfde wijze wordt het minimaal zomerpeil bepaald, alleen dan aan de hand van het laag waternormpeil (appendix C3).

Bepaling 50% laagste hoogtecijfers per peilvak

De bepaling voor het maximaal en minimaal winterpeil voor grondwater gaat op dezelfde wijze als voor het zomerpeil, allen wordt nu uitgegaan van de 50% laagste punten van de hoogtecijferkaart in het lage deel van het peilvak.

5 Toekomstvisie

Toekomstvisie volgens dhr. H. ter Horst

Voor de toekomst vormt een goed gegevensbeheer de basis van het waterbeheer. Alle gegevens moeten gemakkelijk verwerkt en aan elkaar gekoppeld kunnen worden. De gegevens moeten met een druk op de knop zichtbaar gemaakt kunnen worden, zodat ze als ondersteuning kunnen dienen in een te maken beslissing. Een goed voorbeeld hiervan, wat erg goed werkt is een kaartje wat aangeeft wat het verschil is tussen de gewenste grondwaterstand en de gemeten grondwaterstand. Door kleuren is aangegeven hoever het gemeten peil van het streefpeil af ligt (appendix 5). In een oogopslag is nu goed te zien waar de problemen zich voordoen in het gebied.

GIS-systemen lijken een goede uitkomst om deze taak te vervullen. Met GIS is het goed mogelijk om gegevens gemakkelijk op te slaan en te beheren. Het belangrijkste voor het maken van beslissingen is het gemakkelijk kunnen combineren en weergeven van gegevens en dit is één van de sterkste kanten van een GIS-systeem.

Het laten bepalen van beslissingen door een computer is nog lang niet haalbaar, door de slecht meteorologische gegevens op de lange termijn. De computer zal in de toekomst als ondersteuning dienen voor weergave van gegevens echter de mens zal door interpretatie en afweging van de gegevens de beslissingen zelf moeten maken. Het systeem is te complex om door computers te laten uitvoeren.

6 Conclusie

Het waterbeheer in het Meppelerdiep blijkt zeer complex te zijn door een aantal sterk variërende factoren als maaiveldshoogtes, bodemtypes en weervoorspellingen. Het waterschap stuurt het grondwater met het oppervlaktewater op basis van de door de provincie vastgestelde grondwatertrappen. In de hogere delen van het gebied is moeilijk te sturen in droge tijden, omdat het grondwaterpeil te diep wegzakt. Het aangevoerde water door kanalen heeft nauwelijks invloed op de grondwaterstand, maar kan wel gebruikt worden voor beregening uit oppervlaktewater. Het beleid in deze delen van het gebied is erop gericht zoveel mogelijk water vast te houden.

Het peilbeheer kan geoptimaliseerd worden door een goed computersysteem die het mogelijk maakt gegevens makkelijk te gebruiken. Deze gegevens dienen als inzicht en ondersteuning bij te nemen beslissingen. De complexiteit en diversiteit van factoren in waterbeheer is te groot voor volledige automatisering. Het

waterschap zal zelf gegevens moeten blijven interpreteren en op basis daarvan de beslissingen nemen. De fijne afregeling in het veld zal uitgevoerd worden door de waterbeheerders. Dit complexe en dynamische systeem biedt een grote uitdaging voor waterbeheerders van nu en in de toekomst!

7 Verder onderzoek

Onderzoek naar het verschil in peilbeheer bij andere waterschappen.

Een proefgebied waarmee koppeling grond-en oppervlaktewater onderzocht wordt. Dit aan de hand van metingen van grond- en oppervlaktewaterstanden in het gebied. Het bekijken van meetreeksen van peilbuizen in het grondwater en hoe deze reageren op een verandering in het oppervlaktewater. Hiervoor zijn reactietijden en ruimtelijke samenhang van belang.

Koppeling met de bij het Staring-DLO onderzochte hydrotypen.

Wat zijn er voor mogelijkheden voor het koppelen van extra ondersteunende diensten aan het gegevensbeheer.

AANPAK VERDROOGDE GEBIEDEN

VERDROOGD GEBIED, TE WEINIG KWEL

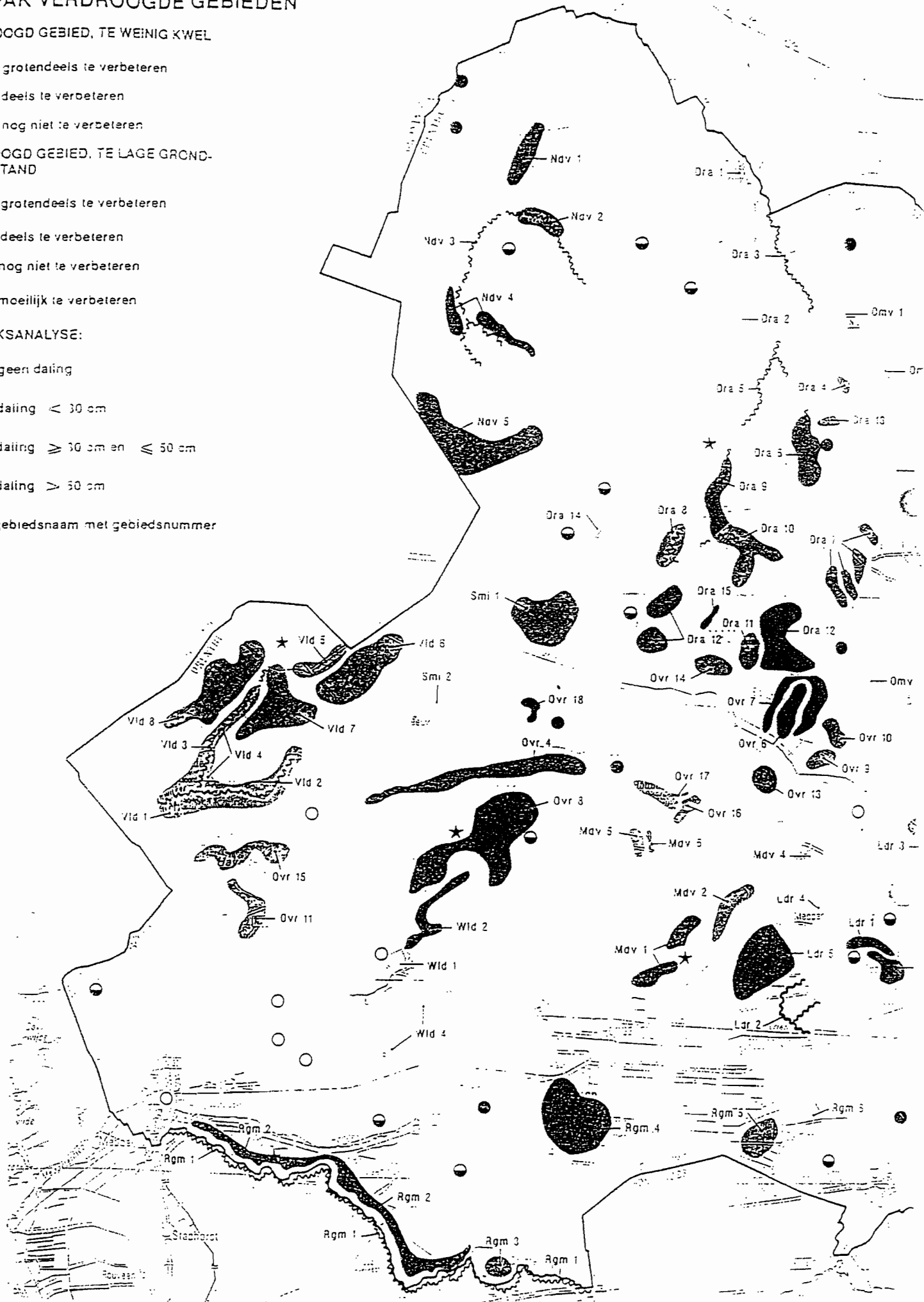
- ~~~~~ grotendeels te verbeteren
 ~~~~~ deels te verbeteren  
 ~~~~~ nog niet te verbeteren

VERDROOGD GEBIED, TE LAGE GROND-
WATERSTAND

- grotendeels te verbeteren
 ■ deels te verbeteren
 ■ nog niet te verbeteren
 ■ moeilijk te verbeteren

TIJDREEKSANALYSE:

- ★ geen daling
 ○ daling < 30 cm
 ● daling ≥ 30 cm en ≤ 50 cm
 ● daling > 50 cm
 Vid 3 gebiedsnaam met gebiedsnummer





KWEL EN WEGZIJJING



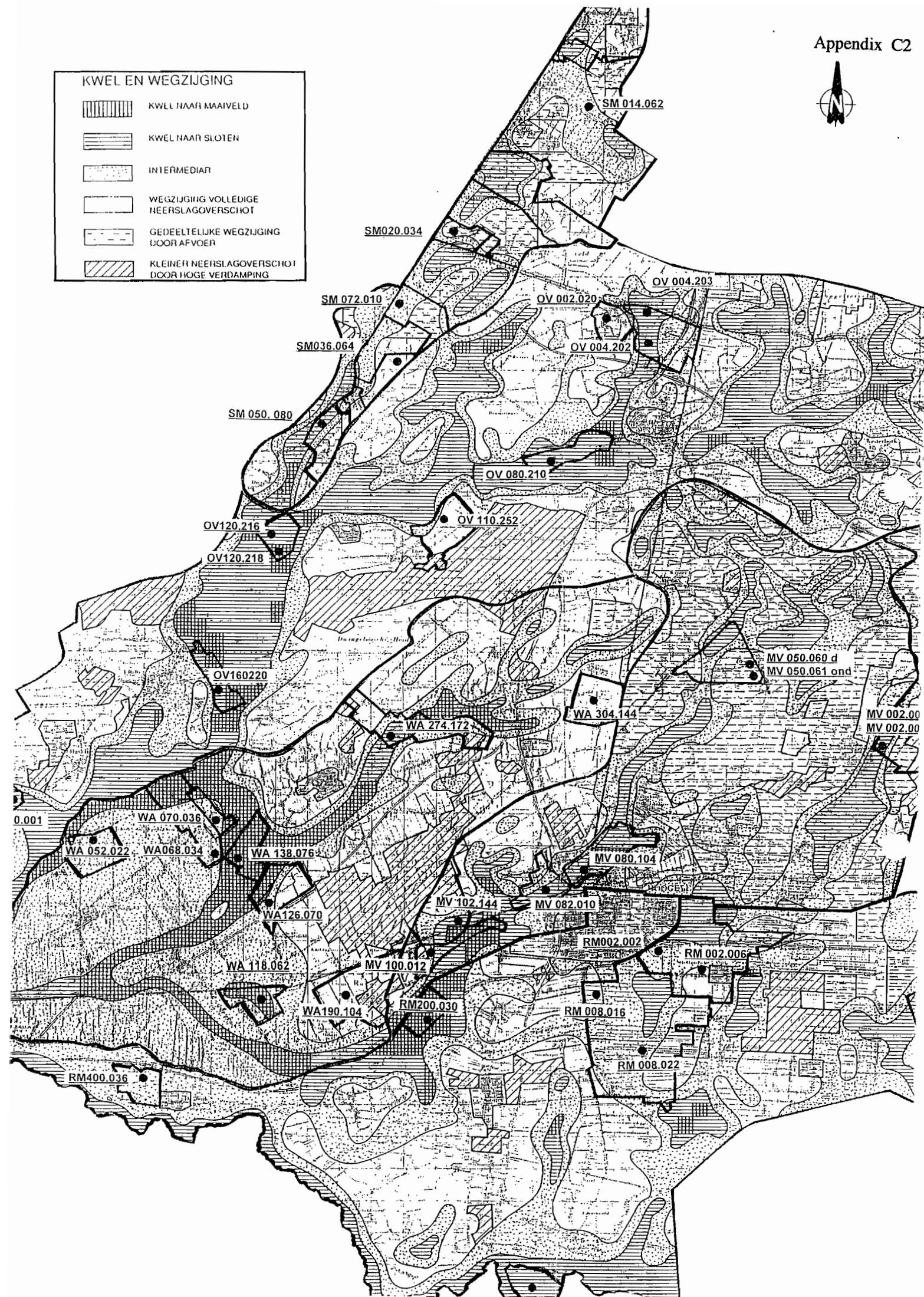
KWEL NAAR MAAVELD



KWEL NAAR SLOTEN



INTERDIAR

WEGZIJJING VOLLEDIGE
NEERSLAGOVERSCHOTGEDEELTELIJKE WEGZIJJING
DOOR AFVOERKLEINER NEERSLAGOVERSCHOT
DOOR HOGE VERDAMPING

Tabel 4.2.2. Droogleggings-ontwerpnormen voor bouwland en grasland in m – mv

| Grondsoort | | H.W.
norm-
peil | Bouwland | | Grasland | |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| bovengrond
1) | ondergrond | | N.W.
norm-
peil | optimale
drain-
diepte 2) | N.W.
norm-
peil | optimale
drain-
diepte 2) |
| moerig | moerig (veen) | 0,60 | 1,05 | 0,95 | 0,85 | 0,75 |
| | leemarm zand | 0,50 | 0,95 | 0,85 | 0,85 | 0,75 |
| | zwak lemig zand | 0,50 | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 0,75 |
| | sterk lemig zand/löss | 0,60 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| | lichte zavel | 0,60 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| | zware zavel | 0,60 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| | klei | 0,60 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| zand/löss | moerig (veen) | 0,60 | 1,05 | 0,95 | 0,85 | 0,75 |
| | leemarm zand | 0,50 | 0,95 | 0,85 | 0,85 | 0,75 |
| | zwak lemig zand | 0,50 | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 0,75 |
| | sterk lemig zand/löss | 0,60 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| | lichte zavel | 0,60 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| | zware zavel | 0,60 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| | klei | 0,60 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| lichte zavel | moerig (veen) | 0,60 | 1,10 | 1,00 | 0,85 | 0,75 |
| | leemarm zand | 0,50 | 0,90 | 0,80 | 0,85 | 0,75 |
| | zwak lemig zand | 0,50 | 1,15 | 1,05 | 0,85 | 0,75 |
| | sterk lemig zand/löss | 0,60 | 1,20 | 1,10 | 0,90 | 0,80 |
| | lichte zavel | 0,60 | 1,30 | 1,20 | 0,90 | 0,80 |
| | zware zavel | 0,60 | 1,25 | 1,15 | 0,90 | 0,80 |
| | klei | 0,60 | 1,20 | 1,10 | 0,90 | 0,80 |
| zware zavel | moerig (veen) | 0,60 | 1,05 | 0,95 | 0,85 | 0,75 |
| | leemarm zand | 0,50 | 0,90 | 0,80 | 0,85 | 0,75 |
| | zwak lemig zand | 0,50 | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 0,75 |
| | sterk lemig zand/löss | 0,60 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| | lichte zavel | 0,60 | 1,20 | 1,10 | 0,90 | 0,80 |
| | zware zavel | 0,60 | 1,15 | 1,05 | 0,90 | 0,80 |
| | klei | 0,60 | 1,15 | 1,05 | 0,90 | 0,80 |
| klei | moerig (veen) | 0,60 | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 0,75 |
| | leemarm zand | 0,50 | 0,90 | 0,80 | 0,85 | 0,75 |
| | zwak lemig zand | 0,50 | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 0,75 |
| | sterk lemig zand/löss | 0,60 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| | lichte zavel | 0,60 | 1,20 | 1,10 | 0,90 | 0,80 |
| | zware zavel | 0,60 | 1,25 | 1,15 | 0,90 | 0,80 |
| | klei | 0,60 | 1,30 | 1,20 | 0,90 | 0,80 |
| alle | grof zand 3) | 0,50 | 0,80-1,10 | n.v.t. | 0,70-1,00 | n.v.t. |

1) Bovengrond is gedefinieerd als de eerste 35 cm beneden maaiveld

2) Drains liggen horizontaal; optimale draindiepte = sleufbodemdpte (zie ook par. III. 4.1.4).

3) Gronden waarbij rond 1 m – mv de doorlatendheid erg groot is, zijn in het algemeen niet drainage behoeftig. In de tabel zijn deze gekarakteriseerd met een grofzandige ondergrond. In deze situaties na te streven N.W.-normpeilen zijn afhankelijk van slootafstanden en kwel- of wegzijgingssituaties.

Peilvaknummer: WA068 (subregio 48, van Bakel)
Peilbuisnummer: WA068.034 (C10)
Kunstwerknummer: WA068.130 (AMT-klepstuw DM)

Peilvakkenmerken:

-grondsoort: veen controlemetingen maaiveldhoogten
-grondgebruik: grasland
-kwel/wegzijging: kwel >0.4 mm/dg
-conserv/aanvoer: wateraanvoer 2.5 mm/dg (= 0.3 ltr/s/ha)

hoogtecijferkaart: 10 cm klink

-5% laagst gelegen oppervlakte: 2.09 - 2.30 1.99 - 2.20 m+NAP
-gem 50% "laag gelegen": 2.35 2.25 m+NAP
-gem 50% "hoog gelegen": 2.55 2.45 m+NAP

Uitwerking grondwater-streefpeil:

zomer: grwstand maximaal: 1.99 - 0.30 = 1.69 m+NAP
grwstand minimaal: 1.44 m+NAP
streefpeil: 1.56 m+NAP

winter: grwstand maximaal: 2.25 - 0.80 = 1.45 m+NAP
grwstand minimaal: 2.25 - 1.05 = 1.20 m+NAP
streefpeil: 1.32 m+NAP

Bijbehorende oppervlaktewater-streefpeilen:

zomer: maximaal stuwpeil (laagste pnt peilvak): 1.99 - 0.30 = 1.69 m+NAP
maximaal ZP (ontwerp): 1.75 m+NAP Nieuwe ZP = 1.70 m+NAP
- overige waterpeilen afhankelijk van grondwaterstanden in samenhang met neerslag/verdamming

winter: maximaal stuwpeil (5%): 2.20 - 0.90 = 1.30 m+NAP
NW (ontwerp): 1.07 m+NAP
- overige waterpeilen afhankelijk van de neerslaghoeveelheden

Peilvak kan geheel van water worden voorzien:

opzetten waterpeil: 1e week april (vlgs subregio 59 Femsat)
afbouwen waterpeil: 4e week september, 1e week oktober

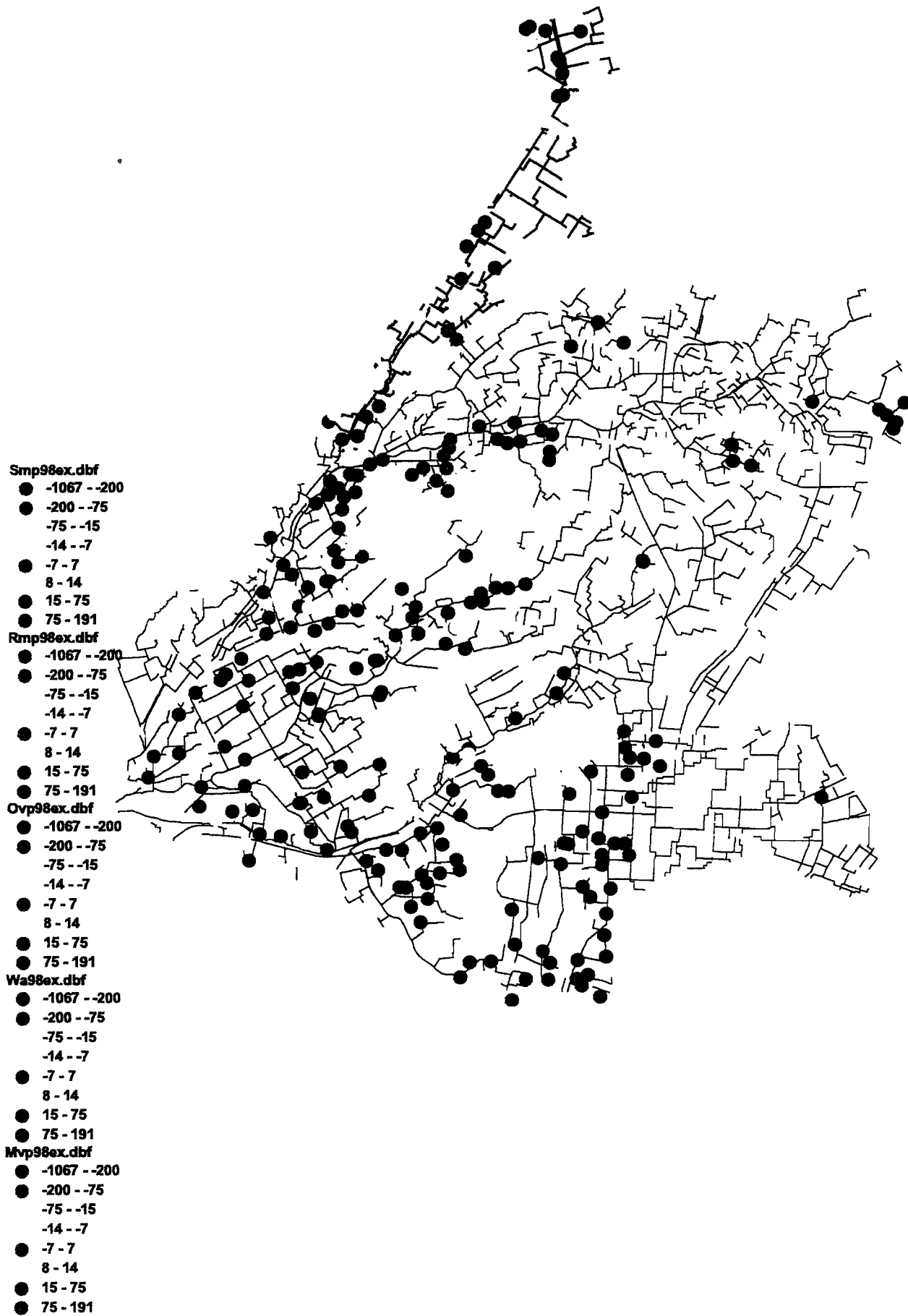
**Gt-begrenzings (TNO/Staring Centrum) aan de hand van grwtrap IV
(behorende bij de functie freatisch grondwater, cf WHHP Drenthe):**

zomer: GT IV max: 2.25 - 0.70 = 1.55 m+NAP
GT IV min: 2.25 - 0.95 = 1.30 m+NAP
streefpeil: 1.42 m+NAP

winter: GT IV max: 2.35 - 0.40 = 1.80 m+NAP
GT IV min: 2.35 - 0.80 = 1.40 m+NAP
streefpeil: 1.60 m+NAP

grondwater standen

Appendix C5



opname van 28/1/1998



Bijlage D Inventarisatierapport waterschap



Inhoud

| | |
|---|--------------------------------|
| 1 Inleiding | 1 |
| 1.1 Het nieuwe waterschap Groot Salland | 1 |
| 1.2 Gebiedsbeschrijving | 2 |
| 1.3 Peilbeheer | 3 |
| 1.4 Verdroging | 3 |
| 2 Conclusie | 5 |
| Appendix | |
| D1 | Tijdstijghoogtelijnen |
| D2 | Meetnet grondwaterstandsbuizen |

1 Inleiding

Dit rapport is een verslag van het gesprek met dhr. E. Broeze van Waterschap Groot Salland. Een beschrijving van het hedendaagse en toekomstige peilbeheer vormt het belangrijkste punt van dit rapport. Deze inventarisatie vindt plaats in het kader van een afstudeeropdracht voor TNO. Het doel van de inventarisatie, is het verkrijgen van een goed inzicht in het hedendaagse peilbeheer. Ik wil de heer Broeze hartelijk bedanken voor het inzicht dat hij mij gegeven heeft in het waterbeheer bij waterschap Groot Salland.

1.1 Het nieuwe waterschap Groot Salland

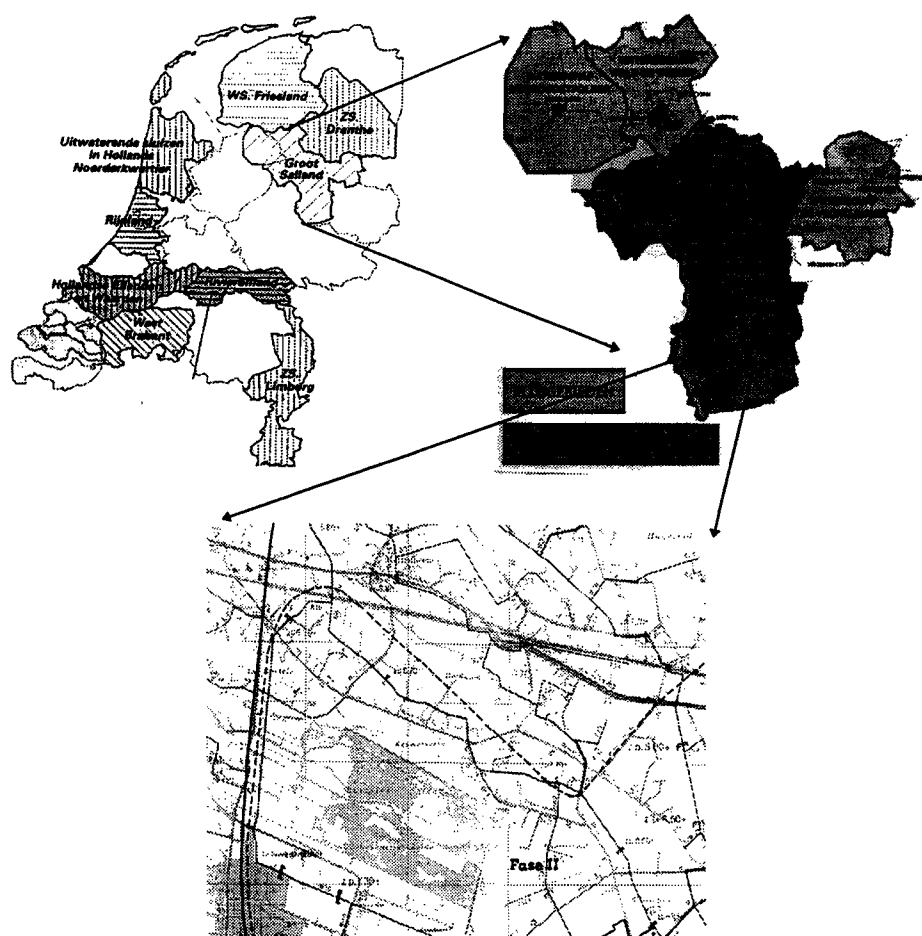
Waterschap Groot Salland is op 1 januari 1997 ontstaan uit een fusie van de waterschappen IJsseldelta, Bezuiden de Vecht, Salland, de Noorder Vechtdijken, Benoorden de Dedemsvaart en Zuiveringschap West-Overijssel. Het waterschap Groot Salland is een all-in waterschap. Dit houdt in dat het nieuwe waterschap zowel het waterpeil en de waterkwaliteit als de rivierdijken beheert.

Het all-in waterschap Groot Salland, is beter in staat grootschalige projecten aan te pakken en te bekostigen. Bovendien kan het waterschap de belangen van de verschillende betrokkenen bij het beheer van het oppervlaktewater zoals Agrariërs, Industrie, Natuur- en Milieuorganisaties en recreanten, goed tegen elkaar afwegen. Een goede belangenafweging is nodig om het oppervlaktewater duurzaam te beheren.

Het waterschap Groot Salland verzorgt tot het jaar 2000 ook de waterkwaliteitstaak in de gebieden van de waterschappen Wold en Wieden, Noordoostpolder en de Vechtlanden, de zogenoemde plusgebieden. Op dat moment zijn ook hier nieuwe all-in waterschappen gevormd:

- Waterschap Wold en Wieden met het Drentse waterschap Meppelerdiep;
- Waterschap de Vechtlanden met het Drentse waterschap het Suydevelt;
- Waterschap Noordoostpolder met het Flevolandse Heemraadschap Fleverwaard.

Deze all-in waterschappen nemen de kwaliteitstaak in de plusgebieden over van het waterschap Groot Salland en het zuiveringschap Drenthe (Bron: Brochure, Groot Salland).



Figuur 1 Overzichtskaart waterschap Groot Salland

1.2 Gebiedsbeschrijving

Het waterschap Goot Salland is een glooiend gebied. In het oosten van het waterschap is het hoogste punt de Holterberg met een hoogte van ca. 70m + NAP. De holterberg vormt ook de geografische scheiding met het waterschap Regge en Dinkel. In het grootste gedeelte van het waterschap komen maaiveldshoogtes voor, uiteenlopend van ca. 11m + NAP tot 0.5m - NAP. De afwatering in het gebied vindt plaats in noord-westelijke richting naar Zwolle. In het grootste gedeelte van het gebied vindt vrije afstroming plaats, met uitzondering van de in het noorden gelegen Mastbroekpolder.

De ondergrond van het gebied bestaat overwegend uit zand. Langs de ijsel is op een aantal plaatsen een laag klei afgezet en in het noorden komt nog wat veen voor. De zand gebieden zijn goed doorlatend en de afwatering uit deze gebieden is dan ook uitstekend.

1.3 Peilbeheer

Op dit moment zijn er ca. 700 peilbuizen in het gebied die twee wekelijks worden gemeten. Voor weergave peilbuizen zie appendix D2. De gegevens van deze buizen worden niet gebruikt in het operationele peilbeheer. Ze worden gebruikt in de hydrologische modellen, die gemaakt worden voor de planvorming. De hydrologische modellen en spreadsheets worden erg veel gebruikt bij het waterschap. Doordat de ondergrond van het gebied bestaat uit een homogene zandbodem is het goed te modelleren. De modelberekeningen kloppen goed met de in praktijk optredende effecten. Er wordt daarom veel met modellen gewerkt en ook in de toekomst biedt het goede mogelijkheden, als ondersteuning van te nemen beslissingen in het waterbeheer.

Het operationele peilbeheer is ook gebaseerd op sturing binnen vooraf vastgestelde maximale en minimale streefpeilen voor het oppervlaktewater. Deze sturing vindt in het veld plaats door waterbeheerders. Deze interpreteren naar eigen inzicht en worden niet ondersteund door enige meetgegevens.

De nieuwe peilbeheermodule van TNO zal ook niet direct gebruikt gaan worden in het operationele peilbeheer. De module zal voornamelijk worden ingezet bij het maken van plannen.

1.4 Verdroging

De combinatie van een goede doorlatendheid van gronden en het graven van drainagekanalen in de jaren '50 en '60, hebben voor een verdroging gezorgd op een aantal plaatsen in het gebied. Er is daarom een voor een aantal gebieden een wateraanvoerplan gemaakt. De effecten van de wateraanvoer in het plangebied van Lutterberg is bepaald aan de hand van een uitgevoerde infiltratieproef in het Boeterveld en op grond van grondwatermodelberekeningen met de computer. Om meer inzicht te krijgen of de wateraanvoer wel het gewenste effect oplevert in het plangebied, is een infiltratieproef in een rondom het Boeterveld uitgevoerd. Middels deze proef kan in de praktijk bekeken worden of de aanvoer van water naar het plangebied net als in andere watervoorzienings- gebieden voldoende waterstandsverhogingen tot gevolg heeft. Ook levert deze proef aanvullende informatie over de relatie grond- en oppervlaktewater.

Om de effecten goed te kunnen meten zijn er ca. 100 peilbuizen in het gebied geplaatst. De gegevens van de peilbuizen worden gebruikt om het model te ijken en ter evaluatie. Er wordt van tevoren geen definitief doel gesteld voor een te bereiken grondwaterstand. Er wordt gekeken naar het uiteindelijke effect van het inlaten van water. Voor het Boeterveld is wel een gewenste grondwatertrap vastgesteld.

Uit resultaten van de infiltratie proeven blijkt dat de grondwaterstanden in en om het Boeterveld gestegen zijn. Appendix D1 is een weergave van een grondwaterstandsbuis.

Het bleek dat na het stoppen met inlaten van water de grondwaterspiegel heel snel terugzakte naar de uitgangssituatie. Naast de relatie grond- en oppervlaktewater die uit de proef volgt, kan ook de infiltratieweerstand worden bepaald wat een belangrijk parameter is bij grondwaterberekeningen. Voor een gedetailleerde uitleg van de proef en de effecten verwijs ik naar het rapport “*watervoorziening Luttenberg, uitvoeringsfase 2*”.

Een ander project waar op dit moment aan gewerkt wordt is het “Waterconserverings- project Marswetering”, met als doel de verdroging in het gebied tegen te gaan.

2 Conclusie

Een direct verschil tussen Groot Salland en de waterschappen Meppelerdiep en 't Suydevelt is dat op dit moment nog geen directe sturing op grondwater plaats vindt en er ook nog geen plannen voor zijn. Er is wel veel ervaring en onderzoek geweest naar koppeling grond- en oppervlaktewater met behulp van hydrologische modellen en het spreadsheetmodel "WICK". De metingen die worden gedaan, worden vooral gebruikt bij het doorrekenen van nieuwe plannen en ter evaluatie. Voor de toekomst worden deze modellen als basis gezien bij het uitvoeren van het waterbeheer. Dit is ook goed mogelijk doordat het homogene gebied, zonder de invloed van storende lagen, zich uitstekend leent voor modellering.

TIJD-STIJGHOOGTELIJNEN 22-05-1996 t/m 28-08-1996 Schaal 1: 10

27HX81C.BS

buis c - westraai

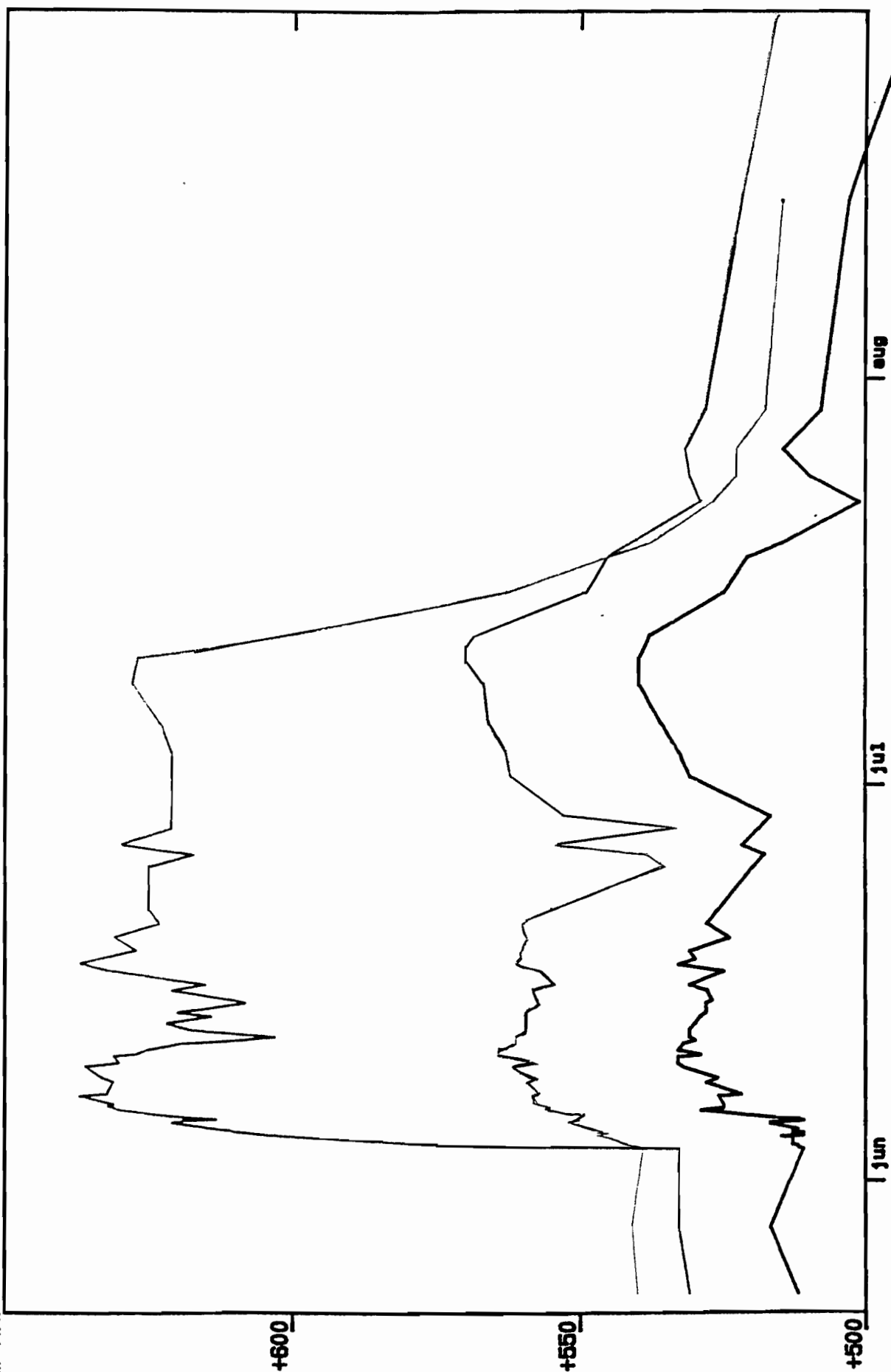
27HX81K.BS

buis k - oostraai

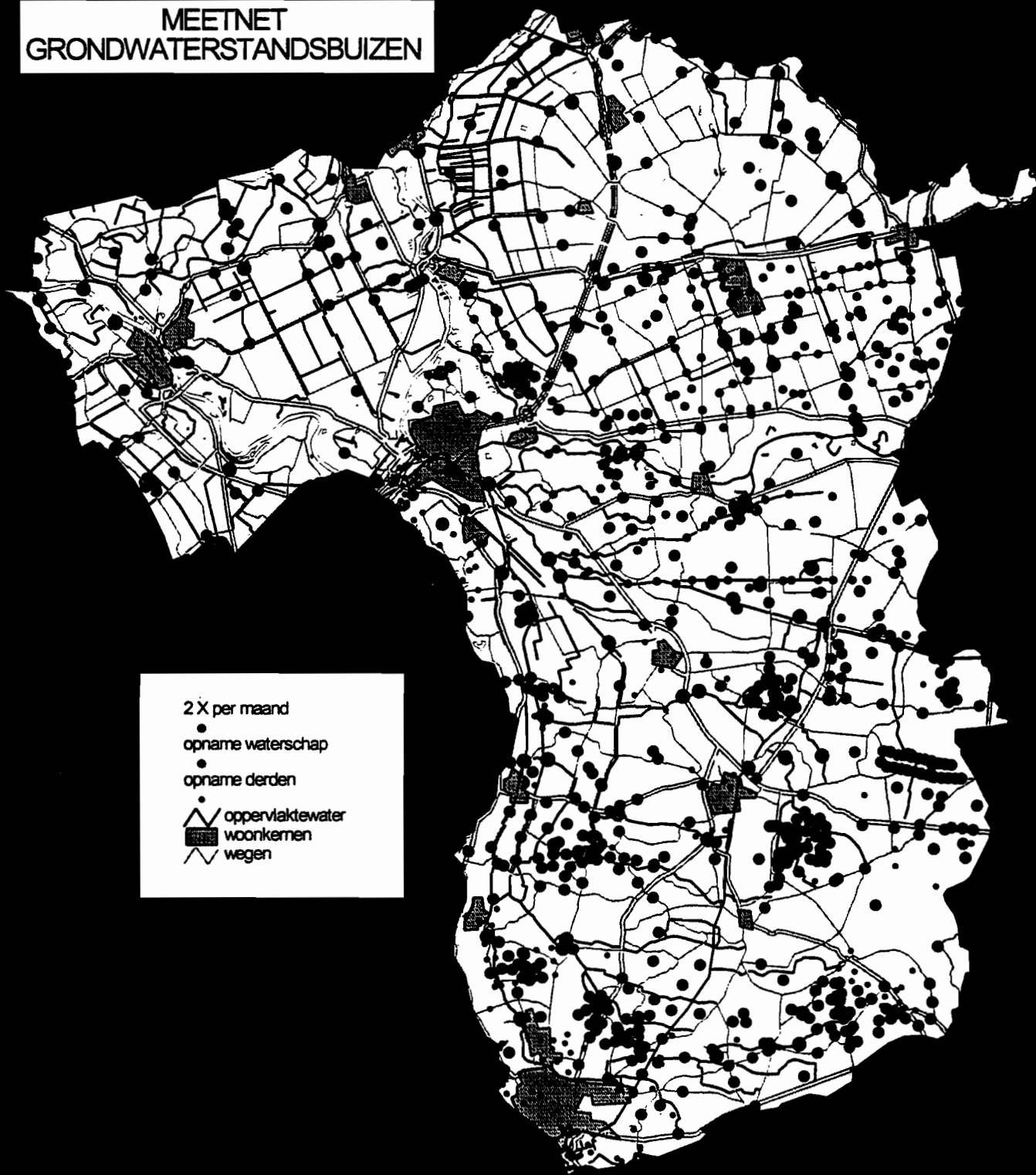
27HX81W.OW

open water (west raai)

cm+NAP



MEETNET
GRONDWATERSTANDSBUIZEN



WATERSCHAP GROOT SALLAND

Bijlage E Inventarisatierapport waterschap ‘t Suydevelt

Inhoud

| | |
|-----------------------|---|
| 1 Inleiding..... | 1 |
| 1.1 Verdroging | 2 |
| 1.2 Peilverloop | 2 |
| 1.3 Meetnet..... | 2 |
| 1.4 Provincie | 3 |
| 2 Toekomst | 4 |
| 2.1 Conclusie..... | 4 |

Appendix

| | |
|----|--|
| E1 | Ligging waterschappen in Drenthe |
| E2 | Gewenste grondwaterstand voor een peilvak |
| E3 | Rapport: <i>Project gewenste grond- en oppervlakesituatie voor waterschap ‘t Suydevelt</i> |

1 Inleiding

Dit rapport is een verslag van het gesprek met dhr. E de Gruyter van Waterschap 't Suydevelt. Een beschrijving van het hedendaagse en toekomstige peilbeheer vormt het belangrijkste punt van dit rapport. Deze inventarisatie vindt plaats in het kader van een afstudeeropdracht voor TNO. Het doel van de inventarisatie, is het verkrijgen van een goed inzicht in het hedendaagse peilbeheer.

Specifieke onderzoeksdoelstelling waterschappen

Belangrijkste vraag van dit onderzoek is in hoeverre het dynamisch peilbeheer bij waterschappen op de hoge zandgronden in Nederland mogelijk is. Tevens zal bekeken worden of dynamisch peilbeheer ondersteund kan worden door een te ontwerpen beslissingssysteem.

Hiervoor is het verkrijgen van een goed inzicht in het hedendaagse peilbeheer van deze waterschappen een voorvereiste, daarom dit onderzoek waarin alle facetten die in het waterbeheer een rol spelen aan bod zullen komen.

In de appendix E3 is het rapport "*Project Gewenste Grond- en Oppervlaktewatersituatie voor Waterschap 't Suydevelt*" van de heer E. de Gruyter bijgevoegd. In dit rapport staat heel goed beschreven hoe het waterschap het peilbeheer in de toekomst uit zal gaan voeren. Ik heb een kleine samenvatting gemaakt van het gesprek en verwijs vaak naar het in de appendix E3 toegevoegde rapport, omdat het dubbel werk is dit ook nog eens op te schrijven.

Ik wil een ieder die dit leest aanbevelen beiden te lezen. Tevens wil ik de heer de Gruyter bedanken voor de heldere uiteenzetting en het inzicht dat hij mij gegeven heeft in het waterbeheer bij Waterschap 't Suydevelt.

1.1 Verdroging

Waterschap 't Suydevelt is gelegen in oost Drenthe (appendix E1). Het is een zeer glooiend gebied en loopt uiteen van ca. 7 tot en met 23 meter + NAP. In een poging de verdroging af te remmen wordt geprobeerd in de hogere delen van het gebied water op te sparen tijdens natte perioden. Dit water kan dan tijdens droge perioden dienen als wateraanvoer naar de lager gelegen delen in het gebied. Het bufferen van water in het lage gedeelte van het waterschap heeft weinig effect, omdat in droge perioden het water heel snel weg is. In de hogere gedeeltes van het gebied kan een veel grotere hoeveelheid water gebufferd worden en dit zorgt automatisch voor een constante aanvoer van water naar de lagere gedeeltes via kwel. Het Oranjekanaal heeft een belangrijke taak in het aanvoeren van water tijdens droge periodes. Tevens geeft het de mogelijkheid de peilen in de hogere gedeeltes van het gebied op te zetten.

1.2 Peilverloop

In de winter kan het waterpeil worden opgezet om water op te sparen. Echter begin april moet het grondwaterpeil omlaag, omdat de boeren het land op moeten kunnen en de gewassen een diep wortelstelsel moeten kunnen vormen. In de loop van het voorjaar moet het peil dan weer opgebouwd worden. Dit resulteert in een gewenst grondwaterstandsverloop door het jaar heen.

Er vindt sturing plaats aan de hand van grondwaterstreefpeilen, die binnen een bepaald maximum en minimum dienen te blijven. Deze sturing is vooraf, aan de hand van een grondwaterstandsverloop, bepaald voor het gehele groeiseizoen (zie appendix E2). Er wordt per peilvak een ideaal grondwaterstandsverloop bepaald, dat is afgestemd op het landgebruik. Voor bepaling van het grondwaterstandsverloop zie appendix E3, hfst. *grondwater gerelateerd peilbeheer*, blz.6.

1.3 Meetnet

Op dit moment zijn er ongeveer 500 peilbuizen in het gebied. De meeste van deze buizen zijn niet te gebruiken voor dynamisch grondwaterbeheer, doordat ze één maal in de twee weken worden afgelezen. De pieken van buien vallen volledig weg, dus is niet mogelijk te sturen op deze waarden.

Er wordt een nieuw meetnet opgezet, waar eens per twee uur (automatisch) gemeten gaat worden. Hierbij staat de peilbuis in het 10 % laagste deel van het gebied, omdat de kwetsbaarheid en reactiesnelheid daar het grootst zijn. Door de kwetsbaarheid van het gebied is de bovengrens vrij hard, omdat overschrijding van deze waarden grote schade aan de landbouw kan aanrichten. De ondergrens is

minder hard omdat vaak geen directe schade optreedt. Voor inrichting meetnet zie appendix E3, hfst. *Operationalisering* blz. 7.

1.4 Provincie

De provincie heeft haar taak, het beheer van freatisch grondwater, overgedragen aan de waterschappen. Op dit moment hebben de waterschappen nog de mogelijkheid tot vrije invulling van het grondwaterbeheer. De peilen worden niet in peilbesluiten vastgelegd en zullen de waarden van streefpeilen houden. (beleid zal nader onderzocht worden)

2 Toekomst

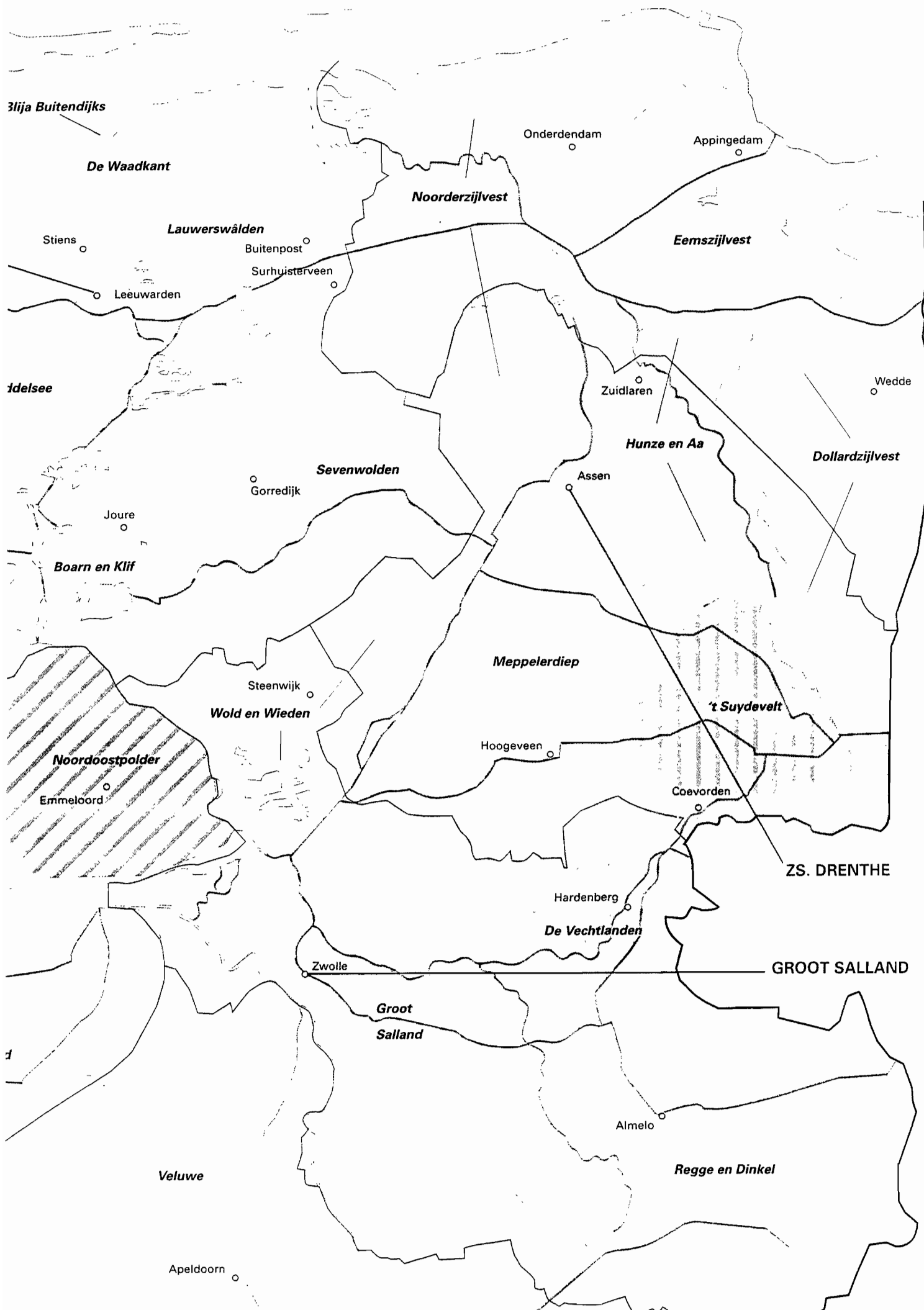
Het mooiste zou zijn om in het toekomstig waterbeheer ook rekening te houden met de vochttoestand van de bodem. Dit is voornamelijk voor de landbouw van belang. Als het grondwater te sturen is zou dit een belangrijk punt zijn om te beheersen.

De hydrotypen die nu door Staring ontwikkeld worden zijn nog te grofschalig vooral voor het zeer diverse gebied van het waterschap. De beïnvloedingsfactoren als keileem en reliëf die op kleine schaal voorkomen hebben een te grote invloed op het peilbeheer. Deze zouden heel precies gemodelleerd moeten worden. Neurale netwerken zouden volgens de heer de Gruyter een mogelijkheid bieden bij beslissingssystemen in de toekomst. Het nadeel ervan is dat na een ingreep opnieuw alles ingevoerd zou moeten worden. Dit zou kunnen worden ondervangen door koppeling met een rekenmodel.

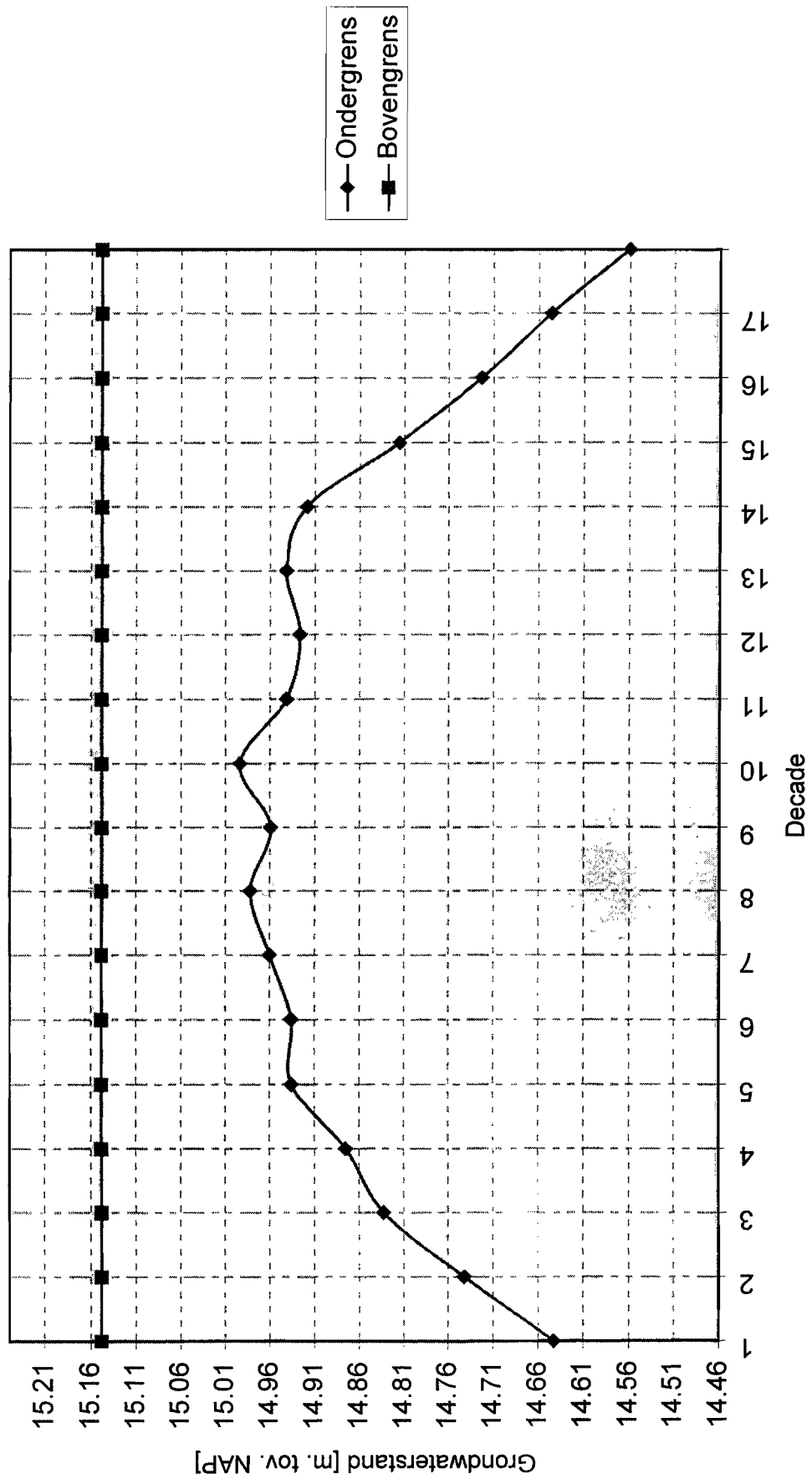
2.1 Conclusie

Het peilbeheer van de toekomst bij waterschap 't Suydevelt is het beheren van een gewenst grondwaterstandsverloop. In hoeverre dit haalbaar is zal de praktijk uit moeten wijzen. Bij waterschap het Meppelerdiep worden streefpeilen op een andere manier bepaald en wordt rekeningen gehouden met de gewenste grondwatertrap. Nadeel hiervan is dat de grondwatertrap nogal grofschalig is en gebaseerd op de extreme waarden. Het voordeel is dat door het grofschalig karakter van het peil de realiseerbaarheid groter is.

Een gewenst grondwaterstandsverloop heeft als grote voordeel dat het nauwkeurig is af te stemmen op de gebruiksfuncties van het landgebruik. De toekomst zal uit moeten wijzen of het gewenste grondwaterstandsverloop in praktijk ook realiseerbaar en goed te beheren is.



Gewenste grondwaterstand Grasland peilvak 58 [m. tov. NAP]



Project Gewenste Grond- en Oppervlaktewatersituatie voor het Waterschap 't Suydevelt.

Februari 1998

| | |
|--|-----------|
| INLEIDING..... | 3 |
| DE TAAK VAN HET WATERSCHAP..... | 3 |
| TRADITIONEEL PEILBEHEER..... | 3 |
| COMPUTERONDERSTEUND PEILBEHEER..... | 3 |
| <i>Vochtgehalte in de wortelzone</i> | <i>4</i> |
| <i>Vochtbehoefte.....</i> | <i>4</i> |
| <i>Gewenste grondwaterstand.....</i> | <i>4</i> |
| <i>Gewenste oppervlaktewaterstand.....</i> | <i>4</i> |
| <i>Verwachte vochtbehoefte</i> | <i>4</i> |
| <i>Knelpunten.....</i> | <i>5</i> |
| <i>Beheersgebied waterschap 't Suydevelt</i> | <i>5</i> |
| GRONDWATER GERELATEERD PEILBEHEER | 5 |
| BEPALEN GEWENSTE GRONDWATERSITUATIE..... | 6 |
| <i>Landbouw.....</i> | <i>6</i> |
| <i>Natuur</i> | <i>6</i> |
| <i>Gewenste grondwatersituatie per peilvak, afweging belangen.....</i> | <i>6</i> |
| <i>Optimaliseren peilvakken.....</i> | <i>7</i> |
| OPERATIONALISERING | 7 |
| <i>Relatie oppervlaktewater-grondwater.....</i> | <i>7</i> |
| <i>Inrichting meetnet</i> | <i>7</i> |
| INVOERING | 8 |
| <i>Proefgebied.....</i> | <i>8</i> |
| <i>Aanpassen peilvakken.....</i> | <i>8</i> |
| <i>Beschrijving peilbeheer.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Voorlichting en inspraak.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Inhoud van de beschrijving.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Invoering voor het gehele gebied</i> | <i>10</i> |
| EVALUATIE EN BIJSTELLING | 10 |
| VERWACHTINGEN..... | 10 |

Inleiding

Het peilbeheer is in beweging.

Dat is een goede zaak, want het gebruik van de moderne technologie, zoals ook bij het waterschap, leidt niet per definitie tot hogere kosten, maar wel tot een hoger niveau van de wijze waarop het waterschap haar taak uitoefent.

In deze notitie wordt beschreven hoe het Waterschap 't Suydevelt voornemens is invulling te geven aan haar taak als beheerder van het ondiepe grondwater.

Aanleiding daarvoor zijn onder meer de hogere eisen die door de klant worden gesteld, de bestrijding van de verdroging van de natuur, waarbij ook het waterschap een belangrijke taak heeft, de technische ontwikkelingen die meer mogelijkheden bieden en de formele taak als beheerder van het ondiepe grondwater die sinds kort bij wet aan het waterschap is opgedragen.

De taak van het waterschap

De taak van het waterschap is reglementair omschreven als de zorg voor de waterhuishouding binnen het beheersgebied. In feite gaat het om het realiseren van een zodanige waterhuishouding dat een optimale situatie wordt gecreëerd ten behoeve van de functie van het gebied. Dat is meestal landbouw, natuur of stedelijk gebied. Iedere functie stelt zijn specifieke eisen aan de waterhuishouding. In het geval van landbouw is de kwaliteit en de beschikbaarheid van water voor het gewas en de draagkracht van de grond t.b.v. de bewerkbaarheid van belang. De natuur vraagt om andere, doorgaans hogere peilen en stelt hogere eisen aan de kwaliteit. De taak van het Waterschap gaat dus veel verder dan alleen af- en aanvoer en het op peil houden van oppervlaktewater.

Traditioneel peilbeheer

Bij traditioneel peilbeheer zijn voor het oppervlaktewater peilen vastgesteld. Het waterschap draagt er zorg voor dat die peilen zo goed mogelijk worden gehandhaafd.

Hierop zijn allerlei varianten mogelijk, variërend van decentraal, op basis van wensen uit het gebied tot centraal, computergestuurd.

Bij het Waterschap 't Suydevelt is momenteel sprake van een decentrale sturing op basis van min of meer vastgestelde streefpeilen voor het oppervlaktewater, waarbij duidelijk inbreng vanuit het gebied aanwezig is. Niet altijd is die inbreng terecht en wordt verzocht om verandering van het oppervlaktewaterpeil terwijl het feitelijke probleem alleen in de bovengrond zit. Direct na een periode van neerslag is de bovengrond verzadigd en kunnen er plassen op het land staan die geen enkele relatie hebben met het oppervlaktewaterpeil. Verlagen van dat peil heeft dan ook geen zin.

De gehanteerde zomer- en winterstreefpeilen zijn indertijd in ruilverkavelingsplannen geadviseerd door de Dienst Landelijke Gebieden en eventueel bijgesteld door praktijkervaring. Een probleem daarbij is dat de gehanteerde peilen meestal afgestemd zijn op het laagste perceel waardoor de kans bestaat dat de hoger gelegen percelen een te laag peil hebben. Dit is uiteraard ongewenst.

Computerondersteund peilbeheer

In feite zou het waterschap haar werkzaamheden moeten uitvoeren op basis van de waterhuishouding in de wortelzone.

Wat nodig is is het bepalen van de vochtbehoefte en de beschikbare hoeveelheid vocht. Wanneer te weinig of teveel aanwezig is moet het waterschap hierin sturend optreden.

Vochtgehalte in de wortelzone

Het vochtgehalte in de bodem is moeilijk meetbaar. Met behulp van ingewikkelde berekeningen kan het wel min of meer bepaald worden. Daartoe moet dan een computermodel worden gebouwd en zullen de actuele gegevens moeten worden ingevoerd: neerslag, verdamping, werkelijke oppervlaktewater- en grondwaterstanden. De nauwkeurigheid van een dergelijke berekening staat of valt met de nauwkeurigheid van de beschikbare gegevens. Knelpunten hierbij zijn het verspreid vallen van de neerslag, voornamelijk in de zomer, de onnauwkeurigheid in het bepalen van de werkelijke (gewas)verdamping, de kwel en de wegzijging.

Vochtbehoefte

De vochtbehoefte van een gebied wordt bepaald door het gewas. Natuurgebieden hebben een andere vochtbehoefte dan landbouwgebieden. In de landbouwgebieden zijn gewasfactoren van belang (soort, groeistadium, zaai-, poot-, oogstdata).

Gewenste grondwaterstand

Hoe complexer het gebied is, hoe onnauwkeuriger het model en dus de berekeningen. In een divers gebied als van het Waterschap 't Suydevelt met sterk wisselende bodemopbouw en veel hoogteverschillen binnen een peilvak wordt het maken van een model dat op een juiste manier de werkelijkheid schematiseert een vrijwel onmogelijke opdracht.

Zelfs als met een redelijke mate van nauwkeurigheid kan worden bepaald wat de vochttoestand van de wortelzone is, dan ben je er nog niet. In het geval van een te laag vochtgehalte zal water moeten worden aangevoerd naar de wortelzone. Dit gebeurt via beregening of via capillaire opstijging vanuit het grondwater. Dit laatste kan door het waterschap bevorderd worden door te zorgen dat het grondwater voldoende hoog staat om aan de vochtbehoefte te voldoen. Of er daadwerkelijk zoveel water opstijgt hangt af van de gesteldheid van het perceel: de aanwezigheid van storende lagen (gliedelaagjes of ploegzolen) en is dus ook weer een zwakke schakel in het proces.

Hier speelt ook het relief binnen het maaiveld een zeer belangrijke rol. Het is onmogelijk om op ieder punt in het peilvak de juiste grondwaterstand te realiseren. De lage terreinen spelen hierbij een bepalende rol.

Gewenste oppervlaktewaterstand

De volgende schakel, de beïnvloeding van het grondwater met het oppervlaktewaterpeil, is al even zwak. Niet iedere centimeter verhoging van het oppervlaktewaterpeil levert ook over het gehele peilvak dezelfde verhoging op. De doorlatendheid van de bodem en de slootwand levert een behoorlijke vertraging op, in enkele gevallen zelfs een onmogelijkheid (keileem). De aard en/of aanwezigheid van drainage is veelal niet bekend. Ten aanzien van de modelontwikkeling is ook dit een zeer grote bron van onnauwkeurigheid.

Overigens zal een doorwerking van een verhoging van het oppervlaktewaterpeil op het grondwater vaak pas tot stand komen nadat er neerslag is gevallen.

In de praktijk zal ook (uitgaande van voldoende wateraanvoermogelijkheden) het oppervlaktewaterpeil niet vlak zijn, maar, afhankelijk van de begroeiingstoestand van de watergangen, onder een verhang liggen.

Verwachte vochtbehoefte

Het geheel wordt nog complexer. Feitelijk gaat het niet om de actuele vochtbehoefte, maar om de vochtbehoefte in de loop van de komende periode. De weersverwachting is dus ook

van groot belang. De onnauwkeurigheid ten aanzien van hoeveelheid en plaats waar dit valt is zeer groot.

Knelpunten

Onderstaande tabel geeft de knelpunten in het proces schematisch weer.

| Doelstelling | Knelpunten |
|--------------------------------|--|
| Actuele vochtbehoefte | <ul style="list-style-type: none"> • Variatie in gewassen • Groeistadium gewassen • Verspreiding neerslag • Bepaling verdamping • Kwel/wegzijging |
| Gewenste grondwaterstand | <ul style="list-style-type: none"> • Verschil in hoogteligging binnen het peilvak. • Ruimtelijke variatie in gebied ten aanzien van grondsoort (capillaire opstijging). • Storende lagen in de bodem. |
| Gewenste oppervlaktewaterstand | <ul style="list-style-type: none"> • Relatie oppervlaktewater-grondwater: <ul style="list-style-type: none"> • Ruimtelijke variatie in doorlatendheid van de bodem • Ruimtelijke variatie in slootwandweerstand • Aanwezigheid van drainage. • Begroeiingstoestand van de watergang. • Tijdsfactor bij relatie oppervlaktewater-grondwater. |
| Verwachte vochtbehoefte | <ul style="list-style-type: none"> • Neerslagverwachting: hoeveelheid en locatie |

Beheersgebied waterschap 't Suydevelt

Het beheersgebied van het waterschap 't Suydevelt kenmerkt zich door een grote diversiteit in bodemopbouw en reliëf. In het westelijk deel van het waterschap komt in grote oppervlaktes ondiep keileem voor. Zand en veen wisselen elkaar af. De hoogteligging van het gebied varieert van 24.00 m+NAP tot 8.50 m+NAP over een afstand van 20 km. Binnen een peilvak komen op kleine schaal hoogteverschillen van meer dan 1 meter voor, in de beekdalen nog meer. In het voorgaande zijn enkele beperkingen aangegeven van het centraal geregelde, computer-ondersteunde peilbeheer die in een complex gebied als van het Waterschap 't Suydevelt deze vorm van peilbeheer onaantrekkelijk maken.

De zwakke schakels bevinden zich zowel in het bepalen van de actuele/toekomstige vochtbehoefte, de daaraan gekoppelde grondwaterstand, de relatie grondwater-oppervlaktewater en de factor tijd die daarin zit.

Grondwater gerelateerd peilbeheer

Ondanks de hiervoor benoemde mogelijk foutenbronnen staat het Waterschap 't Suydevelt zeker niet negatief tegenover de ontwikkelingen en het onderzoek ten aanzien van het inzetten van computermodellen om het dagelijks peilbeheer te ondersteunen. Wellicht dat een toename van kennis en verbeterde (zelflerende?) rekenmodellen op termijn goede mogelijkheden gaan bieden. Het waterschap zal de ontwikkelingen op dit gebied blijven volgen en waar mogelijk ondersteunen. Vooralsnog is er bij het Waterschap 't Suydevelt echter geen behoefte om veel energie te stoppen in het bepalen van de op dat moment ideale grondwaterstand (met al zijn onnauwkeurigheden) temeer als het toch al niet mogelijk is om deze ook daadwerkelijk te

realiseren. Daarom is gezocht naar een methode om de onnauwkeurigheden van de hierboven beschreven methode te omzeilen. Gekozen werd voor het aangeven van een bandbreedte waarbinnen het grondwater zich zou moeten bevinden om een min of meer ideale situatie te bereiken. Daarbij is uitgegaan van een bovengrens en een ondergrens. Zolang het grondwater zich daartussen bevindt is het risico van inundaties acceptabel en is de afstand tussen het grondwater en het maaiveld voldoende om het gewas vanuit het grondwater van voldoende vocht te voorzien.

Bepalen gewenste grondwatersituatie.

Landbouw.

In een reliëfrijk peilgebied is het onmogelijk voor het gehele gebied de ideale grondwaterstand te bepalen omdat het grondwater nou eenmaal niet als een grillig, het maaiveld volgende vlak, kan worden ingesteld. IWACO en het Waterschap 't Suydevelt hebben met behulp van de digitaal beschikbare hoogtekaart en een GIS een methode ontwikkeld om per peilvak voor de landbouw de gewenste grondwatersituatie gedurende het groeiseizoen te bepalen, waarbij de opbrengstvermindering ten gevolge van te nat en te droog minimaal is.

- **De bovengrens.**

De bovengrens van het grondwater wordt als constant aangehouden gedurende het gehele groeiseizoen en ligt 30 cm onder de minimale maaiveldhoogte in een peilvak.

- **De ondergrens**

De basisgedachte bij het bepalen van de ondergrens is dat vochtlevering gedurende het gehele groeiseizoen vanuit het grondwater geleverd moet kunnen worden. Met behulp van het capillair opstijgend vermogen van de grond kan bepaald worden wat voor ieder punt in het peilvak de minimale grondwaterstand zou moeten zijn. Vervolgens is deze per peilvak bepaald door de opbrengstvermindering ten gevolge van te droog en te nat te minimaliseren. Hiervoor is gebruik gemaakt van het programma BODEP. Als absolute bovengrens geldt echter de 30 cm onder het laagste maaiveld, zodat in de praktijk de droogteschade altijd groter blijft dan de natschade. De achtergrondgedachte hierbij is dat op gronden met droogteschade altijd nog rendabele landbouw mogelijk blijft, terwijl dit op gronden met natschade meestal niet meer het geval is. Droogteschade kan verminderd worden middels berekening.

Binnen een peilgebied zijn gronden met ondiepe keileem buiten de optimalisatieslag gehouden.

Voor de wijze waarop dit is gebeurd wordt u verwezen naar het IWACO rapport "Gewenste Grondwatersituatie 't Suydevelt" van november 1997.

Natuur

Voor de natuur zal in de loop van 1998 de gewenste grondwatersituatie in overleg met de terreinbeheerders worden vastgesteld, eveneens in de vorm van een bandbreedte gedurende het gehele jaar.

Gewenste grondwatersituatie per peilvak, afweging belangen

In peilgebieden waar beide (of meerdere) belangen aanwezig zijn zal door het waterschap in overleg met de betrokkenen een afweging tussen de belangen worden gemaakt. Hierbij speelt de provinciale functietoekenning een grote rol.

Optimaliseren peilvakken

Het komt voor dat de ondergrens ten gevolge van de optimalisatie onder de bovengrens komt te liggen. De bovengrens wordt namelijk bepaald op basis van het gemiddeld laagste maai-veld, terwijl de ondergrens bepaald wordt door optimalisatie voor het gehele peilgebied. In voorkomende gevallen dient nog nader bezien te worden of opdelen van het peilgebied rendabel kan zijn.

Operationalisering

Relatie oppervlaktewater-grondwater

De relatie oppervlaktewater-grondwater is bij het bepalen van de gewenste grondwatersituatie niet meegenomen.

De praktijk zal moeten uitwijzen waar en of het überhaupt mogelijk is om het grondwater binnen de bepaalde bandbreedte te handhaven.

Bij het Waterschap 't Suydevelt zijn twee peilbeheerders werkzaam die een grote mate van zelfstandigheid hebben bij het instellen van de oppervlaktewaterpeilen. Hun taak zal worden om de oppervlaktewaterpeilen zodanig in te stellen dat het grondwater binnen de per peilvak opgegeven bandbreedte blijft. Daarbij houden zij rekening met de neerslag(verwachting) en actuele situatie.

In deze vereenvoudigde uitwerking is de actuele vochtbehoefte vervangen door een vochtbehoefte gebaseerd op een gemiddeld (normaal) jaar. Afhankelijk van de omstandigheden zal wellicht hoger of lager in de bandbreedte gestuurd worden.

Bij het bepalen van de bandbreedte (optimalisatie ondergrens) is uitgegaan van een vlakke grondwaterstand. Dit is een sterk vereenvoudigende, maar eigenlijk onterechte aanname. In de hoger gelegen gebieden zal in werkelijkheid een hogere grondwaterstand optreden. Dit betekent dat de optimalisatie is uitgevoerd met een zwaarder accent op de droogteschade: in werkelijkheid zal minder droogteschade optreden. Bij het toepassen van het grondwatergerelateerde peilbeheer zal hiermee rekening worden gehouden.

Inrichting meetnet

Er zal een grondwatermeetnet worden ingericht. In de laagst gelegen delen van het peilvak zal het grondwater doorgaans het snelst reageren. Dit zijn tevens ook de meest kwetsbare delen van het peilvak. In het 10% laagste gedeelte van het peilvak zal een grondwaterstandsmeetbuis worden ingericht. Aan de hand van het grondwaterpeilverloop in deze buis ten opzichte van de gewenste situatie in het peilvak zal worden bepaald of het oppervlaktewater moet worden bijgesteld.

Het is niet de bedoeling ieder peilvak afzonderlijk continu te bemeten. Enkele hydrologisch samenhangende peilvakken zullen als eenheid worden beschouwd. Ten aanzien van het peilbeheer zijn vier typen meetlocatie te onderscheiden:

- Ondersteunende meetlocatie;
- Secundaire stuurlocatie;
- Primaire stuurlocatie;
- Signaallocatie

- Ondersteunende meetlocatie

Een ondersteunende meetlocatie is een peilbuis die niet per definitie in het 10% lage gedeelte van het peilvak staat. Deze buis wordt niet gebruikt om op te sturen. Veelal zijn dit buizen die een ander doel dienen, bijvoorbeeld (lokaal) onderzoek of buizen van terrein-

beheerders. Veel van de meetlocaties die momenteel (van oudsher) in het beheersgebied staan kunnen gaan functioneren als ondersteunende meetlocaties.

Opnamefrequentie is handmatig, 2 x per maand of anders, afhankelijk van de specifieke doelstelling. Waar de buizen niet van belang zijn voor het waterschap zullen ze worden overgedragen of afgestoten.

- **Secundaire stuurlocatie**

Een secundaire stuurlocatie is een peilbuis die gebruikt wordt ten behoeve van het dagelijks peilbeheer en die zich bevindt op een representatieve plek in het 10% laagste gedeelte van het peilvak. Het peilvak vormt een hydrologische samenhang met andere peilvakken. Bijstelling van het oppervlaktewaterpeil vindt plaats op indicatie van een (primaire) stuurlocatie in een ander peilvak. Deze meetlocatie heeft een controlerende functie. Opnamefrequentie is handmatig, naar behoefte. Minimaal 1 x per maand.

- **Primaire stuurlocatie**

Een primaire stuurlocatie is een peilbuis die gebruikt wordt ten behoeve van het dagelijks peilbeheer en die zich bevindt op een representatieve plek in het 10% laagste gedeelte van het peilvak. Het peilvak vormt een hydrologische samenhang met andere peilvakken. Bijstelling van het oppervlaktewaterpeil in dit peilvak en daarmee hydrologisch samenhangende peilvakken vindt plaats (mede) op indicatie van het grondwaterstandsverloop in deze peilbuis.

Opnamefrequentie is continu, middels een Diver of gelijksoortig instrument waarbij de waarden ter plaatse worden opgeslagen in een datalogger. De frequentie van uitlezen van de data is naar behoefte (zie signaallocatie), doch minimaal 1 x per 2 maanden (om controle op het goed functioneren te houden).

- **Signaallocatie**

Een signaallocatie is een peilbuis die representatief wordt geacht voor een groot gebied. Mede op basis van het grondwaterstandsverloop in deze buis wordt besloten tot het inlezen van de gegevens van de primaire stuurlocaties. De meetlocatie kan, maar hoeft niet zelf te functioneren als een primaire meetlocatie.

Opnamefrequentie is continu en er is verbinding met het telemetriesysteem van het waterschap. Eventueel wordt gebruik gemaakt van alarmering.

Bij de inrichting van deze locaties moet uiteraard gewaakt worden dat ze niet zijn geplaatst in een peilvak waar het oppervlaktewaterpeil geautomatiseerd is.

Niet alleen op basis van de gegevens van de signaallocaties zullen de stuurlocaties worden ingelezen. Ook en vooral de kennis en ervaring van de peilbeheerders zal hierbij een belangrijke rol spelen.

Invoering

Proefgebied.

In het groeiseizoen van 1998 zal voor twee peilvakken bij wijze van proef op deze wijze met het peilbeheer worden omgegaan. Verspreid over het peilgebied zullen meerdere peilbuizen worden geplaatst en voorzien worden van een continu meetsysteem (divers).

Aanpassen peilvakken

In enkele peilvakken ligt de ondergrens boven de bovengrens. Dergelijke peilvakken komen wellicht in aanmerking om gesplitst te worden in twee of meer peilvakken door middel van

het tussenplaatsen (of verplaatsen) van stuwen. In de loop van 1998 en verder zullen hiervoor voorstellen gemaakt worden. Uiteraard speelt het rendement hiervan een doorslaggevende rol.

Beschrijving peilbeheer.

Per peilvak zal, op basis van de ervaringen in de twee proefgebieden in 1998 een beschrijving worden gemaakt van het te voeren peilbeheer. Daarbij wordt, naast de bandbreedtes voor het grondwater, aangegeven wat de maximaal en minimaal in te stellen oppervlaktewaterstreefpeilen zijn en de maximale verandering daarbinnen binnen een bepaalde tijdsperiode.

Voor het grondwater zijn verschillende boven- en ondergrenzen bepaald voor grasland en bouwland. In dit stadium zal door het waterschap een afweging worden gemaakt welk gewas in het peilvak het meest bepalend is.

Een oppervlaktewaterstreefpeil moet worden gezien als een na te streven peil, of er nu wel of geen water beschikbaar is om dit peil te handhaven. Dat daar, met name bij de handbediende stuwen, en stuwen in gebieden zonder wateraanvoer afwijkingen zullen optreden mag duidelijk zijn.

Ook zullen de lokale omstandigheden worden beschreven die van invloed zijn op hoe hoog of hoe laag in de bandbreedte zal worden gestuurd. Te denken valt aan kwel of wegzijging, kwetsbaarheid, wateraanvoermogelijkheden etc. Tevens zal worden verwoord welke tijdsafhankelijke omstandigheden tot een afwijkend beheer kunnen leiden. Te denken valt hierbij met name aan meteorologische omstandigheden. In een nat jaar of een jaar met homogene neerslag zal lager in de band worden gestuurd dan in een jaar met langdurige droogte.

Ten behoeve van de verantwoording achteraf zal bij iedere verandering van de in te stellen streefpeilen een logboek worden bijgehouden met de motivatie van de actie.

Voorlichting en inspraak

Per gebied zal in de vorm van een voorstel het grondwatergerelateerde peilbeheer aan de belanghebbenden worden voorgelegd met de mogelijkheid hierop inspraak te hebben. Een goede voorlichting is hierbij van groot belang. Middels kaarten per peilvak op een kadastrale ondergrond kan worden aangegeven wat de voorgestelde bandbreedtes van het grondwater betekenen voor de ontwateringsdiepte en de nat- en droogteschade van de percelen.

Deze voorlichting en inspraak kan op zijn vroegst plaatsvinden vanaf het najaar van 1998.

Inhoud van de beschrijving

Afhankelijk van de ervaringen zal eerst een proefperiode van een of meerdere jaren worden aangehouden om tot een "definitieve" beschrijving van het peilbeheer te komen. Een goede wisselwerking met de belanghebbenden is hierbij noodzakelijk.

Voor de belanghebbenden is het flexibele, grondwatergerelateerde peilbeheer ondoorzichtiger dan een eenvoudig peilbeheer met een zomer- en winterstreefpeil ingaande op bepaalde data. Om toch een zekere verantwoording naar zowel belanghebbenden als bestuur te kunnen afleggen is het vastleggen van deze wijze van peilbeheer van belang.

Deze wijze van peilbeheer zou in de vorm van een nadere uitwerking van het beheersplan kunnen worden vastgelegd, zoals aangegeven in de Wet op de Waterhuishouding.

In de beschrijving worden dan per peilvak vastgelegd:

- Het gewenste grondwaterstandsverloop middels een boven- en ondergrens door de loop van het jaar;
- De maximaal en minimaal in te stellen oppervlaktewaterstreefpeilen;
- De maximale verandering per tijdseenheid van het oppervlaktewaterstreefpeil (bijvoorbeeld niet meer dan 10 cm daling per week), afhankelijk van omstandigheden.

- De beschrijving van lokale en tijdsafhankelijke omstandigheden waarmee rekening zal worden gehouden.

Hierbij behoort een beschrijving van de wijze waarop het waterschap de benodigde gegevens inwint en welke acties daarop worden genomen.

Invoering voor het gehele gebied.

In het groeiseizoen van 1999 en daarna kan geleidelijk aan de modernere wijze van peilbeheer in het gehele gebied worden ingevoerd.

Evaluatie en bijstelling

De effecten op het grondwater van het grondwatergerelateerde peilbeheer zullen worden bijgehouden, alsmede de daartoe te leveren inspanning. De rendementsvraag zal kritisch worden bekeken.

In gebieden waar ingrepen in het oppervlaktewater weinig of geen effect hebben op het grondwater zal de bediening van de kunstwerken geminimaliseerd worden. evenals in gebieden waar het grondwater zich sowieso al binnen de gewenste bandbreedte bevindt.

Op basis van nog te verkrijgen ervaring en/of veranderingen in grondgebruik kan een bijstelling gewenst zijn.

Deze zal dan tevens de procedure tot vaststelling moeten doorlopen. Bij aanpassing van peilvakken zal eveneens bijstelling van de gewenste bandbreedtes plaatsvinden.

De ervaring die hiermee wordt opgedaan zal zo mogelijk worden ingebracht in de ontwikkelingen op het gebied van computerondersteund peilbeheer.

Verwachtingen

Het invoeren van deze wijze van peilbeheer zal niet betekenen dat het hele peilbeheer drastisch anders zal gaan dan voorheen. De huidige zomer- en winterpeilen zijn gebaseerd op ervaring en zullen, eventueel met kleine bijstellingen, gebruikt gaan worden als boven- en ondergrens. In het groeiseizoen is vrijwel altijd een tekort aan water en zal de grondwaterstand in veel gebieden dalen onder de ondergrens, zodat het oppervlaktewaterpeil gedurende het gehele seizoen op zomerpeil wordt gehandhaafd. Het gedurende een langere periode (veel) hoger instellen van het oppervlaktewaterpeil omdat het grondwater daarom vraagt is met het oog op onderhoud beslist af te raden. Het gewas sterft dan af en bij verlaging van het oppervlaktewaterpeil beschadigen de taluds. De schade kon dan wel eens groter zijn dan het voordeel wat gehaald kan worden.

- Het verschil in peilbeheer doet zich voor in het voorjaar en najaar, als meer onderbouwd overgegaan wordt van de winter- naar zomerpeilen en andersom, en in de zomer in de wijze waarop op neerslag wordt gereageerd. Afhankelijk van de grondwaterstand zal minder snel het oppervlaktewaterpeil verlaagd worden, waardoor een betere conservering van water wordt verkregen. Uiteraard dient daarbij vermeden te worden dat te laat wordt gereageerd.
- Ook kunnen verzoeken van ingelanden om het peil te verhogen of te verlagen beter worden afgewogen en beoordeeld op hun effect.
- In een deel van het gebied zullen peilvakken verkleind worden.
- Er kan een betere verantwoording worden afgelegd ten aanzien van het gevoerde peilbeheer naar de ingelanden, bestuur en instanties.

Het resultaat is dat verdroging en droogteschade met de beschikbare middelen beter bestreden worden.

Bijlage F Inventarisatierapport Provincie Drenthe

Inhoud

| | | |
|-----|---------------------------------------|---|
| 1 | Inleiding..... | 1 |
| 1.1 | Historie waterbeheer | 1 |
| 1.2 | Beleidsplanning..... | 1 |
| 1.3 | De rol van de provincie | 1 |
| 1.4 | Verdroging | 2 |
| 1.5 | Afstemming van plannen en beleid..... | 2 |
| 1.6 | Grondwater..... | 3 |
| 1.7 | Toekomst..... | 3 |

Appendix

| | |
|----|----------------------------|
| f1 | Functiekaart |
| f2 | Aanpak verdroogde gebieden |

1 Inleiding

Het geven van richting en de juiste afstemming van de verschillende beleidsterreinen is één van de belangrijke functies van de provincie. De heer Van de Eerenbeemt heeft me een goed inzicht gegeven in deze functies. Dit verslag is een samenvatting van de belangrijkste punten, die tijdens het gesprek met de heer Van de Eerenbeemt naar voren zijn gekomen.

1.1 Historie waterbeheer

Het onderzoek naar waterbeheer heeft zijn oorsprong bij waterschap Dollardzijlvest. In dit gebied is een vrij dicht waterlopenstelsel en zijn vrij goed doorlatende gronden aanwezig. De grondwaterspiegel is hier dan ook vrij goed te beïnvloeden. In vroeger tijden hebben hier dan ook een aantal onderzoeken plaatsgevonden in het kader van waterbeheer.

De ondergrond van de provincie Drenthe bestaat overwegend uit zand. In de lagere delen van de provincie is het waterlopenstelsel vrij dicht. Deze twee factoren hebben tot gevolg dat ook in dit gebied de grondwaterspiegel op de meeste plaatsen vrij goed te beïnvloeden is. Het Drentsplateau vormt een storende factor in het geheel. Dit gebied is hoger gelegen en het sloten patroon is er ook minder dicht. Dit heeft tot gevolg dat het water hier veel minder goed te sturen is.

1.2 Beleidsplanning

Op dit moment regelt het streekplan Drenthe de hoofdlijnen van de ruimtelijke ordening van Drenthe. Alles wat met de waterhuishouding te maken heeft, ligt vast in het huidige waterhuishoudingsplan Drenthe en wordt één keer in de 4 jaar herzien. Het provinciaal Milieubeleidsplan zet op een rij wat er op milieugebied moet gebeuren. Vrijwel alle drie de beleidsterreinen overlappen elkaar op vele punten en is er een grote samenhang. Daarom is er in Drenthe gekozen voor één plan, het Provinciaal Omgevingsplan. Dit plan vervangt alle drie de afzonderlijke plannen en vormt het belangrijkste beleidsinstrument van de provincie.

1.3 De rol van de provincie

De rol van de provincie is de laatste tijd sterk aan verandering onderhevig. Naast de traditionele rol van plannenmaker en plantoetsers, regelgever, vergunningverlener en handhaver, vervult de provincie geleidelijk aan een rol van regisseur, stimulator en partner in het omgevingsbeleid. Deze aspecten komen met name tot uiting in het gebiedsgerichte beleid en de ontwikkeling van regio provincies.

Dat betekent dat het strategisch beleid en de uitvoering daarvan zoveel mogelijk in samenspraak met de andere overheden wordt vormgegeven.

Het instrumentarium dat de provincie daarbij voorhanden heeft, bestaat enerzijds uit wettelijke instrumenten en anderzijds uit instrumenten van meer materiële aard.

Bij wettelijke instrumenten in het waterbeheer kan gedacht worden aan plannen en regels gebaseerd op de wet waterhuishouding (Voorontwerp Provinciaal Omgevingsplan, 1998).

Een praktische invulling van het beleid wordt in het Provinciaal Omgevingsplan gemaakt aan de hand van integrale functietoekenning. Deze gaat uit van opdeling van zones in het landelijk gebied. De indeling in zones heeft betrekking op de wensen en mogelijkheden van de landbouw, de natuur, het landschap, de cultuurhistorie en het recreatief medegebruik. Het gaat dus om een integrale functietoekenning, dat betekent dat de zones zowel de ruimtelijke functies, de waterhuishoudkundige functies als de gewenste milieukwaliteit aangeven. Op de functiekaart (zie appendix f1) is het hele gebied opgedeeld in zes te onderscheiden zones. Deze zones geven aan wat de functie van ieder gebied is (Bron: Drenthe door één bril bekeken, voorontwerp POP in het kort, 1998).

1.4 Verdroging

Het centrale thema binnen het grondwaterbeheer is verdroging. In het plan van aanpak is aangegeven dat in Drenthe 32.000 ha als verdroogd kan worden aangemerkt. In deze gebieden kunnen vanwege een te lage grond- en/of oppervlaktewaterstand en/of een te geringe kwel de bijbehorende natuurdoelstellingen niet worden gerealiseerd. Het begrip verdroogd is hierbij direct gekoppeld aan de , volgens de functietoekenning, te realiseren natuurdoelstelling. Een hoge grondwaterstand en/of grote mate van kwel is in dat geval gewenst om de natuurdoelstelling te realiseren. Het beleid richt zich op een reductie van het verdroogde areaal met 25% in het jaar 2000. In het jaar 2010 wordt gestreefd naar een reductie van 40% (Voorontwerp Provinciaal Omgevingsplan, 1998).

Er is een gebiedsgerichte aanpak om de verdroging tegen te gaan. Dit gebeurt aan de hand van toekenning van gewenste grondwatertrappen per gebied. Voor deze gebieden is ook de huidige grondwatertrap bepaald en het verschil tussen huidige en gewenste grondwatertrap, het verschilpeil, is op kaarten weergegeven (zie appendix f2).

1.5 Afstemming van plannen en beleid

Waterschappen gebruiken het Provinciaal Omgevingsplan (voorheen waterhuishoudingsplan) als richtlijn voor het door hen uit te voeren beleid. In de beheersplannen die de waterschappen maken wordt een verdere detaillering

gegeven over de uitvoering van het beleid. De beheersplannen van de waterschappen worden getoetst aan het Provinciaal Omgevingsplan. De controle van de provincie richt zich dus op toetsing van de beleidskaders. In overleg met waterschappen worden probleemgebieden besproken en plannen gemaakt. Daarnaast zullen waterschappen de grondwatertrappenkaart verder verfijnen en een strategie bepalen om invulling te geven aan de gewenste situatie.

1.6 Grondwater

Voor grondwateronttrekkingen moeten de gebruikers zich laten registreren bij de provincie. Voor boeren die water onttrekken uit het grondwater is tot 60 m³/uur de onttrekking vrij van lasten. Echter nieuwe grondwateronttrekkingen voor grasland of akkerbouw mogen niet tot ontwikkeling komen, dit om verdroging tegen te gaan.

Waterleidingbedrijven moeten een vergunning aanvragen, voor onttrekking van grondwater, bij de provincie. Al deze gebruikers onttrekken water uit het tweede watervoerende pakket op 80 tot 100 meter diepte gelegen. Het beheer van het diepe grondwater ligt dus bij de provincie. Het beheer van het freatisch grondwater vindt plaats door de waterschappen.

1.7 Toekomst

In de toekomst zal de provincie in principe richtinggevend blijven voor het te voeren beleid. Dit zal niet zo snel veranderen, omdat de verschillende beleidsterreinen zeer nauw met elkaar verweven zijn. Als lagere overheden deze taken zouden overnemen, dan zou het veel moeilijker worden te komen tot een goede afstemming van de verschillende beleidsterreinen.

Op het gebied van waterbeheer wordt door middel van een gebiedsgerichte aanpak oplossing gezocht voor de verdrogingsproblemen. Deze gebiedsgerichte aanpak op basis van grondwatertrappen zou in de toekomst verder kunnen worden verfijnd.

- Zone I : Landbouwgebieden
 Zone II : Landbouwgebieden binnen de hoofdstructuur van het landschap
 Zone III: Verwervingsgebieden van landbouw en landschap
 Zone IV: Natuurontwikkelingsgebieden
 Zone V : Natuurgebieden
 Zone VI: Bosgebieden met recreatie, houtteelt en natuur.

| Integrale functietoekenning
landelijk gebied | Bebouwde omgeving |
|---|--|
| Zone I | Streekcentrum |
| Zone II | Sub-
streekcentrum |
| Zone III | Hoofdkern |
| Zone IV | Kleine kern |
| Zone V | Belangrijk
bedrijventerein |
| Zone VI | Begrenzing
ruimtelijke
ontwikkeling |
| Bos | |
| Hydrologisch
aandachtsgebied | |
| | Overige aanduidingen |
| Hoofd infrastructuur | Vliegveld |
| Stroomweg,
dubbelbaans | Glastuinbouw |
| Stroomweg,
dubbelbaans
gepland | Uitbreidings-
richting
glastuinbouw |
| Stroomweg,
enkelbaans | Militair object
of oefenterrein,
intensief gebruik |
| Gebieds-
ontsluitingsweg | Verblijfsrecreatie
groter dan 3 ha |
| Spoorweg | Plangrens |
| Scheepvaart-
kanaal | |



AANPAK VERDROOGDE GEBIEDEN

VERDROOGD GEBIED, TE WEINIG KWEL

- ~~~~~ grotendeels te verbeteren
 ~~~~~ deels te verbeteren  
 ~~~~~ nog niet te verbeteren

VERDROOGD GEBIED, TE LAGE GROND-
WATERSTAND

- grotendeels te verbeteren
 ■ deels te verbeteren
 ■ nog niet te verbeteren
 ■ moeilijk te verbeteren

TIJDREEKSANALYSE:

- ★ geen daling
 ○ daling < 30 cm
 ● daling ≥ 30 cm en ≤ 50 cm
 ● daling > 50 cm
 Wld 3 gebiedsnaam met gebiedsnummer

