

## Modelstudie waterhuishouding Fochteloërveen en omgeving

# **Modelstudie waterhuishouding Fochteloërveen en omgeving**

**Simulatie van scenario's voor het waterbeheer met SIMGRO**

**P.E.V. van Walsum  
A.A. Veldhuizen**

**Rapport 399**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1996**



## REFERAAT

Van Walsum, P.E.V. en A.A. Veldhuizen. 1995. *Modelstudie waterhuishouding Fochteloërveen en omgeving; simulatie van scenario's voor het waterbeheer met SIMGRO*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 399. 179 blz.; 108 fig.; 11 tab.; 21 ref.; 3 aanh.

Voor het Fochteloërveen en omgeving wordt een gebiedsvisie ontwikkeld in het kader van het Natuurbeleidsplan. Het opstellen van zo'n visie vereist kennis van de regionale hydrologie en de gerelateerde ecologische aspecten. Daartoe zijn een systeemverkenning en een meetprogramma uitgevoerd. Vervolgens is het model SIMGRO geïmplementeerd, en op enkele punten verder ontwikkeld. Daaraan is gekoppeld een nieuwe methode om de lokale geschiktheid voor hoogveengroei in het Fochteloërveen te schatten en een bestaande methode (HELP) om effecten op het omringende landbouwgebied te evalueren. Dit rapport beschrijft de opzet en kalibratie van SIMGRO, de methode om hydrologische effecten te vertalen naar ecologische, en de rekenresultaten voor tien waterbeheersscenario's.

Trefwoorden: ecologie, hoogveen, hydrologie, Natuurbeleidsplan

ISSN 0927-4499

©1996 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.  
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

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

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

# Inhoud

	blz.
Samenvatting	13
1 Inleiding	23
1.1 Projectkader	23
1.2 Methodiek	24
1.3 Leeswijzer	24
2 Simulatie van de regionale hydrologie	27
2.1 Inleiding	27
2.2 Implementatie van SIMGRO	27
2.2.1 Ruimtelijke indeling en tijdstappen	27
2.2.2 Grondwater	32
2.2.2.1 Schematisering van de ondergrond	32
2.2.2.2 Randvoorwaarden	32
2.2.2.3 Grondwaterwinningen	33
2.2.3 Bodemwater en vegetatie-atmosfeer interacties	34
2.2.3.1 Schematisering, bodemgebruik en verdamping	34
2.2.3.2 Balansmodel van bodemwater in de wortelzone	37
2.2.3.3 Balansmodel van bodemwater in de ondergrond	38
2.2.3.4 Berging van water op het maaiveld	39
2.2.4 Oppervlaktewater	41
2.2.4.1 Schematisering	41
2.2.4.2 Dynamiek van het oppervlaktewater	42
2.2.4.3 Interactie tussen grond- en oppervlaktewater	50
2.3 Calibratie	54
2.3.1 Inleiding	54
2.3.2 Doelfunctie	56
2.3.3 Systematische gevoeligheidsanalyse	58
2.3.4 Aanpassing van parameters	61
2.3.5 Validatie	66
2.4 Simulatie van de huidige situatie	71
2.4.1 Meteorologische gegevens	71
2.4.2 Waterbalanstermen	72
3 Berekening van effecten op natuur en landbouw	79
3.1 Ecologische vertaling van modelresultaten	79
3.2 Landbouw	84
3.2.1 Natschade	85
3.2.2 Droogschade	85
3.2.3 Opbrengstbedragen	86
4 Scenario's	87
4.1 Inleiding	87
4.1.1 Uitgangspunten	87
4.1.2 Maatregelen	89
4.1.2.1 Buisdrainage van drainagebehoefte gronden	90

4.1.2.2	Waterconservering met peilbeheer	90
4.1.2.3	Waterconservering met peilbeheer en wateraanvoer	92
4.1.2.4	Vernatting bosgebieden door verondieping van waterlopen	92
4.1.2.5	Vernatting landbouwgebieden door demping van waterlopen	92
4.1.2.6	Extreme vernatting door damaanleg	92
4.2	Rekenresultaten voor scenario's	93
4.2.1	Huidige situatie (scenario 0)	93
4.2.2	Drainage van drainage-behoeftegronden (scenario 1)	99
4.2.3	Autonome ontwikkeling in het Fochteloërveen en randzone (scenario 2)	105
4.2.4	Plaatsing van een scherm tot aan de keileem (scenario 2a)	116
4.2.5	Vernatting van bos- en Relatienota-gebieden ten zuiden van de Kolonivaart (scenario 3)	117
4.2.6	Maatregelen Veenhuizen-plan (scenario 4)	122
4.2.7	Nieuw beleid en functiewijziging op een aantal landbouwpercelen (scenario 5)	127
4.2.8	Extra vernatting bos en enkele andere percelen (scenario 6)	131
4.2.8.1	Verschil ten opzichte van scenario 5	132
4.2.8.2	Verschil ten opzichte van scenario 2	135
4.2.9	Extra functiewijzigingen in het landbouwgebied en nieuw beleid (scenario 7)	141
4.2.10	Scenario's met waterconservering en wateraanvoer in het landbouwgebied (scenario's 6a en 6b)	146
5	Conclusies	155

### **Tabellen**

1	Opeenvolging van lagen in schematisering van grondwaterstroming	32
2	Overzicht van bodemgebruik in het studiegebied	35
3	De parameters gebruikt in de gevoeligheidsanalyse	59
4	De parametervariaties	59
5	De waarde van de doelfunctie in het verloop van de calibratieprocedure	66
6	Gekarteerde en gesimuleerde GLG en GHG per subgebied	71
7	Meteorologische daggemiddelden voor Eelde	71
8	De waterbalans van het Fochteloërveen voor de 8 simulatie-jaren	72
9	Samenstelling bouwplan voor de onderscheiden hoofdbodemtypen	85
10	Water benodigd voor infiltratie in scenario 6b	152
11	Overzicht van belangrijke rekenresultaten voor scenario's	156

### **Figuren**

1	Ligging van het natuurgebied 'Fochteloërveen'	23
2	Grens modelgebied	28
3	Indeling in waterbalans- en afwateringseenheden	29
4	Indeling in subgebieden van de bodemwatermodule	30
5	Locatie van niet-agrarische grondwaterwinningen	33

6	Verdeling van grasland (onberegend) over het studiegebied	34
7	Gewasfactor van pijpestrootje	35
8	Relaties voor de berekening van de relatieve verdamping	46
9	Kenmerkend verloop van de freatische bergingscoëfficiënt	39
10	Voorbeeld van een fractioneel inundatie-diagram	40
11	Afwateringsstructuur van het studiegebied	42
12	Afvoerdrempel op de schaal van afwateringseenheden	44
13	Streefpeilen op de schaal van afwateringseenheden	45
14	Afvoerdrempel op de schaal van gridcellen	46
15	Beschikbare aanvoercapaciteit in het studiegebied	47
16	Streefpeilen op de schaal van gridcellen	49
17	Overzicht van buisdrainage in het modelgebied	51
18	Drainageweerstanden van sloten	52
19	Ontwateringsdieptes van sloten	53
20	Drainageweerstand (vervangingswaarde) grotere waterlopen	54
21	Aanpassing van de afvoerdrempel in de automatische calibratieprocedure	63
22	Aanpassing van de drainageweerstand van sloten in de automatische calibratieprocedure	64
23	De potklei-verbreding na de calibratie	65
24	Gemeten en gesimuleerde stijghoogten van een TNO-buis, ongecalibreerd model	67
25	Gemeten en gesimuleerde stijghoogten van een TNO-buis, gec calibreerd model	67
26	Gemeten en gesimuleerde afvoeren van een waterbalanseenheid, ongecalibreerde model	68
27	Gemeten en gesimuleerde afvoeren van een waterbalanseenheid, gec calibreerde model	68
28	De gesimuleerde grondwatertrappen op subgebiedsniveau	69
29	De gekarteerde grondwatertrappen op subgebiedsniveau	70
30	Langjarige gemiddelde wegzijging (mm/dag) voor de zomerperiode	73
31	Langjarig gemiddelde van kwel (mm/dag) voor de zomerperiode	74
32	Langjarig gemiddelde van infiltratie (mm/dag) voor de zomerperiode	75
33	Langjarig gemiddelde van de wegzijging van het 2 <sup>e</sup> naar het 3 <sup>e</sup> watervoerende pakket	76
34	Langjarig gemiddelde van de kwel van het 3 <sup>e</sup> naar het 2 <sup>e</sup> watervoerende pakket	77
35	Indeling in ecologische zones	80
36	Referentieduurlijn voor berekening van geschiktheids-score hoogveengroei	82
37	Vertaalfunctie voor verschuiving van de gesimuleerde duurlijn	82
38	Wegingsfunctie voor berekening afwijking t.o.v. de referentieduurlijn	83
39	Vertaalfunctie voor berekening geschiktheids-score hoogveengroei	84
40	Beleidsdeelgebieden voor het specificeren van maatregelen in scenario's	88
41	Schema van scenario's	89
42	Verschil tussen gemiddeld maaiveld en 10%-punt maaiveldsverdeling	91
43	Geschiktheids-score voor hoogveengroei voor de huidige situatie	94
44	Berekende fluctuatie van de grondwaterstand in de huidige situatie	95
45	Berekende inundatieduur in de huidige situatie	96
46	Droogschade in de huidige situatie	97
47	Natschade in de huidige situatie	98
48	Duurlijn van de afvoer uit het Fochteloërveen, huidige situatie	99

49	Uitbreiding van buisdrainage in scenario 1	100
50	Daling van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) als gevolg van drainage-aanleg in scenario 1	101
51	Daling van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) als gevolg van drainage-aanleg in scenario 1	102
52	Voorbeeld van het effect van drainage-aanleg op de duurlijn van grondwaterstanden in scenario 1	103
53	Toename van de fluctuatie van grondwaterstanden als gevolg van drainage-aanleg in scenario 1	104
54	Afname (negatieve toename) van natschade als gevolg van aanleg van buisdrainage in scenario 1	105
55	Overzicht van maatregelen in scenario 2 (autonome natuurontwikkeling)	106
56	Verandering van de afvoerdrempel in scenario 2	107
57	Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) in scenario 2	108
58	Stijging van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) in scenario 2	109
59	Duurlijn-grafiek voor de grondwaterstanden van een gridcel in zone 1 van het Fochteloërveen, in scenario 1 en 2	110
60	Duurlijn-grafiek voor de grondwaterstanden van een gridcel in zone 2 van het Fochteloërveen, in scenario 1 en 2	111
61	Geschiktheids-score voor hoogveengroei in scenario 2	112
62	Inundatieduur in scenario 2	113
63	Afname (negatieve toename) van de droogschade in scenario 2	114
64	Duurlijnen van de totale afvoer uit het Fochteloërveen in scenario's 1 en 2	115
65	Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 2a	117
66	Overzicht van maatregelen in scenario 3 (vernatting van bos- en Relatienota-gebieden)	118
67	Verhoging van de afvoerdrempel in scenario 3	119
68	Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 3	120
69	Toename van de inundatieduur in scenario 3	121
70	Duurlijn voor een gridcel in zone 2, in scenario 3	122
71	Overzicht van maatregelen in scenario 4 (Veenhuizen-plan)	123
72	Verhoging van de afvoerdrempel in scenario 4	124
73	Streefpeil zomer voor situaties met infiltratie, in scenario 4	125
74	Stijging van Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 4	126
75	Duurlijnen voor een gridcel met peilbeheer in scenario 4	127
76	Overzicht van maatregelen in scenario 5 (nieuw beleid, EHS)	128
77	Verhoging van de afvoerdrempel in scenario 5	129
78	Stijging van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) in scenario 5	130
79	Duurlijnen voor een gridcel in het vernattingsgebied ten zuidoosten van het Fochteloërveen, in scenario 5	131
80	Overzicht van maatregelen voor extra vernatting in scenario 6	132
81	Verhogingen van de afvoerdrempel in scenario 6	133
82	Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 6	134



83 Duurlijnen voor een gridcel in de dalvormige depressie ten zuidoosten van het Fochteloërveen, in scenario 6	135
84 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 6 ten opzichte van scenario 2	136
85 Stijging van de geschiktheids-score voor hoogveengroei in scenario 6 ten opzichte van scenario 2	137
86 Toename van de inundatieduur in scenario 6 ten opzichte van scenario 2	138
87 Afname (negatieve toename) van de droogschade in scenario 6 ten opzichte van scenario 2	139
88 Toename van de natschade in scenario 6 ten opzichte van scenario 2	140
89 Duurlijnen van totale afvoer uit het Fochteloërveen, voor scenario 1, 2 en 6	141
90 Overzicht van maatregelen in scenario 7	142
91 Verhoging van de afvoerdrempel in scenario 7	143
92 Zomerstreefpeil in gebieden met waterconservering in scenario 7, voor infiltratiesituaties	144
93 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 7	145
94 Toename van de inundatieduur in scenario 7	146
95 Verhoging van de afvoerdrempel in scenario 6a	147
96 Zomerstreefpeil in scenario 6a	148
97 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 6a	149
98 Afname (negatieve toename) van de droogschade in scenario 6a	150
99 Toename van de natschade in scenario 6a	151
100 Gebieden met wateraanvoer in scenario 6b	152
101 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 6b	153
102 Afname van de droogschade als gevolg van wateraanvoer in scenario 6b	154
103 Codes van waterbalanseenheden	161
104a-b Voorbeelden resultaten gevoeligheidsanalyse	162
105a-c Resultaten van de calibratie per waterbalanseenheid	164
106a-d Resultaten van de calibratie: afwijkingen van afvoeren na stap 0-3	167
107a-d Isohypsens van gesimuleerde en gemeten stijghoogten voor lagen 1, 2, 4 en 6	171
108a-e Voorbeelden van berekening geschiktheids-score hoogveengroei	175
 <i>Aanhangsels</i>	
1 Resultaten van calibratie	161
2 Isohypsens van gesimuleerde en gemeten stijghoogten	171
3 Toepassingen berekening geschiktheids-score hoogveengroei op voorbeelden	175



## Woord vooraf

In opdracht van de Directie Natuur, Bos, Landschap en Faunabeheer (NBLF) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, is een onderzoek uitgevoerd naar de waterhuishouding van het Fochteloërveen en omgeving. Voor NBLF vormt dit onderzoek een invulling van het Natuurbeleidsplan-programma "Regeneratie hoogvenen".

Het onderzoek bestond uit twee fasen, te weten een hydrologisch veldonderzoek (en systeemanalyse) en een simulatieonderzoek met het model SIMGRO. Dit rapport doet verslag van het tweede deel. De rapportage over het veldonderzoek en de bodemfysische schematisatie vindt afzonderlijk plaats (SC-rapporten 347 en 382). Ten behoeve van een bredere verspreiding van resultaten is bovendien een rapport geschreven waarin het gehele onderzoek met betrekking tot het Fochteloërveen nog eens de revue passeert. Dat rapport (Min. van LNV, in voorbereiding) gaat tevens in op het door Bureau Altenburg & Wymenga verrichte vegetatiekundig onderzoek.

De studie werd begeleid door een commissie bestaande uit:

E.J. Lammerts (voorzitter)	Directie Noord, LNV; (tot 1 juli 1995: NBLF-Friesland, LNV)
J. M. Geraedts	Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden, LNV
L. Klamer	Directie Noord, LNV (tot 1 juli 1995: NBLF-Drenthe, LNV)
K. Munting	W.s. Tjonger-Compagnonsvaarten
H. S. Nieuwenhuis	Provincie Friesland
J.M.P.M. Peerboom (vanaf april 1993)	DLO-Staring Centrum
J.M. Schouwenaars	Rijksuniversiteit Groningen
J.C. Smittenberg	Provincie Drenthe
J.H.A.M. Steenvoorden (tot maart 1994)	DLO-Staring Centrum
N.G.J. Straathof	Vereniging Natuurmonumenten
R. van Veen	Provincie Drenthe
A.A.Veldhuizen	DLO-Staring Centrum
P.E.V. van Walsum	DLO-Staring Centrum
K.E. Wit (tot april 1993)	DLO-Staring Centrum

Projectleider van de studie was J.H.A.M. Steenvoorden (tot maart 1994), en daarna P.E.V. van Walsum. Het hier gerapporteerde onderzoek is uitgevoerd door A.A. Veldhuizen en P.E.V. van Walsum.



## Samenvatting

### *Inleiding*

Voor het Fochteloërveen en omgeving wordt een gebiedsvisie ontwikkeld in het kader van het Natuurbeleidsplan. Het opstellen van een dergelijke visie vereist onder meer kennis over de regionale hydrologie en de gerelateerde ecologische aspecten. De modelstudie waterhuishouding Fochteloërveen is verricht om die kennis te verkrijgen. Daartoe is eerst een systeemverkenning en een meetprogramma uitgevoerd (Wit e.a., 1995). Vervolgens is een tijdens het onderzoek verder ontwikkelde versie van het model SIMGRO geïmplementeerd (dit rapport). Daaraan is gekoppeld een nieuwe methode voor het schatten van de geschiktheid voor hoogveengroei in het Fochteloërveen en een bestaande methode (HELP) voor het evalueren van effecten op het omringende landbouwgebied.

### *Simulatie van de regionale hydrologie*

SIMGRO (Querner en Van Bakel, 1989) is een model dat de waterhuishouding op geïntegreerde wijze beschrijft. Het bestrijkt het gehele systeem van grondwater, bodemwater en vegetatie-atmosfeer-interacties, en oppervlaktewater op regionale schaal.

Het implementeren van SIMGRO voor het studiegebied is in twee fasen verricht:

- gebruik van directe informatie over gebiedskenmerken, zoals hoogtegegevens;
- gebruik van 'afgeleide' informatie over gebiedskenmerken, zoals gemeten afvoeren en grondwaterstanden (calibratie en toetsing van het model).

In het navolgende wordt een korte beschrijving gegeven van hoe de twee fasen zijn doorlopen aan de hand van concrete informatie over de modeltoepassing.

### *Implementatie van SIMGRO*

Het modelgebied beslaat ca. 19 000 ha, waarvan 1900 ha in het Fochteloërveen. Voor het berekenen van randvoorwaarden van het grondwatersysteem is langs de rand van het modelgebied een 'onzichtbare schil' van ca. 3 km gelegd.

Het model kent drie niveaus van ruimtelijke eenheden, die corresponderen met de drie gemodelleerde deelsystemen:

- 'afwateringseenheden' voor de oppervlaktewater-modellering;
- 'subgebieden' voor de bodemwater-modellering;
- 'gridcellen' voor de grondwater-modellering.

Het studiegebied is gemodelleerd met 346 afwateringseenheden, 670 subgebieden, en 5725 gridcellen.

De stroming van water in de ondergrond wordt op een geschematiseerde wijze beschreven, door de ondergrond voor te stellen als een opeenvolging van 'watervoerende' lagen (met horizontale grondwaterstroming) en 'slecht doorlatende' lagen (met verticale grondwaterstroming). De in deze studie gehanteerde indeling (Tabel 1) omvat een schematisering in 6 lagen, beginnend bij een al of niet aanwezige veenlaag (Formatie van Griendtsveen, slecht doorlatend), en eindigend met een water-

voerende laag bestaande uit grof zand (Formatie van Harderwijk/Urk). Daaronder bevindt zich tenslotte de vrijwel ondoorlatende hydrologische basis (Formatie van Breda). De randvoorwaarden van de grondwaterstroming (langs de randen aan de buitenkant van de 'onzichtbare schil') zijn ontleend aan het National GRondwater Model (De Lange, 1991, en De Lange, pers. med.).

In de bodemwater-modellering wordt onderscheid gemaakt tussen:

- vegetatie-atmosfeer-interacties;
- de wortelzone;
- het onverzadigde deel van de ondergrond.

De berekening van de verdamping wordt verricht in twee stappen:

- berekening van de potentiële verdamping;
- berekening van de actuele verdamping, aan de hand van de potentiële verdamping en het actuele vochtgehalte.

Voor de berekening van de potentiële verdamping is onder meer gebruik gemaakt van grondgebruiksgegevens uit het LGN-bestand (LandGebruik Nederland, zie Thunnissen e.a., 1992).

De vochthuishouding van de wortelzone en van het onverzadigde deel van de ondergrond wordt met eenvoudige balans-modellen gesimuleerd. Daarbij wordt gebruik gemaakt van gegevens die zijn afgeleid met het stationair bodemvochtmodel CAPSEV (Wesseling, 1991). Daaraan voorafgaand is onder meer een bodemfysische schematisatie van het gebied uitgevoerd (Stolte e.a., 1995).

In de modellering van het onverzadigde deel van de ondergrond en het freatische grondwater wordt speciale aandacht besteed aan processen die spelen bij tijdelijke of permanente inundatie. Bij de modellering van de waterhuishouding van natte natuurgebieden is dit een zeer wezenlijk aspect, onder andere vanwege de invloed op de verdamping en de berging van water op het maaiveld.

Bij de modellering van het oppervlaktewater wordt binnen een afwateringseenheid onderscheid gemaakt tussen vier categorieën van waterlopen, die via een afwateringsstructuur met elkaar verbonden zijn: grotere waterlopen, sloten, drains, en greppels.

De dynamiek van het oppervlaktewater wordt gesimuleerd met een netwerk van reservoirs, één per afwateringseenheid. De netwerkstructuur komt overeen met de afwateringsstructuur van grotere waterlopen (Fig. 11). Het per afwateringseenheid berekende peil wordt vertaald naar een peil geldend voor een bepaalde cel van het grondwatermodel, omdat in het model de interactie tussen grond- en oppervlaktewater op die ruimtelijke schaal wordt berekend. Het overbrengen van het peil gebeurt met een op de situatie toegesneden schematisering, die tevens afhankelijk is van het optreden van drainage dan wel infiltratie. Per categorie van waterlopen wordt de drainage/infiltratie berekend aan de hand van:

- de ontwateringsbasis of oppervlaktewaterpeil (afhankelijk van de situatie);
- de grondwaterstand;
- de drainage/infiltratieweerstand (afhankelijk van de situatie).

Voor de drainage-/infiltratieweerstanden van drains en greppels zijn standaardwaarden gebruikt. Voor drains is dat een weerstand van 70 d (dagen), bij een ontwateringsdiepte van 120 cm-mv. Voor greppels is dat een weerstand van 25 d, bij een ontwateringsdiepte van 20 cm-mv. Bij stijging van de grondwaterstand tot in het maaiveld wordt deze weerstand echter gaandeweg verlaagd, zelfs tot een verwaarloosbare weerstand bij volledige inundatie.

Voor de sloten en grotere waterlopen is de drainageweerstand berekend aan de hand van simulaties met het tweedimensionale model FLONET (Guigier e.a., 1991). Daarbij is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- geohydrologische schematisering van de ondergrond;
- dichtheid van het leidingstelsel;
- bodemdiepte en talud-helling;
- aangenomen waarde voor de intreeweerstand.

### *Calibratie*

Calibratie, ook wel 'ijking' genoemd, houdt in dat waarnemingen van toestandsvariabelen (zoals afvoeren en stijghoogten) worden gebruikt voor het bijstellen van de invoergegevens van het model. Het gaat daarbij om indirect gebruik van meetgegevens, omdat de waarnemingen niet direct in het model kunnen worden opgenomen. De invoergegevens van het model worden net zolang aangepast totdat er een bevredigende overeenkomst is tussen waarnemingen en simulaties. Aan die veranderingen worden overigens wel grenzen gesteld: gegevens waar een grote mate van betrouwbaarheid aan wordt toegekend worden nauwelijks veranderd.

In de calibratieprocedure zijn de volgende fasen onderscheiden:

- formulering doelfunctie;
- uitvoering gevoeligheids-analyse;
- aanpassing van parameters;
- toetsing.

De zogenaamde doelfunctie speelt een centrale rol bij de calibratie. De doelfunctie is een maat voor de overeenkomst tussen waarnemingen en simulaties; hoe lager de waarde, hoe beter de overeenkomst. Zowel afvoeren als stijghoogtegegevens waren beschikbaar. Beide soorten gegevens zijn verwerkt in de doelfunctie. Als kleinste ruimtelijke eenheden voor de berekening van de doelfunctie is gekozen voor de waterbalanseenheden uit het veldonderzoek (Wit e.a. 1995). Per waterbalanseenheid wordt de systematische afwijking van afvoeren berekend en de gemiddelde 'standaardfout' van de stijghoogtes. Vervolgens zijn beide soorten modelfouten met een weegmethode bij elkaar opgeteld. Daarbij is relatief meer gewicht gegeven aan de afvoeren, omdat afvoeren gegevens zijn met betrekking tot vlakken. Stijghoogtegegevens zijn op zich nauwkeuriger, maar hebben het probleem dat het puntwaarden zijn waarvan het maar de vraag is hoe representatief ze zijn. Om voor het gebied tot een doelfunctie te komen zijn vervolgens de waarden van de verschillende balanseenheden bij elkaar opgeteld, eveneens met een weegmethode. Daarbij is zowel op de oppervlakte van een waterbalanseenheid (areaalfactie) als op de geschatte kwaliteit van de gegevens gelet.

Een gevoeligheidsanalyse houdt in dat afgetast wordt hoe groot de gevoeligheid is van modeluitkomsten voor veranderingen van de modelparameters. Een gevoeligheidsanalyse is om te beginnen een voorbereiding op de calibratie. Tevens is de gevoeligheidsanalyse een hulpmiddel bij het interpreteren van modelresultaten en het samenstellen en onderbouwen van scenario's. De gevoeligheidsanalyse is gedaan voor 24 parameters, waarbij per parameter een viertal varianten zijn doorgerekend. Die varianten zijn steeds voor het hele gebied doorgevoerd: bijvoorbeeld overal een verdubbeling van de drainageweerstand van sloten. Het was niet haalbaar (i.v.m. de vereiste rekentijd) om bijvoorbeeld per waterbalanseenheid een parameter te variëren, hoewel dat wel wenselijk was geweest. De resultaten zijn grafisch verwerkt om een totaaloverzicht van de gevoeligheden te kunnen krijgen (voor enkele voorbeelden zie Aanhangel 1).

De aanpassing van parameters in de calibratieprocedure is in drie stappen gedaan:

- 1) aanpassingen op grond van kwalitatieve conclusies uit het veldonderzoek;
- 2) aanpassingen op grond van de gevoeligheidsanalyse;
- 3) aanpassingen van parameters op grond van andere bronnen.

De aanpassingen op grond van de gevoeligheidsanalyse zijn verricht met een geautomatiseerde procedure. In die procedure is echter de gevoeligheidsanalyse niet meer herhaald, zoals gebeurt bij toepassing van standaardmethoden uit de vakliteratuur. Voor het kunnen toepassen van die methoden moet het model namelijk zeer vaak worden gedraaid voor de calibratieperiode. Als gevolg van het geïntegreerd karakter van SIMGRO (grond-, bodem, en oppervlaktewater) is voor het herhaald draaien de vereiste rekentijd veel te groot (duizenden uren).

In de drie stappen van parameteraanpassingen is de waarde van de doelfunctie afgenomen van resp. 1,21 (uitgangssituatie) naar 1,16 (stap 1), naar 1,04 (2), en tenslotte naar 0,87 (3). De doelfunctie is een dimensieloze grootheid; daardoor is alleen betekenis te hechten aan de relatieve verandering per stap. Voor het analyseren van de bijbehorende afwijkingen tussen model en meetgegevens moet gebruik worden gemaakt van de componenten van de doelfunctie, d.w.z. voor de afwijkingen van afvoeren en grondwaterstanden/stijghoogten. Voor de uitsplitsing in componenten wordt verwezen naar Tabel 5.

Validatie houdt in dat het model wordt getoetst aan de hand van waarnemingen die niet zijn gebruikt bij de calibratie. Indien de toetsing aangeeft dat het model de werkelijkheid nog niet goed beschrijft, dan dient een nieuwe calibratiecyclus te worden doorlopen. Bij het opnieuw toetsen van het bijgestelde model zou eigenlijk een andere waarnemingsset moeten worden gebruikt. Als namelijk steeds dezelfde waarnemingsset wordt gebruikt bij iedere nieuwe toetsing, dan gaat de validatie feitelijk onderdeel worden van de calibratie. Meestal is het aantal waarnemingssets echter beperkt, en vervaagt op den duur de scheidslijn tussen calibratie en validatie.

Door de processen zoveel mogelijk fysisch te beschrijven, zoals in SIMGRO gebeurt, is het overigens vaak wèl mogelijk om verantwoorde simulaties uit te voeren die niet binnen het calibratiebereik vallen. De resultaten moeten dan echter als minder betrouwbaar worden beschouwd.



Er is op verschillende manieren getracht het model te valideren, d.w.z. te toetsen. Daarvoor is ten eerste een vergelijking gemaakt tussen gesimuleerde en 'gemeten' isohypsenpatronen, d.w.z. lijnen van gelijke stijghoogte. Vooral de patronen voor de diepste laag bleken zeer goed overeen te komen. Hoe hoger men in het systeem komt, hoe slechter de overeenkomst; dat is ook in deze studie weer gebleken. Overigens is de gebrekkige overeenkomst voor een belangrijk deel terug te voeren op de lage dichtheid van het meetnet, zeker in vergelijking met het aantal knooppunten van het model. Vergelijking van patronen van het freatische grondwater is gedaan aan de hand van afgeleide gegevens, in de vorm van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). Met de GHG en GLG wordt de grondwatertrap bepaald die is aangegeven op de Bodemkaart 1:50 000. De gesimuleerde en gekarteerde GHG en GLG blijken aanzienlijk te verschillen; maar de ruimtelijke patronen vertonen wel een redelijke mate van overeenkomst. De verschillen kunnen diverse oorzaken hebben, zoals het in de praktijk voorkomen van schijngrondwaterspiegels. Ook kan door luchtinsluiting de grondwaterberging aanzienlijk kleiner zijn dan voorspeld met simulaties gebaseerd op bodemfysische gegevens die zijn bepaald als uitdrogingscurves in het laboratorium. Het achterhaald zijn van de grondwatertrappen op de Bodemkaart 1:50 000 zal een belangrijke - waarschijnlijk belangrijkste - oorzaak zijn van de verschillen, gezien de voortschrijdende verdroging van Nederland.

Zoals bij ieder model resteert er 'onzekerheid' ten aanzien van de manier waarop het model de werkelijkheid simuleert. Van de rekenresultaten voor scenario's zijn het echter vooral de berekende verschillen die interessant zijn voor de beleidsbepaling. In de verschilberekeningen van scenario's vallen een groot aantal van de systematische modelfouten tegen elkaar weg, zodat onzekerheden in het model slechts beperkt doorwerken in de rekenresultaten waar het uiteindelijk om gaat.

### ***Effecten op natuur en landbouw***

Voor het kunnen toepassen van de methode voor het evalueren van ecologische effecten is een indeling in drie zones gemaakt:

- zone 1, bestaande uit gebieden ('kernen') met veenvormende vegetaties;
- zone 2, met dominante aanwezigheid van pijpestrootje;
- zone 3, met afgetakeld veen en pijpestrootje.

De beleidsdoelstelling voor zone 1 is versterking van de reeds op gang zijnde processen. Voor zone 2 is de korte termijn doelstelling het verdrinken van pijpestrootje. Op de langere termijn wordt het op gang brengen van veenvormende vegetaties nagestreefd. Voor zone 3 worden de mogelijkheden voor veenvormende vegetaties laag ingeschat.

Voor het evalueren van effecten op de kansen voor hoogveengroei is een procedure ontwikkeld die gebruik maakt van zogenaamde duurlijnen. Een duurlijn is een grafiek die aangeeft hoeveel dagen per jaar een bepaalde grondwaterstand wordt overschreden (als percentage van de tijd aangegeven in de figuren). Iedere soort vegetatie heeft een 'optimale duurlijn' van grondwaterstanden; dat is de duurlijn die de beste kansen schept voor het zich ontwikkelen van die vegetatie. In het Fochteloërveen wil men graag ontwikkeling van veenmos zien. Voor veenmos ziet de ideale lijn er ongeveer uit zoals weergegeven in Fig. 36. Uit die lijn kan men zien dat er voor de ontwik-

keling van veenmos 10 cm water op de bodem moet staan gedurende de helft van het jaar (waterstand horend bij overschrijding met 180 dagen per jaar).

In werkelijkheid zullen de omstandigheden altijd afwijken ten opzichte van de ideale lijn die in Fig. 36. is weergegeven. Een afwijking hoeft op zich niet 'fataal' te zijn voor de kansen op veenmosontwikkeling. Veenmos heeft een zeker aanpassingsvermogen, en bovendien komen er in het veld op korte afstand allerlei variaties van omstandigheden voor. Het 'gemiddelde' voor bijvoorbeeld 1 ha kan dan niet ideaal zijn, maar er kunnen best plekken zijn waar de omstandigheden wel goed zijn. Om deze redenen is in de evaluatieprocedure een maat voor de afwijking ten opzichte van het ideaal gedefinieerd. Deze maat houdt rekening met zowel afwijkingen van de grondwaterstand naar boven (te natte omstandigheden) als afwijkingen naar beneden (te droge omstandigheden). Daarbij worden te droge omstandigheden zwaarder aangerekend dan te natte. Bovendien wordt extra gelet op de mate waarin het grondwater tijdens droge perioden daalt. Dat komt overeen met de grondwaterstanden aan de rechter kant van de duurlijn-grafieken. De fluctuatie is het verschil tussen de laagste en hoogste grondwaterstand. Als die fluctuatie veel groter is dan de ideale waarde, dan dalen de kansen op veenmosontwikkeling snel.

De maat voor de afwijking tussen de werkelijke duurlijn en de 'ideale' duurlijn is verder vertaald naar een geschiktheids-score voor hoogveengroei, op de schaal tussen 0 en 100. Deze geschiktheids-score is 'geijkt' aan de hand van vergelijkingen met elders aangetroffen vegetaties en bijbehorende duurlijnen. Dat heeft geleid tot een indeling in vier klassen, variërend van 'ongeschikt' tot 'zeer geschikt'.

Ook voor de effecten op de landbouw is een evaluatieprocedure toegepast. Die sluit aan bij dat wat al jarenlang ten behoeve van ruilverkavelingen en landinrichtingsplannen wordt gehanteerd. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde HELP-methode ('Herziening Evaluatie van LandinrichtingsPlannen'). Onderscheid wordt gemaakt tussen 'natschade' en 'droogschade'. (Natschade is productieverlies ten gevolge van te natte omstandigheden; droogschade ontstaat als gevolg van vochttekort tijdens het groeiseizoen. )

### *Scenario's*

Ten behoeve van de beleidsvorming is een lijst van scenario's opgesteld die met het model zijn doorgerekend. De uitgangspunten voor de keuze van scenario's zijn gebaseerd op de gebruiksdoelen van de modelstudie. De modelstudie dient inzicht te geven in de effecten van (met name waterhuishoudkundige) inrichtings- en beheersmaatregelen in zowel het huidige hoogveenreservaat als in de aangrenzende reservaten en bosgebieden.

Er is gekozen voor een zodanige structurering van opeenvolgende scenario's dat er optimaal gebruik van de resultaten kan worden gemaakt (Fig. 41). Het gaat daarbij om het groeperen van samenhangende maatregelpakketten die aansluiten bij een bepaalde fase in de besluitvorming die in de toekomst (mogelijk) zal plaatsvinden. Er is een 'hoofdlijn' van scenario's, die twee vertakkingen heeft in de vorm van 'nevenlijnen'. In de nevenlijnen worden aspecten onderzocht die wel aansluiten bij het desbetreffende scenario van de hoofdlijn, maar waarvan het niet wenselijk wordt geacht de betreffende maatregel(en) in de daaropvolgende scenario's op te nemen.

De scenario's zijn opgebouwd uit een aantal maatregelen, die per beleidsdeelgebied worden gespecificeerd (zie Fig. 40 voor de indeling in beleidsdeelgebieden). De volgende hoofdscenario's zijn doorgerekend:

0. huidige situatie
1. drainage van drainage-behoeftegronden
2. autonome ontwikkeling Fochteloërveen (optimalisering interne inrichting) en randzone
3. vernatting bos- en relatienotagebied ten zuiden van de Kolonievvaart
4. maatregelen Veenhuizenplan
5. nieuw beleid in het kader van de Ecologische Hoofdstructuur
6. extra vernatting bos en enkele andere percelen
7. extra functiewijzigingen in landbouwgebied

Drainage van drainage-behoeftegronden in scenario 1 heeft geen effect op de hoogveengeschiktheid van ecologische zone 1. Op de inundatieduur in ecologische zone 2 is er een minimaal effect. Voor de landbouw wordt een positief saldo van f 123 000,- per jaar voorspeld. Daarbij is echter nog geen rekening gehouden met de voor aanleg van drainage noodzakelijke investeringen.

Interne maatregelen in het Fochteloërveen en de randzone (Fig. 55) zijn volgens de modelberekeningen zeer effectief in het verbeteren van de mogelijkheden voor hoogveen-groei in het gebied. De geschiktheids-score neemt toe van 45,0 naar 77,8. Uit Fig. 61 blijkt dat in de gebieden die als 'ecologische zone 1' zijn gekenmerkt bijna overal de geschiktheids-score in de klasse 'zeer geschikt' terecht komt. Ten aanzien van de interne maatregelen moet men overigens wel de kanttekening plaatsen dat voor de maatregelen gebruik moet worden gemaakt van dijkjes uit weinig materiaal. Men kan zich afvragen hoe duurzaam een dergelijke oplossing is, gezien de eigenschap van veen om te oxideren bij blootstelling aan zuurstof.

Interne maatregelen in het Fochteloërveen en de randzone blijken overigens een 'uitstraling' naar de omgeving te veroorzaken die tot ongeveer 500 m reikt. In deze uitstralingszone zijn zowel negatieve effecten (toename natschade) als positieve effecten te zien (afname droogschade, zie Fig. 63). In de balans blijkt de afname van de droogschade licht te overheersen; netto is dus het saldo voor de landbouw positief (Tabel 11). Daarbij is overigens aangenomen dat in de 'autonome' ontwikkeling alle drainage-behoeftegronden worden gedraineerd. Dat heeft onder andere tot gevolg dat de berekende toename van de natschade (als gevolg van interne maatregelen in het Fochteloërveen) per definitie niet groot kan zijn, doordat stijgingen van de grondwaterstand door de drains worden afgeroomd.

Een ander aspect dat van belang is voor de omgeving van het Fochteloërveen is de maatgevende afvoer, d.w.z. de dagafvoer die gemiddeld eens per jaar wordt overschreden. De modelberekeningen voorspellen dat de maatgevende afvoer van het Fochteloërveen (zie Fig. 64) met ca. 17% zal afnemen van  $1285 \text{ l.s}^{-1}$  ( $0,68 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) naar  $1070 \text{ l.s}^{-1}$  ( $0,56 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Deze afname is toe te schrijven aan het kennelijk overheersen van het 'bergingseffect': door hogere peilen in het reservaat wordt meer capaciteit geschapen voor het bergen van hoge dagneerslagen in het oppervlaktewater. Kennelijk is dit effect belangrijker dan het 'betonnen vloer'-effect

van een plas open water: neerslag dat erop valt kan direct worden afgevoerd, en hoeft niet eerst de gang via het grondwater te maken. De nog aanwezige 'weerstand' tegen afstroming bevindt zich nog uitsluitend bij het uitstroompunt van het oppervlaktewater. In het model is aangenomen dat het afvoerproces gecontroleerd verloopt, inhoudende dat afvoer via goed gedefinieerde uitstroompunten het gebied verlaat. De daarbij horende kunstwerken zijn in het model dusdanig gedimensioneerd dat bij een afvoer van  $1 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  er een peilstijging is van 5 cm.

Overigens is het waarschijnlijk dat als gevolg van vernattingsmaatregelen in het verleden de maatgevende afvoer wèl is toegenomen: die vernatting vond plaats vanuit een andere uitgangssituatie, met veel lagere waterstanden en minder plassen dan nu. De mate waarin de maatgevende afvoer is toegenomen kan men overigens niet afleiden uit de gebeurtenissen tijdens de winter van 1994/'95. De neerslag tijdens die winter is dermate uitzonderlijk geweest dat het maken van vergelijkingen ten aanzien van de afvoer al gauw tot verkeerde conclusies kan leiden.

Het in scenario 2a plaatsen van een plastic scherm tot aan de eerste 'weerstand-biedende' laag, de keileem, blijkt gemiddeld gesproken een laag rendement op te leveren voor 'ecologische zone 2' (zie Tabel 11). Er zijn echter trajecten langs het scherm waar plaatselijk significante effecten worden berekend, zoals in de noordwesthoek van het Fochteloërveen. Het kan overwogen worden om in de praktijk over te gaan tot plaatsing van deelschermen.

In scenario's 3 tot en met 6 is een hele reeks 'externe' maatregelen doorgerekend, d.w.z. maatregelen buiten het huidige Fochteloërveen. Ondanks het feit dat daarbij meer dan 700 ha landbouwgrond uit productie wordt genomen, in verband met de extreme vernatting van die gronden, zijn de met het model berekende effecten op ecologische zone 1 van het Fochteloërveen bescheiden. De geschiktheids-score voor hoogveengroei neemt in die zone met slechts 0,1 toe van 77,8 naar 77,9. Dat de effecten zo klein zijn heeft diverse oorzaken:

- de gebieden in zone 1 danken hun huidige ecologische waarde voor een belangrijk deel aan de aanwezigheid van een dikke veenlaag. Deze veenlaag zorgt voor 'isolatie' ten opzichte van de waterdruk in de zandondergrond. Daardoor werken veranderingen in de omgeving nauwelijks door tot aan het freatisch niveau;
- de gebieden in zone 1 liggen over het algemeen naar binnen in het reservaat; daardoor is er in feite sprake van een 'interne bufferzone' tussen de bestaande hoogveenkernen en het buitengebied (landbouwkundig gebied in de omgeving);
- de effecten van externe maatregelen zijn berekend voor de situatie die ontstaat na dat als gevolg van de (ingeschatte) autonome ontwikkeling de interne inrichting is geoptimaliseerd. Als gevolg van die interne inrichtingsmaatregelen wordt er veel extra berging gecreëerd op het maaiveld (plassen); daardoor werken veranderingen in de stijghoogte van de ondergrond (en veranderingen van de wegzijging) beperkt door in veranderingen van de freatische grondwaterstand.

Voor zone 2 is er wel enig effect van de externe maatregelen in scenario's 3-6: namelijk een toename van de geschiktheids-score voor hoogveengroei van 34,0 naar 36,8, terwijl de gemiddelde inundatieduur toeneemt van 129,6 naar 139,4 dagen per jaar. Het betreft hier gemiddelde waardes, waardoor de berekende effecten als gevolg

van de middeling worden afgevlakt. Fig. 85 en 86 zijn ruimtelijke weergaves van de totale effecten van scenario 6 ten opzichte 2, op resp. de geschiktheids-score voor hoogveengroei en de inundatieduur. Toename van de inundatieduur is een absolute voorwaarde voor het terugdringen van pijpestrootje in ecologische zone 2. Uit de resultaten blijkt dus dat in aanzienlijke delen van ecologische zone 2, gelegen aan de noord- en noordoostkant van het reservaat, de potenties voor hoogveenontwikkeling significant toe kunnen nemen als gevolg van externe maatregelen. Het ten uitvoer brengen van scenario 7, waarin wederom 1500 ha landbouwgrond uit productie wordt genomen, zou dat verder versterken, doordat de inundatieduur verder toeneemt tot (gemiddeld) 142,7 dagen per jaar.

Met scenario's 6a en 6b is onderzocht wat de potentiële effecten zijn van waterconservering en wateraanvoer in het landbouwgebied. Het blijkt dat in het landbouwgebied voor de landbouw aanzienlijke voordelen zijn te behalen met het nemen van maatregelen gericht op het (verantwoord) vasthouden van water in het voorjaar en het begin van de zomer. Voor waterconservering wordt een afname van de droogschade berekend van ca. 1,4 miljoen gulden per jaar. Gebruik van winterafvoer opgeslagen in de Ravenswoudpolder voor 'wateraanvoer' tijdens de zomer heeft eveneens een effect, zij het veel kleiner als gevolg van het kleinere areaal waar het daarbij om gaat. Waterconservering en 'aanvoer' hebben tevens een effect op de inundatieduur in ecologische zone 2 van het reservaat (gemiddeld 2 extra dagen inundatie per jaar). In feite is in deze scenario's onderzocht wat de potentiële voordelen zijn van het bestrijden van de 'achtergrondverdroging'.



# 1 Inleiding

## 1.1 Projectkader

Het Fochteloërveen en omgeving (Fig. 1) is opgenomen in de zogenaamde Ecologische Hoofdstructuur (EHS) van het Natuurbeleidsplan. De Directie Natuur, Bos, Landschap en Faunabeheer (NBLF) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij geeft hier onder andere inhoud aan door het ontwikkelen van een gebiedsvisie op natuurontwikkeling voor het gebied.

Het opstellen van een dergelijke visie vereist onder meer kennis over de hydrologie en ecologie van het Fochteloërveen zelf en over de relaties met het omringende gebied. Dit onderzoek beoogt de hydrologie van het gebied in kaart te brengen, en tevens de relaties met ecologische potenties in natuurontwikkelingsgebieden en gewasproductie in landbouwgebieden. Het onderzoek is in twee opeenvolgende fasen opgesplitst:

- een hydrologisch veldonderzoek en systeemverkenning;
- een uitgebreide hydrologische modelstudie.

Het veldonderzoek en de systeemverkenning wordt beschreven in Wit e.a. (1996). Dit rapport betreft het verslag van de modelstudie, de methode voor vertaling van hydrologische effecten naar ecologische, en de rekenresultaten van scenario's.

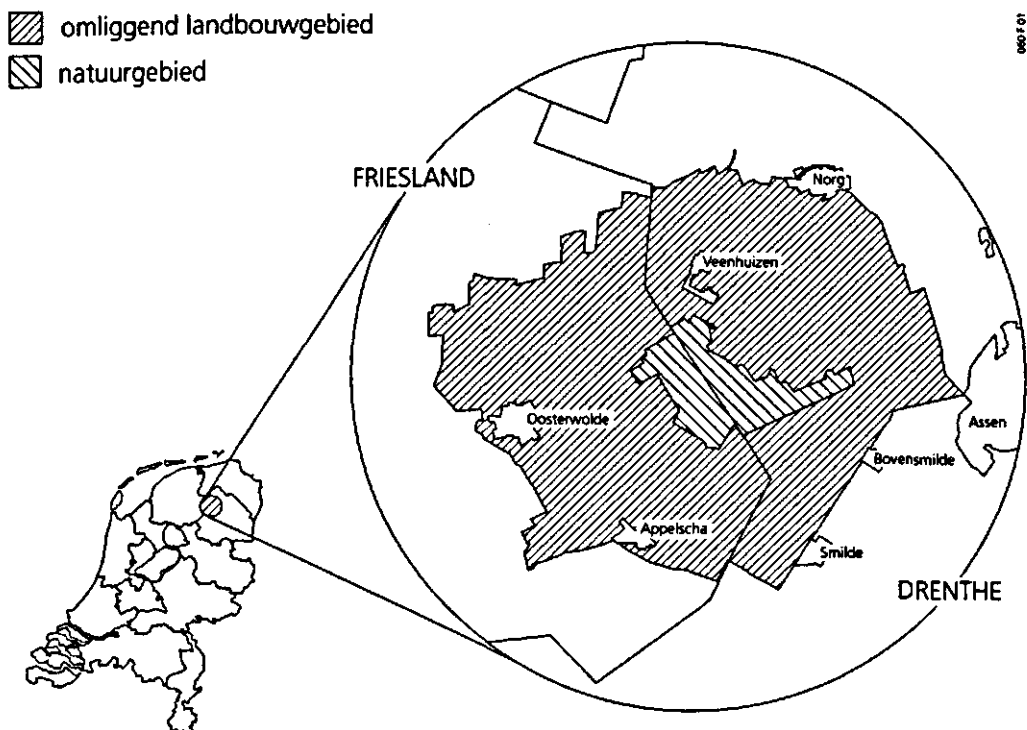


Fig. 1 Ligging van het natuurgebied 'Fochteloërveen' en omliggend landbouwgebied

## 1.2 Methodiek

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

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

Voor het simuleren van deze aspecten is het nodig om gebruik te maken van een geïntegreerd model van bodem-, grond- en oppervlaktewater. Het regionaal hydrologisch model SIMGRO (Querner en Van Bakel, 1989) is daarom geschikt voor het simuleren van de waterhuishouding van het Fochteloërveen en omgeving. Om die reden is in deze studie van SIMGRO gebruik gemaakt. Daarbij is voortgeborduurd op onderzoek dat in het recente verleden is gedaan naar de Groote Peel en omgeving, zoals beschreven in Van Walsum (1990) en Van Walsum (1992). Voor dat onderzoek waren er reeds diverse aanpassingen en uitbreidingen van het model SIMGRO gepleegd. In het kader van dit onderzoek zijn er wederom diverse uitbreidingen gerealiseerd (o.a. extra niveau van ruimtelijke eenheden, schematisering oppervlaktewater in relatie tot het maaiveld), en is tevens uitgebreid gebruik gemaakt van geografische informatiesystemen in de voor- en nabewerkingsfasen van het modelleringsproces.

Met SIMGRO kunnen waterbeheer-scenario's worden doorgerekend; door verschillen ten opzichte van de uitgangssituatie te berekenen worden effecten op grondwaterstanden en waterbalanstermen bepaald. Deze effecten hebben echter op zichzelf voor het vormen van beleid nog weinig betekenis. Die betekenis wordt pas verkregen na vertaling naar potenties voor ontwikkeling van natuurlijke vegetaties in natuurgebieden en naar opbrengsten van gewassen in landbouwgebieden. In de studie is voor de vertaling naar opbrengsten gebruik gemaakt van de HELP-methode zoals die is beschreven in Landinrichtingsdienst (1987). Voor de vertaling naar effecten op de vestigingsmogelijkheden van natuurlijke vegetaties is een nieuwe methode ontwikkeld die gebruik maakt van duurlijnen van grondwaterstanden.

## 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de manier waarop het model SIMGRO is geïmplementeerd voor het Fochteloërveen en omgeving. Na een korte inleiding in par. 2.1 wordt in par. 2.2 ingegaan op de manier waarop gebruik is gemaakt van informatie over ruimtelijke kenmerken van het gebied en van informatie over eigenschappen van het abiotische en biotische systeem. In par. 2.3 wordt



beschreven hoe het model is gecalibreerd aan de hand van gegevens over afvoeren en grondwaterstanden. In par. 2.4 worden enkele aspecten van het hydrologisch systeem nader belicht (o.a. kwelpatronen).

In hoofdstuk 3 wordt beschreven hoe effecten op grondwaterstanden zijn vertaald naar ecologische effecten (par. 3.1) en naar gewasopbrengsten (par. 3.2).

In hoofdstuk 4 wordt een overzicht gegeven van de effecten van diverse waterbeheerscenario's. In par. 4.1 worden eerst de doorgerekende maatregelen apart besproken; daarna volgt een schema van de scenario's. In par. 4.2. wordt per scenario het specifieke pakket maatregelen nader belicht, gevolgd door een bespreking van de rekenresultaten. In hoofdstuk 5 wordt een overzicht gegeven van de rekenresultaten en worden enige conclusies getrokken.



## **2 Simulatie van de regionale hydrologie**

### **2.1 Inleiding**

SIMGRO is een model dat de regionale waterhuishouding op geïntegreerde wijze beschrijft. Het bestrijkt het gehele systeem van grondwater, bodemwater-vegetatie-atmosfeer, en oppervlaktewater. Hoewel de modules voor de deelsystemen relatief eenvoudig zijn - het integraal modelleren van de regionale waterhuishouding staat voorop - is het model als geheel toch complex. Dat stelt hoge eisen aan de wijze waarop met het model wordt omgegaan. Het implementeren van SIMGRO dient gestructureerd te geschieden, omdat anders de meerwaarde van het model ten opzichte van eenvoudige regionale grondwatermodellen verloren gaat.

Het implementeren van SIMGRO verloopt in twee fasen. In de eerste fase wordt gebruik gemaakt van de beschikbare informatie over ruimtelijke kenmerken van het gebied en van informatie over eigenschappen van het abiotische en biotische systeem. In de tweede fase wordt beschikbare informatie over afvoeren, oppervlaktewaterpeilen en grondwaterstanden gebruikt voor het aanpassen van parameters (calibratie) en het toetsen van het model (validatie).

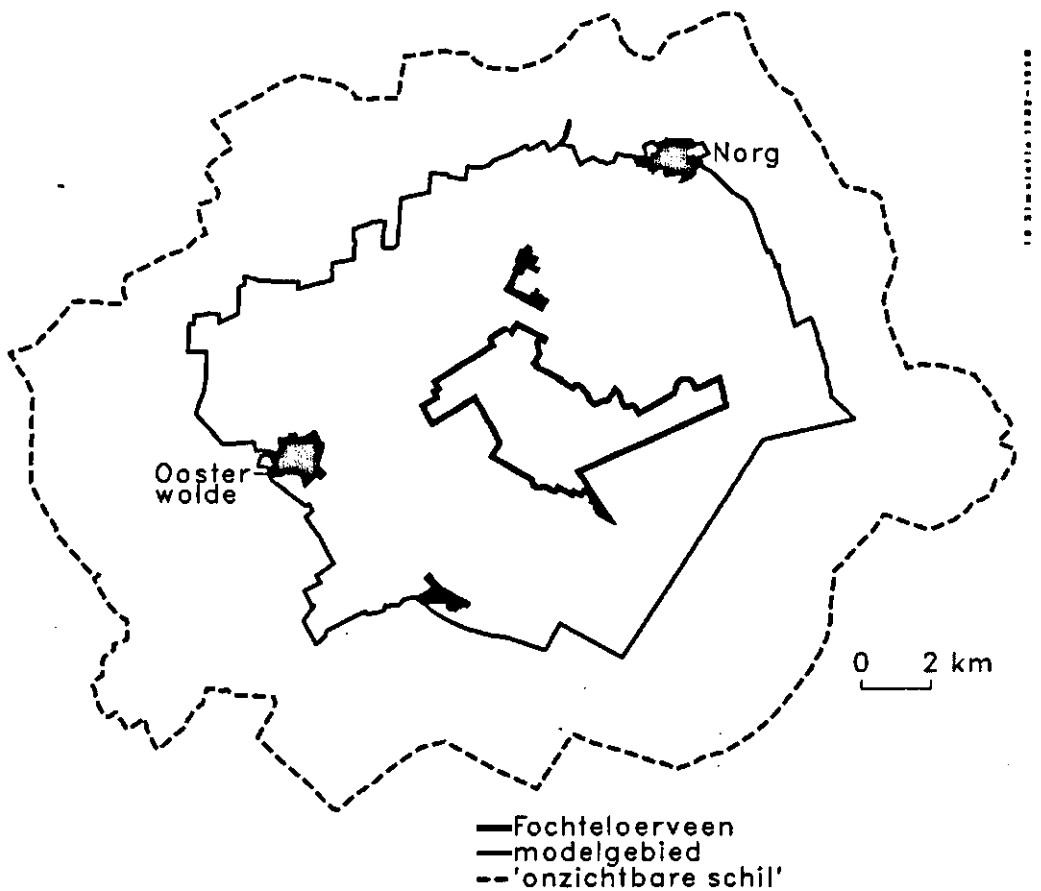
In het navolgende wordt aangegeven hoe het model voor het Fochteloërveen en omgeving is geïmplementeerd; daarbij wordt de bovengenoemde indeling in fasen gevolgd. Uit praktische overwegingen is er overigens voor gekozen om bij de beschrijving van de eerste fase de thematische kaarten met modelparameters betrekking te laten hebben op de definitieve waarden, d.w.z. de waarden na eventuele aanpassing in de calibratiefase.

Tegelijkertijd met de beschrijving van de eerste fase wordt op summiere wijze het model zelf beschreven. Die beschrijving heeft als doel duidelijk te maken hoe ingrepen in het regionale systeem in het model worden ingevoerd in de scenario's (hoofdstuk 4).

### **2.2 Implementatie van SIMGRO**

#### **2.2.1 Ruimtelijke indeling en tijdstappen**

Het modelgebied beslaat ca. 19 000 ha (Fig. 2), waarvan ca. 1900 ha in het Fochteloërveen zelf. Voor het berekenen van randvoorwaarden van het grondwatersysteem langs de rand van het modelgebied is een 'onzichtbare schil' van ca. 3 km breed om het gebied gelegd (daarbij is gebruik gemaakt van een 'grof' model voor het vergrote modelgebied, zie par 2.2.2.2).



*Fig. 2 Grens modelgebied. De onderbroken lijn geeft de grens van de 'onzichtbare schil' die gebruikt wordt voor de berekening van randvoorwaarden van het grondwatersysteem (daarbij is gebruik gemaakt van een 'grof' model voor het vergrote modelgebied, zie par. 2.2.2.2)*

Het model kent drie niveaus van ruimtelijke eenheden, die corresponderen met de drie gemodelleerde deelsystemen:

- 'afwateringseenheden' van de oppervlaktewater-module;
- 'subgebieden' van de bodemwater-module;
- 'gridcellen' van de grondwater-module.

Eén of meer gridcellen vormen een subgebied; één of meer subgebieden vormen een afwateringseenheid. In het modelonderzoek is er sprake van nog een niveau van indeling, namelijk die van de waterbalanseenheden uit het veldonderzoek (Wit e.a., 1996; Fig. 103). Een waterbalanseenheid bestaat uit één of meer afwateringseenheden uit het model. In het navolgende worden achtereenvolgens de kenmerken van de verschillende ruimtelijke eenheden toegelicht en wordt tevens beschreven hoe in deze studie de indeling voor het modelgebied is verkregen.

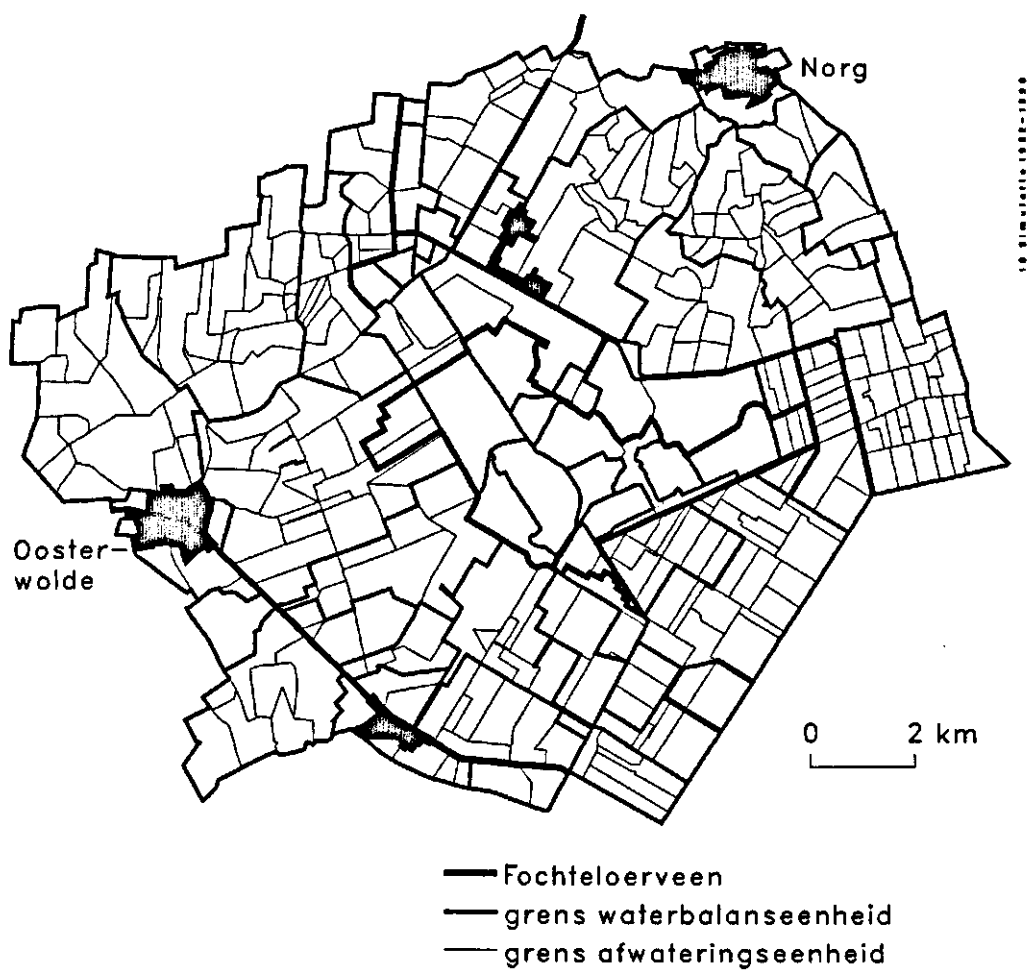


Fig. 3 Indeling in waterbalans- en afwateringseenheden

Een afwateringseenheid is een ruimtelijke begrensde oppervlakte die gedefinieerd en gekenmerkt wordt door één gemeenschappelijk uitstroompunt van het water dat via het ontwateringssysteem (inclusief het maaiveld) tot afvoer komt. De hoofdwaterloop van de afwateringseenheid - de afwateringsleiding - kan ook water ontvangen uit één of meer bovenstroomsgelegen afwateringseenheden. De indeling van het studiegebied in afwateringseenheden (Fig. 3) is ontleend aan:

- de waterschapskaarten van de (ten tijde van het onderzoek zo geheten) waterschappen Noordenveld, Smilde en Tjonger-Compagnonsvaarten;
- informatie afkomstig van de terreinbeheerder van het Fochteloërveen, de Vereniging Natuurmonumenten;
- veldverkenning.

De indeling in 346 afwateringseenheden is nauw verwant aan de afwateringsstructuur, die behandeld wordt in par. 2.2.4.

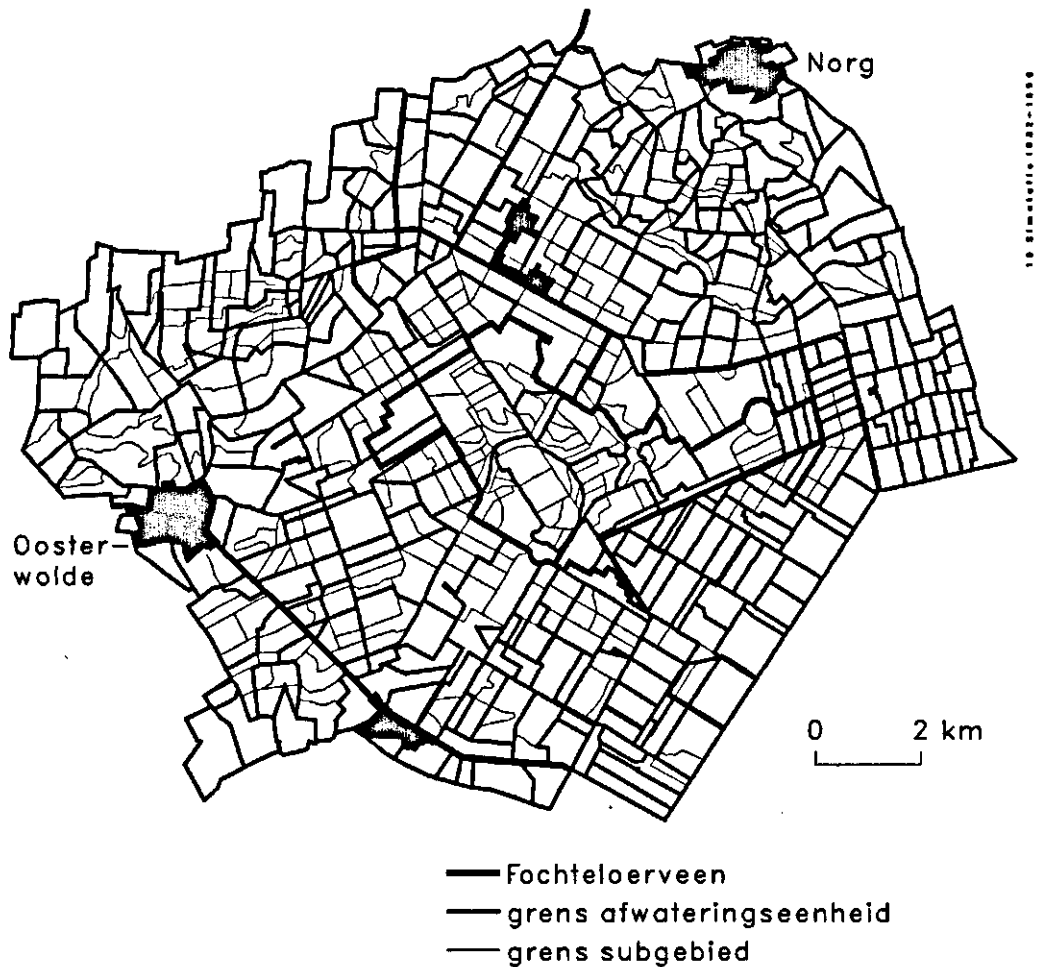


Fig. 4 Indeling in subgebieden van de bodemwatermodule, als verfijning van de indeling in afwateringseenheden (Fig. 3)

Met bodemwater wordt bedoeld het water in de onverzadigde zone en het bovenste freatisch grondwater. De dynamiek van stroming in de onverzadigde zone wordt in het model per 'subgebied' en per bodemgebruiksvorm apart doorgerekend. Het modelconcept veronderstelt dat binnen een subgebied de omstandigheden homogeen zijn wat betreft het bodemtype en de diepte van het freatisch vlak ten opzichte van maaiveld. Er wordt dus verondersteld dat de omstandigheden die betrekking hebben op de onverzadigde zone en de wisselwerkingen met het freatisch vlak binnen een subgebied homogeen zijn. Deze homogeniteit wordt echter niet aan het model opgelegd: uit de simulaties moet blijken hoe de op 'gridcel'-niveau gesimuleerde grondwaterstanden (zie onder) binnen een subgebied variëren. De indeling in subgebieden (in aantal 670, Fig. 4) dient in overeenstemming te zijn met de wijze waarop daar in het model mee wordt omgegaan. Blijkt er binnen de subgebieden een te grote variatie te zijn van de grondwaterstandsdiepte (ten opzichte van maaiveld), dan zouden òf de modelparameters òf de ruimtelijke indeling eigenlijk moeten worden

herzien.

Bij de subgebiedsindeling dient tevens rekening te worden gehouden met het doel van de modellering. Daarbij moet de ruimtelijke indeling de ruimtelijke differentiatie verschaffen voor:

- het kunnen specificeren van maatregelen, bijvoorbeeld in de vorm van een bufferzone met hoog peil;
- het kunnen evalueren van scenario's in termen van ecologische potenties.

Informatie over het bodemtype is ontleend aan de Bodemkaart 1:50 000; informatie over de diepte van de grondwaterspiegel is ontleend aan de grondwatertrappen die eveneens zijn aangegeven op de Bodemkaart 1:50 000. Het is echter niet mogelijk om met alle verschillende combinaties van bodemtype en grondwatertrap rekening te houden bij de subgebiedsindeling. Daarom is op beide kaarten een aggregatieprocedure toegepast, waarbij meerdere eenheden bij elkaar zijn gevoegd. Wat betreft het bodemtype is slechts rekening gehouden met verschillen tussen zand-, leem-, en veengronden. De grondwatertrappen zijn gegroepeerd tot 4 eenheden, te weten: I-III, IV, V, VI-VIII (waarbij de \*-trappen ook zijn inbegrepen). Deze indeling in homogeen veronderstelde subgebieden op basis van de gekarteerde grondwatertrappen gaat er wél van uit dat het model die kaart ook reproduceert, wat in werkelijkheid slechts in beperkte mate het geval is (par. 2.3.5).

Een verdere onderverdeling in verband met de wens om bepaalde maatregelen te kunnen specificeren leidde tot het onderbrengen van bosgebieden in aparte eenheden. Het rekening houden met de ecologische potenties heeft met name geleid tot een verdere onderverdeling van het Fochteloërveen. Waardevolle gebieden in beekdalen buiten het Fochteloërveen hoefden niet verder te worden onderscheiden omdat ze al in de kaart met grondwatertrappen tot uiting kwamen.

Een driehoeksnetwerk vormt de meetkundige basis van 'numerieke' berekening van de grondwaterstroming met de methode van 'eindige elementen'. Per knooppunt van het netwerk wordt een zogenaamd 'invloedsoppervlak' geconstrueerd uit de aangrenzende driehoeken. De invloedsoppervlakken fungeren als gridcellen van de grondwatermodule. Eén of meer gridcellen vormen samen een subgebied. In deze studie worden de 670 subgebieden opgebouwd uit in totaal 5725 gridcellen.

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

## 2.2.2 Grondwater

### 2.2.2.1 Schematisering van de ondergrond

De stroming van grondwater wordt in SIMGRO op een geschematiseerde wijze beschreven door de ondergrond voor te stellen als een opeenvolging van (afwisselend) 'watervoerende' en 'slecht doorlatende' lagen. In de watervoerende lagen wordt de stroming geacht horizontaal te zijn, en in de slecht doorlatende verticaal. De onderste laag wordt altijd gevormd door de hydrologische basis, die als ondoorlatend wordt beschouwd. De in deze studie gehanteerde indeling omvat een schematisering in 7 lagen (Wit e.a., 1996), die opgesomd wordt in Tabel 1.

Tabel 1 Opeenvolging van lagen in schematisering van grondwaterstroming (Wit e.a., 1996). De k-waarde van de Formatie van Drenthe (keileem) is afhankelijk van de laagdikte D gesteld

Laag	Type	Formatie	Materiaal	k-waarde (m/d)
1	slecht doorlatend	Griendtsveen	veen/gliede	0,00033
2	watervoerend	Twente	matig fijn zand	7
3	slecht doorlatend	Drenthe	keileem	0,03/D (D<3 m); 0,01 (D>3 m)
4	watervoerend	Eindhoven	matig fijn zand	7
5	slecht doorlatend	Peelo	potklei	0,001
6	watervoerend	Harderwijk/Urk	grof zand	35
7	hydrol. basis	Formatie van Breda	klei	~0,0

### 2.2.2.2 Randvoorwaarden

Voor het simuleren van de regionale grondwaterstroming is het nodig om langs de grens van het modelgebied de randvoorwaarden te kennen. De grondwaterstroming die de rand passeert is bij benadering bekend uit modellen die op provinciale en landelijke schaal beschikbaar zijn. Op provinciale schaal is er voor Drenthe een MODFLOW-model opgezet (Provincie Drenthe, 1991). Dat model bestrijkt echter slechts gedeeltelijk het modelgebied. Daarom is voor het aanleveren van randvoorwaarden de keus gevallen op het nationale grondwatermodel NAGROM (De Lange, 1991). NAGROM is een stationair model, zonder variatie in de tijd. SIMGRO is evenwel een niet-stationair model; de voorkeur gaat derhalve uit naar randvoorwaarden die wèl variatie in de tijd vertonen. Om dit verschil in type model te overbruggen is voor het studiegebied inclusief een schil van ca. 3 km breed (Fig. 2) een zogenaamd grof model opgezet, met als doel het berekenen van randvoorwaarden voor het eigenlijke modelgebied. Voor het grove model zijn randvoorwaarden aan NAGROM ontleend (De Lange, 1991) in de vorm van grondwaterstromingen.

Omdat het grove model slechts een technisch hulpmiddel was voor het berekenen van randvoorwaarden zal er verder niet op in worden gegaan. Bij de presentatie van resultaten blijft dit model 'onzichtbaar'.



### 2.2.2.3 Grondwaterwinningen

In het eigenlijke modelgebied bevinden zich nauwelijks grondwaterwinningen voor drinkwater en industrie. Direct erbuiten, in de 'onzichtbare schil', bevinden zich echter wèl enkele substantiële winningen; deze zijn aangegeven in Fig. 5. Berekening uit grondwater wordt in het gebied op slechts zeer beperkte schaal toegepast, en dan alleen bij de lelieteelt. Het gaat om slechts enkele tientallen hectare, waarvan de betekenis voor de regionale hydrologie van geringe betekenis wordt geacht.

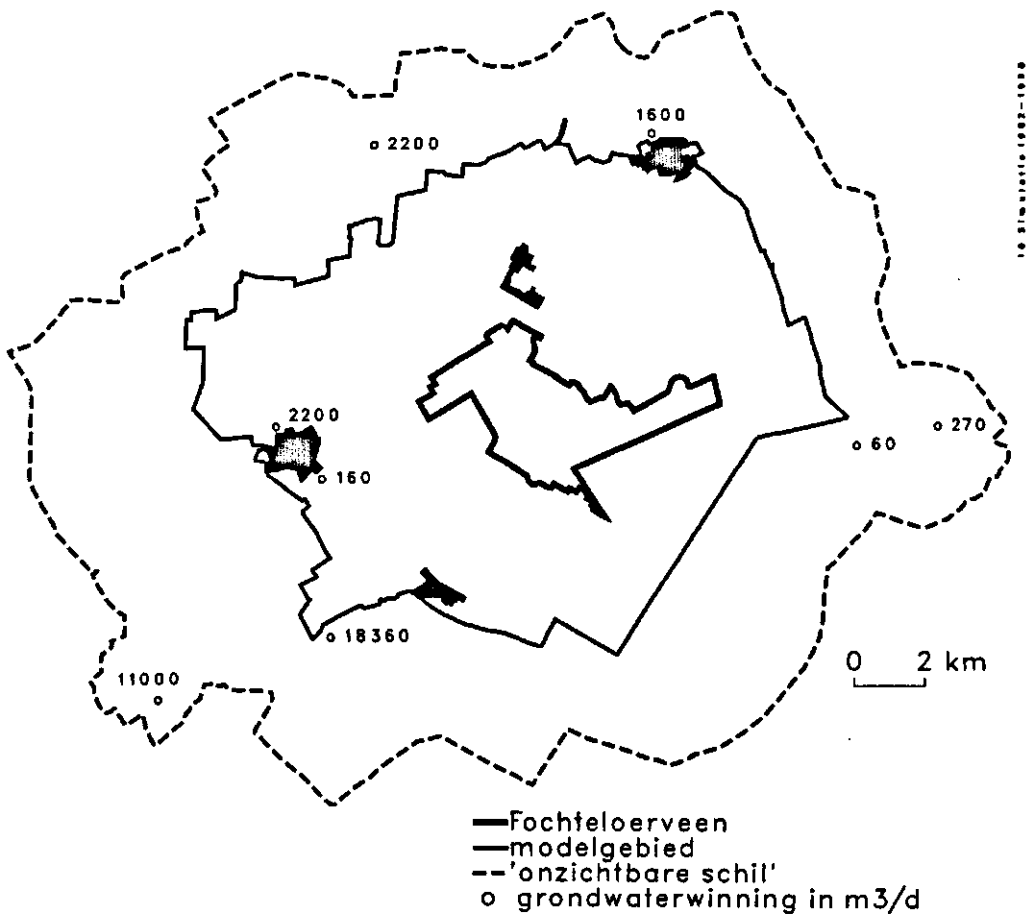


Fig. 5 Locatie en grootte van niet-agrarische grondwaterwinningen in de directe omgeving van het modelgebied

## 2.2.3 Bodemwater en vegetatie-atmosfeer interacties

### 2.2.3.1 Schematisering, bodemgebruik en verdamping

In de bodemwater-module wordt onderscheid gemaakt tussen:

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

Voor de wortelzone en de ondergrond wordt met eenvoudig balans-modellen de dynamiek van het watergehalte gesimuleerd. Per subgebied en per bodemgebruik wordt een aparte simulatie uitgevoerd, waar in par. 2.2.3.2 nader op in wordt gegaan.

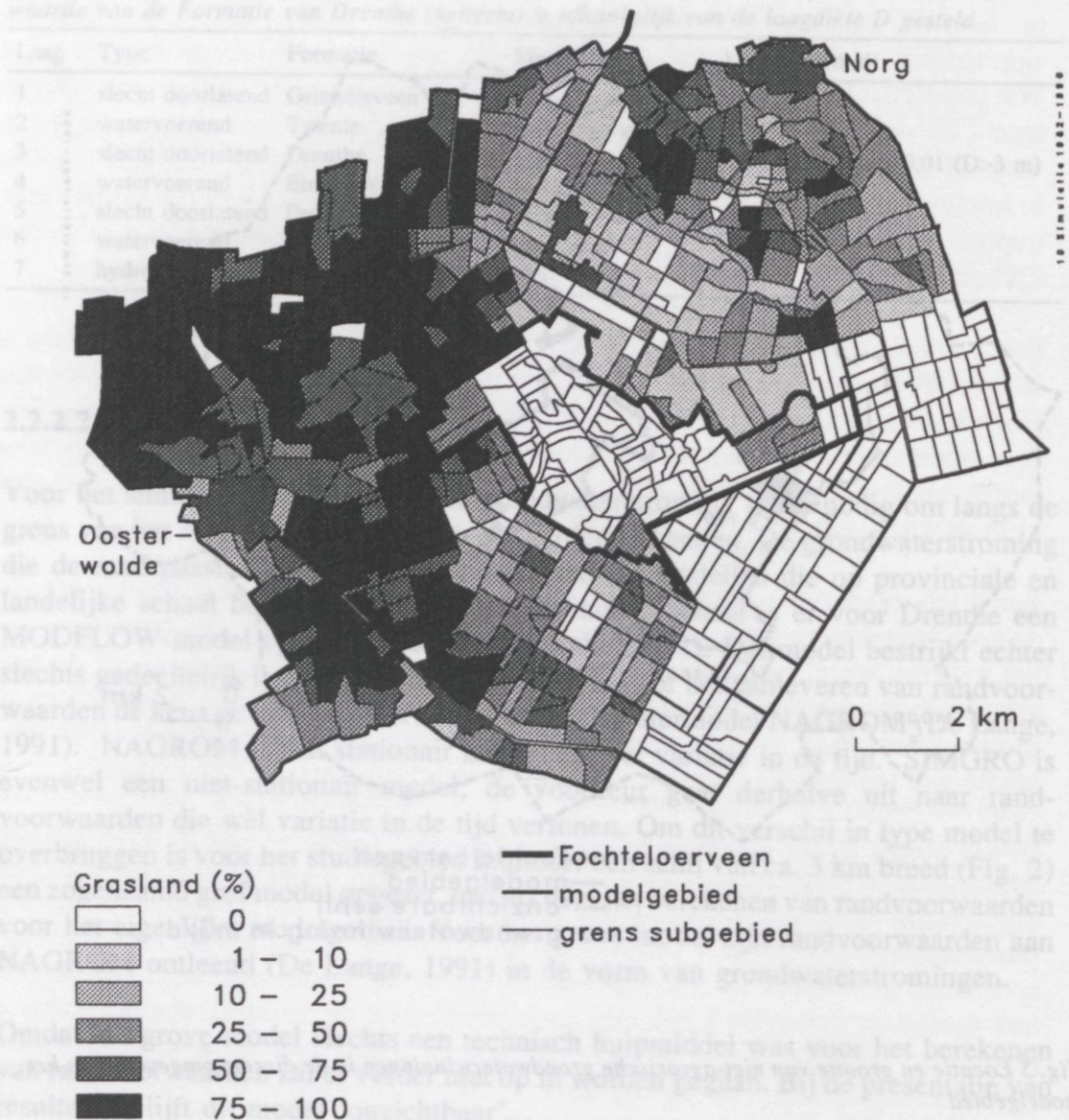


Fig. 6 Verdeling van grasland (onberekend) over het studiegebied, ontleend aan het LGN-bestand (Thunnissen et al., 1992)

Tabel 2 Overzicht van bodemgebruik in het studiegebied , ontleend aan het LGN-bestand (Thunnissen e.a., 1992)

Bodemgebruiksvorm	Onberegend		Beregend		Totaal	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Gras	6849	37	420	2	7269	39
Mais	508	3	164	1	672	4
Aardappelen	1096	6	1084	6	2180	12
Bieten	394	2	563	3	957	5
Granen	1100	6			1100	6
Overige landbouw	598	3	242	1	840	4
Kale grond	296	2			296	2
Loofbos	952	5			952	5
Naaldbos	1433	8			1433	8
Natuurgebied	1403	8			1403	8
Open water (groot)	93	1			93	1
Bebouwde gebied	1050	6			1050	6
<b>Totaal</b>	<b>15772</b>	<b>87</b>	<b>2473</b>	<b>13</b>	<b>18245</b>	<b>100</b>

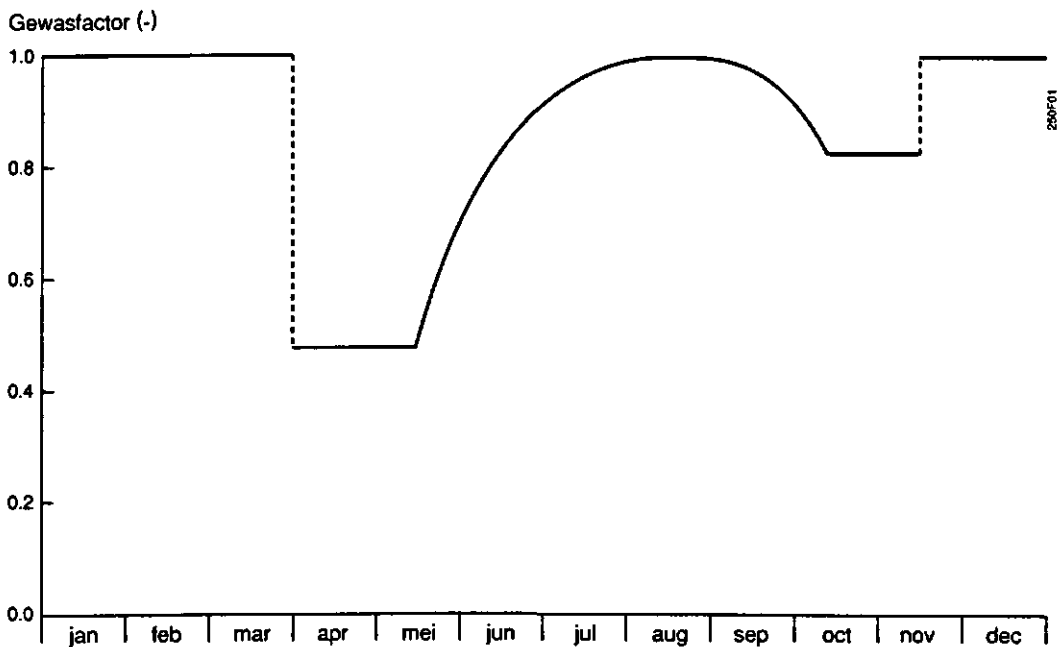


Fig. 7 Gewasfactor voor de berekening van de potentiële verdamping van pijpestrootje uit de referentieverdamping van Makkink, ontleend aan Schouwenaars (1990).

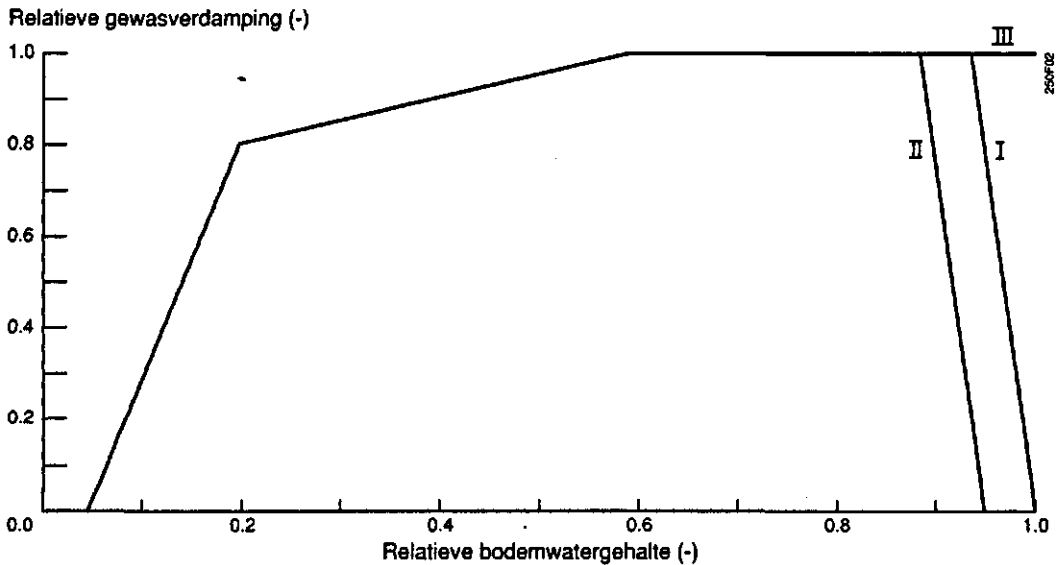


Fig. 8 Relaties voor de berekening van de relatieve verdamping (actuele verdamping gedeeld door de potentiële verdamping); I = standaardcurve, II = gewassen die gevoelig zijn voor wateroverlast, b.v. aardappelen; III = grasland en vegetaties in natte natuurgebieden

Tabel 2 geeft een overzicht van het bodemgebruik in het gebied. De gegevens voor dit overzicht zijn ontleend aan het LandGebruik Nederland (LGN) bestand dat door Thunnissen e.a. (1992) is afgeleid uit *remote sensing* beelden, met een resolutie van 25 x 25 m. Daaruit blijkt dat grasland de dominante vorm van bodemgebruik is. In Fig. 6 wordt de verdeling van deze bodemgebruiksvorm over het gebied weergegeven.

Voor het studiegebied is door Stolte e.a. (1995) een bodemfysische schematisatie uitgevoerd, met onder andere als resultaat een vertaalslag tussen de eenheden van de Bodemkaart 1:50 000 en de opbouw van lagen in termen van 'bodemfysische bouwstenen' uit de zogenaamde Staringreeks (Wösten e.a., 1994). Aan ieder subgebied is een bepaalde bodemeenheid toegekend.

De berekening van de gewasverdamping wordt verricht in twee stappen:

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

De gebruikte gewasfactoren zijn ontleend aan Feddes (1987), behalve die voor pijpestrootje. De gewasfactor voor pijpestrootje - *Molinea Caerulea* - is ontleend aan Schouwenaars (1990), en gereproduceerd in Fig. 7. Bij echte inundatie van pijpestrootje (d.w.z. bij stijging van het peil tot boven bovenkant pollen), wordt een 'gewasfactor' van 1,0 gebruikt, en niet die van open water (ca. 1,25). Door de aanwezigheid van bovengrondse delen (boven de pol) van pijpestrootje wordt namelijk het aanwezige water afgeschermd tegen de wind, waardoor de verdamping wordt getemperd. (Dit is overigens geconcludeerd tijdens de calibratie; zie par. 2.3.)

De (eventuele) reductie van de potentiële verdamping tot de actuele verdamping wordt in SIMGRO gebaseerd op de verhouding tussen het totale watergehalte van de wortelzone gedeeld door het evenwichts-watergehalte. De gebruikte relaties zijn weergegeven in Fig. 8. Voor pijpestrootje wordt gebruik gemaakt van relatie III. Bij een dalende grondwaterstand blijft de verdamping van pijpestrootje in vergelijking met veenmos veel langer op het niveau van de potentiële waarde. Dat komt ten eerste doordat pijpestrootje wèl een wortelstelsel heeft (in het model is de dikte van de wortelzone op 20 cm gesteld), en veenmos niet. Verder vertoont pijpestrootje in vergelijking met veenmos minder gauw verdampingsreductie als gevolg van vochttekort. Als gevolg van de hoge verdamping van pijpestrootje vormt de aanwezigheid van deze vegetatie op zich al een barrière voor het zich vestigen en handhaven van veenvormende vegetaties.

### 2.2.3.2 Balansmodel van bodemwater in de wortelzone

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

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

Oppervlakkige afstroming wordt berekend indien de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit overschrijdt of indien er water op het maaiveld staat ('inundatie'). Of deze afstroming ook daadwerkelijk plaatsvindt hangt echter ook af van de situatie in het afwateringssysteem: indien de waterlopen afgedamd zijn, zoals in vernatte natuurgebieden, dan moet het peil eerst zijn gestegen tot boven de 'afvoerdrempel' om het afvoerproces te kunnen laten beginnen. Hier wordt in par. 2.2.4 verder op ingegaan.

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

Het balans-model maakt gebruik van rekenresultaten die vooraf met het ééndimensionale numerieke model CAPSEV zijn verkregen (Wesseling, 1991). Het model CAPSEV heeft als invoer de opbouw van lagen en de bijbehorende bodemfysische parameters. De invloed van een storende laag is daarom goed te modelleren.

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

- het evenwichtswatergehalte van de wortelzone, d.w.z het watergehalte van de wortelzone dat in evenwicht is met een bepaalde diepte van de grondwaterstand;
- de capillaire opstijging bij een representatief geachte uitdrogingsgraad van de wortelzone.

### **2.2.3.3 Balansmodel van bodemwater in de ondergrond**

Berging in het deel van de ondergrond dat onverzadigd kan raken, wordt eveneens gesimuleerd met een eenvoudig balansmodel. Voor het maken van de balans wordt een systeemvolume gehanteerd met een ondergrens tot beneden de laagst voorkomende grondwaterstand. In- en uitgaande termen zijn onder andere de percolatie-/capillaire opstijgingshoeveelheden die berekend zijn met het model van de wortelzone. Andere termen hebben betrekking op het verzadigde deel van het grondwater (par. 2.2.2) en de interactie met het oppervlaktewater (2.2.4). De berekende balansafwijking wordt omgezet naar een verandering van grondwaterstand via de zogenaamde freatische bergingscoëfficiënt. Deze coëfficiënt geeft aan hoeveel balansafwijking nodig is per eenheid van grondwaterstandsverandering.

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

De waarde van de freatische bergingscoëfficiënt als functie van de grondwaterstandsdiepte is eveneens met CAPSEV berekend, door een serie berekeningen te maken voor verschillende grondwaterstandsdieptes. Per grondwaterstandsdiepte is voor een representatief geacht watergehalte van de wortelzone (hetzelfde als voor de capillaire opstijging) een berekening gemaakt van het totale watergehalte van de ondergrond. Het verschil in het totale watergehalte tussen twee opeenvolgende diepten van de grondwaterstand is het bergingsverschil voor dat traject. Deling door het grondwaterstandsverschil geeft de waarde van de freatische bergingscoëfficiënt. Een kenmerkend verloop van de aldus berekende bergingscoëfficiënt is weergegeven in Fig. 9. Boven het niveau van de wortelzone is de coëfficiënt 0.0, omdat de berging in de wortelzone elders wordt berekend (par. 2.2.3.2)

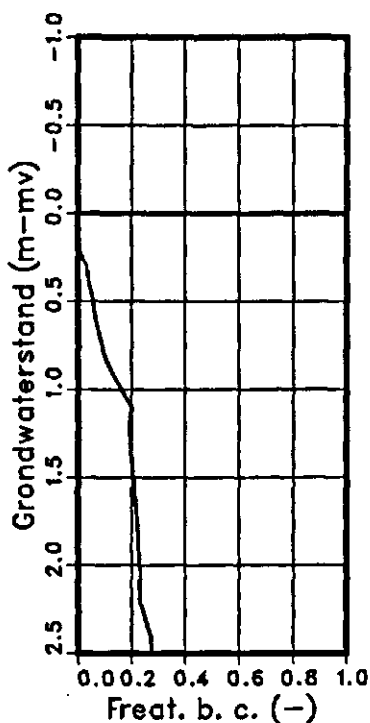


Fig. 9 Kenmerkend verloop van de freatische bergingscoëfficiënt, als functie van de grondwaterstandsdiepte, berekend met CAPSEV (Wesseling, 1991). De bergingscoëfficiënt boven 0,2 m-mv is per definitie nul, omdat deze berging apart wordt bijgehouden in het balansmodel voor de wortelzone

#### 2.2.3.4 Berging van water op het maaiveld

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

Zoals gesteld in par. 2.2.1 gaat het modelconcept ervan uit dat binnen een subgebied de omstandigheden homogeen zijn wat betreft bodemtype en diepte van de grondwaterstand. Als daaraan zou worden voldaan, dan zou de bergingscoëfficiënt plotseling toenemen van 0 tot 1 bij 0 cm-mv. (De waarde 0 bij 0 cm-mv houdt verband met het feit dat berging van water in de wortelzone elders wordt berekend). In werkelijkheid begint inundatie meestal op lokale schaal, terwijl de kleinste model-eenheden, de gridcellen van het grondwatermodel, representatief zijn voor ca. 3 ha elk. En de schaal waarop de berging in de onverzadigde zone wordt gesimuleerd is zelfs op het niveau van een subgebied, waarbij het om meerdere gridcellen kan gaan. Om dit schaalverschil te overbruggen maakt het model gebruik van de maaiveldshoogteverdeling binnen een subgebied. Deze maaiveldshoogteverdeling wordt verwerkt tot een diagram dat de relatie aangeeft tussen het waterpeil ten opzichte

van het gemiddelde maaiveld en het aandeel van een subgebied dat onder water is gelopen, het zogenaamde fractioneel inundatie-diagram (Fig. 10).

Het fractioneel inundatie-diagram wordt gebruikt voor het opsplitsen van een subgebied in open water en grond. Dit heeft gevolgen voor zowel de grondwaterberging (het open water wordt bij het grondwater gerekend) en de verdamping (zie par. 2.2.3.1). De totale grondwaterberging wordt berekend als de optelsom in het open water-deel en het grond-deel (Fig. 10). Daarbij wordt de curve voor de berging in het grond-deel (zie ook Fig. 9) gehanteerd als een curve die geldig is voor de gemiddelde omstandigheden, gerekend over het hele subgebied: Als gevolg van de variatie van de maaiveldsligging zal in werkelijkheid een deel van de grond reeds

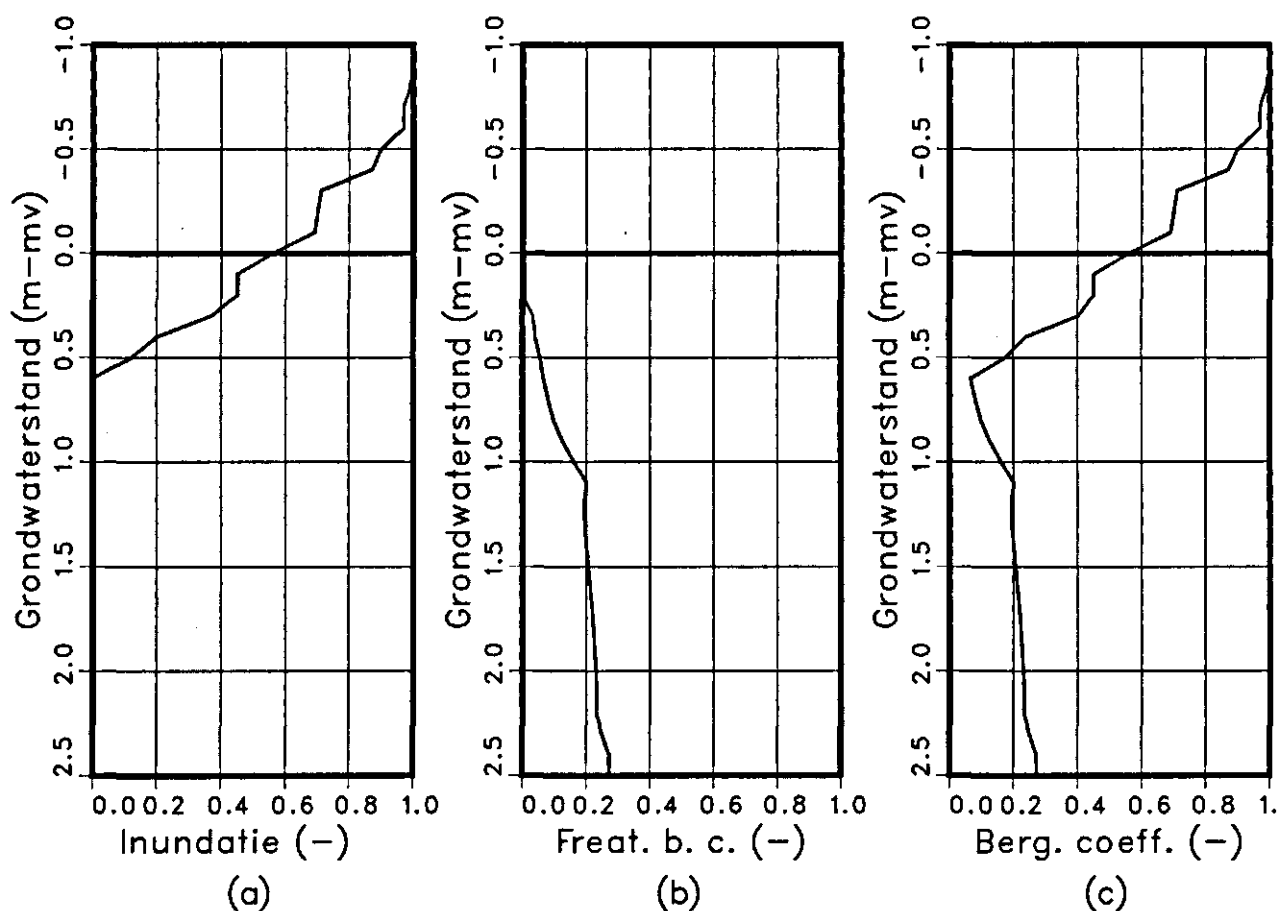


Fig. 10 Voorbeeld van een fractioneel inundatie-diagram (a): het aandeel van een subgebied dat onder water is gelopen als functie van de grondwaterstand ten opzichte van het gemiddelde maaiveld in een subgebied. Opgeteld bij de freatische bergingscoëfficiënt van de ondergrond (b) levert dit de totale bergingscoëfficiënt (c)



geheel verzadigd zijn (d.w.z. onder water staan, freatische bergingscoëfficiënt nul), en een deel hoger boven de grondwaterspiegel uitsteken dan gemiddeld (freatische bergingscoëfficiënt hoger dan de waarde bij gemiddelde grondwaterstand).

## **2.2.4 Oppervlaktewater**

### **2.2.4.1 Schematisering**

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

- grotere waterlopen met vooral een afwateringsfunctie (kanalen en de waterlopen die in beheer zijn bij de waterschappen, de zogenaamde A-watergangen);
- kleinere waterlopen met vooral een ontwateringsfunctie (sloten);
- drains;
- greppels.

De dynamiek van het oppervlaktewater wordt gesimuleerd met een netwerk van reservoirs, één per afwateringseenheid. De netwerkstructuur definieert de wijze waarop de reservoirs een cascade vormen, en komt overeen met de afwateringsstructuur die in Fig. 11 samen met de kaart van waterbalanseenheden is uitgebeeld.

Indien een grotere waterloop niet bij het natuurlijke afwateringssysteem hoort (b.v. een kanaal dat in ophoging tussen twee dijken loopt), dan wordt deze in een aparte afwateringseenheid ondergebracht. Dergelijke afwateringseenheden hebben geen onderverdeling in subgebieden en gridcellen, en vormen wat dit aspect betreft een uitzondering op het in par. 2.2.1 beschreven indelingsprincipe van ruimtelijke eenheden. Wel is het mogelijk dat de kanaalsegmenten van een 'gridcel-loze afwateringseenheid' een wisselwerking hebben met de gridcellen van het grondwatersysteem die binnen een naastgelegen afwateringseenheid vallen.

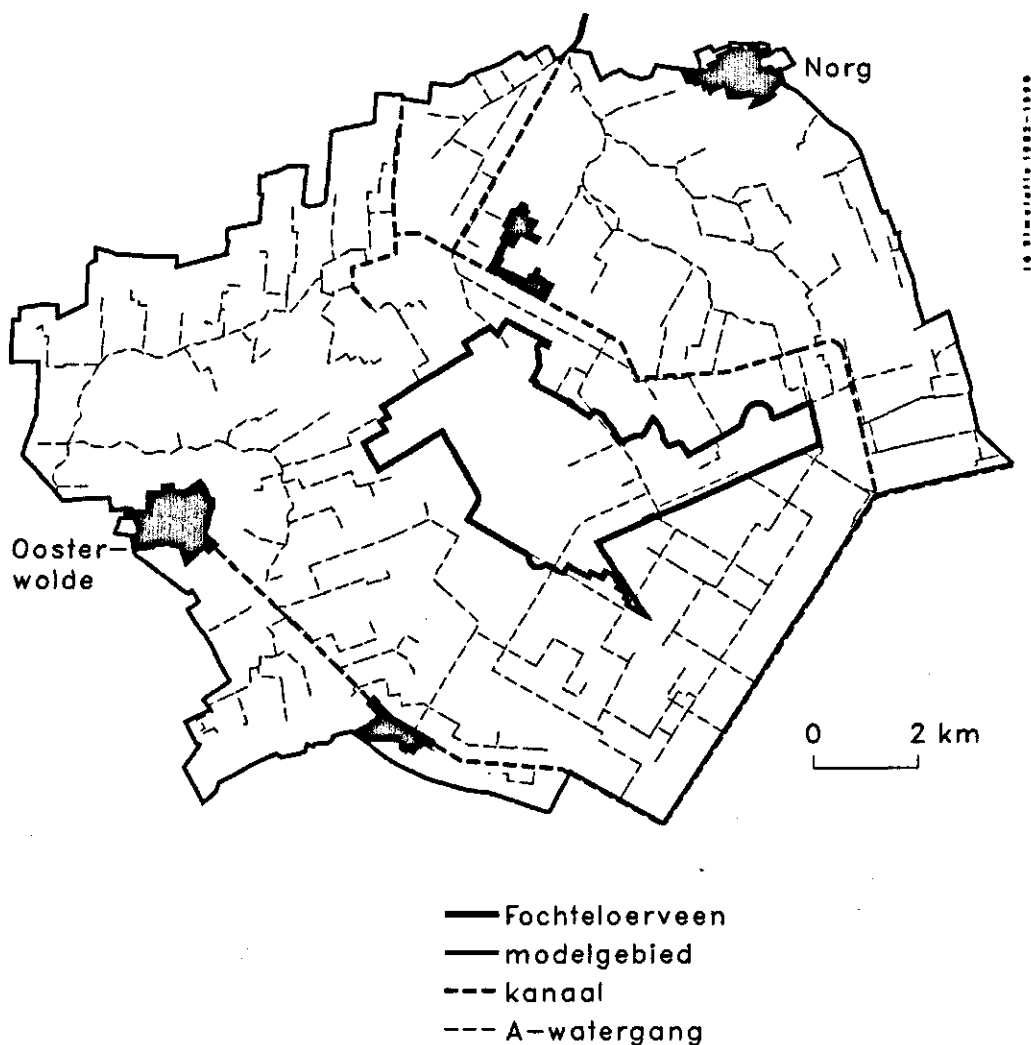


Fig. 11 Afwateringsstructuur van het studiegebied (grotere waterlopen)

#### 2.2.4.2 Dynamiek van het oppervlaktewater

De waterbalans van een afwateringseenheid wordt gesimuleerd met één reservoir voor het geheel van grotere en kleinere waterlopen. Voor ieder reservoir zijn relaties tussen afvoer en peil en tussen berging en peil afgeleid. Het model kent twee opties voor de berekening van het peil:

- berekening op basis van de waterbalans en de afvoerrelatie;
- berekening op basis van de waterbalans en een streefpeil.

In de eerste optie wordt een natuurlijke situatie gesimuleerd (waterloop met een bepaalde bodemhoogte) of een stuw met een vaste klepstand ('vaste stuw'). In de tweede optie wordt een 'automatische stuw' gesimuleerd; de klepstand wordt

automatisch bijgesteld, gericht op handhaving van het ingestelde streefpeil. Per afwateringseenheid kan in het model de simulatie-optie worden gespecificeerd, die voor het zomer- en winterhalfjaar kan verschillen. Voor natuurlijke situaties zal tijdens zowel zomer en winter de berekening geschieden op basis van de afvoerrelatie. In veel 'kunstmatige' situaties zullen tijdens de winterperiode de aanwezige stuwen zijn gestreken; het peil wordt dan gesimuleerd met de afvoerrelatie. In de zomerperiode zullen de stuwen worden ingesteld om een bepaald streefpeil te handhaven. Met het model is het mogelijk om een variabel streefpeil te simuleren, aan de hand van een zogenaamd peilbeheerschema (tabel met relatie tussen grondwaterstand en streefpeil).

Voor de afvoer- en bergingrelaties is gebruik gemaakt van gegevens die betrekking hebben op de zogenaamde A-watgangen, die zijn opgeslagen in de leggers van de waterschappen. Voor het deel van het gebied binnen het (toenmalige) waterschap Noordenveld is gebruik gemaakt van berekeningen die met het stationaire oppervlaktewater-model DIWA zijn verricht (Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden van het Ministerie van LNV).

Het peil waarbij nog net geen afvoer optreedt wordt hier de afvoerdrempel genoemd. In situaties met wateroverschot is de afvoerdrempel een van de belangrijkste inrichtingsparameters. Daarom wordt bij aanpassingen van inrichting en beheer in scenario's zeer vaak een wijziging van de afvoerdrempel aangebracht. In Fig. 12 is (als voorbeeld) een ruimtelijk beeld gegeven van de afvoerdrempel op de schaal van afwateringseenheden, voor gebieden waar het waterbeheer wordt gesimuleerd met een vaste stuw in het winterhalfjaar. In het geval van een vaste stuw komt de afvoerdrempel overeen met het nulpunt van de afvoerrelatie.

In situaties met watertekort is een van de belangrijkste inrichtingsparameters het streefpeil. In Fig. 13 is (als voorbeeld) op de schaal van afwateringseenheden een overzicht gegeven van de streefpeilen, voor gebieden waar (in het model) tijdens het zomerhalfjaar een automatische stuw wordt gesimuleerd. In de praktijk hoeft er overigens niet sprake te zijn van een 'echte' automatische stuw, maar kan een vaste stuw op en neer gelaten worden gelaten, al naar gelang de omstandigheden, gericht op het zo goed mogelijk handhaven van een bepaald streefpeil. Of een streefpeil wordt gerealiseerd hangt af van het aanbod van gebiedseigen water dat op natuurlijke wijze afstroomt via de afwateringsstructuur, of van aanvoer van gebiedsvreemd water.

In het model wordt de interactie tussen grond- en oppervlaktewater berekend op het ruimtelijk niveau van gridcellen van het grondwatermodel. Om dat mogelijk te maken moet er (uiteindelijk) op die schaal een oppervlaktewaterpeil worden berekend.

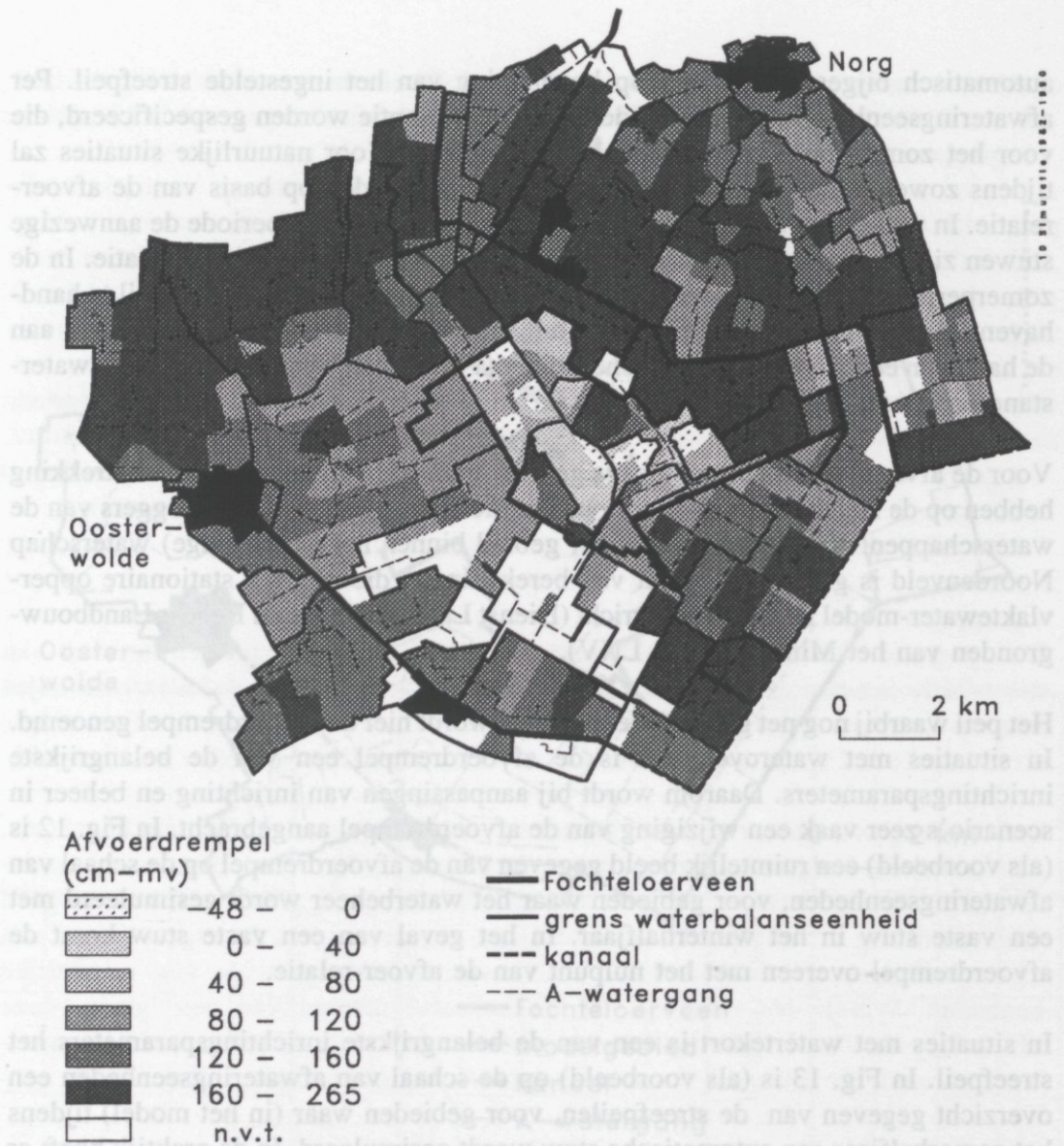
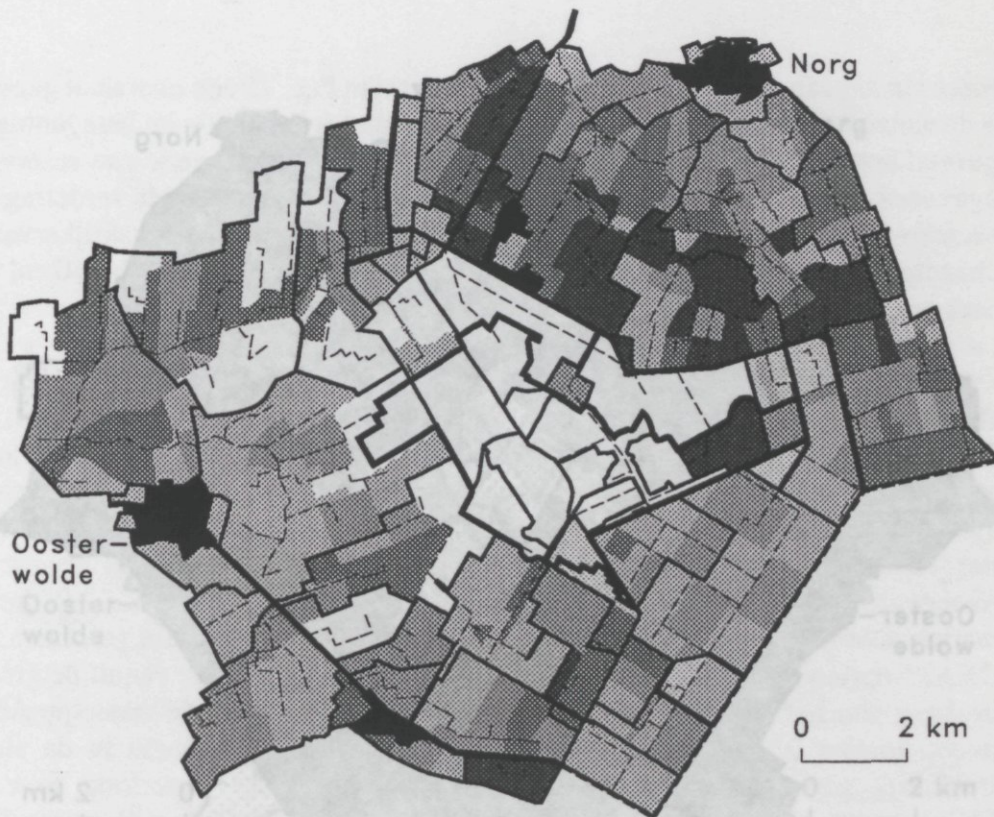


Fig. 12 Afvoerdrempel van vaste stuwen op de schaal van afwateringseenheden, in het winterhalfjaar. De afvoerdrempel is het peil waarop nog net geen afvoer plaatsvindt. De afwateringseenheden die blanco zijn gelaten worden in het model gesimuleerd met een 'automatische' stuw, in zomer- en winter (Fig. 13)

Daartoe is voor het studiegebied een schematisering gemaakt van de relatie tussen het oppervlaktewaterpeil en het maaiveld. Er wordt onderscheid gemaakt tussen situaties met drainage en situaties met infiltratie, waarbij het resp. om de afvoerdrempel en het streefpeil gaat. De schematisering is vervolgens gebruikt voor het interpreteren van de peilen die in de waterschapsleggers in NAP-hoogtes zijn vermeld, en het vertalen van die gegevens naar het peil in een gridcel van het grondwatermodel. Achtereenvolgens zal de schematisering in situaties met drainage en infiltratie worden beschreven. Voor situaties met drainage zal als voorbeeld de vertaling van de afvoerdrempel in het winterhalfjaar worden gegeven; voor situaties met infiltratie zal als voorbeeld de vertaling van het streefpeil in het zomerhalfjaar worden gegeven.



Zomerstreefpeil (cm-mv)

	0 - 20
	20 - 50
	50 - 80
	80 - 120
	120 - 160
	160 - 232
	n.v.t.

- Fochteloërveen
- grens waterbalanseenheid
- kanaal
- A-watergang

Fig. 13 Streefpeilen van automatische stuwen op de schaal van afwateringseenheden, in het zomerhalfjaar. De peilen zijn genomen ten opzichte van het gemiddelde maaiveld in de afwateringseenheid. In de blanco gelaten afwateringseenheden wordt het oppervlaktewater gesimuleerd met een 'vaste' stuw, in het zomer- en winterhalfjaar

In veel gevallen zal de dimensionering van een afwateringsleiding en/of de plaatsing van stuwen dusdanig zijn dat in afvoersituaties de waterspiegel het maaiveld ongeveer op gelijke afstand volgt, d.w.z. dat de drooglegging (ten opzichte van maaiveld) overal ongeveer gelijk is. Dat zal niet alleen voor de situatie in de grotere waterlopen gelden, maar bij benadering ook in het stelsel van sloten. Binnen het Fochteloërveen, echter, is dat laatste slechts in beperkte mate het geval: door de aanwezigheid van veel open water ontmoet de afwatering weinig weerstand. De waterspiegel zal in de afwateringsleidingen vrijwel gradiëntloos zijn, d.w.z. vrijwel horizontaal. Voor deze twee typen situaties (wel of geen gradiënt van de waterspiegel) heeft het model aparte opties, die samenhangen met de (per afwateringseenheid) gehanteerde methode voor het schematiseren van het oppervlaktewaterpeil in relatie tot het maaiveld:

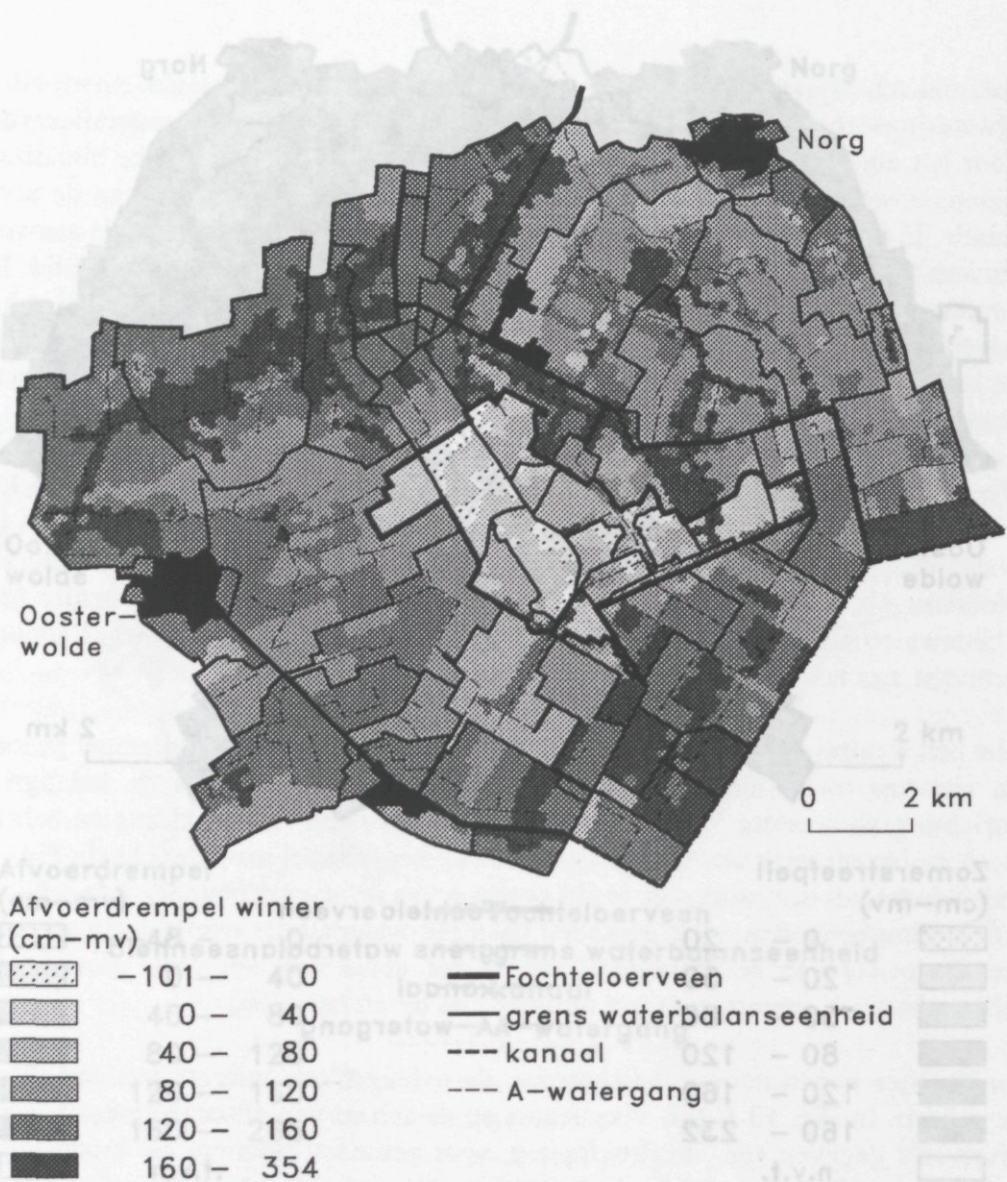


Fig. 14 Afvoerdrempel op de schaal van gridcellen, voor drainagesituaties in de winterperiode. De afvoerdrempel is het niveau waarop nog net geen afvoer plaatsvindt. In gebieden die in Fig. 12 (afvoerdrempel van vaste stuwen) blanco zijn gelaten en die hier wel zijn ingekleurd, wordt het waterbeheer gesimuleerd met automatische stuwen. In afvoersituaties fungeert het streefpeil van een automatische stuw als afvoerdrempel

- de 'maaienveld'-optie, waarin de waterspiegel in afvoersituaties ongeveer het maaienveld volgt;
- de 'NAP'-optie, waarin de waterspiegel binnen een afwateringseenheid uitsluitend bepaald wordt door de hoogteligging van de kruin van de stuw bij het uitstroompunt (niveau waarbij nog net geen afvoer plaatsvindt).

De manier van vertaling vanuit de schaal van afwateringseenheden naar die van gridcellen hangt dus af van de keuze tussen maaienveld- en NAP-opties, die per afwateringseenheid kan verschillen. In Fig. 14 is de vertaling naar gridcelniveau weergegeven voor het winterhalfjaar. Indien in een gridcel geen grotere waterloop aanwezig is, gaat in veel gevallen de diepte van de slootbodem als afvoerdrempel

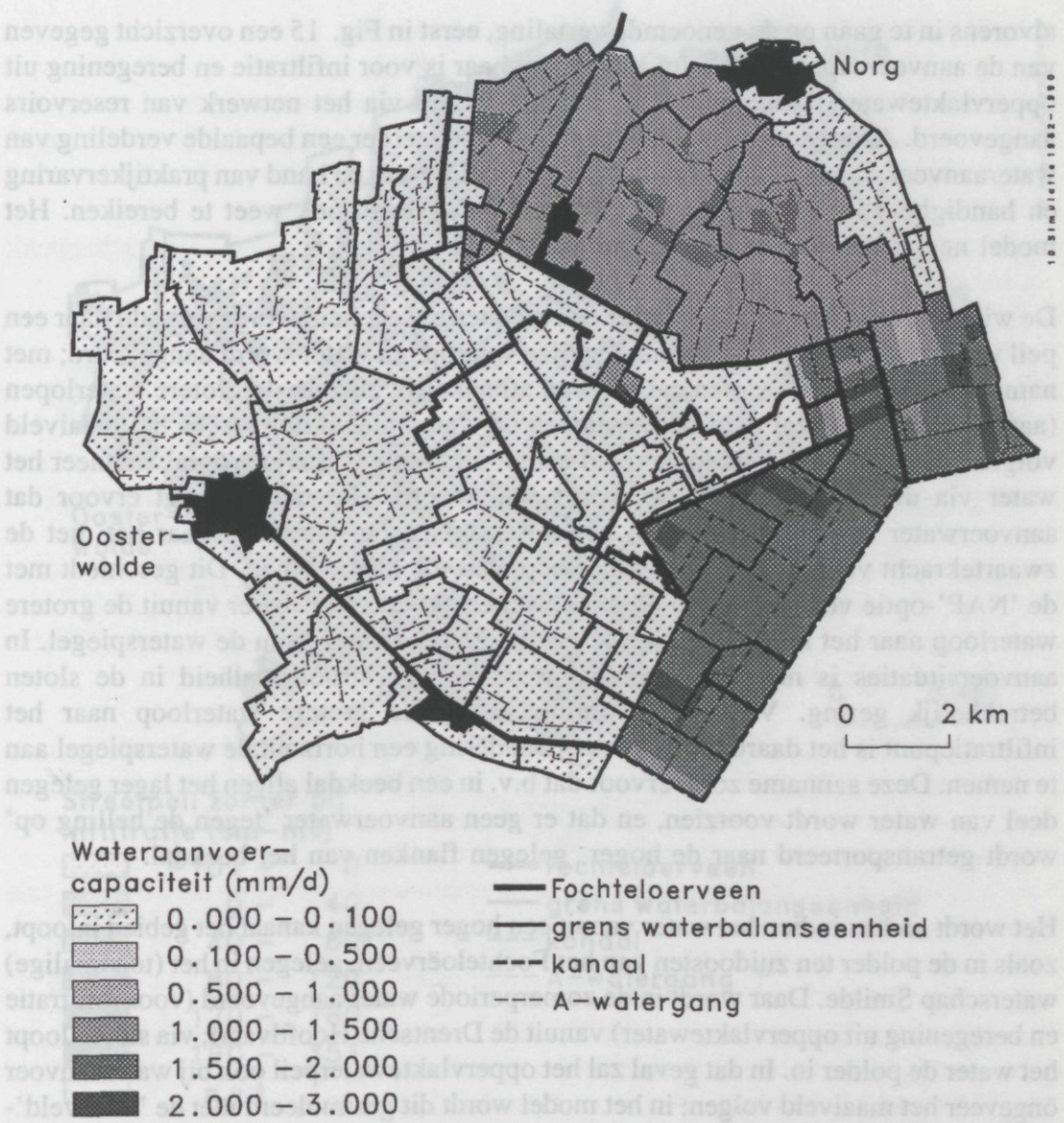


Fig. 15 Beschikbare aanvoercapaciteit in het studiegebied, voor wateraanvoer in het zomerhalfjaar

fungeren, wat in vergelijking met de afvoerdrempel op de schaal van afwaterings-eenheden (Fig. 12) leidt tot een verondieping op de schaal van gridcellen (Fig. 14). In Fig. 14 zijn sommige gebieden ingekleurd die in Fig. 12 nog blanco waren gelaten. Het gaat om gebieden die met een automatische stuw worden gesimuleerd, ook in het winterhalfjaar. In die situaties gaat het streefpeil van de automatische stuw als afvoerdrempel fungeren.

Voor de vertaling van een streefpeil in infiltratiesituaties naar de schaal van gridcellen zijn analoog aan de vertaling van de afvoerdrempel twee opties beschikbaar: de 'maaiveld'- en de 'NAP'-optie. De keuze tussen deze opties kan per afwaterings-eenheid verschillen, en hoeft niet hetzelfde te zijn als die voor drainage-situaties. Bepalend voor de optiekeuze is vooral de manier waarop (eventueel) gebiedsvreemd water wordt aangevoerd. Het streefpeil wordt namelijk alleen bereikt indien er voldoende water (gebiedseigen en/of gebiedsvreemd) voorhanden is. Daarom wordt,

alvorens in te gaan op de genoemde vertaling, eerst in Fig. 15 een overzicht gegeven van de aanvoercapaciteit die lokaal beschikbaar is voor infiltratie en berekening uit oppervlaktewater. Water wordt in het model niet via het netwerk van reservoirs aangevoerd. Aangenomen wordt dat een waterbeheerder een bepaalde verdeling van wateraanvoer nastreeft en dat hij/zij deze verdeling aan de hand van praktijkervaring en handigheid in het omgaan met het aanvoersysteem ook weet te bereiken. Het model neemt dus aan dat dit laatste lukt.

De wijze waarop een streefpeil voor een afwateringseenheid wordt vertaald naar een peil voor een gridcel hangt af van de wijze waarop het water wordt aangevoerd; met name de situatie in de sloten zal hiervan afhankelijk zijn. In de grotere waterlopen (aanvoerleidingen) zal over het algemeen de waterspiegel nog steeds het maaiveld volgen. In de sloten zal dit in de regel echter niet het geval zijn, vooral wanneer het water via de grotere waterloop wordt aangevoerd. Het model zorgt ervoor dat aanvoerwater alleen dat deel van het slotenstelsel kan bereiken waar het met de zwaartekracht vanuit de grotere waterloop naar toe kan stromen. Dit geschiedt met de 'NAP'-optie voor infiltratiesituaties, wat erop neerkomt dat er vanuit de grotere waterloop naar het infiltratiepunt toe geen verhang meer is van de waterspiegel. In aanvoersituaties is namelijk over het algemeen de stroomsnelheid in de sloten betrekkelijk gering. Voor de stroming vanuit de grotere waterloop naar het infiltratiepunt is het daarom een goede benadering een horizontale waterspiegel aan te nemen. Deze aanname zorgt ervoor dat b.v. in een beekdal alleen het lager gelegen deel van water wordt voorzien, en dat er geen aanvoerwater 'tegen de helling op' wordt getransporteerd naar de hoger gelegen flanken van het beekdal.

Het wordt anders indien het water vanuit een hoger gelegen kanaal het gebied inloopt, zoals in de polder ten zuidoosten van het Fochteloërveen, gelegen in het (toenmalige) waterschap Smilde. Daar wordt in de zomerperiode water aangevoerd (voor infiltratie en berekening uit oppervlaktewater) vanuit de Drentsche Hoofdvaart; via sloten loopt het water de polder in. In dat geval zal het oppervlaktewaterpeil ook bij wateraanvoer ongeveer het maaiveld volgen; in het model wordt dit gesimuleerd met de 'maaiveld'-optie voor infiltratie-situaties.

In Fig. 16 is (als voorbeeld) een overzicht gegeven van de streefpeilen zoals die zich op de schaal van gridcellen voordoen in het zomerhalfjaar, in infiltratie-situaties. Voor de gridcellen zijn alleen peilen aangegeven voor zover deze de effectieve bodemhoogte van één of meer ontwateringsmiddelen overstijgen. In gridcellen waar dit niet het geval is kan er namelijk geen infiltratie plaatsvinden, en heeft het aangeven van een peil geen zin. Dit verklaart het feit dat in Fig 16 een aanzienlijk areaal niet is ingekleurd dat in Fig. 13 wèl een legenda-kleur heeft gekregen.

In Fig. 16 zijn overigens ook peilen aangegeven in gridcellen waar infiltratie kan plaatsvinden door de (nabije) aanwezigheid van een vaste stuw (of 'effectieve bodemhoogte' van een afwateringsleiding), gekenmerkt door een afvoerdrempel. In infiltratie-situaties gaat deze drempel ook als een streefpeil fungeren (omdat de afvoer meestal gering zal zijn, en de peilstijging boven de afvoerdrempel niet veel zal voorstellen). Gebieden die in vergelijking met Fig. 13 nu wèl worden ingekleurd lig-



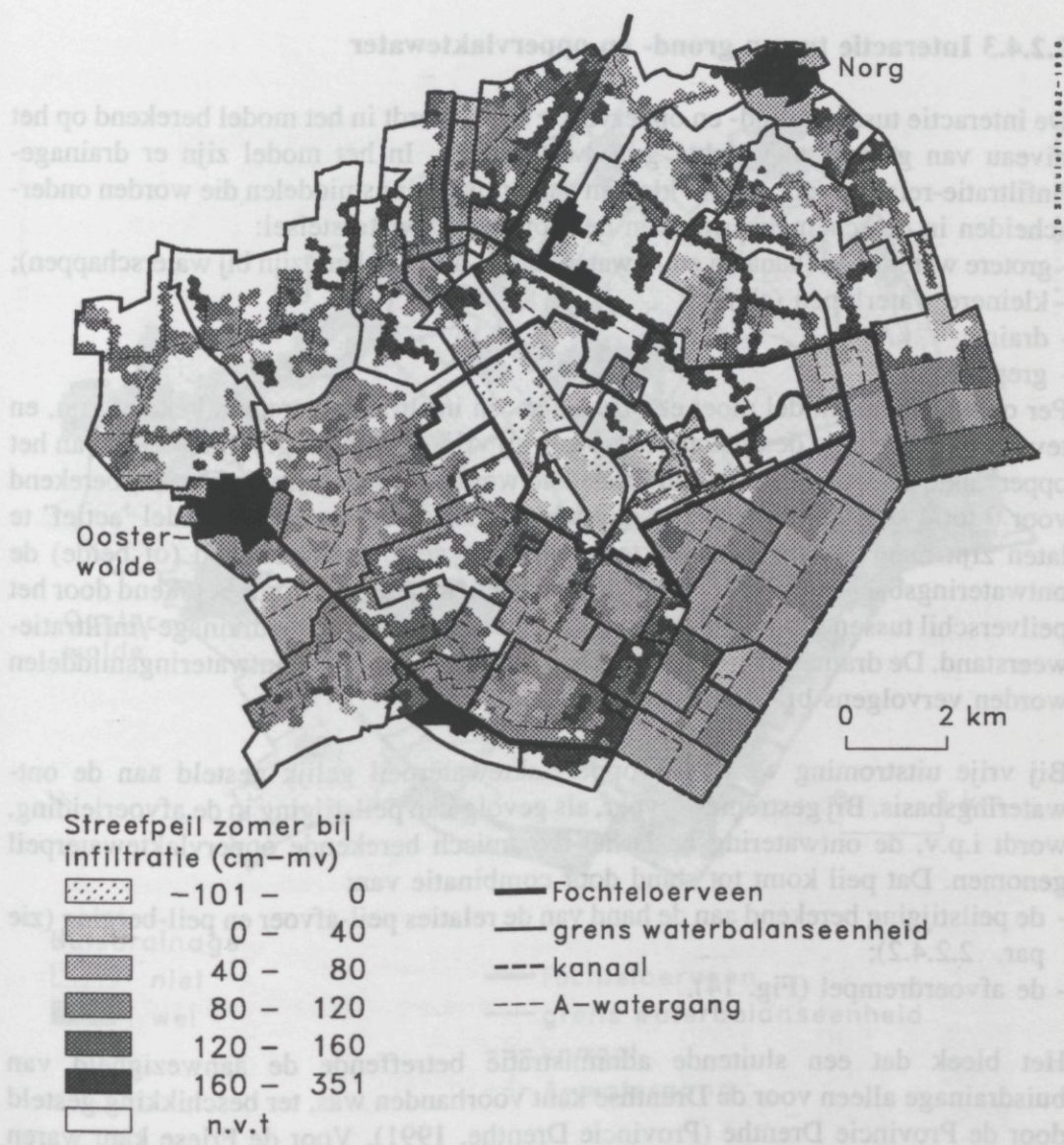


Fig. 16 Streefpeilen op de schaal van gridcellen, voor infiltratie-situaties in het zomerhalfjaar. Alleen gridcellen die bereikbaar zijn voor infiltratiewater (of gebiedseigen afvoer) zijn ingekleurd. In gebieden die met de 'NAP'-optie voor infiltratie-situaties worden gesimuleerd betreft dit meestal slechts het lager gelegen deel. Of er ergens daadwerkelijk infiltratie plaatsvindt hangt af van de beschikbaarheid van infiltratiewater, wat van jaar tot jaar kan verschillen; voor een voorbeeld van de met het model berekende infiltratie zie Fig. 32

gen bijvoorbeeld in het Fochteloërveen, waar infiltratie kan plaatsvinden van 'gebiedseigen' water dat uit hoger gelegen compartimenten afkomstig is. Het model bepaalt tijdens de simulatie of dergelijk water voor handen is; het model simuleert immers het oppervlaktewater als een cascade van reservoirs die met elkaar in verbinding staan. Voor een voorbeeld van de berekende infiltratie wordt verwezen naar par. 2.4.

### 2.2.4.3 Interactie tussen grond- en oppervlaktewater

De interactie tussen grond- en oppervlaktewater wordt in het model berekend op het niveau van gridcellen van het grondwatermodel. In het model zijn er drainage-/infiltratie-relaties voor de vier klassen van ontwateringsmiddelen die worden onderscheiden in de schematisering van het oppervlaktewaterstelsel:

- grotere waterlopen (kanalen en A-watergangen die in beheer zijn bij waterschappen);
- kleinere waterlopen (sloten);
- drains;
- greppels.

Per ontwateringsmiddel moet een drainage- en infiltratieweerstand bekend zijn, en tevens de diepte van de ontwateringsbasis bij vrije uitstroming. Afhankelijk van het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand wordt er drainage (of infiltratie) berekend voor 0 tot 4 soorten ontwateringsmiddelen. Om een ontwateringsmiddel 'actief' te laten zijn moet òf het oppervlaktewaterpeil òf de grondwaterstand (of beide) de ontwateringsbasis overstijgen. Een drainage-/infiltratieflux wordt berekend door het peilverschil tussen grond- en oppervlaktewater te delen door de drainage-/infiltratieweerstand. De drainage/infiltratiefluxen van de verschillende ontwateringsmiddelen worden vervolgens bij elkaar opgeteld.

Bij vrije uitstroming wordt het oppervlaktewaterpeil gelijk gesteld aan de ontwateringsbasis. Bij gestremde afvoer, als gevolg van peilstijging in de afvoerleiding, wordt i.p.v. de ontwateringsbasis het dynamisch berekende oppervlaktewaterpeil genomen. Dat peil komt tot stand door combinatie van:

- de peilstijging berekend aan de hand van de relaties peil-afvoer en peil-berging (zie par. 2.2.4.2);
- de afvoerdrempel (Fig. 14).

Het bleek dat een sluitende administratie betreffende de aanwezigheid van buisdrainage alleen voor de Drenthse kant voorhanden was, ter beschikking gesteld door de Provincie Drenthe (Provincie Drenthe, 1991). Voor de Friese kant waren er slechts schaarse gegevens van relatief recent aangelegde drainages langs A-watergangen. Aangezien de Friese kant in het niet al te verre verleden een ruilverkaveling heeft ondergaan (Haulerwijk), mag worden aangenomen dat alle gronden die drainagebehoefstig waren inmiddels zijn gedraineerd. De drainage-behoefstigheid is geschat aan de hand van de grondwatertrappen op de Bodemkaart 1:50 000 uit 1970. Van vlakken in het landbouwgebied met grondwatertrap I,II, en III is aangenomen dat ze inmiddels zijn gedraineerd. In Fig. 17 is een overzicht gegeven van de gebieden die in het model als gedraineerd zijn ingevoerd.

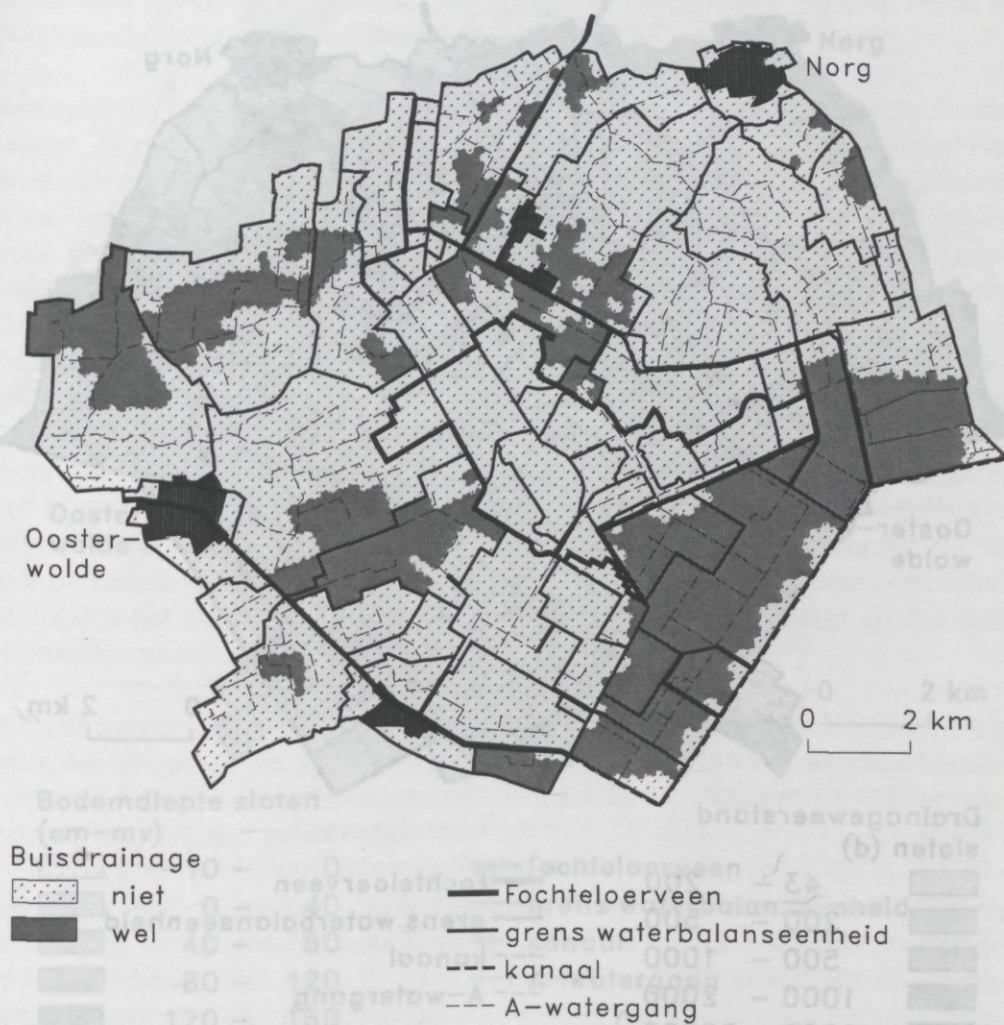


Fig. 17 Overzicht van buisdrainage in het modelgebied, voor gridcellen van het grondwatermodel

Voor de drains en greppels worden de volgende standaardwaarden van parameters gebruikt:

- drains een ontwateringsbasis van 120 cm-mv, of juist boven de keileem (maar minimaal op 80 cm-mv), en een weerstand van 70 d;
- greppels een ontwateringsbasis van 20 cm-mv, en een weerstand van 25 d.

Greppels zijn er altijd, eventueel in de vorm van het lagere gelegen deel van het maaiveld. Bij stijgende grondwaterstand komt een steeds groter deel van het maaiveld blank te staan. Dat heeft niet alleen gevolgen voor de bergingscoëfficiënt (die bij volledig blank staan 1,0 bedraagt), maar ook voor de 'greppel'-weerstand: die neemt steeds verder af, totdat bij volledig blank staan er geen sprake meer is van een weerstand. Het tot afvoer komen van neerslag wordt in die situatie alleen nog geremd

### 2.2.4.3 Interactie tussen grond- en oppervlaktewater

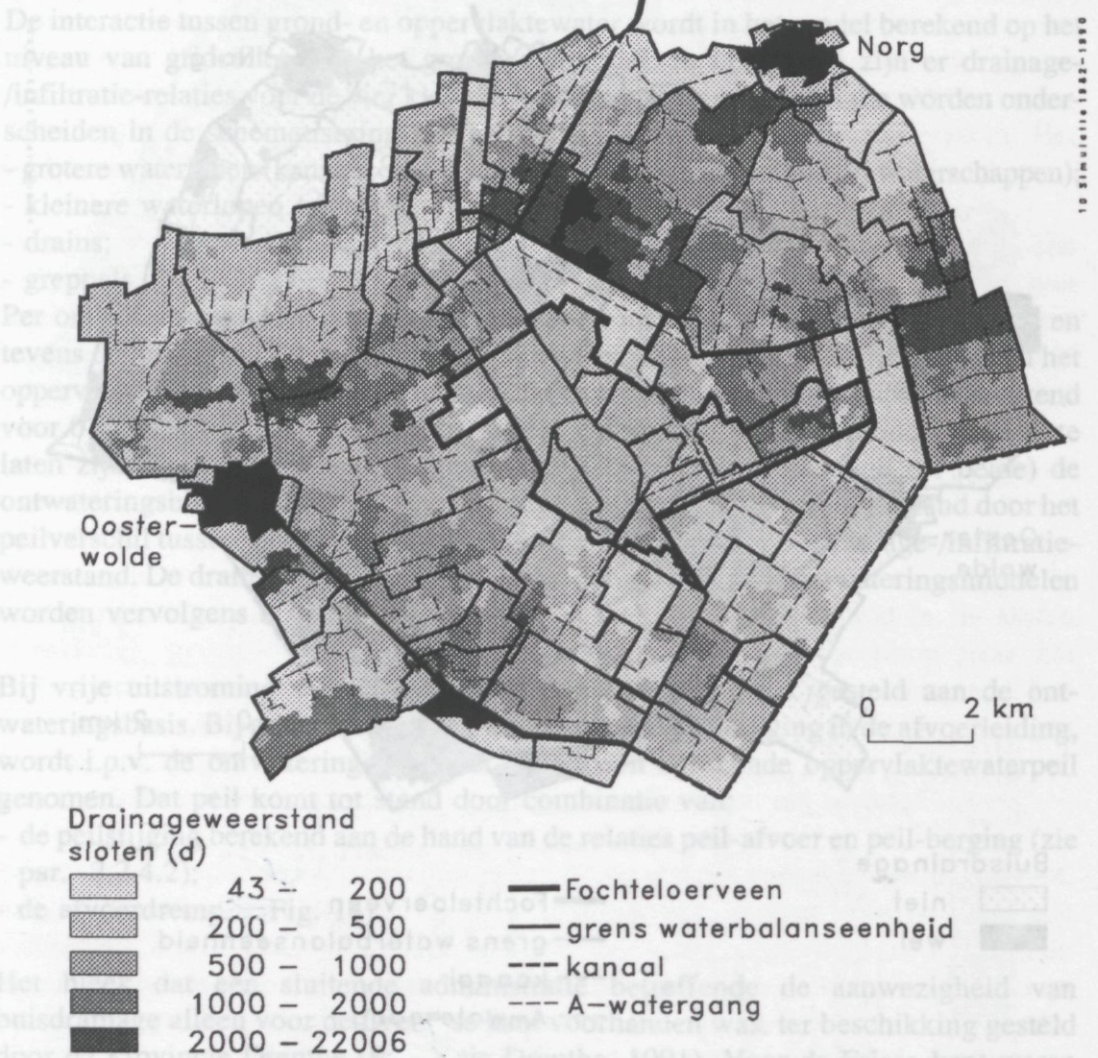


Fig. 18 Drainageweerstand van sloten, voor gridcellen van het grondwatermodel

door de afvoer-peil relatie van het uitstroompunt, bijvoorbeeld van een stuw. Het afnemen van de greppelweerstand bij stijgende waterstand wordt in het model gesimuleerd.

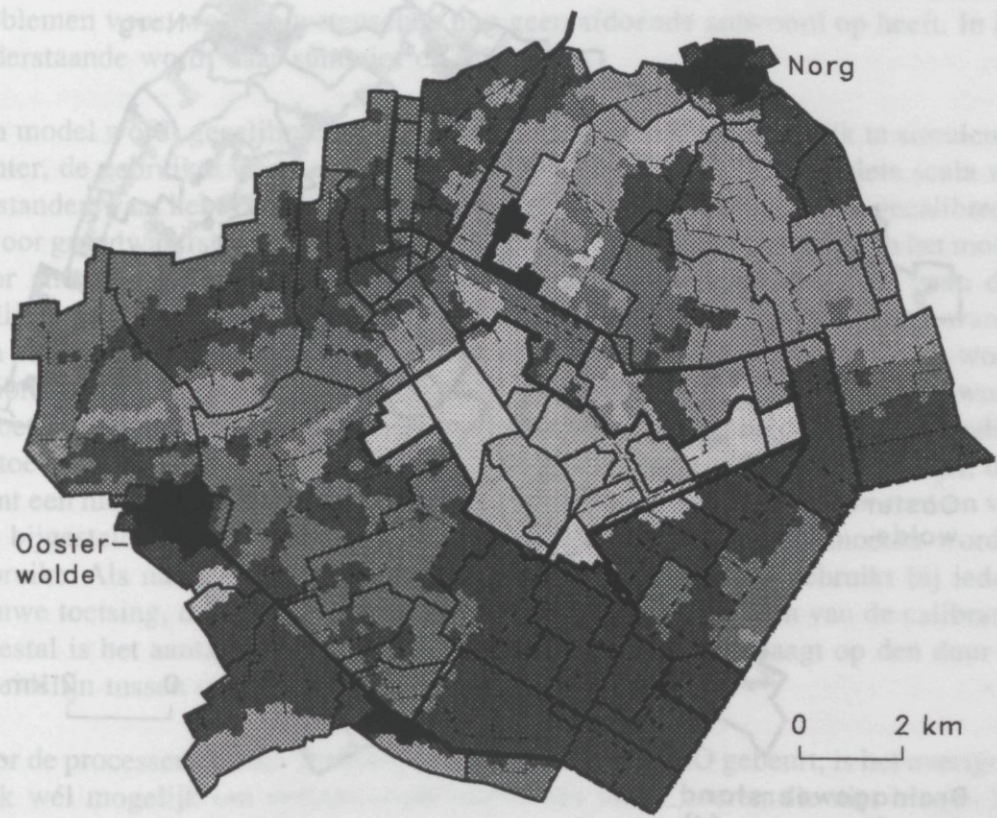
Voor de sloten en A-watergangen is de drainageweerstand berekend aan de hand van simulaties met het twee-dimensionale model FLONET (Guigier et al., 1991). Daarbij is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- geohydrologische schematisering (Tabel 1);
- leidingdichtheid;
- dwarsprofiel;
- aangenomen waarde voor de intreeweerstand.

Wat betreft de sloten is deze berekening verricht voor een viertal klassen van leidingen, met variërende ontwateringsdiepte. Naderhand zijn de weerstanden omge-

het model worden gesimuleerd. Daarbij doen zich echter ook andere problemen voordien. De onderstaande worden hieronder behandeld.

Een model voor de toestand is voor gebruik voor wel Om de getal de toestand dient om het gebruik van de nieuwe toetsing. Meestal is het schimmelen



Bodemdiepte sloten (cm-mv)

	-10 - 0
	0 - 40
	40 - 80
	80 - 120
	120 - 160
	160 - 270

- Fochteloerveen
- grens waterbalanseenheid
- kanaal
- A-watergang

Fig. 19 Ontwateringsdieptes van sloten, voor gridcellen van het grondwatermodel

rekend naar een 'vervangings'-weerstand en 'vervangings'-ontwateringsdiepte, d.w.z. waarden die representatief zijn voor de ontwatering via sloten in een bepaalde gridcel van het grondwatermodel. In Fig. 18 is een overzicht gegeven van de drainageweerstand en in Fig. 19 van de ontwateringsdieptes van sloten.

Van een grotere waterloop (kanaal, A-watergang) komt de ontwateringsbasis overeen met de afvoerdrempel (of effectieve bodemhoogte), waarvan een overzicht is gegeven in Fig. 14. De afvoerdrempel heeft immers betrekking op de situatie in de afwateringsleiding; het niveau waarop nog net geen afvoer optreedt (effectieve bodemhoogte of stuwkruinhoogte) komt overeen met de ontwateringsbasis. Bij de berekening van drainageweerstand met FLONET is dit niveau als randvoorwaarde ingevoerd. Bij de FLONET-berekeningen is ook rekening gehouden met de echte (dieper gelegen) bodemhoogtes. Een dieper gelegen bodemhoogte kan namelijk inhouden dat een slecht doorlatende deklaag volledig wordt doorsneden, waardoor de drainageweerstand sterk omlaaggaat (bij doorsnijding van de keileemlaag).

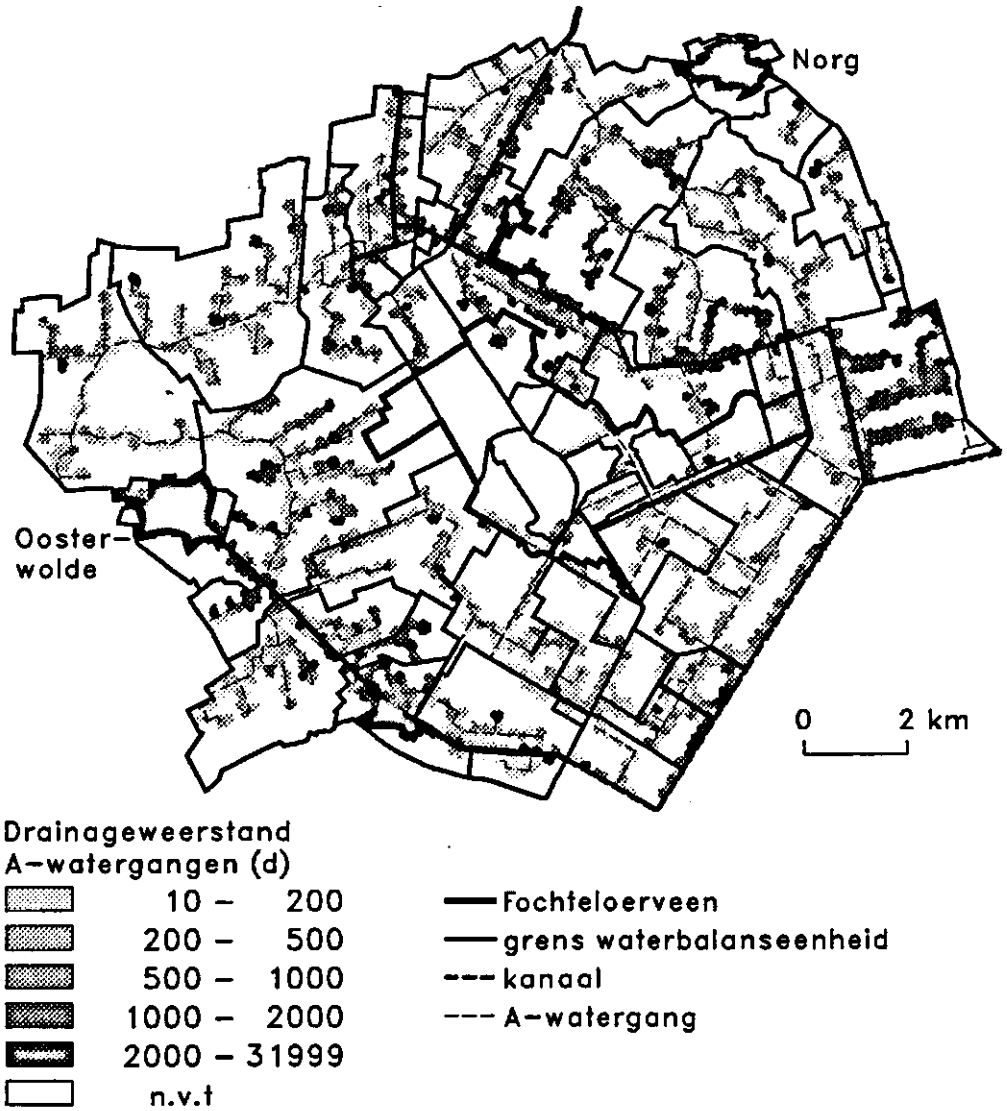


Fig. 20 Drainageweerstand (vervangingswaarde) van grotere waterlopen, voor gridcellen van het grondwatermodel

De drainageweerstand van grotere waterlopen is in het model ingevoerd voor ieder stukje waterloop dat een afwijkend dwarsprofiel heeft. Voor presentatie- en interpretatiedoeleinden is per gridcel een vervangingsweerstand berekend (Fig. 20.)

## 2.3 Calibratie

### 2.3.1 Inleiding

Calibratie, ook wel 'ijking' genoemd, houdt in dat waarnemingen van toestandsvariabelen - zoals afvoeren en stijghoogten - worden gebruikt voor de (her)berekening van modelparameters. Het gaat daarbij om indirect gebruik van meetgegevens: de modelparameters worden gevarieerd tot dat de waarnemingen zo goed mogelijk door

het model worden gesimuleerd. Daarbij doen zich echter een aantal fundamentele problemen voor, waar de wetenschap nog geen afdoende antwoord op heeft. In het onderstaande wordt daar summier op ingegaan.

Een model wordt gecalibreerd om de werkelijkheid zo goed mogelijk te simuleren. Echter, de gebruikte waarnemingen dekken in de regel niet het complete scala van toestanden waar het systeem in kan verkeren. Indien bijvoorbeeld alleen gecalibreerd is voor grondwaterstanden ver beneden maaiveld, dan is de geldigheid van het model voor situaties met hoge grondwaterstanden nog niet gewaarborgd. Er gaan dan wellicht processen een rol spelen die eerder niet of nauwelijks van belang waren. Om te toetsen of een model ook geldig is buiten het bereik van de ijking wordt calibratie veelal gevolgd door 'validatie'. Validatie houdt in dat het model wordt getoetst aan de hand van waarnemingen die niet zijn gebruikt bij de calibratie. Indien de toetsing aangeeft dat het model de werkelijkheid nog niet goed beschrijft, dan dient een nieuwe calibratiecyclus te worden doorlopen. Bij het opnieuw toetsen van het bijgestelde model zou eigenlijk een andere waarnemingsset moeten worden gebruikt. Als namelijk steeds dezelfde waarnemingsset wordt gebruikt bij iedere nieuwe toetsing, dan gaat de validatie feitelijk onderdeel worden van de calibratie. Meestal is het aantal waarnemingssets echter beperkt, en vervaagt op den duur de scheidslijn tussen calibratie en validatie.

Door de processen fysisch te beschrijven, zoals in SIMGRO gebeurt, is het overigens vaak wél mogelijk om verantwoorde simulaties uit te voeren die niet binnen het calibratie-bereik vallen. De resultaten moeten echter in die gevallen toch als minder betrouwbaar worden beschouwd.

Een ander fundamenteel probleem van calibratie is dat de resultaten van een complex model van veel parameters afhankelijk zijn. Er kan aan veel 'knoppen' worden gedraaid. Altijd zijn er ook meer combinaties van parameters die hetzelfde simulatieresultaat opleveren; er is dus sprake van interdependentie. Toch is het vrijwel altijd beter om hoe dan ook de parameters aan te passen, tenzij sterk wordt getwijfeld aan de juistheid van de waarnemingen. Daarbij dient ook in overweging te worden genomen hoe 'hard' de beginschattingen van parameters zijn die zijn afgeleid uit GIS-bestanden, enz. De minst harde parameters komen als eerste in aanmerking om tijdens de calibratie te worden aangepast.

Ondanks de problemen die zich voordoen, mag worden aangenomen dat bij een doordacht uitgevoerde calibratie de kwaliteit van het model zal verbeteren: er wordt immers gebruik gemaakt van extra informatie over het hydrologische systeem. In het onderstaande zal worden ingegaan op de calibratie van het Fochteloërveen-model. Hierbij komen de doelfunctie, de gevoeligheidsanalyse, de aanpassing van parameters en de validatie aan de orde.

### 2.3.2 Doelfunctie

De doelfunctie is een maat voor de overeenkomst tussen waarnemingen en simulaties. Voor deze maat zijn er echter verschillende mogelijkheden. Het maken van een wetenschappelijk verantwoorde keuze daaruit is vooralsnog een onhaalbare kaart. Daarvoor zijn er teveel factoren die een rol kunnen spelen, zoals de beschikbaarheid en kwaliteit van de individuele waarnemingen, het doel van het modelonderzoek, enz. Dat neemt niet weg dat bij het maken van een keuze enkele principes kunnen worden gevolgd die de kwaliteit van de calibratie ten goede komen.

Zowel afvoer- als stijghoogtegegevens waren beschikbaar. Het lag voor de hand om beide typen gegevens te gebruiken bij de calibratie. Daarbij dient men zich wel te bedenken dat afvoer- en stijghoogtegegevens geheel anderssoortig zijn. De afvoer is de restterm van de waterbalans en geeft informatie over een vlak. Het juist simuleren van deze term betekent dat het hydrologische systeem goed in het model zit. Wel moet worden bedacht dat de meeste afvoermetingen voor individuele waterbalansenheden zijn afgeleid uit het verschil tussen metingen van in- en uitstroming. Dat kan grote relatieve fouten ten gevolge hebben. De onnauwkeurigheid neemt echter fors af door de debieten over een groter gebied gedurende langere tijd te beschouwen (Wit e.a., 1996).

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

De periode van het veldonderzoek besloeg de afvoerperioden van twee hydrologische jaren, één was bedoeld voor de modelcalibratie en één voor de validatie. Echter, om meerdere redenen is ervoor gekozen om alle beschikbare gegevens te gebruiken bij de calibratie, d.w.z. de gegevens van januari 1992 tot en met juni 1993. De belangrijkste reden was dat de perioden hydrologisch zeer verschillend waren; voor een goede calibratie moesten daarom beide perioden worden gebruikt. Een andere overweging was dat de kosten van het verkrijgen van die gegevens veel te hoog is geweest om bij ze de calibratie slechts voor de helft te gebruiken.

Een belangrijke keuze betrof de ruimtelijke eenheid die bij de calibratie wordt gehanteerd. Deze eenheid bepaalt de ruimtelijke schaal waarop de deeltermen van de doelfunctie worden berekend en tevens de 'zones' waarbinnen parameters nog op een gelijksoortige wijze worden bijgesteld. Het ligt voor de hand deze ruimtelijke eenheid aan te laten sluiten bij de waterbalansenheden van het veldonderzoek. (Wit e.a., 1995).

De afwijkingen tussen metingen en simulaties kunnen op verschillende manieren worden uitgedrukt. In deze studie is ervoor gekozen om voor de afvoeren te werken met de systematische afwijking  $ME_q$  en voor de stijghoogten te werken met de standaardfout  $RMSE_H$ . De berekening van de  $ME_q$  geschiedt per waterbalansenheid als volgt:



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

waarin:

- $ME_q$  = systematische afwijking (geen absolute waarde) van de dagafvoeren (mm.d<sup>-1</sup>)
- $n$  = aantal waarnemingen van de dagafvoeren binnen de calibratieperiode
- $q_s$  = gesimuleerde dagafvoer (mm.d<sup>-1</sup>)
- $q_m$  = gemeten dagafvoer (mm.d<sup>-1</sup>)

Per meetlokatie van de stijghoogte wordt de standaardfout berekend met:

$$RMSE_H = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{si} - H_{mi})^2}$$

waarin:

- $RMSE_H$  = standaardfout van de stijghoogten (m)
- $n$  = aantal waarnemingen van stijghoogten binnen de calibratieperiode(-)
- $H_s$  = gesimuleerde stijghoogte (m+NAP)
- $H_m$  = gemeten stijghoogte (m+NAP)

Per waterbalanseenheid wordt een gemiddelde  $RMSE_H$  berekend, waarbij zowel freatische als diepe filters worden meegemiddeld. Voor zover mogelijk zijn de  $ME_q$  en de gemiddelde  $RMSE_H$  voor alle (60) waterbalanseenheden berekend. Deze waterbalanseenheden variëren in grootte van 50 tot 1000 ha. Behalve qua grootte variëren de balanseenheden ook in belangrijkheid. Het is belangrijker om de hydrologie in het veengebied goed te simuleren dan aan de rand van het modelgebied. De gewichten bij de calibratie van de verschillende afwateringseenheden zijn recht evenredig gekozen met zowel de oppervlakte als het subjectieve belang.

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

$$OF = \sum_{j=1}^{NC} w_j \cdot [f_H \cdot RMSE_{Hj} + f_q \cdot |ME_{qj}|] \quad (3)$$

waarin:

- $OF$  = doelfunctie van de calibratie (-)
- $|ME_q|$  = gemiddelde afwijking (absolute waarde) van de dagafvoeren (mm/d)
- $RMSE_H$  = gemiddelde standaardfout van de stijghoogten (m)
- $w$  = gewicht van de afwateringseenheid (-)
- $f_H$  = gewicht van  $RMSE_H$  (m<sup>-1</sup>)
- $f_q$  = gewicht van  $ME_q$  (d/mm)
- $NC$  = aantal afwateringseenheden (-)

In de doelfunctie *OF* (*Objective Function*, vgl. 3) is voor de afwijking van afvoeren per waterbalanseenheid de absolute waarde genomen, terwijl dat niet gedaan is bij het sommeren van de afwijkingen in de tijd (vgl. 1). De achtergrond daarvan is dat bij het sommeren in de tijd het als minder bezwaarlijk wordt geacht dat er verschuivingen zijn binnen de reeks dan bij het sommeren over de ruimte. In dat laatste geval vertoont het model tekortkomingen die grotere gevolgen kunnen hebben voor het simuleren van scenario's dan in het eerste geval, met name wanneer het gaat om kwantificering van wisselwerkingen tussen verschillende delen van het studiegebied.

In de doelfunctie *OF* zijn  $ME_q$  en  $RMSE_H$  verwerkt in de verhouding 3:1, waarbij de systematische afwijking van afvoeren in mm/d wordt uitgedrukt en de standaardfout van stijghoogten in m. Dat was een subjectieve keuze, die niet verder is onderbouwd. Achteraf gezien is door deze keuze waarschijnlijk te weinig gewicht gegeven aan afwijkingen van gesimuleerde stijghoogten. De doelfunctie *OF* is overigens berekend als een dimensieloze parameter, omdat deze ontstaat uit een optelsom van ongelijksoortige grootheden. Voor de 'omrekening' zijn de (in eerste instantie) vreemd aandoende dimensies van de gewichten  $f_H$  en  $f_q$  verantwoordelijk (zie vgl. 3). Hiermee wordt tot uitdrukking gebracht dat de doelfunctie slechts een hulpmiddel is bij de calibratie. Slechts aan relatieve veranderingen kan enige betekenis worden gehecht. De mate waarin het model 'de werkelijkheid simuleert' moet nog steeds worden afgemeten aan de waarden van de doelfunctiecomponenten.

### 2.3.3 Systematische gevoeligheidsanalyse

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

Een hydrologisch model is niets anders dan een reeks modelconcepten aangestuurd door parameters. De parameters zijn in principe onafhankelijk, maar de processen in het model zijn niet-lineair. Dat schept verschillende complicaties. Indien bijvoorbeeld de waarden van twee parameters afzonderlijk worden gevarieerd, dan levert dit effecten op die niet noodzakelijkerwijs optellen tot het effect dat veroorzaakt wordt door de twee parameters tegelijkertijd te veranderen. Hier zal een klein voorbeeld van worden gegeven. Stel dat de drainageweerstand van de sloten wordt verhoogd, met als resultaat dat de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) hoger uitkomt. Stel dat ook de invloed van de greppelweerstand wordt onderzocht door deze te verdubbelen. De GHG reageert nauwelijks, omdat de greppels in de uitgangssituatie nauwelijks aan het afvoerproces deelnemen. Worden de maatregelen gecombineerd, dan komt de GHG hoger uit dan verwacht. De greppels blijken namelijk wel af te voeren; de verdubbeling van de greppelweerstand zorgt voor een extra verhoging van de hoogste grondwaterstanden.

Tabel 3 De parameters gebruikt in de gevoeligheidsanalyse. De 'code' is een symbool dat ook gebruikt wordt in SIMGRO-invoerbestanden. De parameters hebben een 'type', volgens welke ze worden gevarieerd in de gevoeligheidsanalyse (zie Tabel 4). De 'var'-code geeft aan of een parameter bij de calibratie niet wordt meegenomen (0), bij de calibratie wel wordt meegenomen maar niet ruimtelijk mag worden gevarieerd (1) of ruimtelijk wel mag worden gevarieerd (2). De parameters met de 'bew'-code (1) variëren volgens bewerking 2, 3 en 4 van Tabel 4; 'bew'-code (2) geeft aan dat ook de bewerkingen 1 en 5 van Tabel 4 mogelijk zijn; 'bew'-code (0) betekent dat alleen bewerking 3 (geen aanpassing) mogelijk is.

Code	Parameter-omschrijving	Eenheid	Type	Var	Bew
CDCT1	weerstand van het veen	d	1	2	1
CDCT2	doorlatendheid van de Twente-formatie	m/d	1	2	1
CDCT3	weerstand van de keileem	d	1	2	1
CDCT4	doorlatendheid van de Eindhoven-formatie	m/d	1	1	1
CDCT5	weerstand van de potklei	d	1	1	1
CDCT6	doorlatendheid van de Urk/Harderwijk-formatie	m/d	1	1	1
DRNG1	drainageweerstand van de grotere waterlopen	d	1	2	2
DRNG2	drainageweerstand van de sloten	d	1	2	2
DRNG3	drainageweerstand van de buisdrainage	d	1	2	2
DRNG4	drainageweerstand van het greppelsysteem	d	1	0	0
DRNG5	drainagebasis van de grotere waterlopen	cm	2	2	2
DRNG6	drainagebasis van de sloten	cm	2	2	2
DRNG7	drainagebasis van de buisdrainage	cm	2	2	2
DRNG8	drainagebasis van het greppelsysteem	cm	2	2	1
STOR1	freatische berging	-	3	2	1
STOR2	elastische berging	-	4	0	0
DISH1	berging oppervlaktewater	m <sup>3</sup> /ha	1	2	1
DISH2	Q-h relatie van de afwateringseenheid	m <sup>3</sup> /s	1	2	1
DISH3	hoogte zomerpeil	cm	2	2	2
DISH4	hoogte winterpeil	cm	2	2	2
UNSA1	evenwichtsvochtgehalte	mm	4	0	0
UNSA2	capillaire opstijging	mm/d	4	0	0
METE1	neerslag	mm/d	5	1	1
METE2	verdamping	mm/d	5	1	1

Tabel 4 De parametervariëaties. Het 'type' (zie Tabel 3) geeft aan hoe een parameter wordt gevarieerd in de gevoeligheidsanalyse. Bewerking 3 is niets anders dan de uitgangssituatie.

Bewerking	1	2	3	4	5
Type					
1	* 4	* 2	* 1	/ 2	/ 4
2	+ 30	+ 15	+ 0	- 15	- 30
3	+ 40%	+ 20%	+ 0%	- 20%	- 40%
4	* 20	* 10	* 1	/ 10	/ 20
5	+ 10%	+ 5%	+ 0%	- 5%	- 10%

Een model als SIMGRO is zo complex dat een complete gevoeligheidsanalyse eigenlijk noodzakelijk is, maar tegelijk niet praktisch uitvoerbaar; het aantal combinaties van mogelijkheden dat zou moeten worden onderzocht is ontelbaar. Toch

is ervoor gekozen om hoe dan ook een systematische gevoeligheidsanalyse uit te voeren, zij het in beperkte vorm. Daarbij zijn verschillende modelparameters vier keer in waarde gevarieerd ten opzichte van hun referentiewaarden, waarbij de overige parameters constant (op hun referentiewaarde) zijn gehouden. De referentiewaarden zijn de waarden van de parameters van het ongecalibreerde model.

In eerste instantie zijn voor de systematische gevoeligheidsanalyse 24 parameters gekozen (zie Tabel 3). Het systematische in de analyse bestond eruit de parameters volgens 'type' (zie Tabel 3 en 4) te laten variëren. Er is om praktische redenen (benodigde rekentijd) voor gekozen om alle parameters over het gehele gebied tegelijk (alle 60 balanseenheden) te variëren, hoewel het wenselijk was geweest om per run de veranderingen te beperken tot één enkele balanseenheid. In Aanhangsel 1 zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse voor twee waterbalanseenheden gevisualiseerd. Het feit dat bij de gevoeligheidsanalyse parameters over het gehele gebied zijn gevarieerd en niet per balanseenheid heeft gevolgen gehad voor de manier waarop de resultaten gebruikt konden worden.

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

Er zijn echter ook parameters die wel degelijk andere informatie geven indien de variatie per afzonderlijke waterbalanseenheid wordt uitgevoerd. Het betreft parameters die een regionale 'uitstraling' hebben, d.w.z. een verandering van deze parameter in balanseenheid  $i$  heeft ook effecten in een naastgelegen balanseenheid  $j$ . Dat betekent dat de nu berekende resultaten van parameterveranderingen in balanseenheid  $j$  beïnvloed worden door effecten van parameterverandering in (onder andere) balanseenheid  $i$ .

Een voorbeeld van een parameter die een regionale uitstraling heeft is de doorlatendheid van het derde watervoerend pakket. Doordat deze parameter over het gehele gebied tegelijkertijd is gevarieerd, is achteraf niet meer te achterhalen wat de effecten van aanpassingen in afzonderlijke balanseenheden zouden zijn geweest. Met deze beperking is rekening gehouden in het verdere gebruik van de rekenresultaten bij de calibratie. Dat is gedaan door parameters met een regionale uitstraling alleen aan te passen voor het *hele gebied* tegelijk, en niet op ruimtelijk gedifferentieerde wijze per balanseenheid. Voor laatstgenoemde aanpassing ontbreekt immers noodzakelijke informatie.

Er is ook nog een andere reden voor het niet per balanseenheid maar uitsluitend over het gehele gebied aanpassen van een bepaalde parameterwaarde. Het is namelijk mogelijk dat een parameter een grote mate van ruimtelijke afhankelijkheid vertoont in geostatistische zin. Dat houdt in dat er een sterke statistische correlatie is tussen

waarden van die parameter op verschillende lokaties: hoe dichter de lokaties bij elkaar liggen, hoe groter de correlatie. Voorbeelden van een dergelijke type parameter zijn de doorlatendheid van de diepe ondergrond en de gemiddelde neerslag. Dat de neerslag overigens als 'parameter' wordt beschouwd en niet als een 'hard' invoergegeven heeft te maken met de onzekerheden in de neerslagmetingen (standaard 5%). Het is echter niet waarschijnlijk dat de neerslag (die voor het modelonderzoek afkomstig is van één meetstation, namelijk Veenhuizen) per balanseenheid systematisch (d.w.z. als langjarig gemiddelde) een andere afwijking vertoont. Daarvoor is het gebied te vlak.

Op basis van bovengenoemde aspecten zijn de parameters in twee groepen verdeeld (Tabel 3): een groep die per balanseenheid mag worden aangepast en een groep die alleen gebiedsgewijs (d.w.z. voor het hele modelgebied) mag worden aangepast. Er is nog een derde groep van parameters; voor deze groep is wel een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, maar aanpassing tijdens de calibratie werd niet wenselijk geacht. Het gaat om de drainageweerstand van het greppelsysteem, de elastische berging en de onverzadigde zone parameters. De elastische berging en de parameters van de onverzadigde zone bleken ongevoelig te zijn, en aanpassing had dus geen zin. De drainageweerstand van het greppelsysteem is niet aangepast: het greppelsysteem simuleert behalve de drainage via greppels ook de afstroming via het maaiveld. Bij waterstanden boven maaiveld neemt de drainageweerstand sterk af. Alleen de hoogte van het greppel-ontwateringsniveau wordt als (gedeeltelijk) onbekend beschouwd, omdat de waarde wordt bepaald door het microreliëf. De gegevens over het microreliëf hebben namelijk een relatief lage betrouwbaarheid, vanwege de kleinschaligheid van de variatie in verhouding tot de schaal van bemeting.

### 2.3.4 Aanpassing van parameters

De aanpassing van de parameters in de calibratieprocedure is in drie stappen verdeeld, nl.:

- 1) aanpassingen op grond van kwalitatieve conclusies van het veldonderzoek;
- 2) aanpassingen op grond van de gevoeligheidsanalyse;
- 3) aanpassingen parameters op grond van andere bronnen.

In par. 2.3.2 is de doelfunctie die moest worden geminimaliseerd weergegeven. Iedere stap in de calibratie moest leiden tot een vermindering van de waarde van deze doelfunctie. In Aanhangsel 1 is voor alle balanseenheden de calibratie afzonderlijk gevisualiseerd (Fig. 105a-c), en is voor iedere stap van de calibratie een ruimtelijk overzicht gegeven van de afwijkingen van afvoeren (Fig. 106a-d). In de navolgende bespreking zullen echter over het algemeen alleen veranderingen van doelfunctiewaarden voor het gehele gebied worden aangehaald.

Uit het veldonderzoek (Wit e.a., 1995) is geconcludeerd dat de verbreiding van de potklei zoals vooraf was aangenomen, moest worden aangepast. Deze eerste stap in de calibratie leverde een lichte verbetering op: de gemiddelde afwijking van de dagafvoeren nam af van 0,28 naar 0,27 mm/d, en de standaardfout van de stijghoogten van 0,37 naar 0,35 m. De totale doelfunctie (3x afwijking afvoeren plus 1x standaardfout stijghoogten) nam af van 1,21 naar 1,16. Uit Aanhangsel 1 (Fig. 105, Fig.

106b) wordt duidelijk dat de doelfunctie voornamelijk verbeterd is in de balanseenheden N5 en N6; dit zijn de gebieden waar de potklei-verbreiding is aangepast.

Om de resultaten van de gevoeligheidsanalyse optimaal te kunnen benutten, is een geautomatiseerde calibratie-procedure ontwikkeld voor stap 2. In de methode wordt ervan uitgegaan dat de deelresultaten van de gevoeligheidsanalyse superponeerbaar zijn, hoewel in par. 2.3.2 is opgemerkt dat dit eigenlijk niet het geval is. Stel dat een verhoging van de afvoerdrempel met 30 cm in het deelgebiedje F6 de  $ME_q$  doet afnemen van 0,50 naar 0,40, en dat een verdubbeling van de weerstand een afname geeft tot 0,30, dan wordt berekend dat bij de combinatie van beide maatregelen de verwachte  $ME_q$  een waarde krijgt van  $0,50 - 0,10 - 0,20 = 0,20$ . Voor de  $RMSE_H$  is een andere rekenwijze gebezigd, omdat de  $RMSE_H$  niet negatief kan worden. Bij het gebruik van dezelfde getallen als boven wordt een  $RMSE_H$  verwacht van  $0,50 * 0,8 * 0,6 = 0,24$ . Hierbij wordt er dus van uitgegaan dat de iedere verbetering verhoudingsgewijs doorwerkt.

De feitelijke aanpassingen van parameters in stap 2 van de calibratie werden in feite in twee deelstappen uitgevoerd, echter zonder tussentijdse simulatie:

- 2a) aanpassingen van parameters die voor het hele gebied op dezelfde wijze worden aangepast (var = 1 van Tabel 3);
- 2b) aanpassingen van parameters die voor iedere balanseenheid op dezelfde wijze worden aangepast (var = 2 van Tabel 3).

Van de vijf parameters die in stap 2a in aanmerking kwamen voor calibratie, zijn er in de geautomatiseerde procedure twee daadwerkelijk aangepast. Dit bleek toen met een zoekprogramma alle mogelijke combinaties van parameter-aanpassingen werden onderzocht. Daarbij werd de doelfunctie berekend met de verwachte waarden voor  $ME_q$  en  $RMSE_H$  zoals boven is beschreven. Het zoekprogramma maakt dus uitsluitend gebruik van gegevens die eerder met de gevoeligheidsanalyse zijn berekend. De twee aanpassingen van stap 2a betreffen:

- halvering van de doorlatendheid van het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket (Formatie van Eindhoven) van 7 m/d naar 3.5 m/d;
- verlaging van de neerslag met 5%.

Opmerkelijk hierbij is dat SIMGRO standaard de ingevoerde neerslag verhoogt met 5%, aangezien wordt aangenomen dat de neerslag gemeten met een standaard regenmeter 5% wordt onderschat. De calibratieprocedure draaide derhalve de correctie terug. De waarde van de doelfunctie is in deze stap verlaagd van 1,16 naar 1,10, waarbij opvalt dat in de systematische afwijking van de afvoeren een verbetering optrad van 0,27 naar 0,25 mm/d, maar bij de standaardfout van de stijghoogten een verslechtering van 0,35 naar 0,36 m.

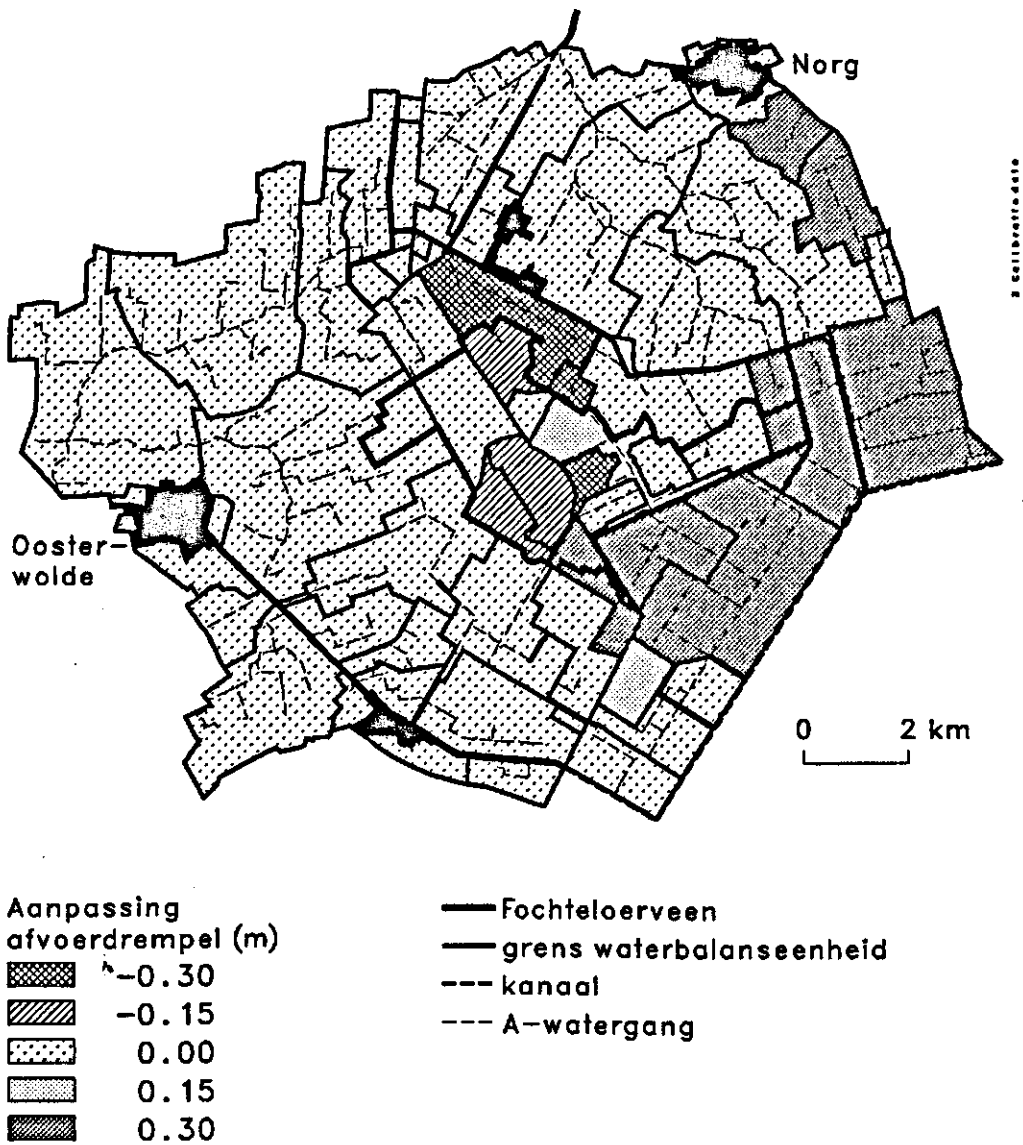


Fig. 21 Aanpassing van de afvoerdrempel in de automatische calibratieprocedure van stap 2.

In stap 2b is per waterbalanseenhed naar de vijf meest gevoelige parameters gezocht. Door alle combinaties van mogelijkheden af te tasten is de doelfunctie voor alle balanseenheden afzonderlijk geminimaliseerd. Hierbij is rekening gehouden met de veranderingen van stap 2a. Bij het aftasten van de parameteraanpassingen per balanseenhed afzonderlijk zijn echter niet meer de aanpassingen van stap 2a herzien. Als de gevoeligheid van een parameter te gering was, is hierop niet gecalibreerd.

In Fig. 21 is de aanpassing van de afvoerdrempel weergegeven, en in Fig. 22 van de slootweerstand. Dit waren de belangrijkste veranderingen in stap 2b van de calibratie. De waarde van de doelfunctie is in deze stap verlaagd naar 1,04, waarbij de afwijking van de afvoeren verbeterde van 0,25 naar 0,21 mm/d, maar de fout van stijghoogten verder verslechterde van 0,36 naar 0,40 m.

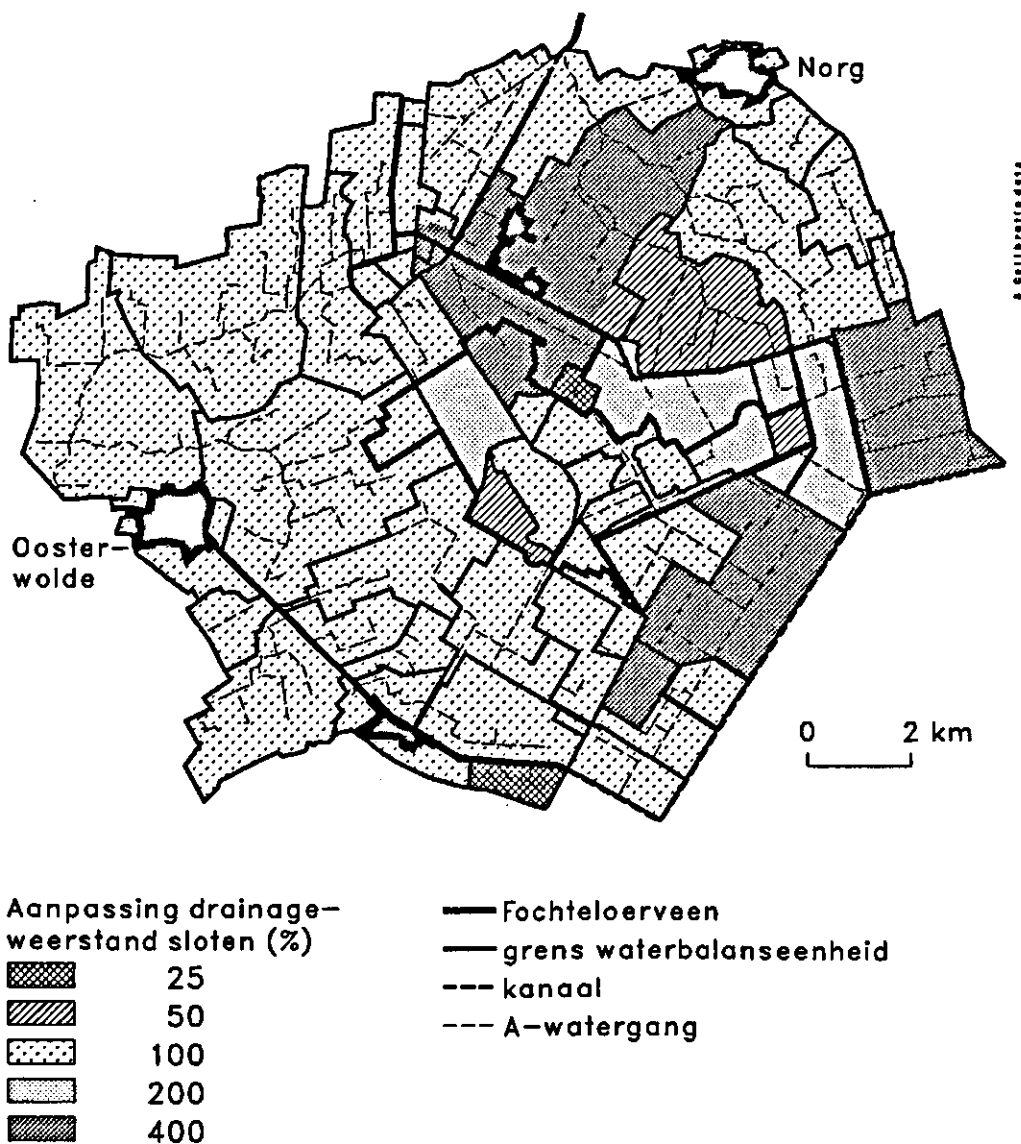
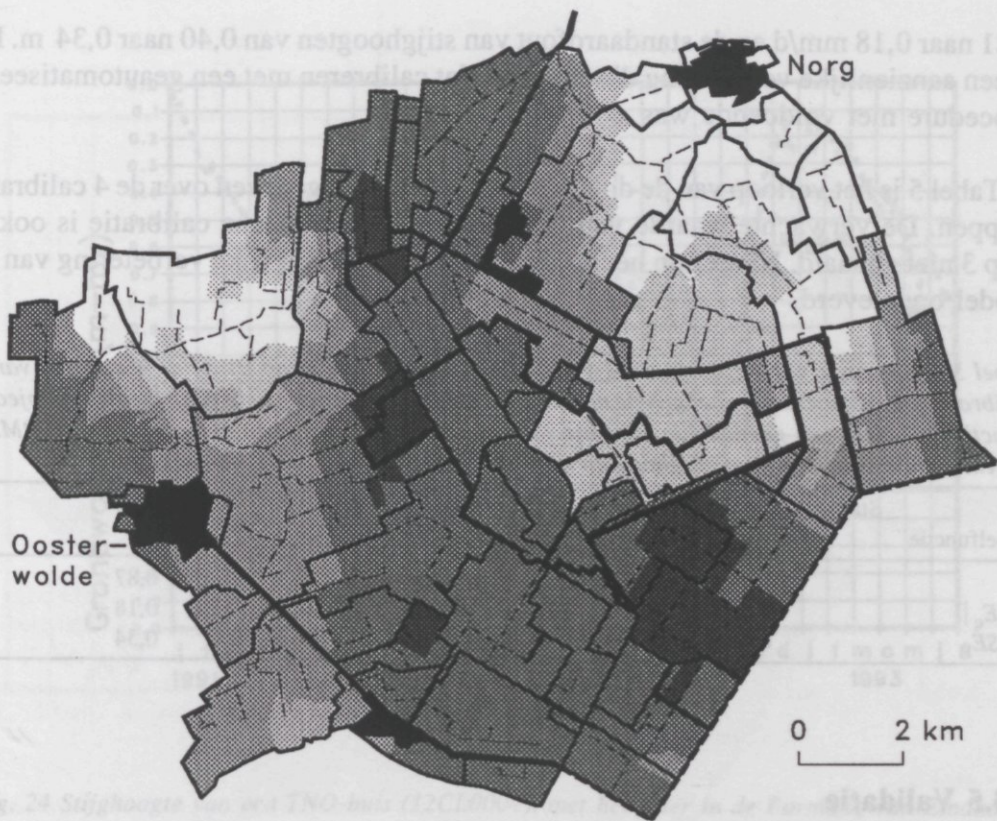


Fig. 22 Aanpassing van de drainageweerstand van sloten in de automatische calibratie-procedure van stap 2.

De geautomatiseerde procedure heeft de waarde van de doelfunctie van 1,16 tot 1,04 omlaaggebracht. Op grond van de veronderstelde superponeerbaarheid werd een doelfunctiewaarde van 0,73 verwacht. Hieruit kon worden geconcludeerd dat het onjuist was lineariteit te veronderstellen. Dat heeft echter niet verhinderd dat de geautomatiseerde procedure een niet onaanzienlijke verbetering van de doelfunctie heeft opgeleverd.

Na de geautomatiseerde calibratie bestond er nog enige onvrede over de modelresultaten. De vrij recente grondwatertrappenkaart van het Drentse deel (zie par. 3.1) bleek natter te zijn dan de simulatie, met name in het gebied van het voormalige waterschap Smilde. Door de wateraanvoer te modelleren met de 'maaiveld'-optie (zie par. 2.2.4) kon hierin enige verbetering worden gebracht.





Potklei-weerstand  
(1000 d)

	0
	0 - 5
	5 - 10
	10 - 25
	25 - 50
	50 - 100

- Fochteloeerveen
- grens waterbalanseenheid
- kanaal
- A-watergang

Fig. 23 Weerstand van de potklei (laag 5 van de geohydrologische schematisering), na aanpassingen in stap 1 en stap 3 van de calibratie (zie voor de oorspronkelijk weerstand Wit e.a., 1995).

Verder werden enige wijzigingen doorgevoerd in het reservaatgebied. Sommige afvoerdrempels werden licht aangepast. De belangrijkste aanpassing betrof evenwel het aanbrengen van het gat in de potklei waarover Ernst (1979) had gerapporteerd. Hij concludeerde dat er zich ter plaatse van de aardappelvloeivelden en juist ten noorden daarvan een gat in de potklei moest bevinden. Analyse van zijn berekeningen, gecombineerd met resultaten van dit onderzoek, wezen uit dat het gat in de potklei (dat in stap 1 vanuit het noorden was vergroot naar de waterbalanseenheden N5 en N6) verder moest doorlopen (zie Aanhangel 1 voor de locatie van deze balanseenheden). Het gat is uitgebreid naar de eenheden F7 en F8 en het aangrenzende deel van F4. Ter plaatse van de vloeivelden (F9) is de potklei gehandhaafd (zie Fig. 23).

De aanpassing in deze laatste stap leidde tot een vermindering van de waarde van de doelfunctie van 1,04 naar 0,87; daarbij nam de afwijking van dagafvoeren af van

0,21 naar 0,18 mm/d en de standaardfout van stijghoogten van 0,40 naar 0,34 m. Dat is een aanzienlijke verbetering die aangeeft dat calibreren met een geautomatiseerde procedure niet voldoende was.

In Tabel 5 is het verloop van de doelfunctie-waarde weergegeven over de 4 calibratiestappen. De verwachte waarde van 0,73 voor de automatische calibratie is ook na stap 3 niet gehaald. Niettemin heeft de calibratie een belangrijke verbetering van het model opgeleverd.

*Tabel 5 De waarde van de doelfunctie voor de uitgangssituatie (stap 0) en de 4 stappen van de calibratie, gesommeerd over het gehele modelgebied. OF = doelfunctie hele modelgebied ('Objective Function');  $|ME_q|$  = gemiddelde absolute waarde van de afwijking van afvoeren (mm/d);  $RMSE_H$  = gemiddelde standaardfout stijghoogten (m)*

Doelfunctie	Stap	0	1	2a	2b	3
OF		1,21	1,16	1,10	1,04	0,87
$ ME_q $		0,28	0,27	0,25	0,21	0,18
$RMSE_H$		0,37	0,35	0,36	0,40	0,34

### 2.3.5 Validatie

In deze paragraaf zullen de resultaten van het gecalibreerde model worden vergeleken met gemeten grootheden. Zoals opgemerkt in par. 2.3.1 worden calibratie en validatie vaak verweven. Zo is het ook in dit geval. Er is derhalve van een validatie nauwelijks sprake.

In Fig. 24 en 25 is het effect van de calibratie (stap 1-3) op het tijd-stijghoogte verloop weergegeven voor een TNO-buis die zijn filter heeft in de formatie van Eindhoven (2<sup>e</sup> watervoerende pakket). In Fig. 26 en 27 komt verbetering van de simulatie van de afvoer van het uitstroompunt van P09 duidelijk naar voren (zie Aanhangsel 1 voor de ligging van P09).

De isohypsenpatronen van de 3 onderscheiden watervoerende pakketten alsmede van het veen zijn geconstrueerd op basis van stijghoogten van de betreffende pakketten in het voorjaar van 1992 (Wit e.a., 1996). In Aanhangsel 2 is te zien dat de geconstrueerde en gesimuleerde stijghoogtelijnen van het derde watervoerende pakket (Fig. 107d, Formatie van Urk/Harderwijk) zeer goed overeenkomen. De isohypsenpatronen van de overige lagen zijn eveneens weergegeven in Aanhangsel 2. Fig. 107a geeft van de gesimuleerde waarden de resultaten voor laag 1. Buiten het Fochteloërveen betreft dit feitelijk de waarden voor laag 2 (vanwege de afwezigheid van het veenpakket aldaar). Uit de figuren blijkt dat hoe hoger men in het grondwatersysteem zit, hoe slechter de overeenkomst tussen model en 'meting'

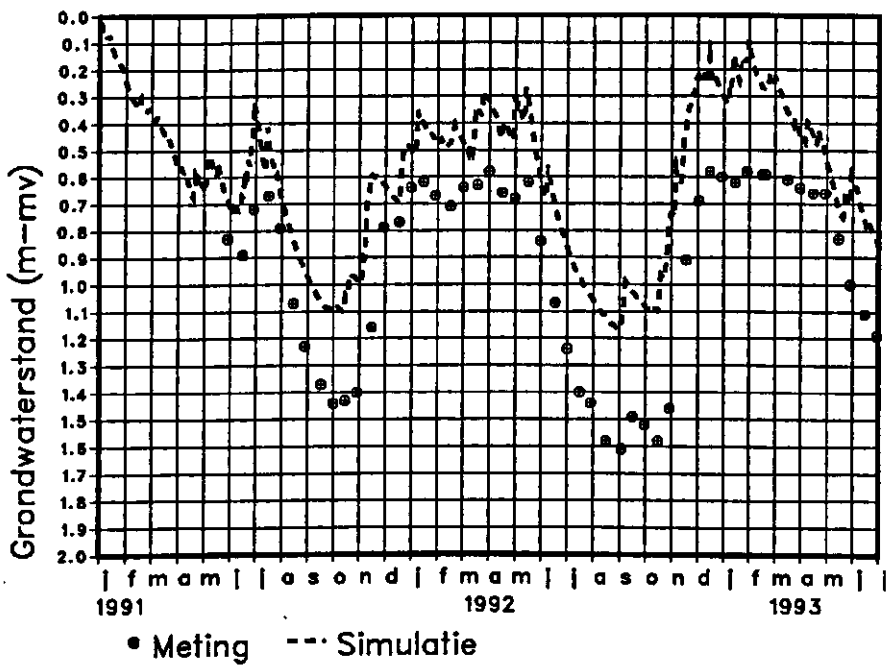


Fig. 24 Stijghoogte van een TNO-buis (12CL0004), met het filter in de Formatie van Eindhoven; waarnemingen, simulatiewaarden van het ongecalibreerde model

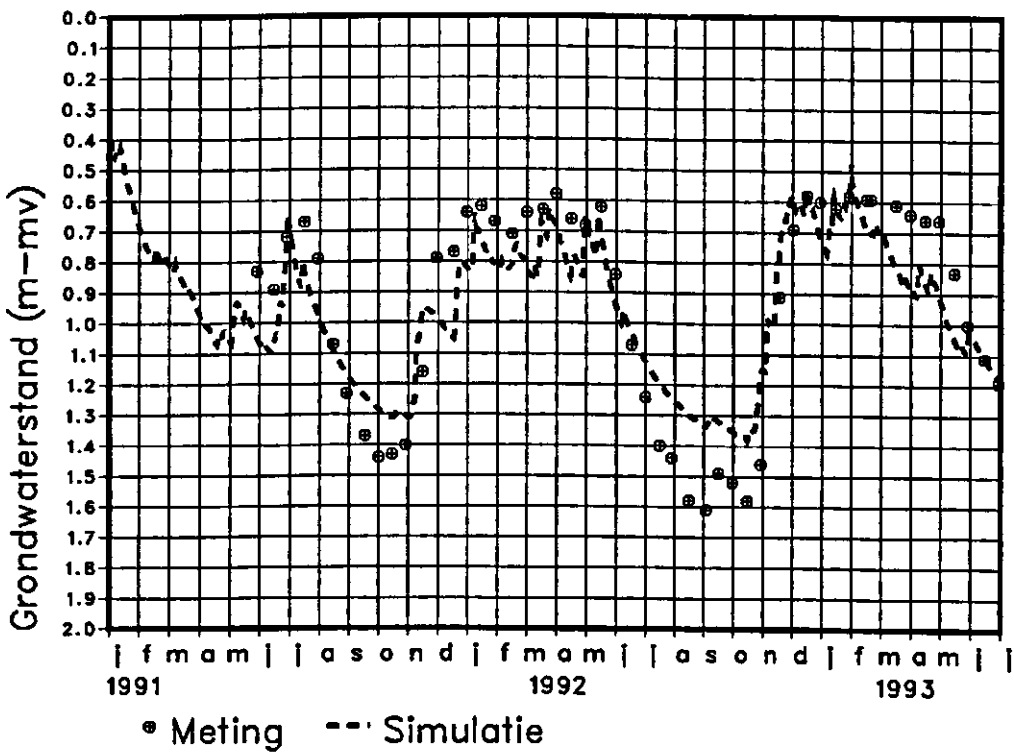


Fig. 25 Stijghoogte van een TNO-buis (12CL0004), met het filter in de Formatie van Eindhoven; waarnemingen, simulatiewaarden van het gecalibreerde model

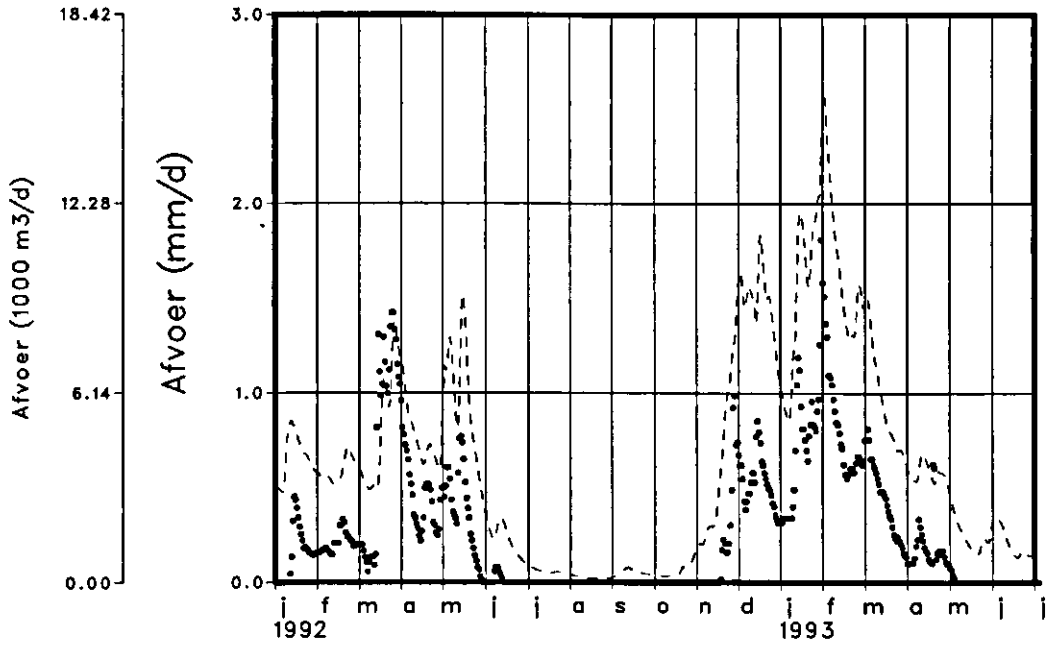


Fig. 26 Totale afvoeren uit waterbalansenheid P09, waarnemingen en simulatiewaarden van het ongecalibreerde model

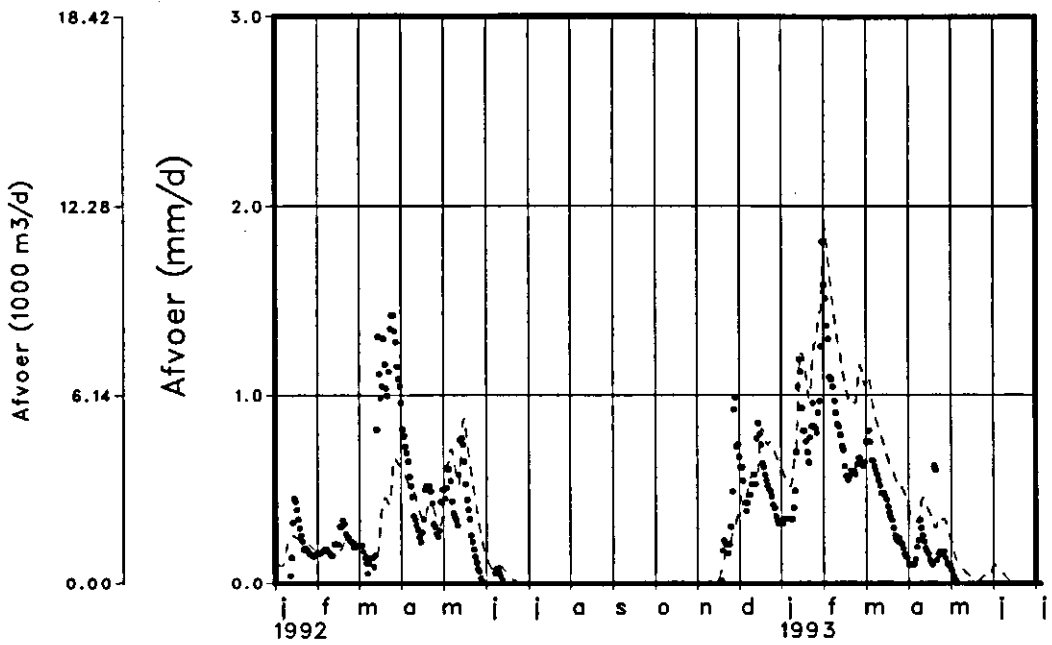
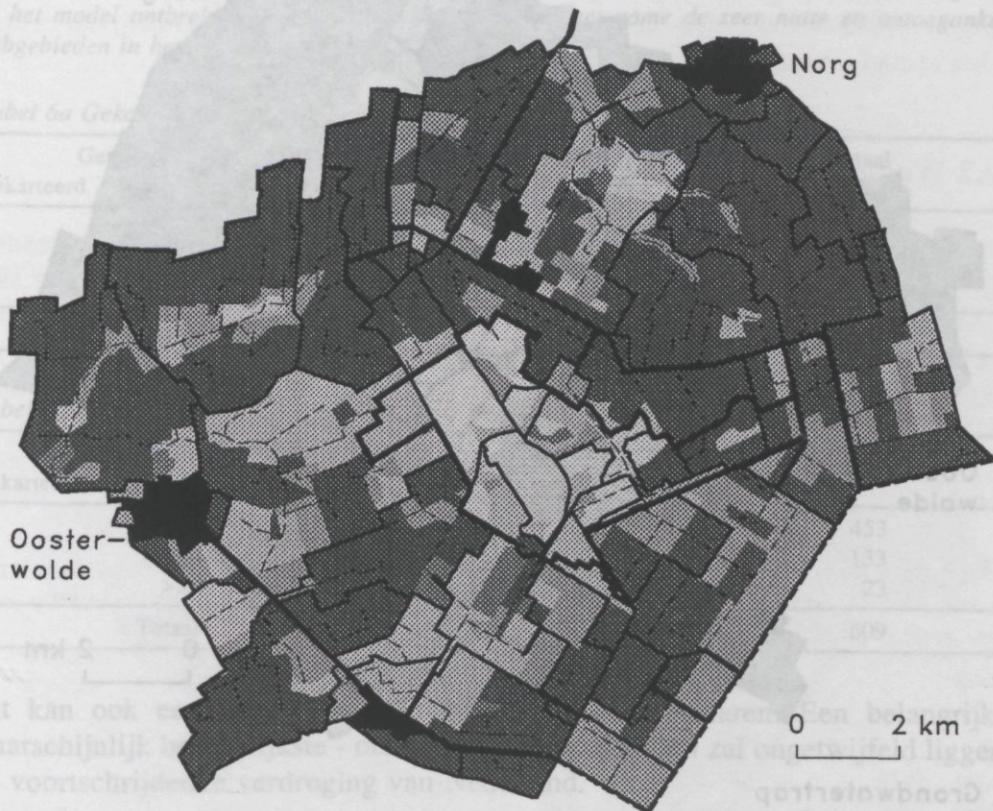


Fig. 27 Totale afvoeren uit waterbalansenheid P09; waarnemingen en simulatiewaarden van het gecalibreerde model

Tabel 6 Gekarteerde... in het model ontv... subgebieden in l...

Tabel 6a Gek...  
Gek...  
Gek...

10 simulatie 1982-1990



Grondwatertrap  
(gesimuleerd)

- I,II,II\*
- III,III\*
- IV
- V,V\*
- VI,VII,VII\*

- Fochteloerveen
- grens waterbalanseenheid
- kanaal
- A-watergang

Fig. 28 De gesimuleerde grondwatertrappenkaart op subgebiedsniveau

is. Daarbij moet wel worden aangetekend dat de 'gemeten' isohypsen gebaseerd zijn op een relatief klein aantal meetpunten; daardoor kunnen forse interpolatiefouten zijn ontstaan.

De freatische grondwaterstanden worden gebiedsdekkend beschreven in de grondwatertrappenkaart, als onderdeel van de Bodemkaart 1: 50 000. Voor het modelgebied zijn de kaartbladen 11 Oost, Heerenveen (STIBOKA, 1971) en 12 West, Assen (STIBOKA, 1991) van toepassing. De kartering van blad 11 is uitgevoerd in de jaren '60 en omvat het Friese deel van het modelgebied. Blad 12 is in de jaren '80 herzien en omvat het Drentse deel. Door onder andere een verbeterde waterhuishouding mag verwacht worden dat de natte grondwatertrappen van kaartblad 11 inmiddels droger zijn geworden.

De gesimuleerde en gekarteerde grondwatertrappenkaarten staan in Fig. 28 en 29.

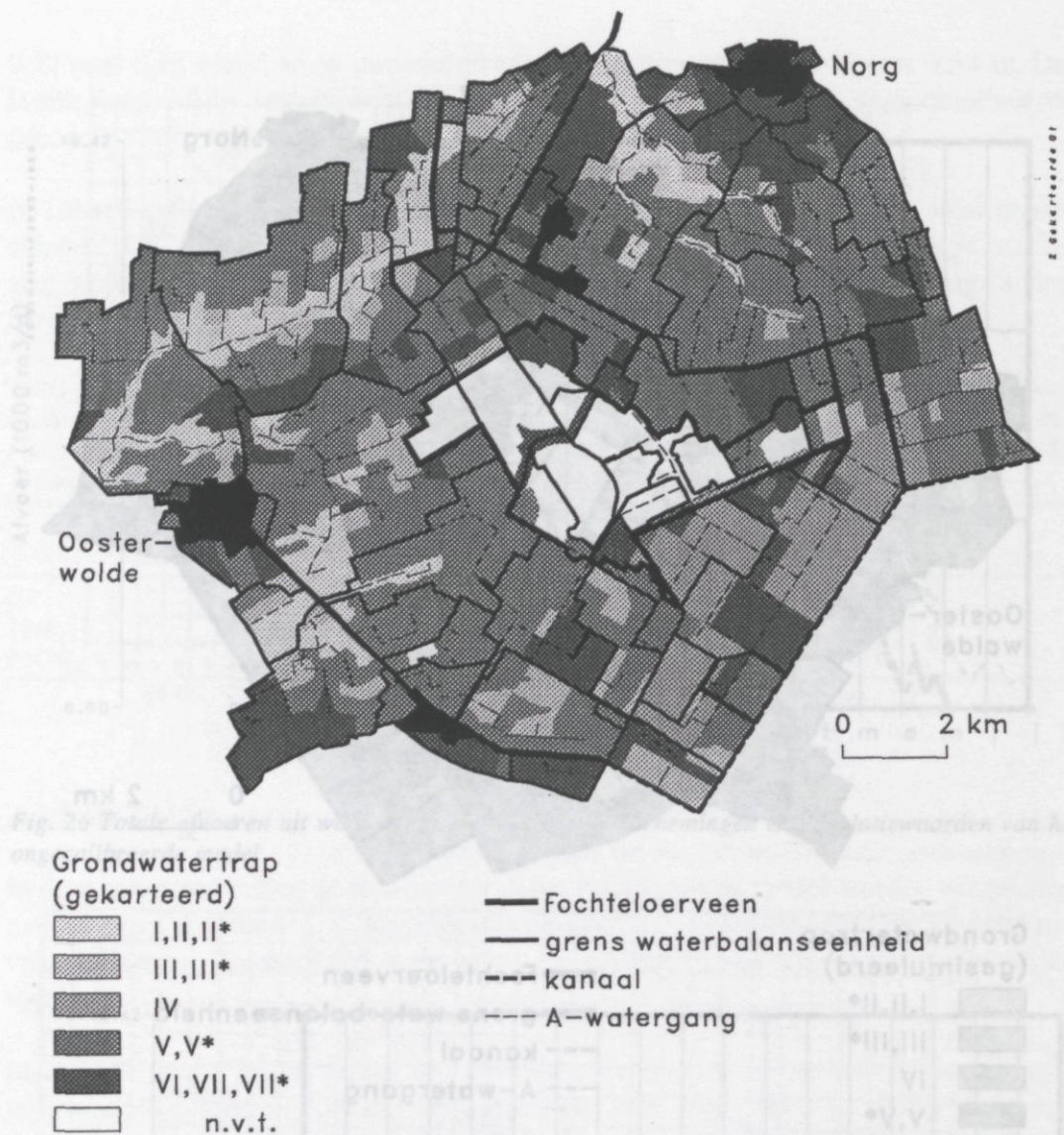


Fig. 29 De gekarteerde grondwatertrappenkaart op subgebiedsniveau

De grondwatertrappen in het Fochteloërveen zijn niet gekarteerd. De gesimuleerde kaart geeft een te droge indruk, hoewel de ruimtelijke patronen een redelijke mate van overeenkomst vertonen. De te droge indruk komt met name tot uitdrukking op plaatsen waar een Gt V wordt gekarteerd en een Gt VI/VII wordt gesimuleerd. Nadere analyse (Tabel 6a en 6b) laat zien dat met name de GHG (ook in het Drentse deel) te droog uitvalt. Mogelijk wordt de berging in de onverzadigde zone (in het bodemwatermodel) overschat, waardoor de hoge grondwaterstanden niet ondiep genoeg worden gesimuleerd. Door luchtinsluitingen kan in de praktijk de berging aanzienlijk lager zijn. De simulaties van de diepere grondwaterstanden worden hierdoor echter niet beïnvloed. Het laag simuleren van de GHG kan ook worden toegeschreven aan schijn-grondwaterspiegels, die niet worden gesimuleerd, maar wel kunnen voorkomen op plaatsen waar zich keileem bevindt. In het Friese deel, dat in de relatief natte jaren '60 is gekarteerd, zijn de GLG en GHG ongeveer 10 cm te ondiep ingeschat.

Tabel 6 Gekarteerde en gesimuleerde GLG en GHG per subgebied. Van de in totaal 669 subgebieden in het model ontbreken er 60 in deze lijst. Dit zijn met name de zeer natte en ontoegankelijke subgebieden in het reservaat, waar niet is gekarteerd.

Tabel 6a Gekarteerde en gesimuleerde GLG per subgebied in cm -mv

Gesimuleerd Gekarteerd	<80	80-120	>120	Totaal
<80	3	44	23	70
80-120	0	52	47	99
>120	6	128	306	440
Totaal	9	224	376	609

Tabel 6b Gekarteerde en gesimuleerde GHG per subgebied in cm -mv

Gesimuleerd Gekarteerd	<40	40-80	>80	Totaal
<40	109	198	146	453
40-80	20	58	55	133
>80	1	3	19	23
Totaal	130	259	220	609

Dit kan ook een deel van de drogere simulatie verklaren. Een belangrijke - waarschijnlijk belangrijkste - oorzaak van de verschillen zal ongetwijfeld liggen in de voortschrijdende verdroging van Nederland.

## 2.4 Simulatie van de huidige situatie

De resultaten van de simulatie van de huidige situatie worden in deze paragraaf gepresenteerd voor wat betreft de grondwatertrappen en de waterbalanstermen. Verdere resultaten komen in hoofdstuk 4 aan de orde. De simulatie van de huidige situatie komt daarin overeen met scenario 0.

### 2.4.1 Meteorologische gegevens

De gekozen de simulatieperiode moet het klimatologisch gemiddelde benaderen en tevens geschikt zijn voor de simulatie van grondwatertrappen. Dat laatste criterium zegt of de dynamiek van het weer in de gekozen reeks niet te zeer afwijkend is. Knotters en Van Walsum (1995) tonen aan dat de periode van 1982 tot 1990 geschikt is om gekarteerde grondwatertrappen te simuleren. Deze periode benadert het klimatologisch gemiddelde heel redelijk, zoals blijkt uit Tabel 7.

Tabel 7 Meteorologische daggemiddelden voor Eelde

Begin	Eind	Neerslag (mm)	Pot. verdamping (mm)		loofbos
			gras	naaldbos	
01/1982	01/1990	2.13	1.40	1.52	1.22
01/1963	01/1993	2.10	1.41	1.57	1.26

De verdampingsgegevens zijn afgeleid uit meteorologische gegevens van het nabij gelegen hoofdstation Eelde, de neerslaggegevens zijn van Veenhuizen, dat centraal in het modelgebied ligt.

## 2.4.2 Waterbalanstermen

Het patroon van kwel en wegzijging zegt veel over het hydrologische systeem. In Fig. 30 en 31 zijn de wegzijging en kwel weergegeven als langjarig gemiddelde 1982-1990 in de zomerperiode (juli-september). Duidelijk is te zien dat het reservaatgebied een wegzijgingsgebied is. Wel komt er door lokale hoogte- en peilverschillen in enkele subgebieden lichte kwel voor. Verdere wegzijgingsgebieden liggen op de relatief hoger gelegen gronden. Door natuurlijke of kunstmatige wateraanvoer kan de wegzijging het neerslagoverschot overtreffen. De echte kwelgebieden concentreren zich rond de beekdalen. Het beekdal van de Boven-Tjonger is een typisch voorbeeld.

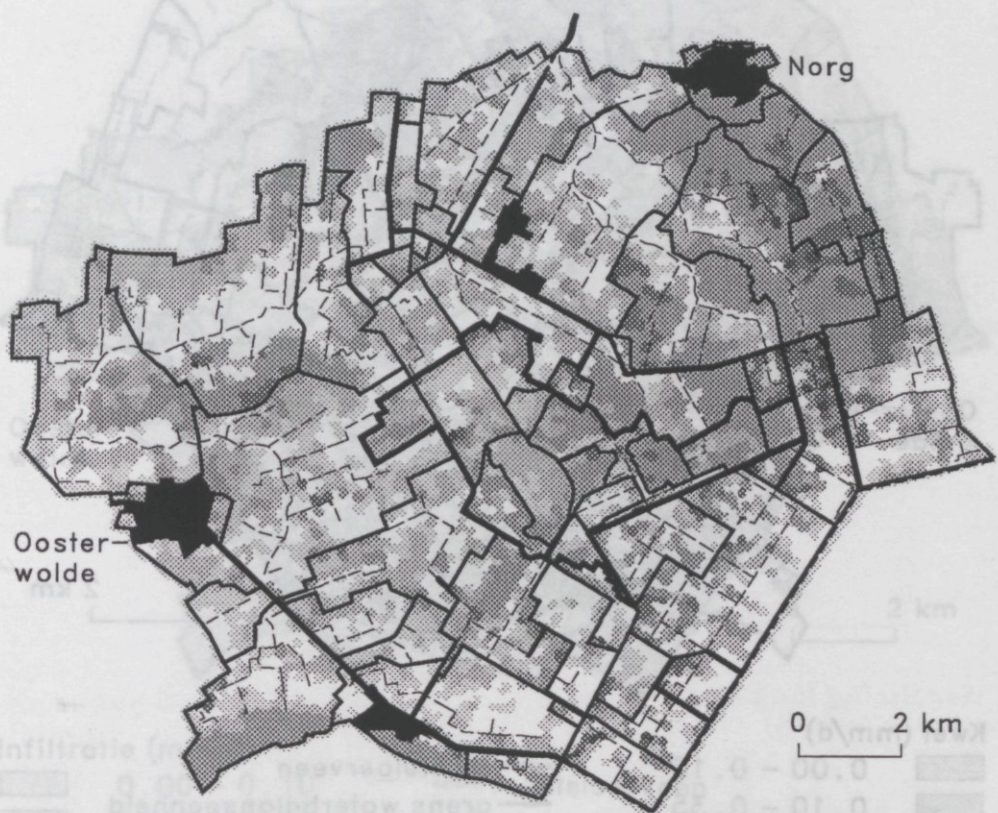
*Tabel 8. De waterbalans van het Fochteloërveen voor de 8 simulatie-jaren van april 1982-maart 1990. De halfjaarlijkse perioden lopen van april-september (zomer) en oktober-maart (winter). De laatste regel geeft de jaarlijkse gemiddelden van de balanstermen.*

Periode	Neerslag (mm)	Verdamping (mm)	Wegzijging (mm)	Afvoer (mm)	Bergingsverandering (mm)
Zomer 1982	324	455	62	9	-201
Winter 1982	462	105	64	68	225
Zomer 1983	439	443	62	136	-201
Winter 1983	452	110	64	99	180
Zomer 1984	348	353	63	18	- 87
Winter 1984	384	99	70	125	90
Zomer 1985	500	396	67	74	- 37
Winter 1985	403	101	71	183	48
Zomer 1986	328	409	64	20	-164
Winter 1986	499	108	67	167	157
Zomer 1987	476	377	67	52	- 19
Winter 1987	581	104	69	331	77
Zomer 1988	458	386	65	59	-52
Winter 1988	401	113	71	202	14
Zomer 1989	359	463	63	37	-204
Winter 1989	395	118	66	65	146
Gemiddeld (jaar)	851	518	132	206	-3







Aan de flanken zijt water in, in het dal kwelt het water op. Daarbij treedt een maximale kwelintensiteit van bijna 10 mm/dag op in enkele gridcellen.

In Fig. 32 is het langjarig gemiddelde van de infiltratieflux weergegeven (periode juli-september) voor de zomerperiode. Infiltratie treedt op als het oppervlaktewaterpeil hoger ligt dan de grondwaterstand ter plaatse. Infiltratie kan een belangrijke rol spelen om watertekorten aan te vullen. Er moet dan wel voldoende aanvoerwater beschikbaar zijn, en over een adequaat aanvoerstelsel. Een dergelijk stelsel is doorgaans in vlakke (polder)gebieden aanwezig. In het studiegebied speelt wateraanvoer een belangrijke rol in het gebied van het voormalige waterschap Smilde. De infiltratie is hier dan ook het grootst. In andere delen van het gebied is infiltratie minder belangrijk.





**Wegzijing (mm/d)**

-  0.00 – 0.10
-  0.10 – 0.35
-  0.35 – 1.00
-  1.00 – 2.50
-  2.50 – 5.99
-  n.v.t





-  Fochteloërveen
-  grens waterbalanseenheid
-  kanaal
-  A-watergang

Fig. 30 Langjarige gemiddelde wegzijing (mm/dag) voor de zomerperiode (juli-september)

De kwel- en wegzijgingsfluxen tussen de diepere pakketten geven een indruk van het hydrologische systeem op regionale schaal. De langjarige gemiddelde waarden zijn afgebeeld in Fig. 33 en 34. De beekdalen zijn ook op groter diepte kwelgebieden. Het Fochteloërveen is een inzigtgebied. De fluxen hangen voor een groot deel af van de aanwezigheid van potklei; op plaatsen waar de potklei vrijwel ontbreekt zijn de fluxen aanzienlijk groter.

De waterbalans van het Fochteloërveen is voor een aantal opeenvolgende halfjaarlijkse perioden weergegeven in Tabel 8. Direct valt op dat de wegzijing nauwelijks fluctueert, namelijk van 62 tot 71 mm per half jaar.

De verdampingsgegevens zijn afgeleid uit meteorologische gegevens van het nabij gelegen hoofdstation Feide, de uitsluitend 215 m boven de zeespiegel, dat centraal in het modelgebied ligt.

### 1.4.2 Waterpeil

Het waterpeil wordt berekend met behulp van het systeem. In de zomerperiode (juli-september) wordt de wegzijging berekend op basis van de waterbalans. De wegzijging wordt berekend op basis van de waterbalans. De wegzijging wordt berekend op basis van de waterbalans.

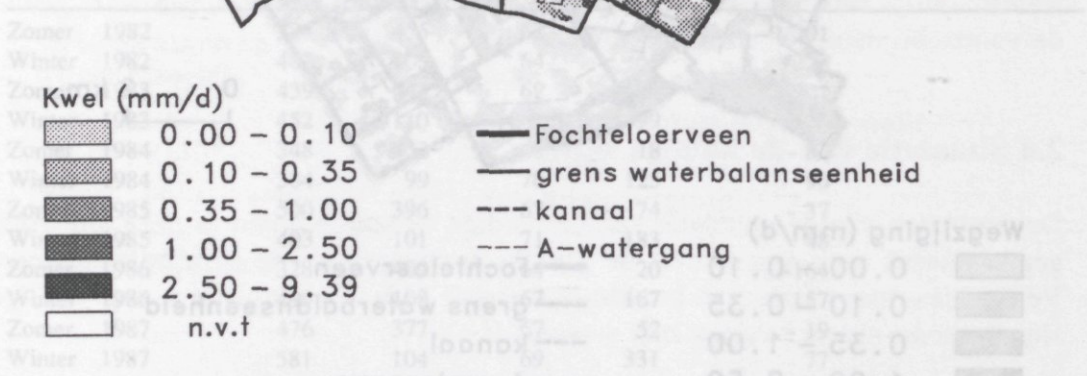


Fig. 31 Langjarig gemiddelde van kwel (mm/dag) voor de zomerperiode (juli-september)

Jaarlijks bedraagt de wegzijging gemiddeld 132 mm, wat overeenkomt met 0,35 mm/d. Dat is substantieel hoger dan de 0,26 mm/d die Ernst (1979) gerapporteerd heeft. Voor dit verschil zijn diverse oorzaken aan te wijzen. Ten eerste is de gebiedsgrens in deze studie ruimer genomen; o.a. het Kleine Veen (appendix aan west zijde) is erbij gekomen, waar een relatief hoge wegzijging wordt berekend. De berekende wegzijging is echter te hoog. Dat komt doordat het maaiveldsniveau in het model in dat deelgebied niet is gecorrigeerd voor recente verveningen, die het maaiveld gemiddeld 1 m omlaag heeft gebracht. Sinds de studie van Ernst zijn er natuurlijk ook diverse vernattingmaatregelen genomen, resulterend in een hoger peil. Dit heeft ook een hogere wegzijging tot gevolg gehad.

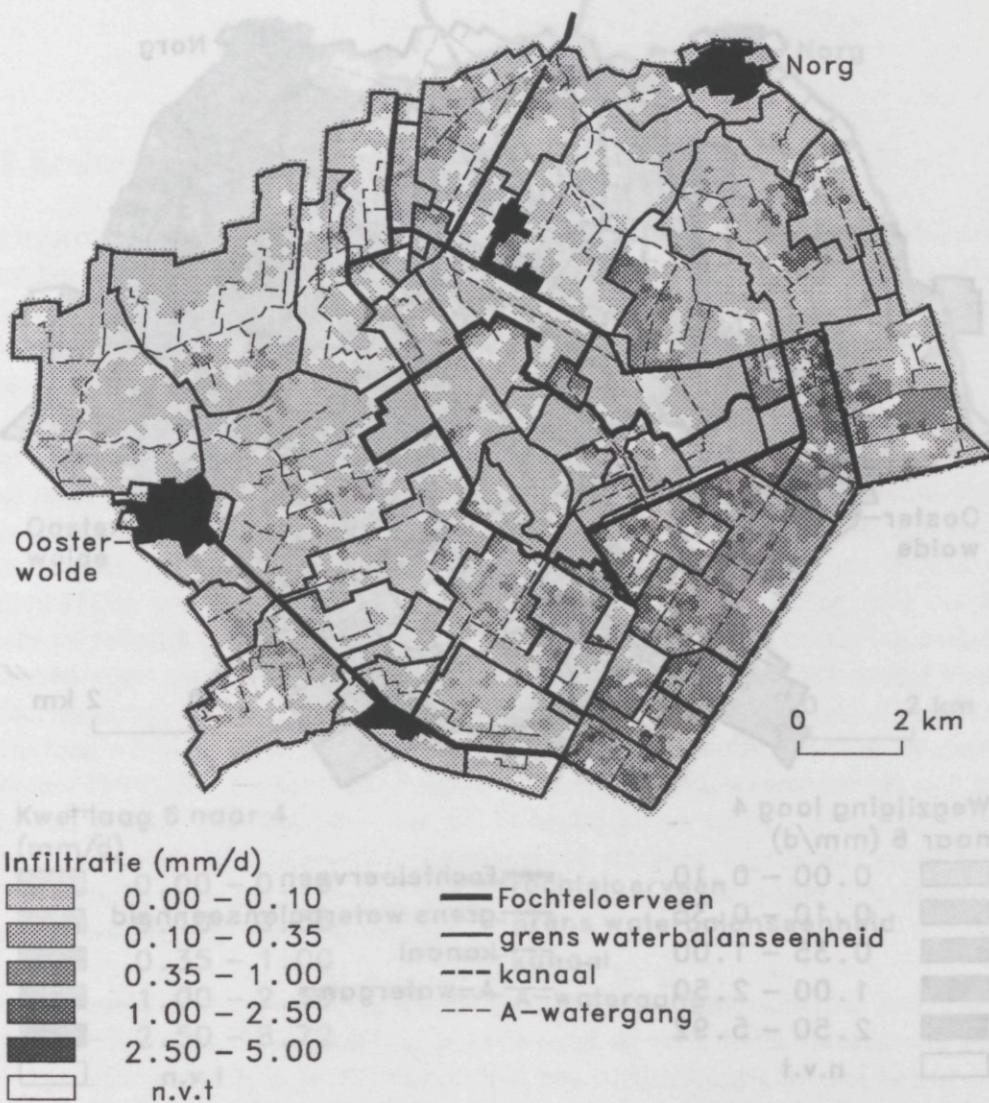
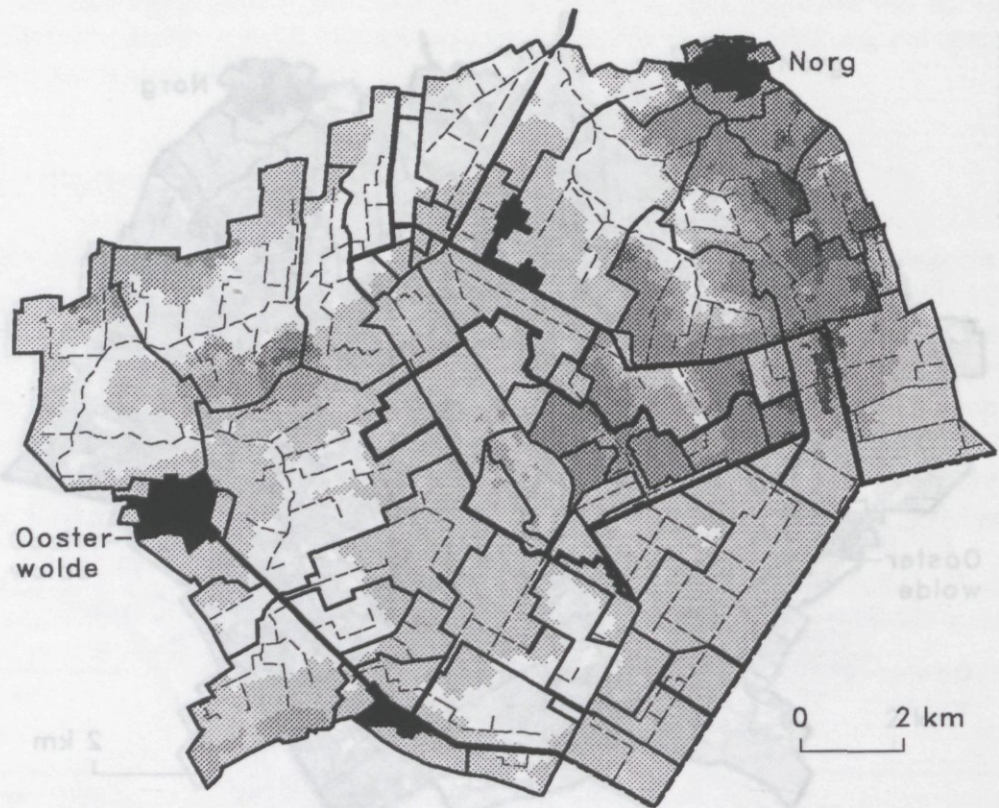








Fig. 32 Langjarig gemiddelde van infiltratie (mm/dag) voor de zomerperiode (juli-september)

Het neerslagtekort in de zomerperiode bedraagt maximaal 131 mm in 1982. In die periode is er nauwelijks afvoer. In de winter van 1987 bereikt het neerslagoverschot de maximale waarde van 477 mm. Er wordt dan 331 mm afgevoerd.

De afvoer is de restpost van de waterbalans. In de simulatieperiode wordt er behalve in de zomer van 1982 altijd water afgevoerd. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het systeem gedurende de wintermaanden steeds weer geheel gevuld raakt. Dit betekent dat het watertekort aan het eind van de zomerperiode niet sterk doorwerkt in het volgende groeiseizoen, althans voor de periode van de simulatie. In meer zuidelijk gelegen hoogveenrestanten (b.v. Groote Peel, zie Van Walsum, 1992) is het gemiddelde neerslagoverschot veel lager (b.v. 100 mm) en de kans op een afvoerloze winter veel groter.



Wegzijing laag 4  
naar 6 (mm/d)

-  0.00 - 0.10
-  0.10 - 0.35
-  0.35 - 1.00
-  1.00 - 2.50
-  2.50 - 5.92
-  n.v.t





-  Fochteloeveen
-  grens waterbalanseenheid
-  kanaal
-  A-watergang

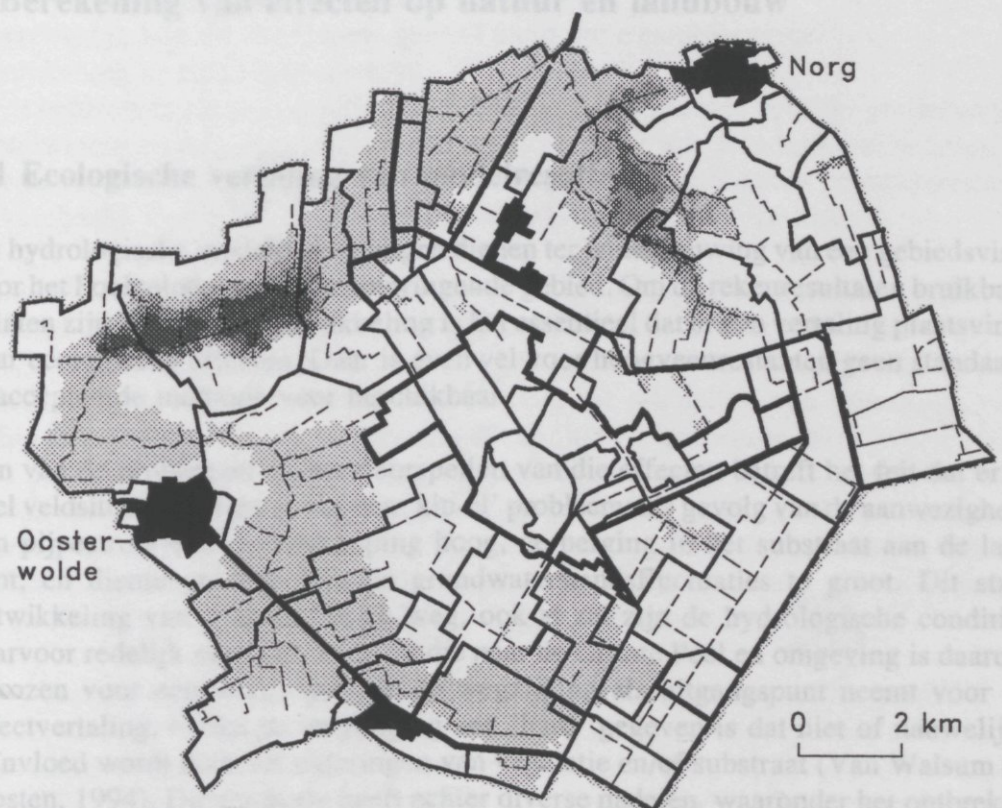
Fig. 33 Langjarig gemiddelde van de wegzijing van het 2<sup>e</sup> naar het 3<sup>e</sup> watervoerende pakket in de zomerperiode

### 3 Berekening van effecten op natuur en landbouw

#### 3.1 Ecologische veranderingen

De hydrologische modelberekening is gericht op de berekening van de kwel van het 3<sup>e</sup> naar het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket in de zomerperiode. De berekening is gebaseerd op de langjarige gemiddelde van de kwel van het 3<sup>e</sup> naar het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket in de zomerperiode.

Een van de belangrijkste oorzaken van de kwel is de aanwezigheid van de hoge grondwaterstanden. Dit staat in verband met de hoge grondwaterstanden die ontstaan zijn door de effectieve afvoer van het water uit de bodem. De afvoer van het water uit de bodem wordt beïnvloed door de aanwezigheid van de hoge grondwaterstanden.



Kwel laag 6 naar 4 (mm/d)

- 0.00 – 0.10
- 0.10 – 0.35
- 0.35 – 1.00
- 1.00 – 2.50
- 2.50 – 8.72
- n.v.t

- Fochteloerveen
- grens waterbalanseenheid
- kanaal
- A-watergang

Fig. 34 Langjarig gemiddelde van de kwel van het 3<sup>e</sup> naar het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket in de zomerperiode

De zone nemen ontwikkelende zones (b.v. *Sphagnum magellanicum*) een aanzienlijk areaal in beslag is het een stuk met goed ontwikkelde slenkvegetaties (*Sphagnum magellanicum* etc.). Deze ontwikkeling is alleen mogelijk op ongestoorte bodems met een hoge waterstand, waarbij de fluctuaties in waterpeil relatief klein (maximaal 10-20 cm) moeten zijn. Het waterpeil moet een hoge waterstand waarbij de sporadisch aanwezige buien (op ca. 15 cm) niet meer dan eenmaal per jaar in minderen, en de waterstand niet meer dan eenmaal per jaar (slenkbodem) daalt. Wanneer de waterstand eenmaal per jaar daalt heeft ontwikkeld (de zogenaamde 'slenkbodem') een waterstand (25-30 cm) toegestaan.

10 SIMULATIE 1992-1990



## 3 Berekening van effecten op natuur en landbouw

### 3.1 Ecologische vertaling van modelresultaten

De hydrologische modelberekeningen dienen ter onderbouwing van een gebiedsvisie voor het Fochteloërveen en het omringende gebied. Om de rekenresultaten bruikbaar te laten zijn bij die visieontwikkeling is het essentieel dat er een vertaling plaatsvindt naar ecologische effecten. Daar is evenwel voor hoogveenrestanten geen standaard geaccepteerde methode voor beschikbaar.

Eén van de problemen bij het voorspellen van die effecten betreft het feit dat er in veel veldsituaties sprake is van een 'kip-ei' probleem: als gevolg van de aanwezigheid van pijpestrootje is de verdamping hoog, de berging in het substraat aan de lage kant, en dientengevolge zijn de grondwaterstandsfluctuaties te groot. Dit staat ontwikkeling van veenmos in de weg, ook al zal zijn de hydrologische condities daarvoor redelijk geschikt. In de studie naar de Groote Peel en omgeving is daarom gekozen voor een werkwijze die de wegzijging als uitgangspunt neemt voor de effectvertaling, omdat de wegzijging een 'hard' gegeven is dat niet of nauwelijks beïnvloed wordt door veranderingen van vegetatie en/of substraat (Van Walsum en Joosten, 1994). Die methode heeft echter diverse nadelen, waaronder het ontbreken van een goede onderbouwing van de kritische grens aan de intensiteit van de wegzijging, voor verschillende klimatologische situaties. Onder andere daarom is in deze studie toch gekozen voor een methode die gebruik maakt van de door het model berekende grondwaterstanden.

Een essentieel element van de gebruikte methode is een onderscheid in zones binnen het Fochteloërveen. Deze indeling is gebaseerd op de actuele situatie wat betreft de vegetatie; daaraan is tevens gekoppeld een doelstelling voor het beleid op de middellange termijn. Uiteindelijk is gekozen voor een indeling in de volgende drie zones (Fig. 35):

- zone 1, bestaande uit gebieden ('kernen') met veenvormende vegetaties. In deze zone nemen ontwikkelende veenmosbulten (*Erico-Sphagnetum magellanicum*) een aanzienlijk areaal in beslag in een fijn mozaïek met goed ontwikkelde slenkvegetaties (*Sphagno-Rhynchosporium albae*). Deze ontwikkeling is alleen mogelijk op ongestoorde bodems met tamelijk voedselarme omstandigheden, waarbij de fluctuaties in waterpeil gedurende de eerste regeneratieperiode minimaal moeten zijn (10-20 cm). Het waterpeil moet een niveau hebben waarbij de sporadisch aanwezige bulten (op ca. 15 cm boven de toekomstige slenkbodem) net niet inunderen, en de waterstand niet of slechts sporadisch onder het maaiveld (slenkbodem) daalt. Wanneer zich na enkele decennia een levende bovenlaag heeft ontwikkeld (de zogenaamde *acrotelm*), zijn mogelijk iets grotere fluctuaties (25-30 cm) toegestaan.

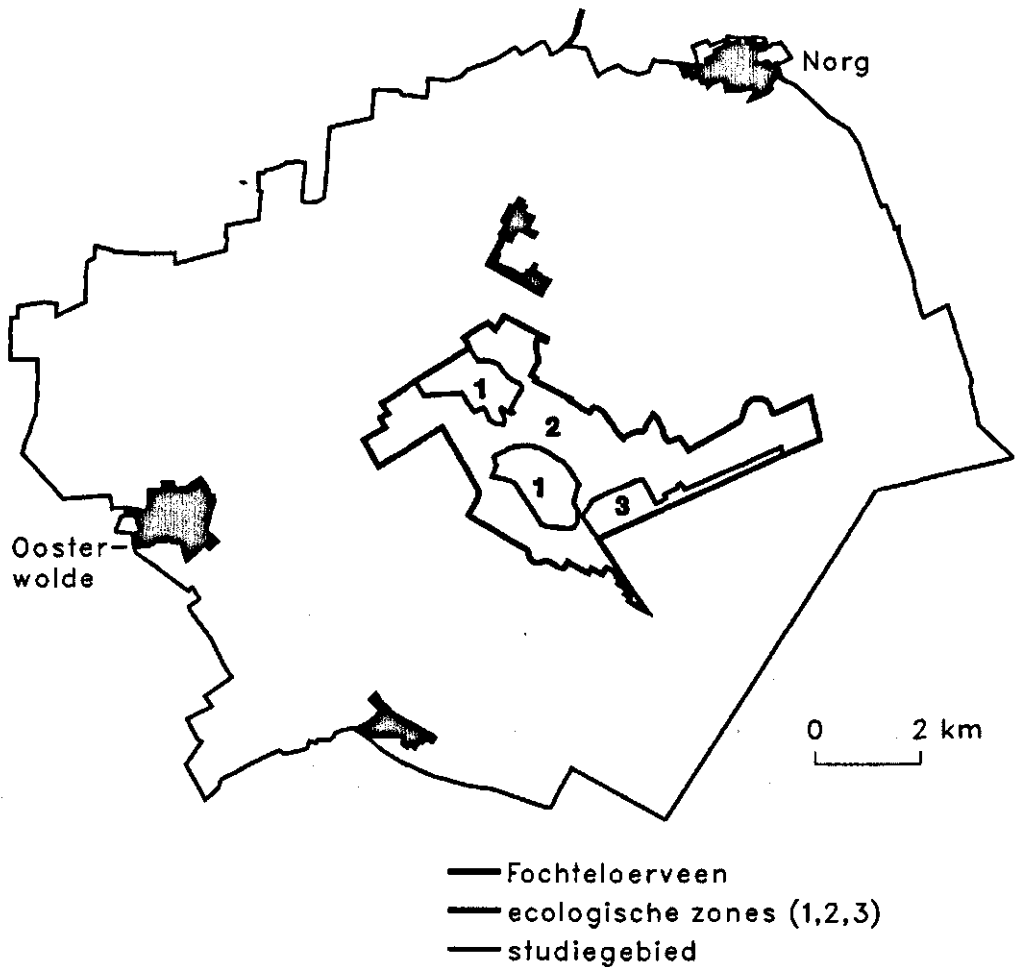


Fig. 35 Indeling in ecologische zones. Zone 1: bestaande 'kernen' met veenvormende vegetaties. Zone 2: gebieden met dominante aanwezigheid van pijpestrootje. Zone 3: gebieden met afgetakeld veen en pijpestrootje

- zone 2, met een dominante aanwezigheid van pijpestrootje. In deze zone wordt verondersteld dat het bergend vermogen van het veensubstraat zo gering is dat allereerst de vorming van een nieuw substraat nodig is alvorens regeneratie van hoogveen kan worden nagestreefd. Het nieuwe substraat zal - na verdrinking van pijpestrootje - door verlanding in open water gevormd moeten worden. Voor de verdrinking van pijpestrootje en het verlandingsproces wordt vooralsnog gestreefd naar een zo lang mogelijke inundatieduur.
- zone 3, met afgetakeld veen en pijpestrootje. In deze zone worden de mogelijkheden voor hoogveenregeneratie zo laag ingeschat dat geen andere maatregelen worden overwogen dan het dempen van sloten ('interne' bufferzone).

Met het oog op de bovenbeschreven zonering en bijbehorende doelstellingen is een



tweeledige effectevaluatie-methode ontwikkeld:

- berekening van de standplaats-geschiktheid voor hoogveengroei;
- berekening van de inundatieduur.

Voor beide methodes wordt gebruik gemaakt van zogenaamde duurlijn-grafieken van grondwaterstanden. Een duurlijn grafiek geeft voor alle honderd percentielen de bijbehorende grondwaterstand. De bij het 1%-percentiel behorende grondwaterstand, bijvoorbeeld, wordt op 1% van de dagen geëvenaard of overschreden.

Voor het karakteriseren van een meerjarige reeks van grondwaterstanden wordt aangesloten bij de werkwijze zoals gevolgd door KIWA in diverse studies (b.v. KIWA, 1992). In die werkwijze wordt voor de reeks grondwaterstanden een 'gemiddelde' duurlijn bepaald. Een dergelijke lijn ontstaat uit middeling van duurlijnen voor individuele jaren. De middeling geschiedt voor het 1%-percentiel, het 2%-percentiel, enz. Een alternatief zou zijn geweest het eerst sorteren van de gehele meerjarige reeks en dan pas afleiden van een duurlijn, wat meer voor de hand ligt. Echter, gezien de (voorlopige) acceptatie van de KIWA methode is daarbij aangesloten. Het wordt dan tevens mogelijk om van de door KIWA geïnventariseerde duurlijnen gebruik te maken bij de ijking van de hier gebezigde ecologische effectvertaling.

In de berekening van de geschiktheid voor hoogveengroei is gebruik gemaakt van een zogenaamde referentieduurlijn. Dat is een duurlijn die wordt geacht de optimale omstandigheden voor hoogveengroei te karakteriseren. Op grond van 'expert judgement' is gekozen voor een duurlijn met een fluctuatie van 20 cm en een 1%-percentiel van 15 cm boven maaiveld. Deze duurlijn is weergegeven in Fig. 36. Hoe meer een gesimuleerde duurlijn van de referentieduurlijn afwijkt, hoe lager de geschiktheid voor hoogveengroei. De manier waarop een duurlijn afwijkt is echter zeer bepalend voor de betekenis van die afwijking. Dus is de manier waarop die afwijking wordt omgezet naar een getalswaarde van groot belang.

Afwijkingen naar boven toe worden niet als beperkend voor hoogveengroei geacht, zolang ze maar beneden het niveau van het 1%-percentiel van de referentieduurlijn blijven. Verder worden afwijkingen naar boven toe, overschrijdingen, als minder beperkend geacht dan onderschrijdingen. Veel belang wordt gehecht aan het staartverloop: het 'wegzakken' van het 100%-percentiel - wat inhoudt dat de totale fluctuatie toeneemt - wordt gezien als sterk beperkend voor hoogveengroei. Verder is het bekend dat veenmos een redelijk groot aanpassingsvermogen heeft en dat er plaatselijk (op korte afstand) grote variaties in omstandigheden voorkomen. Het gaat daarbij om de variatie van maaiveldsligging op het schaalniveau van een gridcel van het model (afstand tot 150 m) maar ook op het zeer kleinschalige niveau van een 'pol': op een afstand van enkele decimeters varieert het maaiveld vaak wel met 30 cm, het zogenaamde microreliëf.

Om deze redenen is er niet een scherpe grens gesteld voor het 'wel' of 'niet' geschikt zijn van de omstandigheden voor hoogveengroei. Verder wordt aan verschuivingen van de gesimuleerde duurlijn (t.o.v. de referentieduurlijn) tot 30 cm een lagere

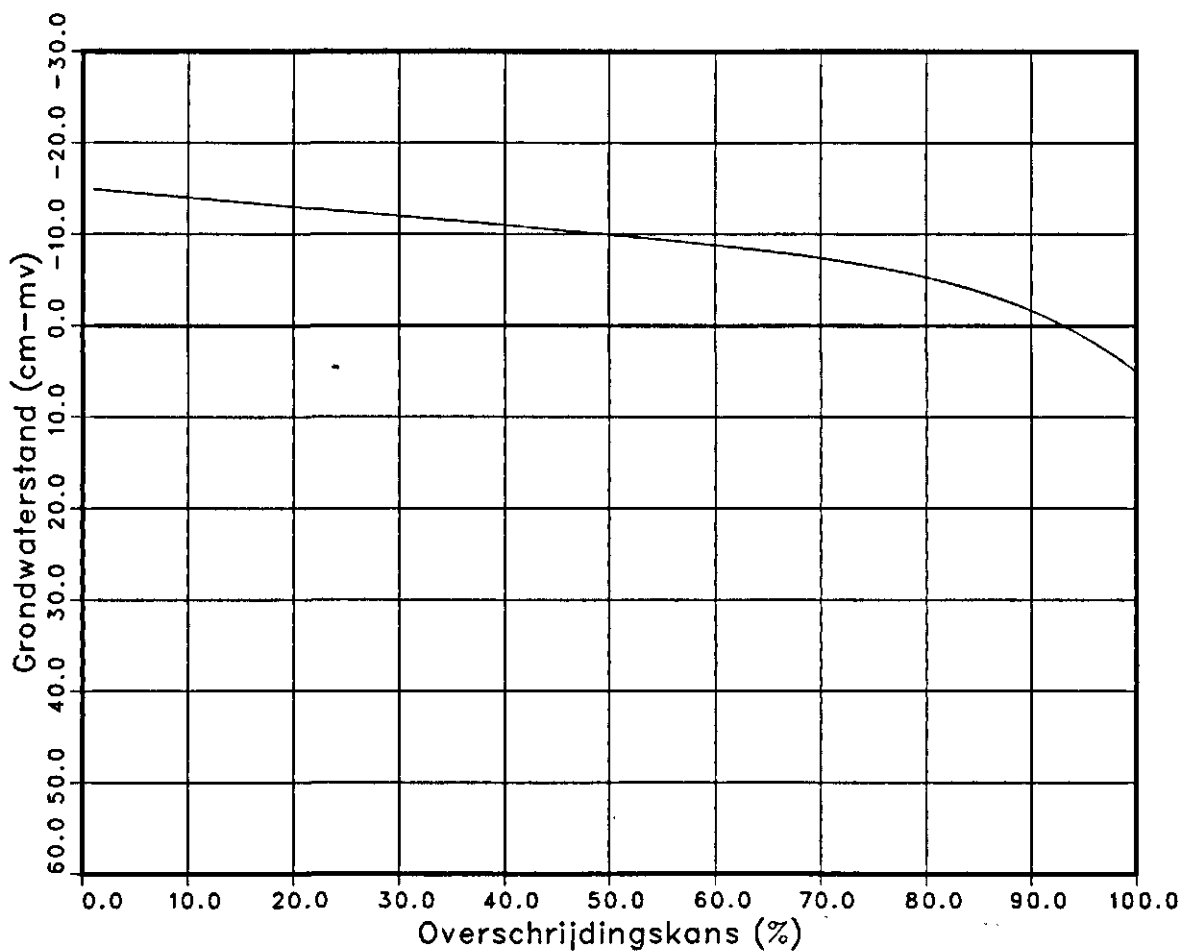


Fig. 36 Referentieduurlijn van methode voor berekening van geschiktheids-score voor hoogveengroei

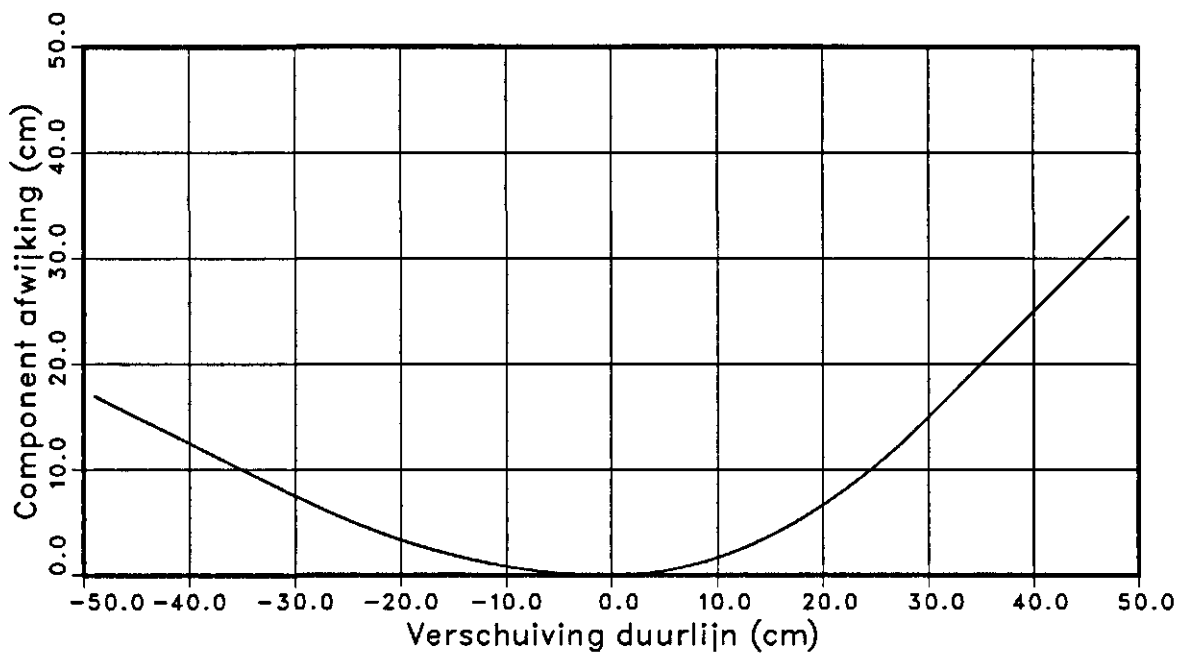


Fig. 37 Vertaalfunctie voor het omzetten van een verschuiving van de gesimuleerde duurlijn (+ betekent dat de gesimuleerde duurlijn lager ligt dan de referentieduurlijn) naar de verschuivingscomponent van de zogenaamde afwijkingsparameter

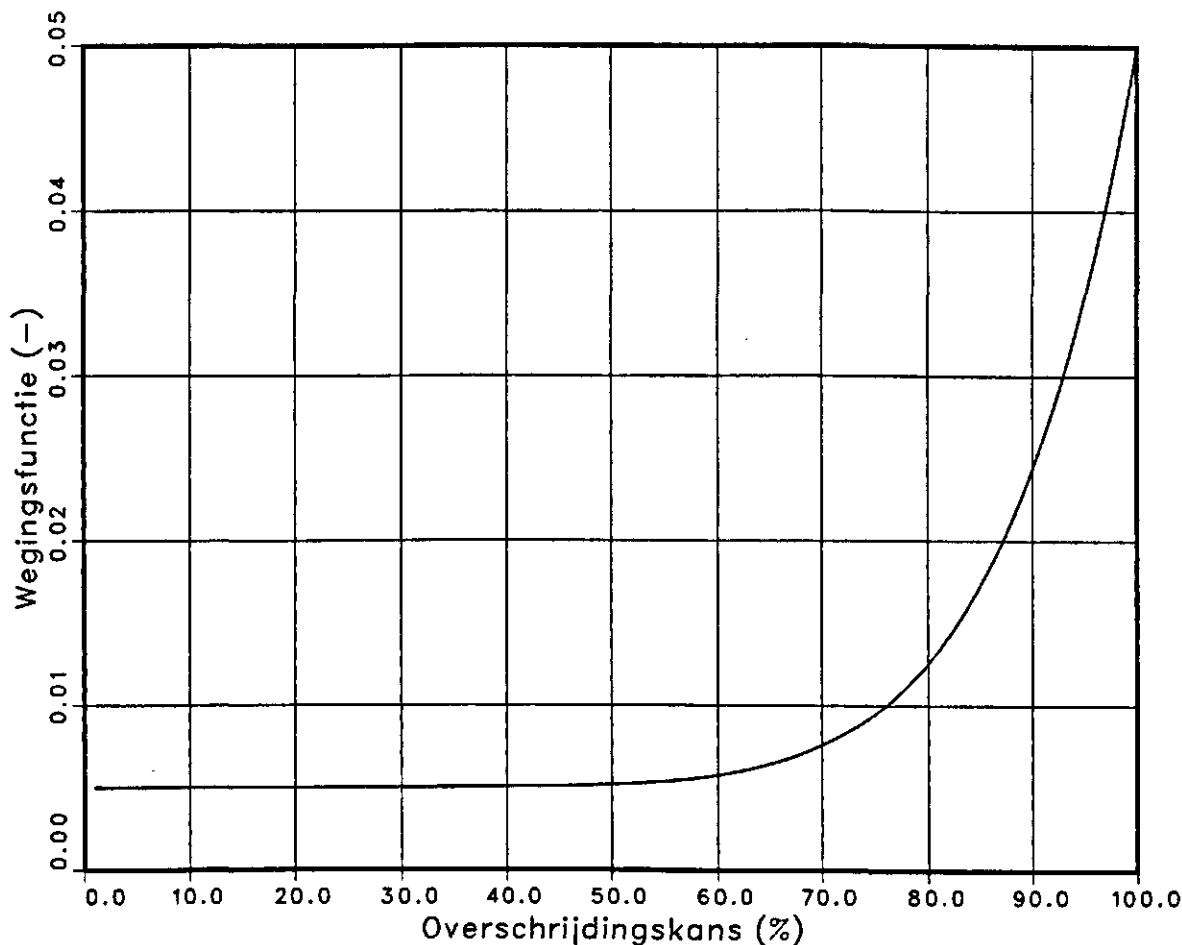


Fig. 38 Wegingsfunctie die gebruikt is voor de berekening van het gewogen gemiddelde van de afwijking t.o.v. de referentieduurlijn; de gewichten voor de 100 percentielen tellen op tot 1.0

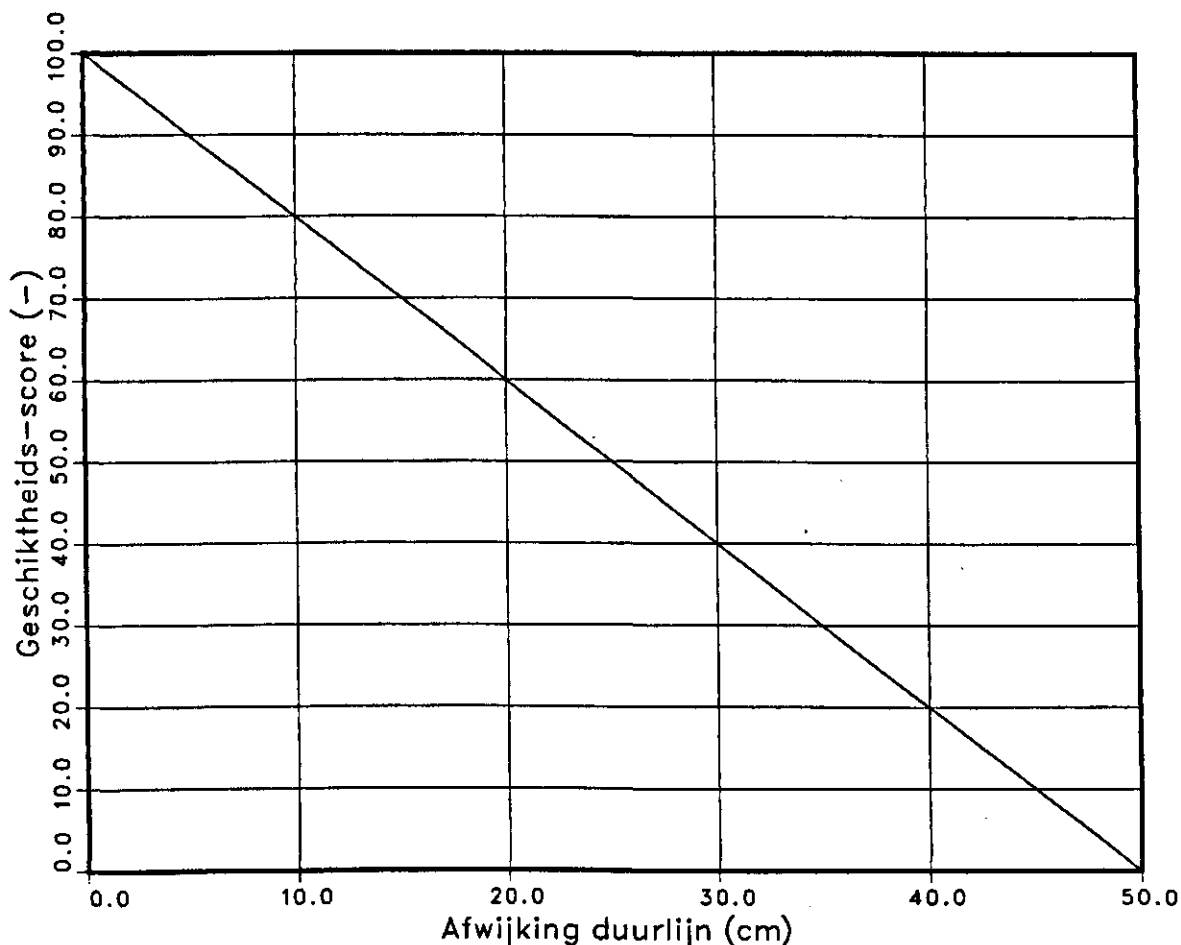
betekenis toegekend dan verschuivingen die daar bovenuit gaan. De verschillende aspecten zijn verwerkt in een rekenmethode die resulteert in één enkele parameter die een maat is voor de afwijking t.o.v. de referentieduurlijn. Door deze reductie tot één 'gemiddelde' afwijking wordt het mogelijk om op een reproduceerbare en begrijpelijke manier de scenarioresultaten te interpreteren.

De methode om de afwijking te bepalen bestaat uit twee stappen, voor resp. de verschuivings- en fluctuatiecomponent:

- de berekende duurlijn wordt naar beneden of naar boven verschoven zodat het 1%-percentiel samenvalt met het 1%-percentiel van de referentieduurlijn (15 cm+mv). Een verschuiving wordt vertaald naar de verschuivingscomponent van de afwijking via een vertaalsleutel die tot 30 cm kwadratisch verloopt en daarboven lineair (Fig. 37). Verschuivingen naar beneden (d.w.z. dat de gesimuleerde duurlijn hoger ligt dan de referentieduurlijn) worden slechts voor de helft meegeteld.
- de zogenaamde fluctuatiecomponent wordt berekend door een gewogen gemiddelde te bepalen van de afwijking van de verschoven gesimuleerde duurlijn ten opzichte van de referentieduurlijn; daarbij wordt een wegingsfunctie gebruikt die relatief meer gewicht geeft aan de 'staart' van de verdeling dan aan het begin. De achtergrond hiervan is dat juist de mate waarin de grondwaterstand 'wegzakt' gedurende de zomer zeer bepalend is voor de geschiktheid voor hoogveengroei. De gebruikte wegingsfunctie is weergegeven in Fig. 38.

Optelling van de twee componenten levert een 'totale' afwijkingsparameter met als eenheid cm. Door deze parameter te berekenen voor enkele standplaatsen die in de literatuur zijn beschreven (KIWA, 1992), is het mogelijk om numerieke waarden te

koppelen aan de mate van geschiktheid van een standplaats voor hoogveengroei. De betreffende duurlijnen en bijbehorende parameterwaarden zijn opgenomen in Aanhangsel 3. Op grond van de berekende afwijkingsparameters, de daarbij horende vegetaties, en op basis van 'expert judgement' is een vertaalfunctie gemaakt naar een geschiktheids-score voor hoogveengroei; die vertaalfunctie is weergegeven in Fig. 39. Verder is er een indeling in vier klassen gemaakt op basis van de geschiktheids-score  $g$ : ongeschikt ( $g = 0$ ), matig geschikt ( $0 < g < 40$ ), tamelijk geschikt ( $40 < g < 70$ ), zeer geschikt ( $70 < g < 100$ ).



### 3.2 Landbouw

De effecten van de hydrologie op de landbouw worden gekwantificeerd door opbrengstdepressie uit te rekenen voor niet optimale hydrologische omstandigheden. Opbrengstdepressie kan ontstaan zowel door te hoge grondwaterstanden 'natschade', par 3.1.1) - als te droge omstandigheden - 'droogschade', par. 3.2.2. Voor de berekening van de percentages opbrengstdepressie wordt gebruik gemaakt van het programma BODEP (Voet, 1995), dat op zijn beurt is gebaseerd op de HELP-tabellen (Landinrichtingsdienst, 1987). De bodemeenheden van de Bodemkaart 1: 50 000 worden in de HELP-procedure vertaald naar zogenaamde HELP-codes. Voor iedere HELP-code zijn tabellen opgesteld voor zowel natschade als droogschade, als functie van de Gemiddeld Hoogste en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (de GHG en GLG). In de toepassing op resultaten van SIMGRO wordt als uitgangssituatie de

gesimuleerde GHG en GLG genomen, en niet de GHG en GLG van de (deels verouderde) grondwatertrappenkaart. De bijbehorende schadebedragen worden in 3.2.3 gegeven voor bouwland en grasland.

### 3.2.1 Natschade

Opbrengstdepressie door wateroverlast wordt veroorzaakt door een complex van factoren, die nauw met elkaar samenhangen. Hier valt te denken aan bijvoorbeeld temperatuureffecten, verslemping en invloed van te laat zaaien en/of te vroeg oogsten. Mede door de interactie tussen de verschillende factoren is het totaal effect van wateroverlast op de opbrengst moeilijk vast te stellen (Landinrichtingsdienst, 1987).

In de HELP-tabellen is per bodemtype en GHG een depressie bepaald, rekening houdend met de bodemkundige en waterhuishoudkundige factoren die van invloed zijn op de mate van wateroverlastdepressie. Het betreft hier alleen een verlies aan netto-productie, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen bouwland en grasland. Eventuele extra kosten in de bedrijfsvoering zijn niet meegenomen (Landinrichtingsdienst, 1987).

### 3.2.2 Droogschade

Opbrengstdepressie door vochttekort is eenvoudiger te berekenen dan opbrengstdepressie door wateroverlast. De HELP-tabel voor vochttekort is dan ook gefundeerd op modelberekeningen, in casu het pseudo-stationaire model LAMOS. Op basis van meteorologische, bodemkundige en hydrologische gegevens kunnen met behulp van het model LAMOS de vochtleverantie door het profiel, het eventueel optredende vochttekort en de veranderingen in de grondwaterstand worden berekend (Landinrichtingsdienst, 1987).

De berekeningen zijn uitgevoerd voor gras, graan, maïs, aardappelen en suikerbieten. De in de tabel vermelde depressiepercentages voor bouwland zijn

gebaseerd op een gewogen gemiddelde voor een bepaald bouwplan. De samenstelling van het bouwplan varieert afhankelijk van het hoofdbodemtype (Landinrichtingsdienst, 1987) en is weergegeven in Tabel 9.

*Tabel 9 Samenstelling bouwplan voor de onderscheiden hoofdbodemtypen. Overgenomen uit Mededeling 176 van de Landinrichtingsdienst (1987).*

Gewas	Bodemtype Veen- en moerige gronden (%)	Klei- gronden (%)	Zand- gronden (%)	Brik- en leemgronden (%)
Graan	25	50	-	50
Maïs	-	-	50	-
Aardappelen	50	25	25	25
Suikerbieten	25	25	25	25

### 3.2.3 Opbrengstbedragen

De opbrengstdepressiepercentages voor gras- en bouwland zoals die worden berekend door BODEP, worden gepresenteerd als schades in gulden per hectare. De landinrichtingsdienst gaat uit van een maximale opbrengst van f 3000,- per hectare per jaar voor grasland en f 4500,- voor bouwland (Geraedts, pers. med.). De schadebedragen zijn derhalve respectievelijk 30 f/ha/%/j en 45 f/ha/%/j. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen verschillende bouwplannen.

## 4 Scenario's

### 4.1 Inleiding

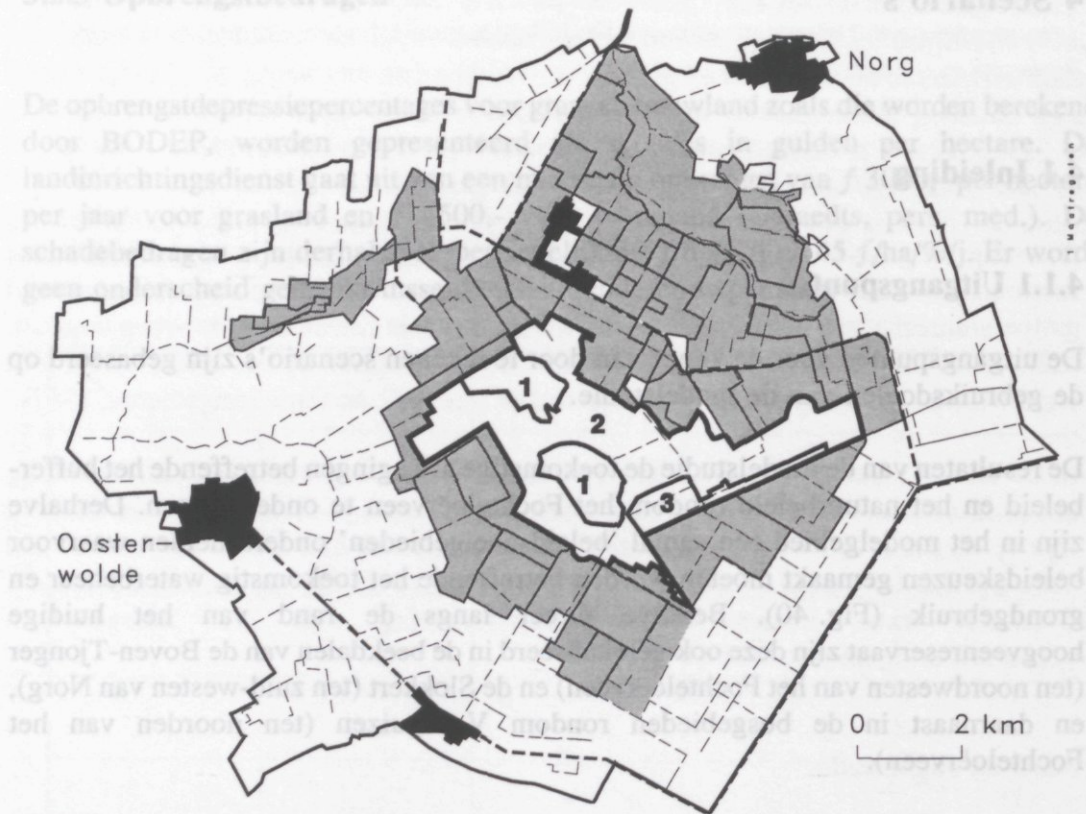
#### 4.1.1 Uitgangspunten

De uitgangspunten voor de keuze van door te rekenen scenario's zijn gebaseerd op de gebruiksdoelen van de modelstudie.

De resultaten van de modelstudie de toekomstige afwegingen betreffende het bufferbeleid en het natuurbeleid rondom het Fochteloërveen te ondersteunen. Derhalve zijn in het modelgebied een aantal 'beleidsdeelgebieden' onderscheiden waarvoor beleidskeuzen gemaakt moeten worden betreffende het toekomstig waterbeheer en grondgebruik (Fig. 40). Behalve direct langs de rand van het huidige hoogveenreservaat zijn deze ook gelokaliseerd in de beekdalen van de Boven-Tjonger (ten noordwesten van het Fochteloërveen) en de Slokkert (ten zuid-westen van Norg), en daarnaast in de bosgebieden rondom Veenhuizen (ten noorden van het Fochteloërveen).

De modelstudie dient inzicht te geven in de effecten van (met name waterhuishoudkundige) inrichtings- en beheersmaatregelen in zowel het huidige hoogveenreservaat als de aangrenzende reservaten en bosgebieden. De begrenzing van de deelgebieden en de keuze van de te simuleren ingrepen is zodanig dat de effecten van een zo ruim mogelijk scala van maatregelen beschouwd kunnen worden.

Een benadering waarbij de effecten van alle mogelijke ingrepen in elk van de afzonderlijke deelgebieden apart naar voren zouden komen werd in deze studie niet haalbaar geacht. Om een dergelijke werkwijze ook zin te laten hebben moet er overigens ook gebruik worden gemaakt van optimaliseringstechnieken voor de keuze van 'efficiënte' scenario's (Van Walsum, 1992). Er is uiteindelijk gekozen voor een zodanige structurering van opeenvolgende scenario's (Fig. 41) dat er optimaal gebruik van de resultaten kan worden gemaakt. Het gaat daarbij om het groeperen van samenhangende maatregelpakketten die aansluiten bij een bepaalde fase in de besluitvorming die in de toekomst (mogelijk) zal plaatsvinden. Er is een 'hoofdlijn' van scenario's, die twee vertakkingen heeft in de vorm van 'nevenlijnen'. In de hoofdlijn is er een opeenstapeling van maatregelen: ieder volgend scenario bevat als het ware reeds de maatregelen van het vorige, plus een aantal nieuwe maatregelen. Nieuwe maatregelen kunnen ook in de plaats komen van oude: als een nieuwe maatregel wordt geïmplementeerd waar een oude in een vorig scenario was aangebracht, dan is de nieuwe maatregel vervangend ten opzichte van de oude.



- beleidsdeelgebied
- Geen verandering
- Fochteloerveen
- ecologische zones
- studiegebied
- beleidsdeelgebied
- - - kanaal
- - - A-watergang

Fig. 40 Beleidsdeelgebieden voor het specificeren van maatregelen in scenario's

In de nevenlijnen worden aspecten onderzocht die wel aansluiten bij het desbetreffende scenario van de hoofdlijn, maar waarvan het niet wenselijk wordt geacht de betreffende maatregel(en) in de rest van de scenario's op te nemen.



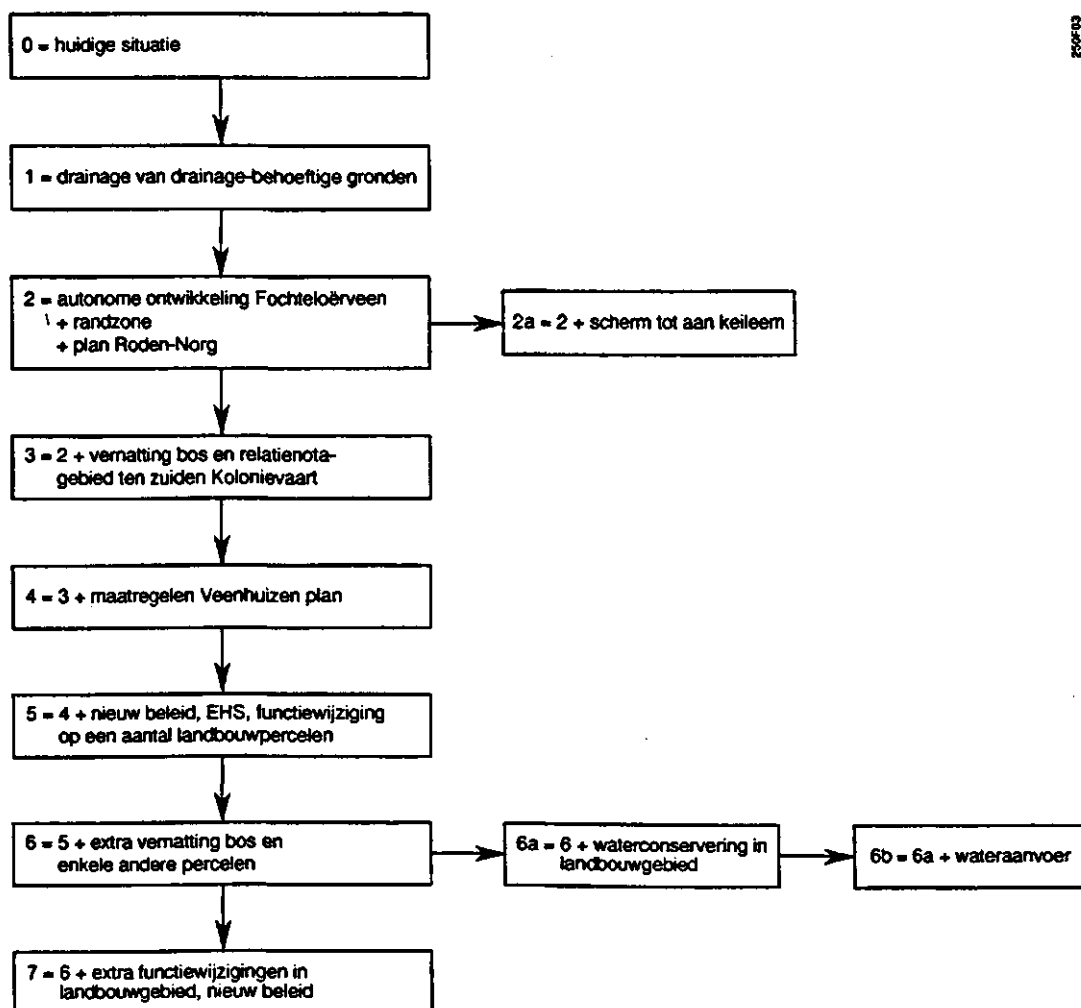


Fig. 41 Schema van scenario's

#### 4.1.2 Maatregelen

De scenario's zijn opgebouwd uit een aantal maatregelen, die per beleidsdeelgebied worden gespecificeerd. Het kan gaan om de volgende typen maatregelen:

- buisdrainage van drainagebehoefige gronden;
- waterconservering met peilbeheer (landbouwgebied);
- waterconservering plus aanvoer (landbouwgebied);
- vernatting bosgebieden door verondieping van sloten en opzetten peil in de afvoeleidingen;
- vernatting landbouwgebieden door demping van sloten en opzetten peil in afvoeleidingen;
- extreme vernatting door middel van damaanleg (dit betreft ook maatregelen in het Fochteloërveen zelf).

In het navolgende zal eerst achtereenvolgens op de maatregelen worden ingegaan. Pas in tweede instantie zal expliciet worden aangegeven hoe deze maatregelen in de aparte scenario's zijn opgenomen. Per scenario zal verder worden beschreven wat de veranderingen zijn ten opzichte van de voorgaande situatie (in de opeenvolging van scenario's - zie Fig. 41), geïllustreerd met behulp van thematische kaarten.

#### **4.1.2.1 Buisdrainage van drainagebehoeftegronden**

Aangenomen is dat landbouwgronden met grondwatertrap II, III, III\*, V, V\* drainagebehoeftegronden zijn. De grondwatertrapgegevens voor deze selectie zijn ontleend aan de Bodemkaart 1:50 000. Buisdrainage is in het model geïmplementeerd op een diepte van 120 cm, of juist boven de keileem (maar minimaal op 80 cm), en een drainageweerstand van 70 d.

#### **4.1.2.2 Waterconservering met peilbeheer**

Bij het simuleren van waterconservering met peilbeheer is aangesloten bij de methode die ook bij land- en herinrichtingsprojecten wordt gevolgd. Aangenomen wordt tevens dat in gebieden waar men streeft naar optimale waterconservering alle akkerbouw in weide wordt omgezet. Bij inrichting en beheer van de waterlopen gaat het om zowel het winter- als zomerhalfjaar. In het winterhalfjaar worden de stuwen gestreken tot een klepstand tot 100 cm-mv en blijven daar staan. Leidingen en stuwen zijn dusdanig gedimensioneerd dat er bij halve maatgevende afvoer een opstuwning is met 15 cm, tot 85 cm-mv dus. In het zomerhalfjaar wordt gewerkt met een streefpeil dat 20 cm hoger is dan het niveau bij halve maatgevende afvoer; het zomerstreefpeil is dus gesteld op 65 cm-mv.

Bij de implementatie van deze peilen in het model wordt gewerkt met de zgn. 'maaivelds-optie', die inhoudt dat in situaties met afvoer wordt aangenomen dat het peil het maaiveld volgt (zie 2.2.4.2). In situaties met infiltratie wordt het peil gekoppeld aan een gridcel waar een grotere waterloop doorheen loopt, omdat waterconservering daadwerkelijk in de grotere waterlopen wordt geëffectueerd.

De genoemde peilen worden overigens niet genomen ten opzichte van het gemiddelde maaiveld, want dat zou leiden tot wateroverlast in de relatief laag gelegen delen van een afwateringseenheid. In plaats van het gemiddelde maaiveld is het zogenaamde 10%-punt van de maaiveldsverdeling genomen - het maaiveldsniveau dat slechts op 10% van het areaal wordt onderschreden. Op deze manier wordt in redelijke mate rekening gehouden met de lager gelegen delen. Aangezien het peilbeheer geschiedt op het niveau van een afwateringseenheid, is per afwateringseenheid het gemiddelde verschil tussen het gemiddeld maaiveld en het 10%-punt bepaald, als een middeling over de gridcellen binnen de afwateringseenheid. Dit gemiddelde verschil tussen de genoemde niveaus wordt van winter- en zomer-peilen afgetrokken (waardoor de peilen dieper komen te liggen). De methode om het 10%-punt te nemen in plaats van het

laagste punt is een variant op de methode die in gebruik is bij de Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden van het Ministerie van LNV (Geraedts, pers. med.). Een overzicht van de verschillen tussen gemiddeld maaiveld en het 10%-punt van de maaiveldsverdeling is weergegeven in Fig. 42.

De rechtvaardiging voor de gebezigde rekenwijze stoelt onder meer op het gegeven dat de oppervlakte van een gridcel ongeveer overeenkomt met de oppervlakte van een perceel (1-2 ha). Op die schaal wordt in de praktijk meestal rekening gehouden met hogere en lagere delen van het maaiveld.

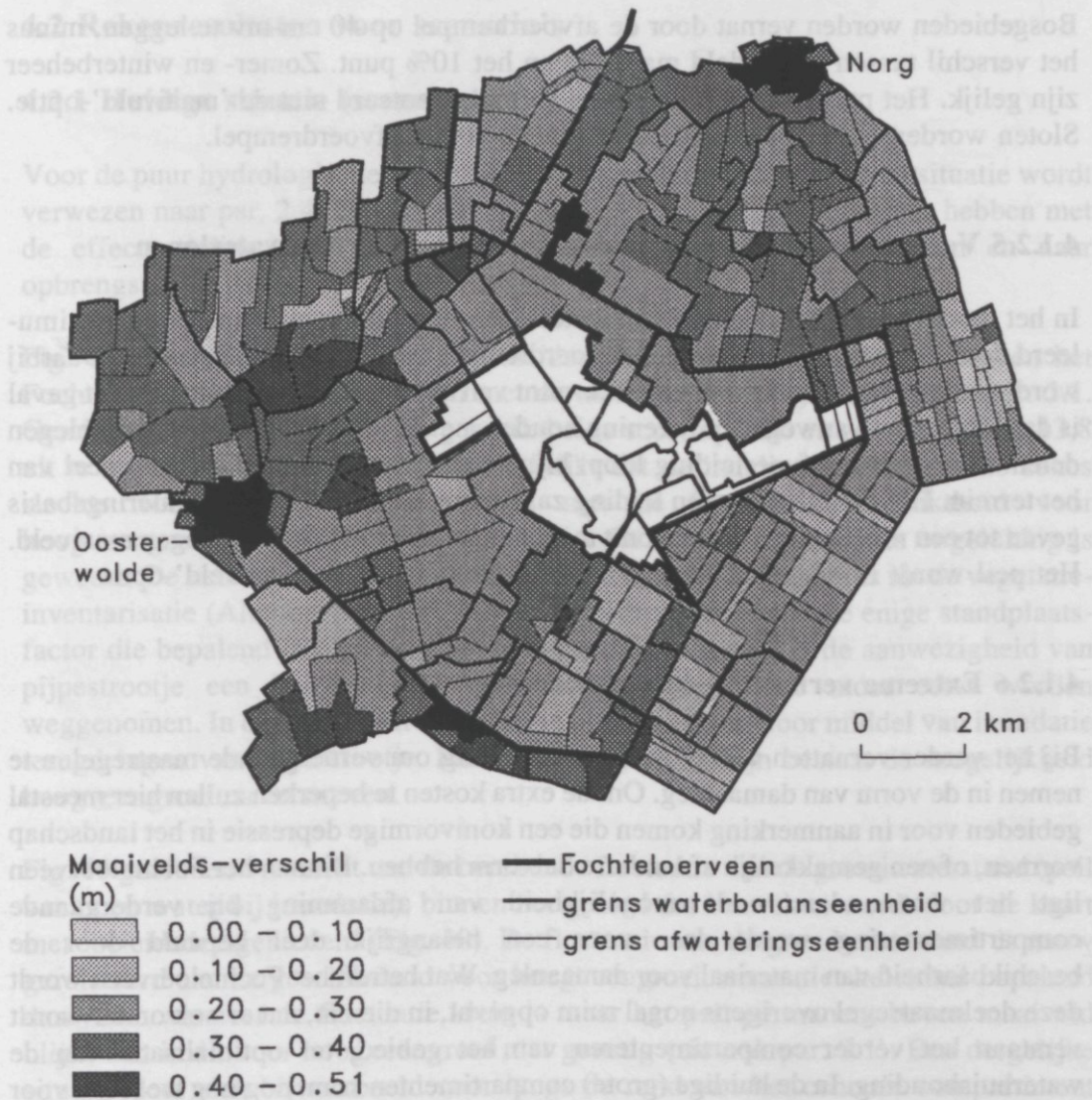


Fig. 42 Verschil tussen gemiddeld maaiveld en 10%-punt van de maaiveldsverdeling (lage gedeelte), berekend op perceelschaal en vervolgens gemiddeld per afwateringseenheid

#### **4.1.2.3 Waterconservering met peilbeheer en wateraanvoer**

Behalve van 'natuurlijke' aanvoer kan in deze maatregel ook worden gewerkt met extra wateraanvoer. In deze studie is gekozen voor een aanpak waarbij wordt gewerkt met ongelimiteerde aanvoer. Naderhand wordt geanalyseerd in hoeverre het water echt voorhanden is.

#### **4.1.2.4 Vernatting bosgebieden door verondieping van waterlopen**

Bosgebieden worden vernat door de afvoerdrempel op 40 cm-mv te leggen, minus het verschil tussen gemiddeld maaiveld en het 10% punt. Zomer- en winterbeheer zijn gelijk. Het peil wordt in het model geïmplementeerd met de 'maaiveld'-optie. Sloten worden gedempt tot hetzelfde niveau als de afvoerdrempel.

#### **4.1.2.5 Vernatting landbouwgebieden door demping van waterlopen**

In het model wordt het dempen van waterlopen (en blokkeren van drains) gesimuleerd door de ontwateringsbasis en afvoerdrempel te verhogen tot 0 cm-mv. Daarbij wordt wederom uitgegaan van het 10%-punt van de maaiveldsverdeling. In dit geval is dat echter niet vanwege het rekening houden met de natschade op de lager gelegen delen. Een sloot of afvoerleiding loopt bijna altijd door een lager gelegen deel van het terrein. Het dempen van een leiding zal een verhoging van de ontwateringsbasis geven tot een niveau dat overeenkomt met het niveau van het lager gelegen maaiveld. Het peil wordt in het model dus geïmplementeerd met de 'maaiveld'-optie.

#### **4.1.2.6 Extreme vernatting door damaanleg**

Bij het verder vernatten van gronden is het nodig om verdergaande maatregelen te nemen in de vorm van damaanleg. Om de extra kosten te beperken zullen hier meestal gebieden voor in aanmerking komen die een komvormige depressie in het landschap vormen, of een gemakkelijk afdambare dalvorm hebben. Binnen het Fochteloërveen ligt het wat anders - de mogelijkheid van afdamming bij verdergaande compartimentering wordt daar voor een belangrijk deel bepaald door de beschikbaarheid van materiaal voor damaanleg. Wat betreft het Fochteloërveen wordt deze deelmaatregel overigens nogal ruim opgevat, in die zin, dat er ook onder wordt verstaan het verder compartimenteren van het gebied, ter optimalisatie van de waterhuishouding. In de huidige (grote) compartimenten komt nog wel eens voor (b.v. langs de noordrand van het centrale compartiment) dat het oppervlaktewater ongewenst diep is (b.v. 1 m). Verdere compartimentering zal in dergelijke gevallen leiden tot plaatselijke verlaging van het peil.

Bij het implementeren van extreme vernatting in het model wordt gewerkt met de 'NAP'-optie, omdat bij extreme vernatting uitgebreide plasvorming zal optreden die niet meer het (geïnundeerde) maaiveld volgt zoals in minder extreme varianten. Voor het peil bij extreme vernatting wordt in de formulering met twee varianten gewerkt:

- een standaardvariant;
- een 'divers'-variant, waarbij het peil wordt afgestemd op de specifieke terrein-omstandigheden

In de standaardvariant wordt gewerkt met een niveau van 50 cm boven het gemiddelde maaiveld van de laagste gridcel in een afwateringseenheid. Tevens worden alle sloten gedempt door de ontwateringsbasis te verhogen tot 0 cm-mv (minus verschil tussen het gemiddelde maaiveld en het 10%-punt van de maaiveldsverdeling).

## 4.2 Rekenresultaten voor scenario's

### 4.2.1 Huidige situatie (scenario 0)

Voor de puur hydrologische aspecten van de simulatie van de huidige situatie wordt verwezen naar par. 2.4. Hier wordt ingegaan op aspecten die te maken hebben met de effectvertaling naar ecologische potenties in het Fochteloërveen en naar opbrengsten in het landbouwgebied.

Fig. 43 is een kaart met de geschiktheids-scores voor hoogveengroei binnen het Fochteloërveen, die berekend zijn met de methode die uiteen is gezet in par. 3.1. Gemiddeld blijkt voor zone 1 de geschiktheids-score op 45,0 en voor zone 2 op 13,8 uit te komen. Uit het ruimtelijk beeld blijkt dat de indeling in ecologische zones slechts voor een deel overeenkomt met de heersende geschiktheid voor hoogveengroei. Hieruit blijkt overigens niet dat de keuze van zones ongelukkig is geweest. De keuze van de zones is namelijk gebaseerd op gegevens uit de vegetatie-inventarisatie (Altenburg e.a., 1993), en de hydrologie is niet de enige standplaats-factor die bepalend is voor de huidige vegetatie. In zone 2 is de aanwezigheid van pijpestrootje een belemmering voor hoogveengroei; die moet eerst worden weggenomen. In deze zone zal de strategie bestaan uit het door middel van inundatie terugdringen van pijpestrootje. Pas op de langere termijn bestaat de mogelijkheid hoogveengroei na te streven.

Fig. 44 geeft een overzicht van de berekende fluctuatie van de grondwaterstand (peil van open water bij inundatie), binnen het gebied dat bestreken wordt door de kaart met 'beleidsdeelgebieden' (Fig. 40). De fluctuatie van de grondwaterstand is nauw gerelateerd aan de geschiktheid voor hoogveengroei, maar niet helemaal bepalend daarvoor: wanneer de fluctuatie klein is maar het peil permanent boven maaiveld blijft, dan is dit voor hoogveengroei niet gunstig (zie ook par. 3.1). Een dergelijke situatie doet zich bijvoorbeeld voor langs de rand van het centrale compartiment (tegenover streepjeslijn, net binnen gebied met zone 1 in het centrale deel), waar het water tot 1 m diep tegen de dijk aan staat (zie ook overzicht van GHG en GLG in par. 2.4.).

Een ander voorbeeld van het niet noodzakelijkerwijs overeenkomen van een geringe fluctuatie met een hoge geschiktheid doet zich voor in zone 3. Het betreft hier de zogenaamde aardappelvloeivelden, die ongeschikt zijn uit het oogpunt van waterkwaliteit. (In Fig. 43 zijn daarom deze velden niet ingekleurd.)

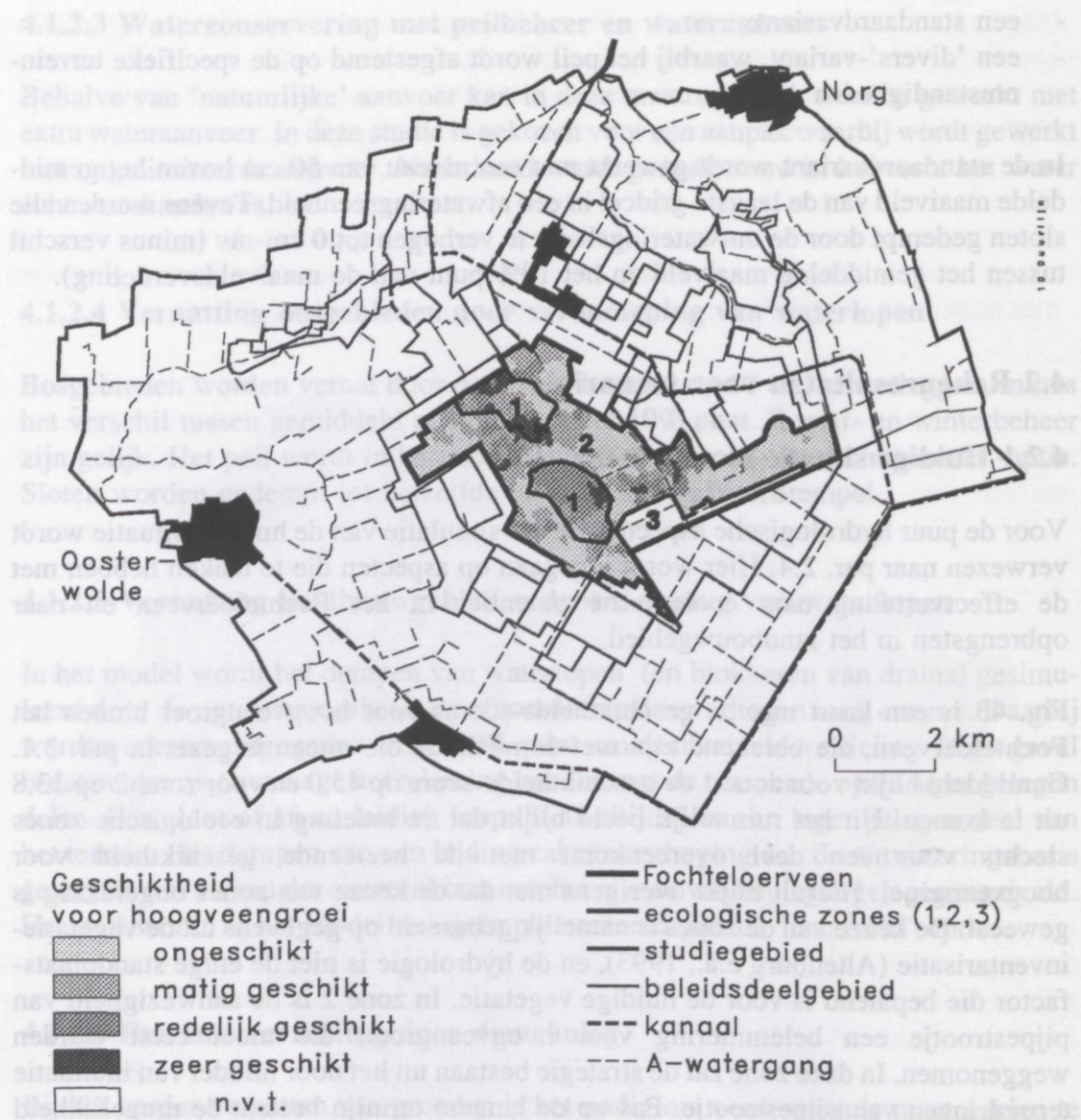


Fig. 43 Geschiktheids-score voor hoogveengroei, berekend voor de huidige situatie. De geschiktheids-score is een nominale schaal tussen 0 en 100

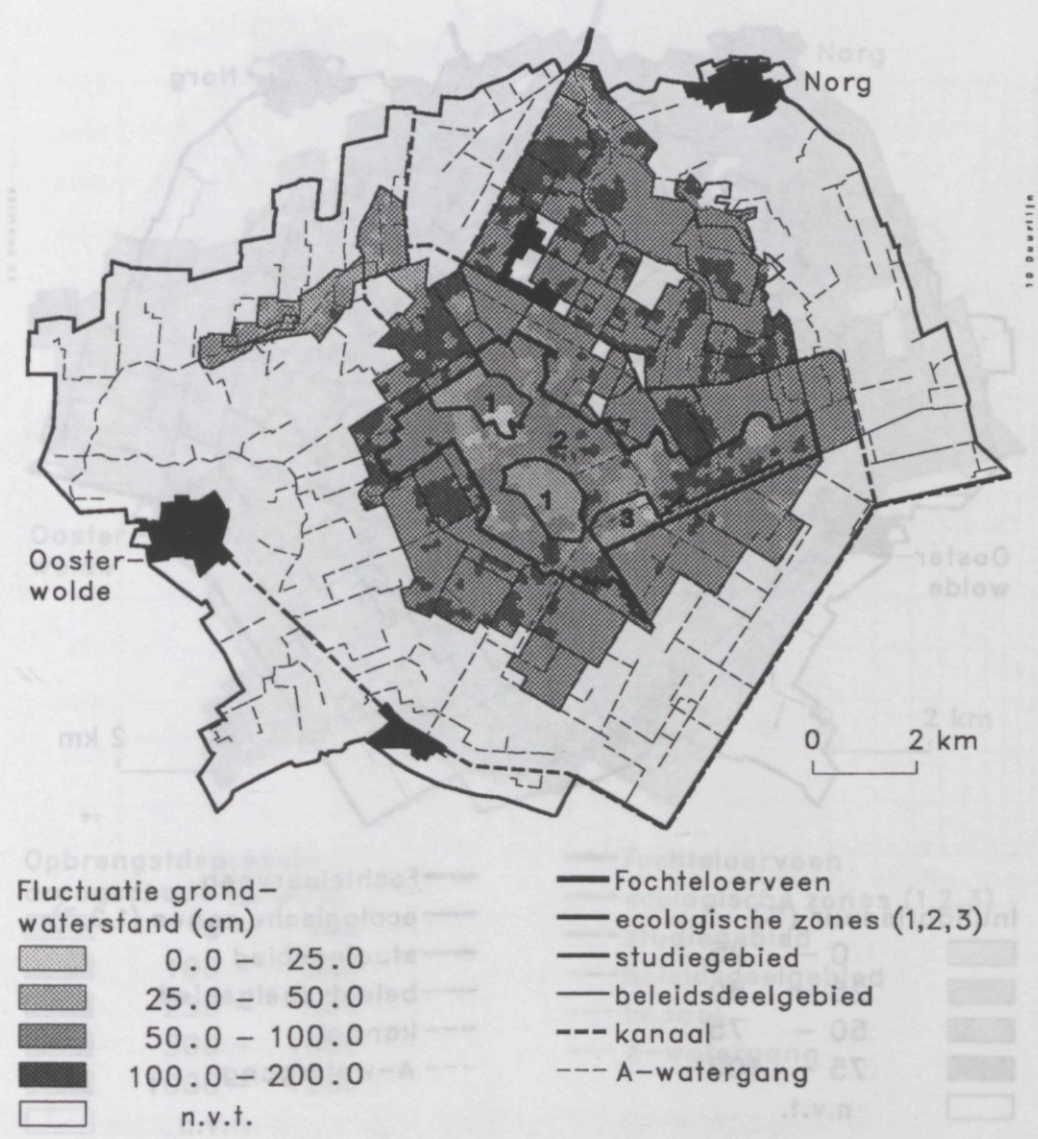


Fig. 44 Berekende fluctuatie van de grondwaterstand in de huidige situatie, binnen het gebied dat bestreken wordt door de 'beleids-deelgebieden' (Fig. 40). De fluctuatie is berekend als het verschil tussen het 100% en 1% punt van de gemiddelde duurlijn

Fig. 45 geeft een overzicht van de gesimuleerde inundatieduur. Gebieden met een hoog inundatie-percentages vallen voor een belangrijk deel samen met een hoge geschiktheids-score voor hoogveengroei, maar ook hier is er geen sprake van een eenduidig verband. Het ontbreken van een direct verband kan komen door de negatieve invloed van te hoge waterstanden of door tegelijkertijd optredende grote fluctuaties. Dat laatste kan in principe ook een gevolg zijn van de hoge wegzijging naar de ondergrond, die het fluctuatie-beperkende effect van de berging op het maaiveld (gepaard gaande met inundatie) teniet kan doen.

In Fig. 46 is een overzicht gegeven van de met het model berekende droogschade van de landbouw, die berekend is met de methode uit par. 3.2. Fig. 47 geeft een overzicht van de berekende natschade. Zowel bij de droogschade als natschade kan het om aanzienlijke bedragen gaan. Voor het gebied als geheel bedraagt de natschade

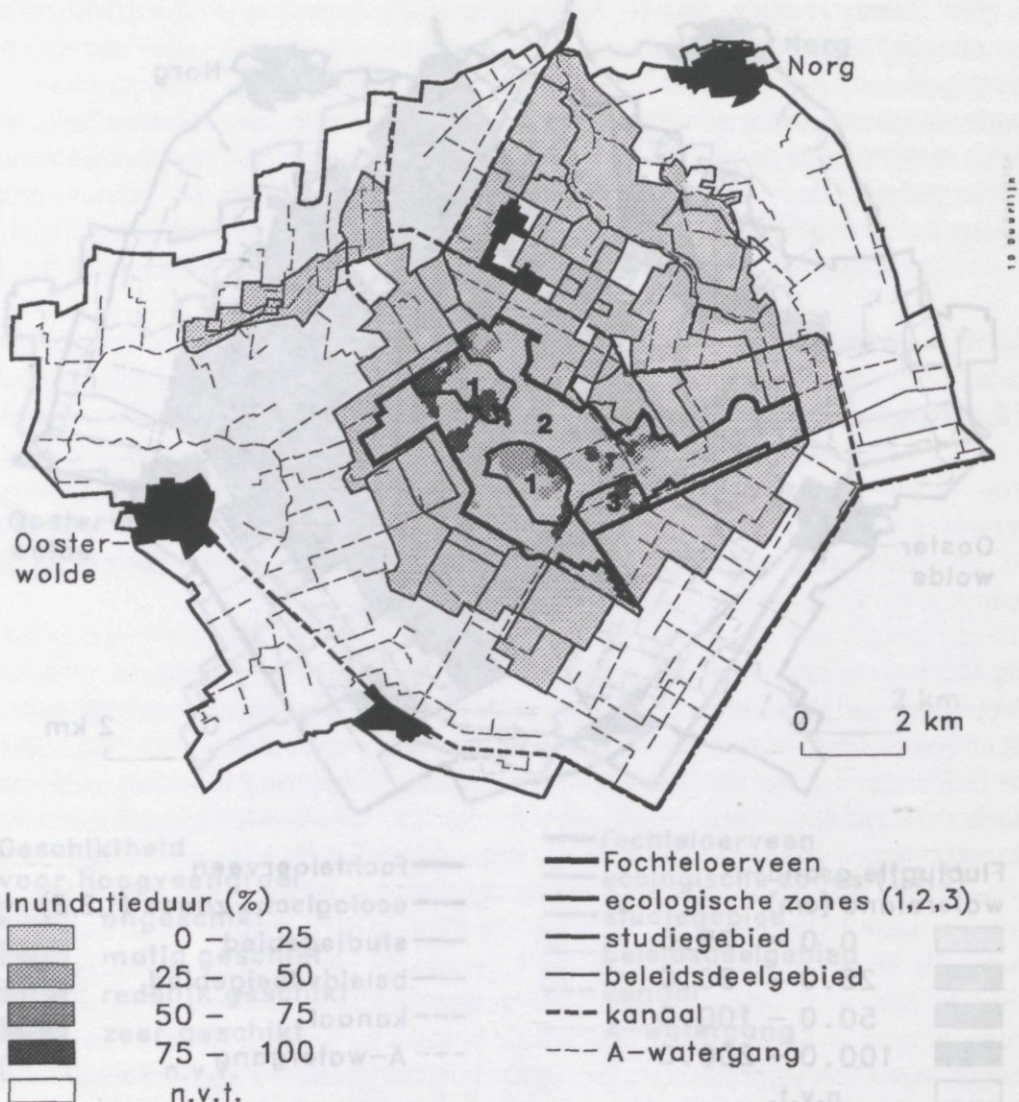
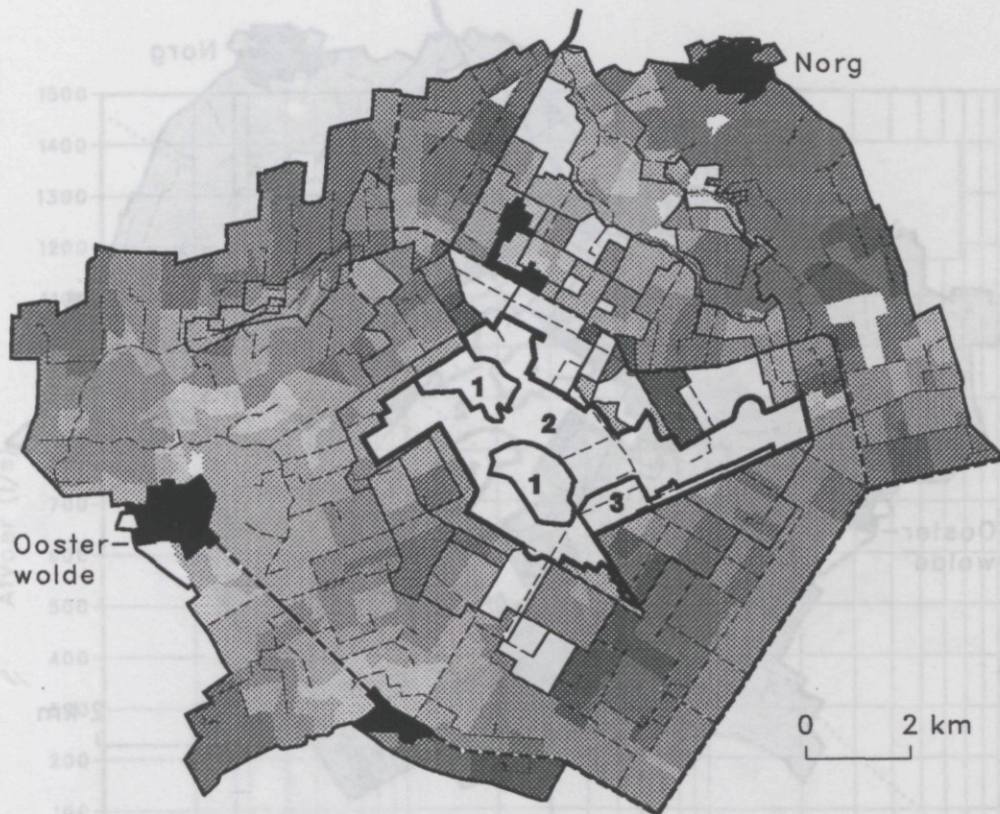


Fig. 45 Berekende inundatieduur in de huidige situatie, voor het gebied dat bestreken wordt door de 'beleidsdeelgebieden' (Fig. 40).

gemiddeld f 176,- per ha landbouwgrond en de droogschade f 428,- per ha; beide bedragen hebben betrekking op 12 360 ha landbouwgrond. De totale natschade bedraagt derhalve f 2 176 000,- en de totale droogschade f 5 286 000,-.

In Fig. 46 is een overzicht gegeven van de met het model berekende droogschade van de landbouw, die berekend is met de methode uit par. 3.2. Fig. 47 geeft een overzicht van de berekende natschade. Zowel bij de droogschade als natschade kan het om aanzienlijke bedragen gaan. Voor het gebied als geheel bedraagt de natschade





Opbrengstdepressie droogshade (gld/ha)	
[lightest shading]	0 - 100
[light shading]	100 - 250
[medium shading]	250 - 500
[dark shading]	500 - 1000
[darkest shading]	1000 - 1500
[white box]	n.v.t.

- Fochteloërveen
- ecologische zones (1,2,3)
- studiegebied
- beleidsdeelgebied
- - - kanaal
- - - A-watergang

Fig. 46 Droogshade in de huidige situatie, berekend via de procedure die beschreven is in par. 3.2. De witte vlekken betreffen gebieden met 100% bos en natuurgebieden

De figuren met droog- en natschade vertonen over het algemeen een complementair patroon - waar de droogshade laag is, is meestal de natschade hoog. Hieruit blijkt dat een helemaal 'optimaal' waterbeheer een nauwelijks haalbare kaart is in dit gebied. Dat komt door de ruime verbreiding van venige gronden, die bodemfysisch niet optimaal zijn. Daardoor is het vrijwel onmogelijk om tegelijkertijd als het ware de kool en de geit te sparen. Het is niet toevallig dat het gebied ca. 1,5 km ten noorden van Oosterwolde - waar zowel droog- als natschade minimaal zijn - een zandgrond is (Hn23).

Een interessant kenmerk van de hydrologie van het Fochteloërveen is de frequentieverdeling van afvoeren. Deze frequentieverdeling speelt o.a. een belangrijke rol bij discussies over wateroverlast als gevolg van interne vernatting. Uit Fig. 48 blijkt dat voor de huidige situatie het model een maatgevende afvoer berekent van 1285 l/s, wat overeenkomt met 0,68 l/s/ha. Voor de maatgevende afvoer is genomen

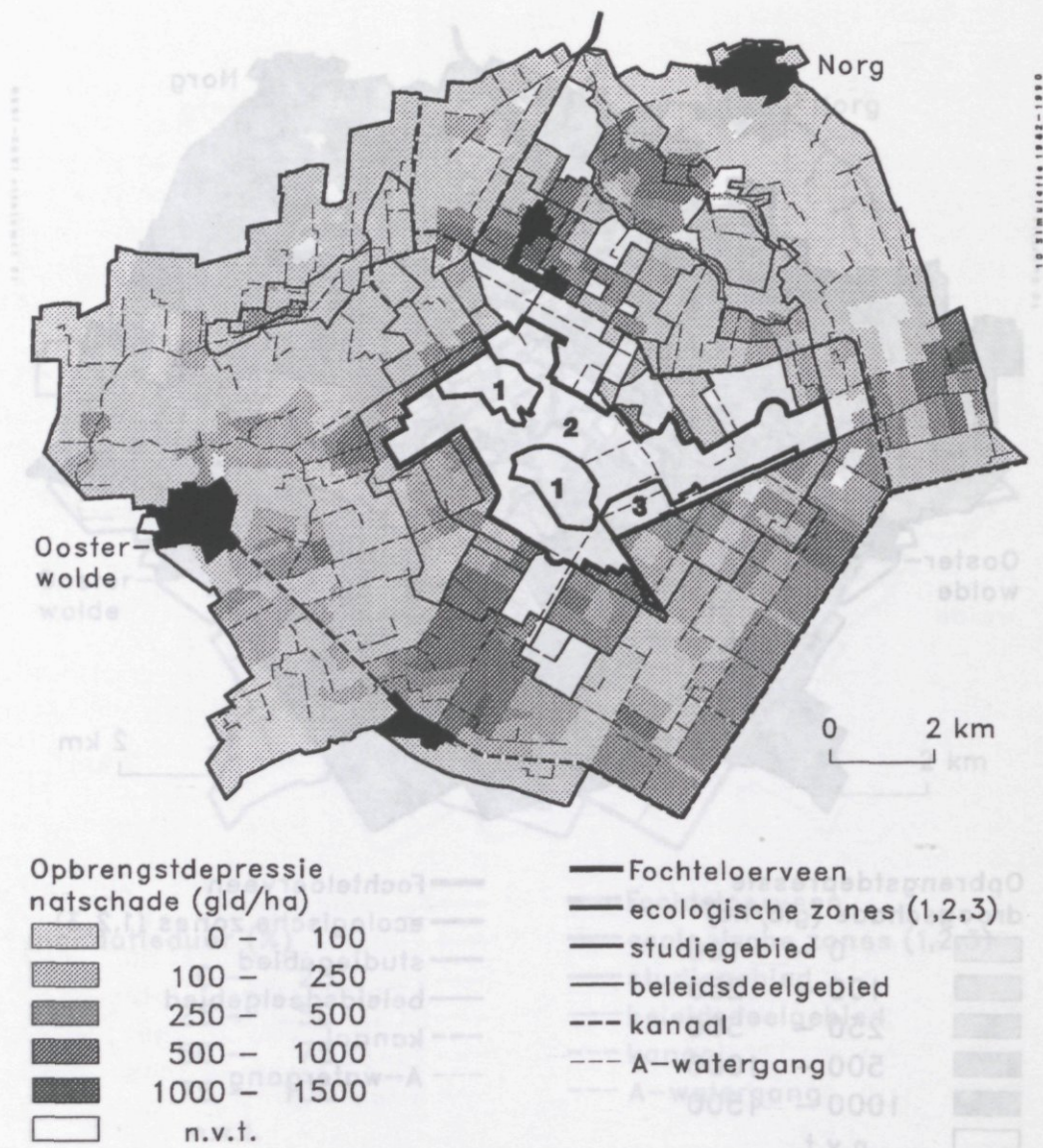


Fig. 47 Natschade in de huidige situatie, berekend via de procedure die beschreven is in par. 3.2. De witte vlekken betreffen gebieden met 100% bos- en natuurgebieden

de afvoer die gemiddeld gedurende één volle dag per jaar wordt overschreden; in de duurlijn-grafiek komt dit overeen met een overschrijdingskans van  $100\% / 365 = 0,27\%$ .

Een interessant kenmerk van de hydrologie van het Fochteloeveen is de frequentieverdeling van afvoer. Deze frequentieverdeling geeft o.a. een belangrijke rol bij discussie over wateroverlast als gevolg van intense vochtigheid. Uit Fig. 48 blijkt dat voor de huidige situatie het model een massaverlies afvoer berekent van 1285 l/a, wat overeenkomt met 0,68 l/ha. Voor de massaverlies afvoer is genomen

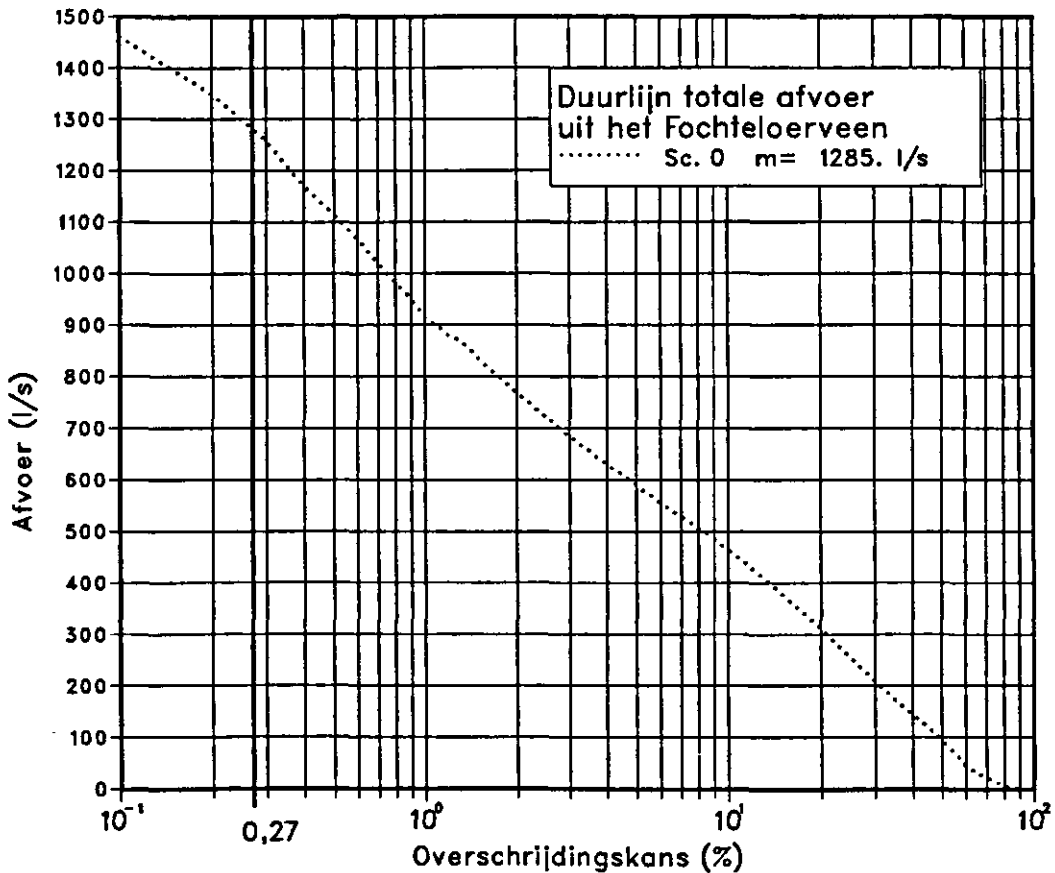
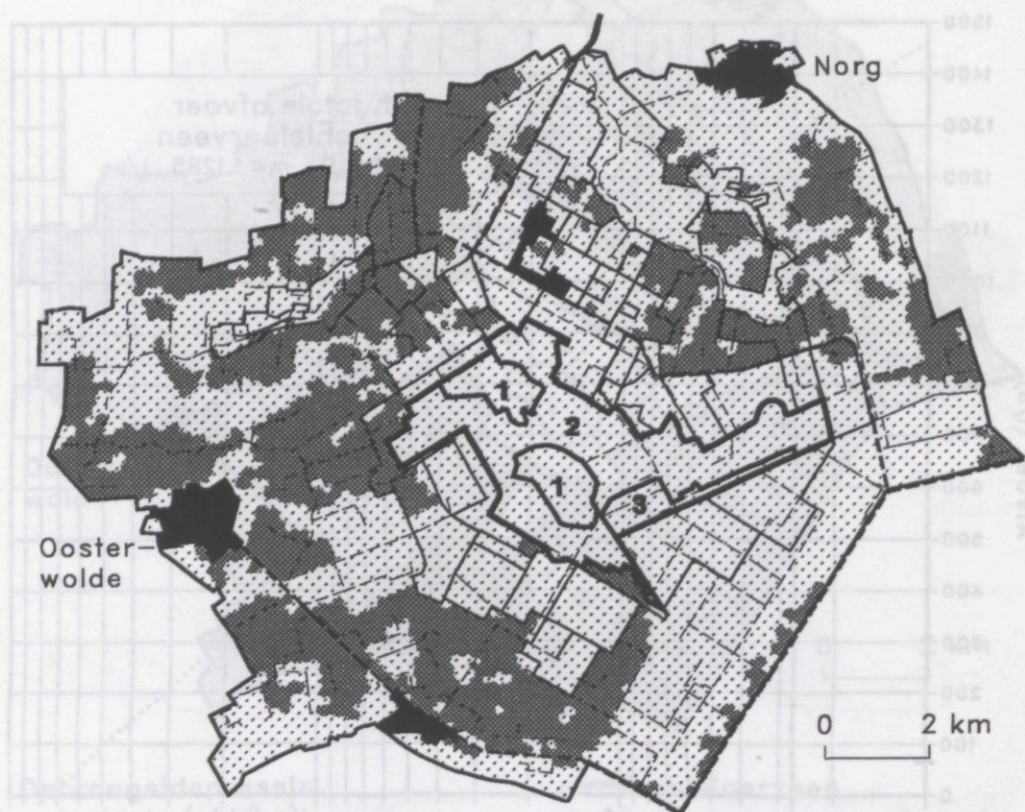


Fig. 48 Duurlijn van de totale afvoer uit het Fochteloërveen, in de huidige situatie

#### 4.2.2 Drainage van drainage-behoefte gronden (scenario 1)

In dit scenario wordt aangenomen dat alle drainage-behoefte gronden (zie par. 4.1.2) worden gedraineerd, aan zowel de Drentse als Friese kant van het studiegebied. De daarbij horende uitbreiding van buisdrainage is weergegeven in Fig. 49. Fig. 50 geeft een overzicht van de als gevolg van drainage-aanleg veroorzaakte dalingen van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand, de GHG, en in Fig. 51 van de veroorzaakte dalingen van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand, de GLG. In Fig. 52 is als voorbeeld gegeven het effect van drainage-aanleg in een bepaalde gridcel op de duurlijn van grondwaterstanden. Opvallend is dat op sommige plaatsen er juist een stijging optreedt (zie de gebieden met negatieve daling in Fig. 50, b.v. langs de rand van het studiegebied 5 kilometer ten zuiden van Norg). Dat een stijging kan optreden is een gevolg van het feit dat de aanleg van buisdrainage niet alleen de drainage-weerstand vermindert, maar ook de infiltratie vergemakkelijkt. In situaties waar veel water voorhanden is (als gevolg van doorstroming van gebiedseigen water, of door aanvoer van buiten) kan het aanleggen van drainage leiden tot extra infiltratie, en dientengevolge tot stijging van de GHG en GLG.



- |                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| <b>Buisdrainage</b> | — Fochteloeerveen           |
| ▨ ongewijzigd       | — ecologische zones (1,2,3) |
| ■ uitbreiding       | — studiegebied              |
|                     | — beleidsdeelgebied         |
|                     | --- kanaal                  |
|                     | --- A-watergang             |

Fig. 49 Uitbreiding van buisdrainage in scenario 1

Vergelijking van het beeld van daling van de GHG en van de GLG leert dat de laatste minder sterk wordt beïnvloed dan de eerste. Dat betekent onder meer dat de fluctuatie van grondwaterstanden als gevolg van drainage-aanleg afneemt, althans op plekken waar drainage-aanleg een direct effect heeft op de GHG en GLG (zie Fig. 50). In gebieden waar de maatregel niet direct aangrijpt maar die wèl worden beïnvloed als gevolg van wisselwerkingen via de ondergrond (diepere lagen), neemt de fluctuatie meestal juist toe. Voorbeelden daarvan zijn zowel in Fochteloeerveen (zuidwest hoek) als in de Tempelstukken (beekdal van de Slokkert ten zuidwesten van Norg) te vinden. Dit 'omgekeerde' effect komt doordat in die gebieden de hoogste grondwaterstanden 'aan het oppervlaktewater hangen', d.w.z. bepaald worden door de aanwezigheid van ontwateringsmiddelen. De laagste grondwaterstanden zijn daarentegen minder gestabiliseerd, door het minder sterk aanwezig zijn van dat soort

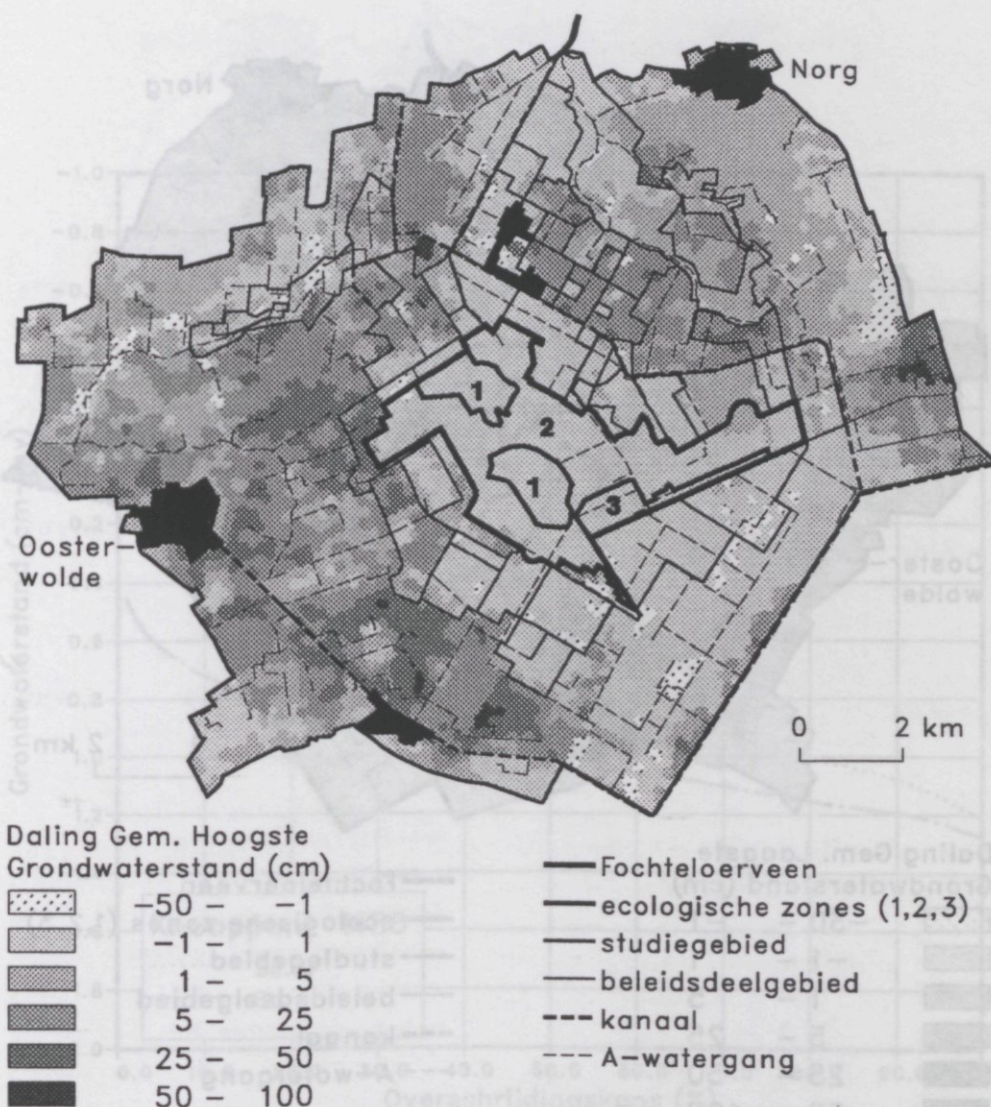


Fig. 50 Daling van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) als gevolg van drainage-aanleg in scenario 1

tegenkoppelingen. Op de laagste standen (in aangrenzende percelen) zal buisdrainage dus vaak meer invloed hebben dan op de hoogste (ook de naijling van het systeem zal hierbij een rol spelen).

Als gevolg van drainage-aanleg blijkt de gemiddelde geschiktheids-score in zone 1 niet af te nemen, (blijft 45,0) en van 13,8 naar 13,7 voor zone 2. De gemiddelde inundatieduur van zone 2 blijft vrijwel gelijk op 9,1% (0,1% verschil), oftewel 33,2 dagen per jaar.

De totale jaarlijkse natschade neemt af met f 706 000,- van f 2 176 000,- naar f 1 470 000,- per jaar, terwijl de droogschade toeneemt met f 583 000,- van f 5 286 000,- naar f 5 869 000,- per jaar; beide bedragen hebben betrekking op 12 360 ha. Netto is de afname van de schade slechts f 123 000,- per jaar. Voor het

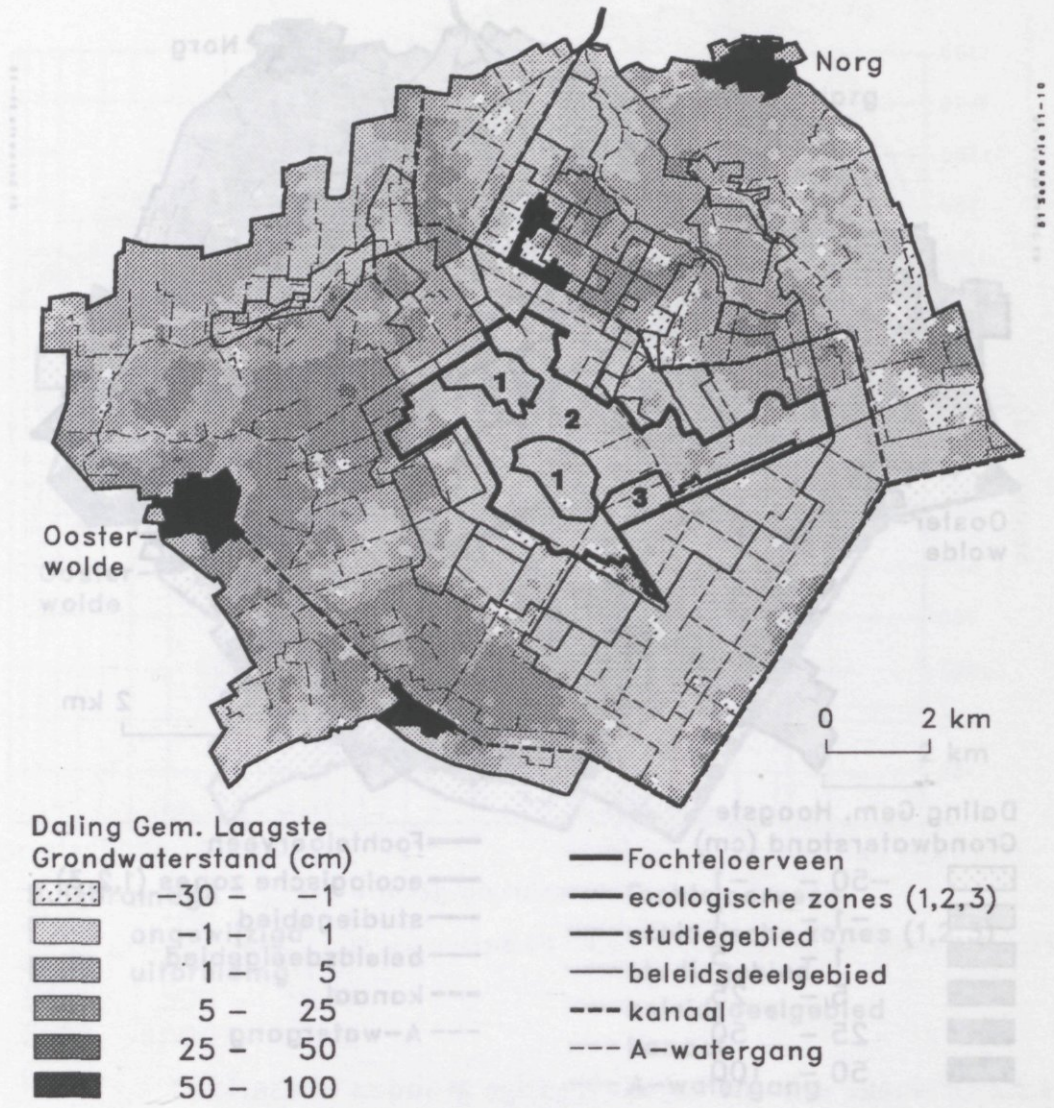


Fig. 51 Daling van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) als gevolg van drainage-aanleg in scenario 1

in de praktijk realiseren van deze afname dient te worden geïnvesteerd in drainaanleg, waardoor de uiteindelijke netto baten negatief zullen uitvallen, althans volgens de modelberekening. In Fig 54 wordt een ruimtelijk beeld gegeven van de afname van de natschade, waaruit te zien is dat volgens het model vooral aan de Friese zijde de natschade sterk zou kunnen worden teruggebracht.

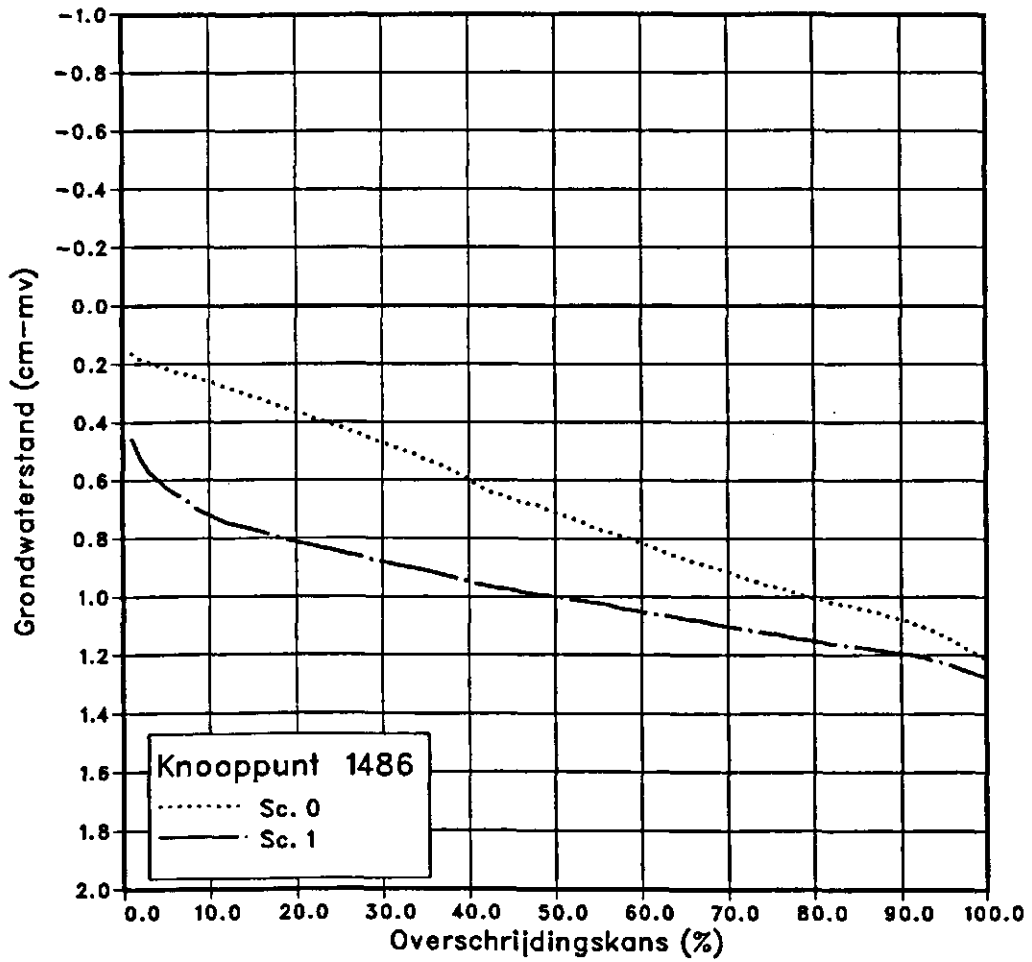


Fig. 52 Voorbeeld van het effect van drainage-aanleg op de duurlijn van grondwaterstanden in scenario 1

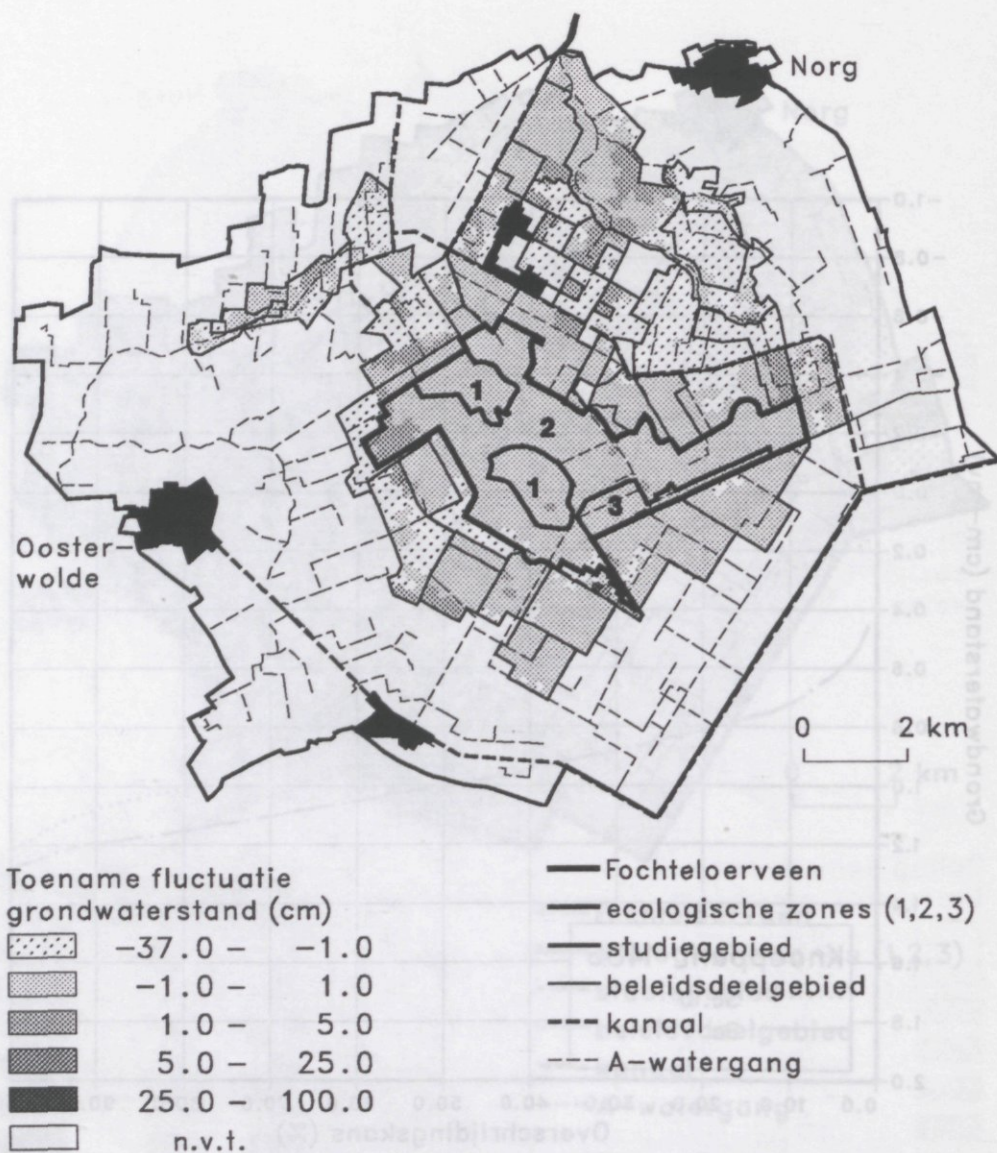
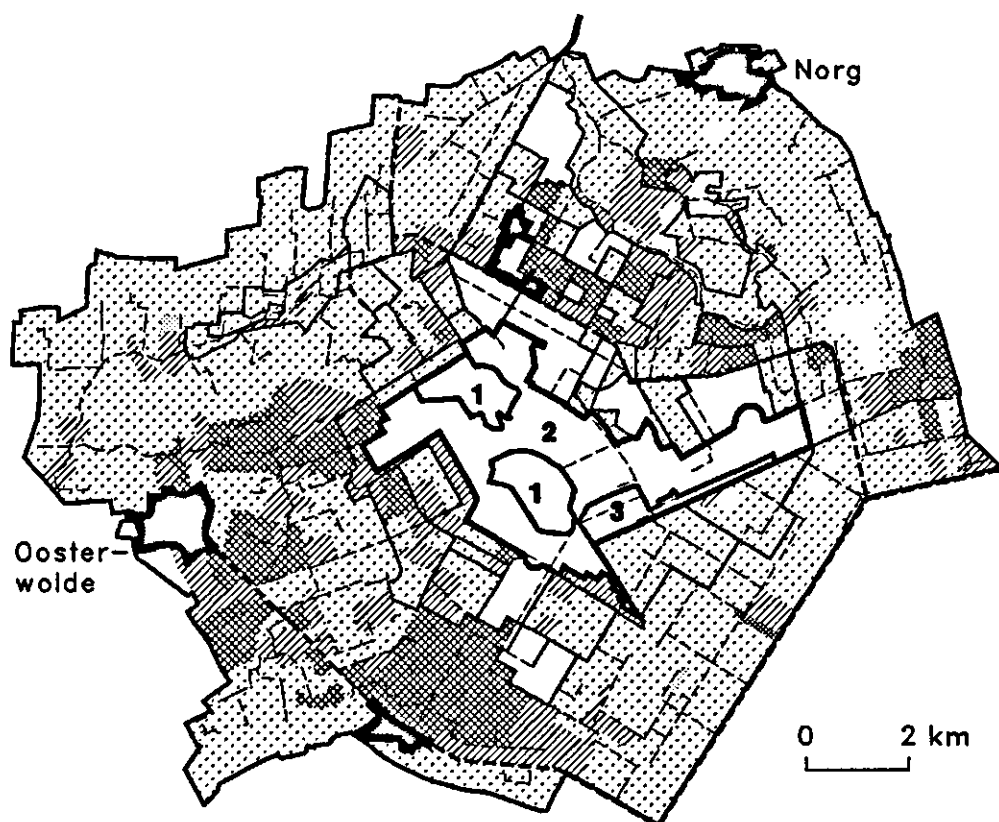


Fig. 53 Toename van de fluctuatie van grondwaterstanden (100%-punt minus 1%-punt van gemiddelde duurlijn) als gevolg van drainage-aanleg in scenario 1





Toename natschade (gld/ha)	
	-1142 - -100
	-100 - -25
	-25 - 25
	25 - 100
	100 - 500
	n.v.t.

- Fochteloërveen
- ecologische zones (1,2,3)
- studiegebied
- beleidsdeelgebied
- kanaal
- A-watergang

Fig. 54 Afname (negatieve toename) van natschade als gevolg van aanleg van buisdrainage in scenario 1

#### 4.2.3 Autonome ontwikkeling in het Fochteloërveen en randzone (scenario 2)

In dit scenario worden maatregelen van het type 'extreme vernatting' aangewend in het Fochteloërveen zelf, 'vernatting door demping van sloten' in de randzone en (als onderdeel van het plan Roden-Norg), en vernatting in het natuurontwikkelingsgebied 'de Tempelstukken'. Daarbij verandert in totaal 790 ha van een landbouw- naar een natuurfunctie. Het ruimtelijk beeld van de gebieden waar wordt ingegrepen is weergegeven in Fig. 55. Het gebied waar maatregelen worden geïmplementeerd valt samen met het gebied waar veranderingen van de afvoerdrempel optreden. Die veranderingen vinden in principe plaats op het niveau van afwateringseenheden. Per

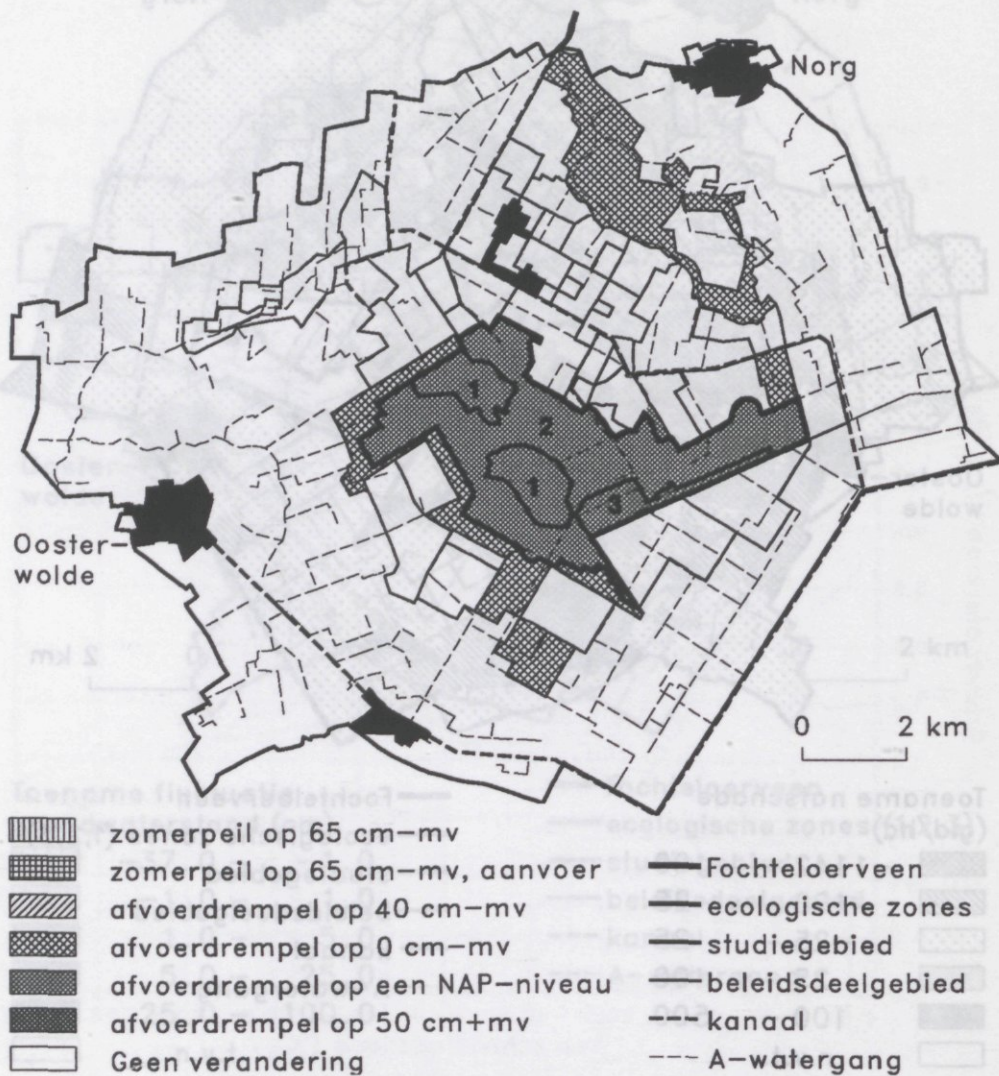


Fig. 55 Overzicht van ingrepen die men verwacht in het kader van de autonome ontwikkeling in het Fochteloërveen, de randzone, en 'de Tempelstukken' ten zuidwesten van Norg (scenario 2)

gridcel binnen zo'n eenheid kan dit echter verschillend uitpakken voor gebieden met extreme vernatting, waar in het model gewerkt wordt met de 'NAP'-optie. Het lokale effect in een gridcel hangt af van de uitgangssituatie, de relatieve maaiveldsligging, en natuurlijk de peilverandering bij het uitstroompunt, waar de feitelijke ingreep plaatsvindt. In Fig. 56 zijn de veranderingen aangegeven van de afvoerdrempel, zoals die zich lokaal voordoen als direct gevolg van de ingrepen (maatregel op gridcelschaal in het model).

Interne optimalisatie in het Fochteloërveen houdt onder andere ook in het verder verfijnen van de compartimentering; de daarvoor benodigde dijkjes zullen met weinig materiaal uit het reservaat zelf worden opgebouwd, met een scherm van plasticfolie in de kern. Door deze maatregel wordt een verder peildifferentiatie doorgevoerd, die beter dan voorheen het maaiveld volgt.

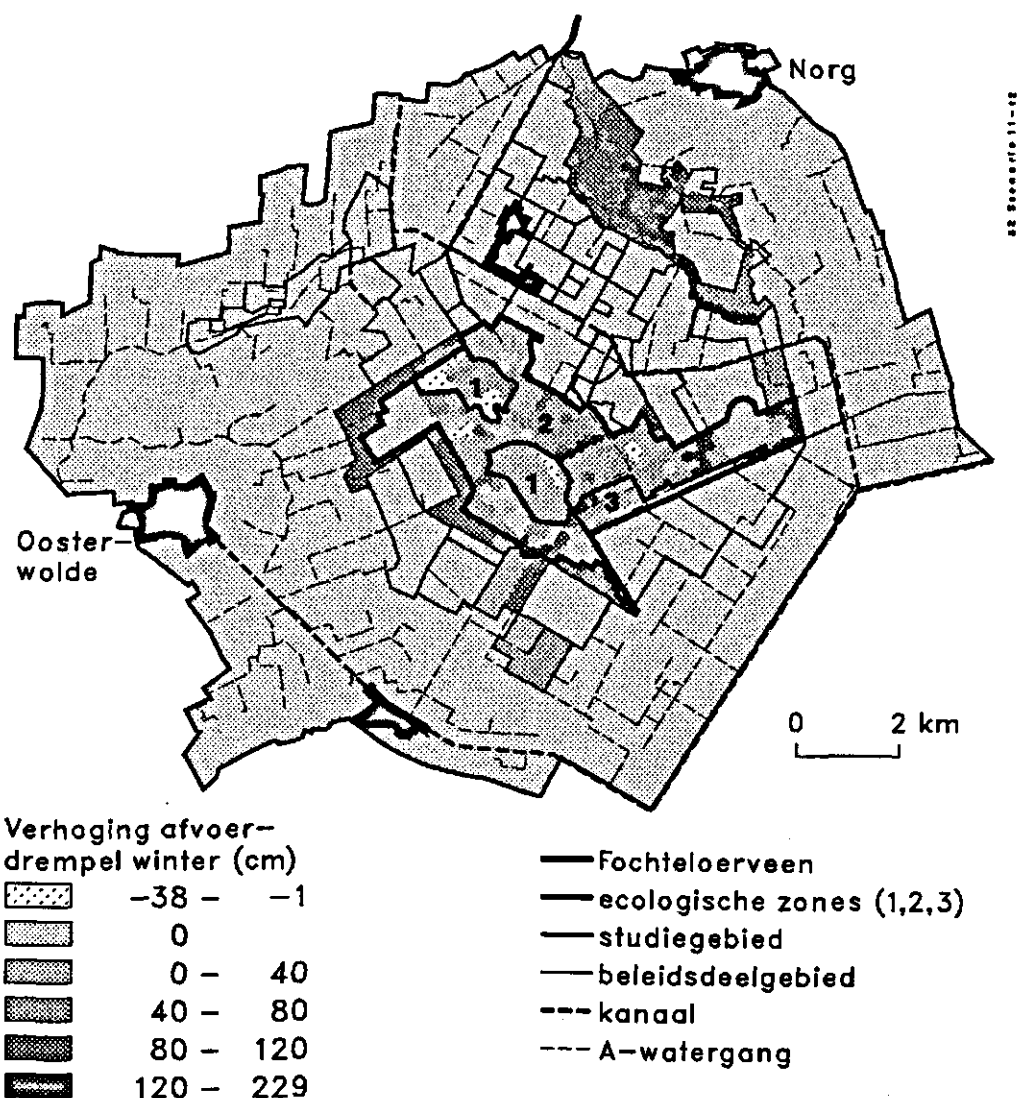


Fig. 56 Verandering van afvoerdrempel, op de schaal van gridcellen, in het scenario voor de autonome ontwikkeling in het Fochteloërveen, de randzone, en 'de Tempelstukken' (scenario 2)

Als afvoer ongecontroleerd over de dijkjes kan stromen dan dat geeft extra onderhoudsproblemen en leidt tot zeer hoge piekafvoeren uit het gebied. Dat laatste zal men trachten te voorkomen, in verband met de overlast voor de omgeving. In het scenario wordt er daarom van uitgegaan dat het afvoerproces gecontroleerd verloopt: de afvoer-relaties van compartimenten zijn in het model zo gekozen dat bij een afvoer van  $1 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  er bij het uitstroompunt een peilstijging van 5 cm optreedt.

Fig. 57 laat zien wat het model berekent voor de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) na implementatie van het maatregelpakket van scenario 2. Op de meeste plaatsen waar een ingreep is gepleegd stijgt de GHG tot boven maaiveld, maar niet overal. Dat in de randzone op sommige plaatsen wèl en sommige niet de GHG tot boven maaiveld komt - terwijl overal in de randzone de afvoerdrempel op 0 cm-mv wordt gezet - heeft te maken met variaties in de maaiveldverdeling.

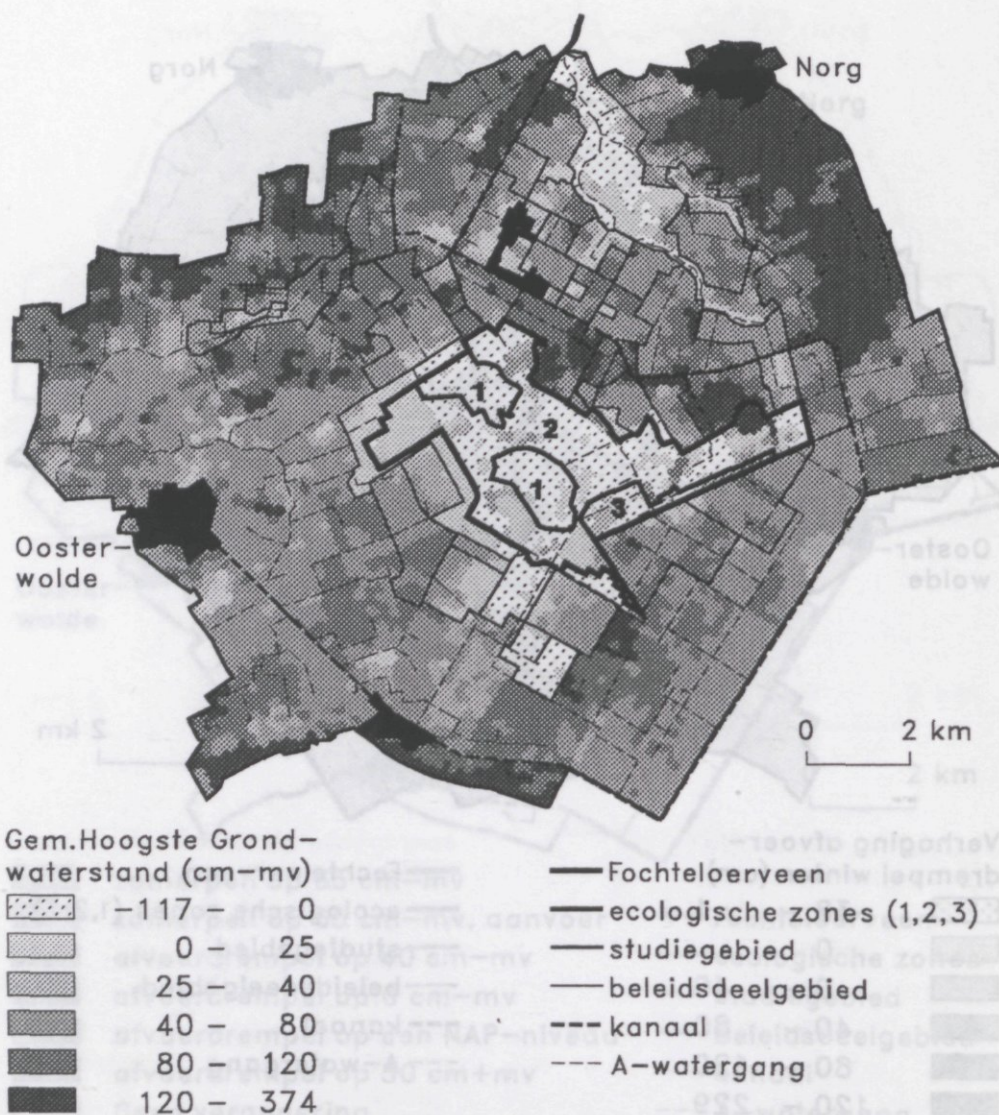


Fig. 57 Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) zoals berekend voor scenario 2

Zoals uiteengezet bij het beschrijven van de deelmaatregelen (par. 4.2) wordt van het standaardniveau van 0 cm-mv genomen ten opzichte van het 10%-punt van de maaiveldsverdeling. In gebieden die zeer vlak zijn, zoals in de Ravenswoudpolder ten zuiden van het Fochteloërveen, is er nauwelijks verschil tussen het 10%-punt en het gemiddelde maaiveldsniveau. In dat geval komt de afvoerdrempel op vrijwel 0 cm-mv te liggen; dit leidt vanzelf tot een GHG die boven maaiveld uitkomt. In gebieden met meer helling, zoals in de randzone ten westen van het Fochteloërveen, is er wel een substantieel verschil tussen het 10%-punt en gemiddeld maaiveld (ca. 20 cm). De afvoerdrempel komt dan relatief lager te liggen, en de GHG kan dan beneden (gemiddeld) maaiveld blijven.

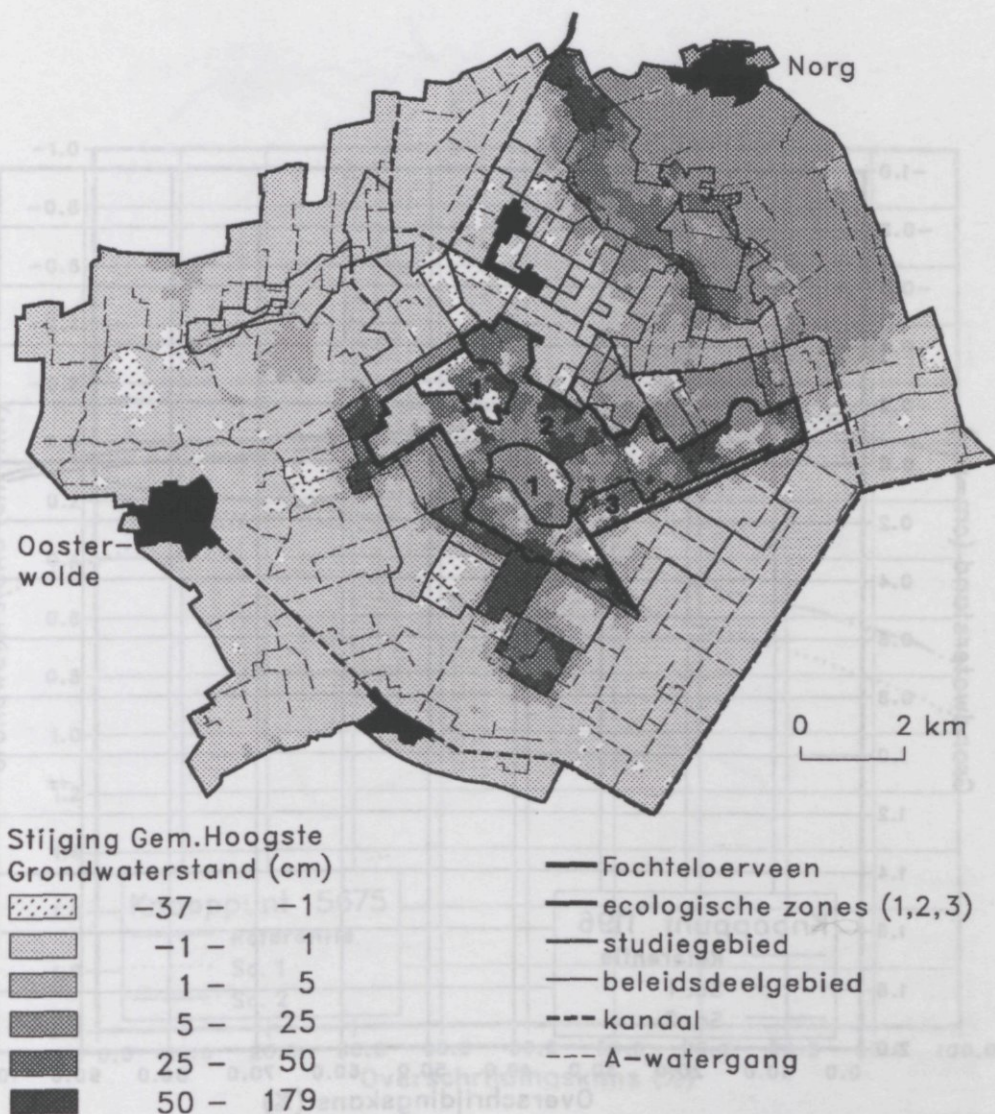


Fig. 58 Stijging van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) in scenario 2 ten opzichte van scenario 1

In Fig. 58 is de berekende stijging van de GHG ten opzichte scenario 1 weergegeven. Binnen het Fochteloërveen valt op dat er ook dalingen worden berekend. Dat is mogelijk door de verder doorgevoerde peildifferentiatie (bij de compartimentering).

Uit de figuur wordt zichtbaar dat de 'uitstraling' van vernattingsmaatregelen nogal varieert: ten noorden van de noord-oost hoek van het Fochteloërveen en in het gebied ten noorden van de Tempelstukken is er uitstraling over een veel bredere zone (enkele kilometers) dan rond de rest van het gebied (ca. 500 m). Dit verschil is terug te voeren op de verbreiding van potklei in de ondergrond: uit de calibratie kwam naar voren dat de potklei in de noordoost-hoek van het modelgebied veel dunner of zelfs afwezig zou kunnen zijn. Dat is in de parameters van het model verwerkt (zie Fig. 21).

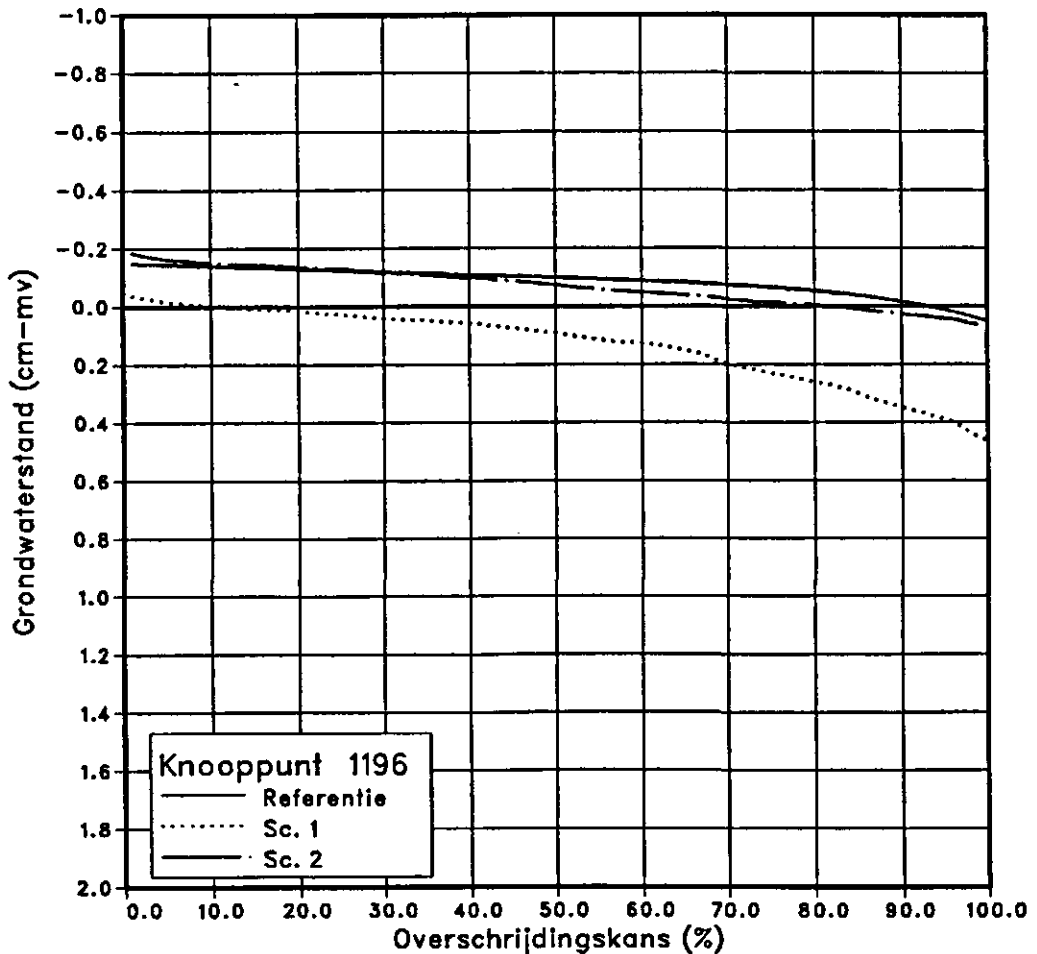


Fig. 59 Duurlijn-grafiek voor de grondwaterstanden van een gridcel in zone 1 van het Fochteloërveen, vóór en na optimalisatie van het interne waterbeheer (scenario 1 en 2)

In Fig. 58 valt verder op dat op sommige plaatsen sprake is van een daling van de GHG, terwijl men op basis van interacties via het regionale grondwatersysteem een stijging zou verwachten. Dat er lokaal sprake kan zijn van een daling is een gevolg van het integrale karakter van de modelsimulatie, die ook het oppervlaktewater omvat. Als gevolg van een peilverhoging zal de grondwaterstand stijgen en zal de wegzijging lokaal toenemen (of de kwel afnemen). Dat heeft weer tot gevolg dat de netto afvoer naar het oppervlaktewater zal afnemen; benedenstrooms gelegen gebieden zullen daardoor minder doorstroomd worden door 'gebiedseigen' water uit hoger gelegen delen in het vanggebied. Voor veel benedenstrooms gelegen gebieden zal dit weinig gevolgen hebben; maar in een aantal gevallen zal als gevolg van de verminderde 'doorvoer' het oppervlaktewaterpeil dusdanig dalen dat er een verlagend effect is op de GHG. Indien deze verlaging het stijgeffect als gevolg van interacties via het grondwatersysteem overtreft, dan kan het netto effect daling van de GHG zijn.

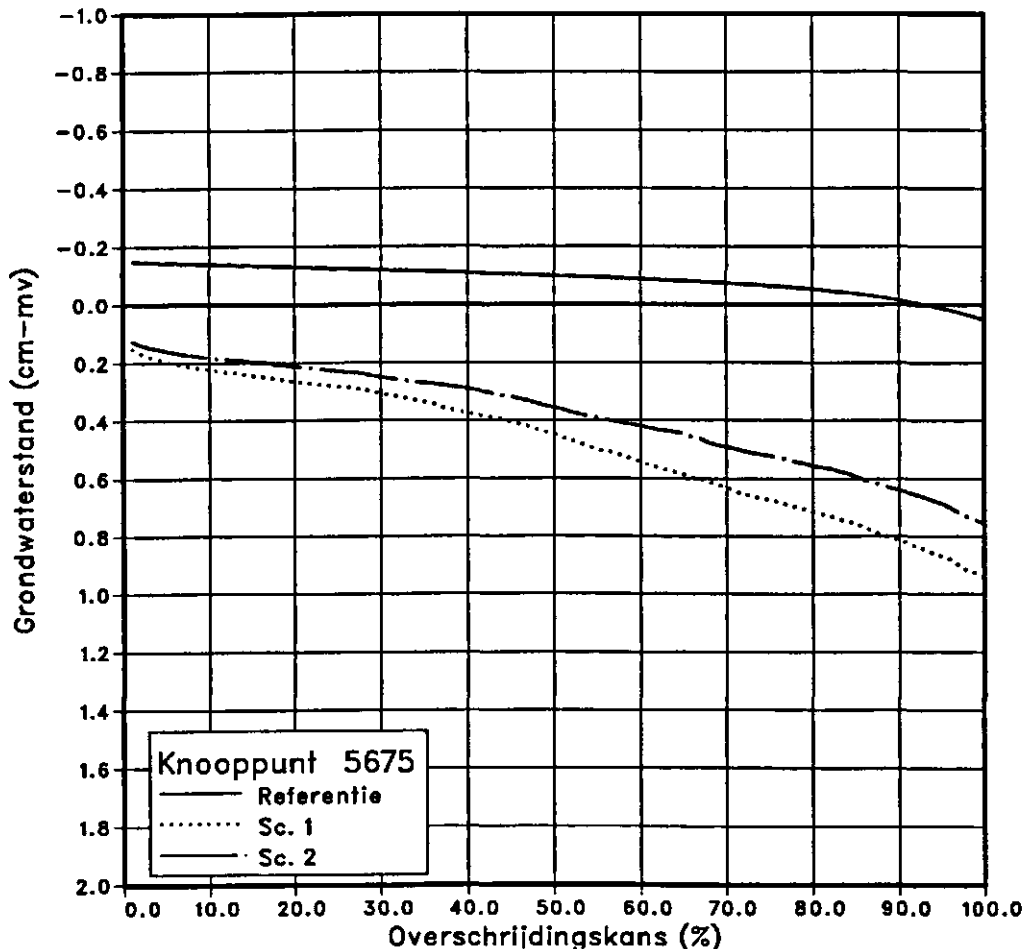


Fig. 60 Duurlijn-grafiek voor de grondwaterstanden van een gridcel in zone 2 van het Fochteloërveen, vóór en na optimalisatie van het interne waterbeheer (scenario 1 en 2)

Ter verdere illustratie van de hydrologische rekenresultaten voor het Fochteloërveen zijn duurlijn-grafieken gegeven voor een tweetal gridcellen: één in zone 1 (Fig. 59) en één in zone 2 (Fig. 60). Uit die voor zone 1 is duidelijk te zien hoe de referentieduurlijn (zie par. 3.1) wel degelijk goed is te simuleren wanneer het niveau van de afvoerdrempel optimaal wordt gemaakt voor hoogveengroei (drempel op 10 cm+mv). Uit het voorbeeld voor zone 2 blijkt dat het niet overal mogelijk is om op een dergelijke manier de waterhuishouding te optimaliseren - zelfs niet voor het wegstrijken van pijpestrootje door maximale inundatie na te streven. In dit geval komt het door de beperking in de mogelijkheden om een hoge afvoerdrempel te creëren: de afvoerdrempel kan hier niet verder worden verhoogd dan tot 60 cm-mv.

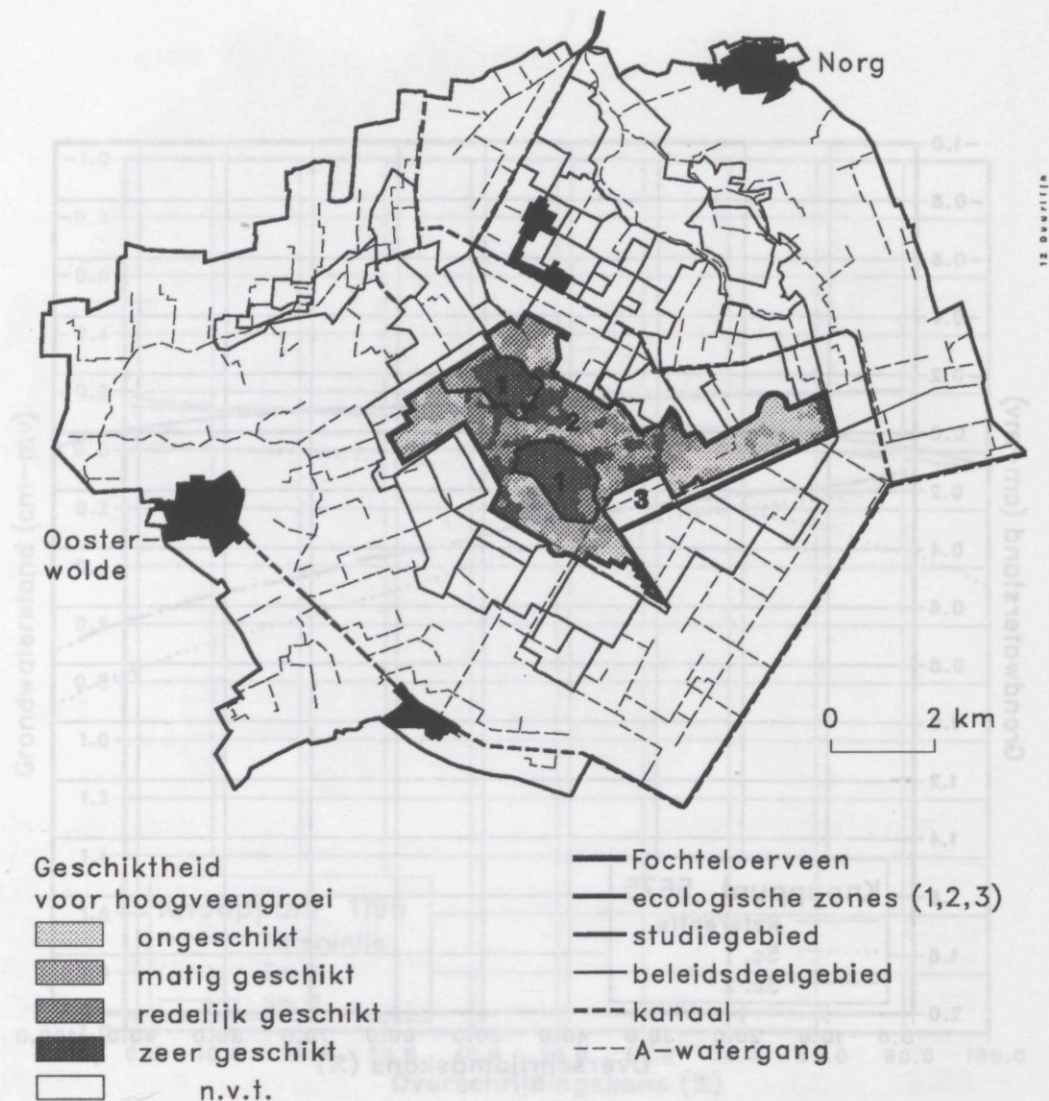


Fig. 61 Berekende 'geschiktheids-score voor hoogveengroei', voor scenario 2. De geschiktheids-score voor hoogveengroei is een maat voor het bereiken van de beheersdoelstelling in zone 1

Fig. 61 laat zien dat in scenario 2 duidelijk invulling wordt gegeven aan de doelstelling voor hoogveenregeneratie in zone 1: de 'geschiktheids-score voor hoogveengroei' bereikt daar bijna overal een waarde van boven de 70, d.w.z. de score valt in de klasse 'zeer geschikt voor hoogveengroei'. De gemiddelde waarde bedraagt 77,8 in plaats van 45,0 in scenario 1. In zone 2, met als doelstelling in eerste instantie het terugdringen van pijpestrootje, is het beeld zeer wisselend, met een gemiddelde waarde van 34,0 i.p.v. 13,7 in scenario 1. De mate waarin deze doelstelling wordt bereikt valt af te lezen in Fig. 62, met het ruimtelijk beeld van de inundatieduur: voor het terugdringen van pijpestrootje wordt een zo permanent mogelijke inundatie als het meest geëigende middel gezien. Uit dat beeld blijkt dat de doelstelling voor zone 2 slechts in ca. éénderde van die zone wordt bereikt. De gemiddelde inundatieduur bedraagt volgens de modelberekening 35,5%, oftewel 129,6 d/j.



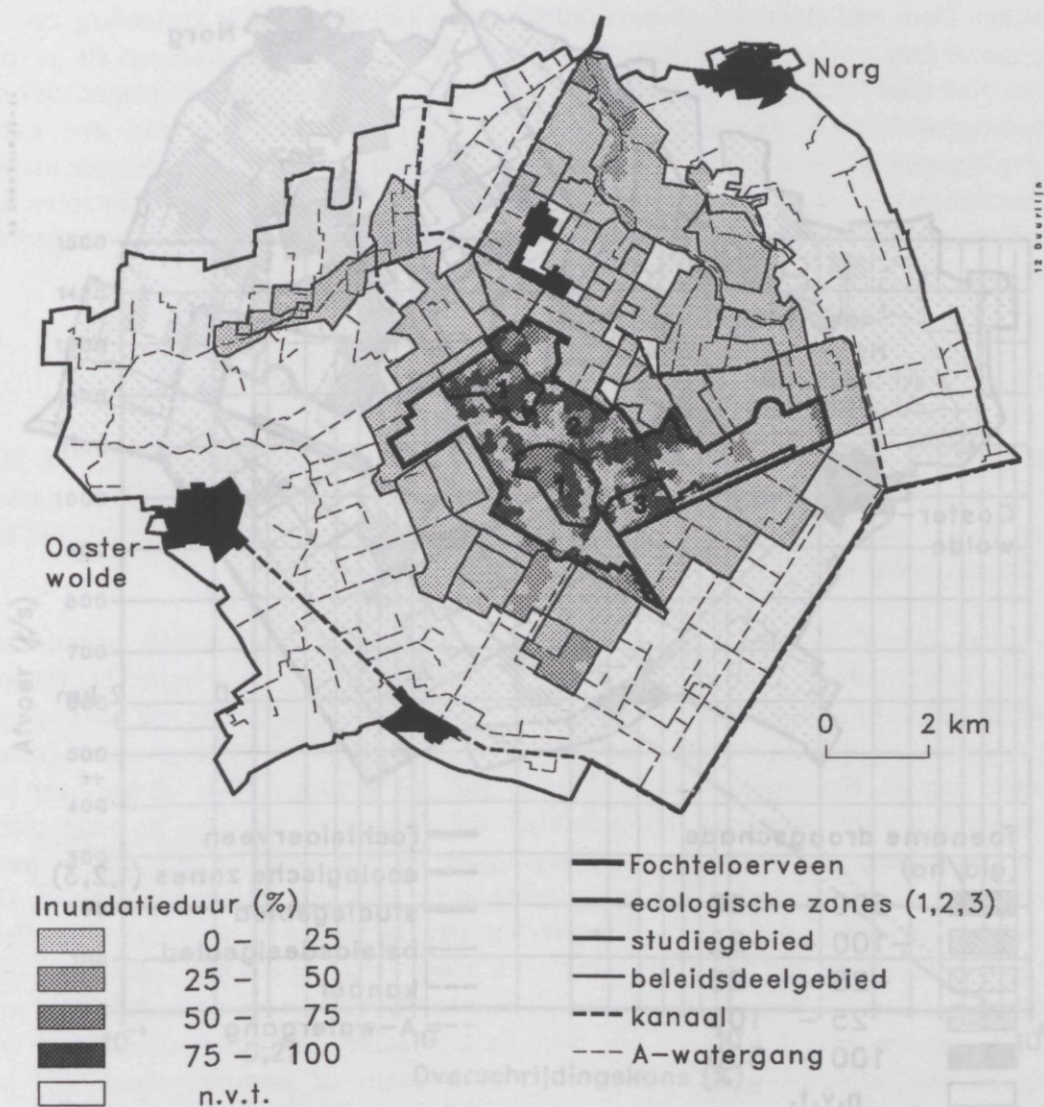
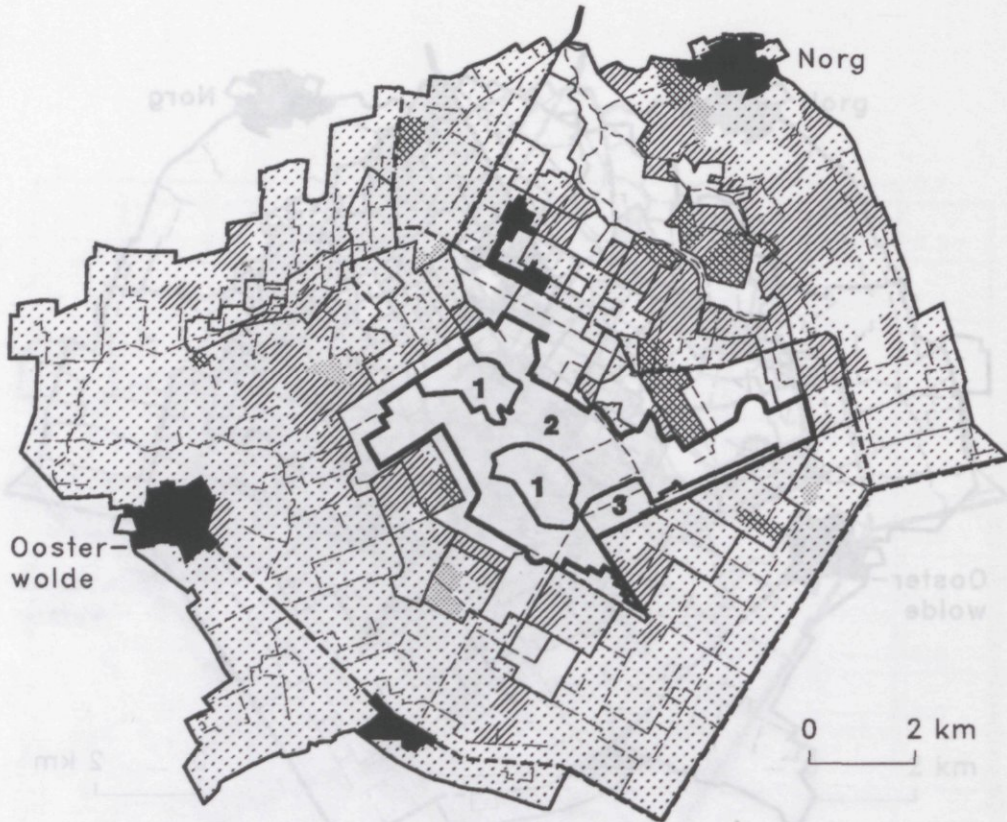


Fig. 62 Inundatieduur in scenario 2. De inundatieduur is een maat voor het bereiken van de beheersdoelstelling in zone 2

Voor de landbouw is het van belang de effecten op droog- en natschade te berekenen. Wanneer men de grond die van functie verandert buiten beschouwing laat dan is de afname van de droogschade  $f$  120 000,- per jaar en de toename van de natschade  $f$  86 000,- per jaar, oftewel netto een afname van  $f$  34 000,- per jaar. Deze schadebedragen ontstaan als gevolg van uitstralingseffecten van maatregelen in naastliggende natuurgebieden (Fig. 63).

Ingrepen in hydrologische systemen hebben doorgaans invloed op het afvoerregime. Discussies over dit aspect spelen de laatste jaren een prominente rol bij de beleidsafweging. Als gevolg van de vernattingsmaatregelen blijkt de door het model berekende maatgevende afvoer in dit geval lager te worden, zoals blijkt uit de duurzaamheidsgrafiek in Fig. 64: met het model wordt voor scenario 1 een maatgevende afvoer van  $1285 \text{ l.s}^{-1}$  ( $0,68 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) berekend; voor scenario 2 blijkt de maatge-



Toename droogschade  
(gld/ha)

	-500 - -100
	-100 - -25
	-25 - 25
	25 - 100
	100 - 500
	n.v.t.

— Fochteloërveen

— ecologische zones (1,2,3)

— studiegebied

— beleidsdeelgebied

--- kanaal

--- A-watergang

Fig. 63 Afname (negatieve toename) van de droogschade als gevolg van uitstralingseffecten van vernattingsmaatregelen in het Fochteloërveen en de randzone

vende afvoer te zijn gedaald naar  $1070 \text{ l.s}^{-1}$  ( $0,56 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), een afname van 17%. Deze afname is een gevolg van het feit dat door de hogere peilen meer deelgebieden onder water komen te staan. Daardoor ontstaat meer berging per eenheid van peilstijging, oftewel de bergingscoëfficiënt neemt toe. Bij een extreme neerslaggebeurtenis zal er in de situatie na vernatting (scenario 2) meer water tijdelijk kunnen worden geborgen, wat een matigend effect heeft op de piekafvoeren. Bij deze conclusie moet echter wel in gedachten worden gehouden wat de uitgangspunten zijn geweest van dit scenario. In dit verband is de cruciale aanname de peilstijging van 5 cm bij een afvoer van  $1 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Aangenomen wordt dus dat er geen ongecontroleerde overstrooming van dijkes plaatsvindt. Zou dat laatste wél op grote schaal plaatsvinden, dan wordt het effect van vernattingsmaatregelen héél anders: het ondergelopen land reageert dan hydrologisch gezien als een 'betonnen vloer' en geeft maatgevende afvoeren overeenkomstig de frequentieverdeling van dag-neerslagen.

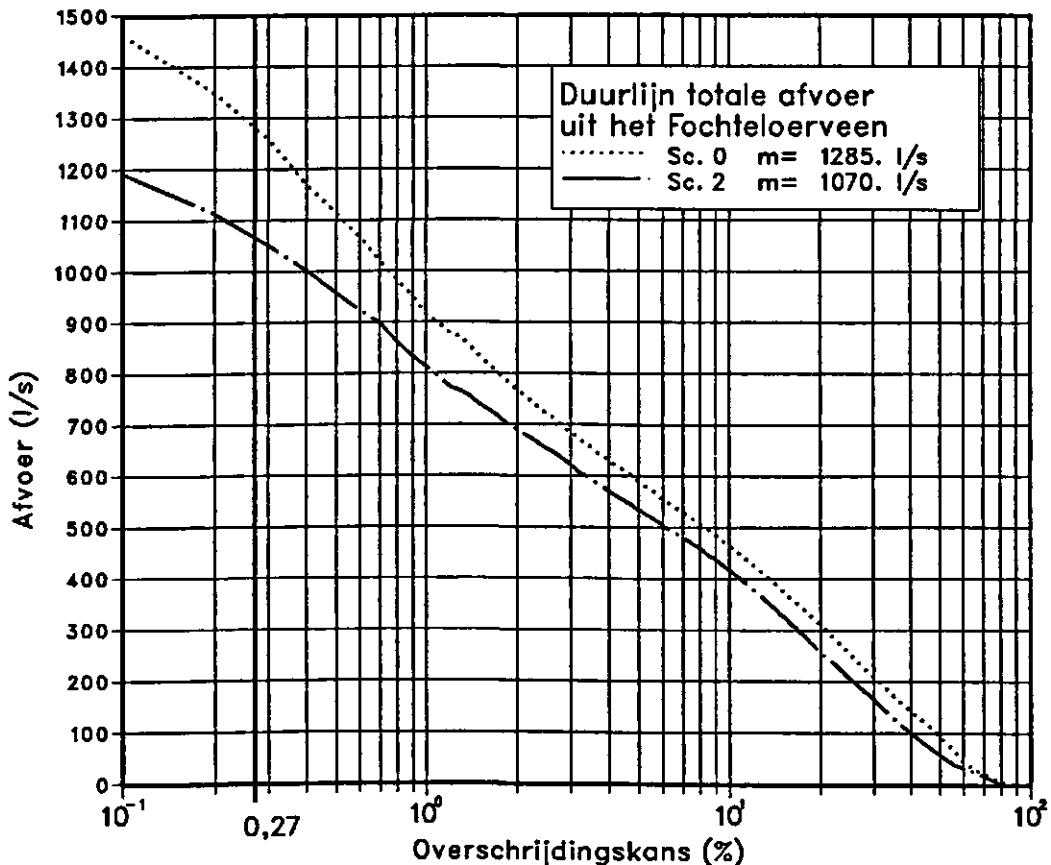


Fig. 64 Duurlijnen van de totale afvoer uit het Fochteloërveen, voor scenario 1 (gelijk aan scenario 0) en 2. Uit de duurlijnen blijkt dat de autonome ontwikkeling van het waterbeheer in het Fochteloërveen (vernattings) leidt tot een afname van piekafvoeren als gevolg van de toegenomen berging

Nadere analyse van het afvoergedrag van het Fochteloërveen leert dat het model voor sommige delen toch een stijging van piekafvoeren voorspelt. Het betreft gebieden die nu nog relatief droog zijn, met lage grondwaterstanden. Door peilstijging komt het grondwater in scenario 2 vaker 'in het maaiveld', waardoor de ondiepe greppelsystemen vaker gaan zorgen voor snelle afvoer. Maar kennelijk overheersen de gebieden waar extra vernatting juist leidt tot een daling van piekafvoeren als gevolg van de toegenomen berging per eenheid van peilstijging. Maar dat wil beslist niet zeggen dat als gevolg van vernattingsmaatregelen in het verleden de pieken niet zouden zijn gestegen. Stijging van piekafvoeren is waarschijnlijk, omdat de vernatting van het afgelopen decennium is verricht vanuit een relatief droge uitgangssituatie.

Ten aanzien van het voorspelde afvoergedrag dient men tenslotte te bedenken dat

de vegetatie-ontwikkeling nait bij de veranderingen in hydrologische omstandigheden. Door toekomstige veenmos-ontwikkeling en bijbehorende verlanding zal het afvoergedrag veranderen. Enerzijds zal de bergingscoëfficiënt afnemen als gevolg van materiaal-accumulatie. Anderzijds zal door het groeien van het veenmosdek de drainageweerstand toenemen in combinatie met het ontstaan van een extra bergingsmogelijkheid boven de afvoerdrempel: de door het veenmos gevormde matrix functioneert als een soort ademende spons die de schokken in het neerslagoverschot kan opvangen. Over het netto effect van de genoemde processen op het afvoergedrag worden geen voorspellingen gedaan.

#### **4.2.4 Plaatsing van een scherm tot aan de keileem (scenario 2a)**

In dit scenario is het effect van een scherm tot aan de keileem nagebootst. Het gesimuleerde scherm volgt bijna overal de grens van het huidige Fochteloërveen zoals het in dit rapport is aangehouden (dikke omranding in figuren), echter exclusief het 'Kleine Veen' aan de westkant.

Uit Fig. 65 blijkt dat plaatsing van een scherm een zeer gering maar toch aantoonbaar effect heeft op de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). Net buiten het scherm wordt een daling berekend, als gevolg van afgenomen toestroming via het ondiepe grondwater: als gevolg van het scherm ontstaat een geringe peilstijging van het grondwater aan de binnenzijde; dit heeft enerzijds tot gevolg dat de afvoer naar het oppervlaktewater toeneemt, en anderzijds dat de wegzijging naar de ondergrond eveneens iets groter wordt. De extra wegzijging komt gedeeltelijk terug als toename van kwel of vermindering van wegzijging in de zone net buiten het scherm. Dit compenseert echter niet helemaal het verlies aan zijdelingse toestroming. Het effect op de gemiddelde geschiktheids-score voor hoogveengroei in zone 1 is slechts 0,1. Voor zone 2 is het voorspelde effect 0,4, bij een toename van de inundatieduur met 0,3%, oftewel met 1,1 dagen per jaar. Er zijn echter schermtrajecten waar wel significante effecten worden berekend, zoals langs de noordwesthoek van het reservaat. Het kan worden overwogen om in de praktijk over te gaan tot plaatsing van deelschermen.

Voor het omringende landbouwgebied is er geen effect op de droogschade, terwijl de natschade afneemt met  $f$  2000,- per jaar. Bij deze vergelijking is er geen sprake van landbouwgrond die van functie verandert.



Stijging Gem. Laagste

Grondwaterstand (cm)

	-10	-	-1
	-1	-	1
	1	-	5
	5	-	25
	25	-	50
	50	-	100

— Fochteloërveen

— ecologische zones (1,2,3)

— studiegebied

— beleidsdeelgebied

--- kanaal

--- A-watergang

Fig. 65 Invloed van plaatsing van een scherm tot op de keileem: de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) stijgt lichtelijk aan de binnenkant van het scherm, terwijl het langs de buitenkant lichtelijk daalt

#### 4.2.5 Vernatting van bos- en Relatienota-gebieden ten zuiden van de Kolonivaart (scenario 3)

In dit scenario wordt het bos- en Relatienota-gebied tussen de noordrand van het Fochteloërveen en de Kolonivaart vernat; daarbij wordt 100 ha landbouwgrond omgezet in Relatienota-gebied. De bosgebieden worden vernat door verondieping van de afvoerdrempel tot 40 cm-mv. De Relatienota-gebieden worden vernat door het helemaal dempen van sloten en afvoerleidingen; dit houdt in dat zowel de ontwateringsbasis als de afvoerdrempel op 0 cm-mv wordt gebracht, minus het verschil met het 10%-punt van de maaiveldsverdeling. De deelgebieden waar maatregelen plaatsvinden zijn aangegeven in Fig. 66. De uitwerking van deze maatre-

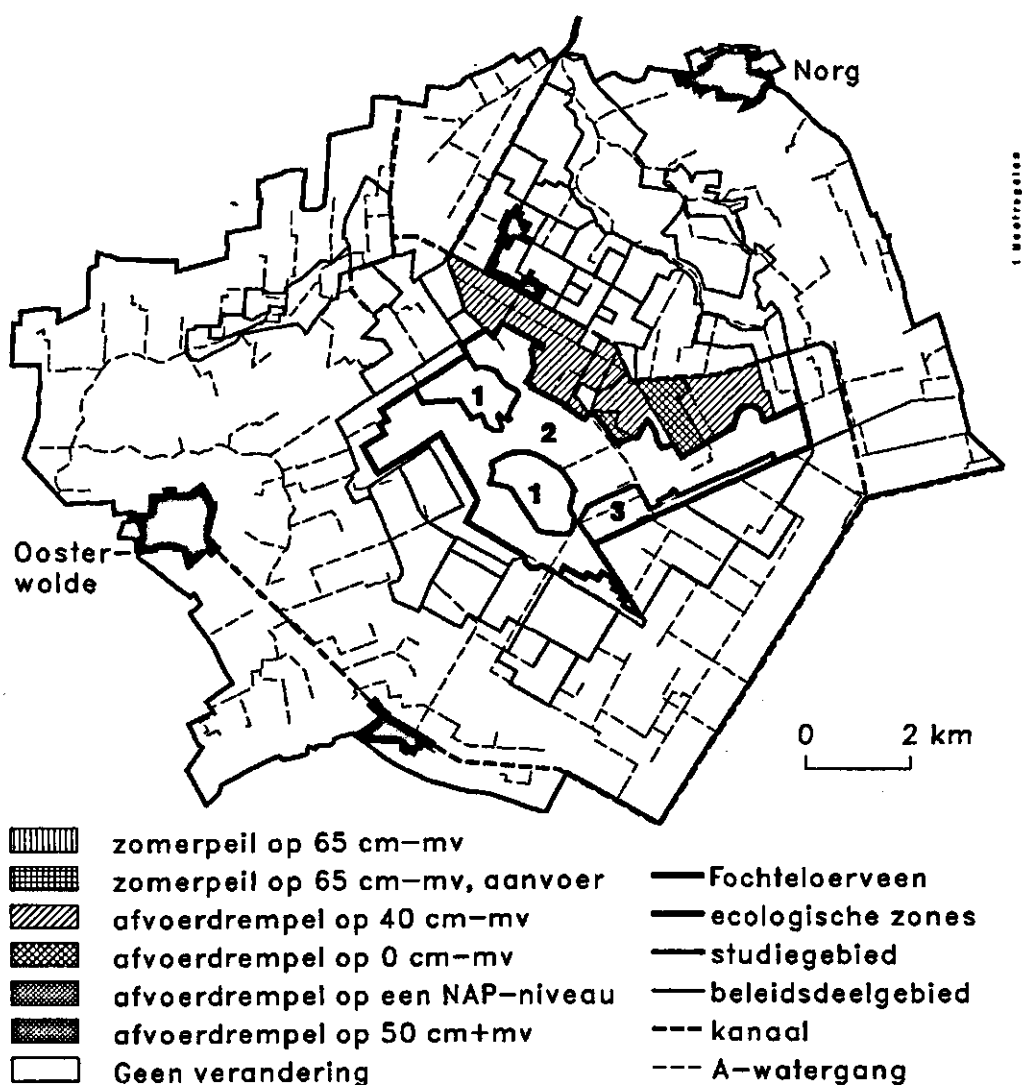


Fig. 66 Vernatting van bos- en Relatienota-gebieden ten zuiden van de Kolonievvaart in scenario 3

gelen op het niveau van de afvoerdrempel is in Fig. 67 weergegeven. Het effect van de maatregelen op de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) is weergegeven in Fig. 68. In het oog springt dat vooral aan de kant van het Fochteloërveen (en in de noordwest hoek) er een scherpe overgang is tussen deelgebieden waar er wel en deelgebieden waar er geen maatregelen wordt getroffen. De minder scherpe scheiding aan de noordzijde is een gevolg van het daar ontbreken van de potklei, waardoor de uitstraling over een grotere afstand plaatsvindt. De plaatselijke verlaging zijn wederom het gevolg van interacties via het oppervlaktewater (als gevolg van verminderde toevoer vanuit gebieden met peilstijging).

De maatregelen in scenario 3 blijken geen noemenswaard effect te hebben op de gemiddelde geschiktheids-score voor hoogveengroei. Voor zone 2, met als doelstelling de terugdringing van pijpestrootje, blijkt er wel een effect op te treden, zoals men

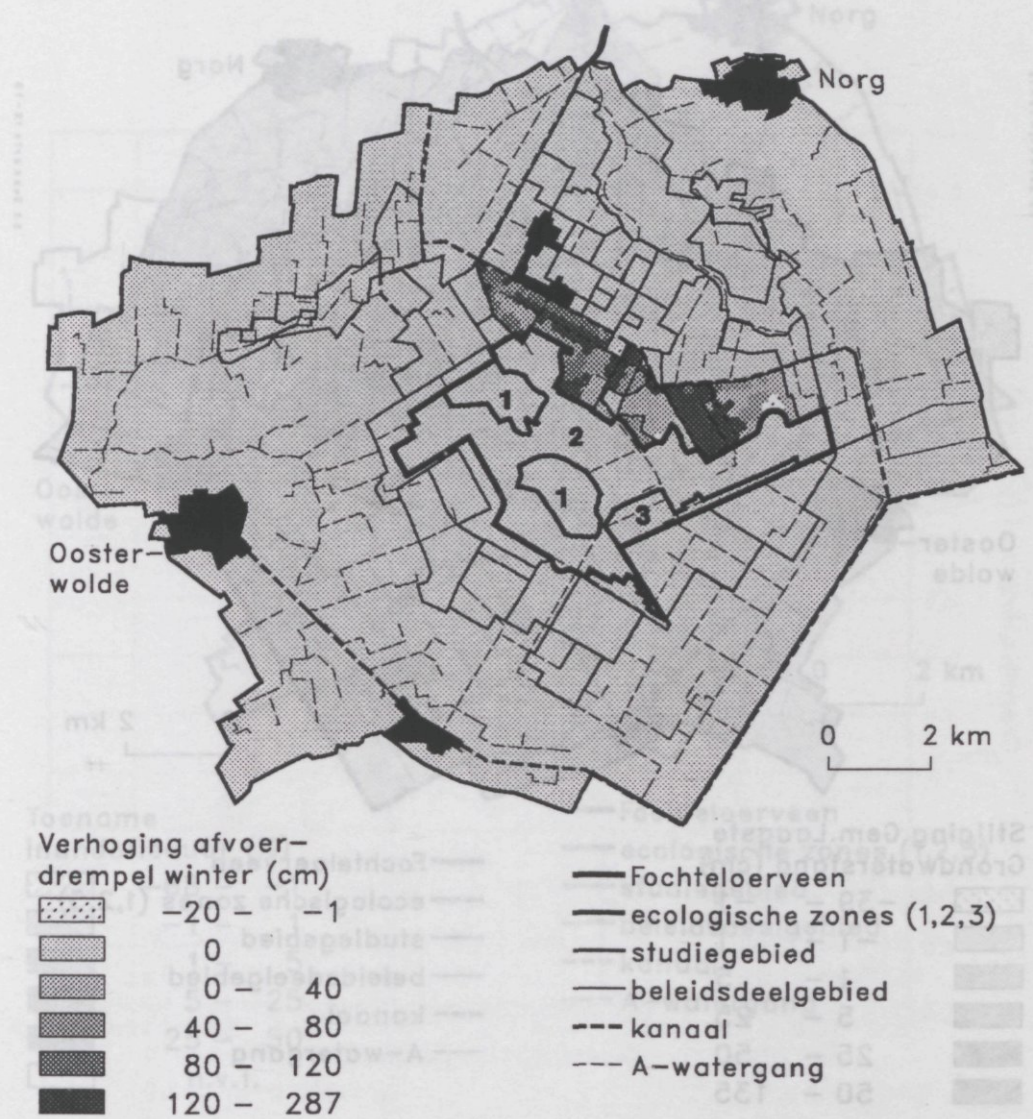


Fig. 67 Verhoging van de afvoerdrempel in scenario 3, weergegeven op de schaal van gridcellen van het model

kan zien uit het ruimtelijk beeld van de toename van de inundatieduur in Fig. 69, waarbij het gemiddelde toeneemt van 129,6 naar 133,6 dagen/jaar. Opmerkelijk is overigens dat de inundatieduur in het Relatienota-gebied niet blijkt toe te nemen. In de deelgebieden waar het om gaat wordt de afvoerdrempel verhoogd naar 0 cm-mv. Dat de inundatieduur niet toeneemt is een gevolg van het nogal grote verschil tussen het gemiddelde maaiveld en het 10%-punt van de maaiveldsverdeling, dat ter plaatse meer dan 20 cm bedraagt (Fig. 42). Ter verdere illustratie van dit scenario zijn in Fig. 70 de duurlijn-grafieken gegeven voor een gridcel.

Wanneer de schadebedragen op areaal dat van van functie verandert buiten beschouwing worden gelaten (en dus zuivere uitstralingseffecten worden berekend), dan is

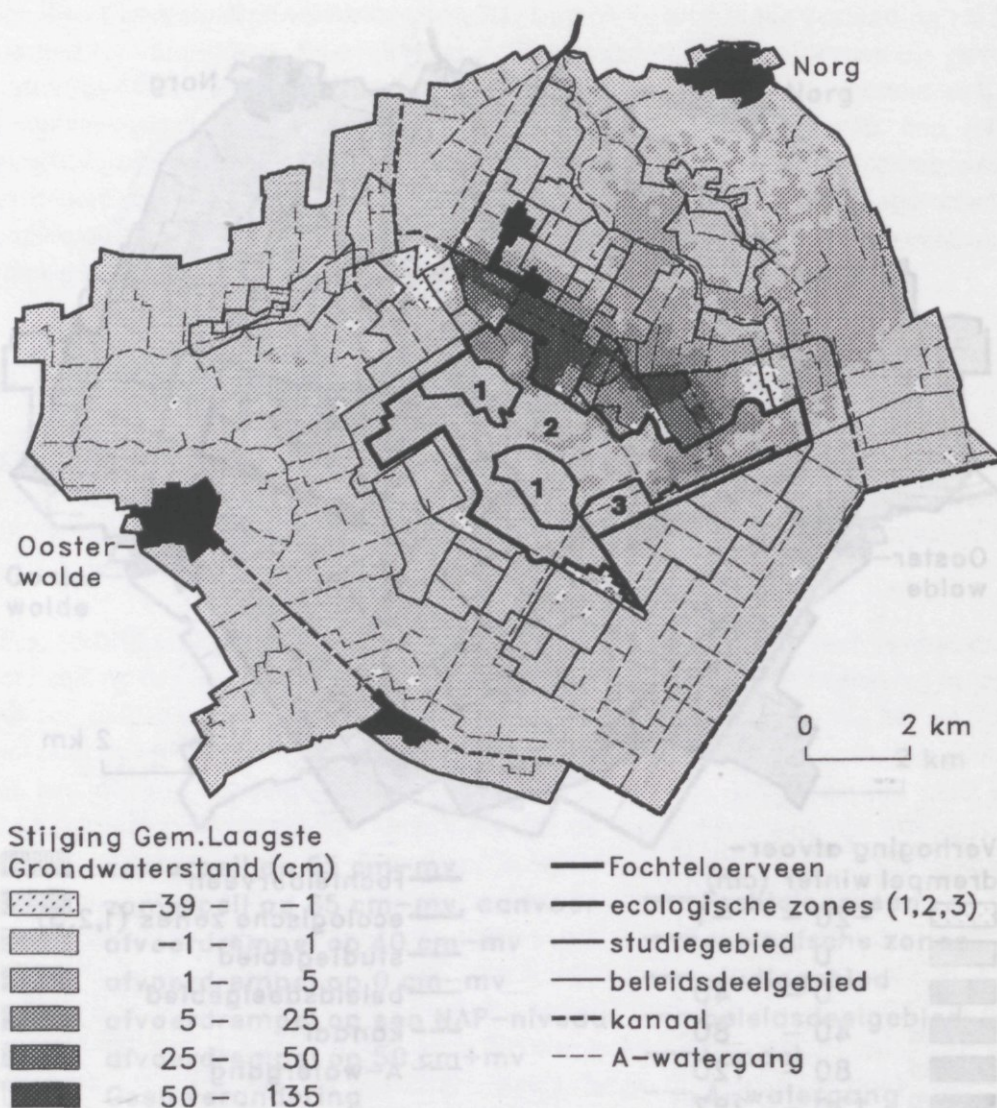


Fig. 68 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 3.

de afname van de droogschade f 19 000,- per jaar, de toename van de natschade f 22 000,- per jaar, en netto een toename van de schade met f 3000,- per jaar.





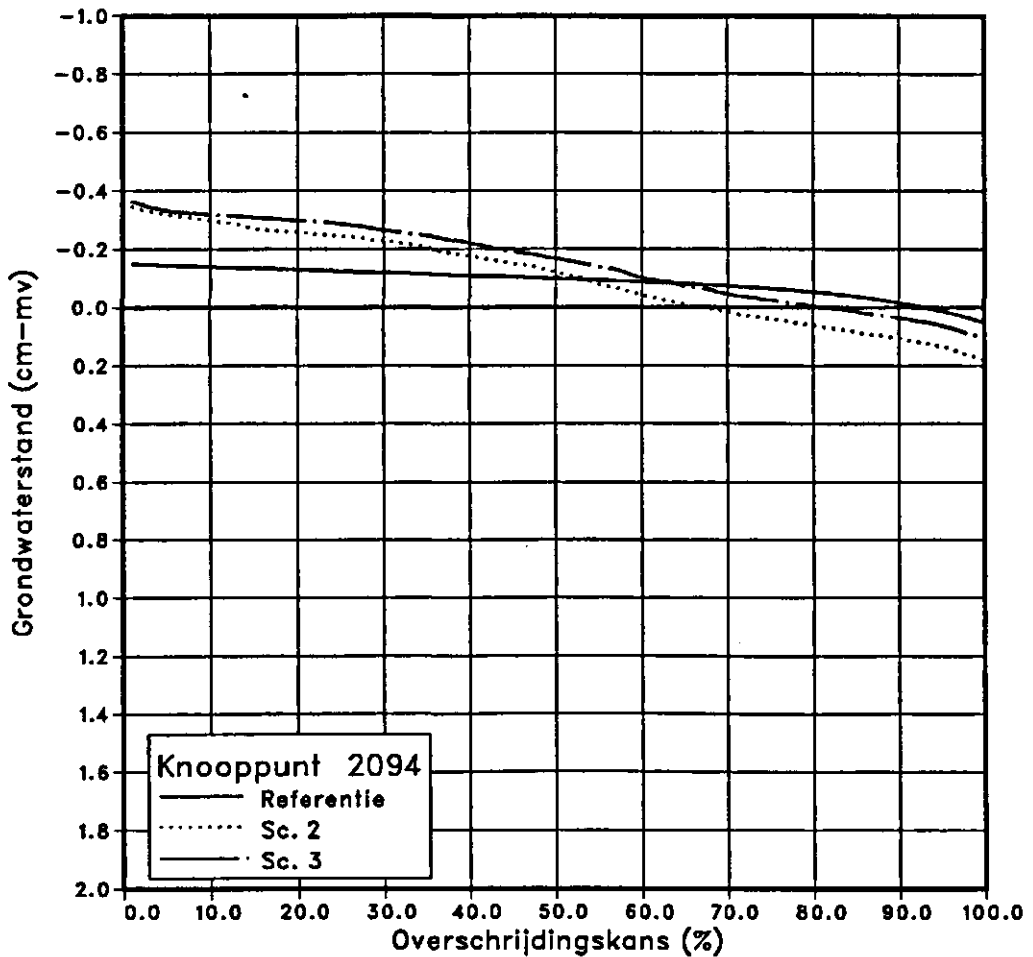


Fig. 70 Duurlijn-grafiek voor de grondwaterstanden van een gridcel in zone 2 (noord-west hoek van het Fochteloërveen), in scenario 3

#### 4.2.6 Maatregelen Veenhuizen-plan (scenario 4)

In het kader van het zogenaamde Veenhuizen-plan wordt overwogen het gebied ten noorden van de Kolonievart en ten oosten van de Tempelstukken aan te pakken. Het gaat daarbij overwegend om maatregelen gericht op waterconservering, gepaard met omzetting van aardappelen/bieten naar weidebouw. In een deel van het gebied is echte vernatting door middel van dempen van sloten voorzien. Een overzicht van de geplande maatregelen is weergegeven in Fig. 71.

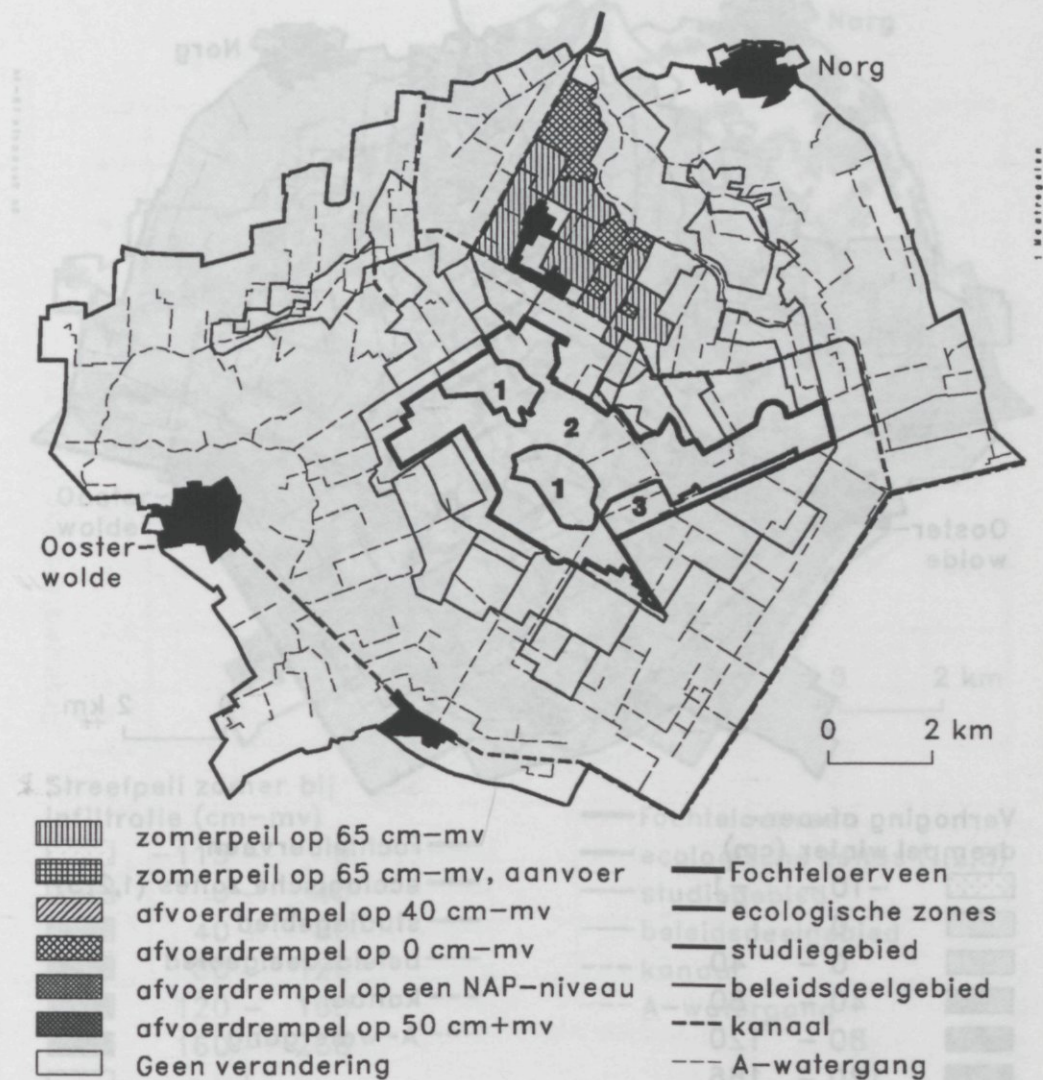


Fig. 71 Maatregelen voorzien in het kader van het zogenaamde Veenhuizen-plan (scenario 4)

Beide typen maatregelen (waterconservering en vernatting) houden in dat de afvoerdrempel wordt verhoogd. Bij waterconservering betreft dit echter alleen de situatie in het winterhalfjaar (1 oktober - 1 april). Fig. 72 geeft een overzicht van de uitwerking van de maatregelen op de schaal van gridcellen van het model. Uit dat overzicht blijkt dat (onder andere) voor het gebied ten noorden van Veenhuizen geen verhoging van de afvoerdrempel wordt aangegeven, terwijl daar wél maatregelen zijn voorzien. Dat er desondanks plaatselijk geen verhoging van de afvoerdrempel wordt aangegeven komt door het feit dat daar geen grotere waterlopen (A-watergangen) doorheen lopen en tevens dat de slootdiepte relatief gering is, althans minder dan de diepte van de afvoerdrempel van de afwateringseenheid (in zowel scenario 3 als 4). In een dergelijke situatie wordt de afvoerdrempel niet bepaald door de situatie in de grotere waterlopen maar door de plaatselijke slootdiepte; aangezien de maatregelen in scenario 4 direct aangrijpen op de grotere waterlopen is er dus in gridcellen met relatief geringe slootdiepte geen verhoging van de afvoerdrempel.

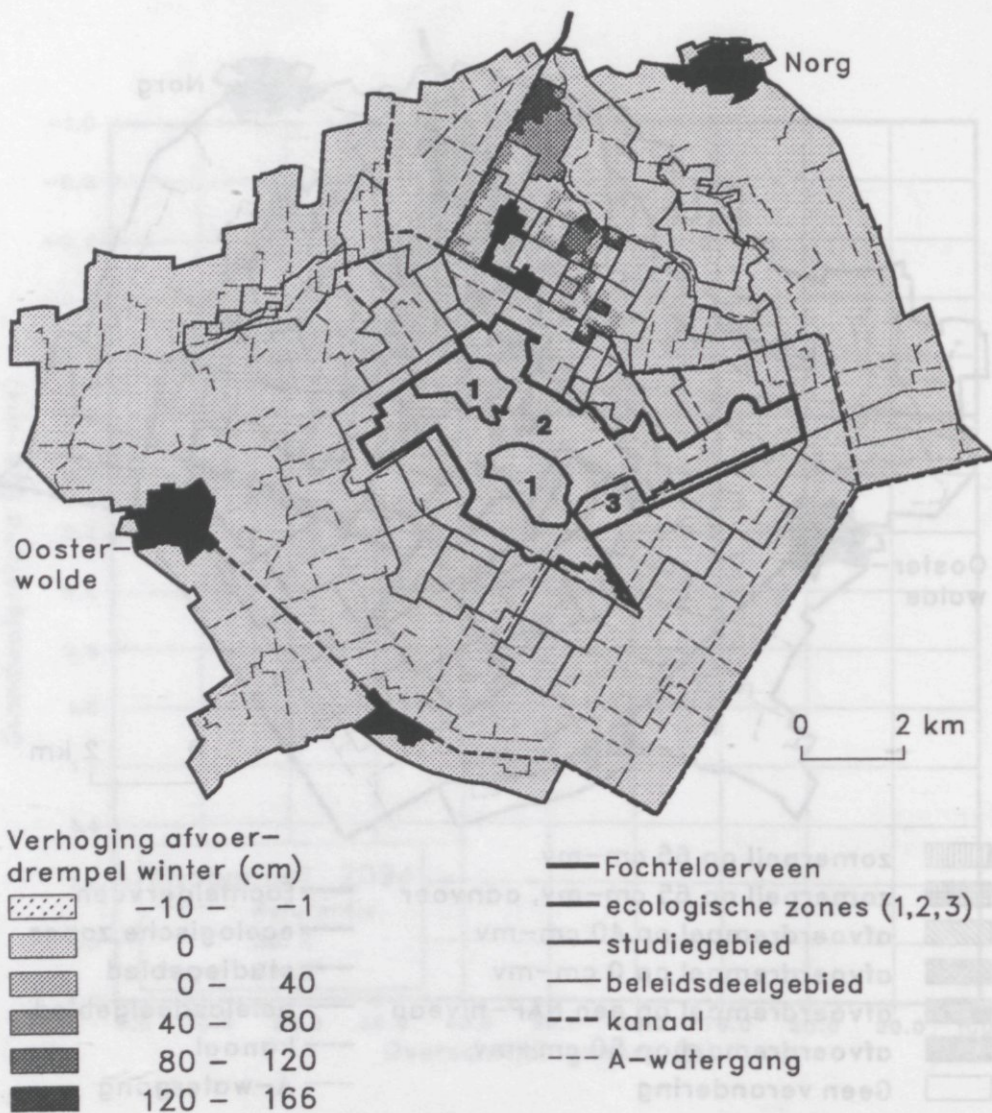


Fig. 72. Verhoging van de afvoerdrempel in scenario 4, weergegeven op knooppuntsniveau

Overigens blijkt de 'relatief geringe' slootdiepte niet direct uit Fig. 19: ten noordwesten van Veenhuizen valt de bodemdiepte van sloten in de klasse 80-120 cm-mv, terwijl in scenario 4 de afvoerdrempel wordt verhoogd naar 100 cm-mv (par. 4.1.2.2). Daar gaat evenwel nog af het verschil tussen gemiddeld maaiveld en het 10%-punt van de maaiveldsverdeling. In de betreffende afwateringseenheid bedraagt dat verschil meer dan 20 cm (Fig. 42), zodat de afvoerdrempel beneden de bodemdiepte van sloten blijft, ook in scenario 4.

In de deelgebieden waar waterconserving met peilbeheer zal worden geïmplementeerd wordt gedurende het zomerhalfjaar een automatische stuw voorzien, met een instelling van het zomerpeil op 65 cm-mv (zie par 4.1.2).

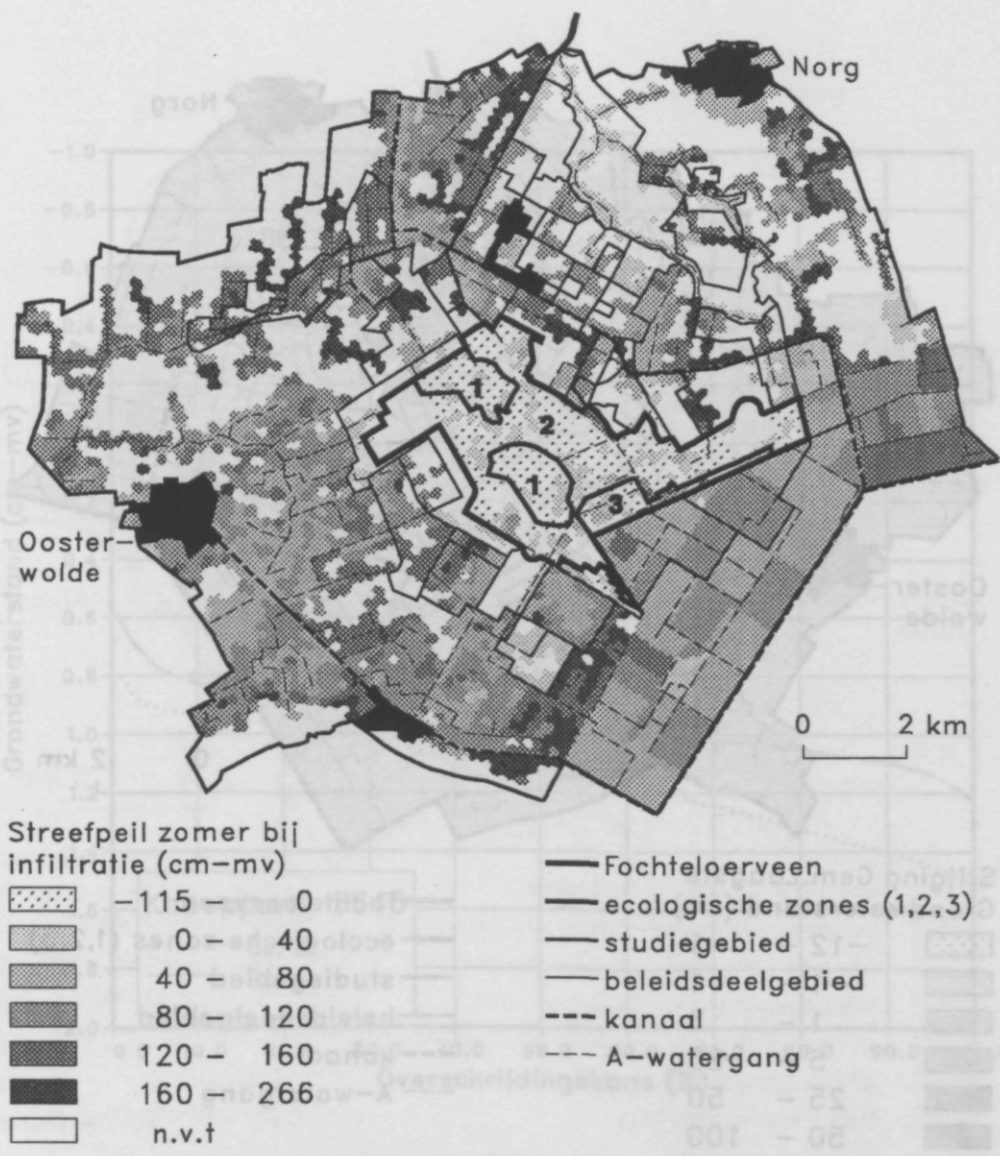


Fig. 73 Streefpeil zomer voor situaties met infiltratie, in gebieden met waterconservering in scenario 4, weergegeven op de schaal van gridcellen van het model

In Fig. 73 wordt voor deze gebieden het peil ten opzichte van maaiveld weergegeven op de schaal van gridcellen, voor infiltratiesituaties. Dat peil wijkt af van de 65 cm-mv als gevolg van:

- het verschil tussen gemiddeld maaiveld en het 10%-punt van de maaiveldsverdeling;
- het verschil tussen het maaiveld bij de grotere waterloop en het maaiveld in de gridcel waar het om gaat.

Het tweede aspect heeft te maken met het 'NAP'-karakter van de simulatie van infiltratie-situaties: het model rekent dan met een peil dat gekoppeld is aan het peil in de 'beheersbare' waterloop (d.w.z. de A-watergang). In hellende gebieden reikt de invloed van dit beheer slechts tot een smalle strook langs de waterloop. Tenslotte zij opgemerkt dat indien het peil tot beneden de slootbodem reikt, dan het feitelijk

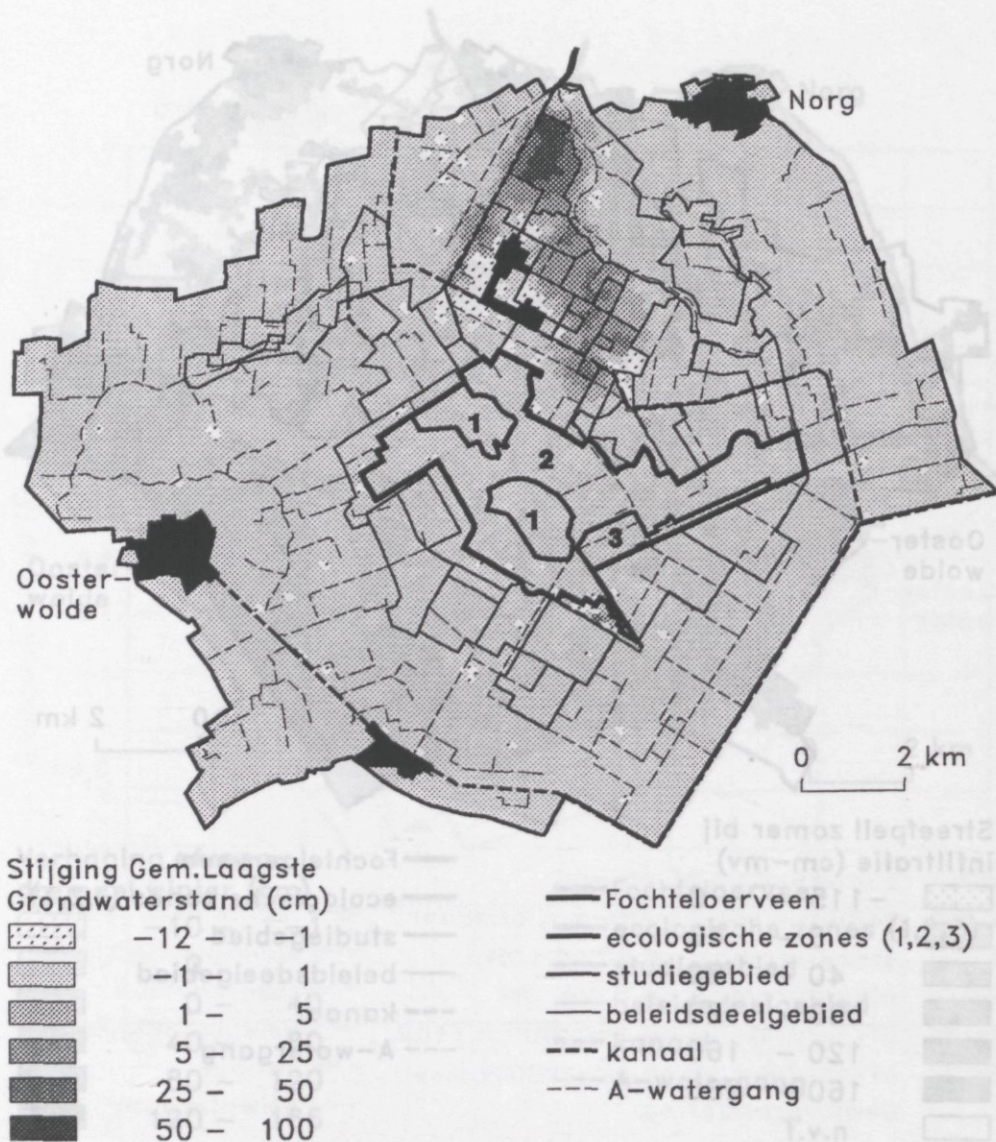


Fig. 74 Stijging van Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 4

niet effectief is. Fig. 74 geeft een overzicht van het effect op de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). Zeer opvallend is de voorspelde daling van de GLG in de omgeving van Veenhuizen. Dit blijkt het gevolg te zijn van de overgang naar weidebouw: grasland heeft een hogere verdamping dan aardappelen en bieten, wat een verlagend effect heeft op de zomergrondwaterstanden, en dus ook de GLG. (Het verdampingsverschil bedraagt gemiddeld meer dan 30 mm per jaar). Dit verlagend effect blijkt dat van conserverend peilbeheer (tot 65 cm-mv) te overtreffen. Ter verdere illustratie van de resultaten zijn in Fig. 75 duurlijn-grafieken gegeven van een knooppunt in de zone waar waterconservering met peilbeheer is voorzien. Het effect van maatregelen op de situatie in het Fochteloërveen is nagenoeg afwezig.

In het landbouwgebied neemt de droogschade af met f 61 000,- per jaar, de natschade met f 77 000,- per jaar. Deze bedragen hebben betrekking op een onveranderd areaal

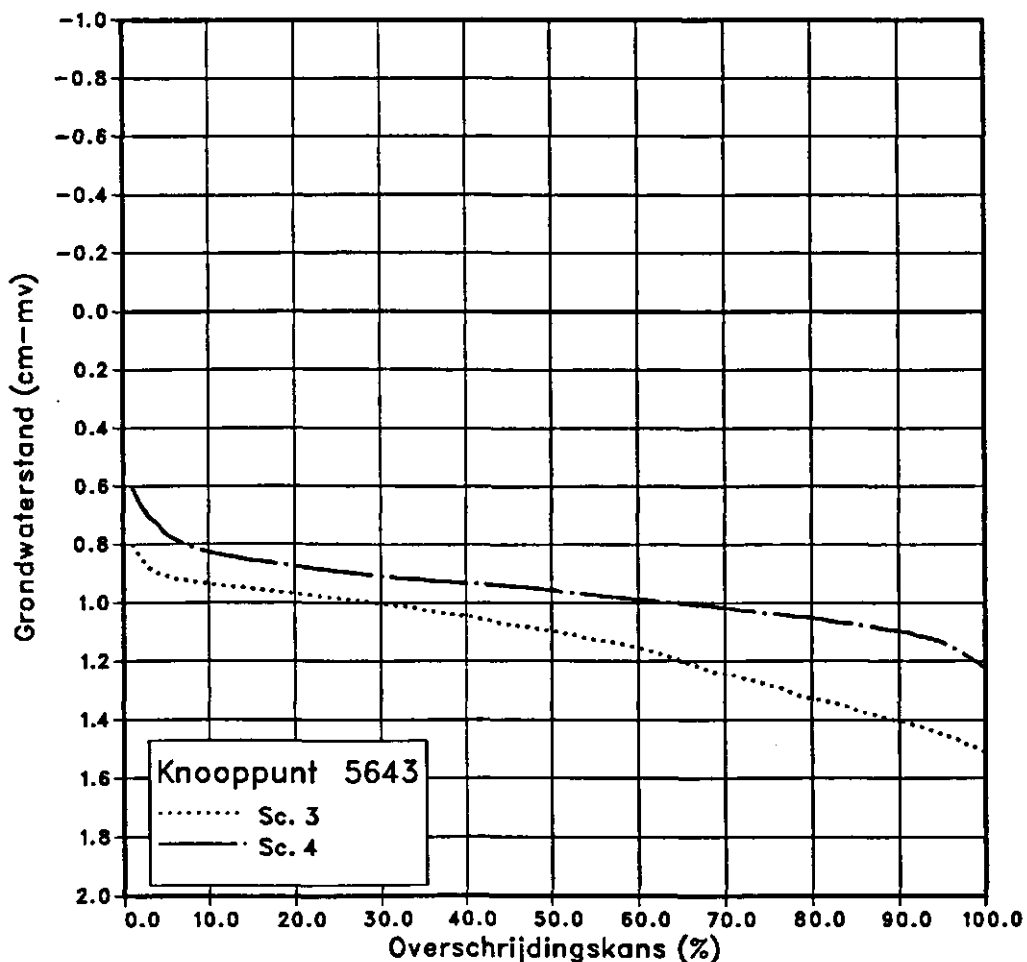


Fig. 75 Duurlijn-grafieken van grondwaterstanden in een gridcel gelegen in de zone met waterconservering en peilbeheer in scenario 4

landbouwgrond. Dat zowel droog- als natschade afnemen is mede een gevolg van het feit dat in dit scenario bouwland wordt omgezet naar grasland.

#### 4.2.7 Nieuw beleid en functiewijziging op een aantal landbouwpercelen (scenario 5)

In dit scenario worden een aantal maatregelen getroffen die samenhangen met het realiseren van de Ecologische Hoofdstructuur, de EHS. Daarbij zou 710 ha veranderen van een landbouw- naar een natuurfunctie. Daartoe worden een aantal deelgebieden vernat door demping van sloten en verhoging van de afvoerdrempel tot 0 cm-mv. In twee zones wordt gedacht aan extreme vernatting; één daarvan betreft een gebied

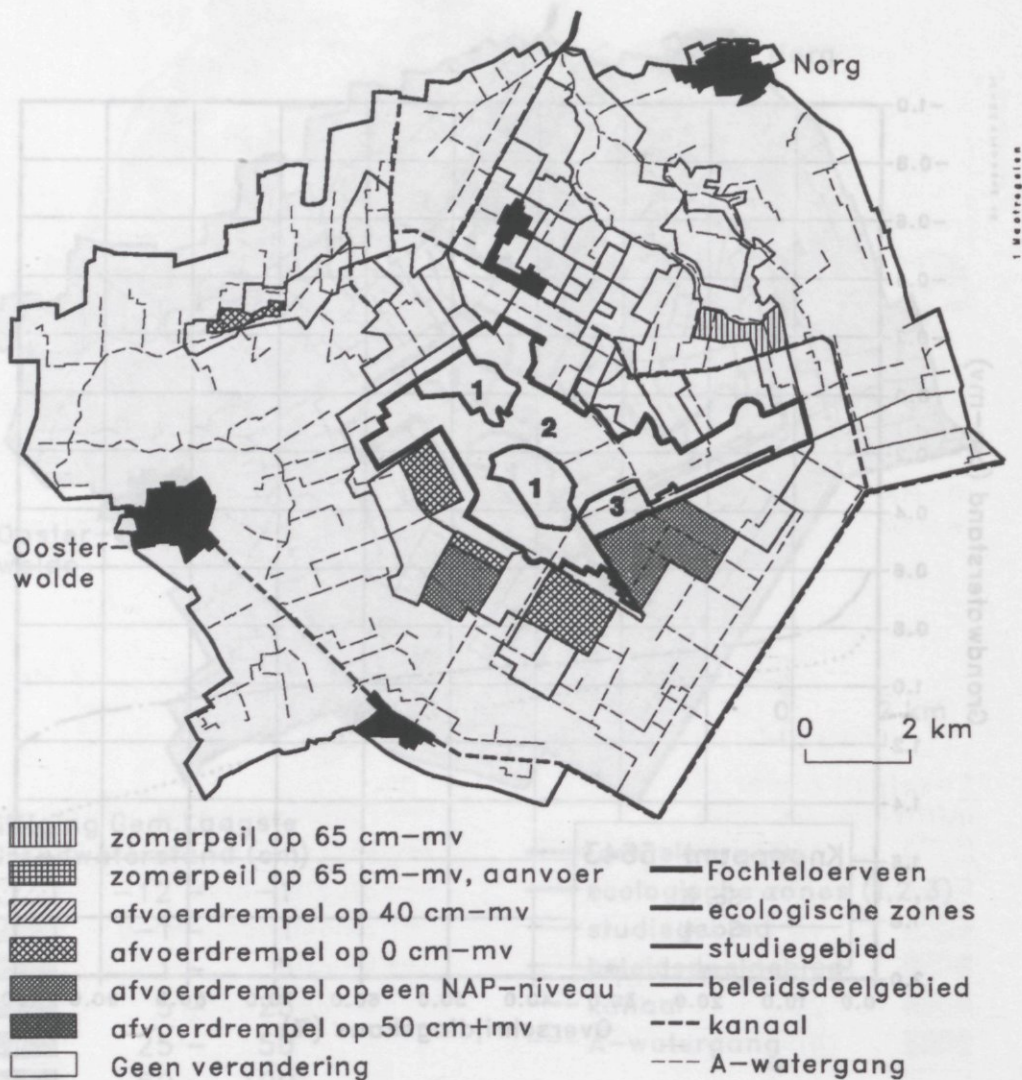


Fig. 76 Overzicht van maatregelen in scenario 5. In de deelgebieden met 'afvoerdrempel op NAP-niveau' komt die drempel op 9,50 m+NAP

ten oosten van het Fochteloërveen, met een dalvormige depressie die ongeveer oost-west loopt. Vernatting van dit gebied is mogelijk door het aan de zijde van het Fochteloërveen af te dammen; in dit scenario (Fig. 76) wordt de afvoerdrempel op 9,50 m+NAP gebracht. De feitelijke verhoging van de afvoerdrempel op de schaal van gridcellen is weergegeven in Fig. 77. In dit scenario wordt ook gedacht aan het beter benutten van gebiedseigen water dat nu in de zesde wijk ten noorden van het Fochteloërveen wordt geloosd. Door het water naar de Slokkert te leiden kan het worden gebruikt voor ondersteuning van het peilbeheer.

De invloed van de ingrepen is het duidelijkst zichtbaar aan de hand van de veroorzaakte stijging van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG), weergegeven in Fig. 78. Ten noorden van het Fochteloërveen is duidelijk zichtbaar



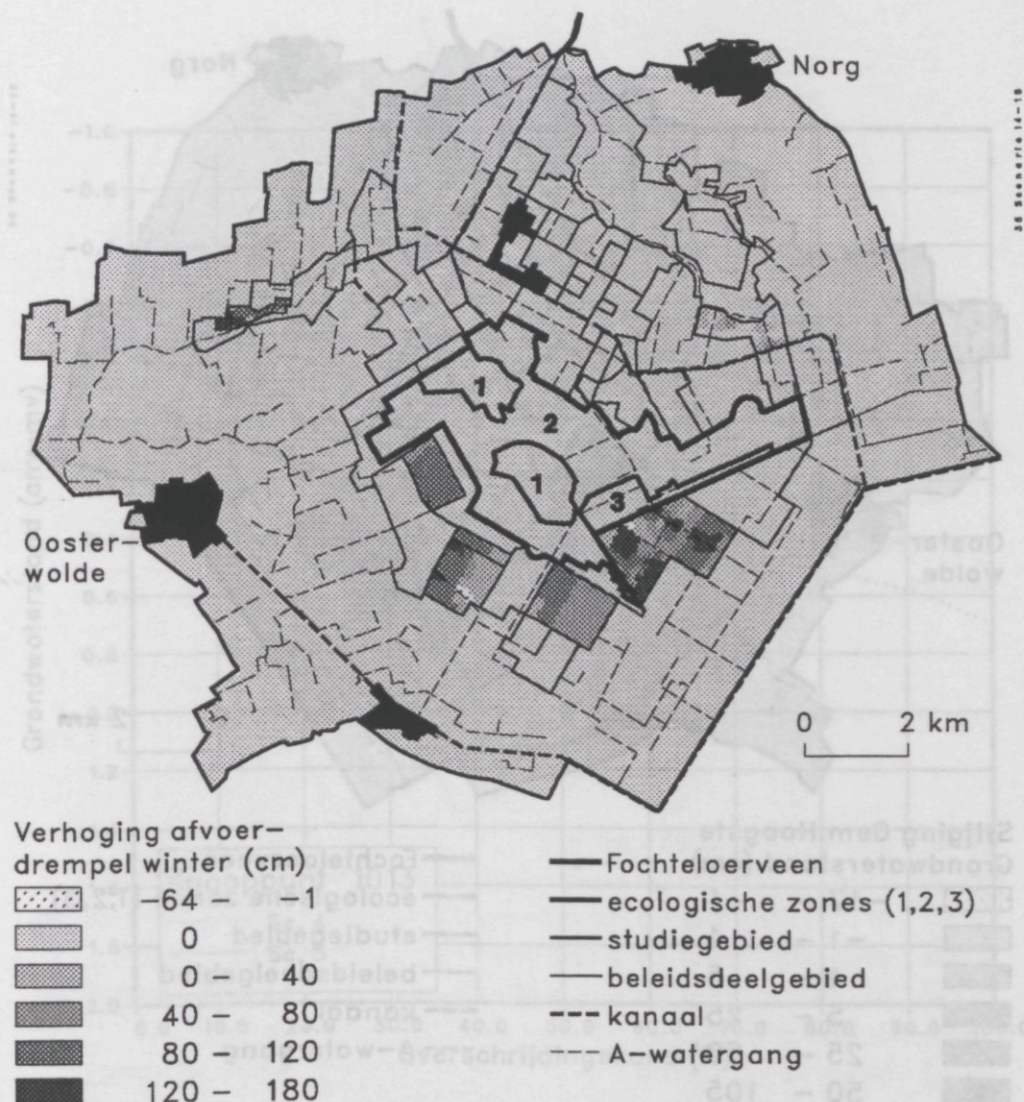


Fig. 77 Verhoging van de afvoerdrempel in scenario 5, weergegeven op de schaal van gridcellen van het model

dat de omleiding van oppervlaktewater leidt tot een stijging van grondwaterstanden in de directe nabijheid van de Slokkert. In het zuidelijke deel, direct tegenover Veenhuizen, blijkt dat er evenwel een lichte daling wordt voorspeld. Deze daling wordt veroorzaakt door aanpassing van het dwarsprofiel in verband met de hogere piekafvoeren die worden verwacht. De verruiming van het profiel heeft een vlakkere afvoer-peil-relatie tot gevolg, wat plaatselijk kan leiden tot een daling van de GHG. In de overige gebieden waar vernattingsmaatregelen worden getroffen treedt een duidelijke stijging van de GHG op; plaatselijke dalingen buiten de gebieden met maatregelen zijn wederom terug te voeren op effecten via het oppervlaktewater (minder toevoer vanuit gebieden waar vernatting plaatsvindt). Opvallend is verder de relatief grote uitstraling van effecten vanuit het dal van de Boven-Tjonger. Ter verdere illustratie van de hydrologische effecten van dit scenario zijn in Fig. 79 de duurlijn-grafieken van grondwaterstanden gegeven in een gridcel die ligt in de dalvormige depressie ten oosten van het Fochteloërveen.

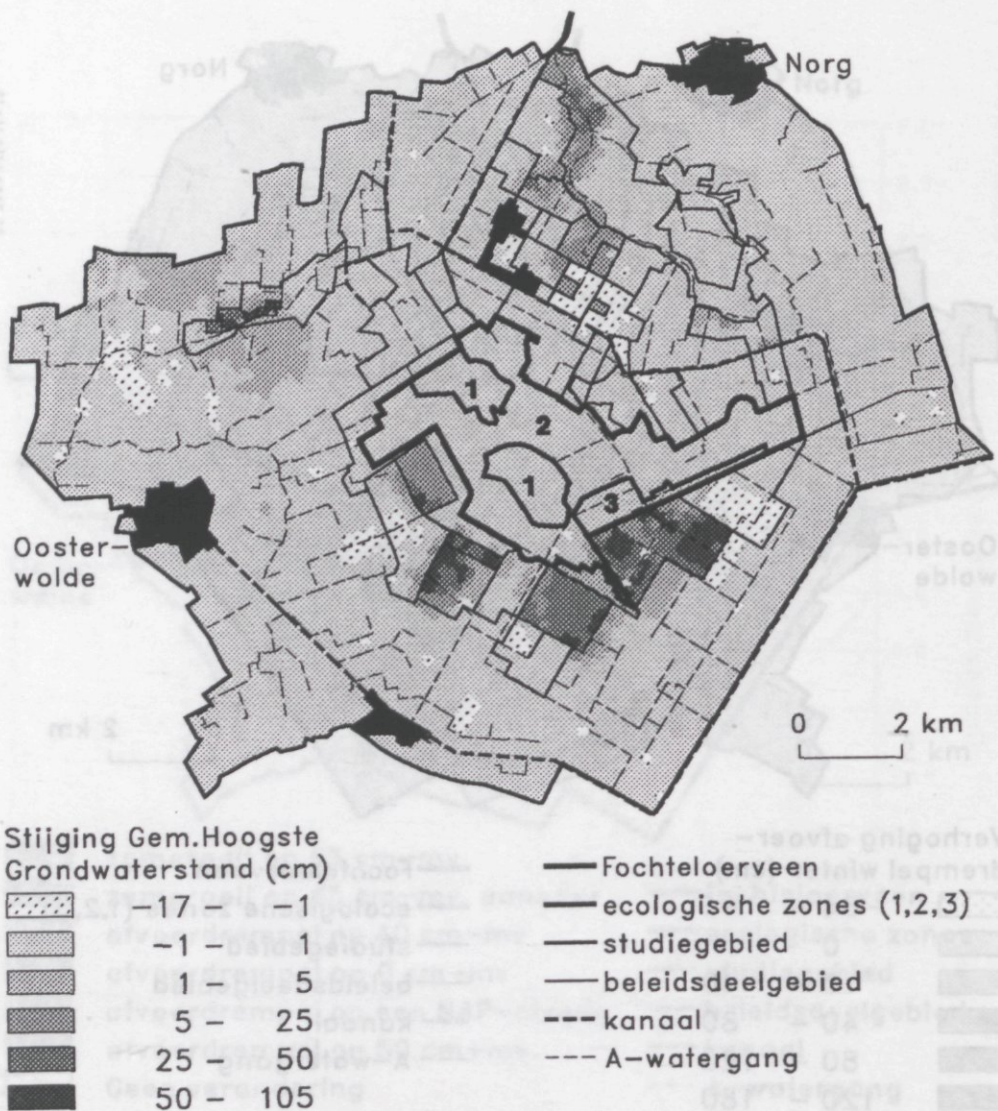


Fig. 78 Stijging van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) in scenario 5. Plaatselijke dalingen buiten de gebieden waar maatregelen worden getroffen zijn het gevolg van verminderde toevoer vanuit de vernattingsgebieden

Evenals voorgaande scenario's heeft dit scenario een zeer klein effect op de geschiktheids-score voor hoogveengroei in het Fochteloërveen: de gemiddelde score in zone 1 blijft gelijk, en in zone 2 is er een toename van 36,6 naar 36,9. De gemiddelde inundatieduur in zone 2 neemt toe van 133,6 naar 134,7 dagen/jaar. De afname van de droogschade op landbouwgronden bedraagt f 16 000,- per jaar, de toename van de natschade f 17 000,- per jaar, en de netto toename van schade f 1000,- per jaar.

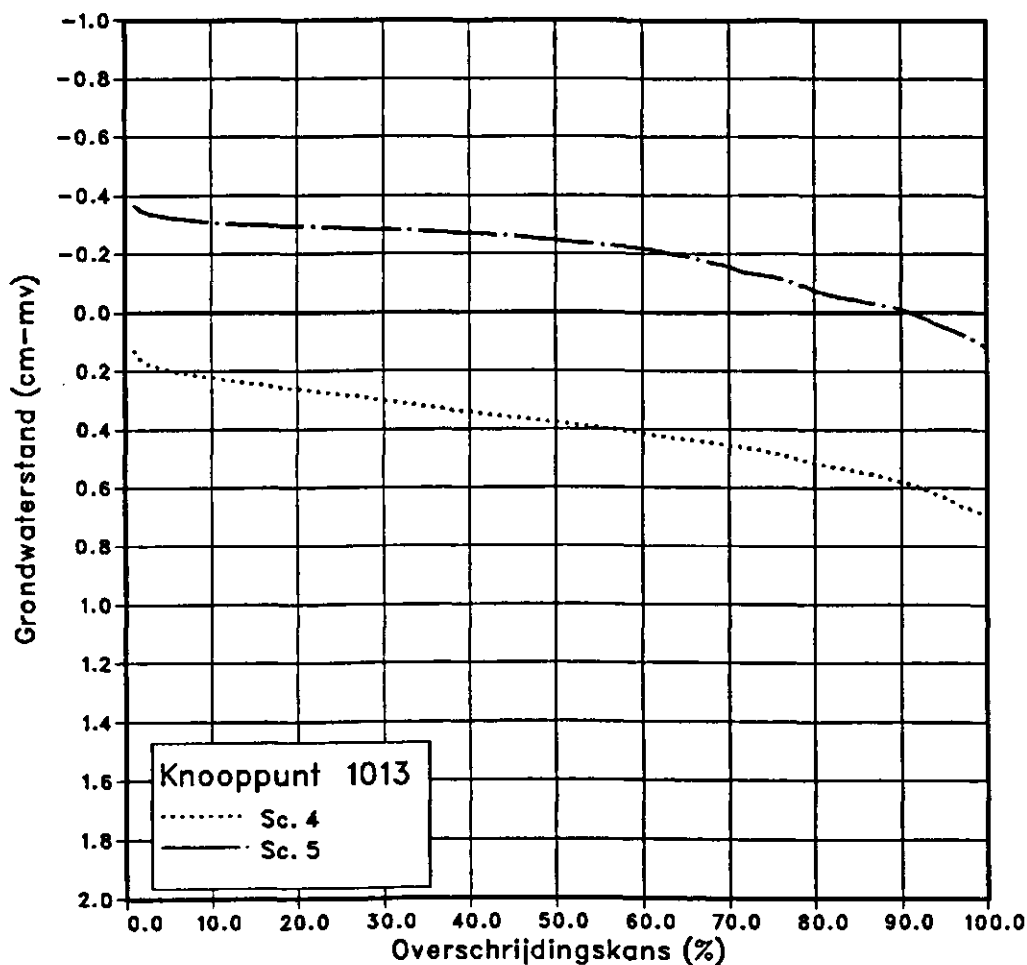


Fig. 79 Duurlijn-grafieken van grondwaterstanden in een gridcel in het vernattingsgebied ten zuidoosten van het Fochteloërveen in scenario 5

#### 4.2.8 Extra vernatting bos en enkele andere percelen (scenario 6)

In dit scenario worden de bosgebieden extra vernat, plus enkele andere percelen. Daaronder valt de polder bij Ravenswoud. Verder wordt het hele gebied van de Tempelstukken (waar de Slokkert doorheen loopt) eveneens verder vernat. Fig. 80 geeft een overzicht van de te treffen maatregelen. Het gaat bij alle maatregelen om het verhogen van de afvoerdrempel, en het dempen van sloten indien dat nog niet was gedaan. Een overzicht van de verhogingen van de afvoerdrempel (op de schaal van gridcellen van het model) wordt gegeven in Fig. 81. In scenario 6 wordt verder nog het oppervlaktewater dat eerst via de Lycklamavaart zo snel mogelijk in oostelijke richting (buigend om het Fochteloërveen) werd afgevoerd, nu via de polder

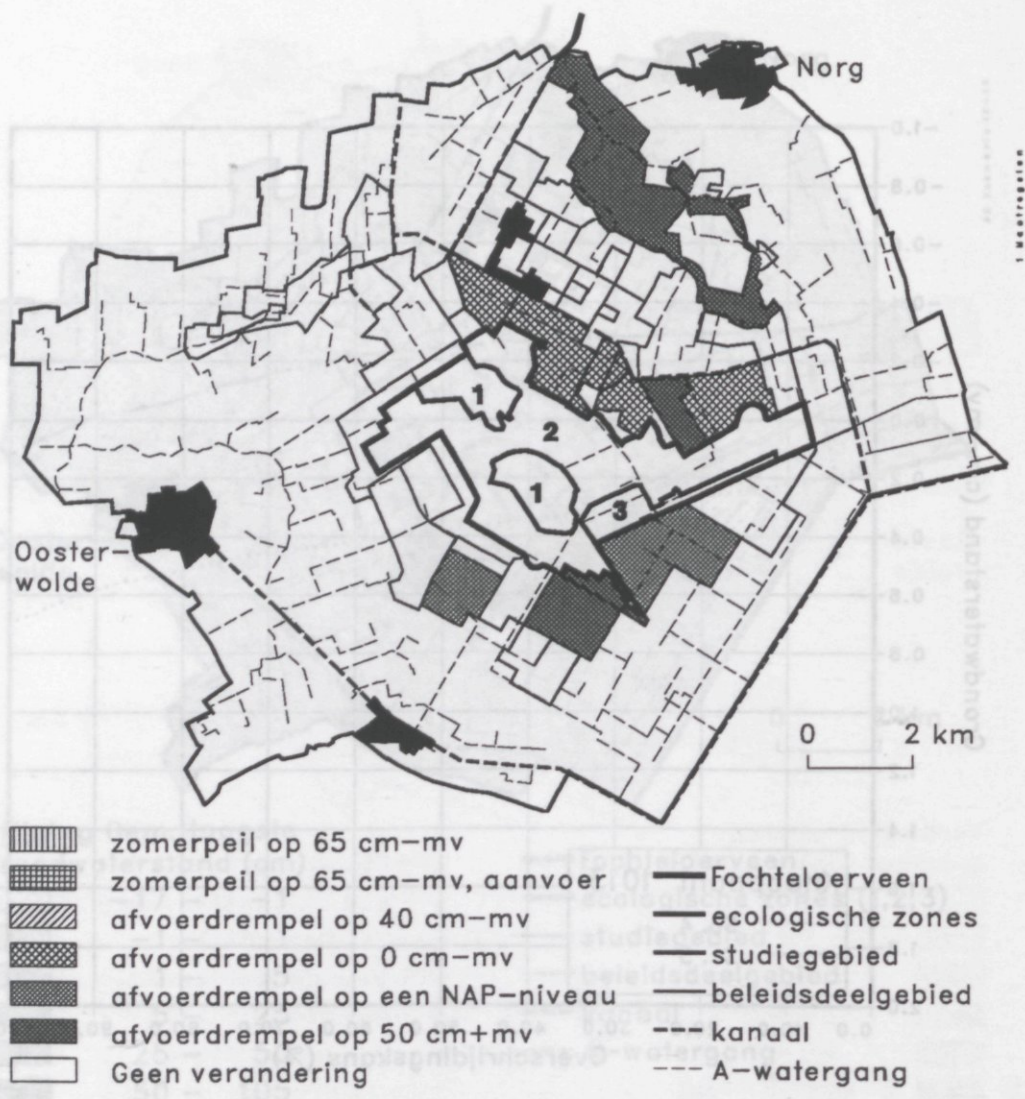


Fig. 80 Maatregelen voor extra vernatting in scenario 6. In de deelgebieden met 'afvoerdrempel op NAP-niveau' komt die drempel op 10,0 m+NAP

bij Ravenswoud geleid. Deze omleiding dient om de aldaar te realiseren vernatting te helpen effectueren.

**4.2.8.1 Verschil ten opzichte van scenario 5**

In Fig. 82 wordt een beeld gegeven van de te verwachten stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) als gevolg van de maatregelen in scenario 6. Het gaat daarbij om relatief forse stijgingen, die ook in gebieden waar potklei in de ondergrond zit (ten zuiden van het Fochteloeerveen) een behoorlijke uitstraling naar de omgeving vertonen. De uitstraling vanuit de Tempelstukken is echter nog veel groter, in verband met de (op basis van de calibratie vermoede) afwezigheid van de potklei aldaar.

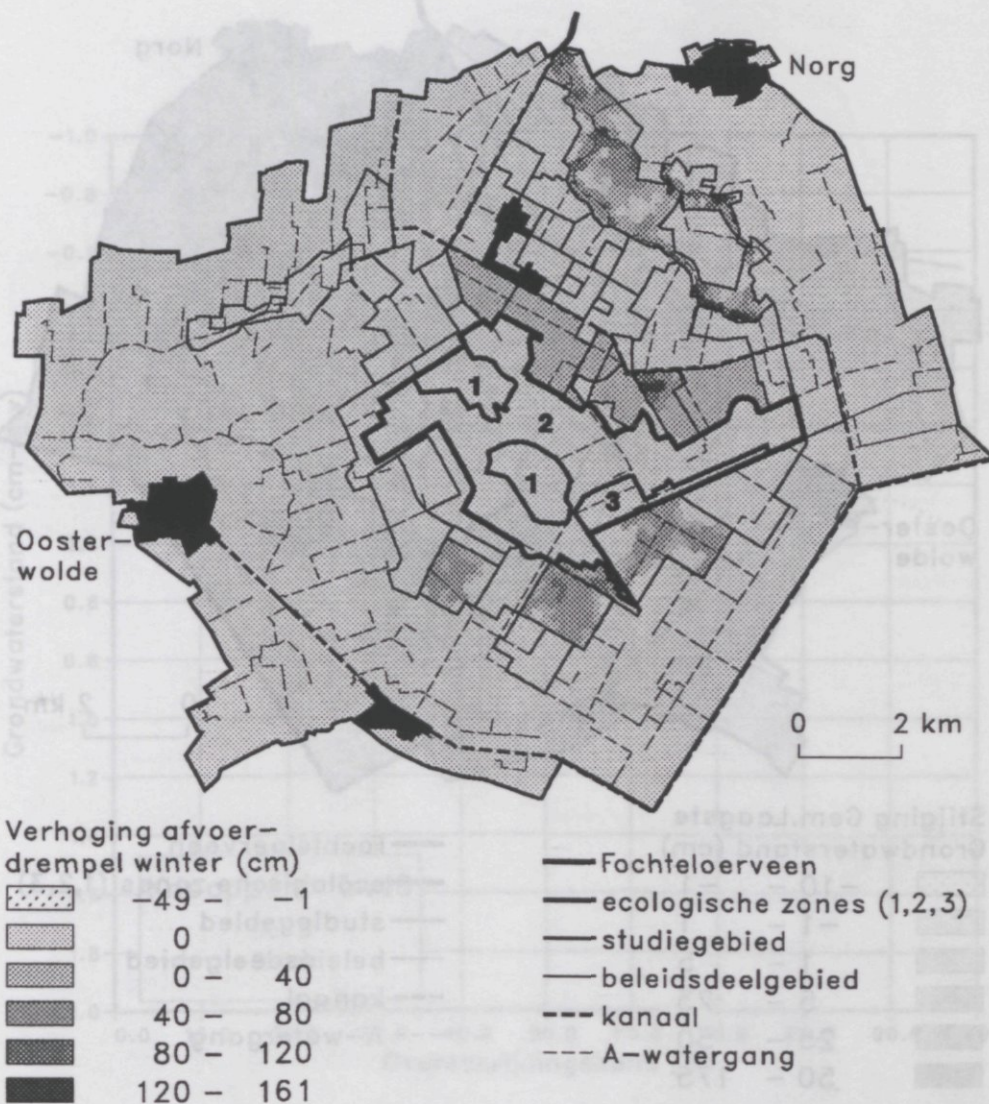


Fig. 81 Verhogingen van de afvoerdrempel in scenario 6, weergegeven op de schaal van gridcellen van het model

Het patroon van de verhoging ten oosten van het Fochteloërveen is karakteristiek voor een maatregel waarbij de afvoerdrempel ter plekke van het laagste punt verhoogd wordt, een zogenaamde NAP-maatregel: het effect reikt tot waar de waterspiegel het maaiveld langs de flanken van de dalvormige depressie ontmoet. Fig. 83 geeft een verdere illustratie van de uitwerking van dit type maatregel, in de vorm van duurlijngrafieken voor gridcellen.

Wat betreft de effecten van scenario 6 op het Fochteloërveen is duidelijk te zien dat deze voornamelijk optreden in de noordoost-hoek van zone 2. Op de gemiddelde geschiktheids-score voor hoogveengroei in zone 2 blijkt scenario 6 een stijging van 35,4 naar 36,8 te geven; de gemiddelde inundatieduur in zone 2 neemt toe van 134,7 naar 139,4 dagen per jaar.

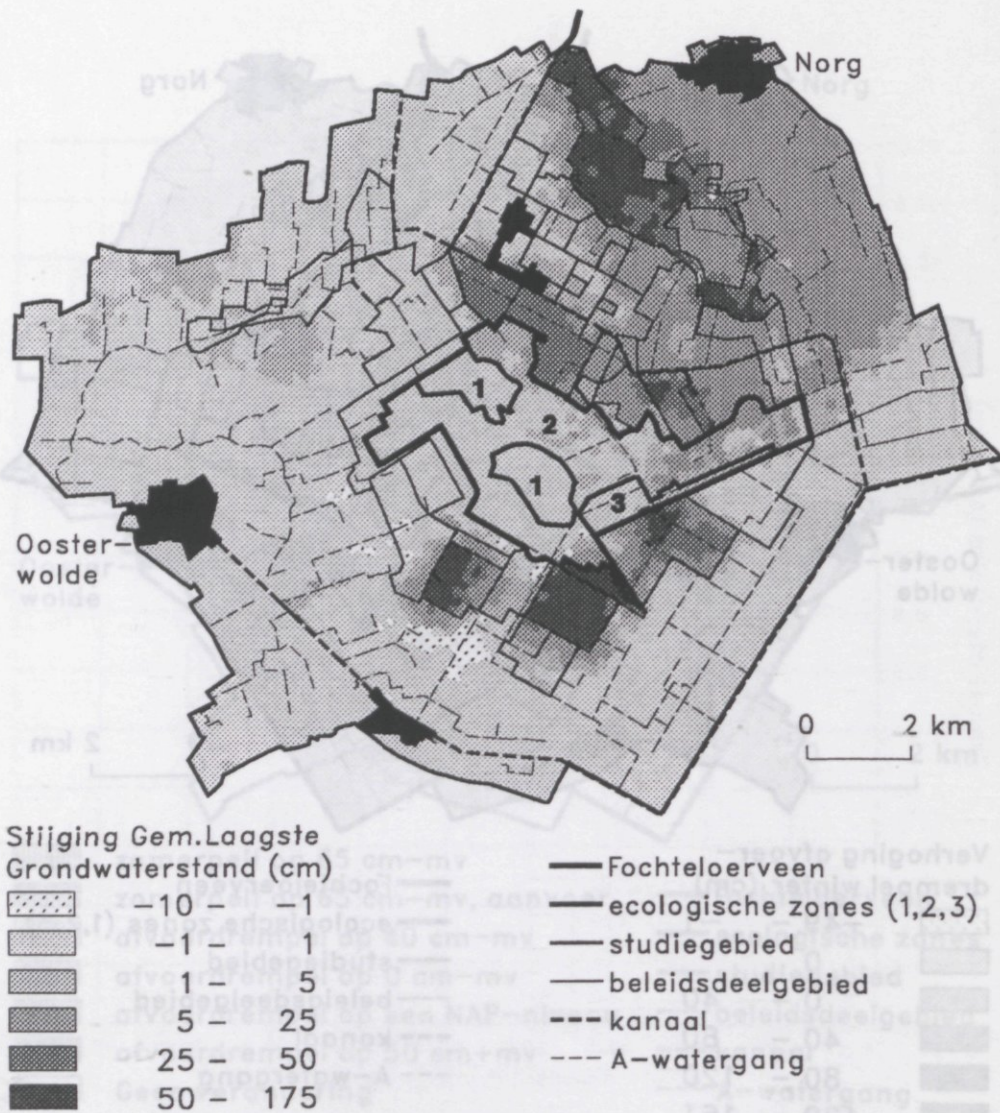


Fig. 82 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) als gevolg van maatregelen in scenario 6

Voor het omringende landbouwgebied wordt een totale afname van de droogshade met f 128 000,- per jaar berekend, en een totale toename van de natschade met f 29 000,- per jaar; netto is dit een afname van de schade met f 99 000,- per jaar. Het areaal landbouwgrond blijft daarbij constant.

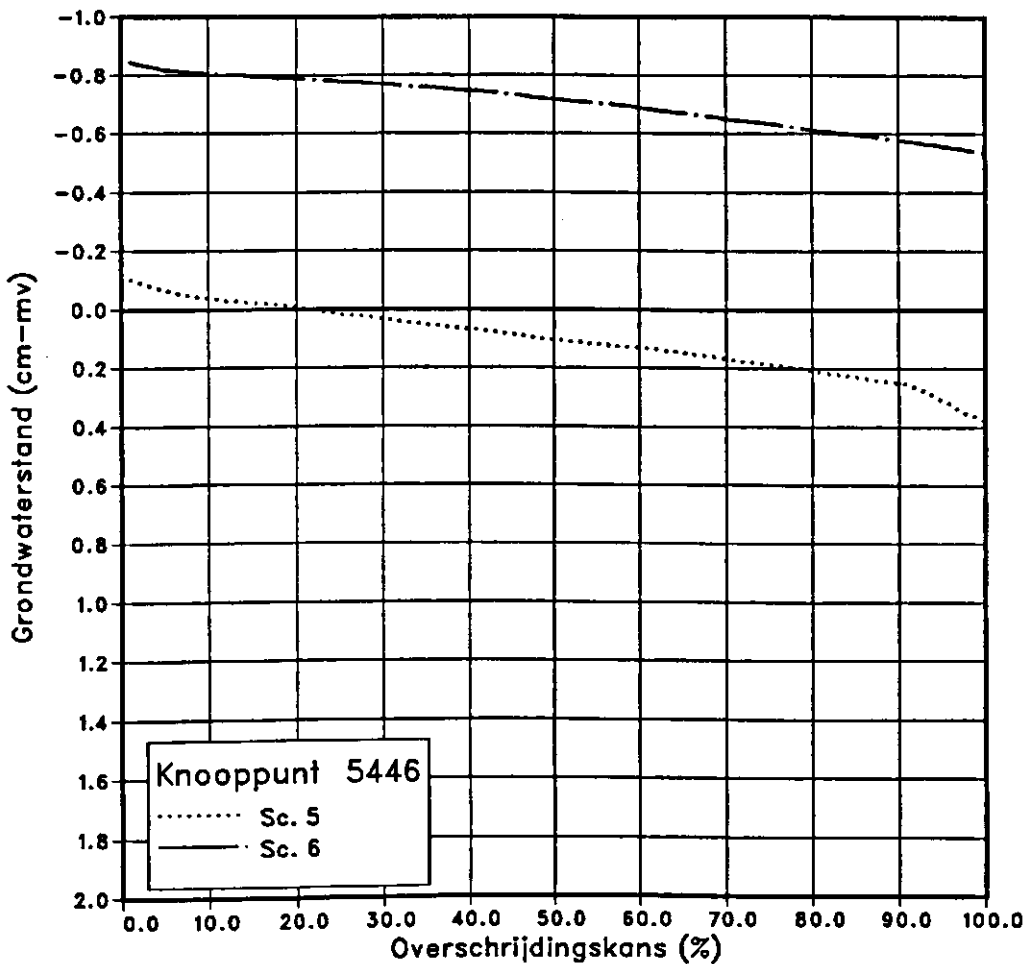


Fig. 83 Duurlijn-grafieken van grondwaterstanden in een gridcel in de dalvormige depressie ten zuidoosten van het Fochteloërveen die in scenario 6 wordt vernat (zie Fig. 80)

#### 4.2.8.2 Verschil ten opzichte van scenario 2

Ter illustratie van het cumulatieve effect van de verschillende scenario's is het ook interessant om bijvoorbeeld scenario 6 te vergelijken met scenario 2, d.w.z het scenario met de 'autonome' ontwikkeling in het Fochteloërveen en de randzone. Een belangrijk gegeven daarbij is dat in scenario 6 ten opzichte van 2 in totaal 810 ha landbouwgrond gebruikt wordt voor natuurontwikkeling.

De totale stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 6 ten opzichte van scenario 2 wordt gegeven in Fig. 84. Het blijkt dat ondanks de opeenstapeling van effecten de GLG in zone 1 van het Fochteloërveen niet of

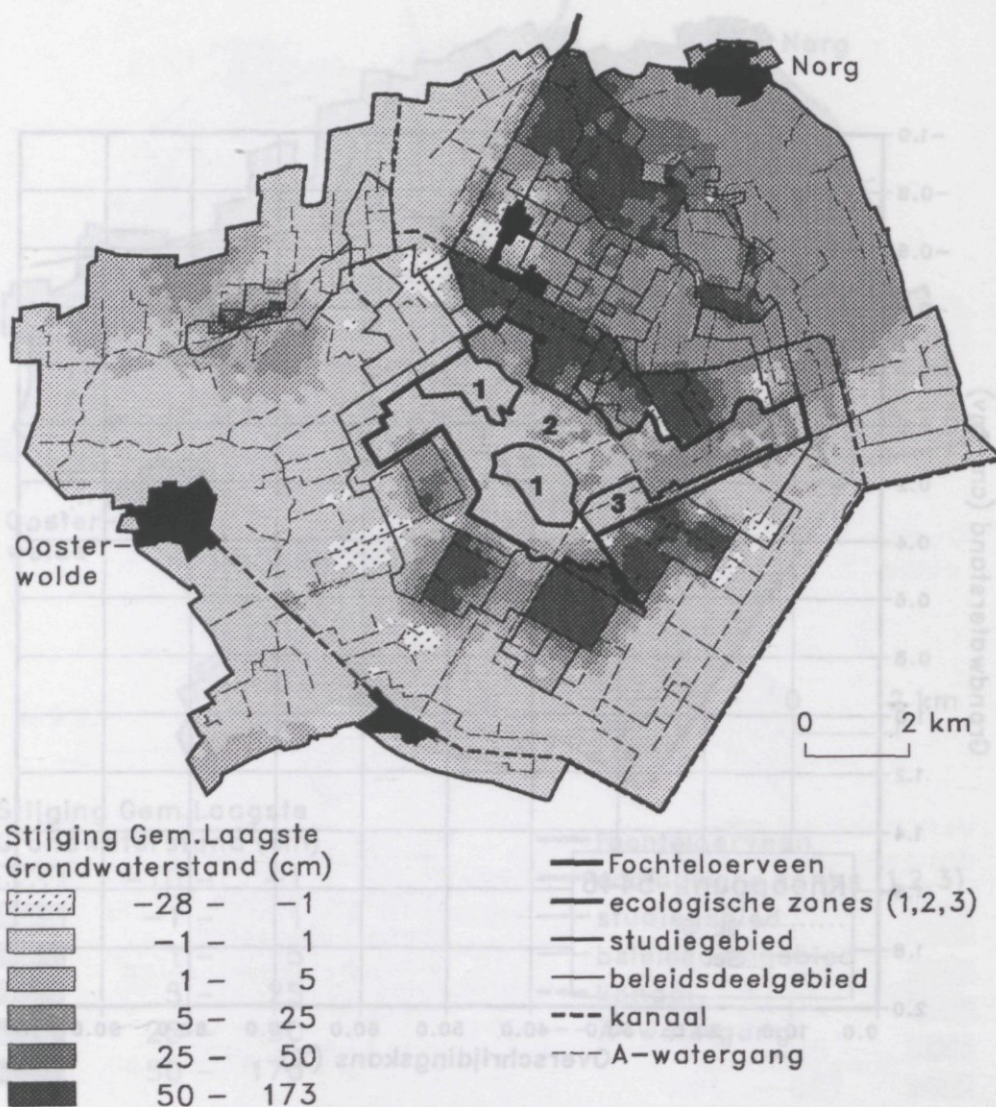


Fig. 84 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in scenario 6 ten opzichte van scenario 2

nauwelijks wordt beïnvloed. Dat blijkt ook uit het overzichtsbeeld van effecten op de geschiktheid voor hoogveengroei, dat gegeven wordt in Fig. 85. De geschiktheidscore voor hoogveengroei neemt voor zone 1 toe van gemiddeld 77,8 naar 78,0. Wel blijken er aantoonbare effecten op te treden in zone 2, waar de doelstelling bestaat uit terugdringing van pijpestrootje; dit blijkt uit het overzicht met de toename van de inundatieduur die gegeven wordt in Fig. 86. De gemiddelde inundatieduur neemt toe van 129,6 naar 139,4. In zone 2 neemt de geschiktheids-score voor hoogveengroei toe van gemiddeld 34,0 naar 36,8.

De totale afname van de droogschade bedraagt f 224 000,- per jaar, de totale afname van de natschade f 38 000,- per jaar, en de netto afname van de schade f 262 000,- per jaar (zie ook Fig. 87 en 88).



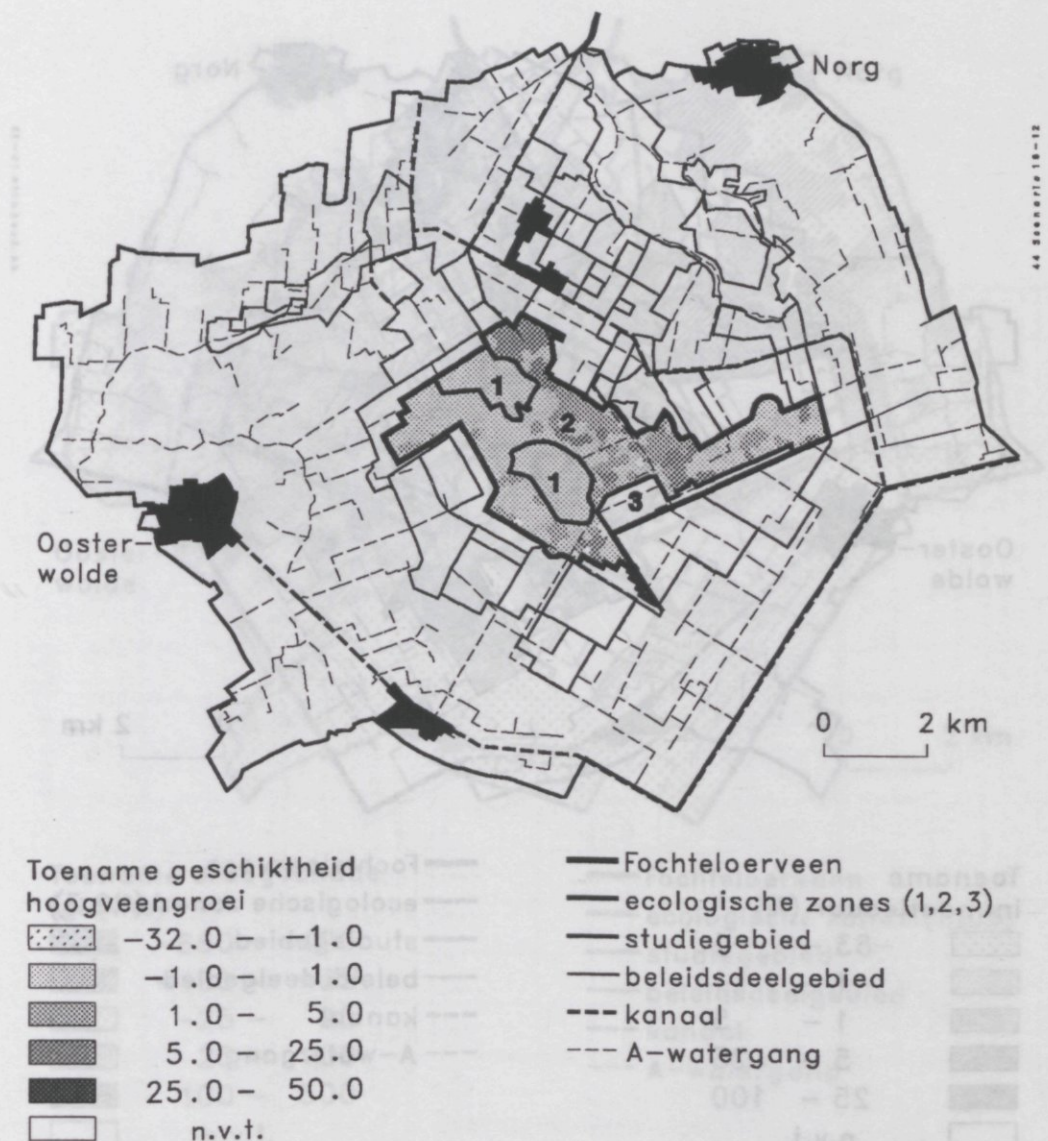


Fig. 85 Stijging van de geschiktheids-score voor hoogveengroei in scenario 6 ten opzichte van scenario 2

Uit de duurlijn-grafieken van afvoeren (Fig. 89) blijkt dat als gevolg van de vernattingsmaatregelen in het omliggende gebied de piekafvoeren van het Fochteloërveen iets toenemen. Deze toename is echter geringer dan de afname als gevolg van interne vernattingsmaatregelen: de maatgevende afvoer neemt toe van  $1070 \text{ l.s}^{-1}$  ( $0,56 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) in scenario 2 naar  $1165 \text{ l.s}^{-1}$  ( $0,61 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) in scenario 6, terwijl voor de huidige situatie (scenario 0) het model een waarde van  $1285 \text{ l.s}^{-1}$  ( $0,68 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) heeft berekend (zie par. 4.2).

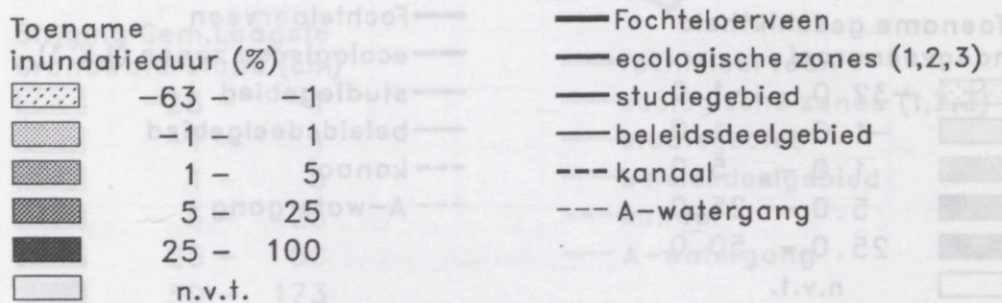
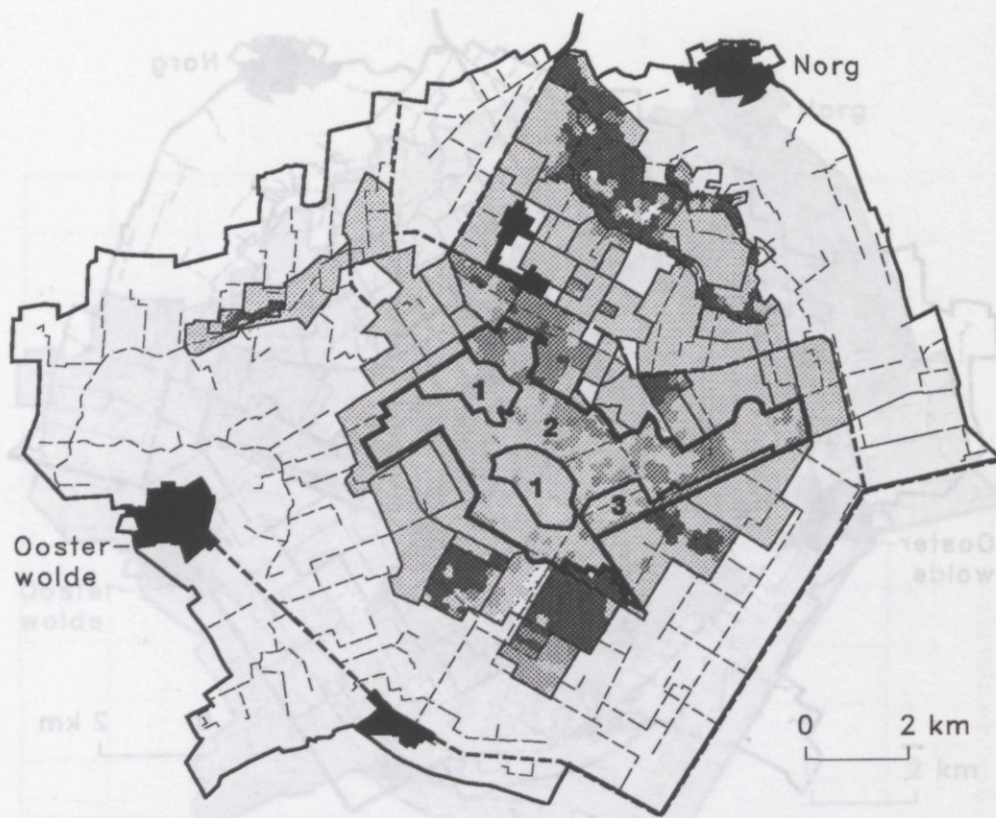


Fig. 86 Toename van de inundatieduur in scenario 6 ten zichte van scenario 2

De totale afname van de droogschade bedraagt f 224 000,- per jaar, de totale afname van de nat schade f 38 000,- per jaar, en de netto afname van de schade f 262 000,- per jaar (zie ook Fig. 87 en 88).

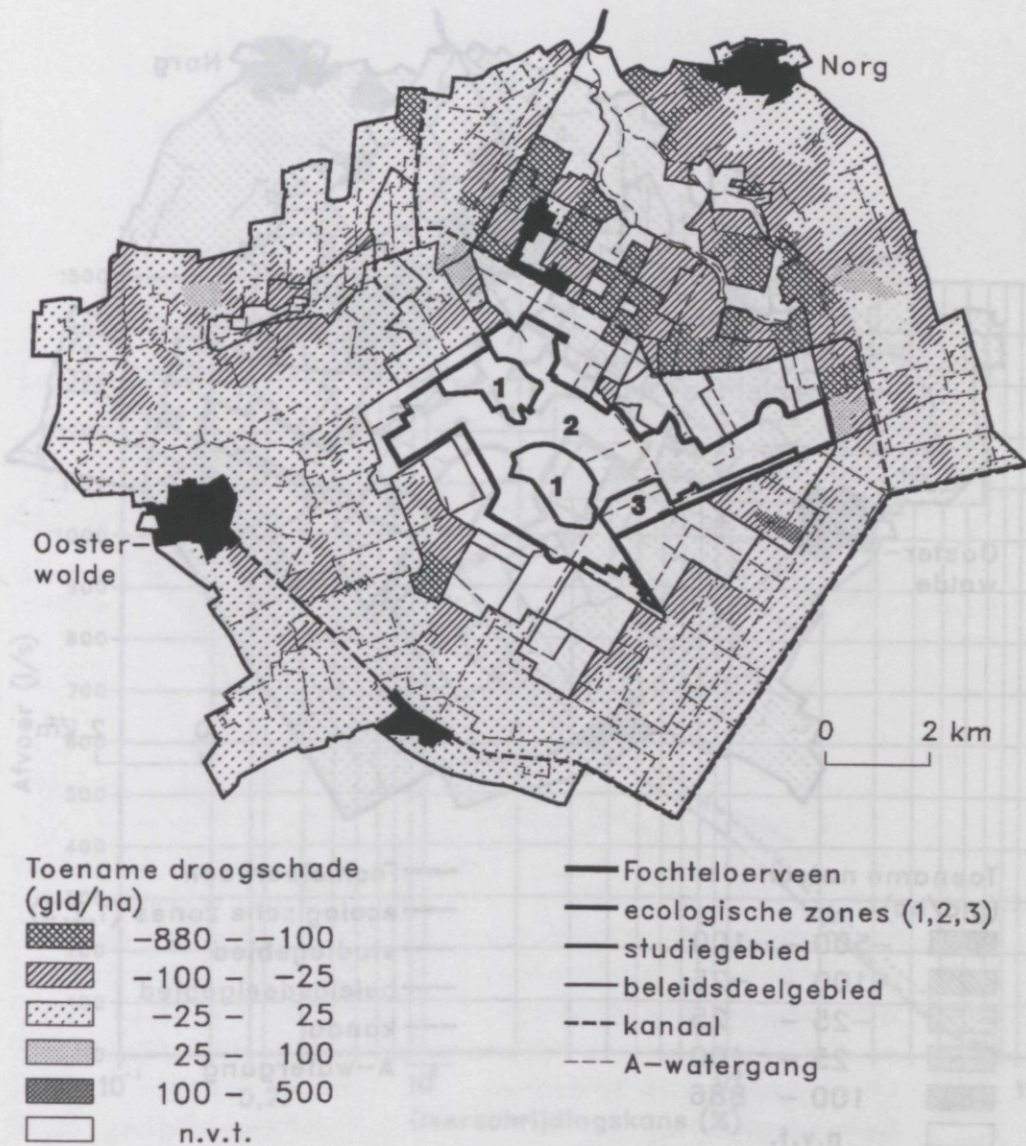


Fig. 87 Afname (negatieve toename) van de droogschade van de landbouw als gevolg van vernattingsmaatregelen in scenario 6 ten opzichte van scenario 2

#### 4.2.3 Extra functiewijzigingen in het landbouwgebied en nieuw beleid (scenario 7)

Scenario 7 is het meest vergaande scenario uit de onderzochte reeks. Extra vernatting gaat daarin gepaard aan functiewijzigingen en nieuw beleid. Een overzicht van de maatregelen wordt gegeven in fig. 90. De uitwerking van deze maatregelen op de afvoertimpel in gridcellen van het model is weergegeven in fig. 91. In gebieden met de maatregel 'zomerpeil 62 van 0-1' is er sprake van afwijkend waterbeheer in het zomerhalfjaar, waarbij gebruik wordt gemaakt van een automatische stuw. In

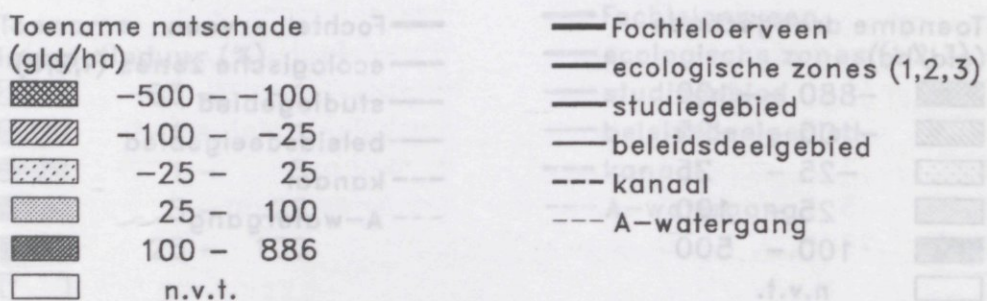
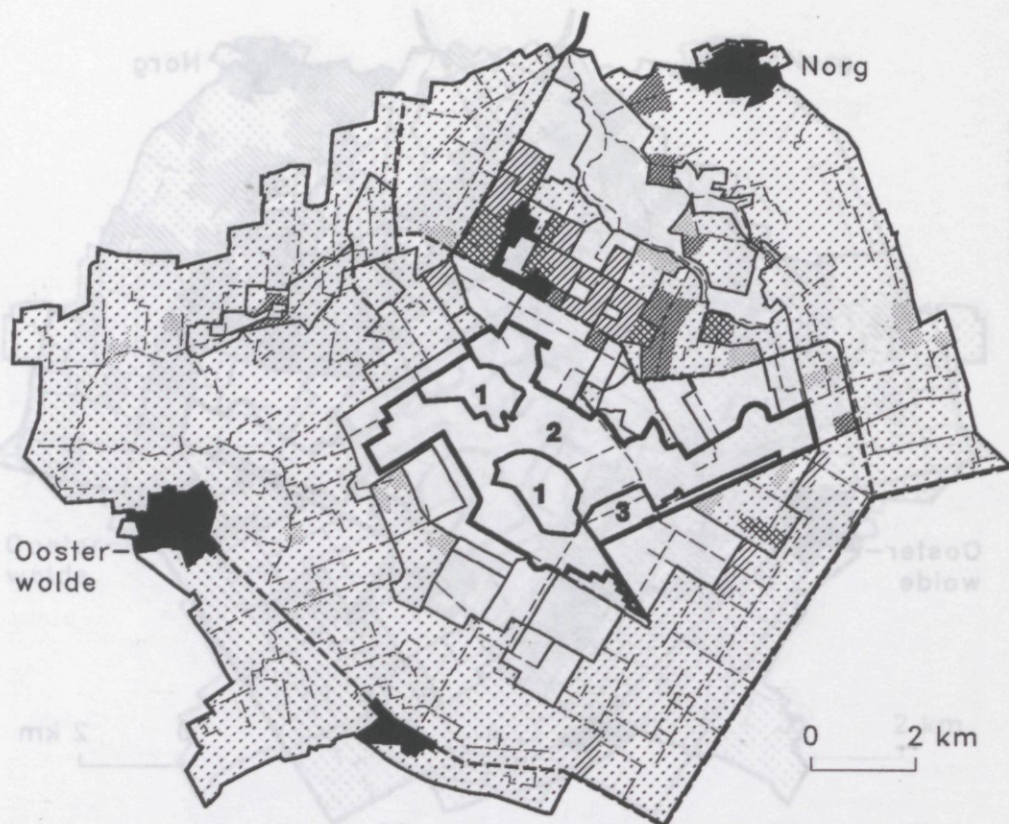


Fig. 88 Toename van de natschade van de landbouw als gevolg van vernattingsmaatregelen in scenario 6 ten opzichte van scenario 2

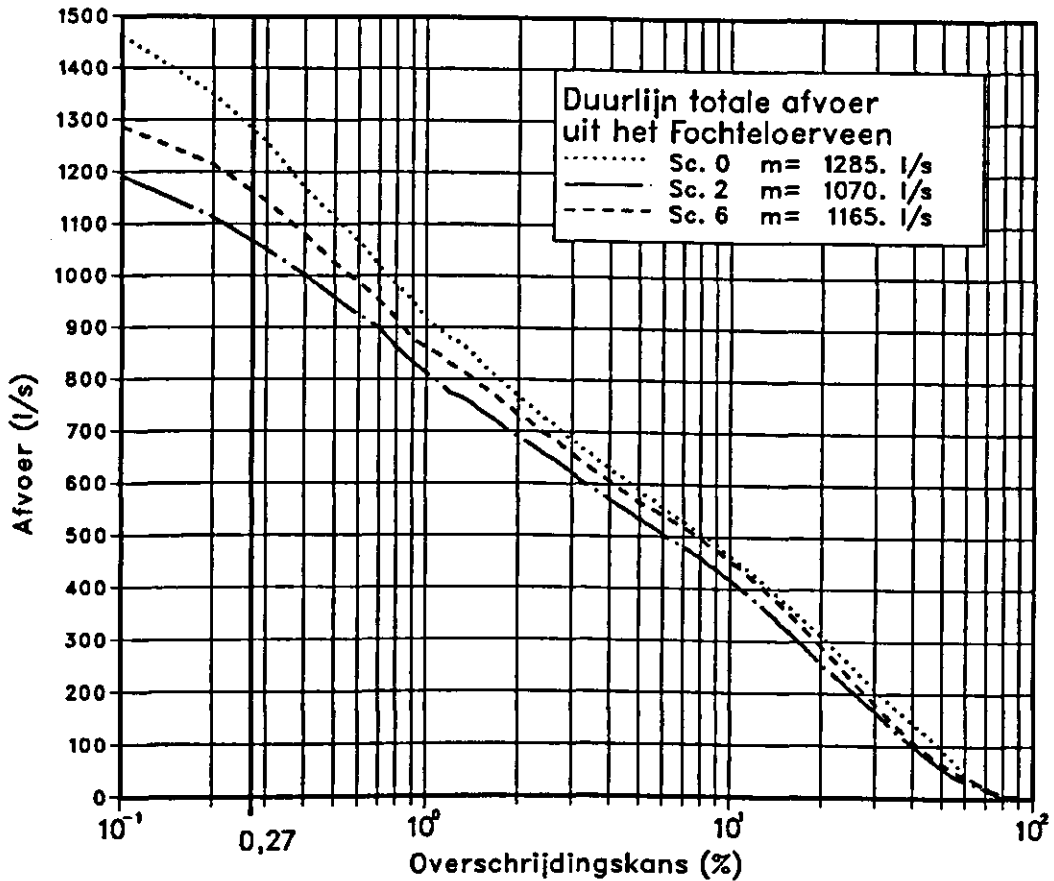


Fig. 89 Duurlijnen van totale afvoer uit het Fochteloërveen, voor scenario 1, 2 en 6. Uit de duurlijnen blijkt dat vernatting van gebieden rondom het Fochteloërveen leidt tot een lichte toename van piekafvoeren. Deze toename is echter geringer dan de afname als gevolg van de interne maatregelen in scenario 2

#### 4.2.9 Extra functiewijzigingen in het landbouwgebied en nieuw beleid (scenario 7)

Scenario 7 is het meest vergaande scenario uit de onderzochte reeks. Extra vernatting gaat daarin gepaard aan functiewijzigingen en nieuw beleid. Een overzicht van de maatregelen wordt gegeven in Fig. 90. De uitwerking van deze maatregelen op de afvoerdrempel in gridcellen van het model is weergegeven in Fig. 91. In gebieden met de maatregel 'zomerpeil 65 cm-mv' is er sprake van afwijkend waterbeheer in het zomerhalfjaar, waarbij gebruik wordt gemaakt van een automatische stuw. In

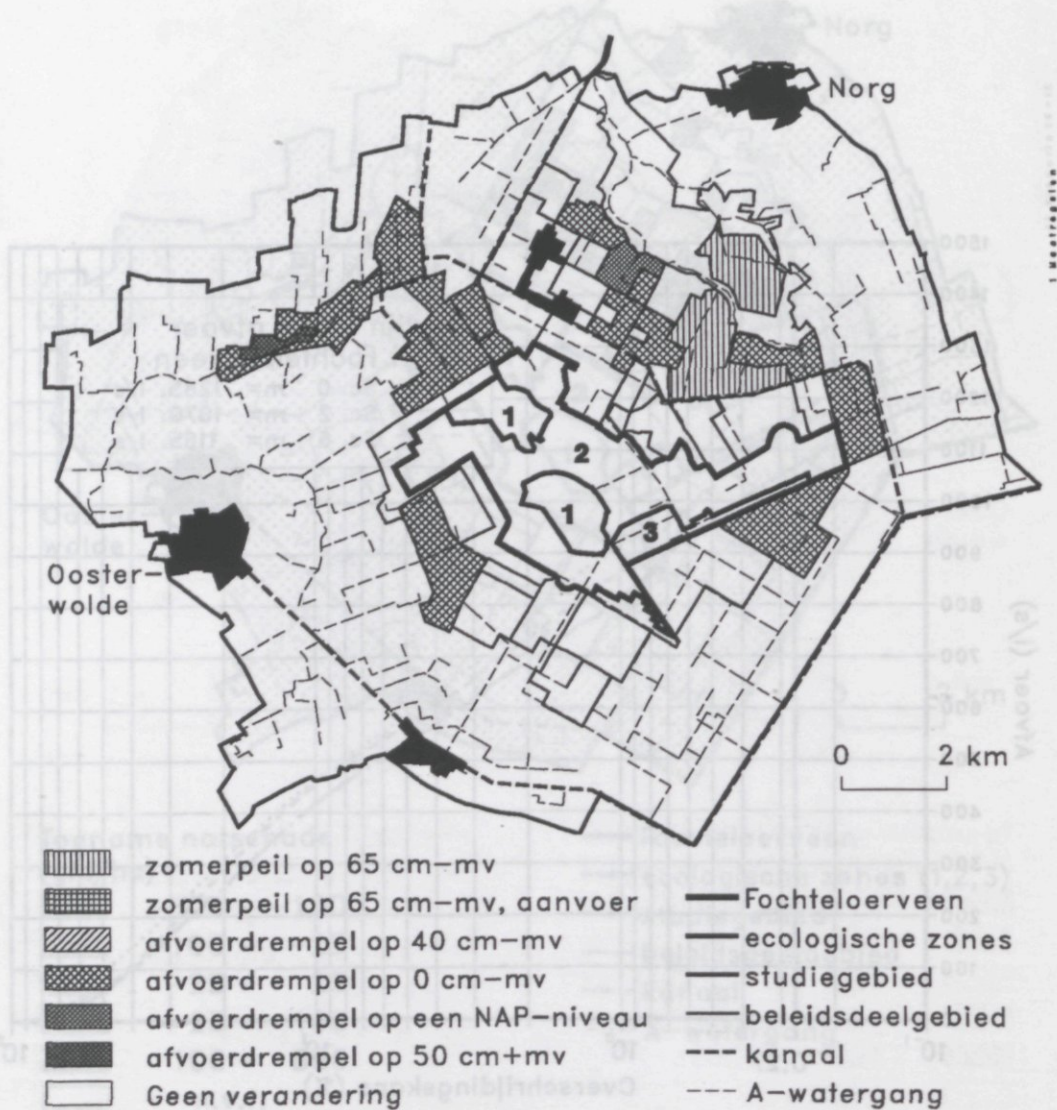


Fig. 90 Overzicht van maatregelen in scenario 7. In de deelgebieden met de maatregel 'afvoerdrempel op NAP-niveau' komt die drempel op 7,5 m+NAP

Fig. 92 wordt voor deze gebieden het peil ten opzichte van maaiveld weergegeven op de schaal van gridcellen, voor infiltratiesituaties, zoals gedaan is voor scenario 4 (zie par. 4.7).

De berekende effecten op de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) zijn weergegeven in Fig. 93. Ook hier zijn er weer 'tegendraadse' effecten zichtbaar in de vorm van dalingen die worden veroorzaakt door effecten via het oppervlaktewatersysteem.

De gemiddelde geschiktheids-score voor hoogveengroei in zone 1 blijkt niet toe te nemen; die van zone 2 gaat echter van 36,8 naar 37,6. De effecten op inundatieduur in zone 2 zijn eveneens beter aantoonbaar; een overzicht wordt gegeven in Fig. 94; gemiddeld neemt de inundatieduur toe van 139,4 naar 142,7 dagen/jaar.

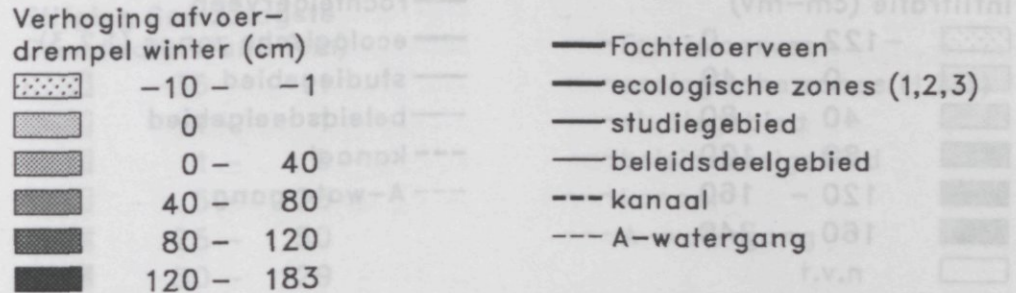
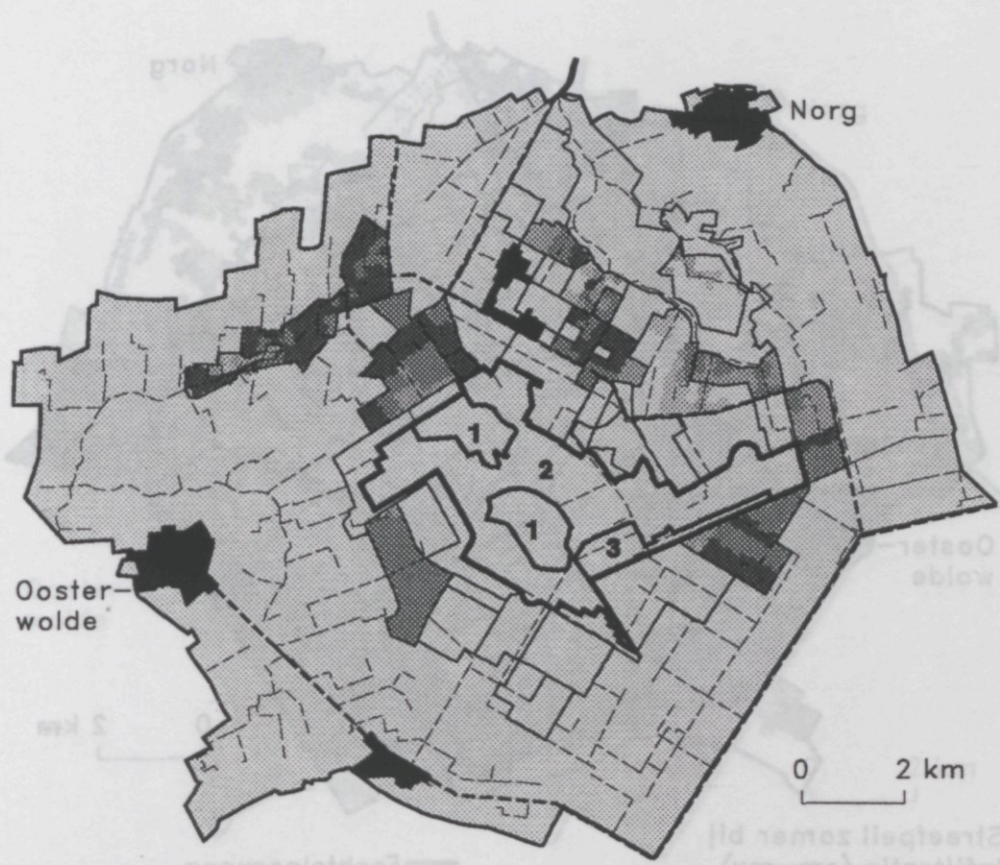


Fig. 91 Verhoging van de afvoerdrempel in scenario 7, weergegeven op de schaal van gridcellen van het model

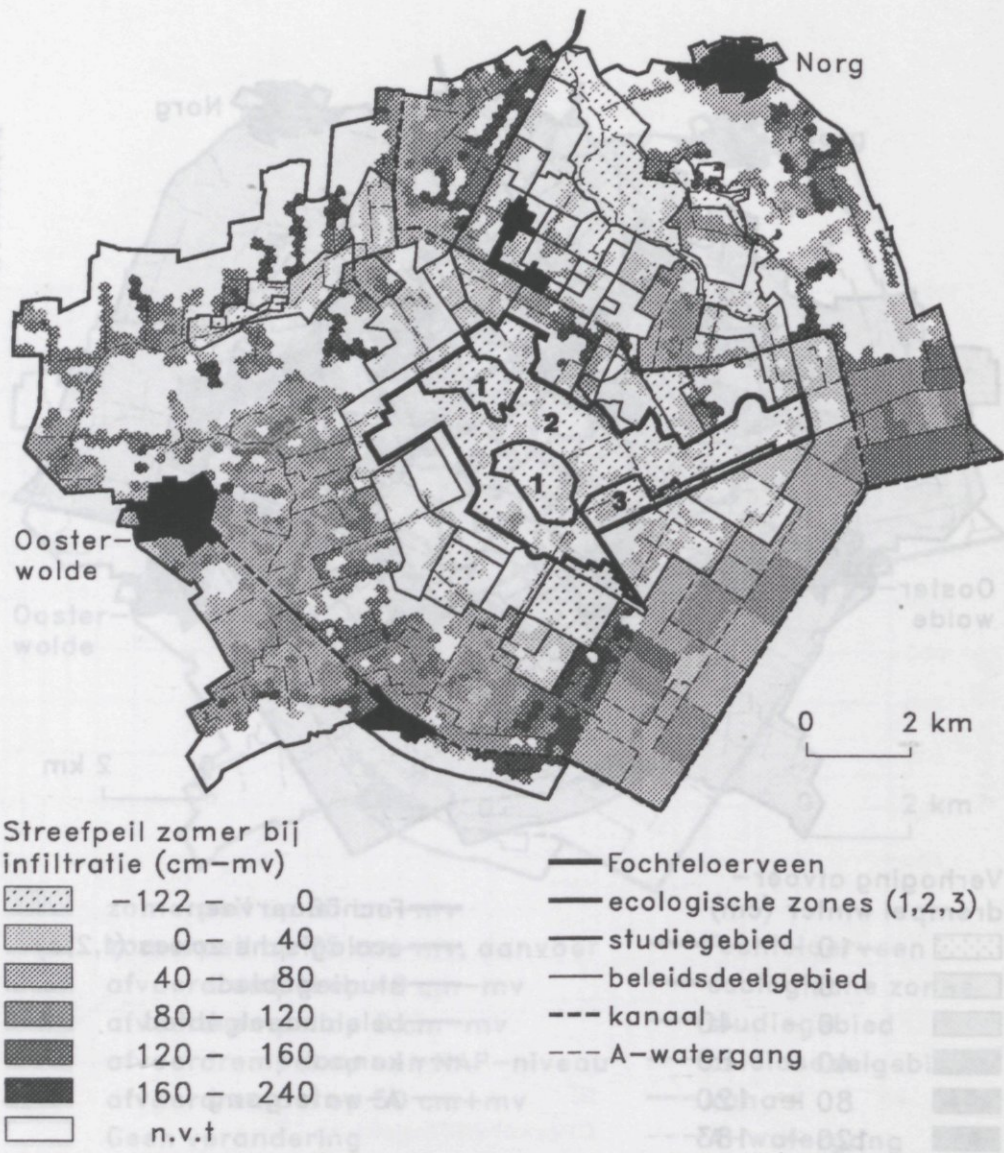


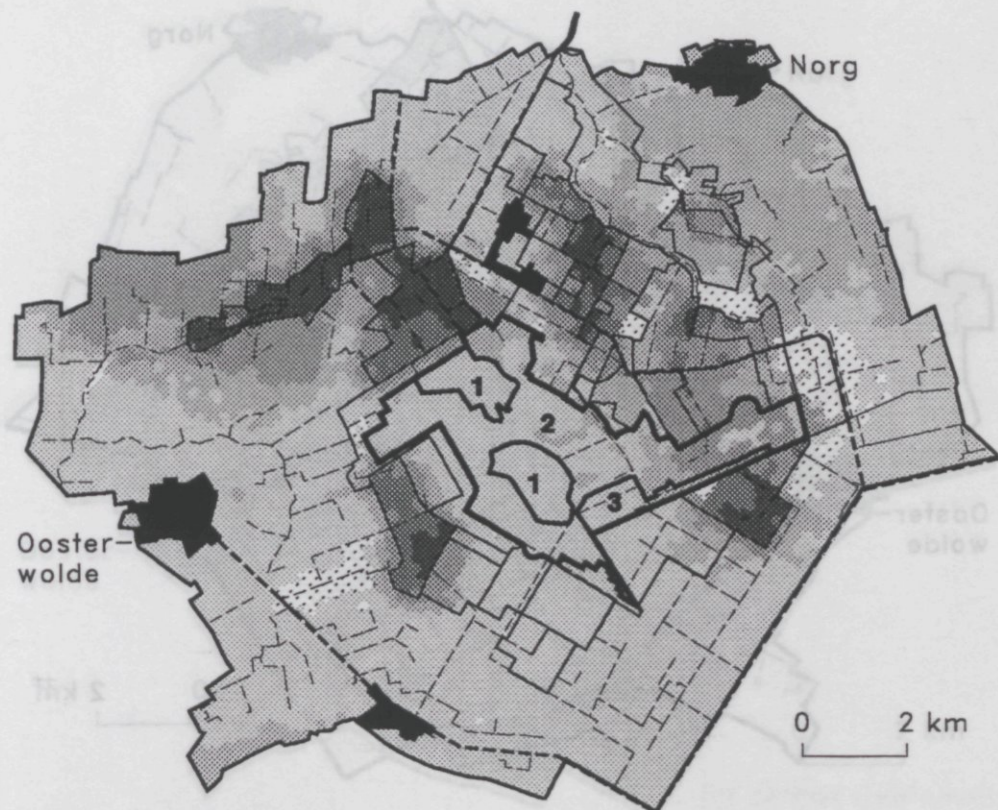
Fig. 92 Zomerstreefpeil in gebieden met waterconservering in scenario 7, weergegeven op de schaal van gridcellen van het model voor infiltratiesituaties

Fig. 92 wordt voor deze gebieden het peil ten opzichte van maaiveld weergegeven op de schaal van gridcellen, voor infiltratiesituaties, zoals gedaan is voor scenario 4 (zie par. 4.7).

De berekende effecten op de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) zijn weergegeven in Fig. 93. Ook hier zijn er weer 'tegenstreekse' effecten zichtbaar in de vorm van dalingen die worden veroorzaakt door effecten via het oppervlaktewaterstelsel.

De gemiddelde geschiktheids-score voor hoogveengroei in zone 1 blijft niet toe te nemen; die van zone 2 gaat echter van 36,3 naar 37,6. De effecten op inundatieduur in zone 2 zijn eveneens beter aantoonbaar, een overzicht wordt gegeven in Fig. 94; gemiddeld neemt de inundatieduur toe van 139,4 naar 142,7 dagen/jaar.





Stijging Gem.Laagste  
Grondwaterstand (cm)

	-36 - -1
	-1 - 1
	1 - 5
	5 - 25
	25 - 50
	50 - 129

- Fochteloerveen
- ecologische zones (1,2,3)
- studiegebied
- beleidsdeelgebied
- kanaal
- A-watergang

Fig. 93 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) als gevolg van verdere vernatting in scenario 7

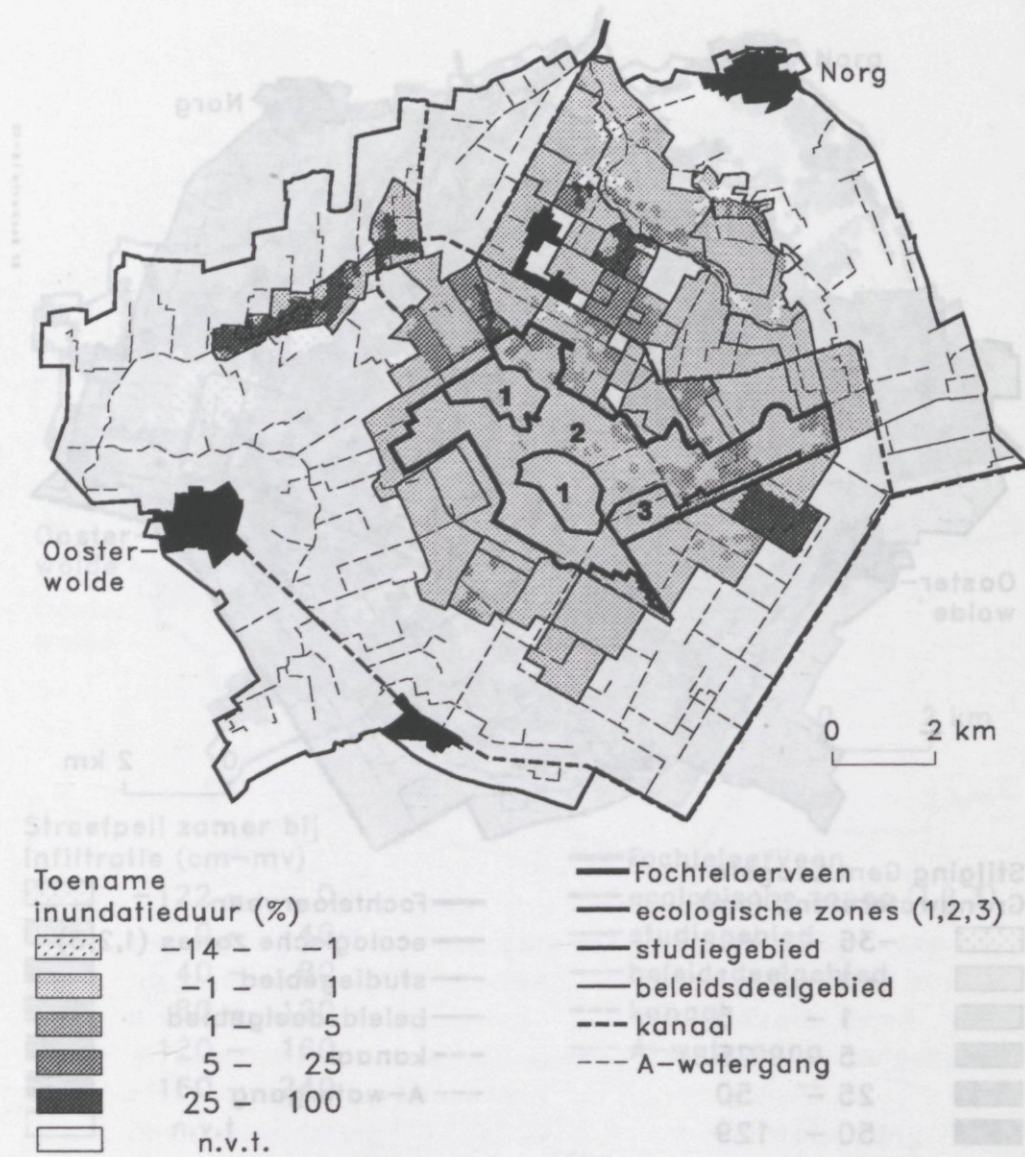


Fig. 94 Toename van de inundatieduur als gevolg van verdere vernatting in scenario 7

#### 4.2.10 Scenario's met waterconservering en wateraanvoer in het landbouwgebied (scenario's 6a en 6b)

Een tweetal scenario's is onderzocht waarin maatregelen worden doorgerekend voor het landbouwgebied buiten de zogenaamde beleidsdeelgebieden (Fig. 40). In scenario 6a wordt in dat gebied overal waterconservering met een peil van 65 cm-mv doorgevoerd, echter zonder de omzetting van aardappelen/bieten naar grasland. Deze maatregel blijkt soms tot een verhoging en soms tot een verlaging van de afvoerdrempel te leiden, zoals blijkt uit Fig. 95. De afvoerdrempel wordt alleen gebruikt voor de simulaties van het winterhalfjaar. Voor het zomerhalfjaar wordt bij het waterbeheer gebruik gemaakt van een automatische stuw met een peilinstelling

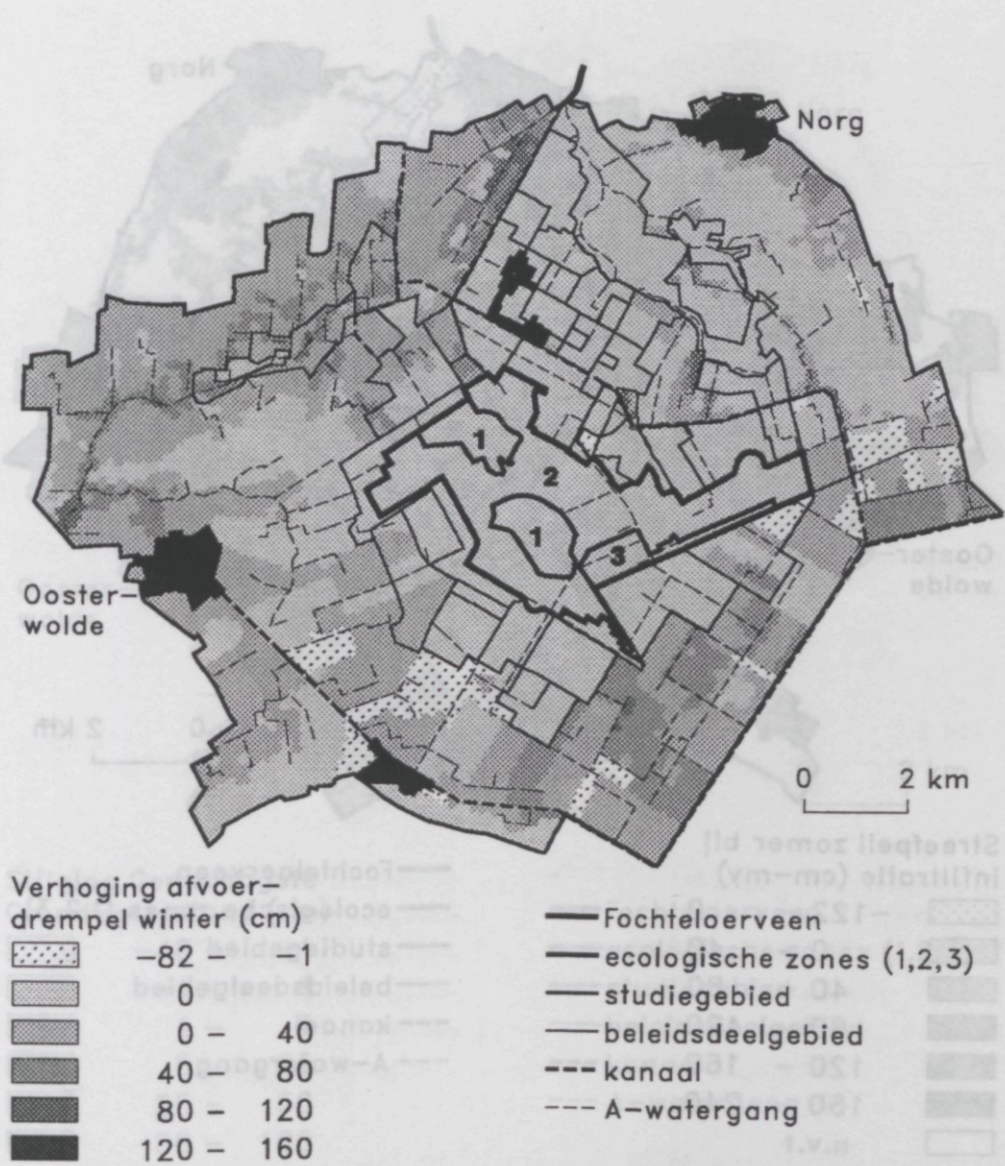


Fig. 95 Verhoging van de afvoerdrempel in het scenario met waterconservering in de overige landbouwgebieden (6a); in sommige deelgebieden is er sprake van een verlaging (negatieve waarde), weergegeven op de schaal van gridcellen van het model

op 65 cm-mv. In Fig. 96 is aangegeven hoe dit peil, dat in de grotere waterlopen wordt ingesteld, doorwerkt voor gridcellen, in infiltratie-situaties.

De met het model berekende effecten op de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) geven een wisselend beeld te zien, zoals blijkt uit Fig. 97. Dat wisselende beeld hangt direct samen met het wisselende beeld van de verhogingen en verlagingen van de afvoerdrempel (Fig. 95). Het scenario blijkt in grote delen van het gebied een forse afname van de droogschade te zien te geven, zoals blijkt uit Fig. 98. De totale afname van de droogschade bedraagt f 1 387 000,- per jaar. Tegenover de afname van de droogschade staat een totale toename van de natschade met f 561 000,- per jaar; netto zijn de baten dus f 872 000,- per jaar.

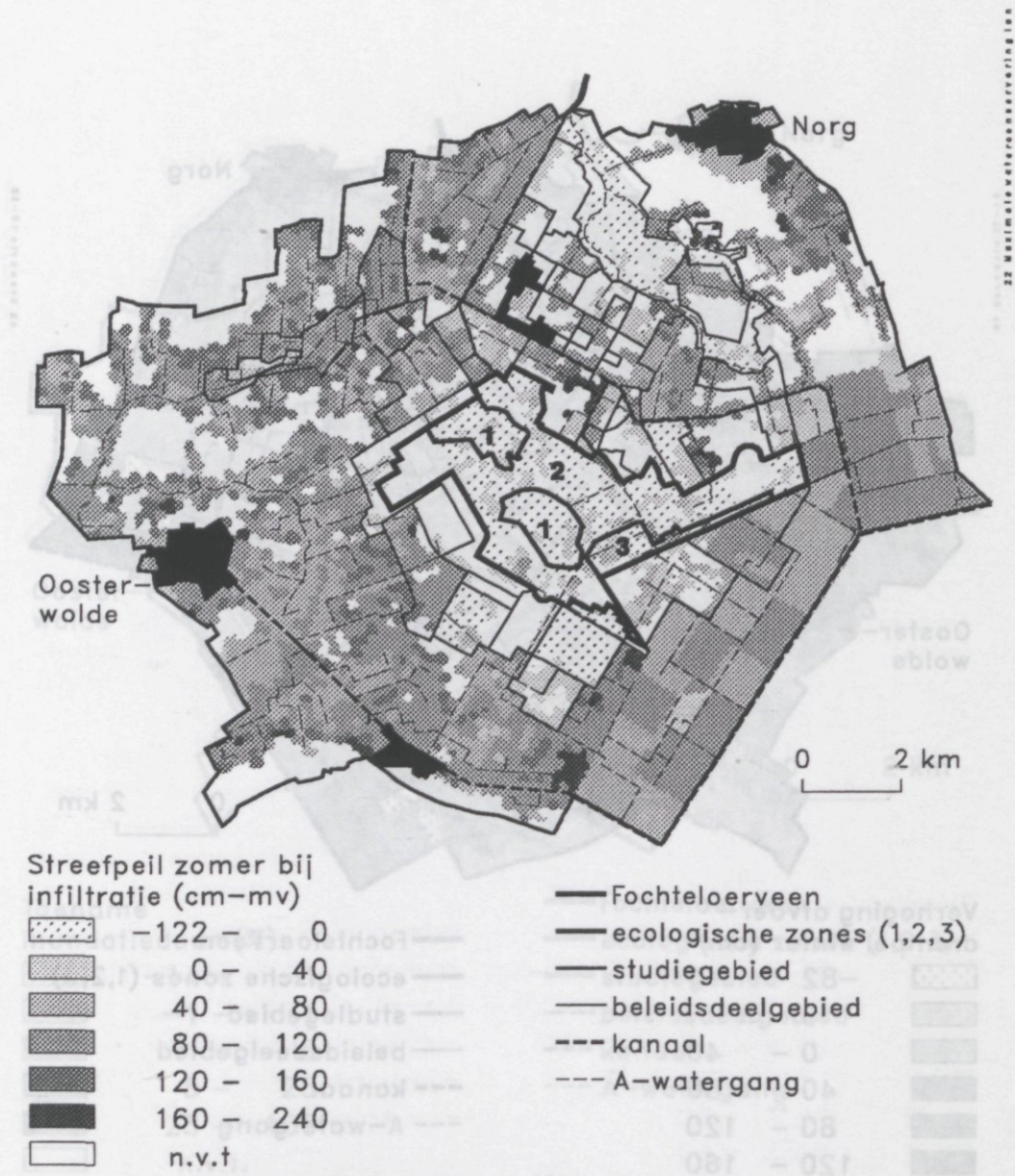
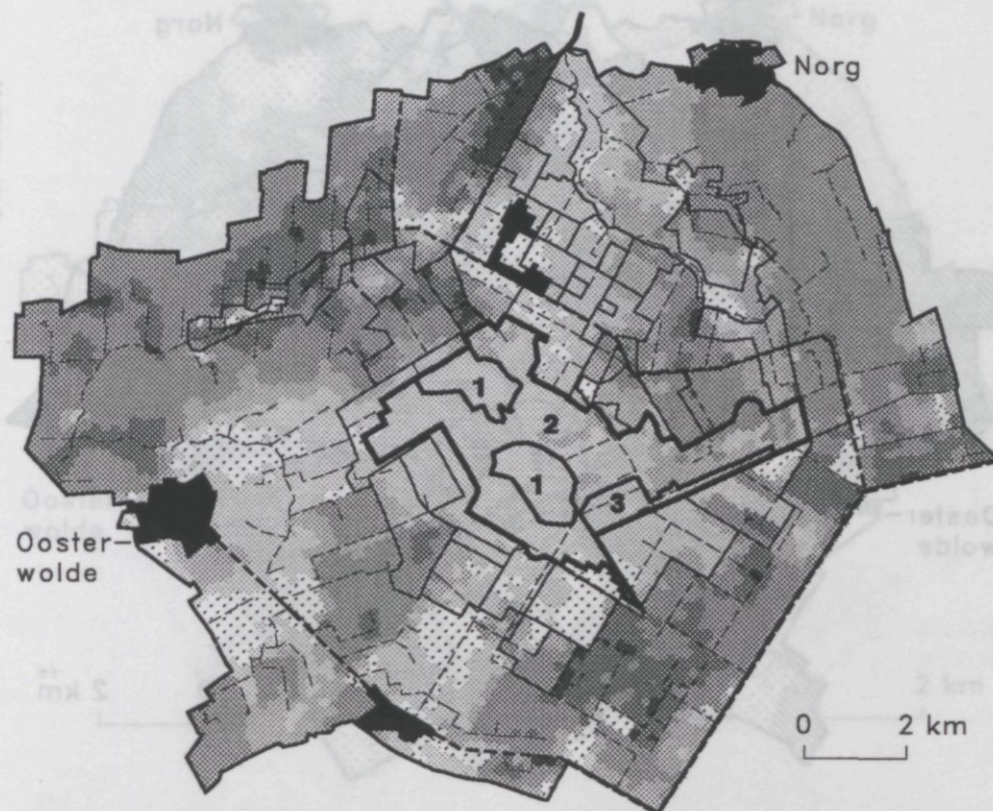


Fig. 96 Zomerpeil in het scenario met waterconservering in de overige landbouwgebieden, weergegeven op de schaal van gridcellen van het model, voor infiltratiesituaties

Uit Fig. 99 blijkt dat deze toename van de schade nogal plaatselijk van aard is en voor het merendeel ontstaat binnen het waterschap Smilde (ten zuidoosten van het Fochteloërveen), in de Kloosterveenpolder (ten oosten van het Fochteloërveen) en langs het dal van de Boven-Tjonger (ten westen van het Fochteloërveen). De overeenkomst tussen deze gebieden is dat het relatief vlakke stukken betreft, met weinig variatie in de maaiveldsverdeling. Dat heeft tot gevolg dat het verschil tussen gemiddeld maaiveld en het 10%-punt van de maaiveldsverdeling klein is, wat leidt tot een relatief ondiep niveau van de afvoerdrempel en het zomerpeil. Een relatief ondiep niveau geeft eerder aanleiding tot natschade dan een wat dieper niveau.

Ten opzichte van scenario 6 blijkt de gemiddelde geschiktheids-score voor hoogveengroei in zone 1 niet te worden beïnvloed; in zone 2 neemt de waarde toe



Stijging Gem. Laagste  
Grondwaterstand (cm)

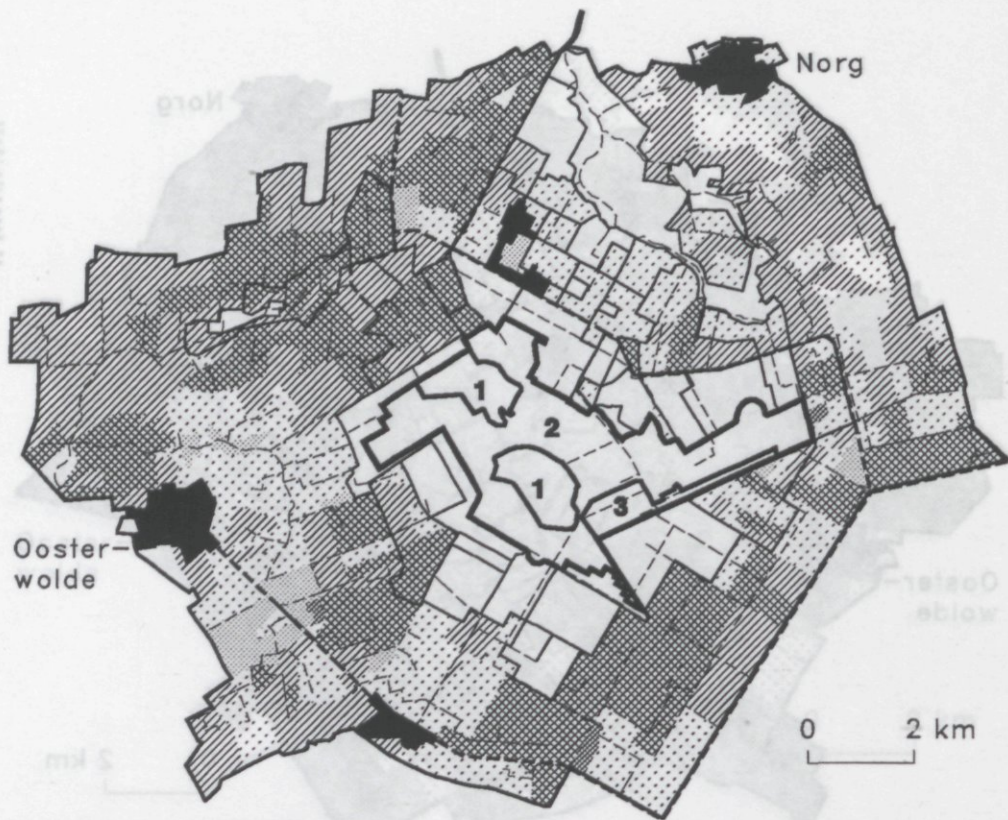
	-46 - -1
	-1 - 1
	1 - 5
	5 - 25
	25 - 50
	50 - 100

	Fochteloërveen
	ecologische zones (1,2,3)
	studiegebied
	beleidsdeelgebied
	kanaal
	A-watergang

Fig. 97 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) als gevolg van waterconservering in de 'overige' landbouwgebieden (scenario 6a)

van 36,8 naar 37,2, bij een toename van de gemiddelde inundatieduur van 139,4 naar 141,3 dagen per jaar.

Scenario 6b gaat nog een stapje verder dan scenario 6a, in verband met het mogelijk maken van wateraanvoer in een deel van het landbouwgebied. Het betreft een aantal deelgebieden ten zuidwesten van het Fochteloërveen, die aangegeven worden in Fig. 100. In dit scenario zou water voor de aanvoer afkomstig moeten zijn uit de Ravenswoudpolder (die vanaf scenario 6 extreem wordt vernat). In de doorgerkende variant is voor de gebieden met wateraanvoer geen limiet gesteld aan de beschikbare aanvoercapaciteit. Naderhand (zie onder) is gekeken of er wel voldoende water daarvoor beschikbaar is.



Toename droogschade  
(gld/ha)

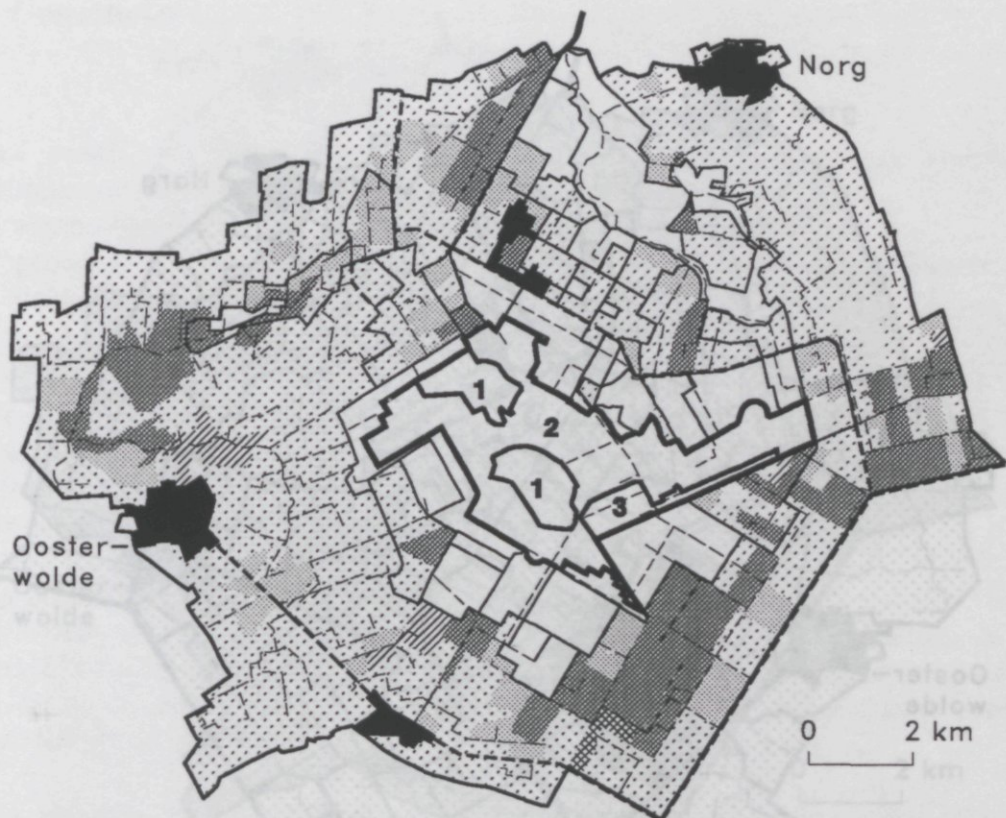
	-1084 - -100
	-100 - -25
	-25 - 25
	25 - 100
	100 - 500
	n.v.t.

	Fochteloërveen
	ecologische zones (1,2,3)
	studiegebied
	beleidsdeelgebied
	kanaal
	A-watergang

Fig. 98 Afname (negatieve toename) van de droogschade van de landbouw, als gevolg van waterconservering in de 'overige' landbouwgebieden

Uit Fig. 101 blijkt dat de extra wateraanvoer een niet onaanzienlijke stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand kan geven. Dat leidt tot een behoorlijke afname van de droogschade, zoals te zien is in Fig. 102. De totale afname van de droogschade belooft f 35 000,- per jaar. De veroorzaakte toename van de natschade blijkt zeer beperkt te zijn, namelijk f 5 000,- per jaar.

De situatie in het Fochteloërveen blijkt door dit scenario niet te worden verbeterd. Voor de uiteindelijke beoordeling van dit scenario is het essentieel te weten of er in de Ravenswoudpolder wel voldoende water beschikbaar is. Allereerst is gekeken naar de hoeveelheid extra infiltratie die het model berekent. Voor de gehele simulatieperiode zijn in Tabel 10 opgenomen de getotaliseerde extra infiltratiehoeveelheden en de voor wateraanvoer beschikbare hoeveelheden in de Ravenswoud polder. Die hoeveelheden zijn berekend aan de hand van de boven het



Toename natschade  
(gld/ha)

	-500 - -100
	-100 - -25
	-25 - 25
	25 - 100
	100 - 1159
	n.v.t.

- Fochteloerveen
- ecologische zones (1,2,3)
- studiegebied
- beleidsdeelgebied
- kanaal
- A-watergang

Fig. 99 Toename van de natschade van de landbouw, als gevolg van waterconserving in de 'overige' landbouwgebieden

maaiveld opgeslagen hoeveelheid water aan het einde van het zomerseizoen. Dat is een betere schatting dan de hoeveelheid aan het begin van het zomerseizoen, omdat er tijdens de zomer verliezen optreden in de vorm van wegzijging en verdamping. Uit de vergelijking tussen vraag en aanbod van water (Tabel 10) blijkt dat er behalve in het simulatiejaar 1982 er steeds voldoende water voorhanden is.

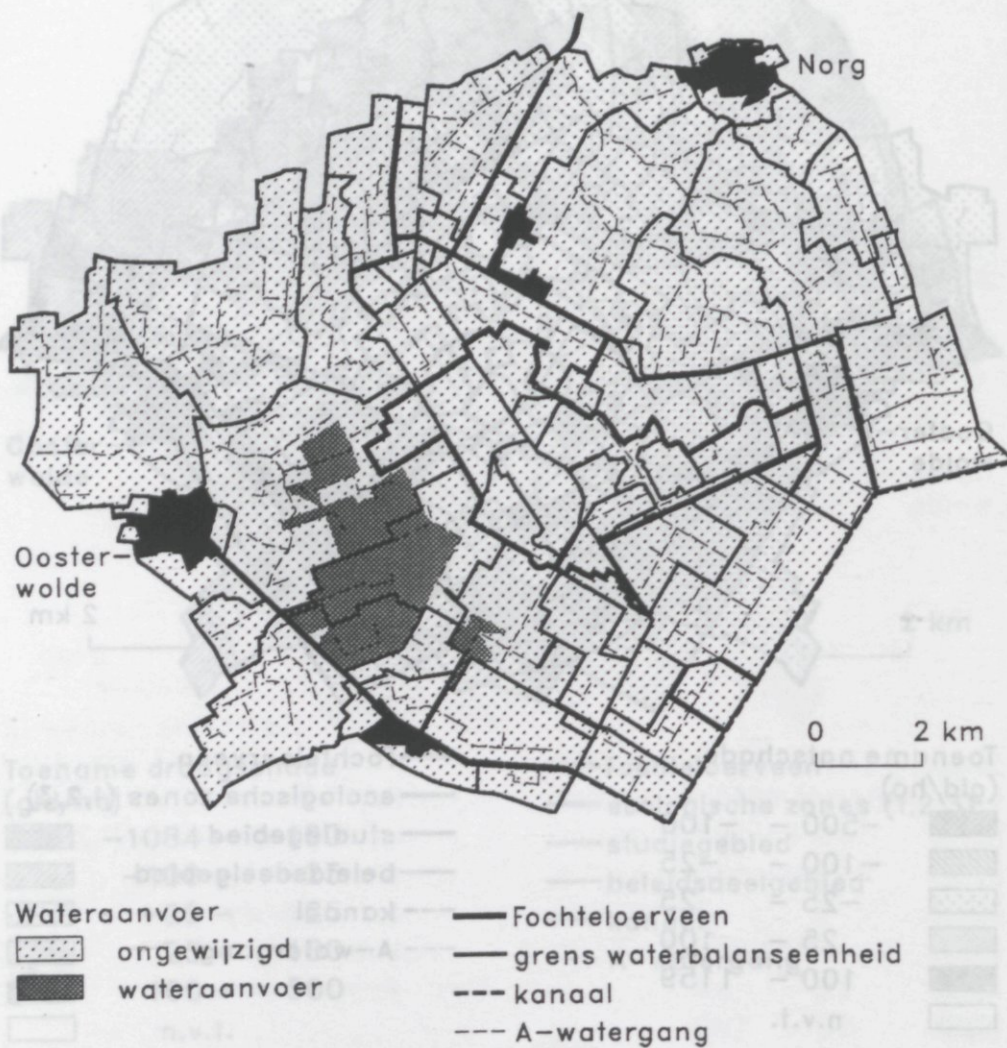
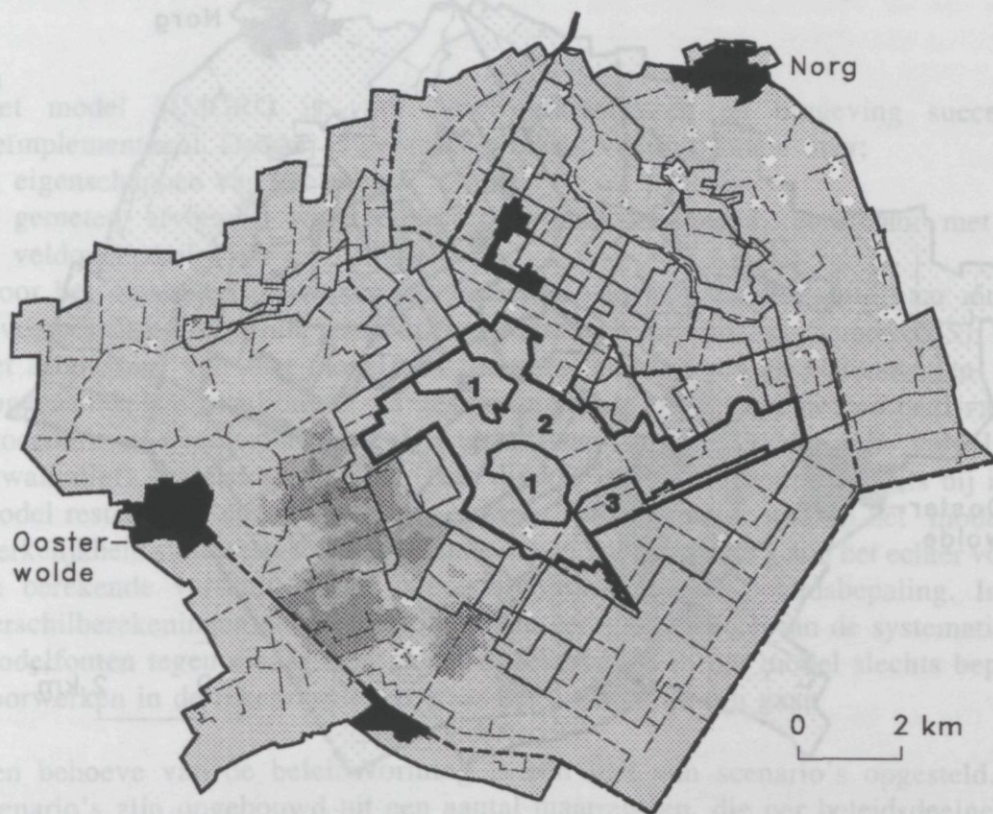


Fig. 100 Gebieden met wateraanvoer in scenario 6b

Tabel 10 Water benodigd voor infiltratie in vergelijking met water beschikbaar in Ravenswoud polder

Jaar	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Capaciteit	3594	3791	4642	6422	4111	6114	6460	4027
Vraag	6175	3634	2270	549	4016	741	1822	4387
Overschot	-2581	157	2372	5873	95	5373	4638	-360





**Stijging Gem.Laagste Grondwaterstand (cm)**

	-10 - -1
	-1 - 1
	1 - 5
	5 - 25
	25 - 50
	50 - 100

- Fochteloerveen
- ecologische zones (1,2,3)
- studiegebied
- beleidsdeelgebied
- kanaal
- A-watergang

Fig. 101 Stijging van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) als gevolg van wateraanvoer in scenario 6b

7. extra functiewijziging in landbouwgebied

In Tabel II zijn alle belangrijke parameters van de doorzekerde scenario's bij elkaar gebracht. Voor het schema met scenario 1 wordt verwezen naar Fig. 41.

Drainage van drainage-behoefte gronden in scenario 1 heeft geen effect op de hoogveengeschiktheid van ecologische zone 1. Op de maatschappij in ecologische zone 2 is er een minimaal effect. Voor de landbouw wordt een positief saldo van / 123 000,- per jaar voorspeld. Daarbij is echter nog geen rekening gehouden met de voor aanleg van drainage noodzakelijke investeringen.

Interne maatregelen in het Fochteloerveen en de randzone (Fig. 55) zijn volgens de modelberekeningen zeer effectief in het verbeteren van de mogelijkheden voor hoogveen-groei in het gebied. De geschiktheids-score neemt toe van 45,0 naar 77,8.

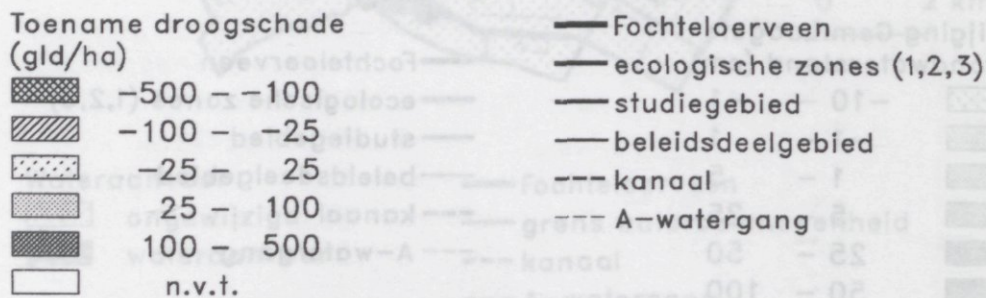
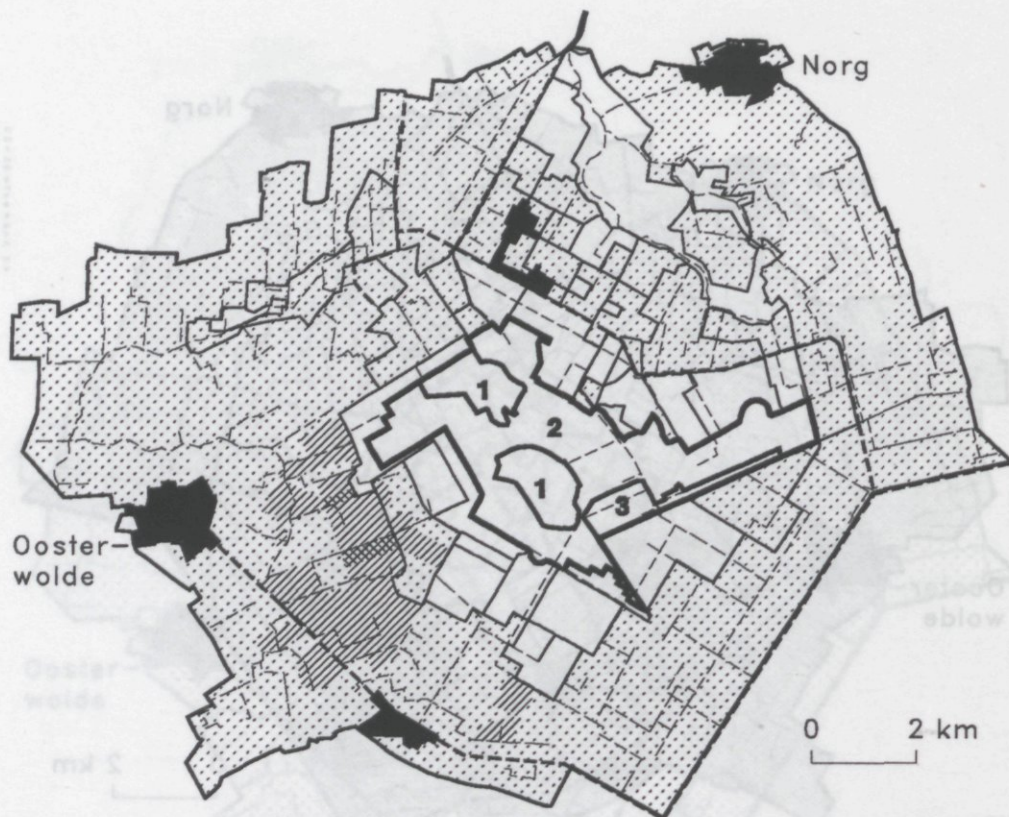


Fig. 102 Afname van de droogshade als gevolg van wateraanvoer in scenario 6b

Tabel 10 Water benodigd voor infiltratie in vergelijking met water beschikbaar in Bovenwoud polder

Jaar	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Cropactia	3594	3791	4642	6422	4111	6174	9400	4027
Vraag	6175	3634	2270	529	4016	741	1821	4387
Overstort	-2581	-157	2372	-803	95	5373	4638	580

## 5 Conclusies

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

- eigenschappen van het gebied;
- gemeten afvoeren, waterpeilen en grondwaterstanden, verkregen met het veldonderzoek (Wit e.a., 1996).

Voor het ontsluiten, bewerken, en omzetten van gebiedsinformatie naar model-invoerbestanden is gebruik gemaakt van geografische informatiesystemen (GIS). Voor het aanpassen van het model aan de gemeten afvoeren en waterstanden - de zogenaamde modelcalibratie - is gestructureerd te werk gegaan. Een deel van de procedure is geautomatiseerd. De uitkomsten van het model zijn vervolgens (kwalitatief) getoetst aan de hand van diverse informatiebronnen. Zoals bij ieder model resteert er 'onzekerheid' ten aanzien van de manier waarop het model de werkelijkheid simuleert. Van de rekenresultaten voor scenario's zijn het echter vooral de berekende verschillen die interessant zijn voor de beleidsbepaling. In de verschilberekeningen van scenario's vallen een groot aantal van de systematische modelfouten tegen elkaar weg, zodat onzekerheden in het model slechts beperkt doorwerken in de rekenresultaten waar het uiteindelijk om gaat.

Ten behoeve van de beleidsvorming is een lijst van scenario's opgesteld. De scenario's zijn opgebouwd uit een aantal maatregelen, die per beleidsdeelgebied worden gespecificeerd (zie Fig. 40 voor de indeling in beleidsdeelgebieden). De volgende hoofdscenario's zijn doorgerekend:

0. huidige situatie
1. drainage van drainage-behoefelige gronden
2. autonome ontwikkeling Fochteloërveen (optimalisering interne inrichting) en randzone
3. vernatting bos- en relatienotagebied ten zuiden van de Kolonievvaart
4. maatregelen Veenhuizenplan
5. nieuw beleid in het kader van de Ecologische Hoofdstructuur
6. extra vernatting bos en enkele andere percelen
7. extra functiewijzigingen in landbouwgebied

In Tabel 11 zijn alle belangrijke parameters van de doorgerekende scenario's bij elkaar gebracht. Voor het schema met scenario's wordt verwezen naar Fig. 41.

Drainage van drainage-behoefelige gronden in scenario 1 heeft geen effect op de hoogveengeschiktheid van ecologische zone 1. Op de inundatieduur in ecologische zone 2 is er een minimaal effect. Voor de landbouw wordt een positief saldo van f 123 000,- per jaar voorspeld. Daarbij is echter nog geen rekening gehouden met de voor aanleg van drainage noodzakelijke investeringen.

Interne maatregelen in het Fochteloërveen en de randzone (Fig. 55) zijn volgens de modelberekeningen zeer effectief in het verbeteren van de mogelijkheden voor hoogveen-groei in het gebied. De geschiktheids-score neemt toe van 45,0 naar 77,8.

Tabel 11 Overzicht van belangrijke rekenresultaten voor scenario's. De gegevens over droog- en natschade van landbouwgronden hebben steeds betrekking op grond die in beide opeenvolgende scenario's voor landbouw wordt gebruikt, waarbij 'opeenvolgend' is gedefinieerd volgens het schema van scenario's in Fig. 41 (b.v. 7 t.o.v. 6, en 6a t.o.v. 6). Voor scenario 0 ('huidige situatie') is het absolute niveau van de berekende schade gegeven. Het gegeven m.b.t. de inundatieduur in zone 2 betreft een ruimtelijk gemiddelde van alle gridcellen binnen die zone, in dagen per jaar (en in % van de tijd)

Scenario	Hoogveen-geschiktheid		Inundatie-duur zone 2		Droog-schade (kff/jaar)	Natschade (kff/jaar)	Netto schade (kff/jaar)	Areaal landbouw (ha)
	zone 1 (-)	zone 2 (-)	(d/j)	(%)				
0	45,0	13,8	33,2	9,1	5286	2176	7462	12360
1	45,0	13,7	32,9	9,0	583	-706	-123	12360
2	77,8	34,0	129,6	35,5	-120	86	-34	11570
2a	77,9	34,4	130,7	35,8	0	-2	-2	11570
3	77,9	35,1	133,6	36,6	-19	22	3	11470
4	77,9	35,1	133,6	36,6	-61	-77	-138	11470
5	77,9	35,4	134,7	36,9	-16	17	1	10760
6	78,0	36,8	139,4	38,2	-128	29	-99	10760
6a	78,0	37,2	141,3	38,7	-1387	561	-872	10760
6b	78,0	37,3	141,3	38,7	-35	+5	-30	10760
7	78,1	37,6	142,7	39,1	-192	-50	-242	9310

Uit Fig. 61 blijkt dat in de gebieden die als 'ecologische zone 1' zijn gekenmerkt bijna overal de geschiktheids-score in de klasse 'zeer geschikt' terecht komt. Ten aanzien van de interne maatregelen moet men overigens wel de kanttekening plaatsen dat voor de maatregelen gebruik moet worden gemaakt van dijkes uit weinig materiaal. Men kan zich afvragen hoe duurzaam een dergelijke oplossing is, gezien de neiging van veen om te oxideren bij blootstelling aan zuurstof.

Interne maatregelen in het Fochteloërveen en de randzone blijken overigens een 'uitstraling' naar de omgeving te veroorzaken die tot ongeveer 500 m reikt. In deze uitstralingszone zijn zowel negatieve effecten (toename natschade) als positieve effecten te zien (afname droogschade, zie Fig. 63). In de balans blijkt de afname van de droogschade licht te overheersen; netto is dus het saldo vóór de landbouw positief (Tabel 11). Daarbij is overigens aangenomen dat in de 'autonome' ontwikkeling alle drainage-behoefte gronden worden gedraineerd. Dat heeft onder andere tot gevolg dat de berekende toename van de natschade (als gevolg van interne maatregelen in het Fochteloërveen) per definitie niet groot kan zijn, doordat stijgingen van de grondwaterstand door drains worden afgeroomd.

Een ander aspect dat van belang is voor de omgeving van het Fochteloërveen is de maatgevende afvoer, d.w.z. de dagafvoer die gemiddeld eens per jaar wordt overschreden. De modelberekeningen voorspellen dat de maatgevende afvoer van het Fochteloërveen (zie Fig. 64) met ca. 17% zal afnemen van  $1285 \text{ l.s}^{-1}$  ( $0,68 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) naar  $1070 \text{ l.s}^{-1}$  ( $0,56 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Deze afname is toe te schrijven aan het kennelijk overheersen van het 'bergings-effect': door hogere peilen in het reservaat wordt meer capaciteit geschapen voor het bergen van hoge dagneerslagen in het oppervlaktewater.

Kennelijk is dit effect belangrijker dan het 'betonnen vloer'-effect van een plas open water: neerslag dat erop valt kan direct worden afgevoerd, en hoeft niet eerst de gang

via het grondwater te maken. De nog aanwezige 'weerstand' tegen afstroming bevindt zich nog uitsluitend bij het uitstroompunt van het oppervlaktewater. In het model is aangenomen dat het afvoerproces gecontroleerd verloopt, inhoudende dat afvoer via goed gedefinieerde uitstroompunten het gebied verlaat. De daarbij horende kunstwerken zijn in het model dusdanig gedimensioneerd dat bij een afvoer van  $1 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  er een peilstijging is van 5 cm.

Overigens is het waarschijnlijk dat als gevolg van vernattingsmaatregelen in het verleden de maatgevende afvoer wèl is toegenomen: die vernatting vond plaats vanuit een andere Ausgangssituatie, met veel lagere waterstanden en minder plassen dan nu. De mate waarin de maatgevende afvoer is toegenomen kan men overigens niet afleiden uit de gebeurtenissen tijdens de winter van 1994/'95. De neerslag tijdens die winter is dermate uitzonderlijk geweest dat het maken van vergelijkingen ten aanzien van de afvoer al gauw tot verkeerde conclusies kan leiden.

Het in scenario 2a plaatsen van een plastic scherm tot aan de eerste 'weerstand-biedende' laag, de keileem, blijkt gemiddeld gesproken een laag rendement op te leveren voor 'ecologische zone 2' (zie Tabel 11). Er zijn echter trajecten langs het scherm waar plaatselijk significante effecten worden berekend, zoals in de noordwesthoek van het Fochteloërveen. Het kan overwogen worden om in de praktijk over te gaan tot plaatsing van deelschermen.

In scenario's 3 tot en met 6 zijn een hele reeks 'externe' maatregelen doorgerekend, d.w.z. maatregelen buiten het huidige Fochteloërveen. Ondanks het feit dat daarbij meer dan 700 ha landbouwgrond uit productie wordt genomen, in verband met de extreme vernatting van die gronden, zijn de met het model berekende effecten op ecologische zone 1 van het Fochteloërveen bescheiden. De geschiktheids-score voor hoogveengroei neemt in die zone met slechts 0,1 toe van 77,8 naar 77,9. Dat de effecten zo klein zijn heeft diverse oorzaken:

- de gebieden in zone 1 danken hun huidige ecologische waarde voor een belangrijk deel aan de aanwezigheid van een dikke veenlaag. Deze veenlaag zorgt voor 'isolatie' ten opzichte van de stijghoogte in de zandondergrond. Daardoor werken veranderingen in de omgeving nauwelijks door tot aan het freatisch niveau;
- de gebieden in zone 1 liggen over het algemeen naar binnen in het reservaat; daardoor is er in feite sprake van een 'interne bufferzone' tussen de bestaande hoogveenkernen en het buitengebied (landbouwkundig gebied in de omgeving);
- de effecten van externe maatregelen zijn berekend voor de situatie die ontstaat na dat als gevolg van de (ingeschatte) autonome ontwikkeling de interne inrichting is geoptimaliseerd. Als gevolg van die interne inrichtingsmaatregelen wordt er veel extra berging gecreëerd op het maaiveld (plassen); daardoor werken veranderingen in de stijghoogte van de ondergrond (en veranderingen van de wegzijging) beperkt door in veranderingen van de freatische grondwaterstand.

Voor zone 2 is er wel enig effect van de externe maatregelen in scenario's 3-6: namelijk een toename van de geschiktheids-score voor hoogveengroei van 34,0 naar 36,8, terwijl de gemiddelde inundatieduur toeneemt van 129,6 naar 139,4 dagen per jaar. Het betreft hier gemiddelde waardes, waardoor de berekende effecten als gevolg van de middeling worden afgevlakt. Fig. 85 en 86 zijn ruimtelijke weergaves van

de totale effecten van scenario 6 ten opzichte 2, op resp. de geschiktheids-score voor hoogveengroei en de inundatieduur. Toename van de inundatieduur is een absolute voorwaarde voor het terugdringen van pijpestrootje in ecologische zone 2. Uit de resultaten blijkt dus dat in aanzienlijke delen van ecologische zone 2, gelegen aan de noord- en noordoostkant van het reservaat, de potenties voor hoogveenontwikkeling significant toe kunnen nemen als gevolg van externe maatregelen. Het ten uitvoer brengen van scenario 7, waarin wederom 1500 ha landbouwgrond uit productie wordt genomen, zou dat verder versterken, doordat de inundatieduur verder toeneemt tot (gemiddeld) 142,7 dagen per jaar.

Met scenario's 6a en 6b is onderzocht wat de potentiële effecten zijn van waterconservering en wateraanvoer in het landbouwgebied. Het blijkt dat in het landbouwgebied voor de landbouw aanzienlijke voordelen zijn te behalen met het nemen van maatregelen gericht op het (verantwoord) vasthouden van water in het voorjaar en het begin van de zomer. Voor waterconservering wordt een afname van de droogschade berekend van ca. 1,4 miljoen gulden per jaar. Gebruik van winterafvoer opgeslagen in de Ravenswoudpolder voor 'wateraanvoer' tijdens de zomer heeft eveneens een effect, zij het veel kleiner als gevolg van het kleinere areaal waar het daarbij om gaat. Waterconservering en 'aanvoer' hebben tevens een effect op de inundatieduur in ecologische zone 2 van het reservaat (gemiddeld 2 extra dagen inundatie per jaar). In feite is in deze scenario's onderzocht wat de potentiële voordelen zijn van het bestrijden van de 'achtergrondverdroging'.

## Literatuur

Altenburg, W., H.Jansen, en W.S. van de Veen, 1993. *Vegetatieontwikkeling in het Fochteloërveen van de jaren '60 tot 1992*. Veenwouden, Bureau Altenburg & Wymenga. Rapport 52.

Feddes, R.A., 1987. 'Crop factors in relation to Makkink reference-crop evapotranspiration'. In: *J.C. Hooghart (ed.) 1987. Evaporation and weather*. Den Haag, TNO Commissie voor Hydrologisch Onderzoek (CHO-TNO). Proc. and Inf. No. 39:33-44.

De Lange, W.J., 1991. *A groundwater model of The Netherlands*. Lelystad, RIZA (Ministerie van Verkeer en Waterstaat).

Guigier, J.M. en E.O. Frind, 1991. *FLONET (version 2.0); Two-dimensional steady-state flownet generator*. Waterloo, (Ontario, Canada), Waterloo Centre for Groundwater Research.

KIWA, 1992. *De karakteristieken van duurlijnen van enige grondwaterafhankelijke plantengemeenschappen*. Utrecht, KIWA. Rapport SWE 92.015.

Knotters, M., en P.E.V. van Walsum, 1995. *Uitschakeling van weersinvloeden bij de karakterisering van het grondwaterstandsverloop*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 350.

Landinrichtingsdienst, 1987. *De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige produktie; rapport van de werkgroep HELP-tabel*. Utrecht, Landinrichtingsdienst. Mededeling 176.

Provincie Drenthe, 1991. *Uitwerking grondwaterplan Drenthe*. Assen, Provincie Drenthe.

Querner, E.P. en P.J.T. van Bakel, 1989. *Description of the regional groundwater flow model SIMGRO*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Report 7.

Schouwenaars, J.M., 1990. *Problem-oriented studies on plant-soil-water relations*. Wageningen, Landbouwniversiteit, proefschrift.

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

STIBOKA (1971). *Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000. Toelichting bij kaartblad 11 oost, Heerenveen*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.

STIBOKA (1991). *Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000. Toelichting bij kaartblad 12 west, Assen*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.

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

Van Walsum, P.E.V., 1990. *Waterbeheer rondom de Grootte Peel; verkenning en evaluatie van scenario's*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 106.

Van Walsum, P.E.V., 1992. *Water management in the Grootte Peel bog reserve and surrounding agricultural area*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Report 49.

Van Walsum, P.E.V. en J.H.J. Joosten, 1994. 'Quantification of local ecological effects in regional hydrologic modellering of bog reserves and surrounding agricultural lands'. *Agricultural Water Management* 25, 45-55.

Voet, H.A.L.J., 1995. *BODEP handleiding*. Utrecht, Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden.

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

Wit, K.E., J.M.P.M. Peerboom, H. Th. L. Massop, en J.W.J. van der Gaast. 1996. *Modelstudie waterhuishouding Fochteloërveen; systeemverkenning en resultaten meetprogramma*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 347, deel 1.

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

#### ***Niet-gepubliceerde bronnen***

Ernst, L.F. 1979. *Hydrologisch onderzoek van het Fochteloërveen-kolonieveld*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, ICW-nota 1164.



## Aanhangsel 1 Resultaten van calibratie

De gevoeligheids-analyse en calibratie heeft plaatsgevonden op het niveau van waterbalanseenheden. In Fig. 103 is een overzicht gegeven van de ruimtelijke begrenzingen en bijbehorende codes. Enkele voorbeelden van resultaten van de gevoeligheids-analyse zijn opgenomen in Fig. 104a en b. Voor de betekenis van de symbolen 'CDCT1' enz wordt verwezen naar Tabel 3. In Fig. 105a-c zijn grafische overzichten gegeven van de resultaten van de calibratie, per afzonderlijke balanseenheid. In Fig. 106a-e zijn ruimtelijke overzichten gegeven van de afwijkingen van afvoeren, na de verschillende stappen van de calibratie. Voor de stappen in de calibratie (0, 1, 2, 3, en 4) wordt verwezen naar par. 2.3.3.

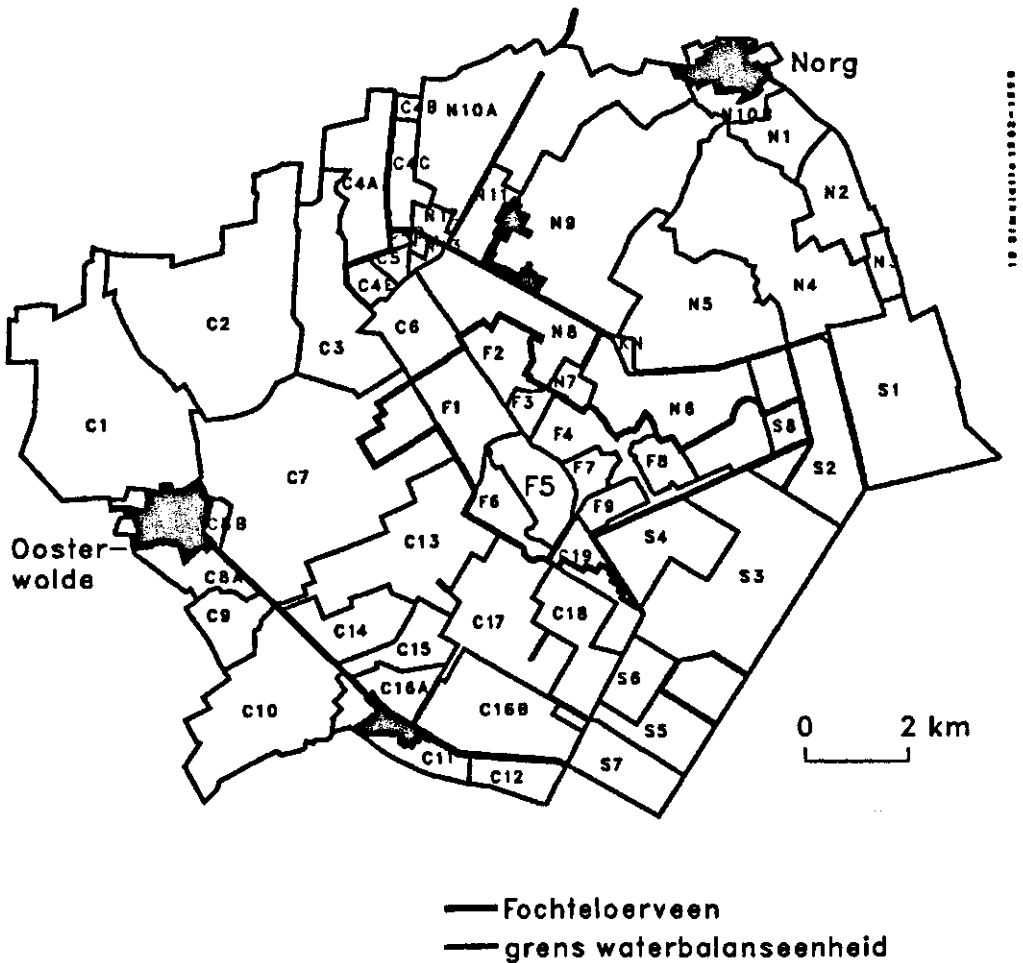


Fig. 103 Codes van waterbalanseenheden

F5

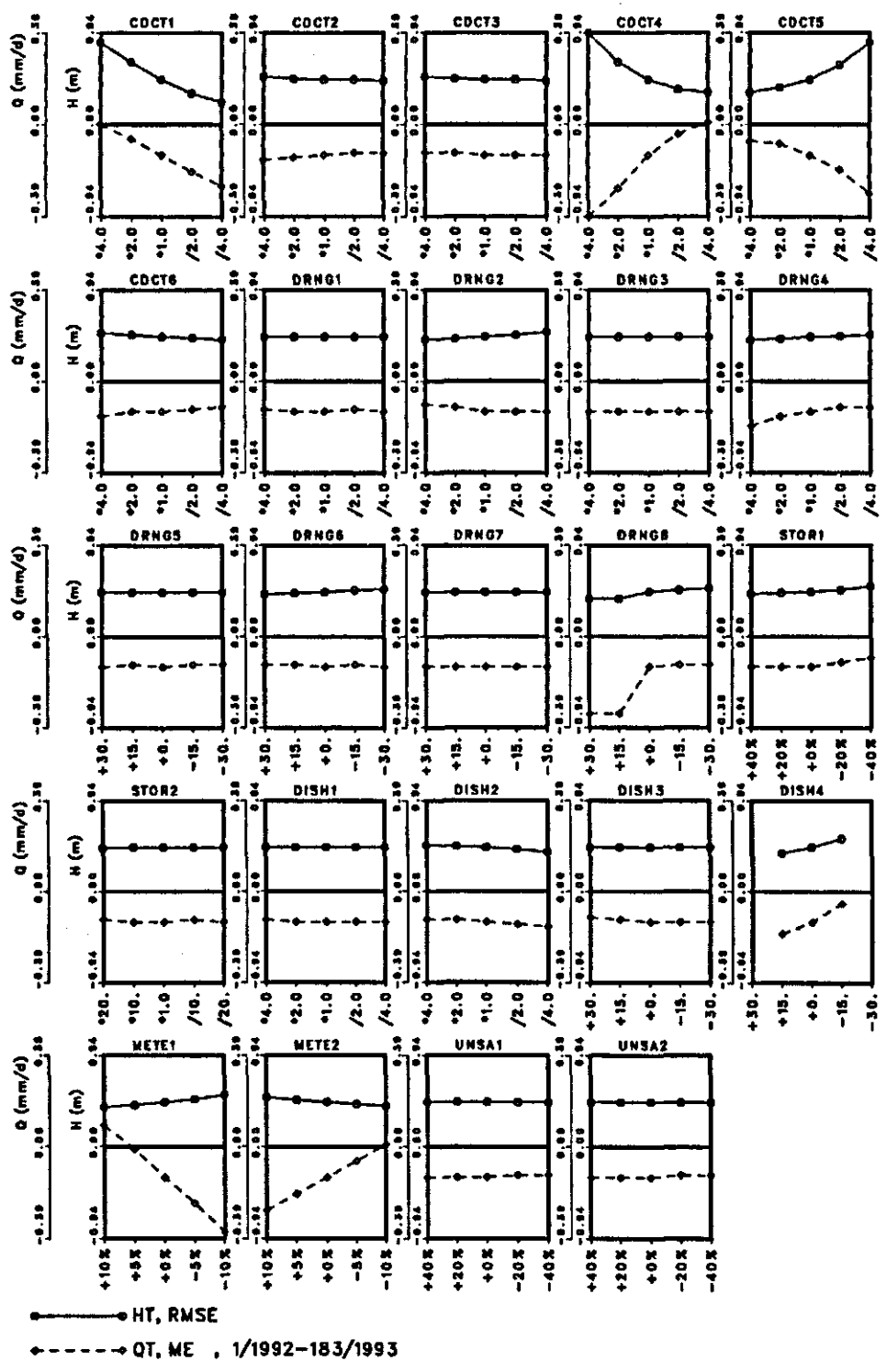


Fig. 104a Resultaten van de gevoeligheidsanalyse voor waterbalansenheid F5

N9

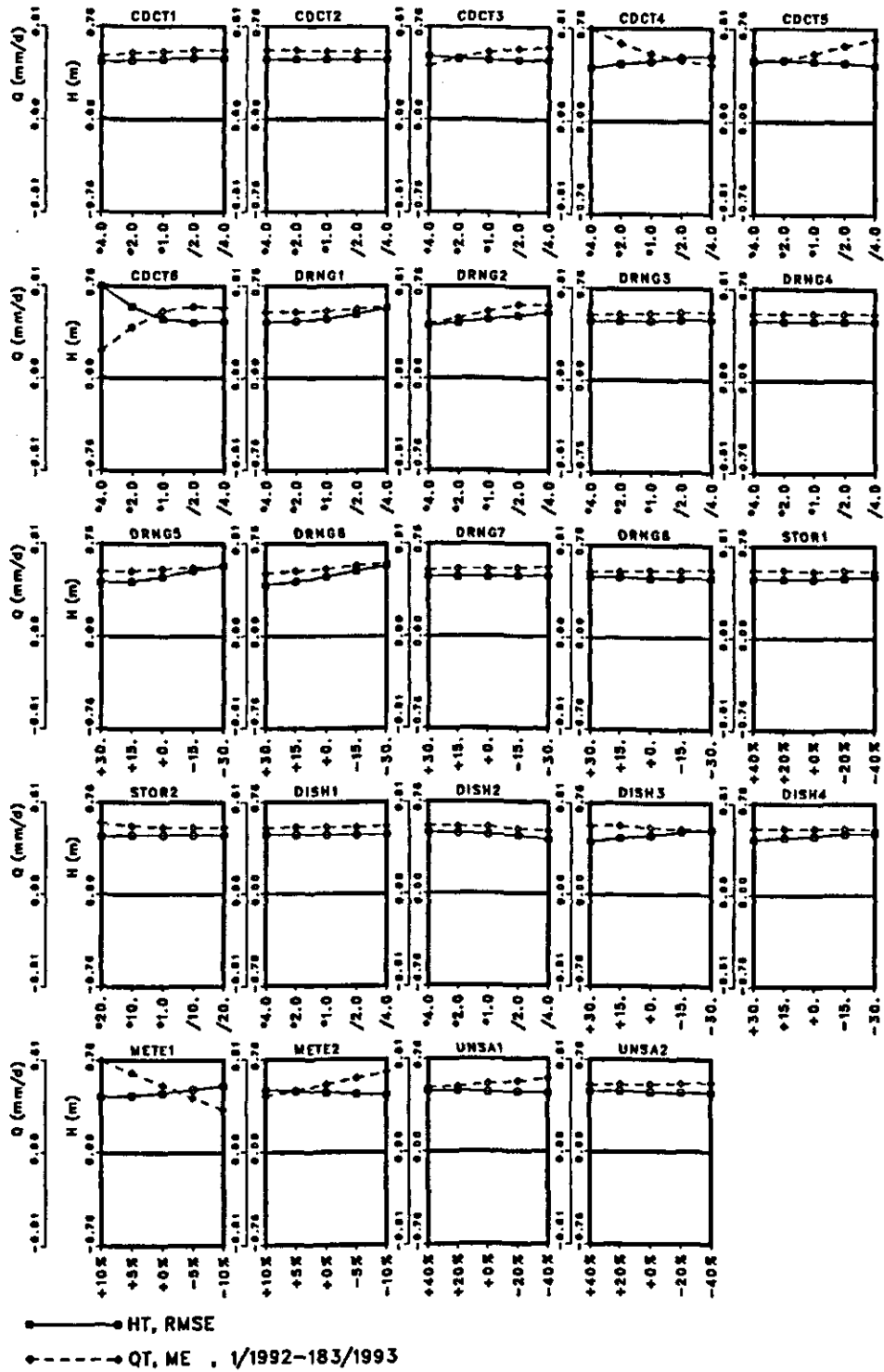


Fig. 104b Resultaten van de gevoeligheidsanalyse voor waterbalansenheid N9

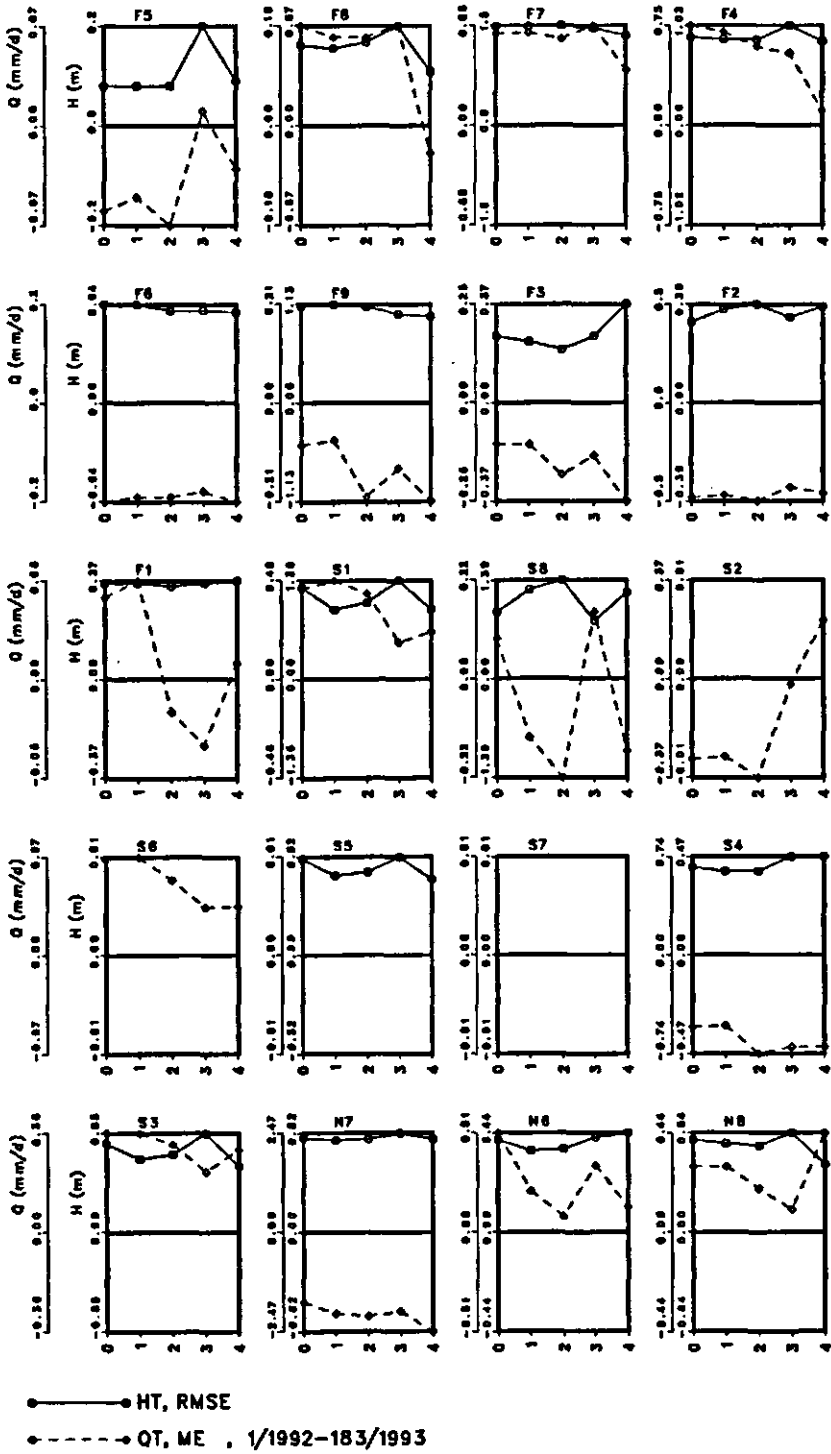


Fig. 105a Resultaten van de calibratie (a) per waterbalanseenheid

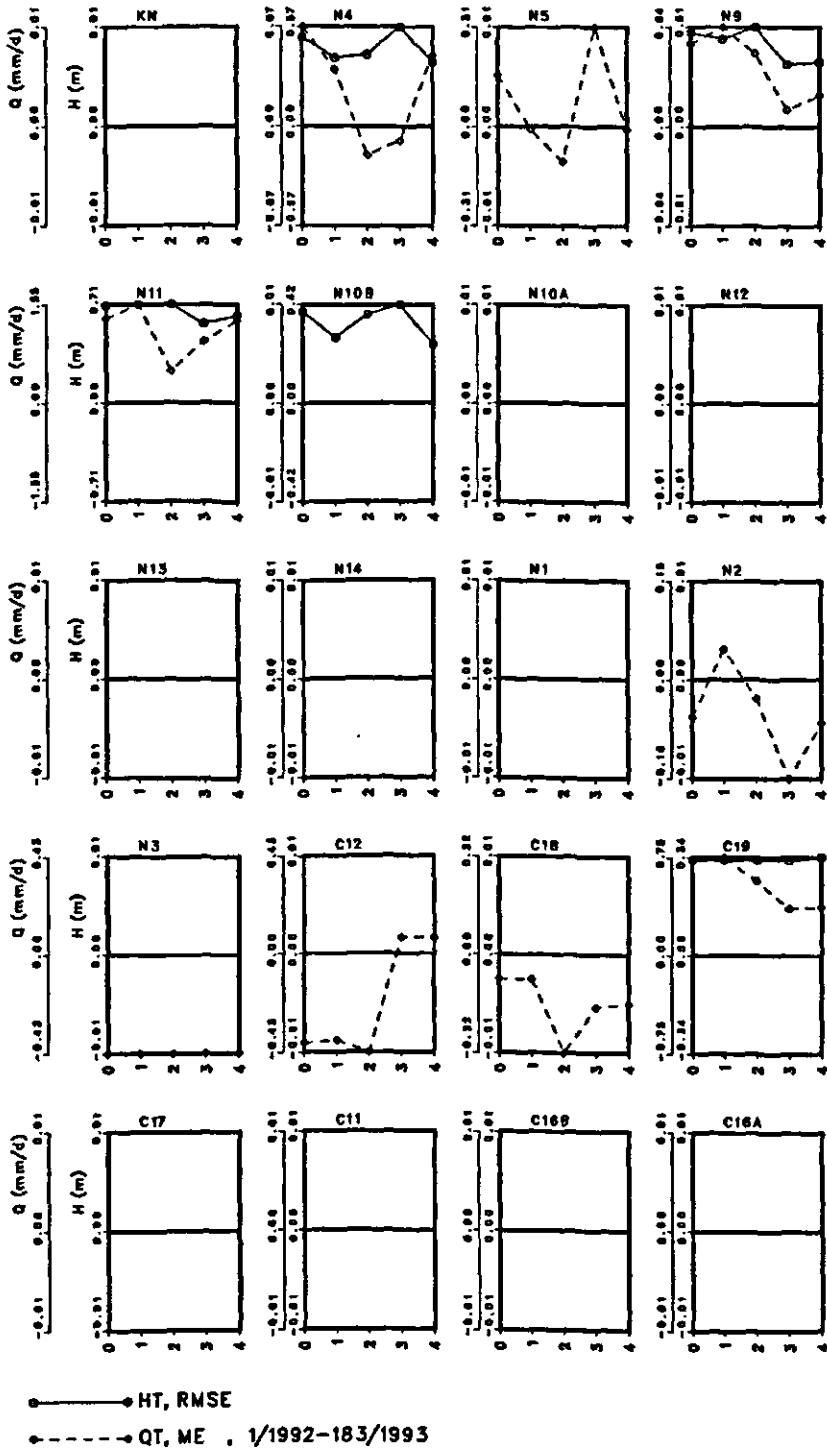


Fig. 105b Resultaten van de calibratie (b)

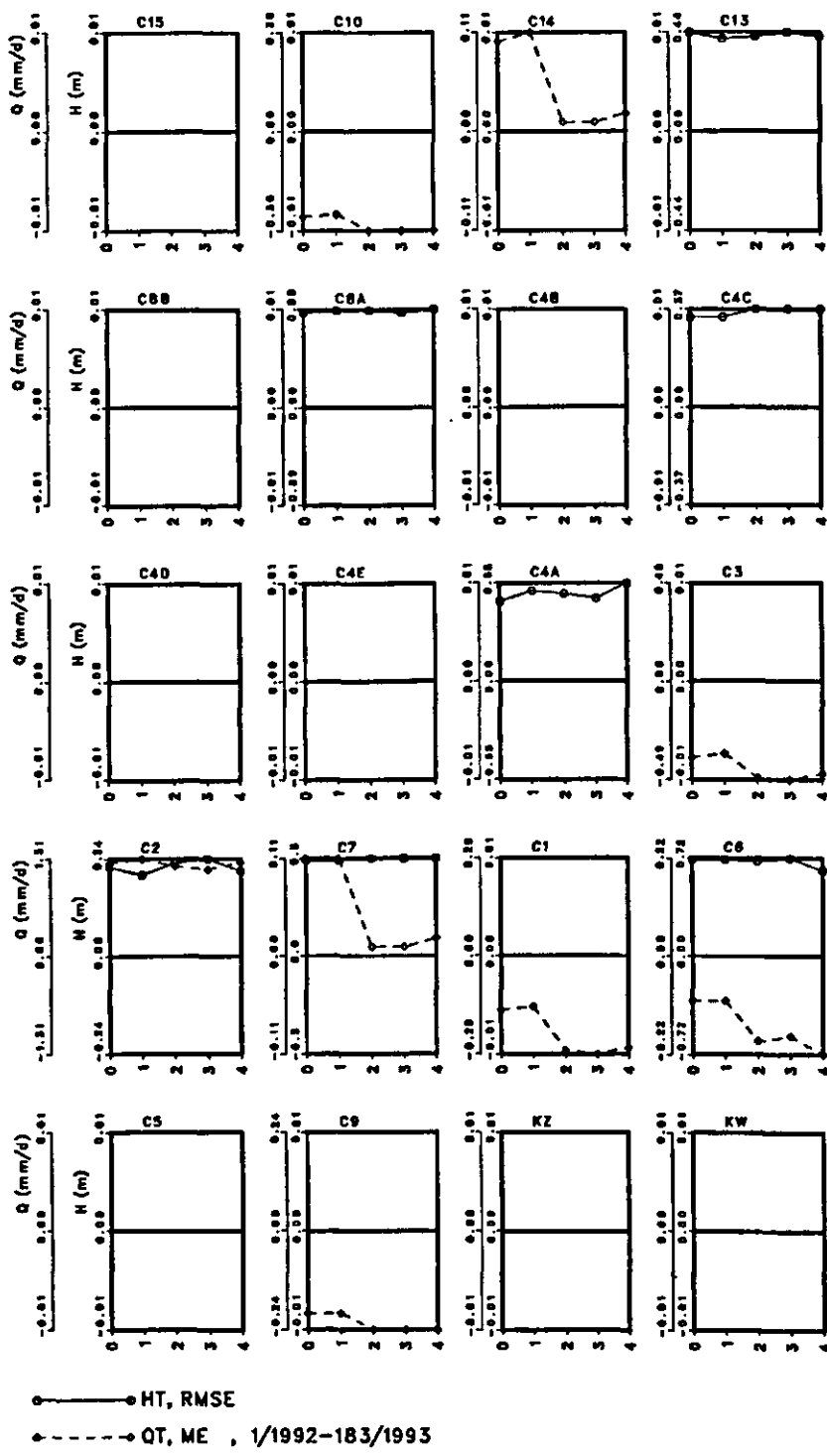
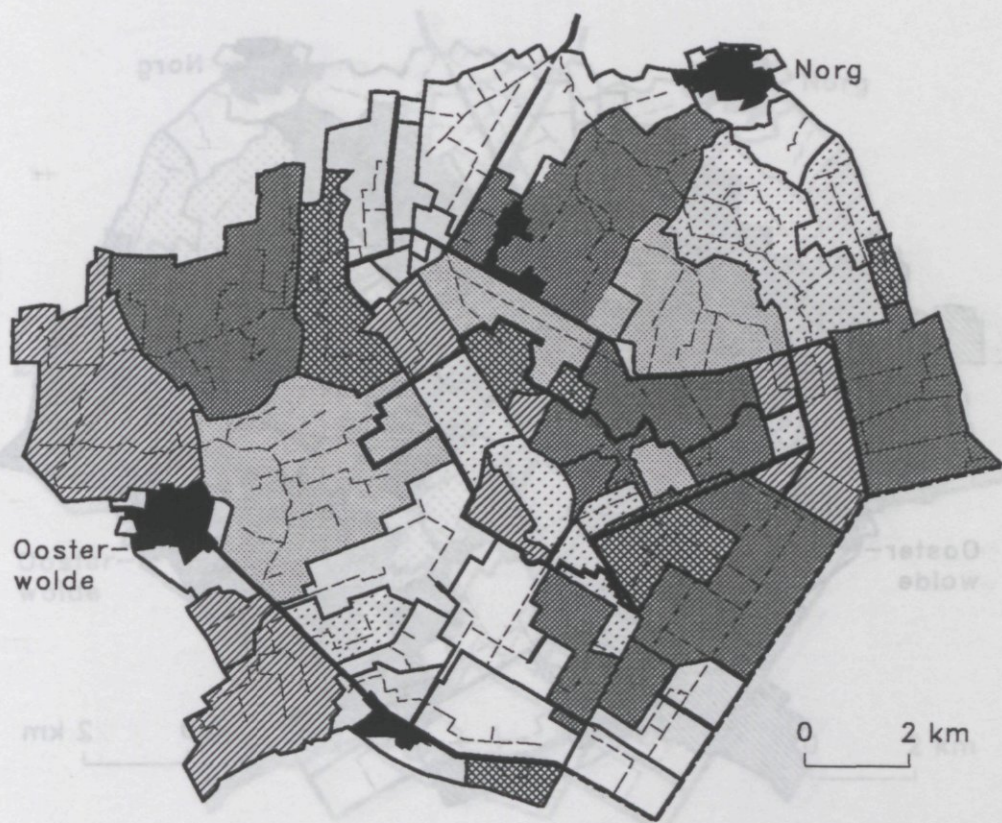


Fig. 105c Resultaten van de calibratie (c)



Afwijking afvoer (mm/d)	
	-1.74 - -0.35
	-0.35 - -0.10
	-0.10 - 0.10
	0.10 - 0.35
	0.35 - 1.50
	nvt

- Fochteloerveen
- grens waterbalanseenheid
- kanaal
- A-watergang

Fig. 106a Resultaten van de calibratie: afwijking van afvoeren na stap 0

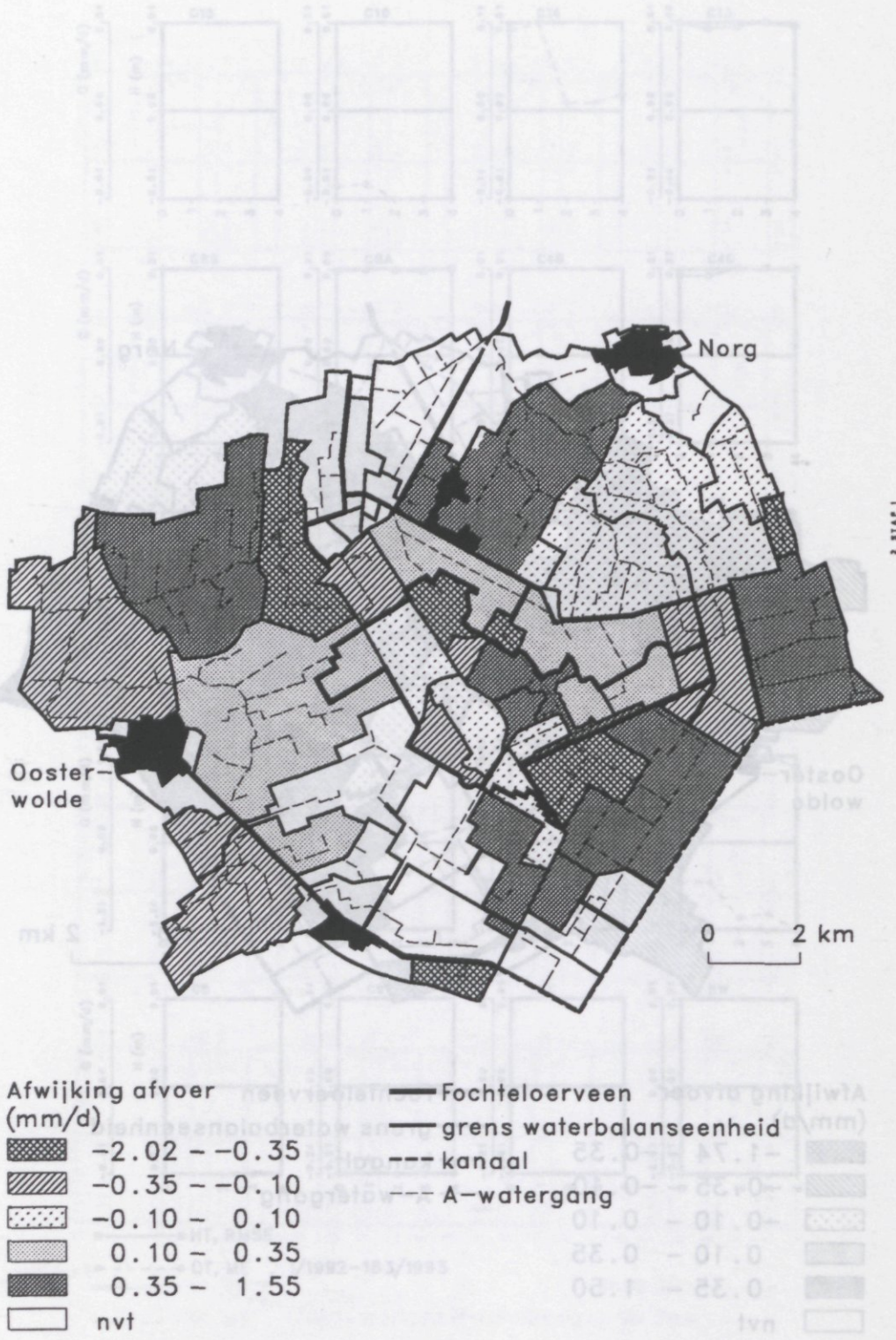
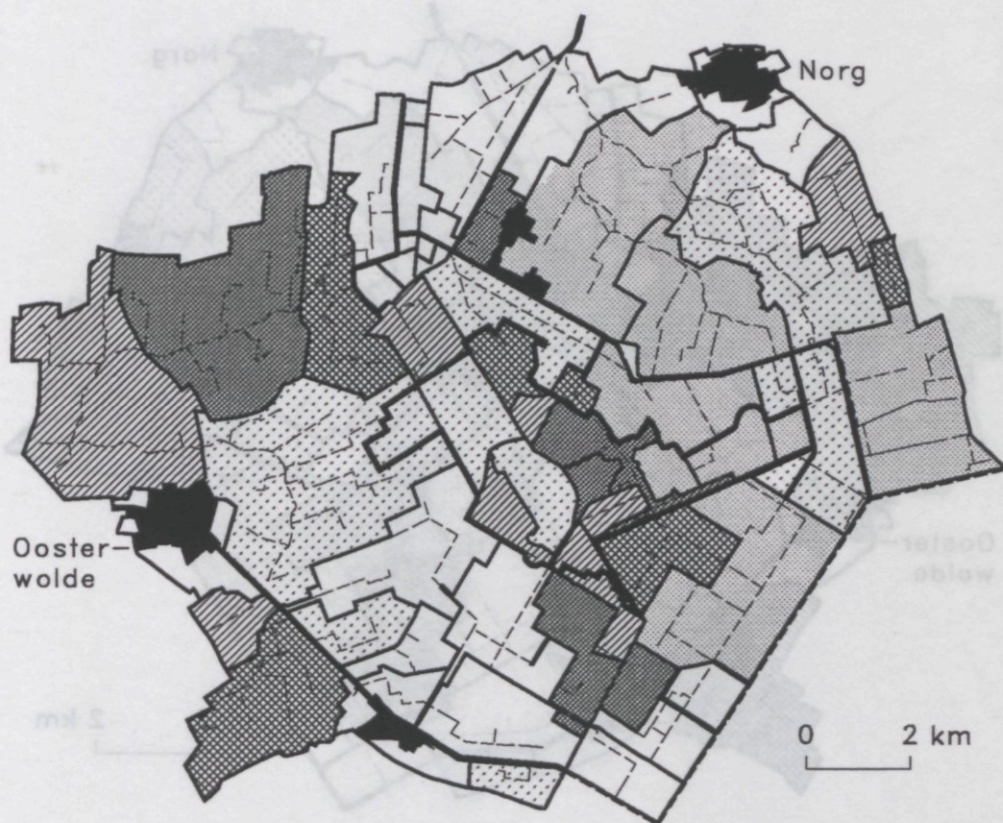
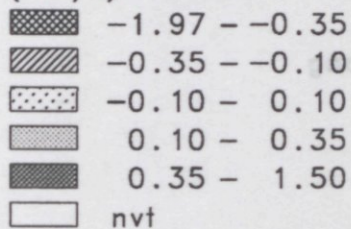


Fig. 106b Resultaten van de calibratie: afwijkingen van de afvoeren na stap 1





Afwijking afvoer  
(mm/d)



— Fochteloerveen  
— grens waterbalansenheid  
--- kanaal  
--- A-watergang

Fig. 106c Resultaten van de calibratie: afwijkingen van de afvoeren na stap 2

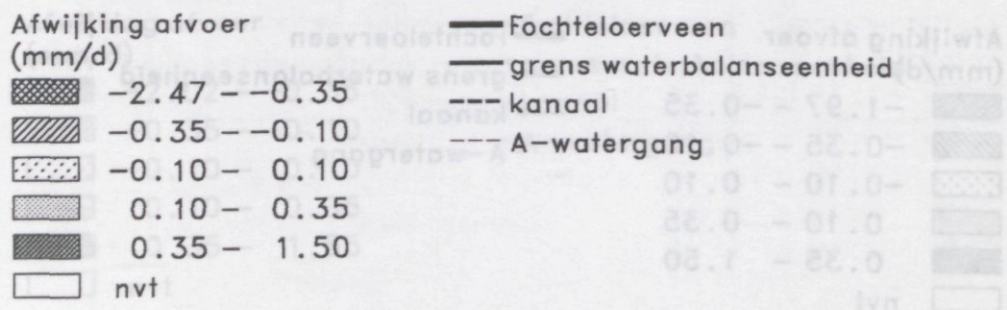
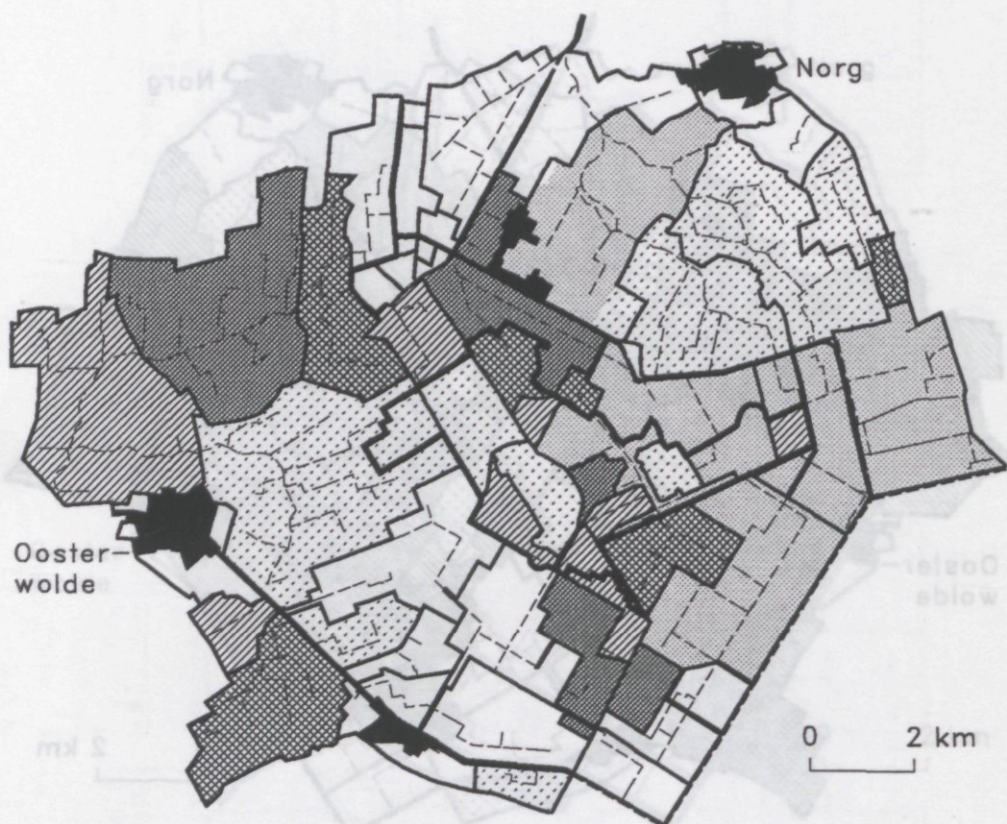


Fig. 106d Resultaten van de calibratie: afwijkingen van de afvoeren na stap 3

## Aanhangsel 2 Isohypsens van gesimuleerde en gemeten stijghoogten

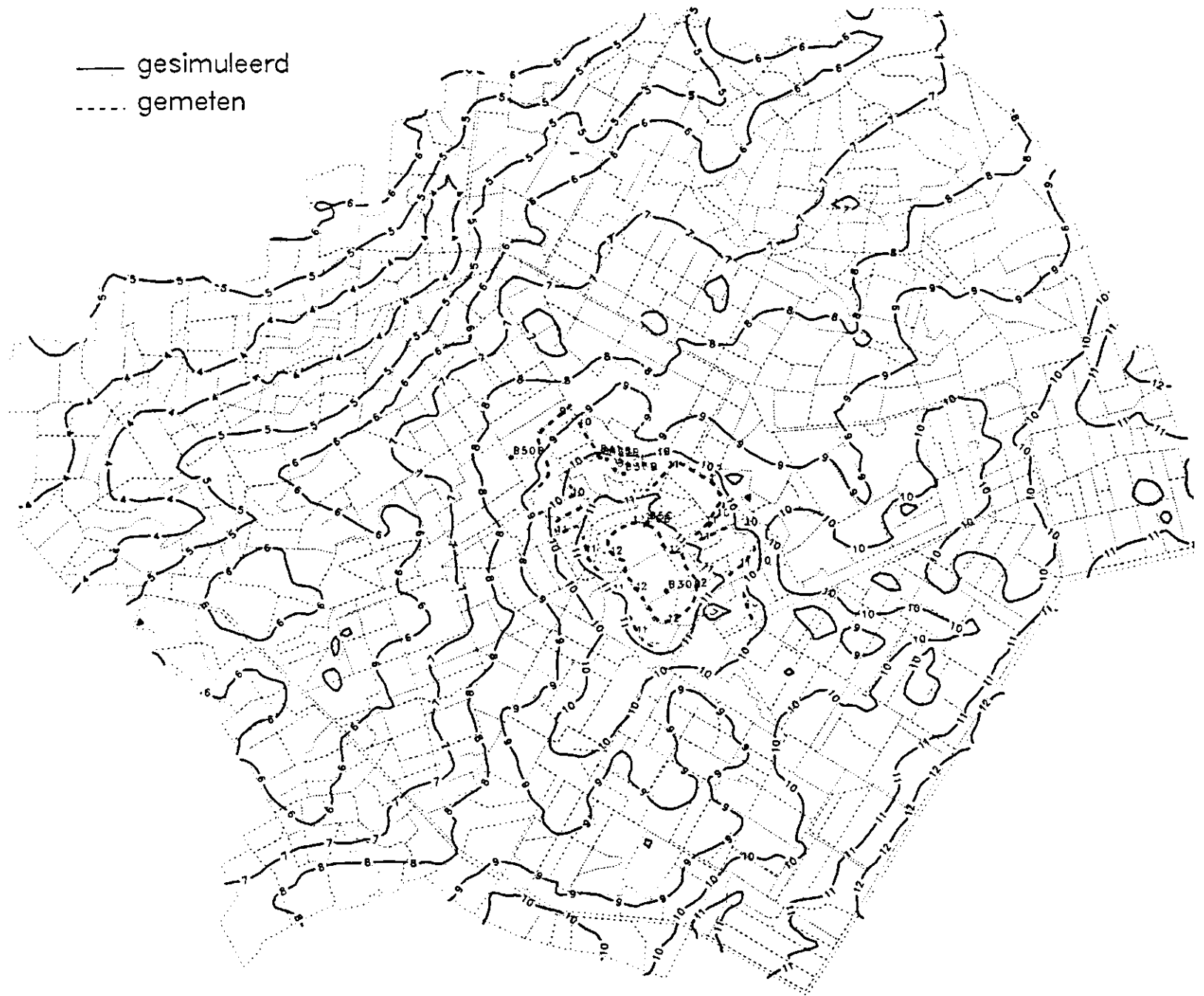


Fig. 107a Isohypsens van gesimuleerde en gemeten stijghoogten voor laag 1

— gesimuleerd  
- - - - - gemeten

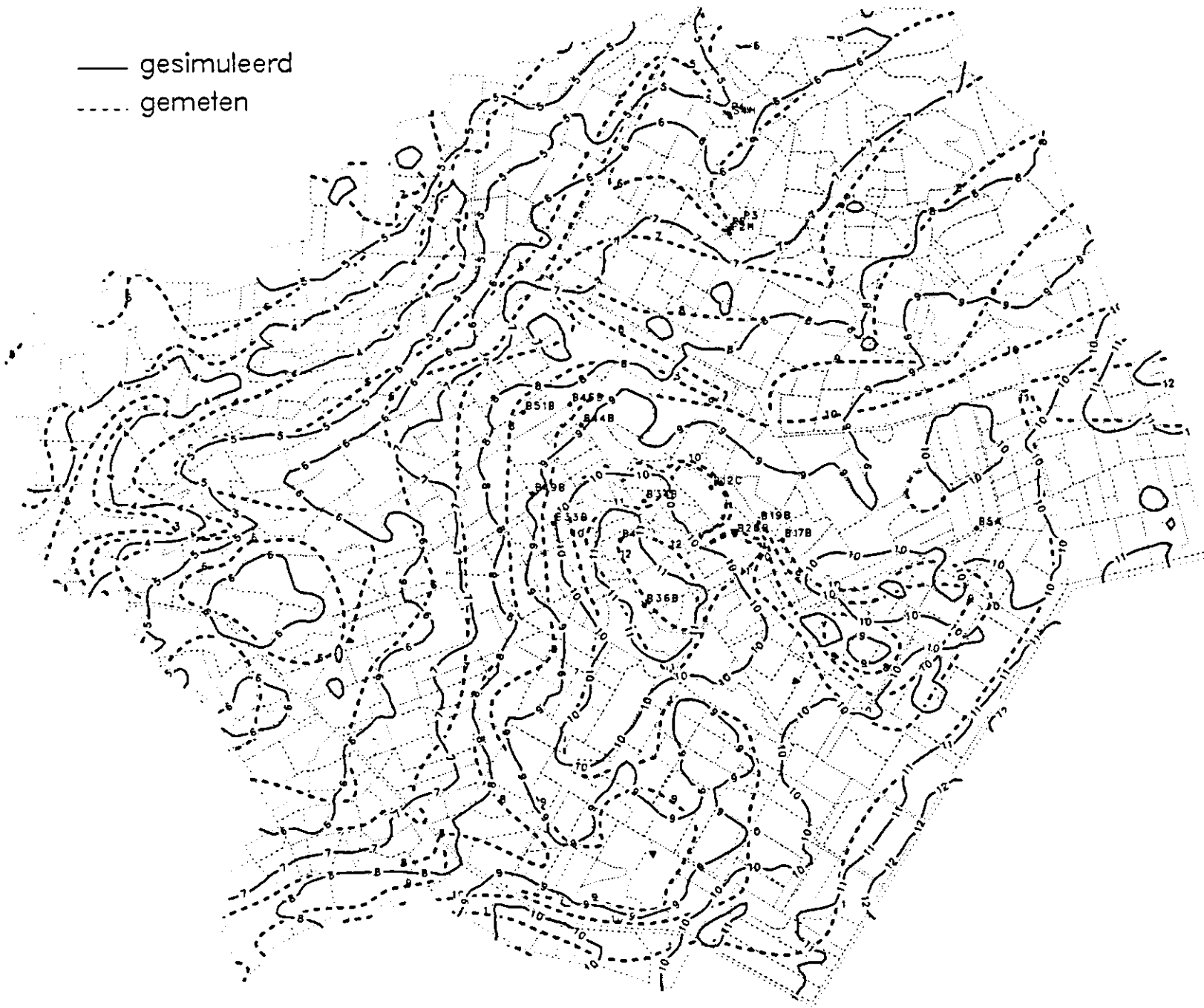


Fig. 107b Isohypsens van gesimuleerde en gemeten stijghoogten voor laag 2

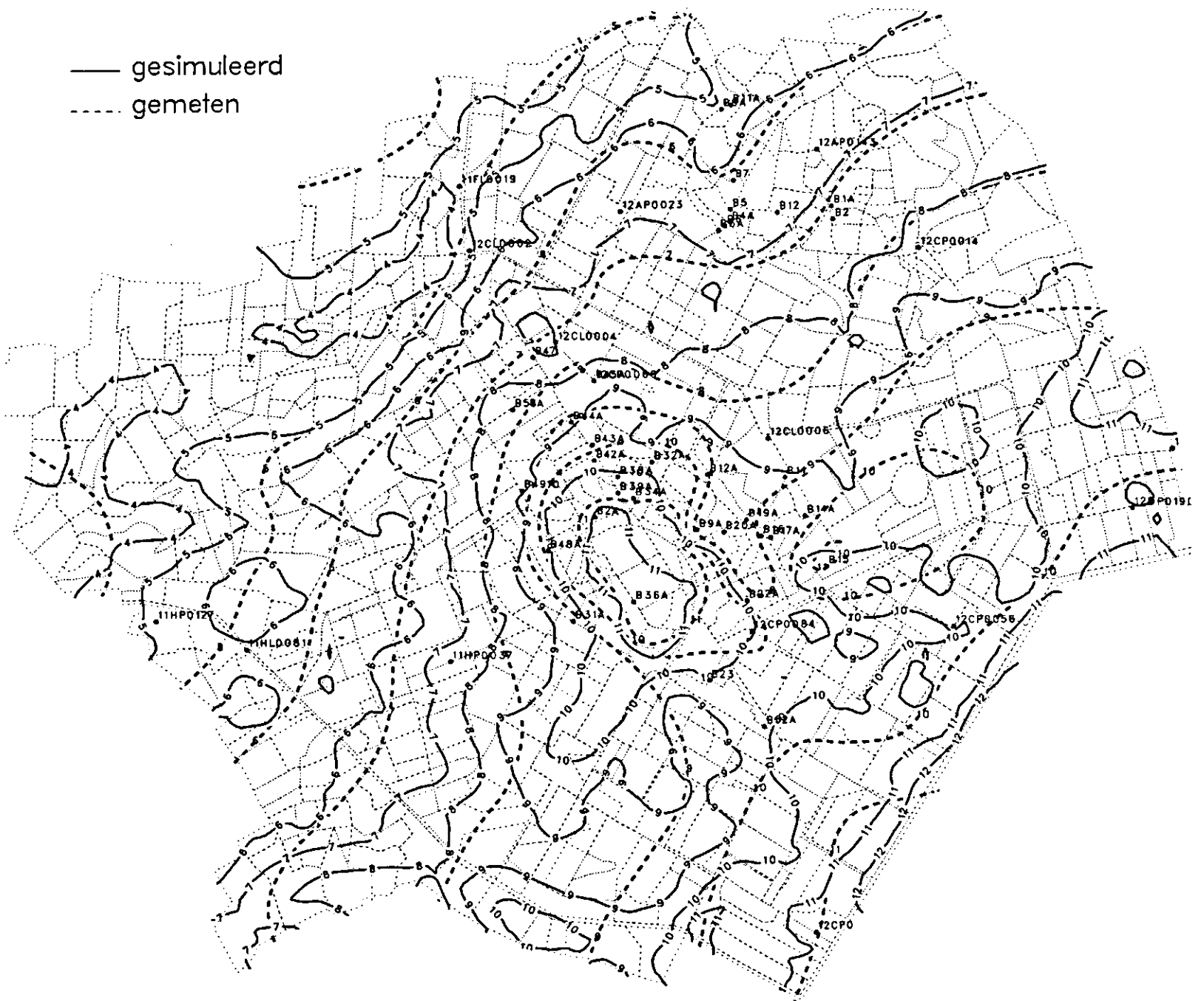


Fig. 107c Isohypsens van gesimuleerde en gemeten stijghoogten voor laag 4

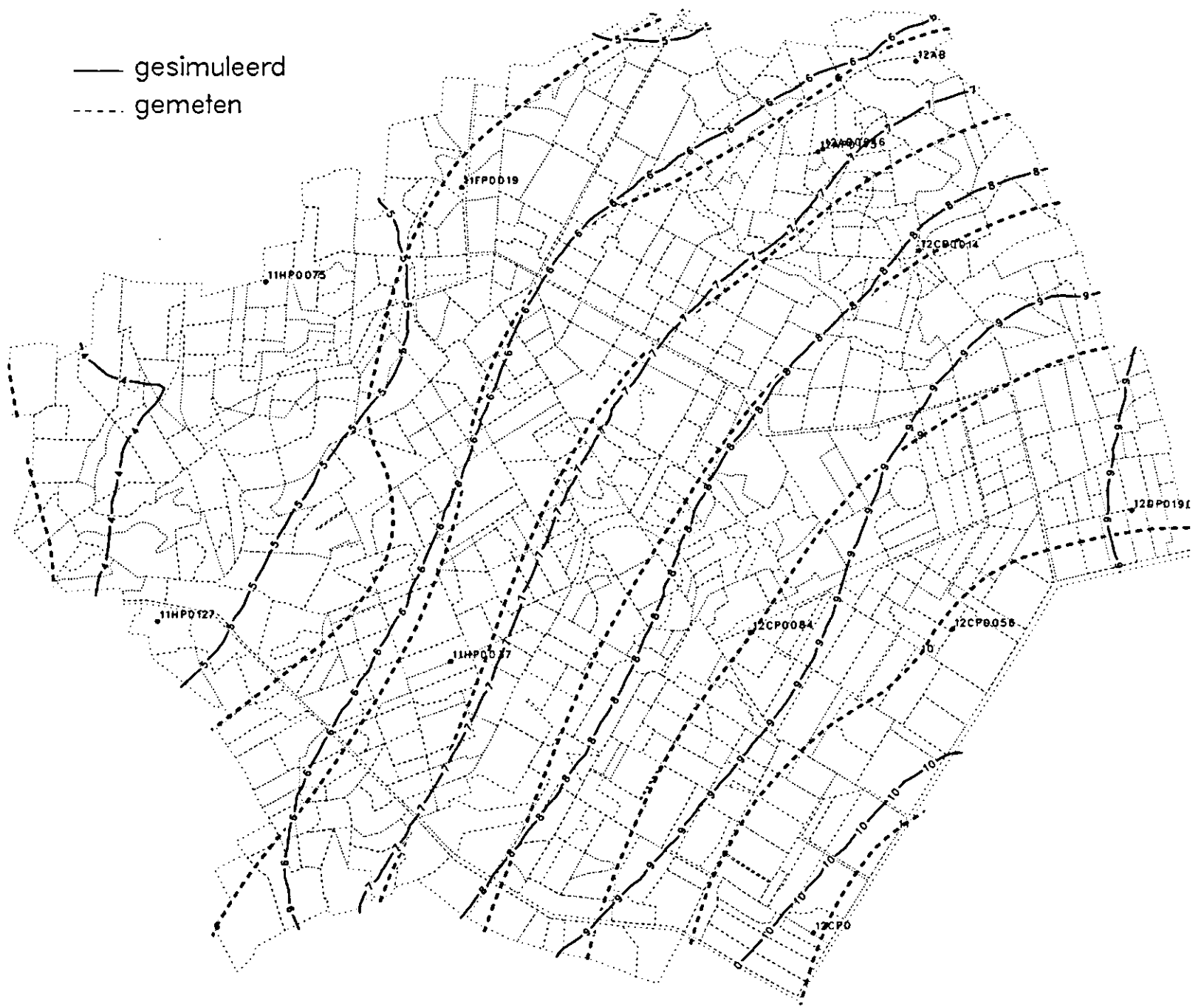


Fig. 107d Isohypsens van gesimuleerde en gemeten stijghoogten voor laag 6

### Aanhangsel 3 Toepassing berekening geschiktheids-score hoogveengroei op voorbeelden

Hieronder zijn voorbeelden opgenomen van toepassing van de hoogveengeschiktheid berekening op voorbeelden uit de literatuur. De daarvoor gebruikte duurlijnen zijn ontleend aan de selectie die is opgenomen in KIWA (1992).

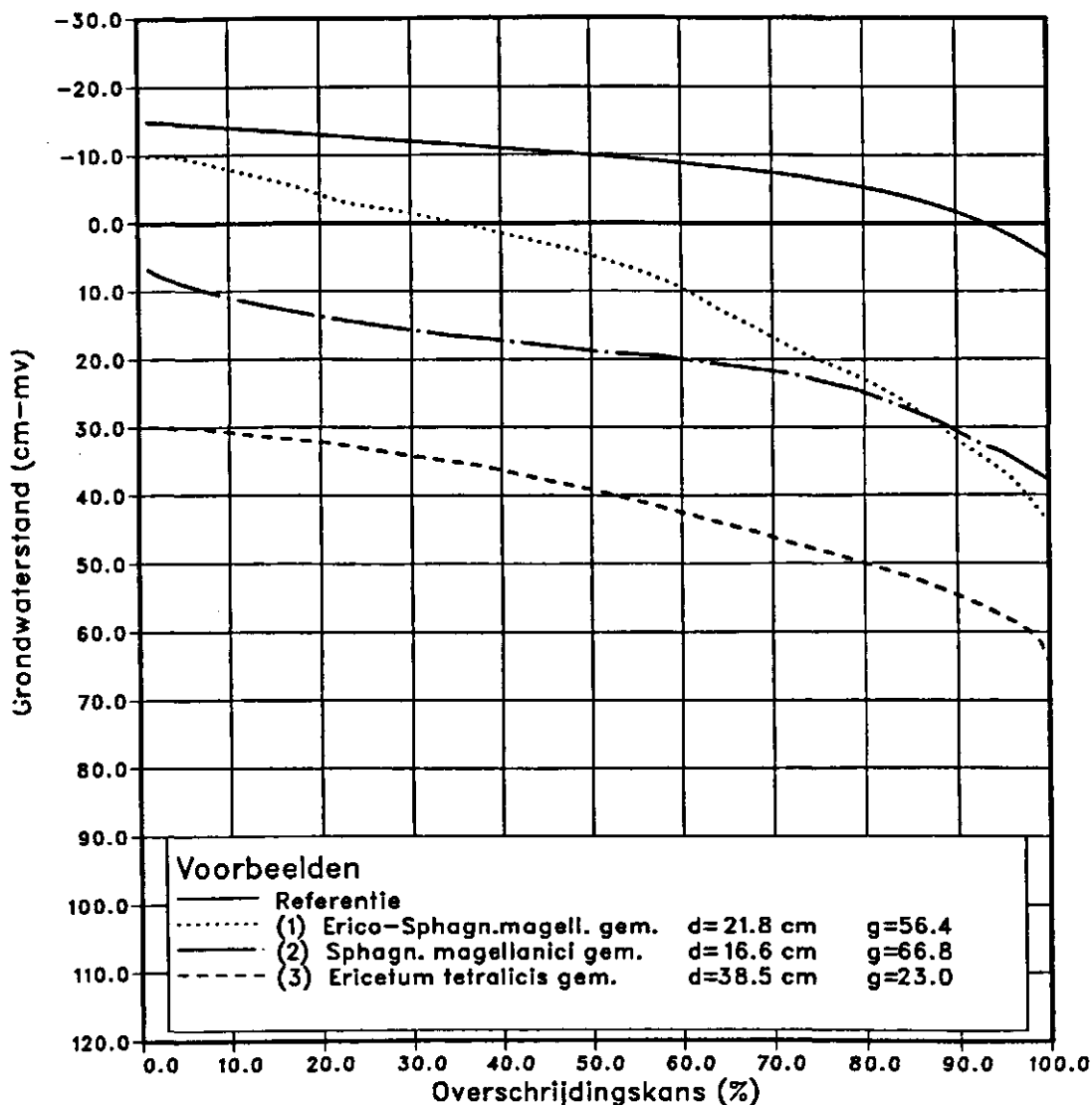


Fig. 108a Voorbeelden van berekening geschiktheids-score hoogveengroei voor 'gemiddelde' duurlijnen (d = doelfunctie, g = geschiktheids-score)

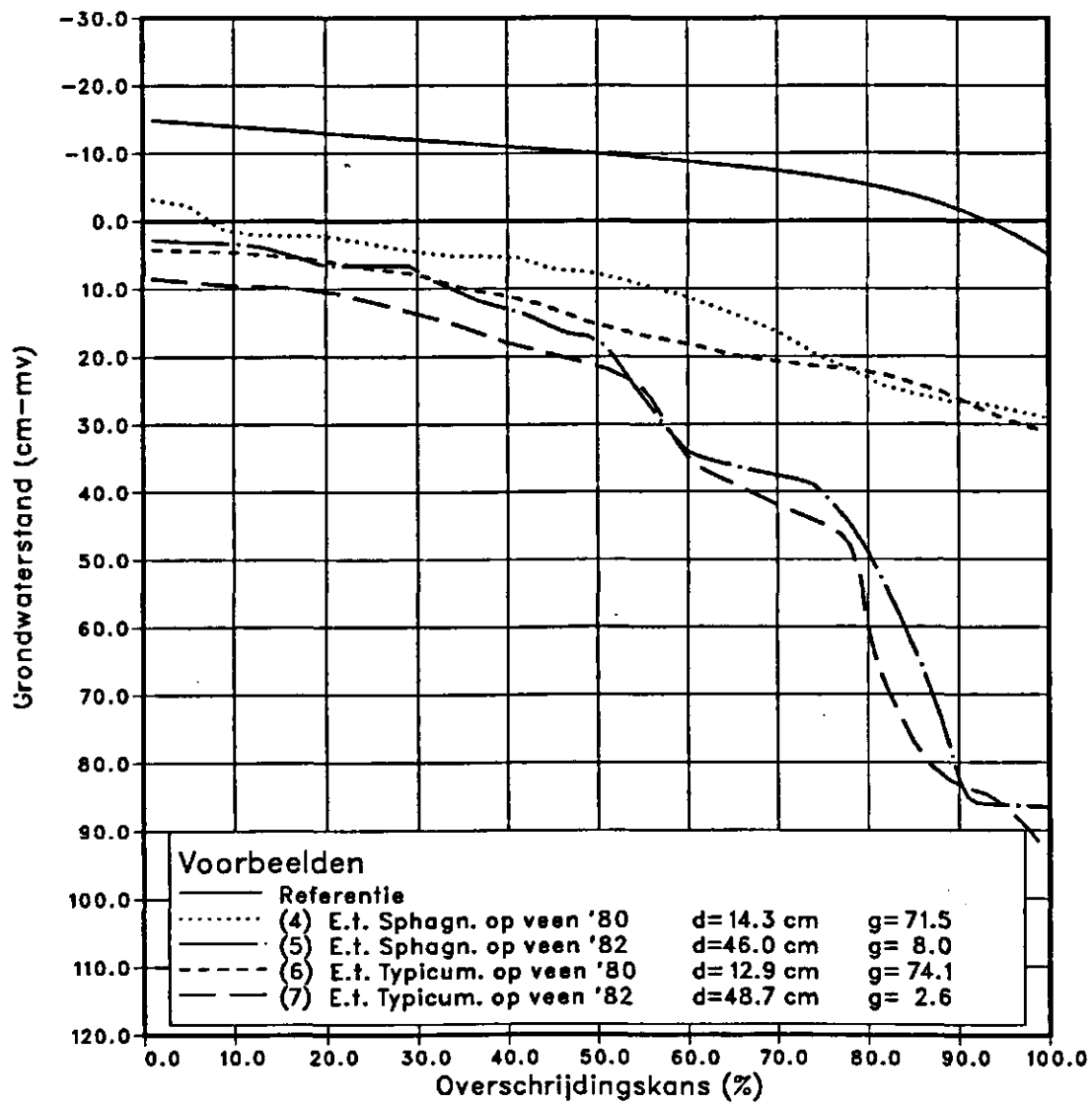


Fig. 108b Voorbeelden van toepassing hoogveen-geschiktheid berekening op duurlijnen van standplaatsen in het Beerzerveld ( $d$  = doelfunctie,  $g$  = geschiktheids-score)



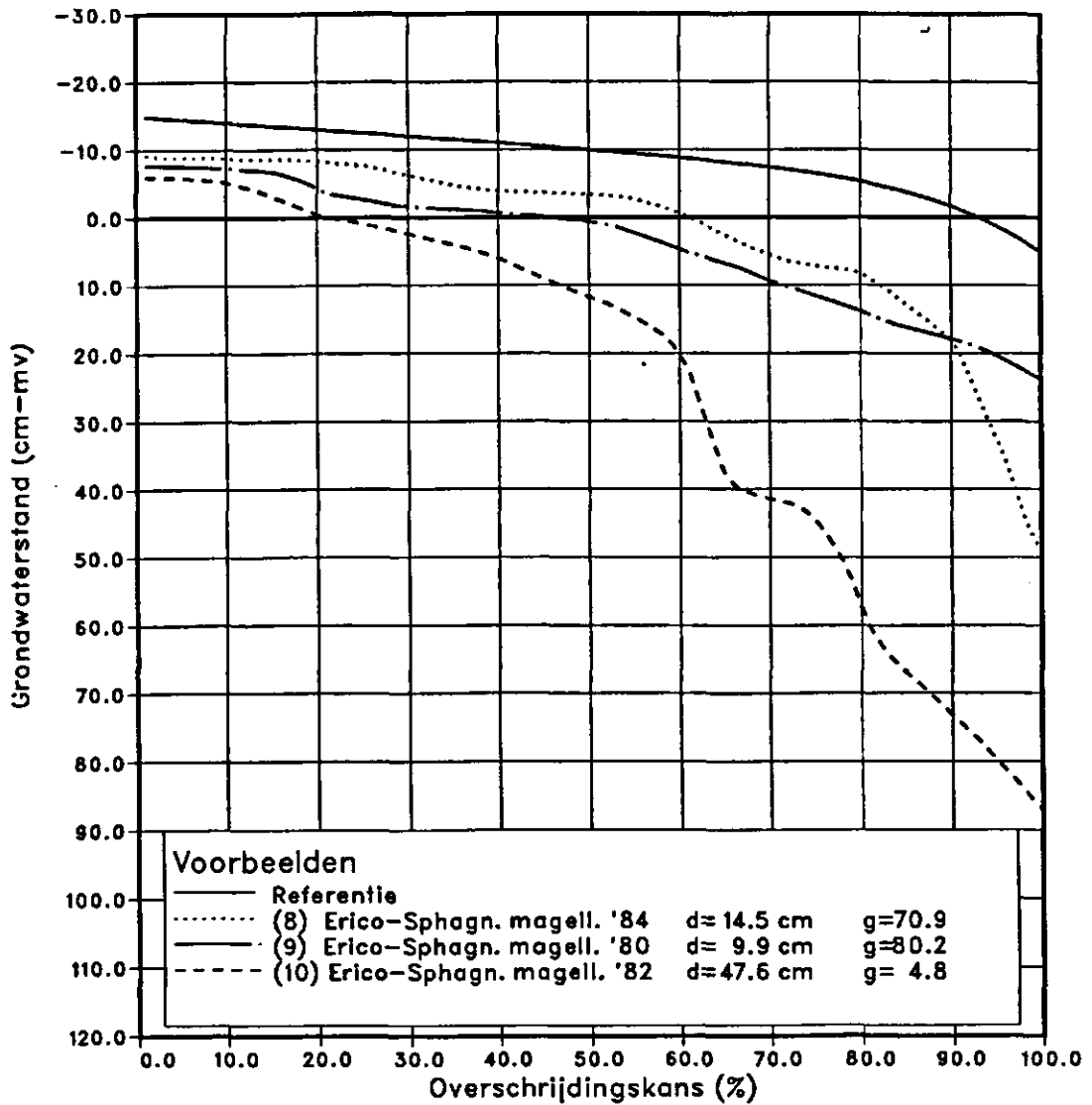


Fig. 108c Voorbeelden van toepassing hoogveen-geschiktheid berekening op duurlijnen van standplaatsen in het Beerzerveld ( $d$  = doelfunctie,  $g$  = geschiktheids-score)

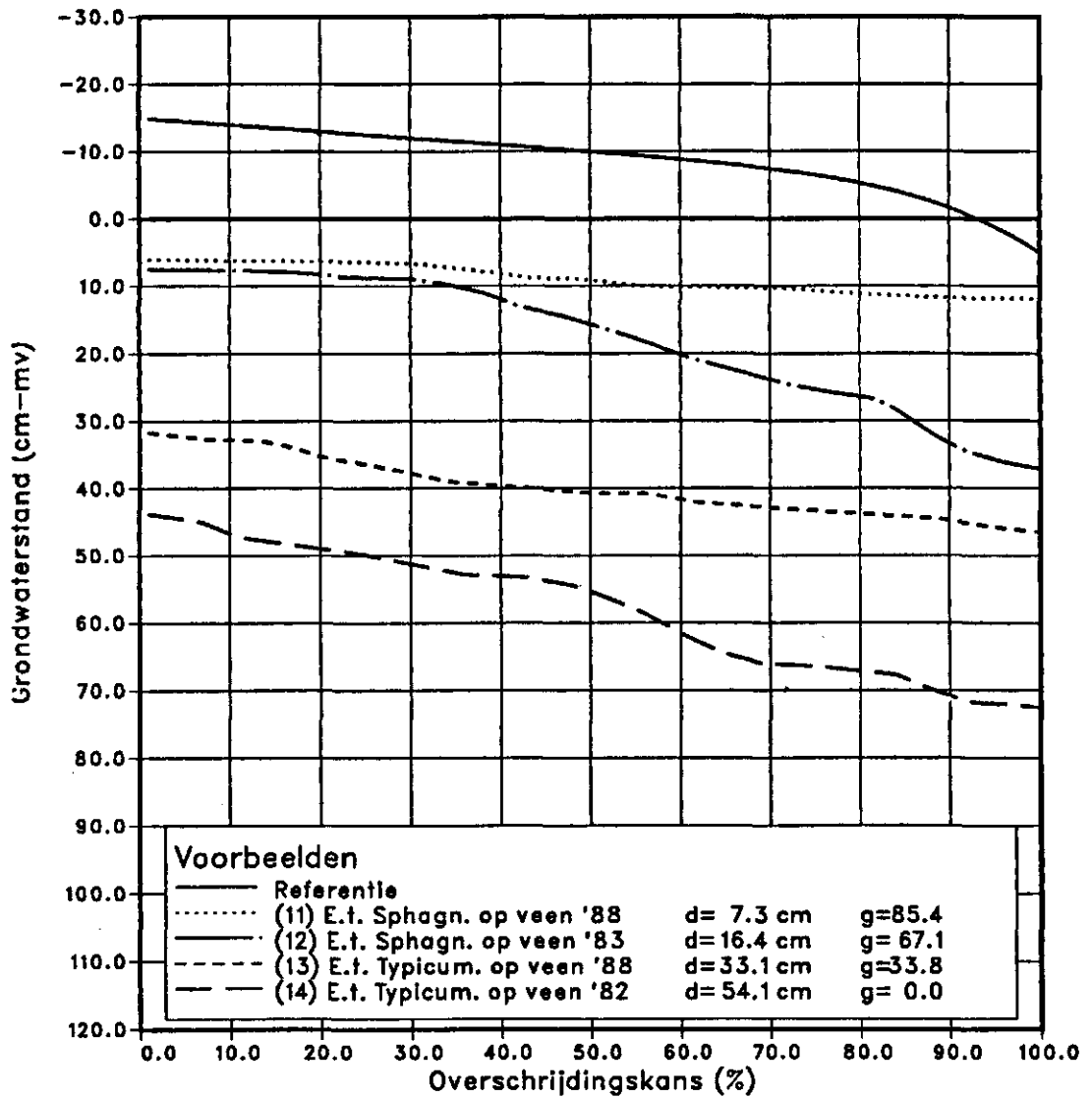


Fig. 108d Voorbeelden van toepassing hoogveen-geschiktheid berekening op duurlijnen van standplaatsen in het Bargerveen ( $d$  = doelfunctie,  $g$  = geschiktheids-score)

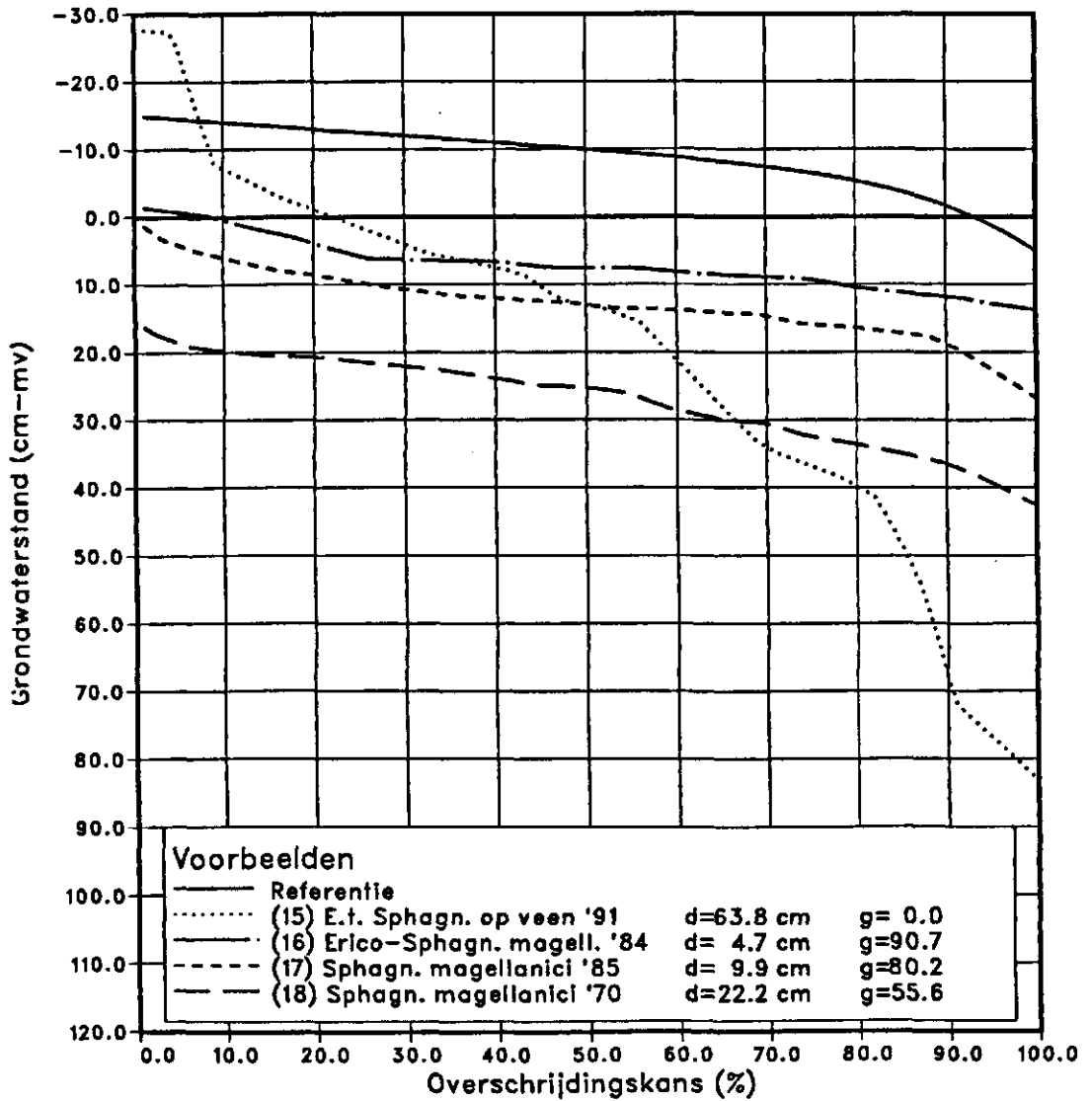


Fig. 108e Voorbeelden van toepassing hoogveen-geschiktheid berekening op duurlijnen van standplaatsen in het Wierdense veld (15), het Bargerveen (16), Zwarte Woud (17) en Westelijke Vooralpen (18) ( $d$  = doelfunctie,  $g$  = geschiktheids-score)