

Effecten voor de gewasopbrengsten bij peilverhoging van de Maas op de stuwpanden Grave en Sambeek

Onderzoek in het kader van
haalbaarheidsstudie MOMARO

Werkdocument 93.088X



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA

Afdeling : Rivieren

Arnhem / Lelystad

riza

riksinstituut
voor integraal zoetwaterbeheer
en afvalwaterbehandeling
tel. 085-688911, fax. 085-688678
doorkiesnummer 688547

Effecten voor de gewasopbrengsten
bij peilverhoging van de Maas op de
stuwpanden Grave en Sambeek.

Onderzoek in het kader van haalbaarheidsstudie MOMARO

Werkdocument 93.088X

auteur(s) Ing. H. Bos
L. Schutte
datum 9 juli 1993

VOORWOORD

Middels dit voorwoord willen wij al diegenen danken die onmisbaar zijn geweest voor de totstandkoming van dit document, hetzij door het beschikbaar stellen van kennis, hetzij door het beschikbaar stellen van menskracht, hetzij door beiden.

- Anne-Margreet De Leeuw en Poul Grashoff van het Waterloopkundig Laboratorium, Delft.
- Erik Sprokkereef, Ubo Pakes en Carlijn Bak van het RIZA, Lelystad.
- De heren Swart, van de Werke, de Vos, Boumans, Kok en Grootentraast van de LandinrichtingsDienst, Utrecht.
- Geert Menting van rijkswaterstaat Directie Flevoland, Lelystad.
- Barend Van de Broek, Fokko de Vries van het StaringsCentrum, Wageningen.
- Wim Silva en Wout van Vuuren van het RIZA, Arnhem.

Arnhem, 9 juli 1993. Herbert Bos & Bertus Schutte.

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	5
2. WATERHUISHOUING EN GEWASOPBRENGST	7
2.1. WATER IN BODEM	7
2.2. VERLOOP VAN GRONDWATERSTANDEN	7
2.2.1. GHG en GLG	8
2.2.2. Grondwatertrappen	8
2.3. PRACTISCHE POTENTIELE PRODUCTIE	8
2.4. OPBRENGSTDEPRESSIE DOOR WATEROVERLAST	9
2.5. OPBRENGSTDEPRESSIE DOOR DROOGTESCHADE	10
2.6. RELATIE WATERHUISHOUING GEWASOPBRENGST	10
3. HELP-TABELLEN	13
3.1. GEBRUIK HELP-TABELLEN	13
3.2. REGRESSIEFUNCTIES OP BASIS VAN HELP-TABELLEN	14
3.2.1. Regressiefuncties	14
3.2.2. Begrenzing van regressiefuncties	15
3.2.3. Bepalen van de coëfficiënten	15
3.2.4. Resultaten van optimalisatie	16
4. OPBRENGSTDEPRESSIE IN HUIDIGE SITUATIE	19
4.1. GRONDGEBRUIK	19
4.2. GRONDWATERTRAPPEN	20
4.3. BODEMTYPEN	22
4.4. WERKWIJZE BEREKENING OPBRENGSTDEPRESSIE	22
4.4.1. Combineren van kaartmateriaal	23
4.4.2. Berekenen opbrengstddepresie	23
5. OPBRENGSTDEPRESSIES IN SITUATIE MET PEILVERHOGING	25
5.1. PEILVERHOGING MET DYNAMISCH STUWBEHEER	25
5.2. EFFECTEN DYNAMISCH STUWBEHEER	25
5.3. EFFECTEN PERMANENTE PEILVERHOGING	26
5.4. SCENARIO	26
5.4.1. Invloed van peilopzet op de GHG	26
5.4.2. Invloed van peilopzet op de GLG	27
5.4.3. Berekenen opbrengstddepresie	27
5.5. RESULTATEN	27
5.5.1. Uitgangspunten	28
5.5.2. Ruimtelijk beeld van de resultaten	28
5.5.3. Financieel beeld van de resultaten	29
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	31
6.1. CONCLUSIES	31
6.2. AANBEVELINGEN	31

7. SAMENVATTING	33
7.1. INLEIDING	33
7.2. WATERHUISHOUING EN GEWASOPBRENGST	33
7.3. HELP-TABELLEN	33
7.4. SCENARIO HUIDIGE SITUATIE	34
7.5. SCENARIO PEILOPZET	34
7.6. CONCLUSIES	35
LITERATUUR	37

BIJLAGEN

BIJLAGE I:	Coëfficiënten voor regressiefuncties bij wateroverlast.	41
BIJLAGE II:	Coëfficiënten regressiefuncties bij droogteschade.	42
BIJLAGE III:	Resultaten optimalisatie regressiefuncties.	43
BIJLAGE IV:	Vergelijk tussen opbrengtdepressies uit HELP-tabel en opbrengtdepressies bepaald door regressiefuncties en de daarmee samenhangende waarde voor <i>se</i> voor HELP-bodemtype 58.	44
BIJLAGE V:	Omzetting van legendaenheden bodemtypenkaart.	45
BIJLAGE VI:	Berekende cumulatieve frequentie van waterstanden in de huidige situatie en bij een toekomstig stuwbeheer voor de stuwpanden Sambeek en Grave. Berekend over de periode 1961-1970.	47
BIJLAGE VII:	Berekende cumulatieve overschrijdingsfrequentie van peilverhoging op het stuwpand Grave voor het groeiseizoen in periode 1961 - 1970 en voor het groeiseizoen in het droge jaar 1967.	48
BIJLAGE VIII:	Bodemtypenkaart: 'Periodiek overstroomd' en Grondwatertrappenkaart: 'Geen grondwatertrap'.	49
BIJLAGE IX:	Gebieden waar peilverhoging leidt tot positieve effecten op gewasopbrengst en gebieden waar peilverhoging leidt tot negatieve effecten op gewasopbrengst van het landbouwareaal.	50
BIJLAGE X:	Toename van opbrengtdepressies ten gevolge van wateroverlast bij verhoging van GLG met dertig centimeter.	51
BIJLAGE XI:	Afname van opbrengtdepressies ten gevolge van droogteschade bij verhoging van GLG met dertig centimeter.	52

KAARTEN

KAART I: Grondgebruik (Gegeneraliseerd)	55
KAART II: Grondwatertrappen	57
KAART III: Bodemtypen (Gegeneraliseerd)	59
KAART IV: Invloed van peilverhoging	61

I. INLEIDING

In 1987 startte de Regionale Directie Limburg een studie om het beleid en het beheer ten aanzien van de rivier de Maas als vaarroute af te stemmen op de verwachte toekomstige ontwikkelingen. Deze studie mondde uit in een lange termijn beleidsvisie in de vorm van het rapport Toekomstvisie Maas; later Modernisering Maasroute (MOMARO) [lit. 8] genoemd. De inhoud van deze beleidsvisie is onder andere verwerkt in het tweede Structuurschema Verkeer en Vervoer (SVV II) en in het Meerjarenprogramma Infrastructuur en Transport (MIT).

Volgens het SVV moet onder andere de toegankelijkheid van de hoofdvaarweg de Maas verbeterd worden voor klasse V schepen. Dit betekent een diepgangvergroting voor bepaalde delen van de hoofdwatergang. Knelpunten voor de scheepvaart in de hoofdvaarweg Maas zijn de waterdiepten in de bovenstroomse delen van de stuwdijken Grave en Sambeek. Omdat er bij het huidige stuwebeheer een constante waterstand direct boven de stuwe wordt nagestreefd, is, bij lage afvoeren, de vaardiepte in het bovenstroomse deel van het betreffende stuwdijk onvoldoende, terwijl deze bij hoge afvoeren hoger is dan noodzakelijk. In het kader van MOMARO wordt overwogen de diepgang in de stuwdijken Grave en Sambeek te vermeerderen met 50 centimeter tot maximaal 3.50 meter.

Een neveneffect van dit alternatief stuwebeheer is dat grondwaterstandsveranderingen in de directe omgeving van de rivier kunnen optreden. Indirect kunnen hierdoor belangen als landbouw, natuur, recreatie en bebouwing beïnvloed worden.

Aan het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) is gevraagd in het kader van het haalbaarheidsonderzoek voor deze diepgangvergroting, een onderzoek te verrichten naar de effecten van een peilverhoging in combinatie met een ander stuwebeheer op de gewasopbrengsten van het landbouwareaal langs de rivier.

Na deze inleiding wordt in hoofdstuk twee in algemene zin ingegaan op de relatie tussen de waterhuishouding in de bodem en gewasopbrengst. Vervolgens is hoofdstuk drie gewijd aan de HELP-tabellen. Dit zijn tabellen waarin een relatie tussen opbrengstd depressies, grondgebruik, bodemtype en grondwatertrap wordt gelegd. Hoofdstuk vier beschrijft de berekening van de opbrengstd depressies voor de landbouw in de huidige situatie. Tevens wordt hier ingegaan op de herkomst, het gebruik, eventuele generalisaties en de nauwkeurigheid van de gebruikte invoergegevens voor de HELP-tabellen. In hoofdstuk vijf wordt ingegaan op het alternatieve stuwebeheer en de consequenties hiervan voor het grondwaterstandsverloop en de gewasopbrengsten van het landbouwareaal. Het rapport eindigt met conclusies en aanbevelingen in het laatste hoofdstuk.

2. WATERHUISHOUING EN GEWASOPBRENGST

Water is een onmisbare factor voor de groei van planten, als oplos- en transportmiddel voor voedingsstoffen, als koeling van het bladoppervlak en als onderdeel van de fotosynthese. Zowel bij een tekort als bij een overmaat aan water treden er stoornissen op in de groei, met als gevolg een geringere productie. Een teveel aan water kan tevens een belemmering vormen voor de bedrijfsvoering, wat de opbrengst nogmaals negatief beïnvloedt [lit. 1].

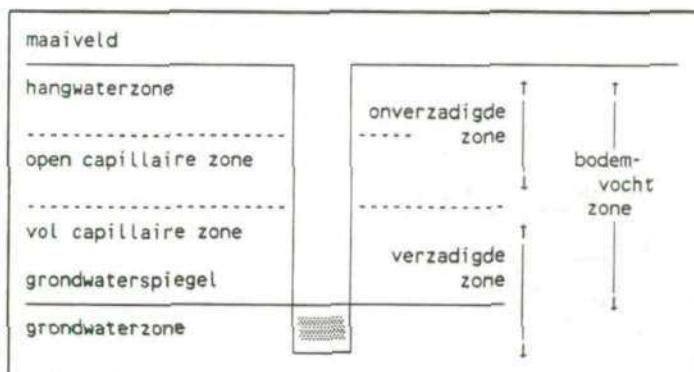
In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de relatie tussen de waterhuishouding van de bodem en de opbrengst van landbougewassen. Hiertoe worden eerst de karakterisering van de grondwaterstandsverlopen middels grondwatertrappen en het begrip potentiële productie behandeld. Vervolgens worden afzonderlijk de factoren besproken die relevant zijn voor de landbouwschade door wateroverlast en door droogte.

2.1. WATER IN BODEM

Water komt op verschillende manieren in de grond voor. Op grond van deze verschillen kan een indeling in zones gemaakt worden zoals te zien is in afbeelding 1, benaming van de bodemwaterzones.

Uit deze indeling is op te maken dat het grondwater, middels capillaire opstijging, de belangrijkste bron van het water in de bodem is.

Het regenwater, te vinden in de hangwaterzone, zal immers relatief snel, onder invloed van de zwaartekracht, uit de onverzadigde zone zijn verdwenen. De waterhuishouding in de bodem is dan ook voor wat betreft de vochtvoorziening, in belangrijke mate gerelateerd aan het verloop van de grondwaterstanden in de bodem.



Afbeelding 1 Benaming van de bodemwaterzones. De gestippelde grenzen zijn geleidelijk en moeilijk vast te leggen (bron: lit. 1)

Over het algemeen bevindt de grondwaterspiegel zich op een geringe diepte beneden het maaiveld. Deze grondwaterstandsdiepte is echter niet constant, maar onder invloed van stromingsprocessen in zowel de verzadigde als de onverzadigde zone van de bodem. Het gemiddelde verloop van de grondwaterstanden kan gekarakteriseerd worden door een indeling in zogenaamde grondwatertrappen. De indeling in grondwatertrappen is gebaseerd op gemiddeld hoogste (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstandsdiepte (GLG). Hiermee worden de winter- en de zomergrondwaterstanden gekarakteriseerd in een jaar met een gemiddelde neerslag en verdamping.

2.2. VERLOOP VAN GRONDWATERSTANDEN

Over het algemeen bevindt de grondwaterspiegel zich op een geringe diepte beneden het maaiveld. Deze grondwaterstandsdiepte is echter niet constant, maar onder invloed van stromingsprocessen in zowel de verzadigde als de onverzadigde zone van de bodem. Het gemiddelde verloop van de grondwaterstanden kan gekarakteriseerd worden door een indeling in zogenaamde grondwatertrappen. De indeling in grondwatertrappen is gebaseerd op gemiddeld hoogste (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstandsdiepte (GLG). Hiermee worden de winter- en de zomergrondwaterstanden gekarakteriseerd in een jaar met een gemiddelde neerslag en verdamping.

2.2.1. GHG en GLG

De GHG en GLG worden berekend uit een langjarige reeks (> 8 jaar) van tweewekelijks waargenomen grondwaterstanden. Eerst wordt het rekenkundig gemiddelde bepaald van de drie hoogste, respectievelijk laagste waarnemingen in een hydrologisch jaar (HG3 en LG3). Er wordt bij deze berekening niet met een kalenderjaar, maar met een hydrologisch jaar (1 april tot 31 maart) gewerkt. Dit heeft als achtergrond dat het begin hiervan ongeveer samenvalt met het tijdstip waarop neerslag en verdamping met elkaar in evenwicht zijn.

De GHG, respectievelijk de GLG, wordt gedefinieerd als de statistische verwachtingswaarde van de HG3's respectievelijk LG3's over een periode waarin het grondwaterregime niet door ingrepen is gewijzigd [lit. 1].

2.2.2. Grondwatertrappen

Vanuit de kartering rees al snel de behoefte om de GHG en de GLG weer te kunnen geven in ruimtelijke eenheden. Hiertoe moesten de GHG en GLG worden samengevoegd tot klassen. Deze klassen, begrensd door een GHG- en/of GLG-traject worden de grondwatertrappen (Gt's) genoemd. Tabel 1, Grondwatertrappenindeling op bodemkaarten, geeft de, voor de bodemkaarten gebruikelijke, grondwatertrappenindeling weer. Deze indeling kent vrij ruime grenzen; een nauwere indeling is echter niet in overeenstemming met de nauwkeurigheid van de veldschatting van de GHG en GLG. Verder hebben praktische en landbouwkundige overwegingen een rol gespeeld bij de keuze van de grenzen.

Grondwatertrap	GHG (cm. - mv.)	GLG (cm.-mv.)
I	-	< 50
II ¹	-	50 - 80
III ¹	< 40	80 - 120
IV	> 40	80 - 120
V ¹	< 40	> 120
VI	40 - 80	> 120
VII ²	> 80	> 120

Tabel 1. Grondwatertrappenindeling op bodemkaarten (bron: lit. 1)

- 1) Bij deze grondwatertrappen wordt met een * achter de code als onderverdeling een droger deel onderscheiden; met een GHG dieper dan 25 cm beneden maarveld.
- 2) Een met een * achter de code als onderverdeling aangegeven 'zeer droog deel' heeft een GHG dieper dan 140 cm.

2.3. PRACTISCHE POTENTIËLE PRODUCTIE

Onder het begrip potentiële groei wordt verstaan de groei die bereikt wordt onder de heersende meteorologische omstandigheden bij een optimale water-, zuurstof- en voedingsstoffenvoorziening. De onder deze omstandigheden en condities te verkrijgen gewasopbrengst wordt aangemerkt als de potentiële productie. Dit is een alleen in theorie te realiseren opbrengst.

Worden samen met bovengenoemde groefactoren ook de bedrijfseconomische en

bedrijfstechnische aspecten meegewogen, dan wordt gesproken over de praktische potentiële productie. Deze kan worden gedefinieerd als de productie die in de praktijk kan worden bereikt onder de heersende meteorologische omstandigheden bij een optimale water- en zuurstofvoorziening en onder bedrijfseconomische en bedrijfstechnische omstandigheden die in de gegeven situatie als algemeen gangbaar kunnen worden aangemerkt [lit. 5]. Deze praktische potentiële productie geldt als uitgangspunt voor bepaling van de gewasopbrengstdepressies.

2.4. OPBRENGSTDEPRESSIE DOOR WATEROVERLAST

In een natte bodem is het vochtgehalte hoog en het luchtgehalte relatief laag. Dit heeft tot gevolg dat onvoldoende uitwisseling plaatsvindt tussen bodemlucht en atmosfeer. Door verbruik van zuurstof en afgifte van koolzuur verandert de samenstelling van de bodemlucht in ongunstige zin, met als gevolg zuurstofgebrek. Daarnaast worden de stikstofmineralisatie en nitrificatie in de bodem geremd, met als gevolg stikstofgebrek. De bodemtemperatuur, van invloed op kieming van poot- en zaagoed, is in natte bodems gemiddeld 1 à 2° C. lager dan in droge bodems.

Verder speelt bij wateroverlast structuurverlies van de bodem door verslemping een rol, terwijl onvoldoende draagkracht en bewerkbaarheid van de bodem eveneens tot groeiachterstanden van het gewas kunnen leiden.

De genoemde aspecten vinden we terug in een viertal factoren die gezamenlijk de opbrengstdepressie ten gevolge van wateroverlast bepalen. Deze factoren worden hieronder genoemd.

- **Bodemkundige factoren:** Het humusgehalte, de textuur, de structuur en de profielopbouw bepalen in belangrijke mate de draagkracht en doorlatendheid van de bodem.
- **Grondwaterstand:** De belangrijkste factor voor de mate waarin wateroverlast optreedt is de grondwaterstand. Deze is in sterke mate bepalend voor het vochtgehalte en de vochtspanning in de bovengrond en is dientengevolge indirect van invloed op de bewerkbaarheid en de draagkracht van de bodem en de luchthuishouding in de wortelzone.
- **Meteorologische factoren:** De hoeveelheid neerslag en de verdeling hiervan is van belang ten aanzien van de verschillende aspecten van wateroverlast. Hierbij is behalve de intensiteit vooral het neerslagoverschot (neerslag minus verdamping) van belang.
- **Bedrijfsvoering en -omstandigheden:** Een hoge graad van mechanisering en een intensieve bedrijfsvoering stellen hoge eisen aan de ontwatering. Wateroverlast veroorzaakt in deze omstandigheden relatief veel schade. Daarnaast is ook het bouwplan van belang. De keuze van bepaalde gewassen kunnen het risico voor wateroverlast beïnvloeden. Bij grasland kan de schade soms worden beperkt door bedrijfstechnische maatregelen, bijvoorbeeld het aanpassen van het beweidingssysteem.

2.5. OPBRENGSTDEPRESSIE DOOR DROOGTESCHADE

De fotosynthese en dus de groei van een plant wordt beïnvloed door water, zonbestraling, temperatuur, voedingsstoffen, zuurstof etc. Wanneer een van deze groeifactoren in beperkte mate aanwezig is, wordt de groeisnelheid en ook de uiteindelijke opbrengst beperkt.

De voor een potentiële groei van een gewas noodzakelijke hoeveelheid water wordt bepaald door de potentiële verdamping. De grootte hiervan is afhankelijk van de eigenschappen van het gewas en een aantal meteorologische factoren. De voor de verdamping beschikbare hoeveelheid water wordt bepaald door de vochtvoorraad in de wortelzone aan het begin van het groeiseizoen en de aanvulling hiervan door neerslag en capillaire opstijging.

De belangrijkste bodemkundige factoren die van invloed zijn op de depressie door vochttekorten zijn de aard en dikte van de wortelzone en de capillaire doorlatendheid en profielopbouw van de ondergrond. Hieronder wordt daar kort op ingegaan:

- **Bodemkundige factoren van de wortelzone:** Voor de vochtvoorziening van het gewas is met name de hoeveelheid vocht die in de wortelzone wordt geborgen van belang. Deze hoeveelheid wordt bepaald door de dikte van de wortelzone en de vocht karakteristiek (pF-curve) als maat voor de beschikbaarheid van het vocht. Hierbij spelen organische stofgehalten, lutum- of leemgehalten, zandgrootheid en dichtheid van de grond een rol.
- **Bodemkundige factoren van de ondergrond:** Het transport van water door de bodem is afhankelijk van de capillaire doorlatendheid van de grond. De capillaire doorlatendheid wordt bepaald door de textuur en de dichtheid van de grond. Tevens speelt de profielopbouw een belangrijke rol.
- **Grondwaterstand:** Het niveau van het grondwater is van grote betekenis voor de vochtvoorziening van de vegetatie. Naarmate het freatisch vlak zich dichter onder de wortelzone bevindt zijn de mogelijkheden van capillaire opstijging groter.
- **Meteorologische factoren:** Zoals genoemd wordt de potentiële gewasverdamping mede bepaald door meteorologische factoren. Voor de vochtvoorziening van de vegetatie is vooral de hoeveelheid en de verdeling van de neerslag in het groeiseizoen (1 april - 1 oktober) van belang.

2.6. RELATIE WATERHUISHOUDING GEWASOPBRENGST

Zoals uit bovenstaande mag blijken, ligt er een impliciete relatie tussen de waterhuishouding van de bodem, in de vorm van het grondwaterstandsverloop, en de werkelijke gewasopbrengst ten opzichte van de praktische potentiële productie (de opbrengstd depressie).

Deze relatie is afhankelijk van gewastype, bodemtype, grondwatertrap, meteorologische en bedrijfstechnische factoren en bedrijfsvoering. Bij vaststelling van deze factoren is het mogelijk om een schatting te maken van de opbrengstd depressie voor wateroverlast en droogteschade.

Indien wordt uitgegaan van algemeen gangbare bedrijfstechnische factoren en bedrijfsvoering (praktische potentiële productie) en wordt gekozen voor generalisatie van meteorologische factoren (landelijke gemiddelden), dan kan een relatie worden

gelegd tussen gewastype, bodemtype en grondwatertrap enerzijds en opbrengstdepresie anderzijds. Daar de waterhuishouding in de bodem wordt bepaald door bodemtype en grondwatertrap [lit. 2] kan een relatie worden verondersteld tussen beide grootheden. Deze relatie wordt tot uitdrukking gebracht in de HELP-tabellen, waarop in het volgende hoofdstuk wordt ingegaan.

3. HELP-TABELLEN

Het vaststellen van de effecten van waterhuishoudkundige werken op de opbrengst van landbouwgewassen is een belangrijk onderdeel bij de evaluatie van landinrichtings-projecten. Ten behoeve van een gefundeerde berekening van de landbouwkundige baten was het noodzakelijk de relatie tussen waterhuishouding en opbrengst door middel van wetenschappelijk onderzoek te onderbouwen. Uit dit wetenschappelijk onderzoek, verricht door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW, thans onderdeel van het Staring Centrum), zijn in 1987 de zogenaamde HELP-tabellen vastgesteld. Deze HELP-tabellen zijn algemeen aanvaarde tabellen waarin de relaties tussen waterhuishouding en opbrengstd depressies zijn vastgelegd. Bij het vastleggen van de gevolgen voor de gewasopbrengsten bij peilverhoging op de panden Grave en Sambeek is dan ook uitgegaan van de relaties zoals deze zijn vastgelegd in de HELP-tabellen.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het gebruik van deze HELP-tabellen op de conventionele wijze en op het gebruik van regressiefuncties voor droogteschade en wateroverlast op basis van de HELP-tabellen.

3.1. GEBRUIK HELP-TABELLEN

In de HELP-tabellen zijn de depressiepercentages als gevolg van wateroverlast en droogteschade afzonderlijk weergegeven. De factor gewas is in de tabellen gegeneraliseerd tot twee eenheden, gras en andere gewassen. Hiermee is in feite een onderverdeling gemaakt naar grondgebruik; grasland en bouwland. Vervolgens zijn bij deze twee eenheden een zestal bodemtypen onderscheiden, te weten:

- veengronden,
- moerige gronden,
- kleigronden,
- zandgronden (eerd- en vaaggronden),
- zandgronden (podzolgronden),
- brik-, leem- en oude kleigronden,

Met deze indeling van de bodemtypen is aansluiting gezocht bij de bestaande bodemkartering van de Stichting voor Bodem Kartering (STIBOKA, thans onderdeel van het Staring Centrum). Per bodemtype zijn onderverdelingen gemaakt naar aanleiding van de aard of dikte van de bovengrond, profielverloop en/of samenstelling van het materiaal.

De depressiepercentages zijn vervolgens weergegeven voor de grondwatertrappen bij alle onderscheiden bodemtypen. De grondwatertrappen zijn ten behoeve van de HELP-tabellen omgezet in een GHG en een GLG. Ten aanzien van de depressies door wateroverlast zijn in de natte grondwatertrappen meerdere situaties onderscheiden.

Met een gegeven bodemtype en bijbehorende grondwatertrap is het mogelijk om in de tabel de opbrengstd depressies voor gras- of bouwland op te zoeken. Hierbij geldt dan dat de totale opbrengstd depressie voor deze combinatie wordt verkregen door sommatie van de uit de tabellen bepaalde depressie door wateroverlast en droogteschade. In feite leidt deze werkwijze tot enige overschatting van de totale depressie, omdat zowel

de wateroverlastdepressie als de droogteperiode worden gerelateerd aan hetzelfde potentiële productieniveau. Het is daarom correcter om de totale depressie te berekenen door vermenigvuldiging van de relatieve opbrengstniveau's:

$$\% \text{opbrengstdopr.} = \left(1 - \left(\frac{(100 - \% \text{wateroverl.})}{100} * \frac{(100 - \% \text{droogtesch.})}{100} \right) \right) * 100\% \quad [1]$$

Tot slot is, om regionale meteorologische verschillen op te heffen, Nederland in het kader van de HELP-studie opgedeeld in een 15-tal regio's. Het blijkt namelijk dat er regionale verschillen zijn in neerslagtekorten (neerslag - verdamping (mm.)). Met name de regio's Waddenzee, Zeeland en de kuststreken van Noord en Zuid Holland blijken een groter neerslagtekort te hebben dan het landelijk gemiddelde. Om deze regionale verschillen te kunnen verwerken kunnen berekende opbrengstdepressies vermenigvuldigd worden met een 'regio-factor'.

3.2. REGRESSIEFUNCTIES OP BASIS VAN HELP-TABELLEN

Het aantal combinaties van grondgebruik, bodemtypen en grondwaterstanden binnen de HELP-tabellen is dermate groot dat het onmogelijk is om opbrengstdepressies voor een gebied van 835 km² met de hand uit te rekenen. Deze behoefte aan geautomatiseerd berekenen van de opbrengstdepressies met behulp van de HELP-tabellen is niet nieuw. Door zowel de Landinrichtingsdienst als het Waterloopkundig Laboratorium (WL) is hiernaar onderzoek gedaan.

Het programma BODEP van de LandinrichtingsDienst is een systeem voor het geautomatiseerd werken met de HELP-tabellen. Het systeem voorziet in vele toepassingsmogelijkheden en hoge nauwkeurigheden, maar heeft als nadeel dat grootschalige, regionale studies, minder goed te verwerken zijn.

De methode van het Waterloopkundig Laboratorium voor automatisering van het werken met de HELP-tabellen, bestaat uit een formule die de relatie beschrijft tussen de opbrengstdepressie uit de HELP-tabel en de grondwatertrap.

Gezien het globale karakter van deze haalbaarheidsstudie en de beschikbare tijd is gekozen voor de methode van het WL.

3.2.1. Regressiefuncties

In het kader van intern onderzoek van het Waterloopkundig Laboratorium [lit. 21] is een poging gedaan om niet-lineaire regressiefuncties te ontwikkelen op basis van de vereenvoudigde HELP-tabellen zoals beschreven in het cultuurtechnisch vademeicum [lit.3].

Bij dit onderzoek van het WL is een functie opgesteld die met per bodemtype wisselende coëfficiënten een zo optimaal mogelijke beschrijving geeft van de schadepercentages bij verschillende combinaties van GHG en GLG. Onderscheid is gemaakt naar schade door wateroverlast en droogteschade. Deze regressiefuncties laten zich volgens lit. 21 omschrijven:

Opbrengstdepressie als gevolg van wateroverlast op grasland

$$\% \text{wateroverlast} = A + B * 10^4 * (GHG + 60)^{-3} + C * e^{(GLG / -5)} \quad [2]$$

Opbrengstdepressie als gevolg van wateroverlast op bouwland

$$\% \text{wateroverlast} = A + B * 10^4 * (GHG + 60)^{-2} + C * e^{(GLG / -5)} \quad [3]$$

Opbrengstdepressie als gevolg van droogteschade op gras- en bouwland

$$\% \text{droogteschade} = A + B * e^{(C * GHG)} + D * e^{(E * GLG)} \quad [4]$$

Hierbij zijn de coëfficiënten A, B, C (D en E) wisselend voor elke andere combinatie van grondwatertrappen en bodemtype (zie bijlagen I en II). Bij alle formules worden de GHG en de GLG uitgedrukt in centimeters.

3.2.2. Begrenzing van regressiefuncties

Wanneer de regressiefuncties [2], [3] en [4] zondermeer gebruikt zouden worden bestaat er de mogelijkheid dat er opbrengstdepressies kleiner dan nul en groter dan honderd procent ontstaan. Voorwaarde van het gebruik van de regressiefuncties op basis van de HELP-tabellen is dan ook dat er een duidelijke begrenzing voor de functies wordt bepaald.

Uiteraard zal de minimale waarde voor de opbrengstdepressies nul moeten zijn. Voor bepaling van de maxima is gebruik gemaakt van schadetabellen uit het rapport Landbouwkundige Aspecten van de GrondwaterOntrekking (LAGO-rapport, [lit. 22]) en de tabel van de Technische Commissie Grondwater Beheer (TCGB, [lit. 18]). Deze tabellen zijn opgesteld voor het bepalen van de opbrengstdepressies van gras- en bouwland als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand. Uit deze tabellen blijkt dat theoretische opbrengstdepressies tot honderd procent welliswaar mogelijk zijn, maar slechts onder bijzonder extreme omstandigheden bereikt worden [lit. 18]. Omdat zowel het LAGO-rapport als de TCGB-tabel als de HELP-tabellen uitgaan van gemiddelde omstandigheden, is voor begrenzing van de regressiefuncties op basis van de HELP-tabellen gekozen voor de maximale opbrengstdepressies zoals deze bepaald zijn voor het LAGO-rapport en de TCGB-tabel.

Dit betekent dat de opbrengstdepressies ten gevolge van wateroverlast op grasland (volgens formule [2]) liggen tussen de nul en veertig procent, terwijl deze depressie op bouwland (volgens formule [3]) een maximum kent van vijfenveertig procent. De opbrengstdepressies ten gevolge van droogteschade (volgens formule [4]) liggen tussen de nul en veertig procent.

3.2.3. Bepalen van de coëfficiënten

In het kader van deze studie zijn voor de verschillende bodemtypes uit de originele HELP-tabellen de coëfficiënten A, B, C (D en E) bepaald. Bij het bepalen van deze coëfficiënten moet een zo optimaal mogelijk verband worden gezocht tussen de resultaten van de regressiefunctie en de waarden voor de opbrengstdepressies uit de HELP-tabel.

Daar in de regressieformules sprake is van meerdere coëfficiënten, is het vinden van juist die combinatie waarbij dit het geval is niet eenvoudig. Over het algemeen zullen dit soort, niet-lineaire vergelijkingen meerdere, zogenaamde lokale optima kennen. De conventionele methode voor het vinden van het optimum zal vaak

leiden tot lokale optima, terwijl het beste resultaat (globale optimum) niet gevonden wordt [lit. 9]. Dit kan leiden tot een 'suboptimale' calibratie van een functie, waardoor het model de ideale calibratie mist.

Om dit probleem te voorkomen is gebruik gemaakt van een andere oplossingsmethode. Deze methode, beschreven in lit. 9, staat bekend als de 'Partition Algorithm Scheme' (PAS). De methode is gericht op het opeenvolgend verdelen van het aannemelijke zoekgebied in kleinere gebieden [lit. 9]. Onderzoek naar calibratie en onzekerheidsanalyse van milieumodellen heeft aangetoond dat deze benaderingswijze zeer bevredigende resultaten geeft.

3.2.4. Resultaten van optimalisatie

Een geautomatiseerde versie van het boven beschreven globale optimalisatie algoritme (gecombineerd met een locale zoekoptie en numerieke verfijningen) is beschikbaar. Dit programma, genaamd GLOBOPT (J. Pintér, 1992, herziene versie R. Havekes, 1993), is geschreven in FORTRAN en dus goed te implementeren op PC. Voor het optimaliseren van de regressiefuncties was het noodzakelijk om deze functies in te bouwen, tezamen met een routine welke de gegevens uit de HELP-tabellen vergelijkt met de functieresultaten. Middels deze werkwijze zijn de coëfficiënten bepaald van alle benodigde bodemtypen. De resultaten van deze optimalisatie, gepresenteerd in bijlage III, wijken in sommige gevallen sterk af van gevonden waarden in de eerdere studie van het WL. Bedacht moet worden dat de bodemtypen die door het WL gebruikt zijn, generalisaties zijn van de meest voorkomende bodemtypen; de in deze studie gebruikte bodemtypen zijn de originele bodemtypen uit de HELP-tabellen.

Als methode voor deze optimalisatie is gekozen voor de algemeen aanvaarde methode der kleinste kwadraten. Hierbij wordt gezocht naar juist die coëfficiënten waarbij het kwadratisch verschil tussen de HELP-tabel en de regressiefunctie (s_e in formule [5]) voor de verschillende combinaties van grondwatertrappen minimaal is.

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\text{HELP-tabel}(i) - \text{Functie-resultaat}(i))^2}{n}} \quad [5]$$

Hierin is n het aantal beschikbare tabelwaarnemingen per combinatie van bodemtype en grondgebruik. Dit aantal ligt tussen de acht en veertien waarnemingen.

De resultaten van de optimalisatie met behulp van het PAS zijn over het algemeen toereikend voor dit onderzoek. De resultaten van de regressiefuncties voor wateroverlast zijn alleszins bevredigend, berekende waarden van s_e voor wateroverlastschade (formules [2] en [3]) kennen een maximum van 0.58, een minimum van 0.16 en een gemiddelde over 49 geoptimaliseerde functies van 0.35.

De resultaten van de regressiefuncties voor droogteschade zijn minder optimaal. De berekende waarden van s_e voor droogteschade (formule [4]) kennen een maximum van 1.98, een minimum van 0.16 en een gemiddelde over 49 geoptimaliseerde functies van 0.85.

Bijlage IV toont een overzicht van verschillende waarden van s_e in relatie tot de

verschillen tussen de HELP-tabel en de met de regressiefunctie berekende opbrengstdepressies. Deze bijlage laat zien dat de verschillen tussen HELP-tabel en regressiefunctie erg groot zijn bij een s_e hoger dan 1.0 en dus dat de regressiefunctie minder nauwkeurig is bij met name droogteschade. Reden voor deze minder grote nauwkeurigheid is het globale kader waarin de regressiefunctie voor droogteschade destijds door het Waterloopkundig Laboratorium bepaald is. Voor regionale of lokale studies, waarin de bodemtypen meer gespecificeerd zijn, voldoet de functie minder goed. Vooral de sterk droogtegevoelige gronden kennen minder goede resultaten.

Gezien het globale karakter van deze haalbaarheidsstudie en de beschikbare tijd is gekozen om toch te werken met de functie zoals hierboven is beschreven.

4. OPBRENGSTDEPRESSIE IN HUIDIGE SITUATIE

De berekening van de opbrengstd depressie in de huidige situatie is met een Geografisch Informatie Systeem (GIS) gebeurd, aan de hand van de factoren grondgebruik, grondwatertrappen en bodemtypen. Achtereenvolgens zullen in dit hoofdstuk deze factoren aan de orde komen waarbij wordt ingegaan op de herkomst, nauwkeurigheid en het gebruik van deze digitale gegevens. Verder zal een toelichting worden gegeven op de werkwijze van de berekening.

4.1. GRONDGEBRUIK

Het grondgebruik in het betreffende gebied, Grave - Sambeek, is in het kader van een vooronderzoek reeds geïnventariseerd en gedigitaliseerd door Taken Landschapsplanning [lit. 17]. Hierbij is gebruik gemaakt van een bestaande inventarisatie van de Provinciale Planologische Dienst van de provincie Limburg en de topografische kaart 1:50.000.

De gegevens over grondgebruik zijn beschikbaar in Arc/Info-formaat. Dit formaat voorziet in een digitale kaart met vlakken, waarbij van elk vlak het grondgebruik bekend is. Deze kaart is in het kader van deze studie gegeneraliseerd naar relevante grondgebruik-eenheden, te weten 'grasland', 'bouwland' en 'overig' (tabel 2):

Legenda-eenheden grondgebruik vooronderzoek Bureau Taken	Generalisatie
plassen	overig
havens	overig
broekbosgebieden	overig
loofbosgebieden	overig
naaldbosgebieden	overig
gemengde bosgebieden	overig
heidegebieden	overig
loofbos- en heidegebieden	overig
gemengde loofbos- en heidegebieden	overig
braakliggende gebieden	overig
bebouwing	overig
velden met verspreide of randbebouwing ¹	bouwland
intensieve land- en tuinbouwgebieden	bouwland
weidegebieden	grasland
gemengde bos- en landbouwgebieden ²	grasland
grootschalige landbouwgebieden	bouwland
kleinschalige landbouwgebieden ³	bouwland

Legenda-eenheden grondgebruik vooronderzoek Bureau Taken	Generalisatie
tuinbouwgebieden	bouwland
kassencomplexen ⁴	overig
recreatie-, sport- en verzorgingscomplexen	overig

Tabel 2. Generalisatie van grondgebruiks-eenheden.

- 1) PPD Limburg [lit. 6] : (Grottere) bouwlandcomplexen met bebouwing van een enkele boerderij tot veel, recente, verspreide bebouwing in de vorm van nieuwbouw en kassen.
- 2) PPD Limburg [lit. 6] : Loof- en naaldhout met plaatselijk bouw- en weiland; Topografische kaart [lit. 20]: Loof- en naaldhout met plaatselijk voornamelijk grasland
- 3) PPD Limburg [lit. 6] : Oude heide-ontginnings; thans grote verwevenheid van bouwland, restanten heide en bos
- 4) Hoewel deze legendaenheid agrarisch grondgebruik betreft, is voor deze studie gekozen om de kassencomplexen buiten beschouwing te laten. Dit omdat de waterhuishouding binnen kassencomplexen onafhankelijk is van de grondwaterstanden in de bodem.

4.2. GRONDWATERTRAPPEN

De onderverdeling van het gebied Grave - Sambeek in grondwatertrappen is eveneens gedigitaliseerd door Bureau Taken [lit. 17]. Als basis voor deze kaart zijn destijs de gedrukte versies van de grondwatertrappenkaart van STIBOKA gebruikt, zoals deze wordt geleverd tezamen met de bodemkaarten 1:50.000. De gebruikte kaartbladen zijn 45 Oost, 46 Oost en West, 52 Oost en West en 58 Oost en West.

De grondwatertrappenkaart is gedigitaliseerd naar Arc/Info-formaat, en bestaat uit vlakken waarvan hetzij de grondwatertrap hetzij een andere omschrijving inzicht geeft in de waterhuishouding ter plaatse.

Voor berekening van de opbrengstdepressies zijn echter concrete cijfers noodzakelijk. Hiervoor moesten dan ook de legendaenhenen van de grondwatertrappenkaart omgezet worden naar bijbehorende GHG en GLG. Als richtlijnen voor deze aanpassing van de grondwatertrappenkaart gelden de GHG en GLG welke gebruikt worden in de HELP-tabellen [lit. 5]. Voor gecombineerde grondwatertrappen is een rekenkundig gemiddelde bepaald van de betreffende GHG en GLG's.

De legendaenheid 'geen grondwatertrap' betreft het gebied onmiddellijk grenzend aan de rivier de Maas (zie bijlage VIII). Dit gebied komt vrijwel overeen met het winterbed van de Maas met een inundatiefrequentie van 1 maal per 2 jaar [lit. 7]. Deze vooronderstelling wordt bevestigd door de bodemkaart 1:250.000, waar dit gebied belangrijke overeenkomsten vertoont met bodemeenheden met de toevoeging 'periodiek overstroomd' (zie bijlage VIII). Bij kartering door STIBOKA worden aan gronden onderhevig aan inundatie geen grondwatertrappen toegekend. Het grondwaterpeil in deze gebieden wordt sterk beïnvloed door het fluctuerende rivierpeil, waardoor van een karakterisering middels grondwatertrappen nauwelijks sprake kan zijn.

Voor deze haalbaarheidsstudie is gekozen om toch een GHG en een GLG aan deze gebieden te verbinden. Daar sprake is van periodiek overstroomd gebied, ligt een GHG van 0 centimeter voor de hand. Voor een inschatting van de GLG is uitgegaan van het stuwepeil van de rivier ten opzichte van N.A.P., waarbij verondersteld wordt

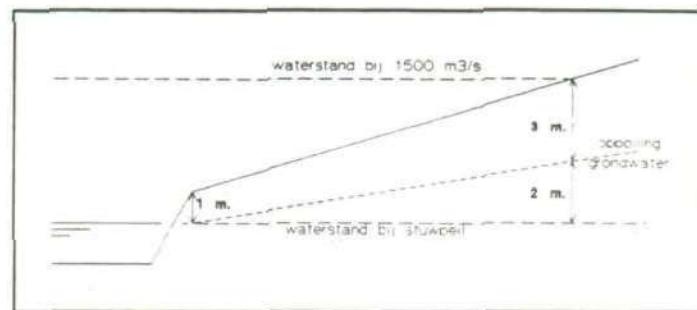
dat de GLG wordt bereikt bij een lage afvoer van de Maas, wanneer de stuwpanden nauwelijks verhang hebben.

Noodzakelijk voor deze benadering is de gemiddelde maaiveldshoogte van deze gebieden. Hiervoor is gebruik gemaakt van de hierboven genoemde inundatiefrequentie (zie afbeelding 2). Deze frequentie (1 maal per 2 jaar) is gerelateerd aan een afvoer bij Borgharen van 1500 m³/sec. [lit. 7]. Uit de frequentieanalyse waterstanden Maas, periode 1911-1990 [lit. 11] zijn vervolgens

de bijbehorende waterstanden (t.o.v. N.A.P.) ter plaatse te herleiden. Hieruit blijkt dat het maaiveld van dit inundatiegebied tot vijf meter uitsteekt boven het stuweil ter plaatse. Door een opbolling van het grondwater van twee meter te vooronderstellen, varieert de GLG in het gebied van één (oever) tot drie (grens inundatie) meter.

Daarom is gekozen voor een GLG van 2.00 meter beneden het maaiveld, het rekenkundig gemiddelde van deze waarden.

Het uiteindelijk resultaat van de aanpassing van de grondwatertrappenkaart aan de HELP-tabellen wordt in tabel 3 weergegeven.



Afbeelding 2 Bepaling GLG voor periodiek overstromende gebieden
(bron: RIZA WSR)

Legendaenheden grondwatertrappenkaart	GHG (cm.)	GLG (cm.)
Gt I	0	40
Gt II	10	70
Gt III	15	105
Gt IV	50	110
Gt V	25	140
Gt VI	60	170
Gt VII	70	200
bebouwing ¹	-	-
water ¹	-	-
groeve ¹	-	-
opgehoogd ¹	-	-
afgegraven ¹	-	-
vergraven ¹	-	-
gebieden zonder grondwatertrap	0	200
oude bewoningsgebieden ¹	-	-
Gt I/II	5	55
Gt II/III	15	90

Legendaeenheden grondwatertrappenkaart	GHG (cm.)	GLG (cm.)
Gt III/V	20	125
Gt III/VI/VII	60	160
Gt V/VI	45	155
Gt VI/VII	80	185

Tabel 3: Aanpassing legendaeenheden grondwatertrappenkaart

1) Deze legendaeenheden worden niet meegenomen met berekening.

4.3. BODEMTYPEN

De onderverdeling van het gebied Grave - Sambeek in bodemtypen is gebeurd op basis van de digitale bodemkaart 1:250.000 van STIBOKA [lit. 15]. Deze digitale bodemkaart bestaat uit vlakken met geaggregeerde legendaeenheden van de 1:50.000 bodemkaart van Nederland. Deze kaart wordt geleverd in Arc/Info-formaat door het Staring Centrum [lit. 14].

Voor berekening van de opbrengstd depressies moeten de legendaeenheden van deze digitale bodemkaart omgezet worden in bodemtypen zoals deze gebruikt worden in de HELP-tabellen. Daar de HELP-tabellen gebaseerd zijn op de 1:50.000 bodemkaart van Nederland is deze omzetting redelijk eenvoudig. Bij deze omzetting is gebruik gemaakt van de richtlijnen zoals deze worden gegeven bij de HELP-tabellen [lit 5]. Deze richtlijnen gaan uit van de differentiërende bodemkenmerken volgens tabel 4, het resultaat van de omzetting is gepresenteerd in bijlage V.

Hoofdgroep bodemkaart 1:250.000	Hoofdgroep HELP-bodemtype	Differentiërende kenmerken
Oude rivierkleigronden	Oude kleigronden	Aard van de bovengrond
Leemgronden	Leemgronden	Aard van de bovengrond
Jonge rivierkleigronden	Kleigronden	Profielverloop Lutumfractie moedermateriaal Begindiepte differentiërende lagen
Veengronden	Veengronden en Moerige gronden	Aard van de bovengrond Antropogene invloeden
Zandgronden	Zandgronden, Eerdgronden, Vaaggronden, Podzolen	Aard van de bovengrond Zandgrosheid moedermateriaal Leemfractie moedermateriaal

Tabel 4: Differentiërende bodemkenmerken voor omzetting bodemtypen 1:250.000 naar HELP-bodemtypen (naar: lit. 5 en 16)

4.4. WERKWIJZE BEREKENING OPBRENGSTDEPRESSIE

Voor de uiteindelijke berekening van de opbrengstdepressies in de huidige en toekomstige situatie is gebruik gemaakt van een Geografisch Informatie Systeem (GIS). Een GIS is een digitaal hulpmiddel voor het opslaan, bewerken en combineren

van geografisch bepaalde gegevens. Tevens biedt een geavanceerde GIS de mogelijkheid voor analyse en presentatie van deze gegevens. Een GIS onderscheidt zich van andere gegevensopslag door het plaatsgebonden karakter van de informatie. Binnen Rijkswaterstaat geldt Arc/Info als standaard voor GIS-toepassingen.

4.4.1. Combineren van kaartmateriaal

De eerste berekeningsstap is het combineren van het in de paragrafen 4.1 t/m 4.3 beschreven kaartmateriaal. De informatie op de verschillende kaarten is beschikbaar in vlakken waarbinnen dezelfde legendaenheid geldt. Deze vlakken zijn voor iedere kaart geometrisch vastgelegd. Hierdoor kan op eenvoudige wijze een combinatie van de verschillende kaarten worden gemaakt. De kaarten worden over elkaar gelegd, waarna nieuwe vlakken ontstaan. Binnen de nieuwe vlakken is dan ook altijd de combinatie van grondwatertrap, bodemtype en grondgebruik bekend. Deze combinatiekaart wordt vervolgens gezuiverd van elementen welke niet meedoen met de berekening en van digitaliseerfouten.

Vanuit deze combinatiekaart kan vervolgens een lijst geproduceerd worden van participerende vlakken met daarbij de oppervlakten waarvoor de legendaenheden van het basiskaartmateriaal gelden.

4.4.2. Berekenen opbrengstddepresie

De lijst met eenheden en oppervlakten wordt verwerkt met behulp van het programma OPBDEP (L. Schutte, 1993). Dit programma berekent de afzonderlijke opbrengstddepresie voor wateroverlast en droogteschade per oppervlakte middels de regressiefunctie als beschreven in paragraaf 3.2. De totale opbrengstddepresie, waarbij rekening wordt gehouden met de productie t.o.v. het relatieve productieniveau, wordt berekend volgens formule [1]. Tot slot wordt de opbrengstddepresie ten gevolge van droogteschade gecorrigeerd voor regionale meteorologische verschillen, door deze opbrengstddepresie te vermenigvuldigen met de correctie-factor 1.1, zoals is beschreven in het rapport van de werkgroep HELP-tabel [lit. 5].

5. OPBRENGSTDEPRESSIES IN SITUATIE MET PEILVERHOGING

In dit hoofdstuk wordt kort het voorgestelde alternatieve stuwbeheer toegelicht. Vervolgens wordt ingegaan op de wijze waarop de hieruit resulterende peilverhoging is omgezet in effecten op de grondwaterstanden. Tot slot worden, op dezelfde wijze als in de huidige situatie, de opbrengstdepresies bepaald.

5.1. PEILVERHOGING IN COMBINATIE MET DYNAMISCH STUWBEHEER

In het kader van MOMARO wordt overwogen ten behoeve van de scheepvaart de diepgang op de stuwpanden Sambeek en Grave te verhogen van 3.00 meter naar 3.50 meter. Permanente peilverhoging bij het huidige stuwbeheer heeft echter ook nadelen; bij hogere afvoeren, doorgaans in de winter en het voorjaar, ontstaan er in het gehele stuwpand hogere waterstanden. Hierdoor kan de landbouw schade ondervinden door de verminderde draagkracht en dus berijdbaarheid van de percelen. Ook andere belangen zoals riooloverstorten en bebouwing zouden door een éénzijdig opgelegde peilverhoging geschaad kunnen worden. Vanuit deze optiek wordt gedacht aan een peilverhoging in combinatie met een nieuw sturingsprincipe; het zogenaamde dynamisch stuwbeheer.

Het huidige (conventionele) stuwbeleid is erop gericht om een bepaalde waterstand direct boven de stuw binnen bepaalde marges te handhaven. Hiervoor beschikt de stuwmeester over informatie over de waterstand direct boven de stuw en globale informatie over de afvoeren bovenstroms. De kennis en ervaring van de stuwmeester spelen echter een doorslaggevende rol.

Het dynamisch stuwbeleid gaat uit van het handhaven van een bepaalde waterstand op een punt ver bovenstroms van de stuw. Deze waterstand ligt maximaal 50 cm boven het nu gehanteerde stuweil. Tot een bepaalde grensaafvoer (200 à 300 m³/sec.) wordt getracht het streefpeil in dit stuwpunt te handhaven, waarbij de waterstanden direct boven de stuw binnen bepaalde, doch hogere marges dan de huidige (maximaal 50 cm.), mogen variëren. Bij hogere afvoeren wordt als nu gestuwd; het peil wordt bij de stuw op een bepaalde minimale waarde gehouden en het peil in het stuurpunt wordt losgelaten. Op deze manier wordt bij stijgende afvoeren geleidelijk overgeschakeld naar het conventioneel stuwen met een vast peil direct boven de stuw [lit. 12 en 13].

5.2. EFFECTEN DYNAMISCH STUWBEHEER

De effecten van een peilopzet van maximaal 50 centimeter in combinatie met een dynamisch stuwbeheer op de frequenties van voorkomen van waterstanden in de Maas zijn in een eerder stadium bestudeerd door het RIZA. In de rapportage 'Frequentieanalyse waterstanden in de Maas bij het huidig en een toekomstig stuwbeheer' [lit. 10] zijn voor de doorgerekende periode (1961 - 1970) onder andere de volgende conclusies getrokken:

- In het algemeen zal in de zomer en nazomer in meer dan de helft van de tijd sprake zijn van beïnvloeding van de huidige waterstanden als gevolg van een ander peilbeheer. Incidenteel kan dit echter ook in de winterperiode voorkomen.
- Een gewijzigd peilbeheer in één van de panden heeft geen invloed op de waterstanden in de overige panden.
- Met het geformuleerd alternatief stuwbheer is de invloed van peilopzet bij afvoeren boven 200 m³/sec. in het stuwpand Sambeek nihil, de noodzaak voor peilopzet is boven deze afvoer niet aanwezig.
- Met het geformuleerd alternatief stuwbheer is de invloed van peilopzet bij afvoeren boven 300 m³/sec. in het stuwpand Grave nihil, de noodzaak voor peilopzet is boven deze afvoer niet aanwezig.

Resultaten van deze frequentie-analyse zijn terug te vinden in bijlage VI.

5.3. EFFECTEN PERMANENTE PEILVERHOGING

Voor het scenario van peilverhoging is er de beschikking over een studie van IWACO, naar de effecten van een permanente peilverhoging van 40 cm. op de grondwaterstanden in de regio [lit. 4]. Deze studie leert dat de effecten van een dergelijke peilverhoging tot maximaal twee kilometer uit het hart van de rivier merkbaar zijn. De isolijnen van de invloeden van continue peilopzet zijn verdeeld in drie categorieën, te weten een invloed van 0-10 cm., van 10-20 cm. en van 20-40 cm.

De genoemde isolijnen zijn voornamelijk bepaald op grond van analytische berekeningen waarbij uitgegaan is van peilverhoging vanuit de hartlijn van de Maas. Geen rekening is gehouden met oppervlaktewater-elementen welke in verbinding staan met de Maas, zoals meerdere grindgaten, havens, beken en recreatieplassen. In het kader van deze haalbaarheidsstudie zijn de isolijnen gedigitaliseerd en aangepast, waarbij rekening gehouden is met oppervlaktewater-elementen in open verbinding.

5.4. SCENARIO

Uit de effecten van een alternatief stuwbheer en een permanente peilverhoging op de grondwaterstanden, zoals hierboven beschreven, is een scenario opgesteld voor het toekomstig grondwaterstandsverloop. Een voorstelling van de gevolgen voor het grondwaterstandsverloop is te zien op afbeelding 3.

5.4.1. Invloed van peilopzet op de GHG

Daar er een aannemelijk verband bestaat tussen een lage neerslagintensiteit en lage afvoeren op de Maas betekent dit dat peilopzet over het algemeen plaats zal vinden in drogere perioden. Dit verband impliceert dat peilopzet over het algemeen minimale invloed zal hebben op de hogere grondwaterstanden, terwijl de invloed op lage grondwaterstanden juist maximaal is. Hieruit is geconcludeerd dat de invloed van een alternatief stuwbheer op de GHG nihil is.

5.4.2. Invoed van peilopzet op de GLG

Uit de eerder genoemde RIZA-studie kan geconcludeerd worden dat over het groeiseizoen (1 april - 1 oktober) van een normaal jaar in 50% van de tijd een peilverhoging van 35 cm bereikt of overschreden zal worden. Over het groeiseizoen van een droog jaar zal in 50% van de tijd een peilverhoging van 45 cm bereikt of overschreden worden (zie bijlage VII).

Hieruit is geconcludeerd dat de invloed van een alternatief stuweheer op de GLG tussen de 35 en de 45 cm zal bedragen. Uitgaande van de gedachte dat de GLG bepaald wordt over een

langjarige reeks van minstens acht jaar, en om onderschatting van de opbrengstdpressies te voorkomen is gekozen om het gemiddelde van deze waarden als uitgangspunt te kiezen. In concreto leidt dit tot een aanpassing van de GLG uitgaande van een peilverhoging van 40 cm.

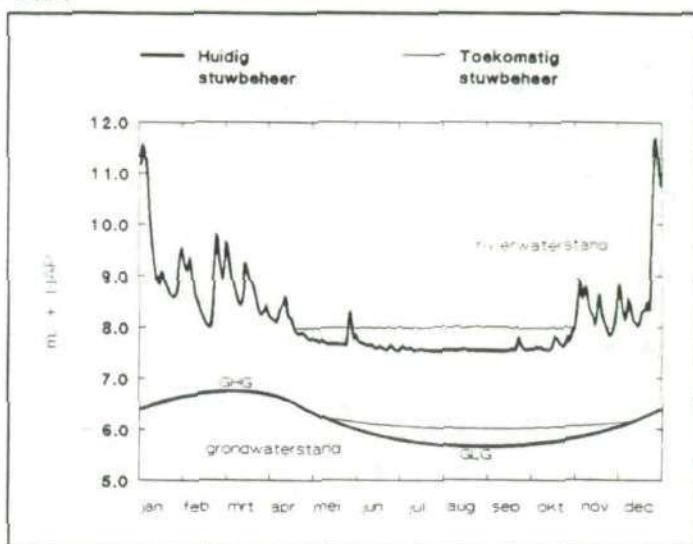
Deze aanpassing wordt gedaan volgens de isolijnen zoals deze berekend zijn in de IWACO-studie en aangepast zijn aan oppervlakte-elementen. Voor de verschillende eenheden, vanaf de hartlijn van de Maas, geldt een verhoging van de GLG ten gevolge van een alternatief stuweheer, van 30, 20 en 10 cm.

5.4.3. Berekenen opbrengstdepresie

De berekening van de effecten op de landbouw voor het scenario met peilopzet zijn op een zelfde wijze uitgevoerd als bij de huidige situatie. Over de al genoemde kaarten van grondgebruik, grondwatertrappen en bodemtypen wordt een vierde kaart gelegd met daarop het beïnvloedingsgebied van peilverhoging. Deze nieuwe situatie wordt vervolgens doorgerekend waarbij de nieuwe opbrengsdepresies worden bepaald.

5.5. RESULTATEN

Voorafgaand aan de bespreking van de resultaten worden eerst een aantal uitgangspunten van de berekeningen besproken. Hiermee wordt een meer genuanceerde benadering van de resultaten beoogd. De resultaten van de berekeningen zijn gepresenteerd vanuit twee invalshoeken; een ruimtelijk beeld en een financieel beeld. Het ruimtelijk beeld geeft een idee van de geografische ligging van de gebieden met negatieve en positieve effecten op de opbrengsten ten gevolge van de peilverhoging. Het financieel beeld geeft een inschatting van de baten van een peilverhoging voor de landbouw.



Afbeelding 3 Berekende rivierwaterstanden en geschatte grondwaterstanden bij huidig en toekomstig stuweheer ter plaatse van km. 150, jaar 1967 (bron: RIZA WSR)

5.5.1. Uitgangspunten

Voordat de resultaten van de berekeningen worden besproken is het zinvol de uitgangspunten voor interpretatie van de resultaten te noemen.

Ten eerste is bij de berekening geen rekening gehouden met eventuele bijeffecten van beregeling in de huidige situatie. Uit mededelingen van de provincie Limburg blijkt dat in de regio Grave-Sambeek beregeling van gras- en bouwland geen uitzondering is. Gesteld kan worden dat beregeling in de huidige situatie de opbrengstvermeerdering ten gevolge van peilverhoging zal verminderen. Immers de opbrengstverliezen ten gevolge van verdrogingsverschijnselen nemen sterk af (grasland 50%, bouwland 34%, bron: LandinrichtingsDienst). Overigens zijn de kosten van beregeling dermate hoog dat de rentabiliteit van beregeling van met name grasland marginaal is.

Vervolgens is bij het bepalen van de kosten uitgegaan van de principes van het schaderecht zoals vastgelegd in de Grondwaterwet [lit 19]. Volgens deze wet echter wordt er bij bepaling van de hoogte van de schadevergoeding gerekend met de opbrengstverandering over alle gronden van een gebruiker of eigenaar. Dit betekent dat opbrengstdaling ten gevolge van peilverhoging op bepaalde percelen zullen worden verrekend met opbrengstvermeerdering op andere percelen. Omdat de berekeningen voor deze studie niet zijn uitgevoerd op perceels-niveau, kon deze verrekening niet worden toegepast. De uiteindelijk te betalen schadevergoeding zal dus minder groot zijn.

Voorts is bij bepaling van de kosten geen rekening gehouden met de mogelijkheid van verandering van bouwplan. Het is mogelijk dat ten gevolge van de peilverhoging en de daaruit volgende verandering van de waterhuishouding van de bodem, de rentabiliteit van bepaalde gewassen veranderd. Het productieniveau van andere gewassen kan hierdoor hoger liggen dan het niveau van de huidige teelt. Dit zou de gebruiker van de grond ertoe kunnen bewegen om na peilverhoging het bouwplan te veranderen. Hoewel de uiteindelijke kosten van een peilverhoging hierdoor minder hoog zouden kunnen liggen, moet wel bedacht worden dat de schaderegeling zoals vastgelegd in de Grondwaterwet uitgaat van opbrengstverandering bij onveranderd grondgebruik.

Tot slot is bij de bepaling van de kosten en opbrengsten geen rekening gehouden met de mogelijkheid om bepaalde gronden uit het landbouwareaal te onttrekken ten gunste van de groene ruimte. Juist de gronden in de onmiddellijke nabijheid van de rivier worden in de ecologische hoofdstructuur van Nederland genoemd als gebieden met belangrijke duurzaam te behouden ecosystemen. Een peilverhoging op de rivier zal voor deze gebieden kunnen resulteren in een hogere waarde voor natuur en landschap, en daarmee een grotere aantrekkelijkheid voor aankoop in het kader van het natuurbeleidsplan. Hoewel de precieze hoogte van deze waardevermeerdering moeilijk vast te stellen is, is een positieve uitstraling voor natuur en milieu van de peilverhoging zeker aanwezig.

5.5.2. Ruimtelijk beeld van de resultaten

Resultaat van de berekeningen zijn twee kaarten met daarop voor elk ruimtelijk element een opbrengstdepressie in procenten. Door deze twee kaarten met elkaar te vergelijken kan worden bepaald in welke vlakken sprake is van een positief effect op de opbrengstdepressie en in welke vlakken sprake is van een

negatief effect. In bijlage IX zijn beide kaarten naast elkaar geplaatst. Duidelijk is dat het oppervlak met een positief effect van peilverhoging op de gewasopbrengst groter (161.5 km^2) is dan die met een negatief effect van peilverhoging op de gewasopbrengst (11.7 km^2).

Bij nadere analyse van de vlakken met een negatief effect van peilverhoging op gewasopbrengst blijkt dat hier sprake is van voornamelijk bouwland op gronden met grondwatertrap III; een GLG hoger dan 105 cm. beneden het maaiveld (55 % van het oppervlak). Verder bestaat 20% van het oppervlak uit grasland op gronden met grondwatertrap II; een GLG hoger dan 70 cm. beneden het maaiveld. Deze 'natte' gronden zijn met name de lagergelegen, kleigronden in het gebied. Het grondgebruik van de gebieden waar een toename van de opbrengstd depressie is berekend, bestaat uit grasland en akkerbouw (tabel 5). Andere, meer intensieve teelt, komt dus niet voor.

Bij analyse van de vlakken met een positief effect van peilverhoging op gewasopbrengst blijkt dat hier sprake is van voornamelijk gronden met een GLG dieper dan 170 cm. beneden het maaiveld (90 % van het oppervlak). Deze 'droge' gronden zijn met name de hogergelegen zandige gronden, maar ook het hogergelegen periodiek overstroomd gebied moet ertoe worden gerekend. Het grondgebruik omvat zowel grasland als akkerbouw als tuinbouw (tabel 5).

5.5.3. Financieel beeld van de resultaten

De financiële uitwerking van de berekeningen is uitgevoerd met behulp van waarden voor opbrengstd depressies zoals deze worden gehanteerd door de LandinrichtingsDienst. De gehanteerde waarden worden bepaald door grondgebruik, gewas, mechanisatiegraad, regionale bijzonderheden enz.

De waarden, zoals vermeld in tabel 5, zijn berekend voor opbrengstveranderingen uitsluitend ten gevolge van fysische veranderingen. In concreto betekent dit dat het totale gehanteerde productieniveau gelijk is aan de verkoopbare producten maal de verkoopprijs minus de opbrengstafhankelijke kosten, zoals veiling, sorteer-arbeid, oogstkosten, e.d.. Andere, opbrengstonafhankelijke, kosten als kunstmest, bestrijdingsmiddelen, poot- en zaaiagoed zijn dus niet meegerekend.

Grondgebruik legendaenheid grondgebruikkaart	Gemiddelde waarde per procent opbrengstd depressie per hectare
Grasland weidegebieden gemengde bos- en landbouwgebieden	f 30,-
Akkerbouw velden met verspreide of randbebouwing grootschalige landbouwgebieden kleinschalige landbouwgebieden	f 43,-
Gemengd akker- en tuinbouw intensieve land- en tuinbouwgebieden	f 112,-
Tuinbouw tuinbouwgebieden	f 343,-

Tabel 5: Gemiddelde waarden per procent opbrengstd depressie bij verschillende vormen voor grondgebruik voor de regio Grave-Sambeek (bron: LandinrichtingsDienst)

In tabel 5 is vermeld voor welke legendaeenheden van de grondgebruikkaart (paragraaf 4.1) de genoemde bedragen gelden. De relatief hoge bedragen voor tuinbouw zijn te verklaren uit de zeer intensieve vormen van tuinbouw in deze regio, zoals asperges, bollen, hardfruit en boomteelt. De teelt van deze gewassen wordt gekenmerkt door hoge invensteringen en hoge productieniveau's. De in de tabel genoemde waarden zijn gemiddelden. Bedacht moet worden dat de spreiding ten gevolge van verschillen in productieniveau voor verschillende gewassen erg groot kan zijn.

De waarden volgens tabel 5 kunnen worden gebruikt om de kosten en baten van de peilverhoging, in de vorm van opbrengstveranderingen, te berekenen. De kosten voor de landbouw, in de vorm van opbrengstvermindering, liggen op ongeveer f 600.000,- per jaar. De baten voor de landbouw, opbrengstvermeerdering, liggen, bij gebruik van dezelfde tabelwaarden rond de f 1.600.000,- per jaar. Dit betekent dat de peilverhoging in combinatie met dynamisch stuwebeheer voor de landbouw een winst ten opzichte van de huidige situatie oplevert van f 1.000.000,- per jaar. Bij deze bedragen moet rekening worden gehouden met een onnauwkeurigheid van 20%.

De oorzaak van de relatief hoge kosten ten opzichte van het geringe areaal met negatieve effecten moet worden gezocht in het verloop van de opbrengtdepressie bij wateroverlast. Juist bij een ondiepe GLG is er sprake van een sterke toename in de opbrengtdepressies ten gevolge van een geringe grondwaterstandsverhoging. In bijlage X worden twee voorbeelden gegeven van het verloop van opbrengtdepressies door wateroverlast tegen de GLG. Te zien is eveneens de maximale toename in opbrengtdepressie bij een stijging van de GLG met dertig centimeter. Deze maximale toename van de opbrengtdepressie is 25% voor grasland op grondwatertrap II respectievelijk 30% voor bouwland op grondwatertrap III.

Dit verloop van opbrengtdepressies tegen de GLG resulteert erin dat de gemiddelde toename in opbrengtdepressie over het hele areaal ongeveer 14.5% is. Wordt er gekeken naar de ruimtelijk belangrijkste groepen, te weten bouwland op grondwatertrap III en grasland op grondwatertrap II, dan ligt dit gemiddelde zelfs op 18%. De gemiddelde vergoeding voor een procent opbrengtverlies ligt in dit gebied overigens rond de f33,-, veroorzaakt door het ontbreken van intensieve teelt binnen het areaal.

De oorzaak van de relatief geringe baten van de peilverhoging ten opzichte van het grote areaal moet worden gezocht in het verloop van de opbrengtdepressies bij droogteschade. Bij een diepere GLG is er sprake van een geringe afname van opbrengtdepressies ten gevolge van grondwaterstandsverhoging. Bijlage XI toont het verloop van de opbrengtdepressies door droogteschade tegen de GLG. Voorts is uitgezet de maximale afname in opbrengtdepressie, bij een stijging van de GLG met dertig centimeter. Deze maximale afname is slechts 4% voor gras- en bouwland op grondwatertrap VII. Dit verloop van opbrengtdepressies tegen GLG resulteert in een gemiddelde afname van opbrengtdepressies op gronden met een GLG dieper dan 170 cm beneden maaiveld (90% van het oppervlak) van slechts 2.8%. De gemiddelde vergoeding voor een procent opbrengtverlies ligt in dit gebied rond de f39,-.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1. CONCLUSIES

Uit de berekeningen van de effecten van een peilverhoging van 50 centimeter in combinatie met een alternatief, dynamisch stuwbeheer op de gewasopbrengsten in de regio Grave-Sambeek zijn de volgende conclusies te trekken:

- Met behulp van de HELP-tabellen is het mogelijk om een inschatting te maken van de effecten van een verandering in het grondwaterstandsverloop op de gewasopbrengsten van de landbouw. De nauwkeurigheid van deze inschatting is sterk gerelateerd aan de accuratesse van de invoergegevens.
- Met behulp van de regressiefuncties op basis van de HELP-tabellen is het mogelijk om veranderingen in de opbrengstd depressies ten gevolge van wateroverlast te berekenen. De regressiefunctie voor opbrengstd depressie door droogteschade voldoet minder goed en zal voor regionale en lokale studies verbeterd moeten worden.
- De kosten van een peilverhoging in combinatie met dynamisch stuwbeheer bedragen volgens de berekeningen, met inachtneming van de uitgangspunten, ongeveer f 600.000,- per jaar.
- De baten van een peilverhoging in combinatie met dynamisch stuwbeheer bedragen volgens de berekeningen, met inachtneming van de uitgangspunten, ongeveer f 1.600.000,- per jaar.
- De effecten van een peilverhoging in combinatie met dynamisch stuwbeheer op de gewasopbrengsten in de regio Grave-Sambeek zijn overwegend positief.

6.2. AANBEVELINGEN

Op basis van dit onderzoek naar de effecten voor de gewasopbrengsten bij peilverhoging van de Maas op de stuwpanden Grave en Sambeek, worden de volgende aanbevelingen gedaan.

- De regressiefunctie van droogteschade op basis van de HELP-tabellen dient opnieuw bepaald te worden. Hierbij is het wellicht wenselijk gebruik te maken van de Gemiddeld Voorjaars Grondwaterstand.
- Ter verhoging van de nauwkeurigheid van dit onderzoek kunnen meer gedetailleerde gegevens voor het grondgrondgebruik (Landelijke Grondgebruiksdatabase Nederland, StaringCentrum), de bodemtypen (bodemkaart 1:50:000, StaringCentrum) en de grondwatertrappen (bodemkaart 1:50:000, StaringsCentrum en OnLine Grondwater Archief, IGG/TNO) gebruikt worden.
- Ook zal een modelstudie naar de effecten van peilverhoging op de grondwaterstanden een meer gedetailleerd beeld opleveren.
- Voor perceelsgewijze berekening kan het noodzakelijk zijn berekeningen te doen met een daarop gericht modelinstrumentarium als DEMGEN (RIZA).

7. SAMENVATTING

7.1. INLEIDING

In het kader van de beleidsvisie Modernisering Maasroute wordt overwogen de diepgang in de stuwpanden Grave en Sambeek te vermeerderen met 50 centimeter tot maximaal 3.50 meter. Aan het RIZA is gevraagd in het kader van het haalbaarheidsonderzoek voor deze diepgangvergrotting, een onderzoek te verrichten naar de effecten van een peilverhoging op de gewasopbrengsten voor de landbouw in de regio. Uitgangspunt voor dit onderzoek is dat peilverhoging direct haar invloed kan laten gelden op de grondwaterstanden in dit gebied. Gecombineerd met de aantoonbare relatie tussen waterhuishouding en gewasopbrengst betekent dit dat de peilverhoging duidelijk gevolgen zal hebben op de landbouw in het onderzoeksgebied.

7.2. WATERHUISHOUING EN GEWASOPBRENGST

Water is een onmisbare factor voor de groei van planten, als oplos- en transportmiddel voor voedingsstoffen, als koeling van het bladoppervlak en als onderdeel van de fotosynthese. Zowel bij een tekort als bij een overmaat aan water treden er stoornissen op in de groei, met als gevolg een geringere productie. Een teveel aan water kan tevens een belemmering vormen voor de bedrijfsvoering, wat de opbrengst nogmaals negatief beïnvloedt. Uit het verloop van water in de bodem blijkt dat de waterhuishouding in de bodem voor een belangrijk deel afhankelijk is van het grondwaterverloop in de bodem. Dit grondwaterverloop wordt in het algemeen weergegeven middels de zogenaamde grondwatertrappen, waarin de Gemiddeld Hoogste en Gemiddeld Laagste Grondwaterstand van een bepaalde grond zijn verwerkt.

Opbrengstd depressies komen voor tengevolge van wateroverlast en watertekort. Hierbij spelen bodemkundige factoren van zowel de wortelzone als de ondergrond, meteorologische factoren, bedrijfsvoering en -omstandigheden en met name de grondwaterstand een rol. Wanneer wordt uitgegaan van de praktische potentiële productie, en wanneer meteorologische invloeden worden gemiddeld tot landelijke cijfers is een relatie te leggen tussen opbrengstd depressies enerzijds en grondwatertrap, bodemtype en grondgebruik anderzijds.

7.3. HELP-TABELLEN

De relatie tussen waterhuishouding en gewasopbrengsten is vastgelegd in de HELP-tabellen. Deze HELP-tabellen zijn algemeen aanvaarde, door intensief onderzoek gefundeerde, tabellen, die worden gebruikt bij de evaluatie van landinrichtingsprojecten door de Landinrichtingsdienst. Bij het vastleggen van de gevolgen voor de gewasopbrengsten bij peilverhoging op de panden Grave en Sambeek is dan ook uitgegaan van de relaties zoals deze zijn vastgelegd in de HELP-tabellen. De HELP-tabellen maken het mogelijk om met een gegeven bodemtype en bijbehorende grondwatertrap de opbrengstd depressie voor gras- of bouwland op te zoeken. Hierbij geldt dat de totale opbrengstd depressie verkregen wordt door sommatie van de uit de tabellen bepaalde depressies door wateroverlast en droogteschade.

Binnen dit onderzoek is gebruik gemaakt van door het Waterloopkundig Laboratorium ontwikkelde regressiefuncties op basis van de HELP-tabellen. Hierbij wordt een functie beschreven die voor ieder bodemtype wisselende coëfficiënten een zo optimaal mogelijke beschrijving geeft van de schadepercentages. De grenzen van deze regressiefuncties zijn bepaald met behulp van schadetabellen voor opbrengstdepressies bij grondwaterontrekkingen. Middels een optimalisatieprogramma voor het vinden van globale minima zijn de coëfficiënten voor de verschillende bodemtypen bepaald. De resultaten van deze optimalisatie zijn over het algemeen toereikend.

7.4. SCENARIO HUIDIGE SITUATIE

De berekening van de opbrengstdepressie in de huidige situatie is gebeurd aan de hand van de factoren grondgebruik, grondwatertrappen en bodemtype. Het grondgebruik is bepaald aan de hand van een eerdere inventarisatie, in combinatie met de topografische kaart 1:50.000. De grondwatertrappenkaart is in een voorstudie reeds gedigitaliseerd uit de bodemkaart 1:50.000. Hierbij is een aanpassing gedaan om grondwatertrappen om te zetten in grondwaterstanden volgens de HELP-tabellen. Ook de digitale bodemkaart 1:250.000, zoals aangeleverd door het Staring Centrum, is enigszins aangepast, waarbij de grootheden van de 1:250.000 kaart zijn omgezet naar bodemtypen volgens de HELP-tabellen.

Voor de uiteindelijke berekening van de opbrengstdepressies is gebruik gemaakt van een Geografisch Informatie Systeem (GIS). Een GIS is een digitaal hulpmiddel voor het opslaan, bewerken en combineren van geografisch bepaalde gegevens. Tevens biedt een geavanceerde GIS de mogelijkheid voor analyse en presentatie van deze gegevens. De eerste berekeningsstap is het combineren van het beschikbare kaartmateriaal. De kaarten worden over elkaar gelegd, waarna nieuwe vlakken ontstaan. Het programma OPBDEP tenslotte berekent de afzonderlijke opbrengstdepressies voor wateroverlast en droogteschade per oppervlakte middels de beschreven regressiefunctie.

7.5. SCENARIO PEIOPZET

Na vastlegging van de gewasopbrengstdepressies in de huidige situatie is het scenario bepaald waarin de voorgenomen peilverhoging zo goed mogelijk beschreven is. Uitgaande van een diepgangvergrotting is een voorstel voor peilverhoging gedaan. Peilverhoging bij het huidige stuwebeheer heeft echter ook nadelen; bij hogere afvoeren, doorgaans in de winter en het voorjaar, ontstaan er in het gehele stuwpand hogere waterstanden. Hierdoor kan de landbouw schade ondervinden door de verminderde draagkracht en dus berijdbaarheid van de percelen. Ook andere belangen zoals riooloverstorten en bebouwing zouden door een éénzijdig opgelegde peilverhoging geschaad kunnen worden. Vanuit deze optiek wordt gedacht aan een peilverhoging in combinatie met een nieuw sturingsprincipe; het zogenaamde dynamisch stuwebeheer. De effecten van peilverhoging in combinatie met dynamisch stuwebeheer zijn onderzocht in een eerdere studie van het RIZA. De effecten van een permanente peilverhoging van 40 cm. zijn onderzocht in een studie van IWACO. Uit de resultaten van beide studies is een scenario bepaald waarbij uitgegaan wordt van maximale beïnvloeding van de GLG en minimale beïnvloeding van de GHG. De mate van

beïnvloeding van de GLG is afgeleid van de resultaten van een onderzoek naar permanente peilopzet van 40 centimeter.

De uiteindelijke wijze van berekenen van dit scenario verschilt nauwelijks met die van de huidige situatie. Over de al genoemde kaarten van grondgebruik, grondwatertrappen en bodemtypen wordt een vierde kaart gelegd met daarop de mate van en het gebied waarin sprake is van beïnvloeding door peilverhoging. Deze nieuwe situatie wordt vervolgens doorgerekend waarbij de nieuwe opbrengsdepressies worden bepaald.

Bij de uiteindelijke berekeningen van de kosten en baten is geen rekening gehouden met beregeling van gras- en bouwland in de huidige situatie, wijze van schadevergoeding volgens de grondwaterwet, verandering van bouwplan na de maatregel en eventuele grondverwerving in het belang van de groene ruimte.

De resultaten van de berekeningen tonen aan dat ruimtelijk gezien 161.5 km² landbouwareaal positieve effecten kent ten gevolge van peilopzet. De totale baten ten gevolge van afname van de opbrengstdepressies bedragen hier ongeveer f 1.600.000,-. Slechts 11.7 km² van het gebied kent negatieve effecten. De kosten ten gevolge van toename van de opbrengstdepressies bedragen hier ongeveer f 600.000,-. Reden voor de relatief hoge kosten en lage baten ligt in het verloop van de opbrengstdepressies bij verandering van de GLG.

Wanneer deze gevallen worden getotaliseerd dan liggen de berekende baten ten gevolge van opbrengstvermeerdering rond de f 1.000.000,- per jaar met een onnauwkeurigheid van 20%.

7.6. CONCLUSIES

Uit de berekeningen van de effecten van een peilverhoging van 50 centimeter in combinatie met een alternatief, dynamisch stuwebeheer op de gewasopbrengsten in de regio Grave-Sambeek zijn de volgende conclusies te trekken:

- Met behulp van de HELP-tabellen is het mogelijk om een inschatting te maken van de effecten van een verandering in het grondwaterstandsverloop op de gewasopbrengsten van de landbouw. De nauwkeurigheid van deze inschatting is sterk gerelateerd aan de accuratesse van de invoergegevens.
- Met behulp van de regressiefuncties op basis van de HELP-tabellen is het mogelijk om veranderingen in de opbrengstdepressies ten gevolge van wateroverlast te berekenen. De regressiefunctie voor opbrengstdepressie door droogteschade voldoet minder goed en zal voor regionale en lokale studies verbeterd moeten worden.
- De kosten van een peilverhoging in combinatie met dynamisch stuwebeheer bedragen volgens de berekeningen, met inachtneming van de uitgangspunten, ongeveer f 600.000,- per jaar.
- De baten van een peilverhoging in combinatie met dynamisch stuwebeheer bedragen volgens de berekeningen, met inachtneming van de uitgangspunten, ongeveer f 1.600.000,- per jaar.
- De effecten van een peilverhoging in combinatie met dynamisch stuwebeheer op de gewasopbrengsten in de regio Grave-Sambeek zijn overwegend positief.

LITERATUUR

- [1] H. de Bakker, W.P. Locher; **Bodemkunde van Nederland, deel 1, Algemene Bodemkunde**, Den Bosch, 1990
- [2] H. de Bakker, W.P. Locher; **Bodemkunde van Nederland, deel 2, Bodemgeografie**, Den Bosch, 1990
- [3] Cultuurtechnische vereniging; **Cultuurtechnisch vademeicum**, Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademeicum. Utrecht 1988
- [4] IWACO, Adviesbureau voor water en milieu; **Invloed van peilopzet in de Maas op grondwaterstanden in de omgeving**, Rapport 332.0400. Boxtel, oktober 1991
- [5] Landinrichtingsdienst; **De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige produktie, Rapport van de werkgroep HELP-tabel**, Mededelingen Landinrichtingsdienst 176. Utrecht, 1987
- [6] Provinciaal Planologische Dienst Limburg; **Natuurlijk milieu en landschap Noord- en Midden-Limburg**, Werkschrift. Maastricht, 1981
- [7] Rijkswaterstaat, directie Limburg; **Indeling winterbed van de Maas**, Maastricht, 1980
- [8] Rijkswaterstaat, directie Limburg; **Modernisering Maasroute, overall projectplan**, Document MMPG-P-91.023. Maastricht, mei 1991
- [9] Rijkswaterstaat, RIZA; **Calibration and uncertainty analysis of environmental models**, calibration of the model system delwaq-impact for the lake ketelmeer, Nota 91.001. D. ten Hulscher, C. Bak and J. Pintér. Lelystad, januari 1991
- [10] Rijkswaterstaat, RIZA; **Frequentie-analyse waterstanden in de Maas bij het huidig en een toekomstig stuwbeheer**, Werkdocument 92.161X. Ing. H. Bos, Ing. R. van der Veen. Arnhem, januari 1993
- [11] Rijkswaterstaat, RIZA; **Frequentie-analyse waterstanden in de Maas, periode 1911-1990**, Werkdocument 93.071X. Ing. H. Bos, Ir. W.E. van Vuuren. Arnhem, juli 1993
- [12] Rijkswaterstaat, RIZA; **Haalbaarheidsonderzoek dynamisch stuwen / OBS Maas**, Nota 92.018. Ing. M.J.M. van den Elzen. Arnhem, 10 september 1992
- [13] Rijkswaterstaat, RIZA; **Modellering Maasstuwen ten behoeve van ZWENDL**, werkdocument 92.084X. Ing. R. van der Veen, Ing. M.J.M. van den Elzen, Arnhem, 15 juni 1992

- [14] Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied; **De bodemkaart van Nederland digitaal**, Technisch Document 1. F. de Vries, J. Denneboom. Wageningen, 1992
- [15] Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied; **Digitaal bestand Bodemkaart van Nederland**, Schaal 1:250.000, Grave - Sambeek, Wageningen, 1993
- [16] Stichting voor Bodemkartering; **Bodemkaart van Nederland 1:250.000**, G.G.L Steur, F. de Vries, C. van Wallenburg. Wageningen, 1985
- [17] Taken Landschapsplanning; **Grondwateronderzoek diepgangvergraving Maas**, Rapporten 1216-A en 1216-F. Roermond, 1991/1992
- [18] Technische Commissie Grondwater Beheer; **Achtergronden en toepassing van de TCGB-tabel**, Ing. J.M.M. Boumans, Utrecht, juli 1990
- [19] Technische Commissie Grondwater Beheer; **Informatie-brochure TCGB**, Utrecht, 1993
- [20] Topografische Dienst; **Topografische kaart van Nederland 1:50.000**, bladen 45 O, 46 O/W, 52 O/W en 58 O/W. Emmen, 1988/1989
- [21] Waterloopkundig Laboratorium; **Schade aan landbouwgewassen, twee methoden voor bepaling van schade door wateroverlast en droogte**, Nota T 720. A.M. de Leeuw. Delft, mei 1991
- [22] Werkgroep landbouwkundige aspecten van de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven; **Landbouwkundige Aspecten van GrondwaterOnttrekking (LAGO-rapport)**, 1984

BIJLAGEN

- BIJLAGE I:** Coëfficiënten voor regressiefuncties bij wateroverlast.
- BIJLAGE II:** Coëfficiënten regressiefuncties bij droogteschade.
- BIJLAGE III:** Resultaten optimalisatie regressiefuncties.
- BIJLAGE IV:** Vergelijk tussen opbrengstd depressies uit HELP-tabel en opbrengstd depressies bepaald door regressiefuncties en de daarmee samenhangende waarde voor s_e voor HELP-bodemtype 58.
- BIJLAGE V:** Omzetting van legendaeenheden bodemtypenkaart.
- BIJLAGE VI:** Berekende cumulatieve frequentie van waterstanden in de huidige situatie en bij een toekomstig stuwebeheer voor het stuwpand Sambeek en het stuwpand Grave. Berekend over de periode 1961-1970.
- BIJLAGE VII:** Berekende cumulatieve overschrijdingsfrequentie van peilverhoging op het stuwpand Grave voor het groeiseizoen in periode 1961 - 1970 en voor het groeiseizoen in het droge jaar 1967.
- BIJLAGE VIII:** Bodemtypenkaart: 'Periodiek overstroomd' en Grondwatertrappen-kaart: 'Geen grondwatertrap'.
- BIJLAGE IX:** Gebieden waar peilverhoging leidt tot positieve effecten op gewasopbrengst van het landbouwareaal en gebieden waar peilverhoging leidt tot negatieve effecten op gewasopbrengst van het landbouwareaal.
- BIJLAGE X:** Toename van opbrengstd depressies ten gevolge van wateroverlast bij verhoging van GLG met dertig centimeter.
- BIJLAGE XI:** Afname van opbrengstd depressies ten gevolge van droogteschade bij verhoging van GLG met dertig centimeter.

1 T/M 25 Resultaten regressie-analyse GRASland (gewasindex = 2) wateroverlastschade

nr soort grond	aandui- ding	profiel- type	Coëfficiënten	schade	formule
			A	B	C
1 veen en moerige gronden met moe.	hV/hW	3/10	-3.250000	825.0000	6625000.
2 veen en moerige gronden met kle.	kVW/zVW	4/12	-4.093833	794.5363	4549817.
3 gemengdwoelde veen en moerige g.	iV/iW	7/14	-4.937551	787.4966	6624899.
4 zavel- en kleigronden met veen.	Kz/Kk1	15-18	-4.375000	750.0000	5500000.
5 zavel- en kleigronden met zand.	Kz/Kk2	19-22	-5.500000	750.0000	4938249.
6 zavel- en kleigronden met zware.	Kz/Kk34	23-26	-1.250000	750.0000	4375000.
7 zavel- en kleigronden, aflopend.	Kz/Kk5	27-30	-5.500000	750.0000	6625000.
8 zavelgronden, aflopend profiel.	Kz5h	27/28	-5.500000	750.0000	5500000.
9 kleigronden, aflopen profiel.	Kk5h	29/30	-4.375000	750.0000	6625000.
10 zwak lemige, matig fijne zandgr.	Z1a	35	-5.500000	600.0000	4934996.
11 zwak lemige, matig grove zandgr.	Z2a	37	-5.500000	600.0000	4934996.
12 zwak lemige, matig fijne zandgr.	tZ1a	39	-6.625000	675.0000	5500000.
13 matig fijne zandgronden met hum.	tZ1	39/40	-5.500000	674.9381	6201738.
14 zwak lemige, matig grove zandgr.	tZ2a	41	-6.625000	675.0000	5500000.
15 matig grove zandgronden met hum.	tZ2	41/42	-5.500000	674.9381	6201738.
16 matig fijne zandgronden met hum.	cZ1	43/44	-4.375263	674.9076	7150493.
17 matig grove zandgronden met hum.	cZ2	45/46	-4.375263	674.9076	7150493.
18 matig fijne eerdgronden met hum.	EZ1	47/48	-4.375263	674.9076	7150493.
19 matig grove eerdgronden met hum.	EZ2	49/50	-4.375263	674.9076	7150493.
20 zandgronden met kleidek en grov.	kZ1	56	-7.081203	794.5087	4549501.
21 zwak lemige matig fijne podzolg.	H1a	58	-6.625000	675.0000	5500000.
22 matig fijne podzolgronden met h.	H1	58/59	-5.500000	674.9404	6201782.
23 matig grove podzolgronden met h.	H2	60/61	-5.500000	674.9404	6201782.
24 leemgronden, zandig en siltig l.	BLKbc	67/68	-2.265213	787.5255	4549246.
25 oude rivierkleigronden, zavel e.	BLKde	69/70	-5.500000	750.0000	6625000.

1 T/M 25 Resultaten regressie-analyse BOUWland (gewasindex > 2) wateroverlastschade

nr soort grond	aandui- ding	profiel- type	Coëfficiënten	schade	formule
			A	B	C
1 veen en moerige gronden met moe.	hV/hW	3/10	-5.156250	15.62500	.111250E+11
2 veen en moerige gronden met kle.	kVW/zVW	4/12	-5.156250	15.62500	.111250E+11
3 gemengdwoelde veen en moerige g.	iV/iW	7/14	-7.031250	15.62500	.119687E+11
4 zavel- en kleigronden met veen.	Kz/Kk1	15-18	-1.406250	12.50000	.111250E+11
5 zavel- en kleigronden met zand.	Kz/Kk2	19-22	-3.281250	12.50000	.111250E+11
6 zavel- en kleigronden met zware.	Kz/Kk34	23-26	-.791016	15.62500	.857617E+10
7 zavel- en kleigronden, aflopend.	Kz/Kk5	27-30	-3.515625	14.06250	.905078E+10
8 zavelgronden, aflopend profiel.	Kz5h	27/28	-3.632813	13.28125	.857617E+10
9 kleigronden, aflopen profiel.	Kk5h	29/30	-1.406250	12.50000	.119687E+11
10 zwak lemige, matig fijne zandgr.	Z1a	35	-6.943359	13.28125	.857617E+10
11 zwak lemige, matig grove zandgr.	Z2a	37	-6.943359	13.28125	.857617E+10
12 zwak lemige, matig fijne zandgr.	tZ1a	39	-9.687500	15.62500	.111250E+11
13 matig fijne zandgronden met hum.	tZ1	39/40	-6.943359	13.28125	.130762E+11
14 zwak lemige, matig grove zandgr.	tZ2a	41	-9.687500	15.62500	.111250E+11
15 matig grove zandgronden met hum.	tZ2	41/42	-6.943359	13.28125	.130762E+11
16 matig fijne zandgronden met hum.	cZ1	43/44	-6.416016	13.28125	.130762E+11
17 matig grove zandgronden met hum.	cZ2	45/46	-6.416016	13.28125	.130762E+11
18 matig fijne eerdgronden met hum.	EZ1	47/48	-6.416016	13.28125	.130762E+11
19 matig grove eerdgronden met hum.	EZ2	49/50	-6.416016	13.28125	.130762E+11
20 zandgronden met kleidek en grov.	kZ1	56	-5.156250	12.50000	.119687E+11
21 zwak lemige matig fijne podzolg.	H1a	58	-9.687500	15.62500	.111250E+11
22 matig fijne podzolgronden met h.	H1	58/59	-6.943359	13.28125	.130762E+11
23 matig grove podzolgronden met h.	H2	60/61	-6.943359	13.28125	.130762E+11
24 leemgronden, zandig en siltig l.	BLKbc	67/68	-1.054688	15.62500	.810156E+10
25 oude rivierkleigronden, zavel e.	BLKde	69/70	-3.515625	14.06250	.905078E+10

BIJLAGE I: Coëfficiënten voor regressiefuncties bij wateroverlast.

1 T/M 25 Resultaten regressie-analyse GRASland (gewasindex = 2) droogteschade

nr soort grond	aandui- ding	profiel- type	Coefficiënten A	B	C	D	E
1 veen en moerige gronden met moe.	hV/hW	3/10	-1.144000	-1.	.029561	1.5	.018064
2 veen en moerige gronden met kle.	kVW/zVW	4//12	-1.144000	-1.	.029561	1.5	.018064
3 gemengdwoelde veen en moerige g.	iV/iW	7/14	-1.219784	-1.	.003614	1.5	.012891
4 zavel- en kleigronden met veen.	Kz/Kk1	15-18	2.225781	-1.	.011677	1.5	.011677
5 zavel- en kleigronden met zand.	Kz/Kk2	19-22	-.240000	-1.	.002096	1.5	.011677
6 zavel- en kleigronden met zware.	Kz/Kk34	23-26	6.724559	-1.	.011677	1.5	.011677
7 zavel- en kleigronden, aflopend.	Kz/Kk5	27-30	-2.680000	-1.	.011677	1.5	.011677
8 zavelgronden, aflopend profiel.	Kz5h	27/28	-2.680000	-1.	.000100	1.5	.010080
9 kleigronden, aflopend profiel.	Kk5h	29/30	-1.144000	-1.	.002096	1.5	.011677
10 zwak lemige, matig fijne zandgr.	Z1a	35	2.421454	-1.	.031125	1.5	.018064
11 zwak lemige, matig grove zandgr.	Z2a	37	8.798399	-1.	.031081	1.5	.018174
12 zwak lemige, matig fijne zandgr.	tZ1a	39	-4.239372	-1.	.030844	1.5	.018291
13 matig fijne zandgronden met hum.	tZ1	39/40	1.808000	-1.	.002096	1.5	.011677
14 zwak lemige, matig grove zandgr.	tZ2a	41	-2.312293	-1.	.030966	1.5	.018296
15 matig grove zandgronden met hum.	tZ2	41/42	-4.250558	-1.	.030981	1.5	.018280
16 matig fijne zandgronden met hum.	cZ1	43/44	-1.144000	-1.	.002096	1.5	.011677
17 matig grove zandgronden met hum.	cZ2	45/46	1.818586	-1.	.011677	1.5	.011677
18 matig fijne eerdgronden met hum.	EZ1	47/48	-2.680000	-1.	.000100	1.5	.010080
19 matig grove eerdgronden met hum.	EZ2	49/50	-2.680000	-1.	.000100	1.5	.010080
20 zandgronden met kleidek en grov.	kZ1	56	7.437307	-1.	.031214	1.5	.018120
21 zwak lemige matig fijne podzolg.	H1a	58	1.808000	-1.	.002096	1.5	.011677
22 matig fijne podzolgronden met h.	H1	58/59	2.129492	-1.	.011677	1.5	.011677
23 matig grove podzolgronden met h.	H2	60/61	1.808000	-1.	.002096	1.5	.011677
24 leemgronden, zandig en siltig l.	BLKbc	67/68	-1.000000	-1.	.005090	1.5	.005090
25 oude rivierkleigronden, zavel e.	BLKde	69/70	-1.144000	-1.	.010080	1.5	.010080

1 T/M 25 Resultaten regressie-analyse BOUWland (gewasindex > 2) droogteschade

nr soort grond	aandui- ding	profiel- type	Coefficiënten A	B	C	D	E
1 veen en moerige gronden met moe.	hV/hW	3/10	-1.144000	-1.	.029561	1.5	.018064
2 veen en moerige gronden met kle.	kVW/zVW	4//12	-1.144000	-1.	.029561	1.5	.018064
3 gemengdwoelde veen en moerige g.	iV/iW	7/14	-1.367751	-1.	.003460	1.5	.012768
4 zavel- en kleigronden met veen.	Kz/Kk1	15-18	2.483418	-1.	.000100	1.5	.010080
5 zavel- en kleigronden met zand.	Kz/Kk2	19-22	-.240000	-1.	.002096	1.5	.011677
6 zavel- en kleigronden met zware.	Kz/Kk34	23-26	8.185883	-1.	.010689	1.5	.010689
7 zavel- en kleigronden, aflopend.	Kz/Kk5	27-30	-4.848000	-1.	.010080	1.5	.011677
8 zavelgronden, aflopend profiel.	Kz5h	27/28	-4.585879	-1.	.010786	1.5	.010786
9 kleigronden, aflopend profiel.	Kk5h	29/30	-4.819366	-1.	.005042	1.5	.011947
10 zwak lemige, matig fijne zandgr.	Z1a	35	13.932010	-1.	.014709	1.5	.011608
11 zwak lemige, matig grove zandgr.	Z2a	37	18.856000	-1.	.010008	1.5	.010008
12 zwak lemige, matig fijne zandgr.	tZ1a	39	3.672363	-1.	.002096	1.5	.011677
13 matig fijne zandgronden met hum.	tZ1	39/40	1.808000	-1.	.002096	1.5	.011677
14 zwak lemige, matig grove zandgr.	tZ2a	41	-2.379551	-1.	.030898	1.5	.018248
15 matig grove zandgronden met hum.	tZ2	41/42	-2.370289	-1.	.030930	1.5	.018253
16 matig fijne zandgronden met hum.	cZ1	43/44	-.240000	-1.	.011677	1.5	.011677
17 matig grove zandgronden met hum.	cZ2	45/46	1.836045	-1.	.011677	1.5	.011677
18 matig fijne eerdgronden met hum.	EZ1	47/48	-3.833522	-1.	.016001	1.5	.012439
19 matig grove eerdgronden met hum.	EZ2	49/50	-3.833522	-1.	.016001	1.5	.012439
20 zandgronden met kleidek en grov.	kZ1	56	15.400000	-1.	.015319	1.5	.011608
21 zwak lemige matig fijne podzolg.	H1a	58	3.775617	-1.	.011677	1.5	.011677
22 matig fijne podzolgronden met h.	H1	58/59	3.775617	-1.	.011677	1.5	.011677
23 matig grove podzolgronden met h.	H2	60/61	3.887832	-1.	.011677	1.5	.011677
24 leemgronden, zandig en siltig l.	BLKbc	67/68	-.240000	-1.	.000100	1.5	.000100
25 oude rivierkleigronden, zavel e.	BLKde	69/70	-2.800000	-1.	.018064	1.5	.011677

BIJLAGE II: Coëfficiënten regressiefuncties bij droogteschade.

HELPBODEM	OMSCHRIJVING	RESULTAAT GLOBOPT wateroverlast		RESULTAAT GLOBOPT droogteschade	
		Gras	Bouw	Gras	Bouw
3/10	veen en moerige gronden met moerig-/kleiige bovengrond	0.3763	0.5167	0.4203	0.5056
4/5/11/12	veen en moerige gronden met klei- of zanddek	0.2570	0.5167	0.5368	0.5056
7/14	gemengdwoelde veen- en moerige gronden	0.2528	0.4404	0.5680	0.6661
15-18	zavel- en kleigronden met veen beginnend tussen 40 en 80 cm.	0.2969	0.5785	0.8505	0.7056
19-22	zavel- en kleigronden met zand beginnend tussen 40 en 80 cm.	0.2039	0.5354	1.1618	1.4326
23-26	zavel- en kleigronden met zware klei beginnend tussen 40 en 80 cm.	0.3759	0.4782	1.1910	0.8891
27-30	zavel- en kleigronden, aflopend profiel	0.2185	0.4714	0.2016	0.2095
27/28	zavelgronden, aflopend profiel	0.1961	0.4230	0.2123	0.1563
29/30	kleigronden, aflopen profiel	0.2428	0.5274	0.2809	0.2471
35	zwak lemige, matig fijne zandgronden met humushoudende bovengrond < 15 cm.	0.1799	0.4616	1.3296	1.9812
37	zwak lemige, matig grove zandgronden met humushoudende bovengrond < 15 cm.	0.1799	0.4616	1.6359	1.6376
39	zwak lemige, matig fijne zandgronden met humushoudende bovengrond 15-30 cm.	0.2097	0.4431	0.9798	1.3758
39/40	matig fijne zandgronden met humus-houdende bovengrond 15-30 cm.	0.1934	0.4723	1.1718	1.2509
41	zwak lemige, matig grove zandgronden met humushoudende bovengrond 15-30 cm.	0.2097	0.4431	0.8085	0.9381
41/42	matig grove zandgronden met humus-houdende bovengrond 15-30 cm.	0.1934	0.4723	0.9498	0.9722
43/44	matig fijne zandgronden met humus-houdende bovengrond 30-50 cm.	0.1633	0.4856	0.7262	0.0915
45/46	matig grove zandgronden met humus-houdende bovengrond 30-50 cm.	0.1633	0.4856	1.2201	1.3783
47/48	matig fijne eerdgronden met humus-houdende bovengrond > 50 cm.	0.1633	0.4856	0.3786	0.5123
49/50	matig grove eerdgronden met humus-houdende bovengrond > 50 cm.	0.1633	0.4856	0.3786	0.5123
56	zandgronden met kleidek en grove ondergrond	0.1787	0.4308	1.4376	1.3966
58	zwak lemige matig fijne podzolgronden met humushoudende bovengrond < 15 cm.	0.1874	0.4431	1.2025	1.0953
58/59	matig fijne podzolgronden met humus-houdende bovenlaag < 15 cm.	0.1763	0.4723	0.9966	1.0953
60/61	matig grove podzolgronden met humus-houdende bovenlaag < 15 cm.	0.1763	0.4723	1.0490	1.2643
67/68	leemgronden, zandig en siltig leem	0.3302	0.5104	0.1585	0.1762
69/70	oude rivierkleigronden, zavel en klei	0.2294	0.4714	0.1631	0.2554

BIJLAGE III: Resultaten optimalisatie regressiefuncties.

GHG	GLG	Opbrengstddepresies t.g.v. wateroverlast (%)				Opbrengstddepresies t.g.v. vochttekort (%)			
		GRASLAND		BOUWLAND		GRASLAND		BOUWLAND	
		HELP	Functie	HELP	Functie	HELP	Functie	HELP	Functie
5	70	22,0	22,0						
15	70	14,0	13,0						
10	70	17,0	17,0			2,0	4,0		
25	75	8,0	6,0			2,0	4,0		
10	105	13,0	13,0	29,0	30,0				
20	105	7,0	6,0	21,0	23,0				
15	105	10,0	9,0	25,0	26,0	4,0	5,0	4,0	7,0
30	110	3,0	2,0	14,0	12,0	5,0	6,0	4,0	7,0
50	110	0,0	0,0	4,0	6,0	5,0	6,0	5,0	7,0
25	140	4,0	4,0	13,0	11,0	2,0	8,0	9,0	10,0
35	150	0,0	1,0	7,0	7,0	12,0	9,0	11,0	10,0
60	170	0,0	0,0	0,0	1,0	17,0	11,0	16,0	12,0
100	200	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	16,0	21,0	16,0
160	260	0,0	0,0	0,0	0,0	27,0	31,0	26,0	28,0
Result. GLOBGBT se		0.1874		0.4431		1.2025		1.0953	

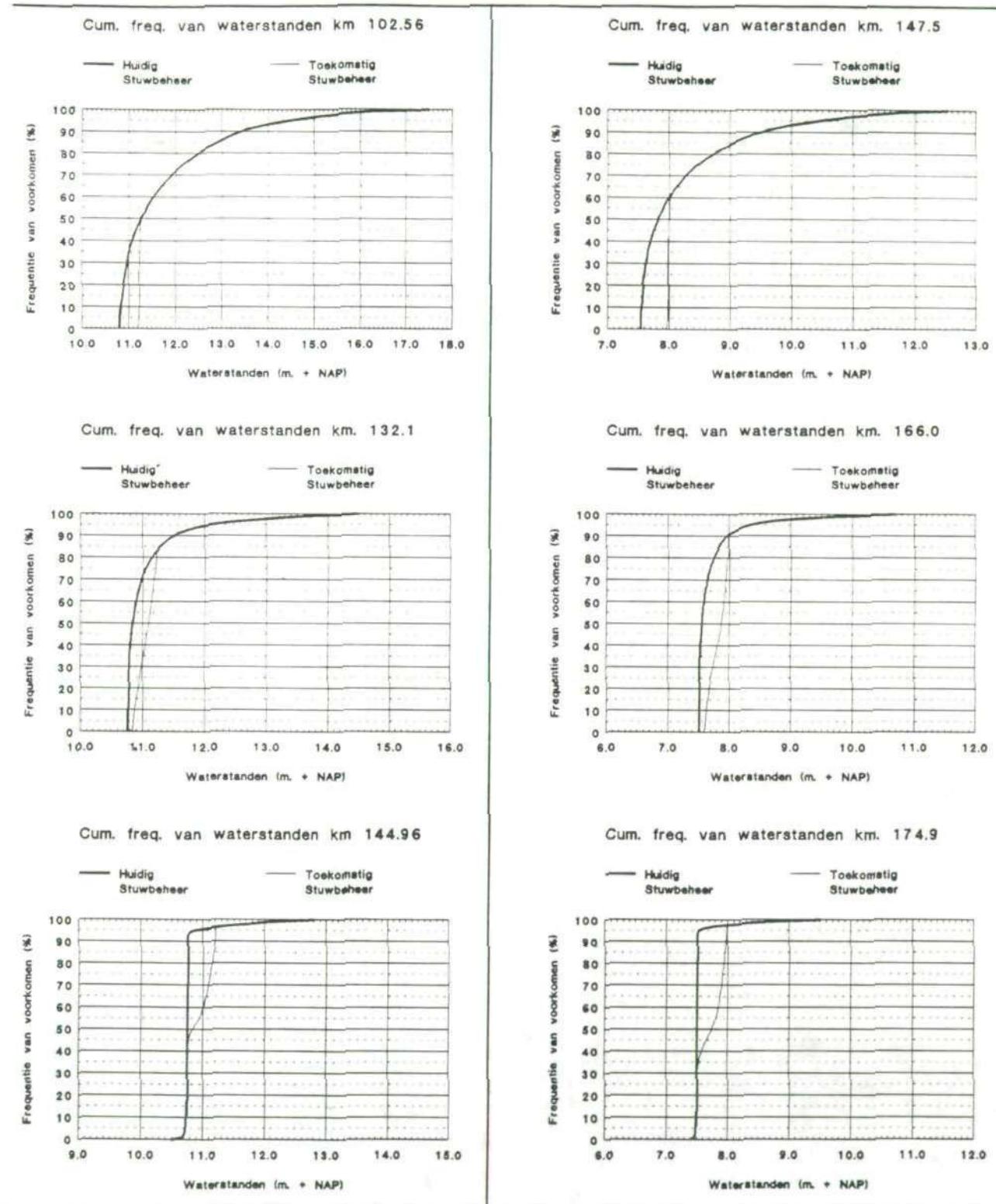
BIJLAGE IV: Vergelijk tussen opbrengstddepresies uit HELP-tabel en opbrengstddepresies bepaald door regressiefuncties en de daarmee samenhangende waarde voor *se* voor HELP-bodemtype 58.

Legendaeenheden bodemkaart 1:250.000	HELP-bodemtypen
Oude rivierkleigronden; zavel	Oude kleigrond; zavel
Oude rivierkleigronden; zavel en (lichte) klei, soms met grof zand of grind beginnend vanaf 40 - 120 cm.	Oude kleigrond; zavel en klei
Leemgronden; zandige en siltige leem, soms met grof zand of grind beginnend vanaf 40 - 120 cm.	Leemgronden; zandige en siltige leem
Jonge rivierklei; zavel en klei, met veen beginnend vanaf 40 - 120 cm.	Kleigronden; zavel en klei met veen beginnend vanaf 40 - 80 cm.
Jonge rivierklei; zavel en klei, met zand beginnend vanaf 40 - 80 cm.	Kleigronden; zavel en klei met zand beginnend vanaf 40 - 80 cm.
Jonge rivierklei; zavel en klei, zware tussenlaag of ondergrond	Kleigronden; zavel en klei met zware tussenlaag beginnend vanaf 40-80 cm.
Jonge rivierklei; zware zavel en klei, homogeen, soms aflopend of op zand, soms periodiek overstroomd	Kleigronden; klei, homogeen en aflopend, met zand beginnend vanaf 100 cm. of geen zand
Jonge rivierklei; lichte zavel, soms periodiek overstroomd	Kleigronden; zavel, homogeen en aflopend, met zand beginnend vanaf 100 cm. of geen zand
Veengronden en moerige gronden; met een moerige bovengrond, broekveen, binnen 120 cm meestal zand	Veengronden en Moerige gronden; met moerige, kleiige bovengrond
Veengronden en moerige gronden; met een minerale bovengrond, andere veensoorten dan bosveen en veenmosveen, binnen 120 cm soms zand	Veengronden en Moerige gronden; met zavel- of zanddek
Veengronden en moerige gronden; met een minerale bovengrond, veenmosveen op broekveen, binnen 120 cm. meestal zand	Veengronden en Moerige gronden; met gemengwoelde bovengrond.
Zandgronden; zonder minerale eerdlaag, (leemarm) fijn zand, met humushoudende bovengrond van minder dan 15 cm. dikte	Zandgronden, Eerd- en Vaaggronden; matig fijn, zwak lemig zand, met humushoudende bovengrond van minder dan 15 cm. dikte
Zandgronden; zonder minerale eerdlaag, grof zand, soms grind beginnend vanaf 40 - 120 cm., met humushoudende bovengrond van minder dan 15 cm. dikte	Zandgronden, Eerd- en Vaaggronden; matig grof, zwak lemig zand, met humushoudende bovengrond van minder dan 15 cm. dikte
Zandgronden; met minerale eerdlaag, (leemig) fijn zand, soms met keileem of oude klei vanaf 40 - 120 cm, met humushoudende bovengrond van 15 - 30 cm dikte	Zandgronden, Eerd- en Vaaggronden; matig fijn, lemig zand, met humushoudende bovengrond van 15 - 30 cm. dikte
Zandgronden; met minerale eerdlaag, grof zand, soms grind beginnend vanaf 40 - 120 cm., met humushoudende bovengrond van 15 - 30 cm dikte	Zandgronden, Eerd- en Vaaggronden; matig grof, lemig zand, met humushoudende bovengrond van 15 - 30 cm. dikte
Zandgronden; met minerale eerdlaag, fijn zand, soms met keileem of oude klei vanaf 40 - 120 cm, met humushoudende bovengrond van 30 - 50 cm dikte	Zandgronden, Eerd- en Vaaggronden; matig fijn, lemig zand, met humushoudende bovengrond van 30 - 50 cm. dikte
Zandgronden; met minerale eerdlaag, grof zand, soms grind beginnend vanaf 40 - 120 cm., met humushoudende bovengrond van 30 - 50 cm dikte	Zandgronden, Eerd- en Vaaggronden; matig grof, lemig zand, met humushoudende bovengrond van 30 - 50 cm. dikte
Zandgronden; met minerale eerdlaag, fijn zand, met bruine of zwarte humushoudende bovengrond van meer dan 50 cm dikte	Zandgronden, Eerd- en Vaaggronden; matig fijn, lemig zand, met humushoudende bovengrond van 50 - 80 cm. dikte
Zandgronden; met minerale eerdlaag, grof zand, met bruine of zwarte humushoudende bovengrond van meer dan 50 cm dikte	Zandgronden, Eerd- en Vaaggronden; matig grof, lemig zand, met humushoudende bovengrond van 50 - 80 cm. dikte

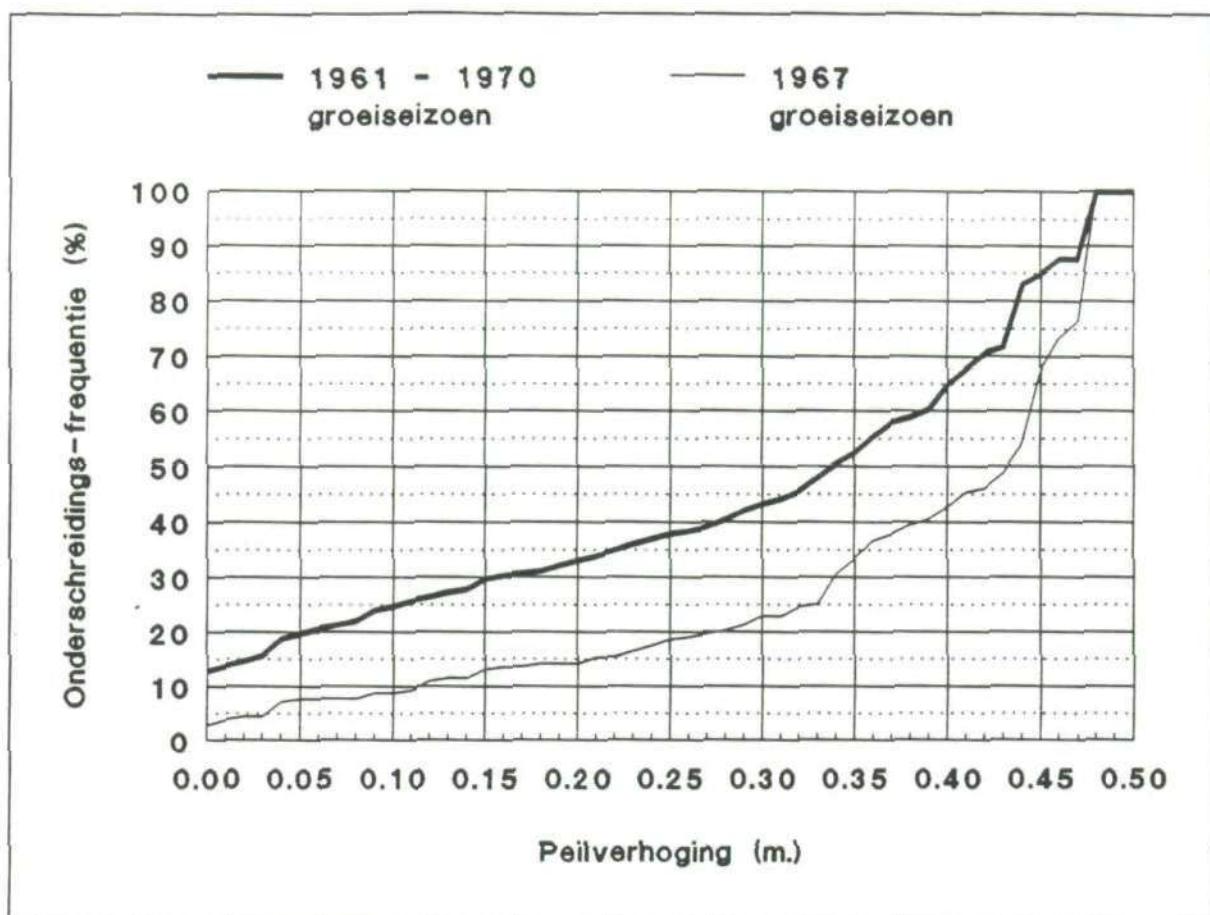
Legendaeenheden bodemkaart 1:250.000	HELP-bodemtypen
Zandgronden; met minerale eerdlaag, (fijn) zand, met kleidek, met grof zand en grind beginnend vanaf 40 - 120 cm.	Zandgronden, Eerd- en Vaaggronden; ondergrond van matig grof zand, met kleidek
Zandgronden; met podzol, fijn zand, soms keileem of oude klei beginnend vanaf 40 - 120 cm., met humushoudende bovengrond van 15 - 30 cm dikte	Zandgronden, Podzolgronden; matig fijn, lemig zand, met humushoudende bovengrond van 15 - 30 cm. dikte
Zandgronden; met podzol, grof zand, soms grind beginnend vanaf 40 - 120 cm., met humushoudende bovengrond van 15 - 30 cm dikte	Zandgronden, Podzolgronden; matig grof, lemig zand, met humushoudende bovengrond van 15 - 30 cm. dikte
Associatie van kleiige beekdalgronden	Leemgronden; zandige en siltige leem
Associatie van overslaggronden	Zandgronden, Eerd- en Vaaggronden; matig fijn, lemig zand, met humushoudende bovengrond van 30 - 50 cm. dikte
Associatie van duinen en stuifzanden met natte laagten	Zandgronden, Podzolgronden; matig fijn, zwak lemig zand met humushoudende bovengrond van 15 - 30 cm. dikte
Afgegraven terrein, groeve ¹	-
Niet gekarteerd ¹	-
Opgehoogd of opgespoten terrein ¹	-
Water ¹	-

- 1) Deze legendaeenheden worden niet meegenomen met berekening.

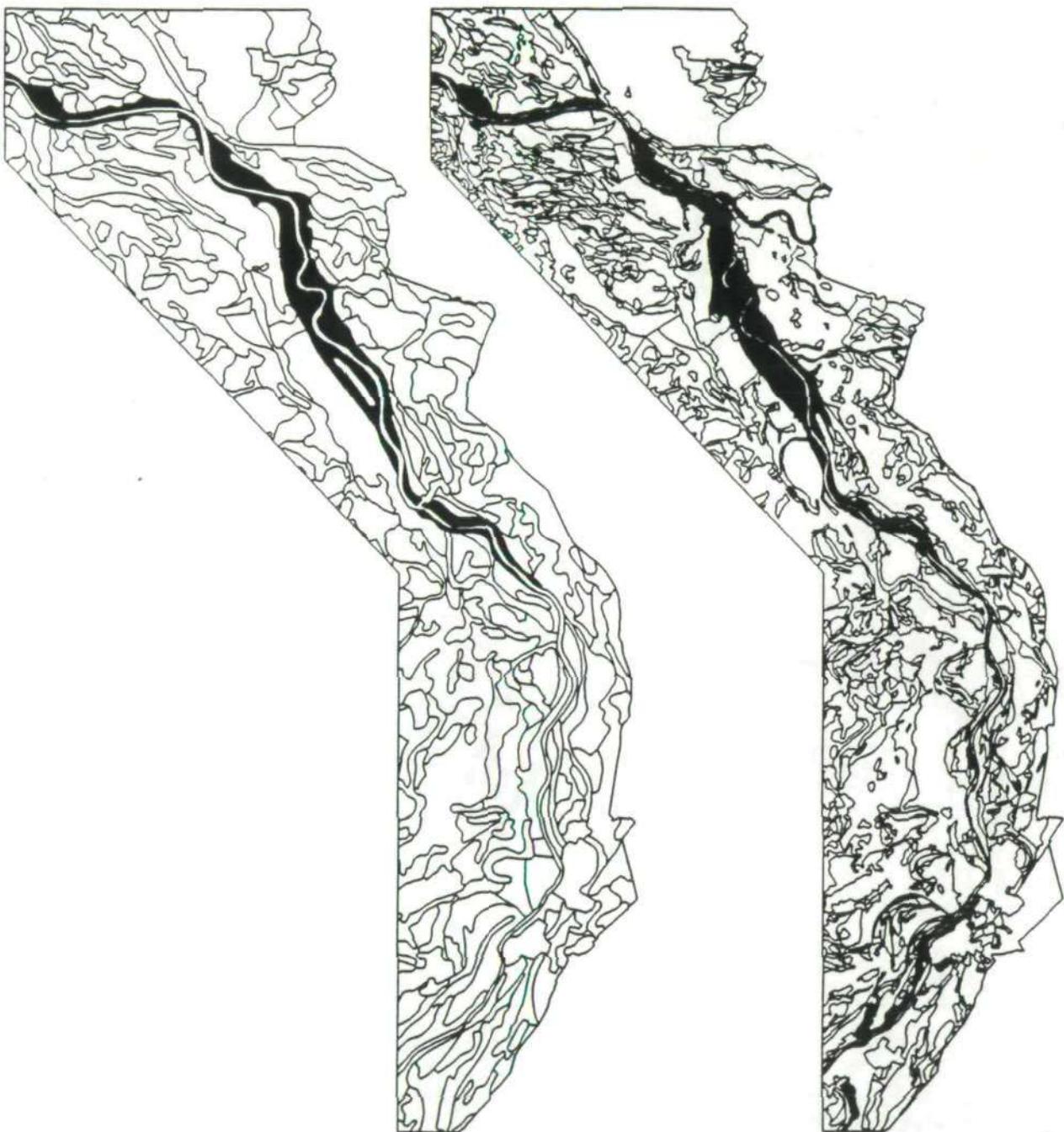
BIJLAGE V: Omzetting van legendaeenheden bodemtypenkaart



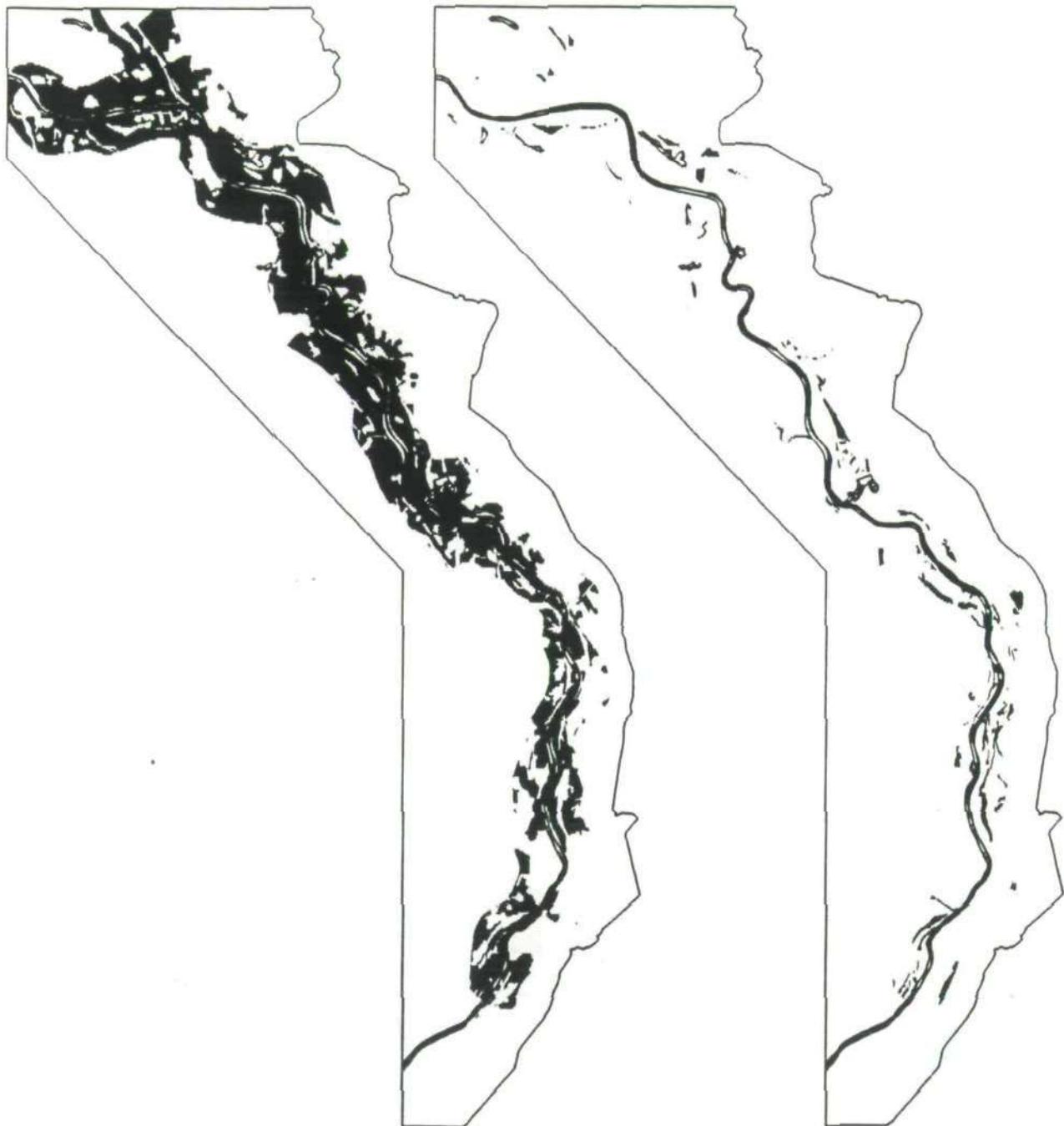
BIJLAGE VI: Berekende cumulatieve frequentie van waterstanden in de huidige situatie en bij een toekomstig stuwbeheer voor het stuwpand Sambeek (links) en het stuwpand Grave (rechts). Berekend over de periode 1961-1970 (bron: lit. 10)



BIJLAGE VII: Berekende cumulatieve overschrijdingsfrequentie van peilverhoging op het stuwpand Grave voor het groeiseizoen in periode 1961 - 1970 en voor het groeiseizoen in het droge jaar 1967 (bron: RIZA WSR).

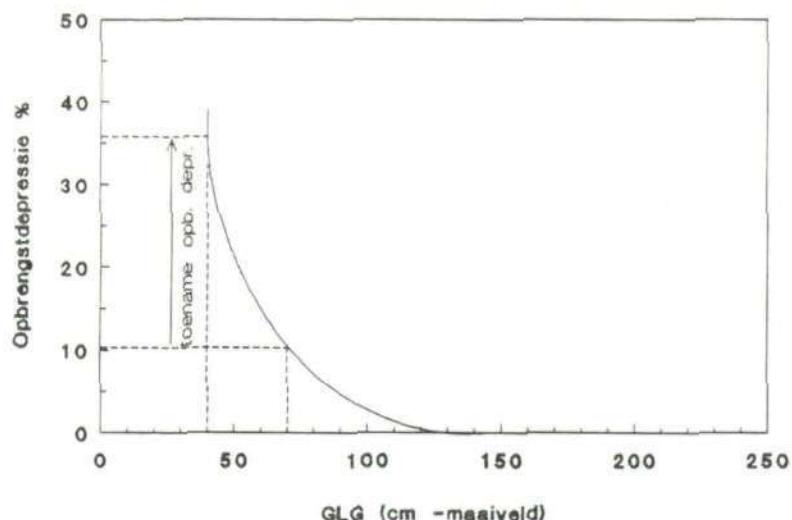


BIJLAGE VIII: Bodemtypenkaart (links): 'Periodiek overstroomd' en Grondwatertrappenkaart (rechts): 'Geen grondwatertrap' (bron: RIZA WSR).

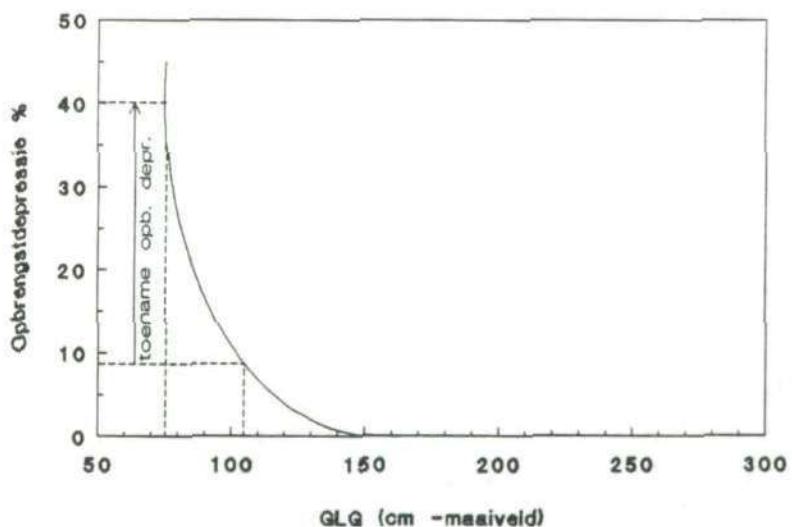


BIJLAGE IX: Gebieden waar peilverhoging leidt tot positieve effecten op gewasopbrengst van het landbouwareaal (links) en gebieden waar peilverhoging leidt tot negatieve effecten op gewasopbrengst van het landbouwareaal (rechts) (bron: RIZA WSR).

Toename opbrengstd depressie bij verhoging
van GLG, grasland

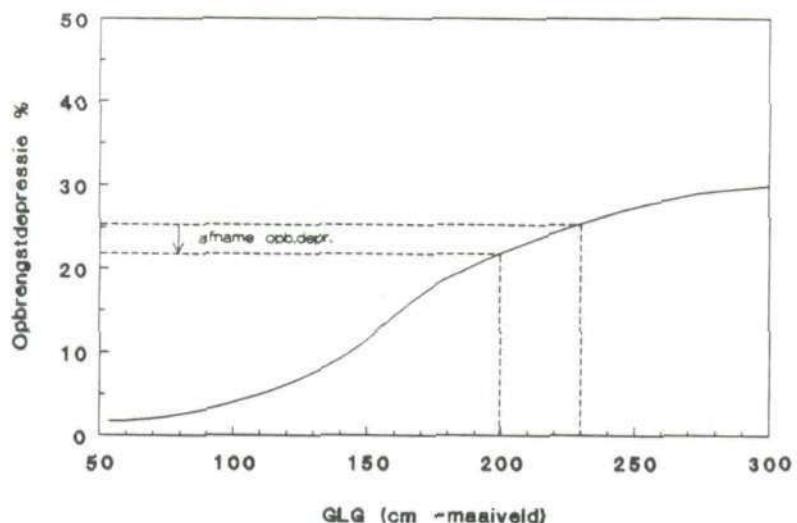


Toename opbrengstd depressie bij verhoging
GLG, bouwland



BIJLAGE X: Toename van opbrengstd depressies ten gevolge van wateroverlast bij verhoging van GLG met dertig centimeter. (naar: lit. 21).

Afname opbrengstd depressie bij verhoging
GLG, gras- en bouwland



BIJLAGE XI: Afname van opbrengstdepressies ten gevolge van droogteschade bij verhoging van GLG met dertig centimeter. (naar: lit. 18).

KAARTEN

KAART I: Grondgebruik (Gegeneraliseerd)

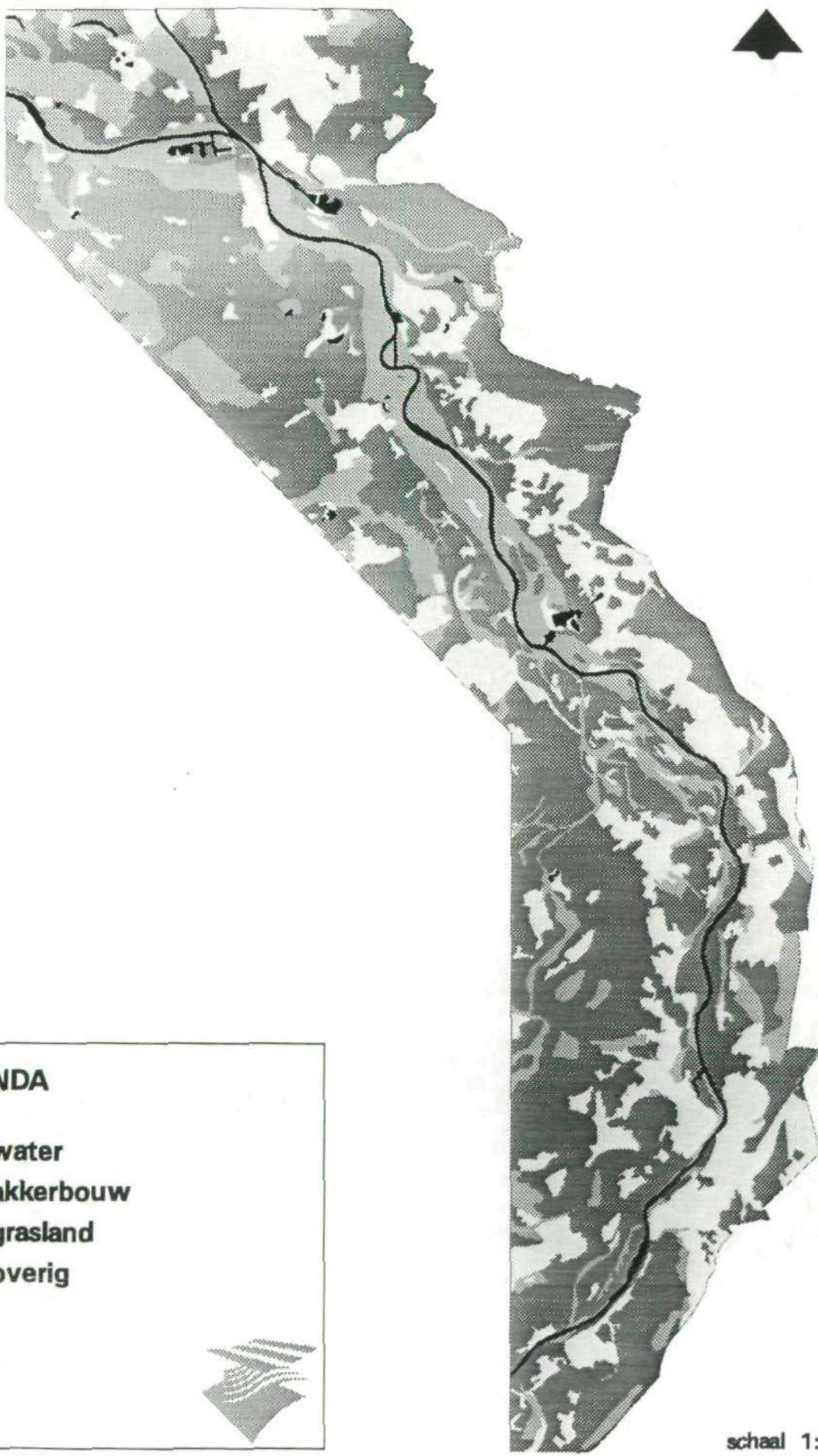
KAART II: Grondwatertrappen

KAART III: Bodemtypen (Gegeneraliseerd)

KAART IV: Invloed van peilverhoging

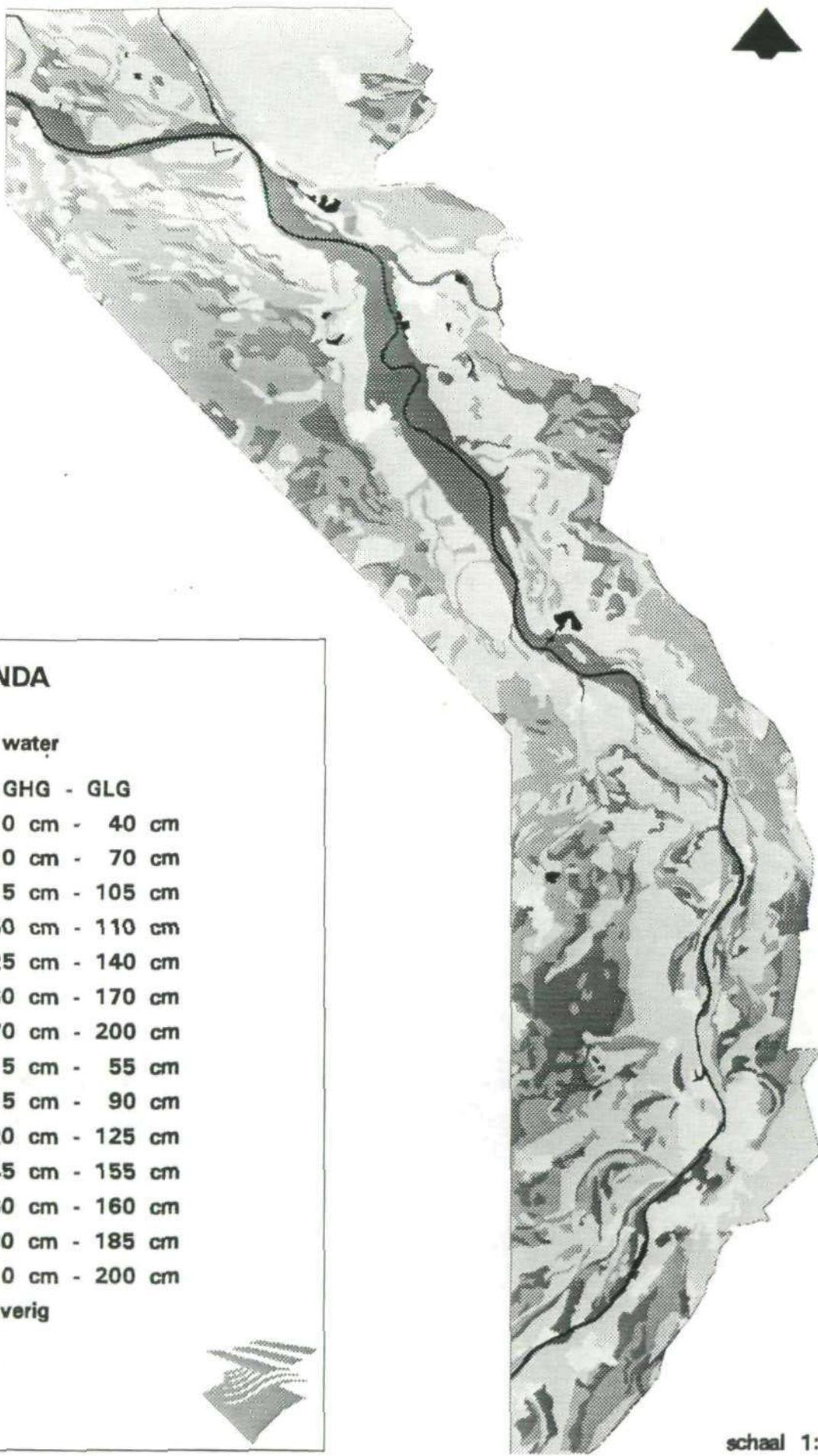
Diepgangvergrotning Maas

Grondgebruik (Gegeneraliseerd)



Diepgangvergroting Maas

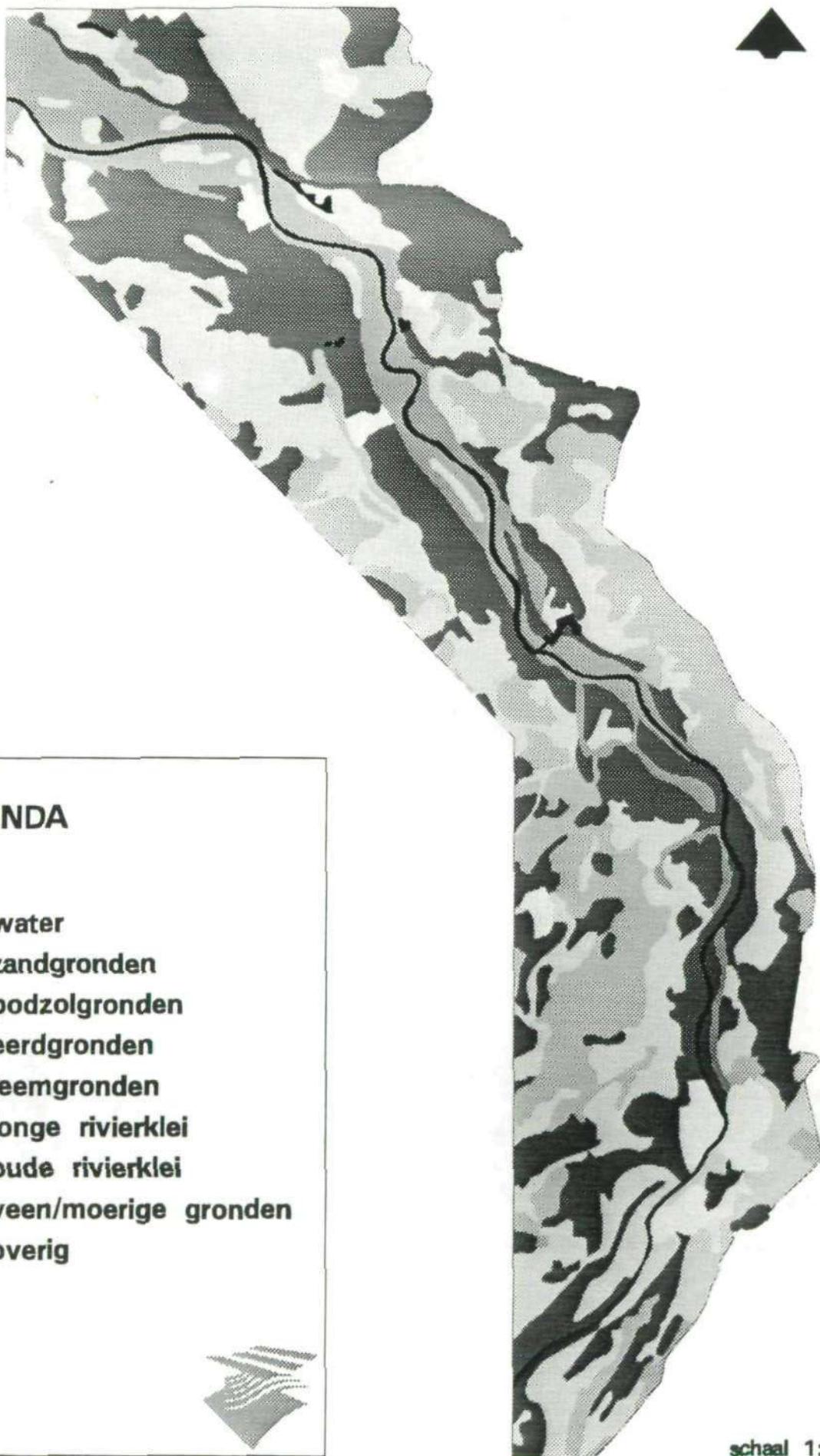
Grondwatertrappen



schaal 1:250.000

Diepgangvergrotning Maas

Bodemtypen (Gegeneraliseerd)



Diepgangvergroting Maas

Invloed van peilverhoging

