32/446 (100) 1e ex.

STARINGGEBOUW

Effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water op de waterkwaliteit in een kwelgebied

R.F.A. Hendriks

Rapport 100

STARING CENTRUM, Wageningen 1990

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0403 9604

18 DEC. 1990

LSN 529972 *

REFERAAT

Hendriks, R.F.A., 1990. Effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water op de waterkwaliteit in een kwelgebied. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 100.
188 blz.; 42 fig.; 17 tab.; 9 aanh.; 44 ref.

Met een netwerkmodel van het oppervlaktewatersysteem is voor drie proefgebieden berekend hoever inlaatwater doordringt in dit systeem. De doorgerekende scenario's hebben betrekking op droge zomers en verschillen in peilbeheer. Daarnaast is met een stroomlijnenmodel de doordringing van inlaatwater in het grondwatersysteem onderzocht. In twee proefgebieden is de kwelintensiteit dusdanig hoog dat in de verst van de inlaat gelegen dode takken relatief weinig inlaatwater in het oppervlaktewatersysteem doordringt. Ook de infiltratie vanuit de waterlopen in het grondwatersysteem is op die lokaties gering. In het derde gebied met minder kwel dringt het ingelaten water in het gehele gebied in hoge percentages in het oppervlaktewatersysteem door. De infiltratie blijft hier echter beperkt tot een strook van maximaal 14 m aan weerszijden van de waterlopen. Waterinlaat betekent voor de drie proefgebieden in het algemeen verlaging van de concentraties van de meeste stoffen in het oppervlaktewater, met uitzondering van nitraat en fosfaat.

Trefwoorden: waterinlaat, gebiedsvreemd water, mate van doordringing, watertransport, simulatiemodel, kwelintensiteit, waterkwaliteit

ISSN 0924-3070

© 1990
STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370 - 74200; telefax: 08370 - 24812; telex: 75230 VISI-NL

Het Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu, en de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

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

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

Project nr. 150.15 004bw/11.90

INHOUD

		Blz
WOORD VOORAF		11
SAMENVATTING		13
1	INLEIDING	17
2	BESCHRIJVING VAN HET ONDERZOEKSGEBIED EN DE PROEFGEBIEDEN	21
2.1	Beschrijving van het onderzoeksgebied	21
2.1.1	Geohydrologische gesteldheid	21
2.1.2	Bodemgesteldheid en grondgebruik	26
2.1.3	Driedeling van het onderzoeksgebied	27
2.2	Keuze van de proefgebieden	29
2.3	Beschrijving van de proefgebieden	30
2.3.1	Weimeren	30
2.3.2	De Oostpolder	31
2.3.3	Teteringen	34
3	HET VELDONDERZOEK	39
3.1	Metingen van hydraulische en hydrologische grootheden	39
3.1.1	Slootkwelmetingen	39
3.1.2	Metingen van grondwaterstanden en stijghoogten in het eerste watervoerende pakket	40
3.1.3	Oppervlaktewaterpeilmetingen	40
3.1.4	Debietmetingen en bepalingen van inlaathoeveelheden	41
3.2	Bepalingen van de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater	41
4	MODELBESCHRIJVING	43
4.1	Modelkeuze	43
4.2	Globale beschrijving van SIMPRO	44
4.2.1	Oppervlaktewatermodel SIMWAT	45
4.2.2	Grondwatermodule SIMUNS	47
4.3	Invoergegevens voor SIMPRO	50
4.3.1	Modelschematisatie	50
4.3.2	Invoer voor SIMWAT	51
4.3.3	Invoer voor SIMUNS	54
4.4	Globale beschrijving van STRELIN	58
5	RESULTATEN VAN DE MODELBEREKENINGEN	59
5.1	Calibratie van SIMPRO	59
5.2	Scenario-berekeningen	65
5.3	Gevoeligheidsanalyses	72
5.4	Berekeningen met STRELIN	76
6	INTERPRETATIE VAN DE GEGEVENS VAN DE OPPERVLAKTEWATERKWALITEIT	83
6.1	Gemiddelde oppervlaktewaterkwaliteit	83
6.1.1	Inlaatwater	84
6.1.2	Gebiedseigen oppervlaktewater	84
6.1.3	Gemiddeld effect van waterinlaat	86
6.2	De vertaalsleutels	89
6.3	Vergelijking van gemeten en berekende oppervlaktewaterkwaliteit	91

Blz.

7	EXTRAPOLATIE	97
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	109
8.1	Conclusies over en aanbevelingen voor de onderzoeksmethodiek	109
8.2	Conclusies over de onderzoeksresultaten	112
LITERATUUR		115
AANHANGSELS		
1	TAXATIE VAN DE ONDERHOUDSGRAAD VAN WATERLOPEN VOLGENS BON	119
2	LIGGING VAN DE MEETPUNTEN VAN SLOOTKWEL EN GROND- EN OPPERVLAKTEWATERPEIL EN BEMONSTERINGS-LOKATIES VAN HET OPPERVLAKTEWATER VOOR DE DRIE PROEFGEBIEDEN	121
2.1	Weimeren	121
2.2	De Oostpolder	122
2.3	Teteringen	123
3	HET BEREKENDE EN GEMETEN VERLOOP VAN HET GROND- EN OPPERVLAKTEWATERPEIL EN DE BIJBEHORENDE F-WAARDEN VOOR DE MEETPUNTEN VAN DE DRIE PROEFGEBIEDEN	125
3.1	Weimeren	125
3.1.1	Grondwater	125
3.1.2	Oppervlaktewater	128
3.2	De Oostpolder	131
3.2.1	Grondwater	131
3.2.2	Oppervlaktewater	134
3.3	Teteringen	136
3.3.1	Grondwater	136
3.3.2	Oppervlaktewater	142
4	WATERBALANSEN EN HOEVEELHEDEN INGELATEN WATER VAN DE DRIE PROEFGEBIEDEN	147
4.1	Weimeren	147
4.2	De Oostpolder	148
4.3	Teteringen	148
5	RESULTATEN VAN DE SCENARIO-BEREKENINGEN	149
5.1	Weimeren	149
5.2	De Oostpolder	151
5.3	Teteringen	153
6	VERTAALSLEUTELS VAN DE DRIE PROEFGEBIEDEN	155
6.1	Weimeren	155
6.2	De Oostpolder	156
6.3	Teteringen	156
7	AFLEIDING VAN DE EXTRAPOLATIEVERGELIJKING	157
8	KWELMETINGEN IN OPEN WATERLOPEN (R.F.A. Hendriks en H.T.L. Massop)	161
8.1	Inleiding	161
8.2	Meetprincipe	161
8.3	Resultaten	162
8.4	Berekening van de gebiedskwel	164
8.5	Berekening van de verticale stromingsweerstand	167
8.6	Conclusies en aanbevelingen	168
9	HET VELDONDERZOEK (R.F.A. Hendriks, J. Pankow en A. v.d. Toorn)	169
9.1	Inleiding	169
9.2	Metingen van grondwaterstanden en stijghoogten in het eerste watervoerende pakket	169
9.3	Oppervlaktepeilmetingen	172
9.3.1	Continue registratie	173
9.3.2	Niet-continue metingen	174

Blz.

9.4	Debietmetingen en bepalingen van inlaathoeveelheden	175
9.4.1	Debietmetingen	175
9.4.2	Bepalingen van inlaathoeveelheden	176
9.5	Bepalingen van de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater	179

FIGUREN

1	Ligging van het onderzoeksgebied en de waterlopen	21
2	Schematisch geohydrologisch profiel	22
3	Dikte van de afdekkende laag	23
4	Dikte van het eerste watervoerende pakket	23
5	Schematische grondwatertrappenkaart	24
6	Isohypsen van het grondwater in het eerste watervoerende pakket voor 28-9-1974	25
7	Chloridegehalte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket	25
8	Bodemkundig-geografische gebieden	27
9	Driedeling van het onderzoeksgebied	28
10	Ligging van de proefgebieden	30
11	Waterlopenstelsel van de proefgebieden Weimeren en De Oostpolder	32
12	Schematische bodemkaart van de proefgebieden Weimeren en De Oostpolder	33
13	Waterlopenstelsel van het proefgebied Teteringen	36
14	Schematische bodemkaart van het proefgebied Teteringen	37
15	Driedeling van het proefgebied Teteringen	38
16	Waterhuishouding van een subgebied schematisch weergegeven	44
17	Schematisatie van het waterlopenstelsel binnen SIMWAT	46
18	Schematisatie van het knooppunten- en toegevoegde berging-reservoir	47
19	Voorbeeld van een afvoerrelatie (Q-h relatie)	49
20	Voorbeeld van een berging-hoogte kromme	52
21	Relatie tussen stromingsweerstand (k_M) en stroomsnelheid (v) voor verschillende onderhoudsgraden	53
22	Voorbeeld van een relatie tussen grondwaterstand en kwelintensiteit voor de zomerperiode	56
23	Het gemeten en berekende verloop van de grondwaterstand in de polders van de proefgebieden	62
24	Het gemeten en berekende verloop van het oppervlaktewaterpeil bij de inlaat van de drie proefgebieden, ten tijde van waterinlaat	63
25	Verloop van het oppervlaktewaterpeil nabij de inlaat van Weimeren tijdens de simulatie van scenario A_1	66
26	Gesimuleerde maximale doordringing van het ingelaten water in Weimeren voor de weerjaren 1976 en 1982 en peilbeheerscenario 1	67

Blz.

27	Gesimuleerde maximale doordringing van het ingelaten water in het inlaatgebied van De Oostpolder voor de weerjaren 1976 en 1982 en peilbeheerscenario 1	68
28	Gesimuleerde maximale doordringing van het ingelaten water in het inlaatgebied van Teteringen voor de weerjaren 1976 en 1982 en peilbeheerscenario 1	69
29	Het verloop van het doordringingspercentage inlaatwater in Weimeren voor scenario A_1	70
30	Resultaten van de gevoeligheidsanalyses voor Weimeren	74
31	Resultaten van de gevoeligheidsanalyses voor De Oostpolder	75
32	Resultaten van de gevoeligheidsanalyses voor Teteringen	76
33	Stroomlijnenpatroon in de verticale doorsnede van de twee transecten voor de inlaatperiode van 1976	79
34	Gemiddelde verplaatsingsbeeld van inlaatwater in het bodemprofiel van een deel van het transect van Weimeren	80
35	Gemiddelde verplaatsingsbeeld van inlaatwater in het bodemprofiel van een deel van het transect van Teteringen	81
36	Extrapolatiegebieden	98
37	Voorbeeld van curve-fitting ter bepaling van de reactiefactor a	99
38	Resultaten van de extrapolatie voor het deel van gebied III waar inlaatwater kan komen	100
39	Resultaten van de extrapolatie voor gebied I	102
40	Resultaten van de extrapolatie voor gebied IV	103
41	Waterlopenstelsel van gebied II	105
42a	Waterlopenstelsel van de gebieden V	106
42b	Waterlopenstelsel van de gebieden VI	106
42c	Waterlopenstelsel van de gebieden VII	107

TABELLEN

1	Radiale slootweerstanden van verschillende grondsoorten	55
2	Resultaten van de berekeningen met de foutenfunctie voor de grondwaterstanden	61
3	Resultaten van de berekeningen met de foutenfunctie voor de oppervlaktewaterpeilen	61
4	Vergelijking van de gemeten en berekende hoeveelheid ingelaten water in 1988 voor Weimeren en Teteringen	61
5	Peilbeheer van de drie peilbeheerscenario's gedurende de inlaatperiode	66
6	Gesimuleerde hoeveelheden ingelaten water voor de drie proefgebieden en de zes scenario's	70
7	Gemiddelde kwelintensiteiten voor de inlaat-perioden van het calibratiejaar 1988 en van de scenariojaren 1976 en 1982	71
8	De belangrijkste termen van de waterbalansen van de gevoeligheidsanalyses, voor de inlaatperiode (123 dagen)	73
9	Schematisatie van het profiel langs de transecten voor de STRELIN-berekeningen	77

Blz.

10	Waterkwaliteitsparametergemiddelden met bovengrenzen en ondergrenzen van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het inlaatwater	84
11	Waterkwaliteitsparametergemiddelden met bovengrenzen en ondergrenzen van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het gebiedseigen oppervlaktewater	86
12	Verandering van de waarden van de waterkwaliteitsparameters in het gebiedsoppervlaktewater als gevolg van waterinlaat	87
13	Similariteitscoëfficiënten r voor inlaatwater, gebiedseigen oppervlaktewater en grondwater	87
14	Voorbeeld van een vertaalsleutel (Weimeren)	90
15	Similariteit tussen gemeten en berekende waterkwaliteit	92
16	Vergelijking van berekende doordringingspercentages voor het inlaatwater met bijbehorende similariteit tussen gemeten kwaliteit en kwaliteit van het optimale mengsel	93
17	Resultaten van de curve-fitting voor het peilbeheer van scenario 1	100

WOORD VOORAF

In het in mei 1987 gereedgekomen onderzoeksrapport 'Watervoorziening voor de landbouw uit het Zoommeer' van de Werkgroep Landbouwwatervoorziening Zoommeer (1987) wordt aangegeven dat wateraanvoer vanuit het Zoommeer economisch rendabel zou kunnen plaatsvinden voor de West-Brabantse klei- en veengebieden en delen van het zandgebied. In dit onderzoek werden milieu-effecten en de invloed op de natuur niet onderzocht. Bij de voorbereiding van het provinciale waterhuishoudingsplan vormen nieuwe wateraanvoer en de heroverweging van bestaande aanvoer een punt van aandacht. Om de effecten op milieu en natuur in de besluitvorming over wateraanvoer uit het Zoommeer te kunnen betrekken, werd door de provincie Noord-Brabant besloten een aanvullende studie naar deze aspecten uit te voeren.

Deze studie werd onderverdeeld in twee delen: een onderzoek naar de waterkwantiteits- en waterkwaliteitsaspecten van waterinlaat en een onderzoek naar de ecologische gevolgen van waterinlaat. Het eerste deel werd door de Dienst Waterstaat, Milieu en Vervoer van de provincie Noord-Brabant opgedragen aan het Staring Centrum; het tweede deel aan de Dienst Ruimtelijke Ordening, Natuur en Landschap en Volkshuisvesting van dezelfde provincie.

Dit rapport beschrijft het waterkwantiteits- en waterkwaliteitsonderzoek, waarin is onderzocht in hoeverre ingelaten gebiedsvreemd water in relatie tot de optredende kwel doordringt in het oppervlaktewater- en grondwatersysteem van het onderzoeksgebied en wat daarvan de gevolgen zijn voor de waterkwaliteit.

Het onderzoek werd uitgevoerd in de periode maart 1988 tot en met september 1989 bij het Staring Centrum te Wageningen door R.F.A. Hendriks. De gewaardeerde projectleiding berustte bij J. Drent. Belangrijke bijdragen aan het veldonderzoek werden geleverd door J. Pankow, A. v.d. Toorn, H.T.L. Massop en K.E. Wit.

Namens de provincie Noord-Brabant werd het onderzoek begeleid door een commissie waarin zitting hadden:

- A.W.M. Mol (voorz.)	prov. N-Brabant, Bureau oppervlaktewater
- H. Pinkse (secret.)	prov. N-Brabant, Bureau oppervlaktewater
- M. Post	prov. N-Brabant, Dienst Ruimtelijke Ordening, Natuur en Landschap en Volkshuisvesting (RNV)
- F. Fahner	prov. N-Brabant, RNV
- G.R. Kant	prov. N-Brabant, Bureau grondwater
- G.J. Leunk	prov. N-Brabant, Bureau grondwater
- H. Joosten	Consulentschap Natuur, Milieu en Faunabeheer
- E. v. Zadelhoff	Consulentschap Natuur, Milieu en Faunabeheer
- W. van der Meer	Landinrichtingsdienst Noord-Brabant
- J.W.M. Elshof	Gewestelijke Raad Landbouwschap

- P. Latour	Hoogheemraadschap West-Brabant
- C. Vermuë	Waterschap De Ham
- P.E. Rijtema	Staring Centrum
- J. Drent	Staring Centrum
- P. Groenendijk	Staring Centrum
- R.F.A. Hendriks	Staring Centrum

De bijdragen van de Begeleidingscommissie aan het onderzoek en de kritische wijze waarop het onderzoek werd gevolgd, zijn zeer door de auteur gewaardeerd.

Dank is verder verschuldigd aan E.P. Querner en P. Groenendijk voor de waardevolle begeleiding van de modelsimulaties en het nuttige commentaar op het concept-rapport.

Bijzondere dank gaat uit naar de heren L.J. Braat van het Waterschap De Markgronden en J. Rombouts van het Waterschap De Boven-Mark, die zo welwillend hun tijd en onmisbare informatie ter beschikking stelden.

SAMENVATTING

Voor de voorbereiding van het provinciale waterhuishoudingsplan van de provincie Noord-Brabant is op verzoek van de Dienst Waterstaat, Milieu en Vervoer van deze provincie in 1988 en 1989 een onderzoek uitgevoerd naar de gevolgen van de aanvoer van gebiedsvreemd water voor het natuurlijk milieu in het westen van Noord-Brabant. Dit onderzoek spitste zich toe op het overgangsgebied van zand- naar kleigronden ten noorden van Breda en Etten-Leur, waarin veel kleinschalige gebieden aanwezig zijn met grote natuurwetenschappelijke waarden. Deze waarden hangen samen met het optreden van kwel vanuit het diepe grondwater en zijn daardoor gevoelig voor veranderingen in de waterkwaliteit, die zouden kunnen optreden als gevolg van waterinlaat uit omringende boezems.

De onderzoeksvragen waren:
- hoe verspreidt ingelaten water zich in de huidige situatie in relatie tot optredende kwel?
- wat is de invloed van waterinlaat op de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater?
- wat zijn de ecologische effecten van waterinlaat?

Het onderzoek naar de waterkwantiteits- en waterkwaliteitsaspecten is uitgevoerd door het Staring Centrum en wordt in voorliggend rapport beschreven. Het ecologische onderzoek is uitgevoerd door de Dienst Ruimtelijke Ordening, Natuur en Landschap en Volkshuisvesting van de provincie Noord-Brabant.

Het doel van het waterkwantiteits- en waterkwaliteitsonderzoek was het beantwoorden van de eerste twee onderzoeksvragen. De resultaten van dit onderzoek moesten worden ingebracht in het ecologische onderzoek. Het zwaartepunt van het totale onderzoek lag op het oppervlaktewater.

Door beperkingen in budget, middelen en tijd is het onderzoek in detail uitgevoerd voor drie proefgebieden waarna is getracht de resultaten te extrapoleren naar het gehele onderzoeksgebied. Het gedetailleerde onderzoek berustte op het meten van enkele hydraulische en hydrologische grootheden, op het analyseren van watermonsters en op het uitvoeren van modelberekeningen met bestaande computermodellen.

De proefgebieden dienden zoveel mogelijk representatief te zijn voor het gehele onderzoeksgebied, maar moesten daarnaast voldoen aan een aantal praktische voorwaarden: het moesten hydrologisch geïsoleerde gebieden zijn, met slechts één inlaat- en uitlaatpunt, waar al wateraanvoer is gerealiseerd en waar goede meetmogelijkheden zijn. De proefgebieden werden gekozen op basis van veldbezoek en beschikbare informatie. De proefgebieden zijn: De Oostpolder, Weimeren en Teteringen en liggen bij Breda. Waterinlaat in de eerste twee gebieden vindt plaats vanuit de Mark, in Teteringen vanuit het Markkanaal.

Gedurende de periode mei 1988 tot en met maart 1989 zijn in de drie proefgebieden metingen verricht van een aantal relevante hydraulische en hydrologische parameters. Het doel van deze metingen was het verkrijgen van invoergegevens voor de model-

len en meetgegevens voor de calibratie van deze modellen. Gemeten zijn: slootkwel, grondwaterstanden, stijghoogten in het eerste watervoerende pakket, oppervlaktewaterpeilen en in- en uitlaatdebieten. In dezelfde periode zijn monsters van oppervlakte- en grondwater genomen en geanalyseerd op de belangrijkste kat- en anion, pH en EGV. Het accent lag hierbij op het oppervlaktewater omdat het onderzoek zich hierop toespitste. Het doel van deze monsternamen en analyses was een indruk te verkrijgen van de kwaliteit van het gebiedseigen oppervlakte- en grondwater, van het inlaatwater en van het oppervlaktewater na waterinlaat, voor de drie proefgebieden.

De modelberekeningen vormden het hoofdonderdeel van het onderzoek. Er is met twee modellen gerekend: SIMPRO en STRELIN. Het model SIMPRO bestaat uit het oppervlaktewatermodel SIMWAT gekoppeld met de grondwatermodule SIMUNS. Met SIMWAT is berekend hoe en in welke mate ingelaten water zich onder bepaalde omstandigheden in het oppervlaktewatersysteem verspreidt. Met het stroomlijnenmodel STRELIN zijn stroomlijnen, waarlangs geïnfiltreerd oppervlaktewater zich in de bodem verplaatst, en verblijftijden van het geïnfiltreerde water berekend. Aan de hand hiervan is een indruk verkregen van de doordringing van inlaatwater in het bodemprofiel. De grondwatermodule SIMUNS leverde de voor de SIMWAT- en STRELIN-berekeningen benodige waterbalanstermen op perceelsniveau.

Alvorens scenario-berekeningen met het model SIMPRO zijn uitgevoerd, is voor elk proefgebied het waterlopenstelsel geschematiseerd tot een netwerk van knooppunten en leidingvakken. Vervolgens zijn de opgestelde netwerkmodellen gecalibreerd aan de hand van meetgegevens. Doel hiervan is het afstemmen van de modellen op de werkelijkheid, zodat de scenario-berekeningen met de gecalibreerde modellen reële resultaten geven. Calibratie is geschied door het zodanig bijstellen van relevante modelparameters, dat een vergelijking van gemeten en berekende waarden bevredigende resultaten geeft. De belangrijkste bijgestelde parameters zijn: de drainageweerstand, de kwelintensiteit, de toegevoegde berging en de weerstand van leidingen en duikers. De ter vergelijking gebruikte gegevens zijn: het verloop van de grondwaterstand, het verloop van het oppervlaktewaterpeil en de hoeveelheid ingelaten water. Voor alle drie de proefgebieden is de calibratie bevredigend verlopen. Het was echter niet mogelijk om te verifiëren of de opgestelde modellen een andere situatie dan die van de meetperiode eveneens op een realistische wijze simuleren. Voor deze verificatie-stap waren geen relevante meetgegevens van een andere periode beschikbaar.

Per gebied is met het gecalibreerde model voor zes scenario's berekend hoever het in de zomermaanden ingelaten water doordringt in het waterlopenstelsel. De zes scenario's bestonden uit een combinatie van twee weerjaren: een droge zomer (10%-droge zomer) en een zeer droge zomer (1%-droge zomer) en drie peilbeheerscenario's: een reëel scenario en een extreem daaronder respectievelijk daarboven. De doordringing is daarbij uitgedrukt als het maximale percentage inlaatwater op een bepaald punt, ongeacht het moment waarop dat maximum wordt bereikt.

Uit de scenario-berekeningen blijkt dat na waterinlaat in een

(zeer) droge zomer het oppervlaktewater in de proefgebieden op een bepaald moment geheel of bijna geheel uit gebiedsvreemd water bestaat; slechts in enkele verder van de inlaat gelegen 'dode takken' dringt het gebiedsvreemde water in lage percentages door. Als gevolg van een relatief hoge kwelintensiteit is de maximale doordringing in De Oostpolder en Weimeren het kleinst. In Teteringen is de kwelintensiteit beduidend minder en dringt het ingelaten water in het gehele gebied in hoge percentages door.

Uit gevoeligheidsanalyses blijkt dat de mate waarin het inlaatwater doordringt mede wordt bepaald door gebiedsspecifieke omstandigheden als de kwel- en beregeningsintensiteit. Veranderingen in deze omstandigheden hebben vooral voor Weimeren en in mindere mate De Oostpolder grote invloed op de doordringing, in Teteringen nagenoeg geen. De weerstand van de waterlopen en duikers in Weimeren heeft een relatief geringe invloed op de mate van doordringing.

De mate van infiltratie vanuit de waterlopen in het bodemprofiel is onderzocht in het geval van een zeer droog jaar bij een reëel peilbeheerscenario voor Weimeren (meeste kwel) en Teteringen (minste kwel). In dit droge jaar vindt gedurende 123 dagen waterinlaat plaats, gevolgd door een drainageperiode van 242 dagen. In Weimeren blijkt de kwelintensiteit dermate hoog dat de maximale zijdelingse infiltratie slechts enkele meters bedraagt. In Teteringen bedraagt de maximale zijdelingse infiltratie circa 14 m. Tijdens de natte periode verdwijnt het meeste van dit water weer tengevolge van drainage. Bij een gemiddelde slootafstand van circa 50 m betekent dit dat zelfs in Teteringen het gebiedsvreemde water niet doordringt tot in de centrale delen van de percelen. Wel kan in Teteringen vanuit de waterlopen in het eerste watervoerende pakket geïnfiltreerd water elders in het gebied als lokale kwel de wortelzone bereiken.

De vertaling van de met het model berekende percentages doorgedrongen inlaatwater naar een oppervlaktewaterkwaliteit is geschied op statistische wijze. Uitgangspunt hierbij was de aanname dat er menging van inlaatwater en gebiedseigen water optreedt, zonder dat er fysische, chemische en biologische processen plaatsvinden. Deze processen zijn niet in het gebruikte model betrokken. Uit een vergelijking van de berekende en gemeten waterkwaliteit tijdens waterinlaat is gebleken dat dit mengconcept resultaten geeft die een realistische orde van grootte bezitten voor de acht parameters EGV en gehalten aan H, K, Na, Ca, Mg, Cl, SO_4. Dit mengconcept blijkt minder geschikt te zijn voor de nutriënten NH_4, NO_3 en PO_4 omdat deze in belangrijke mate aan processen onderhevig zijn.

Het gebiedseigen oppervlaktewater van De Oostpolder lijkt in sterke mate op het inlaatwater. Dit is minder het geval voor Teteringen. De overeenkomst tussen het inlaatwater en het gebiedseigen oppervlaktewater van Weimeren is zeer gering. Waterinlaat heeft in dit gebied een groot effect op de oppervlaktewaterkwaliteit. In Teteringen is dit effect minder en in De Oostpolder minimaal. In het algemeen betekent inlaat van Mark(kanaal)water in de drie proefgebieden verlaging van de concentraties van de meeste stoffen. Dit geldt vooral voor SO_4 en in mindere mate voor Ca en Mg. Uitzonderingen hierop vormen

vooral de nutriënten NO_3 en PO_4. In De Oostpolder en in Teteringen neemt tengevolge van waterinlaat het Na- en Cl-gehalte toe. Deze toenamen zijn echter gering; het EGV neemt in deze gebieden af. De afname van de Na-, Mg- en Cl-gehalten in Weimeren is daarentegen aanzienlijk, wat een verzoeting van dit gebied tot gevolg heeft.

Naast beïnvloeding van de gebiedseigen oppervlaktewaterkwaliteit door gebiedsvreemd inlaatwater speelt beïnvloeding door lokatievreemd water tijdens waterinlaat een rol. Dit geldt vooral voor Weimeren dat een grote ruimtelijke variatie in de kwaliteit van het gebiedseigen water kent.

Het grondwater van het eerste watervoerende pakket vertoont voor alle drie de proefgebieden grote overeenkomst met het gebiedseigen oppervlaktewater. Het grondwater van De Oostpolder is het sterkst verwant aan lithogeen water, dat van Weimeren het minst. Teteringen neemt hierbij een intermediaire positie in. In het geval van Weimeren is deze geringe verwantschap gedeeltelijk te verklaren uit de hoge gehalten aan Na en Cl in het grondwater van dit gebied. Anderzijds wijst ze op een zekere antropogene beïnvloeding van het grondwater. In het algemeen duidt dit verschil in verwantschap met lithogeen water op een relatief geringe antropogene beïnvloeding van het grondwater van De Oostpolder en een relatief sterkere antropogene beïnvloeding van het grondwater van Weimeren en Teteringen.

De extrapolatie van de onderzoeksresultaten van de drie proefgebieden naar het gehele onderzoeksgebied was slechts op beperkte wijze mogelijk. In gebieden waar dode takken in het waterlopenstelsel voorkomen, zal ook in zeer droge perioden het ingelaten water slechts ten dele in deze takken doordringen. Hoever het inlaatwater doordringt in dergelijke gebieden is sterk afhankelijk van de gebiedsspecifieke situatie betreffende kwel- en beregeningsintensiteit, het grondgebruik, bodemfysische eigenschappen, de dichtheid van het slotenstelsel, de weerstand van leidingen en duikers en de grootte van het achterliggende infiltratiegebied. Berekening van de doordringing van inlaatwater in enige mate van detail voor deze gebieden vergt afzonderlijk onderzoek. Voor één gebied, gelegen tussen Weimeren en De Oostpolder, was het mogelijk berekeningen te doen van de maximale doordringing aan de hand van een empirische relatie tussen maximale doordringing en grootte van achterliggend infiltratiegebied. Deze relatie is afgeleid uit de modelberekeningen voor de proefgebieden. In bijna de helft van het onderzoeksgebied komen polders voor zonder dode takken en/of met meerdere inlaat- en uitlaatpunten. Hier wordt meestal aanzienlijk meer water ingelaten dan in de proefgebieden omdat ze fungeren als doorvoergebied naar grote achterliggende inlaat(infiltratie)-gebieden. In deze gebieden zal in een droge periode het oppervlaktewaterstelsel uiteindelijk geheel zijn gevuld met inlaatwater.

1 INLEIDING

In de Zoommeerstudie van de Werkgroep Landbouwwatervoorziening Zoommeer is onderzoek verricht naar de mogelijkheden van wateraanvoer voor de landbouw in westelijk Noord-Brabant vanuit het inmiddels gerealiseerde Zoommeer. Naar de gevolgen voor natuur en milieu is echter niet gekeken.

Ten behoeve van de voorbereiding van het provinciale waterhuishoudingsplan van de provincie Noord-Brabant is op verzoek van de Dienst Waterstaat, Milieu en Vervoer van deze provincie een onderzoek uitgevoerd naar de gevolgen van de aanvoer van gebiedsvreemd water voor het natuurlijk milieu in het westen van Noord-Brabant.

Het onderzoek spitste zich toe op het overgangsgebied van zand- naar kleigronden ten noorden van Breda en Etten-Leur. In dit gebied is door de Dienst Waterstaat, Milieu en Vervoer van de provincie Noord-Brabant een onderzoeksgebied omgrensd, waarin veel kleinschalige gebieden aanwezig zijn met grote natuurwetenschappelijke waarden, die worden toegeschreven aan het optreden van kwel vanuit het diepe grondwater. Deze natuurlijke waarden zijn gevoelig voor veranderingen in de waterkwaliteit. In een aantal van deze gebieden wordt in de zomer water ingelaten uit omringende boezems. Het ingelaten water heeft een andere samenstelling dan het water in de gebieden met als mogelijk gevolg een achteruitgang in natuurwaarden.

Vanwege deze problematiek zijn door eerder genoemde Dienst de volgende vragen geformuleerd:
- hoe verspreidt ingelaten water zich in de huidige situatie in relatie tot optredende kwel?
- wat is de invloed van waterinlaat op de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater in het onderzoeksgebied?
- wat zijn de ecologische effecten van waterinlaat?

Deze vraagstelling heeft ertoe geleid dat het onderzoek in twee delen is gesplitst, te weten:
1 onderzoek naar de veranderingen van de waterkwaliteit in kwetsbare natuurgebieden waar invloed van wateraanvoer kan worden verwacht;
2 onderzoek naar de ecologische effecten van veranderingen van de waterkwaliteit.

Het eerste deel van het onderzoek is door de provincie opgedragen aan het Staring Centrum; het ecologische deel is uitgevoerd door de Dienst Ruimtelijke Ordening, Natuur en Landschap en Volkshuisvesting van de provincie Noord-Brabant.

In dit rapport zijn de resultaten gegeven van het waterkwantiteits- en waterkwaliteitsonderzoek zoals dat door het Staring Centrum is uitgevoerd. Het doel van dit onderzoek was het verkrijgen van inzicht in de wijze waarop en de mate waarin ingelaten water zich, in relatie tot de optredende kwel, in het grond- en oppervlaktewater van het onderzoeksgebied verspreidt en de mate waarin het ingelaten water invloed heeft op de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater in het onderzoeksgebied. Het zwaartepunt lag hierbij op het

oppervlaktewater aangezien dit eveneens het zwaartepunt van het ecologisch onderzoek betrof.

Om het doel te bereiken is veldonderzoek uitgevoerd en zijn berekeningen verricht met bestaande computermodellen. Een en ander in overeenstemming met de offerte van het Staring Centrum aan de provincie Noord-Brabant. Door beperkingen in budget, middelen en tijd is het onderzoek in detail uitgevoerd voor drie proefgebieden waarna de resultaten zijn geëxtrapoleerd naar het gehele onderzoeksgebied. De resultaten van het onderzoek moesten worden ingebracht in het onderzoek naar de ecologische effecten van de verandering van de waterkwaliteit. Om deze reden is zoveel mogelijk tegemoet gekomen aan de wensen vanuit het ecologisch onderzoek.

Het veldonderzoek bestond uit het meten van relevante hydraulische en hydrologische grootheden en het bepalen van oppervlakte- en grondwaterkwaliteit. Het doel van de metingen was enerzijds het verkrijgen van in de modellen in te voeren parameterwaarden en anderzijds het verkrijgen van gegevens voor de modelcalibratie. De waterkwaliteitsbepalingen hadden tot doel het verkrijgen van gegevens voor de vertaling van de met de modellen berekende doordringing van inlaatwater in de gebieden naar effecten op de kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater. Het accent lag hierbij op het oppervlaktewater omdat het onderzoek zich hierop toespitste.

De modelberekeningen vormden het hoofdonderdeel van het onderzoek. Er is met twee modellen gerekend: SIMPRO en STRELIN. Het model SIMPRO bestaat uit het oppervlaktewatermodel SIMWAT gekoppeld met de grondwatermodule SIMUNS. Met het netwerkmodel SIMWAT is berekend hoe en in welke mate ingelaten water zich, onder bepaalde omstandigheden in het oppervlaktewatersysteem verspreidt. De grondwatermodule SIMUNS leverde de voor de SIMWAT- en STRELIN-berekeningen benodige waterbalanstermen op perceelsniveau. In SIMPRO bestaat terugkoppeling tussen het oppervlaktewatermodel en de grondwatermodule, zodat veranderingen van het oppervlaktewaterpeil direct hun weerslag hebben op het grondwaterpeil en omgekeerd. Met het stroomlijnenmodel STRELIN zijn stroomlijnen berekend waarlangs eventueel geïnfiltreerd oppervlaktewater zich in de bodem verplaatst. Daarnaast zijn met dit model verblijftijden van het geïnfiltreerde water bepaald. Aan de hand hiervan is een indruk verkregen van de beïnvloeding van het grondwater door ingelaten water.

Voor de drie proefgebieden is met het opgestelde netwerkmodel een aantal scenario's doorgerekend, in afhankelijkheid van het type weerjaar (extreem droge en droge zomer) en het gevoerde peilbeheer. Tevens zijn met het model gevoeligheidsanalyses uitgevoerd van de invloed van de grootte van de kwelintensiteit, van beregening en van de onderhoudstoestand van de waterlopen op de modelresultaten. De berekende doordringing van inlaatwater in het oppervlaktewatersysteem is vervolgens vertaald naar een te verwachten effect op de oppervlaktewaterkwaliteit. De resultaten van de modelberekeningen van de drie proefgebieden zijn, zover mogelijk, geëxtrapoleerd naar het gehele onderzoeksgebied.

Het onderzoek is uitgevoerd in de periode maart 1988 tot

oktober 1989 en bestond uit de volgende drie fasen:

1 inventarisatie van bestaande relevante gegevens en analyse van de toepasbaarheid daarvan voor het onderzoek, keuze van drie voor het onderzoeksgebied representatieve proefgebieden en opstellen van een onderzoeksplan;
2 veldonderzoek, beschrijven van het hydrologische systeem en opstellen en calibreren van het modelnetwerk voor transport van water in oppervlaktewatersystemen;
3 doorrekenen van een aantal scenario's met het opgestelde model, uitvoeren van gevoeligheidsanalyses, vertalen van de kwantitatieve resultaten naar effecten op de oppervlaktewaterkwaliteit, uitvoeren van aanvullende berekeningen voor grondwaterkwaliteit met een stroomlijnenmodel, extrapolatie en eindraportage.

Voor een meer uitgebreide beschrijving van de opzet van het onderzoek wordt verwezen naar Hendriks (1988b).

In hoofdstuk 2 worden het onderzoeksgebied en de drie proefgebieden beschreven. Hoofdstuk 3 bevat een beschrijving van het uitgevoerde veldonderzoek en hoofdstuk 4 een globale beschrijving van de toegepaste modellen. In hoofdstuk 5 staan de resultaten van de modelberekeningen vermeld. De vertaling van de kwantitatieve effecten van waterinlaat naar effecten op de oppervlaktewaterkwaliteit is gegeven in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 zijn de onderzoeksresultaten van de drie proefgebieden voor zover mogelijk geëxtrapoleerd naar het gehele onderzoeksgebied. Tenslotte zijn in hoofdstuk 8 conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

2 BESCHRIJVING VAN HET ONDERZOEKSGEBIED EN DE PROEFGEBIEDEN

2.1 Beschrijving van het onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied is gelegen ten noorden van Breda en Etten-Leur tussen Oudenbosch en Oosterhout (fig. 1). Het betreft een groot aaneengesloten kwelgebied op de overgang van zand naar klei. In het gebied komen veel kleinschalige natuurgebieden, relatienotagebieden en agrarische gebieden met natuurwaarden voor, die een hoge natuurwetenschappelijke waarde kennen. De aanwezige levensgemeenschappen zijn waarschijnlijk afhankelijk van het kwalitatief goede kwelwater. Aanvoer van gebiedsvreemd water zou een bedreiging kunnen vormen voor deze levensgemeenschappen.

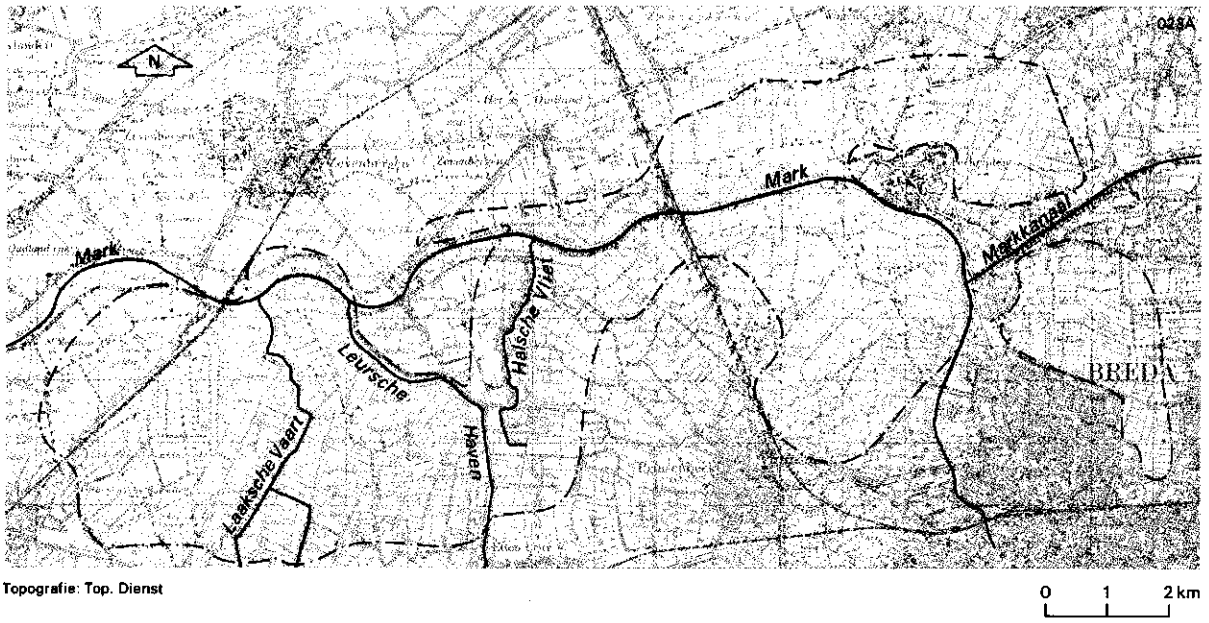


Fig. 1 Ligging van het onderzoeksgebied en de waterlopen.

In het gebied wordt water ingelaten uit het boezemsysteem: het Mark-Vlietstelsel. Beleidsmatig zijn verschillende mogelijkheden aanwezig de waterkwaliteit van dit boezemsysteem te beïnvloeden, waarbij een rol spelen de herkomst van het water (Zoommeer, Maas of een combinatie van beide) en de mate waarin grote lozingen kunnen worden gesaneerd.

2.1.1 Geohydrologische gesteldheid

De geohydrologische gesteldheid van de ondergrond in het onderzoeksgebied is schematisch weergegeven in figuur 2.

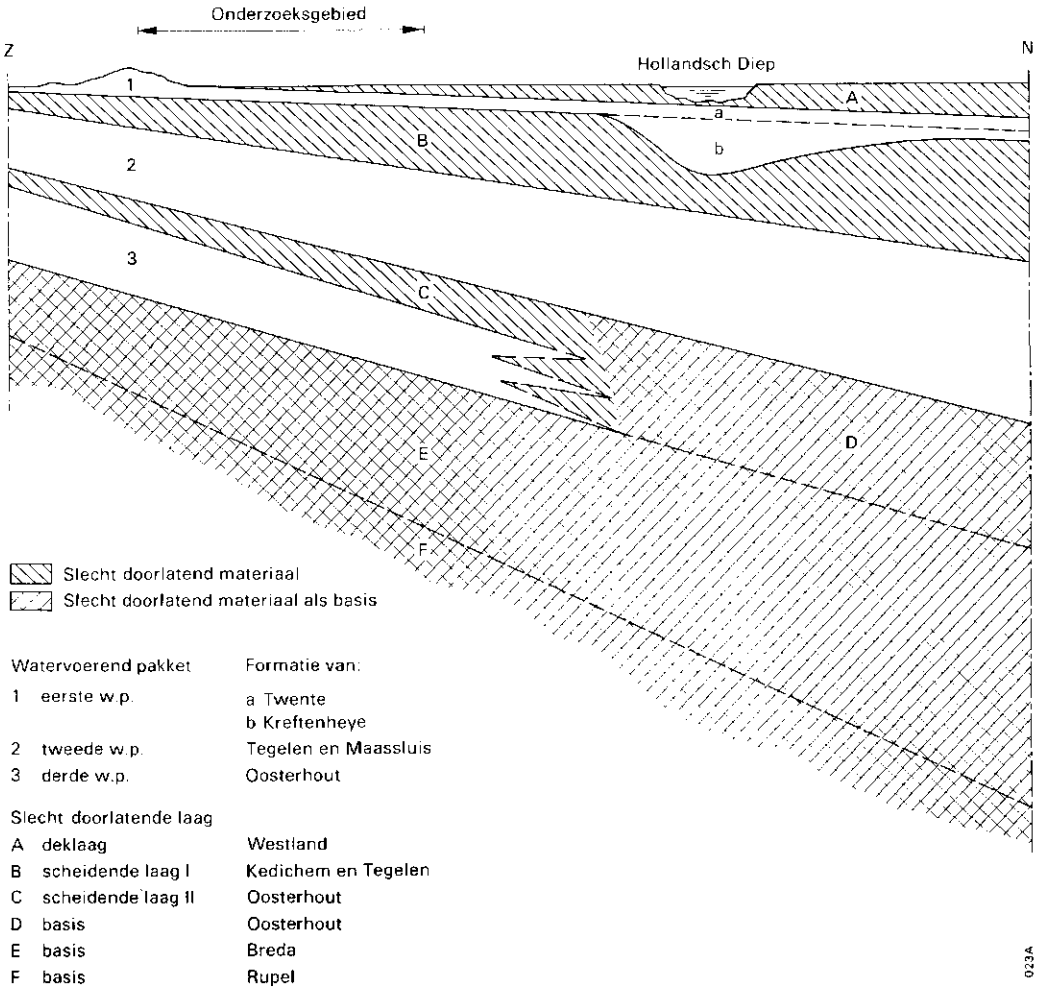
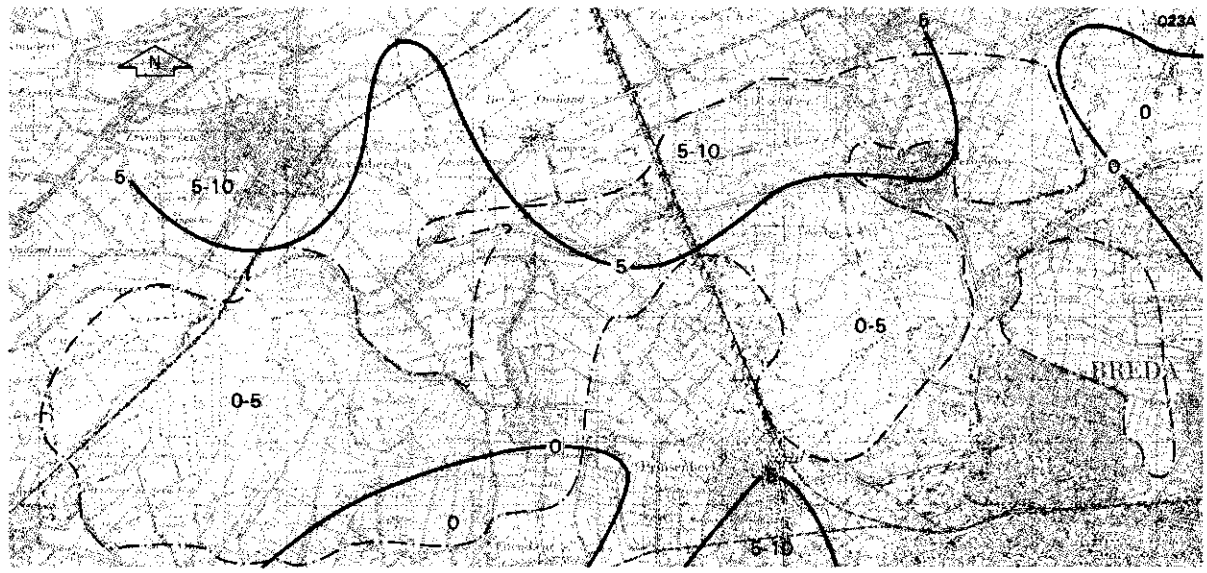


Fig. 2 Schematisch geohydrologisch profiel (naar: Langbein en Lekahena, 1976).

Hieronder worden de voor het onderzoek van belang zijnde geohydrologische eenheden in het kort besproken. De gegeven informatie is afkomstig van DGV-TNO (Langbein en Lekahena, 1976).

1 Deklaag (Westland Formatie)
De deklaag bestaat uit een afwisseling van klei en veen, met plaatselijk inschakelingen van sterk slibhoudende fijn- en grofkorrelige lagen. Het verloop van de dikte van deze laag in het onderzoeksgebied is aangegeven in figuur 3. In het zuiden van het gebied wigt de deklaag snel uit en dagzoomt het eerste watervoerende pakket. Een c-waarde voor dit pakket was niet bekend uit de literatuur.

2 Eerste watervoerende pakket (Formatie van Twente en Sterksel)
Dit pakket bestaat in het onderzoeksgebied uit fijne tot matig grove humeuze zanden van de Formatie van Twente. In het oosten van het gebied komen ook de matig grofkorrelige grindhoudende zanden van de Formatie van Sterksel voor. De

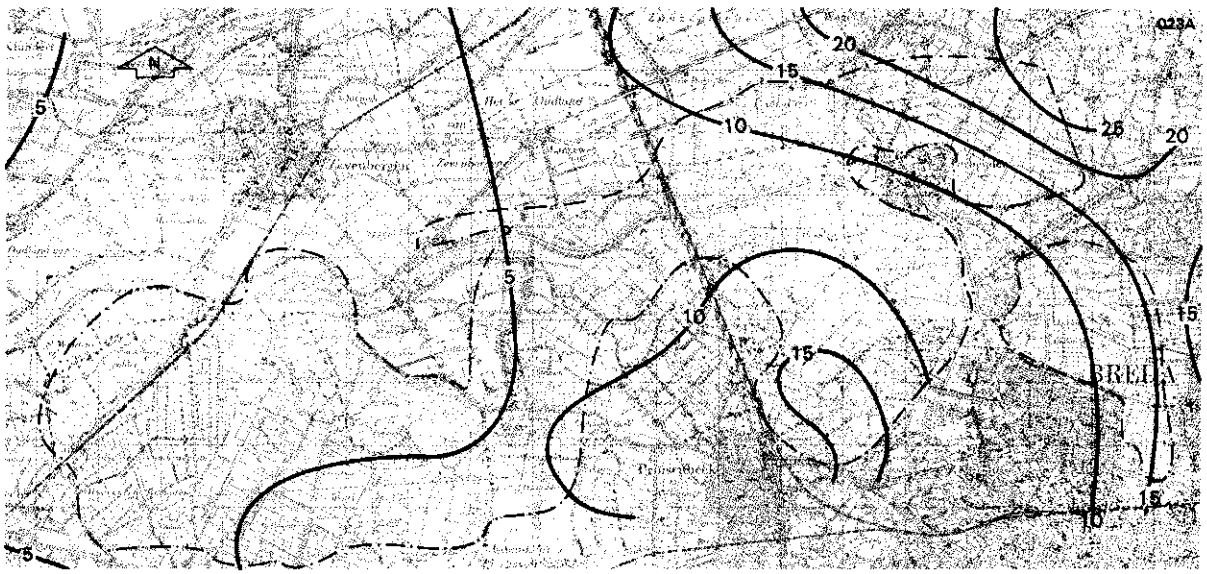


Topografie: Top. Dienst

0 1 2 km

5-10 Dikte-interval (m) ——— Lijn gelijke dikte

Fig. 3 Dikte van de afdekkende laag (m) (naar: Langbein en Lekahena, 1976).



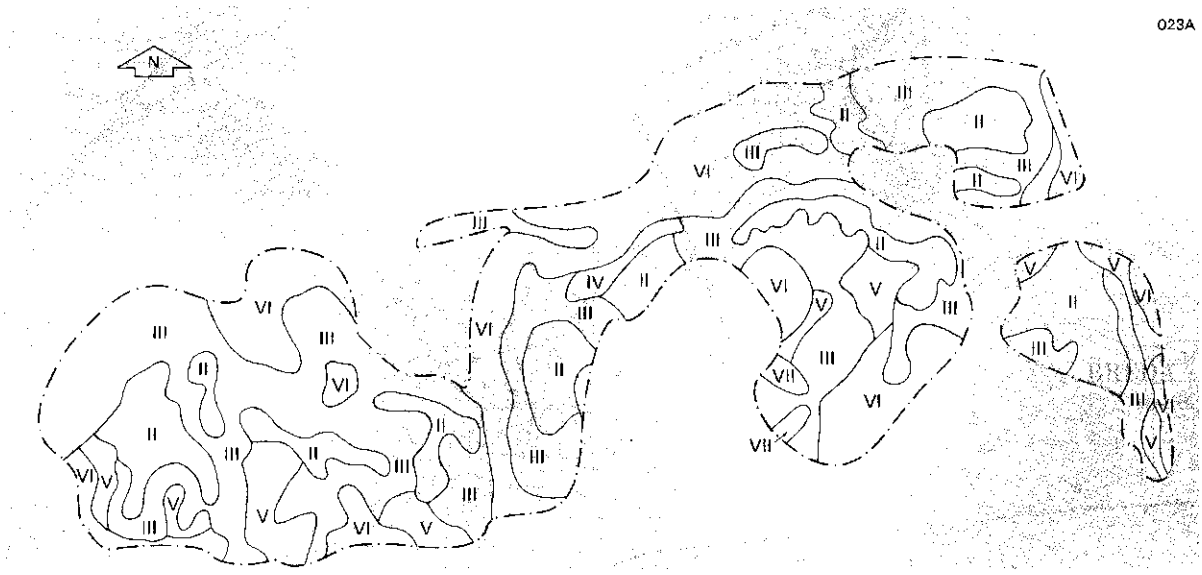
Topografie: Top. Dienst

0 1 2 km

Fig. 4 Dikte van het eerste watervoerende pakket (m) (naar: Langbein en Lekahena, 1976).

dikte van dit pakket is zeer wisselend en varieert van 1 tot 25 m (fig. 4). De kD-waarden liggen binnen het onderzoeksgebied tussen circa 50 en 200 $m^2.d^{-1}$.

3 Scheidende laag I (Formatie van Kedichem en Tegelen).
De scheidende laag tussen het eerste en tweede watervoerende



Topografie: Top. Dienst

GRONDWATERTRAPPENINDELING

Gemiddeld laagste grondwaterstand (cm-mv)	Gemiddeld hoogste grondwaterstand (cm-mv) (< 40)	< 40	> 40	40-80	> 80
50-80	II				
80-120		III	IV		
> 120		V		VI	
(> 160)					VII

Een * achter de code van II en III duidt op een "droger deel" d.w.z. met een gemiddeld hoogste grondwaterstand dieper dan 25 cm-mv
(...): Waarde niet klasse bepalend

Fig. 5 Schematische grondwatertrappenkaart (naar: Bodemkaart, 1987).

pakket is samengesteld uit overwegend fijne leemhoudende zanden en kleilagen. De dikte van deze laag binnen het onderzoeksgebied varieert van 30 tot 50 m.

De weergave van de freatische grondwaterstand is voor het onderzoeksgebied als geheel moeilijk en weinig zinvol, aangezien het gebied grotendeels polders met een kunstmatig en gecompliceerd afwateringssysteem beslaat. Een indruk van de freatische grondwaterstand geeft figuur 5: een schematische grondwatertrappenkaart.

Een isohypsenpatroon van het grondwater in het eerste watervoerende pakket voor september 1974 is weergegeven in fig. 6. Vanuit het zuidelijk en oostelijk gelegen infiltratiegebied, waar het eerste watervoerende pakket dagzoomt, vindt toestroming van grondwater plaats naar de noordelijk en westelijk gelegen gebiedsdelen, waar kwel optreedt.

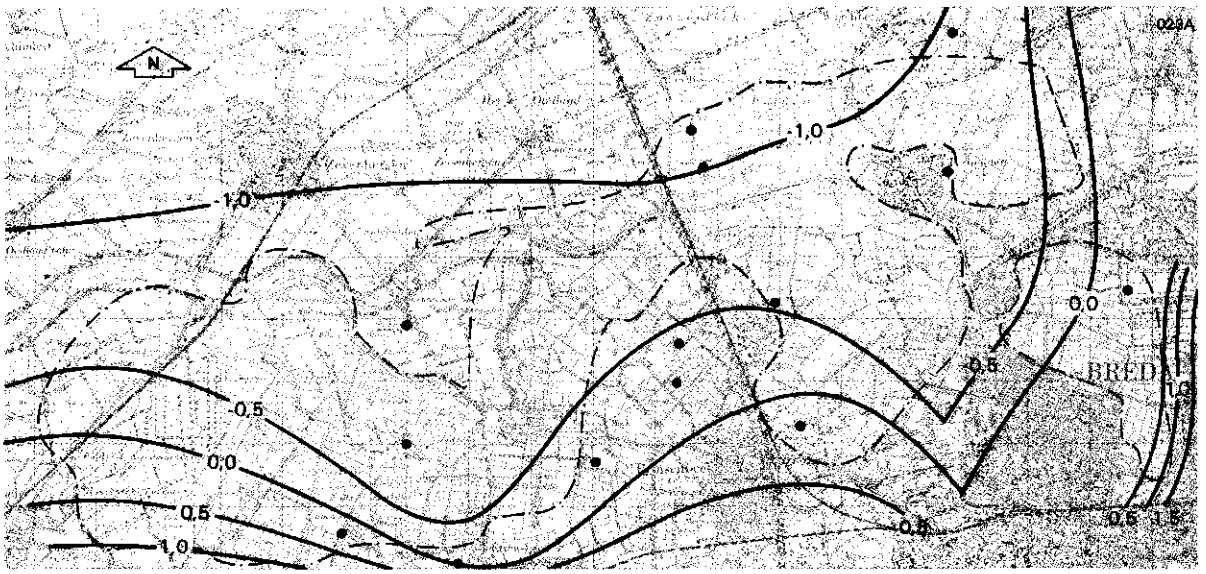


Fig. 6 Isohypsen van het grondwater in het eerste watervoerende pakket voor 28-9-1974 (m + NAP) (naar: Langbein en Lekahena, 1976).

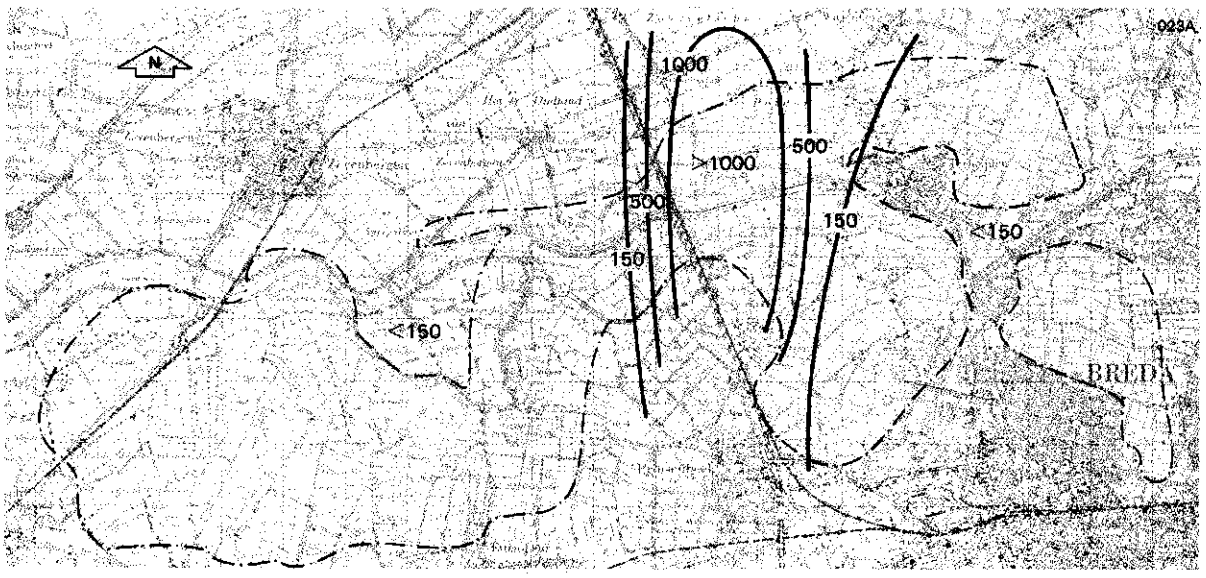


Fig. 7 Chloridegehalte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket (mg.l^{-1}) (naar: Langbein en Lekahena, 1976).

In figuur 7 zijn variaties in het chloridegehalte voor het grondwater van het eerste watervoerende pakket weergegeven in de vorm van isohalinen. Oorzaak van de hoge concentraties aan chloride ten westen van Terheijden is mogelijk het opduiken van het zoet-zoutgrensvlak, maar zou ook fossiel zout van vroegere overstromingen kunnen zijn (Bodemkaart, 1987).

2.1.2 Bodemgesteldheid en grondgebruik

In het onderzoeksgebied zijn drie bodemkundig-geografische eenheden te onderscheiden (Bodemkaart, 1987), te weten:
1 het dekzandgebied;
2 het overgangsgebied tussen dekzand en zeekleigronden;
3 de zeekleipolders.
Op basis van bodemkundige kenmerken kunnen deze eenheden worden onderverdeeld. De bodemkundig-geografische indeling van het onderzoeksgebied is gegeven in figuur 8. In het navolgende worden de voorkomende legenda-eenheden in het kort besproken (Bodemkaart, 1987).

1 Dekzandgebied
Het dekzandgebied helt van het zuid-zuidoosten naar het noord-noord-westen en heeft een zwak golvend reliëf. Dekzandafzettingen zijn leemarme en lemige fijne zanden, die door de wind tijdens de laatste ijstijd, het Weichselien, zijn gesedimenteerd.
Voorkomende legenda-eenheden:
- Diep humushoudende zandgronden: enkeerdgronden met een dikke (>50 cm) humushoudende bovengrond. Voornamelijk in gebruik als grasland en op de drogere gronden ook als bouwland. In de omgeving van Breda wordt op deze gronden veel tuinbouw aangetroffen.
- Matig diep humushoudende zandgronden: voor het merendeel laarpodzolgronden met een humushoudende bovengrond van circa 40 cm. Het grondgebruik is nagenoeg hetzelfde als dat van de diepe humushoudende zandgronden.

2 Overgangsgebied tussen dekzandgronden en zeekleigronden
Dit gebied bestaat voor een deel uit pleistocene zandgronden en voor een deel uit veengronden. Deze gronden zijn vrijwel overal bedekt met een dunne laag zavel of klei; soms is de bovengrond moerig. De veengronden liggen vlak; de zandgronden hebben het microreliëf van het dekzandgebied.
Voorkomende legenda-eenheden:
- Dekzandgronden en moerige gronden met een dun zavel- of kleidek: overwegend veldpodzolgronden. De nattere gronden zijn voornamelijk als grasland in gebruik en de drogere als bouwland.
- Veengronden al of niet met een zand-, zavel- of kleidek: het merendeel van deze gronden zijn restveengronden, ontstaan na het afgraven van het veenmosveen voor de turfwinning. Het restveen is meest zeggeveen. In het westen van het gebied komt het veen voor op zowel een zand- als een veenondergrond; in het oosten bestaat de ondergrond voornamelijk uit zand. Deze gronden zijn slecht ontwaterd (Gt II en III) en daarom uitsluitend als grasland in gebruik.

3 Zeekleipolders
De zeekleipolders behoren tot de jonge zeekleigronden die zijn afgezet na circa 1100 na Chr. De ligging van de gronden is vlak. Voorkomende legenda-eenheden:
- Zavel- en kleigronden op moerig materiaal ondieper dan 120 cm: gronden met een hoge grondwaterstand (Gt III en IV). Meest in gebruik als grasland.
- Zavel- en kleigronden op pleistoceen zand ondieper dan 120 cm: goed ontwaterde gronden, uitsluitend gebruikt

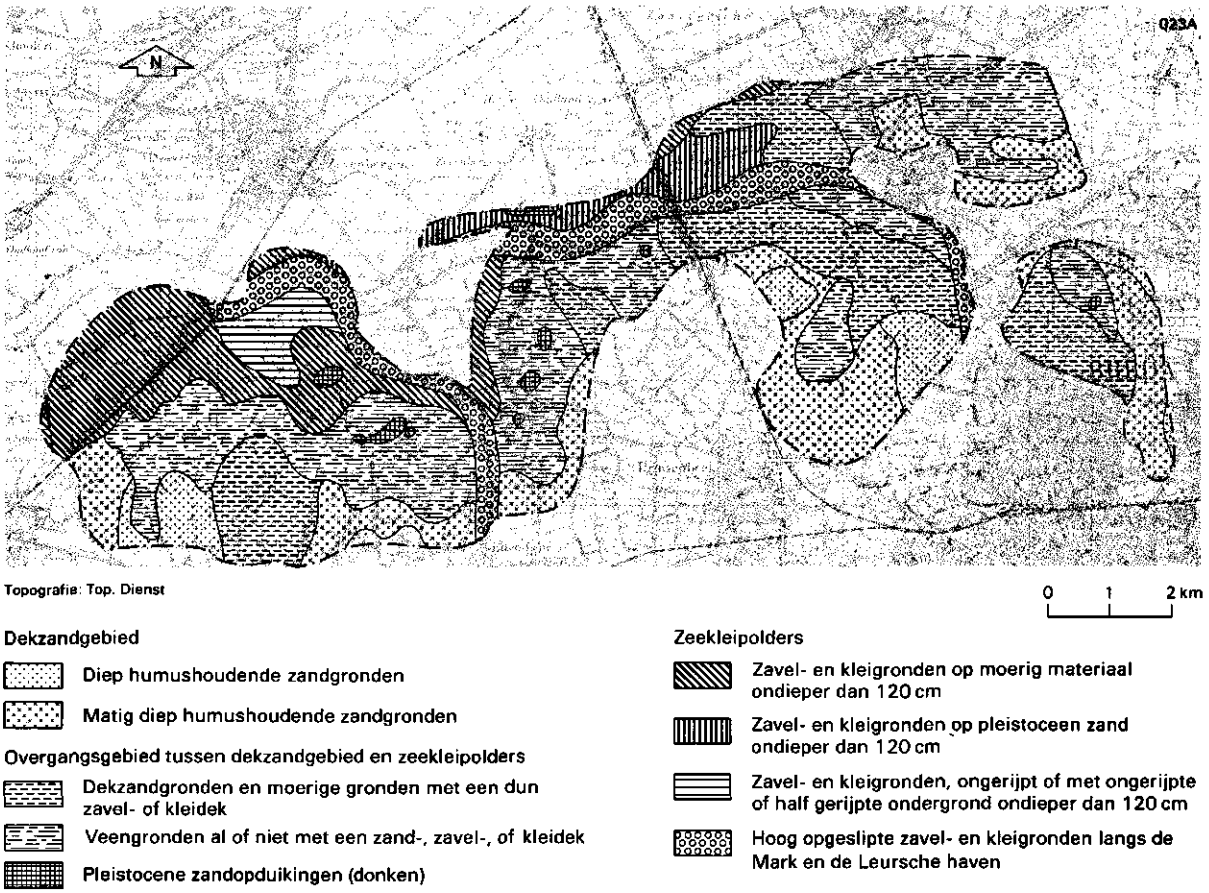


Fig. 8 Bodemkundig-geografische gebieden (naar: Bodemkaart, 1987).

voor akkerbouw.
- Zavel- en kleigronden, ongerijpt of met ongerijpte of half gerijpte ondergrond ondieper dan 120 cm: gronden meest in gebruik als grasland.
- Hoog opgeslibde zavel- en kleigronden langs de Mark en Leursche Haven: meest in gebruik als grasland, ten zuiden van Zevenbergen ook als bouwland.

2.1.3 Driedeling van het onderzoeksgebied

Op grond van de hydrologische en bodemkundige kenmerken is het onderzoeksgebied in grote lijnen in te delen in drie deelgebieden (fig. 9).

In het navolgende wordt per deelgebied aangegeven waardoor het wordt gekenmerkt.

Kenmerken deelgebied 1:
- dikte van de afdekkende laag 0 tot 5 m; in het zuiden ontbreekt deze laag;
- dikte van het eerste watervoerende pakket 1 tot 10 m;

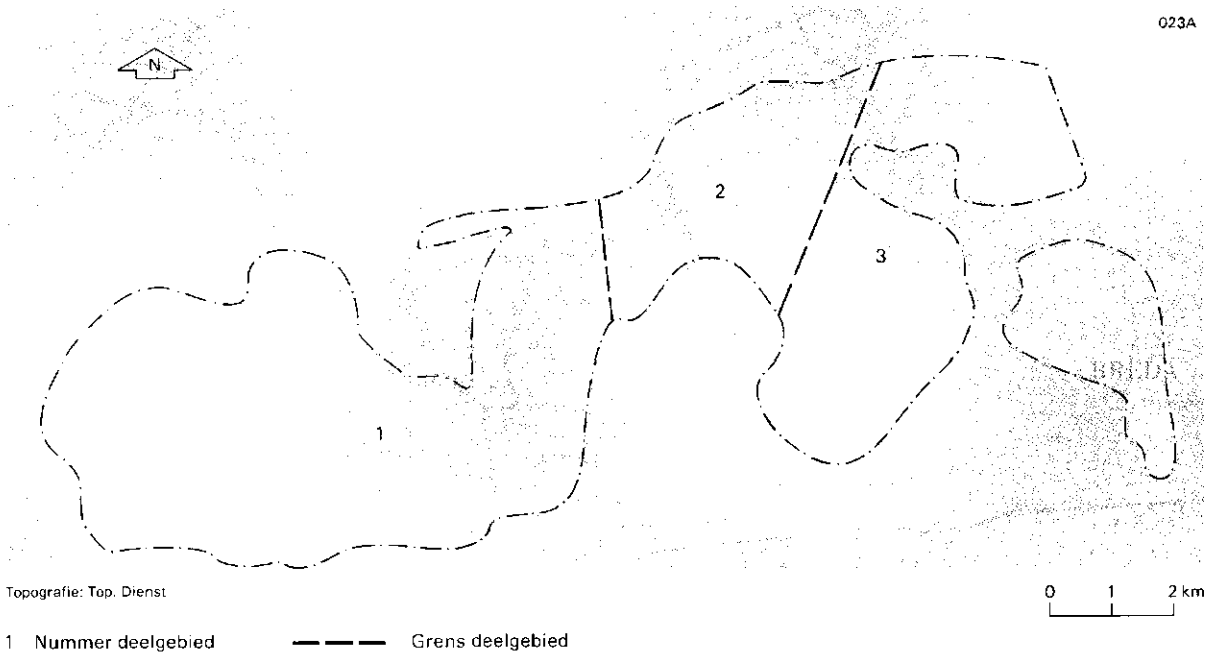


Fig. 9 Driedeling van het onderzoeksgebied.

- kD-waarden van het eerste watervoerende pakket 50 tot 100 $m^2.d^{-1}$;
- stroming van het water in het eerste watervoerende pakket voornamelijk zuid-noord;
- chloridegehalte van het water in het eerste watervoerende pakket minder dan 150 $mg.l^{-1}$;
- het veen komt zowel op een zand- als een veenondergrond voor.

Kenmerken deelgebied 2:
- dikte van de afdekkende laag 5 tot 10 m;
- dikte van het eerste watervoerende pakket 5 tot 10 m;
- kD-waarden van het eerste watervoerende pakket circa 200 $m^2.d^{-1}$;
- stroming van het water in het eerste watervoerende pakket voornamelijk zuid-noord;
- chloride-gehalte van het water in het eerste watervoerende pakket 150 tot meer dan 1000 $mg.l^{-1}$;
- het veen komt zowel op een zand- als een veenondergrond voor.

Kenmerken deelgebied 3:
- dikte van de afdekkende laag 1 tot 5 m;
- dikte van het eerste watervoerende pakket 10 tot 25 m;
- kD-waarden van het eerste watervoerende pakket 200 tot 300 $m^2.d^{-1}$;
- stroming van het water in het eerste watervoerende pakket voornamelijk oost-west;
- chloride-gehalte van het water in het eerste watervoerende pakket minder dan 150 $mg.l^{-1}$;
- het veen komt voornamelijk voor op zandondergrond.

2.2 Keuze van de proefgebieden

Vanwege beperkingen in budget, middelen en tijd is het onderzoek in detail uitgevoerd voor drie proefgebieden waarna de resultaten zijn geëxtrapoleerd naar het gehele onderzoeksgebied.

De keuze van de drie proefgebieden is geschied aan de hand van de volgende selectiekriteria:
1 De proefgebieden dienen representatief te zijn voor het gehele onderzoeksgebied; vanuit de proefgebieden worden de resultaten van het hydrologisch onderzoek geëxtrapoleerd naar het gehele gebied.
2 De situatie in de gekozen gebieden moet stabiel zijn; gedurende de meetperiode moeten er geen veranderingen of verstoringen plaatsvinden.
3 Het moet hydrologisch geïsoleerde gebieden betreffen, met een hydrologisch gezien, eenvoudige, niet diffuse situatie waar bij voorkeur slechts één inlaat- en uitlaatpunt aanwezig zijn.
4 Het moet gebieden betreffen waar al wateraanvoer is gerealiseerd, in verband met de calibratie van het modelnetwerk en het meten van effecten.
5 Praktische overwegingen:
- er moeten goede meetmogelijkheden zijn;
- de meetpunten moeten goed bereikbaar zijn;
- voorkeur hebben de gebieden waarvan al veel informatie beschikbaar is.

De volgorde van de kriteria is geen prioriteitsvolgorde.

Op grond van kriterium 1 verdient het aanbeveling om, zo mogelijk, een proefgebied te kiezen uit elk van de drie deelgebieden (zie 2.1.3). Hiermee is echter niet gewaarborgd dat elke polder in het onderzoeksgebied in voldoende mate door een van de drie proefgebieden is gerepresenteerd. Kriterium 3 brengt met zich mee dat de situatie van de drie proefgebieden wat betreft vooral structuur van het oppervlaktewaterstelsel en het gevoerde peilbeheer in meer of mindere mate af kan wijken van de situatie van andere polders in het onderzoeksgebied.

Op grond van bovengenoemde kriteria en op basis van veldbezoek en informatie van de Landinrichtingsdienst en de betreffende Waterschappen zijn de volgende drie proefgebieden gekozen (zie fig. 10):
1 De polder Weimeren in de voormalige ruilverkaveling Haagsche Beemden West en deelgebied 2. Het betreft een hydrologisch geïsoleerde polder, circa 235 ha groot, met een inlaatpunt aan de Mark en een uitlaatpunt nabij het gemaal Halle.
2 De Oostpolder in de voormalige ruilverkaveling Haagsche Beemden West en deelgebied 1. Een hydrologisch geïsoleerd gebied van circa 410 ha met een polder in het midden en noordwesten en een hoger gelegen zandgebied in het oosten en zuiden. Er is een inlaatpunt aan de Halsche Vliet dat tevens uitlaatpunt is.
3 Herinrichting Teteringen in deelgebied 3. Een hydrologisch geïsoleerd gebied van circa 1500 ha met een hoger deel in het oosten en een polder in het midden en westen. In principe zijn hier twee inlaatpunten, een aan het Markkanaal (de Hartelsche Vliet) en een aan de Mark (het gemaal Hoge en

Lage Vucht). Bij het gemaal wordt slechts onder extreem droge omstandigheden water ingelaten. Het gemaal vormt het uitlaatpunt van het gebied.
Omdat de proefgebieden hydrologische eenheden moesten zijn, vallen hun grenzen niet precies samen met de begrenzing van het onderzoeksgebied.

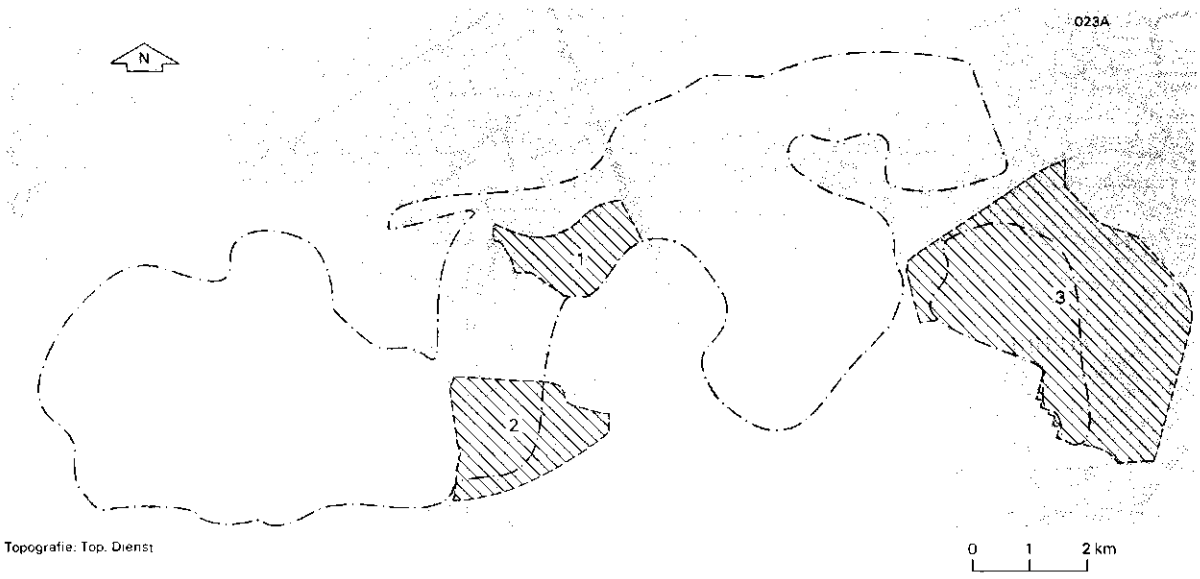


Fig. 10 Ligging van de proefgebieden.
1 = Weimeren
2 = De Oostpolder
3 = Teteringen

2.3 Beschrijving van de proefgebieden

2.3.1 Weimeren

De hydrologische gesteldheid van dit proefgebied wordt gekenmerkt door:
- dikte van de afdekkende laag circa 4 m;
- dikte van het eerste watervoerende pakket circa 7,5 m;
- kD-waarden van het eerste watervoerende pakket 100 tot 200 $m^2.d^{-1}$;
- grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket voornamelijk zuid/oost-noord/west gericht;
- chloride-gehalte van het water in het eerste watervoerende pakket in het westen minder dan 150 $mg.l^{-1}$, in het midden en oosten 150 tot 1000 $mg.l^{-1}$.

In figuur 11 is het hoofdwaterlopenstelsel en het in- en uitlaatpunt aangegeven. Het inlaatpunt bevindt zich in het noorden en bestaat uit een afsluitbare rechthoekige duiker, die in verbinding staat met de Mark. Het uitlaatpunt is een eveneens afsluitbare ronde duiker. Deze staat in verbinding met een afvoerleiding naar het gemaal Halle. In de zomer wordt deze afgesloten en wordt naar behoefte water ingelaten uit de Mark tot het zomerpeil is bereikt. Gezien de topografie kan

het inlaatwater in principe in het gehele gebied doordringen.

De bodemgesteldheid is schematisch weergegeven in figuur 12. Het midden en zuiden van het gebied bestaan uit veengronden met een zavel-/kleidek en Gt II*. In dit deel komt een terreintje voor waar het veenmosveen is afgegraven voor de turfwinning (moerput). Het zavel-/kleidek ontbreekt hier en er heeft zich een hakhoutbosje, bestaande uit Els en Wilg (frikbosje) ontwikkeld. De voorkomende grondwatertrap in dit terreintje is Gt II. Langs de Mark liggen zavel- en lichte kleigronden met Gt VI en VII. In het uiterste oosten komen op een hoger gelegen deel moerige podzolgronden voor met Gt III*. De kwelintensiteit is het grootst in de veengronden met Gt II-II*. De gemiddelde slootdichtheid bedraagt hier circa 170 $m.ha^{-1}$. In het overige deel van het gebied is de gemiddelde slootdichtheid circa 80 $m.ha^{-1}$. In het lagere middendeel van het terrein treedt brakke kwel op.

Het grondgebruik is overwegend grasland, daarnaast ook snijmaïs en akkerbouw.

2.3.2 De Oostpolder

In dit gebied is kenmerkend voor de geohydrologische gesteldheid:
- dikte van de afdekkende laag 0 tot 2 m;
- dikte van het eerste watervoerende pakket circa 12 m;
- kD-waarden van het eerste watervoerende pakket circa 100 $m^2.d^{-1}$;
- grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket voornamelijk zuid/oost-noord/west gericht;
- chloride-gehalte van het water in het eerste watervoerende pakket minder dan 150 $mg.l^{-1}$.

Het waterlopenstelsel van De Oostpolder en de waterloop de Halsche Vliet, die De Oostpolder met de Mark verbindt, zijn aangegeven in figuur 11. In deze figuur is tevens de rechthoekige duiker aangegeven, die als meetpunt voor debietmetingen heeft gediend. In periodes dat water wordt ingelaten uit de Mark in de Halsche Vliet, kan het aangevoerde water de gehele Oostpolder binnen dringen met uitzondering van het zuidelijke en oostelijke deel, omdat deze delen te hoog zijn gelegen (fig. 11). Het oostelijk gebiedsdeel is voor wat betreft de waterinlaat afgesloten van de polder door een vaste stuw. Het gebiedsdeel dat in principe kan worden bereikt door het ingelaten water bedraagt circa 227 ha (55% van het totale gebied).

In het noorden van het gebied ligt het natuurterrein 'De Berk' dat in beheer is bij Staatsbosbeheer. Dit terrein kent een kunstmatig hooggehouden oppervlaktewaterpeil. Het inlaatwater wordt opgevoerd uit de Halsche Vliet, door middel van een gemaaltje dat enkele honderden meters stroomopwaarts van de inlaatduiker van De Oostpolder staat. Het oppervlaktewaterstelsel van dit terrein staat door middel van een stuw in verbinding met dat van De Oostpolder. De stuwhoogte is zodanig dat enkel in natte periodes water wordt afgevoerd naar De Oostpolder.

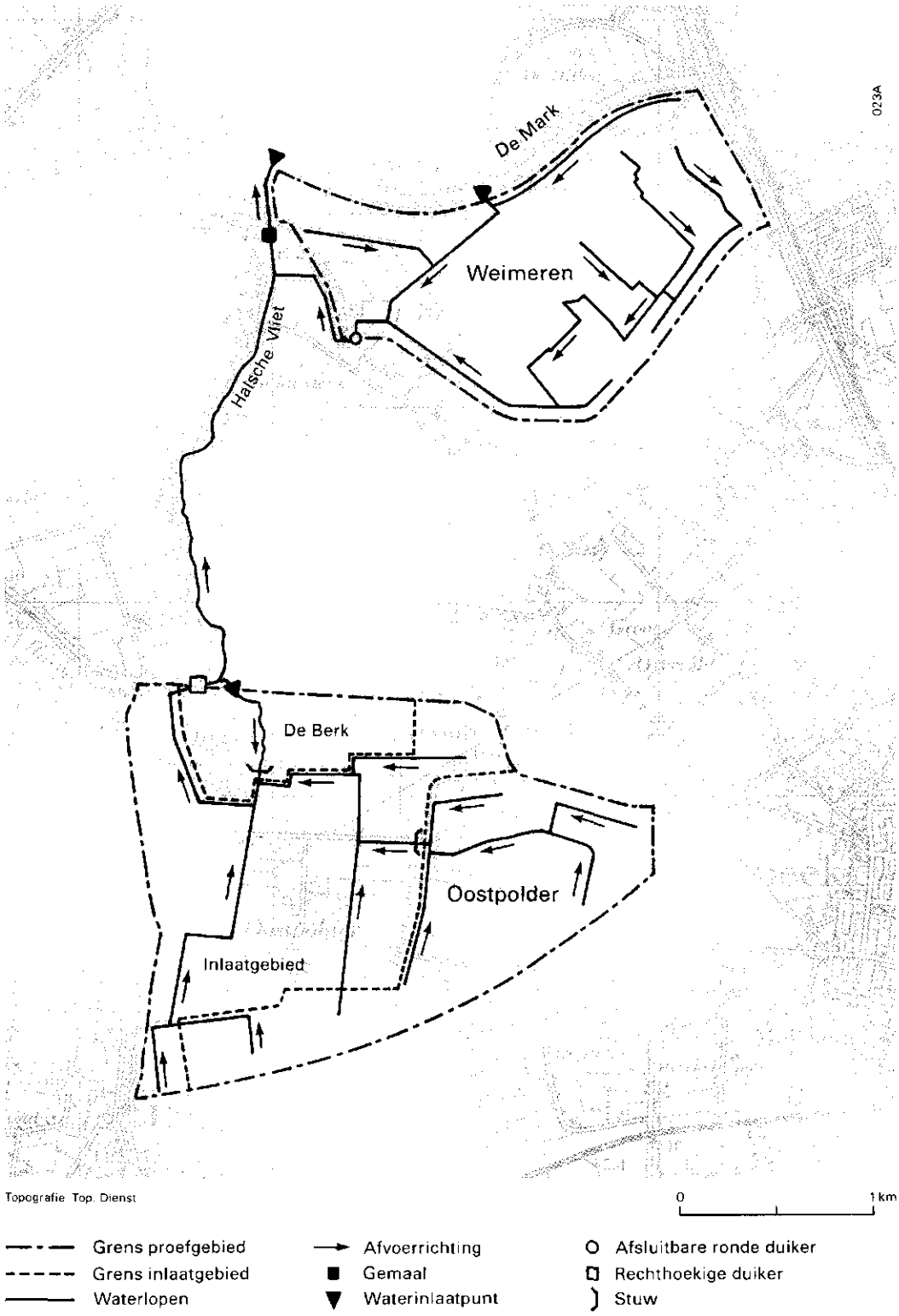
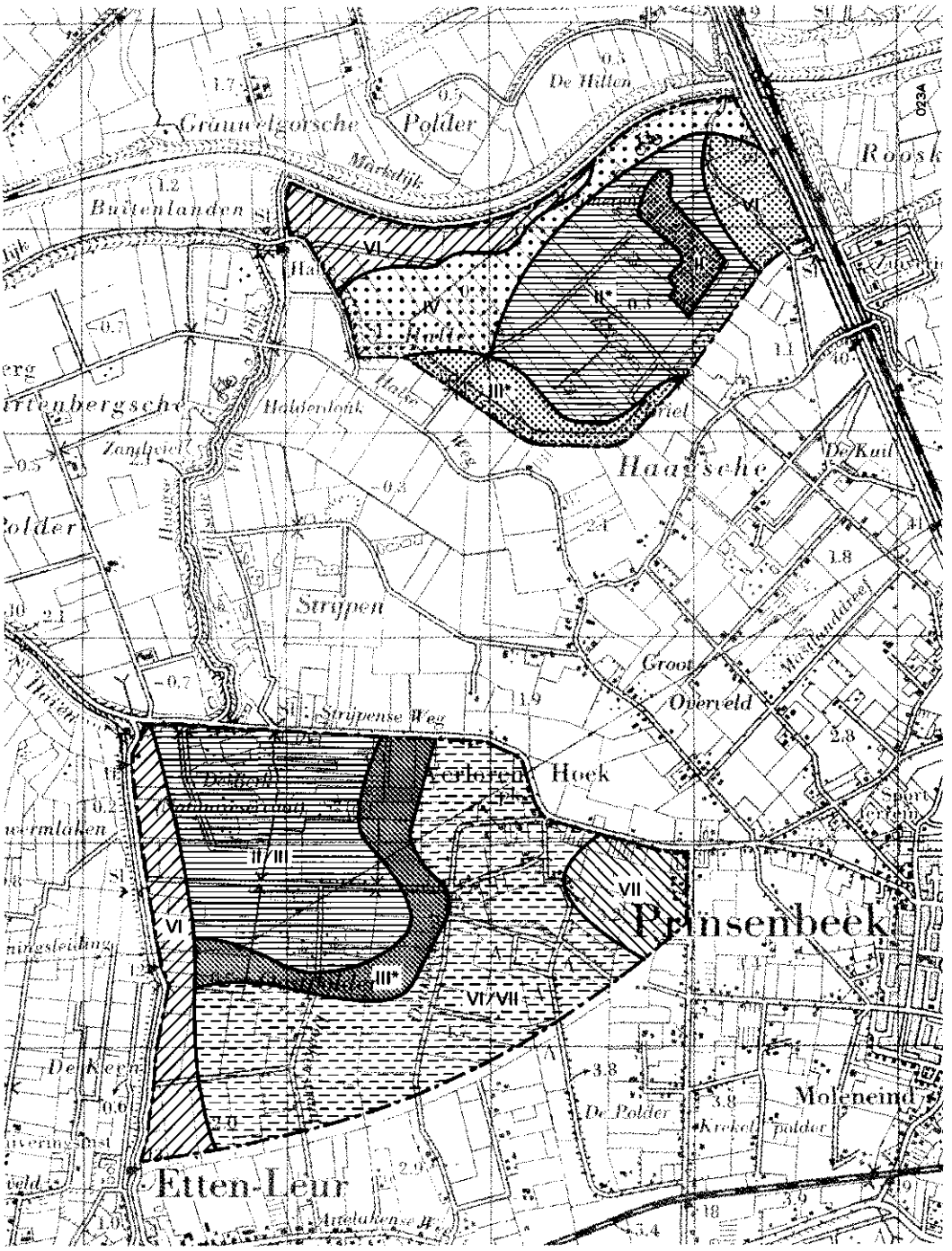


Fig. 11 Waterlopenstelsel van de proefgebieden Weimeren en De Oostpolder.



Topografie: Top. Dienst

0 1km

Veen met kleidek	Lichte zavel	Moerige podzolgronden
Veen zonder kleidek	Gooreerdgronden	Podzolgronden
Zavel en lichte klei	Eerdgronden	VI Grondwatertrap (verklaring zie Fig. 5)

Fig. 12 Schematische bodemkaart van de proefgebieden Weimeren en De Oostpolder (naar: Bodemkaart, 1987).

In figuur 12 is schematisch de bodemgesteldheid in het gebied aangegeven. De hoger gelegen zuidelijke en oostelijke delen bestaan voornamelijk uit zandgronden (laar- en veldpodzolgronden) met Gt's VI en VII en een zeer extensief slotenstelsel. In het lagere gebiedsdeel komt veen, al dan niet met een zavel-/kleidek, voor met Gt II-III. In dit deel is de kwelintensiteit het grootst. De gemiddelde slootdichtheid bedraagt hier circa 100 $m.ha^{-1}$. Tussen het hogere en lagere deel bevindt zich een strook gooreerdgrond met zavel-/kleidek en Gt III*. In het westen langs de Leursche Haven ligt een strook lichte zavel met Gt VI.

De gronden in de polder zijn voornamelijk in gebruik als grasland. Plaatselijk zijn frikbosjes en verruigde gebiedjes aanwezig. Op de hogere zandgronden komt veelvuldig maïsteelt en volle grondstuinbouw voor. Het oosten van het gebied bestaat uit loofbos.

2.3.3 Teteringen

Kenmerken van de geohydrologische gesteldheid zijn:
- het eerste watervoerende/freatische pakket (met inbegrip van de deklaag) varieert in dikte van 10 m in de polder tot 2,5-15 m in het overige gebied (Landinrichtingsdienst, 1987);
- kD-waarden van het eerste watervoerende pakket 100 tot 200 $m^2.d^{-1}$;
- grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket voornamelijk oost-west gericht;
- chloride-gehalte van het water in het eerste watervoerende pakket minder dan 150 $mg.l^{-1}$.

Het waterlopenstelsel, het in-/uitlaatpunt aan de Mark (gemaal Hoge en Lage Vucht) en het inlaatpunt aan het Markkanaal zijn gegeven in figuur 13. Het inlaatpunt bij het gemaal wordt enkel onder extreem droge omstandigheden gebruikt. Het ingelaten water kan, gezien de topografie van het gebied slechts in het midden en westen doordringen; het oostelijk deel is te hoog gelegen (fig. 13). De grootte van het gebiedsdeel waarin het ingelaten water kan doordringen bedraagt circa 468 ha (31% van het totale gebied).

Figuur 14 is een schematische bodemkaart van het gebied. Op grond van hoogteligging, waterhuishoudkundige situatie en bodemgesteldheid zijn in het gebied drie delen te onderscheiden (fig. 15):
1 Poldergebied (maaiveldshoogte -0,1 tot 0,5 m + NAP): in dit deel komen voornamelijk moerige eerdgronden en veengronden, beide met een kleidek, voor. De overheersende grondwatertrap is Gt II. De gemiddelde slootdichtheid bedraagt circa 200 $m.ha^{-1}$.
2 Hogere zandgronden (maaiveldshoogte 2,0 tot 5,0 m + NAP): de meest voorkomende bodems zijn podzol- en eerdgronden met Gt VI en VII. Het slotenstelsel is extensief. Er vindt op grote schaal beregening plaats vanuit het grondwater.
3 Middengebied, een strook van circa 300 meter breedte waar het maaiveld van 2,0 naar 0,5 m + NAP helt. Hier komen voor-

namelijk moerige eerdgronden met een zanddek voor. De grondwatertrap is Gt II* tot III*.
In de delen 1 en 3 treedt kwel op.

Het overwegende grondgebruik in het gebied is grasland. Op de hogere gronden komt maïsteelt, een weinig volle grondstuinbouw en enige boomkweek voor. Op het hoogst gelegen oostelijk deel van het gebied groeit loof- en naaldbos.

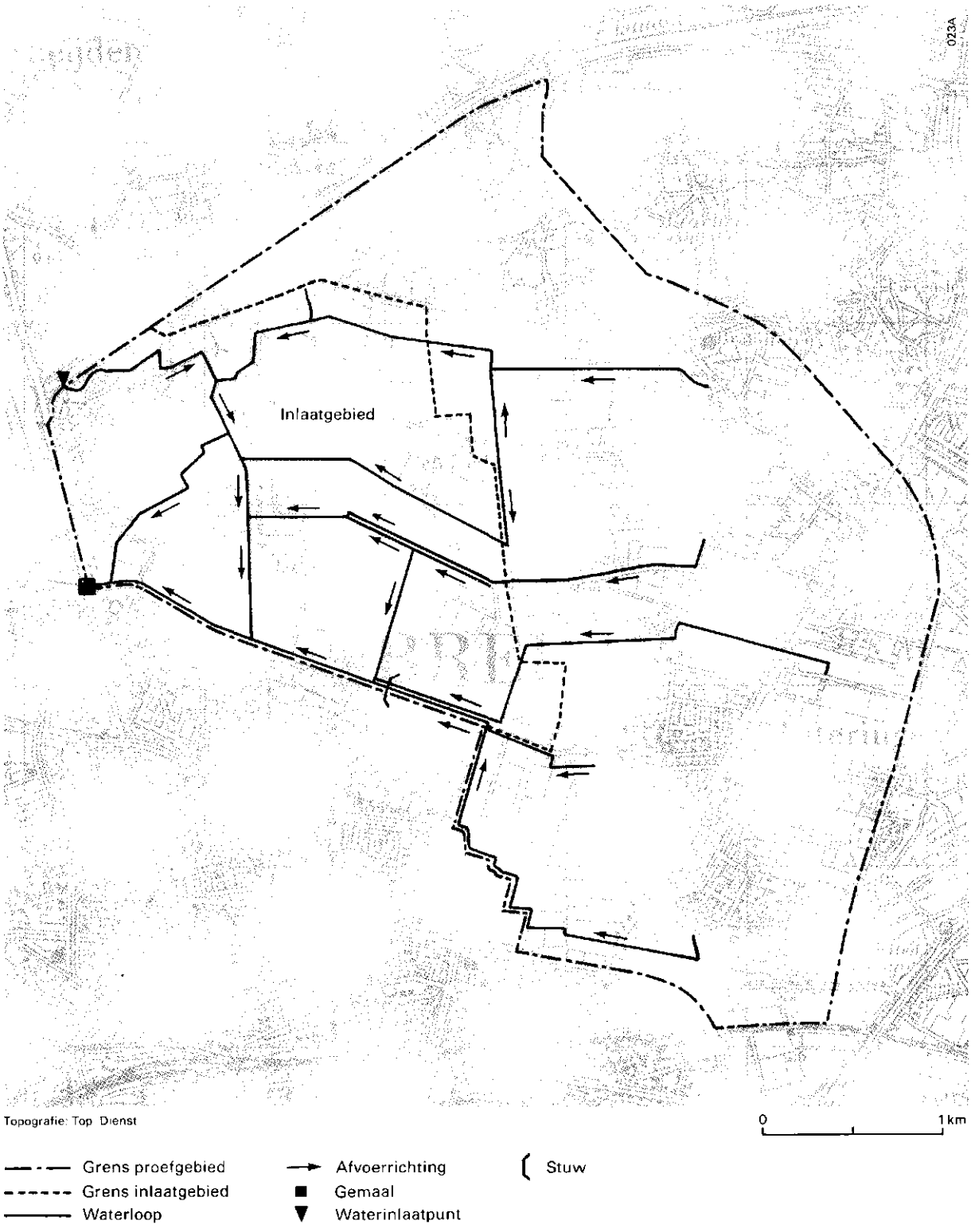
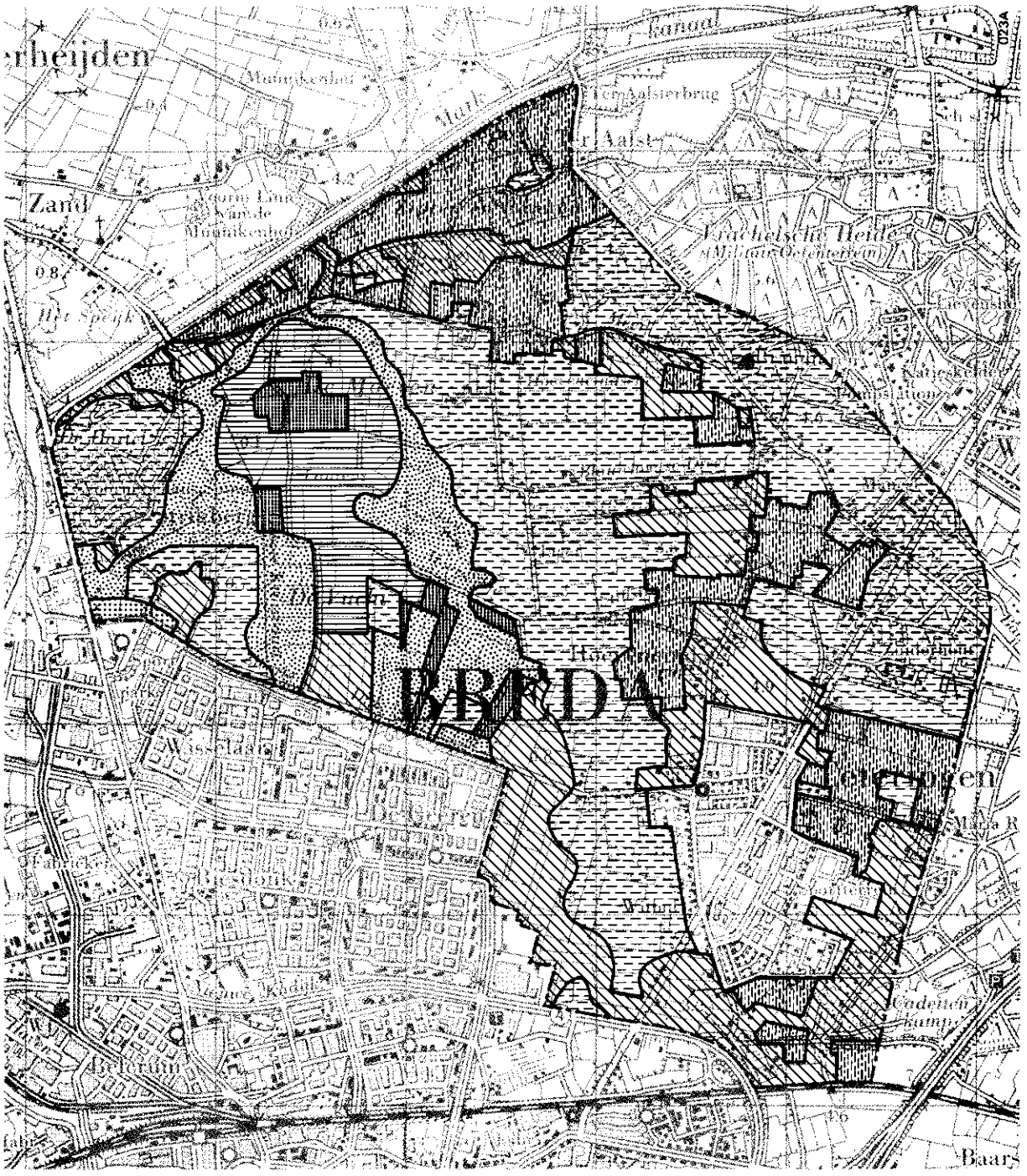


Fig. 13 Waterlopenstelsel van het proefgebied Teteringen (naar: Prov. Raad voor de Bedrijfsontwikkeling in Noord-Brabant, 1987).

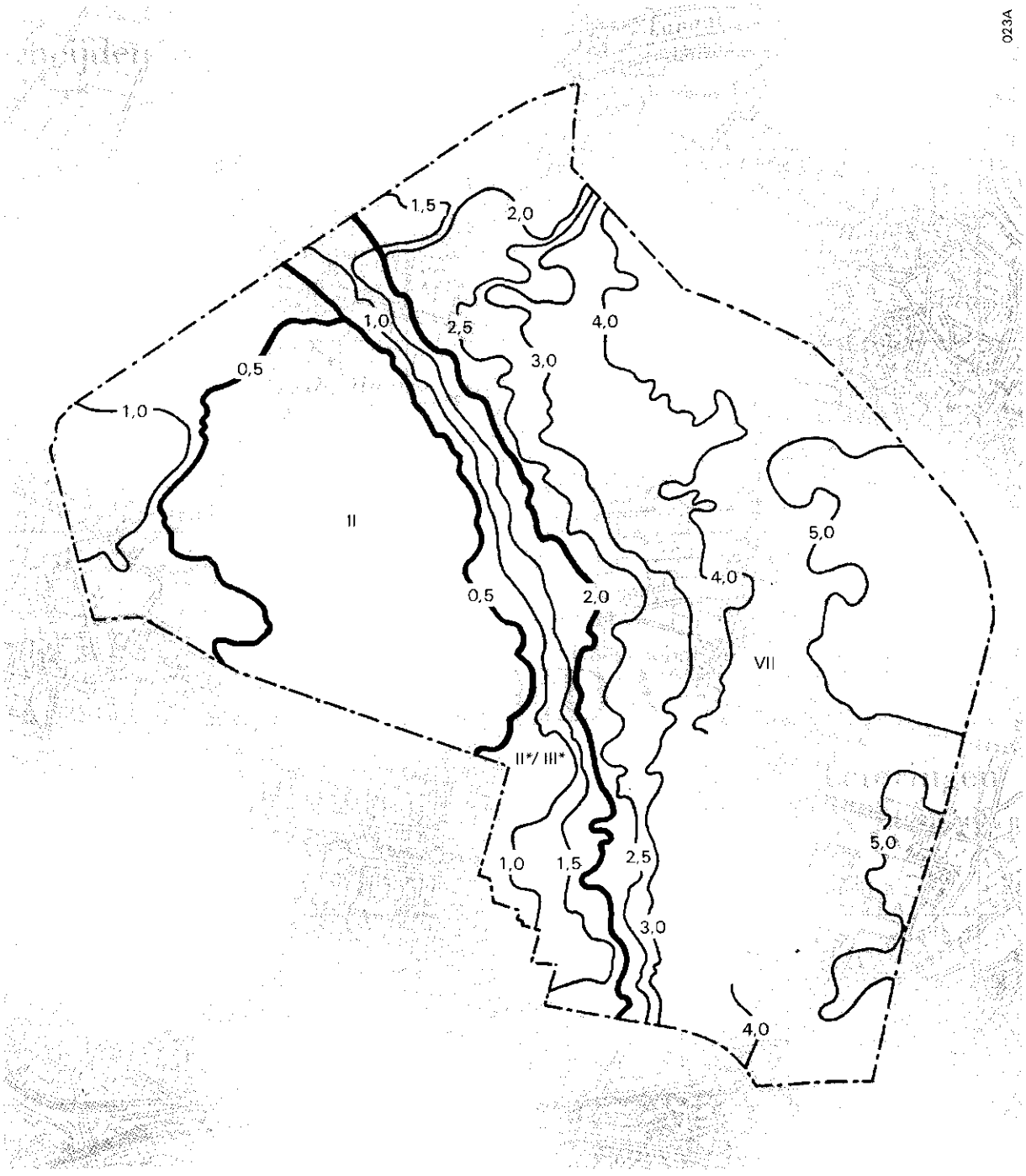


Topografie: Top. Dienst

0 1km

Eerdgronden
Eerdgronden uitgelaagd
Podzolgronden
Zeekleigronden
Veen met kleidek
Moerige gronden
Vaaggronden
Diep bezande gronden

Fig. 14 Schematische bodemkaart van het proefgebied Teteringen (naar: Bodemkaart, 1987 en Bles e.a., 1988).



Topografie: Top. Dienst

0 1km

—·—· Grens proefgebied ——— Hoogtelijnen m+NAP II Grondwatertrap (verklaring zie Fig. 5)

Fig. 15 Driedeling van het proefgebied Teteringen (naar: Landinrichtingsdienst, 1987). De begrenzing van de drie gebiedsdelen wordt bepaald door de maaiveldshoogte:
Polder : < 0,5 m + NAP
Middengebied : 0,5 tot 2,0 m + NAP
Hogere zandgronden: > 2,0 m + NAP

3 HET VELDONDERZOEK

Het veldonderzoek bestond uit het meten van relevante hydraulische en hydrologische grootheden en het bepalen van oppervlakte- en grondwaterkwaliteit. Het is uitgevoerd gedurende de periode mei 1988 tot en met maart 1989. Gezien de aanvangsdatum en duur van het hoofdonderzoek was dit de maximaal mogelijke periode. In dit hoofdstuk wordt in het kort ingegaan op de in het veld verrichte metingen en bepalingen. Een uitgebreide beschrijving is gegeven in de aanhangsels 8 (slootkwelmetingen) en 9 (overige metingen en bepalingen). In deze aanhangsels zijn ook de meetresultaten gepresenteerd. Relevante resultaten zijn vermeld in paragraaf 4.3 en de hoofdstukken 5 en 6.

3.1 Metingen van hydraulische en hydrologische grootheden

Het doel van de metingen van hydraulische en hydrologische parameters was het ondersteunen van de modelberekeningen. Enerzijds konden de meetresultaten uitsluitsel geven over de grootte van in de modellen in te voeren parameterwaarden, anderzijds vormden ze een belangrijke factor voor de modelcalibratie.

De volgende grootheden zijn gemeten:
1 slootkwel;
2 grondwaterstanden en stijghoogten in het eerste watervoerende pakket;
3 oppervlaktewaterpeilen;
4 in- en uitlaatdebieten.
In de volgende subparagrafen worden deze metingen behandeld.

3.1.1 Slootkwelmetingen

Een factor van groot belang binnen het onderzoek was de kwelintensiteit in de proefgebieden. Deze bepaalt in grote mate de inlaatbehoefte in droge perioden en daarmee in hoeverre gebiedsvreemd inlaatwater het gebied binnendringt.

Om een indruk van de kwelintensiteit te krijgen, zijn in de periode van 31 oktober tot en met 4 november 1988 slootkwelmetingen uitgevoerd met een kwelmeter. Hiermee is op drie, min of meer representatieve plaatsen in elk proefgebied de grootte van de slootkwel in de betreffende periode bepaald. De gemeten slootkwel is geëxtrapoleerd naar een waarde voor de slootkwel van het gehele gebied en hieruit is door middel van het opstellen van een gebiedswaterbalans een waarde verkregen voor de kwelintensiteit in het gebied. Uit de berekende kwelintensiteit en gemeten stijghoogteverschillen tussen het afdekkende en het eerste watervoerende pakket is een waarde voor de verticale stromingsweerstand (c-waarde) van het afdekkende pakket berekend.

Aan bovenbeschreven methode kleven nogal wat bezwaren. De

incidenteel en zeer lokaal gemeten slootkwelwaarden gaven een grote variatie in zowel tijd als ruimte te zien (zie aanhangsel 8). Extrapolatie van deze puntwaarnemingen naar een waarde voor de gebiedskwel was daardoor niet erg reëel. De berekende gebiedskwel- en c-waarden konden dan ook niet meer zijn dan een indicatie voor de orde van grootte van deze parameters. Voor meer uitgebreide methoden ter bepaling van de gebiedskwel was binnen dit onderzoek geen ruimte.

3.1.2 Metingen van grondwaterstanden en stijghoogten in het eerste watervoerende pakket

Het verloop van de grondwaterstand in de tijd is een belangrijk gegeven voor de calibratie van niet-stationaire grondwatermodellen, zoals de module SIMUNS. Het verschil tussen de stijghoogte in het afdekkende pakket en in het eerste watervoerende pakket is een maat voor de kwel naar of wegzijging uit het afdekkende pakket.

Ter bepaling van deze grootheden is in de twee proefgebieden Weimeren en De Oostpolder een aantal grondwaterstandbuizen in het afdekkende pakket en een aantal peilbuizen in het eerste watervoerende pakket geplaatst. In het derde proefgebied Teteringen waren al voldoende grondwaterstandbuizen en peilbuizen aanwezig, geplaatst door de Stichting voor Bodemkartering, de Landinrichtingsdienst en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en in beheer bij de Landinrichtingsdienst.

In Weimeren en De Oostpolder zijn zes grondwaterstandbuizen geplaatst, ongeveer volgens twee elkaar kruisende raaien. De ligging van de raaien was zodanig, dat grondwatertrappengradiënten zoveel mogelijk zijn gevolgd en dat in de meest voorkomende bodemkundige eenheden minstens één buis stond. Het zwaartepunt lag hierbij op de veengronden met grondwatertrap II-III, waar de kwelintensiteit het grootst is (zie fig. 12, hoofdstuk 2). De lokaties van deze grondwaterstandbuizen en de buizen in Teteringen zijn aangegeven in aanhangsel 2.

In Weimeren zijn twee diepe buizen tot in het eerste watervoerende pakket gezet; één aan de noord- en één aan de zuidkant van het veengebied. In De Oostpolder is één diepe buis geplaatst, ongeveer midden in het veengebied (zie aanhangsel 2 voor de lokaties van de buizen).

De buizen in Weimeren en De Oostpolder zijn vanaf begin juni 1988 tot en met maart 1989 ongeveer een keer per 14 dagen gepeild. De buizen in Teteringen zijn circa een keer per 14 dagen waargenomen door de Landinrichtingsdienst te Tilburg.

3.1.3 Oppervlaktewaterpeilmetingen

Voor de calibratie van het oppervlaktewatermodel SIMWAT was het van belang het verloop in de tijd van het oppervlaktewaterpeil op meerdere plaatsen te kennen. Het oppervlaktewaterpeil direct boven- en/of benedenstrooms van in- of

uitlaatwerken kan een maat zijn voor de hoeveelheid in- of uitgelaten water per tijdseenheid (zie 3.1.4).

Er waren drie Ott-peilschrijvers voor het onderzoek beschikbaar, die het mogelijk maakten het peil continu te registeren. Twee van deze peilschrijvers zijn in het proefgebied Weimeren geplaatst; één bij de inlaat en één bij de uitlaat. De derde peilschrijver is geplaatst in De Oostpolder bij de duiker die als inlaat en uitlaat fungeert. In Teteringen zijn geen peilschrijvers geplaatst omdat hier een drietal peilschalen aanwezig waren die zeer frequent (tot 1 maal per dag) door het Waterschap werden afgelezen.

Naast deze continue registratie is het peil in alle drie de proefgebieden op meerdere punten niet-continu, ongeveer een keer in de 14 dagen, gemeten. Om praktische redenen is besloten voor deze meetpunten aanwezige peilschalen en bestaande kunstwerken als duikers en stuwen te nemen. De lokaties van de peilschrijvers en de overige oppervlaktewaterpeil-meetpunten zijn aangegeven in aanhangsel 2.

De continue registraties zijn verricht van begin mei 1988 tot en met maart 1989. De niet-continue metingen hebben plaats gevonden van juni 1988 tot en met maart 1989.

3.1.4 Debietmetingen en bepalingen van inlaathoeveelheden

Inlaat- en uitlaatdebieten zijn belangrijke invoerparameters voor het model SIMWAT. De totale hoeveelheid ingelaten water is binnen dit onderzoek van groot belang voor de modelcalibratie.

In de drie proefgebieden zijn in- en uitlaatdebieten bepaald uit incidenteel gemeten stroomsnelheidsprofielen of stroomsnelheden en natte doorsneden. Stroomsnelheidsprofielen zijn gemeten met een Ott-molen en stroomsnelheden met een tracer (zout). In Teteringen zijn geen uitlaatdebieten gemeten omdat de uitlaat hier het gemaal betreft en er van werd uitgegaan dat de hoeveelheid uitgeslagen water zou kunnen worden bepaald uit het aantal draaiuren en de capaciteit van het gemaal.

In Weimeren en Teteringen is een relatie bepaald tussen het inlaatdebiet en het verschil tussen het peil boven- en benedenstrooms van de inlaatduiker, bij een zekere opening van de schuif. Deze schuifopening is steeds bij elke waterinlaat aangehouden. De hoeveelheid ingelaten water is in deze gebieden afgeleid uit de vastgestelde relatie en het gemeten peilverloop tijdens inlaat boven- en benedenstrooms van de inlaatduiker. Voor De Oostpolder was deze methode niet mogelijk omdat er tijdens inlaat en uitlaat in de in-/uitlaatduiker niet voldoende verval optreedt.

3.2 Bepalingen van de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater

Om de met de modellen berekende doordringing van inlaatwater

in de gebieden te kunnen vertalen naar effecten op de kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater, is het van groot belang een indruk te hebben van de kwaliteit van het gebiedseigen oppervlakte- en grondwater, van het ingelaten water en van het oppervlaktewater in het gebied na inlaat van gebiedsvreemd water. Daartoe zijn vóór, tijdens en na waterinlaat oppervlakte- en grondwatermonsters genomen en geanalyseerd. Het accent lag hierbij op het oppervlaktewater omdat het onderzoek zich hierop toespitste.

Het oppervlaktewater is tijdens het onderzoek vijf maal bemonsterd (De Oostpolder vier maal): vóór, tijdens en na waterinlaat in 1988, in het najaar van 1988 en in het voorjaar van 1989. Het grondwater is drie maal bemonsterd (waarvan in Teteringen eenmaal door de Landinrichtingsdienst): in de zomer en herfst van 1988 en in het begin van het voorjaar van 1989.

In elk gebied is per bemonsteringsronde van het oppervlaktewater meestal één monster van het inlaatwater en negen monsters van het gebiedswater genomen. De laatste bemonsteringslokaties bevonden zich verspreid over het gebiedsdeel, waar op grond van topografie en de structuur van het waterlopenstelsel invloed van inlaatwater kon worden verwacht, in de hoofdwaterlopen op verschillende afstanden van het inlaatpunt. Hierdoor kon enerzijds een indruk worden verkregen van een gemiddelde gebiedswaterkwaliteit en kon anderzijds de invloed van het inlaatwater vanaf het inlaatpunt worden getraceerd. De ligging van de bemonsteringslokaties is aangegeven in aanhangsel 2.

De grondwatermonsters zijn genomen in de verschillende geplaatste en al aanwezige peilbuizen. Hierbij dient opgemerkt dat ervaring uit eerder onderzoek leert dat watermonsters genomen in recent geplaatste buizen (0,5 tot 1 jaar geleden) vaak geen representatief beeld geven van de waterkwaliteit ter plekke, als gevolg van verstoringen veroorzaakt door het plaatsen van de buizen. Dit geldt voor de grondwatermonsters genomen in Weimeren en De Oostpolder. De buizen in Teteringen waren ten tijde van monstername al langer dan een jaar aanwezig.

De monsters zijn geanalyseerd in het waterkwaliteitslaboratorium van het Staring Centrum. Ten behoeve van het ecologische deel van het onderzoek zijn de volgende waterkwaliteitsparameters bepaald:
- kationen: K, Na, NH_4, Ca, Mg, Fe;
- anionen : Cl, HCO_3, NO_3, SO_4, PO_4;
- andere : pH, electrisch geleidingsvermogen (EGV).

4 MODELBESCHRIJVING

4.1 Modelkeuze

Hoofddoel van het hydrologische deel van het onderzoek was het simuleren van de doordringing van ingelaten water in het oppervlaktewatersysteem in afhankelijkheid van de optredende kwel en onder verschillende meteorologische condities. Hiervoor was het nodig over een model te beschikken dat enerzijds de waterbewegeningen in oppervlaktewatersystemen en anderzijds het transport van stoffen kan beschrijven. Van groot belang bij de simulatie met een oppervlaktewatermodel is de interactie tussen het oppervlaktewater- en het grondwatersysteem: het laatste bepaald, in afhankelijkheid van vooral neerslag, verdamping en kwelintensiteit, de behoefte aan het inlaten van water in droge tijden en de noodzaak tot het afvoeren van water in natte tijden. De toepassing van een eenvoudig grondwatermodel dat de lokale waterhuishouding van de onverzadigde en verzadigde zone beschrijft, was daarom voor dit onderzoek noodzakelijk.

Een tweede doel van het onderzoek was een indruk te krijgen van de doordringing van inlaatwater in het grondwater. Hiervoor waren simulaties van de regionale grondwaterstroming nodig, met een model dat stroomlijnen en verblijftijden kan berekenen, op basis van de, met het lokale grondwatermodel berekende waterbalanstermen.

Naast deze eisen aan het modelconcept, die voortkwamen uit de aard van het onderzoek, speelden praktische eisen een rol bij de keuze van de modellen:
- er moest een goede handleiding en/of begeleiding zijn;
- de leesbare code van het computerprogramma moest beschikbaar zijn, zodat het mogelijk was relevante aanpassingen te plegen.

Om deze praktische redenen is besloten modellen te kiezen die zijn ontwikkeld op het Staring Centrum.

Er is een keuze gemaakt voor de volgende modellen:
1 SIMWAT : oppervlaktewatermodel
2 SIMUNS : grondwatermodule
3 STRELIN: stroomlijnenmodel.

SIMWAT en SIMUNS zijn toegepast in de gekoppelde versie, genaamd SIMPRO. In het oorspronkelijke onderzoeksplan (Hendriks, 1988b) is aangegeven dat het model WATBAL zou worden gebruikt in plaats van SIMUNS. WATBAL is echter niet direct te koppelen met SIMWAT. De voordelen van het gebruik van het gekoppelde model ten opzichte van toepassing van de ongekoppelde combinatie SIMWAT/WATBAL zijn:
- er bestaat een directe terugkoppeling tussen oppervlakte- en grondwatersysteem. De werkelijke situatie, waarin fluctuaties van het oppervlaktewaterpeil tot circa 0,7 m zijn waargenomen, kan dan meer in overeenstemming met de praktijk worden gesimuleerd. In een simulatie met de combinatie SIMWAT/WATBAL zou per periode voor de berekening van het grondwatersysteem een vast oppervlaktewaterpeil moeten worden aangenomen.
- de directe koppeling tussen grond- en oppervlaktewatermodel

betekent dat de output van het eerste niet apart hoeft te worden bewerkt tot input voor het tweede. Dit moet bij de combinatie SIMWAT/WATBAL wel gebeuren.
- het model kent de mogelijkheid beregening in te voeren. In WATBAL zou de optie beregening moeten worden ingebouwd.

In de volgende paragrafen worden de modellen in het kort besproken. Voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar de relevante literatuur.

4.2 Globale beschrijving van SIMPRO

Het geïntegreerde oppervlakte- en grondwatermodel SIMPRO (Querner, 1987) is ontwikkeld op het Staring Centrum om de interactie tussen oppervlakte- en grondwater te beschrijven. De naam is een afkorting van SIMulation of hydrological PROcesses. Het model bestaat uit het oppervlaktewatermodel SIMWAT (SIMulation of surface WATer systems) (Querner, 1986 en 1989) en de grondwatermodule SIMUNS (SIMulation of flow in UNsaturated and Saturated zone).

De interactie tussen het oppervlakte- en het grondwatersysteem wordt geïllustreerd in figuur 16. Hierin wordt een overzicht gegeven van de schematische waterhuishouding van een subgebied, zoals die binnen SIMPRO wordt beschouwd. Een subgebied vormt een afwateringseenheid binnen de modelschematisatie van de module SIMUNS (zie ook 4.3.1).

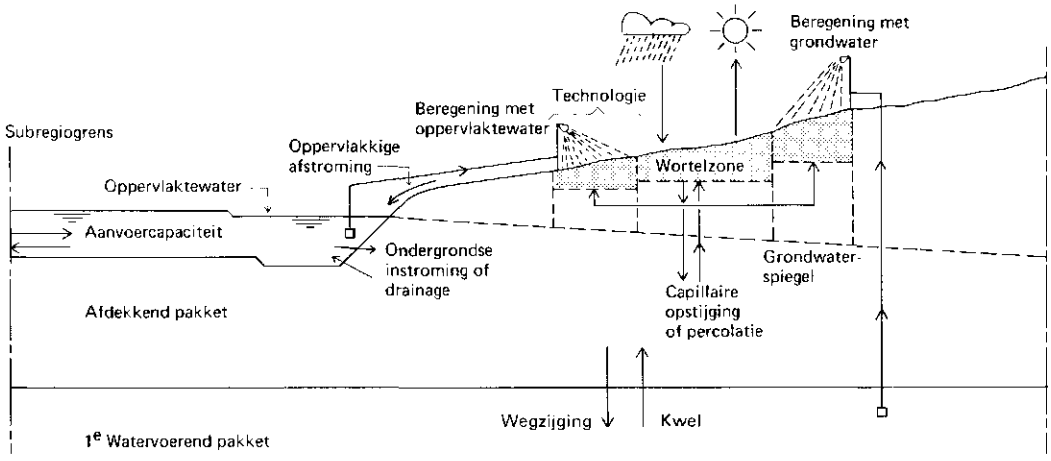


Fig. 16 Waterhuishouding van een subgebied schematisch weergegeven (naar: Querner and Van Bakel, 1989).

Een technologie zoals aangeduid in figuur 16 is een bepaalde grondgebruiksvorm. Dit kan zowel landbouwkundig als niet-landbouwkundig grondgebruik zijn. In de figuur zijn alle termen van de waterbalans te herkennen, die een rol spelen bij de berekeningen met het model. Deze waterbalans is als volgt te schrijven met aan de linkerkant de oppervlaktewater- en aan de rechterkant de grondwaterbalanstermen (verzadigde zone) en de drainageterm als interactie tussen beide:

$$A + B_{op} - SR - \Delta ST_o = D = P + K - \Delta ST_g \quad (1)$$

met (alle termen in m^3):
A = afvoer (aanvoer) van oppervlaktewater uit (naar) het subgebied;
B_{op} = beregening uit het oppervlaktewater;
SR = oppervlakkige afstroming naar het oppervlaktewater;
ΔST_o = bergingsverandering van het oppervlaktewater;
D = drainage uit (infiltratie naar) het grondwater naar (uit) het oppervlaktewater;
P = percolatie naar (capillaire opstijging uit) de verzadigde zone uit (naar) de onverzadigde zone;
K = kwel naar (wegzijging uit) de verzadigde zone uit (naar) diepere lagen;
ΔST_g = bergingsverandering van het freatisch grondwater.

Hierbij is de interactie tussen verzadigde en onverzadigde zone gegeven door:

$$P = N + B_{op} + B_{gr} - E - SR - \Delta V \quad (2)$$

met (alle termen in m^3):
N = neerslag;
B_{op} = beregening uit het oppervlaktewater;
B_{gr} = beregening uit het diepere grondwater;
E = verdamping;
SR = oppervlakkige afstroming naar het oppervlaktewater;
ΔV = verandering in de vochtvoorraad in de onverzadigde zone.

Tijdens berekeningen met het model worden aan de hand van de waterbalans per tijdstap de verschillende balanstermen berekend. Hiermee is de interactie tussen het oppervlakte- en grondwatermodel gegeven.

In de volgende paragrafen worden de beide deelmodellen in het kort besproken.

4.2.1 Oppervlaktewatermodel SIMWAT

Met SIMWAT kan de waterbeweging in open waterleidingen worden gesimuleerd. Het model is in staat om ingelaten water te verdelen in tijden van waterbehoefte en water te verzamelen in tijden van wateroverschot. Hierbij wordt rekening gehouden met de aanwezigheid van kunstwerken als duikers en stuwen, de inlaat van water, de uitslag van water, de weerstand van leidingen enz. Verder kan met het model het transport van een tracer, in afhankelijkheid van de waterbewegingen worden beschreven. Hierbij wordt geen rekening gehouden met fysische en chemische processen als dispersie, diffusie, sorptie en opstuwing en menging tengevolge van windinvloeden.

De basis voor de berekeningen van de waterbeweging in open leidingen in SIMWAT vormen de continuïteits- en de bewegingsvergelijking (Querner, 1986). In deze laatste vergelijking is het effect van de zwaartekracht en een niet-uniforme stroomverdeling verwaarloosd omdat de aan- en afvoer slechts langzaam veranderen. Het voordeel hiervan is dat daardoor voor de te kiezen tijdstap in principe geen beperkingen gelden vanuit

het rekenconcept. De tijdstapgrootte wordt dan enkel beperkt door factoren als bijvoorbeeld de capaciteit van een gemaal of inlaat in verhouding tot de bergingscapaciteit, aangezien gemaal en inlaat gedurende de gehele tijdstap in werking zijn. In de praktijk is gebleken dat de tijdstap niet groter kan worden genomen dan 3 tot 4 uur.

Het waterlopenstelsel wordt in SIMWAT geschematiseerd tot een stelsel van leidingen en knooppunten. In elk knooppunt kunnen meerdere leidingen samenkomen (zie fig. 17).

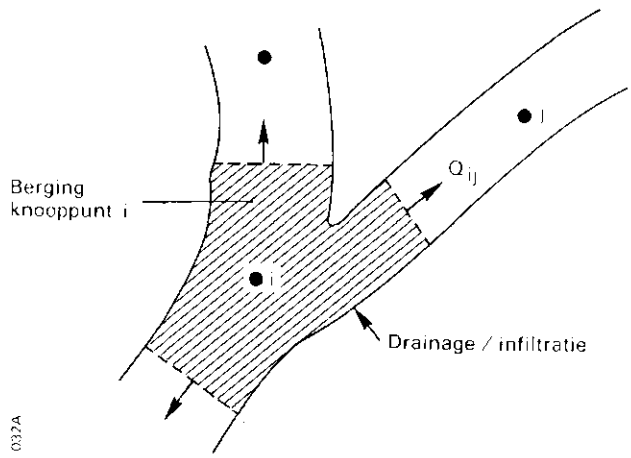


Fig. 17 Schematisatie van het waterlopenstelsel binnen SIMWAT, waarin $Q_{i,j}$ het debiet is tussen de knooppunten i en j (naar: Querner, 1988a)

In een knooppunt wordt een waterstand h_i (m) berekend en voor een leiding volgt uit het waterstandsverschil tussen begin- en eindknooppunt een debiet $Q_{i,j}$ ($m^3.d^{-1}$):

$$Q_{i,j} = K_{i,j} \ (h_i - h_j) \qquad (3)$$

Hierin geeft $K_{i,j}$ ($m^2.d^{-1}$) de ruwheid en afmetingen van een leidingvak weer. Door vergelijking (3) te combineren met de continuïteitsvergelijking wordt een stelsel van vergelijkingen verkregen, dat in een iteratief proces kan worden opgelost.

De berekening van het transport van een tracer is gebaseerd op de continuïteitsvergelijking van de tracer, bij een berekende waterbeweging. Hierbij wordt verondersteld dat de bergingscapaciteit van de leidingen als een fictief reservoir voorkomt in de knooppunten. Het volume van de aanliggende leidingen wordt voor de helft aan het betreffende knooppunt toegekend; het totaal hiervan vormt de capaciteit van het reservoir. Naast dit knooppunten-reservoir wordt voor het tracertransport nog een tweede reservoir onderscheiden: de toegevoegde berging. Dit reservoir wordt gevormd door het stelsel van kleinere ontwateringssloten, die, gezien hun grote aantal en ondergeschikt belang wat betreft waterbeweging en stoffentransport, niet als leidingen in het modelnetwerk worden meegenomen maar als berging aan een knooppunt worden gekoppeld (fig. 18). Afhankelijk van de waterbeweging komt water met een bepaald tracergehalte eerst in het ene reservoir en wordt daar gemengd

met het al aanwezige water, en daarna, mits er uitwisseling tussen beide reservoirs optreedt, in het andere reservoir waar het wordt gemengd.

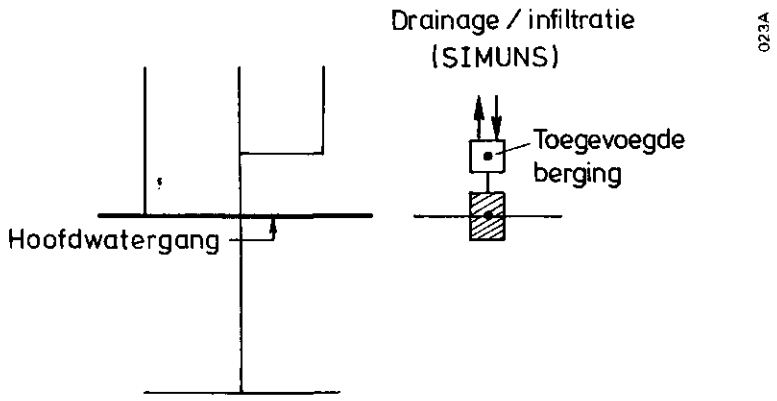


Fig. 18 Schematisatie van het knooppunten- en toegevoegde bergingreservoir (naar: Querner, 1988a).

Hierbij wordt verondersteld dat in beide reservoirs volledige menging optreedt. De nieuwe concentratie in knooppunt i voor de volgende tijdstap wordt berekend als:

$$C_i^{t+\Delta t} = \frac{C_i^t\ V_i + \Sigma\ C_j^t Q_j \Delta t}{V_j + \Sigma\ Q_j \Delta t} \qquad (4)$$

met:
C_i^t = concentratie in knooppunt i op tijdstip t ($mol.m^{-3}$);
V_i = berging in knooppunt i (m^3);
Q_j = inkomende debiet uit knooppunt j ($m^3.d^{-1}$);
Δt = tijdstap (d).

Hierbij moet worden bedacht dat de voor de toegevoegde berging berekende concentratie het gemiddelde vormt van de concentraties in het stelsel van kleinere sloten.

Bij deze expliciete berekeningsmethode wordt de concentratie in een gegeven knooppunt bepaald door de concentratie van de vorige tijdstap in de naburige knooppunten. Deze expliciete benadering voor het berekenen van de concentratie is enkel mogelijk bij een niet te grote tijdstap. Bij een te grote tijdstap loopt het berekende tracerfront achter bij het werkelijke omdat in het model het tracerfront per tijdstap slechts een knooppunt kan opschuiven terwijl het zich in de werkelijke situatie in dat tijdbestek over grotere afstand zal verplaatsen.

4.2.2 Grondwatermodule SIMUNS

SIMUNS is een relatief eenvoudige eendimensionale pseudo-stationaire grondwatermodule voor de verzadigde en onverzadigde zone. De berekeningsmethode voor de verzadigde zone is

beschreven door Querner (1984) en voor de onverzadigde zone door Querner en Van Bakel (1989).

Voor de berekening van het vochttransport in de onverzadigde zone worden twee reservoirs beschouwd, een voor de wortelzone en een voor de ondergrond (profiel tussen wortelzone en freatisch vlak). In het model wordt aangenomen dat vocht kan worden geborgen in de wortelzone tot een bepaald evenwicht is bereikt. De grootte van de vochtvoorraad bij het evenwichtsprofiel wordt bepaald door de dikte van de wortelzone, de vochtkarakteristiek van het bodemmateriaal en de grondwaterstand. Wordt de evenwichtsvoorraad overschreden, dan zal het overtollige water naar de ondergrond percoleren. Als de vochtvoorraad lager is dan de evenwichtsvochtvoorraad, kan er een capillaire flux vanuit de verzadigde zone optreden. In de ondergrond wordt uit de waterbalans de hoogte van het freatisch vlak berekend met behulp van een freatische bergingscoëfficiënt, waarvan de grootte afhankelijk is van de grondwaterstand. In deze benadering wordt per subgebied en per grondgebruiksvorm (technologie) een specifieke onverzadigde zone beschouwd, die wordt gekenmerkt door de dikte van de wortelzone en de vochtkarakteristiek van het voorkomende bodemmateriaal.

De verzadigde zone heeft een interactie met de onverzadigde zone in de vorm van percolatie of capillaire opstijging, met het oppervlaktewater in de vorm van infiltratie of drainage en met diepere lagen in de vorm van kwel of wegzijging over de onderrand (zie fig. 16). Een verandering in grondwaterstand Δh_g (m) over een tijdstap Δt (d) wordt berekend volgens de Crank-Nicholson benadering (Querner, 1984) en kan als volgt worden beschreven:

$$A\ \mu\ \frac{\Delta h_g}{\Delta t} = \theta\ Q^{t+\Delta t} + (1 - \theta)\ Q^t \qquad (5)$$

met:
A = oppervlakte van het subgebied (m^2);
μ = bergingscoëfficiënt (1);
θ = wegingsfactor (-);
Q^t = stroming van of naar het subgebied ($m^3.d^{-1}$).

Alle veranderingen in stroming over een tijdstap worden verondersteld lineair te variëren met de grondwaterstandsveranderingen.

De grootte van de tijdstap kan een veelvoud van een dag zijn en wordt liefst zo klein mogelijk genomen. Vanuit het pseudostationaire concept van de berekeningen voor de onverzadigde zone is een tijdstap kleiner dan een dag niet toelaatbaar. Meestal wordt de tijdstapgrootte afhankelijk gesteld van de frequentie waarmee meteorologische data beschikbaar zijn.

De interactie tussen het grondwater- en het oppervlaktewatersysteem is in het model geschematiseerd door drie drainagesystemen te onderscheiden:
1 het secundaire systeem; het afwateringsstelsel. Dit zijn de grotere waterlopen die een belangrijke af- en aanvoerfunctie

hebben en die meestal in beheer zijn bij het Waterschap. In SIMWAT zijn dit de leidingen van het modelnetwerk;

2 het tertiaire systeem; het ontwateringsstelsel. Dit zijn de perceelssloten die in beheer zijn bij de grondgebruiker. In SIMWAT vormt dit systeem de toegevoegde berging, tesamen met het greppelsysteem;

3 het greppelsysteem; dit systeem komt slechts in werking bij zeer hoge grondwaterstanden omdat de drainagebasis hiervan meestal rond de 0,20 m - mv ligt.

De drainage of infiltratie die optreedt in een subgebied als gevolg van de aanwezigheid van de drie drainagesystemen wordt berekend als (Ernst, 1978):

$$Q_w = \sum_{s=1}^{3} \frac{(h_w - h_g)}{\alpha_s \ \gamma_s} A \qquad (6)$$

met:

Q_w = totale drainage/infiltratie voor alle drie de systemen ($m^3.d^{-1}$);
h_w = oppervlaktewaterpeil (m);
h_g = grondwaterstand (m);
α_s = geometrie factor van elk systeem (-);
γ_s = drainageweerstand van elk systeem (d);
s = index drainagesystemen (-);
A = oppervlakte subgebied (m^2).

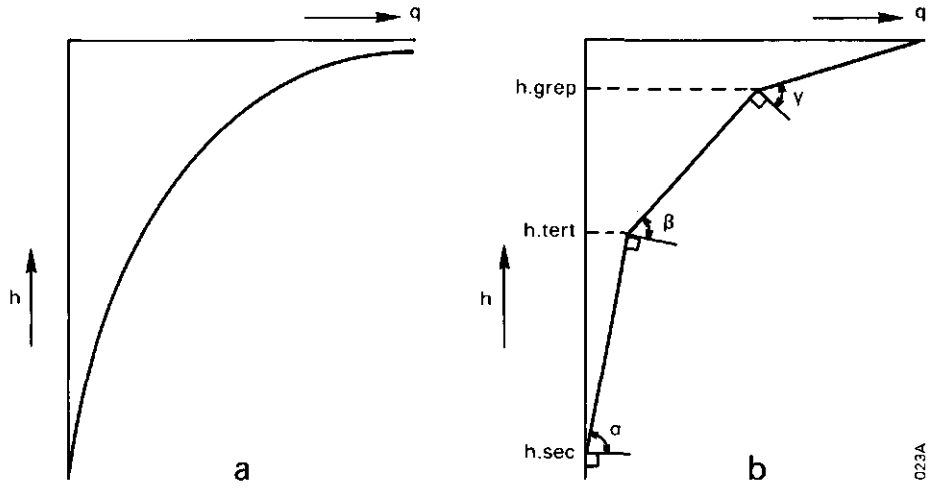


Fig. 19 Voorbeeld van een afvoerrelatie (Q-h relatie) (naar: Post en Van Bakel, 1986).
a = werkelijke Q-h relatie, waarin:
Q = afvoer (drainage)
h = grondwaterstand
b = Q-h relatie zoals geschematiseerd in de module, waarin:
α = maat voor drainageweerstand van secundaire systeem
β = maat voor drainageweerstand van tertiaire systeem
γ = maat voor drainageweerstand van greppelsysteem
h.sec, h.ter, h.grep = drainagebasis van resp. secundaire, tertiaire en greppelsysteem.

De geometrie factor is een omrekeningsfactor om de opbolling midden tussen de sloten om te rekenen naar een gemiddelde grondwaterstand. De drainageweerstanden beschrijven de afvoer-

relatie (Q-h relatie); ze vormen als het ware richtingscoëfficiënten van de raaklijnen aan de kromme, die eigenlijk de Q-h relatie vormt (zie fig. 19).

4.3 Invoergegevens voor SIMPRO

4.3.1 Modelschematisatie

De fase die voorafgaat aan het verzamelen en invoeren van gegevens voor SIMPRO, is het schematiseren van het waterlopenstelsel van het modelgebied tot een netwerk van knooppunten verbonden door leidingen (zie ook 4.2.1). Hierbij worden de plaatsen van de knooppunten als volgt bepaald:
- op de modelranden waar waterinlaat of -uitlaat plaatsvindt;
- aan het einde van doodlopende leidingen;
- ter afbakening van leidingen met een speciale functie als duikers, stuwen, inlaatwerken;
- op punten waar leidingen samenkomen;
- ter verdeling van waterlopen in leidingen met een ongeveer gelijke lengte. Hierbij wordt een maximale factor van 1,5 gehanteerd voor de lengte van aangrenzende leidingen.

Er is besloten om in dit onderzoek enkel de hoofdwaterlopen (de waterlopen die in onderhoud zijn bij de Waterschappen) en de sloten met een duidelijke afwaterende functie als leidingen in het modelnetwerk te schematiseren. Een verdichting van het knooppuntennetwerk tot een netwerk waarin eveneens de detailontwateringssloten zijn geschematiseerd, zou vanwege de zeer dichte slotenstelsels van de drie proefgebieden te veel rekentijd vergen en te veel invoergegevens vereisen. De detailontwateringssloten zijn daarom geschematiseerd tot een toegevoegde berging behorende bij elk knooppunt (zie fig. 18). De toegevoegde berging bestaat uit het stelsel van detailontwateringssloten dat afwatert op de bij het knooppunt horende leidingstukken. Voor elke toegevoegde berging berekent het model een tracerconcentratie die staat voor de gemiddelde concentratie van het gehele betreffende slotenstelsel (zie ook 4.2.1).

Voor de berekeningen met het grondwatermodel wordt het modelgebied onderverdeeld in subgebieden. Elk subgebied vormt een afwateringseenheid die hoort bij een bepaald knooppunt. De omgrenzing van deze afwateringseenheid wordt gegeven door de waterscheidingen die het betreffende detailontwateringsstelsel (de toegevoegde berging) afscheiden.

Het knooppuntennetwerk met bijbehorende subgebieden van elk van de drie proefgebieden is te zien in de figuren 26, 27 en 28 van paragraaf 5.2 waarin de scenario-berekeningen worden gepresenteerd. Voor De Oostpolder en Teteringen is slechts dat deel van het gebied in de figuren weergegeven dat relevant is voor het doel van dit onderzoek: de berekening van de doordringing van inlaatwater in het gebied. Het betreft steeds het deel waar gezien de structuur van het waterlopenstelsel en de topografie het ingelaten water in principe kan doordringen. De overige gebiedsdelen zijn te hoog gelegen of liggen achter een stuw. Deze gebieden spelen enkel in een afvoersituatie een rol. In Weimeren kan in principe overal inlaatwater komen. In

de figuren is een aantal zogenoemde fictieve stuwen te zien. Deze stuwen zijn in de werkelijke situatie niet aanwezig, maar zijn enkel voor de modelschematisatie aangebracht. Ze scheiden de hoog gelegen delen van het waterlopenstelsels van de lager gelegen delen, zodat deze hogere delen niet droog kunnen vallen. Een situatie die in het model SIMWAT tot numerieke instabiliteit kan leiden.

4.3.2 Invoer voor SIMWAT

De belangrijkste invoergegevens voor het oppervlaktewatermodel SIMWAT betreffen de karakteristieken van knooppunten en leidingen. Daarnaast is een aantal algemene invoergegevens van belang. In het navolgende worden de belangrijkste invoergegevens in het kort behandeld. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen A) gegevens per knooppunt, B) gegevens per leidingvak en C) overige gegevens. Per proefgebied wordt aangegeven op welke wijze de betreffende gegevens zijn verkregen.

A Invoergegevens per knooppunt

- Bodemhoogte van de waterlopen ter plekke van de knooppunten: deze hoogtes zijn verkregen van de legger van het waterlopenstelsel afkomstig van de Waterschappen. Voor Weimeren en De Oostpolder betreft dit het Waterschap De Markgronden en voor Teteringen De Boven-Mark. Voor Teteringen is tevens gebruik gemaakt van informatie van de Landinrichtingsdienst.
- Maaiveldshoogte:
  de hoogte van het maaiveld is een grootheid, die eveneens in het grondwatermodel wordt gebruikt. Omdat in het grondwatermodel wordt uitgegaan van subgebieden dient voor deze grootheid een gemiddelde subgebiedsmaaiveldshoogte te worden ingevoerd. De ingevoerde gemiddelde maaiveldshoogtes van Weimeren en De Oostpolder zijn ontleend aan de hoogtekaart van Nederland, 44C Zuid Prinsenbeek van de Topografische Dienst (herzien in 1971). Voor Teteringen zijn de gemiddelde maaiveldshoogtes verkregen van de hoogtecijferskaart van de Landinrichtingsdienst (samengesteld in het kader van de ruilverkaveling Teteringen, 1986).
- Berging-hoogte kromme:
  deze kromme geeft een relatie tussen het oppervlaktewaterpeil ten opzichte van maaiveld en de hoeveelheid in sloten en greppels geborgen water (de toegevoegde berging; zie fig. 18) uitgedrukt in m^2 per eenheid van diepte. De berginghoogte kromme bevat niet de berging in de geschematiseerde leidingen; deze berging wordt door het model berekend in afhankelijkheid van het peil in deze leidingen. De berginghoogte kromme is voor elk proefgebied afgeleid uit de dimensies en lengtes van de voorkomende sloten en greppels. Hiervoor zijn in Weimeren en De Oostpolder van alle sloten en greppels de dwarsdoorsneden opgemeten. De lengtes zijn verkregen van de topografische kaart 44C Zevenbergen (herzien 1977). Voor Teteringen is gebruik gemaakt van de sloot- en greppelinhoudenkaart van de Landinrichtingsdienst (samengesteld in het kader van de ruilverkaveling Teteringen,

1986). Een voorbeeld van een berging-hoogte kromme geeft figuur 20.

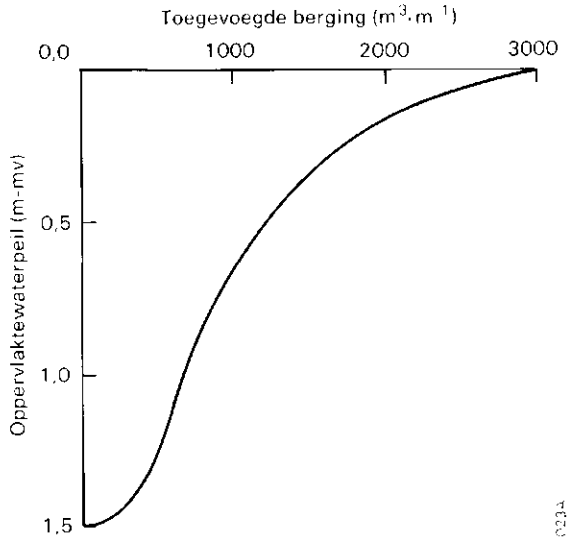


Fig. 20 Voorbeeld van een berging-hoogte kromme (Weimeren, knooppunt 14).

B Invoergegevens per leidingvak

- De begrenzende knooppunten en de lengte:
  deze gegevens volgen uit het knooppuntennetwerk.
- Dwarsdoorsneden (breedte, diepte en taludhelling):
  gegevens afkomstig van de leggers van de Waterschappen (zie ook onder A), eerste gedachtestreepje).
- Stromingsweerstand:
  het model is zodanig aangepast dat de stromingsweerstand van de leidingen afhankelijk is gesteld van de stroomsnelheid. Hiervoor zijn empirische relaties tussen de stroomsnelheid en de ruwheidsparameter k_M, die voor verschillende onderhoudsgraden zijn opgesteld door Bon (1967), in het model ingebouwd (fig. 21). Het volstaat dan voor een bepaald leidingvak een onderhoudsgraad in te voeren, waaruit het model in afhankelijkheid van de stroomsnelheid een k_M berekend. De onderhoudsgraad is geschat in het veld aan de hand van een aantal kenmerken, die door Bon (1967) zijn gegeven (zie aanhangsel 1). De onderhoudsgraad is veranderend in de loop van het seizoen ingevoerd; in de winter met geringere plantengroei is de onderhoudsgraad lager (geringere weerstand) dan in de zomer wanneer de plantengroei sterker is.

C Overige invoergegevens

- Tijdstapgrootte:
  de expliciete berekeningsmethode voor de tracerconcentratie vergt een niet te grote tijdstap (zie 4.2.1). De maximale grootte van de tijdstap is bepaald aan de hand van de lengte van het kleinste leidingvak van elk proefgebied en de gemiddeld optredende stroomsnelheid ten tijde van waterinlaat in

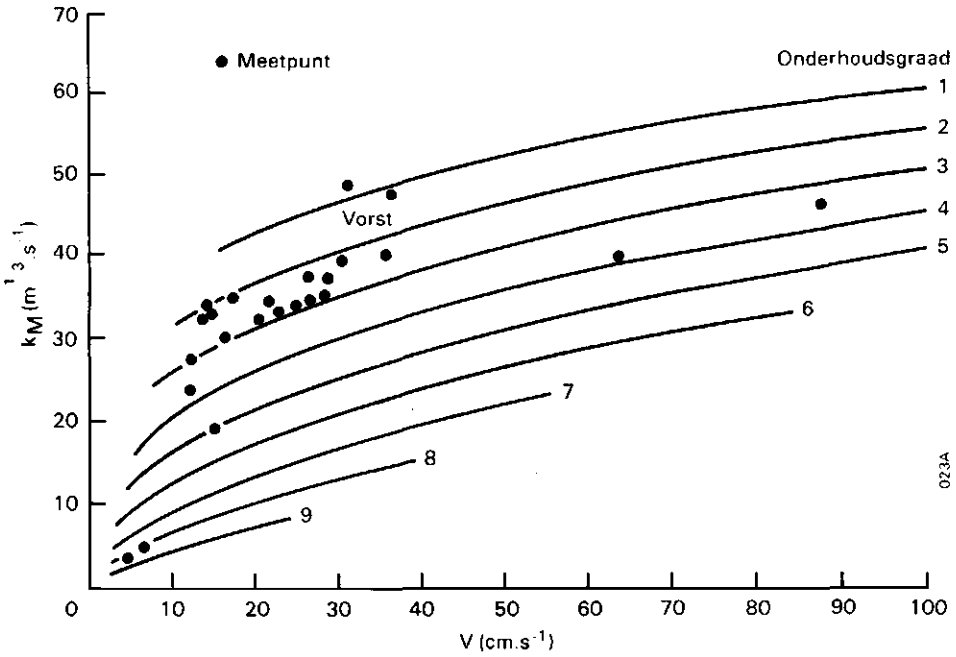


Fig. 21 Relatie tussen stromingsweerstand (k_M) en stroomsnelheid (v) voor verschillende onderhoudsgraden (naar: Bon, 1967).

dat leidingvak: de maximale tijdstap is gelijk aan de tijd waarbinnen het water van dit leidingvak eenmaal is vervangen (tijdstap = lengte/snelheid). Voor Weimeren bedroeg de maximale tijdstap 0,025 dag en voor De Oostpolder en Teteringen 0,05 dag. Tijdens de gevoeligheidsanalyses is nagegaan of verkleining van de tijdstap belangrijke gevolgen voor de modeluitkomsten had (zie 5.3).

- Capaciteit van inlaten, uitlaten en gemalen:
  de capaciteit van de inlaten van Weimeren en Teteringen is gegeven als functie van het verschil tussen het peil boven- en benedenstrooms van de inlaatduiker (zie aanhangsel 9). Omdat in deze twee gebieden het bovenstroomse peil respectievelijk het Mark- en het Markkanaalpeil betreft en deze beide peilen op NAP kunnen worden gesteld, kan de inlaatcapaciteit worden uitgedrukt als een functie van het benedenstroomse peil. Voor beide gebieden is een relatie ingevoerd tussen de inlaatcapaciteit en het benedenstroomse peil bij de inlaatduiker (zie aanhangsel 9). Voor De Oostpolder was dit niet mogelijk aangezien bovenbeschreven relatie niet bekend was. Hier is een gemiddelde inlaatcapaciteit ingevoerd, die is afgeleid uit incidentele metingen van het inlaatdebiet. De capaciteiten van de uitlaten in Weimeren en De Oostpolder zijn als gemiddelde uitlaatcapaciteiten ingevoerd, bepaald aan de hand van incidentele debietmetingen. De capaciteit van het gemaal in Teteringen was niet bekend en kon ten tijde van het onderzoek niet worden bepaald. Voor deze capaciteit is een geschatte waarde ingevoerd.
- Dimensies van de kunstwerken die de stromingsweerstand beïnvloeden (duikers, stuwen, inlaatwerken enz.):
  deze gegevens zijn afkomstig van de Waterschappen.
- Streef- en/of stuwpeilen:
  gegevens afkomstig van de Waterschappen.

4.3.3 Invoer voor SIMUNS

De belangrijkste invoergegevens voor de grondwatermodule SIMUNS zijn onder te verdelen in A) gegevens per subgebied, B) gegevens per bodemkundige eenheid, C) gegevens per technologie en D) overige gegevens. Een technologie is een bepaalde grondgebruiksvorm (bijv. grasland, maïs of bos). In het navolgende worden de belangrijkste invoergegevens in het kort behandeld en wordt per proefgebied aangegeven op welke wijze de betreffende gegevens zijn verkregen.

A Invoergegevens per subgebied

- Oppervlakte van het subgebied:
  de oppervlaktes zijn ontleend aan de topografische kaart; voor Weimeren en De Oostpolder is dit kaartblad 44C Zevenbergen (herzien 1977) en voor Teteringen kaartblad 44D Oosterhout (herzien 1977).
- Bodemkundige eenheid:
  in het model wordt verondersteld dat elk subgebied uniform is voor wat betreft de bodemkundige eigenschappen. Elk subgebied behoort tot een bepaalde bodemkundige eenheid, die wordt gekenmerkt door de specifieke bodemkundige eigenschappen. In het model zijn, afhankelijk van het betreffende proefgebied, maximaal twaalf bodemkundige eenheden onderscheiden. De bodem van elk proefgebied is onderverdeeld in een aantal bodemkundige eenheden aan de hand van informatie van de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, blad 44 West Oosterhout (Bodemkaart, 1987). Voor Teteringen is tevens gebruik gemaakt van een bodemkaart betreffende verkavelingsgebied Teteringen, schaal 1 : 10.000 samengesteld door STIBOKA in opdracht van de Landinrichtingsdienst (Bles e.a., 1988).
- Technologieën:
  van elk subgebied dient te worden aangegeven welk percentage van het oppervlakte wordt ingenomen door welke technologie (grondgebruiksvorm). Naast een aantal agrarische technologieën kunnen niet-agrarische technologieën worden onderscheiden, als stedelijk gebied, loof- of naaldbos en natuur. De informatie over het grondgebruik in de proefgebieden is met de topografische kaart in het veld verkregen.
- Drainagediepte en -weerstand per drainagesysteem:
  voor de drie onderscheiden drainagesystemen (zie 4.2.2) is per sub-gebied een drainagediepte en -weerstand ingevoerd. De drainagediepte is afgeleid uit de gegevens over de waterlopen, sloten en greppels (zie 4.3.2). De drainageweerstand is als volgt berekend uit de slootafstanden (Ernst, 1962):

$$R_d = L_s R_r + \frac{L_s^2}{8kD} \qquad (7)$$

met:
R_d = drainageweerstand (d);
L_s = slootafstand (m);
R_r = radiale slootweerstand ($d.m^{-1}$);
kD = doorlaatvermogen van de horizontaal doorstroomde laag ($m^2.d^{-1}$).

Omdat het afdekkende pakket relatief dun is (max. 4 m) vindt horizontale stroming naar de drainagemiddelen voornamelijk plaats in het onderliggende eerste watervoerende pakket (tot een maximale diepte van 1/4 van de slootafstand). De kD-waarden hiervan zijn verkregen van Langbein en Lekahena (1976). Aangezien deze kD-waarden relatief hoog zijn is de bijdrage van de horizontale stromingsweerstand aan de totale drainageweerstand naar verhouding gering. De drainageweerstand wordt voornamelijk bepaald door de radiale slootweerstand. Voor de radiale weerstand geeft Massop (1988) gemiddelde, voor Nederland geldende waarden, in afhankelijkheid van de grondsoort (tabel 1).

Tabel 1 Radiale slootweerstand van verschillende grondsoorten.

Grondsoort	Radiale slootweerstand ($d.m^{-1}$)
zand	1
zavel	2
veen	2
klei	3

De drainageweerstand is niet per subgebied berekend maar per cluster van subgebieden. Elk cluster werd daarbij gekenmerkt door het voorkomen van een bepaalde grondwatertrap en een specifiek slotenpatroon. De drainageweerstand is tijdens de calibratie bijgesteld.

- Kwel-grondwaterstandrelaties:
  in het model zijn voor het zomerseizoen en voor het winterseizoenrelaties ingevoerd tussen de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld en de kwel(wegzijgings)intensiteit. Afhankelijk van de grondwaterstand leidt het model uit deze relatie een kwelintensiteit af. In eerste instantie is een vaste kwelintensiteit per periode van ca. 14 dagen in het model ingevoerd. De lengte van deze periodes komt voort uit de frequentie waarmee grondwaterpeilen zijn gemeten. Elke meting viel in het midden van een beschouwde periode. De kwelintinsiteit is verkregen uit het op een bepaald moment gemeten potentiaalverschil tussen afdekkend pakket en eerste watervoerende pakket en de uit metingen bepaalde verticale stromingsweerstand (zie 3.1.1) volgens:

$$K = \frac{\Delta h}{c} \qquad (8)$$

met:
K = kwel(wegzijgings)intensiteit ($mm.d^{-1}$);
Δh = potentiaalverschil tussen afdekkende en eerste watervoerende pakket (mm);
c = verticale stromingsweerstand afdekkend pakket (d).

Omdat de c-waarde een onzekere factor was, is deze grootheid tijdens een eerste calibratiefase bijgesteld. De uit calibratie verkregen gemiddelde waarde voor de polders van de drie proefgebieden bedroeg voor De Oostpolder en Teteringen 200 dagen en voor Weimeren 300 dagen.

Na de eerste calibratiefase zijn de met (8) bepaalde kwelintensiteiten grafisch uitgezet tegen de gemeten grondwaterstanden en is tussen beide grootheden grafisch een

verband vastgelegd. Daartoe is gezocht naar een duidelijke sequentie in de tijd; deze is echter niet gevonden. Wel is in het algemeen een onderscheid gevonden tussen de zomer- en winterperiode van het meetjaar. Voor de meeste meetpunten werd de zomerperiode gekenmerkt door een S-vormig verband tussen kwelintensiteit en grondwaterstand en de winterperiode door een lineaire relatie tussen beide grootheden. Een voorbeeld van een dergelijke relatie voor de zomerperiode, de voor dit onderzoek meest relevante periode, is te zien in figuur 22.

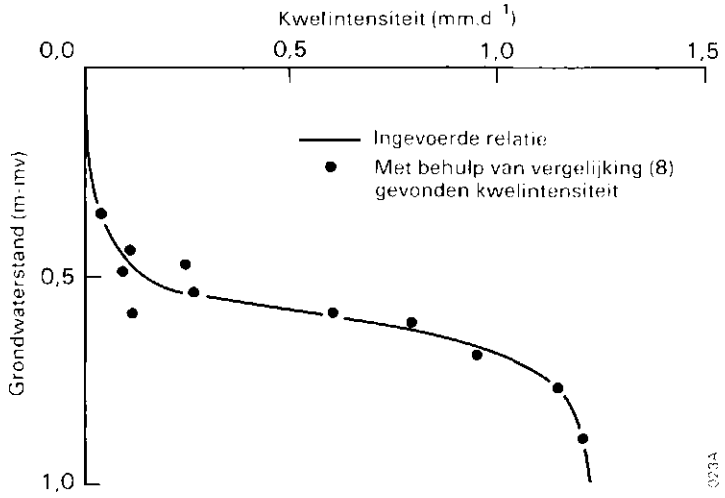


Fig. 22 Voorbeeld van een relatie tussen grondwaterstand en kwelintensiteit voor de zomerperiode (Weimeren, midden gebied).

De kwel-grondwaterstandrelaties zijn steeds verkregen voor subgebieden waar grondwaterstandsmeetpunten aanwezig waren. Op grond van de voorkomende grondwatertrappen zijn de bepaalde relaties geïnterpoleerd en geëxtrapoleerd naar de overige subgebieden. Tijdens een laatste calibratiefase zijn de ingevoerde kwel-grondwaterstandrelaties bijgesteld.

B Invoergegevens per bodemkundige eenheid

Met het programma CAPSEV (Wesseling e.a., 1984) zijn per bodemkundige eenheid relaties berekend tussen:
- grondwaterstand en vochtinhoud;
- grondwaterstand en capillaire opstijging;
- grondwaterstand en berging in de onverzadigde zone.

De module SIMUNS heeft deze relaties nodig om fluxen van of naar de onverzadigde zone te bepalen. Om deze drie relaties te kunnen berekenen vraagt CAPSEV om de waterretentiekarakteristiek ($h(\theta)$-relatie) en de verzadigde en onverzadigde doorlatendheid ($K(h)$-relatie). Deze relaties zijn per bodemkundige eenheid verkregen uit De Staringreeks (Wösten e.a., 1987), een standaardreeks van bodemfysische karakteristieken. De indeling van de verschillende bodemkundige eenheden in deze reeks is geschied op grond van bodemfysische eigenschappen als leem-, lutum- en organische stofgehalte en de M50-waarde. Deze eigenschappen zijn per bodemkundige eenheid verkregen van de toelichting op de bodemkaart van Nederland, blad 44 West Oosterhout (Bodemkaart, 1987).

C Invoergegevens per technologie

- Wortelzone per bodemkundige eenheid:
  het model vraagt om een effectieve wortelzone per technologie en per bodemkundige eenheid. Onder de effectieve wortelzone wordt verstaan dat deel van de wortelzone waarin zich 80% van de wortels bevindt (Jansen, 1986a). Voor de landbouwgewassen is de effectieve wortelzone verkregen uit Werkgroep HELP-Tabel (1987) en voor bos en natuurlijke vegetaties uit Jansen (1986a).
- Beregeningskarakteristieken:
  beregening is in het model ingevoerd middels een rotatieschema. Per technologie wordt een gift van een bepaalde grootte gemiddeld over de lengte van het rotatieschema. Er wordt beregend zolang een zekere drempel, in de vorm van de relatieve vochtvoorraad in de wortelzone, niet is overschreden. De drempel is afhankelijk van het gewas (uitdrogingsgrens) en de eigenschappen van de bodem. In de drie proefgebieden komen twee technologieën voor die worden beregend: grasland en volle grondstuinbouw. Voor de eerste ligt de uitdrogingsgrens bij pF 2,6 en voor de tweede bij pF 2,5 (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988). Dit komt neer op een beregeningsdrempel van 0,8 voor de meeste combinaties van beregende technologieën en bodemkundige eenheden (vochtgehalte bij uitdrogingsgrens/vochtgehalte bij veldcapaciteit (pF 2)). De rotatiecyclus bedraagt voor grasland 7 en voor volle grondstuinbouw 4 dagen terwijl de beregeningsgift voor beide technologieën 20 mm bedraagt (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988). Het percentage grasland en volle grondstuinbouw dat wordt beregend, is per proefgebied bepaald aan de hand van de Landbouwtellingen van 1985 van het Centraal Bureau van de Statistiek en aan de hand van informatie van de Waterschappen. In de lage delen (veengebieden; meest grasland) vindt beregening volledig plaats uit het oppervlaktewater; op de hoge delen (zandgronden; volle grondstuinbouw) uit het grondwater.

D Overige invoergegevens

- Meteorologische gegevens:
  in SIMUNS moeten de neerslagintensiteit en de potentiële verdamping van gras, loof- en naaldbos worden ingevoerd. De neerslagintensiteit is per proefgebied bepaald uit de dagelijkse neerslagcijfers van de drie KNMI neerslagstations Oudenbosch, Oosterhout en Ginniken. Per gebied is een gewogen gemiddelde berekend uit de gegevens van deze drie stations, met de afstand van het gebiedsmidden tot elk station als wegingsfactor. Voor Weimeren en De Oostpolder zijn aan de hand van incidenteel door het Waterschap ter plekke gemeten intensiteiten van zomerbuien enkele relevante neerslaggegevens gecorrigeerd. De potentiële verdamping van gras, loof- en naaldbos is op dagbasis berekend met het hulpprogramma FEMSIN (Querner, 1988b). De benodigde invoergegevens (neerslag, gemiddelde temperatuur, gemiddelde luchtvochtigheid, gemiddelde instraling, alle op dagbasis) waren afkomstig van KNMI station De Bilt, behalve de neerslag die op bovenbeschreven wijze is berekend.
- Tijdstapgrootte:

als tijdstapgrootte is 1 dag genomen, aangezien de meteorologische gegevens op dagbasis beschikbaar waren.

4.4 Globale beschrijving van STRELIN

De regionale stroming is gesimuleerd met het model STRELIN (STREam LINes) (Groenendijk, 1987). Dit is een model dat de grondwaterstroming in een tweedimensionale doorsnede stationair, dat wil zeggen niet veranderend met de tijd, berekent. Het model berekent stroomlijnen en equipotentialen in een verticaal vlak. De berekeningen zijn gebaseerd op de fluxdichtheidsvergelijking en de continuïteitsvergelijking. In de knooppunten van een netwerk dat over het vlak van de verticale doorsnede is gelegd, worden of stroomfunctie of potentiaalfunctiewaarden op iteratieve wijze berekend. Aan de hand van de stroomfunctiewaarden worden stroomlijnen bepaald, waarlangs ook verblijftijden van het grondwater kunnen worden berekend. Met de potentiaalfunctiewaarden worden equipotentiaallijnen bepaald.

De voor het model benodigde invoergegevens bestaan uit de horizontale en verticale doorlatendheden en porositeiten van de cellen en de aan de randen opgelegde fluxen of potentialen. De opgelegde fluxen of potentialen zijn verkregen uit berekeningen met een hydrologisch model in dit onderzoek de module SIMUNS. Onttrekkingen of toevoegingen vinden in het model slechts plaats aan de randen van het systeem.

5 RESULTATEN VAN DE MODELBEREKENINGEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de uitgevoerde modelberekeningen beschreven. Wat betreft het model SIMPRO zijn dit de modelcalibratie, de scenario-berekeningen en gevoeligheidsanalyses. Met het model STRELIN zijn berekeningen uitgevoerd voor een transect in Weimeren en een transect in Teteringen.

5.1 Calibratie van SIMPRO

Alvorens het mogelijk is met SIMPRO scenario-berekeningen uit te voeren, dient het model voor elk proefgebied te worden gecalibreerd. Het doel van de calibratie is het model af te stemmen op de werkelijkheid, zodat scenario-berekeningen met het gecalibreerde model reële resultaten geven. Calibratie geschiedt door het zodanig bijstellen van relevante modelparameters, dat een vergelijking tussen berekende en gemeten waarden bevredigende resultaten geeft.

De calibratie is uitgevoerd door voor elk van de drie proefgebieden de periode januari 1988 tot en met maart 1989 door te rekenen en de modeluitkomsten te vergelijken met in deze periode gemeten waarden. Er is gekozen voor deze periode vanwege het beschikbaar zijn van meetgegevens en omdat de periode ten minste een gehele hydrologische zomer (april t/m september) en winter (oktober t/m maart) besloeg, zodat het gedrag van het model in beide seizoenen kon worden bestudeerd.

Omdat voor de calibratie een werkelijke situatie is gesimuleerd, was het van belang het in de betreffende periode uitgevoerde peilbeheer en ander beheer zo nauwkeurig mogelijk te volgen. Dit hield vooral in:
- Het starten en stoppen van waterinlaat op het moment dat het in de werkelijke situatie is gebeurd. Er is water ingelaten (zie aanhangsel 9):
  - Weimeren tussen 26 mei en 27 juni 1988;
  - De Oostpolder tussen 20 mei en 1 juli 1988;
  - Teteringen tussen 19 mei en 25 juni 1988.
- Aanbrengen/verwijderen van schotten (Weimeren) of openen/sluiten van afsluitbare stuwen en duikers (Teteringen) zoals in de werkelijkheid is gebeurd;
- Het gemaal is in werkelijkheid in Weimeren en De Oostpolder (zelfde gemaal) automatisch geregeld; het slaat bijna dagelijks aan en af. In Teteringen wordt het gemaal handmatig bediend; het maalt in de natte periode dagelijks enkele uren. Het gevolg is een zeer fluctuerende waterstand bij beide gemalen. Dit is gesimuleerd door aan- en afslagpeilen op te geven die de bemaling automatisch regelen. Per periode kunnen deze peilen wisselen afhankelijk van de gemeten peilen.
- De weerstand van de leidingen is verkleind vanaf het moment dat in gebieden de waterlopen zijn geschoond (eind 1988, begin 1989);
- De beregening in het model is zoveel mogelijk afgestemd op de beregening zoals die in werkelijkheid heeft plaatsgevon-

den, voor zover dit bekend was (vooral in de eerste drie weken van juni 1988).
Gegeven de randvoorwaarden van dit peilbeheer, was het verloop van het gesimuleerde oppervlaktewaterpeil op verschillende plaatsen, in vergelijking met het verloop van het gemeten peil een maat voor de juistheid van de simulaties.

De belangrijkste parameters die zijn bijgesteld tijdens de calibratie zijn (zie ook 4.3):
- de drainage weerstand;
- de kwelintensiteit door het bijstellen van de verticale weerstand van het afdekkende pakket;
- de toegevoegde berging;
- de weerstand van leidingen en duikers.

Tijdens de calibratie is een vergelijking gemaakt tussen gemeten en berekende waarden van de volgende grootheden:
- het verloop van de grondwaterstand op verschillende lokaties;
- het verloop van het oppervlaktewaterpeil op verschillende lokaties;
- de hoeveelheid ingelaten water.

De hoeveelheid ingelaten water was niet bekend voor De Oostpolder.

Vergelijking tussen berekende en gemeten waarden heeft op twee manieren plaats gevonden:
1 met een fouten-functie;
2 visueel; het gemeten en het berekende verloop zijn grafisch uitgezet en met elkaar vergeleken.

De gebruikte fouten-functie luidt (Olsthoorn, 1982):

$$F = \sqrt{1/n \sum (h_g - h_b)^2} \qquad (9)$$

met:
F = gemiddelde absolute afwijking tussen berekende en gemeten waarden (F-waarde) (m);
h_g = gemeten waarde (m);
h_b = berekende waarde (m);
n = aantal vergelijkingspunten (-).

De weergave van de calibratie-resultaten blijft hier beperkt tot de, gezien het doel van het onderzoek, belangrijkste resultaten. Dit zijn voor wat betreft het grondwater het gemeten en berekende verloop van de grondwaterstand ongeveer midden in de polders van de proefgebieden (fig. 23a t/m c). De daarbij behorende fouten (F-waarden) zijn gegeven in tabel 2 waarin tevens de gemiddelde fout voor elk gebied (gebieds-F-waarde), gebaseerd op alle aanwezige meetpunten, is gegeven. Wat betreft het oppervlaktewater bestaan de gepresenteerde resultaten uit het gemeten en berekende verloop van het oppervlaktewaterpeil bij de inlaat van elk gebied ten tijde van waterinlaat (fig. 24a t/m c) met de bijbehorende F-waarden en de gemiddelde gebieds-F-waarden (tabel 3). In Weimeren en De Oostpolder is het oppervlaktewaterpeil bij de inlaat continu geregistreerd met een peilschrijver; in Teteringen is het peil niet-continu gemeten.

Tabel 2 Resultaten van de berekeningen met de foutenfunctie voor de grondwaterstanden, met n is het aantal vergelijkingspunten (vergelijking 9) en m het aantal meetpunten (voor de ligging van de meetpunten zie aanh. 2).

Gebied	Lokatie	Fout (m)	n (-)	m (-)
Weimeren	meetp. B6	0,06	22	1
Weimeren	gebied	0,07	122	6
De Oostpolder	meetp. B2	0,06	22	1
De Oostpolder	gebied	0,07	148	7
Teteringen	meetp. Sp10	0,10	27	1
Teteringen	meetp. N178	0,07	28	1
Teteringen	gebied	0,15	444	17

Tabel 3 Resultaten van de berekeningen met de foutenfunctie voor de oppervlaktewaterpeilen, met n is het aantal vergelijkingspunten (vergelijking 9) en m het aantal meetpunten (voor de ligging van de inlaatpunten zie aanhangsel 2).

Gebied	Lokatie	Fout (m)	n (-)	m (-)
Weimeren	inlaat	0,05	204	1
Weimeren	gebied	0,06	547	6
De Oostpolder	inlaat	0,03	34	1
De Oostpolder	gebied	0,06	224	6
Teteringen	inlaat	0,03	21	1
Teteringen	gebied	0,16	674	6

Verder zijn in tabel 4 voor Weimeren en Teteringen de gemeten en berekende totale hoeveelheden ingelaten water met elkaar vergeleken.

Tabel 4 Vergelijking van de gemeten en berekende hoeveelheid ingelaten water in 1988 voor Weimeren en Teteringen in m^3.

Gebied	Gemeten	Berekend	Ber./Gem.
Weimeren	71650	69100	0,96
Teteringen	169786	164814	0,97

Het berekende en gemeten verloop van het grondwater en van het oppervlaktewater voor alle meetpunten in de drie proefgebieden en de bijbehorende F-waarden zijn gegeven in aanhangsel 3. De ligging van de meetpunten is aangegeven in aanhangsel 2. Aanhangsel 4 bevat de waterbalansen van de drie proefgebieden voor de inlaatperiode van het calibratiejaar 1988.

De resultaten van de calibratie zijn bevredigend. In het algemeen volgen de modeluitkomsten goed het gemeten verloop van de grondwaterstand en dat van het oppervlaktewaterpeil. De berekende fouten onderstrepen dit beeld: de F-waarden zijn zeer acceptabel. Voor regionale grondwatermodellen wordt een F-waarde van 0,20 tot 0,30 m acceptabel geacht, maar afhankelijk van de doelstelling van de modelsimulaties kan een kleinere waarde gewenst zijn (Querner, mon. med.). Tijdens de calibratie is gebleken dat de gepleegde modelaanpassing, waarbij de stromingsweerstand van de leidingen afhankelijk is gesteld van de stroomsnelheid volgens de relaties van BON (4.3.2), een grote verbetering betekent voor de simulering van

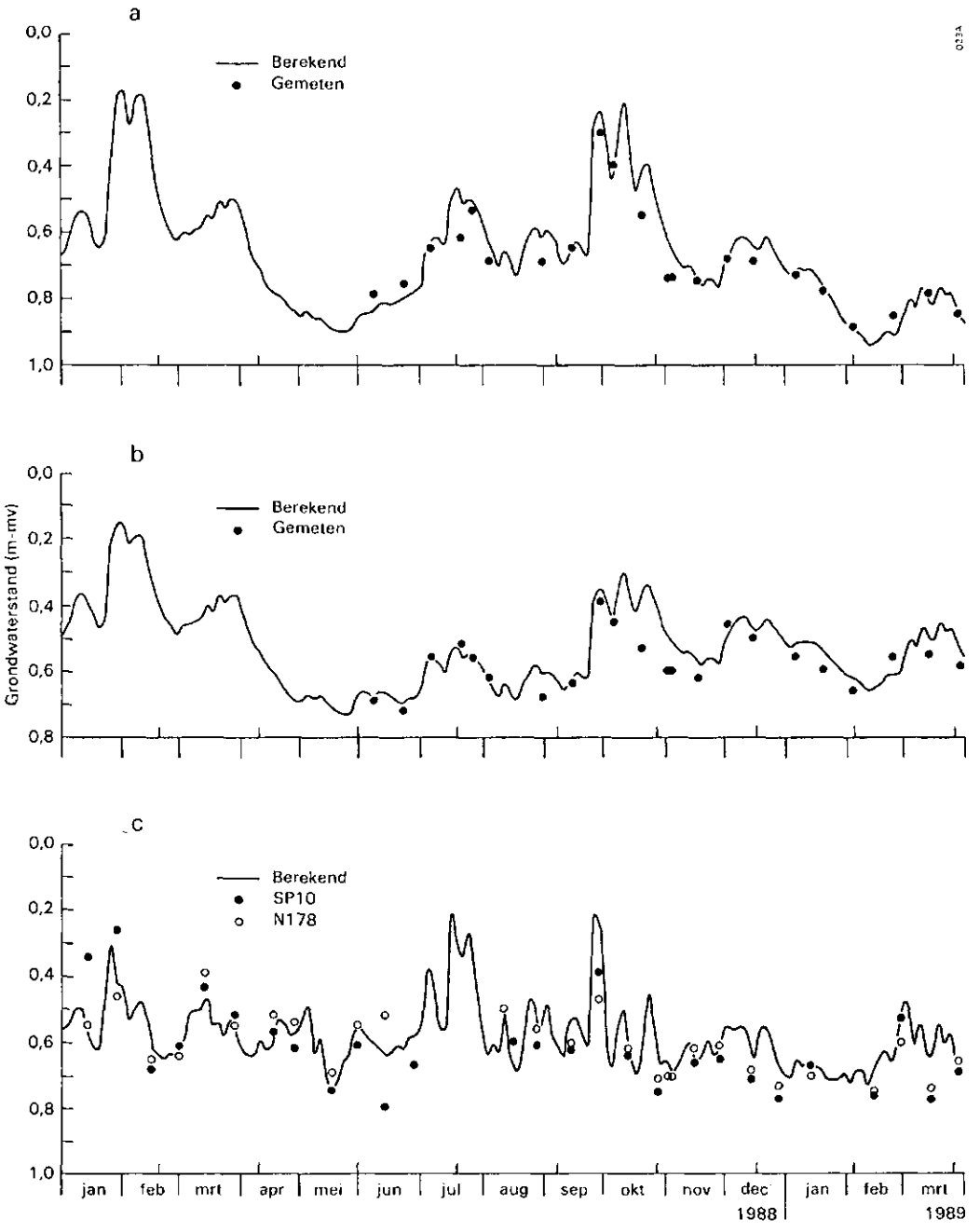


Fig. 23 Het gemeten en berekende verloop van de grondwaterstand in de polders van de proefgebieden. Elk meetpunt is ongeveer in het midden van de betreffende polder gelegen (zie aanh. 2 voor de ligging van de meetpunten).
a = Weimeren, meetpunt B6
b = De Oostpolder, meetpunt B2
c = Teteringen, meetpunten Sp10 en N178

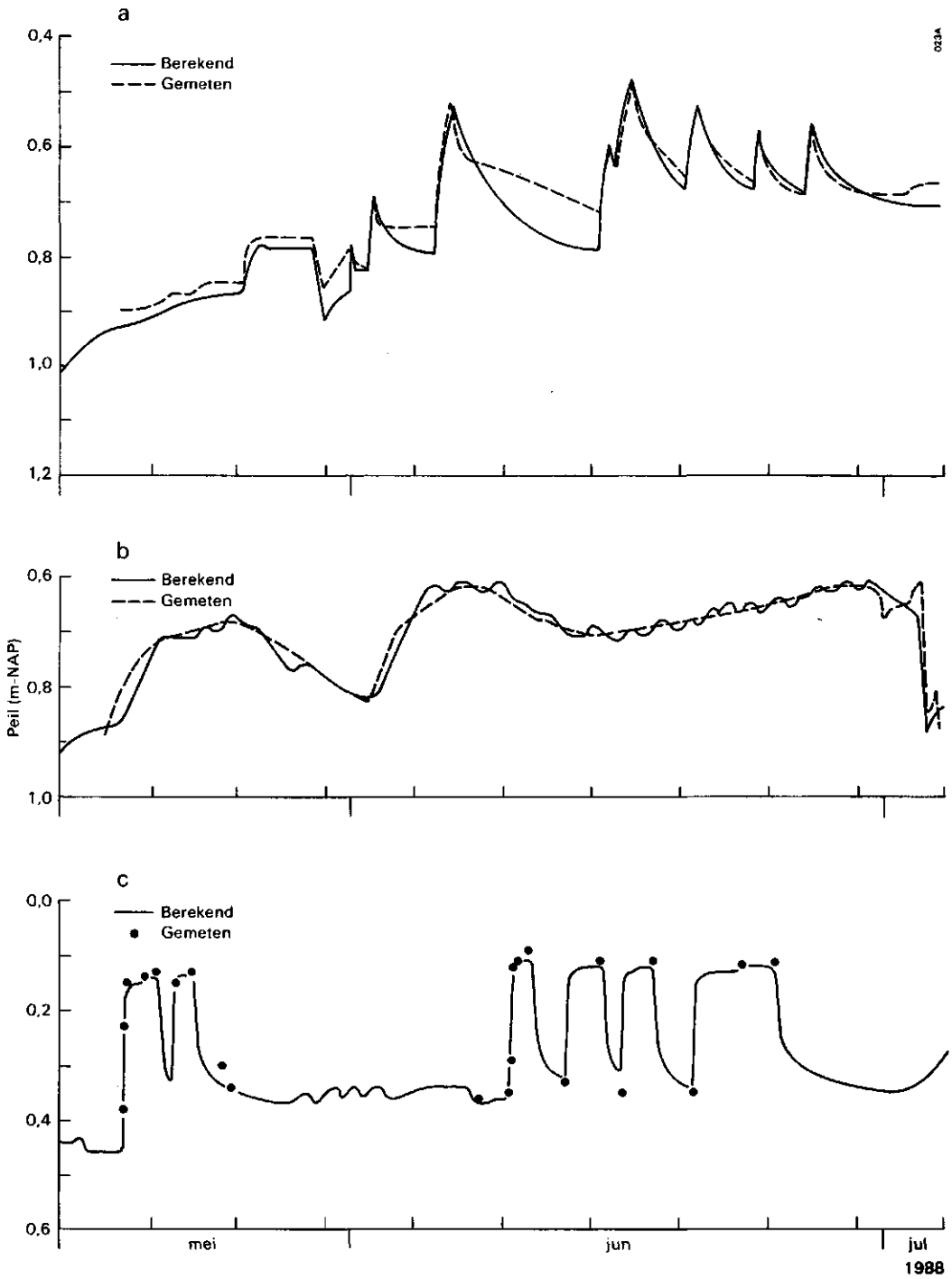


Fig. 24 Het gemeten en berekende verloop van het oppervlaktewaterpeil bij de inlaat van de drie proefgebieden, ten tijde van waterinlaat (zie aanhangsel 2 voor de ligging van de inlaatpunten).
a = Weimeren
b = De Oostpolder
c = Teteringen

het verloop van het oppervlaktewaterpeil. Voor Weimeren en Teteringen is verder van belang dat de gemeten en de berekende hoeveelheid ingelaten water minder dan 5% verschillen.

De berekende F-waarden moeten niet als absoluut worden gezien. Dit illustreert figuur 23c. In deze figuur is het verloop van de grondwaterstand in twee verschillende buizen te zien, die beide in hetzelfde subgebied staan. Een vergelijking van beide buizen leert dat er in de werkelijke situatie grote lokale verschillen in grondwaterstand binnen een subgebied kunnen voorkomen. Het model berekent, uitgaande van uniformiteit binnen het subgebied een gemiddelde subgebiedsgrondwaterstand. In de werkelijkheid is een subgebied niet uniform. Een puntwaarneming kan daarom in feite niet representatief zijn voor de absolute hoogte van de grondwaterstand van een geheel subgebied. Het vergelijken van gemeten en berekende tendensen (de figuren 23 en 24) is om die reden minstens even belangrijk als het berekenen van een gemiddelde absolute afwijking tussen gemeten en berekende waarden (de F-waarden).

Opvallend zijn verder de relatief hoge gemiddelde gebieds-F-waarden van Teteringen. Wat betreft het oppervlaktewater is dit het gevolg van de bemalingsperiode, waarin het peil nabij het gemaal dagelijks tot maximaal 0,70 m kan fluctueren. Het is praktisch onmogelijk voor het model om deze sterke fluctuaties precies te volgen.

De hoge gemiddelde F-waarde voor het grondwater is het gevolg van een specifieke situatie, die zich voordoet in Teteringen en ook De Oostpolder en waarvoor het model SIMPRO niet geschikt is. De grondwaterstand van de hogere zandgronden waar de deklaag of ontbreekt of zeer dun is, was moeilijk te simuleren met het model omdat het freatisch vlak zich hier bevindt in het eerste watervoerende pakket waarin horizontale stroming een belangrijke rol speelt. Het model kan alleen rekenen met een flux aan de onderrand (kwel/wegzijging), niet met horizontale stroming. Daarvoor is een regionaal grondwaterstromingsmodel nodig. In deze subgebieden is aan de hand van het grondwaterstandsverloop in de betreffende buizen door middel van trial and error een onderrand flux opgelegd die staat voor de resultante van alle in- en uitgaande horizontale fluxen, een eventuele kwel/wegzijgingsflux uit het eerste watervoerende pakket en een eventuele grondwateronttrekking voor beregening. In Teteringen gaat het hierbij om 8 van de 17 in de foutenberekening betrokken meetpunten; vandaar het grote effect op de gemiddelde fout. In De Oostpolder is het effect minder omdat het hier slechts 2 van de 7 meetpunten betreft. Het is de vraag of de door de trial and error-procedure verkregen fluxen mogen worden geëxtrapoleerd naar een andere situatie. De gevolgen van deze onzekerheid voor de modelsimulaties zijn echter gering, aangezien het in dit onderzoek vooral om de droge periode ging, wanneer er water wordt ingelaten. In deze periode zakt op de hogere zandgronden het grondwater onder het drainageniveau waardoor er geen aanvoer van oppervlaktewater vanuit de hogere delen naar de lagere delen plaatsvindt. Het is daarom enkel van belang de grondwaterstand onder het niveau van de drainagemiddelen te simuleren, een exacte simulatie is minder belangrijk.

Geconcludeerd kan worden dat in het algemeen de calibratie voor alle drie de proefgebieden goed is verlopen. Dit wil nog niet zeggen dat het model in staat is verschillende situaties op een juiste manier te simuleren. Vooral de kwelintensiteit is een onzekere factor. Het is de vraag of de tijdens de calibratie bepaalde kwel-grondwaterstandrelaties mogen worden geëxtrapoleerd naar een andere situatie, zoals een drogere zomer, waarin het waarschijnlijk is dat vooral aan het eind van de zomer het potentiaal van het eerste watervoerende pakket en daarmee de kwelintensiteit afneemt. Na de calibratie zou het model moeten worden geverifieerd: met het gecalibreerde model zou een andere periode, in dit geval liefst een jaar met een lange droge zomer moeten worden doorgerekend ter verificatie van het model. De berekende resultaten zouden dan weer moeten worden vergeleken met gemeten resultaten. Deze verificatie-stap was binnen dit onderzoek niet mogelijk, aangezien daarvoor een meetreeks over minstens twee hydrologische jaren beschikbaar moet zijn.

5.2 Scenario-berekeningen

Met het gecalibreerde model is voor de drie proefgebieden berekend hoever ingelaten gebiedsvreemd water onder verschillende omstandigheden doordringt in het hoofdwaterlopenstelsel en slotenstelsel van de gebieden. Bij deze berekeningen is verondersteld dat het inlaatwater een fictieve tracer bevat met een concentratie van 100%. De berekende concentratie van deze tracer op een bepaald moment na inlaat en in een bepaald knooppunt of toegevoegde berging staat dan voor het percentage doorgedrongen inlaatwater op dat moment in dat knooppunt of die toegevoegde berging. Hierbij vertegenwoordigt een knooppunt een punt in het hoofdwaterlopenstelsel en een toegevoegde berging het slotenstelsel van een bepaald subgebied (zie ook 4.3.1). Het doordringingspercentage berekend voor de toegevoegde berging is een gemiddelde en geeft geen uitsluitsel over de verdeling van het inlaatwater binnen het slotenstelsel.

In overleg met de Begeleidingscommissie is gekozen voor een aantal door te rekenen scenario's. Uitgangspunt hierbij was het berekenen van de maximale doordringing van ingelaten water op verschillende punten en onder verschillende meteorologische omstandigheden, ongeacht het moment waarop deze maximale doordringing wordt bereikt. Er is besloten voor twee weerjaren simulaties uit te voeren: een jaar met een droge en een jaar met een zeer droge zomer. Per weerjaar zijn drie peilbeheerscenario's doorgerekend, omdat in het model een automatisch peilbeheer wordt verondersteld, uitgaande van een bepaald streefpeil, terwijl in de werkelijke situatie het inlaatbeheer gebeurt naar inzicht van de beheerder. Om een indruk te krijgen van de gevolgen van verschillend peilbeheer zijn deze drie scenario's ingesteld.

Per gebied zijn de volgende scenario's doorgerekend:
- scenario A_1 t/m A_3: zeer droge zomer van 1976 (1%-droge zomer); drie peilbeheerscenario's;
- scenario B_1 t/m B_3: droge zomer van 1982 (10%-droge zomer); drie peilbeheerscenario's.

De drie peilbeheerscenario's waren voor de beide simulatie-jaren 1976 en 1982 dezelfde en staan vermeld in tabel 5.

Tabel 5 Peilbeheer van de drie peilbeheerscenario's gedurende de inlaatperiode.

Gebied	Scenario	Inlaat (m + NAP)		Uitlaat (m + NAP)	
		start	stop	start	stop
Weimeren	1	-0,75	-0,60	-0,50	-0,65
en	2	-0,75	-0,65	-0,50	-0,65
Oostpolder	3	-0,75	-0,55	-0,50	-0,65
Teteringen	1	-0,35	-0,25	-0,15	-0,30
	2	-0,40	-0,25	-0,15	-0,30
	3	-0,35	-0,20	-0,15	-0,30

Hierbij was scenario 1 het uitgangsscenario waarvan is aangenomen dat het het meest reële was, gezien het peilbeheer tijdens de meetperiode. Scenario's 2 en 3 vormden een extreem daaronder respectievelijk daarboven, gebaseerd op tijdens de meetperiode waargenomen extremen. In feite was het doorrekenen van de verschillende peilbeheerscenario's een gevoeligheids-analyse voor het aspect inlaatbeheer. Op grond van informatie van de Waterschappen is besloten dat in de simulaties vanaf begin april zomerpeil wordt ingesteld en dat in de maanden mei t/m augustus waterinlaat plaats kan vinden. Figuur 25 is een voorbeeld van het peilverloop van het oppervlaktewater zoals gesimuleerd in de scenario-berekeningen.

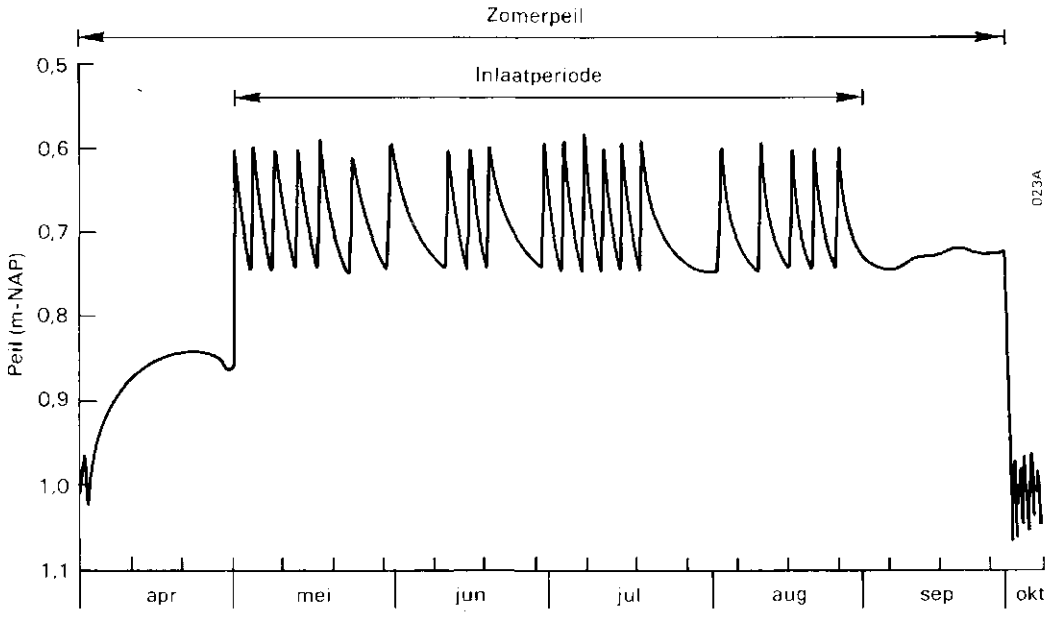


Fig. 25 Verloop van het oppervlaktewaterpeil nabij de inlaat van Weimeren tijdens de simulatie van scenario A_1 (weerjaar 1976, peilbeheerscenario 1).

De resultaten van de scenario-berekeningen voor wat betreft de doordringing van inlaatwater zijn weergegeven in de figuren 26 t/m 28 en aanhangsel 5. In aanhangsel 4 zijn de waterbalansen van de drie proefgebieden voor de inlaatperioden van de verschillende scenario's gegeven.

In de figuren 26 t/m 28 worden voor de drie proefgebieden de berekeningen betreffende de twee weerjaren met elkaar vergeleken. Het peilbeheer hierbij is dat van scenario 1, omdat dit als het meest reële is gezien. In de figuren zijn voor de overzichtelijkheid enkel de resultaten van een aantal relevante knooppunten met toegevoegde berging weergegeven. Om geen informatie verloren te laten gaan is er voor gekozen de resultaten niet in klassen in te delen maar de door het model berekende maximale percentages exact weer te geven. Hierbij moet worden bedacht dat, gezien de beperkingen van het model en de gedane aannamen deze percentages niet absoluut geldend zijn.

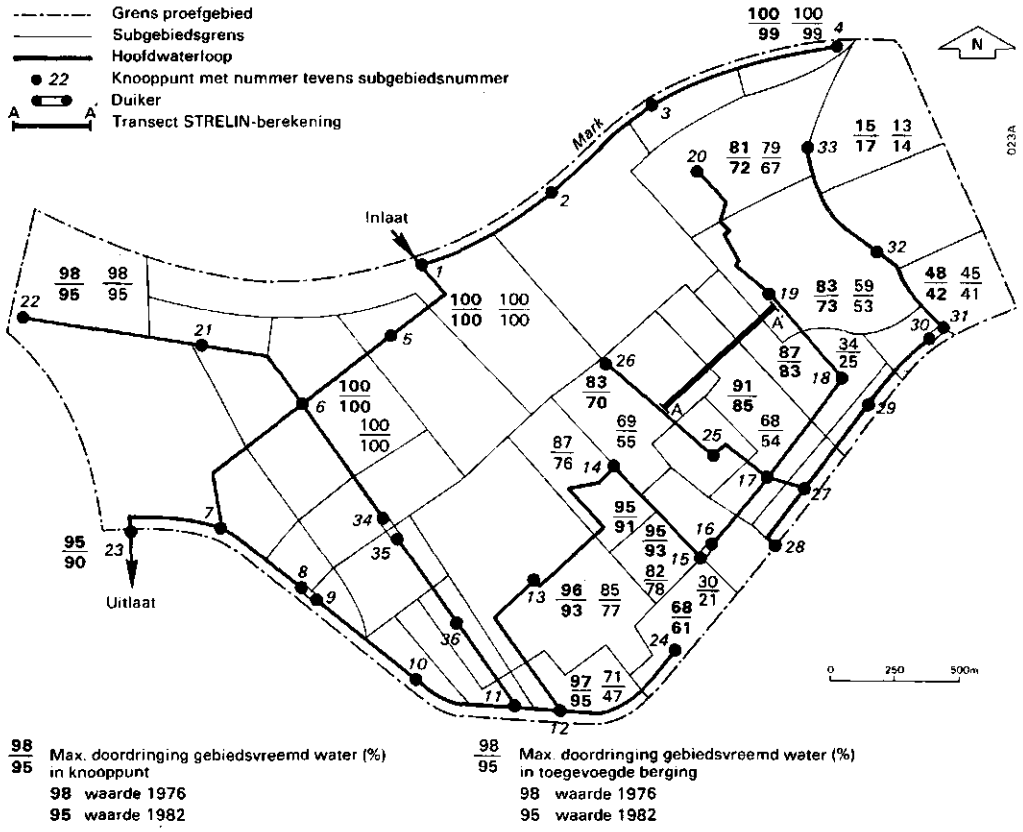


Fig. 26 Gesimuleerde maximale doordringing van het ingelaten water in Weimeren voor de weerjaren 1976 en 1982 en peilbeheerscenario 1.

Van De Oostpolder en Teteringen is slechts een deel van het totale proefgebied in de figuren weergegeven: het inlaatgebied, het deel waar gezien de structuur van het waterlopenstelsel en de topografie het ingelaten water in principe kan doordringen (zie ook 2.3; fig. 11 en 13). Het inlaatgebied van De Oostpolder is circa 227 ha groot; dat van Teteringen circa 468 ha. In Weimeren kan in principe in het gehele gebied (ca. 235 ha) inlaatwater komen. Wanneer in het navolgende wordt gesproken over 'De Oostpolder' en 'Teteringen' dan wordt hiermee steeds het inlaatgebied van deze beide gebieden bedoeld. Voor het natuurterrein 'De Berk' in De Oostpolder, dat strikt genomen niet tot het inlaatgebied van De Oostpolder hoort, maar waar apart water wordt ingelaten, zijn aanvullende globale berekeningen gedaan.

In de figuren 26 t/m 28 en de figuren van aanhangsel 5 is te zien dat het gebiedsvreemde water alleen in de verder van de inlaat gelegen 'dode takken' van de waterlopen en de bijbehorende sloten slechts in lage percentages doordringt; in de rest van elk gebied bestaat op een gegeven moment het aanwezige oppervlaktewater geheel of bijna geheel uit gebiedsvreemd water. In De Oostpolder is de doordringing het minst en in Teteringen het sterkst; in het laatste gebied dringt alleen achter enkele fictieve stuwen (ingesteld t.b.v. modelschematisatie; zie 4.3.1) minder gebiedsvreemd water door. Omdat de situatie rond deze stuwen noodzakelijkerwijs sterk is gesche-

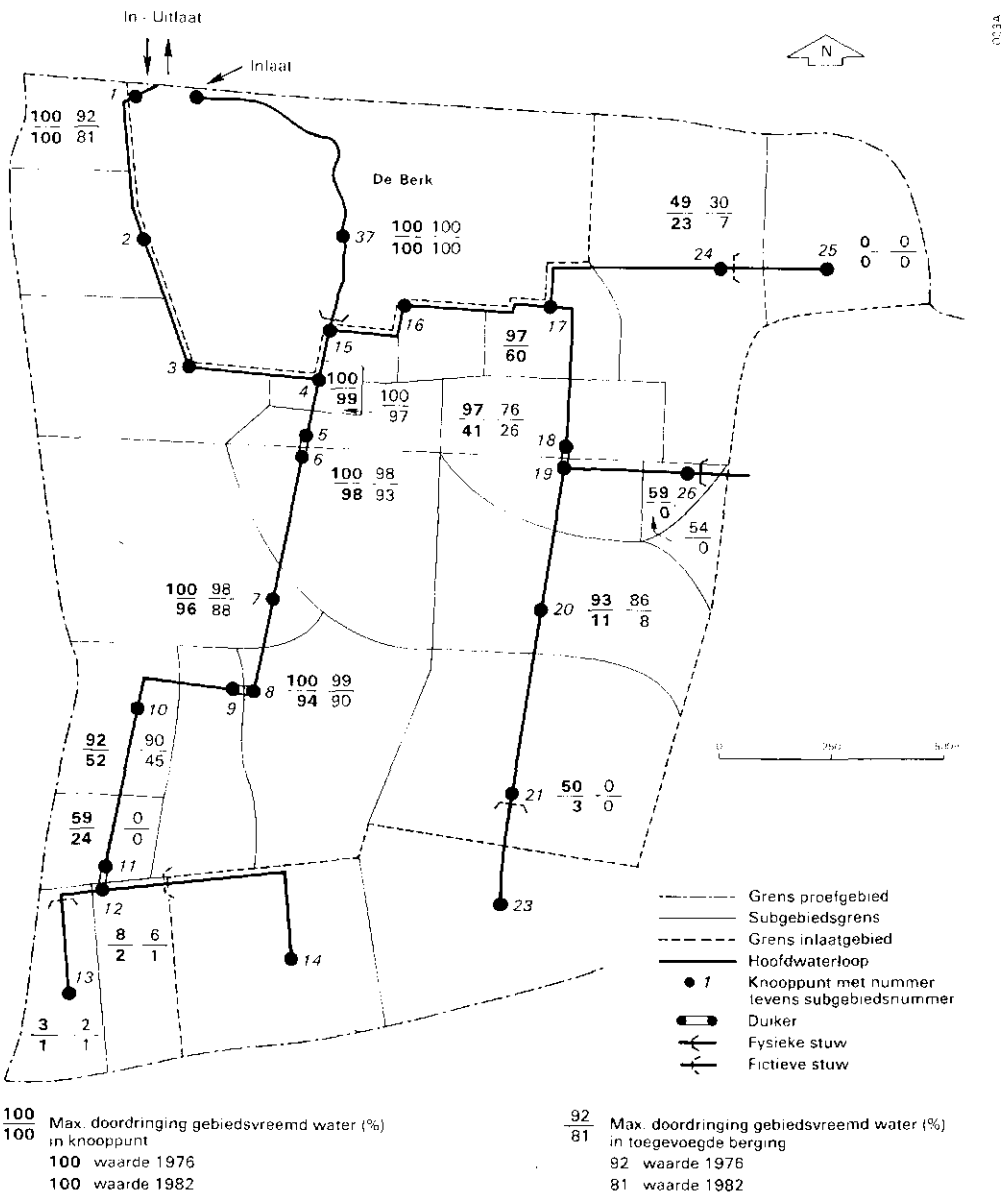


Fig. 27 Gesimuleerde maximale doordringing van het ingelaten water in het inlaatgebied van De Oostpolder voor de weerjaren 1976 en 1982 en peilbeheerscenario 1.

matiseerd, is de absolute betekenis van de berekende percentages in deze leidingen en sloten wellicht van mindere betekenis. Wel is zeker dat in deze hoger gelegen leidingen en sloten de invloed van waterinlaat geringer is dan in de rest van het gebied. Weimeren neemt enigzins een intermediaire positie in, hoewel de situatie hier de situatie van De Oostpolder slechts weinig ontloopt. Deze tendens van de maximale doordringing van inlaatwater is terug te vinden in de gesimuleerde hoeveelheid ingelaten water: Teteringen het meest en De Oostpolder het minst (tabel 6). Hetzelfde geldt voor de verschillende weerjaren en de verschillende peilbeheerscenario's: de grootste waterinlaat wordt berekend in scenario A_3 (weerjaar 1976, peilbeheerscenario 3), waarin tevens de sterkste doordringing van inlaatwater wordt gesimuleerd.

Hoewel het doel van de scenario-berekeningen enkel was het simuleren van de maximale doordringing van inlaatwater wordt

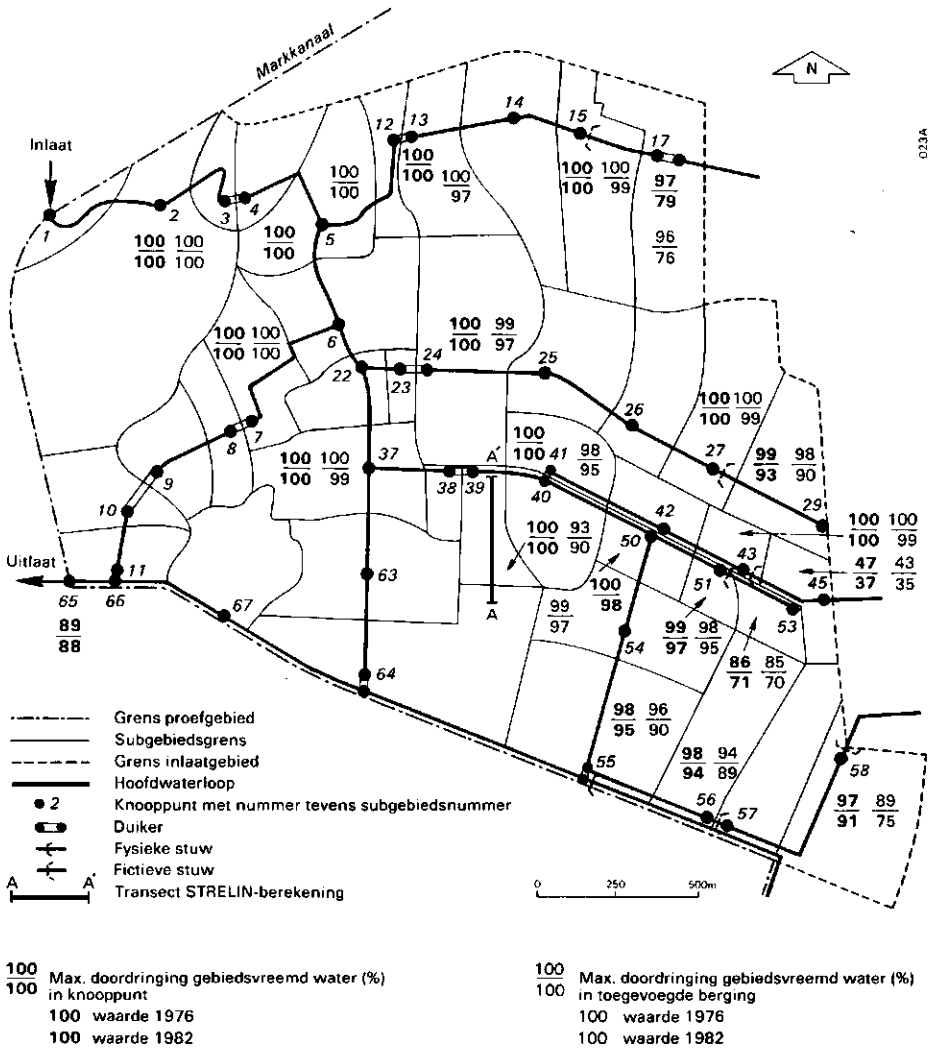


Fig. 28 Gesimuleerde maximale doordringing van het ingelaten water in het inlaatgebied van Teteringen voor de weerjaren 1976 en 1982 en peilbeheerscenario 1.

Tabel 6 Gesimuleerde hoeveelheden ingelaten water voor de drie proefgebieden en de zes scenario's, in mm waterschijf (zie voor de betekenis van de scenario's het begin van deze paragraaf).

Gebied / Scenario:	A_1	A_2	A_3	B_1	B_2	B_3
Weimeren	80	74	117	56	49	70
De Oostpolder	64	54	115	37	26	65
Teteringen	169	163	194	121	105	144

ter illustratie in figuur 29 het verloop van het in scenario A_1 berekende doordringingspercentage in de tijd weergegeven voor enkele punten in Weimeren. Het betreft een knooppunt/subgebied ongeveer in het midden van het gebied (14) en een knooppunt/subgebied aan het einde van een dode tak (33).

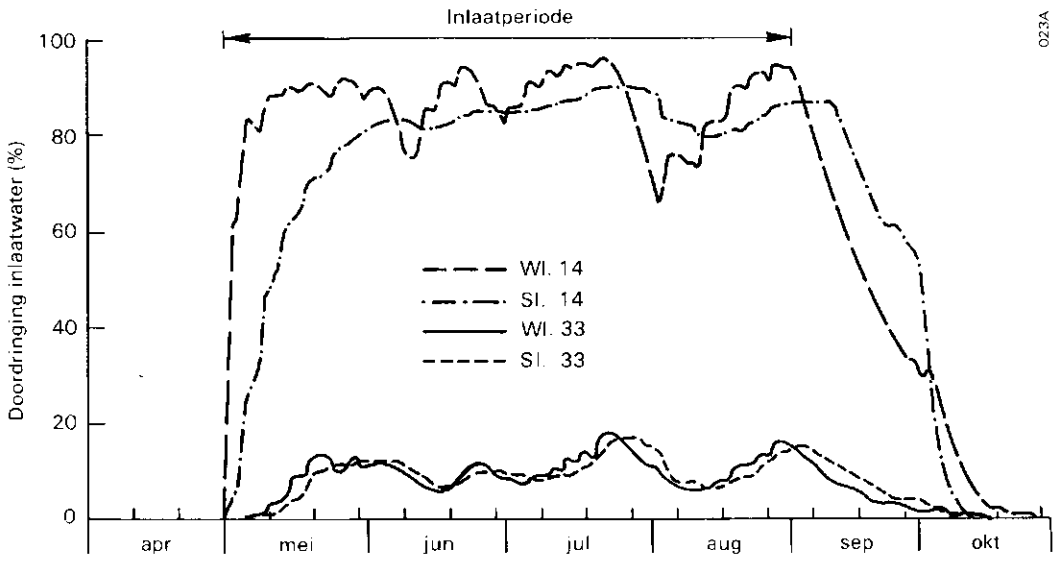


Fig. 29 Het verloop van het doordringingspercentage inlaatwater in Weimeren voor scenario A_1 (1976, peilbeheerscenario 1). Met:
- *Wl. 14 = waterloop, knooppunt 14*
- *Sl. 14 = sloten, subgebied 14*
- *Wl. 33 = waterloop, knooppunt 33*
- *Sl. 33 = sloten, subgebied 33*

In deze figuur is te zien dat in een inlaatperiode meerdere pieken in het percentage doorgedrongen inlaatwater kunnen voorkomen en dat de eerste piek relatief snel wordt bereikt. Verder is te zien dat het doordringingspercentage van de sloten steeds iets achter loopt bij dat van de waterlopen. De oorzaak hiervan is enerzijds dat inlaatwater eerst door de waterlopen wordt getransporteerd voor dat het de sloten bereikt en anderzijds dat de berging van het slotenstelsel veel groter is dan die van het waterlopenstelsel, waardoor het slotenstelsel een groter bufferend vermogen heeft. Dit laatste is ook de reden dat het verloop van het doordringingspercentage in de sloten geleidelijker is dan in de waterlopen.

Uit de waterbalansen van aanhangsel 4 blijkt dat de kwel de op een na belangrijkste ingaande term is in Weimeren en De Oostpolder en de op twee na belangrijkste in Teteringen. De grootte van de kwel bepaalt in belangrijke mate de grootte van de inlaat en daarmee de grootte van de doordringing van ingelaten water (zie ook 5.3). Om na te gaan in hoeverre de in de scenario's gesimuleerde kwelwaarden reëel zijn, is in tabel 7 een vergelijking gemaakt tussen de gemiddelde kwelintensiteiten berekend voor de inlaatperioden van het calibratiejaar 1988 en van de scenariojaren 1976 en 1982.

Tabel 7 Gemiddelde kwelintensiteiten voor de inlaatperioden van het calibratiejaar 1988 (42 dagen inlaat) en van de scenariojaren 1976 en 1982 (123 dagen inlaat), in mm.d^{-1}.

Gebied	Calibratie 1988	Scenario's 1976	Scenario's 1982
Weimeren	1,12	1,08	1,02
De Oostpolder	0,88	0,94	0,87
Teteringen	0,52	0,54	0,48

De gemiddelde kwelintensiteiten voor de scenariojaren zijn berekend als het gemiddelde van de kwelintensiteiten van de drie peilbeheerscenario's, een waarde die in de meeste gevallen gelijk is aan de kwelintensiteit van peilbeheerscenario 1.

In de tabel valt in de eerste plaats op dat de berekende gemiddelde kwelintensiteiten van de zeer droge zomer van 1976 groter zijn dan die van de droge zomer van 1982 en in het algemeen ook groter dan die van het droge voorjaar van 1988. Dit is in de situatie van de proefgebieden niet erg aannemelijk. In een zeer droge zomer als die van 1976 kan vooral aan het einde van de zomer het potentiaal van het eerste watervoerende pakket sterk dalen als gevolg van verminderde voeding van en vergrote grondwateronttrekkingen uit dit pakket. Een daling van het potentiaal van het eerste watervoerende pakket heeft in de proefgebieden, waar de grondwaterstanden minder dalen als gevolg van waterinlaat, een vermindering van de kwelintensiteit tot gevolg. In de modelberekeningen wordt hiermee geen rekening gehouden omdat de kwelintensiteit wordt berekend uit de relaties tussen grondwaterstand en kwelintensiteit zoals bepaald voor het calibratiejaar 1988 (zie 4.3.3). In dit jaar viel de droge periode vooral aan het einde van het voorjaar wanneer het potentiaal van het eerste watervoerende pakket nog relatief hoog is en duurde slechts eenderde van de droge periode in 1976 en 1988. Om deze reden zijn de voor het calibratiejaar bepaalde kwel-grondwaterstandrelaties waarschijnlijk niet representatief voor een lange droge zomer en is waarschijnlijk de kwel in de scenario-berekeningen overschat. Dit geldt vooral voor het einde van weerjaar 1976 en voor de proefgebieden De Oostpolder en Teteringen. De consequenties van deze overschatting worden besproken in paragraaf 5.3. Voor een betere berekening van de kwelintensiteit is een regionaal grondwaterstromingsmodel nodig, waarmee de grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket in afhankelijkheid van onttrekkingen voor drinkwater en beregening eveneens wordt berekend.

5.3 Gevoeligheidsanalyses

Met het gecalibreerde model van het gebied Weimeren zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor de inlaatperiode van 1988. Hierbij is nagegaan wat de gevoeligheid van het model is voor veranderingen in de waarden van een aantal parameters. Van deze parameters werd verwacht dat ze een grote invloed op de modeluitkomsten zouden hebben. Het betrof:
- de tijdstapgrootte van het oppervlaktewatermodel;
- de kwelintensiteit;
- de beregeningsintensiteit;
- de weerstand van leidingen en duikers.

Bij deze gevoeligheidsanalyses is gekeken naar de effecten van de veranderingen op de doordringing van inlaatwater, aangezien dit de voor het onderzoek belangrijkste modeluitkomst was.

De gevoeligheidsanalyses wezen uit dat vooral de grootte van de kwelintensiteit en de mate van beregening een belangrijk effect op de doordringing van inlaatwater kunnen hebben. Voor de tijdstapgrootte en de weerstand van leidingen en duikers gold dat in mindere mate. Enkel vergroting van de tijdstap naar 6 uur en hoger had een wezenlijk effect op de berekende maximale doordringing. Deze tijdstapgrootte is echter niet reëel, omdat hiermee de inlaat van water niet goed kan worden gesimuleerd (zie ook 4.2.1). Verkleining van de tijdstap had tot gevolg dat het moment waarop de maximale doordringing van inlaatwater wordt bereikt, verschoof maar had nauwelijks effect op het maximum zelf. Verandering van de leiding- en duikerweerstand had ook vooral een effect op het moment van maximale doordringing en een minder groot effect op het maximum zelf.

Naar aanleiding van de voor Weimeren uitgevoerde gevoeligheidsanalyse is besloten een gevoeligheidsanalyse uit te voeren voor alle drie de proefgebieden met als uitgangspunt de situatie van het zeer droge jaar 1976. In deze gevoeligheidsanalyse zijn alle bovengenoemde modelparameters meegenomen met uitzondering van de tijdstapgrootte omdat het model daarvoor, binnen redelijke grenzen, niet gevoelig bleek te zijn. De weerstand van leidingen en duikers is alleen voor Weimeren in de analyse betrokken. In dit gebied kwamen relatief kleine en sterk begroeide waterlopen voor met een hoge weerstand en een aantal half verstopte kleine duikers. Verkleining van die weerstand zou van invloed kunnen zijn op de doordringing van gebiedsvreemd water. In de andere twee gebieden waren de waterlopen en duikers relatief groot en schoon. Vergroting van de weerstand van deze waterlopen leek niet reëel en verkleining had nauwelijks effect.

Voor de gevoeligheidsanalyse is het effect gesimuleerd van:
1 een situatie zonder beregening;
2 een situatie met een hogere kwelintensiteit;
3 een situatie met een lagere kwelintensiteit;
4 (enkel voor Weimeren) een situatie waarin alle leidingen en duikers eenzelfde lage weerstand hebben, waarbij de gecalibreerde weerstand van de grotere leidingen en duikers het uitgangspunt vormde.

Situatie 2 en 3 zijn gesimuleerd door in de kwel-grondwaterstandrelaties voor de zomer de waarden van de kwelintensiteit

twee maal zo groot respectievelijk klein te maken. Omdat er een terugkoppeling bestaat tussen grondwaterstand en kwelintensiteit is de absolute verandering van de totale hoeveelheid kwel minder dan twee keer zo groot respectievelijk klein. De gesimuleerde hoeveelheden kwel van situatie 2 en 3 zijn voor de inlaatperiode aangegeven in tabel 8. In deze tabel worden de waarden van een aantal relevante balanstermen voor de situaties 1 t/m 4 vergeleken met de waarden van deze termen voor de uitgangssituatie van scenario A_1.

Tabel 8 De belangrijkste termen van de waterbalansen van de gevoeligheidsanalyses, voor de inlaatperiode (123 dagen), in mm waterschijf (de cijfers tussen haakjes geven de waarden t.o.v. de uitgangssituatie scenario A_1 in %).

Gebied	Situatie	E	B_{op}	I	K	Inlaat
Weimeren	Scen	-375 (100)	33 (100)	49 (100)	131 (100)	80 (100)
	Zber	-366 (98)	0 (0)	52 (106)	136 (104)	53 (67)
	Kwel+	-381 (102)	25 (76)	-10 (-20)	207 (158)	15 (18)
	Kwel-	-316 (84)	37 (113)	92 (188)	73 (56)	130 (162)
	k_M	-375 (100)	34 (103)	50 (102)	131 (100)	85 (106)
De Oostpolder	Scen	-382 (100)	25 (100)	45 (100)	117 (100)	64 (100)
	Zber	-361 (96)	0 (0)	53 (118)	118 (101)	55 (86)
	Kwel+	-384 (101)	23 (92)	27 (60)	145 (124)	46 (58)
	Kwel-	-372 (97)	30 (120)	78 (173)	63 (54)	113 (176)
Teteringen	Scen	-392 (100)	3 (100)	164 (100)	67 (100)	169 (100)
	Zber	-391 (100)	0 (0)	167 (102)	68 (101)	166 (98)
	Kwel+	-394 (101)	2 (66)	110 (67)	129 (193)	112 (66)
	Kwel-	-391 (100)	3 (100)	200 (122)	29 (43)	208 (123)

Codering van de verschillende situaties:
Scen = uitgangssituatie, scenario A_1
Zber = situatie zonder beregening
Kwel+ = situatie met verhoogde kwel
Kwel- = situatie met verlaagde kwel
k_M = situatie met lagere weerstand van leidingen en duikers
Balanstermen:
E = actuele verdamping
B_{op} = beregening uit het oppervlaktewater
I = resultante van infiltratie en drainage
K = kwel
Positieve termen zijn ingaand en negatieve termen uitgaand.

In de figuren 30 t/m 32 zijn voor elk gebied de in de gevoeligheidsanalyses berekende maximale doordringingspercentages uitgezet tegen de afstand vanaf het inlaatpunt. Hierbij zijn per gebied steeds twee takken van het waterlopenstelsel gevolgd, die aan de hand van de betreffende knooppunten zijn terug te vinden in de figuren 26 t/m 28 (par. 5.2). De figuren 30a, 31a en 32a bevatten de berekeningsresultaten voor de knooppunten in de betreffende waterlopen en de figuren 30b, 31b en 32b de resultaten voor de toegevoegde bergingen (= slotenstelsels) behorende bij de aangegeven punten (= subgebieden). In figuur 31b ontbreken de punten 11 en 17, omdat in de betreffende subgebieden geen sloten voorkomen. De in de figuren gebruikte codering is dezelfde als die van tabel 8.

In de figuren is te zien dat niet-beregenen vooral voor Weimeren en in mindere mate De Oostpolder tot gevolg heeft dat ingelaten water minder ver doordringt. Een uitzondering hierop vormt het einde van tak 1 in De Oostpolder. Hier wordt in de uitgangssituatie ook beregend uit het grondwater (tuinbouw); deze beregening is eveneens stop gezet waardoor de inlaatbehoefte in dit deel van het gebied groter is geworden. In Teteringen maakt wel of niet beregenen niet veel uit omdat er

nauwelijks wordt beregend. De oorzaak van de verminderde doordringing van inlaatwater als gevolg van het stoppen van de beregening is dat er minder water wordt ingelaten in een situatie zonder beregening.

Verandering van de kwelintensiteit heeft vooral voor Weimeren en in mindere mate De Oostpolder grote gevolgen voor de doordringing van inlaatwater. Voor Teteringen geldt dit minder. Hier zijn enkel effecten van betekenis waarneembaar in de achter de fictieve stuwen gelegen gebieden.

Bij de interpretatie van de veranderingen in de maximale doordringing dient rekening te worden gehouden met de mate van verandering van de kwelintensiteit (tabel 8). Het grootste effect is te zien voor Weimeren, in de situatie van verhoogde kwel. In deze situatie is de kwelintensiteit extreem hoog; er vindt gemiddeld genomen drainage in plaats van infiltratie plaats en er wordt zeer weinig water ingelaten. Halvering van de kwelintensiteit heeft eveneens de grootste gevolgen voor Weimeren. In deze situatie dringt in het gehele gebied het inlaatwater voor nagenoeg 100% door. Hieruit mag worden geconcludeerd dat Weimeren het meest gevoelig is voor veranderingen in de kwelintensiteit.

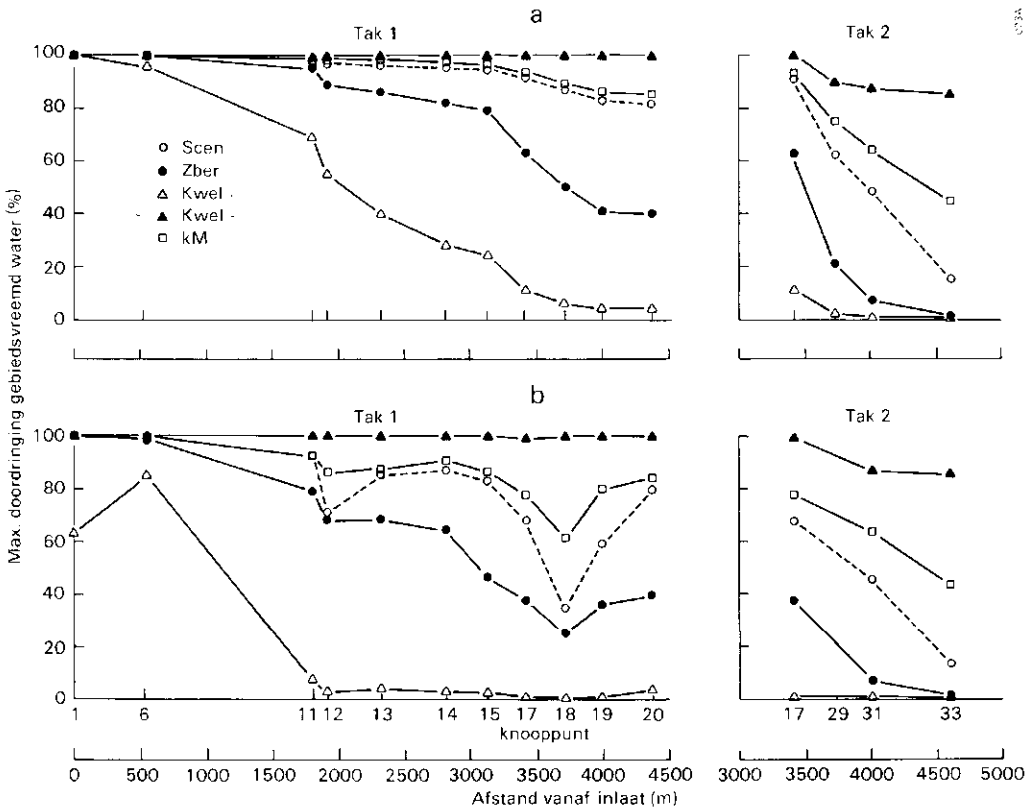


Fig. 30 Resultaten van de gevoeligheidsanalyses voor Weimeren (zie tabel 8 voor de betekenis van de codes).
a = waterlopen (knooppunten)
b = slotenstelsels (toegevoegde bergingen behorende bij de aangegeven knooppunten)

Zoals opgemerkt in paragraaf 5.2 is in de scenario-berekeningen de kwelintensiteit waarschijnlijk overschat. Dit geldt vooral voor de berekeningen betreffende het weerjaar 1976 en de gebieden De Oostpolder en Teteringen. Er van uitgaande dat de berekende kwelintensiteit met minder dan een factor twee is overschat, betekent dit dat de juiste maximale doordringingspercentages zouden liggen tussen die van scenario A_1 en die van de berekeningen met verminderde kwel (fig. 30 t/m 32).

De verwachting is dat in het gebied Weimeren, dat het gevoeligste is voor veranderingen in de kwelintensiteit, de kwelintensiteit het minst is overschat. In beide andere gebieden is de kwelintensiteit sterker overschat; deze gebieden zijn echter minder gevoelig voor verlaging van de kwelintensiteit. De verwachting is dat als gevolg van deze overschatting de voor de dode takken van Weimeren en De Oostpolder berekende doordringingspercentages onderschat zijn met maximaal 25 eenheden (doordringingsprocenten) en die van Teteringen met maximaal 10 eenheden.

Verlaging van de weerstand van de waterlopen en duikers in Weimeren heeft tot gevolg dat het water vooral verder doordringt in het slotenstelsel. De oorzaak hiervan is dat in deze

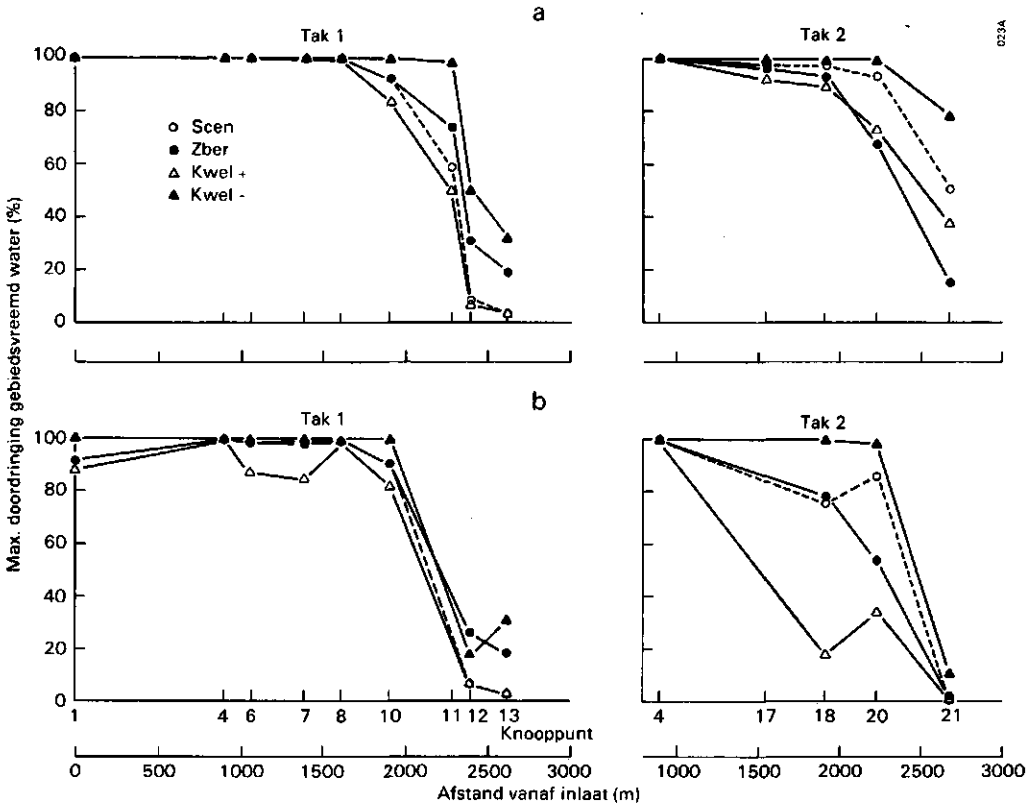


Fig. 31 Resultaten van de gevoeligheidsanalyses voor De Oostpolder (zie tabel 8 voor de betekenis van de codes).
a = waterlopen (knooppunten)
b = slotenstelsels (toegevoegde bergingen behorende bij de aangegeven knooppunten; knooppunten 11 en 17 hebben geen toegevoegde berging)

situatie in vergelijking tot de uitgangssituatie eerder en langer een hoog percentage inlaatwater in de verder van de inlaat gelegen takken van het waterlopenstelsel doordringt, waardoor er langer uitwisseling met het slotenstelsel plaats heeft.

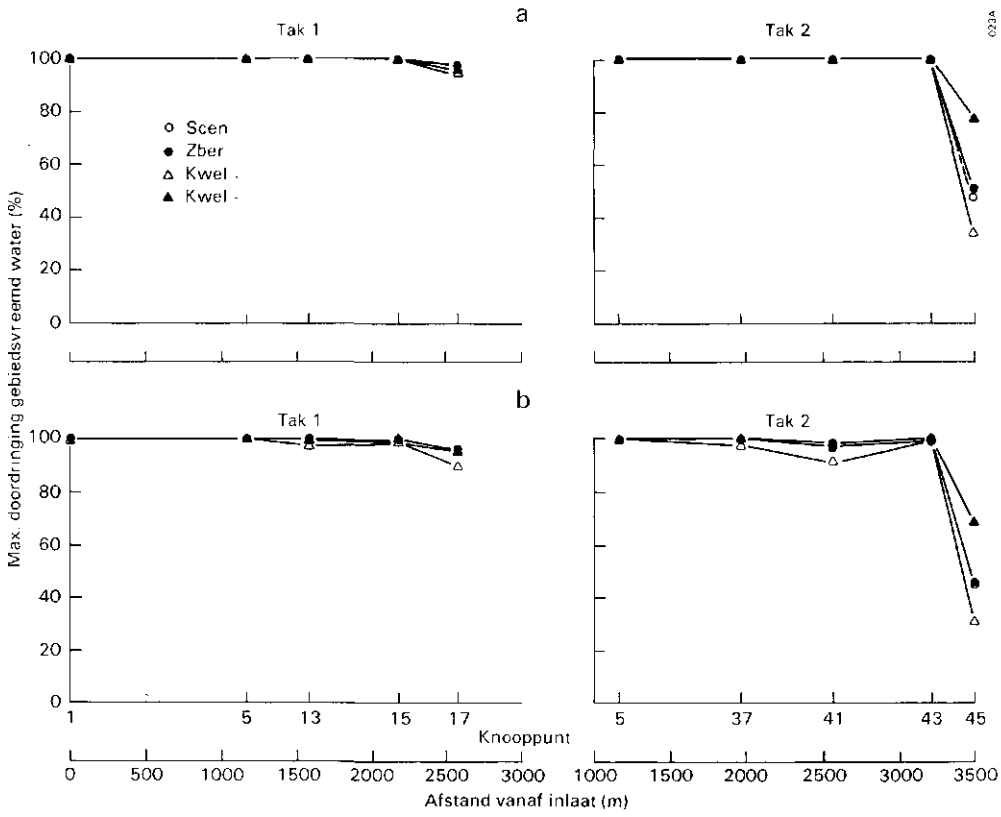


Fig. 32 Resultaten van de gevoeligheidsanalyses voor Teteringen (zie tabel 8 voor de betekenis van de codes)
a = waterlopen (knooppunten)
b = slotenstelsels (toegevoegde bergingen behorende bij de aangegeven knooppunten)

5.4 Berekeningen met STRELIN

Met het model STRELIN is een indruk verkregen van de grondwaterstroming rond waterlopen en sloten. Uit deze berekeningen kan worden afgeleid of en hoever geïnfiltreerd inlaatwater in het bodemprofiel doordringt. Hiertoe zijn berekeningen uitgevoerd voor twee transecten, die beide een extreme situatie vertegenwoordigen:
- een transect in Weimeren als gebied met hoge kwelintensiteit;
- een transect in Teteringen als gebied met lage kwelintensiteit.

Het transect in Weimeren is gelegen tussen twee waterlopen in het laagste deel van het veengebied met Gt II, waar de kwelin-

tensiteit het hoogst is (zie fig. 26). In Teteringen ligt het transect in het poldergebied met Gt II en loopt van de waterscheiding tussen twee waterlopen tot een van deze waterlopen (zie fig. 28). Omdat het slotenpatroon in dit poldergebied nogal grillig is, is besloten de situatie van dit transect enigszins te schematiseren, teneinde een indruk te verkrijgen van de gemiddelde verplaatsing van infiltrerend oppervlaktewater in het bodemprofiel van dit gebied. Voor de slootafstanden en de randfluxen die als invoer dienden voor STRELIN, zijn de gemiddelde waarden van het middendeel van het poldergebied gebruikt, waarin het transect is gelegen. De gemiddelde slootafstand in dit gebied bedraagt circa 50 m.

Voor de transecten zijn in de verticale doorsnede stroomlijnen en reistijden van het grondwater in het afdekkende pakket berekend. In Weimeren bestaat het afdekkende pakket uit veen met aan de onderrand een slecht doorlatende laag kleiig fijn zand. De totale dikte van het pakket bedraagt circa 3,5 m. In Teteringen is het afdekkende pakket ter plekke van het transect circa 1,5 m dik. Hier ligt op het dunne veenpakket een kleidek van circa 0,5 m dik. Het veen wordt aan de onderkant begrensd door een laag lemig zand. Voor de berekeningen is de in tabel 9 gegeven schematisatie toegepast.

Tabel 9 Schematisatie van het profiel langs de transecten voor de STRELIN-berekeningen.

Bodemlaag	Diepte laag		Hydrologische eigenschappen		
	Weimeren (m - mv)	Teteringen (m - mv)	K_h ($m.d^{-1}$)	K_v ($m.d^{-1}$)	Por (-)
Kleidek	-	0 -0,5	0,10	0,010	0,30
Veen	0 -3,0	0,5-1,0	0,10	0,020	0,40
Lemige laag	-	1,0-1,5	0,03	0,004	0,25
Kleiige laag	3,0-3,5	-	0,02	0,003	0,25

K_h = horizontale doorlatendheid
K_v = verticale doorlatendheid
Por = effectieve porositeit

Met STRELIN is voor beide transecten een volledig hydrologisch jaar doorgerekend, waarin zich de volgende situatie voordoet: na een inlaatperiode van 123 dagen (mei t/m augustus), zoals berekend voor het zeer droge jaar 1976, volgt een drainageperiode van 242 dagen (september t/m april). Dit is een extreme situatie waarin tijdens de inlaatperiode in beide gebieden een maximale aanvoer en infiltratie van gebiedsvreemd water plaatsvindt. De daarna volgende drainageperiode is de minimaal voorkomende periode. Volgens informatie van de Waterschappen zal inlaat niet eerder plaatsvinden dan begin mei. Inlaat kan echter wel (veel) later plaatsvinden (bv. in een jaar met een nat voorjaar), waardoor de drainageperiode langer zal zijn dan de minimaal voorkomende periode van 242 dagen. Simulatie van deze extreme situatie geeft enerzijds informatie over de maximale doordringing van infiltrerend gebiedsvreemd water in het bodemprofiel en anderzijds over het minimale waterlichaam dat vervolgens uit het bodemprofiel zal verdwijnen tengevolge van drainage.

De in het model ingevoerde randfluxen zijn afgeleid uit de berekeningen met de grondwatermodule SIMUNS. De fluxen voor de inlaatperiode betreffen de gemiddelden van de fluxen berekend

voor de totale inlaatperiode van 1976 (mei t/m augustus). De fluxen voor de drainageperiode zijn bepaald als de gemiddelden van de drainageperioden 1976-1977 en 1981-1982 (september t/m april).

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de figuren 33 t/m 35. Figuur 33 geeft een beeld van het stroomlijnenpatroon in de beide dwarsdoorsneden tijdens de inlaatperiode van 1976. De pijlen geven de stromingsrichting van het water in het profiel aan. In de figuur is te zien dat in Weimeren de kwelintensiteit dermate hoog is dat het weinige infiltratiewater wordt weggedrukt. In Teteringen stroomt infiltratiewater uit de sloten naar het midden van de percelen. Of dit geïnfiltreerde water ook daadwerkelijk het midden van de percelen bereikt binnen de inlaatperiode is niet af te leiden uit deze figuur. Hierover geeft figuur 35 uitsluitsel.

Figuur 34 en 35 geven het gemiddelde verplaatsingsbeeld van inlaatwater in het bodemprofiel tijdens infiltratie en tijdens drainage, voor een deel van elk transect. Voor Weimeren betreft dit het deel waarin zich de waterloop en een van de sloten met de hoogste infiltratie bevinden en voor Teteringen het deel met de waterloop. Tevens is in deze figuren de weg, die een aantal vanuit de watergangen infiltrerende waterdeeltjes volgt, geschetst. STRELIN berekent stroomlijnen en reistijden in de verzadigde zone. In de figuren is om die reden een grens tussen verzadigde en onverzadigde zone aangegeven in de vorm van een denkbeeldige waterspiegel. De hoogte van deze waterspiegel is gelijk genomen aan het gemiddelde oppervlaktewaterpeil tijdens de inlaatperiode. In het betreffende deel van Weimeren bedraagt dit peil 0,65 m - mv en in het betreffende deel van Teteringen 0,50 m - mv. Voor de drainageperiode is ter referentie dezelfde waterspiegel aangehouden. In de werkelijkheid zal de grondwaterspiegel in het midden van het perceel tijdens de inlaatperiode een zakking en tijdens de drainageperiode een opbolling vertonen. Voor het schetsen van het algemene verplaatsingsbeeld van inlaatwater in de bodem echter, volstaat bovenbeschreven schematisatie.

In de figuren 34a en 35a is de afstand, die door uit de watergangen infiltrerend water langs de stroomlijnen kan worden afgelegd binnen de inlaatperiode van 123 dagen, begrensd. Dit betekent dat al het water dat tijdens de inlaatperiode is geïnfiltreerd zich binnen de omlijnde gebieden bevindt. Te zien is dat in de inlaatperiode het geïnfiltreerde water in Weimeren tot maximaal 3 m uit de kanten van de watergangen in het bodemprofiel kan doordringen. In Teteringen is dit maximaal 11 m voor de sloten en maximaal 14 m voor de grotere waterlopen. Het begin van dit doordringingsfront bestaat niet uit gebiedsvreemd water omdat in eerste instantie gebiedseigen water infiltreert. Het gebiedsvreemde water zal dus minder ver doordringen dan de aangegeven grenzen.
Dit geldt vooral voor Weimeren waar de maximale doordringing van gebiedsvreemd water in het betreffende gebiedsdeel tussen 70 en 85% ligt. In Teteringen dringt in het betreffende gebiedsdeel uiteindelijk 100% gebiedsvreemd water door. In figuur 35a is te zien dat zich in de waterlopen van Teteringen een specifieke situatie voordoet. Deze waterlopen reiken tot in het eerste watervoerende pakket. Vanuit deze waterlopen infiltreert ingelaten water tot in dit watervoerende pakket.

Dit geïnfiltreerde gebiedsvreemde water kan elders als lokale kwel de wortelzone bereiken. Over de grootte van deze infiltratie en de verplaatsing ervan in het eerste watervoerende pakket is binnen dit onderzoek geen informatie verkregen. Hiervoor zijn berekeningen met een regionaal grondwaterstromingsmodel nodig waarin de stroming in het eerste watervoerende pakket is betrokken.

In de figuren 34b en 35b zijn de waterlichamen begrensd die binnen de drainageperiode van 242 dagen naar de watergangen stromen. Hier bevatten de omlijnde gebieden al het water dat binnen de drainageperiode wordt afgevoerd naar de watergangen. In Weimeren strekken deze waterlichamen zich tot maximaal 8 m van de watergangkant uit; in Teteringen bedraagt deze afstand maximaal 20 m voor de sloten en 23 m voor de waterlopen.

Combineren van de figuren 34a en 34b en van de figuren 35a en 35b leert dat voor beide proefgebieden de omgrenzing van het doordringingsfront van infiltratiewater binnen de omgrenzing van het drainerende waterlichaam valt. De betekenis hiervan is dat al het in de inlaatperiode geïnfiltreerde water in de drainageperiode uit het profiel verdwijnt tengevolge van drainage, met uitzondering van het water dat tijdens de infiltratie de wortelzone heeft bereikt en daar is opgenomen door de vegetatie.

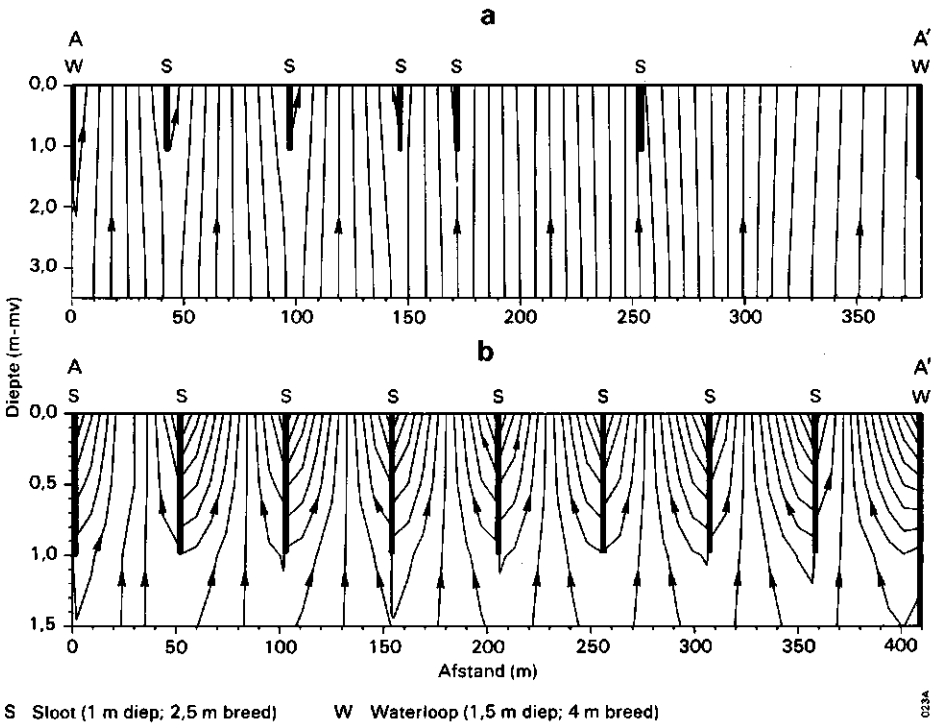


Fig. 33 Stroomlijnenpatroon in de verticale doorsnede van de twee transecten voor de inlaatperiode van 1976.
a = Weimeren (zie fig. 26 voor de ligging van het transect)
b = Teteringen (zie fig. 28 voor de ligging van het transect)

De banen die de geïnfiltreerde waterdeeltjes in de figuren 34c en 35c volgen, onderstrepen dit beeld. In deze figuren is de beweging van enkele waterdeeltjes gevolgd vanaf het moment van infiltreren aan het begin van de inlaatperiode (beginpositie) tot aan het einde van de drainageperiode of het moment van verdwijnen uit de verzadigde zone (eindpositie), waarbij de positie van de deeltjes met intervallen van 30 dagen is aangegeven door middel van punten. Te zien is dat in de sloten van Weimeren nagenoeg al het geïnfiltreerde water de onverzadigde zone bereikt. In de waterlopen van Weimeren geldt dat slechts voor die deeltjes die in de bovenste 0,35 m van het

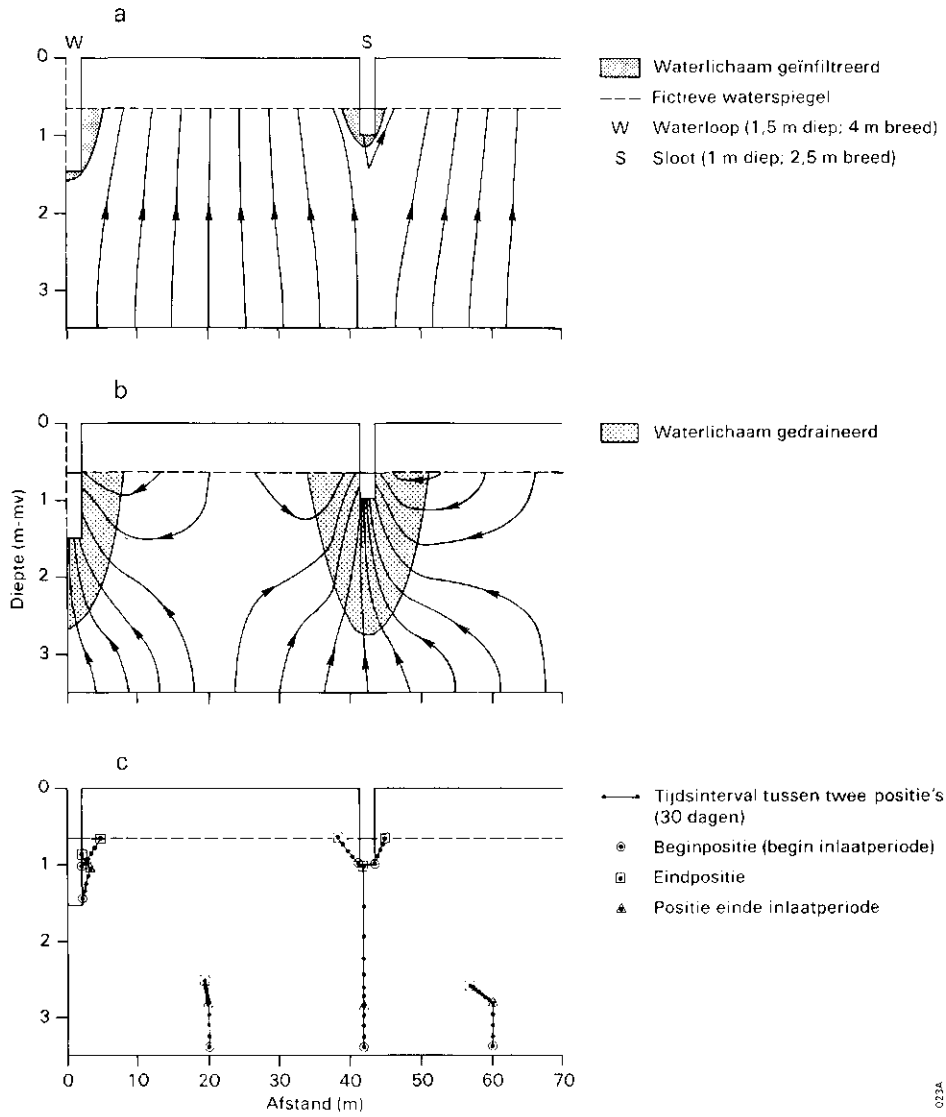


Fig. 34 Gemiddelde verplaatsingsbeeld van inlaatwater in het bodemprofiel van een deel van het transect van Weimeren.
a = inlaatperiode (123 dagen)
b = drainageperiode (242 dagen)
c = verplaatsing van waterdeeltjes gedurende het gehele gesimuleerde jaar
Voor verklaring zie tekst.

natte profiel infiltreren. In Teteringen bereiken de deeltjes die in de bovenste 0,20 m van het natte profiel van de watergangen infiltreren, de onverzadigde zone. De rest van de geïnfiltreerde deeltjes komt tijdens drainage weer in de watergangen terecht. De punten op de onderrand van de doorsneden zijn deeltjes in het kwelwater die in de richting van het maaiveld en de watergangen bewegen.

Uit de berekeningen met het model STRELIN kan worden geconcludeerd dat, zelfs in de situatie van Teteringen waarin de infiltratie relatief hoog is, de directe beïnvloeding van het

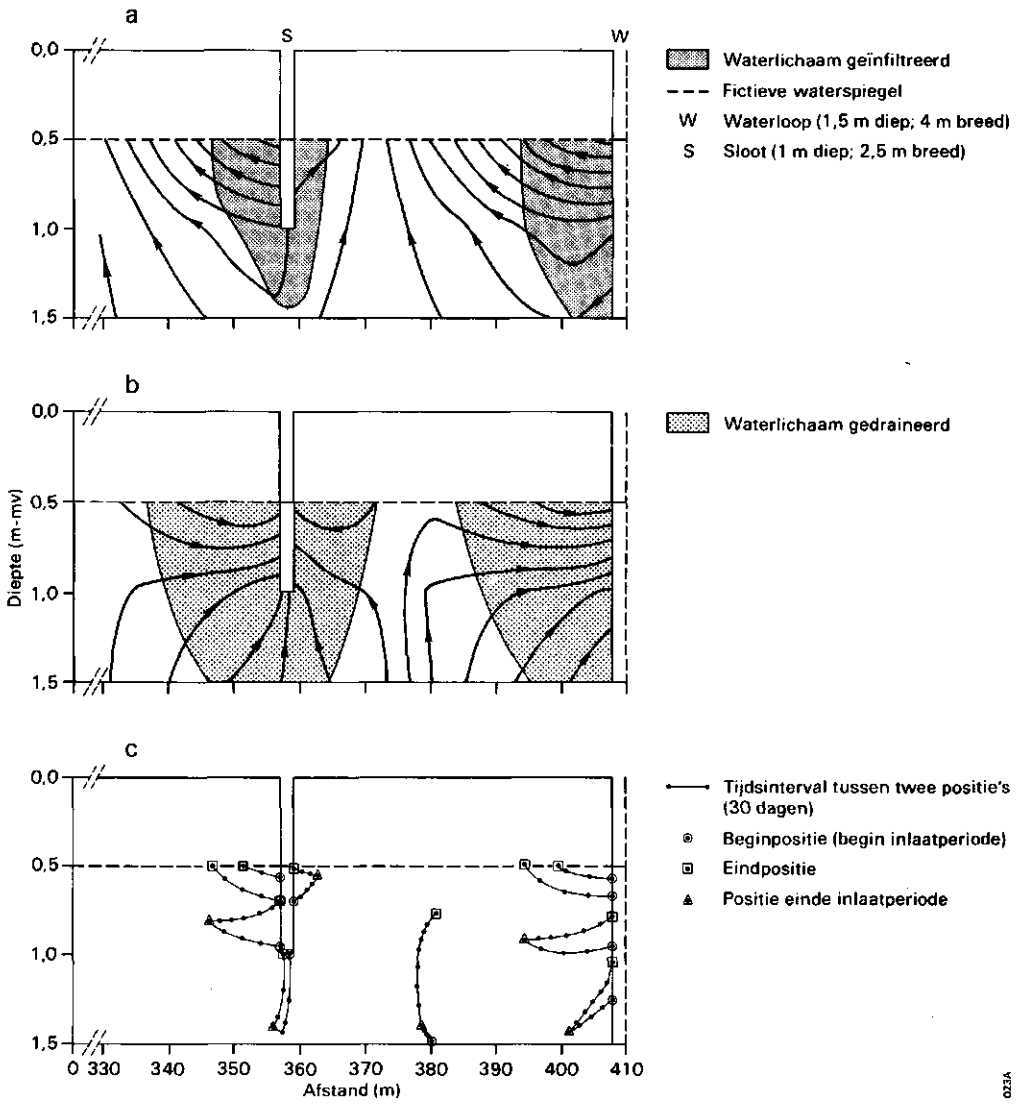


Fig. 35 Gemiddelde verplaatsingsbeeld van inlaatwater in het bodemprofiel van een deel van het transect van Teteringen.
a = inlaatperiode (123 dagen)
b = drainageperiode (242 dagen)
c = verplaatsing van waterdeeltjes gedurende het gehele gesimuleerde jaar
Voor verklaring zie tekst.

gebiedseigen grondwater door geïnfiltreerd inlaatwater gering is en zich uitsluitend beperkt tot een smalle zone langs beide zijden van de watergangen. In de meest extreme situatie (Teteringen) is deze zone in totaal (beide zijden van de watergang) maximaal 17 m voor de sloten en 28 m voor de grotere waterlopen. In alle drie de proefgebieden blijven de centrale delen van de percelen gevrijwaard van beïnvloeding door inlaatwater. Wel kan in Teteringen vanuit de waterlopen tot in het eerste watervoerende pakket geïnfiltreerd water elders in het gebied als lokale kwel de wortelzone bereiken. Over het aandeel van het gebiedsvreemde water in deze kwelcomponent is binnen dit onderzoek geen informatie verkregen.

6 INTERPRETATIE VAN DE GEGEVENS VAN DE OPPERVLAKTEWATERKWALITEIT

Vanuit het ecologische onderzoek was inzicht gewenst in de effecten van waterinlaat op de kwaliteit van het oppervlaktewater in de proefgebieden. Het was daarom van belang een relatie te vinden tussen de mate van doordringing van gebiedsvreemd water tijdens waterinlaat en de resulterende gebiedsoppervlaktewaterkwaliteit.

Het gebruikte oppervlaktewatermodel kan slechts het transport van een conservatieve stof beschrijven en houdt geen rekening met optredende fysische en chemische processen (zie 4.2.1). Een procesmatige beschrijving van de effecten van waterinlaat op de oppervlaktewaterkwaliteit was daarom niet mogelijk. Het was enkel mogelijk op een statistische wijze een verband vast te stellen tussen het percentage doorgedrongen inlaatwater en de bijbehorende waarden van relevante waterkwaliteitsparameters in het gebiedsoppervlaktewater na waterinlaat. Dit verband wordt in het navolgende aangeduid als 'vertaalsleutel'. Met de vertaalsleutels kunnen de berekende doordringingspercentages worden vertaald naar waarden van relevante waterkwaliteitsparameters voor het gebiedsoppervlaktewater.

Uitgangspunt bij het samenstellen van de vertaalsleutels was de aanname dat er menging optreedt van ingelaten water en gebiedseigen oppervlaktewater zonder dat er processen plaatsvinden. Vooral voor stoffen als ammonium, nitraat en fosfaat geldt deze aanname niet omdat deze nutriënten in belangrijke mate door de vegetatie kunnen worden opgenomen, aan de onderwaterbodem kunnen adsorberen en aan biologische processen onderhevig kunnen zijn. Tengevolge van deze processen zal eventueel met het inlaatwater aangevoerd ammonium, nitraat en fosfaat uit het oppervlaktewater verdwijnen. De vertaalsleutels geven daarom de hoogst mogelijke concentraties van deze nutriënten, die tengevolge van menging in een bepaalde verhouding van inlaatwater en gebiedseigen water kunnen ontstaan tijdens de inlaatperiode. Na de inlaatperiode kunnen de in de vegetatie en onderwaterbodem opgeslagen nutriënten eventueel weer vrijkomen. Op deze wijze wordt het gebiedseigen oppervlaktewater indirect beïnvloed door het inlaatwater. Hoe groot deze beïnvloeding is en in welke verhouding ze staat tot de verrijking met nutriënten tengevolge van agrarische activiteiten in het gebied is in dit onderzoek niet onderzocht.

6.1 Gemiddelde oppervlaktewaterkwaliteit

Om na menging van inlaatwater en gebiedseigen oppervlaktewater, in een verhouding die is afgeleid uit het percentage doorgedrongen inlaatwater, de waarden van de waterkwaliteitsparameters in het mengsel te kunnen bepalen, moeten deze waarden voor de beide uitgangswateren bekend zijn. Daartoe zijn voor het inlaatwater en het gebiedseigen oppervlaktewater van alle proefgebieden gemiddelde waarden van de relevante waterkwaliteitsparameters berekend uit de beschikbare analysegegevens betreffende de oppervlaktewaterkwaliteit (zie 3.2).

Om een indruk te krijgen van de spreiding, zijn bij deze gemiddelden 95%-betrouwbaarheidsintervallen berekend (Van der Laan, 1978).

6.1.1 Inlaatwater

Voor het berekenen van de gemiddelden van het inlaatwater is gebruik gemaakt van de analyseresultaten van vijf datums, verspreid over het hydrologische jaar, betreffende één lokatie. Hierdoor is een indruk verkregen van de spreiding in de tijd van de waterkwaliteit van het inlaatwater. De resultaten van deze berekeningen zijn gegeven in tabel 10. Voor Weimeren en De Oostpolder betreft het inlaatwater het Markwater (zelfde bemonsteringslokatie) en voor Teteringen het Markkanaalwater.

Tabel 10 Waterkwaliteitsparametergemiddelden (gm) met bovengrenzen (bg) en ondergrenzen (og) van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het inlaatwater. De berekening van de gemiddelden en de intervalgrenzen van de pH zijn gebaseerd op de waterstofionenconcentraties. (EGV in $mS.m^{-1}$ bij 20 °C; pH bij 20 °C; mM = $mmol.l^{-1}$; µM = $\mu mol.l^{-1}$)

	EGV	pH (-)	K (mM)	Na (mM)	Ca (mM)	Mg (mM)	Fe (µM)	Cl (mM)	SO_4 (mM)	HCO_3 (mM)	NO_3 (µM)	PO_4 (µM)	NH_4 (µM)
M													
gm :	47,2	7,1	0,29	1,12	1,34	0,37	3,0	1,34	0,77	1,43	380,0	20,0	40,0
bg :	49,6	6,9	0,45	1,47	1,41	0,40	8,0	1,69	0,89	2,65	550,0	40,0	60,0
og :	44,8	7,5	0,13	0,77	1,27	0,34	0,0	0,99	0,65	0,21	210,0	0,0	20,0
s :	1,9	-	0,13	0,29	0,06	0,03	4,0	0,29	0,10	1,02	140,0	20,0	20,0
n :	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Mk													
gm :	47,2	7,3	0,36	1,19	1,44	0,34	1,5	1,40	0,61	1,17	450,0	3,2	14,3
bg :	52,9	7,0	0,48	1,48	1,59	0,37	3,0	2,00	0,91	2,02	530,0	8,0	34,0
og :	45,1	7,5	0,23	0,90	1,29	0,31	0,0	0,82	0,31	0,32	370,0	0,0	0,0
s :	3,6	-	0,12	0,27	0,14	0,03	2,2	0,53	0,28	0,78	70,0	4,5	17,8
n :	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

M = Mark
Mk = Markkanaal
s = standaardafwijking
n = aantal waarden

In deze tabel is te zien dat de spreiding in de tijd van de concentratie van de 'major ions' (H, K, Na, Ca, Mg, Cl, SO_4 en HCO_3) en NO_3 in het inlaatwater niet erg groot is. Dit is wel het geval voor de concentratie van de overige ionen (Fe, PO_4 en NH_4). Deze concentraties zijn echter zeer laag. De 'major ions' worden zo aangeduid omdat ze een belangrijke bijdrage leveren aan de ionenbalans van natuurlijke wateren (Souer, 1988).

6.1.2 Gebiedseigen oppervlaktewater

Bij het berekenen van de gemiddelde gebiedseigen oppervlaktewaterkwaliteit is uitgegaan van de analyseresultaten van het voorjaarswater, omdat het gebiedseigen water van het voorjaar tijdens waterinlaat zal worden gemengd met het inlaatwater. Hiervoor stonden de analyseresultaten van twee datums ter beschikking (voorjaar 1988 en 1989), betreffende maximaal 9 lokaties per gebied. Omdat van De Oostpolder geen analyseresultaten van het voorjaar 1988 beschikbaar waren, zijn hier de analyses van oktober 1988 en voorjaar 1989 gebruikt. Om na te

gaan of de verschillende lokaties eenzelfde gebiedseigen waterkwaliteit vertegenwoordigden, is voor elk gebied per datum de similariteit of verwantschap (mate van overeenkomst) tussen de watermonsters van de diverse lokaties onderling berekend als een produkt-moment-correlatiecoëfficiënt (Souer, 1988):

$$r(x,y) = \frac{n\,\Sigma xy - \Sigma x\,\Sigma y}{\sqrt{(n\,\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2)\;(n\,\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2)}} \qquad (10)$$

Met:
r(x,y) = similariteitscoëfficiënt van de betreffende watermonsters;
x = parameterwaarden van het eerste watermonster;
y = parameterwaarden van het tweede watermonster;
n = aantal parameters.

Bij maximale similariteit, als de waarden van de beschouwde parameters nagenoeg gelijk zijn voor de twee vergeleken watermonsters, bedraagt r(x,y) 1 en bij volledige afwezigheid van similariteit 0.

Bij de berekening van de similariteitscoëfficiënten zijn de volgende parameters in beschouwing genomen:
- de concentraties van de 'major ions' H, Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4 in $mmol.l^{-1}$;
- $\frac{(EGV)^2}{1000}$ met EGV in $mS.m^{-1}$ (bij 20 °C).

Uit de similariteitsberekeningen bleek dat voor alle drie de gebieden de similariteit tussen de verschillende lokaties onderling in de meeste gevallen groter of gelijk aan 0,95 was en in bijna alle gevallen groter of gelijk aan 0,90. Uitzonderingen hierop vormden een lokatie in Weimeren (W9, zie aanhangsel 2) en een lokatie in Teteringen (T10, zie aanhangsel 2), waarvan de similariteit met de overige lokaties slechts 0,60 tot 0,85 bedroeg. Er is daarom uit deze berekeningen geconcludeerd dat de meeste lokaties van elk gebied representatief zijn voor een gemiddelde gebiedseigen oppervlaktewaterkwaliteit en dus kunnen worden betrokken in de berekening van deze gemiddelde gebiedseigen waterkwaliteit. Toch zijn er duidelijke lokale verschillen die tot uitdrukking komen in de berekende spreiding.

De afwijkende lokatie W9, in een kleinere sloot in het 'brakke kwelgebied' in Weimeren, zou representatief kunnen zijn voor het slotenstelsel van dit gebied (niet voor het waterlopenstelsel). De begrenzing van dit 'brakke kwelgebied' is tot stand gekomen aan de hand van resultaten van een uitgebreide EGV-meting in het gehele gebied in april 1988. Het 'brakke kwelgebied' wordt gekenmerkt door een EGV van circa 150 $mS.m^{-1}$ (bij 20 °C) of hoger (max. gevonden waarde 450) in de sloten (niet in de waterlopen) (zie ook aanhangsel 9). Lokatie T10 in een noordelijke waterloop van Teteringen is representatief voor de situatie ter plekke. Deze beide afwijkende situaties zijn apart beschouwd bij het berekenen van de gemiddelde gebiedseigen waterkwaliteit.

De resultaten van de berekeningen van de gemiddelde gebiedseigen oppervlaktewaterkwaliteiten zijn gegeven in tabel 11.

Tabel 11 Waterkwaliteitsparametergemiddelden (gm) met bovengrenzen (bg) en ondergrenzen (og) van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het gebiedseigen oppervlaktewater. De berekening van de gemiddelden en de intervalgrenzen van de pH zijn gebaseerd op de waterstofionenconcentraties.
(EGV in $mS.m^{-1}$ bij 20 °C; pH bij 20 °C; mM = $mmol.l^{-1}$; µM = $\mu mol.l^{-1}$)

	EGV	pH (-)	K (mM)	Na (mM)	Ca (mM)	Mg (mM)	Fe (µM)	Cl (mM)	SO_4 (mM)	HCO_3 (mM)	NO_3 (µM)	PO_4 (µM)	NH_4 (µM)
Wei													
gm:	108,7	7,3	0,25	4,63	2,50	1,38	10,0	4,06	1,92	4,24	<161,3*	30,0*	140,0
bg:	121,0	7,2	0,32	5,65	3,11	1,56	17,0	4,93	2,21	5,53	-	300,0	480,0
og:	96,4	7,5	0,18	3,61	1,89	1,19	3,0	3,19	1,63	2,95	-	0,0	0,0
s :	21,5	-	0,13	1,79	1,07	0,32	11,0	1,53	0,51	2,26	-	690,0	340,0
n :	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	7	15
W9													
gm:	293,0	7,3	0,82	4,78	3,40	4,55	44,0	13,16	1,14	3,09	0,0	180,0	400,0
bg:	449,0	7,2	1,39	8,91	5,21	7,80	87,0	18,93	-	3,63	-	-	640,0
og:	137,0	7,4	0,25	0,65	1,56	1,28	1,0	7,42	-	2,55	-	-	160,0
s :	131,0	-	0,48	3,44	1,51	2,71	35,8	4,8	-	0,45	-	-	200,0
n :	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2
Oos													
gm:	67,8	6,9	0,32	0,87	2,52	0,60	4,1	1,26	1,54	1,73	419,0*	-	19,3*
bg:	73,6	6,8	0,38	1,03	2,84	0,64	6,0	1,55	1,69	2,18	458,0	-	23,0
og:	62,0	7,1	0,25	0,70	2,19	0,56	2,0	0,97	1,39	1,28	380,0	-	16,0
s :	11,7	-	0,13	0,26	0,66	0,08	3,9	0,30	0,31	0,90	232,0	-	21,4
n :	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tet													
gm:	59,4	6,4	0,46	0,94	1,94	0,60	2,9	1,18	1,76	0,60	164,5*	4,0*	41,4*
bg:	62,3	6,1	0,55	1,06	2,11	0,65	5,0	1,27	1,86	0,84	196,0	5,0	47,0
og:	56,5	7,2	0,37	0,82	1,77	0,55	1,0	1,09	1,66	0,36	134,0	3,0	36,0
s :	6,4	-	0,19	0,27	0,38	0,10	5,0	0,19	0,21	0,53	198,0	2,0	35,7
n :	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	7	16
T10													
* :	79,3	4,4	1,18	0,78	1,51	0,69	2,7	1,32	1,04	0,20	1453,0	87,1	30,0
bg:	94,0	4,0	1,28	1,38	1,97	0,79	9,0	2,09	1,34	0,53	2703,0	174,0	83,0
og:	64,6	6,0	1,09	0,18	1,05	0,59	0,0	0,55	0,74	0,00	203,0	0,0	17,0
s :	13,5	-	0,08	0,55	0,42	0,09	6,1	0,71	0,28	0,30	1148,0	87,1	30,0
n :	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

* : mediaan i.p.v. gemiddelde, vanwege grote uitschieters

Wei = Weimeren
W9 = Weimeren, lokatie W9
Oos = De Oostpolder
Tet = Teteringen
T10 = Teteringen, lokatie T10
s = standaardafwijking
n = aantal waarden

De weergegeven betrouwbaarheidsintervallen vormen een maat voor de spreiding in zowel de tijd als de ruimte. Deze spreiding is groter dan die van de inlaatwaterkwaliteit, voornamelijk tengevolge van de ruimtelijke verschillen in de gebiedseigen waterkwaliteit. Ook hier geldt dat de spreiding van de concentratie van de 'major ions' in het algemeen kleiner is dan die van de overige ionen. Opvallend is de hoge spreiding van de concentratie van de nutriënten NH_4, NO_3 en PO_4. Dit kan het gevolg zijn van plaatselijk verschillende bemestingsgiften.

6.1.3 Gemiddeld effect van waterinlaat

Door de gegevens van tabel 10 te combineren met die van tabel 11 wordt het gemiddelde effect van waterinlaat op de oppervlaktewaterkwaliteit van de drie proefgebieden verkregen in de

vorm van een verandering van de waarden van de beschouwde waterkwaliteitsparameters (tabel 12).

Tabel 12 Verandering van de waarden van de waterkwaliteitsparameters in het gebiedsoppervlaktewater als gevolg van waterinlaat. (- = afname, + = toename, 0 = geen verandering)

Gebied	EGV	pH	K	Na	Ca	Mg	Fe	Cl	SO_4	HCO_3	NO_3	PO_4	NH_4
Wei	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
Oos	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+
Tet	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	0	-
T10	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-

Wei = Weimeren
W9 = Weimeren, lokatie W9
Oos = Oostpolder
Tet = Teteringen
T10 = Teteringen, lokatie T10

De algemene tendens in alle drie de proefgebieden is dat waterinlaat afname van de waarden van de meeste parameters tot gevolg heeft. In het algemeen betekent inlaat van Mark(kanaal)water in de drie proefgebieden verlaging van de concentraties van de meeste stoffen. Dit geldt vooral voor SO_4 en in mindere mate voor Ca en Mg. Uitzonderingen hierop vormen vooral de nutriënten NO_3 en PO_4. In De Oostpolder en Teteringen neemt tengevolge van waterinlaat het Na- en Cl-gehalte toe. Deze toenamen zijn echter gering; het EGV neemt in deze gebieden af. De afname van de Na-, Mg- en Cl-gehalten in Weimeren is daarentegen aanzienlijk, wat een verzoeting van dit gebied tot gevolg heeft.

Ter ondersteuning van bovengeschetst beeld is voor het gebiedseigen oppervlaktewater de similariteit met het inlaatwater berekend. Tevens is de similariteit met het gebiedsgrondwater van het eerste watervoerende pakket, vanwaaruit de kwel afkomstig is, en met een aantal referentiewateren bepaald. De similariteit is berekend volgens vergelijking (10) en met meeneming van de in paragraaf 6.1.2 vermelde acht parameters. De resultaten zijn gegeven in tabel 13.

Tabel 13 Similariteitscoëfficiënten r voor inlaatwater, gebiedseigen oppervlakte water en grondwater.

	Wei	W9	W_{gr}	Oos	O_{gr}	Tet	T10	T_{gr}	M	Mk
Inlaat	0,78	0,49	0,50	0,95	0,95	0,87	0,73	0,88	-	-
Grondw	0,92	0,97	-	0,97	-	0,99	0,78	-	-	-
Rijn	0,95	0,86	0,93	0,65	0,70	0,56	0,83	0,61	0,73	0,74
Litho	0,66	0,53	0,47	0,89	0,96	0,76	0,75	0,78	0,85	0,89

Wei = gemiddelde gebiedseigen oppervlaktewater van Weimeren (tabel 11)
W9 = als Wei maar voor Weimeren lokatie W9
Oos = als Wei maar voor De Oostpolder
Tet = als Wei maar voor Teteringen
T10 = als Wei maar voor Teteringen lokatie T10
W_{gr} = gemiddelde grondwater van het eerste watervoerende pakket van Weimeren (aanhangsel 9)
O_{gr} = als W_{gr} maar voor De Oostpolder
T_{gr} = als W_{gr} maar voor Teteringen
M = gemiddelde Markwater (tabel 10)
Mk = gemiddelde Markkanaalwater (tabel 10)
Inlaat= inlaatwater voor betreffende gebied (M of Mk)
Grondw= grondwater van het betreffende gebied (W_{gr}, O_{gr} of T_{gr})
Rijn = Rijnwater, representatie van rivierwater; de gemiddelde samenstelling van de maandelijkse analyses van 1975 uit de Rijn te Lobith (Souer, 1988)
Litho = lithogeen water, representatie van grondwater; monster uit het meetpunt 272 te Angeren van het Landelijke Meetnet Grondwaterkwaliteit (RIVM) op 24 meter beneden maaiveld, 8 december 1980 (Souer, 1988)

Toetsing van de significantie van de berekende similariteiten bij een eenzijdige overschrijdingskans van 5% en bij n = 8 (aantal parameters) geeft een grenswaarde voor r van 0,62 en bij een eenzijdige overschrijdingskans van 1% een grenswaarde voor r van 0,79 (Wijvekate, 1966). Bij een hogere similariteit dan de grenswaarde is er sprake van een significante overeenkomst tussen de twee beschouwde kwaliteiten.

Uit tabel 13 valt het volgende te lezen:

- Weimeren
  Het gemiddelde gebiedseigen oppervlaktewater vertoont een lage similariteit met het inlaatwater. Voor het 'brakke kwelgebied' is deze similariteit niet significant. De betekenis hiervan is dat waterinlaat een duidelijk effect op de oppervlaktewaterkwaliteit van het gebied zal hebben. De verwantschap (similariteit) tussen gebiedsoppervlaktewater en -grondwater is daarentegen hoog. Het oppervlakte- en grondwater zijn veel sterker verwant aan Rijnwater dan aan lithogeen water. Dit is gedeeltelijk het gevolg van de hoge Na- en Cl-gehalten in het gebied, die meer overeenkomen met de gehalten van Rijnwater dan met die van lithogeen water. Anderzijds wijst dit op een antropogene beïnvloeding van het grondwater van het eerste watervoerende pakket. Het Markwater vertoont een zekere similariteit met lithogeen water, die groter is dan de similariteit met Rijnwater. Inlaat van dit water zal een verschuiving van de oppervlaktewaterkwaliteit in de richting van lithogeen water geven. Deze verschuiving zal vooral verzoeting inhouden. Of dit gewenst is, wordt besproken in de rapportage van het ecologische onderzoek (Fahner, 1989).
- De Oostpolder
  Het gebiedseigen oppervlaktewater van De Oostpolder vertoont een hoge similariteit met zowel het inlaatwater als het gebiedsgrondwater. Het grondwater is sterk verwant aan het inlaatwater en aan lithogeen water. Inlaat uit de Mark zal in dit gebied een gering effect hebben op de oppervlaktewaterkwaliteit. Het grondwater lijkt in De Oostpolder in geringere mate antropogeen te zijn beïnvloed dan in Weimeren.
- Teteringen
  In Teteringen is de similariteit tussen gebiedseigen oppervlaktewater en inlaatwater niet erg groot. Waterinlaat zal hier een zeker effect hebben op de oppervlaktewaterkwaliteit. Aangezien het gebiedseigen oppervlaktewater een geringere similariteit met lithogeen water vertoont dan het Markkanaalwater, zal inlaat van Markkanaalwater een verschuiving van de oppervlaktewaterkwaliteit in de richting van lithogeen water betekenen. De ecologische gevolgen hiervan worden besproken in de rapportage van het ecologische onderzoek (Fahner, 1989). Vanwege de geringe verwantschap tussen het gebiedsgrondwater en lithogeen water mag worden verondersteld dat het grondwater in Teteringen in zekere mate antropogeen is beïnvloed.

Een diepgaandere, bij het doel van het ecologische onderzoek aansluitende analyse van de in tabel 12 geschetste veranderingen, o.a. op basis van verschuivingen in watertypen (typologie volgens Stuyfzand), is gegeven in de rapportage van het ecologische onderzoek (Fahner, 1989).

6.2 De vertaalsleutels

Met de vertaalsleutels kan een berekend percentage doorgedrongen inlaatwater worden vertaald naar een resulterende oppervlaktewaterkwaliteit. Zoals aangegeven in het begin van dit hoofdstuk vormde het uitgangspunt bij het samenstellen van de vertaalsleutels de aanname dat er menging optreedt van ingelaten water en gebiedseigen oppervlaktewater zonder dat er processen plaatsvinden. De vertaalsleutels zijn dan ook verkregen door inlaatwater en gebiedseigen water te mengen in de verhouding die volgt uit een bepaald doordringingspercentage.

In overleg met de onderzoekers van het ecologische onderzoek is besloten in de vertaalsleutels de reeks van 0 tot 100% doorgedrongen inlaatwater onder te verdelen in vijf 'doordringingsklassen', met ieder een klassebreedte van 20%. Per gebied is voor elke klasse inlaatwater met een gemiddelde kwaliteit (tabel 10) gemengd met gebiedseigen oppervlaktewater met een gemiddelde kwaliteit (tabel 11) in de verhoudingen behorende bij de klassengrenzen. Hierbij is niet uitgegaan van de gemiddelde waarden van de waterkwaliteitsparameters maar van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen. Op deze wijze zijn per klasse voor elke waterkwaliteitsparameter onder- en bovengrenswaarden verkregen. Door deze beide waarden te middelen zijn klassengemiddelden berekend.

De berekeningswijze van de klassengrenzen was zodanig dat de onder- en bovengrenswaarden de meest extreme situaties die zich kunnen voordoen vertegenwoordigen: de ondergrens is de absoluut minimale waarde bij de betreffende mengverhouding, uitgaande van de ondergrenzen van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van inlaatwater en gebiedseigen water en de bovengrens de absoluut maximale waarde uitgaande van de bovengrenzen van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen. Er deden zich bij deze berekeningen twee situaties voor:

1 Bijmenging met Mark(kanaal)water betekent afname van de waarde van de beschouwde parameter. De onder- en bovengrenzen zijn als volgt berekend:

$$W_{og} = \frac{P_{bg}}{100} I_{og} + \left(1 - \frac{P_{bg}}{100}\right) G_{og} \qquad (11)$$

met:
W_{og} = ondergrens betreffende parameter voor die klasse;
P_{bg} = klasse bovengrens als percentage (b.v. 40% voor klasse 2);
I_{og} = ondergrens 95%-betrouwbaarheidsinterval van de betreffende parameter voor het inlaatwater;
G_{og} = ondergrens 95%-betrouwbaarheidsinterval van de betreffende parameter voor het gebiedseigen water.

en:

$$W_{bg} = \frac{P_{og}}{100} I_{bg} + \left(1 - \frac{P_{og}}{100}\right) G_{bg} \qquad (12)$$

met:
W_{bg} = bovengrens betreffende parameter voor die klasse;
P_{og} = klasse ondergrens als percentage (b.v. 20% voor klasse 2);
I_{bg} = bovengrens 95%-betrouwbaarheidsinterval van de betreffende parameter voor het inlaatwater;
G_{bg} = bovengrens 95%-betrouwbaarheidsinterval van de betreffende parameter voor het gebiedseigen water.

2 Bijmenging met Mark(kanaal)water betekent toename van de waarde van de beschouwde parameter. De onder- en bovengrenzen zijn als volgt berekend:

$$W_{og} = \frac{P_{og}}{100} I_{og} + \left(1 - \frac{P_{og}}{100}\right) G_{og} \qquad (13)$$

$$W_{bg} = \frac{P_{bg}}{100} I_{bg} + \left(1 - \frac{P_{bg}}{100}\right) G_{bg} \qquad (14)$$

Betekenis van de symbolen als boven.

Op deze wijze is de maximaal mogelijke spreiding per klasse berekend. De gedachte hierachter is dat bij deze berekeningswijze rekening is gehouden met enerzijds de eventuele spreiding in de tijd van de samenstelling van het Mark- en Markkanaalwater (deze is relatief klein) en anderzijds met de spreiding in de tijd en in de ruimte van de samenstelling van het gebiedseigen oppervlaktewater. Vooral dat laatste kan belangrijk zijn: oppervlaktewater van delen van het gebied die dicht bij het inlaatpunt zijn gelegen, kan tijdens waterinlaat worden opgestuwd tot in de verst van het inlaatpunt weggelegen gebiedsdelen. Naast bijmenging van inlaatwater (gebiedsvreemd

Tabel 14 Voorbeeld van een vertaalsleutel (Weimeren). Klassen (Kl) voor de doordringing van gebiedsvreemd water (Gvw; in % van de totale hoeveelheid water) met bijbehorende gemiddelden (gm), bovengrens- (bg) en ondergrenswaarden (og) van de beschouwde waterkwaliteitsparameters. De berekening van de waarden van de pH zijn gebaseerd op de waterstofionenconcentraties.
(EGV in mS.m^{-1} bij 20 °C; pH bij 20 °C; mM = mmol.l^{-1}, µM = µmol.l^{-1})

Kl	Gvw (%)		EGV	pH (-)	K (mM)	Na (mM)	Ca (mM)	Mg (mM)	Fe (µM)	Cl (mM)	SO_4 (mM)	HCO_3 (mM)	NO_3 (µM)	PO_4 (µM)	NH_4 (µM)
1	0- 20	bg :	121,0	7,2	0,35	5,65	3,11	1,56	17,0	4,93	2,21	5,53	122,5	330,0	480,0
		gm :	103,5	7,3	0,26	4,35	2,44	1,29	9,7	3,84	1,82	3,97	61,2	165,0	242,0
		og :	86,1	7,5	0,18	3,04	1,77	1,02	2,4	2,75	1,43	2,40	0,0	0,0	4,0
2	20- 40	bg :	106,7	7,1	0,37	4,81	2,77	1,33	15,2	4,28	1,95	4,95	229,4	272,0	396,0
		gm :	91,2	7,3	0,27	3,64	2,21	1,09	8,5	3,30	1,59	3,40	135,7	136,0	202,0
		og :	75,8	7,5	0,17	2,47	1,64	0,85	1,8	2,31	1,24	1,85	42,0	0,0	8,0
3	40- 60	bg :	92,4	7,1	0,40	3,98	2,43	1,10	13,4	3,63	1,68	4,38	336,2	214,0	312,0
		gm :	78,9	7,2	0,28	2,94	1,97	0,89	7,3	2,75	1,36	2,84	210,1	107,0	162,0
		og :	65,4	7,5	0,16	1,91	1,52	0,68	1,2	1,87	1,04	1,31	84,0	0,0	12,0
4	60- 80	bg :	78,2	7,0	0,42	3,14	2,09	0,86	11,6	2,99	1,42	3,80	443,1	156,0	228,0
		gm :	66,6	7,2	0,29	2,24	1,74	0,69	6,1	2,21	1,13	2,28	284,6	78,0	122,0
		og :	55,1	7,5	0,15	1,34	1,39	0,51	0,6	1,43	0,85	0,76	126,0	0,0	16,0
5	80-100	bg :	63,9	6,9	0,45	2,31	1,75	0,63	9,8	2,34	1,15	3,23	550,0	98,0	144,0
		gm :	54,3	7,1	0,30	1,54	1,51	0,49	4,9	1,66	0,90	1,72	359,0	49,0	82,0
		og :	44,8	7,5	0,14	0,77	1,27	0,34	0,0	0,99	0,65	0,21	168,0	0,0	20,0

water) bestaat er dan bijmenging van lokatievreemd water. Dit lokatievreemde aspect is in bovenstaande berekeningswijze betrokken.

De op bovenstaande wijze berekende vertaalsleutels voor de drie proefgebieden zijn gegeven in aanhangsel 6. Tabel 14 is een voorbeeld van een vertaalsleutel. Met de sleutels kunnen de in paragraaf 5.2 gepresenteerde doordringingspercentages worden vertaald naar waarden voor waterkwaliteitsparameters met een bijbehorende spreiding, door deze waarden in de betreffende doordringingsklasse op te zoeken. Te zien is dat door de grote spreiding per klasse er een grote overlap tussen de klassen onderling bestaat. Dit is het gevolg van de gekozen verdeling in klassen met een klassebreedte van 20%. Om dit te voorkomen is het mogelijk niet per klasse maar per doordringinspercentage gemiddelde parameterwaarden met bijbehorende spreiding te berekenen met vergelijking (11) en (12) en de waarden van tabel 10 en 11. P_{og} en P_{bg} zijn dan beide gelijk aan het beschouwde doordringingspercentage. Hierdoor wordt (13) gelijk aan (11) en (14) aan (12). Deze methode is uiteraard precieser maar ook bewerkelijker. De keuze van de te gebruiken methode hangt af van de gewenste nauwkeurigheid.

6.3 Vergelijking van gemeten en berekende oppervlaktewaterkwaliteit

In het meetjaar 1988 is het oppervlaktewater van de drie proefgebieden tijdens waterinlaat bemonsterd en geanalyseerd (zie 3.2). Voor Weimeren viel het bemonsteringstijdstip 14 dagen na het starten van de inlaat, voor De Oostpolder was dit 21 dagen en voor Teteringen 6 dagen. Met het gecalibreerde model is voor de betreffende bemonsteringsplaatsen berekend, hoeveel inlaatwater is doorgedrongen op het tijdstip van bemonsteren. Door menging van gebiedseigen oppervlaktewater met inlaatwater in de berekende verhouding is een waterkwaliteit verkregen, die kon worden vergeleken met de gemeten waterkwaliteit. Doel van deze vergelijking was na te gaan of de modelmatige berekeningen van de doordringingspercentages en de vertaling, op grond van menging met verwaarlozing van processen, van deze percentages naar waarden voor waterkwaliteitsparameters realistische resultaten geven.

Voor de berekening van de waterkwaliteit op basis van menging is gebruik gemaakt van de oppervlaktewaterkwaliteit zoals die is bepaald in het voorjaar van 1988 voordat inlaat plaatsvond en van een gemiddelde inlaatwaterkwaliteit berekend uit de kwaliteitsbepalingen van vóór en tijdens waterinlaat in 1988. Voor De Oostpolder is de gemiddelde oppervlaktewaterkwaliteit gebruikt (tabel 11) omdat hier de voorjaarsoppervlaktewaterkwaliteit van 1988 niet is bepaald. Oppervlaktewater en inlaatwater zijn met elkaar gemengd in de verhouding die volgt uit het berekende doordringingspercentage P, waarbij de waarden van de waterkwaliteitsparameters van het mengsel als volgt zijn bepaald:

$$W_m = \frac{P}{100} W_i + \left(1 - \frac{P}{100}\right) W_g \qquad (15)$$

met:
W_m = waarde van het mengsel;
W_i = waarde van het inlaatwater;
W_g = waarde van het gebiedseigen oppervlaktewater;
P = berekende doordringingspercentage.

De gemeten en berekende waterkwaliteit is vergeleken door de similariteit tussen beide kwaliteiten te berekenen met vergelijking (10) voor de in paragraaf 6.1.2 vermelde acht parameters (EGV en gehalten aan H, K, Na, Ca, Mg, Cl, SO_4). De resultaten van deze berekeningen zijn gegeven in tabel 15.

Tabel 15 Similariteit tussen gemeten en berekende waterkwaliteit volgens vergelijking (10). Voor de ligging van de lokaties zie aanhangsel 2.

Lokatie	W(eimeren)	O(ostpolder)	T(eteringen)
2	0,96	0,98	0,99
3	0,89	0,99	0,99
4	0,69	0,99	0,99
5	0,99	0,98	0,94
6	0,94	0,99	0,80
7	0,99	0,97	0,94
8	0,90	0,99	0,94
9	0,44	-	0,99
10	0,89	0,96	0,94

Opvallend zijn in de eerste plaats de hoge similariteitscoëfficiënten voor De Oostpolder, wat een grote overeenkomst tussen gemeten en berekende kwaliteit suggereert. De waarde van deze resultaten als indicatie voor de juistheid van het mengconcept en de mengverhouding is echter zeer beperkt omdat het gebiedseigen oppervlaktewater en het inlaatwater van De Oostpolder een zeer sterke overeenkomst vertonen (zie tabel 13). De veranderingen tengevolge van waterinlaat zijn te klein om een betrouwbare basis voor vergelijking te vormen. De berekende similariteitscoëfficiënten van Weimeren en in mindere mate die van Teteringen zijn wel indicatief voor de juistheid van het mengconcept en de mengverhouding. Gebiedseigen oppervlaktewater en inlaatwater verschillen hier relatief sterk in kwaliteit (zie tabel 13). Hoge similariteitscoëfficiënten zijn berekend voor de lokaties W2, W5, W7, T2, T3, T4 en T9. Voor deze lokaties komen gemeten en berekende kwaliteit sterk overeen. Dit is minder het geval voor W3, W6, W8, W10, T5, T7, T8 en T10. Lage coëfficiënten zijn gevonden voor W4 en T6. Voor W9, de lokatie in het 'brakke kwelgebied', is de overeenkomst gemeten-berekend niet significant.

De resultaten van tabel 15 lijken aan te tonen dat voor enkele lokaties het mengconcept en de berekende mengverhouding wel voldoen en voor andere niet of minder. Om na te gaan waarop de verschillen tussen gemeten en berekende kwaliteit berusten zijn deze resultaten niet geschikt. Hiervoor is de volgende analyse toegepast: per lokatie is de 'optimale mengverhouding' bepaald, de mengverhouding waarbij de kwaliteit van een mengsel van gebiedseigen voorjaarsoppervlaktewater en inlaatwater het beste overeenkomt met de gemeten oppervlaktewater-

kwaliteit tijdens waterinlaat. De kwaliteit betreft hierbij de waarden van de eerder genoemde acht parameters (EGV en gehalten aan H, K, Na, Ca, Mg, Cl, SO_4). De optimale mengverhouding is gevonden door het minimaliseren van de met vergelijking (9) berekende fout tussen de gemeten en de uit menging verkregen kwaliteit. Uit de optimale mengverhouding is een optimaal doordringingspercentage voor het inlaatwater afgeleid (vergelijking 15). Tevens is de similariteit tussen de gemeten kwaliteit en de kwaliteit van het optimale mengsel bepaald met vergelijking (10). De resultaten van deze berekeningen zijn gegeven in tabel 16. Voor Weimeren bevat deze tabel tevens een doordringingspercentage afgeleid uit de optimale mengverhouding bepaald op basis van slechts één parameter in plaats van acht, namelijk chloride. Aangezien dit ion nauwelijks onderhevig is aan chemische en biologische processen is het een goede tracer. Voor De Oostpolder en Teteringen waren de verschillen tussen het Cl-gehalte van het gebiedseigen oppervlaktewater en dat van het inlaatwater te gering om enkel dit ion als een betrouwbare tracer voor deze gebieden te gebruiken.

Tabel 16 Vergelijking van berekende doordringingspercentages voor het inlaatwater met bijbehorende similariteit tussen gemeten kwaliteit en kwaliteit van het optimale mengsel (r). Voor de ligging van de lokaties zie aanhangsel 2.

Lokatie	W(eimeren)				O(ostpolder)			T(eteringen)		
	Om_1	Mb	Om_8	r	Mb	Om_8	r	Mb	Om_8	r
2	98	95	97	0,99	69	43	0,99	96	98	0,99
3	52	36	71	0,99	27	28	1,00	90	95	0,99
4	0	1	0	0,90	2	0	1,00	95	100	0,98
5	0	0	2	0,99	0	0	0,98	82	66	0,99
6	55	68	51	0,96	0	8	0,99	20	90	0,99
7	91	84	88	0,99	0	16	0,97	32	10	0,99
8	40	22	52	0,98	0	1	0,99	0	26	0,99
9	93	16	99	0,96	-	-	-	0	2	0,99
10	97	70	99	0,99	12	55	0,97	9	69	0,99

Mb = op basis van modelberekeningen
Om_8 = op grond van optimale mengverhouding (8 parameters)
Om_1 = op grond van optimale mengverhouding (1 parameter, Cl)

Allereerst dient opgemerkt dat ook voor deze tabel geldt dat de waarde van de resultaten van De Oostpolder slechts gering is vanwege de grote overeenkomst tussen gebiedseigen waterkwaliteit en inlaatwaterkwaliteit. Ter illustratie: lokatie O10 ligt, vanaf het inlaatpunt gezien, achter O2 en O3 waardoor er in een inlaatsituatie nooit meer inlaatwater aanwezig zou kunnen zijn dan in deze lokaties. Op grond van optimale menging wordt toch een hoger doordringingspercentage voor O10 berekend dan voor O2 en O3.

De hoge similariteitscoëfficiënten in tabel 16 geven aan dat er voor alle lokaties van de drie gebieden een grote overeenkomst bestaat tussen de gemeten kwaliteit en de kwaliteit van het optimale mengsel. De betekenis hiervan is dat het mogelijk is door optimale menging van inlaatwater en gebiedseigen oppervlaktewater een waterkwaliteit te verkrijgen die sterk overeenkomt met de gemeten oppervlaktewaterkwaliteit tijdens waterinlaat. Dit duidt erop dat berekeningen van de oppervlaktewaterkwaliteit, gebaseerd op het concept van menging van gebiedseigen water met inlaatwater onder verwaarlozing van optredende chemische en biologische processen, resultaten geven die een realistische orde van grootte bezitten voor de beschouwde acht parameters. Het feit dat gemeten waterkwali-

teit en optimale mengwaterkwaliteit niet volledig overeenkomen is toe te schrijven aan de verwaarlozing van de processen en het gegeven dat er niet enkel menging met inlaatwater maar eveneens met lokatievreemd water plaatsvindt.

Er van uitgaande dat het mengconcept acceptabele resultaten geeft, is het uit de optimale mengverhouding afgeleide optimale doordringingspercentage een goede maat voor de doordringing van inlaatwater in de gebieden. Vergelijking van dit optimale doordringingspercentage met de doordringingspercentages uit de modelberekeningen (tabel 16) geeft een zelfde beeld te zien als in tabel 15: voor lokaties waar de overeenkomst tussen het percentage uit modelberekeningen en het optimale percentage goed is, is de similariteit tussen gemeten en berekende waterkwaliteit hoog en omgekeerd. Verder is in tabel 16 te zien dat het model over het algemeen lagere doordringingspercentages berekent dan het optimale percentage. De belangrijkste oorzaken hiervan zijn:

1 doordringing van lokatievreemd water.
  Dit geldt vooral Weimeren waar de differentiatie in gebiedseigen waterkwaliteit relatief groot is. Vooral het 'brakke kwelgebied', waarvan lokatie W9 een vertegenwoordiging is, wijkt in kwaliteit sterk af van het overige gebied. Aangezien de waterkwaliteit van dit overige gebied meer verwant is aan de inlaatwaterkwaliteit dan aan de waterkwaliteit van het 'brakke kwelgebied' kan de invloed van doorgedrongen lokatievreemd water hier zeer groot zijn. Dit verklaart voor een deel de slechte resultaten voor lokatie W9 in de tabellen 15 en 16.
2 windinvloed.
  Lijklema en Van Straten (1977) vonden voor het plassengebied van N.W. Overijssel dat in vlakke gebieden in combinatie met een geringe waterdiepte de waterbeweging in watergangen zeer sterk wordt beïnvloed door de wind. De proefgebieden zijn redelijk vlak en kaal, de waterdiepte van de watergangen is gering en veel watergangen strekken zich over een grote lengte uit in de richting van de heersende ZW tot NW wind. Dit geldt vooral voor Teteringen. Stroming en opstuwing onder invloed van wind in een situatie zonder aan- of afvoer is tijdens de meetperiode herhaaldelijk waargenomen in de gebieden. Bij de heersende windrichting wordt in de drie proefgebieden inlaatwater verder het gebied ingestuwd. Een ander aspect van windinvloed is longitudinale menging: onder invloed van wind vindt menging van water plaats in de richting van de wind. Dit mengproces gedraagt zich als een diffusieproces (Leenen, 1982). Als gevolg van dit proces verplaatst een tracerfront zich sneller en verder dan enkel op grond van de waterbeweging mag worden verwacht. Het gebruikte oppervlaktewatermodel betrekt windinvloeden niet in de berekeningen. Dit zou gedeeltelijk een verklaring kunnen zijn voor de verschillen tussen de door het model berekende doordringing van inlaatwater en de doordringing die op grond van de waterkwaliteit is berekend. Dit geldt vooral voor lokatie W3 en de lokaties in Teteringen.
3 het mengconcept voldoet niet geheel.
  Voor een aantal van de beschouwde acht parameters zijn de optredende processen niet verwaarloosbaar.

Aangezien Cl minder aan processen onderhevig is dan enkele andere ionen van de acht parameters is het een betere tracer

dan het totaal van de beschouwde acht parameters en geeft het doordringingspercentage berekend op grond van de optimale mengverhouding voor Cl in principe het beste beeld van de werkelijke doordringing van inlaatwater. Voorwaarde hierbij is dat er een duidelijk verschil tussen het Cl-gehalte van het gebiedseigen water en dat van het inlaatwater moet bestaan. Dit is enkel het geval voor Weimeren. De doordringingspercentages uit modelberekeningen van dit gebied komen beter overeen met de optimale doordringingspercentages op basis van de tracer Cl dan met de optimale percentages op basis van de acht parameters (tabel 16). Dat neemt niet weg dat de door het model berekende doordringing over het algemeen te laag is. Tussen de doordringingspercentages op basis van de tracer Cl en de percentages op basis van de acht parameters bestaat een grote overeenkomst; de correlatie tussen beide bedraagt 0,96. Dit versterkt de aanwijzing dat het mengconcept voor de acht beschouwde parameters realistische resultaten geeft.

7 EXTRAPOLATIE

Uit de scenario-berekeningen en de gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor de drie proefgebieden met het model SIMPRO is gebleken, dat de maximale doordringing van inlaatwater in grote mate afhankelijk is van de gebiedsspecifieke situatie. Enkel in de verder van de inlaat gelegen dode takken van de waterlopen en bijbehorende slotenstelsels komt in een droge situatie slechts weinig inlaatwater. In en rond deze takken is de situatie betreffende randvoorwaarden als kwelintensiteit, beregeningsintensiteit, dichtheid van het slotenstelsel, mate van begroeing van de waterlopen enz., meestal zeer gebiedsafhankelijk. Uit de analyses van de oppervlaktewaterkwaliteit en van de effecten van waterinlaat op deze kwaliteit, is gebleken dat wat betreft deze aspecten de drie proefgebieden eveneens in belangrijke mate kunnen verschillen, afhankelijk van de gebiedsspecifieke situatie.

Extrapolatie in hoge mate van detail van de onderzoeksresultaten van de proefgebieden naar de situaties van andere gebieden was onmogelijk, omdat van deze niet onderzochte situaties de bepalende details niet bekend waren. Dit zou, gezien de veelheid van de noodzakelijke informatie, een studie op zich vergen. De extrapolatie is daarom beperkt gebleven tot het schetsen van de grote lijnen betreffende het oppervlaktewater. Afhankelijk van de ligging van de gebieden en de informatie die beschikbaar was, zijn meer of minder gedetailleerde uitspraken gedaan over de mate van doordringing van inlaatwater in de oppervlaktewaterstelsels en de gevolgen daarvan voor de gebiedsoppervlaktewaterkwaliteit.

In figuur 36 zijn de gebieden aangegeven, waarnaar de onderzoeksresultaten dienden te worden geëxtrapoleerd. Deze gebieden zijn onder te brengen in drie categorieën:

1 Betreft gebied III waarvoor extrapolatie redelijkerwijs mogelijk was omdat van dit gebied voldoende informatie aanwezig was over het waterlopenstelsel en het slotenstelsel en omdat het gelegen is tussen de proefgebieden Weimeren en De Oostpolder in. Vanwege deze situering is er van uit gegaan dat het gebied wat betreft omstandigheden als kwelintensiteit, beregeningsintensiteit, grondgebruik enz. in grote mate overeenkomt met de twee genoemde proefgebieden of een tussenpositie inneemt indien er sprake is van een gradiënt tussen de twee proefgebieden.
2 Betreft de gebieden I en IV waar ten tijde van het onderzoek ruilverkavelingswerken in uitvoering waren en waarvan om die reden slechts een globaal overzicht van het waterlopenstelsel en slotenstelsel ter beschikking was. Strikt genomen hoort gebied II ook tot deze categorie omdat ten tijde van het onderzoek het slotenstelsel van dit gebied nog in ontwikkeling was. Gezien de structuur van het al gerealiseerde waterlopenstelsel is II echter ondergebracht in categorie 3.
3 De overige gebieden (II, V, VI en VII), waar in het waterlopenstelsel geen dode takken voorkomen en/of waar de inlaat zo groot is dat redelijkerwijs kan worden aangenomen dat het inlaatwater het totale gebiedseigen oppervlaktewater verdringt.

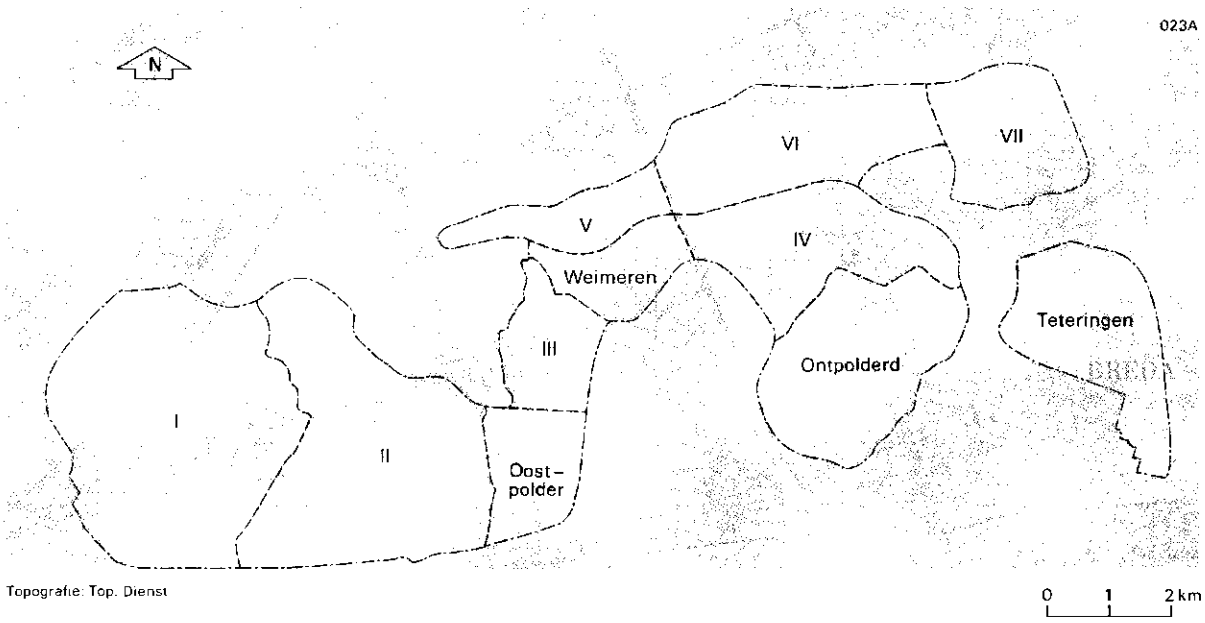


Fig. 36 Extrapolatiegebieden.

Hieronder worden per categorie de gevolgde extrapolatiemethode en de verkregen resultaten beschreven.

Categorie 1

Gebied III is voor wat betreft de factoren die de doordringing van inlaatwater in het oppervlaktewaterstelsel bepalen in sterke mate gelijkend op de proefgebieden Weimeren en De Oostpolder (zie ook de figuren 3 t/m 8, hoofdstuk 2). Er is daarom getracht een relatie te bepalen tussen deze factoren en het berekende maximale percentage gebiedsvreemd water in de twee proefgebieden. Met deze relatie kon een maximaal doordringingspercentage voor gebied III worden geschat. De maximale doordringing van inlaatwater op een bepaald punt in het oppervlaktewaterstelsel van een gebied is een functie van de meteorologische condities en het peilbeheer tijdens de inlaatperiode en van de volgende gebiedsfactoren:
- de eigenschappen van de watergangen: lengte, dimensies en weerstand;
- de eigenschappen van het achterliggende infiltratiegebied: dichtheid van het slotenstelsel, kwelintensiteit, beregeningsintensiteit, grondgebruik en bodemfysische eigenschappen;
- de grootte van het achterliggende infiltratiegebied, het areaal dat van water moeten worden voorzien.

Aangenomen is dat gebied III wat betreft de eigenschappen van de watergangen en het achterliggende infiltratiegebied of op Weimeren en De Oostpolder lijkt of een tussenpositie inneemt. Het laatste geldt vooral voor de kwelintensiteit. Uitgaande van deze aanname volstaat het, het maximale doordringingspercentage, geldend voor een bepaald meteorologisch jaar en peilbeheer, uit te drukken als functie van de grootte van het

achterliggende infiltratiegebied. Hiervoor is de volgende vergelijking gebruikt:

$$P = 100\ (1 - e^{-aO}) \qquad (16)$$

met:
P = het maximale doordringingspercentage op een bepaald punt in het oppervlaktewaterstelsel (%);
O = het oppervlak van het achterliggende infiltratiegebied (ha);
a = reactiefactor van het gebied (ha^{-1}).

Een afleiding van deze vergelijking is gegeven in aanhangsel 7. De reactiefactor a is kenmerkend voor een bepaald gebied en een bepaald meteorologisch jaar en peilbeheer. In deze factor zitten de bovengenoemde, het doordringingspercentage bepalende, gebiedsfactoren besloten, met uitzondering van het oppervlak van het achterliggende infiltratiegebied. Indien de factor a voor een bepaald gebied onder gegeven meteorologische omstandigheden en peilbeheer bekend is, kan met vergelijking (16) het doordringingspercentage worden berekend aan de hand van de grootte van het achterliggende infiltratiegebied. De factor a is bepaald voor Weimeren en De Oostpolder door middel van curve-fitting. Hierbij zijn voor deze gebieden de met het model SIMPRO voor het peilbeheer van scenario 1 berekende doordringingspercentages van bepaalde punten uitgezet tegen het bij deze punten behorende achterliggende infiltratie-oppervlak. De best-fit is gevonden door het met de foutenfunctie (9) berekende verschil tussen curvewaarde en modelberekeningswaarde te minimaliseren. Een voorbeeld hiervan is figuur 37. In tabel 17 zijn de resultaten van de curvefitting procedure gegeven.

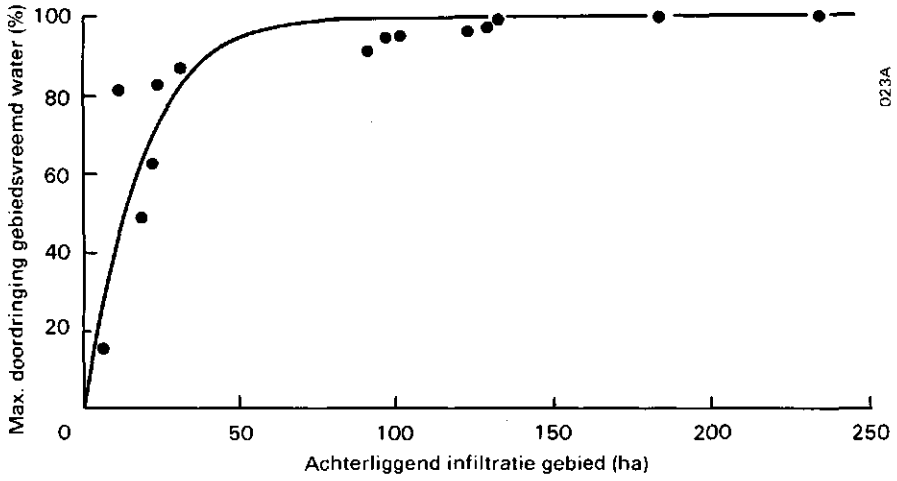


Fig. 37 Voorbeeld van curve-fitting ter bepaling van de reactiefactor a.

Tabel 17 Resultaten van de curve-fitting voor het peilbeheer van scenario 1.

Gebied	Weerjaar	Object	a (ha^{-1})	Minimale fout (%)
Weimeren	1976	Waterlopenst.	0,057	11,8
		Slotenstelsel	0,023	19,2
Weimeren	1982	Waterlopenst.	0,046	11,1
		Slotenstelsel	0,013	20,4
De Oostpolder	1976	Waterlopenst.	0,044	13,4
		Slotenstelsel	0,030	23,2
De Oostpolder	1982	Waterlopenst.	0,015	23,2
		Slotenstelsel	0,010	23,3

a

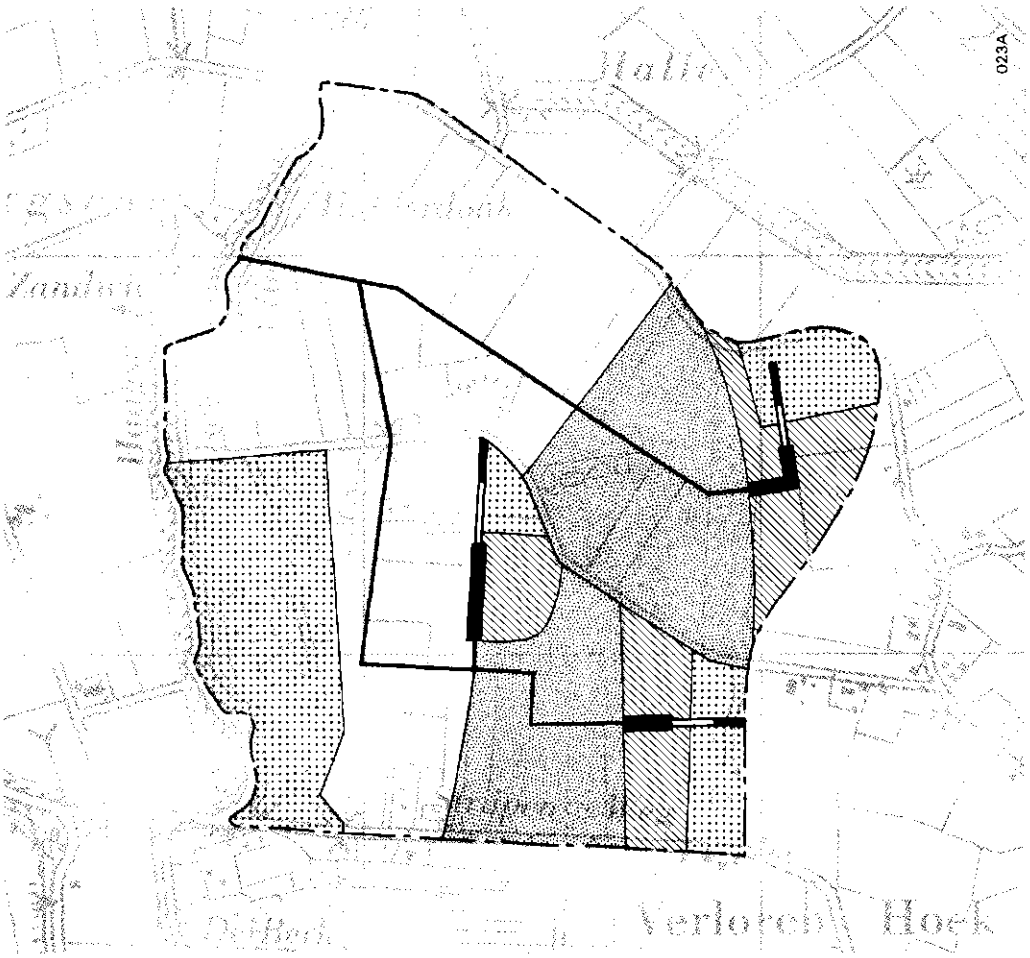


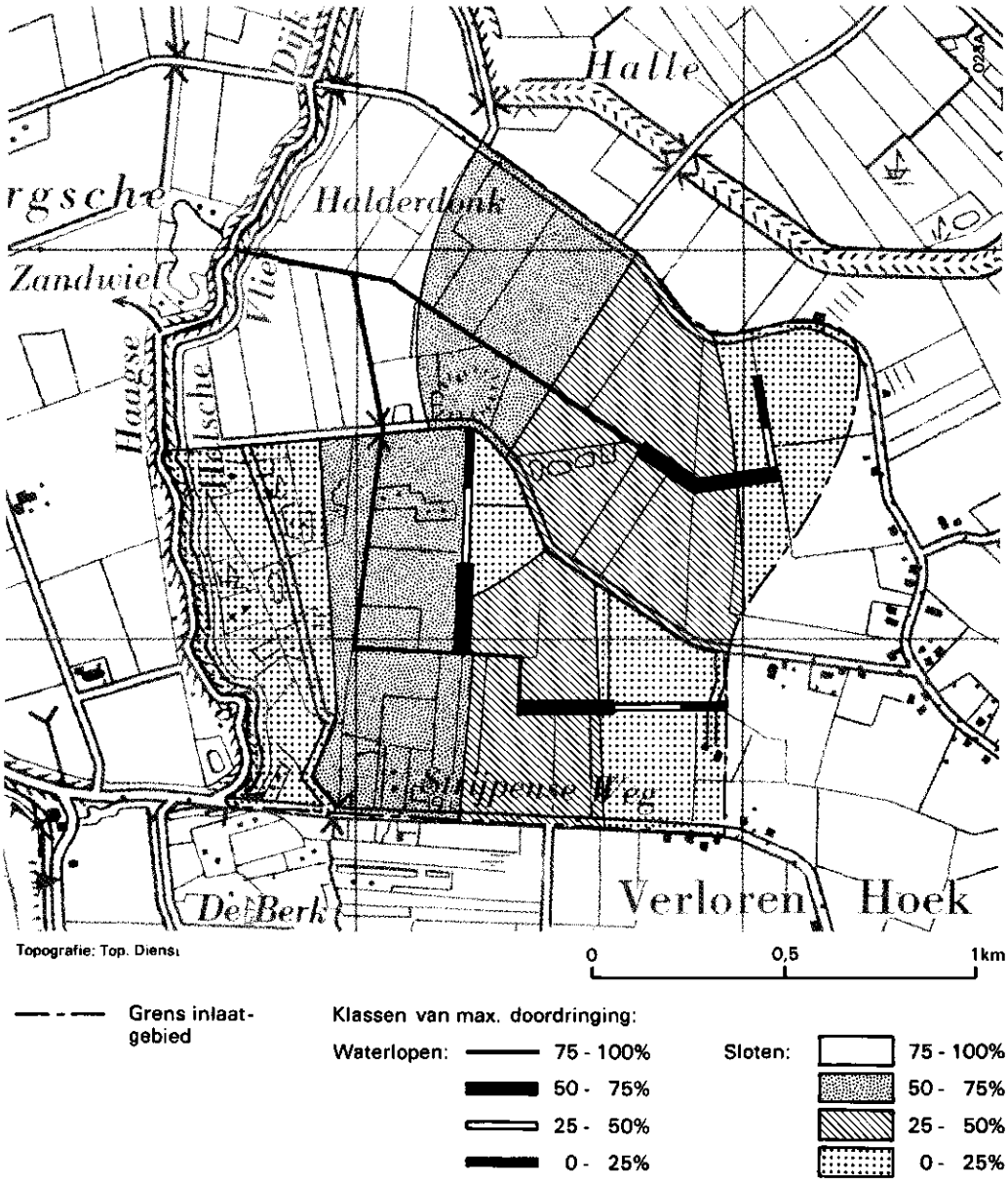
Fig. 38 Resultaten van de extrapolatie voor het deel van gebied III waar inlaatwater kan komen.
a = weerjaar 1976
b = weerjaar 1982 (pagina rechts)

Met vergelijking (16) zijn voor de weerjaren 1976 en 1982 maximale doordringingspercentages berekend voor het waterlopenstelsel en het slotenstelsel van gebied III. Hierbij is gebruik gemaakt van de a-waarden van Weimeren en van die van De Oostpolder. De met deze beide a-waarden berekende percentages zijn gemiddeld, omdat er van uit is gegaan dat gebied III,

voor wat betreft de factoren waarin de twee proefgebieden verschillen (vooral kwelintensiteit), een tussenpositie inneemt. Gezien de relatief grote minimale fouten (zie tabel 17) is besloten de resultaten van de berekeningen in klassen van 25% in te delen (fig. 38).

Voor wat betreft de vertaling van de maximale doordringingspercentages naar effecten op de waterkwaliteit kan gebruik worden gemaakt van de sleutel van De Oostpolder. Het is aannemelijk dat de situatie van gebied III veel gemeen heeft met de situatie van De Oostpolder, gezien de ligging en het feit dat beide gebieden van hetzelfde inlaatwater worden voorzien. Het verschil met de situatie van Weimeren is wat dit betreft

b



gelegen in het optreden van 'brakke' kwel in Weimeren, wat in gebied III hoogst waarschijnlijk niet het geval is (zie fig. 7, hoofdstuk 3).

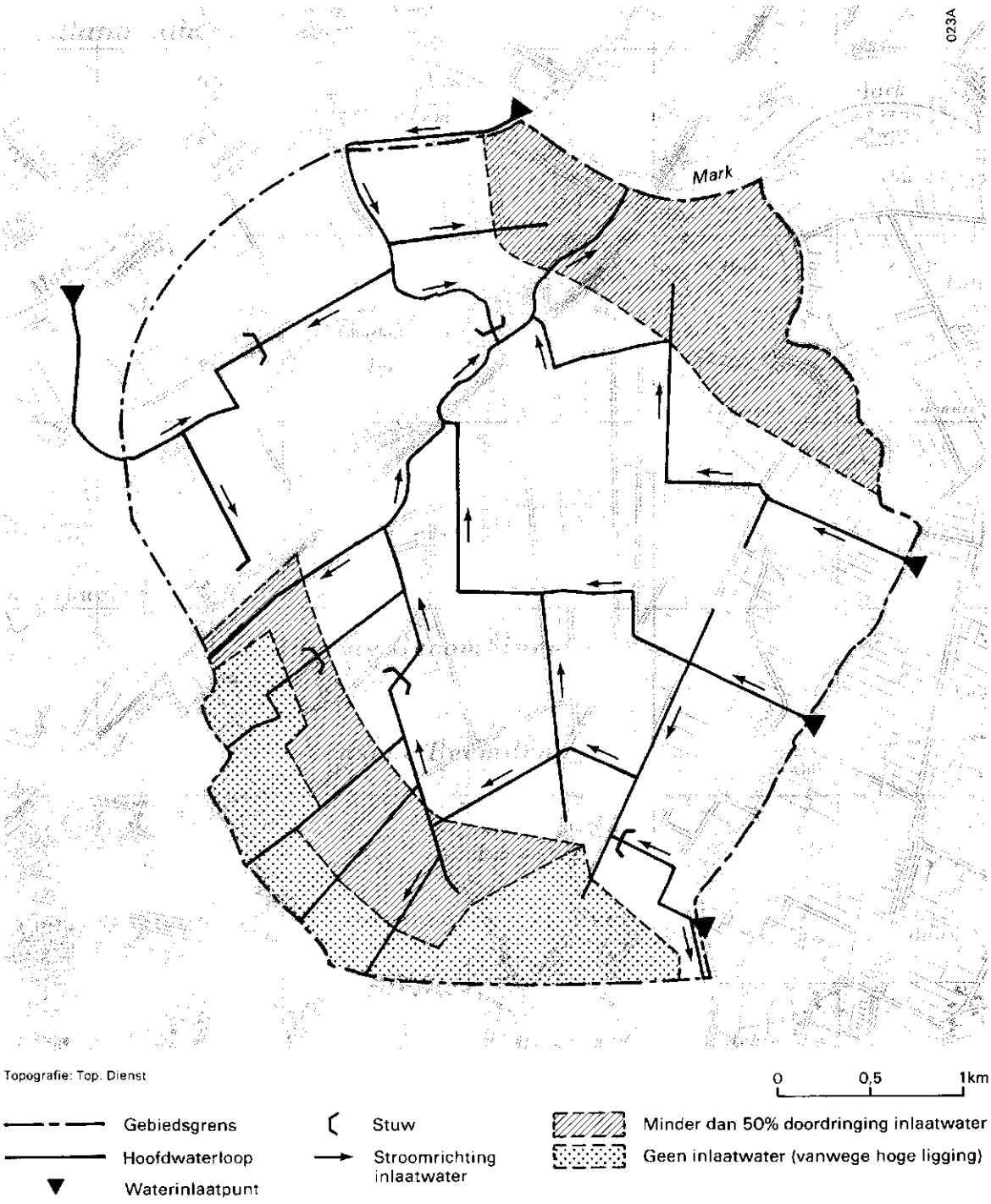


Fig. 39 Resultaten van de extrapolatie voor gebied I.

Categorie 2

Van de gebieden uit deze categorie was slechts een globale waterlopenkaart beschikbaar. Informatie over dimensies van waterlopen en slotenstelsels ontbrak. Voor deze gebieden is

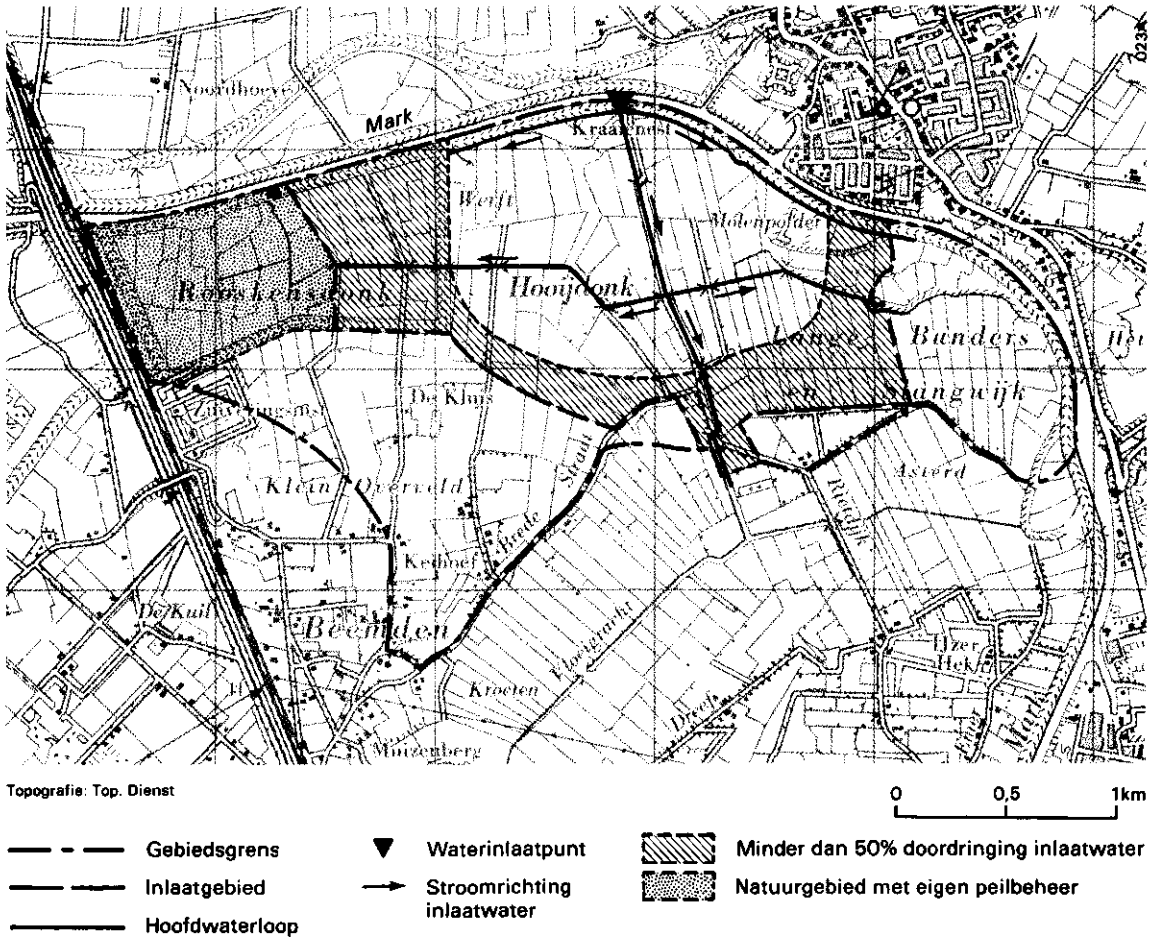


Fig. 40 Resultaten van de extrapolatie voor gebied IV.

zeer globaal berekend met vergelijking (16) waar de 50%-grens voor doordringing ongeveer zal liggen, uitgaande van een zeer droog jaar als 1976. Deze grens scheidt de delen van de gebieden waar tijdens waterinlaat het oppervlaktewater op een gegeven moment voor meer dan de helft uit inlaatwater bestaat en de delen waarvoor het aandeel aan inlaatwater minder dan de helft is (fig. 39 en 40). In het geval van gebied I is bij deze berekeningen gebruik gemaakt van de a-waarden van De Oostpolder, in het geval van gebied IV van de a-waarden van Weimeren, gezien de overeenkomsten tussen betreffende gebieden wat betreft geohydrologische en bodemkundige kenmerken (zie fig. 3 t/m 8, hoofdstuk 2).

In gebied I wordt uit de Mark en de Laaksche Vaart water ingelaten. Voldoende gedetailleerde gegevens over de kwaliteit van het gebiedseigen water en het water van de Laaksche vaart waren niet beschikbaar. In gebied IV kan evenals in Weimeren 'brakke' kwel worden verwacht (fig. 7, hoofdstuk 2), zodat op dit gebied wellicht de vertaalsleutel van Weimeren van toepassing is.

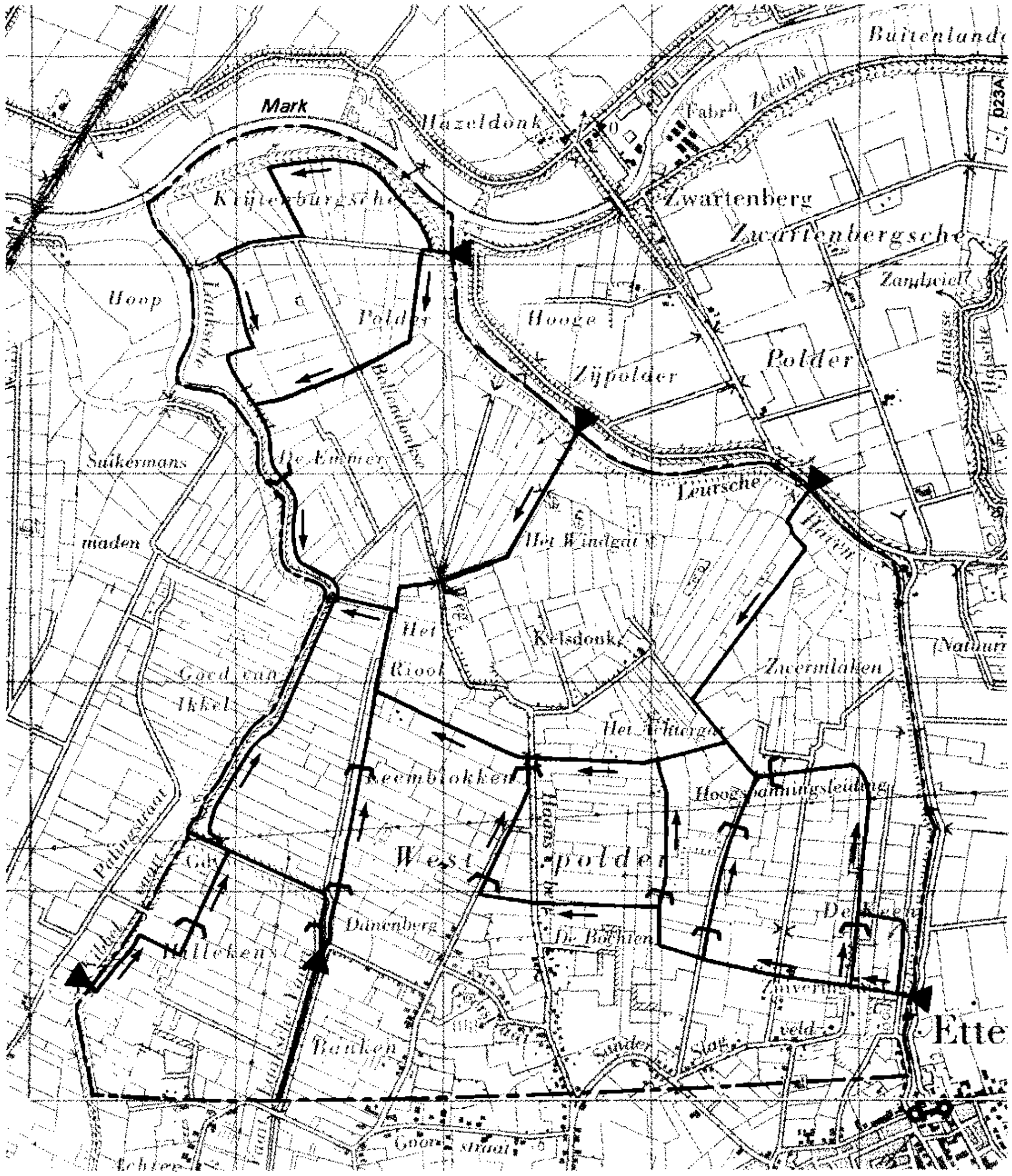
Categorie 3

In de gebieden van deze categorie mag redelijkerwijs worden aangenomen, gezien de structuur van het waterlopenstelsel, dat in een droge periode het aanwezige gebiedseigen oppervlaktewater volledig wordt vervangen door ingelaten water. In deze gebieden bevatten de waterlopenstelsels geen dode takken van betekenis (fig. 41 en 42).

In gebied II wordt op meerdere punten water ingelaten en fungeren alle waterlopen als doorvoerleidingen (fig. 41). Van de gebieden V t/m VII is vanuit het Waterschap De Ham bekend dat er zeer grote hoeveelheden water worden ingelaten. Deze gebieden fungeren als doorvoergebieden voor achterliggende inlaat(infiltratie)gebieden, die drie tot acht maal zo groot zijn als de gebieden zelf (fig. 42).

Uitgaande van de resultaten van de modelberekeningen voor de drie proefgebieden mag worden aangenomen dat ten tijde van waterinlaat in droge perioden als die van zomer 1976 en zomer 1982, het gebiedseigen oppervlaktewater van de gebieden van categorie 3 volledig wordt verdrongen door inlaatwater. In gebied II kunnen op kleine schaal, in relatie tot de kweli-ntensiteit, midden tussen de waterlopen minder beïnvloede delen voorkomen. In het noordelijke deel van gebied VII bevindt zich een Staatsbosbeheerterrein rond een eendekooi (fig. 42c). Hier wordt geen water ingelaten, maar zelfs in een droge zomer als die van 1989 nog water afgevoerd. Waarschijnlijk bestaat de in dit terrein optredende kwel voor een zeer groot gedeelte uit lokale kwel, die is geïnfiltreerd in het direct ten zuiden van het terrein gelegen inlaatgebied, dat grofzandig is en relatief hoog gelegen. Extreem hoge inlaten in dit gebied wijzen op een hoge wegzijgingsintensiteit. Wat betreft de effecten van waterinlaat op de waterkwaliteit kan worden volstaan met op te merken dat het oppervlaktewater van de gebieden van deze categorie tijdens waterinlaat uiteindelijk nagenoeg volledig de kwaliteit van het inlaatwater zal bezitten.

Concluderend kan worden gesteld dat extrapolatie van de onderzoeksresultaten van de proefgebieden naar het gehele onderzoeksgebied op een rekenkundige wijze slechts mogelijk is geweest voor één gebied (gebied III). Vanwege de ligging tussen twee proefgebieden in was dit het enige gebied waarvan voldoende gedetailleerde informatie beschikbaar was om deze rekenexercitie op een verantwoorde wijze uit te voeren. Voor een groot deel van het onderzoeksgebied (gebieden II, V, VI en VII) was rekenkundige extrapolatie niet echt aan de orde omdat de structuur van het waterlopenstelsel van de betreffende gebieden afwijkt van die van de proefgebieden in die zin dat er geen dode takken van betekenis in deze gebieden voorkomen. In feite zijn de drie proefgebieden niet representatief voor deze gebieden. Dit hangt samen met kriterium 3 van de selectiekriteria aan de hand waarvan de proefgebieden zijn gekozen (zie 2.2). Van de overige gebieden (I en IV) was vanwege het in uitvoering zijn van een ruilverkaveling niet voldoende informatie beschikbaar om een verantwoorde rekenkundige extrapolatie uit te voeren.



Topografie: Top. Dienst

0 0,5 1km

Gebiedsgrens

Hoofdwaterloop

Waterinlaatpunt

Stuw

Stroomrichting inlaatwater

Fig. 41 Waterlopenstelsel van gebied II.

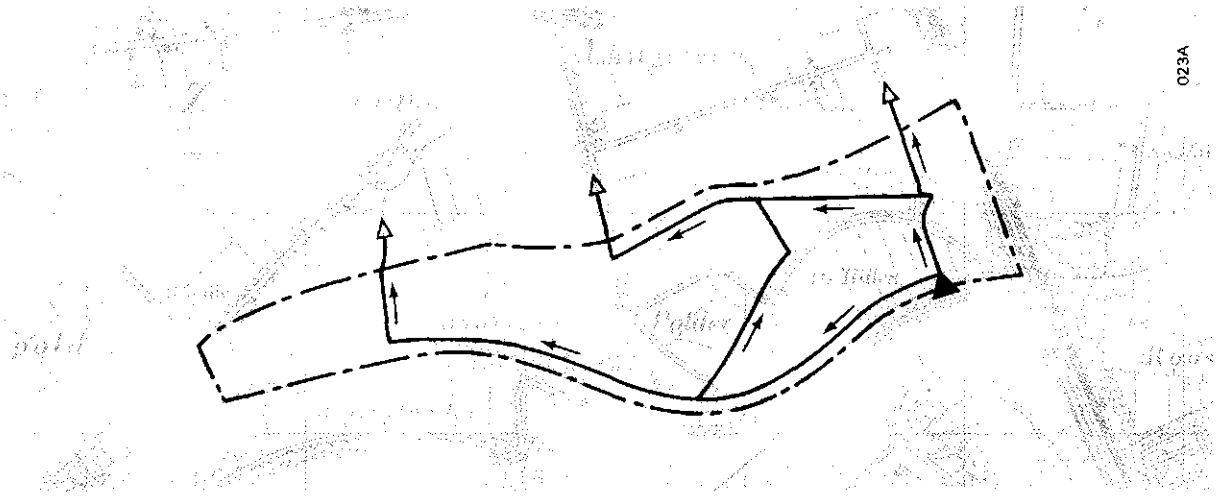


Fig. 42a Waterlopenstelsel van gebied V.

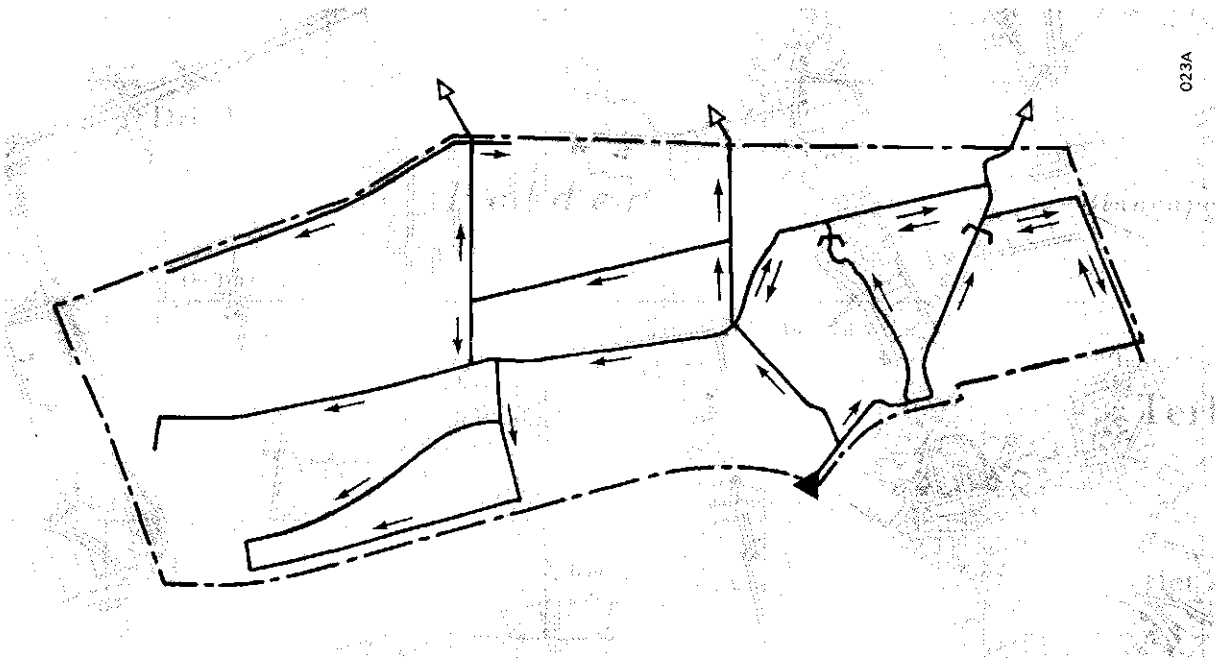
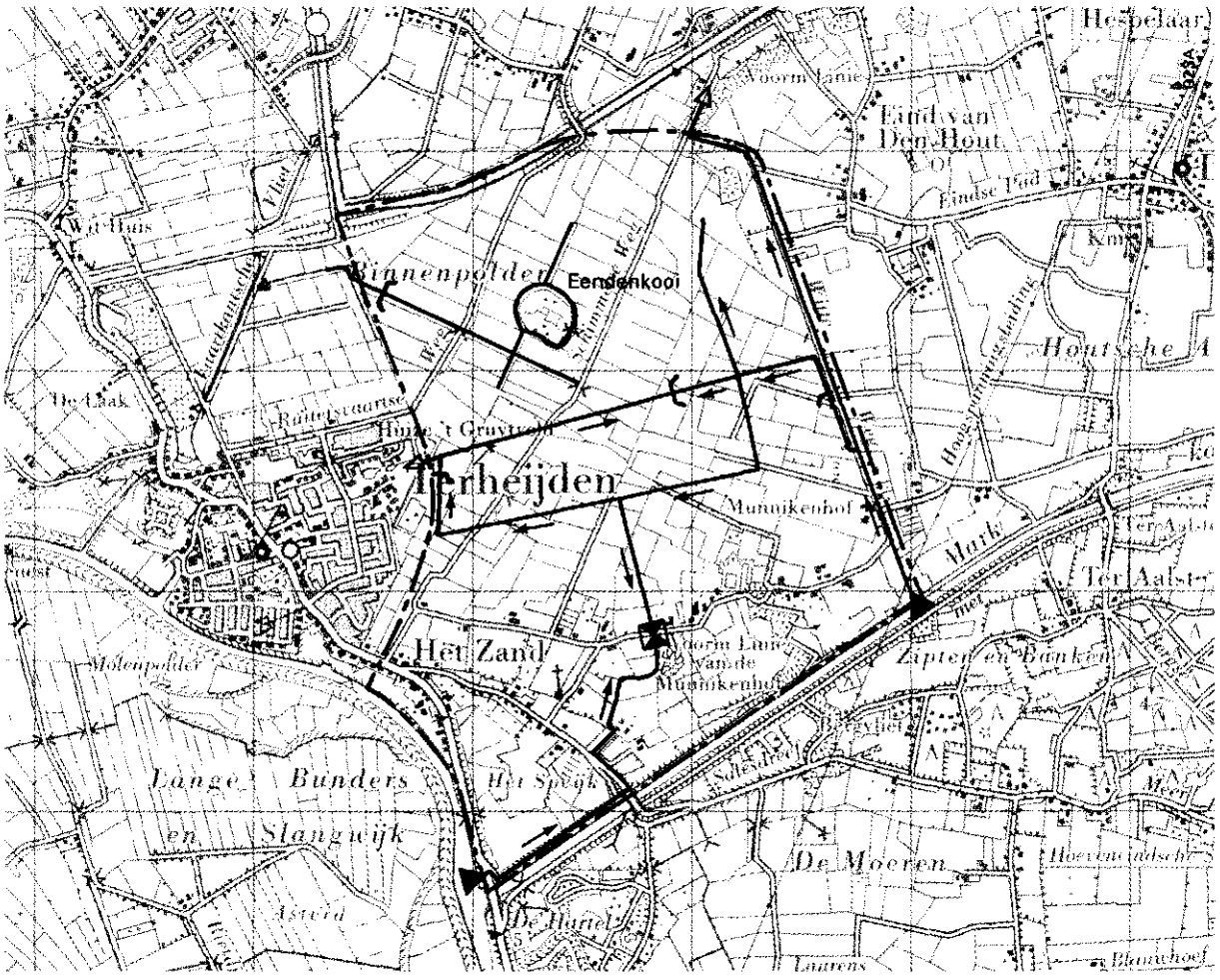


Fig. 42b Waterlopenstelsel van gebied VI.



Topografie: Top. Dienst

0 0,5 1km

Gebiedsgrens

Hoofdwaterloop

Waterinlaatpunt

Stuw

Stroomrichting inlaatwater

Afsluitbare duiker

Doorvoer inlaatwater naar achterliggend gebied

Fig 42c Waterlopenstelsel van gebied VII.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het onderzoek in dit project had tot doel om voor het gekozen onderzoeksgebied te voorspellen in hoeverre ingelaten gebiedsvreemd water doordringt in het oppervlaktewater- en grondwatersysteem van het gebied en wat daarvan de gevolgen zijn voor de waterkwaliteit. De berekeningen moesten worden uitgevoerd in relatie tot de optredende kwel en voor verschillende meteorologische omstandigheden. Vanwege beperkingen in middelen en tijd diende bij het realiseren van het gestelde onderzoeksdoel gebruik te worden gemaakt van bestaande simulatiemodellen en reeds beschikbare gegevens en diende het eigenlijke onderzoek beperkt te blijven tot drie proefgebieden waarvan de onderzoeksresultaten moesten worden geëxtrapoleerd naar het totale onderzoeksgebied. Voor aanvullend veldonderzoek en relevante aanpassingen aan de gebruikte modellen was slechts in beperkte mate ruimte. Onderstaande conclusies en aanbevelingen dienen in dit licht te worden bezien.

De conclusies van het onderzoek zijn onderverdeeld in twee categorieën: conclusies over de toegepaste onderzoeksmethodiek (par. 8.1) en conclusies over de verkregen onderzoeksresultaten (par. 8.2). De aanbevelingen voor verder onderzoek (par. 8.1) betreffen de gevolgde onderzoeksmethoden.

8.1 Conclusies over en aanbevelingen voor de onderzoeksmethodiek

De conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek betreffende de toegepaste onderzoeksmethodiek zijn hieronder puntsgewijs weergegeven. Conclusies en aanbevelingen met een zelfde nummer houden direct verband met elkaar. De conclusies zijn hierbij aangeduid met de letter a en de aanbevelingen met de letter b. Aan de conclusies 2, 7 en 9 is geen corresponderende aanbeveling verbonden.

1a Met de beschikbare modellen, meetgegevens en achtergrondinformatie is het mogelijk gebleken, om voor alle drie de proefgebieden een model op te stellen en te calibreren, waarmee grondwaterstanden, oppervlaktewaterpeilen en inlaathoeveelheden op een realistische wijze konden worden gesimuleerd voor de meetperiode. Het is echter niet mogelijk geweest om te verifiëren of het opgestelde model een andere situatie dan die van de meetperiode eveneens op een realistische wijze simuleert. Voor deze verificatiestap waren geen relevante meetgegevens van een andere periode beschikbaar. (Paragraaf 5.1).

1b In een onderzoek als het onderhavige, waarin waarden van een aantal relevante parameters zijn verkregen aan de hand van modelcalibratie, is het aan te bevelen ruimte in te lassen voor modelverificatie. Hiervoor is het nodig te beschikken over een meetreeks van relevante parameters, die minstens twee jaren beslaat.

2a De aanpassing van het oppervlaktewatermodel SIMWAT, waarbij de stromingsweerstand van de leidingen afhankelijk is

gesteld van de stroomsnelheid, gaf een grote verbetering te zien van de simulering van de opstuwing in de leidingen. Deze verbetering was belangrijk omdat de weerstand van de leidingen invloed heeft op de doordringing van inlaatwater in het oppervlaktewaterstelsel. (Paragrafen 5.1 en 5.3).

3a Het was niet geheel duidelijk of de tijdens de calibratie bepaalde kwel-grondwaterstandrelaties mogen worden geëxtrapoleerd naar een andere, met name drogere situatie. Hoogst waarschijnlijk zijn de in de scenario's berekende kwelintensiteiten overschat. Dit geldt vooral voor het weerjaar 1976 en de proefgebieden De Oostpolder en Teteringen. (Paragrafen 5.1 en 5.2).

3b Voor een meer betrouwbare berekening van de kwelintensiteit is een regionaal grondwaterstromingsmodel aan te bevelen, waarmee de grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket tussen inzijgings- en kwelgebied, in afhankelijkheid van onttrekkingen voor drinkwater en beregening, wordt berekend.

4a Met het gecalibreerde model kan worden berekend hoever inlaatwater onder verschillende omstandigheden doordringt in het waterlopenstelsel van een gebied. De doordringing is daarbij uitgedrukt als het maximale percentage inlaatwater in een bepaald punt, ongeacht het moment waarop dat maximum wordt bereikt. De verwachting is dat bij de scenario-berekeningen de doordringing van inlaatwater is onderschat als gevolg van:
- een overschatting van de kwelintensiteit, waardoor een te lage inlaatbehoefte is berekend;
- het niet in het model betrokken zijn van een aantal optredende fysische processen als dispersie en opstuwing en menging door de wind. In de onderzochte vlakke, redelijk kale poldergebieden met brede waterlopen kan windinvloed een belangrijke rol spelen.

(Paragrafen 5.2, 5.3 en 6.3).

4b Het verdient aanbeveling om de doordringing van inlaatwater in het oppervlaktewaterstelsel van vlakke, redelijk kale poldergebieden te simuleren met een model waarin de invloed van wind is betrokken. Het gebruikte oppervlaktewatermodel SIMWAT zou met deze optie kunnen worden uitgebreid.

5a Het model berekent enkel voor de waterlopen die in de modelschematisatie als netwerkleidingen zijn geschematiseerd een percentage doorgedrongen inlaatwater. Vanwege beperkingen in tijd zijn de slotenstelsels van de proefgebieden in dit onderzoek niet als netwerkleidingen geschematiseerd, zodat er geen gedetailleerde informatie is verkregen over de doordringing van inlaatwater in de kleinere sloten. Hiervoor is een gemiddeld percentage per subgebied berekend. (Paragrafen 4.3, 5.2 en 5.3).

5b Voor het verkrijgen van een gedetailleerd beeld van de doordringing van inlaatwater in de kleinere sloten verdient het aanbeveling de slotenstelsels van enkele representatieve subgebieden in de modelschematisatie als netwerkleidingen op te nemen. Dit vergt wel een aanzienlijke uitbreiding van de modelschematisatie en de invoergegevens. Voor betrouwbare berekeningen is het dan eveneens noodzakelijk het meetnetwerk tot deze slotenstelsels uit te breiden.

6a Vertaling van de met het model berekende percentages doorgedrongen inlaatwater naar een oppervlaktewaterkwaliteit, in de vorm van waarden van relevante waterkwaliteitsparameters, was slechts mogelijk op een statistische wijze. Uitgangspunt hierbij was de aanname dat er menging van inlaatwater en gebiedseigen water optreedt, zonder dat er fysische, chemische en biologische processen plaatsvinden. Deze processen zijn niet in het gebruikte model betrokken. Uit een vergelijking van de berekende en gemeten waarden van kwaliteitsparameters tijdens waterinlaat is gebleken dat dit mengconcept resultaten geeft die een realistische orde van grootte bezitten voor de beschouwde acht parameters (EGV en gehalten aan H, K, Na, Ca, Mg, Cl, SO_4). Dit mengconcept blijkt minder geschikt te zijn voor de nutriënten NH_4, NO_3 en PO_4. (Paragrafen 6.2. en 6.3).

6b Voor een realistische simulatie van de veranderingen in gehalten van stoffen, vooral van de nutriënten NO_3, NH_4 en PO_4, tengevolge van waterinlaat is het van groot belang te beschikken over modellen, waarin bij de simulering van het stoffentransport in oppervlakte- en grondwater rekening wordt gehouden met optredende fysische, chemische en biologische processen. De verdere ontwikkeling van dergelijke modellen verdient een hoge prioriteit.

7a De vertaalsleutels, samengesteld voor de vertaling van de berekende percentages doorgedrongen inlaatwater naar een resulterende oppervlaktewaterkwaliteit, zijn gebaseerd op de menging van inlaatwater en gebiedseigen oppervlaktewater uit het voorjaar. Hierbij is voor de kwaliteit van de uitgangswateren de gemiddelde samenstelling genomen, met bijbehorende spreiding in ruimte en tijd, zoals gemeten in het veld. De resulterende oppervlaktewaterkwaliteit kent daarom eveneens een bepaalde spreiding. Dit geeft een realistisch beeld aangezien zowel het inlaatwater als het gebiedseigen water een zekere fluctuatie van de kwaliteit in de tijd vertonen. Daarnaast is van belang dat de kwaliteit van het gebiedseigen water varieert in de ruimte, waardoor tijdens waterinlaat een lokatievreemd aspect wordt geïntroduceerd: oppervlaktewater van delen van het gebied die dichtbij het inlaatpunt zijn gelegen, kan tijdens waterinlaat worden opgestuwd tot in de verst van het inlaatpunt weggelegen gebiedsdelen. Naast bijmenging van inlaatwater (gebiedsvreemd water) bestaat er bijmenging van lokatievreemd water. Dit lokatievreemde aspect is in de berekende spreiding betrokken. (Paragraaf 6.2).

8a Met het stroomlijnenmodel STRELIN is het mogelijk gebleken een indruk te verkrijgen van de doordringing van infiltrerend oppervlaktewater in het bodemprofiel van een gebied met relatief hoge kwelintensiteit (Weimeren) en van een gebied met relatief lage kwelintensiteit (Teteringen). De beschrijving van de doordringing in het bodemprofiel van Teteringen is niet volledig omdat hier de waterlopen tot in het eerste watervoerende pakket reiken. Vanuit deze waterlopen infiltreert ingelaten water tot in het eerste watervoerende pakket. Dit geïnfiltreerde gebiedsvreemde water kan elders in het gebied als lokale kwel de wortelzone bereiken. Met de voor de STRELIN-berekeningen beschikbare informatie, verkregen uit de berekeningen met de grondwatermodule SIMUNS, was het niet mogelijk een

uitspraak te doen over de grootte van deze infiltratie en de bijdrage ervan aan de verschillende kwelstromen. (Paragraaf 5.4).

8b Voor een situatie zoals die zich voordoet in Teteringen, met waterlopen die tot in het eerste watervoerende pakket reiken, is het aan te bevelen gebruik te maken van een regionaal grondwaterstromingsmodel, zodat de infiltratie vanuit de waterlopen in het eerste watervoerende pakket, de horizontale verplaatsing van het geïnfiltreerde water in dit pakket en het aandeel van het geïnfiltreerde water aan de kwelstromen elders uit dit pakket kunnen worden berekend.

9a De extrapolatie van de onderzoeksresultaten van de drie proefgebieden naar het gehele onderzoeksgebied was slechts op beperkte wijze mogelijk. Met een uit de modelberekeningen afgeleide empirische relatie was het mogelijk om voor één polder (gebied III), gelegen tussen de proefgebieden Weimeren en De Oostpolder in, op rekenkundige wijze een uitspraak te doen over de gevolgen van waterinlaat voor de kwaliteit van het oppervlaktewater. In twee gebieden (I en IV) waren ten tijde van het onderzoek ruilverkavelingswerken in uitvoering, waardoor er niet voldoende informatie beschikbaar was om een verantwoorde rekenkundige extrapolatie uit te voeren. Voor deze gebieden zijn globale berekeningen gedaan. In het resterende deel van het onderzoeksgebied (gebieden II, V, VI en VII), dat bijna de helft van de totale oppervlakte beslaat, is de structuur van de waterlopenstelsels dusdanig dat er geen dode takken van betekenis voorkomen en/of dat er meerdere inlaat- en uitlaatpunten zijn. Hierin wijken deze gebieden in sterke mate af van de drie proefgebieden, waardoor extrapolatie van de proefgebiedsresultaten naar deze gebieden moeilijk was. In feite zijn de drie proefgebieden niet representatief voor deze gebieden, wat een gevolg is van de noodzaak om proefgebieden te kiezen, met een hydrologisch gezien, eenvoudige, niet diffuse situatie waar bij voorkeur slechts één inlaat- en uitlaatpunt aanwezig zijn. Op grond van de algemene tendens van de modeluitkomsten van de proefgebieden en informatie van de Waterschappen is voor deze gebieden een globale uitspraak gedaan over de doordringing van inlaatwater in het oppervlaktewaterstelsel. (Hoofdstuk 7).

8.2 Conclusies over de onderzoeksresultaten

1 Na waterinlaat in een (zeer) droge zomer bestaat het oppervlaktewater in de proefgebieden op een bepaald moment geheel of bijna geheel uit gebiedsvreemd inlaatwater; slechts in enkele verder van de inlaat gelegen 'dode takken' dringt het gebiedsvreemde water in lage percentages door. De maximale doordringing is het minst in De Oostpolder en het sterkst in Teteringen; in Weimeren is de doordringing ietwat sterker dan in De Oostpolder. De grote verschillen tussen De Oostpolder en Weimeren enerzijds en Teteringen anderzijds zijn vooral het gevolg van de kwelintensiteit, die het hoogst is in Weimeren, iets minder hoog in De Oostpolder en beduidend lager in Teteringen. In Weimeren, met kleine half

verstopte duikers en smalle, dicht begroeide waterlopen, dringt mede als gevolg van de hoge weerstand in leidingen en duikers het inlaatwater minder ver door. (Paragraaf 5.2).

2 In alle drie de proefgebieden is het percentage doorgedrongen inlaatwater afhankelijk van de meteorologische condities en van gebiedsspecifieke omstandigheden als het peilbeheer tijdens inlaat, de kwelintensiteit, de beregeningsintensiteit en eventueel de weerstand van watergangen en duikers (Weimeren). Veranderingen in deze omstandigheden hebben vooral voor Weimeren en in mindere mate De Oostpolder grote invloed op de doordringing, in Teteringen nagenoeg geen. De weerstand van de waterlopen en duikers in Weimeren heeft een relatief geringere invloed op de mate van doordringing. (Paragrafen 5.2 en 5.3).

3 In Weimeren is de infiltratie vanuit de watergangen in het bodemprofiel tijdens de inlaatperiode klein, als gevolg van de hoge kwelintensiteit. In dit gebied dringt het geïnfiltreerde inlaatwater slechts tot enkele meters vanuit de kanten van de watergangen door. In Teteringen is de kwelintensiteit lager en de infiltratie hoger. Hier dringt inlaatwater verder de percelen binnen, tot maximaal 14 m uit de watergangkanten. Tijdens de natte periode verdwijnt het meeste van dit water weer uit de bodem als gevolg van drainage. In alle drie de proefgebieden blijven de centrale delen van de percelen gevrijwaard van beïnvloeding door inlaatwater. Wel kan in Teteringen vanuit de waterlopen tot in het eerste watervoerende pakket geïnfiltreerd water elders in het gebied als lokale kwel de wortelzone bereiken. (Paragraaf 5.4).

4 De kwaliteit van het inlaatwater (Mark- en Markkanaalwater) vertoont een geringe spreiding in de tijd. De spreiding in de tijd en in de ruimte van de gebiedseigen oppervlaktewaterkwaliteit van de drie proefgebieden is groter, voornamelijk tengevolge van de ruimtelijke verschillen in deze waterkwaliteit. De Oostpolder vertoont de geringste spreiding, Weimeren de grootste. De grote ruimtelijke variatie in de kwaliteit van het gebiedseigen water van Weimeren is vooral het gevolg van het voorkomen van een deelgebied met brakke kwel. In het algemeen is de spreiding in de concentratie van de ionen H, Na, K, Ca, Mg, Cl en SO_4 kleiner dan die van de overige ionen. De hoogste spreiding is gevonden voor de nutriënten NH_4, NO_3 en PO_4. (Paragraaf 6.1).

5 Het gebiedseigen oppervlaktewater van De Oostpolder lijkt in sterke mate op het inlaatwater. Dit is minder het geval voor Teteringen. De overeenkomst tussen het inlaatwater en het gebiedseigen oppervlaktewater van Weimeren is zeer gering. Waterinlaat heeft in dit gebied een groot effect op de oppervlaktewaterkwaliteit. In Teteringen is dit effect minder en in De Oostpolder minimaal. In het algemeen betekent inlaat van Mark(kanaal)water in de drie proefgebieden verlaging van de concentraties van de meeste stoffen. Dit geldt vooral voor SO_4 en in mindere mate voor Ca en Mg. Uitzonderingen hierop vormen vooral de nutriënten NO_3 en PO_4. In De Oostpolder en in Teteringen neemt ten gevolge van waterinlaat het Na- en Cl-gehalte toe. Deze toenamen zijn echter gering; het EGV neemt in deze gebieden af.

De afname van de Na-, Mg- en Cl-gehalten in Weimeren is daarentegen aanzienlijk, wat een verzoeting van dit gebied tot gevolg heeft. (Paragraaf 6.1.3).

6 Naast beïnvloeding van de gebiedseigen oppervlaktewaterkwaliteit door gebiedsvreemd inlaatwater speelt beïnvloeding door lokatievreemd water tijdens waterinlaat een rol. Dit geldt vooral voor het brakke kwelgebied in Weimeren. (Paragrafen 6.2 en 6.3).

7 Het grondwater van het eerste watervoerende pakket vertoont voor alle drie de proefgebieden grote overeenkomst met het gebiedseigen oppervlaktewater. Het grondwater van De Oostpolder is het sterkst verwant aan lithogeen water, dat van Weimeren het minst. Teteringen neemt hierbij een intermediaire positie in. In het geval van Weimeren is deze geringe verwantschap gedeeltelijk te verklaren uit de hoge gehalten aan Na en Cl in het grondwater van dit gebied. Anderzijds wijst ze op een zekere antropogene beïnvloeding van het grondwater. In het algemeen duidt dit verschil in verwantschap met lithogeen water op een relatief geringe antropogene beïnvloeding van het grondwater van De Oostpolder en een relatief sterkere antropogene beïnvloeding van het grondwater van Weimeren en Teteringen. (Paragraaf 6.1.3).

8 Over de extrapolatiegebieden kan het volgende worden geconcludeerd:
- De situatie van gebied III neemt een tussenpositie in tussen de situatie van Weimeren en die van De Oostpolder. De doordringing van inlaatwater in het oppervlaktewaterstelsel van dit gebied lijkt in sterke mate op die van de twee proefgebieden: in de dode takken dringt slechts weinig inlaatwater door. Wat betreft de kwaliteit van het oppervlaktewater en de invloed van waterinlaat daarop is gebied III waarschijnlijk het meest verwant aan De Oostpolder.
- In de gebieden I en IV komen evenals in de proefgebieden dode takken in het waterlopenstelsel voor. Gebied I vertoont voor wat betreft hydrologische en bodemkundige kenmerken overeenkomsten met De Oostpolder en gebied IV met Weimeren. Aangenomen mag worden dat in deze gebieden in de verst van de inlaat weggelegen dode takken slechts weinig inlaatwater doordringt.
- In de gebieden II, V, VI en VII komen geen dode takken van betekenis in het waterlopenstelsel voor. In gebied II wordt op meerdere punten water ingelaten. De gebieden V, VI en VII fungeren als doorvoergebieden naar achterliggende inlaatgebieden. Van deze gebieden is vanuit de Waterschappen bekend dat er beduidend meer water wordt ingelaten dan in de proefgebieden. Gezien de modeluitkomsten mag van deze gebieden worden aangenomen dat het inlaatwater, tijdens een droge periode, in het gehele oppervlaktewaterstelsel doordringt. Het oppervlaktewater van deze gebieden zal tijdens waterinlaat uiteindelijk nagenoeg volledig de kwaliteit van het inlaatwater bezitten. (Hoofdstuk 7).

LITERATUUR

Bles, B.J., M. Knotters en A.G. Beekman, 1988. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied "Teteringen". Wageningen, STIBOKA. Rapport 1905.
Bodemkaart, 1987. Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. Blad 44 West, Oosterhout. Wageningen, STIBOKA.
Bon, J., 1967. Bepaling van de k_M voor het ontwerpen van leidingen. Waterschapsbelangen 52(21).
Bos, M.G. (editor), 1976. Discharge measurement structures. Wageningen, ILRI. Publication no. 20.
Ernst, L.F., 1962. Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij de aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Wageningen, PUDOC.
Fahner, F., 1990. Ecologische aspecten van het waterbeheer in de overgangszone zand/klei van Noord-Brabant. Dienst Ruimtelijke Ordening, Natuur en Volkshuisvesting, Provincie Noord-Brabant.
Gelok, A.J., 1970. Beschrijving computerprogramma DIWA. Berekening waterlopenplan met grondverzet. Utrecht, Landinrichtingsdienst. Mededelingen 88.
Langbein, J.B.M. en E.G. Lekahena, 1976. Grondwaterkaart van Nederland. Inventarisatierapport West-Brabant, kaartbladen: 43 Oost en 44 West. Delft, DGV-TNO.
Leenen, J.D., 1982. Wind induced diffusion in a shallow lake, a case study. Hydrobiological bulletin 16(2-3), pag. 231-240.
Lijklema, L. en G. van Straten, 1977. De waterbeweging in het plassengebied van N.W. Overijssel. H_2O (10), nr. 16, pag. 360-363.
Mulschlegel, J., 1986. Subregionaal geohydrologisch onderzoek in het oostelijk deel van west Noord-Brabant. Leidschendam, RIVM. Rapport nr. 840347007.
Olsthoorn, T.N., 1982. Praktisch ijken van grondwatermodellen. Civiele en bouwkundige techniek nr. 2, februari 1982, pag. 27-34.
Post, H. en P.J.T. van Bakel, 1986. Onderzoek waterbeheer in de ruilverkaveling 'Ruinerwold-Koekange'. Utrecht, Landinrichtingsdienst. Mededelingen 164.
Querner, E.P. and P.J.T. van Bakel, 1989. Description of the regional groundwater flow model SIMGRO. Wageningen, Staring Centrum. Report 7.
Weerd, B. van der, 1966. Apparatuur voor het meten van slootkwel. Cultuurtechnisch tijdschrift, 1966, blz. 238 t/m 244.
Werkgroep HELP-Tabel, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Utrecht, Landinrichtingsdienst. Mededelingen 176.
Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. Cultuurtechnisch vademecum. Utrecht, Cultuurtechnische vereniging.
Werkgroep Landbouwwatervoorziening Zoommeer, 1987. Watervoorziening voor de landbouw uit het Zoommeer. Onderzoeksrapport. Utrecht, Landinrichtingsdienst.
Wijvekate, M.L., 1966. Verklarende statistiek. Utrecht, AULA-boeken.
Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staringreeks. Wageningen, ICW. Rapport 18.

NIET-GEPUBLICEERDE BRONNEN

Ernst, L.F., 1972. Formules voor de grondwaterstroming bij infiltratie van water vanuit opgestuwde open leidingen. Wageningen, ICW. Nota 680.
Ernst, L.F., 1978. Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. Wageningen, ICW.
Groenendijk, P., 1988. Onderzoek naar de effecten van water aanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Deel 8, STRELIN, een computerprogramma voor de berekening van stroomlijnen, potentialen en verblijftijden. Wageningen, ICW Nota 1810.
Helmich, M., 1986. Ruilverkaveling Teteringen. Natuur, landschap en cultuurhistorie. NMF Noord-Brabant.
Hendriks, R.F.A., 1988a. Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Deel 10: Berekeningen van de regionale grondwaterstroming in het gebied rondom de Tondense heide met behulp van het model SIMGRO. Wageningen, ICW Nota 1876.
Hendriks, R.F.A., 1988b. Effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water op de waterkwaliteit in een kwelgebied. Deel 1: Onderzoeksplan, keuze en beschrijving van de proefgebieden. Wageningen, ICW Nota 1883.
Jansen, P.C., 1986a. De beworteling van (half-)natuurlijke vegetaties. Wageningen, ICW Nota 1698.
Jansen, P.C., 1986b. De potentiële verdamping van (half-) natuurlijke vegetaties. Wageningen, ICW Nota 1703.
Kraijenhoff van de Leur, D.A. en R.H. Pitlo, 1977. Korte inleiding tot de hydraulica. Wageningen, Landbouw Hogeschool. Collegedictaat Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie.
Laan, van der P., 1978. Handleiding kandidaatsvak Toegepaste Statistiek, TS 7 (steekproeftechniek). Wageningen, Landbouw Hogeschool. Collegedictaat Vakgroep Wiskunde.
Landinrichtingsdienst, 1987. Landinrichtingsproject Teteringen. Voorstel tot aanvullend hydrologisch onderzoek. Tilburg, Landinrichtingsdienst, Provinciale Directie Noord-Brabant, Afdeling Onderzoek.
Massop, H.T.L., 1988. Infiltratieweerstanden in het zuidelijk deel van de provincie Zuid-Holland. Wageningen, ICW Nota.
Provinciale Raad voor de Bedrijfsontwikkeling in Noord-Brabant, 1987. Landbouwstructuuradvies voor de ruilverkaveling Teteringen.
Querner, E.P., 1984. Program FEMSAT, Part 1 - Calculation method for steady and unsteady groundwater flow. Wageningen, ICW Nota 1557.
Querner, E.P., 1985. De invloed van vegetatie op het water doorvoerend vermogen van een waterloop. Wageningen, ICW Nota 1600.
Querner, E.P., 1986. Simulation of flow in surface water systems. Wageningen, ICW Nota 1746.
Querner, E.P., 1987. Program SIMPRO, User's manual, Version 1.1. Wageningen, ICW Nota ....
Querner, E.P., 1988a. Berekening doorspoelbehoefte voor Goeree-Overflakkee en Voorne-Putten voor bestrijding verzilting. Wageningen, ICW Nota 1864.

Querner, E.P., 1988b. Data management program for groundwater and surface water models (draft). Wageningen, ICW Nota 1903.

Querner, E.P., 1989. Program SIMWAT, User's manual, Version 2.1. Wageningen, ICW Nota 1964.

Souer, M.A., 1988. MAIONF versie 2.0. Een computerprogramma in FORTRAN voor de primaire verwerking van fysisch-chemische gegevens van watermonsters. Arnhem, RIN. Intern rapport 88/65.

Toorn, A. van den, 1981. Het nemen van grondwatermonsters. Wageningen, ICW Nota 1242.

Vakgroep Cultuurtechniek LH, 1979. Waterbeheersing. Wageningen, Landbouw Hogeschool. Collegedictaat.

Wesseling, J.G., G.W. Bloemen and W.A.J.M. Kroonen, 1984. Computer program CAPSEV. Wageningen, ICW Nota 1500.

AANHANGSEL 1

TAXATIE VAN DE ONDERHOUDSGRAAD VAN WATERLOPEN VOLGENS BON

Met het onderstaande taxatieschema volgens Bon (1967), kan de onderhoudsgraad van een waterloop worden geschat. Voor een zestal aspecten (1 t/m 6) worden vijf toestanden (A t/m E) onderscheiden. Door voor een bepaalde waterloop van elk aspect de betreffende toestand te bepalen en de daarbij behorende taxatie (1 t/m 25), de taxaties van de verschillende aspecten bij elkaar op te tellen en het totaal te delen door 6, wordt de onderhoudsgraad van de betreffende waterloop verkregen.

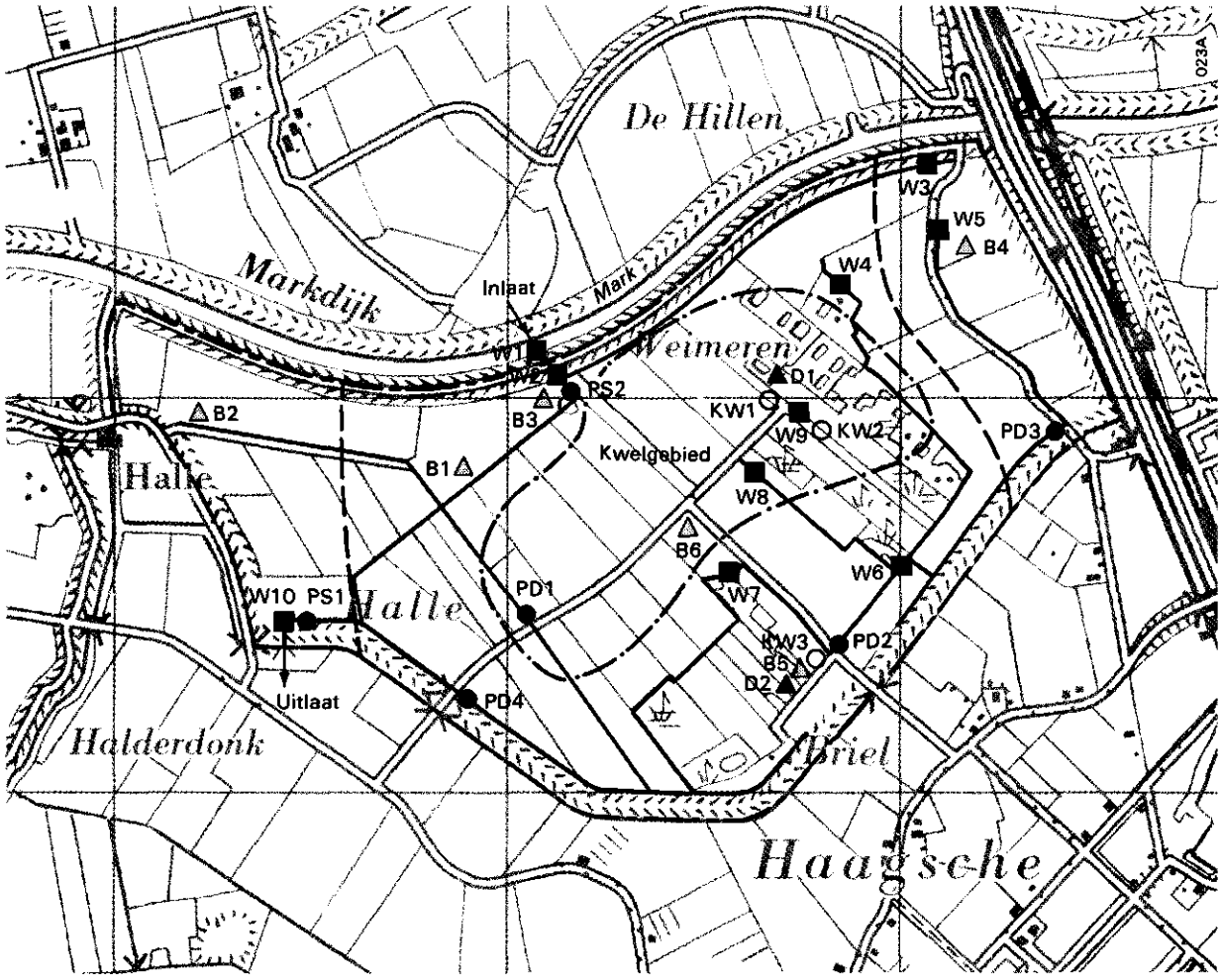
		A	B	C	D	E
	taxatie	1 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25
1	waterbreedte bij h > 10cm id bij h < 10cm	h >1,50m	0,75-1,5m >1,50 m	<0,75m 0,75-1,50m	<0,75 m h<0,1m	
2	bodembedekking (bovenaanzicht)	0 - 10 %	10 - 25 %	25 - 50 %	> 50 %	
3	verkleining doorstromingsprofiel	0 - 10 % <3/20 h	10 - 25 % 3/20 - 1/3 h	25 - 50 % 1/3 - 2/5 h		> 50 % > 2/5 h
4	onderwater talud	glad	matig	vrij ruw	ruw	zeer ruw
5	obstakels in verhouding tot waterdiepte	geen zandribbels	weinig stenen, blad, enkele dwarskuilen	matig puin, bladhopen, zandbanken	groot steenblokken, stronken, stroomversnellingen	
	of					
	opstuwing door duikers, pijlers	geen	gering 1-5 cm	matig 5-10 cm	sterk >10 cm	
6	materiaal transport	helder water weinig drijvend vuil	troebel water zandtransport of veel drijvend vuil			

023A

AANHANGSEL 2

LIGGING VAN DE MEETPUNTEN VAN SLOOTKWEL EN GROND- EN OPPERVLAKTEWATERPEIL EN BEMONSTERINGSLOKATIES VAN HET OPPERVLAKTEWATER VOOR DE DRIE PROEFGEBIEDEN

2.1 Weimeren



Topografie: Top. Dienst

0 0,5 1km

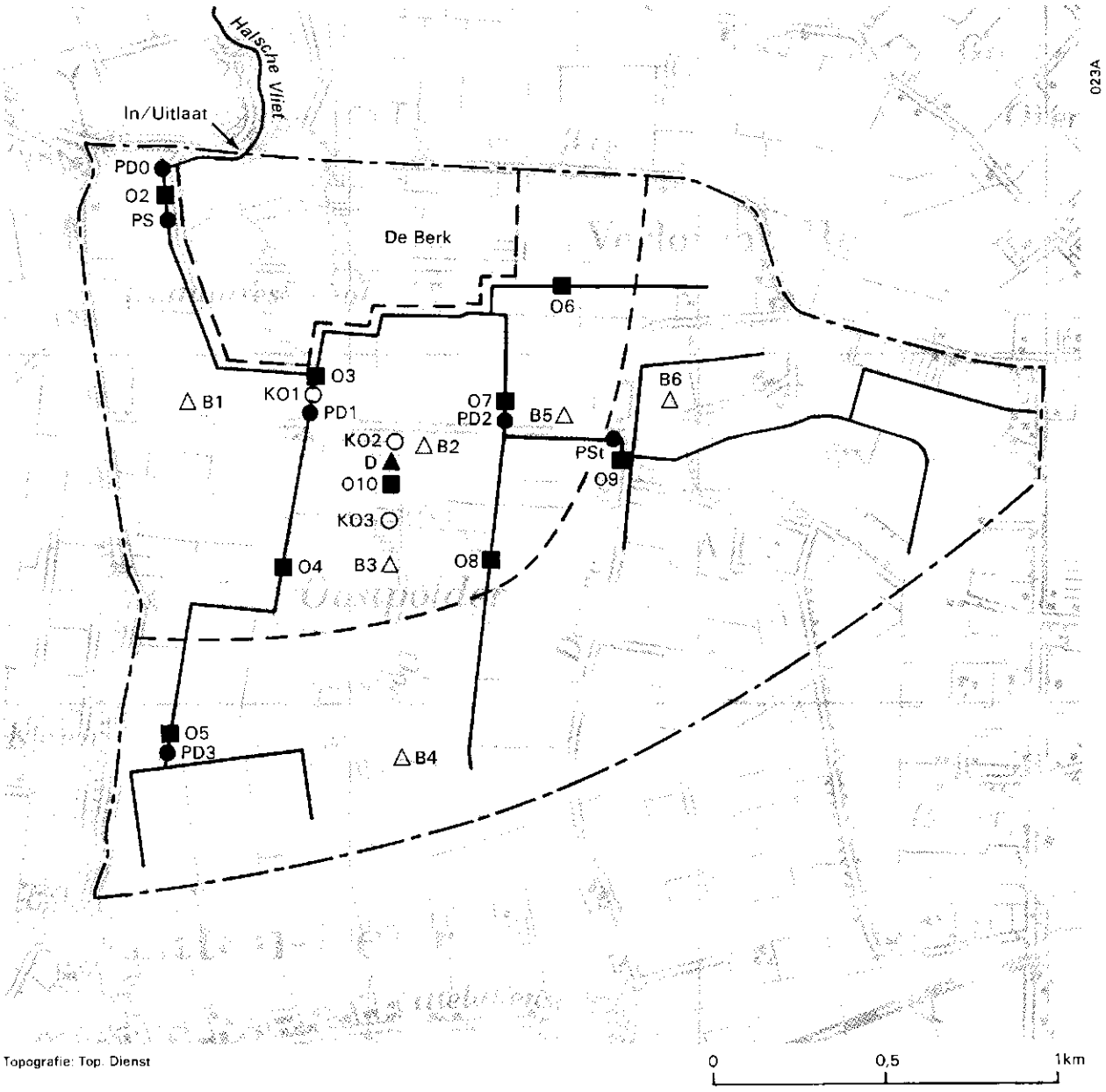
Grens proefgebied
Grens kwelgebied begin nov.'88
Grens "brakke kwelgebied"
Hoofdwaterloop
KW Slootkwelmeetpunt
W Bemonsteringslokatie

Oppervlaktewaterpeilmeetpunten
PS Peilschrijver
PD Duiker

Grondwaterpeilmeetpunten
B Freatisch
D Eerste w.p.

2.2 De Oostpolder

Opmerking: bemonsteringslokatie O1 bevindt zich circa 2,5 km ten noorden van De Oostpolder in de Halsche Vliet.

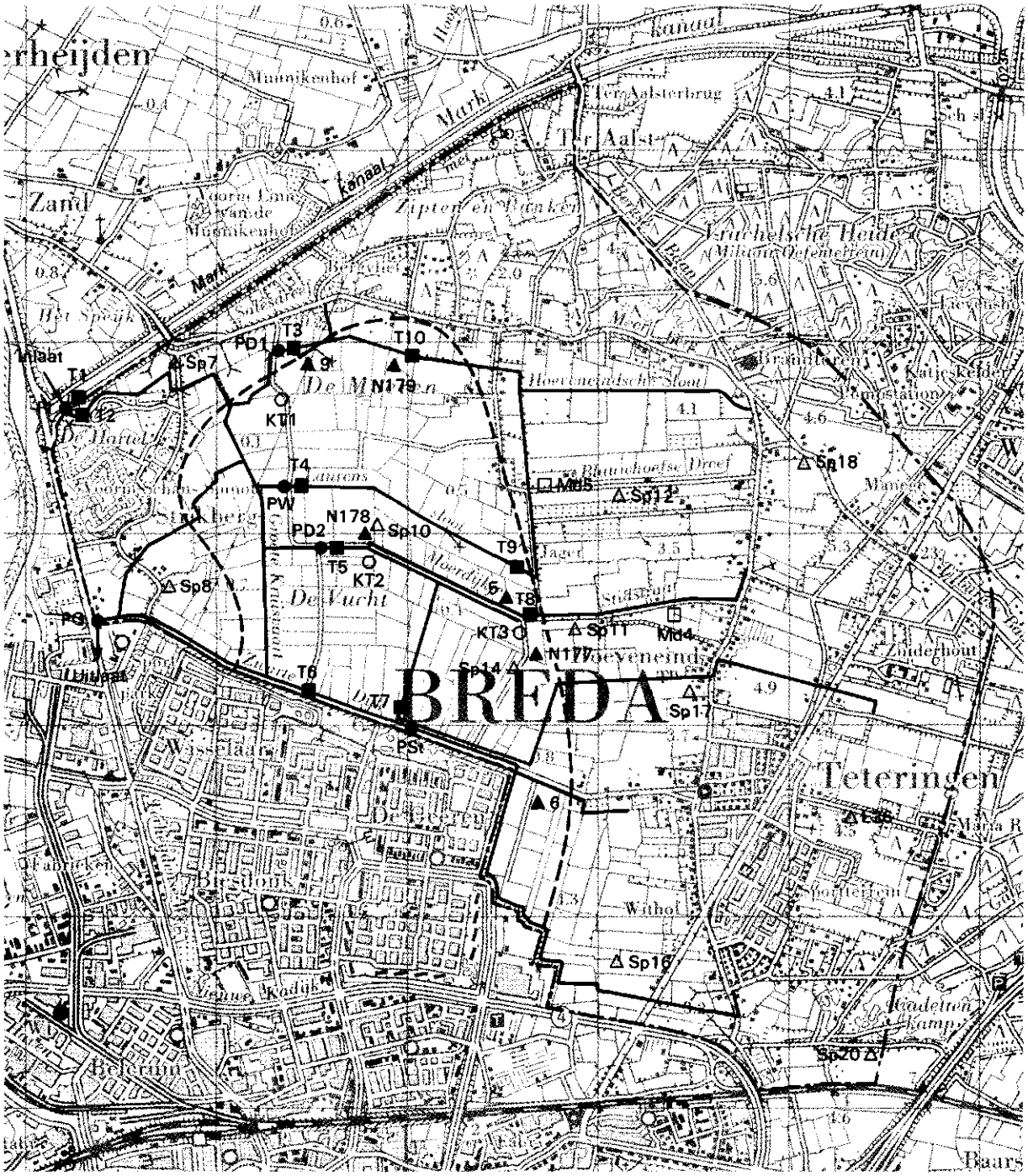


Grens proefgebied
Grens kwelgebied begin nov.'88
Hoofdwaterloop
KO Slootkwelmeetpunt
O Bemonsteringslokatie

Oppervlaktewaterpeilmeetpunten:
PS Peilschrijver
PD Duiker
PSt Stuw

Grondwaterpeilmeetpunten:
B Freatisch
D Eerste w.p.

2.3 Teteringen



Topografie: Top. Dienst

0 1km

—·— Grens proefgebied
— — — Grens kwelgebied begin nov.'88
——— Hoofdwaterloop
○ KT Slootkwelmeetpunt
■ T Bemonsteringslokatie
□ Md Bemonsteringspunt eerste w.p.

Oppervlaktewaterpeilmeetpunten:
● PG Gemaal
● PI Waterinlaat
● PW Peilschaal 'WACO'
● PD Duiker
● PSt Stuw

Grondwaterpeilmeetpunten:
△ Freatisch
▲ Combinatie freatisch en eerste w.p.

AANHANGSEL 3

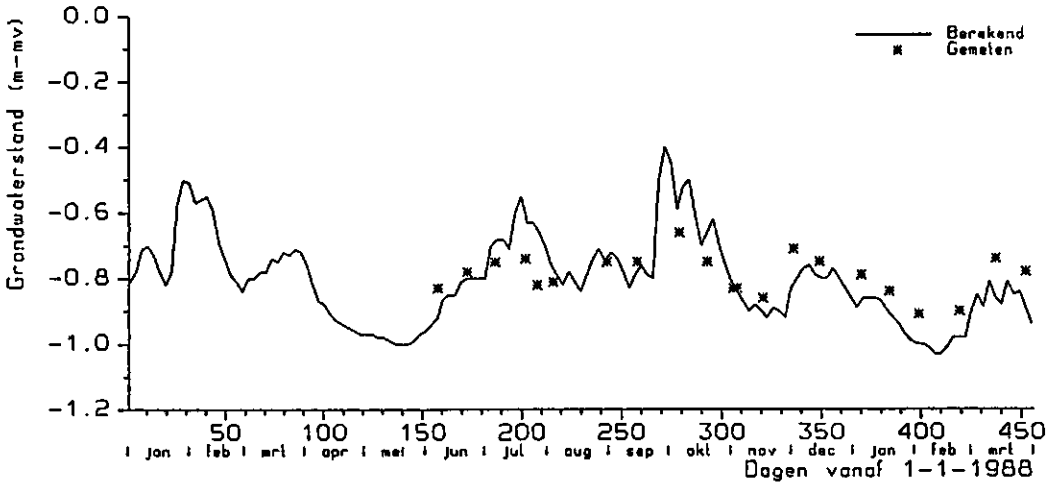
HET BEREKENDE EN GEMETEN VERLOOP VAN HET GROND- EN OPPERVLAKTEWATERPEIL EN DE BIJBEHORENDE F-WAARDEN VOOR DE MEETPUNTEN VAN DE DRIE PROEFGEBIEDEN

In dit aanhangsel is voor alle meetpunten van de drie proefgebieden een vergelijking gemaakt tussen berekende en gemeten waarden. Per gebied is eerst een grafische vergelijking van het berekende en gemeten verloop van het grondwaterpeil gegeven, gevolgd door de bijbehorende fouten (F-waarden; zie par. 5.2 van de hoofdtekst). Vervolgens is hetzelfde gegeven voor het oppervlaktewaterpeil. Indien achter een meetpunt van het oppervlaktewaterpeil '(inlaat)' staat geschreven, betekent dit dat de betreffende vergelijking enkel betrekking heeft op de inlaatperiode van het betreffende gebied.

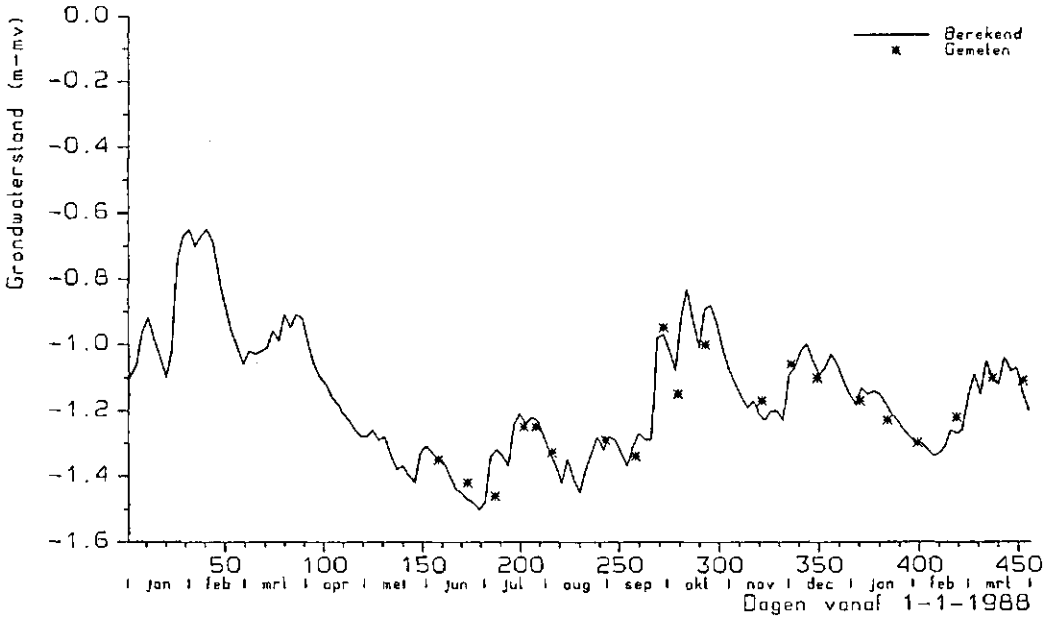
Voor de ligging van de meetpunten, zie aanhangsel 2.

3.1 Weimeren

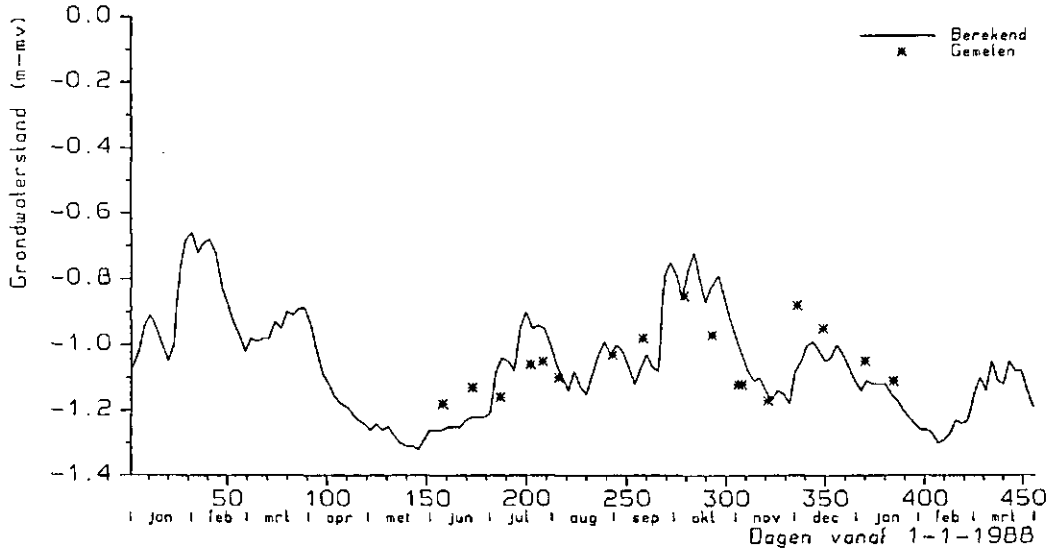
3.1.1 Grondwater



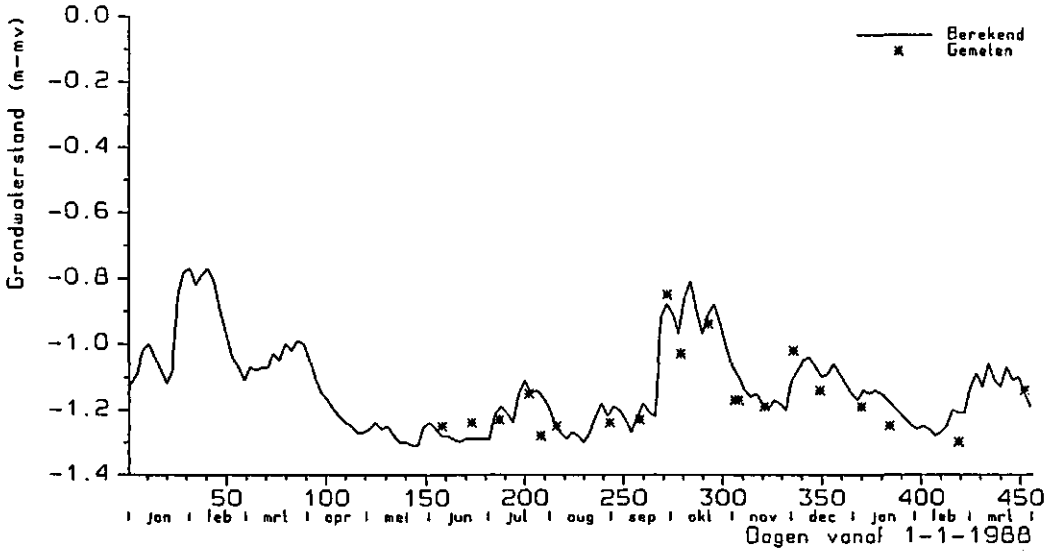
Weimeren, grondwater, meetpunt B1.



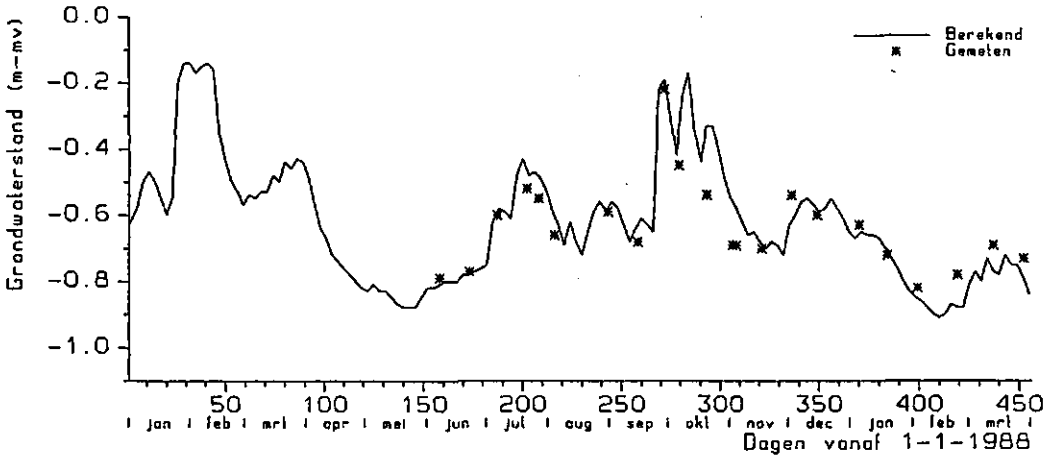
Weimeren, grondwater, meetpunt B2.



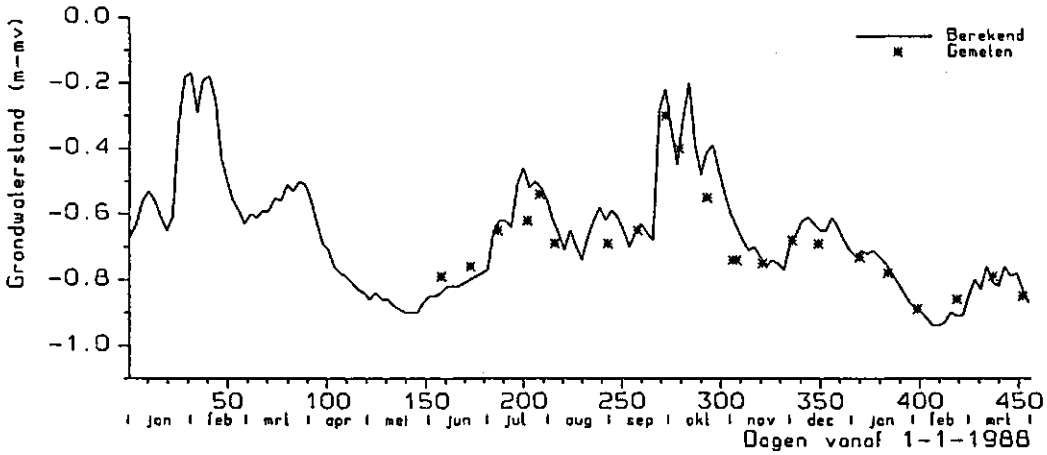
Weimeren, grondwater, meetpunt B3.



Weimeren, grondwater, meetpunt B4.



Weimeren, grondwater, meetpunt B5.

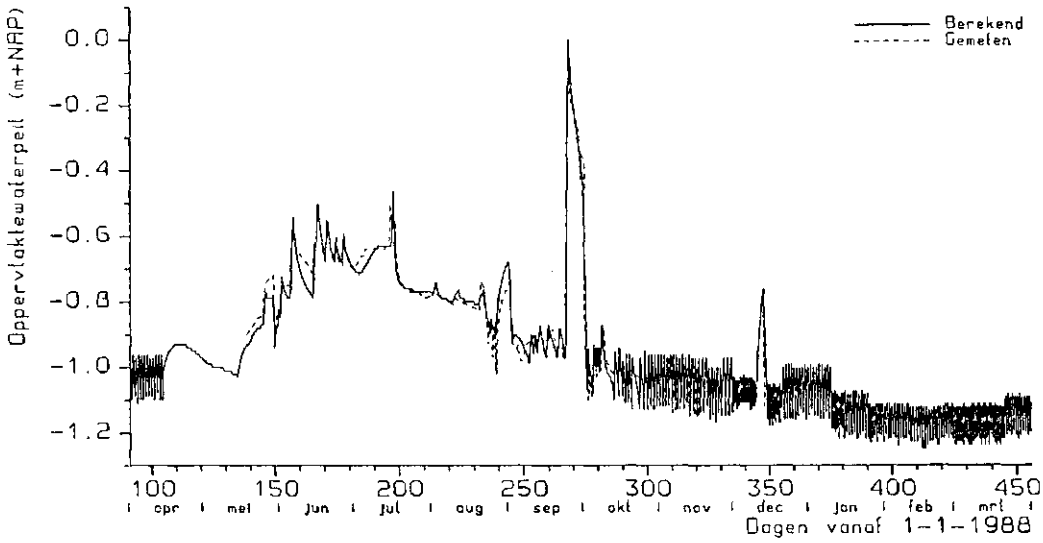


Weimeren, grondwater, meetpunt B6.

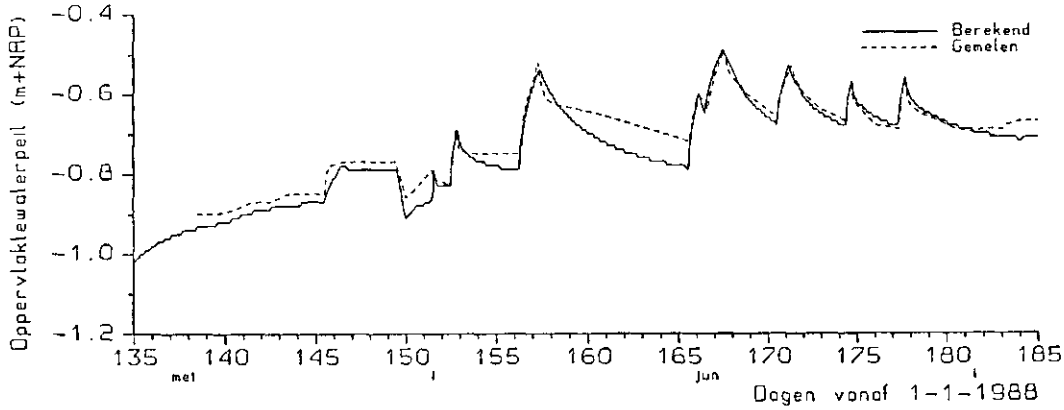
F-waarden voor de grondwaterpeilen van Weimeren (n is het aantal vergelijkingspunten)

Meetpunt	F-waarde (m)	n (-)
B1	0,09	21
B2	0,06	20
B3	0,10	17
B4	0,06	20
B5	0,08	22
B6	0,06	22
Gehele gebied	0,07	122

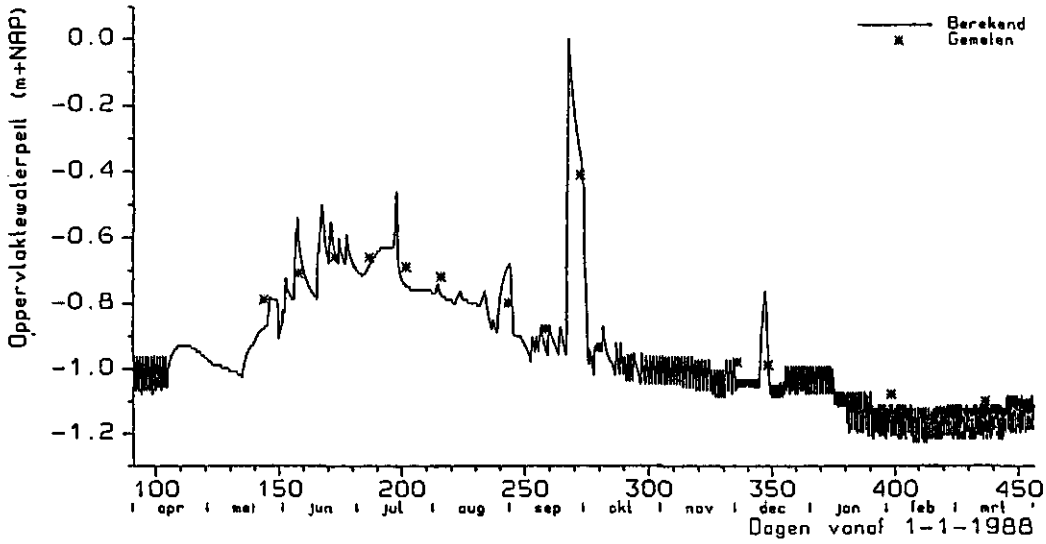
3.1.2 Oppervlaktewater



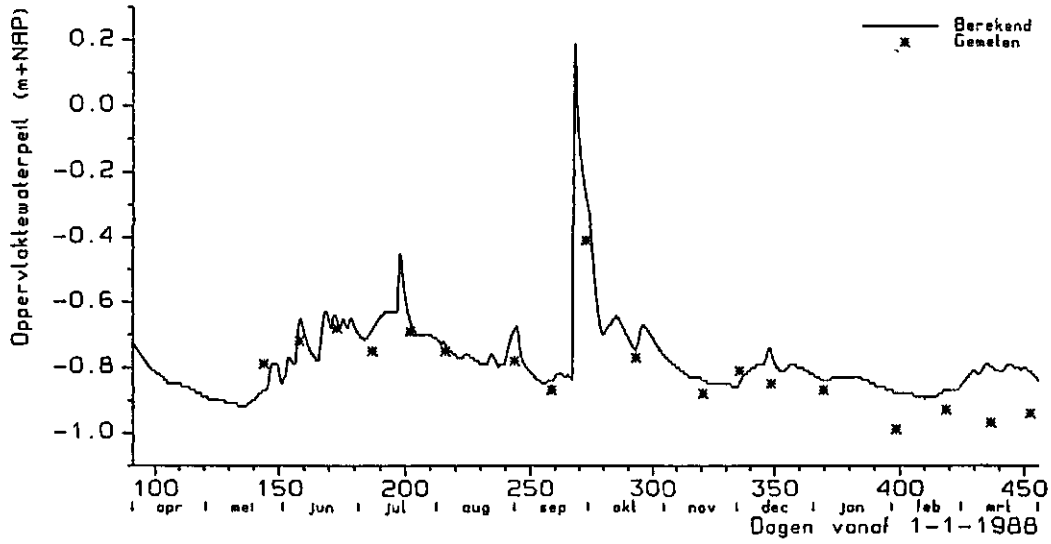
Weimeren, oppervlaktewater, meetpunt PS1.



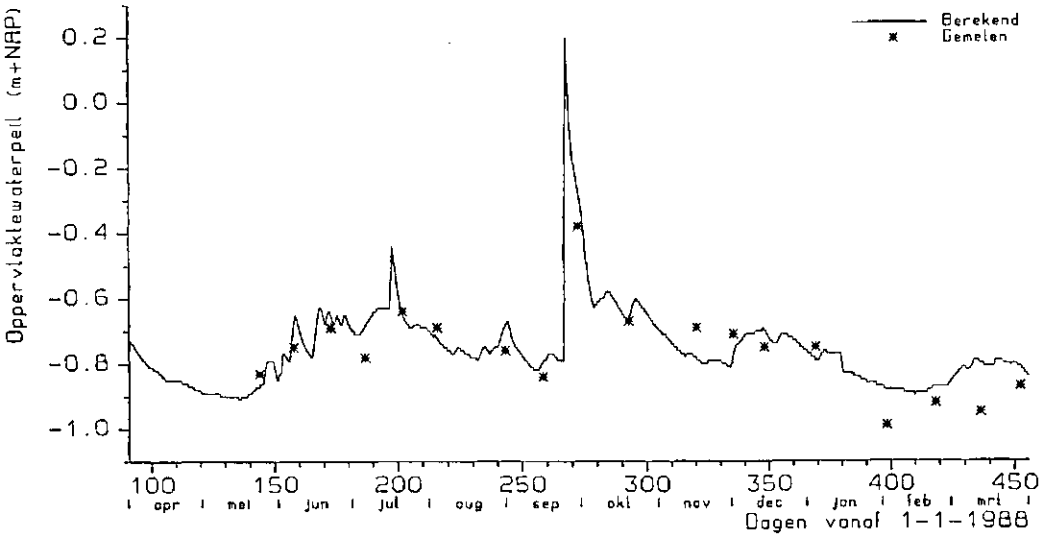
Weimeren, oppervlaktewater, meetpunt PS2 (inlaat).



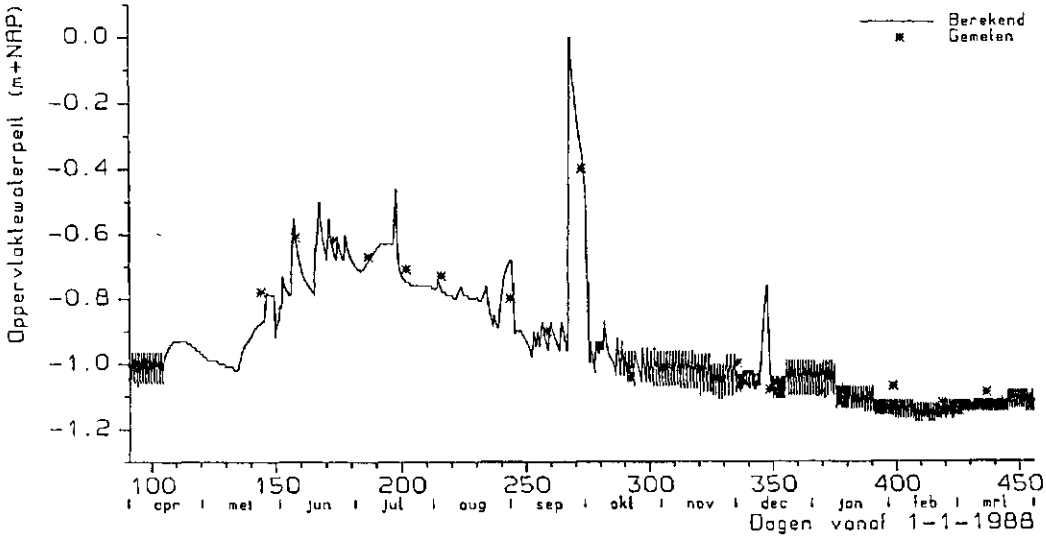
Weimeren, oppervlaktewater, meetpunt PD1.



Weimeren, oppervlaktewater, meetpunt PD2.



Weimeren, oppervlaktewater, meetpunt PD3.



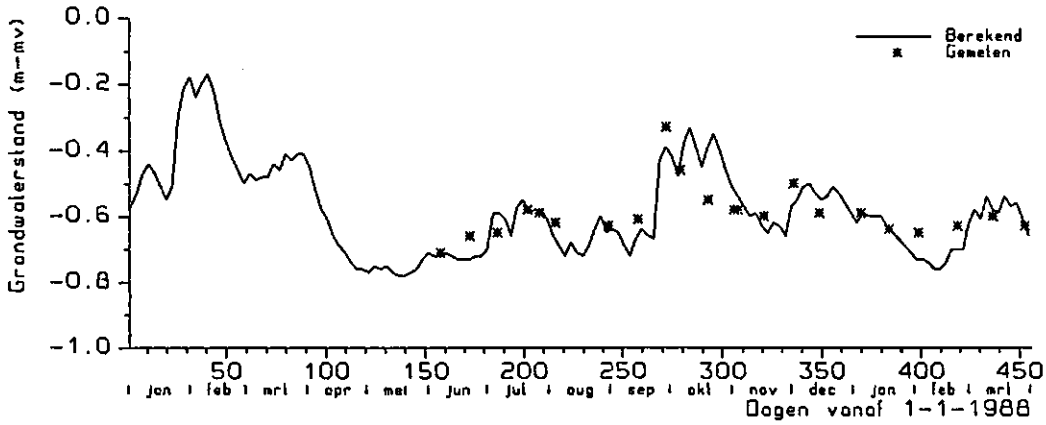
Weimeren, oppervlaktewater, meetpunt PD4.

F-waarden voor de oppervlaktewaterpeilen van Weimeren (n is het aantal vergelijkingspunten)

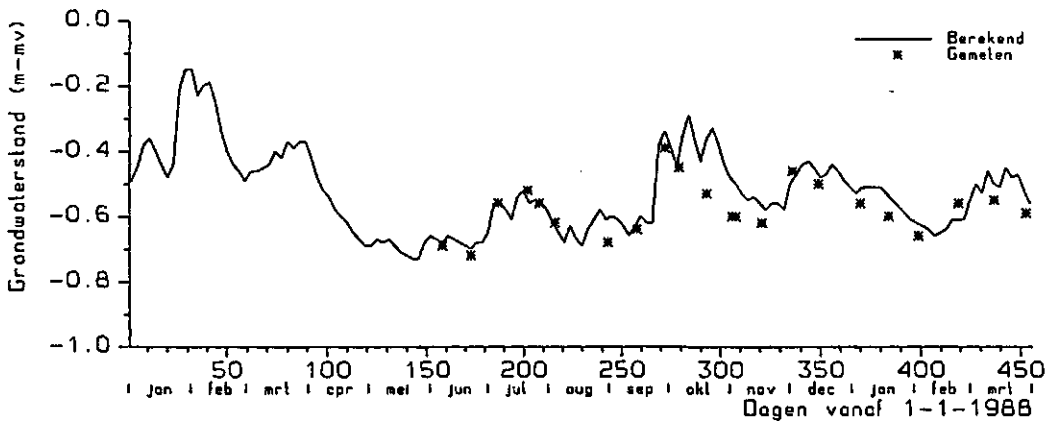
Meetpunt	F-waarde (m)	n (-)
PS1	0,06	271
PS2 (inlaat)	0,05	204
PD1	0,06	18
PD2	0,08	18
PD3	0,07	18
PD4	0,06	18
Gehele gebied	0,06	547

3.2 De Oostpolder

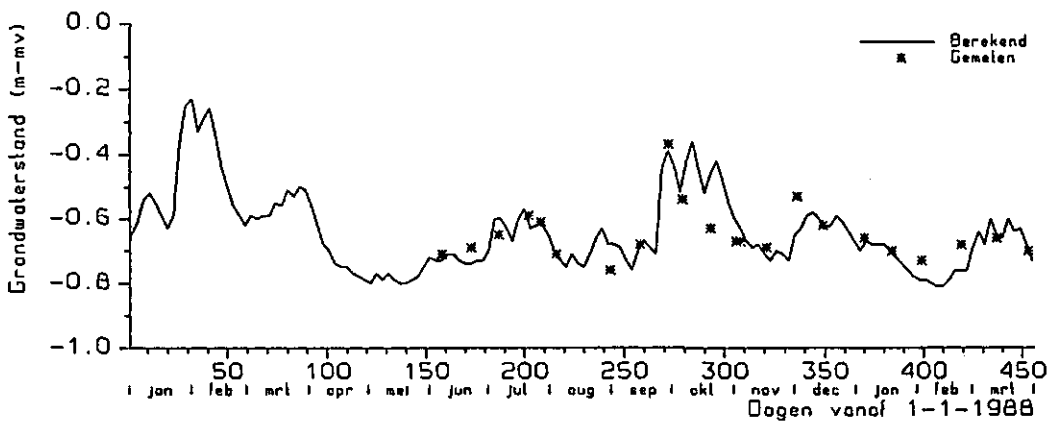
3.2.1 Grondwater



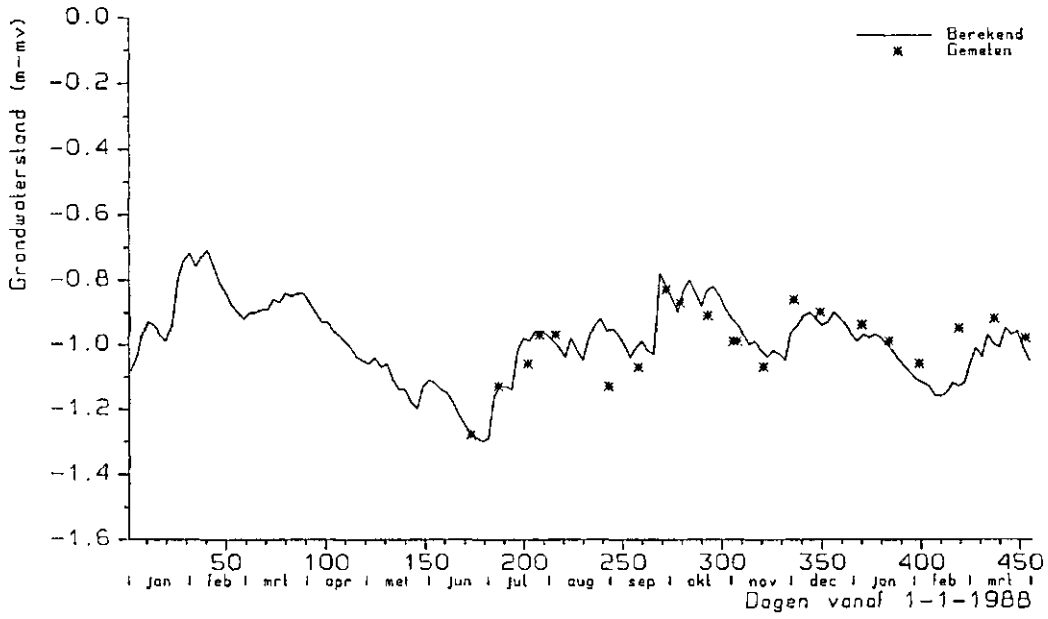
De Oostpolder, grondwater, meetpunt B1.



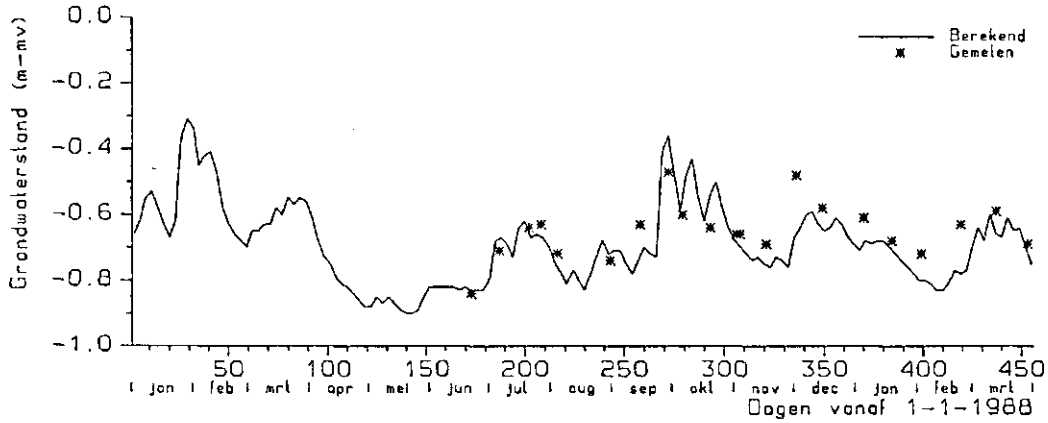
De Oostpolder, grondwater, meetpunt B2.



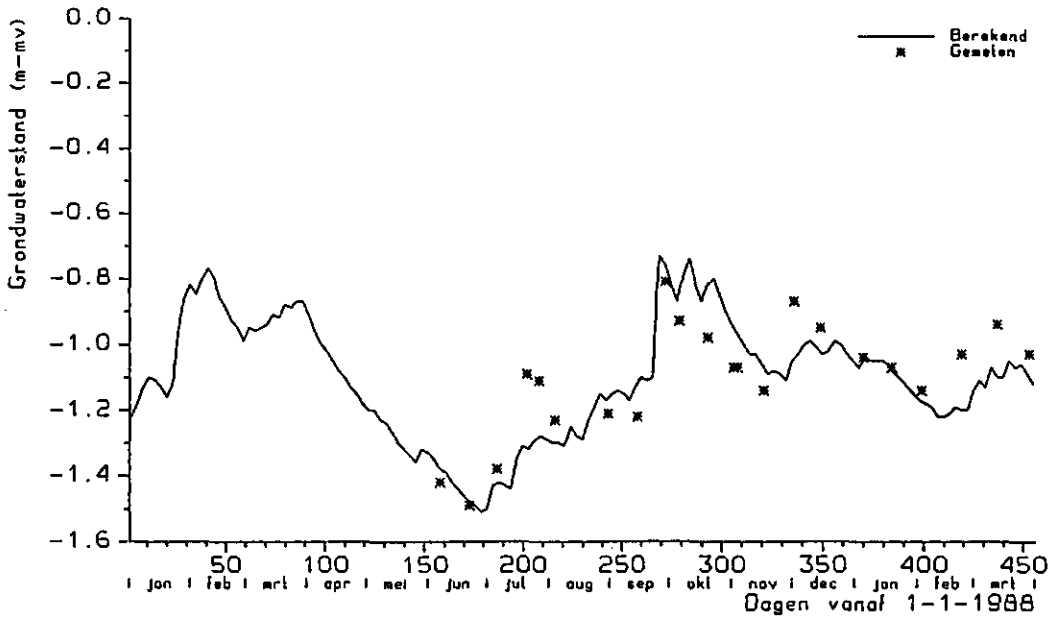
De Oostpolder, grondwater, meetpunt B3.



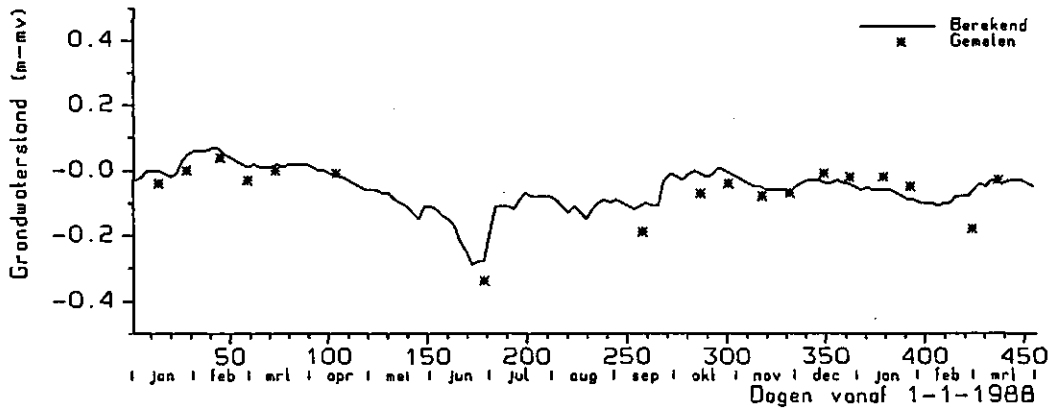
De Oostpolder, grondwater, meetpunt B4.



De Oostpolder, grondwater, meetpunt B5.



De Oostpolder, grondwater, meetpunt B6.

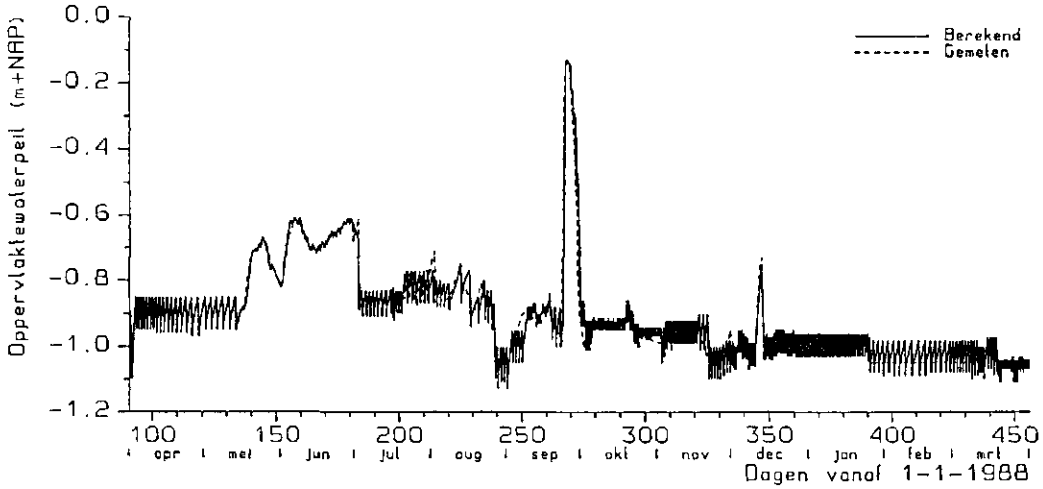


De Oostpolder, grondwater, meetpunt 'Berk'.

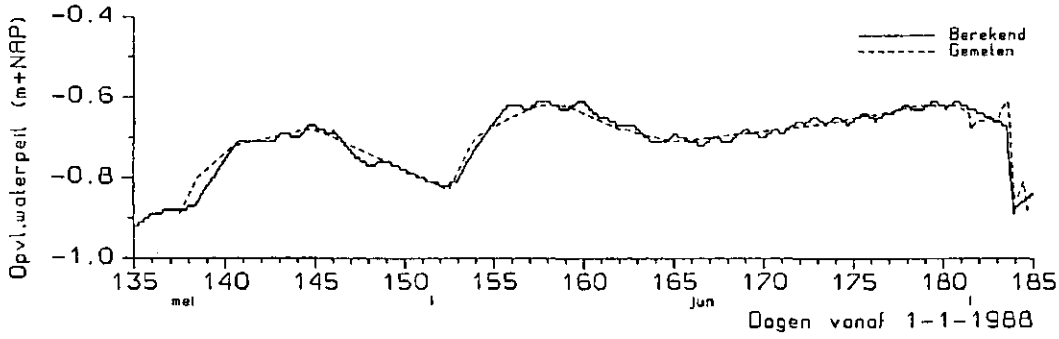
F-waarden voor de grondwaterpeilen van De Oostpolder (n is het aantal vergelijkingspunten)

Meetpunt	F-waarde (m)	n (-)
B1	0,06	22
B2	0,06	22
B3	0,06	22
B4	0,07	21
B5	0,08	21
B6	0,11	22
'Berk'	0,05	18
Gehele gebied	0,07	148

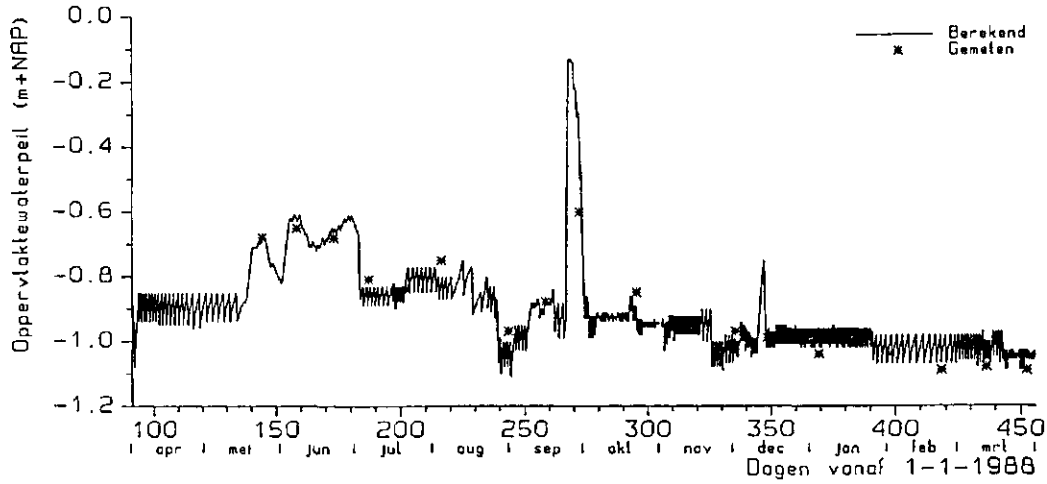
3.2.2 Oppervlaktewater



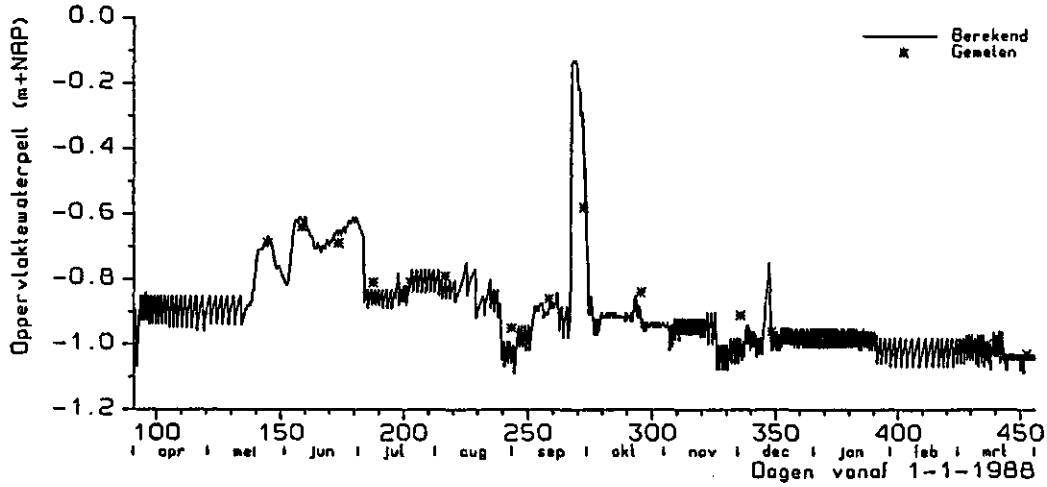
De Oostpolder, oppervlaktewater, meetpunt PS.



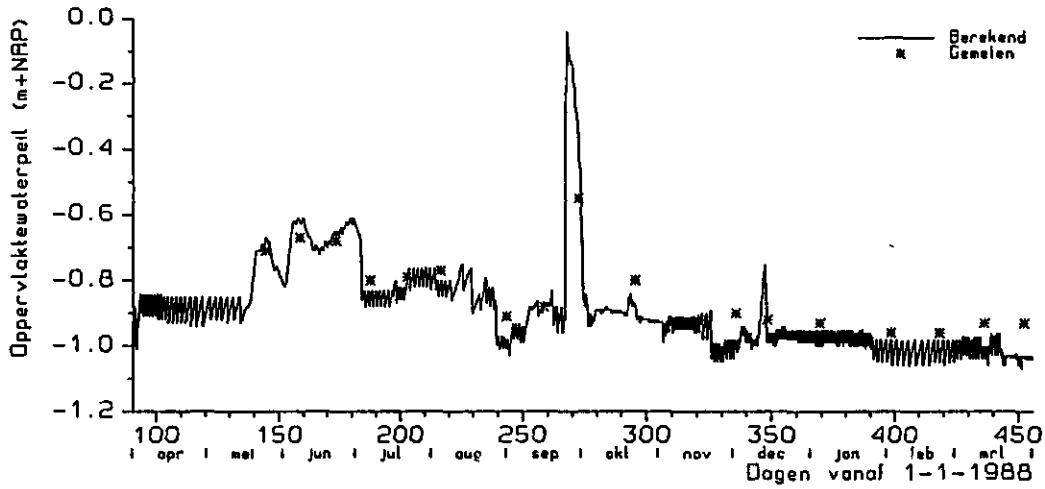
De Oostpolder, oppervlaktewater, meetpunt PS (inlaat).



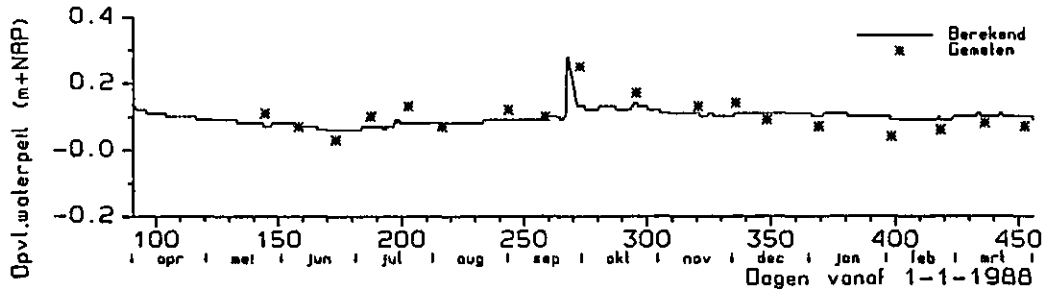
De Oostpolder, oppervlaktewater, meetpunt PD1.



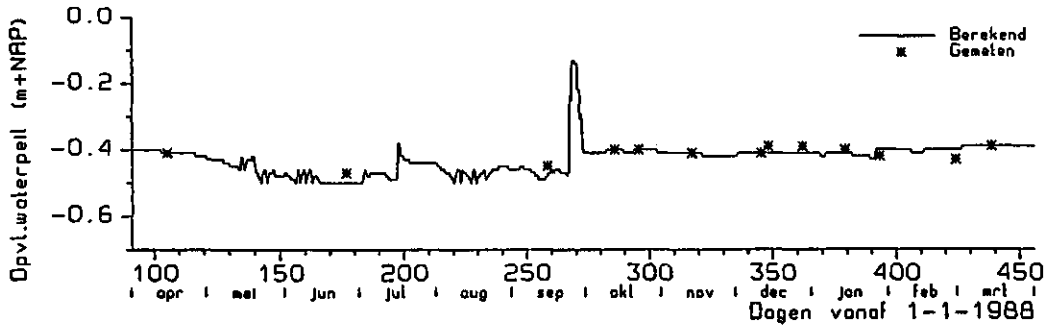
De Oostpolder, oppervlaktewater, meetpunt PD2.



De Oostpolder, oppervlaktewater, meetpunt PD3.



De Oostpolder, oppervlaktewater, meetpunt PSt.



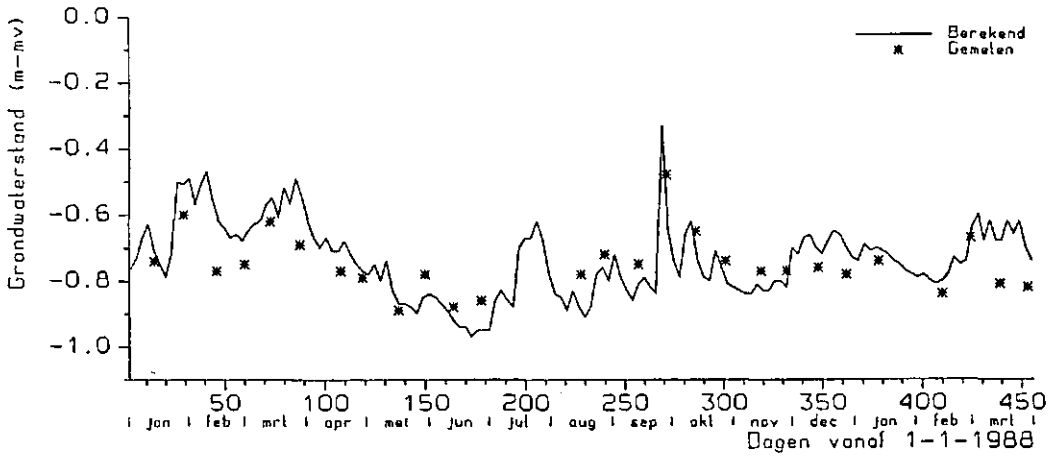
De Oostpolder, oppervlaktewater, meetpunt 'Berk'.

F-waarden voor de oppervlaktewaterpeilen van De Oostpolder (n is het aantal vergelijkingspunten)

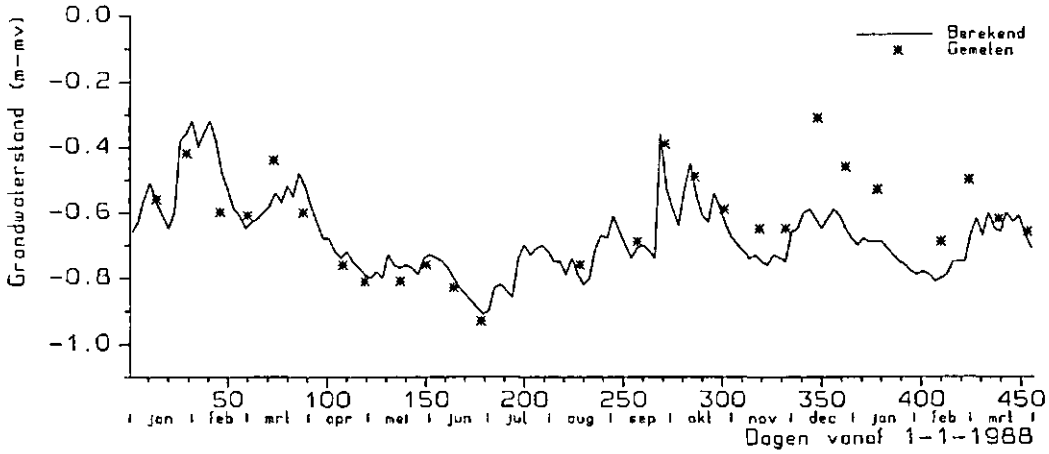
Meetpunt	F-waarde (m)	n (-)
PS	0,08	134
PS (inlaat)	0,03	34
PD1	0,06	18
PD2	0,06	18
PD3	0,07	18
PSt	0,04	18
'Berk'	0,02	13
Gehele gebied	0,06	219

3.3 Teteringen

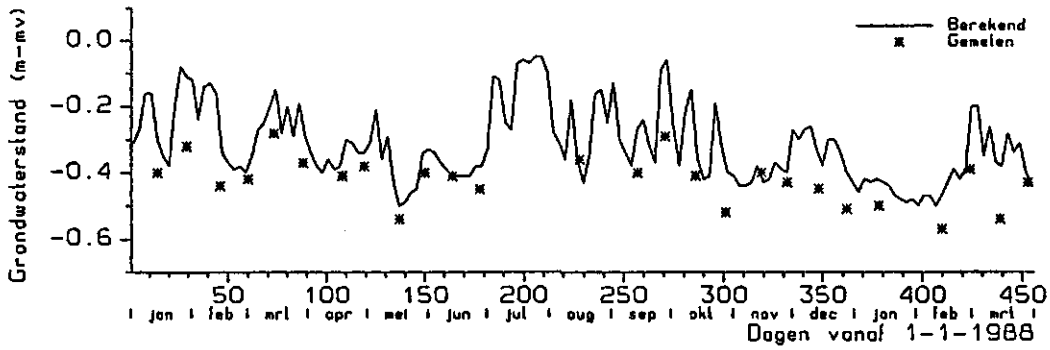
3.3.1 Grondwater



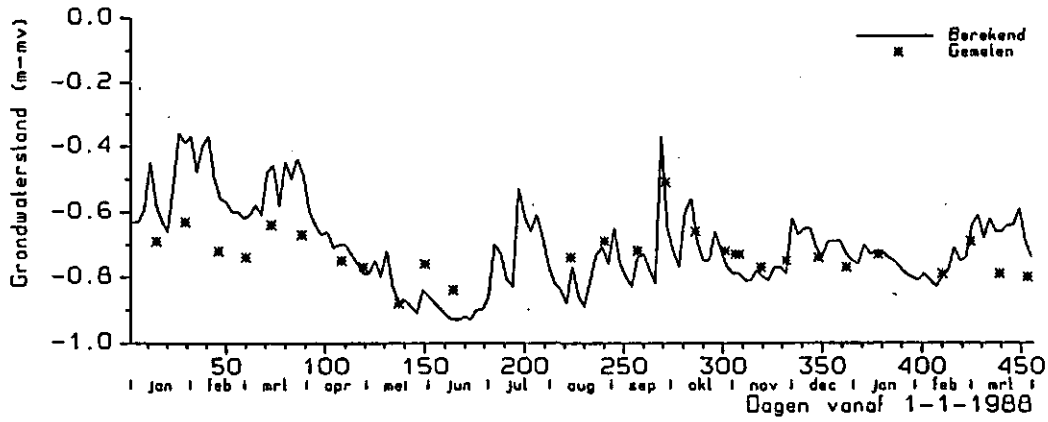
Teteringen, grondwater, meetpunt 5.



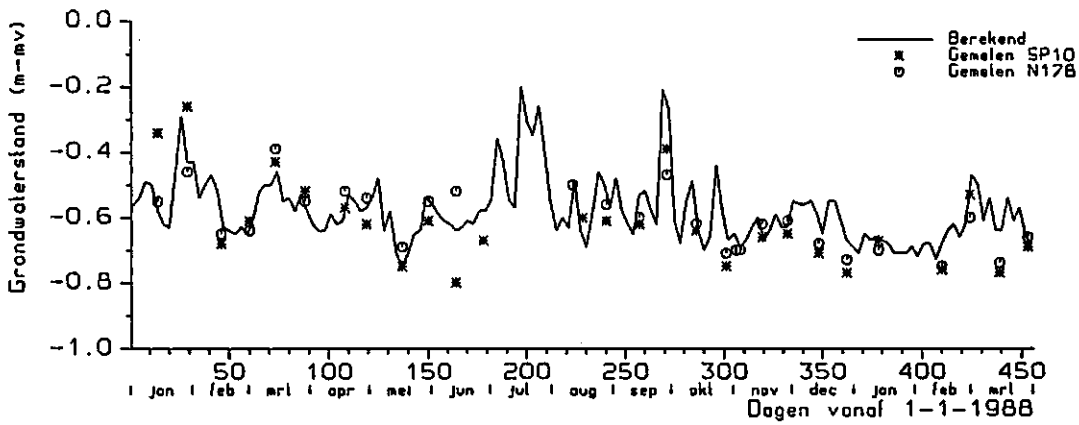
Teteringen, grondwater, meetpunt 6.



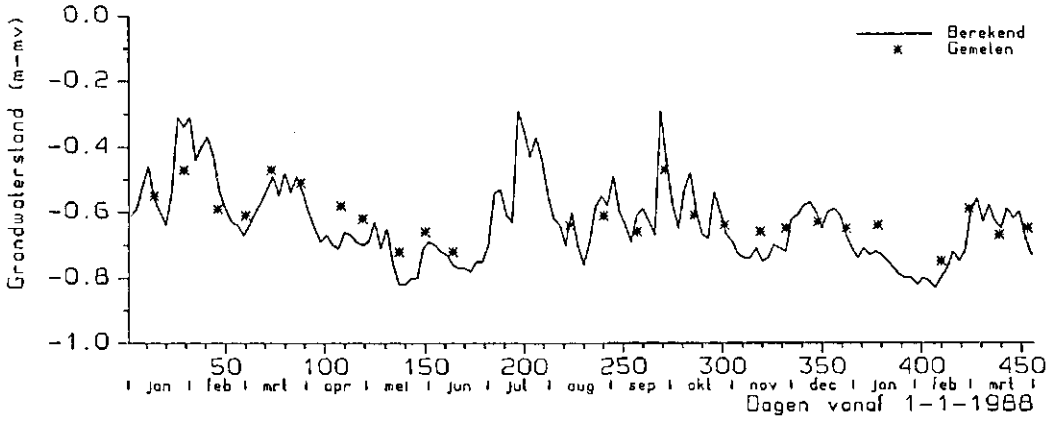
Teteringen, grondwater, meetpunt 9



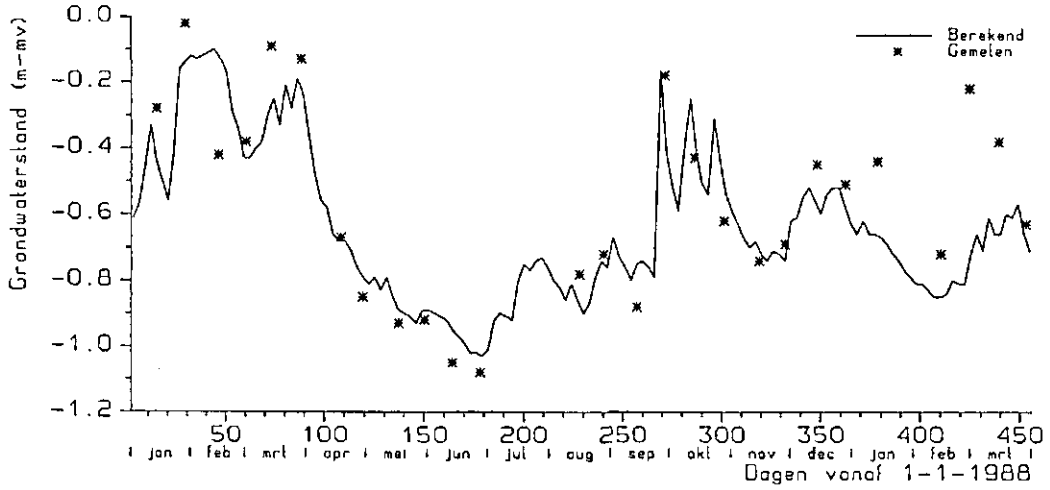
Teteringen, grondwater, meetpunt N177.



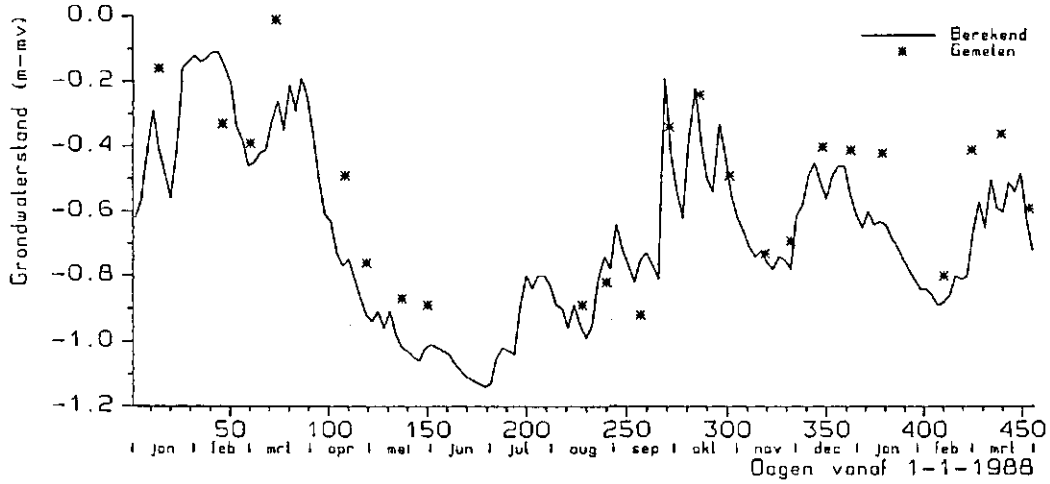
Teteringen, grondwater, meetpunten N178 en Sp10.



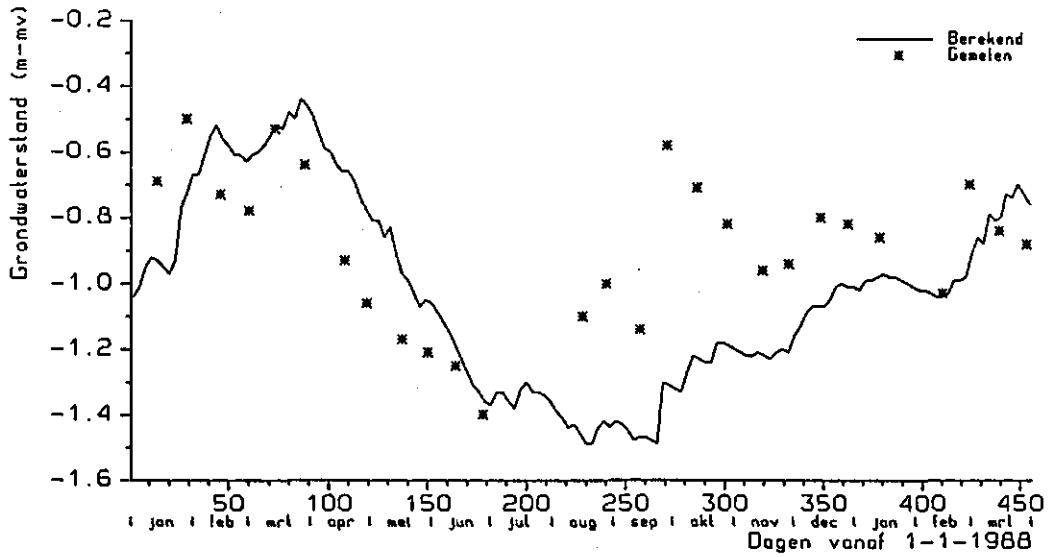
Teteringen, grondwater, meetpunt N179.



Teteringen, grondwater, meetpunt Sp7.

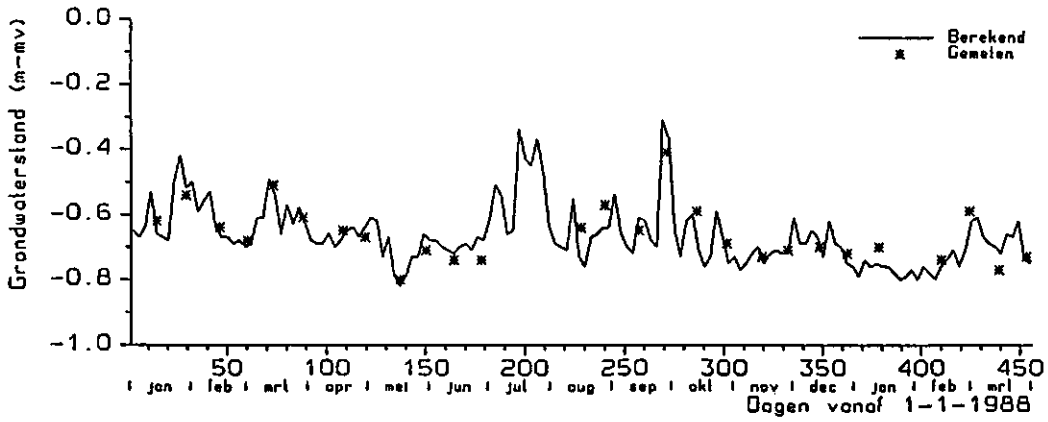


Teteringen, grondwater, meetpunt Sp8.

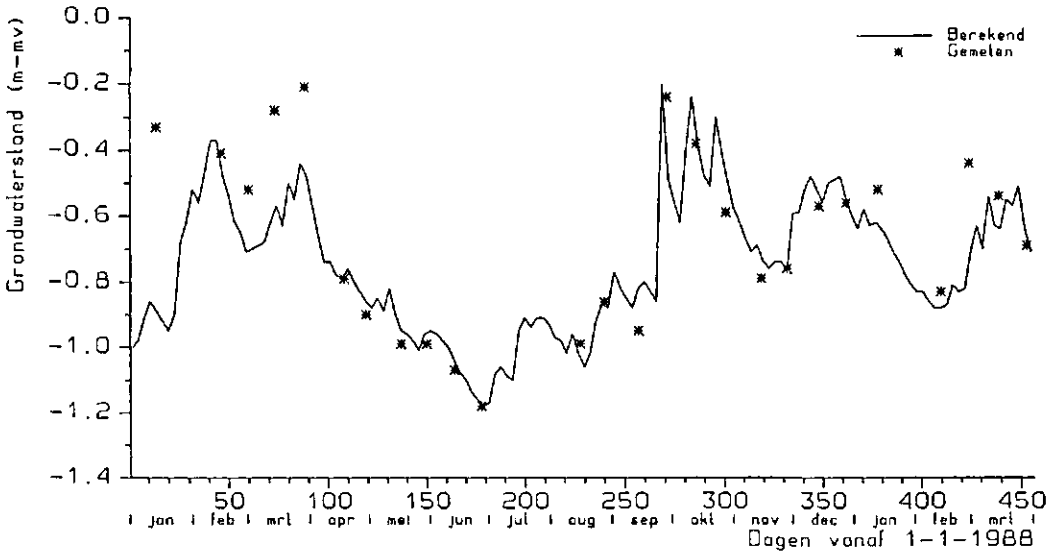


Teteringen, grondwater, meetpunt Sp11.

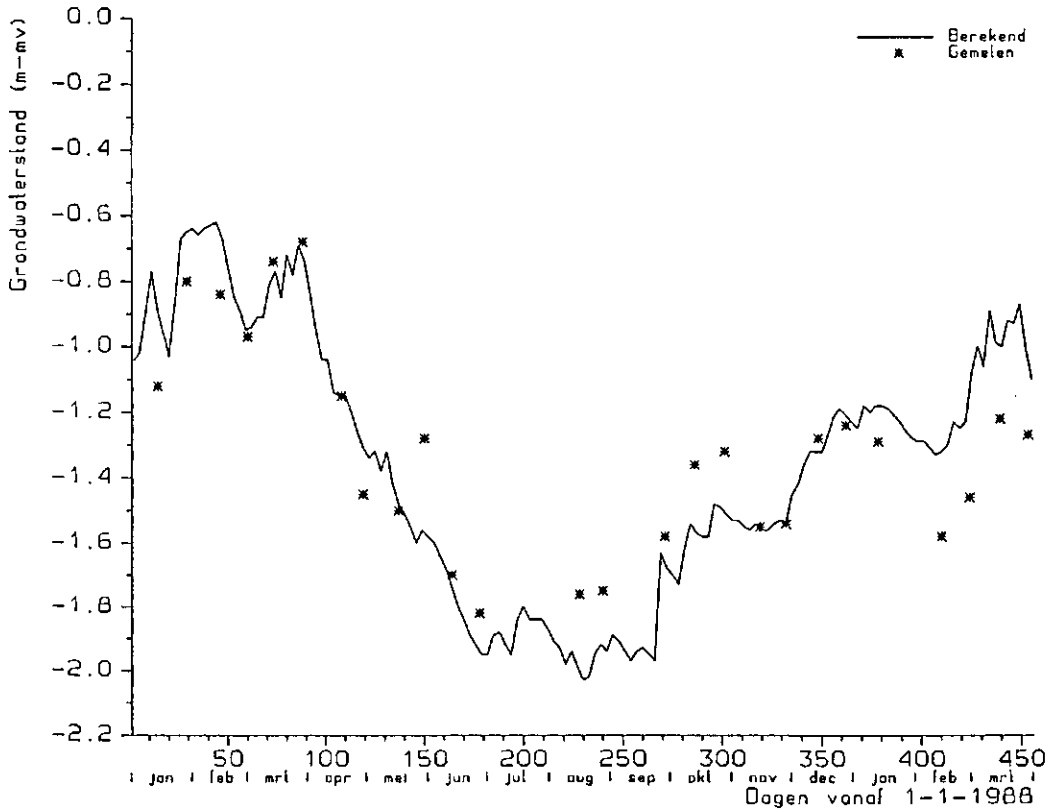
Teteringen, grondwater, meetpunt Sp12.



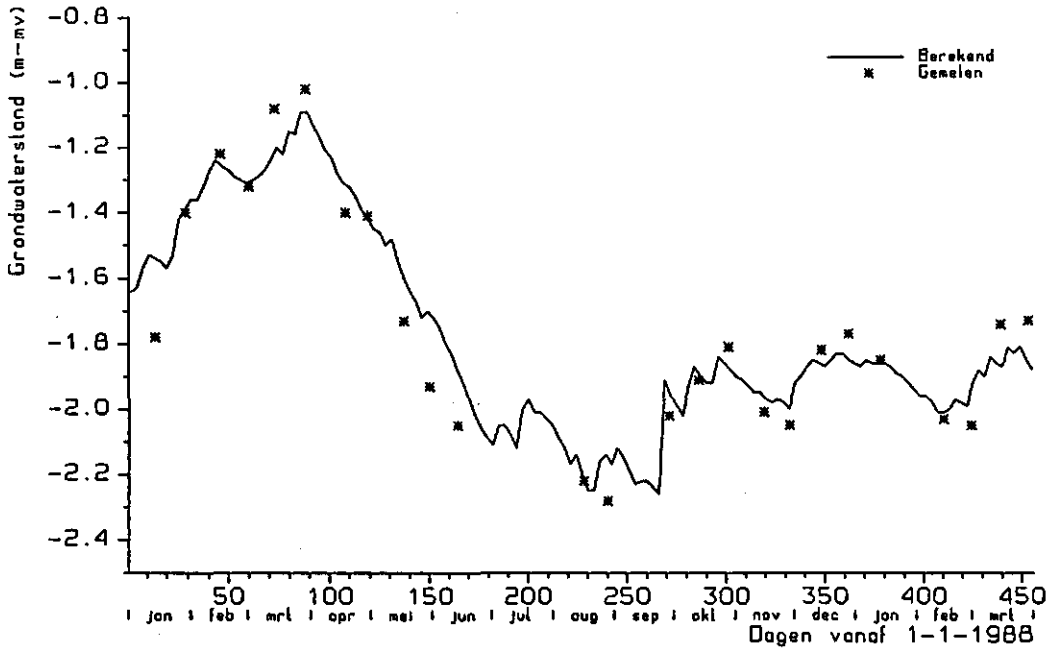
Teteringen, grondwater, meetpunt Sp14.



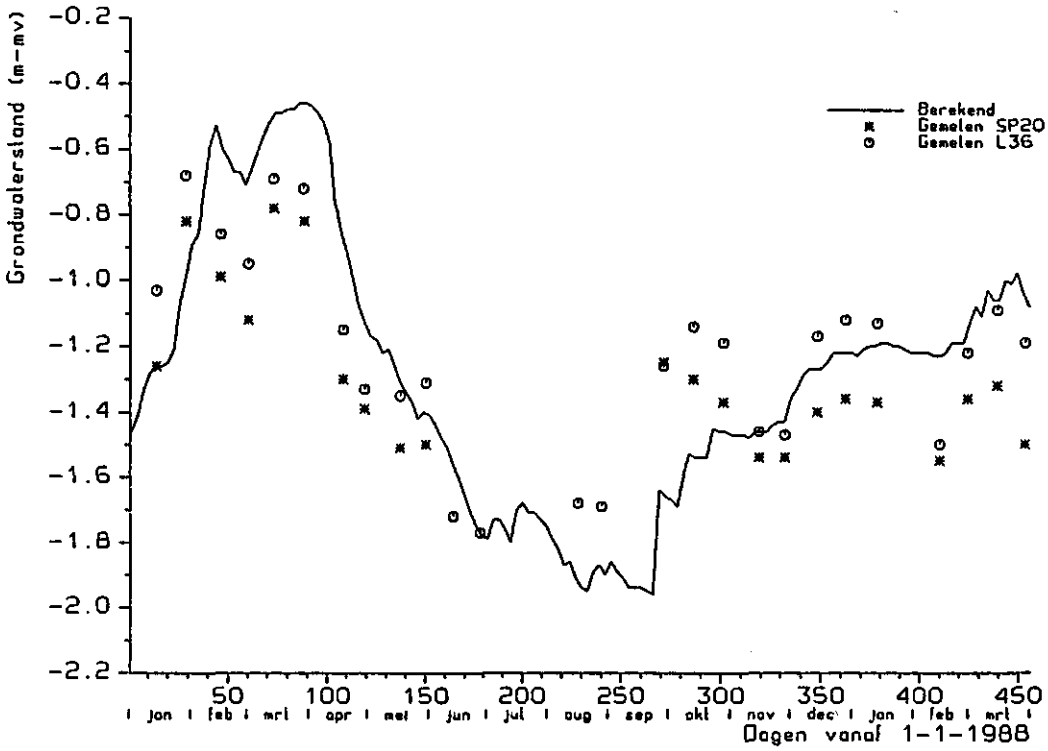
Teteringen, grondwater, meetpunt Sp16.



Teteringen, grondwater, meetpunt Sp17.



Teteringen, grondwater, meetpunt Sp18.

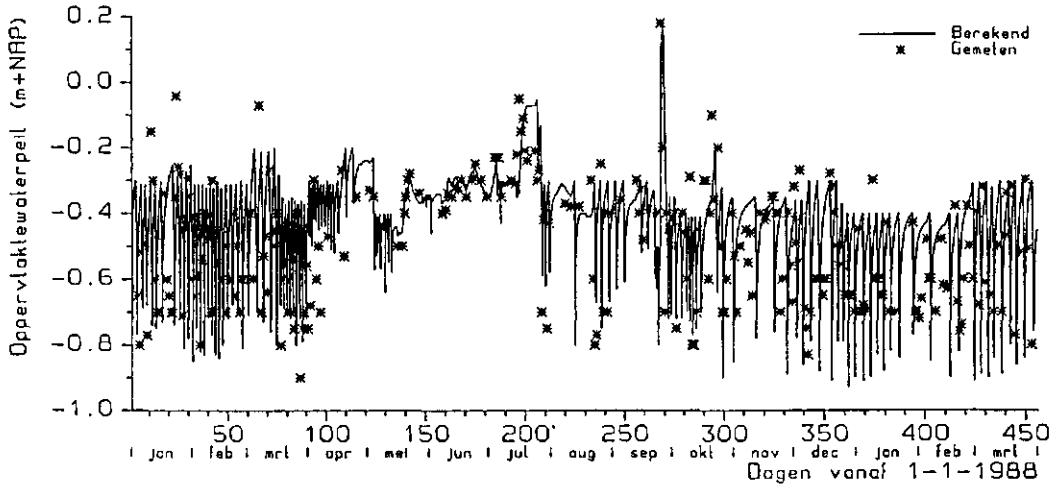


Teteringen, grondwater, meetpunten Sp20 en L36.

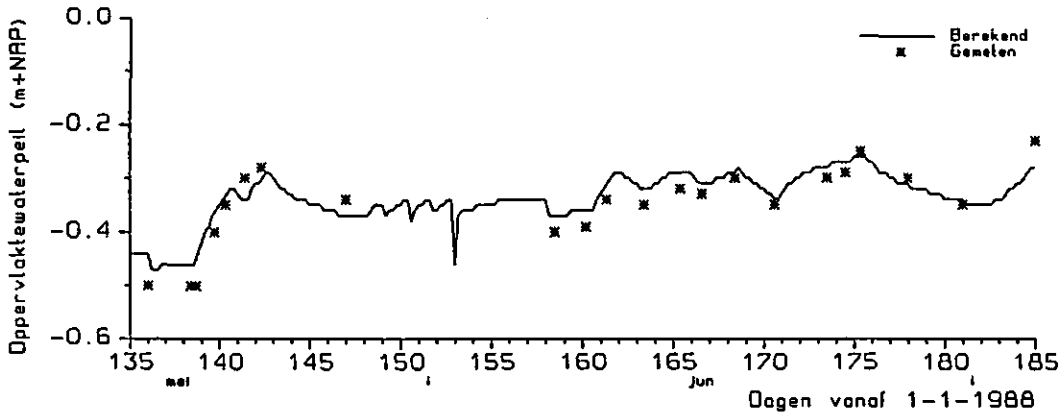
F-waarden voor de grondwaterpeilen van Teteringen (n is het aantal vergelijkingspunten)

Meetpunt	F-waarde (m)	n (-)
5	0,08	27
6	0,11	26
9	0,11	26
L36	0,21	26
N177	0,10	28
N178	0,07	28
N179	0,07	26
Sp7	0,16	27
Sp8	0,17	23
Sp10	0,10	27
Sp11	0,28	27
Sp12	0,19	27
Sp14	0,04	27
Sp16	0,16	26
Sp17	0,16	26
Sp18	0,10	25
Sp20	0,27	22
Gehele gebied	0,15	444

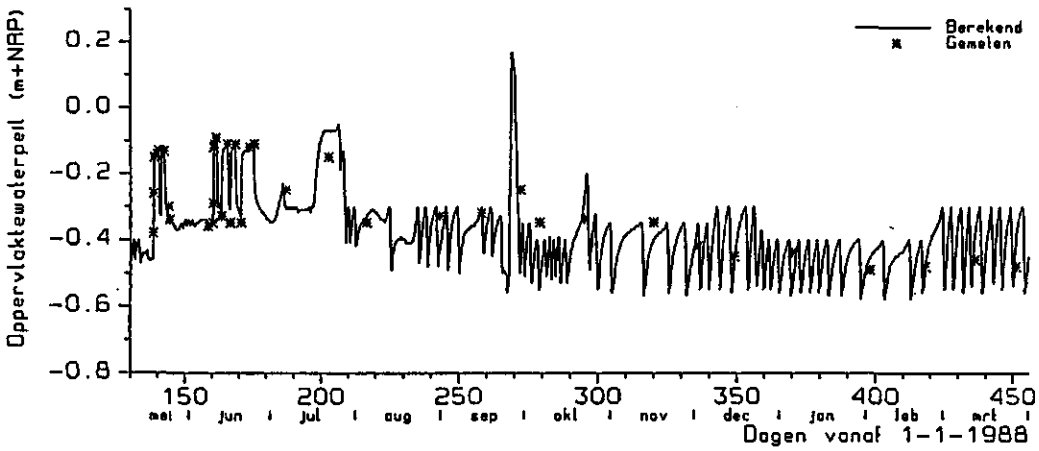
3.3.2 Oppervlaktewater



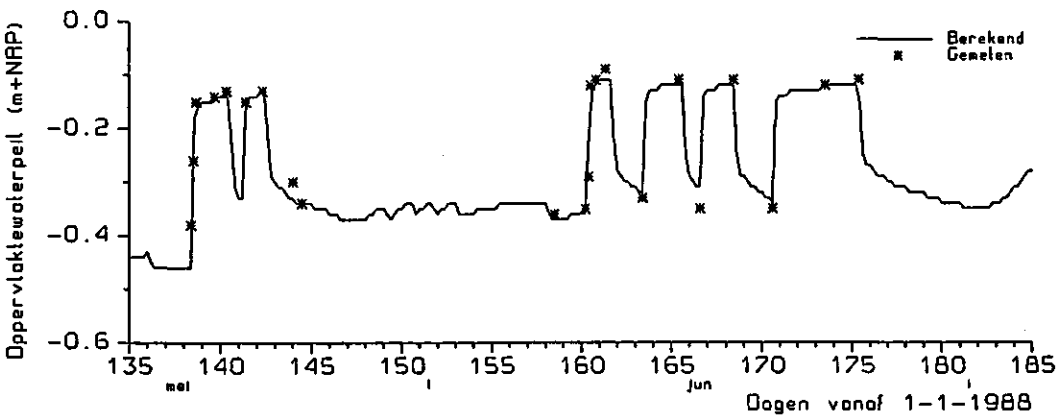
Teteringen, oppervlaktewater, meetpunt PG.



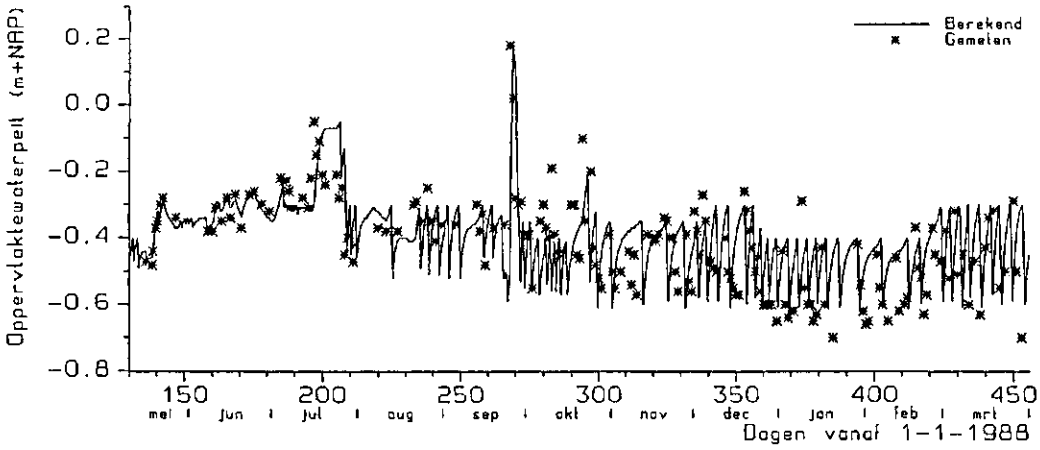
Teteringen, oppervlaktewater, meetpunt PG (inlaat).



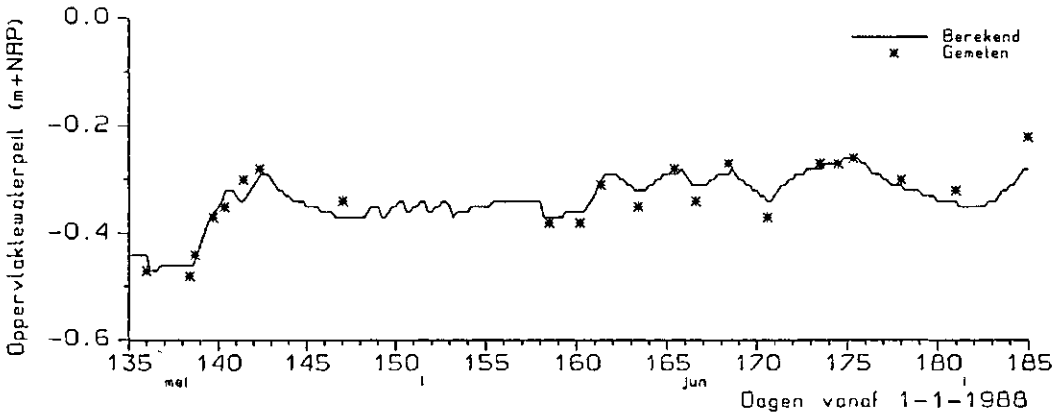
Teteringen, oppervlaktewater, meetpunt PI.



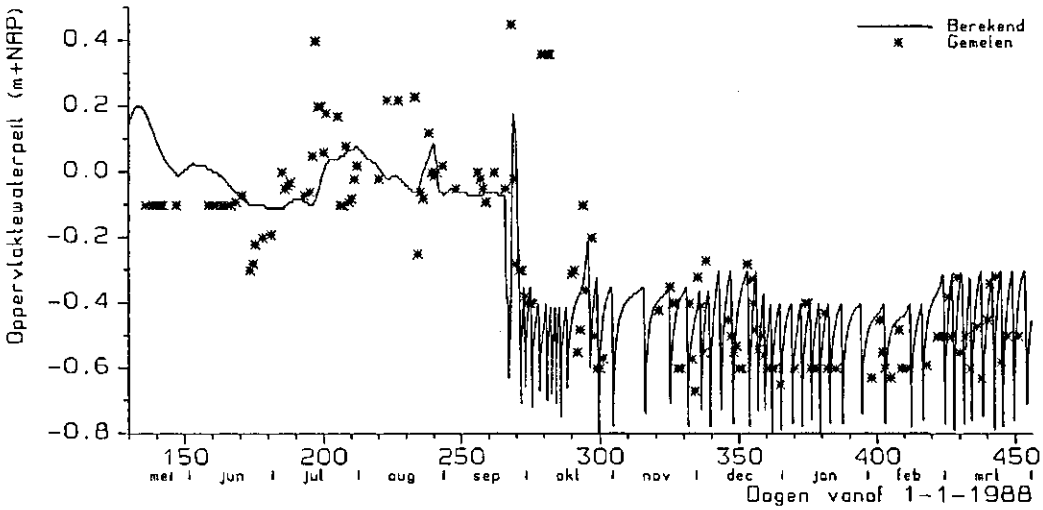
Teteringen, oppervlaktewater, meetpunt PI (inlaat).



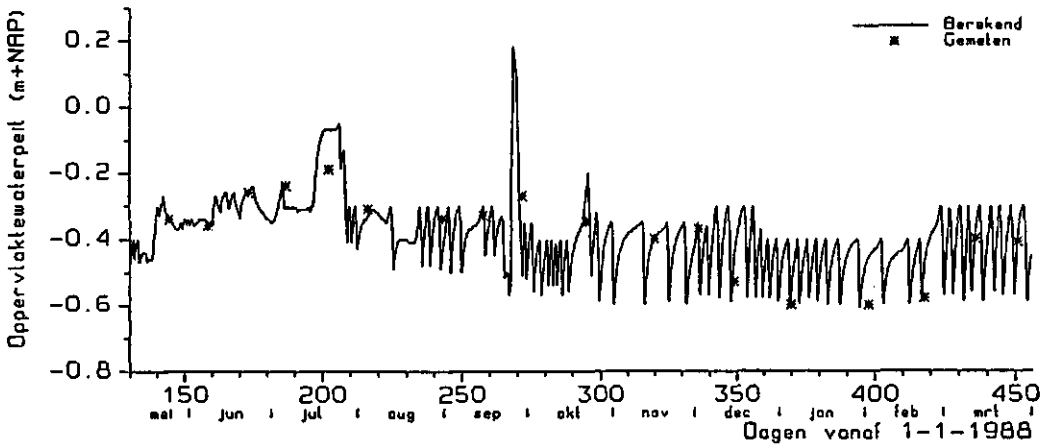
Teteringen, oppervlaktewater, meetpunt PW.



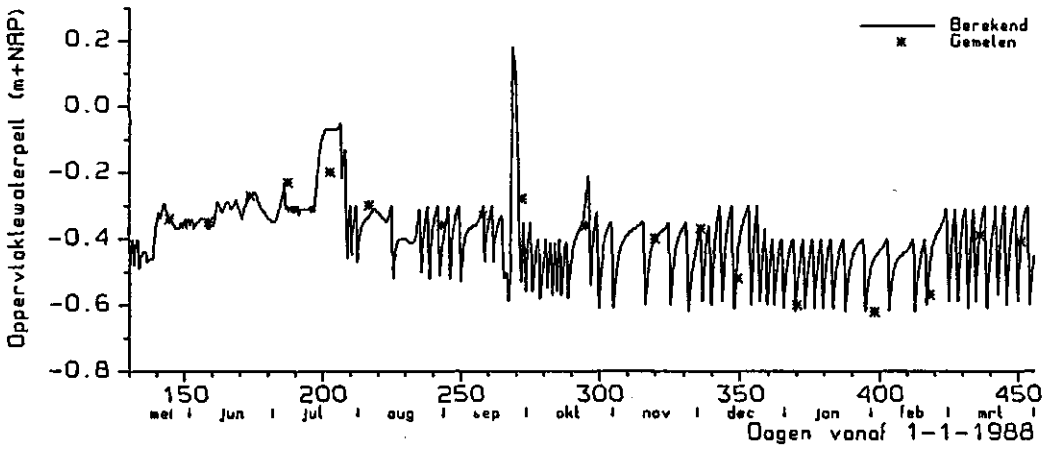
Teteringen, oppervlaktewater, meetpunt PW (inlaat).



Teteringen, oppervlaktewater, meetpunt PSt.



Teteringen, oppervlaktewater, meetpunt PD1.



Teteringen, oppervlaktewater, meetpunt PD2.

F-waarden voor de oppervlaktewaterpeilen van Teteringen (n is het aantal vergelijkingspunten)

Meetpunt	F-waarde (m)	n (-)
PG	0,16	281
PG (inlaat)	0,03	20
PI	0,07	38
PI (inlaat)	0,03	22
PW	0,14	189
PW (inlaat)	0,02	20
PSt	0,22	152
PD1	0,08	18
PD2	0,08	18
Gehele gebied	0,16	696

AANHANGSEL 4

WATERBALANSEN EN HOEVEELHEDEN INGELATEN WATER VAN DE DRIE PROEFGEBIEDEN

Dit aanhangsel bevat de waterbalansen en hoeveelheid ingelaten water van de drie proefgebieden voor de inlaatperiode van:
- het calibratiejaar 1988 (42 dagen);
- het weerjaar 1976 (123 dagen) met drie peilbeheerscenario's;
- het weerjaar 1982 (123 dagen) met drie peilbeheerscenario's.

De betekenis van de verschillende codes is:
- Scenario's:
  Cal = calibratiejaar 1988
  A_1 = weerjaar 1976, peilbeheerscenario 1;
  A_2 = weerjaar 1976, peilbeheerscenario 2;
  A_3 = weerjaar 1976, peilbeheerscenario 3;
  B_1 = weerjaar 1982, peilbeheerscenario 1;
  B_2 = weerjaar 1982, peilbeheerscenario 2;
  B_3 = weerjaar 1982, peilbeheerscenario 3.
- Balanstermen (alle in mm):
  E = actuele verdamping;
  N = neerslag;
  B_{op} = beregening uit het oppervlaktewater;
  B_{gr} = beregening uit het grondwater;
  I = resultante van infiltratie en drainage;
  K = kwel;
  St = verandering van de vochtvoorraad in de onverzadigde zone plus de bergingsverandering in de verzadigde zone.
  Positieve termen zijn ingaand en negatieve termen uitgaand.

De hoeveelheid ingelaten water is gedeeltelijk geïnfiltreerd (I) en gedeeltelijk ten goede gekomen aan de beregening uit het oppervlakte-water (B_{op}). Het verschil tussen de eerste term en de laatste twee termen tesamen (Inlaat - I - B_{op}) is toe te schrijven aan de verandering van de berging in het oppervlaktewatersysteem. Eventueel is er tussen twee inlaatmomenten nog een weinig water uitgeslagen. Dit heeft zich echter slechts incidenteel voorgedaan bij scenario 3.

4.1 Weimeren

Scenario	Cal	A_1	A_2	A_3	B_1	B_2	B_3
Aant. dagen	42	123	123	123	123	123	123
E	-96	-375	-374	-375	-368	-368	-368
N	38	135	135	135	183	183	183
B_{op}	3	33	34	33	18	20	19
B_{gr}	-	-	-	-	-	-	-
I	20	49	40	55	40	34	46
K	47	131	135	130	126	130	123
St	-12	27	30	22	1	1	-3
Inlaat	29	80	74	117	56	49	70

4.2 De Oostpolder (inlaatgebied)

Scenario	Cal	A_1	A_2	A_3	B_1	B_2	B_3
Aant. dagen	42	123	123	123	123	123	123
E	-96	-382	-381	-383	-381	-380	-381
N	38	135	135	135	183	183	183
B_{op}	3	25	25	26	11	10	13
B_{gr}	2	29	29	29	17	16	15
I	10	45	39	57	37	30	38
K	37	117	120	111	106	111	104
St	6	31	33	25	27	30	28
Inlaat	19	64	54	115	37	26	65

4.3 Teteringen (inlaatgebied)

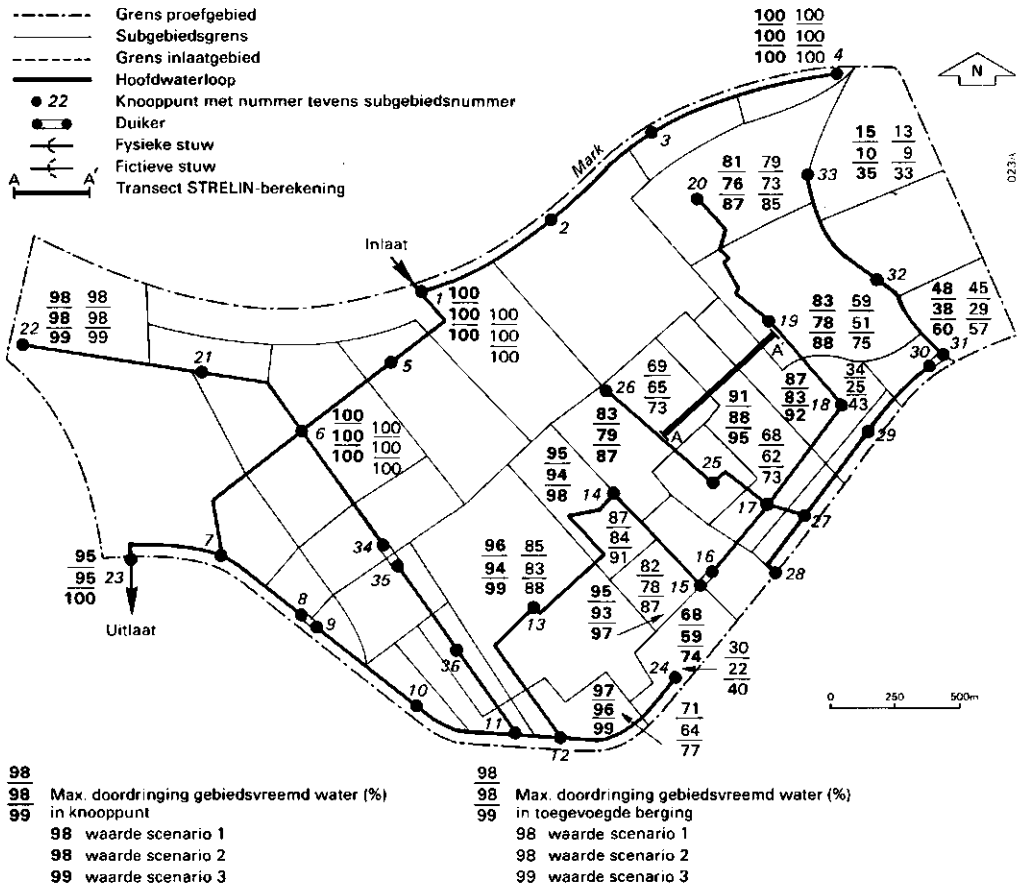
Scenario	Cal	A_1	A_2	A_3	B_1	B_2	B_3
Aant. dagen	42	123	123	123	123	123	123
E	-96	-392	-392	-392	-374	-374	-374
N	38	135	135	135	183	183	183
B_{op}	0	3	3	2	1	1	1
B_{gr}	0	3	3	3	2	2	2
I	30	164	154	179	115	103	127
K	22	67	73	61	59	64	52
St	6	20	24	12	14	21	9
Inlaat	35	169	163	194	121	105	144

AANHANGSEL 5

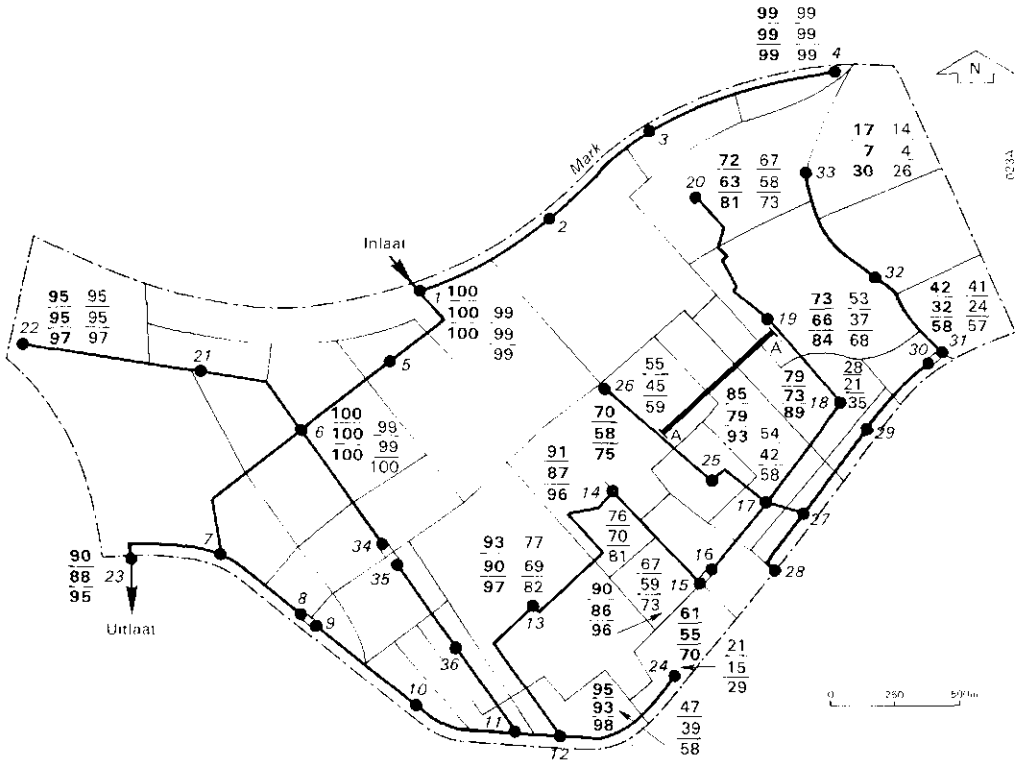
RESULTATEN VAN DE SCENARIO-BEREKENINGEN

Dit aanhangsel bevat de resultaten van de scenario-berekeningen van de doordringing van inlaatwater in de oppervlaktewaterstelsels van de drie proefgebieden. Voor ieder gebied zijn twee figuren gegeven; elk figuur bevat de resultaten van de drie peilbeheerscenario's voor een van de twee weerjaren. Voor een verklaring van de weergave van de resultaten, zie de hoofdtekst paragraaf 5.2. De algemene legenda van de figuren is gegeven in het eerste figuur.

5.1 Weimeren

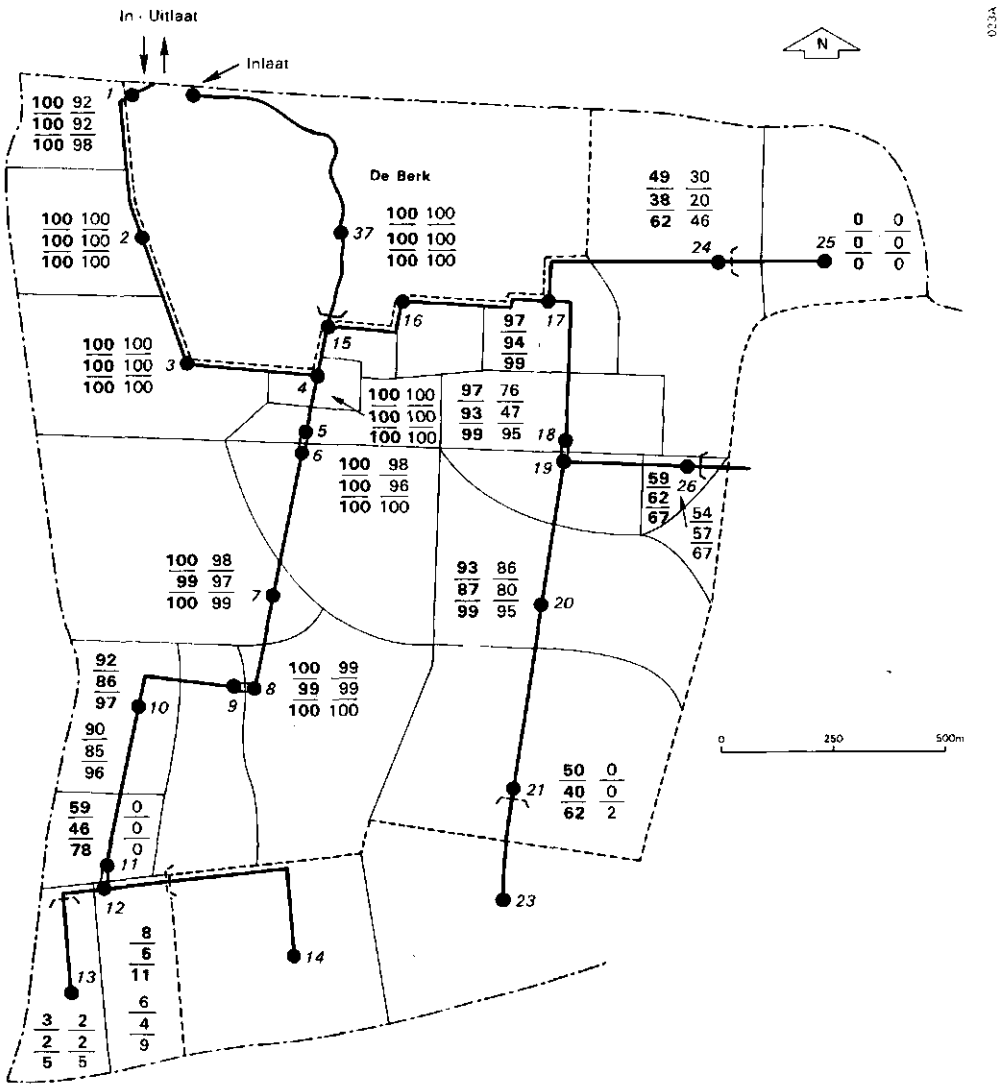


Resultaten van de drie peilbeheerscenario's voor weerjaar 1976.

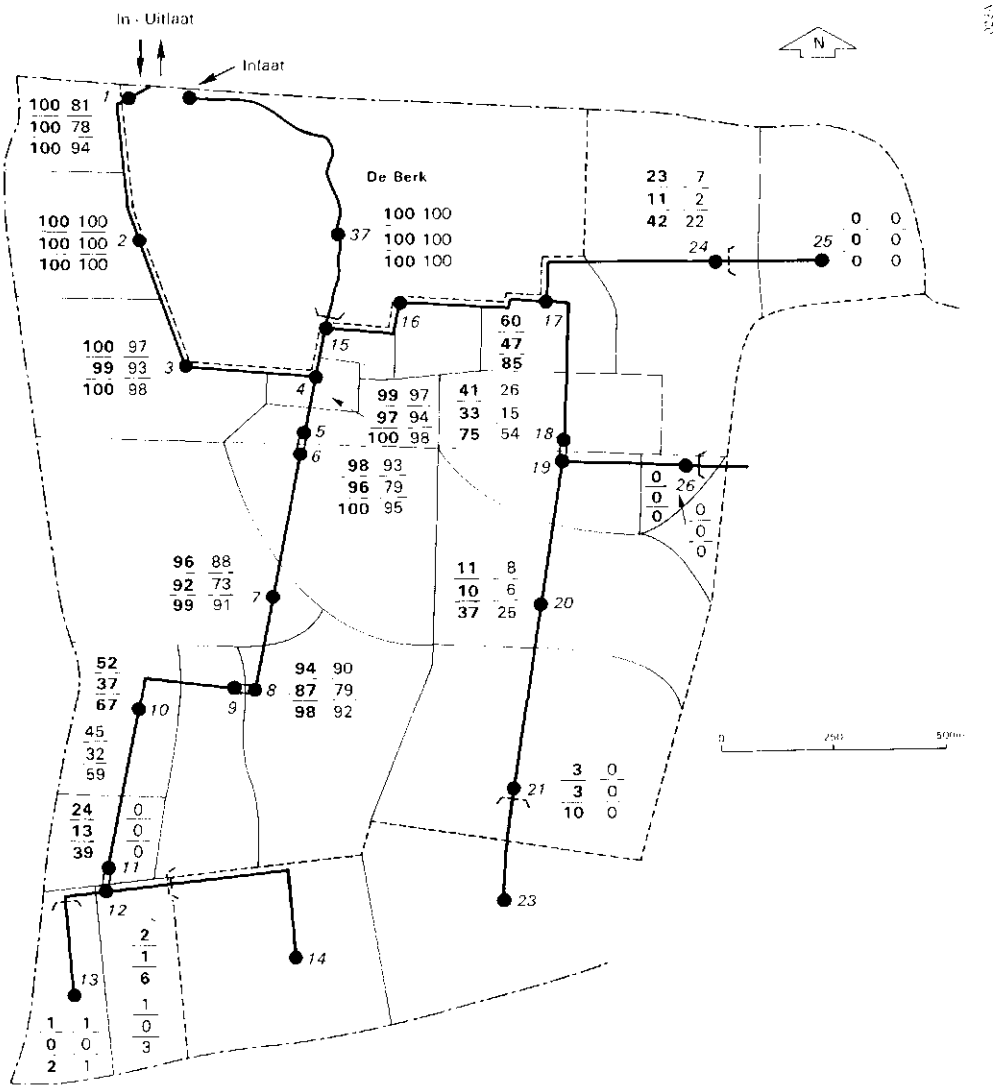


Resultaten van de drie peilbeheerscenario's voor weerjaar 1982.

5.2 De Oostpolder

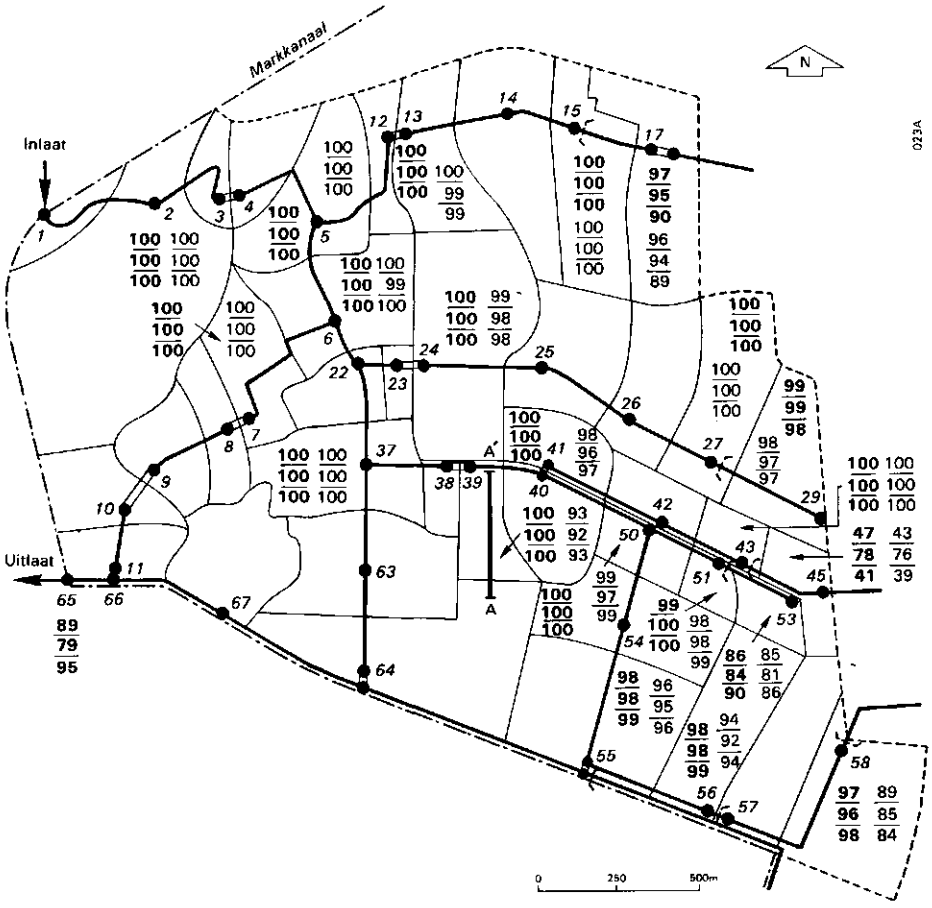


Resultaten van de drie peilbeheerscenario's voor weerjaar 1976.

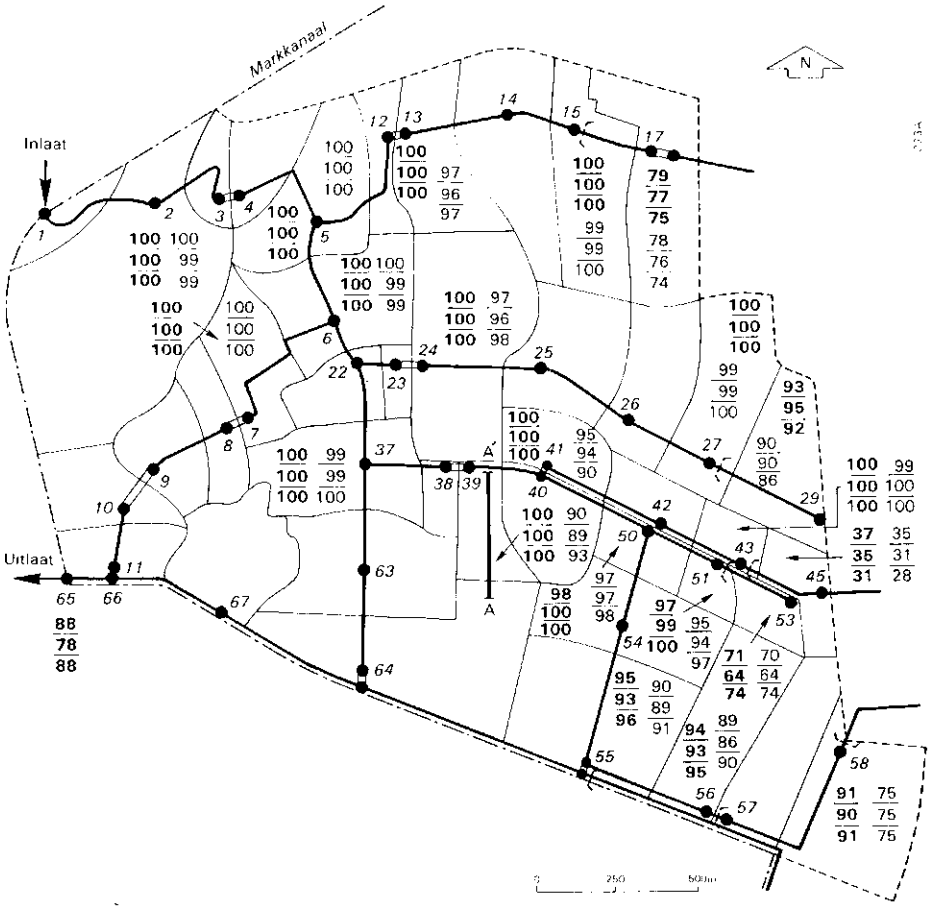


Resultaten van de drie peilbeheerscenario's voor weerjaar 1982.

5.3 Teteringen



Resultaten van de drie peilbeheerscenario's voor weerjaar 1976.



Resultaten van de drie peilbeheerscenario's voor weerjaar 1982.

AANHANGSEL 6

VERTAALSLEUTELS VAN DE DRIE PROEFGEBIEDEN

Dit aanhangsel bevat de vertaalsleutels van de drie proefgebieden in de vorm van klassen voor het aandeel gebiedsvreemd water (Gvw; in % van de totale hoeveelheid water) met bijbehorende gemiddelden (gm), bovengrens- (bg) en ondergrenswaarden (og) van de beschouwde waterkwaliteitsparameters. De berekening van de waarden van de pH zijn gebaseerd op de waterstofionconcentraties (EGV is $mS.m^{-1}$ bij 20 °C; pH bij 20 °C; mM = $mmol.l^{-1}$; µM = $\mu mol.l^{-1}$).

6.1 Weimeren

A. Gebied

Kl	Gvw (%)		EGV	pH (-)	K (mM)	Na (mM)	Ca (mM)	Mg (mM)	Fe (µM)	Cl (mM)	SO_4 (mM)	HCO_3 (mM)	NO_3 (µM)	PO_4 (µM)	NH_4 (µM)
1	0- 20	bg :	121,0	7,2	0,35	5,65	3,11	1,56	17,0	4,93	2,21	5,53	122,5	330,0	480,0
		gm :	103,5	7,3	0,26	4,35	2,44	1,29	9,7	3,84	1,82	3,97	61,2	165,0	242,0
		og :	86,1	7,5	0,18	3,04	1,77	1,02	2,4	2,75	1,43	2,40	0,0	0,0	4,0
2	20- 40	bg :	106,7	7,1	0,37	4,81	2,77	1,33	15,2	4,28	1,95	4,95	229,4	272,0	396,0
		gm :	91,2	7,3	0,27	3,64	2,21	1,09	8,5	3,30	1,59	3,40	135,7	136,0	202,0
		og :	75,8	7,5	0,17	2,47	1,64	0,85	1,8	2,31	1,24	1,85	42,0	0,0	8,0
3	40- 60	bg :	92,4	7,1	0,40	3,98	2,43	1,10	13,4	3,63	1,68	4,38	336,2	214,0	312,0
		gm :	78,9	7,2	0,28	2,94	1,97	0,89	7,3	2,75	1,36	2,84	210,1	107,0	162,0
		og :	65,4	7,5	0,16	1,91	1,52	0,68	1,2	1,87	1,04	1,31	84,0	0,0	12,0
4	60- 80	bg :	78,2	7,0	0,42	3,14	2,09	0,86	11,6	2,99	1,42	3,80	443,1	156,0	228,0
		gm :	66,6	7,2	0,29	2,24	1,74	0,69	6,1	2,21	1,13	2,28	284,6	78,0	122,0
		og :	55,1	7,5	0,15	1,34	1,39	0,51	0,6	1,43	0,85	0,76	126,0	0,0	16,0
5	80-100	bg :	63,9	6,9	0,45	2,31	1,75	0,63	9,8	2,34	1,15	3,23	550,0	98,0	144,0
		gm :	54,3	7,1	0,30	1,54	1,51	0,49	4,9	1,66	0,90	1,72	359,0	49,0	82,0
		og :	44,8	7,5	0,14	0,77	1,27	0,34	0,0	0,99	0,65	0,21	168,0	0,0	20,0

B. Lokatie W9

Kl	Gvw (%)		EGV	pH (-)	K (mM)	Na (mM)	Ca (mM)	Mg (mM)	Fe (µM)	Cl (mM)	SO_4 (mM)	HCO_3 (mM)	NO_3 (µM)	PO_4 (µM)	NH_4 (µM)
1	0- 20	bg :	449,0	7,2	1,41	8,91	5,21	7,80	87,0	18,93	3,63	0,00	110,0	0,0	640,0
		gm :	283,8	7,3	0,83	4,79	3,36	4,45	43,9	12,53	2,90	0,02	55,0	0,0	386,0
		og :	118,6	7,4	0,25	0,67	1,50	1,09	0,8	6,13	2,17	0,04	0,0	0,0	132,0
2	20- 40	bg :	369,1	7,1	1,17	7,42	4,45	6,32	71,2	15,48	3,08	0,53	220,0	8,0	524,0
		gm :	234,6	7,3	0,70	4,06	2,95	3,61	35,9	10,16	2,44	0,31	131,0	4,0	314,0
		og :	100,1	7,4	0,23	0,70	1,44	0,90	0,6	4,85	1,79	0,08	42,0	0,0	104,0
3	40- 60	bg :	289,2	7,1	0,93	5,93	3,69	4,84	55,4	12,03	2,53	1,06	330,0	16,0	408,0
		gm :	185,5	7,2	0,57	3,33	2,54	2,78	27,9	7,80	1,97	0,59	207,0	8,0	242,0
		og :	81,7	7,5	0,20	0,72	1,39	0,72	0,4	3,56	1,41	0,13	84,0	0,0	76,0
4	60- 80	bg :	209,4	7,0	0,69	4,45	2,93	3,36	39,6	8,59	1,99	1,59	440,0	24,0	292,0
		gm :	136,3	7,2	0,43	2,60	2,13	1,94	19,9	5,43	1,51	0,88	283,0	12,0	170,0
		og :	63,2	7,5	0,18	0,75	1,33	0,53	0,2	2,28	1,03	0,17	126,0	0,0	48,0
5	80-100	bg :	129,5	6,9	0,45	2,96	2,17	1,88	23,8	5,14	1,44	2,12	550,0	32,0	176,0
		gm :	87,1	7,1	0,30	1,86	1,72	1,11	11,9	3,06	1,04	1,17	359,0	16,0	98,0
		og :	44,8	7,5	0,15	0,77	1,27	0,34	0,0	0,99	0,65	0,21	168,0	0,0	20,0

6.2 De Oostpolder

Kl	Gvw (%)		EGV	pH (-)	K (mM)	Na (mM)	Ca (mM)	Mg (mM)	Fe (µM)	Cl (mM)	SO_4 (mM)	HCO_3 (mM)	NO_3 (µM)	PO_4 (µM)	NH_4 (µM)
1	0- 20	bg :	73,6	6,8	0,38	1,12	2,84	0,64	6,0	1,58	1,69	2,18	458,0	0,0	30,4
		gm :	66,1	6,9	0,30	0,91	2,42	0,58	3,8	1,27	1,47	1,62	402,0	0,0	23,2
		og :	58,6	7,2	0,23	0,70	2,01	0,52	1,6	0,97	1,24	1,07	346,0	0,0	16,0
2	20- 40	bg :	68,8	6,8	0,40	1,21	2,55	0,59	5,8	1,61	1,53	2,27	476,4	8,0	37,8
		gm :	62,0	7,0	0,30	0,96	2,19	0,53	3,5	1,29	1,31	1,56	394,2	4,0	27,3
		og :	55,1	7,2	0,20	0,71	1,82	0,47	1,2	0,97	1,09	0,85	312,0	0,0	16,8
3	40- 60	bg :	64,0	6,8	0,41	1,29	2,27	0,54	5,6	1,63	1,37	2,37	494,8	16,0	45,2
		gm :	57,8	7,0	0,29	1,01	1,95	0,49	3,2	1,31	1,16	1,50	386,4	8,0	31,4
		og :	51,7	7,3	0,18	0,73	1,64	0,43	0,8	0,98	0,95	0,64	278,0	0,0	17,6
4	60- 80	bg :	59,2	6,9	0,42	1,38	1,98	0,50	5,4	1,66	1,21	2,46	513,2	24,0	52,6
		gm :	53,7	7,0	0,29	1,06	1,72	0,44	2,9	1,32	1,00	1,44	378,6	12,0	35,5
		og :	48,2	7,4	0,15	0,74	1,45	0,38	0,4	0,98	0,80	0,42	244,0	0,0	18,4
5	80-100	bg :	54,4	6,9	0,44	1,47	1,70	0,45	5,2	1,69	1,05	2,56	531,6	32,0	60,0
		gm :	49,6	7,1	0,28	1,11	1,48	0,39	2,6	1,34	0,85	1,38	370,8	16,0	39,6
		og :	44,8	7,5	0,13	0,76	1,27	0,34	0,0	0,99	0,65	0,21	210,0	0,0	19,2

6.3 Teteringen

A. Gebied

Kl	Gvw (%)		EGV	pH (-)	K (mM)	Na (mM)	Ca (mM)	Mg (mM)	Fe (µM)	Cl (mM)	SO_4 (mM)	HCO_3 (mM)	NO_3 (µM)	PO_4 (µM)	NH_4 (µM)
1	0- 20	bg :	62,3	6,1	0,55	1,14	2,11	0,65	5,0	1,42	1,86	1,08	262,8	5,0	47,0
		gm :	58,3	6,4	0,45	0,98	1,89	0,58	2,9	1,25	1,63	0,72	198,4	3,7	37,9
		og :	54,2	7,2	0,34	0,82	1,67	0,50	0,8	1,09	1,39	0,36	134,0	2,4	28,8
2	20- 40	bg :	60,4	6,2	0,53	1,23	2,01	0,59	4,6	1,56	1,67	1,31	329,6	5,6	44,4
		gm :	56,2	6,5	0,42	1,03	1,79	0,52	2,6	1,30	1,40	0,83	255,4	3,7	33,0
		og :	51,9	7,3	0,32	0,84	1,58	0,45	0,6	1,04	1,12	0,35	181,2	1,8	21,6
3	40- 60	bg :	58,5	6,3	0,52	1,31	1,90	0,54	4,2	1,71	1,48	1,55	396,4	6,2	41,8
		gm :	54,1	6,6	0,40	1,08	1,69	0,47	2,3	1,35	1,17	0,95	312,4	3,7	28,1
		og :	49,7	7,4	0,29	0,85	1,48	0,41	0,4	0,98	0,85	0,34	228,4	1,2	14,4
4	60- 80	bg :	56,7	6,4	0,51	1,40	1,80	0,48	3,8	1,85	1,29	1,78	463,2	6,8	39,2
		gm :	52,0	6,7	0,38	1,13	1,59	0,42	2,0	1,39	0,94	1,06	369,4	3,7	23,2
		og :	47,4	7,4	0,26	0,87	1,39	0,36	0,2	0,93	0,58	0,34	275,6	0,6	7,2
5	80-100	bg :	54,8	6,6	0,49	1,48	1,69	0,43	3,4	2,00	1,10	2,02	530,0	7,4	36,6
		gm :	49,9	6,9	0,36	1,18	1,49	0,37	1,7	1,44	0,71	1,17	426,4	3,7	18,3
		og :	45,1	7,5	0,23	0,88	1,29	0,31	0,0	0,87	0,31	0,33	322,8	0,0	0,0

B. Lokatie T10

Kl	Gvw (%)		EGV	pH (-)	K (mM)	Na (mM)	Ca (mM)	Mg (mM)	Fe (µM)	Cl (mM)	SO_4 (mM)	HCO_3 (mM)	NO_3 (µM)	PO_4 (µM)	NH_4 (µM)
1	0- 20	bg :	94,0	4,0	1,28	1,40	1,97	0,79	9,0	2,07	1,34	0,83	2703,0	174,0	83,0
		gm :	77,3	4,3	1,10	0,79	1,53	0,66	4,5	1,31	1,00	0,41	1469,7	87,0	48,3
		og :	60,7	6,1	0,92	0,18	1,10	0,53	0,0	0,55	0,65	0,00	236,4	0,0	13,6
2	20- 40	bg :	85,8	4,1	1,12	1,42	1,89	0,71	7,8	2,05	1,25	1,13	2268,4	140,8	73,2
		gm :	71,3	4,4	0,93	0,87	1,52	0,59	3,9	1,33	0,91	0,60	1269,1	70,4	41,7
		og :	56,8	6,2	0,75	0,32	1,15	0,48	0,0	0,60	0,57	0,06	269,8	0,0	10,2
3	40- 60	bg :	77,6	4,2	0,96	1,44	1,82	0,62	6,6	2,04	1,17	1,42	1833,8	107,6	63,4
		gm :	65,2	4,5	0,77	0,95	1,51	0,52	3,3	1,35	0,83	0,78	1068,5	53,8	35,1
		og :	52,9	6,4	0,57	0,47	1,19	0,42	0,0	0,66	0,48	0,13	303,2	0,0	6,8
4	60- 80	bg :	69,3	4,4	0,80	1,46	1,74	0,54	5,4	2,02	1,08	1,72	1399,2	74,4	53,6
		gm :	59,2	4,7	0,60	1,04	1,49	0,45	2,7	1,37	0,74	0,96	867,9	37,2	28,5
		og :	49,0	6,6	0,40	0,61	1,24	0,37	0,0	0,71	0,40	0,19	336,6	0,0	3,4
5	80-100	bg :	61,1	4,7	0,64	1,48	1,67	0,45	4,2	2,00	1,00	2,02	964,6	41,2	43,8
		gm :	53,1	5,0	0,44	1,12	1,48	0,38	2,1	1,38	0,65	1,14	667,3	20,6	21,9
		og :	45,1	7,5	0,23	0,76	1,29	0,31	0,0	0,77	0,31	0,26	370,0	0,0	0,0

AANHANGSEL 7

AFLEIDING VAN DE EXTRAPOLATIEVERGELIJKING

Voor de modelberekeningen is het oppervlaktewaterstelsel van de proefgebieden geschematiseerd tot knooppunten met bijbehorende leidingvakken. Per knooppunt-leidingvak kan het oppervlaktewaterstelsel worden voorgesteld als een vat waar water instroomt vanuit een voorliggend leidingvak en waar water uitstroomt naar een achterliggend leidingvak (figuur).

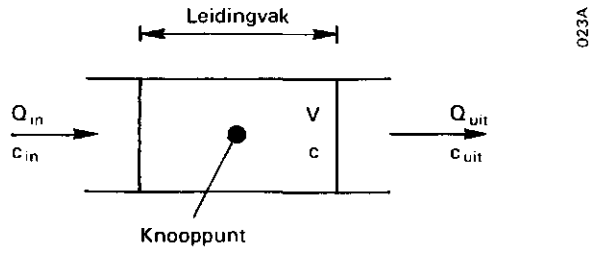


Fig. Leidingvak van een oppervlaktewaterstelsel.

Verondersteld wordt dat het oppervlaktewater zich lineair gedraagt, zodat voor het 'lineaire' vat geldt:

$$\frac{d(Vc)}{dt} = Q_{in}\, c_{in} - Q_{uit}\, c_{uit} \qquad (1)$$

met:
V = volume water in lineaire vat (m^3);
c = tracerconcentratie water in lineaire vat ($mol.m^{-3}$);
t = tijd (s);
Q_{in} = debiet instromende water ($m^3.s^{-1}$);
c_{in} = tracerconcentratie instromende water ($mol.m^{-3}$);
Q_{uit} = debiet uitstromende water ($m^3.s^{-1}$);
c_{uit} = tracerconcentratie uitstromende water ($mol.m^{-3}$).

Er van uitgaande dat volledige menging optreedt in het vat geldt:

$$c_{uit} = c(t)$$

Stel dat het volume van het lineaire vat constant is, dan is het instromende debiet gelijk aan het uitstromende:

$$\frac{dV}{dt} = 0 \text{ en } Q_{in} = Q_{uit} = Q$$

Vergelijking (1) gaat dan over in:

$$V\,\frac{dc}{dt} = Q\, c_{in} - Q\, c \quad \text{of} \quad \frac{dc}{dt} = \frac{Q}{V}\, c_{in} - \frac{Q}{V}\, c$$

Integratie levert:

$$c(t) = c_{in} + (c_0 - c_{in})\ e^{-\frac{Q}{V}t} \qquad (2)$$

waarin c_0 = tracerconcentratie van het gebiedseigen water.

Uitgaande van de aanname, gehanteerd bij de modelberekeningen (par. 5.2), dat het inlaatwater wordt gekenmerkt door een fictieve tracer met concentratie 100% en dat het gebiedseigen water 0% van deze tracer bevat, is:

c_{in} = 100% ; c_0 = 0%

Voor c(t) kan P(t), het percentage doorgedrongen inlaatwater op tijdstip t, worden gelezen. Vergelijking (2) gaat dan over in:

$$P(t) = 100\ (1 - e^{-\frac{Q}{V}t}) \qquad (3)$$

Hierin is $\frac{Q}{V}t$ het aantal malen dat het volume van het beschouwde leidingvak volledig is doorgespoeld. Het aantal malen doorspoelen in een zomerseizoen is afhankelijk van:
- meteorologische condities;
- gebiedsfactoren als: waterbehoefte van het gewas (grondgebruik), kwelintensiteit, beregeningsintensiteit, bodemfysische eigenschappen, dichtheid slotenstelsel, eigenschappen van de watergangen;
- het achterliggende areaal dat van water moet worden voorzien (achterliggende infiltratiegebied).

Het is redelijk te veronderstellen dat er een lineair verband bestaat tussen het aantal malen doorspoelen en het achterliggende areaal dat van water moet worden voorzien:

$$\frac{Q}{V}t = a\ O + b \qquad (4)$$

met:
O = oppervlak achterliggende infiltratiegebied (ha);
a,b = constanten.

In het theoretische geval dat er geen areaal is dat van water hoeft te worden voorzien (O = 0), is de waterbehoefte gelijk aan 0 en het aantal malen doorspoelen eveneens. Uit (4) volgt dan dat b gelijk is aan 0. Vergelijking (3) wordt:

$$P = 100\ (1 - e^{-aO}) \qquad (5)$$

Hierin is P het maximale doordringingspercentage op een bepaald punt in het oppervlaktewaterstelsel en de constante a de reactiefactor van het gebied in ha^{-1}. Deze factor is afhankelijk van het meteorologische jaar en van bovengenoemde gebiedsfactoren.

Voor een jaar waarin zo weinig water wordt ingelaten dat het inlaatwater een deel van het inlaatgebied niet bereikt, geldt voor vergelijking (4):

$$\frac{Q}{V}t = a\,O_0 + b = 0 \quad \text{waaruit volgt:} \quad b = -a\,O_0$$

met:
O_0 = het gebiedsdeel waar geen inlaatwater doordringt (ha).

Deze situatie heeft zich in de drie proefgebieden tijdens de betreffende meteorologische jaren niet voorgedaan, waardoor vergelijking (5) hier van toepassing is.

AANHANGSEL 8

KWELMETINGEN IN OPEN WATERLOPEN
(R.F.A. Hendriks en H.T.L. Massop)

8.1 Inleiding

Binnen het project 'Effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water op de waterkwaliteit in een kwelgebied' zijn in de periode van 31 oktober tot en met 4 november 1988 door het Staring Centrum slootkwelmetingen gedaan met een zogenaamde kwelmeter. Deze metingen zijn uitgevoerd in de drie proefgebieden Weimeren, De Oostpolder en Teteringen.

Het principe van de kwelmetingen is beschreven in paragraaf 8.2. Paragraaf 8.3 geeft de resultaten van de metingen. In paragraaf 8.4 zijn de resultaten omgerekend naar een waarde voor de kwelintensiteit van elk gebied ten tijde van de meetperiode. De kwelintensiteit is van groot belang binnen het onderzoek omdat deze in grote mate de inlaatbehoefte in droge perioden bepaalt en daarmee in hoeverre inlaatwater het gebied binnendringt. In paragraaf 8.5 is uit de kwelintensiteit een waarde afgeleid voor de verticale stromingsweerstand van het afdekkende pakket. Deze parameter is van groot belang voor de berekeningen met de in het onderzoek gebruikte grondwatermodule SIMUNS. Tenslotte zijn in paragraaf 8.6 conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

8.2 Meetprincipe

In het geval dat de stijghoogte van het grondwater onder de slootbodem een hogere waarde heeft dan het slootpeil, zal er een stroming optreden naar de sloot (kwel), in het geval van een lagere stijghoogte dan het slootpeil, zal de sloot water verliezen (infiltratie). De intensiteit van de stroming wordt naast dit peilverschil bepaald door de bodemweerstand volgens:

$$K_s = \frac{h_b - h_s}{W} 1000 \qquad (1)$$

met:
K_s = slootkwelintensiteit ($mm.d^{-1}$);
h_b = stijghoogte grondwater onder slootbodem (m);
h_s = slootpeil (m);
W = bodemweerstand (d);

Met een zogenaamde kwelmeter is het mogelijk de intensiteit van de slootkwel c.q. -infiltratie te meten. De meter bestaat uit drie onderdelen die met pvc-slangen aan elkaar worden gekoppeld. Deze onderdelen zijn (figuur):
a cirkelvormige metalen bak met slangaansluiting;
b reservoir in de vorm van een ballon;
c driewegkraan.

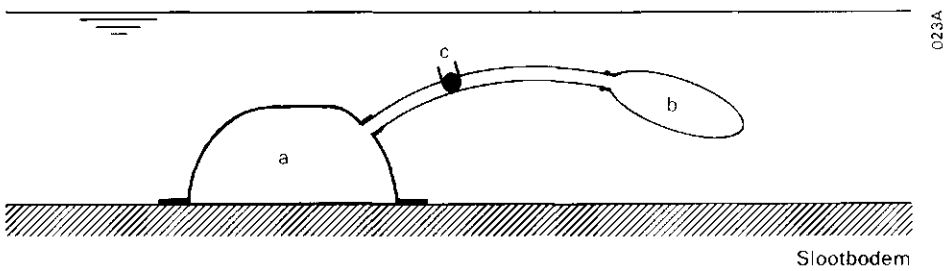


Fig. De kwelmeter

Bij het plaatsen van de cirkelvormige bak wordt indien noodzakelijk de waterloop voorzichtig vrijgemaakt van eventueel drijvende waterplanten (kroos e.d.). Vervolgens wordt de bak voorzichtig op de slootbodem geplaatst en in de bodem gedrukt. Om te voorkomen dat de bak geheel gevuld raakt met op de slootbodem gelegen bagger zijn op de rand van de bak metalen plaatjes aangebracht, die zorgen dat de bak niet verder dan ca. 5 cm in de bodem zakt.

De ballon wordt gevuld met circa 1 liter slootwater om te voorkomen dat er in de ballon een lagere druk ontstaat dan in de sloot. Hierna wordt de ballon met inhoud gewogen en aan de driewegkraan bevestigd. Door de driewegkraan in de meetstand te zetten, begint de meting.

Na een bepaalde tijd wordt de ballon afgekoppeld en gewogen. Het verschil in gewicht voor en na de meting is een maat voor de hoeveelheid in- of uitgestroomd water. Door deze hoeveelheid te delen door het oppervlak van de meetbak en de meettijd wordt de slootkwel/-wegzijging verkregen in $mm.d^{-1}$.

8.3 Resultaten

In aanhangsel 2 zijn de meetlokaties van de drie proefgebieden Weimeren, De Oostpolder en Teteringen aangegeven. Deze gebieden zijn hydrologisch geïsoleerde afwateringseenheden. Elk gebied bestaat uit een deel waar kwel optreedt en een deel waar wegzijging plaatsvindt. De grootte van deze kwel- en wegzijgingsdelen veranderen met het seizoen: in het voorjaar is het kwelgebied groter dan in het najaar. De omgrenzing van de kwelgebieden tijdens de meetperiode is bepaald aan de hand van het gemeten potentiaalverschil tussen het afdekkende en het eerste watervoerende pakket.

In het kwelgebied van elk van de drie gebieden zijn op drie lokaties kwelmeters geplaatst. Op deze 9 lokaties is gedurende 5 dagen (31 oktober tot en met 4 november 1988) dagelijks een meting verricht. Op alle lokaties is de doorsnede van de leiding opgemeten (tabel 8.1).

In tabel 2 zijn de slootkwelwaarden gegeven. Tevens is in deze tabel aangegeven of bij aanvang van de meting in de leiding stroming optrad en of er bagger op de bodem lag.

Tabel 1 Profielafmetingen waterlopen in m.

Lokatie		Boven breedte	Breedte op waterspiegel	Bodem breedte	Water-diepte	Bodemdiepte - mv.
Weimeren	KW1	3,50	2,50	2,40	0,30	0,90
Weimeren	KW2	4,00	2,50	2,10	0,30	0,90
Weimeren	KW3	3,50	2,00	1,85	0,30	1,10
Oostpolder	KO1	4,60	4,20	4,00	0,40	1,00
Oostpolder	KO2	3,00	1,90	1,70	0,40	1,20
Oostpolder	KO3	3,50	2,30	2,10	0,15	1,10
Teteringen	KT1	3,50	2,30	2,10	0,35	1,00
Teteringen	KT2	2,20	1,80	1,70	0,40	0,90
Teteringen	KT3	2,40	1,50	1,30	0,40	1,10

Tabel 2 Slootkwelintensiteiten in mm.d^{-1}.

Lokatie		Stroming	Bagger	Kwel				
				1	2	3	4	Mediaan
Weimeren	KW1	ja	ja	-	6,7	5,7	4,4	5,7
Weimeren	KW2	nee	ja	8,1	1,5	1,7	0,1	1,6
Weimeren	KW3	nee	ja	1,2	1,8	1,8	1,4	1,6
Oostpolder	KO1	ja	nee	17,7	13,0	1,0	15,7	14,4
Oostpolder	KO2	nee	ja	10,1	7,6	2,1	4,5	6,1
Oostpolder	KO3	nee	ja	12,6	30,7	30,4	28,9	29,7
Teteringen	KT1	ja	?	-	3,1	0,6	0,4	0,6
Teteringen	KT2	nee	?	11,8	3,9	5,9	1,0	4,9
Teteringen	KT3	nee	?	5,1	2,6	8,6	0,4	3,9

Uit tabel 2 blijkt dat voor de meeste lokaties de waarden nogal variëren, daarom is tevens de mediaanwaarde vermeld. Opvallend is de hoge kwelwaarde voor lokatie Oostpolder KO3 ondanks de aanwezigheid van bagger op de slootbodem. De reden hiervoor is dat deze lokatie zich aan de zuidrand van het kwelgebied bevindt, waar het uitwiggende afdekkende pakket zeer dun is; ca. 1 tot 1,5 m ter plekke van de meetlokatie. De sloten steken hier bijna tot in het eerste watervoerende pakket waardoor de stromingsweerstand kleiner is dan elders in het gebied (dikte afdekkend pakket 2 tot 3 m).

Op lokatie Oostpolder KO1 is eveneens een hoge kwelwaarde gekonstateerd, echter hier waren geen baggerlagen aanwezig. Deze lokatie betreft een hoofdwaterloop waar het water continu wordt afgevoerd waardoor het peil laag wordt gehouden en het potentiaalverschil tussen slootpeil en grondwaterpeil groter is dan in een sloot met stagnerend water. Deze verklaring geldt ook voor het verschil in gemeten slootkwel tussen de lokaties Weimeren KW1 enerzijds en KW2 en KW3 anderzijds.

Een verklaring voor de lage mediaanwaarde in Teteringen KT1 is waarschijnlijk dat deze lokatie op de grens tussen kwel- en wegzijgingsgebied ligt. Om deze reden en omdat er op deze lokatie slechts drie metingen zijn verricht die twee extremen te zien geven, waardoor het moeilijk is een betrouwbare mediaanwaarde te bepalen, wordt deze waarde als zijnde niet representatief voor het kwelgebied gezien.

De metingen zoals deze zijn weergegeven in tabel 2 hebben een indicatief karakter; er dient bij kwelmetingen m.b.v. een kwelmeter in open waterlopen in ogenschouw te worden genomen dat de kwelintensiteit in een sloot van plaats tot plaats over zeer korte afstand sterk kan verschillen (Van der Weerd, 1966). Ook blijkt in overeenstemming met onderzoek in de

Prunjepolder (Van der Weerd, 1966) dat de kwelintensiteit van dag tot dag sterk kan variëren.

8.4 Berekening van de gebiedskwel

Met de gemeten slootkwelintensiteiten is getracht een indruk te verkrijgen van de gemiddelde kwelintensiteit in het kwelgebied van elk proefgebied tijdens de meetperiode. Uitgangspunt hierbij was de waterbalans voor het grondwater:

$$A = N + K - E - \Delta V \qquad (2)$$

met (alle termen in mm):
A = afvoer vanuit het grondwater naar de ontwateringsmiddelen;
N = neerslag;
K = kwel/wegzijging vanuit het eerste watervoerende pakket;
E = actuele verdamping;
ΔV = bergingsverandering van het grondwater.

Gedurende de meetperiode bedroeg de neerslag (N) in alle drie de proefgebieden in totaal 3,0 mm en de potentiële verdamping van grasland 3,5 mm. Aangezien het grondgebruik in het deel van de proefgebieden waar kwel optreedt overheersend grasland is en verondersteld mag worden dat in deze tijd van het jaar (geen vochttekort) de actuele verdamping (E) nagenoeg gelijk is aan de potentiële verdamping, bedraagt het neerslagtekort (E - N) 0,5 mm per 5 dagen of 0,1 $mm.d^{-1}$.

Uit grondwaterstandsmetingen blijkt dat gedurende de laatste drie dagen van de meetperiode de grondwaterstand in de kwelgebieden niet meetbaar veranderd, maar dat over een langere periode gezien de grondwaterstand daalt (zie aanhangsel 9). Aangenomen wordt dat gedurende de meetperiode het neerslagtekort wordt gecompenseerd door een zeer licht dalende grondwaterstand, m.a.w. dat $N - E - \Delta V = 0$.

De waterbalans voor de meetperiode ziet er dan als volgt uit:

$$A = K \qquad (3)$$

De term A, de afvoer naar de ontwateringsmiddelen is in feite de totale hoeveelheid water die door het natte oppervlak van de sloten in de kwelgebieden de sloten in kwelt. Gedurende de meetperiode is voor deze gebieden A tevens gelijk aan de totale hoeveelheid opkwellend water. In formulevorm:

$$A = \frac{K_s}{1000} O_s = \frac{K}{1000} O \qquad (4)$$

met:
A = afvoer vanuit grondwater naar ontwateringsmiddelen ($m^3.d^{-1}$);
K_s = slootkwel ($mm.d^{-1}$);
O_s = natte oppervlak sloten (m^2);
K = gebiedskwel ($mm.d^{-1}$);
O = oppervlak kwelgebied (m^2).

Per kwelgebied is het totale natte slootoppervlak bepaald bij het gemiddelde oppervlaktewaterpeil tijdens de meetperiode. Hierbij zijn voor de drie gebieden verschillende slootklassen onderscheiden, die gerelateerd zijn aan de verschillende waterlopen waarin slootkwelmetingen zijn verricht (zie tabel 1 en 3). Dit onderscheid is gemaakt op grond van lokatie, dimensies en afvoerfunctie (wel of geen stroming, zie tabel 2).

Tabel 3 Onderscheiden slootklassen.

Gebied	Slootklasse	Omschrijving
Weimeren	I	Hoofdwaterlopen
	II	Grotere sloten met duidelijke afvoerfunctie
	III	Kleinere sloten, minder duidelijke afvoerfunctie
Oostpolder	I	Hoofdwaterlopen
	II	Grotere sloten met duidelijke afvoerfunctie in midden en noorden van gebied
	III	Kleinere sloten, minder duidelijke afvoerfunctie in midden en noorden gebied
	IV	Sloten aan zuidrand van het kwelgebied
Teteringen	I	Hoofdwaterlopen
	II	Overige sloten

Hierbij wordt onder hoofdwaterlopen verstaan de grotere waterlopen met een duidelijke afvoerfunctie, die in onderhoud zijn bij de waterschappen.

Aan elke klasse is een van de in het gebied gemeten slootkwelwaarden toegekend (tabel 2). Per klasse is het gemiddelde natte slootoppervlak vermenigvuldigd met de bijbehorende slootkwel en per kwelgebied zijn de zo verkregen debieten opgeteld en gedeeld door het totale gebiedsoppervlak. Het resultaat is de gebiedskwelintensiteit in mm-waterschijf. Hierbij is voor Teteringen onderscheid gemaakt tussen 'het poldergebied' in het westen en midden van het kwelgebied en 'het overgangsgebied' (overgang van laag gelegen polder naar hoog gelegen oostelijk zandgebied) in het oosten van het kwelgebied (zie fig. 15 van de hoofdtekst). Meetlokatie Teteringen KT2 is gelegen in het poldergebied, lokatie KT3 in het overgangsgebied. De resultaten van de berekeningen zijn gegegeven in tabel 4.

In de tabel is de berekende gebiedskwel uitgedrukt in twee decimalen. Dit suggereert een nauwkeurigheid die zeker niet reëel is, gezien het globale karakter van de metingen. De extrapolatie van de puntwaarnemingen in de vorm van zeer lokaal en incidenteel gemeten slootkwel naar een gebiedswaarde voor de kwelintensiteit kan slechts een globale indruk geven van de gebiedskwel. Verder was de meetperiode te kort om op een verantwoorde wijze een waterbalans op te stellen: de berekende kwelintensiteit is zo klein dat relatief kleine veranderingen in een van de balanstermen (vergelijking 2) een relatief groot effect op de berekende kwelintensiteit kunnen hebben. In het volgende rekenvoorbeeld wordt dit geïllustreerd.

In alle drie de proefgebieden is geen verandering van de grondwaterstand in het kwelgebied gemeten gedurende de laatste drie dagen van de meetperiode. De meetnauwkeurigheid van grondwaterstandsmetingen m.b.v. een akoestisch meetklokje

Tabel 4 Resultaten van de kwelberekeningen per kwelgebied

Sloot-klasse	Lengte (m)	Natte doorsnede (m)	Sloot-kwel ($mm.d^{-1}$)	Afvoer	Oppervlakte kwelgebied ($m^3.d^{-1}$)	Gemiddelde gebiedskwel (m^2) ($mm.d^{-1}$)
A Weimeren						
I	6300	4,5	5,7	161,6		
II	11000	3,1	5,7	194,4		
III	14500	2,6	1,6	60,3		
Totaal				416,3	1548000,0	0,27
B De Oostpolder						
I	3165	5,0	14,4	227,9		
II	2285	3,0	14,4	98,7		
III	5150	2,5	6,1	78,5		
IV	2850	2,7	29,7	228,5		
Totaal				633,6	1279000,0	0,50
C Teteringen, poldergebied						
I	5300	5,5	4,9	142,8		
II	34900	2,9	4,9	496,0		
Totaal				638,8	1804000,0	0,35
D Teteringen, overgangsgebied						
I	900	2,7	3,9	9,5		
II	13410	2,4	3,9	125,5		
Totaal				135,0	735200,0	0,18

bedraagt ongeveer 5 mm. Er wordt nu aangenomen dat de grondwaterstand in deze drie dagen 3 mm (dus niet meetbaar) verandert, d.w.z. 3 mm daalt of stijgt. Het grondwaterstandsverschil bedraagt dus +/- 1 $mm.d^{-1}$. De bergingsverandering van het grondwater is te berekenen met de vergelijking:

$$\Delta V = \Delta h \ \mu \qquad (5)$$

met:
ΔV = bergingsverandering grondwater (mm);
Δh = grondwaterstandsverschil (mm);
μ = bergingscoëfficiënt (1).

Bij de heersende grondwaterdiepte is voor de betreffende profielen met het model CAPSEV (Wesseling e.a., 1984) een bergingscoëfficiënt van gemiddeld 0,20 berekend. Hieruit volgt dat ΔV = +/- 0,20 $mm.d^{-1}$ (waarin + = stijging en - = daling van de grondwaterstand). Indien de term A in (2) op dezelfde wijze wordt berekend als in tabel 4, dan geeft invulling van 0,20 voor ΔV in (2) een verandering van de berekende gebiedskwel van 0,30 $mm.d^{-1}$ en invulling van -0,20 voor ΔV een verandering van -0,10 $mm.d^{-1}$. Voor Weimeren is dit een verandering van circa 110% resp. -35%, voor De Oostpolder van 60% resp. -20%, voor Teteringen-poldergebied van circa 85% resp. -30% en voor Teteringen-overgangsgebied van circa 170% resp. -55%.

Dezelfde gevoeligheid van de berekende kwelintensiteit geldt t.a.v. kleine veranderingen in de overige balanstermen van vergelijking (2). De grootte van de termen neerslag resp. actuele verdamping is voor de proefgebieden niet precies bekend omdat ze niet ter plekke zijn gemeten maar afgeleid uit meetgegevens van naburige neerslagstations resp. De Bilt.

Concluderend kan worden gesteld dat de op boven beschreven wijze berekende gebiedskwel slechts een indicatie is voor de orde van grootte van de kwelintensiteit in de drie proefgebieden. In tabel 4 is de berekende kwel uitgedrukt in twee decimalen om bij de berekening van de verticale stromingsweerstand vergelijking tussen de verschillende gebieden beter mogelijk te maken.

8.5 Berekening van de verticale stromingsweerstand

Met behulp van de gebiedskwel en gemeten potentiaalverschillen tussen het grondwater in het eerste watervoerende en het afdekkende pakket is het mogelijk een waarde voor de verticale stromingsweerstand in het afdekkende pakket te bepalen volgens de vergelijking:

$$K = \frac{h_f - h_g}{c} 1000 \qquad (6)$$

met:
K = kwelintensiteit ($mm.d^{-1}$);
h_f = stijghoogte in eerste watervoerende pakket (m);
h_g = grondwaterstand in afdekkende pakket (m);
c = verticale stromingsweerstand afdekkende pakket (d).

De lokaties van de peilbuizen in de kwelgebieden aan de hand waarvan de potentiaalverschillen zijn bepaald, zijn per gebied aangegeven in aanhangsel 2. Omdat de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket op slechts enkele plaatsen zijn gemeten, is voor het bepalen van het potentiaalverschil ter plekke van elke grondwaterstandbuis gebruikt gemaakt van een isohypsenpatroon van het grondwater in het eerste watervoerende pakket dat is samengesteld aan de hand van eigen metingen en gegevens van relevante TNO-buizen.

Tabel 5 geeft per kwelgebied het gewogen gemiddelde gemeten potentiaalverschil en de berekende c-waarde van het afdekkende pakket. Tevens bevat deze tabel een indicatie voor de gemiddelde dikte van het afdekkende pakket.

Tabel 5 Verticale stromingsweerstand van het afdekkende pakket.

Gebied	pot. verschil (mm)	gebiedskwel ($mm.d^{-1}$)	c-waarde (d)	dikte (m)
Weimeren	220	0,27	815	3,5
Oostpolder	120	0,50	240	2,0
Teteringen				
- polder	70	0,35	200	1,5
- overgangsgebied	35	0,18	194	1,5

De dikte van het afdekkende pakket in ogenschouw nemende, komen de c-waarden goed overeen met uitzondering van die van Weimeren, die aan de hoge kant is. De vermelde waarden zijn niet absoluut; ze geven enkel de orde van grootte van de verticale stromingsweerstand. Ze kunnen dienen als start-waarden in het model-calibratieproces.

8.6 Conclusies en aanbevelingen

Van het berekenen van de gebiedskwelintensiteit uit incidenteel en zeer lokaal gemeten slootkwelwaarden mogen geen erg betrouwbare resultaten worden verwacht. De grote variatie in gemeten waarden, zowel in de tijd als in de ruimte, maakt het moeilijk de puntwaarnemingen op een reële wijze te extrapoleren naar het gehele gebied. De berekende kwelintensiteiten en c-waarden kunnen dan ook niet meer zijn dan een indicatie voor de orde van grootte van deze parameters ten behoeve van de model-calibratie.

Om een reële indruk te krijgen van de optredende kwel, is het aan te bevelen op meerdere, representatieve plaatsen een sloot af te dammen en de afvoer en slootpeilen over langere tijd te registreren. Tevens zou dan het grondwaterstandsverloop in de aansluitende percelen en de neerslag en verdamping in de directe nabijheid in enig detail moeten worden gemeten, opdat alle termen van de waterbalans bekend zouden zijn. Dit vereist echter nogal wat inrichtingswerk en intensief veldwerk, waarvoor in dit project geen ruimte was.

AANHANGSEL 9

HET VELDONDERZOEK
(R.F.A. Hendriks, J. Pankow en A. van den Toorn)

9.1 Inleiding

Vanaf het voorjaar 1988 tot het voorjaar 1989 heeft het Staring Centrum metingen verricht van waterkwantiteits- en waterkwaliteitsparameters voor het project 'Effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water op de waterkwaliteit in een kwelgebied'. De metingen zijn uitgevoerd in de drie proefgebieden Weimeren, De Oostpolder en Teteringen. Het betreft:
- grondwaterstandsmetingen en metingen van stijghoogten in het eerste watervoerende pakket;
- oppervlaktewaterpeilmetingen;
- debietmetingen en bepalingen van inlaathoeveelheden;
- bepaling van de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater.

In proefgebied Teteringen heeft het Staring Centrum minder intensief gemeten dan in de twee andere proefgebieden, omdat andere instanties in dit gebied al regelmatig metingen verrichtten. Gedurende de beschouwde periode zijn in Teteringen regelmatig grondwaterstanden en stijghoogten gemeten door de Landinrichtingsdienst te Tilburg en oppervlaktewaterpeilen door het Waterschap De Boven-Mark. Het Staring Centrum heeft aanvullende metingen van het oppervlaktewaterpeil verricht. De Landinrichtingsdienst te Tilburg heeft gedurende de beschouwde periode in Teteringen eenmaal grondwatermonsters genomen en geanalyseerd.

In het natuurterrein 'De Berk', gelegen in proefgebied De Oostpolder, zijn geen metingen door het Staring Centrum verricht, omdat dit terrein een eigen waterbeheer kent en om die reden buiten het eigenlijke inlaatgebied van De Oostpolder valt. Voor het verrichten van aanvullende berekeningen betreffende dit natuurterrein is gebruik gemaakt van relevante meetgegevens van Staatsbosbeheer te Utrecht.

In het navolgende worden per meetobject de gevolgde meetmethoden en de meetlokaties besproken, waarna de meetresultaten worden gegeven. Paragraaf 9.2 handelt over de grondwaterstandsmetingen en metingen van stijghoogten in het eerste watervoerende pakket, paragraaf 9.3 over de oppervlaktewaterpeilmetingen, paragraaf 9.4 over de debietmetingen en bepalingen van inlaathoeveelheden en paragraaf 9.5 over de bepalingen van de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater.

9.2 Metingen van grondwaterstanden en stijghoogten in het eerste watervoerende pakket

Het verloop van de grondwaterstand in de tijd is een belangrijk gegeven voor de calibratie van niet-stationaire grondwatermodellen, zoals de in dit onderzoek gebruikte module SIMUNS. Het verschil tussen de grondwaterstand in het afdekkende pakket en de stijghoogte in het eerste watervoerende

pakket is een maat voor de kwel naar of wegzijging uit het afdekkende pakket, een parameter die in dit onderzoek een belangrijke rol speelt.

Ter bepaling van deze grootheden is in de twee proefgebieden Weimeren en De Oostpolder een aantal grondwaterstandbuizen in het afdekkende pakket en een aantal peilbuizen in het eerste watervoerende pakket geplaatst. In het derde proefgebied Teteringen waren al voldoende grondwaterstandbuizen en peilbuizen aanwezig, geplaatst door de Stichting Bodemkartering, de Landinrichtingsdienst en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en in beheer bij de Landinrichtingsdienst te Tilburg.

In Weimeren en De Oostpolder zijn zes grondwaterstandbuizen geplaatst, ongeveer volgens twee elkaar kruisende raaien. De ligging van de raaien was zodanig, dat grondwatertrappengradiënten zoveel mogelijk zijn gevolgd en dat in de meest voorkomende bodemkundige eenheden minstens een buis stond. Het zwaartepunt lag hierbij op de veengronden met Gt II-III (zie fig. 12 hoofdtekst).

In Weimeren zijn twee diepe buizen tot in het eerste watervoerende pakket gezet; één aan de noord- en één aan de zuidkant van het veengebied. In De Oostpolder is één diepe buis geplaatst, ongeveer midden in het veengebied. Twee grondwaterstandbuizen in De Oostpolder (B4 en B6) stonden op lokaties waar het afdekkende pakket ontbreekt. Deze buizen gaven dus eveneens informatie over de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket.

In aanhangsel 2 zijn de lokaties van de buizen in de drie proefgebieden aangegeven. De tabellen 1 en 2 bevatten een globale boorbeschrijving van de lokaties in Weimeren en De Oostpolder. Tevens is in deze tabellen de filterdiepte van elke buis aangegeven. Voor Teteringen zijn deze gegevens bekend bij de Landinrichtingsdienst te Tilburg.

De buizen in Weimeren en De Oostpolder zijn vanaf begin juni 1988 t/m maart 1989 ongeveer een keer per 14 dagen gepeild m.b.v. een akoestisch peilklokje. De resultaten van deze metingen staan vermeld in de tabellen 3 en 4.

Het gemiddelde verloop van de grondwaterstand in meetpunt 'Berk' in De Oostpolder, te zien in het laatste figuur van aanhangsel 3.2.1, is afkomstig van Staatsbosbeheer te Utrecht.

De buizen in Teteringen zijn niet waargenomen door het Staring Centrum maar door de Landinrichtingsdienst te Tilburg. De resultaten van deze waarnemingen zijn hier niet expliciet vermeld, maar zijn voor de periode januari 1988 t/m maart 1989 terug te vinden in de figuren van aanhangsel 3.3.1.

Tabel 1 Boorbeschrijvingen en filterdieptes van de buizen in Weimeren.

Lokatie	Diepte (cm - mv.)	Omschrijving (cm - mv.)	Filterdiepte
B1	0- 30	bouwvoor, klei	110-150
	30- 60	venige klei	
	60-110	gereduceerde venige klei	
	110-160	gereduceerd zand en klei	
B2	0- 80	zandige klei	200-250
	80-140	gerijpt veen (aëroob)	
	140-200	anaëroob veen	
	210-220	venig zand	
	220-250	grijsbruin fijn zand	
B3	0- 40	klei	200-250
	40- 80	venige klei	
	80- 90	bruine klei	
	90-150	gereduceerde zwarte klei	
	150-200	grijze klei met veenkluitjes	
	200-300	veen	
B4	0- 30	grijs kleiig zand	110-160
	30- 60	bruin zand	
	60- 90	grijs gereduceerd zand	
	90-160	grijsblauw gereduceerd zand	
B5	0- 20	zand	110-160
	20-160	mosveen, bij 100 cm houtresten	
B6	0- 50	klei	110-160
	50- 60	zand	
	60- 90	blauwe klei	
	90-110	veen (aëroob)	
	110-130	anaëroob veen	
	130-160	veen met riet- en houtresten	
D1	0- 40	droge klei	400-450
	40- 70	veen (aëroob)	
	70-300	anaëroob veen	
	300-350	grijswit kleiig fijn zand	
	350-450	grof grijs zand (Form. v. Twente)	
D2	0- 50	kleiig veen	400-450
	50-250	veen	
	250-350	zand overgaand naar kleiig of lemig fijn zand	
	350-400	fijn grijs zand (Form. v. Twente)	
	400-450	grof grijs zand (Form. v. Twente)	

Tabel 2 Boorbeschrijvingen en filterdieptes van de buizen in De Oostpolder.

Lokatie	Diepte (cm - mv.)	Omschrijving (cm - mv.)	Filterdiepte
B1	0- 50	humeuze klei	110-160
	50-160	grof veen	
B2	0- 20	kleiig veen	110-160
	20-160	los veen	
B3	0- 30	humeus zand	110-160
	30-120	veen	
	120-160	lemig zand	
B4	0- 50	donker, iets humeus zand	110-160
	50-160	licht geel zand, iets grijs (Form. van Twente)	
B5	0- 40	venige klei	70-120
	40-100	veen	
	100-110	klei met iets veen	
	110-120	zand, klei en veen	
B6	0-200	zand (Form. v. Twente)	150-200
D	0- 50	zwart aëroob veen	350-400
	50-120	licht anaëroob veen	
	120-160	kleiig of lemig zand	
	160-300	zand (Form. v. Twente)	

De Formatie van Twente vormt het eerste watervoerende pakket in Weimeren en De Oostpolder.

Tabel 3 Grondwaterstanden en stijghoogten in Weimeren in m + NAP.

Datum\Buis	B1	B2	B3	B4	B5	B6	D1	D2
mv.	0,050	0,480	0,430	0,340	0,060	0,005	0,055	-0,085
8-06-'88	-0,780	-0,700	-0,750	-0,700	-0,790	-0,790	-0,490	-0,400
22-06-'88	-0,730	-0,770	-0,700	-0,685	-0,770	-0,760	-0,510	-0,420
6-07-'88	-0,700	-0,810	-0,725	-0,680	-0,595	-0,655	-0,555	-0,485
21-07-'88	-0,630	-0,600	-0,630	-0,600	-0,520	-0,615	-0,465	-0,305
27-07-'88	-0,770	-0,600	-0,620	-0,730	-0,550	-0,535	-0,495	-0,300
4-08-'88	-0,760	-0,680	-0,670	-0,700	-0,660	-0,690	-0,555	-0,430
31-08-'88	-0,700	-0,640	-0,600	-0,690	-0,590	-0,685	-0,545	-0,395
15-09-'88	-0,700	-0,690	-0,550	-0,680	-0,680	-0,655	-0,600	-0,465
29-09-'88	-	-0,300	-	-0,300	-0,220	-0,255	-0,145	-0,015
6-10-'88	-0,610	-0,500	-0,420	-0,480	-0,450	-0,395	-0,415	-0,205
20-10-'88	-0,700	-0,350	-0,540	-0,390	-0,540	-0,545	-0,445	-0,255
2-11-'88	-0,780	-	-0,690	-0,620	-0,690	-0,725	-0,525	-0,455
4-11-'88	-0,780	-	-0,690	-0,620	-0,690	-0,735	-0,525	-0,455
17-11-'88	-0,810	-0,520	-0,750	-0,640	-0,700	-0,755	-0,605	-0,465
2-12-'88	-0,660	-0,410	-0,450	-0,470	-0,540	-0,675	-0,505	-0,305
15-12-'88	-0,700	-0,450	-0,520	-0,590	-0,600	-0,685	-0,495	-0,315
5-01-'89	-0,740	-0,520	-0,620	-0,640	-0,630	-0,725	-0,555	-0,405
19-01-'89	-0,785	-0,580	-0,680	-0,700	-0,720	-0,780	-0,535	-0,485
3-02-'89	-0,830	-0,650	-	-0,750	-0,820	-0,895	-0,635	-0,575
23-02-'89	-0,850	-0,570	-	droog	-0,670	-0,855	-0,600	-0,495
13-03-'89	-0,670	-0,450	-	-0,830	-0,685	-0,785	-0,555	-0,425
30-03-'89	-0,730	-0,460	-	-0,810	-0,720	-0,845	-0,585	-0,485

Tabel 4 Grondwaterstanden en stijghoogten in De Oostpolder in m + NAP.

Datum\Buis	B1	B2	B3	B4	B5	B6	D
mv.	-0,090	-0,050	0,030	1,810	0,060	1,630	-0,130
8-06-'88	-0,760	-0,690	-0,710	-	-	0,130	-
22-06-'88	-0,715	-0,720	-0,685	0,650	-0,680	0,060	-0,550
6-07-'88	-0,700	-0,565	-0,650	0,800	-0,550	0,175	-0,610
21-07-'88	-0,635	-0,525	-0,590	0,870	-0,480	0,460	-0,570
27-07-'88	-0,640	-0,555	-0,605	0,960	-0,470	0,440	-0,610
4-08-'88	-0,670	-0,620	-0,715	0,960	-0,560	0,320	-0,655
31-08-'88	-0,680	-0,680	-0,760	0,800	-0,580	0,340	-0,690
15-09-'88	-0,660	-0,640	-0,680	0,860	-0,470	0,330	-0,650
29-09-'88	-0,380	-0,390	-0,370	1,100	-0,310	0,740	-0,260
6-10-'88	-0,510	-0,450	-0,540	1,060	-0,440	0,620	-0,460
20-10-'88	-0,600	-0,530	-0,630	1,020	-0,480	0,570	-0,550
2-11-'88	-0,630	-0,600	-0,670	0,940	-0,500	0,480	-0,600
4-11-'88	-0,630	-0,600	-0,670	0,940	-0,500	0,480	-0,600
17-11-'88	-0,650	-0,620	-0,690	0,860	-0,530	0,410	-0,650
2-12-'88	-0,550	-0,460	-0,530	1,070	-0,320	0,680	-0,500
15-12-'88	-0,640	-0,500	-0,620	1,030	-0,420	0,600	-0,520
5-01-'89	-0,645	-0,560	-0,660	0,985	-0,450	0,510	-0,600
19-01-'89	-0,690	-0,600	-0,700	0,940	-0,520	0,480	-
3-02-'89	-0,700	-0,660	-0,730	0,870	-0,555	0,410	-0,670
23-02-'89	-0,680	-0,560	-0,680	0,975	-0,470	0,520	-0,585
13-03-'89	-0,650	-0,550	-0,660	1,010	-0,425	0,610	-0,550
30-03-'89	-0,680	-0,590	-0,700	0,950	-0,530	0,520	-0,580

9.3 Oppervlaktepeilmetingen

Voor de calibratie van het in het onderzoek gebruikte oppervlaktewatermodel SIMWAT is het van belang het verloop in de tijd van het oppervlaktewaterpeil op meerdere plaatsen te kennen. Het oppervlaktewaterpeil direct boven- en/of onderstrooms van in- of uitlaatwerken kan een maat zijn voor de hoeveelheid in- of uitgelaten water per tijdseenheid.

Er waren drie Ott-peilschrijvers voor het onderzoek beschikbaar, die het mogelijk maakten het peil continu te registeren. Naast deze continue registratie is het peil op meerdere punten niet-continu, met een bepaalde frequentie gemeten. Om praktische redenen is besloten voor deze meetpunten aanwezige peilschalen en bestaande kunstwerken (vnl. duikers) te nemen.

9.3.1 Continue registratie

In Weimeren zijn twee peilschrijvers geplaatst; één bij de inlaat en één bij de uitlaat. De peilschrijver bij de inlaat was vooral bedoeld ter bepaling van de hoeveelheid ingelaten water (zie 9.4.2) en ten behoeve van de calibratie van het model voor de inlaatperiode. Het peil bij de uitlaat is geregistreerd voor de algemene modelcalibratie. De derde peilschrijver is geplaatst in De Oostpolder bij de duiker die als inlaat en uitlaat fungeert. In Teteringen zijn geen peilschrijvers geplaatst omdat hier enkele peilschalen aanwezig waren die zeer frequent door het Waterschap De Boven-Mark werden afgelezen. De lokatie van de peilschrijvers is aangegeven in aanhangsel 2.

De resultaten van de registraties met de peilschrijvers zijn weergegeven in de eerste twee figuren van aanhangsel 3.1.2 (meetpunten PS1 en PS2) en van aanhangsel 3.2.2 (meetpunten PS en PS[inlaat]). Figuur 3.1.2-PS1 geeft het verloop in de tijd van het peil bij de uitlaat in Weimeren gedurende de gehele meetperiode (19-5-'88 t/m 31-3-'89). Tijdens perioden waarin werd bemalen en de neerslag niet te extreem was, fluctueerde het peil bijna dagelijks van minimaal -1,20 m + NAP tot maximaal -0,80 m + NAP. Omdat het weinig zinvol is deze dagelijkse fluctuaties grafisch uit te zetten, is voor deze perioden het gemiddelde peilverloop in de figuur weergegeven. Dit geldt eveneens voor figuur 3.2.2-PS, waarin het verloop van het oppervlaktewaterpeil bij de in-/uitlaat van De Oostpolder gedurende de gehele meetperiode (5-5-'88 t/m 31-3-'89) is uitgezet, zij het dat hier de fluctuaties iets kleiner zijn (min. -1,10 m + NAP tot max. -0,80 m + NAP). Figuur 3.1.2-PS2 geeft het peilverloop bij de inlaat in Weimeren. Omdat dit peil over het algemeen slechts enkele cm verschilt van het peil bij de uitlaat, is hier volstaan met een meer gedetailleerde weergave van het peil gedurende de inlaatperioden. De pieken in deze figuur geven de inlaatperioden weer. Wanneer en hoelang water is ingelaten in Weimeren is te zien in tabel 14 (9.4.2). Figuur 3.2.2-PS(inlaat) geeft gedetailleerd het peilverloop gedurende de inlaatperioden bij de in-/uitlaatduiker van De Oostpolder weer. De inlaatperioden zijn voor De Oostpolder aangegeven in tabel 5.

Tabel 5 Perioden van waterinlaat in De Oostpolder in 1988

Inlaat-periode		Datum	Tijdstip	Tijd (uren)
1	van	20-5	8.00 u	
	tot	27-5	8.00 u	168
2	van	2-6	8.00 u	
	tot	6-6	8.00 u	96
3	van	14-6	8.00 u	
	tot	1-7	10.00 u	410
Totaal				674

9.3.2 Niet-continue metingen

In alle drie de proefgebieden is op meerdere plaatsen het oppervlakte-peil ongeveer een keer in de 14 dagen gemeten. De meetpunten betroffen bestaande kunstwerken:
- Weimeren: 4 duikers (PD1 t/m PD4);
- De Oostpolder: in-/uitlaat duiker (PD0), 3 duikers (PD1 t/m PD3) en een stuw (PSt);
- Teteringen: inlaatduiker (PI) en 2 duikers (PD1 en PD2).

De ligging van de meetpunten is aangegeven in aanhangsel 2.

De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in de tabellen 6 t/m 8.

Tabel 6 Oppervlaktewaterpeilen in Weimeren in m + NAP.

Datum\Lokatie	PD1	PD2	PD3	PD4
27-05-'88	-0,790	-0,790	-0,830	-0,780
8-06-'88	-0,710	-0,720	-0,750	-0,610
22-06-'88	-0,660	-0,680	-0,690	-0,620
6-07-'88	-0,660	-0,750	-0,780	-0,670
21-07-'88	-0,690	-0,690	-0,640	-0,710
4-08-'88	-0,720	-0,750	-0,690	-0,730
31-08-'88	-0,800	-0,780	-0,760	-0,800
15-09-'88	-0,880	-0,870	-0,840	-0,900
29-09-'88	-0,410	-0,410	-0,380	-0,395
20-10-'88	-0,970	-0,770	-0,670	-1,040
17-11-'88	-0,990	-0,875	-0,690	-1,020
2-12-'88	-0,980	-0,815	-0,710	-1,000
15-12-'88	-0,990	-0,845	-0,750	-1,080
5-01-'89	-1,010	-0,870	-0,750	-1,090
3-02-'89	-1,075	-0,990	-0,990	-1,070
23-02-'89	-1,130	-0,930	-0,920	-1,120
13-03-'89	-1,095	-0,970	-0,950	-1,090
30-03-'89	-1,140	-0,940	-0,870	-1,115

Tabel 7 Oppervlaktewaterpeilen in De Oostpolder in m + NAP (het stuwpeil van PSt bedraagt 0,05 m + NAP).

Datum\Lokatie	PD0	PD1	PD2	PD3	PSt
5-05-'88	-0,900	-	-	-	-
19-05-'88	-0,800	-	-	-	-
27-05-'88	-0,680	-0,680	-0,690	-0,710	0,100
8-06-'88	-0,620	-0,650	-0,640	-0,670	0,050
22-06-'88	-0,660	-0,680	-0,690	-0,680	0,030
6-07-'88	-0,685	-0,810	-0,810	-0,800	0,090
21-07-'88	-0,865	-0,840	-0,810	-0,790	0,130
4-08-'88	-0,850	-0,750	-0,790	-0,770	0,070
31-08-'88	-1,000	-0,970	-0,950	-0,910	0,120
15-09-'88	-0,895	-0,880	-0,860	-0,880	0,100
29-09-'88	-0,630	-0,600	-0,580	-0,550	0,250
20-10-'88	-0,965	-0,850	-0,840	-0,800	0,170
17-11-'88	-0,960	-0,970	-0,950	-0,920	0,130
2-12-'88	-1,020	-0,970	-0,910	-0,900	0,135
15-12-'88	-1,030	-0,990	-0,960	-0,920	0,095
5-01-'89	-1,080	-1,040	-1,005	-0,930	0,070
3-02-'89	-1,050	-1,040	-1,030	-0,960	0,040
13-03-'89	-1,100	-1,075	-1,005	-0,930	0,075
30-03-'89	-1,070	-1,090	-1,030	-0,930	0,070

Het gemiddelde verloop van het oppervlaktewaterpeil in meetpunt 'Berk' in De Oostpolder, te zien in het laatste figuur van aanhangsel 3.2.2, is afkomstig van Staatsbosbeheer te Utrecht.

Tabel 8 Oppervlaktewaterpeilen in Teteringen in m + NAP.

Datum/Lokatie		PI	PD1	PD2
19-05-'88	(10.00 u)	-0,380*	-	-
19-05-'88	(16.30 u)	-0,150*	-	-
20-05-'88		-0,140	-	-
21-05-'88		-0,130*	-	-
22-05-'88		-0,150*	-	-
23-05-'88		-0,130*	-	-
27-05-'88		-0,340	-0,340	-0,350
8-06-'88		-0,360	-0,360	-0,350
10-06-'88	(8.30 u)	-0,350*	-	-
10-06-'88	(9.30 u)	-0,290	-	-
10-06-'88	(12.00 u)	-0,120	-	-
10-06-'88	(17.00 u)	-0,110	-	-
11-06-'88		-0,090*	-	-
13-06-'88		-0,330*	-	-
15-06-'88		-0,100*	-	-
16-06-'88		-0,350*	-	-
18-06-'88		-0,100*	-	-
20-06-'88		-0,350*	-	-
22-06-'88		-0,120	-0,260	-0,270
25-06-'88		-0,100*	-	-
6-07-'88		-0,250	-0,240	-0,230
21-07-'88		-0,150	-0,190	-0,200
4-08-'88		-0,350	-0,310	-0,300
31-08-'88		-0,330	-0,340	-0,360
15-09-'88		-0,320	-0,330	-0,330
29-09-'88		-0,250	-0,270	-0,280
6-10-'88		-0,350	-	-
20-10-'88		-0,340	-0,350	-0,360
17-11-'88		-0,350	-0,400	-0,400
2-12-'88		-0,420	-0,370	-0,370
15-12-'88		-0,450	-0,530	-0,520
5-01-'89		-0,440	-0,600	-0,600
3-02-'89		-0,490	-0,600	-0,620
23-02-'89		-0,480	-0,580	-0,570
13-03-'89		-0,460	-0,400	-0,390
30-03-'89		-0,480	-0,410	-0,410

* = waarnemingen van Waterschap De Boven-Mark

In Teteringen waren verder nog drie peilschalen (PG, PW en PSt) aanwezig die zeer frequent (tot 1 maal per dag) door het Waterschap De Boven-Mark zijn afgelezen (zie aanhangsel 2 voor de ligging). De resultaten van deze metingen zijn terug te vinden in de betreffende figuren van aanhangsel 3.3.2.

9.4 Debietmetingen en bepalingen van inlaathoeveelheden

Inlaat- en uitlaatdebieten zijn belangrijke invoerparameters voor het oppervlaktewatermodel SIMWAT. De hoeveelheid ingelaten water is binnen dit onderzoek van groot belang voor de calibratie van het model SIMWAT. Deze inlaathoeveelheid is voor Weimeren en Teteringen afgeleid uit gemeten inlaatdebieten. Voor De Oostpolder was dit niet mogelijk.

9.4.1 Debietmetingen

In de drie proefgebieden zijn in- en uitlaatdebieten bepaald uit incidenteel gemeten stroomsnelheidsprofielen of stroomsnelheden en natte doorsneden. In Teteringen zijn geen uitlaatdebieten gemeten omdat de uitlaat hier het gemaal betreft

en er van werd uitgegaan dat de hoeveelheid uitgeslagen water zou kunnen worden bepaald uit het aantal draaiuren en de capaciteit van het gemaal.

Stroomsnelheidsprofielen zijn gemeten door in negen punten in de benedenstroomse natte doorsnede van de duiker de stroomsnelheid te meten met een Ott-molen. Deze punten lagen langs drie verticalen, 10 cm boven de bodem, in het midden van de waterdiepte en 10 cm onder de waterspiegel. De drie verticalen bevonden zich 15 cm uit de linkerkant, in het midden van de breedte en 15 cm uit de rechterkant van de duiker. De breedte van, resp. de gemiddelde waterdiepte tijdens inlaat in de duikers bedroeg:
- Weimeren inlaatduiker : 1,45 resp. ca. 0,50 m;
- De Oostpolder in-/uitlaatduiker: 1,60 resp. ca. 1,00 m;
- Teteringen inlaatduiker : 1,25 resp. ca. 0,60 m.

Het totale debiet is gevonden door de stroomsnelheid over het gehele oppervlak van de natte doorsnede te integreren in verticale en vervolgens in horizontale richting. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van deze methode wordt verwezen naar Kraijenhoff van de Leur en Pitlo (1977).

De ondergrens van het meetbereik van de gebruikte Ott-molen bedraagt ca. 0,050 $m.s^{-1}$. Omdat lagere stroomsnelheden tijdens in- en uitlaat in Weimeren en De Oostpolder regelmatig voorkwamen en om praktische redenen is besloten de uitlaatdebieten in deze gebieden te meten met een tracer. Aan de bovenstroomse kant van de duiker werd op tijdstip 0 ca. 5 liter verzadigde zoutoplossing in het midden van de stroom gebracht. Het tijdstip t, waarop met een EGV-meter een piek in het Electrisch Geleidingsvermogen aan de benedenstroomse kant werd gemeten, werd geregistreerd. De stroomsnelheid werd verkregen door de lengte van de duiker te delen door t. De lengte van de uitlaatduiker in Weimeren bedraagt 27,5 m en die van de in/uitlaatduiker in De Oostpolder 12,5 m. Per meting werd de stroomsnelheid drie keer gemeten. Uit de gemiddelde stroomsnelheid en de natte doorsnede werd het debiet bepaald. Ter controle is enkele keren het met de tracer-methode bepaalde debiet vergeleken met het debiet verkregen uit stroomsnelheidsprofielen. Hieruit is een correctiefactor voor het debiet van de tracer-methode afgeleid die in het algemeen 0,96 bedroeg.

De resultaten van de debietmetingen zijn vermeld in de tabellen 9 t/m 11. De waarden verkregen met de tracer-methode zijn gecorrigeerd volgens bovenvermelde correctiefactor. De in tabel 9.9 voor 6-7-'88 aangegeven toestand 'Meting' betreft een kortstondige inlaat van ca. 10 min voor het verkrijgen van een extra meting voor de bepaling van de relatie tussen het inlaatdebiet en het verschil tussen het peil boven- en benedenstrooms van de inlaatduiker (zie verder 9.4.2).

9.4.2 Bepalingen van inlaathoeveelheden

In Weimeren en Teteringen is een relatie bepaald tussen het inlaatdebiet en het verschil tussen het peil boven- en benedenstrooms van de inlaatduiker, bij een zekere opening van de schuif. Deze schuifopening is steeds bij elke waterinlaat

Tabel 9 In- en uitlaatdebieten van Weimeren in $m^3.s^{-1}$.

Datum		Meetplaats	Toestand	Methode	Debiet
26-05-'88	(12.05 u)	Uitlaatduiker	Inlaat	Tracer	0,151
26-05-'88	(12.20 u)	" "	"	"	0,116
26-05-'88	(15.10 u)	" "	"	"	0,056
2-06-'88	(13.20 u)	Inlaatduiker	"	Ott-molen	0,205
2-06-'88	(16.15 u)	" "	"	"	0,199
24-06-'88		" "	"	"	0,175
6-07-'88		" "	Meting	"	0,159
20-10-'88		Uitlaatduiker	Uitlaat	"	0,112
3-11-'88		" "	"	"	0,108
17-11-'88		" "	"	Tracer	0,101
2-12-'88		" "	"	"	0,105
15-12-'88		" "	"	"	0,112
5-01-'89		" "	"	"	0,099
23-02-'89		" "	"	"	0,051
13-03-'89		" "	"	"	0,117

Tabel 10 In- en uitlaatdebieten van De Oostpolder (in-/uitlaatduiker) in $m^3.s^{-1}$.

Datum		Toestand	Methode	Debiet
26-05-'88		Inlaat	Tracer	0,071
2-06-'88	(11.15 u)	"	"	0,060
2-06-'88	(15.30 u)	"	"	0,051
3-06-'88		"	"	0,051
5-06-'88		"	"	0,041
6-07-'88		Uitlaat	Ott-molen	0,290
21-07-'88		"	"	0,227
22-09-'88		"	Tracer	0,065
29-09-'88		"	"	0,230
20-10-'88		"	"	0,093
17-11-'88		"	"	0,096
2-12-'88	(14.00 u)	"	"	0,156
2-12-'88	(15.00 u)	"	"	0,187
2-12-'88	(17.00 u)	"	"	0,177
15-12-'88		"	"	0,137
5-01-'89		"	"	0,121
23-02-'89		"	"	0,108
13-03-'89		"	"	0,234

Tabel 11 Inlaatdebieten van Teteringen (inlaatduiker) in $m^3.s^{-1}$.

Datum		Methode	Debiet
19-05-'88	(13.00 u)	Ott-molen	0,278
19-05-'88	(16.30 u)	"	0,180
10-06-'88	(9.30 u)	"	0,316
10-06-'88	(11.30 u)	"	0,187
10-06-'88	(17.00 u)	"	0,161

aangehouden. De hoeveelheid ingelaten water is in deze gebieden afgeleid uit de vastgestelde relatie en het gemeten peilverloop tijdens inlaat boven- en benedenstrooms van de inlaatduiker. Voor De Oostpolder was deze methode niet mogelijk omdat er tijdens inlaat en uitlaat in de in-/uitlaatduiker niet voldoende verval optreedt.

Het debiet onder een schuif in een rechthoekige duiker is een functie van de schuifopening en het verschil tussen het peil boven- en benedenstrooms van de duiker (Bos, 1978):

$$Q = Ce\ b\ w \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \qquad (1)$$

waarin:
Q = debiet ($m^3.s^{-1}$);
Ce = constante (-);
b = binnenbreedte duiker (m);
w = schuifopening (m);
g = versnelling van de zwaartekracht ($m.s^{-2}$);
h_1 = peil bovenstrooms (m);
h_2 = peil benedenstrooms (m).

Bij een constante opening van de schuif kan (1) worden geschreven als:

$$Q = C \sqrt{(h_1 - h_2)} \qquad (2)$$

waarin C een constante is die geldt voor de betreffende duiker bij die bepaalde schuifopening. Zijn C en het peilverschil bekend dan kan het debiet worden bepaald met vergelijking (2).

Voor Weimeren en Teteringen is de constante C bepaald uit het gemeten debiet (tabel 9 en 11) en peilverschil. De resultaten zijn gegeven in tabellen 12 en 13.

Tabel 12 C-waarden voor de inlaatduiker van Weimeren bij een schuifopening van 2,5 cm.

Datum	Debiet ($m^3.s^{-1}$)	h1 (Mark) (m + NAP)	h2 (PS2) (m + NAP)	h1 - h2 (m)	C ($m^{2,5}.s^{-1}$)
2-6-'88	0,205	0,12	-0,77	0,89	0,217
2-6-'88	0,199	0,12	-0,71	0,83	0,218
24-6-'88	0,175	0,00	-0,63	0,63	0,220
6-7-'88	0,159	-0,02	-0,56	0,54	0,216
Gemiddeld					0,218
Standaard afw.					0,002

Tabel 13 C-waarden voor de inlaatduiker van Teteringen bij een schuifopening van 25 cm.

Datum	Debiet ($m^3.s^{-1}$)	h1 (Markk.) (m + NAP)	h2 (PI) (m + NAP)	h1 - h2 (m)	C ($m^{2,5}.s^{-1}$)
19-5-'88	0,278	-0,04	-0,26	0,22	0,591
19-5-'88	0,180	-0,02	-0,15	0,13	0,498
10-6-'88	0,316	0,02	-0,29	0,31	0,567
10-6-'88	0,187	0,00	-0,12	0,12	0,539
10-6-'88	0,161	-0,02	-0,11	0,09	0,536
Gemiddeld					0,546
Standaard afw.					0,035

Uit de gemiddelde C-waarde en het gemeten verloop van het peil boven-en onderstrooms van de inlaatduiker is voor Weimeren en Teteringen met vergelijking (2) een inlaathoeveelheid voor elke inlaatperiode bepaald (tabellen 14 en 15).

Tabel 14 Inlaathoeveelheden in Weimeren voor de inlaatperioden van 1988.

Inlaatperiode		Datum	Tijdstip	Tijd (uren)	Inlaat (m^3)
1*	van	26-5	11.00 u		
	tot	27-5	8.00 u	21	4500
2	van	1-6	11.00 u		
	tot	1-6	11.30 u	0,5	360
3	van	2-6	13.00 u		
	tot	2-6	20.00 u	7	5190
4	van	6-6	8.00 u		
	tot	7-6	8.00 u	24	14316
5	van	15-6	15.00 u		
	tot	16-6	8.00 u	17	11323
6	van	16-6	13.30 u		
	tot	17-6	16.00 u	26,5	15450
7	van	20-6	13.00 u		
	tot	21-6	9.00 u	20	11580
8	van	24-6	10.00 u		
	tot	24-6	16.00 u	6	3989
9	van	27-6	8.30 u		
	tot	27-6	16.00 u	7,5	4942
Totaal				129,5	71650

* = experimentele inlaat via de uitlaat-duiker

Tabel 15 Inlaathoeveelheden in Teteringen voor de inlaatperioden van 1988.

Inlaatperiode		Datum	Tijdstip	Tijd (uren)	Inlaat (m^3)
1	van	19-5	10.00 u		
	tot	21-5	8.00 u	46	34691
2	van	22-5	8.45 u		
	tot	23-5	8.00 u	23,25	12924
3	van	10-6	8.30 u		
	tot	11-6	8.00 u	23,5	18039
4	van	13-6	10.45 u		
	tot	15-6	14.00 u	51,25	26477
5	van	16-6	15.00 u		
	tot	18-6	9.30 u	42,5	20025
6	van	20-6	14.30 u		
	tot	25-6	8.30 u	114	57630
Totaal				300,5	169786

9.5 Bepalingen van de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater

Voor het onderzoek was het van groot belang een indruk te hebben van de kwaliteit van het gebiedseigen oppervlakte- en grondwater, van de kwaliteit van het ingelaten water en van de kwaliteit van het oppervlaktewater in het gebied na inlaat van gebiedsvreemd water. Daartoe zijn in 1988 vóór, tijdens en na waterinlaat en in het najaar, en in 1989 in het begin van het voorjaar oppervlakte- en grondwatermonsters genomen en geanalyseerd. Het accent lag hierbij op het oppervlaktewater omdat het onderzoek zich hierop toespitste. In tabel 16 zijn de bemonsteringsdatums aangegeven.

Als gevolg van de veel vroeger dan verwachte waterinlaat zijn in De Oostpolder geen oppervlaktewatermonsters vóór de waterinlaat genomen.

Tabel 16 Bemonsteringsdatums van oppervlakte- en grondwater in de drie proefgebieden.

Datum	Weimeren		Oostpolder		Teteringen	
	opv.w.	grondw.	opv.w.	grondw.	opv.w.	grondw.
19-05-'88	V	-	-	-	V	-
25-05-'88	-	-	-	-	T	-
9-06-'88	T	-	-	-	-	-
10-06-'88	-	-	T	-	-	-
15-06-'88	-	-	-	-	-	Ld
27-07-'88	N	N	N	N	N	-
6-10-'88	H	H	H	H	-	-
20-10-'88	-	-	-	-	H	H
31-03-'89	L	L	L	L	L	L

V = bemonstering vóór inlaat
T = bemonstering tijdens inlaat
N = bemonstering na inlaat
H = bemonstering in najaar
L = bemonstering in begin voorjaar
Ld = bemonstering door Landinrichtingsdienst
- = geen bemonstering

De lokaties van de oppervlaktewatermonsters zijn aangegeven in aanhangsel 2. In elk gebied is per bemonsteringsronde meestal één monster van het inlaatwater en negen monsters van het gebiedswater genomen. Deze laatste bemonsteringslokaties bevonden zich verspreid over het gebiedsdeel, waar op grond van topografie en de structuur van het waterlopenstelsel invloed van inlaatwater kon worden verwacht, in de hoofdwaterlopen op verschillende afstanden van het inlaatpunt. Op deze wijze kon enerzijds een indruk worden verkregen van de gemiddelde gebiedseigen oppervlaktewaterkwaliteit en kon anderzijds de invloed van het inlaatwater vanaf het inlaatpunt worden getraceerd. In Weimeren en De Oostpolder bevond een van de bemonsteringspunten zich in een kleinere ontwateringssloot (W9 resp. O10).

De grondwatermonsters zijn genomen in de verschillende geplaatste en al aanwezige peilbuizen. De toegepaste techniek is beschreven door Van den Toorn (1981). Ervaring uit eerder onderzoek leert dat het plaatsen van buizen een verstoring van het bodemprofiel tot gevolg heeft, waardoor er verschuivingen in de chemische evenwichten van het grondwater ter plekke optreden. Na een bepaalde tijd zal de oorspronkelijke situatie zijn hersteld en hebben de buizen zich ingesteld. Deze insteltijd varieert van bodem tot bodem en ligt in de orde van grootte van een half jaar tot één jaar. Op dit moment is er nog geen gericht onderzoek gedaan naar dit verschijnsel. Voor de analyses van de grondwatermonsters, genomen in de ten tijde van de monsternamen recentelijk geplaatste buizen van Weimeren en De Oostpolder, kan dit betekenen dat de analyseresultaten geen betrouwbaar beeld van de werkelijke samenstelling van het grondwater geven.

De monsters zijn geanalyseerd in het waterkwaliteitslaboratorium van het Staring Centrum. Ten behoeve van het ecologische deel van het onderzoek zijn de volgende waterkwaliteitsparameters bepaald:
- kationen: K, Na, NH_4, Ca, Mg, Fe;
- anionen : Cl, HCO_3, NO_3, SO_4, PO_4;
- andere : pH, Electrisch geleidingsvermogen (EGV).

De kationen, met uitzondering van K en NH_4, zijn gemeten met een ICP/AES (inductief gekoppeld plasma/atomaire emissie spectrometer). De analyse van K is geschied volgens NPR (Nederlandse praktijk richtlijn) 6450 met een AAS (atomaire adsorptie spectrometer). Voor de bepaling van NH_4 is gebruik gemaakt van destilatieapparatuur en een spectrofotometer volgens NEN (Nederlandse norm) 3235. De anionen, met uitzondering van HCO_3 en PO_4, zijn bepaald met een HPLC (high performance liquid chromatography). HCO_3 is berekend uit het IC-gehalte (inorganic carbon) en de pH. Het IC-gehalte is bepaald volgens NPR 6522. PO_4 is gemeten met een spectrofotometer volgens NEN 6479. De pH en het EGV zijn bepaald volgens respectievelijk NEN 6411 en 6412 bij 20 °C. De pH en het EGV van het oppervlaktewater zijn in eerste instantie in het veld gemeten met veldmeters en daarna nagemeten in het laboratorium. Omdat bleek dat de in het veld bepaalde waarden hoegenaamd niet afweken van de in het lab bepaalde waarden is uiteindelijk volstaan met bepaling van deze parameters in het lab.

Omdat in Weimeren brak water opkwelt, heeft in dit gebied op 3-5-'88 een uitgebreide EGV-meting van het oppervlaktewater plaatsgevonden. Aan de hand van deze metingen is een deelgebied onderscheiden waar deze brakke kwel duidelijk invloed heeft op de oppervlaktewaterkwaliteit (zie aanhangsel 2 voor de ligging van dit 'brakke kwelgebied'). Het kriterium hierbij was een EGV van 150 $mS.m^{-1}$ (bij 20 °C) of hoger.

De analyseresultaten van de verschillende watermonsters zijn gegeven in de tabellen 17 t/m 22. De codering van de bemonsteringspunten van het grondwater is dezelfde als die van de betreffende buizen.

Tabel 17 Analyseresultaten van het oppervlaktewater in Weimeren.

Lokatie	EGV ($mS.m^{-1}$)	pH (-)	K	Na	Ca	Mg	Fe	NH_4-N	Cl	SO_4	HCO_3-C	NO_3	PO_4-P
			($mg.l^{-1}$)										
Datum: 19-5-'88													
W1	47,5	7,23	14,4	35,7	52,0	8,3	0,04	0,5	49,0	69,6	7,0	28,0	1,3
W2	88,5	7,67	16,3	104,3	61,0	30,3	0,12	0,9	172,6	111,5	43,4	<10	12,1
W3	137,4	7,30	23,8	86,3	191,7	55,6	0,03	18,9	133,0	196,8	101,0	<10	59,2
W4	114,8	8,25	10,4	143,4	81,1	34,5	0,19	0,8	200,0	155,7	40,7	<10	8,3
W5	92,0	7,70	8,9	69,8	89,6	41,8	0,30	0,8	115,0	247,1	42,0	<10	<0,1
W6	81,5	7,87	8,0	90,8	62,1	26,8	0,24	0,6	183,0	124,9	52,7	<10	0,4
W7	91,1	7,71	9,3	94,4	69,5	31,4	0,26	0,6	187,0	145,4	23,9	<10	<0,1
W8	91,4	7,40	9,4	125,4	71,0	32,6	1,28	0,8	140,7	181,0	26,4	<10	0,8
W9	449,0	7,43	64,8	15,0	209,1	190,0	0,05	8,9	670,0	100,0	30,6	<10	5,6
W10	106,9	7,86	12,9	139,0	71,0	36,6	0,10	0,8	138,1	175,3	108,9	<10	0,5
Datum: 9-6-'88													
W1	44,1	7,21	16,6	26,7	52,5	8,4	0,00	0,8	40,4	61,3	38,4	13,9	0,5
W2	48,7	7,47	16,2	31,2	56,4	10,0	0,02	<0,2	46,0	65,7	9,4	<10	<0,1
W3	82,1	7,29	10,0	50,4	108,0	24,4	0,38	<0,2	71,4	86,5	21,4	<10	41,4
W4	119,9	7,73	8,0	162,4	79,2	29,4	0,30	<0,2	185,7	130,3	71,2	<10	1,2
W5	90,7	7,71	8,9	69,8	89,6	41,8	0,15	0,8	110,7	247,1	21,3	<10	<0,1
W6	67,6	7,86	11,3	72,3	46,4	21,2	0,11	<0,2	87,7	106,8	50,1	<10	0,3
W7	52,5	7,61	13,1	43,0	50,9	13,1	0,28	<0,2	59,2	81,1	20,8	<10	<0,1
W8	70,8	8,18	9,3	81,0	45,1	23,5	0,13	<0,2	89,6	125,6	0,7	<10	0,1
W9	52,0	7,32	19,3	38,4	51,8	11,9	0,05	<0,2	73,4	74,7	18,6	<10	0,6
W10	46,9	7,60	12,9	31,3	53,3	9,5	0,00	<0,2	47,3	63,1	20,3	<10	0,3
Datum: 27-7-'88													
W1	47,0	7,37	19,2	21,8	54,0	9,0	0,30	1,0	64,0	70,0	13,8	15,0	0,0
W2	74,0	7,41	7,9	45,6	94,4	21,3	0,50	2,7	109,0	75,0	47,5	<10	0,4
W3	98,0	6,84	6,3	41,2	157,4	26,5	0,30	5,9	94,0	108,0	68,7	<10	5,3
W4	96,0	6,81	7,5	77,1	100,0	29,6	0,40	2,1	106,0	168,0	29,0	<10	0,3
W5	94,0	7,02	4,2	37,2	139,5	32,0	0,20	0,9	84,0	221,0	27,5	19,0	0,0
W6	64,0	7,16	6,1	38,8	75,3	18,4	0,50	1,0	73,0	109,0	18,2	17,0	0,0
W7	61,0	7,88	8,2	37,9	66,7	20,8	0,40	0,9	67,0	117,0	16,4	<10	0,0
W8	61,0	7,16	6,5	42,0	69,1	18,8	0,80	0,8	119,0	95,0	18,1	10,0	0,0
W9	64,0	7,02	9,3	58,9	57,2	18,2	1,20	0,0	91,0	90,0	22,0	<10	0,0
W10	68,0	7,08	8,8	46,2	71,7	21,3	1,40	2,2	89,0	147,0	25,4	<10	0,1
Datum: 6-10-'88													
W1	49,9	6,98	20,0	26,7	57,9	10,1	0,11	0,4	47,2	86,1	13,8	30,4	-
W2	56,9	7,18	18,0	27,8	74,9	12,0	0,10	0,3	98,8	<0	21,1	<3,8	-
W3	123,9	6,94	9,0	55,4	213,0	38,2	0,10	0,4	-	-	18,4	-	-
W4	97,6	6,88	9,0	83,3	100,5	27,0	0,19	0,4	103,6	190,5	29,8	-	-
W5	84,9	6,47	8,0	37,4	124,8	24,9	0,09	0,6	51,1	223,3	17,5	12,9	-
W6	64,5	6,75	9,0	50,3	63,6	17,4	0,75	4,1	80,7	159,8	12,0	14,7	-
W7	64,7	6,71	8,0	48,3	61,7	18,3	1,19	2,0	74,1	164,8	10,0	8,3	-
W8	62,9	6,76	8,0	56,4	57,4	18,2	1,11	0,6	68,8	138,6	10,6	5,6	-
W9	79,7	6,75	9,0	97,3	44,6	23,0	1,56	0,3	125,1	148,2	15,6	<3,8	-
W10	84,0	7,21	9,0	76,8	72,2	25,1	0,80	0,4	85,7	164,5	23,7	3,8	-
Datum: 31-3-'89													
W1	47,2	6,79	5,6	18,2	52,2	9,0	0,47	0,56	37,8	81,2	12,3	31,7	-
W2	105,2	7,46	7,2	75,4	137,2	26,3	0,20	0,83	84,0	126,0	79,9	<7,5	-
W3	116,1	7,37	6,1	57,9	173,2	37,0	0,02	0,56	68,0	232,0	70,2	<7,5	-
W4	110,7	6,86	5,9	53,1	155,3	33,7	0,21	0,83	76,3	281,3	38,3	14,4	-
W5	104,8	7,17	6,6	106,3	94,9	31,5	0,30	0,56	105,7	194,0	43,3	<7,5	-
W6	85,3	7,08	11,7	74,4	78,2	23,0	1,84	0,56	97,9	163,9	21,9	12,7	-
W7	148,4	7,18	7,1	207,9	86,5	36,9	1,24	0,56	219,0	250,6	41,2	<7,5	-
W8	91,7	7,05	9,3	85,5	80,5	26,3	1,67	1,38	199,0	191,4	22,9	7,6	-
W9	136,6	7,15	9,8	205,0	63,2	31,2	4,86	2,21	262,8	109,7	43,5	<7,5	-
W10	130,0	7,61	4,4	155,0	91,8	39,5	0,74	0,56	151,9	235,3	51,0	<7,5	-

Tabel 18 Analyseresultaten van het grondwater in Weimeren.

Lokatie	EGV ($mS.m^{-1}$)	pH (-)	K	Na	Ca	Mg	Fe	NH_4-N	Cl	SO_4	HCO_3-C	NO3	PO_4-P
			($mg.l^{-1}$)										
Datum: 27-7-'88													
B1	208,0	6,90	6,5	64,0	422,0	59,3	1,80	16,6	55,0	651,0	92,3	<10	0,2
B2	192,0	7,30	4,4	58,7	356,0	73,3	0,10	6,4	98,0	628,0	83,5	<10	2,6
B3	108,0	6,83	7,3	70,4	140,1	31,6	0,30	6,8	119,0	124,0	80,1	<10	0,4
B4	80,0	5,81	4,1	24,0	123,6	20,7	1,60	2,2	73,0	240,0	4,2	<10	0,0
B5	82,0	5,71	24,9	25,0	83,1	28,3	1,30	15,3	48,0	292,0	0,1	<10	0,0
B6	85,0	6,75	4,1	108,6	42,2	27,7	0,30	5,7	126,0	79,0	42,5	<10	0,0
D1	394,0	7,35	15,8	627,0	153,3	71,2	0,20	5,2	1113,0	20,0	123,0	<10	0,0
D2	62,0	5,92	16,9	42,0	29,6	30,7	0,30	3,8	56,0	172,0	1,8	<10	0,0
Datum: 6-10-'88													
B1	149,8	7,12	13,0	208,2	92,7	45,2	0,04	1,3	186,5	20,5	120,1	<10	-
B2	185,3	6,94	2,0	69,9	318,0	70,5	0,01	4,4	140,7	51,3	77,6	<10	-
B3	192,5	7,06	11,0	83,9	322,0	58,1	0,00	6,5	221,5	337,1	152,9	<10	-
B4	160,5	6,71	16,0	60,8	283,0	34,4	0,13	3,5	92,8	527,1	11,2	<10	-
B5	68,7	5,67	14,0	20,6	58,8	24,5	0,42	13,2	24,2	229,2	0,5	<10	-
B6	85,7	6,76	4,0	102,6	49,5	24,5	0,12	1,9	113,4	56,9	31,0	<10	-
D1	388,0	7,15	15,0	670,0	135,2	56,6	0,05	3,9	471,0	99,1	155,4	27,0	-
D2	68,1	5,73	17,0	40,1	30,3	30,6	4,47	6,4	123,9	164,1	1,0	<10	-
Datum: 31-3-'89													
B1	118,0	7,25	3,4	121,5	95,0	39,4	0,23	0,7	93,6	7,4	135,2	<2,4	-
B2	159,8	7,13	1,1	85,1	217,0	57,9	0,14	1,1	66,7	7,4	147,3	<2,4	-
B3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B5	73,9	5,44	9,5	22,4	69,1	26,4	6,11	1,3	23,6	7,4	0,6	<2,4	-
B6	84,1	7,07	3,3	76,7	60,5	22,8	0,86	1,0	107,9	7,3	62,3	<2,4	-
D1	360,0	7,32	18,0	519,1	142,2	52,0	3,28	2,3	952,4	6,5	182,9	<2,4	-
D2	63,1	5,14	9,8	37,7	33,0	27,8	13,54	2,0	51,1	197,8	0,7	<2,4	-

Tabel 19 Analyseresultaten van het oppervlaktewater in De Oostpolder.

Lokatie	EGV ($mS.m^{-1}$)	pH (-)	K	Na	Ca	Mg	Fe	NH_4-N	Cl	SO4	HCO_3-C	NO_3	PO_4-P
			($mg.l^{-1}$)										
Datum: 10-6-'88													
01	51,3	7,71	11,8	41,8	56,6	11,7	0,00	0,7	60,4	76,2	20,2	<10	<0,1
02	65,5	7,37	10,3	27,8	103,6	16,2	0,04	0,5	49,8	125,1	21,4	<10	0,9
03	65,9	7,52	11,5	26,1	104,9	15,4	0,01	0,5	53,9	141,8	32,8	<10	0,3
04	64,0	6,69	5,3	22,0	109,4	15,0	0,04	0,5	47,5	120,7	27,7	<10	0,1
05	60,5	7,58	8,3	19,9	107,1	11,4	0,02	0,6	47,3	112,8	36,3	<10	<0,1
06	68,3	7,22	11,2	28,0	92,5	14,6	0,00	0,7	55,4	168,2	29,5	<10	<0,1
07	63,2	7,24	18,7	29,6	98,7	16,5	0,03	0,8	54,5	104,4	25,5	20,2	0,3
08	70,1	7,23	12,8	26,2	104,9	16,2	0,00	0,9	56,4	141,8	0,6	9,6	<0,1
09	54,4	7,50	16,2	17,7	82,0	16,1	0,14	0,6	38,1	77,5	0,6	<10	1,4
010	62,8	7,62	8,6	23,7	104,7	15,3	0,06	0,7	50,5	88,9	27,9	<10	1,7
Datum: 27-7-'88													
01	67,0	7,50	12,1	28,5	94,6	17,5	0,20	1,1	70,0	112,0	27,2	<10	0,0
02	66,0	7,34	9,4	23,0	104,2	15,3	0,20	0,6	73,0	94,0	30,6	12,0	0,0
03	68,0	7,26	8,3	22,0	111,2	15,7	0,20	0,6	74,0	94,0	34,4	11,0	0,0
04	64,0	7,10	6,9	22,0	102,6	14,2	0,50	1,0	63,0	105,0	26,5	12,0	0,0
05	60,0	6,93	11,6	22,6	86,7	13,8	0,20	1,7	63,0	105,0	17,3	12,0	0,0
06	71,0	6,94	18,9	28,0	98,2	16,7	0,50	2,1	60,0	101,0	22,4	30,0	0,4
07	62,0	6,98	12,0	24,3	91,3	13,5	0,20	2,6	78,0	164,0	13,9	18,0	0,0
08	68,0	6,63	12,4	24,2	102,0	14,7	0,20	1,5	63,0	144,0	12,2	20,0	0,0
09	64,0	7,06	22,0	22,2	80,5	17,8	0,30	1,9	127,0	120,0	16,3	<10	0,0
010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Datum: 6-10-'88													
01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02	79,9	6,81	13,0	21,8	110,3	17,1	0,02	0,2	37,1	136,7	23,1	31,8	-
03	67,9	7,45	7,0	20,0	120,2	16,7	0,01	0,2	37,0	141,0	36,1	22,2	-
04	62,0	6,96	7,0	19,7	102,8	12,6	0,01	0,1	37,8	134,1	25,7	12,3	-
05	56,4	7,02	12,0	20,6	82,8	12,1	0,01	0,1	39,5	118,8	16,4	21,6	-
06	75,2	6,92	24,0	27,6	99,7	17,2	0,02	0,4	49,8	149,4	20,4	48,7	-
07	64,9	7,02	20,0	21,0	88,8	15,3	0,10	1,2	45,0	136,4	14,3	56,0	-
08	63,6	6,63	14,0	21,5	91,8	13,4	0,14	0,1	41,3	156,1	10,4	25,3	-
09	47,6	6,41	16,0	25,4	54,9	9,7	0,15	0,3	38,9	101,3	4,5	30,2	-
010	57,4	6,42	10,0	26,8	88,6	8,0	0,13	0,2	45,1	159,2	4,4	14,7	-
Datum: 31-3-'89													
01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02	71,7	7,32	11,8	13,0	107,4	16,8	0,39	0,28	42,6	146,1	32,6	26,7	-
03	74,7	7,29	8,5	19,0	119,6	16,3	0,21	<0,2	41,6	148,9	36,9	21,3	-
04	69,4	7,30	5,3	17,4	115,1	13,3	0,35	0,56	0,2	128,0	36,1	12,5	-
05	63,3	6,94	12,9	17,0	86,5	13,5	0,30	<0,2	42,0	145,7	17,4	31,0	-
06	68,2	7,04	18,2	15,0	91,2	15,0	0,25	0,83	41,3	139,2	20,0	50,9	-
07	68,1	6,82	14,8	16,5	92,7	15,1	0,64	0,27	46,1	161,9	13,3	45,2	-
08	74,1	6,89	14,5	21,3	106,7	15,1	0,55	0,83	48,1	187,1	18,3	23,2	-
09	59,3	6,76	10,1	13,6	73,9	12,4	0,69	0,27	46,5	133,3	9,4	44,6	-
010	102,6	7,23	3,7	37,9	184,8	13,3	0,22	0,56	84,7	241,0	35,3	0,0	-

Tabel 20 Analyseresultaten van het grondwater in De Oostpolder.

Lokatie	EGV ($mS.m^{-1}$)	pH (-)	K	Na	Ca	Mg	Fe	NH_4-N	Cl	SO4	HCO_3-C	NO_3	PO_4-P
			($mg.l^{-1}$)										
Datum: 27-7-'88													
B1	76,0	6,73	6,0	23,8	119,0	27,7	1,20	4,9	55,0	138,0	31,3	<10	0,0
B2	54,0	6,58	2,6	30,7	92,6	7,0	14,70	6,6	39,0	45,0	26,0	<10	0,9
B3	88,0	6,98	26,6	24,0	124,8	11,0	1,30	19,7	67,0	159,0	30,8	<10	0,0
B4	20,0	6,70	11,8	3,6	25,2	5,3	3,90	5,3	17,0	13,0	13,7	<10	0,0
B5	60,0	6,45	3,2	23,6	89,3	12,1	0,70	2,7	60,0	123,0	10,3	<10	0,0
B6	21,0	6,59	11,1	3,0	27,0	4,8	1,60	2,4	11,0	11,0	5,4	34,0	0,0
D	86,0	6,98	6,0	21,3	167,5	11,9	0,10	1,5	90,0	75,0	72,5	<10	0,0
Datum: 6-10-'88													
B1	76,6	7,16	9,0	22,3	104,1	23,3	0,33	3,9	33,0	173,5	26,9	<10	-
B2	49,2	6,78	2,0	25,8	72,0	5,9	4,98	4,1	26,0	43,4	21,8	17,2	-
B3	80,5	6,65	7,0	22,9	135,8	10,3	0,17	0,9	38,1	237,2	9,1	19,6	-
B4	30,1	6,73	7,0	13,6	36,5	6,0	0,04	0,7	14,0	26,5	14,7	<10	-
B5	53,7	6,98	8,0	24,6	63,8	9,3	0,05	1,2	46,2	128,9	6,9	<10	-
B6	26,3	6,50	11,0	8,7	30,3	4,7	0,05	0,5	13,0	22,1	7,1	25,0	-
D	57,3	6,51	11,0	19,0	91,1	7,6	1,35	0,7	37,1	102,0	15,2	<10	-
Datum: 31-3-'89													
B1	92,8	7,47	1,4	34,3	127,1	30,6	0,38	0,9	35,4	7,5	51,4	<2,4	-
B2	43,6	7,65	0,3	33,9	51,5	5,0	1,63	1,0	21,7	67,4	32,9	2,4	-
B3	51,2	7,45	0,3	28,0	66,5	6,6	0,35	1,0	28,9	117,8	16,1	22,5	-
B4	42,8	6,86	7,6	15,3	55,1	8,3	0,31	<0,1	24,4	57,5	31,9	5,0	-
B5	67,5	7,12	4,3	26,0	92,4	12,7	0,95	<0,1	53,8	142,0	29,0	<2,4	-
B6	26,7	6,93	3,1	7,6	33,3	4,6	0,44	<0,1	14,7	39,2	10,3	17,5	-
D	76,8	7,29	1,8	37,7	120,0	9,2	1,37	<0,1	10,6	136,1	63,2	<2,4	-

Tabel 21 Analyseresultaten van het oppervlaktewater in Teteringen.

Lokatie	EGV ($mS.m^{-1}$)	pH (-)	K	Na	Ca	Mg	Fe	NH_4-N	Cl	SO4	HCO_3-C	NO_3	PO_4-P
			($mg.l^{-1}$)										
Datum:	19-5-'88												
T1	49,6	7,71	10,0	36,0	63,4	8,3	0,00	<0,1	57,5	48,2	32,7	27,6	<0,1
T2	66,7	7,81	10,3	71,1	66,5	9,6	1,09	0,2	117,3	50,5	17,9	12,4	<0,1
T3	67,1	7,56	20,0	29,2	89,0	19,3	0,00	<0,1	57,7	153,6	19,9	<10	0,1
T4	65,8	7,16	17,7	30,8	88,4	17,6	0,00	0,1	48,0	155,8	0,3	11,4	<0,1
T5	64,1	7,66	18,7	30,0	95,9	15,7	0,00	<0,1	47,8	147,9	0,1	<10	<0,1
T6	64,8	7,48	18,1	28,6	92,2	17,8	0,01	0,2	55,3	194,7	0,5	<10	<0,1
T7	72,1	6,21	15,5	23,0	111,9	16,5	0,14	1,1	39,3	239,9	0,2	<10	<0,1
T8	62,2	7,70	20,2	25,4	88,1	15,1	0,02	0,1	41,6	178,4	0,0	<10	<0,1
T9	58,0	5,47	23,6	21,5	64,1	15,4	0,00	0,6	36,6	179,9	0,0	<10	0,1
T10	79,3	4,04	52,1	37,9	80,7	18,4	0,15	0,7	76,2	223,3	0,0	<10	2,7
Datum:	25-5-'88												
T1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T2	49,9	7,33	10,2	33,2	62,0	8,4	0,00	-	61,2	63,9	0,0	19,3	<0,1
T3	48,6	7,42	12,2	33,1	58,8	8,4	0,00	-	61,2	69,4	18,2	11,7	<0,1
T4	45,9	7,71	12,1	30,7	56,3	8,4	0,02	-	56,5	64,5	16,8	9,9	<0,1
T5	55,6	7,51	14,7	34,8	70,8	11,0	0,00	-	65,5	86,9	16,3	9,9	<0,1
T6	47,2	7,70	10,6	32,3	59,0	8,5	0,00	-	58,1	60,5	20,9	10,2	0,4
T7	71,5	6,28	13,7	22,9	116,8	14,9	0,04	-	44,5	199,9	8,2	<10	0,1
T8	62,4	7,25	14,4	32,3	86,4	13,8	0,00	-	56,5	134,1	0,1	<10	<0,1
T9	60,1	6,39	22,0	22,7	73,2	17,2	0,11	-	39,2	172,9	7,9	<10	<0,1
T10	58,4	7,29	21,5	35,6	66,7	11,9	0,01	-	61,3	117,1	0,1	9,6	<0,1
Datum:	27-7-'88												
T1	43,0	7,22	13,9	23,9	52,1	8,2	0,20	0,5	22,0	59,0	13,8	34,0	0,2
T2	44,0	7,45	14,1	24,0	52,0	8,2	0,20	1,1	79,0	112,0	14,6	15,0	0,0
T3	57,0	6,53	15,9	25,9	69,4	13,9	4,50	0,0	66,0	140,0	10,9	<10	0,0
T4	52,0	7,02	13,0	26,8	67,5	11,5	0,50	1,8	59,0	180,0	14,7	<10	0,0
T5	46,0	6,99	11,0	24,9	58,2	10,6	0,20	1,6	61,0	102,0	16,4	<10	0,1
T6	56,0	7,05	11,0	26,4	74,7	12,5	0,50	0,0	48,0	161,0	16,0	<10	0,0
T7	56,0	6,99	11,7	26,0	77,1	12,6	0,80	1,5	64,0	127,0	15,4	<10	0,0
T8	64,0	5,93	19,2	24,0	81,3	15,7	1,00	2,2	45,0	294,0	1,2	12,0	0,0
T9	59,0	5,67	20,1	22,3	70,2	15,4	0,40	3,8	47,0	227,0	1,4	<10	0,0
T10	95,0	4,44	122,6	42,5	88,8	22,1	0,10	1,9	114,0	374,0	0,1	70,0	0,0
Datum:	6-10-'88												
T1	49,0	7,14	19,0	27,4	57,7	9,6	0,00	0,2	49,5	99,2	14,0	22,8	-
T2	54,0	7,07	13,0	45,4	54,5	9,4	0,11	0,2	77,0	68,4	14,3	23,3	-
T3	55,7	6,94	16,0	23,4	65,1	15,4	0,03	0,1	43,1	137,3	11,5	7,6	-
T4	56,5	6,86	15,0	22,0	68,7	13,8	0,00	0,9	46,0	157,6	6,6	10,9	-
T5	53,3	6,94	11,0	22,1	71,0	12,7	0,01	0,3	42,1	144,8	8,9	6,4	-
T6	60,0	7,20	11,0	24,1	85,3	12,4	0,00	0,2	42,6	151,4	14,8	6,5	-
T7	46,5	6,81	12,0	17,0	65,7	10,1	0,10	2,6	42,6	152,0	11,0	6,7	-
T8	51,3	6,47	30,0	21,9	51,8	11,7	0,01	0,5	30,6	116,8	4,9	41,8	-
T9	48,7	5,93	17,0	18,4	51,5	13,3	0,05	0,4	30,1	127,6	0,5	32,3	-
T10	52,3	6,63	40,0	14,7	46,7	14,0	0,74	0,6	25,8	59,3	7,2	90,1	-
Datum:	31-3-'89												
T1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T2	60,0	6,97	11,1	45,2	55,3	9,7	0,95	0,56	75,5	78,8	16,5	25,9	-
T3	66,5	6,66	34,8	21,0	66,6	17,9	0,95	0,56	45,0	177,8	6,3	28,1	-
T4	58,8	6,99	10,9	12,8	80,2	13,2	0,19	0,56	36,3	164,0	11,7	10,2	-
T5	61,4	7,20	12,5	13,3	79,2	13,1	0,04	0,83	39,0	168,5	10,7	21,7	-
T6	62,5	7,20	8,7	14,4	89,3	11,8	0,02	0,56	38,6	156,6	17,9	13,2	-
T7	64,9	7,22	11,7	20,0	90,3	13,3	0,06	0,28	38,7	193,8	9,1	12,4	-
T8	64,5	6,71	34,4	23,1	69,8	15,7	0,89	<0,2	42,5	190,3	2,9	29,2	-
T9	61,4	6,18	17,8	14,4	67,8	17,1	0,43	0,56	37,4	191,1	0,6	36,8	-
T10	64,9	6,44	46,2	17,9	60,7	16,7	0,12	1,38	46,7	97,4	2,4	140,6	-

Tabel 22 Analyseresultaten van het grondwater in Teteringen.
(codering achter buisnummers: f = freatisch; md = eerste watervoerende pakket)

Lokatie	EGV ($mS.m^{-1}$)	pH (-)	K	Na	Ca	Mg	Fe	NH_4-N	Cl	SO4	HCO_3-C	NO_3	PO_4-P
			($mg.l^{-1}$)										
Datum: 20-10-'88													
N177 f	79,0	5,91	15,0	33,9	92,1	20,4	0,25	0,8	46,0	296,0	1,3	<5	-
N177 md	60,2	6,49	6,0	25,5	81,5	12,8	0,00	0,8	42,4	189,0	7,6	<5	-
N178 f	80,5	6,41	3,0	14,4	154,6	14,9	1,47	2,9	56,1	274,0	18,7	<5	-
N178 md	50,0	6,78	2,0	13,7	83,8	10,5	0,02	1,8	76,3	50,0	37,2	<5	-
N179 f	66,4	5,81	30,0	20,7	79,0	15,3	2,41	1,9	32,6	222,0	2,1	<5	-
N179 md	96,2	6,02	4,0	32,5	138,0	22,1	13,38	4,0	60,0	366,0	2,4	<5	-
MD4	63,9	5,60	8,0	30,3	51,1	21,6	0,93	0,2	50,1	202,0	1,2	<5	-
MD5	63,1	6,30	50,0	35,0	46,6	14,3	0,10	0,2	50,7	156,0	3,9	<5	-
Datum: 31-3-'89													
N177 f	77,9	5,96	9,5	28,8	94,2	18,7	29,99	<0,1	53,0	268,0	3,5	<2,4	-
N177 md	53,2	6,53	3,8	18,0	67,6	10,4	6,10	<0,1	36,0	157,9	9,4	<2,4	-
N178 f	92,0	6,20	0,3	24,6	164,2	13,7	7,72	0,3	28,9	350,9	8,4	<2,4	-
N178 md	44,3	6,91	0,3	8,8	71,8	7,8	1,72	<0,1	62,4	50,0	37,3	<2,4	-
N179 f	66,7	6,01	7,5	19,5	75,0	11,8	12,84	<0,1	39,3	212,9	7,6	<2,4	-
N179 md	92,9	5,81	2,4	26,3	129,0	19,5	35,58	<0,1	65,7	333,9	3,2	<2,4	-
MD4	59,1	5,57	16,9	30,1	38,7	18,1	29,08	<0,1	46,9	191,0	3,0	<2,4	-
MD5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-