

32/446(7) 1<sup>e</sup> ex.

**Optimalisering regionaal waterbeheer in gebieden met tegengestelde belangen**

Hoofdrapport

**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

Werkgroep Optimalisering Regionaal Waterbeheer  
(J. Drent, red.)

**Rapport 7**

STARING CENTRUM, Wageningen, 1989

22 JAN. 1990



JSN 501563 \*

## REFERAAT

Werkgroep Optimalisering Regionaal Waterbeheer (J. Drent, red.), 1989. Optimalisering regionaal waterbeheer in gebieden met tegengestelde belangen. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 7. XVIX + 143 blz.; 52 fig.; 25 tab.; 1 bijlage.

Met name in de Nederlandse zandgebieden hebben landbouw, drink- en industriewatervoorziening, en natuurgebieden hun eigen, maar vaak tegengestelde belangen bij een goede waterbeheersing, zowel kwantitatief als kwalitatief.

Optimaliseringstechnieken zijn toegepast voor het regionaal waterbeheer. Voor waterhuishoudkundige ontwikkelingen in een regio kunnen hiermee scenario's worden berekend, rekening houdend met de verschillende belangen van gebruikers van water.

Trefwoorden: optimalisering, landbouw, waterbeheer, milieubeheer, natuurbeheer, Noord-Brabant

ISSN 0924-3070

Dit rapport is eerder vermeld als Rapport 38 (1988) van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW).

©1989

STARING CENTRUM, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied, Postbus 125, 6700 AC Wageningen  
Tel.: 08370-19100; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

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

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

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

[RAP/38]

## VOORWOORD

De sterk toegenomen aandacht voor een meer geïntegreerde benadering van de waterhuishouding in het landelijk gebied heeft geleid tot wetgeving op grond waarvan waterhuishoudingsplannen moeten worden gemaakt op nationaal en regionaal niveau. Deze plannen hebben tot doel het kwantitatieve en kwalitatieve beheer van grond- en oppervlaktewater zodanig uit te voeren dat de verschillende gebruikers het water aanhoudend en in harmonie kunnen blijven benutten. Voor deze planvorming is er een grote behoefte aan methoden waarmee waterbeheersproblemen integraal kunnen worden geanalyseerd en waarmee inzicht kan worden verkregen in de effecten van verschillende maatregelen voor het waterbeheer.

In eerder verrichte studies en in lopende projecten heeft het toenmalige Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) (sinds begin 1989 deel uitmakend van het Staring Centrum) meer inzicht verkregen in factoren en processen die de kwantitatieve en kwalitatieve waterhuishouding sturen en in de betekenis daarvan voor de met de waterhuishouding samenhangende belangen. In deze studie is getracht de bestaande kennis van verschillende disciplines samen te voegen tot een methode waarmee de effecten van verschillende regionale waterbeheersmaatregelen kunnen worden gekwantificeerd. De ontwikkelde methode is afgestemd op de problematiek van de zandgebieden in Nederland en algemeen toepasbaar. Wel is voor het testen en verifiëren een proefgebied gebruikt.

De uitvoering van het onderzoek was mogelijk dank zij de actieve steun van verschillende diensten en instituten. Voor de ontwikkeling van de methode heeft het Staring Centrum de steun gehad van het International Institute for Applied Systems Analyses (IIASA) te Laxenburg, Oostenrijk, waarmee een samenwerkingsverband was afgesloten. De Provinciale Waterstaat van de Provincie Noord-Brabant, het Waterschap De Aa in die provincie en de Waterschappen Noord- en Midden-Limburg in de provincie Limburg waren graag bereid de gevraagde gegevens uit het proefgebied beschikbaar te stellen. De Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant van de Waterschappen De Aa, De Dommel en De Maaskant heeft zowel financieel als materieel medewerking verleend bij de analyse van watermonsters uit het proefgebied. De geologische beschrijving van het studiegebied is tot stand gekomen in nauwe samenwerking met de Rijks Geologische Dienst. Van veel belang was verder de beschikbaarheid van gegevens uit de archieven van het Rijks Instituut voor de Volksgezondheid en Milieuhygiëne en de Dienst Grondwaterverkenning TNO. Voor de landbouwkundige gegevens is gebruik gemaakt van CBS-gegevens en van gegevens die met behulp van een bedrijfsenquête door de Stichting tot Uitvoering van Landbouwmaatregelen zijn verzameld.

De verantwoordelijkheid voor het onderzoek berustte bij het toenmalige ICW. Een groot aantal medewerkers uit verschillende afdelingen van het Instituut hebben in werkgroepsverband aan het project bijgedragen. Om de bruikbaarheid van de ontwikkelde methoden voor de toepassing in de praktijk te beoordelen, is een begeleidingscommissie samengesteld bestaande uit vertegenwoordigers van het beleid en van de uitvoerende diensten.

Het rapport geeft in grote lijnen een beschrijving van de ontwikkelde methode en inzicht in de daarmee te bereiken resultaten. Voor meer detailinformatie is het noodzakelijk de desbetreffende deelrapporten te raadplegen.

3.6. Waterkwaliteit	40
3.6.1. Nitraatconcentraties in grond- en oppervlaktewater	40
3.6.2. Freatisch grondwater	40
3.6.3. Diep grondwater	43
3.6.4. Denitrificatie in de ondergrond	44
3.6.5. Oppervlaktewater	46
4. MODELLEN VOOR LANDBOUWONTWIKKELING, HYDROLOGIE, GEWASPRODUKTIE, GRONDWATERKWALITEIT EN NATUURWAARDE	48
4.1. Inleiding	48
4.2. Landbouwmodel	48
4.2.1. Inleiding	48
4.2.2. Definities	49
4.2.3. Overzicht van het model	51
4.2.4. Het produktieblok	52
4.2.5. Het ontwikkelingsblok	54
4.3. Effecten van grondwaterstands dalingen op natuurlijke vegetaties: model SWAFLO	57
4.3.1. Inleiding	57
4.3.2. Milieufactoren	58
4.3.3. Koppeling milieufactoren en plantensoorten; dosis-effect relaties	61
4.3.4. Waardering van effecten	64
4.3.5. Opmerkingen	65
4.4. Het regionaal hydrologisch model SIMGRO	65
4.4.1. Inleiding	65
4.4.2. Verzadigde zone in het hydrologische systeem	66
4.4.3. Onverzadigde zone in het hydrologische systeem	68
4.4.4. Oppervlaktewater	69
4.4.5. Verifikatie	70
4.5. Het gewas produktiemodel SIMCROP	73
4.5.1. Inleiding	73
4.5.2. Droge-stofopbrengst van aardappelen	73
4.5.3. Opbrengst van andere gewassen	75
4.6. Nitraatuitspoeling (ANIMO)	76
4.6.1. Stikstofbalans	76
4.6.2. Stikstof- en koolstofcyclus	77
4.6.3. Transportprocessen	79
4.6.4. Verificatie	79
4.7. Koppeling van SIMGRO en ANIMO	80
4.7.1. Methode van koppeling	80
4.7.2. Initialisatie	82
5. MODELLEN VOOR OPTIMALISERING	87
5.1. Inleiding	87
5.2. Landbouw	88
5.2.1. Inleiding	88
5.2.2. Technologieën	89
5.2.3. Relaties tussen technologieën	90
5.2.4. Beregeningsbehoefte	90
5.2.5. Bemestingsbehoefte	90
5.2.6. Gewasproductie	91
5.2.7. Arbeid	92
5.2.8. Inkomen	92
5.2.9. Kapitaal	93

5.3. Natuur	93
5.4. Openbare watervoorziening	95
5.5. Waterhuishouding	95
5.5.1. Inleiding	95
5.5.2. Berekening	96
5.5.3. Grondwaterbeheer	97
5.5.4. Oppervlaktewaterbeheer	98
5.5.5. Gecombineerd beheer van oppervlaktewater en grondwater	99
5.5.6. Gewasverdamping en gewasproductie	101
5.5.7. Grondwaterstandsverlagingen in natuurgebieden	102
5.6. Stikstofhuishouding	102
5.6.1. Stikstofvoorziening van gewassen	102
5.6.2. Nitraatbelasting van het grondwater	103
5.6.3. Regionale verspreiding van nitraat door grondwaterstroming	103
5.6.4. Randvoorwaarden aan N-concentraties	104
5.7. Fosfaat- en kaliumhuishouding	105
5.7.1. Fosfaataccumulatie in de bodem	105
5.7.2. Kalium toediening aan grasland	105
6. TOEPASSING VAN HET SCENARIO GENEREREND SYSTEEM	106
6.1. Inleiding	106
6.2. Procedure voor het genereren van scenario's	107
6.3. Verificatie vereenvoudigde modellen	109
6.4. Voorbeelden van rekenresultaten	112
6.4.1. Doelfunctie: het inkomen in de landbouw	113
6.4.2. Doelfunctie: de onttrekking van grondwater voor de openbare watervoorziening	126
7. MOGELIJKHEDEN EN BEPERKINGEN VAN TOEPASSING VAN HET ONTWIKKELDE SYSTEEM IN DE PRAKTIJK	129
7.1. Inleiding	129
7.2. Simulatiemodellen tegenover optimaliseringsmodellen	130
7.3. Randvoorwaarden, beperkingen en mogelijkheden	131
7.3.1. Randvoorwaarden	131
7.3.2. Beperkingen	132
7.3.3. Mogelijkheden	133
7.3.4. Toepassingen in de praktijk	134
8. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	135
LITERATUUR	139
BIJLAGE	
Overzicht publikaties, deelrapporten en nota's die in het kader van het project Optimalisering Regionaal Waterbeheer zijn verschenen	

---

## IN KORT BESTEK

Problemen op het gebied van het water- en milieubeheer in relatie tot landbouw- en natuurbeheer worden veroorzaakt door de wisselwerkingen van menselijke activiteiten op grond- en oppervlaktewater. Deze problemen doen zich vooral voor in zandgebieden, waar landbouw, drink- en industrie-watervoorziening en natuurgebieden hun eigen maar vaak tegengesteld belang hebben bij een goede waterbeheersing, zowel kwantitatief als kwalitatief. Door middel van wetgeving heeft de overheid mogelijkheden aangereikt voor planvorming en voor maatregelen met als doel te komen tot een zodanig kwantiteits- en kwaliteitsbeheer van grond- en oppervlaktewater, dat de verschillende gebruikers het water aanhoudend en in harmonie kunnen blijven gebruiken.

Tegen deze achtergronden heeft het ICW een studie uitgevoerd naar planvormings- en evaluatiemethoden op het gebied van het regionaal waterbeheer. Het onderzoek is uitgevoerd in een studiegebied in het oosten van de provincie Noord-Brabant.

De ontwikkelde methode omvat twee fasen. Met de eerste fase, het scenario genererend systeem, kunnen scenario's worden berekend die aan bepaalde eisen voldoen met betrekking tot het welbevinden van de verschillende watergebruikers. Met de tweede fase, het beheersplan analyserend systeem, kunnen de effecten van bepaalde beheersmaatregelen worden geëvalueerd. De eerste fase is operationeel, de tweede is nog in ontwikkeling.

In het scenario genererend systeem worden vijf modellen toegepast. Dit zijn het landbouwmodel, het grondwatermodel SIMGRO, het gewasproductiemodel SIMCROP, het regionaal stikstofmodel ANIMO en het natuureffectmodel SWAFLO. Deze simulatiemodellen geven een zo goed mogelijke beschrijving van de belangrijkste processen. Ze zijn echter, vanwege hun complexe vorm, niet geschikt voor een snelle generatie van scenario's. In dit verband zijn lineaire modellen voor de belangrijkste processen ontwikkeld, omdat dan lineaire programmering kan worden toegepast. De eenvoud van deze lineaire modellen betekent dat ze een relatief grove benadering zijn van de werkelijkheid. Simulatiemodellen blijven dan ook essentieel om de met optimalisering verkregen scenario's te verifiëren en nauwkeuriger op hun waarde te schatten.

Voor het interpreteren van de resultaten en voor het vergelijken van verschillende scenario's met behulp van kaarten en diagrammen is een interactief systeem ontwikkeld waarbij gebruik wordt gemaakt van een kleurenscherm.

Toepassing van de ontwikkelde methode hoeft niet noodzakelijkerwijs te betekenen dat de totale methodiek moet worden toegepast. Ook onderdelen ervan kunnen zelfstandig worden gebruikt voor het oplossen van praktische problemen.

---

## 1. INLEIDING

Maatschappelijke ontwikkelingen hebben in de afgelopen decennia geleid tot een situatie waarin voldoende water van goede kwaliteit een schaars artikel is geworden. Deze ontwikkelingen hebben hun invloed gehad op het beleids-terrein van de waterhuishouding. Vroeger lag de nadruk vooral op de afwatering, de veiligheid, de watervoorziening van de landbouw en de scheepvaart. Thans spelen de belangen van de industrie- en drinkwatervoorziening, recreatie, natuur en milieu een veel grotere rol, terwijl ook het oppervlaktewater als aquatisch ecosysteem meer en meer bij de beschouwingen wordt betrokken. Op grond hiervan heeft de centrale overheid initiatieven genomen tot wetgeving.

Voor deze wetgeving moeten op nationaal, provinciaal en regionaal niveau plannen worden gemaakt. Het doel hierbij is een zodanig kwaliteits- en kwantiteitsbeheer van grond- en oppervlaktewater, dat de verschillende gebruikers het water aanhoudend en zo veel mogelijk in harmonie kunnen blijven benutten.

De waterhuishouding in een regio is een samenhangend geheel, zodat het niet meer zinvol is afzonderlijke plannen voor elke sector apart op te stellen. Met name in gebieden waar meer belangen met elkaar in conflict komen, is een integrale planvorming noodzakelijk. Het betreft gebieden waar het bodemgebruik zeer intensief is, overdosering van organische mest plaats vindt met risico's voor verhoogde nitraatuitspoeling naar het grondwater, grondwater wordt onttrokken voor beregening en openbare watervoorziening, aanvoer van water voor beregening mogelijk is en waardevolle natuurgebieden voorkomen. Bij de voorbereiding van dergelijke plannen zijn evaluatietechnieken en afwegingsmethoden onmisbare hulpmiddelen om inzicht te krijgen in de consequenties voor de onderscheiden belangengroepen van alternatieven voor het waterbeheer.

Tegen deze achtergronden heeft het ICW vanuit haar kennis en ervaring op het gebied van de regionale waterhuishouding in de periode 1981-1986 in een multidisciplinair project een methode ontwikkeld waarmee de effecten van verschillende waterbeheersmaatregelen op een regionale schaal kunnen worden gekwantificeerd.

---

## 2. METHODIEK

De ontwikkelde methode voor het analyseren van effecten van regionale waterbeheersmaatregelen bestaat uit twee fasen.

In de eerste fase, het Scenario Genererend Systeem, worden de fysieke mogelijkheden voor een gebied verkend, rekening houdend met de verschillende gebruikers in een regio. Met behulp van optimaliseringstechnieken wordt voor het desbetreffende gebied een gewenste toestand gegenereerd. Deze toestand geeft een indruk van de mogelijkheden in het gebied als de gebruikers van grond- en oppervlaktewater samenwerken met de regionale waterbeheerder. Hierbij is geen sprake van een absolute toestand, maar van een richting waarin een gebied zich zou kunnen ontwikkelen.

In de tweede fase, het Beheersplan Analyserend Systeem, wordt het te verwachten effect van specifieke waterbeheersmaatregelen op de ontwikkeling in een gebied verder geanalyseerd door het gedrag van de gebruikers te simuleren. Dit resulteert in een verwachte toestand voor het gebied. Bij de analyse van de verwachte toestand wordt de, in de eerste fase gegenereerde, gewenste toestand als referentieniveau gebruikt.

Beide fasen bevatten eenvoudige, bij voorkeur lineaire modellen en meer complexe modellen. Het eenvoudige model bestaat uit deelmodellen voor de onderscheiden gebruikers die worden gekoppeld door middel van een eenvoudige beschrijving van het hydrologische systeem. Dit eenvoudige model wordt elke keer als een scenario wordt gegenereerd gebruikt. De complexe modellen, die de processen meer in detail beschrijven, worden gebruikt bij de bepaling van de coëfficiënten voor het eenvoudige model en bij de verificatie van de uitkomsten. Hiervoor zijn modellen geformuleerd voor de ontwikkeling in de landbouw, de hydrologie, de gewasproductie, de grondwaterkwaliteit en de natuurwaarde.

Voor het testen van de ontwikkelde methode is gezocht naar een proefgebied waar de besproken problematiek duidelijk aanwezig is. Gekozen is voor een gebied gelegen in het zuid-oosten van de provincie Noord-Brabant met een overlap naar de provincie Limburg.

Gedurende de loop van het project is het Scenario Genererend Systeem operationeel gemaakt en is een begin gemaakt met de invulling van het Beheersplan Analyserend Systeem.



---

### 3. COMPLEXE MODELLEN

#### 3.1. ALGEMEEN

De landbouweconomische, fysische, chemische en biologische processen die voor een regio van belang zijn moeten in hun onderlinge samenhang worden geformuleerd. Hiervoor zijn vijf simulatiemodellen ontwikkeld met een tweeledig doel. Enerzijds worden ze gebruikt voor het berekenen van de coëfficiënten in de lineaire relaties die worden toegepast bij de lineaire optimalisering. Anderzijds worden ze gebruikt voor het verifiëren van veelbelovende scenario's.

#### 3.2. LANDBOUWONTWIKKELING

De landbouwkundige aspecten die van belang zijn voor het regionale waterbeheer hebben betrekking op de aanspraak die de landbouw maakt op grond- en oppervlaktewater en op het gebruik van meststoffen in relatie tot de kwaliteit van het water en hebben betrekking op de veranderingen in aard en omvang van de landbouwactiviteiten in de loop van de tijd. Beide aspecten zijn onderdeel van het geformuleerde landbouwmodel.

Het doel van het landbouwmodel is het genereren van de ontwikkeling van de landbouw in een gebied, rekening houdend met de hydrologische omstandigheden. Dit gebeurt door veranderingen op bedrijfsniveau te genereren. Hierbij wordt van de veronderstelling uitgegaan dat de grootte van het gebied zodanig is dat veranderingen in de omvang van de produktie in het gebied de prijsvorming van de produkten op de markt niet beïnvloedt.

De bedrijven worden ingedeeld in bedrijfstypes. Hiertoe wordt een aantal produktierichtingen geformuleerd (combinaties van technologieën (Tabel 1)). Voor elk van de bedrijfstypes wordt een representatief bedrijf gedefinieerd. De beschrijving van een representatief bedrijf bestaat uit de activiteiten op het bedrijf, de relaties tussen deze activiteiten en de bedrijfsvoering.

De activiteiten in de landbouw worden in deze studie weergegeven door middel van technologieën. Een technologie is een activiteit of een groep

Tabel 1. Overzicht van de grondgebonden en niet-grondgebonden technologieën die in deze studie zijn onderscheiden

Grondgebonden technologieën	Niet-grondgebonden technologieën
Glastuinbouw	Mestkalveren
Vollegrondstuinbouw	Mestvarkens
Akkerbouwmatige tuinbouw	Fokvarkens
Meerjarige teelten	Legkippen
Hakvruchten (aardappelen, bieten)	Mestkippen
Graan	Champignons
Mais	
Intensief graslandgebruik (3-4 gve.ha <sup>-1</sup> )	
Extensief graslandgebruik ( 2 gve.ha <sup>-1</sup> )	

van activiteiten met een invoer (arbeid, water, mest) en een uitvoer (gewasopbrengst, melk, vlees, mest). Technologieën verschillen van elkaar in mestgiften, waterbehoefte, benodigde kapitaalgoederen, arbeidsinzet en ontwikkelingen van de prijzen.

De technologieën zijn verdeeld in grondgebonden technologieën en niet-grondgebonden technologieën. Grondgebonden technologieën bestaan uit activiteiten waarvan de omvang gerelateerd is aan de produktiefactor grond. Voor de niet-grondgebonden technologieën is dit niet het geval. In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de onderscheiden technologieën.

Het model beschrijft de interactie tussen de produktie in de landbouw en het hydrologische systeem, de veranderingen in de aard en de omvang van de activiteiten en de veranderingen in de werkgelegenheid en de inkomens in de landbouw. Dit komt tot uitdrukking in de twee blokken waaruit het model is opgebouwd. In het produktieblok wordt de omvang van de produktie op de bedrijven gegenereerd. Gelijk met de produktie wordt de omvang van de ingezette factor en non-factor inputs bepaald. Via de koppeling met het hydrologische systeem wordt nagegaan of deze produktie mogelijk is. In het ontwikkelingsblok worden voor ieder bedrijf in de loop van de tijd veranderingen in de bedrijfskenmerken gegenereerd.

Het landbouwmodel is een kwalitatief model waarmee de belangrijke processen en de relaties tussen deze processen worden aangegeven. De procesparameters van het model zijn niet ingevuld, zodat met het model geen berekeningen kunnen worden uitgevoerd. Het model dient als raamwerk voor de meer concrete modellering in het Scenario Genererend Systeem en het Beheersplan Analyserend Systeem.

### 3.3. NATUURWAARDE

De beschikbaarheid van vocht, stikstof, fosfaat en zuurstof op de groeiplaats van vegetaties zijn in deze studie beschouwd als de belangrijkste fysiologische factoren voor de groei van planten. Veranderingen in die beschikbaarheid als gevolg van een waterhuishoudkundige ingreep moeten worden gekwantificeerd om de gevolgen voor natuurlijke vegetaties aan te kunnen geven. Hiervoor is het model SWAFLO ontwikkeld, waarmee de effecten van grondwaterstands dalingen op natuurlijke vegetaties kunnen worden vastgesteld. In het model worden de vier milieufactoren door middel van indicatietallen aan plantesoorten gekoppeld. Hiervoor zijn beslisregels geformuleerd die aangeven hoe de milieufactoren veranderen als gevolg van een bepaalde grondwaterstandsdaling en welke reactie van de planten daarbij optreedt. Het model veronderstelt dat een plantesoort verdwijnt, zodra door een ingreep een milieufactor niet meer in overeenstemming is met het indicatietal dat aan de desbetreffende soort is toegekend.

In zijn algemeenheid zal een verstoring van een natuurlijk milieu ruimte bieden aan meer algemene soorten. Door hun algemeenheid zijn deze soorten minder waardevol. Verlaging van de grondwaterstand zal daarom in de meeste gevallen leiden tot minder waardevolle vegetaties.

De waarde van een vegetatietype is in het model berekend op basis van zeldzaamheid van de soorten. Deze zeldzaamheid is gebaseerd op hun frequentie van voorkomen in een landelijk stelsel van vierkante hokken ( $5 \times 5 \text{ km}^2$ ). In Figuur 1 is een voorbeeld gegeven van een door toepassing van SWAFLO verkregen diagram.

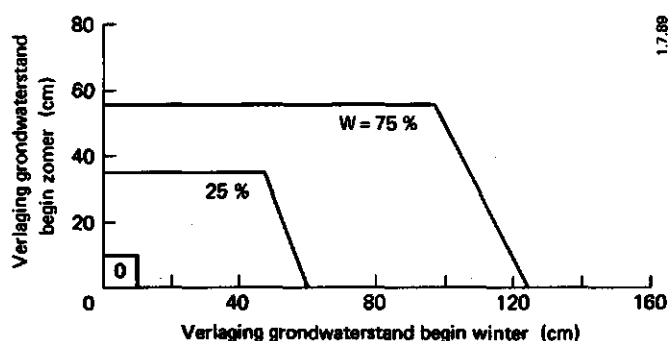


Fig. 1. Een door toepassing van SWAFLO verkregen diagram waarin het verlies aan natuurwaarde in een natuurgebied in verband is gebracht met veranderingen in grondwaterstanden. Wanneer een combinatie van  $Ah_s$  (zomer) en  $Ah_w$  (winter) binnen het door een bepaalde procentagelijns omsloten gebied blijft dan blijft het verlies aan natuurwaarde beperkt tot maximaal de desbetreffende W-waarde

### 3.4. HYDROLOGIE

Voor het berekenen van de gevolgen van waterhuishoudkundige ingrepen als grondwaterwinning, beregening, aanvoer van oppervlaktewater en peilveranderingen op bijvoorbeeld veranderingen in grondwaterstanden en in verdamping van gewassen is het regionale hydrologische model SIMGRO ontwikkeld. Dit model simuleert de waterbeweging in de verzadigde zone, de onverzadigde zone en het oppervlaktewater. In verband met de regionale toepassing van dit model is het studiegebied op basis van bodemfysische eigenschappen en meest voorkomend grondwatertrappen in subgebieden opgedeeld met een gemiddelde oppervlakte van 1000 ha. Voor het beschrijven van de grondwaterbeweging is een schematisatie toegepast in watervoerende en weerstandsbiedende lagen. In een watervoerende laag treedt horizontale stroming op en in een weerstandsbiedende laag alleen verticale stroming. Op deze wijze wordt de stroming quasi-driedimensionaal beschreven. Figuur 2 geeft weer op welke wijze de waterhuishouding in een subgebied in het model is geschematiseerd.

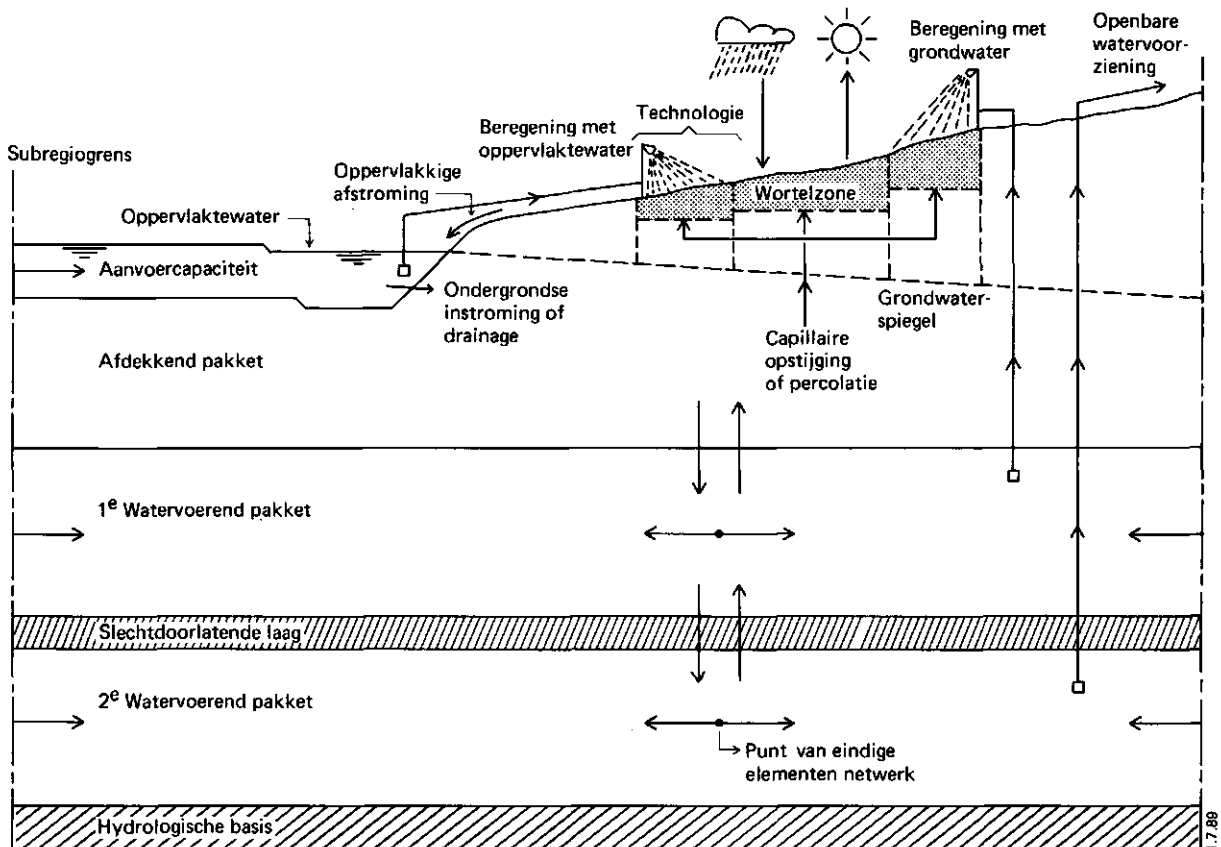


Fig. 2. Schematische weergave van de waterhuishouding in een subgebied volgens de werkwijze in het hydrologische model SIMGRO (technologie is een vorm van agrarisch bodemgebruik)

---

Het studiegebied wordt verder opgedeeld in eindige elementen met knooppunten. Per knooppunt wordt een stijghoogte berekend die geldt voor het invloedsgebied van dat knooppunt. Elk subgebied wordt op deze wijze voorgesteld als een deelverzameling van knooppunten. De onverzadigde zone is geschematiseerd door hiervoor twee reservoirs te beschouwen, een voor de wortelzone en een voor de ondergrond. Hierbij is de ondergrond het profiel tussen wortelzone en freatisch vlak. Het vochttransport in deze zone wordt in het model op een pseudo-stationaire wijze benaderd. Het oppervlaktewater binnen een subgebied wordt beschouwd als een enkele leiding zonder differentiatie binnen een subgebied. De oppervlaktewateren binnen een subgebied zijn onderling niet gekoppeld. In het model wordt rekening gehouden met aan- of afvoer van water, drainage of infiltratie, oppervlakkige afstroming en onttrekking voor berekening.

Met SIMGRO worden hydrologische parameters berekend, die enerzijds direct worden gebruikt, bijvoorbeeld veranderingen in de grondwaterstanden, anderzijds worden gebruikt als invoer in gewasproductie- en grondwaterkwaliteitsmodellen.

### 3.5. GEWASPRODUKTIE

Voor het berekenen van de effecten van veranderingen in de water- en mestvoorziening op de opbrengsten van gewassen is het model SIMCROP ontwikkeld. Hierbij is gebruik gemaakt van een produktiefunctie voor aardappelen, waarin de groeisnelheid wordt beschreven als functie van de groefactor water. Deze groeisnelheid hangt af van de efficiëntie van het watergebruik en van de potentiële groeisnelheid. In de afgelopen jaren is deze produktiefunctie voor aardappelen op basis van veldmetingen getoetst. Deze functie wordt in het model SIMCROP toegepast als basis voor het berekenen van de opbrengsten van de overige gewassen. Het eerder behandelde hydrologische model SIMGRO berekent per tijdstap de werkelijke evapotranspiratie. Op basis hiervan wordt in SIMCROP eerst de opbrengst voor aardappelen berekend en vervolgens, met behulp van produktiefactoren, de opbrengsten van andere gewassen. In situaties met een sub-optimale stikstofbemesting vindt hiervoor een correctie plaats. De op deze wijze berekende opbrengsten hebben betrekking op theoretisch haalbare produkties. Met effecten als ziekten, plagen en minder optimale bedrijfsvoeringen is rekening gehouden door de opbrengsten met een factor hiervoor te vermenigvuldigen.

---

### 3.6. GRONDWATERKWALITEIT

Het nitraatgehalte van het grondwater is een belangrijke parameter voor het beoordelen van de grondwaterkwaliteit in gebieden die intensief worden bemest. In dit verband is het model ANIMO ontwikkeld voor een kwantitatieve analyse van de organische stof- en stikstofhuishouding van de grond. In dit model worden kwantitatief de processen beschreven, die zowel in de stikstofcyclus als in de koolstofcyclus een rol spelen. Het gaat hierbij om processen als mineralisatie en immobilisatie van stikstof, denitrificatie in de ondergrond, opname van stikstof door het gewas en transport van stikstofverbindingen in het bodemsysteem onder invloed van de waterhuishouding. Het model kan zowel op perceelsniveau als op regionaal niveau worden toegepast. In het model wordt het transport van de verschillende opgeloste stoffen via een een-dimensionaal systeem in beschouwing genomen. De bodem wordt hierbij in horizontale lagen verdeeld, waarbij in een aantal lagen respectievelijk de verdamping en de afvoer naar ontwateringsmiddelen wordt gesimuleerd, terwijl tevens verticaal transport van laag naar laag optreedt. Per laag wordt per tijdstap een volledige water- en stofbalans berekend. Bij de berekeningen wordt aangenomen dat in elke laag volledige menging optreedt. De diverse waterbalanstermen over de grensvlakken, in zowel verticale als horizontale richting, zijn afkomstig van simulaties met het model SIMGRO. Als belangrijk resultaat wordt verkregen het nitraatgehalte op verschillende diepte in zowel de onverzadigde zone als in het ondiepe verzadigde systeem. Daarnaast wordt de nitraatbelasting van het diepe verzadigde systeem berekend wat van belang is voor de situering van drinkwaterwinningen.

In Figuur 3 is een voorbeeld gegeven van berekende nitraatconcentraties in twee lagen van het studiegebied. De concentraties zijn gepresenteerd als gewogen gemiddelden per subgebied na een simulatie van de voorgeschiedenis. Op grond van vergelijkingen met meetcijfers is er een redelijke overeenkomst tussen de berekende en de gemeten nitraatconcentraties gebleken.

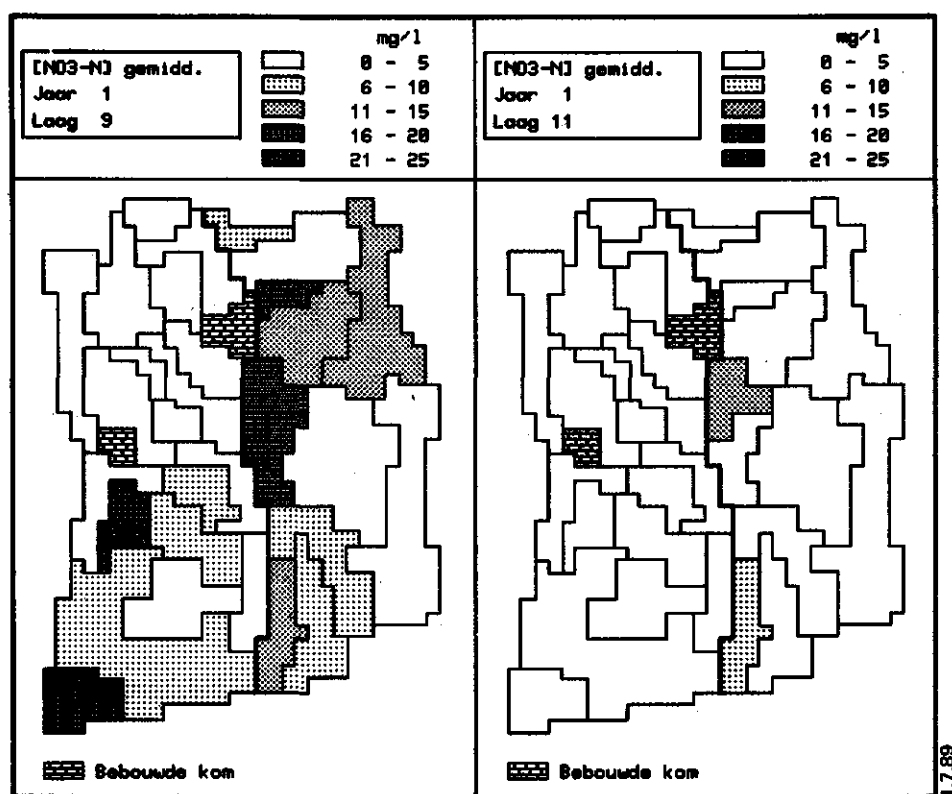


Fig. 3. Gemiddelde nitraatgehalten ( $\text{mg.l}^{-1}$  als N) in de lagen 9 en 11 per subgebied per 1 februari 1983 na een simulatie van de voorgeschiedenis (ofwel: initiële toestand)

links:

- 1 februari 1983
- laag nr 9

(laag 9 = Slenk: 1,5- 6,0 m-nv, Horst: 1,5- 6,0 m-nv)

(laag 11 = Slenk: 15,0-25,0 m-nv, Horst: 3,5-12,3 m-nv)

rechts:

- 1 februari 1983
- laag nr 11

---

## 4. LINEAIRE MODELLEN

### 4.1. ALGEMEEN

Bij de bespreking van de methodiek is reeds aangegeven dat de optimalisering in het Scenario Genererend Systeem plaatsvindt met een eenvoudig model. Het eenvoudige model is in deze studie een lineair programmeringsmodel. Dit houdt in dat alle vergelijkingen in het model lineaire vergelijkingen zijn. Er is gekozen voor lineaire programmering omdat deze vorm van programmering de best ontwikkelde en meest beproefde wiskundige zoekmethode is.

De eenvoud van deze lineaire modellen betekent echter dat ze een relatief grove benadering van de werkelijkheid zijn. De simulatiemodellen blijven essentieel voor het berekenen van de coëfficiënten in de lineaire vergelijkingen en voor het verifiëren van de met optimalisering verkregen scenario's.

De modellen die te zamen een geïntegreerd systeem in het Scenario Genererend Systeem vormen, zijn onder te verdelen in:

- submodellen voor de watergebruikers, in deze studie landbouw, natuur en openbare watervoorziening;
- submodellen voor relevante kenmerken van het regionale hydrologische systeem, waarin hydrologie en stikstofhuishouding zijn onderscheiden.

### 4.2. LANDBOUW, NATUUR EN OPENBARE WATERVOORZIENING

Het vereenvoudigde landbouwmodel beschrijft de activiteiten van boeren in termen van technologieën. Voor deze technologieën wordt aangenomen dat de boeren overal in het gebied met dezelfde efficiëntie produceren. Aangenomen wordt dat de landbouw overschakelt van de ene activiteit op de andere indien dit meer inkomen oplevert. Verder wordt er van uitgegaan dat bij activiteiten als beregening en bemesting de door de regionale autoriteiten opgelegde randvoorwaarden in acht worden genomen. Behalve de voorziening van gewassen met meststoffen en water wordt in het model aandacht besteed aan opslag en transport van mest. Transport kan via een netwerk binnen het



beschouwde gebied plaatsvinden of kan in de vorm van afzet naar buiten het beschouwde gebied gaan.

Voor de natuurwaarde was geen vereenvoudigd model nodig. Bij de optimalisering worden hiervoor twee randvoorwaarden ingevoerd die volgen uit het voor natuurwaarde geformuleerde deelmodel: een voor de verlaging van de grondwaterstand aan het begin van de zomer en een voor de verlaging aan het begin van de winter.

Het vereenvoudigde model voor de openbare watervoorziening bestaat uit een enkele randvoorwaarde die aangeeft dat de totale onttrekking gelijk moet zijn aan de totale behoefte van de industrie, de bevolking en de landbouw. Investeringskosten voor het slaan van nieuwe putten en de exploitatie daarvan zijn buiten beschouwing gelaten.

#### 4.3. WATERHUISHOUDING

De gegevens voor het vereenvoudigde model van de regionale hydrologie en de daarvan afhankelijke gewasproductie worden verkregen door simulaties met de modellen SIMGRO en SIMCROP. Eerst worden berekeningen gedaan zonder onttrekkingen voor openbare watervoorziening en voor beregening; er is een minimale aanvoer van oppervlaktewater. Vervolgens worden diverse verstoringen aangebracht in de vorm van onttrekkingen en aanvoer van extra oppervlaktewater. De resultaten van de basisrun worden van de run met verstoringen afgetrokken; dit levert verschillen op die opgeslagen worden in een matrix. Als voorbeeld van een dergelijke berekening zijn in Figuur 4 de verschillen aangegeven in gewasverdamping van vijf subgebieden tussen een onbeïnvloede (geen onttrekking van grondwater) en een beïnvloede toestand (wel onttrekking van grondwater).

Deze matrix wordt vervolgens als lineaire benadering gebruikt in het optimaliseringsmodel. Deze beïnvloedingsmatrixmethode wordt behalve voor de gewasverdamping en de gewasproductie ook gebruikt voor het effect van grondwateronttrekkingen op de infiltratie van oppervlaktewater. In dit geval bestaan de responsies uit extra hoeveelheden infiltratie als gevolg van de onttrekkingen.

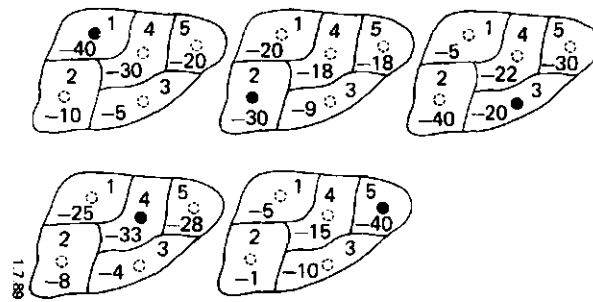


Fig. 4. Effect op de verdamping (in  $\text{mm.j}^{-1}$ ) van eenheidsonttrekkingen per subgebied. De gestippelde open cirkels geven (potentiële) onttrekingspunten aan, zwarte stippen geven aan dat in het desbetreffende subgebied een eenheidsonttrekking heeft plaatsgevonden

#### 4.4. STIKSTOPHUISHOUDING

In het vereenvoudigde model voor de grondwaterkwaliteit vindt de berekening van de uitspoeling van nitraat naar het grondwater plaats door de mesttoedieningen te vermenigvuldigen met uitspoelingscoëfficiënten. Een reductiefactor, waarvan de waarde afhankelijk is van de grondwaterstand, is toegepast voor het doorrekenen van het effect van de grondwaterstand op de denitrificatie. Om de nitraatconcentraties in de grondwaterpakketten te kunnen berekenen is een stationaire benadering toegepast: de concentraties worden berekend zoals die zouden ontstaan wanneer een bepaald mesttoedieningspatroon jaar in jaar uit zou worden herhaald. Voor de regionale verspreiding van het nitraat wordt in dit verband een mengvatenmodel gebruikt.

---

## 5. TOEPASSING VAN HET SCENARIO GENEREREND SYSTEEM

### 5.1. PROCEDURE VOOR HET GENEREREN VAN SCENARIO'S

De simulatiemodellen en de lineaire modellen bevatten kwantificeringen van het welbevinden van de watergebruikers, de zogenaamde indicatoren. In deze benadering is een indicator een parameter waarvan de waarde een maat is voor het welbevinden van een watergebruiker. Omdat welbevinden diverse aspecten kan hebben, worden per gebruikersgroep zonnig meer indicatoren gehanteerd.

In de volgende lijst van indicatoren staat tussen haakjes steeds vermeld of toename van welbevinden gerelateerd is aan 'maximalisering' (max) of 'minimalisering' (min):

- inkomen uit de landbouw (max);
- werkgelegenheid in de landbouw (max);
- hoeveelheid grondwater die onttrokken wordt voor de openbare watervoorziening (max);
- nitraatconcentratie in het grondwater (min);
- verlies aan natuurwaarde in natuurgebieden (min).

Elk van deze indicatoren is met minstens een van de andere in strijd. Dus is het niet mogelijk alle indicatoren tegelijk maximaal respectievelijk minimaal te doen zijn. Daarom is gekozen voor de volgende procedure:

- neem het inkomen uit de landbouw als doelfunctie van de optimalisering;
- formuleer randvoorwaarden voor de resterende indicatoren; voor de 'max'-indicatoren zijn dit randvoorwaarden in de vorm van ondergrenzen; voor de 'min'-indicatoren zijn dit randvoorwaarden in de vorm van bovengrenzen;
- verricht een optimalisering van het inkomen uit de landbouw met voor de resterende indicatoren de opgegeven randvoorwaarden;
- evalueer het resultaat van de berekeningen;
- herhaal de procedure indien de waarde van het geoptimaliseerde inkomen in relatie tot de gestelde randvoorwaarden niet in overeenstemming is met de wensen die de gebruiker in gedachten heeft.

Overigens is het mogelijk ook een andere indicator als doelfunctie van de optimalisering te nemen, bijvoorbeeld de totale hoeveelheid grondwater

---

die onttrokken wordt voor de openbare watervoorziening. De uitkomst van een dergelijke exercitie kan dan worden gezien als de voor de drinkwatervoorziening 'winbare hoeveelheid grondwater' met inachtneming van randvoorwaarden met betrekking tot de andere watergebruikers landbouw en natuur.

De beschreven procedure kan worden doorlopen voor verschillende opties met betrekking tot randvoorwaarden en data. Voor de randvoorwaarden is dit bijvoorbeeld:

- de totale aanvoercapaciteit van oppervlaktewater die beschikbaar is;
- de hoeveelheid mest die buiten het gebied kan worden afgezet;
- de hoeveelheid mest die maximaal aan grond kan worden toegediend (fosfaatnormen);
- de mogelijkheden voor uitbreiding van bepaalde technologieën;
- de onder- en bovengrenzen met betrekking tot de beschikbaarheid van arbeid.

Voor de gegevens zijn er verschillende keuzes ten aanzien van:

- het weerjaar op basis waarvan het inkomen uit de landbouw wordt geoptimaliseerd;
- de economische omstandigheden die bepalend zijn voor prijzen en kosten in de landbouw.

Een voorbeeld van een vraag die een gebruiker met de methode zou kunnen oplossen is: wat is het maximaal mogelijke gebiedsinkomen uit de landbouw onder de volgende randvoorwaarden voor de verschillende indicatoren:

- in het desbetreffende gebied moeten minimaal 3000 mensen in de landbouw (permanent) hun werk vinden;
- er mag 5 miljoen  $m^3$  per jaar aan het grondwater worden onttrokken voor de openbare watervoorziening (exclusief de veedrenking);
- de maximale evenwichtsconcentratie aan nitraat-N in het grondwater mag niet meer dan  $11,3 \text{ mg.l}^{-1}$  bedragen;
- het verlies aan natuurwaarde (in vergelijking met de 'ongestoorde' toestand) in de natuurgebieden mag niet meer dan 25% bedragen;
- er is  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  oppervlaktewateraanvoer beschikbaar om aan de piekbehoefte te voldoen;
- afzet van mest buiten het gebied is niet mogelijk.

De weersomstandigheden kunnen bijvoorbeeld zodanig worden gespecificeerd dat deze overeenkomen met een 10% droog jaar.

Indien de gebruiker op een punt is aangeland dat hij enigszins tevreden is met de berekende waarden van de indicatoren, is het noodzakelijk het verkregen scenario te verifiëren met behulp van de ontwikkelde simulatiemodellen.

De methode zal kunnen worden gebruikt voor de beantwoording van vele vragen met betrekking tot alternatieven voor het waterbeheer. Dit betekent dat vele reeksen berekeningen zullen worden gedaan. Voor een snelle en eenvoudige interpretatie van deze resultaten is een interactief systeem ontwikkeld voor het presenteren van gegevens waarbij gebruik wordt gemaakt van een hiërarchische methode voor de opslag en het terughalen van data, in combinatie met een grafische presentatie op een kleurenscherm. Hiermee is het mogelijk aan de hand van kaarten en diagrammen uitkomsten van verschillende scenario's met elkaar te vergelijken.

## 5.2. VOORBEELDEN VAN REKENRESULTATEN

De rekenuitkomsten van het Scenario Genererend Systeem zijn sterk afhankelijk van de vraag die aan het systeem wordt gesteld en van de opgelegde randvoorwaarden. De gepresenteerde resultaten zijn dan ook slechts voorbeelden van concrete optimaliseringen.

Als voorbeeld van een uitkomst is een situatie genomen met het inkomen in de landbouw als doelfunctie, waarbij gekeken is naar de invloed van mogelijkheden van mestafzet buiten het gebied op:

- a. het gebiedsinkomen uit de landbouw;
- b. de samenstelling van de intensieve veehouderij;

met als randvoorwaarden voor de scenario's:

- twee groeimogelijkheden (10% en 50%) voor de technologieën;
- een strenge fosfaatnorm voor de mestdosering, mestgift = onttrekking door het gewas:  $P_4$ ;
- een teruggang in natuurwaarde is niet toegestaan;
- uit het gebied moet 7 miljoen  $m^3 \cdot j^{-1}$  drinkwater worden gewonnen.

Als gevolg van deze randvoorwaarden probeert het systeem uit te wijken naar minder milieubelastende technologieën om de effecten op het landbouw-

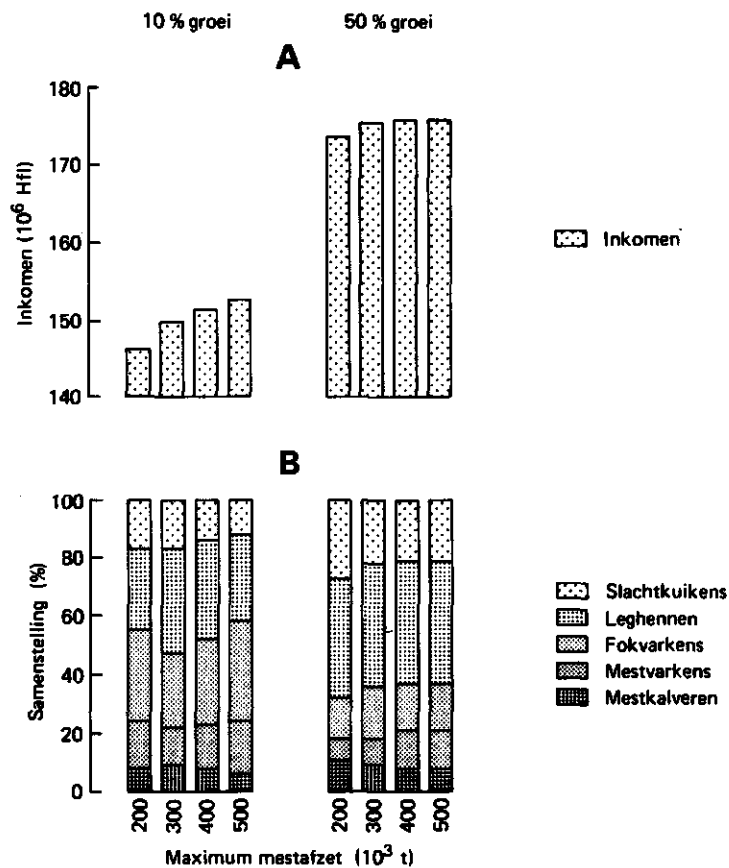
inkomen zo klein mogelijk te maken. Deze uitwijkmogelijkheden naar andere technologieën worden in werkelijkheid bepaald door de afzetmogelijkheden van de produkten, de geschiktheid van de grond en de in het gebied aanwezige kennis. Zo zal de vervanging van intensieve veehouderij door bijvoorbeeld glastuinbouw de produktie van tuinbouwprodukten doen toenemen waar een afname van de produktie van vlees en eieren tegenover staat. De mate waarin deze toe- respectievelijk afname van het aanbod leidt tot prijsveranderingen is afhankelijk van het aandeel in de totale regionale resp. landelijke produktie.

Voor de meeste technologieën is een zelfde percentage van de maximum toegestane groei aangehouden voor twee niveaus 10% en 50%. Er is geen uitbreiding toegestaan van de melkveehouderij in verband met de overproduktie van melk. De mogelijkheid van mestafzet is gevarieerd tussen 200 000 en 500 000 ton per jaar tegen een gefixeerde prijs van f 20,- per ton voor drijfmest en f 8,- per ton voor droge mest.

Figuur 5 geeft een indruk van de betekenis van deze groeimogelijkheden van de technologieën en van de mogelijkheden van mestafzet buiten het gebied op het gebiedsinkomen uit de landbouw en de samenstelling van de intensieve veehouderij. Uit de figuur blijkt dat bij 50% groeimogelijkheid de mogelijkheden voor verbetering van het landbouwincome veel groter zijn dan bij 10%. Deze extra groeimogelijkheid blijkt vooral benut te worden voor het laten groeien van de tuinbouwtechnologieën.

Voor alle scenario's in Figuur 5 is de zwaarste fosfaatnorm opgelegd. Bij deze norm zal een deel van de intensieve veehouderij moeten verdwijnen tenzij er mogelijkheden zijn de geproduceerde mest elders af te zetten of eventueel te verwerken.

Bij een groeimogelijkheid van 50% stijgt het inkomen bij verruiming van de afzetmogelijkheden van 200 000 tot 300 000 ton mest. Boven de 350 000 ton wordt van de ruimere afzetmogelijkheden geen gebruik meer gemaakt, een verdere stijging van het inkomen blijft uit. Dit komt omdat een verdere vergroting van de veestapel slechts mogelijk is door het aantrekken van betaalde arbeidskrachten. Als randvoorwaarde is namelijk gesteld dat in het gebied maximaal 3500 eigen arbeidskrachten op de bedrijven aanwezig zijn.



1.7.88

**Fig. 5.** Invloed van de afzetmogelijkheden van mest buiten het gebied en de groeimogelijkheden van technologieën (links max. 10% groei; rechts max. 50% groei) op: a. het gebiedsinkomen uit de landbouw op jaarbasis; b. de samenstelling van de intensieve veehouderij. De belangrijkste randvoorwaarden voor deze scenario's zijn: een strenge fosfaatnorm, teruggang in natuurwaarde niet toegestaan, gebied moet 7 miljoen m<sup>3</sup>.j<sup>-1</sup> drinkwater leveren

---

## 6. CONCLUSIES

Met de resultaten van het project Optimalisering Regionaal Waterbeheer is een eerste aanzet gegeven tot het ontwikkelen van rekentechnieken voor de beleidsvorming op het gebied van integraal waterbeheer.

De ontwikkelde methode bestaat uit een combinatie van lineaire programmering en simulatiemodellen. Hiermee worden scenario's voor toekomstige waterhuishoudkundige ontwikkelingen gegenereerd. Deze scenario's zijn afhankelijk van de vooraf opgelegde randvoorwaarden in relatie tot natuur, landbouw en openbare watervoorziening.

Naarmate de randvoorwaarden scherper zijn voor een gebruiker van water worden de mogelijkheden voor de andere gebruikers beperkter. Door toepassing van lineaire programmering wordt gekeken naar hetgeen voor die andere gebruikers nog maximaal mogelijk is.

De opgelegde randvoorwaarden kunnen, voor zover ze van fysisch-chemische aard zijn, in principe worden herleid tot maatregelen voor het waterbeheer. Hierbij moet bijvoorbeeld worden gedacht aan grenzen voor de toelaatbare onttrekking van grondwater of aan toelaatbare doseringen van organische mest in relatie tot de grondwaterkwaliteit. Voor zover er economische processen aan de orde zijn komt er een extra probleem bij. De gegenereerde toekomstige landbouwkundige ontwikkelingen zijn in de huidige methode gebaseerd op gefixeerde markt- en prijsciijfers. De afzetmogelijkheden van landbouwproducten en de prijzen komen nationaal en internationaal tot stand, zijn daardoor onzeker en moeilijk te voorspellen. Het gevolg is dat de gegenereerde landbouwkundige ontwikkeling in de scenario's slechts als richtinggevend mogen worden geïnterpreteerd.

De resultaten die in de loop van het project zijn verkregen laten zien dat er goede perspectieven zijn voor rekentechnieken ter voorbereiding en ondersteuning van waterbeheersmaatregelen. De tot nu toe ontwikkelde methode is echter nog niet op een eindpunt, maar moet verder worden uitgewerkt en verdiept teneinde uit te groeien tot een beleidsondersteunend instrument met een grotere praktische waarde.

Toepassing van de ontwikkelde methode hoeft niet noodzakelijkerwijs te betekenen dat deze integraal moet worden toegepast. Ook onderdelen ervan kunnen zelfstandig worden gebruikt voor het oplossen van praktische problemen.



---

Zo kunnen optimaliseringsmodellen worden toegepast voor kwantitatieve waterhuishoudkundige vraagstukken. Ook kunnen hiermee toekomstige bemestingsscenario's worden gegenereerd in afhankelijkheid van toelaatbare mestdoseringen. Laatstgenoemde toepassing heeft inmiddels plaatsgevonden voor het toeleveren van toekomstige mestgiften in verschillende projecten waarin ook andere onderdelen van het onderhavige project zijn toegepast. Dit betreft met name een aantal simulatiemodellen die in het kader van dit project zijn ontwikkeld.

Zo is de regionale verspreiding van nitraat in het ondiepe en diepe grondwater berekend voor verschillende omstandigheden voor bemesting en waterhuishouding. Hiervoor zijn de modellen SIMGRO en ANIMO gekoppeld. Een andere toepassing van het model ANIMO heeft plaatsgevonden bij het ontwikkelen van een methode voor het aanwijzen en begrenzen van bufferzones rondom beekdalen met natuurwetenschappelijke waarde. Ook hiervoor zijn bemestingsscenario's volgens eerder genoemde werkwijze aangeleverd.

In het kader van de voorbereiding van de 3e nota waterhuishouding is het model ANIMO uitgebreid met een module waarmee het gedrag van fosfaat in de bodem kan worden gesimuleerd. Hiermee is vervolgens de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater berekend in relatie tot de intensiteit van het bodemgebruik.

Voor het verkrijgen van een goed inzicht in de gevolgen van menselijke ingrepen in de waterhuishouding voor het natuurgebied de Grote Peel heeft Staatsbosbeheer een geohydrologische modelstudie uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van het model SIMGRO.

Uit deze voorbeelden blijkt dat verschillende deelmodellen die in het kader van het project zijn ontwikkeld reeds in ander verband worden toegepast.

---

## 1 . INLEIDING

### 1.1. MAATSCHAPPELIJKE ONTWIKKELINGEN

Maatschappelijke ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat in de afgelopen decennia voldoende water van goede kwaliteit een schaars artikel is geworden. Deze ontwikkelingen hebben hun invloed gehad op het beleidsterrein van de waterhuishouding. Vroeger lag de nadruk vooral op de afwatering, de veiligheid, de watervoorziening van de landbouw en de scheepvaart. Thans spelen de belangen van de industrie- en drinkwatervoorziening, recreatie, natuur en milieu een veel grotere rol, terwijl ook het oppervlaktewater als aquatisch ecosysteem meer en meer bij de beschouwingen wordt betrokken. De verschillende gebruikers van water stellen ieder voor zich specifieke eisen aan hoeveelheid en kwaliteit. Deze eisen blijken in de praktijk dikwijls tegengesteld te zijn, zodat een zorgvuldige planning en een zorgvuldig beheer noodzakelijk zijn voor een harmonieuze verdeling van de beschikbare hoeveelheden oppervlaktewater en grondwater. Op grond hiervan heeft de centrale overheid in Nederland initiatieven genomen tot wetgeving die het mogelijk maakt maatregelen te nemen voor het bereiken van evenwicht tussen economische ontwikkelingen en goede milieuomstandigheden op lange termijn. In dit verband zijn de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater, de grondwaterwet en de Wet op de Waterhuishouding belangrijke instrumenten voor planvorming, maatregelen en beheer. Ter uitvoering van deze wetgeving moeten plannen worden gemaakt op zowel nationaal, provinciaal en regionaal (waterschap) niveau. Uitgangspunt hierbij is dat de wetgever de waterhuishouding als een samenhangend geheel ziet, zodat afzonderlijke sectorale plannen op den duur niet meer zinvol zijn. Met name in gebieden waar meer belangen naast elkaar voor komen, onder omstandigheden van niet verenigbare afzonderlijke belangen, is een integrale planvorming noodzakelijk. Bij de voorbereiding van dergelijke plannen zijn evaluatietechnieken en afwegingsmethoden onmisbare hulpmiddelen om inzicht te krijgen in de consequenties voor de onderscheiden belangengroepen van alternatieven voor het waterbeheer.

Tegen deze achtergronden heeft het ICW vanuit haar kennis en ervaring op het gebied van de regionale waterhuishouding in de periode 1981-1986 in een multidisciplinair project een methode ontwikkeld waarmee de effecten van

verschillende waterbeheersmaatregelen op een regionale schaal kunnen worden gekwantificeerd.

## 1.2. PROBLEEM- EN DOELSTELLING

De studie richt zich op de problematiek die wordt veroorzaakt door de invloeden van menselijke activiteiten op grond- en oppervlaktewater in zandgebieden in Nederland waar landbouw, drink- en industriewatervoorziening, en natuurgebieden ieder hun eigen belang hebben bij een goede waterbeheersing, zowel kwantitatief als kwalitatief. Andere belangen als scheepvaart, recreatie, landschap en visserij zijn bij de start van de studie wel genoemd maar zijn, in verhouding tot de eerder genoemde drie sectoren, secundair van betekenis en daarom buiten beschouwing gelaten (DRENT, 1981). De problematiek in dergelijke gebieden wordt op hoofdpunten veroorzaakt door een intensieve landbouw met mestoverschotten en door het gebruik van grond- en oppervlaktewater voor meerdere doelen. De effecten van de activiteiten op de omgeving zijn schematisch in Figuur 1 gegeven.

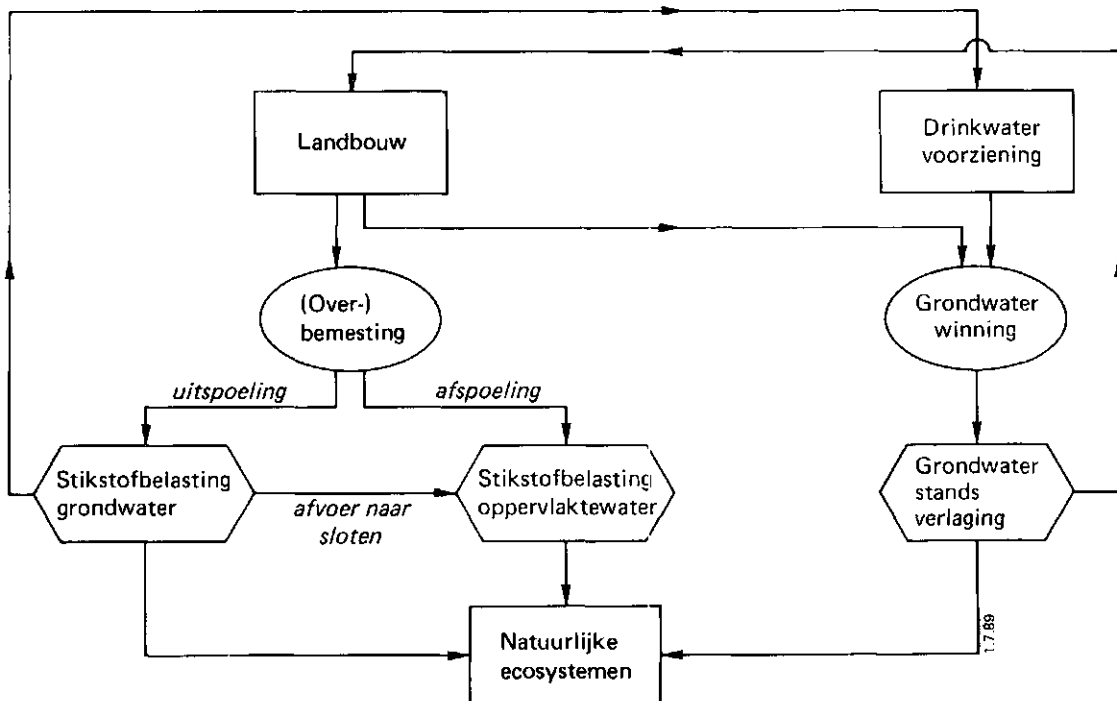


Fig. 1. Onderlinge beïnvloeding van landbouw, openbare watervoorziening en natuurgebieden via het regionale hydrologische systeem

De hoeveelheid dierlijke mest die momenteel in regio's met intensieve veehouderij wordt geproduceerd kan ter plaatse niet op basis van optimale bemesting worden verwerkt. Het gevolg is overbemesting op maispercelen en dumping op braakliggende grond. Vanwege de beperkte capaciteit van zandgronden om stoffen vast te leggen, respectievelijk af te breken, wordt het grond- en oppervlaktewater in toenemende mate belast met fosfaat en nitraat. Het uitrijden van mest in perioden met neerslagoverschotten leidt hiernaast op daarvoor gevoelige locaties, tot oppervlakteafvoer en daarmee tot een belasting van het oppervlaktewater met eutrofiërende stoffen. In perioden met een verdampingsoverschot wordt door de landbouw door verregening van grond- en oppervlaktewater getracht dit overschot teniet te doen. Het grondwater wordt tevens opgepompt voor de verzorging van de drink- en industriewatervoorziening. Deze onttrekkingen van grondwater hebben als gevolg van grondwaterstands dalingen een negatieve invloed op de vochtvoorziening van landbouwgewassen en verslechteren de groeiomstandigheden van waardevolle natte vegetaties in natuurgebieden. Daarnaast kan de aanvoer van oppervlaktewater met een afwijkende kwaliteit schadelijk zijn voor de in oppervlaktewater aanwezige aquatische ecosystemen. De grootte van de onderlinge beïnvloeding wordt enerzijds bepaald door de intensiteit waarmee de activiteiten plaats vinden en anderzijds door de fysische, biochemische en chemische processen in bodem, grond- en oppervlaktewater. Deze activiteiten en processen zijn dan ook belangrijk als bouwstenen voor het ontwikkelen van een waterhuishoudingsplan in dergelijke regio's.

De doelstelling van de studie is het ontwikkelen van een rekenmethode waarmee integraal de effecten van waterbeheersmaatregelen kunnen worden gekwantificeerd. Deze methode moet het mogelijk maken alternatieven voor het beheer van grond- en oppervlaktewater te analyseren met betrekking tot waterkwaliteits- en kwantiteitsaspecten in gebieden waar landbouw, natuur en openbare watervoorziening belangrijke en dikwijls tegengestelde belangen hebben. Uitgangspunt hierbij is dat de methode algemeen toepasbaar moet zijn, niet op een noemer herleidbare grootheden moet kunnen vergelijken en relevante processen en relaties zodanig moet beschrijven dat processen kunnen worden toegevoegd of worden weggelaten.

---

### 1.3. INDELING RAPPORT

In dit rapport is in Hoofdstuk 2 een algemene beschrijving gegeven van de ontwikkelde methode. Gegeven het complexe karakter van het project konden niet alle facetten binnen het tijdsbestek van 5 jaar voldoende worden onderzocht. Daarom wordt in Hoofdstuk 2 nader ingegaan op de zaken die wel zijn uitgewerkt en die zijn blijven liggen. In Hoofdstuk 3 is het studiegebied in het zuidoosten van de provincie Noord-Brabant beschreven. De van belang zijnde modellen die de ontwikkelingen in de landbouw, de regionale waterhuishouding, de gewasproductie, de kwaliteit van het grondwater en de waarden van natuurgebieden beschrijven zijn achtereenvolgens in Hoofdstuk 4 gegeven.

Voor het genereren van scenario's is in deze studie gebruik gemaakt van lineaire programmering. In verband hiermee moesten de belangrijkste relaties in de verschillende simulatiemodellen worden teruggebracht tot eenvoudige lineaire vergelijkingen. In Hoofdstuk 5 is uiteengezet op welke wijze deze lineaire relaties tot stand zijn gekomen. De resultaten die met de ontwikkelde methode zijn verkregen worden in Hoofdstuk 6 besproken. Hoofdstuk 7 gaat in op de mogelijkheden en de beperkingen van het systeem in de praktijk. Tot slot zijn in Hoofdstuk 8 conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek.

---

## 2. ALGEMENE BESCHRIJVING VAN DE ONTWIKKELDE METHODE: HET BELEIDSONDERSTEUNENDE SYSTEEM

Bij de voorbereiding en besluitvorming van regionale waterbeheersplannen zijn centrale, provinciale en regionale overheden, ieder vanuit hun eigen verantwoordelijkheid, betrokken. Daarnaast hebben de vertegenwoordigers van de verschillende belangengroepen een belangrijke taak voor het aanreiken en verdedigen van hun verlangens. Aangezien al deze betrokkenen hun eigen wensen hebben ten aanzien van de waterbeheersing is er behoefte aan een systeem, waarmee zicht wordt verkregen op potentiële waterbeheersplannen. Met deze studie is een begin gemaakt met de formulering van een dergelijk systeem. Beslissingen over het uiteindelijk door te voeren waterbeheer zijn van politieke aard. De besluitvormingsprocessen die daarbij plaats vinden kunnen niet in de methode worden opgenomen. Deze beperking is ondervangen door uit te gaan van de veronderstelling dat een regionaal waterbeheersplan wordt opgesteld door een denkbeeldige regionale waterbeheerder. Als gevolg van deze aanname vindt de planvorming voor waterbeheer feitelijk plaats op basis van de fysieke mogelijkheden van een gebied en op basis van technische en wettelijke instrumenten.

Het doel van het geformuleerde systeem (zie Figuur 2) is de regionale waterbeheerder informatie te verschaffen over de mogelijkheden voor een gebied in de toekomst en over het te verwachten effect van potentiële waterbeheersplannen. Ten einde aan het gestelde doel te voldoen moet het systeem:

- de ontwikkeling beschrijven (voorspellen) van de wijze waarop gebruikers grond- en oppervlaktewater benutten;
- een beschrijving bevatten van het hydrologische systeem en van de interacties tussen de gebruikers en het hydrologische systeem. Dit betreft zowel kwantiteits- als kwaliteitsaspecten;
- een indicatie geven van de toekomstmogelijkheden voor het gebied. Bij voorbeeld de mogelijkheden met betrekking tot water- en bodengebruik door de landbouw bij, vooraf door de regionale waterbeheerder, vastgestelde voorwaarden met betrekking tot waterkwaliteit, handhaving van natuurgebieden en onttrekking van grondwater;

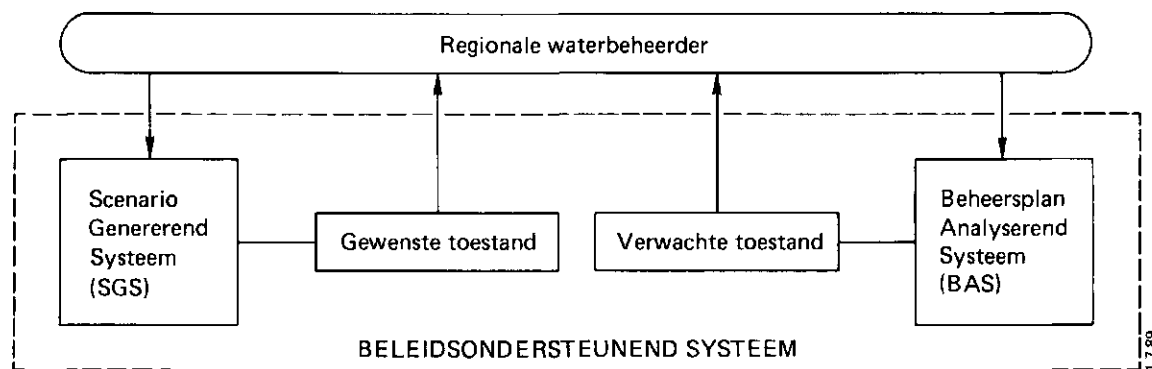


Fig. 2. Schema van het beleidsondersteunende systeem: met het Scenario Genererend Systeem worden de mogelijkheden voor water- en bodemgebruik verkend (doeltoestand). Het Beheersplan Analyserend Systeem is gericht op het analyseren van de effecten van potentiële waterbeheersplannen

- het effect van potentiële waterbeheersplannen voorspellen op het gedrag van de gebruikers van grond- en oppervlaktewater en op de ontwikkeling van het gebied.

Het Scenario Genererend Systeem (SGS) is een systeem waarmee op basis van vooraf door de regionale waterbeheerder vastgestelde grenzen de mogelijkheden voor de ontwikkeling van een gebied met betrekking tot water- en bodemgebruik worden bepaald. Ten aanzien van de landbouw wordt hierbij gedacht aan intensiteit en omvang van de landbouwkundige activiteiten die haalbaar zijn zonder de overige gebruikers nadelig te beïnvloeden. Voorbeelden zijn: oppervlakten te telen gewassen, toelaatbare mestgift per gewas per ha en het aantal stuks melk- en mestvee dat kan worden gehouden. Daarnaast wordt de hoeveelheid water vastgesteld, die uit grond- en oppervlaktewater kan worden verregend, inclusief de verdeling van de aan te voeren hoeveelheid oppervlaktewater over het gebied. Voor de drink- en industriewatervoorziening moet hierbij worden gedacht aan de locatie en de capaciteit van pompstations. Met betrekking tot natuurgebieden ligt het accent op de oppervlakte ervan en op de natuurwaarde (bijzondere vegetatie).

De procedure om het systeem te gebruiken is de volgende:

stap 1: de regionale waterbeheerder formuleert zijn wensen ten aanzien van de ontwikkelingen van het gebied. Dit betreft bijvoorbeeld de instandhouding van specifieke natuurgebieden, de kwaliteit van het grondwater of de werkgelegenheid in de landbouw.

stap 2: in het Scenario Genererend Systeem wordt via optimalisering de gewenste toestand gegenereerd. Hierbij dienen de (in stap 1) geformuleerde wensen als voorwaarden. In de optimalisering is verondersteld dat gebruikers samenwerken met de regionale waterbeheerder. De gewenste toestand geeft in feite een indruk van de fysieke mogelijkheden. Er geldt dat niet de absolute waarde van belang is maar dat een richting wordt aangegeven.

stap 3: de regionale waterbeheerder analyseert de gewenste toestand. Als hij niet tevreden is moet hij aangeven in welke richting veranderingen gewenst zijn. Dit resulteert in een herziening van de voorwaarden voor de optimalisering en een herhaling van stap 2 om een nieuwe gewenste toestand te genereren. Als de regionale waterbeheerder tevreden is met deze nieuwe toestand dan moet hij een beheersplan zoeken om de gebruikers in de gewenste richting te sturen. Als er een mogelijk beheersplan geformuleerd is, vervolgt de procedure in stap 4 met de analyse van het verwachte effect van dit beheersplan.

stap 4: in het Beheersplan Analyserend Systeem wordt via simulatie van het gedrag van de gebruikers het te verwachten effect bepaald van het geformuleerde beheersplan. Dit resulteert in de verwachte toestand voor het gebied.

stap 5: de regionale waterbeheerder analyseert de verwachte toestand. Hierbij wordt de in de eerste fase gegenereerde gewenste toestand als referentieniveau gebruikt. Dit resulteert in een van de volgende mogelijkheden:

- de waterbeheerder is tevreden en de procedure stopt;
- de waterbeheerder is niet tevreden en formuleert een nieuw beheersplan. De procedure wordt voortgezet met de bepaling van het effect van dit beheersplan in het Beheersplan Analyserend Systeem (stap 4);
- de waterbeheerder is niet tevreden en besluit dat de gewenste toestand niet haalbaar is. Hij geeft aan in welke richting de gewenste toestand veranderd moet worden. De procedure vervolgt in het Scenario Genererend Systeem met de aanpassing van de voorwaarden en het genereren van een nieuwe gewenste toestand (stap 2).

*zwak punt*

*see appendix*

*24*

*2*



---

De procedure volgt een zogenaamde "satisficing approach". Er wordt doorgaan totdat een bevredigende oplossing is gevonden. Als deze gevonden is wordt gestopt zonder dat wordt nagegaan of het de beste oplossing is.

Bij toepassing van het beleidsondersteunende systeem worden Scenario Genererend Systeem en Beheersplan Analyserend Systeem vaak doorlopen. Daarom zijn beide opgebouwd uit een eenvoudig, bij voorkeur lineair, model en een aantal gecompliceerde modellen. Het eenvoudige model wordt in iedere run toegepast. Het bestaat uit submodellen voor de onderscheiden gebruikers die worden verbonden door de beschrijving van het regionale hydrologische systeem. De gecompliceerde modellen, die afzonderlijke processen beschrijven, worden gebruikt voor:

- de selectie van de variabelen die in het eenvoudige model worden opgenomen en de bepaling van de coëfficiënten;
- de verificatie van de uitkomsten van het eenvoudige model. Als de uitkomsten daarvan slecht zijn kan dit resulteren in aanpassing van het model;
- de transformatie van (door de waterbeheerder geformuleerde) wensen in vergelijkingen voor de eenvoudige modellen. Als bijvoorbeeld de waterbeheerder een specifiek natuurgebied wil handhaven, dan wordt deze wens met behulp van gecompliceerde modellen vertaald in voorwaarden met betrekking tot de grondwaterkwaliteit en de hoogte van de grondwaterstanden.

In de periode 1982-1986 is het Scenario Genererend Systeem uitgewerkt tot een operationeel systeem waarmee een gewenste toestand voor een studiegebied in het zuidoosten van Noord-Brabant kan worden gegenereerd. Tevens is in deze periode een begin gemaakt met de invulling van het Beheersplan Analyserend Systeem.

---

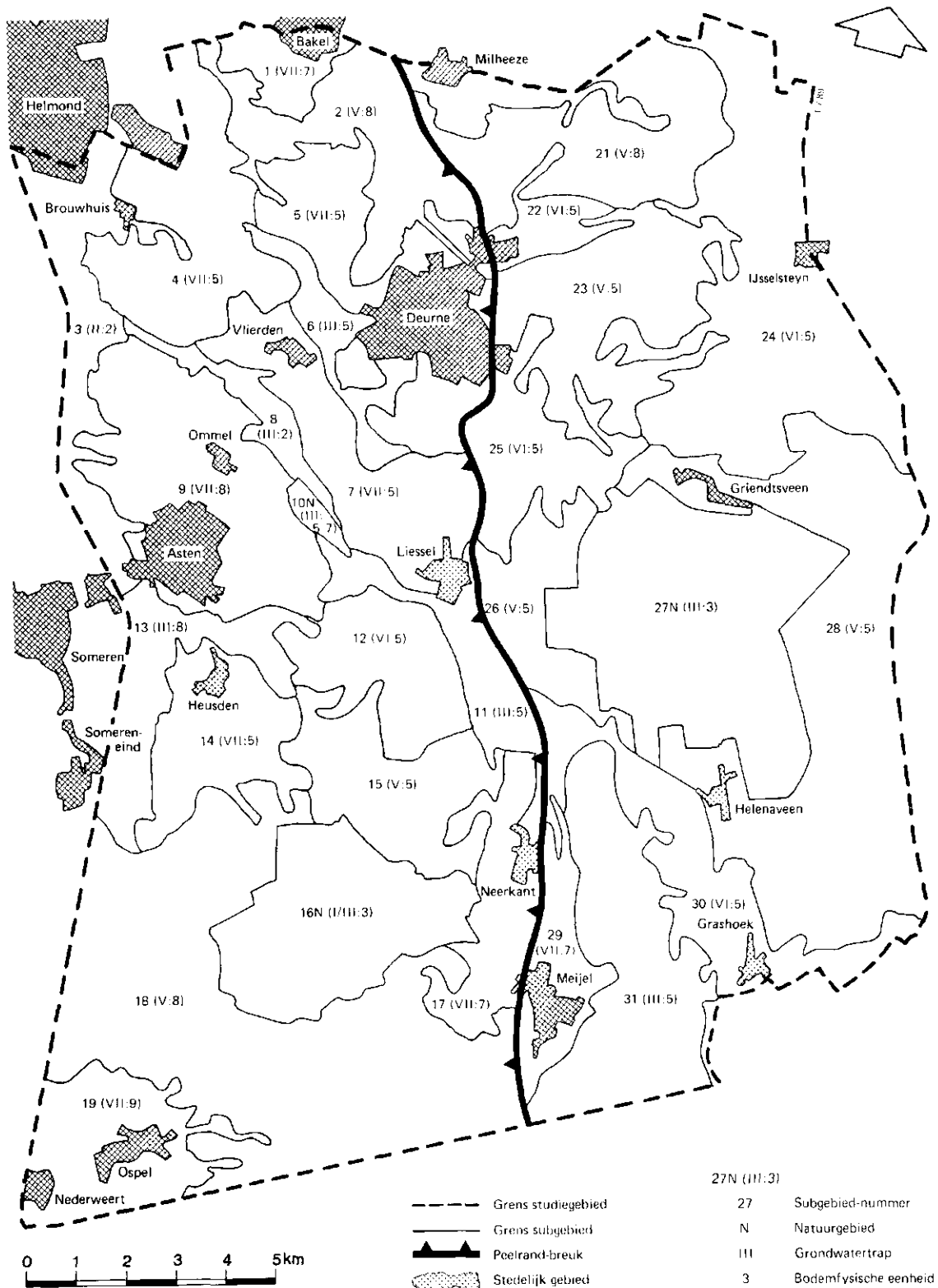
### 3. STUDIEGEBIED

#### 3.1 ALGEMEEN

Voor het testen van de ontwikkelde methode is gezocht naar een proefgebied waar de besproken problematiek duidelijk aanwezig is. Gekozen is voor een gebied gelegen in het zuidoosten van de provincie Noord-Brabant met een overlap naar de provincie Limburg. De grenzen van het gebied zijn aan de zuid- en westkant respectievelijk de Noordervaart en de Zuid-Willemsvaart en aan de oostkant de Midden-Peelweg tussen IJsselsteijn en Koningslust. Deze grenzen zijn om hydrologische redenen gekozen. De lijn Helmond, Bakel, Milheeze is om praktische redenen als noordgrens aangehouden. Ter oriëntatie is in Figuur 3 de begrenzing van het studiegebied gegeven. Dit gebied wordt gekenmerkt door een zeer intensief landbouwkundig bodemgebruik en een overschot aan dierlijke mest vanwege de intensieve veehouderij. In perioden van neerslagtekorten zijn de bestaande mogelijkheden van wateraanvoer van buiten beperkt, zodat ook grondwater wordt gebruikt voor beregening. Het overschot aan dierlijke mest leidt tot een overdosering op de beschikbare gronden en daarmee tot een ongunstige invloed op de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater.

In het gebied wordt op twee locaties grondwater voor de openbare watervoorziening opgepompt. Daarnaast wordt het grondwater voor koel- en gebruiksdoeleinden gebruikt door de industrie. Het gebied heeft zijn huidige vorm gekregen na het afgraven van het hoogveen en het in cultuur brengen van de afgegraven grond. Restanten van de afgegraven gronden worden nu als natuurgebieden bewaard. Tevens komen er nog half natuurlijke hooilanden voor in de midden- en benedenloop van afwaterende beken. Deze natuurgebieden zijn door hun natte omstandigheden in principe gevoelig voor hydrologische maatregelen in aangrenzende gebieden.

Een overzicht van de oppervlakten cultuurgrond, natuurterreinen en gesloten bebouwing in het studiegebied is gegeven in Tabel 1.



**Fig. 3. Begrenzing van het zuidelijk peelgebied in het zuid-oosten van de provincie Noord-Brabant met een overlap naar de provincie Limburg. Begrenzing van subgebieden gebaseerd op bodemfysische eenheden en aanwezige grondwatertrappen.**

Tabel 1. Gebiedsindeling naar oppervlakte in ha en het aandeel in procenten van de hoofdvormen van grondgebruik in het studiegebied

Grondgebruik	Oppervlakte	
	ha	%
Cultuurgrond	23 800	70
waarvan tuinbouw	2 100	6
akkerbouw	7 900	23
grasland	13 800	41
Natuurterrein	8 200	24
Gesloten bebouwing	2 200	6
Totaal	34 200	100

### 3.2. LANDBOUW

De huidige landbouw in het studiegebied wordt gekenmerkt door een intensieve exploitatie van de landbouwgronden en door een intensieve veehouderij. Het gebied behoort in Nederland tot de gebieden met de grootste veedichtheid. Deze veedichtheid gaat gepaard met een produktie van grote overschotten aan dierlijke mest. Hoewel een deel van de mest wordt afgezet buiten het gebied vindt intern met name op maisland een overbemesting plaats. Het bodemprofiel bestaat voor een belangrijk deel uit droogtegevoelige zandgronden, waarop in droge perioden wordt beregend uit grond- en oppervlaktewater. De landbouw is gedurende de afgelopen decennia aan belangrijke veranderingen onderhevig geweest, waarvoor het markt- en prijsbeleid van de Europese Gemeenschap een belangrijke sturende factor is geweest.

#### 3.2.1. Ontwikkelingen in de landbouw

##### Grondgebruik

De ontwikkeling van het grondgebruik in de periode 1935-1985 is gegeven in Tabel 2. Als gevolg van de ontginning is de oppervlakte cultuurgrond in de periode 1935-1960 met 20% toegenomen. Daarna treedt een daling in als gevolg van de onttrekking van landbouwgrond voor niet agrarische doeleinden. In 1985 blijkt er slechts 4% meer cultuurgrond te zijn dan in 1935.

Tabel 2. Ontwikkeling van het grondgebruik in het zuidelijk peelgebied in de periode van 1935 t.m. 1985 in procenten per jaar

Jaar	Grondgebruik (%)					totaal
	grasland	snijmais	granen	tuinbouw	overig	
1935	32,2	0	51,5	1,6	14,7	100
1945	27,4	0	44,9	2,7	25,0	100
1955	34,6	0	47,5	3,9	14,0	100
1965	45,4	0	36,2	7,9	10,5	100
1975	59,4	11,8	8,2	6,9	13,7	100
1985	51,4	26,7	1,5	5,6	14,8	100

Van deze cultuurgrond was in 1935 76% in gebruik als bouwland en 33% als grasland. In de loop van de tijd is het areaal grasland bijna verdubbeld en is het areaal mais gegroeid van nihil tot ruim 25%. Beide groeipercentages gingen ten koste van het areaal graan.

Binnen het gebied is het bodemgebruik niet gelijkmatig verdeeld, er is sprake van lokale verschillen. In het noordwestelijk deel is het aandeel van grasland groter dan 50%. In het noordelijk deel ligt ca. 80% van het bouwland in mais; in het overige deel minder dan 60%. Deze verschillen kunnen voor een deel worden verklaard uit verschillen in de waterhuishouding.

#### **De melkveehouderij en het overige weidend vee**

De melkveehouderij is in het gebied een belangrijke bedrijfstak. In de periode 1935-1985 is de oppervlakte grasland met 65% toegenomen en het aantal melkkoeien met 240%. Dit verschil in stijgingspercentage is het gevolg van een intensiever graslandgebruik en een snel toegenomen ruwvoederproductie in de vorm van snijmais. Het areaal grasland en snijmais samen is in de afgelopen 50 jaar toegenomen tot een huidige grasland-maisland verhouding van gemiddeld 2:1. Tabel 3 geeft een overzicht van de ontwikkeling van de veebezetting per diersoort per ha grasland voor de geanalyseerde periode. Lokaal komen in deze veebezetting verschillen voor. In het noordwestelijk deel is de veebezetting per ha grasland ongeveer anderhalf keer zo groot als in het zuidelijk deel.

Tabel 3. Veebezetting op grasland in de periode 1935 t.m. 1985 in het zuidelijk peelgebied, afgeleid uit landbouwmetellingsgegevens van het CBS. GVE = Grootvee-eenheid

Soort vee	Veebezetting (aantal dieren.ha <sup>-1</sup> )					
	1935	1945	1955	1965	1975	1985
Gve rundvee	1,77	1,68	1,82	2,12	2,77	4,09
Melkvee	1,26	1,15	1,19	1,38	1,84	2,57
Jongvee	0,51	0,54	0,63	0,64	0,93	1,52
Paarden	0,37	0,53	0,29	0,17	0,11	0,11
Schapen	0,16	0,50	0,07	0,03	0,28	0,45

#### Intensieve veehouderij

Tot deze bedrijfstak worden mestkalveren, mestvarkens, fokvarkens, mestkui-kens en leghennen gerekend. De snelle ontwikkeling van deze intensieve veehouderij is gegeven in Tabel 4 waarin de omvang is uitgedrukt per ha cultuurgrond.

De verschillende takken van de intensieve veehouderij blijken niet gelijk-matig verdeeld te zijn over het gebied. In het noordwestelijk deel komen meer varkens en minder leghennen voor per ha dan in het zuiden. De mest-kuikens hebben de grootste dichtheid in het zuidelijk deel. Het blijkt dat de gebieden met veel kippen in 1935 naar verhouding ook nu de meeste kippen hebben.

Tabel 4. Omvang van de intensieve veehouderij op cultuurgrond in de periode 1935 t.m. 1985 volgens de landbouwmetellingsgegevens van het CBS

Soort vee	Omvang (aantal dieren.ha <sup>-1</sup> )					
	1935	1945	1955	1965	1975	1985
Mestkalveren	0,03	0,00	0,01	0,06	0,39	0,60
Mestvarkens	0,79	0,36	1,22	2,75	8,85	18,83
Fokvarkens	0,10	0,10	0,41	0,82	2,02	4,47
Mestkuikens	0,00	0,00	0,00	40,00	129,90	100,40
Leghennen	31,60	15,90	41,70	45,20	81,80	195,60

---

**Berekening**

Tabel 5. Omvang van de berekening, in procenten van het grondgebruik, in het zuidelijk peelgebied in 1976 en 1985 volgens CBS enquêtes

Grondgebruik	Omvang berekening (%)	
	1976	1985
Grasland	19,4	42,0
Bouwland	15,0	24,6
Tuinbouw	37,9	71,9

De ontwikkeling van de berekening in de periode 1976-1985 is gegeven in Tabel 5. De cijfers in deze tabel zijn afkomstig van CBS enquêtes die gehouden zijn na het zeer droge jaar 1976 en in 1985.

Het gegeven percentage voor 1976 heeft betrekking op de oppervlakte die in dat zeer droge jaar is berekend, terwijl het percentage voor 1985 geïnterpreteerd moet worden als dat deel van de oppervlakte dat zal worden berekend in een droge periode. Uit deze gegevens blijkt dat in de vermelde periode de oppervlakte die berekend kan worden vrijwel is verdubbeld.

### 3.2.2. Bedrijfsstructuur van de landbouw

De bedrijfsstructuur in het gebied is geanalyseerd op basis van gegevens uit de metelling van 1982. Deze zijn aangevuld met gegevens ontleend aan een in 1983 uitgevoerde enquête. In het gebied komen nagenoeg alle bedrijfstypen voor die in de Nederlandse landbouwstatistiek worden onderscheiden (Tabel 6). De bedrijfstypeindeling is gebaseerd op de samenstelling van de produktie van het bedrijf. Indien op het bedrijf een van de bedrijfstakken meer dan 60% van de produktie bevat, wordt het ingedeeld bij het type dat de naam van deze produktietak draagt. Dit betekent bijvoorbeeld dat op elk van de 180 in het gebied voorkomende mestvarkensbedrijven minstens 60% van de produktie uit de mestvarkenshouderij komt.

Omdat de melkveehouderijbedrijven qua aantal landelijk gezien verreweg de grootste groep vormen zijn ze onderverdeeld in twee typen namelijk zuivere melkveehouderijbedrijven met meer dan 80% van de produktieomvang uit de melkveehouderij en overwegend melkveehouderijbedrijven met 60-80% uit de

Tabel 6. Aantal (totaal en procentueel) bedrijven per bedrijfstype in het zuidelijk peelgebied ingedeeld naar typen (nummers) die door het CBS worden onderscheiden

Nr	Bedrijfstype	Aantal bedrijven		
		abs.	%	%
<b>Veehouderijbedrijven</b>		<b>1476</b>		<b>73</b>
1	zuivere melkveebedrijven	360	17,9	
2	overwegend melkveebedrijven	191	9,5	
3	kalvermesterijbedrijven	21	1,0	
4	overige mestrundveebedrijven	12	0,6	
5	overige rundveebedrijven	9	0,4	
6	mestvarkensbedrijven	180	8,9	
7	fokvarkensbedrijven	272	13,5	
8	overige varkensbedrijven	107	5,3	
9	slachtkuikensbedrijven	33	1,5	
10	legkippenbedrijven	106	5,3	
12	kalkoenenbedrijven	1	0,0	
14	schapenbedrijven	6	0,3	
15	graslandbedrijven	2	0,1	
16	rundvee/varkensbedrijven	83	4,1	
17	overige veehouderijbedrijven	93	4,6	
<b>Akkerbouwbedrijven</b>		<b>94</b>		<b>5</b>
19	aardapp. en/of suikerbietenb.	19	0,9	
20	aard. en/of suikerb./graanb.	3	0,1	
21	overige akkerbouwbedrijven	72	3,6	
<b>Tuinbouwbedrijven</b>		<b>311</b>		<b>15</b>
22	glasgroentenbedrijven	115	5,7	
23	glasbloemenbedrijven	19	0,9	
24	overige glasbedrijven	3	0,1	
25	opengrondsgroentebedrijven	76	3,8	
28	pit- en steenvruchtenbedrijven	6	0,3	
29	boomkwekerij en vaste plantenb.	24	1,2	
31	glas/opengrondsgroentebedrijven	9	0,4	
32	champignonbedrijven	38	1,9	
33	overige tuinbouwbedrijven	21	1,0	
<b>Gecombineerde bedrijven</b>		<b>133</b>		<b>7</b>
34	veehouderij/akkerbouwbedrijven	51	2,5	
35	veehouderij/tuinbouwbedrijven	42	2,1	
36	akkerbouw/tuinbouwbedrijven	16	0,8	
37	veehouderij/akkerb./tuinbouw.	24	1,2	
<b>Totaal</b>		<b>2015</b>		<b>100</b>



Tabel 7. Percentage bedrijven per produktie-omvangklasse uitgedrukt in standaardbedrijfseenheden (SBE) en de gemiddelde produktie-omvang (gem. aantal SBE) per bedrijfstype

Bedrijfstype	Produktie-omvang (%) voor verschillende SBE-klassen					Gemiddeld aantal SBE
	< 75	75-150	150-300	300-450	> 450	
<b>Veehouderij</b>						
Melkvee	7	16	62	12	3	230
Varkens	22	24	44	7	3	180
Rundvee/varkens	22	20	48	17	8	205
Slachtkuikens						
Leghennen						
Ov. veehouderij	49	18	25	6	2	150
<b>Akkerbouw</b>						
Snijmais	90	5	5	-	-	35
Ov. akkerbouw	78	19	-	-	3	75
<b>Tuinbouw</b>						
Glastuinbouw	6	13	42	31	9	285
Vollegronds tb.	47	18	24	7	4	170
Boomkwekerij	18	18	32	18	14	300
Fruittteelt	-	50	33	17	-	180
Champignons	14	16	51	7	12	310
Ov. tuinbouw	-	78	22	-	-	120
<b>Gecombineerd</b>						
Veehoud/akkerb.	43	22	23	10	2	140
Akkerb/tuinbouw	26	38	21	10	5	185
Overige bedrijven	41	13	34	7	5	175
Alle bedrijven	25	19	41	11	4	190

melkveehouderij en overwegend melkveehouderijbedrijven met 60-80% uit de melkveehouderij. Heeft geen van de bedrijfstakken een aandeel van 60% of meer dan wordt ingedeeld op basis van aan elkaar verwante bedrijfstakken. Zo komt op een pluimveehouderijbedrijf minstens 60% uit de pluimveehouderij zonder dat een van de samenstellende soorten (kippen, slachtkuikens, eenden

---

of kalkoenen) deze 60% haalt. In die gevallen dat twee minder verwante bedrijfstakken worden gecombineerd komen beide in de naaming tot uiting (bijvoorbeeld rundvee/varkensbedrijven). Bij deze samengestelde naaming moeten de in de naam gegeven bedrijfstakken elk minstens 20% van de totale produktie van het bedrijf leveren. Om de omvang van ongelijke produktietakken met elkaar te kunnen vergelijken is de produktieomvang per bedrijfstak uitgedrukt in Standaard Bedrijfs Eenheden (SBE). Een SBE is een eenheid gestandaardiseerde toegevoegde waarde bij een doelmatige bedrijfsvoering en onder normale omstandigheden.

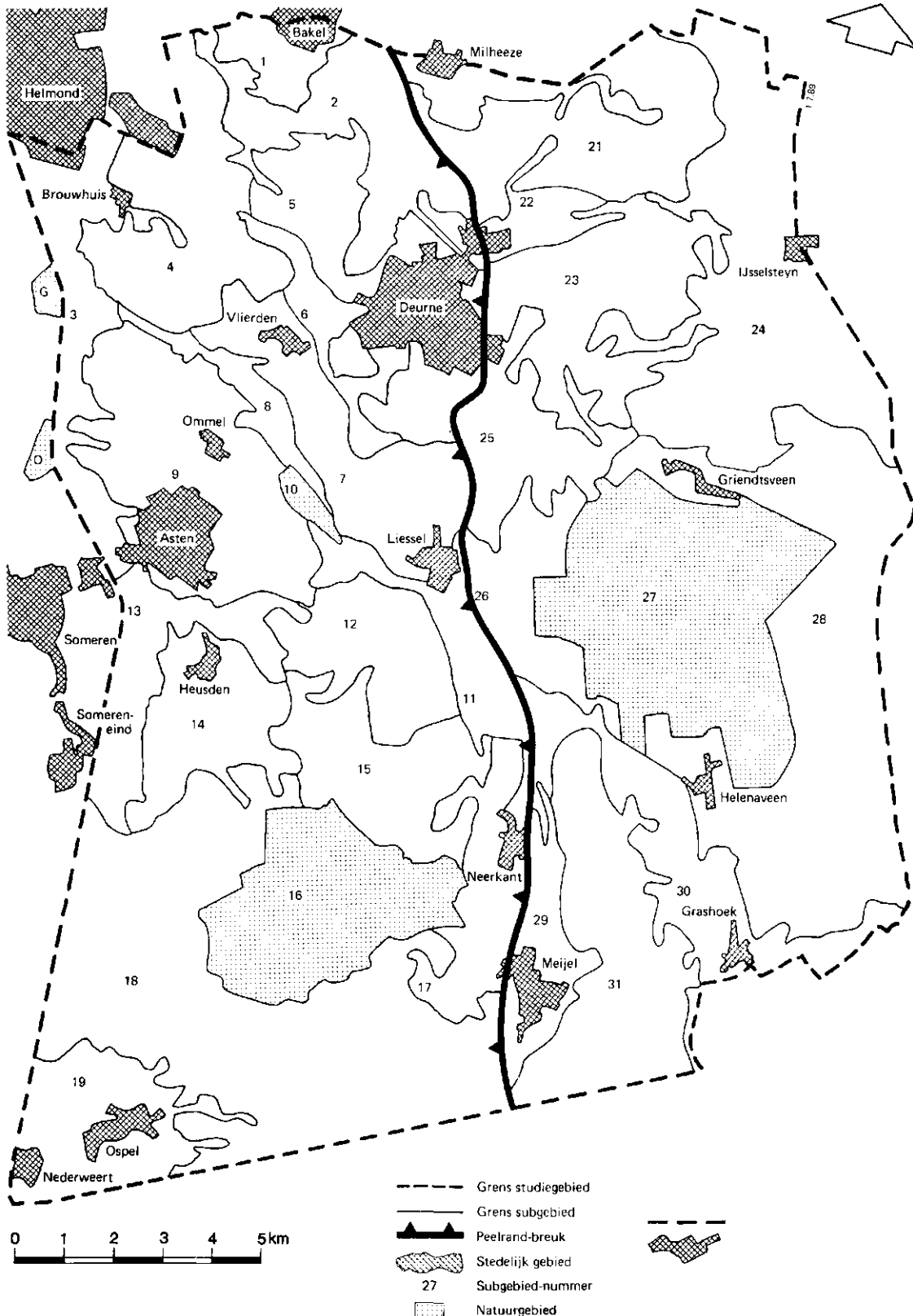
Voor meer informatie over de spreiding in produktieomvang per bedrijfstype is in Tabel 7 de verdeling van de bedrijven per SBE-klasse en de gemiddelde produktieomvang voor een aantal groepen van bedrijfstypen gegeven. Een bedrijf met minder dan 150 SBE levert onvoldoende werk voor een arbeidskracht.

De gemiddeld grootste produktieomvang hebben de champignon- en de boomkwekerijbedrijven. De geringste produktieomvang hebben de akkerbouwbedrijven, waarbij moet worden opgemerkt dat op een aantal bedrijven met bouwland ook tuinbouw als akkerbouw wordt beoefend waardoor ze in de groep akkerbouw/tuinbouw komen. Van de categorie snijmaisbedrijven, welke ruim 60% van de akkerbouwbedrijven omvat heeft 90% een produktieomvang van minder dan 75 SBE. Daar snijmais een gewas is waarvoor het grootste deel van het werk doorgaans door een loonwerker verricht wordt, is het niet onwaarschijnlijk dat een belangrijk deel van deze bedrijven als nevenbedrijf wordt geëxploiteerd.

### 3.3. NATUURGEBIEDEN

#### 3.3.1. Historische ontwikkeling

Na de laatste ijstijd ontwikkelde zich in het gebied waarvan het studiegebied thans deel uitmaakt een uitgestrekt hoogveengebied. Deze venen ontstonden op de waterscheiding van de rivieren Maas en Aa. In dit moerassige gebied ontsprongen verscheidene beken. Tot op heden stromen deze beken in noordwestelijke richting en monden uit in de Aa. In de benedenloop volgen deze beekjes nog hun oorspronkelijke loop. De bovenloop van de beken heeft niet meer zijn natuurlijke vorm en ligging vanwege waterhuishoudkundige



**Fig. 4.** Ligging van de onderscheiden natuurgebieden De Berken (Subgebied 10), de Groote Peel (Subgebied 16), de Deurnsche/Liesselse en Mariapeel (Subgebied 27) in het zuidelijk peelgebied. De natuurgebieden De Oude Gooren en de Oetert liggen buiten het studiegebied langs de Zuid-Willemsvaart

werken ter verbetering van de ontwatering. Een enkele beek fungeert als afvoer van een regionaal stroomgebied (WIT, 1986). In een dergelijke situatie veroorzaakt de regionale kwel natte omstandigheden met in het beekdal mineraalrijk, zogenaamd lithogeen, grondwater.

Als gevolg hiervan waren de beekdalen in het verleden begroeid met lithotrofe vegetatietypen. Door ontginning en andere invloeden werden deze vegetaties in latere perioden vervangen door half-natuurlijke antropogene hooilanden. Op beperkte schaal zijn restanten van deze hooilanden bewaard gebleven langs de Astensche Aa in het natuurgebied De Berken en langs de Aa in de natuurgebieden de Oude Gooren en de Oetert (Figuur 4).

Doordat de venen op de waterscheiding tussen Maas en Aa slechts werden gevoed met regenwater kregen zij het mineraalarme, zogenaamd atmotrofe karakter van hoogveen. Onder deze uiterst voedselarme en natte omstandigheden ontwikkelde zich geleidelijk een veenpakket van 2 à 3 meter dikte. Aan het eind van de vorige eeuw werd dit veen op grote schaal afgegraven en gebruikt als brandstof. Grote oppervlakten van dit afgegraven veen werden omgezet in landbouwgrond. In totaal is ongeveer 3000 ha afgegraven veen niet ontgonnen en als natuurgebied bewaard gebleven. De natte en voedselarme omstandigheden bieden een gunstige uitgangssituatie om een ontwikkeling van hoogveen weer op gang te brengen via gericht beheer. De belangrijkste veencomplexen in het studiegebied zijn de Deurnse/Liesselse en Mariapeel en de Groote Peel (Figuur 4).

De beschrijving van de uitgevoerde vegetatieopnamen die in deze natuurgebieden voorkomen is zodanig dat er relaties kunnen worden gelegd tussen de voorkomende vegetaties en de kwantitatieve en kwalitatieve waterhuishouding. Zowel de natte hooilanden langs de benedenloop van de beken als de niet ontgonnen afgegraven veengebieden zijn door hun natte omstandigheden in principe gevoelig voor hydrologische maatregelen in aangrenzende gebieden.

### 3.3.2. Natte hooilanden

#### **Bodem en grondwater**

Het natuurgebied De Berken ligt langs de middenloop van de Astensche Aa die het gebied doorsnijdt. Het maaiveld in dat gebied helt geleidelijk af in de richting van de beek. Direct langs de beek is de gemiddelde maaivelds-  
ligging daardoor lager dan op enige afstand ervan. Op grond van deze

Tabel 8. Representatieve grondwaterstanden in cm beneden maaiveld in De Berken aan het begin van de zomer en aan het begin van de winter

Hoogte ligging	Grondwaterstand (cm-mv)	
	begin zomer	begin winter
Lage gedeelte	15,0	95,0
Hoge gedeelte	29,0	129,0

verschillen is het gebied onderverdeeld in een laag en een hoog gedeelte (KEMMERS en JANSEN, 1985c).

De gemiddelde grondwaterstand aan het begin van de zomer en de winter is ontleend aan twee waarnemingen per maand over 1982 en 1983. Uit deze gegevens zijn de representatieve grondwaterstanden afgeleid voor het begin van de zomer en het begin van de winter, weergegeven in Tabel 8. Deze grondwaterstanden zijn bij de verdere bewerking van de veldgegevens als uitgangspunt genomen.

De bodemtypen in De Berken zijn ontleend aan de bodemkaart 52 west. Het lage gedeelte bestaat uit beekerdgronden, het hogere deel uit gooreerdgronden. Beide gronden bestaan uit fijn leemhoudend zand. Bodemfysisch zijn deze gronden niet nader van elkaar onderscheiden.

### Vegetatie

Uit de vegetatieopnamen in de Berken is gebleken dat er vrijwel geen begroeiingen worden aangetroffen met een half-natuurlijk karakter. De vegetatietypen behoren vrijwel alle tot de 3e of 4e generatie vervangingsgemeenschappen. Wel konden uit de veldopnamen voor het lage en hoge gedeelte verschillende vegetatietypen worden onderscheiden (KEMMERS, 1983). Bij de verdere verwerking is ervan uitgegaan dat deze vegetatietypen representatief zijn voor de uitgangssituatie. In twee beekdalreservaten langs de benedenloop van de Aa, de Oude Gooren en de Oetert, komen nog wel half-natuurlijke vegetatietypen voor die tot de 1e en 2e generatie vervangingsgemeenschappen kunnen worden gerekend.

De verschillende vegetatietypen in de onderzochte reservaten vormen verschillende vegetatiereeksen die als start worden genomen voor het vaststellen van de milieuomstandigheden waarbij de verschillende vegetatietypen uit een reeks zich wel respectievelijk niet meer kunnen handhaven.

### 3.3.3. Afgegraven veengebieden

#### Bodem en grondwater

De Deurnse/Liesselse en Mariapeel en de Groote Peel zijn gekenmerkt als hoogveenrelicten. In de Deurnse/Liesselse en Mariapeel wordt plaatselijk nog veen afgegraven. Andere afgegraven delen hebben de status van natuurre-servaat, terwijl de Groote Peel de status van Nationaal Park heeft gekre-gen. In deze reservaten zijn, door waterhuishoudkundige ingrepen, de omstandigheden zodanig dat regeneratie van hoogveen kan plaatsvinden. Beide gebieden beslaan een groot oppervlak. Vanwege de verschillen in hoogte-ligging zijn ze niet homogeen. Desondanks moeten zij om onderzoekstech-nische redenen als homogene gebieden worden beschreven.

De beschrijving van de grondwaterhuishouding in deze inhomogene gebieden is gebaseerd op de grondwatertrappenkartering van de bodemkaarten (SMIDT, 1983). Uit deze gegevens zijn de grondwaterstanden aan het begin van de zomer en de winter geschat. Deze grondwaterstanden worden geacht represen-tatief te zijn voor de uitgangssituatie. Zij zijn weergegeven in Tabel 9. Bodemkundig zijn deze subgebieden onderverdeeld in een venige bovengrond (0-50 cm-mv) en een fijnzandige ondergrond.

#### Vegetatie

De vegetatiekundige beschrijving van deze veengebieden is gebaseerd op onderzoek van SCHOUWENAARS (1978) in de Deurnse Peel. In dit onderzoek wer-den vegetatietypen onderscheiden voor de verschillende hydrologische omstandigheden die in een vergraven hoogveen kunnen worden aangetroffen. Voor dit project werden deze typen tot een zodanig hiërarchisch niveau samengevoegd dat representatieve vegetatietypen voor een vergraven hoogveen

Tabel 9. Representatieve grondwaterstanden in cm beneden maaiveld in de Deurnse/Liesselse en Mariapeel en in de Groote Peel aan het begin van de zomer en aan het begin van de winter

Subgebied	Grondwaterstand (cm-mv)	
	begin zomer	begin winter
Deurnse/Liesselse en Mariapeel	10,0	80,0
Groote Peel	0,0	60,0

met wisselende hydrologische en bodemfysische omstandigheden ontstonden. Voor de Grootte Peel zijn geen veldgegevens over de vegetatie voorhanden. Daar dit gebied iets nattere terreinomstandigheden kent dan de andere werd aangenomen dat de vegetatietypen die volgens SCHOUWENAARS (1978) slechts op de natte locaties in de Deurnse/Liesselse en Mariapeel voorkomen representatief zijn voor de vegetatie in de Grootte Peel. Een overzicht van de meest voorkomende plantensoorten in de beide veengebieden is gegeven door KEMMERS en JANSEN, 1985. Deze soorten maken deel uit van de vegetatietypen die representatief zijn voor deze gebieden. Voor de afgegraven veengebieden geldt dat de waargenomen vegetatietypen startpunt zijn voor het vaststellen van de hydrologische omstandigheden waarbij de vegetatie zich wel of niet meer kan handhaven.

#### 3.4 OPENBARE EN INDUSTRIËLE WATERVOORZIENING

Binnen de grenzen van het studiegebied bevinden zich twee pompstations van waterleidingbedrijven en een aantal bronnen van industrieën. Aan een deel van de industriële waterbehoefte wordt voldaan uit het waterleidingnet. De beide pompstations staan in de gemeenten Vlierden en Ospel. Het station Vlierden is van de waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, terwijl Ospel behoort tot de waterleidingmaatschappij Limburg.

In Vlierden wordt het water onttrokken aan de eerste watervoerende laag: de formatie van Veghel/Sterksel. In Ospel staan de bronnen in de 2e watervoerende laag: de Kiezeloöliet formatie. De industrieën onttrekken het water allen uit het 1e watervoerende pakket. De hoeveelheden die per jaar worden onttrokken zijn vermeld in Tabel 10.

Tabel 10. Overzicht van de hoeveelheden water ( $m^3$ ) die per half jaar door de drinkwaterbedrijven en de industrie in 1982 aan het grondwater werden onttrokken

Onttrekkingsbron	Grondwateronttrekking ( $m^3 \cdot 0,5 \text{ jr}^{-1}$ )	
	zomerhalfjaar	winterhalfjaar
Pompstation Vlierden	1 840 000	1 680 000
Pompstation Ospel	1 170 000	980 000
Industrieën	1 230 000	1 230 000

### 3.5. WATERHUISHOUDING

#### 3.5.1. Bodemkundige en bodemfysische eenheden

##### **Bodemkundige eenheden**

In het studiegebied komen een aantal bodemkundige eenheden voor. Met een bodemkundige eenheid wordt bedoeld de combinatie van bodemtype en moeder-materiaal tot op een diepte die voor de modelberekeningen van belang is, namelijk maximaal tot 300 cm beneden maaiveld.

Informatie over bodemtype en moedermateriaal is beschikbaar op de kaartbladen en in de bijbehorende toelichtingen van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000, en van de Geologische kaart van Nederland, schaal 1:50 000. Het betreffende gebied ligt verdeeld over de kaartbladen 51 O, 52 W, 57 O en 58 W.

Bodemkundige eenheden ontstaan door onderscheidingen op drie niveaus:

- de bodemtypen, die in het gebied voorkomen en die variëren van duinvaaggronden tot beekerdgronden. Verder komt een aanzienlijke oppervlakte aan van veengronden afgeleide bodemtypen voor;
- het moedermateriaal waarin de bodemtypen zijn ontstaan of waarop veenvorming heeft plaats gevonden. Dit is sterk verschillend en varieert van grofzandige Veghelafzettingen tot Brabantse leem;
- de ondergrond, die op een diepte van hoogstens 2 meter kan veranderen als het moedermateriaal waarin de bodemtypen zijn ontstaan, dekzand is. Deze diepere ondergrond kan bestaan uit grofzandige Veghelafzettingen, fluvio-periglaciaal fijn zand, Brabants leem, klei van Liessel of humeus fijn zand en leem uit de formatie van Asten.

In het gebied komen een 50-tal bodemkundige eenheden voor (BLOEMEN, 1982). Van een aantal is de oppervlakte echter van weinig betekenis.

##### **Bodemfysische eenheden**

De bodemkundige eenheden moeten ten behoeve van de modelberekeningen worden omgezet en/of samengevoegd tot eenheden die voor wat het stromingsgedrag van water betreft, vergelijkbaar met elkaar zijn. Daartoe is de volgende procedure aangehouden (BLOEMEN, 1982):

- aan de diverse voorkomende bodemlagen in een bodemkundige eenheid zijn capillair geleidingsvermogencurven toegekend op basis van grootheden als textuur, humusgehalte, dichtheid en dergelijke;



- het stromingsgedrag van een bodemkundige eenheid is vervolgens gekarakteriseerd door een in theorie stationaire stroming te veronderstellen waarbij vochtgehalten en drukhoogten niet veranderen in de tijd. Uitgaande van een gegeven drukhoogte aan maaiveld is het verband berekend tussen de maximale capillaire flux die de bovengrond kan bereiken en de grondwaterdiepte. Hiervoor zijn computerprogramma's als CRISP (BLOEMEN, 1980) of CAPSEV (WESSELING et al, 1984) beschikbaar. Een dergelijke bewerking is voor alle bodemkundige eenheden uitgevoerd. Een voorbeeld van een uitkomst is gegeven in Figuur 5 voor gronden behorende tot de bodemfysische eenheid 2 met een bewortelingsdiepte van 25 cm;
- de profielen met vrijwel dezelfde bodemfysische eigenschappen zijn samengevoegd;
- van de op deze wijze verkregen 9 bodemfysische eenheden zijn de capillaire en vochthoudende eigenschappen vastgesteld. Een overzicht van de ligging van deze onderscheiden eenheden in het studiegebied is gegeven in Figuur 6.

Een soortgelijk onderzoek naar indeling in bodemfysische eenheden is uitge-

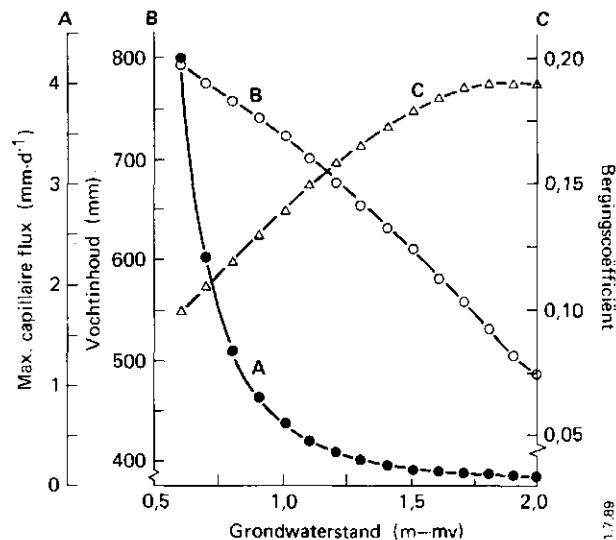


Fig. 5. Verband tussen de grondwaterstandsdiepte voor gronden behorende tot bodemfysische eenheid 2 met een bewortelingsdiepte van 25 cm en: A. de maximale (stationaire) capillaire flux die de onderkant van de wortelzone nog kan bereiken; B. de vochtinhoud van de ondergrond (= onderkant wortelzone tot 200 cm-mv) bij maximale capillaire flux; C. de bergingscoëfficiënt (vochtinhoud/grondwaterstand) van de ondergrond, berekend voor een stijging van de grondwaterspiegel tot aan onderkant wortelzone uitgaande van een situatie met maximale capillaire flux



**Fig. 6. Verbreiding van de in Tabel 11 onderscheiden negen bodemfysische eenheden over het zuidelijk peelgebied**

voerd in de nabijheid van de Zuid-Willemsvaart (BLOEMEN, 1983). Op grond van aanvullende laboratoriummetingen van het capillair geleidingsvermogen aan monsters gestoken in deze omgeving bleek dat voor enige bodemfysische eenheden een te gunstige capillaire opstijging naar de wortelzone werd berekend (WIT et al, 1985). Laatst genoemde auteurs leidden daarom uit een combinatie van laboratorium-, veld- en literatuurgegevens voor genoemde eenheden nieuwe relaties af. Verder bleek uit hun onderzoek dat de bodemfysische eenheden 1 t.m. 4 zodanige overeenkomsten vertoonden, dat ze konden worden samengevoegd.

Een en ander leidde tot het gebruik van de pF-curven in Tabel 11 en de capillair geleidingsvermogen-curven in Tabel 12 voor de voorkomende bodemfysische eenheden.

Tabel 11. Vochtgehalten bij verschillende drukhoogten h (in cm) in de verschillende lagen van de bodemfysische eenheden

Bodem- fysische eenheid	Laag- diepte (m-mv)	Vochtgehalte als volumefractie									
		0	-10	-30	-50	-100	-200	-500	-1000	-2500	-16 000
1,2,3,4	0-20	0,45	0,38	0,32	0,27	0,19	0,15	0,11	0,09	0,07	0,04
	20-80	0,64	0,59	0,54	0,51	0,44	0,38	0,30	0,24	0,19	0,11
	80-90	0,60	0,54	0,51	0,48	0,43	0,39	0,34	0,30	0,26	0,17
	>90	0,37	0,31	0,27	0,22	0,15	0,11	0,07	0,06	0,04	0,02
5	0-30	0,47	0,43	0,40	0,37	0,30	0,24	0,18	0,14	0,10	0,07
	>30	0,37	0,34	0,29	0,22	0,14	0,09	0,06	0,05	0,04	0,02
6	0-30	0,54	0,50	0,48	0,46	0,42	0,35	0,27	0,22	0,17	0,11
	>30	0,39	0,37	0,35	0,32	0,25	0,19	0,13	0,10	0,08	0,05
7	0-40	0,55	0,50	0,47	0,45	0,41	0,36	0,30	0,25	0,20	0,14
	40-70	0,47	0,43	0,40	0,37	0,31	0,27	0,22	0,19	0,15	0,09
	>70	0,39	0,35	0,32	0,29	0,22	0,16	0,13	0,11	0,09	0,06
8	0-30	0,46	0,43	0,41	0,39	0,34	0,28	0,20	0,17	0,13	0,08
	>30	0,34	0,33	0,31	0,29	0,22	0,16	0,11	0,08	0,6	0,04
9	0-30	0,48	0,44	0,41	0,38	0,32	0,26	0,21	0,17	0,13	0,08
	>30	0,36	0,33	0,30	0,27	0,20	0,14	0,10	0,08	0,06	0,03

Tabel 12. Capillair geleidingsvermogen bij verschillende drukhoogten h (in cm) in de verschillende lagen van de bodemfysische eenheden

Bodemfysische eenheid	Laagdiepte (cm-mv)	Capillair geleidingsvermogen						
		0	-5	-10	-50	-100	-1000	-10 000
1,2,3,4	0-20	3,30E+2	1,46E+2	3,76E+1	1,60E+0	4,12E-1	4,52E-3	4,95E-7
	20-80	3,52E+1	2,54E+1	4,61E+0	8,79E-2	1,60E-2	2,54E-5	1,92E-7
	80-90	1,14E+1	1,14E+1	2,54E+0	6,70E-2	1,40E-2	7,68E-5	4,22E-7
	>90	3,30E+2	9,76E+1	1,47E+1	1,82E-1	2,74E-2	5,10E-5	9,50E-8
5	0-30	1,69E+2	1,40E+2	4,14E+1	2,44E+0	7,20E-1	1,25E-2	2,18E-4
	>30	3,00E+2	1,57E+2	1,57E+2	1,16E+1	4,51E-1	3,98E-5	1,58E-6
6	0-30	3,16E+2	9,77E+1	2,90E+1	1,74E+0	5,17E-1	9,19E-3	1,63E-4
	>30	3,00E+2	1,50E+2	7,54E+1	3,02E-1	9,98E-4	3,98E-5	1,58E-6
7	0-40	2,31E+2	1,36E+2	3,98E+1	2,30E+0	6,75E-1	1,15E-2	1,95E-4
	40-70	7,00E+1	4,12E+1	2,43E+1	3,49E-1	1,74E-3	1,58E-4	6,28E-6
	>70	7,00E+1	4,12E+1	2,43E+1	3,49E-1	1,74E-3	1,58E-4	6,28E-6
8	0-30	2,40E+2	7,55E+1	2,34E+1	1,54E+0	4,78E-1	9,75E-3	1,99E-4
	>30	7,00E+1	4,58E+1	2,99E+1	9,98E-1	1,42E-2	1,58E-4	6,28E-6
9	0-30	1,32E+2	7,55E+1	2,34E+1	1,54E+0	4,78E-1	9,75E-3	1,99E-4
	>30	1,00E+0	4,58E+1	2,99E+1	9,98E-1	1,42E-2	1,58E-4	6,28E-6

### 3.5.2. De geohydrologische situatie

#### Algemeen

De grondwaterbewegingen in de ondergrond worden ondermeer beïnvloed door de geohydrologische opbouw van de ondergrond. Hierbij zijn van belang de diepte van de hydrologische basis en een indeling van het bodemprofiel daarboven in watervoerende pakketten en scheidende lagen. Het gehele complex van lagen boven de hydrologische basis, waarin grondwaterstromingen optreden die in relatie staan met het oppervlaktewater, wordt aangeduid met het hydrologisch pakket.

Een bijzondere betekenis in hydrologisch opzicht kan worden toegekend aan de meer of minder stagnerende invloed van het relatief grote aantal tektonische storingen op met name de grondwaterstromingen in de watervoerende pakketten.

### **Geologische opbouw**

Het onderzochte gebied maakt deel uit van de kantelende randzone aan de noordkant van het Brabants Massief. In het Tertiair maakte het gebied deel uit van de zee waarin de kustlijn zich al in het Mioceen naar het noorden verplaatste. Een voorloper van de Rijn en later de rivieren Rijn en Maas hebben hier achtereenvolgens gedurende het Pliocceen en een deel van het Pleistoceen een pakket grove zanden, al of niet met grind en klei, afgezet. Als gevolg van de tektonische bewegingen in het achterland verplaatste de Rijn als eerste zijn loop naar het oosten; later deed dit ook de Maas. Vervolgens werd op het pakket rivierafzettingen een pakket van lokale herkomst gevormd. Intussen hebben bewegingen langs de breuken en bodemdalingen als onderdeel van het dalende Noordzeebekken plaatsgevonden. Hierdoor zijn vooral de oudere lagen ten opzichte van elkaar verschoven en hellen zij tevens naar het noordwesten.

Op basis van de tektonische bewegingen is het gebied op te delen in twee structurele eenheden (Figuur 7):

- de Centrale Slenk;
- de Peelhorst.

Tijdens het Holoceen heeft zich in het gebied van de waterscheiding zowel op de Peelhorst als in de Centrale Slenk hoogveen gevormd, dat later door afgraving ten dele is verdwenen. In de beekdalen heeft zich in die tijd beekleem, zand en veen gevormd. Op de hogere gronden hebben onder invloed van de mens vooral in de Middeleeuwen op grote schaal zandverstuivingen plaatsgevonden.

Voor een meer uitgebreide beschrijving van de formaties wordt verwezen naar VAN REES VELLINGA en BROERTJES (1984).

### **Geohydrologisch schema**

In Figuur 8 is de geohydrologische opbouw in een schema weergegeven. Op dezelfde wijze als in Figuur 7 is een onderscheid gemaakt naar het voorkomen van watervoerende pakketten en stagnerende lagen. Aan deze componenten van het gehele hydrologische pakket zijn symbolen toegekend ten behoeve van

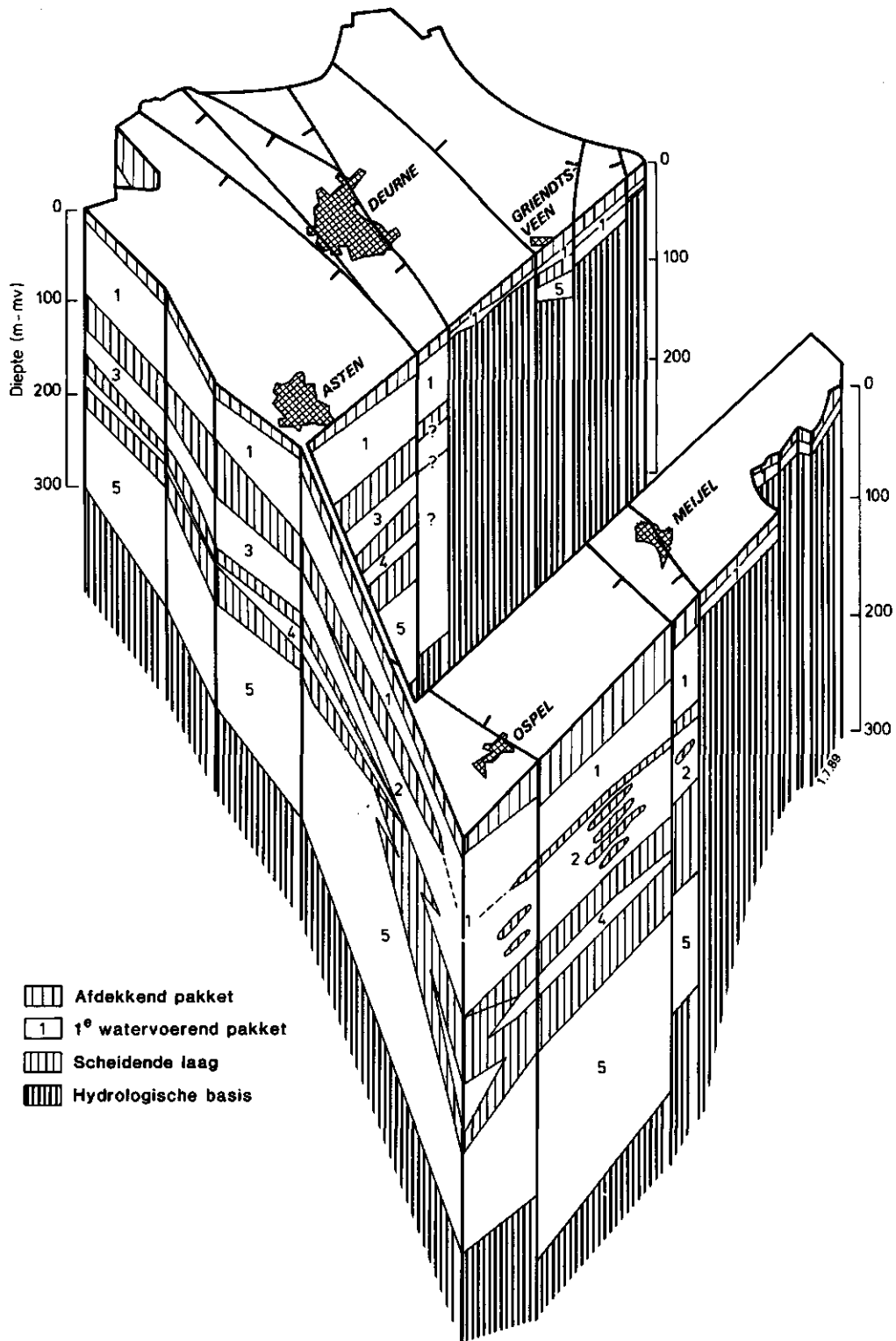


Fig. 7. Schematische weergave van de opbouw van de ondergrond in het studiegebied. Tussen Asten/Griendtsveen en Ospel/Meijel is een deel van het oppervlakteaanzicht weggelaten ter illustratie van de opbouw van de ondergrond (VAN REES VELLINGA en BROERTJES, 1984)

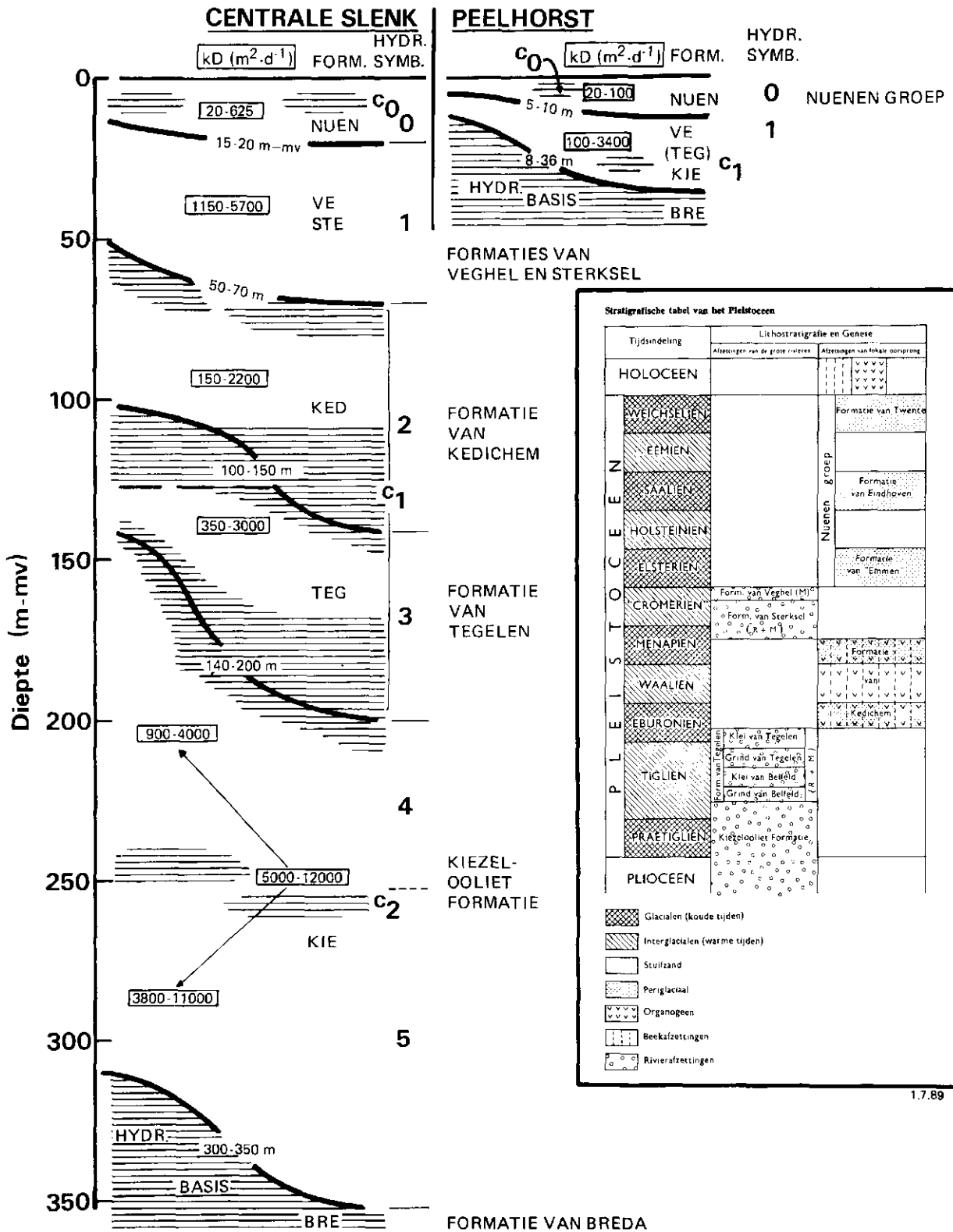


Fig. 8. Schema van de geohydrologische opbouw van de ondergrond en een statistische Tabel van het pleistoceen. Per onderscheiden laag is de  $kD$  waarde gegeven in  $m^2 \cdot d^{-1}$ .  $C_0-C_5$  betreffen hydrologische symbolen voor de hydraulische weerstand

de uit te voeren modelberekeningen. Het geohydrologisch schema toont twee belangrijke tektonische eenheden, die de ondergrond van het gebied kenmerken.

In de Centrale Slenk kunnen 5 watervoerende pakketten worden onderscheiden, die echter niet overal voorkomen, aangezien de stagnerende lagen hier en daar ontbreken. In dat geval gaan 2 pakketten als een watervoerend pakket functioneren. Bovendien zijn het 2e en 3e watervoerend pakket facultatief genoemd, omdat de formaties van Kedichem en Tegelen in eerste instantie uit stagnerende lagen bestaan. Er kunnen echter, vooral in laatstgenoemde formatie, belangrijke grove en grindhoudende afzettingen voorkomen.

Op de Peelhorst wordt als regel een watervoerend pakket aangetroffen, bestaande uit materiaal uit de Formatie van Veghel en de Kiezeloöliet Formatie, eventueel aangevuld met aansluitende zandlagen van de Nuenen Groep.

Van beide tektonische eenheden wordt aangenomen dat de hydrologische basis wordt gevormd door de fijnzandige en kleiïge afzettingen van de Formatie van Breda. Zowel in de Centrale Slenk als op de Peelhorst wordt het kleiïge, lemige of fijnzandige gedeelte van de Nuenen Groep als afdekkend pakket beschouwd.

Op de Peelhorst heeft de Nuenen Groep een relatief grote laagdikte; lokaal kan in deze afzettingen een bovenste watervoerend pakket worden onderscheiden.

#### **Doorlaatvermogen watervoerende pakketten**

Op basis van het geohydrologisch schema kon een overzicht worden samengesteld van de doorlaatvermogens in het studiegebied, waarbij van het 1e watervoerend pakket een vrij volledig beeld werd verkregen (Figuur 9). De beschikbare informatie over de doorlatendheden in de diepere pakketten van de Centrale Slenk is evenwel beperkt.

Uit het geologisch onderzoek blijkt dat het studiegebied wordt verdeeld in de twee eerdergenoemde grote structurele eenheden, die worden gescheiden door de Peelrandbreuk. Ten oosten van deze breuk, en de hieruit verlopende Breuk van Milheeze, is de Peelhorst een gebied met lage  $KD$ -waarden, in de regel van minder dan  $1000 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$  tot een laagste waarde van  $100 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ . Een uitzondering hierop vormt de directe omgeving van Griendtsveen, waar door tektoniek en riviererosie een diepe depressie is ontstaan in het oppervlak van de Formatie van Breda, waardoor de hydrologische basis dieper ligt, de



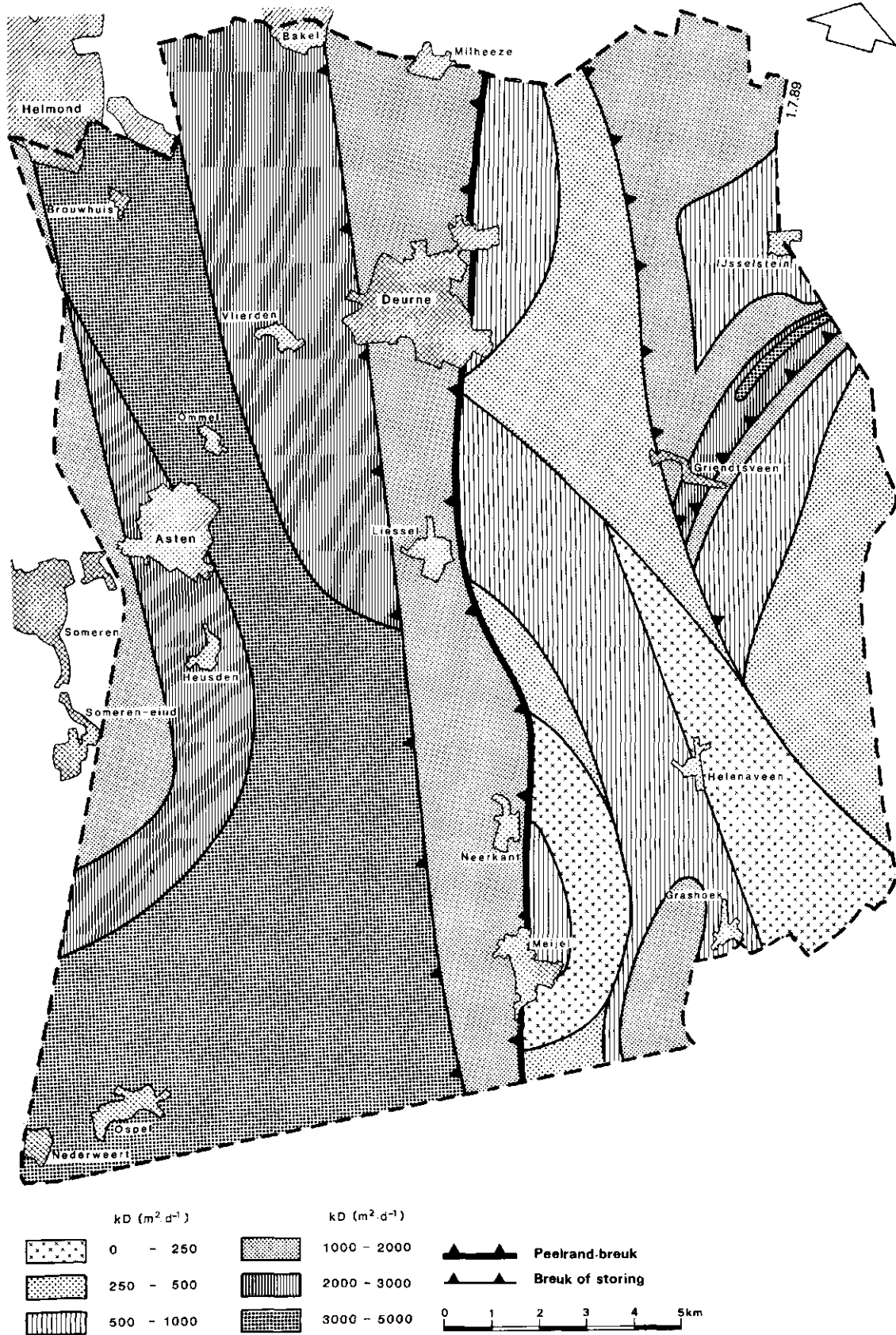


Fig. 9. Overzicht van de  $kD$ -waarden van het eerste watervoerende pakket in het studiegebied

watervoerende lagen dus dikker en de kD-waarden hoger zijn. Ten westen van de genoemde breuken komen in de Centrale Slenk belangrijk hogere kD-waarden voor, tot soms een veelvoud van die op de Peelhorst.

Uit het voorgaande volgt dat voor de Peelhorst een vrij volledig beeld is verkregen over het doorlaatvermogen van het hydrologisch pakket; voor de Centrale Slenk geldt dit vanwege de relatief diepe ligging van de hydrologische basis alleen voor het eerste watervoerende pakket. Voor de dieper gelegen watervoerende pakketten kon slechts een globale indicatie van het doorlaatvermogen worden gegeven.

### 3.5.3. Hydrologie

#### **Regionale waterhuishouding**

Het studiegebied kan worden gerekend tot een hellend zandgebied; dit kenmerk en de geohydrologie, met name de tektonische storingen, hebben in belangrijke mate het karakter van de regionale waterhuishouding bepaald.

Op de Peelhorst worden maaiveldshoogten van 33 m + NAP aangetroffen en in het noordwesten van de Slenk waarden van 16 m + NAP. Dit houdt in dat het maaiveld overwegend in noordwestelijke richting afhelt; ter plaatse van de oostelijke en zuidelijke begrenzing van het studiegebied helt het maaiveld af in de richting van de Maas. Het waterlopenpatroon vertoont in samenhang met de topografie dezelfde tendens en geeft daarmee aan dat het grondwatervlak in meer of mindere mate parallel verloopt aan het maaiveld. Op de Peelhorst is als gevolg daarvan een waterscheiding ontstaan, die in het zuidelijk deel van het studiegebied ombuigt in westelijke richting. De invloed van de geohydrologie komt tot uiting in het feit dat voor het totale studiegebied het grootste deel (94%) van het neerslagoverschot wordt afgevoerd via het oppervlaktewater en het restant (6%) via de ondergrond. Voor een aantal gebieden op de Peelhorst grenzend aan de Peelrandbreuk ligt het percentage van de afvoer via het oppervlaktewater zelfs nog hoger.

De ontwikkelingen gedurende de laatste decennia in de landbouw hebben geleid tot een toenemende regulering van de oppervlaktewaterhuishouding. Enerzijds was deze gericht op een optimale ontwatering in relatie tot het bodemgebruik, anderzijds op een kunstmatige watervoorziening in het groeiseizoen. Op grond hiervan is het waterlopenpatroon in het kader van ruilverkavelingen en beekverbeteringen aangepast, waarbij tevens stuwen zijn gebouwd.

Vanuit de Noordervaart kan Maaswater worden ingelaten naar het Kanaal van Deurne en de Helenavaart. Door nieuw gegraven leidingen wordt het water vervolgens afgevoerd naar het Waterschap de Aa en het Waterschap Noord-Limburg. Aangezien de ligging van de Peelkanalen vrijwel samenvalt met de eerdergenoemde waterscheiding op de Peelhorst, kan het aangevoerde water door een natuurlijk verval afstromen.

De beheersmaatregelen voor de waterhuishouding in de natuurgebieden worden ondermeer gekenmerkt door een buffering van het neerslagoverschot door compartimentering met als doel de aanvoer van gebiedsvreemd water te beperken.

### **Hydrologische bodemconstanten en processen**

Het geohydrologisch onderzoek heeft informatie opgeleverd over de opbouw van de ondergrond, de indeling in watervoerende en scheidende lagen, en het doorlaatvermogen van voornamelijk het 1e watervoerend pakket. Het hydrologisch onderzoek was ondermeer gericht op het completeren van de bij het geohydrologisch schema behorende bodemconstanten zoals de c-waarde (dit is de verticale weerstand van scheidende lagen). Verder kunnen worden genoemd:

- horizontale fluxen in watervoerende pakketten. Deze worden langs de grenzen van het studiegebied gebruikt als randvoorwaarden bij de uitgevoerde modelberekeningen;
- verticale stromingen in de scheidende lagen, waardoor kwel- en wegzijgingsgebieden kunnen worden onderscheiden;
- horizontale stromingsweerstand ter plaatse van tektonische storingen;
- drainageweerstanden en grondwaterstand-afvoerrelaties.

In Figuur 10 is in een oost-west verlopende doorsnede door de Centrale Slenk en de Peelhorst de grondwaterstroming geschematiseerd tot een horizontale in de watervoerende pakketten en een verticale in de scheidende lagen. In de Centrale Slenk zijn het 2e tot en met het 5e watervoerend pakket samengevoegd tot het 2e complexe watervoerend pakket. In de figuur zijn tevens twee uniforme waterlopen aangegeven; hierbij moet worden bedacht dat in werkelijkheid het waterlopenstelsel wordt gekenmerkt door een grote differentiatie zowel wat diepte, bodembreedte en dichtheid betreft. Als gevolg van een neerslagoverschot (N-Ea) zal een opbolling van de grondwaterspiegel tussen de drainerende leidingen ontstaan, die zal leiden tot een flux door het freatisch vlak (vergelijk Figuur 10). De mate

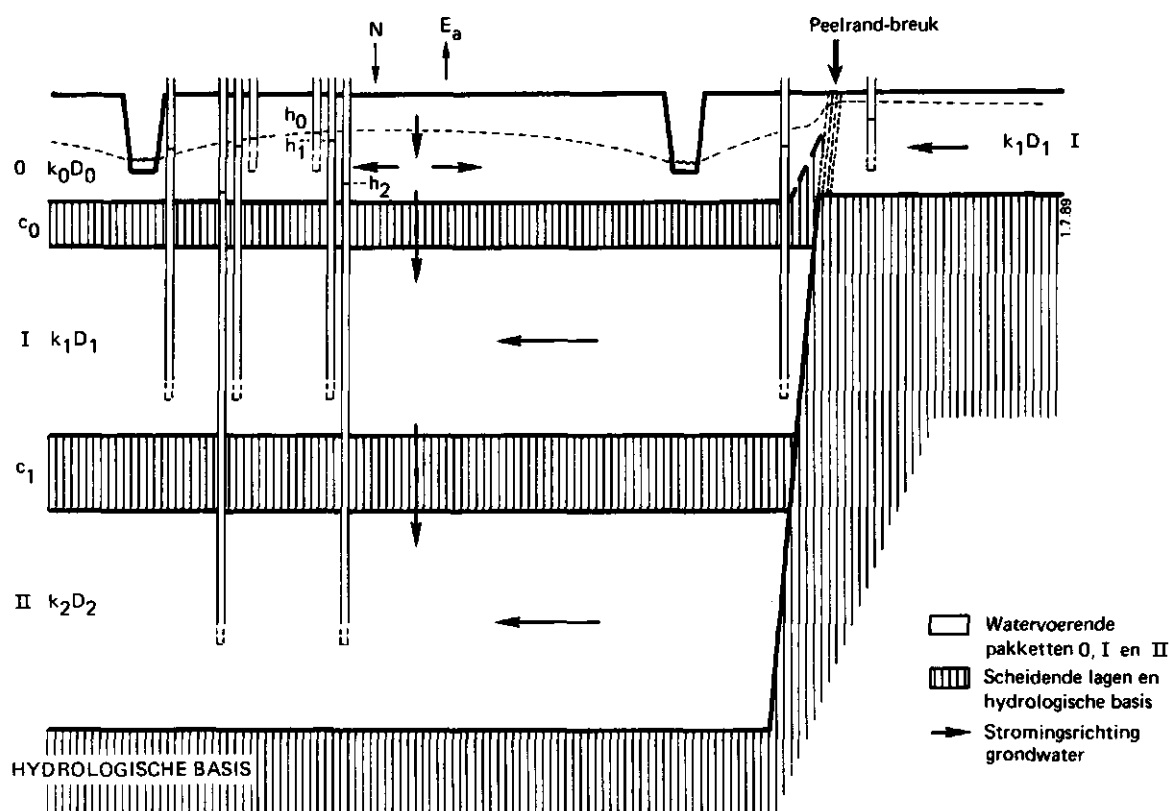


Fig. 10. Geschematiseerde doorsnede in oost-west richting door de Centrale Slenk en de Peelhorst. In de verschillende lagen zijn de hydrologische grootheden aangegeven die zijn gebruikt bij de hydrologische berekeningen;  $h_0$ ,  $h_1$  en  $h_2$  zijn stijghoogtes in peilbuizen.  $N$  = neerslag,  $E_a$  = actuele verdamping,  $kD$  = doorlaatvermogen,  $c$  = verticale weerstand

waarin de watervoerende pakketten worden betrokken bij de grondwaterstroming naar de ontwateringsbasis, wordt grotendeels bepaald door de verticale weerstand van de slechtdoorlatende lagen.

#### Berekeningsmethoden voor waterbalansen

Voor de hydrologische grootheden in Figuur 11 zijn betrekkingen opgesteld die enerzijds als uitgangspunt hebben gediend voor het opstellen van waterbalansen voor oppervlakte- en grondwater en anderzijds zijn gebruikt voor het berekenen van drainageweerstand en grondwaterstand-afvoerrelaties. Voor het kwantificeren van de onderscheiden componenten in de grondwaterstroming in relatie met oppervlaktewaterafvoeren en voor een toetsing van de uit het geohydrologisch onderzoek verkregen kennis betreffende de opbouw van de ondergrond en de bodemconstanten zijn iteratieve bewerkingen

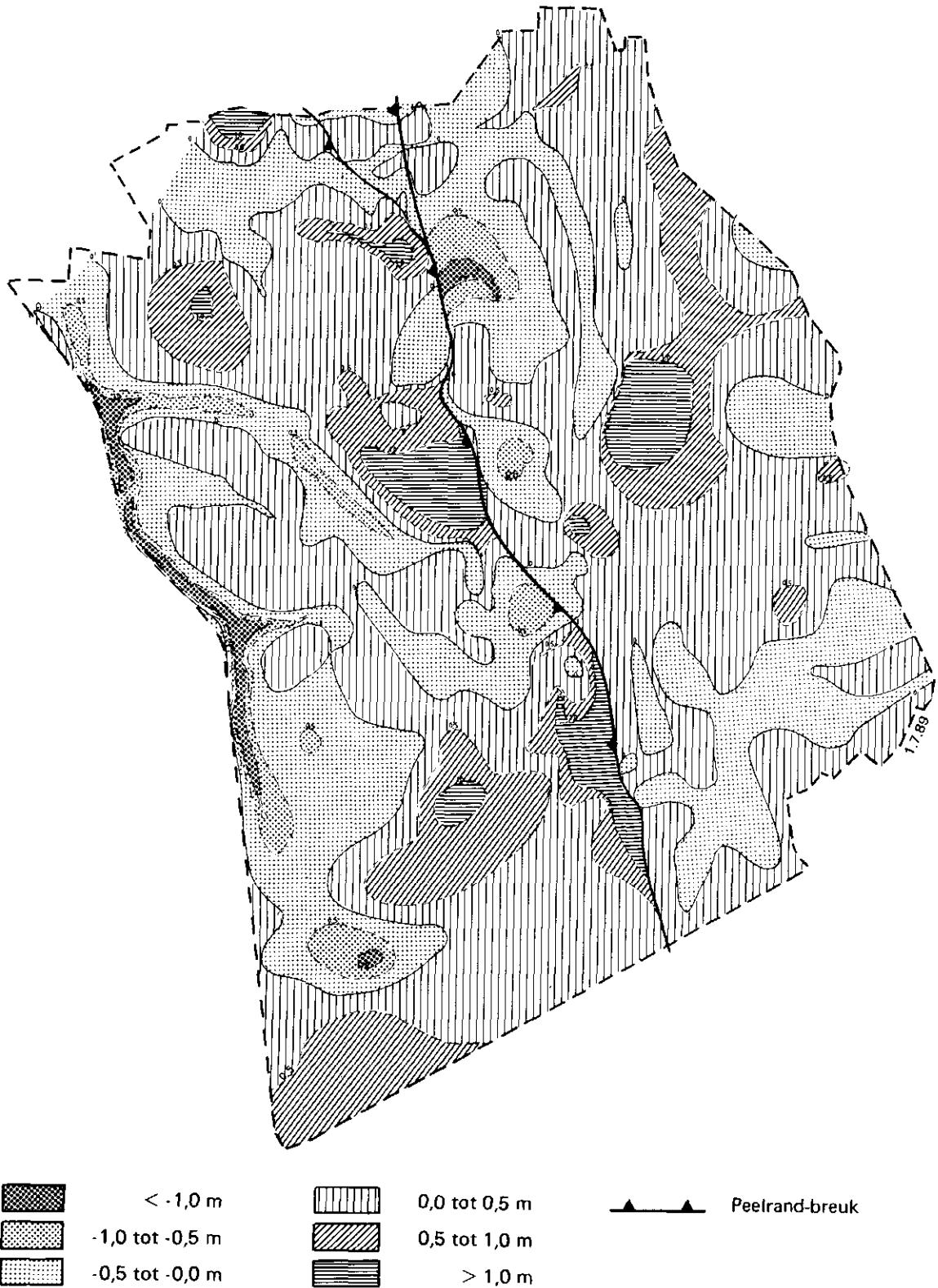


Fig. 11. Overzicht van de stijghoogteverschillen tussen het freatisch vlak en het eerste watervoerende pakket in het studiegebied  
 Negatieve verschillen betekenen kwel  
 Positieve verschillen betekenen infiltratie

uitgevoerd. De methode op zich kan als een variant op de algemene waterbalansvergelijking worden beschouwd.

Als aanvoertermen in de waterbalansvergelijking is rekening gehouden met neerslag en lozing op het oppervlaktewater. Actuele verdamping, oppervlaktewaterafvoer, grondwaterafvoer, grondwateronttrekking en bergingsveranderingen zijn gebruikt als afvoertermen.

De waterbalanstermen zijn op jaarbasis vastgesteld met  $(N-E_a)$  als restterm. De balansen zijn opgesteld voor het totale studiegebied en voor een aantal deelgebieden en onderdelen daarvan op grond van het waterlopenpatroon (WIT, 1986).

### **Verticale weerstanden**

De 1e scheidende laag in het geohydrologisch schema, de Formaties van Kedichem en Tegelen, scheidt het eerste watervoerend pakket en de dieper gelegen watervoerende pakketten (het 2e complexe watervoerend pakket). Uit verkregen waarden voor de fluxen over grensvlakken voor de centrale Slenk en de stijghoogteverschillen is voor het grootste deel van de 1e scheidende laag een  $c_1$ -waarde berekend van 5000 tot 15 000 d. Voor een relatief klein gebiedje in het noordwesten is een waarde van 2000 d verkregen. De relatief hoge verticale weerstand van de 1e scheidende laag heeft als consequentie dat met betrekking tot de regionale grondwaterstroming deze laag praktisch als hydrologische basis kan worden beschouwd (WIT, 1986).

Het afdekkend pakket bevindt zich aan de bovenkant van het hydrologisch pakket. De uit de waterbalansen verkregen waarden voor de verticale flux en de stijghoogteverschillen tussen het freatisch vlak en de 1e watervoerende laag hebben waarden opgeleverd voor  $c_0$  (Figuur 12). De meest voorkomende waarde ligt in het traject van 500 tot 1000 d.

### **De afvoer in het onderzoeksgebied**

Uit de waterbalansen is informatie verkregen over de afvoer van het neerslagoverschot via het oppervlaktewater en via de ondergrond. Voor het gehele studiegebied blijkt (zoals eerder reeds genoemd is) 94% via het oppervlaktewater te worden afgevoerd en 6% via de ondergrond. Voor een aantal deelgebieden, gelegen tussen de Peelrandbreuk en de waterscheiding op de Peelhorst, wordt het neerslagoverschot praktisch in zijn geheel via het oppervlaktewater afgevoerd. Voor een aantal deelgebieden, voornamelijk in het zuidelijk deel van de Centrale Slenk gelegen, wordt via de ondergrond 50 tot 60% van het neerslagoverschot afgevoerd.

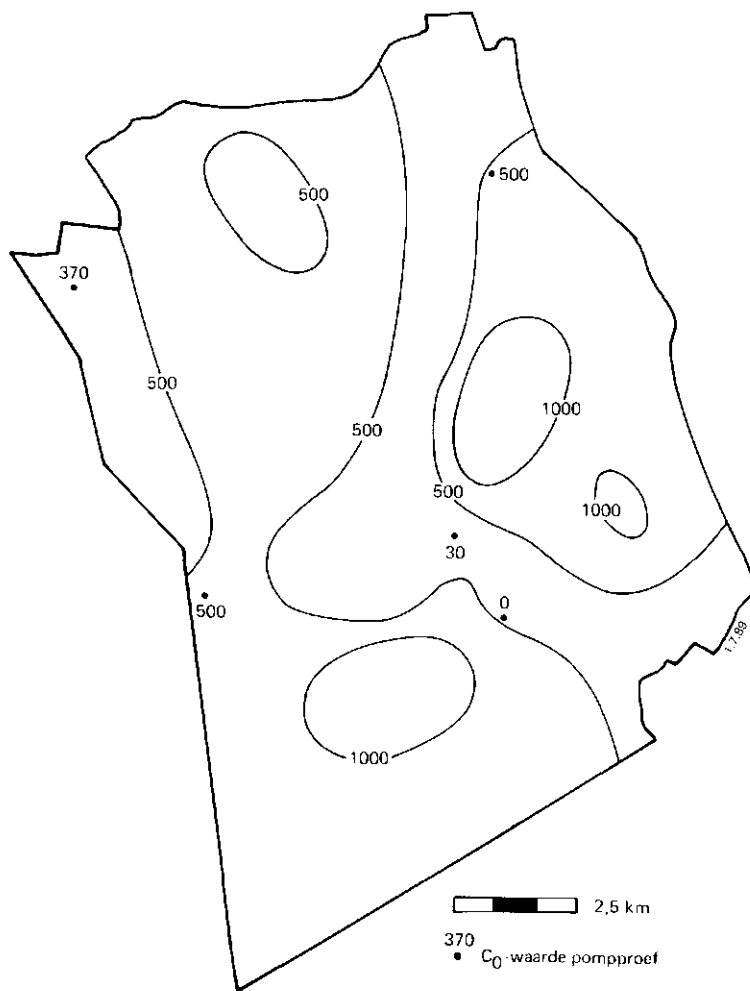


Fig. 12.  
Overzicht van de verticale weerstanden ( $C_0$ ) van het afdekkend pakket

#### De invloed van de tectonische storingen op de grondwaterstroming

Voor de Peelrandbreuk is op grond van de waterbalans een stroomsnelheid over het breukvlak berekend van 0,1 tot 0,2 m.d<sup>-1</sup>.

Bij een verschil in stijghoogte van het grondwater aan de boven- en benedenkant van de storing van ongeveer 2 m, leidt dat ter plaatse voor een zone ter breedte van 200 m tot een kD-waarde van 10 à 20 m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup>.

Op grond van de waterbalansen in het noordelijk deel van de Slenk (met lage afvoeren via de ondergrond) dient langs de talrijke zuidoost-noordwest verlopende storingen eveneens rekening te worden gehouden met een zone van lage kD-waarden.

#### Drainageweerstanden en grondwaterstand-afvoerrelaties

Voor de afwateringseenheden of combinaties daarvan is per maand de gemiddelde oppervlaktewaterafvoer verminderd met eventuele lozingen, uitgezet

tegen de gemiddelde grondwaterstandsdiepte ten opzichte van maaiveld. Een voorbeeld van een dergelijke bewerking is in Figuur 13 gegeven. Door de puntenzwerm is een kromme getekend voor de gemiddelde situatie. Voor een aantal grondwaterstandsdiepten is de gradiënt van de diverse krommen bepaald, waaruit vervolgens een differentiewaarde voor de drainageweerstand is berekend. Op grond van de verkregen drainageweerstanden en oppervlakte-waterafvoeren bij ondiepe grondwaterstanden zijn de eenheden in twee groepen ingedeeld. In Figuur 14 is voor deze groepen een gemiddelde relatie tussen de drainageweerstand en de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld gegeven. Gezien de verspreide ligging van de beschouwde eenheden geeft deze figuur een indruk van de voorkomende drainageweerstanden. Grondwaterstand-afvoerrelaties zijn verkregen door in Figuur 13 een waarde voor de flux over de 1e scheidende laag in te voeren. Bij een positieve waarde voor deze flux dienen de punten naar rechts te worden verplaatst en bij een negatieve naar links. Bij de eenheden waar de afvoerrelatie een cyclus doorloopt is

Fig. 13.

Voorbeeld van een relatie tussen de oppervlaktewaterafvoer  $a$  en de gemiddelde grondwaterstandsdiepte  $h^*$  voor een afwateringseenheid bij een flux  $b$  over de 1e scheidende laag van  $0,24 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  voor situaties met dalende en stijgende grondwaterstanden, aangegeven met pijlen in de figuur

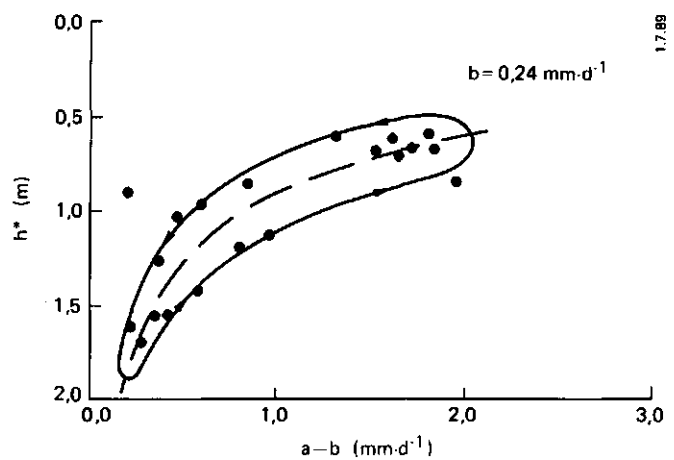
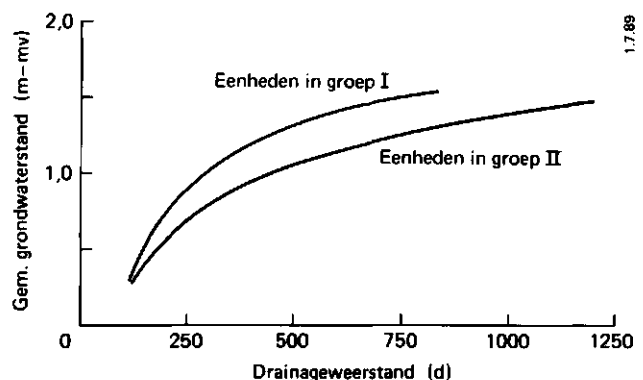


Fig. 14.

De relatie tussen de drainageweerstand en de gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van maaiveld voor twee onderscheiden groepen van grondwaterstandsafvoerrelaties





---

niet de gemiddelde kromme maar globaal de bovenste lijn van de cyclus beschouwd.

### **Wateraanvoer**

Vanuit de Noordervaart kan water worden ingelaten. In de wintermaanden is de aanvoer praktisch nihil, in de zomermaanden kan deze toenemen tot  $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Hiervan wordt  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  afgevoerd over de noordelijke en oostelijke begrenzing zodat voor peilbeheer en infiltratie  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  beschikbaar is. Deze hoeveelheid is beschikbaar voor met name het gebied van het Waterschap de Aa. Voor een aantal deelgebieden is gedurende een of meerdere maanden gedurende de zomer een netto aanvoer van  $0,1$  tot  $0,2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  gemeten. Tengevolge van het peilbeheer vindt een verminderde afstroming plaats.

## **3.6. WATERKWALITEIT**

### **3.6.1. Nitraatconcentraties in grond- en oppervlaktewater**

In de periode 1981-1983 is in het zuidelijk peelgebied een veldonderzoek gedaan naar het voorkomen van nitraat in het freatische grondwater, het diepere grondwater en het oppervlaktewater. Dit onderzoek is uitgevoerd op zowel intensief gebruikte landbouwgronden als op bosgronden en andere natuurlijke terreinen. Het freatische grondwater is bemonsterd en geanalyseerd voor het vaststellen van de invloed van het bodemgebruik op de nitraatconcentratie van het infiltrerende neerslagoverschot. Het diepe grondwater is onderzocht voor het verkrijgen van inzicht in de mate waarin nitraat doordringt tot diepere lagen. In het onderzoek van het oppervlaktewater is vooral gekeken naar de nitraatbelasting van het oppervlaktewater vanuit cultuurgrond. Met dit veldonderzoek zijn locale gegevens verzameld met als doel een beeld te krijgen van de regionale verspreiding van de nitraatconcentraties in relatie tot bodemgebruik, hoeveelheid en soort meststof en grondwaterstand.

### **3.6.2. Freatisch grondwater**

De grondwaterstand blijkt een grote invloed te hebben op de nitraatconcentraties in het bovenste grondwater. Onder percelen met hogere grondwater-

standen worden belangrijk lagere nitraatconcentraties gemeten, gegevens hierover zijn vermeld in Tabel 13. Dit geldt zowel voor extensief en intensief gebruikt grasland als voor niet bemest naalldhout. Bij diepere grondwaterstanden lopen, afhankelijk van het bemestingsniveau, de nitraatconcentraties op. De lagere nitraatconcentraties bij hogere grondwaterstanden moeten worden verklaard uit een extra opname door de begroeiing en een verhoogde denitrificatie in en onder de wortelzone vanwege de slechtere aëratietoestand (STEENVOORDEN, 1987).

Het effect van de grondwaterstandsdiepte is vooral sterk bij grondwaterstanden boven 1 m-mv, maar wordt kleiner naarmate deze dieper is. De invloed van verschillende vormen van agrarisch bodemgebruik op de nitraatbelasting van het freatisch grondwater moet daarom worden vergeleken bij grondwaterstanden van 1,0 m-mv en dieper.

Tabel 14 geeft hiervan een overzicht op gronden met respectievelijk snijmais, grasland en vollegrondsgroenten. Voor gras is de relatie tussen mestgift en N-uitspoeling minder duidelijk dan mais, omdat op een graslandperceel ook de beweidingsintensiteit een belangrijke rol speelt (STEENVOORDEN et al. 1986).

Tabel 13. Invloed van de grondwaterstand op de nitraatgehalten in het freatisch grondwater bij eenzelfde bodemgebruik. De bemesting is per ha per jaar. De grondwaterstand is in mei 1982 (OOSTEROM, 1982): rdm = runderdrijfmest; vdm = varkensdrijfmest

Bodemgebruik	Kunstmest N-gift (kg N)	Drijfmestgift in groeiseizoen	Grondwaterstand (m-mv)	Nitraat-N (g.m <sup>-3</sup> )
Extensief grasland	250	45 m <sup>3</sup> rdm	1,00	18
	250	45 m <sup>3</sup> rdm	0,75	0,5
Intensief grasland	505	10 m <sup>3</sup> rdm + 18 m <sup>3</sup> vdm	1,00	90
	505	10 m <sup>3</sup> rdm + 18 m <sup>3</sup> vdm	0,50	0,4
Naalldhout	geen	geen	1,00	23
Naalldhout	geen	geen	0,75	1,5

Bij de vollegrondsgroenten worden de hoogste nitraatconcentraties aangetroffen onder stokbonen, die, evenals andere leguminosen, atmosferische stikstof kunnen binden. Deze stikstof komt na de oogst als gevolg van mineralisatie weer vrij. Omdat spruitkool het hele najaar nog N kan opnemen die vrij komt door mineralisatie, is onder dat gewas de nitraatconcentratie laag.

Uit de gegevens in Tabel 14 blijkt dat bij een optimale landbouwkundige bemesting, horend bij hoge produktieniveaus, van ca. 400 kg minerale N op gras en ca. 200 kg minerale N op snijmais en vollegrondsgroenten nitraatconcentraties in het freatisch grondwater worden aangetroffen die hoger zijn dan de norm voor drinkwater van  $11,3 \text{ g.m}^{-3}$  (als N). Dit geldt alleen voor percelen landbouwgrond met voorjaarsgrondwaterstanden dieper dan 1 m beneden maaiveld.

Tabel 14. Invloed van het agrarisch bodemgebruik op de nitraatgehalten in het freatisch grondwater onder percelen met een voorjaarsgrondwaterstand groter dan 1,0 m-mv in 1982 (OOSTEROM, 1982). De 'minerale N-bemesting' bestaat uit de som van kunstmest-N en de N die uit de dierlijke mest beschikbaar komt voor het gewas (aanname: werkingscoëfficiënt N in dierlijk mest op grasland 20% en op snijmais 50%)

Bodemgebruik	Minerale N-bemesting $\text{kg.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$	Grondwaterstand m-mv	Nitraat-N $\text{g.m}^{-3}$
Snijmais	220	1,50	46
	580	1,10	110
	1130	1,75	209
Grasland	290	1,00	18
	320	1,20	49
	360	1,20	103
	530	1,25	70
	535	1,60	52
	540	1,00	90
Spruitkool	220	1,50	4
Stokbonen	220	1,50	64

Snijmais wordt in de praktijk meestal veel zwaarder bemest, zodat in die gevallen in het bovenste grondwater zeer hoge nitraatconcentraties kunnen voorkomen.

Onder gronden zonder agrarisch gebruik is in het freatisch grondwater veelal weinig nitraat gemeten. Op ca. 75% van de meetpunten zijn nitraatconcentraties van minder dan  $2 \text{ g.m}^{-3}$  (als N) waargenomen en op ca. 15% gehalten van ca.  $10 \text{ g.m}^{-3}$  (als N) of iets hoger.

### 3.6.3. Diep grondwater

Verspreid over het studiegebied is in 1982 een inventarisatie uitgevoerd van de kwaliteit van het diepere grondwater. De resultaten zijn gegeven in Tabel 15. Het grondwaterprofiel is in deze Tabel verdeeld in diepteklassen, tevens is onderscheid gemaakt tussen snijmais, grasland en natuurlijke terreinen.

Naarmate dieper in het profiel wordt gekeken zal de relatie met het bodemgebruik ter plaatse kleiner worden in verband met de afwatering naar sloten en kanalen en de regionale hydrologische stroming in de watervoerende pakketten.

Onder snijmais en grasland worden in de laag van 0-5 m beneden maaiveld nitraatconcentraties gemeten van respectievelijk 54 en  $21 \text{ g.m}^{-3}$  (als N). Met name onder snijmais kunnen dergelijke hoge concentraties worden verwacht vanwege een overdosering aan dierlijke mest en de veelal diepere

Tabel 15. Gemiddelde nitraatconcentraties ( $\text{g.m}^{-3}$  als N) in het grondwater onder snijmais, grasland en natuurlijke terreinen voor verschillende diepten in 1982 (tussen haakjes aantal monsterpunten) (POMPER, 1988a).

Filterdiepte (m-mv)	Nitraatconcentratie ( $\text{g.m}^{-3}$ N)		
	snijmais	grasland	natuurterrein
1- 5 m-mv	54 (13)	21 (41)	1 (70)
5-10 m-mv	2 ( 4)	2 (26)	0 ( 7)
10-15 m-mv	4 ( 7)	2 (21)	0 ( 3)
15-20 m-mv	2 ( 5)	3 ( 8)	0 ( 9)
20-50 m-mv	0 ( 8)	2 (13)	0 (20)

grondwaterstanden op snijmaispercelen. Op grotere diepten neemt de nitraatconcentratie zowel onder snijmais als onder gras snel af. Onder natuurlijke terreinen is het nitraatgehalte zeer laag. Het patroon van hoge concentraties in de laag tot 5 m-mv en de lage concentraties op grotere diepte geldt zowel voor de Horst als voor de Slenk, zodat geen uitsplitsing over de beide gebieden is gemaakt.

#### 3.6.4. Denitrificatie in de ondergrond

In verband met het belang van organische stof in deze bodemlagen voor de afbraak van nitraat via denitrificatie zijn uit boorstaten en op grond van een aantal analyses in grondmonsters van recente boringen overzichten gemaakt van het gehalte aan organische stof in de verschillende geologische formaties. In Tabel 16 is een overzicht gegeven van deze gehalten (RUIKEN en STEENVOORDEN, 1986).

Per geologische formatie is een gemiddelde waarde berekend voor het organische stofgehalte. De afdekkende laag in de Horst en de Slenk behoort tot de Nuenenformatie met respectievelijk een organische stofgehalte van

Tabel 16. Het gehalte aan organische stof in de verschillende geologische formaties op de Horst en in de Slenk voor resultaten uit boorstaten van 1967 en uit analyses van 1981. Tussen haakjes het aantal onderzochte grondmonsters

Geologische formatie	Gehalte organische stof (% van droge stof)				Gemiddeld
	Horst		Slenk		
	1967	1981	1967	1981	
Nuenen	0,3 (139)	0,8 (20)	0,4 (101)	0,7 (23)	0,4
Veghel	0,06 (139)	0,2 ( 5)	0,08 ( 76)	0,4 ( 2)	0,07
Rosmalen	-	-	0,1 ( 9)	-	0,1
Sterksel	-	-	0,07 ( 64)	0,2 ( 3)	0,08
Kedichem	-	-	0,6 ( 9)	0,3 ( 1)	0,6
Tegelen	0,2 ( 11)	1,3 ( 2)	-	1,5 ( 2)	0,5
Tertiair (Kiezeloöliet)	0,9 (159)	-	-	-	0,9

gemiddeld 0,36% en 0,46%. Het 1e watervoerende pakket in de Slenk heeft een organische stofgehalte van gemiddeld 0,08% en in de Horst van gemiddeld 0,06%.

Om inzicht te krijgen in de mogelijkheden van denitrificatie en in de betekenis van dat proces voor de nitraatconcentraties in het studiegebied zijn op het laboratorium proeven uitgevoerd met kleine kolommen die gevuld werden met grond afkomstig van diepten van ca. 5 m en 22 m op de Horst. Elke kolom is gedurende 3 jaar belast met kunstmatig samengesteld grondwater met een nitraatconcentratie van  $33 \text{ g.m}^{-3}$  (als N). Het verloop van de nitraatconcentratie in de tijd is voor beide kolommen, respectievelijk A en B, gegeven in Figuur 15. Het totale organische stofgehalte in kolom A was 0,1% en in kolom B 0,4%. Na 3 jaar wordt in grondkolom A van 0,45 m lengte nog ruim  $0,7 \text{ g.m}^{-3}$  nitraat (als N) verwijderd bij een verblijftijd van ca. 20 dagen. Omgerekend naar de veldsituatie betekent dit dat jaarlijks de nitraatconcentratie per m dikte in de verzadigde zone kan dalen met vele tientallen  $\text{g.m}^{-3}$  in afhankelijkheid van het organische stofgehalte en de zuurgraad.

In kolom B bevindt zich grond met pyriet ( $\text{FeS}_2$ ), een afzetting in het Mioceen op 22 m beneden maaiveld op de Horst. Uit experimenten is gebleken dat pyriet een belangrijke rol kan spelen in de denitrificatie. Bij dit proces wordt uit sulfide sulfaat gevormd. De betekenis van pyriet blijkt uit het verloop van de curve voor nitraat in kolom B (Figuur 15). Vrijwel

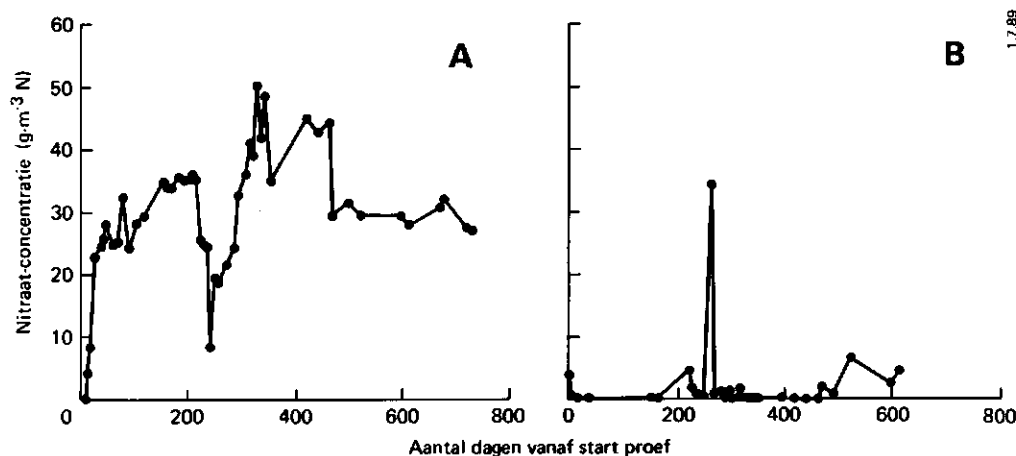


Fig. 15. Verloop met de tijd van de  $\text{NO}_3^-$ -concentratie ( $\text{g.m}^{-3}$  als N) in het afgevoerde water uit de kolommen gevuld met grond afkomstig van ca. 5 m diepte (A) en ca 22 m diepte (B) op de Horst. Het voedingswater heeft een concentratie van  $33 \text{ g.m}^{-3}$  (als N) en een pH van 5,0 (POMPER, 1988b)

alle nitraat wordt gedenitrificeerd, waarbij de sulfaatconcentratie oploopt van 76 tot waarden van 150 à 200  $\text{g.m}^{-3}$  (POMPER, 1988b). Ondanks dit hoge denitrificatievermogen van het mioceen speelt deze afzetting een geringe rol met betrekking tot de N-huishouding, vanwege de geringe doorlatendheid ervan en de diepere ligging.

### 3.6.5. Oppervlaktewater

Op een intensief rundveehouderijbedrijf is in de periode november 1983- april 1984 het grond-, greppel- en slootwater geanalyseerd op nitraat. Alle grond is gelegen in gras en wordt jaarlijks bemest met ca. 400 kg N en ca. 30  $\text{m}^3$  varkensdrijfmest per ha. Het bodemprofiel is dat van een podzolgrond en waterhuishoudkundig kan het bedrijf worden gekarakteriseerd met een GT 5. Het noordelijk deel van het bedrijf is ca. 0,20 m lager gelegen dan het zuidelijk deel van het bedrijf, hetgeen tot uiting komt in de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld. Zowel in greppel- als in slootwater zijn de gemiddelde nitraatconcentraties beduidend lager dan in het recent geïnfiltreerde freatische grondwater (Tabel 17). De variatie in de concentraties van het greppelwater is vrij groot. De maximumwaarden van het greppelwater liggen op het niveau van het freatisch grondwater. Voor het slootwater zijn de maximumwaarden aanmerkelijk lager. Het greppelwater heeft, als gevolg van de korte verblijftijd in de bodem, gedurende een deel van de tijd concentraties die vrijwel vergelijkbaar zijn met die in het freatische grondwater. Met name geldt dit voor het noordelijk bedrijfsdeel waar greppels een belangrijke afvoerende functie hebben door de hogere waterstand. De verblijftijd in de bodem is dan te kort voor een belangrijke

Tabel 17. Gemiddelde nitraatconcentraties ( $\text{g.m}^{-3}$  als N) in het freatische grondwater, sloot- en greppelwater in de periode november 1983 tot april 1984 (STEENVOORDEN, 1987)

Grondwaterstand mei 1984 (m-mv)	Nitraatconcentratie ( $\text{g.m}^{-3}$ N)						
	freatisch grondwater	greppelwater			slootwater		
		min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
1,0	60	3,5	26,5	47,0	0,1	18,5	28,0
0,8	36	0,1	9,0	40,0	0,1	11,0	21,0

---

reductie van de nitraatconcentratie door denitrificatie. De nitraatconcentratie in het slootwater komt tot stand door menging van grond- en greppelwater. De lagere waarden in het slootwater ten opzichte van die in grondwater en in mindere mate in greppelwater duiden ook hier op het belang van het denitrificatieproces. Het uit grotere stroomgebieden afgevoerde oppervlaktewater is feitelijk de som van afvoeren van een aantal bedrijven. Op regionale schaal wordt daardoor hetzelfde beeld gevonden (STEENVOORDEN en POMPER, 1988).



---

## 4. MODELLEN VOOR LANDBOUWONTWIKKELING, HYDROLOGIE, GEWASPRODUKTIE, GROND- WATERKWALITEIT EN NATUURWAARDE

### 4.1. INLEIDING

In Hoofdstuk 2 is het raamwerk van de methode voor het zoeken naar scenario's voor waterhuishoudkundige ontwikkelingen uiteengezet. Voor de verdere invulling moeten de landbouweconomische, fysische, chemische en biologische processen die voor een regio van belang zijn in hun onderlinge samenhang worden geformuleerd. De eerste stap hiervoor is het beschrijven van de genoemde processen door middel van afzonderlijke simulatiemodellen met een detaillering die is afgestemd op een toepassing op regionale schaal.

Hiervoor zijn een vijftal simulatiemodellen ontwikkeld met een tweeledig doel. Enerzijds worden ze gebruikt voor het berekenen van de coëfficiënten in de lineaire relaties die worden toegepast bij de lineaire optimalisering (zie Hoofdstuk 5). Anderzijds worden ze, vanwege het feit dat ze de werkelijkheid beter beschrijven, gebruikt voor het verifiëren van veelbelovende scenario's.

In de Paragrafen 4.2 tot en met 4.6 worden achtereenvolgens de modellen voor landbouw, grondwater (SIMGRO), gewasproductie (SIMCROP), grondwaterkwaliteit (ANIMO) en natuurwaarde (SWAFLO) besproken.

### 4.2. LANDBOUWMODEL

#### 4.2.1. Inleiding

Het doel van het landbouwmodel is het genereren van de ontwikkeling van de landbouw in een gebied, rekening houdend met hydrologische omstandigheden. Dit gebeurt door het genereren van veranderingen op bedrijfsniveau. Hierbij wordt van de veronderstelling uitgegaan dat de grootte van het gebied zodanig is dat veranderingen in de omvang van de produktie in het gebied de prijsvorming van de produkten op de nationale en internationale markt niet beïnvloedt.

Tussen landbouwbedrijven bestaan grote verschillen in bedrijfstype en in bedrijfsomvang. Deze verschillen beïnvloeden de ontwikkeling van de bedrijven. Daarom is de ontwikkeling van de landbouw in het landbouwmodel gebaseerd op het genereren van veranderingen op de bedrijven. De huidige kenmerken van de bedrijven in het gebied kunnen als startwaarden worden gebruikt. Hierbij moet worden bedacht dat het model geen prognoses geeft voor individuele bedrijven. De uitvoer op bedrijfsniveau dient om de variatie over de bedrijven aan te geven.

Het model bestaat uit:

- variabelen die de interactie tussen de landbouw en het hydrologisch systeem beschrijven. De uitvoer vanuit het landbouwmodel betreft de omvang en de samenstelling van de mestgiften en het watergebruik in de landbouw (via berekening en/of infiltratie). De invoer in het landbouwmodel betreft de beschikbaarheid van water voor de landbouw. Deze beschikbaarheid, die wordt beïnvloed door enerzijds de hydrologische omstandigheden en anderzijds de andere gebruikers, beïnvloedt de omvang van de productie.
- indicatoren die de landbouw in het gebied beschrijven. De in deze studie gehanteerde indicatoren betreffen de aard en de omvang van de landbouw activiteiten, de werkgelegenheid in de landbouw, de hoogte van het in de landbouw verdiende inkomen en de verdeling hiervan over de bedrijven.

Het model is een kwalitatief model waarmee de belangrijke processen en de relaties tussen deze processen worden aangegeven. De procesparameters in het model zijn niet ingevuld, zodat met het model geen berekeningen zijn uitgevoerd.

Het model dient als raamwerk voor de meer concrete modellering in het Scenario Genererend Systeem en het Beheersplan Analyserend Systeem (vergelijk hoofdstuk 2).

#### 4.2.2. Definities

De activiteiten in de landbouw worden weergegeven door middel van technologieën. Een technologie is een activiteit of een groep van activiteiten met een invoer (arbeid, water, mest e.d.) en een uitvoer (gewasopbrengst, melk, vlees, mest e.d.). Technologieën verschillen van elkaar in een of meer van de voor het onderzoek van belang zijnde grootheden. Voor deze studie zijn

Tabel 18. Overzicht van de grondgebonden en niet-grondgebonden technologieën die in deze studie zijn onderscheiden

Grondgebonden technologieën	Niet-grondgebonden technologieën
Glastuinbouw	Mestkalveren
Volle grondstuinbouw	Mestvarkens
Akkerbouwmatige tuinbouw	Fokvarkens
Meerjarige teelten	Legkippen
Hakvruchten (aardappelen, bieten)	Mestkippen
Graan	Champignons
Mais	
Intensief graslandgebruik (3-4 gve/ha)	
Extensief graslandgebruik ( 2 gve/ha)	
Nieuw bos	

dit de mestgiften, de waterbehoefte, de benodigde kapitaalgoederen, de arbeidsinzet en de verwachte ontwikkeling van de prijzen.

De technologieën zijn verdeeld in grondgebonden technologieën en niet-grondgebonden technologieën. Grondgebonden technologieën bestaan uit activiteiten waarvan de omvang gerelateerd is aan de produktiefactor grond. Voor niet-grondgebonden technologieën is dit niet het geval. De verwerking van mest kan (naast intensieve veehouderij, champignonteelt, etc) als een niet-grondgebonden technologie worden opgenomen. Tabel 18 geeft een overzicht van de onderscheiden technologieën. Het aantal technologieën moet zodanig zijn dat de huidige en zo mogelijk ook de toekomstige activiteiten in het gebied vertegenwoordigd zijn.

De bedrijven worden ingedeeld in bedrijfstypes. Hiertoe wordt een aantal produktie richtingen (combinaties van technologieën) geformuleerd. Voor elk van de bedrijfstypes wordt, eventueel per deelgebied, het representatieve bedrijf gedefinieerd. Dit is het denkbeeldige bedrijf dat representatief is voor de tot het bedrijfstype behorende bedrijven in het (deel)gebied. De beschrijving van een representatief bedrijf bestaat uit de activiteiten op het bedrijf, de relaties tussen deze activiteiten en de bedrijfsvoering. Deze factoren kunnen veranderen, bijvoorbeeld ten gevolge van technische vooruitgang of veranderende prijsverhoudingen.

## 4.2.3. Overzicht van het model

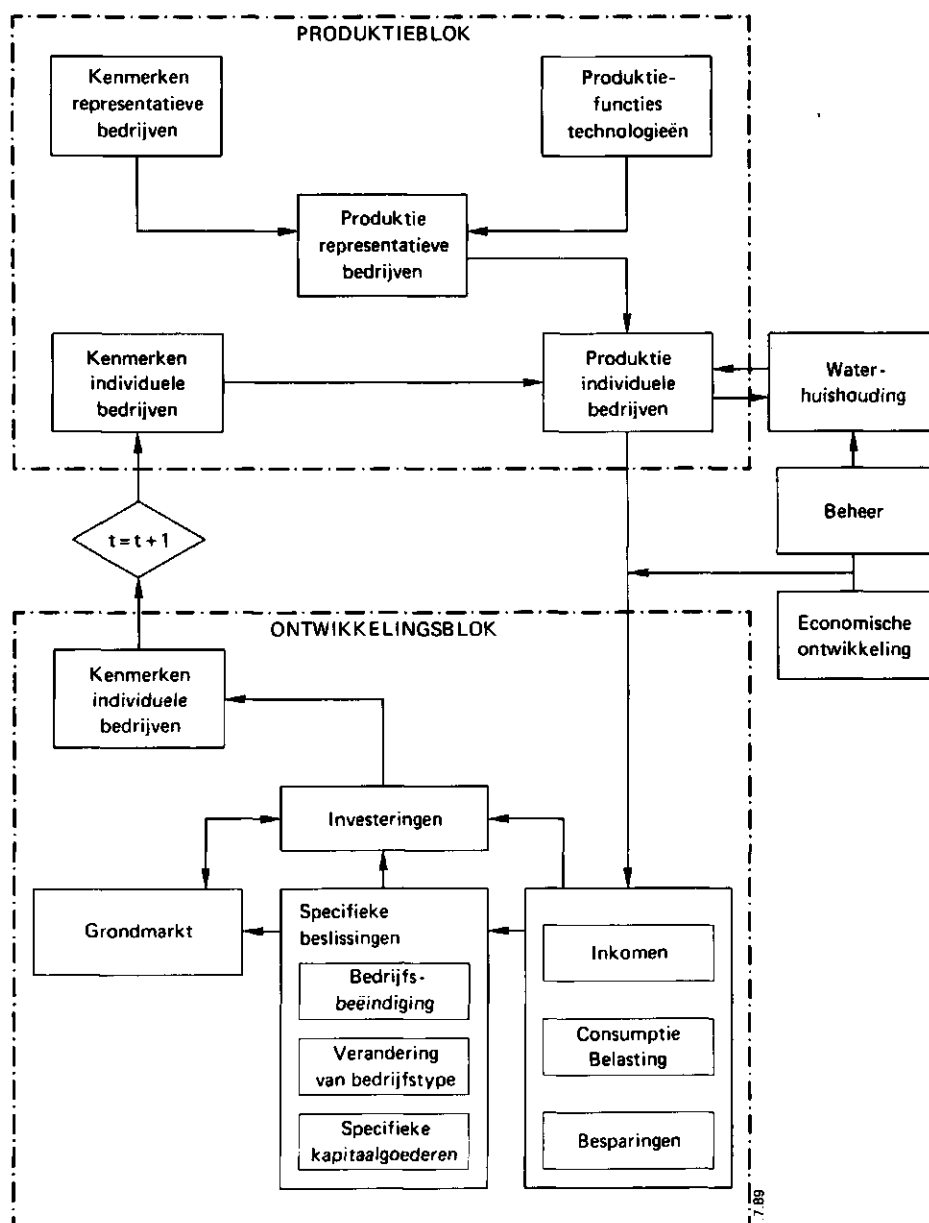


Fig. 16. Model voor het genereren van de ontwikkeling van de landbouw

Het model beschrijft de interactie tussen de productie in de landbouw en het hydrologisch systeem, de veranderingen in de aard en de omvang van de activiteiten en de veranderingen in de werkgelegenheid en de inkomens (-verdeling) in de landbouw. Dit komt tot uitdrukking in de twee blokken waaruit het model is opgebouwd (Figuur 16). Deze blokken zijn:

- het produktieblok. In het produktieblok wordt de (fysieke) omvang van de productie op de bedrijven gegeneerd. Gelijk met de productie wordt de

omvang van de in het produktie proces ingezette factor input (arbeid en kapitaal) en non-factor input (o.a. water- en mestgiften) bepaald. Via de koppeling met het hydrologisch systeem wordt nagegaan of deze produktie, binnen het hydrologisch systeem, mogelijk is.

- het ontwikkelingsblok. Het doel van het ontwikkelingsblok is het genereren, voor ieder bedrijf afzonderlijk, van veranderingen in de bedrijfskenmerken (in de loop van de tijd). Het grondmarktmodel is de schakel tussen de afzonderlijke bedrijven.

De relatie tussen de blokken is weergegeven in Figuur 16. De uitvoer uit het ontwikkelingsblok in periode  $t$  (de bedrijfskenmerken) is invoer in het produktieblok in de volgende periode  $t + 1$ . Hier wordt de omvang van de produktie en van de input in het produktieproces gegenereerd. Dit is invoer in het ontwikkelingsblok waar veranderingen in de bedrijfskenmerken gegenereerd worden. Waarna de procedure wordt herhaald.

#### 4.2.4. Het produktieblok

De doelstelling van het produktieblok is het genereren van de produktie op de bedrijven in het gebied rekening houdend met:

- verschillen tussen de bedrijven in bedrijfstype, in bedrijfsomvang, in bedrijfsvoering en in de beschikbaarheid van bepaalde specifieke kapitaalgoederen (b.v. beregeningsinstallatie).
- fysische omstandigheden. Dit betreft het bodemtype en de hydrologische omstandigheden (b.v. beschikbaarheid van grondwater voor beregening).
- beïnvloeding door andere gebruikers via het hydrologische systeem. Dit betreft bijvoorbeeld de verminderde beschikbaarheid van grondwater ten gevolge van een onttrekking elders.
- door het beleid uitgevaardigde maatregelen.

Hieruit kan worden afgeleid dat de opbrengst van de gewassen beïnvloed wordt door bodemtype, (kunst)mestgiften, de beschikbaarheid van water, en door de bedrijfsvoering. Dit is weergegeven in het linker deel van Figuur 16.

#### **Produktie modellen**

Voor een aantal gewassen zijn produktiemodellen geformuleerd die de fysieke

---

opbrengst bepalen als functie van de factoren: beschikbaarheid van water, mestgiften, bedrijfsvoering, bodemtype en weersomstandigheden. Deze modellen worden besproken in de Paragrafen 4.4 en 4.5.

#### **Produktiefuncties technologieën**

De produktiefuncties voor de grondgebonden technologieën beschrijven de fysieke omvang van de produktie en van de input in het produktie proces, per oppervlakte eenheid. Deze produktiefuncties, die per deelgebied kunnen verschillen, zijn gebaseerd op produktiemodellen. De produktiefuncties voor de niet-grondgebonden technologieën zijn gebaseerd op elders ontwikkelde produktiemodellen.

#### **Kenmerken representatieve bedrijven**

De representatieve bedrijven worden beschreven door de omvang van de aanwezige technologieën, de beschikbaarheid van bepaalde kapitaalgoederen, de beschikbare arbeid en door de bedrijfsvoering (b.v. via de verwerking van een mestoverschot). Deze grootheden worden herleid tot een beperkt aantal kengetallen per produktierichting. Mogelijke kengetallen zijn de omvang van de produktierichtingen, de veedichtheid per ha, de beschikbare arbeid per ha en de beschikbaarheid van bepaalde machines of werktuigen. Eventuele veranderingen in de kenmerken van de representatieve bedrijven worden buiten het model bepaald.

#### **De produktie op de representatieve bedrijven**

De omvang van de produktie op de representatieve bedrijven wordt bepaald door vermenigvuldiging van de omvang van de technologieën met de fysieke produktie per eenheid. Door sommering wordt de (fysieke) produktie per produktierichting bepaald. Gelijk met de produktie wordt de (fysieke) omvang van factor (arbeid en kapitaal) en non-factor input bepaald. Vervolgens wordt geverifieerd of de mestbalans in evenwicht is. De mestbalans bestaat uit de aangevoerde en de geproduceerde hoeveelheden mest (per mestsoort) aan de ene kant en uit de afgevoerde en de verbruikte hoeveelheden mest aan de andere kant. Het verbruik omvat de mestgiften en het verbruik in (mestverwerkende) technologieën.

#### **Kenmerken afzonderlijke bedrijven**

Er bestaat een grote variatie in produktie (omvang en samenstelling) tussen

---

de tot een bedrijfstype behorende bedrijven. Enkele belangrijke factoren zijn:

- bedrijfsomvang (zowel oppervlakte als omvang veestapel);
- verkaveling en ontsluiting;
- bodemgesteldheid en beschikbaarheid van water;
- non-factor input (o.a. mestgiften);
- beschikbaarheid (en kwaliteit) van arbeid;
- beschikbaarheid (en kwaliteit) van bepaalde kapitaalgoederen;
- kwaliteit en doelstelling van de bedrijfsvoering.

Sommige factoren zijn direkt opgenomen als bedrijfskenmerk, andere zijn indirect (b.v. via een verhoudingsgetal) opgenomen.

#### **Produktie afzonderlijke bedrijven**

Verschillen in kenmerken tussen het bedrijf en het (corresponderende) representatieve bedrijf worden vertaald in verschillen in de produktieomvang (per produktierichting). Gelijk met de produktie wordt de omvang van de input in het produktieproces gegeneerd. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van eenvoudige lineaire relaties of van gecompliceerde niet-lineaire relaties. Op deze wijze wordt de variatie in de omvang van de produktie in het model ingevoerd (al dan niet stochastisch). Nadat de omvang van de produktie op de bedrijven bepaald is moet worden geverifieerd of dit gerealiseerd kan worden. De gegeneerde beregeningsgiften, de mestgiften en de vereiste beschikbaarheid van water worden ingevoerd in het hydrologisch systeem. Uit de confrontatie met de aanspraken door andere gebruikers blijkt of herziening vereist is. Tevens kan geverifieerd worden of de aangevoerde hoeveelheden mest niet strijdig zijn met de gestelde voorwaarden.

#### **4.2.5. Het ontwikkelingsblok**

Het doel van het ontwikkelingsblok is het genereren van veranderingen in de kenmerken van de afzonderlijke bedrijven in een gebied gedurende een bepaalde periode, rekening houdend met:

- de kenmerken van de bedrijven in de voorgaande periode;
- de omvang van de door de bedrijven gerealiseerde produktie en van de in het produktieproces gebruikte factor en non-factor inputs;

- de maatregelen die door de (regionale) overheid zijn uitgevaardigd met betrekking tot het waterbeheer;
- de (exogeen bepaalde) economische en demografische ontwikkeling. Dit betreft onder andere de ontwikkeling van de prijzen van de produkten.

De lengte van de periode kan een of meer (b.v. 5) jaar zijn. Er wordt verondersteld dat de kenmerken van de bedrijven gedurende deze periode niet veranderen. De lengte van de periode kan zodanig gekozen worden dat verondersteld mag worden dat het tijdstip waarop een beslissing wordt genomen en het tijdstip waarop deze beslissing wordt uitgevoerd binnen een periode vallen.

Het ontwikkelingsblok is weergegeven in Figuur 16. Het bestaat uit een aantal aan elkaar gekoppelde submodellen die voor elk van de bedrijven doorlopen worden (het ontwikkelingsmodel) en een grondmarktmodel. Het grondmarktmodel is de schakel tussen de afzonderlijke bedrijven. Het is de plaats waar de vraag naar grond en het aanbod van grond samen komen. Het aanbod van grond is voor een groot deel afkomstig van bedrijven die beëindigd worden. De vraag naar grond komt van groeiende bedrijven en van, in het grondmarktmodel gegenereerde, nieuwe bedrijven.

In het ontwikkelingsmodel worden veranderingen in de kenmerken van de bedrijven gegenereerd. In het navolgende wordt de aard van de hierbij van belang zijnde processen beschreven. Hierbij wordt niet ingegaan op de kwantitatieve invulling van de modellen. De invulling hangt ondermeer samen met de vraagstelling en met de beschikbaarheid van gegevens.

#### **Inkomen, consumptie, belasting en besparingen**

Belangrijke variabelen bij de berekening van het inkomen zijn de fysieke omvang van de produktie en van de factor en non-factor input in het productieproces. De fysieke grootheden worden in het productieblok bepaald, de prijzen exogeen. Andere factoren die een rol kunnen spelen zijn inkomsten van buiten het bedrijf (b.v. subsidies) en de vermogenspositie (incl. schulden).

Over het inkomen wordt belasting betaald. Het inkomen na belastingen wordt gebruikt voor consumptie door het bedrijfshoofd en zijn gezin en voor besparingen. Deze grootheden zijn onder andere afhankelijk van de hoogte van het inkomen en van de consumptie in het verleden (gewinning).



---

### **Bedrijfsbeëindiging, verandering van bedrijfstype en specifieke investeringen**

Deze beslissingen worden grotendeels door dezelfde factoren beïnvloed. Daarnaast is de persoonlijke voorkeur van het bedrijfshoofd van belang. Enkele belangrijke factoren zijn:

- bedrijfsomvang (zowel oppervlakte als omvang veestapel);
- vermogenspositie van het bedrijf;
- het op het bedrijf verdiende inkomen;
- leeftijd van het bedrijfshoofd en opvolgingssituatie;
- toekomstverwachtingen met betrekking tot het inkomen uit het bedrijf en het inkomen dat buiten het bedrijf verdient kan worden;
- mogelijkheid tot het aankopen van grond.

Voor elk van de beslissingen moet een uitkomst gegenereerd worden. Dit kan onder andere via eenvoudige beslisregels of door aselechte trekking gebeuren.

Het beëindigen van het bedrijf kan het gevolg zijn van een beslissing of van het overlijden van het bedrijfshoofd. De uitkomst van de beslissing, het overlijden van het bedrijfshoofd en de opvolgingssituatie worden in dit (sub)model gegenereerd. De grond van de bedrijven die beëindigd worden gaat naar de grondmarkt.

Het model kan onder andere worden gebruikt bij het analyseren van maatregelen die de overgang naar een volledig ander bedrijfstype (b.v. overgang van varkenshouderij naar glastuinbouw) stimuleren. Dit is de reden dat de overgang naar een ander bedrijfstype als afzonderlijke beslissing is opgenomen. Remmende factoren hierbij zijn:

- het vermogen dat is geïnvesteerd in kapitaalgoederen die na een eventuele overgang naar een ander bedrijfstype niet gebruikt kunnen worden;
- de opleiding en ervaring van het bedrijfshoofd. Ieder bedrijfstype vereist aparte kennis (en vaardigheden) en het verwerven van deze kennis vergt tijd (en moeite).

Het doen van specifieke investeringen is in het model opgenomen om het effect van bepaalde maatregelen te kunnen analyseren (b.v. de aanschaf van beregeningsinstallaties als de wateraanvoercapaciteit verhoogd is).

### **Investeringsen**

De gegenereerde beslissingen leiden in veel gevallen tot investeringen. Naast deze investeringen zijn er vervangings- en uitbreidingsinvesteringen. Deze beide categorieën investeringen worden in dit (sub)model gegenereerd. Tevens wordt hier de vraag naar grond bepaald. Dit resulteert in de vraag naar fondsen voor de financiering van de investeringen. Confrontatie van deze vraag met de beschikbare fondsen kan resulteren in uitstel van een of meer investeringen.

### **Bedrijfskenmerken**

De laatste fase in het ontwikkelingsmodel betreft de herziening van de bedrijfskenmerken. Tengevolge van de gegenereerde beslissingen kunnen een of meer bedrijfskenmerken veranderd zijn. Dit wordt hier geverifieerd en de veranderingen worden aangebracht.

## **4.3. EFFECTEN VAN GRONDWATERSTANDSDALINGEN OP NATUURLIJKE VEGETATIES: MODEL SWAFLO**

### **4.3.1. Inleiding**

De belangrijkste differentiërende factor voor de ontwikkeling van bodem en vegetatie op regionale schaal is de topografie (KEMMERS, 1986). Hoogteverschillen vormen immers de drijvende kracht achter grondwaterstromingen, infiltratie en kwelverschijnselen in het landschap. Hierdoor ontstaat een zekere afwisseling tussen droge en natte zones welke ten grondslag liggen aan de macroöcologische patronen in het landschap.

In het ecohydrologisch onderzoek van de laatste jaren (VAN WIRDUM, 1981; KEMMERS en JANSEN, 1985a,b; GROOTJANS, 1985) wordt niet alleen gewezen op het directe belang van de kwantitatieve waterhuishouding voor de vochtvoorziening maar vooral ook op het indirecte belang van de kwantitatieve en de kwalitatieve waterhuishouding op processen in de bodem waarbij voedingsstoffen voor de vegetatie beschikbaar komen.

De beschikbaarheid van de milieufactoren vocht, stikstof, fosfaat en zuurstof op de groeiplaats van een vegetatie worden in deze studie beschouwd als de belangrijkste fysiologische factoren voor de groei van planten. Veranderingen in die beschikbaarheid als gevolg van een waterhuis-

houdkundige ingreep moeten worden gekwantificeerd om de gevolgen van grondwaterstands dalingen op natuurlijke vegetaties aan te kunnen geven. Door REYNEN en WIERTZ (1984) is in dit verband het WAFLO model ontwikkeld. In dat model worden de genoemde milieufactoren door middel van indicatiegetallen aan plantensoorten gekoppeld. Hiervoor zijn beslisregels geformuleerd die aangeven hoe de milieufactoren veranderen als gevolg van een bepaalde grondwaterstands daling en welke reactie van de planten daarbij optreedt. Het model veronderstelt dat een plantensoort verdwijnt zodra door een ingreep een milieufactor niet meer in overeenstemming is met het indicatiegetal dat aan de betreffende plantensoort is toegekend.

Het WAFLO model maakt geen onderscheid in het tijdstip waarop een grondwaterstands daling optreedt. Een ingreep in de waterhuishouding wordt verondersteld in de zomer eenzelfde verlaging op te leveren als in de winter. Voor de studie in het peergebied is het WAFLO model zodanig bijgesteld dat ook ingrepen in de waterhuishouding kunnen worden geëvalueerd die in de winter een andere verlaging veroorzaken dan in de zomer. Vanwege dit verschil in de tijd is voor de berekening van de vochtleverantie voor de evapotranspiratie gebruik gemaakt van het niet-stationaire model SWATRE (BELMANS ET AL., 1981). Door het inbouwen van resultaten uit SWATRE in WAFLO is het SWAFLO model ontstaan (KEMMERS en JANSEN, 1985c).

Het SWAFLO model bestaat uit vier submodellen die elk de reactie van plantensoorten op een van de vier veranderende milieufactoren na een waterhuishoudkundige ingreep beschrijven. In de volgende paragrafen is een samenvatting van dit model gegeven. Een volledige beschrijving is opgenomen in het desbetreffende deelrapport van deze studie.

#### 4.3.2. Milieufactoren

De milieufactoren vocht, zuurstof, stikstof en fosfaat zijn vanuit de kwantitatieve en kwalitatieve waterhuishouding nader bestudeerd. Schematisch is dit weergegeven in Figuur 17.

Via het kwantitatieve aspect van de waterhuishouding is het bodemvochtgehalte van invloed op de aëratie, de temperatuur en de redoxtoestand van de bodem. Deze parameters sturen de mineralisatie van organisch materiaal en daarmee de beschikbaarheid van minerale stikstof en fosfaat voor natuurlijke vegetaties. De redoxtoestand beïnvloedt de zuurgraad (pH) die op haar beurt invloed heeft op het mineralisatieproces en op de mobiliteit van Fe-

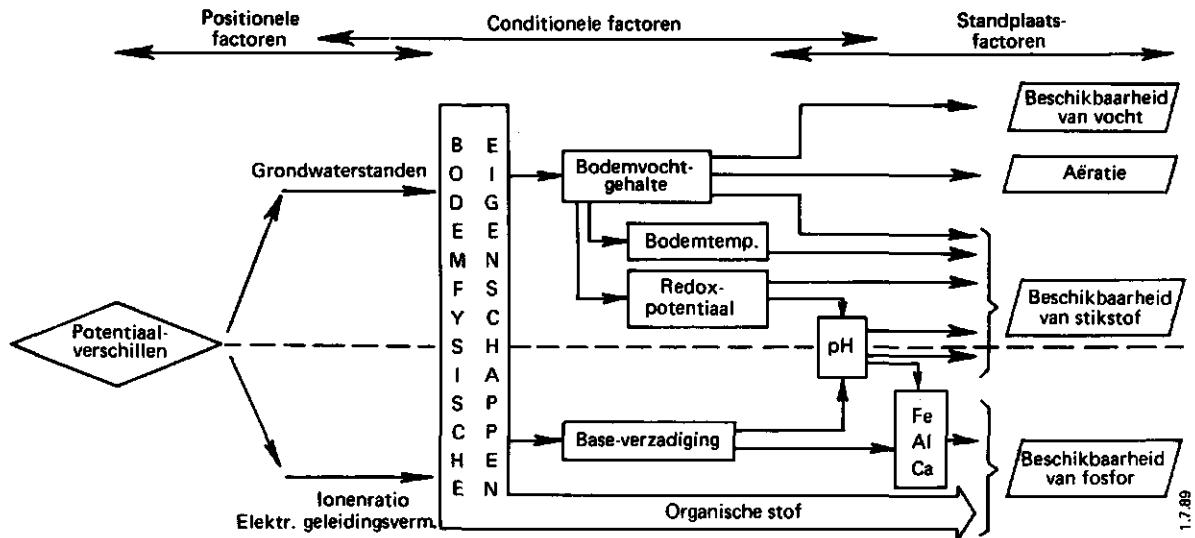


Fig. 17. Schema van de belangrijkste factoren en hun onderlinge relatie die invloed hebben op de ontwikkeling van de natuurlijke vegetaties en beïnvloed worden door de kwantitatieve en kwalitatieve waterhuishouding

en Al-ionen. Fe- en Al-ionen kunnen meer of minder oplosbare verbindingen vormen met fosfaat, waardoor de beschikbaarheid van deze voedingsstof kan worden beperkt.

Via de kwalitatieve waterhuishouding speelt het Ca-ion een belangrijke rol bij de fosfaathuishouding van natuurlijke vegetaties onder natte omstandigheden. Als gevolg van geohydrochemische processen wordt het grondwater tijdens de stroming door watervoerende lagen verrijkt met voornamelijk calcium- en bicarbonaat ionen. Dergelijk verrijkt grondwater wordt lithogeen water genoemd. In gebieden waar dit grondwater opkwelt, vindt op deze wijze een belangrijke aanvoer van Ca-ionen naar de wortelzone plaats. Het gevolg is een hoge Ca-bezetting van het adsorptiecomplex in de wortelzone en zuurgraad neutrale waarden. De protonenneutralisatiecapaciteit van de bodem in dergelijke milieus is groot, met als gevolg een zeer stabiele zuurgraad. De beschikbaarheid van fosfaat wordt in een dergelijke situatie in belangrijke mate gereduceerd door de vorming van slecht oplosbare calciumfosfaatmineralen. Door de stabiliteit van de zuurgraad is de beschikbaarheid van fosfaat op een laag eveneens stabiel niveau gelegen. Deze stabiliteit wordt wel in verband gebracht met het begrip milieudynamiek.

In relatie tot de reacties van natuurlijke vegetaties op waterhuishoudkundige veranderingen zijn de volgende aspecten van de genoemde milieufactoren van belang.

### **Milieudynamiek**

Hoewel dit begrip fysisch nog niet goed is te omschrijven wordt het wel gehanteerd bij sociaal-economische studies welke gebaseerd zijn op ecologische modellen (VAN DER MAAREL en DAUVELLIER, 1978). In het algemeen wordt met deze factor de stabiliteit van de standplaats beschreven. De milieudynamiek is laag als de stabiliteit van de standplaats groot is. Meer in het bijzonder wordt met deze factor aangegeven in welke mate de standplaats gebufferd is tegen fluctuaties in het aanbod van fosfaat. Als zodanig wordt milieudynamiek bepaald door een complex relatiestelsel tussen redoxprocessen, zuurgraad en Ca-gehalten op grond waarvan de beschikbaarheid van fosfaat wordt gecontroleerd. Dit stelsel is zeer gevoelig voor veranderingen in het hydrologisch regime van een standplaats.

### **Stikstofleverantie**

Verlaging van de grondwaterstand in natte milieus zal leiden tot een vergroting van het aanbod aan minerale stikstof. Een betere aëratie en een verhoogde bodemtemperatuur liggen hieraan ten grondslag. Een belangrijke factor hierbij is de hoeveelheid koolstof en organische stikstof en de verhouding tussen deze stoffen.

### **Aëratie**

De zuurstofvoorziening van de bodem is niet alleen van invloed op de redoxtoestand maar is ook direct van belang voor de wortelademhaling van planten. Plantensoorten die in staat zijn onder zuurstofloze omstandigheden in de bodem te groeien door luchtkanalen in hun wortelstelsel worden geremd in hun groei bij een toenemende aëratie. De versterkte concurrentie van plantensoorten die zijn aangepast aan zuurstofhoudende omstandigheden in de bodem ligt hieraan ten grondslag.

### **Vochtleverantie**

Een verlaging van de grondwaterstand kan leiden tot een vochttekort voor de verdamping van de vegetatie. Bodemfysische eigenschappen als textuur en organische stofgehalte zijn daarbij van belang.

### 4.3.3. Koppeling milieufactoren en plantensoorten; dosis-effect relaties

Relaties tussen reacties van planten en veranderende hydrologische condities zijn nog onvoldoende fysisch gekwantificeerd om als basis voor een dosis-effect model te kunnen gebruiken. Wel zijn er pogingen daartoe door verschillende onderzoekers ondernomen. ELLENBERG (1974) heeft aan de meeste noord-west Europese plantensoorten getallen toegekend die een indicatie geven onder welke vocht en stikstofcondities optimale groei voor de betreffende soort plaatsvindt. Hij introduceerde een negendelige ordinale schaal voor stikstofgetallen. Het laagste getal heeft betrekking op stikstofarme en het hoogste getal op stikstofrijke omstandigheden. Op analoge wijze ontwierp hij een twaalfdelige schaal voor vochtgetallen. Een geringe vochtleverantie wordt aangegeven door een laag vochtindicatie getal. Het hoogste vochtindicatie getal wijst op geïnundeerde omstandigheden. LONDO (1975) maakte in zijn freatofytenlijst onderscheid tussen plantensoorten die al dan niet gebonden zijn aan een standplaats met een lage milieudynamiek.

Nu de plantensoorten zijn gekoppeld aan de vier grondwaterafhankelijke milieufactoren kunnen de reacties van de planten na een ingreep worden beschreven in de vorm van dosis-effect relaties. De dosis wordt afzonderlijk betrokken op de situatie aan het begin van de zomer (grondwaterstand  $h_s$ ) en aan het begin van de winter (grondwaterstand  $h_w$ ).

#### Milieudynamiek

De reactie van plantensoorten op een verandering in milieudynamiek is gegeven in Tabel 19. Verondersteld wordt dat een plant die gebonden is aan een lage milieudynamiek (LONDO, 1975) zal verdwijnen zodra er ook maar enige verandering in de grondwaterstand optreedt. Als randvoorwaarde geldt daarbij dat de grondwaterstand in de uitgangssituatie aan het begin van de zomer ( $h_{s0}$ ) niet lager mag zijn dan 80 cm-mv en aan het begin van de winter ( $h_{w0}$ ) niet lager mag zijn dan 120 cm-mv.

#### Stikstofleverantie

De reactie van plantensoorten op een verhoogd stikstofaanbod als gevolg van een grondwaterstandsval is weergegeven in Tabel 20. Door de Stichting voor de Bodemkartering is aangegeven welke grondwaterafhankelijke bodemtypen een toename van de stikstofmineralisatie geven na een grondwater-

Tabel 19. Dosis-effect relatie voor de invloed van een ingreep in de waterhuishouding op de milieudynamiek afhankelijk van de begingrondwaterstand;  $dh_s$  en  $dh_w$  geven de verandering aan van de grondwaterstand aan het begin van de zomer respectievelijk winter.  $h_{s0}$  en  $h_{w0}$  zijn grondwaterstanden in de uitgangssituatie

Dosis	Randvoorwaarde	Effect
$dh_s > 0$	$h_{s0} < 80$ cm-mv	gevoelige soorten
$dh_w > 0$	$h_{w0} < 120$ cm-mv	verdwijnen

Tabel 20. Dosis-effect relaties voor de invloed van een ingreep in de waterhuishouding op de stikstofleverantie afhankelijk van het bodemtype;  $dh_s$  en  $dh_w$  wijzen op de verandering in de grondwaterstand aan het begin van de zomer respectievelijk winter.  
N = stikstofindicatiegetal; H = vochtindicatiegetal

Dosis	Randvoorwaarde	Effect
$dh_s \geq 10$ cm	bodemtype	soorten met N = 1, 2, 3 en H > 6
$dh_w \geq 10$ cm	bodemtype	verdwijnen

standsdaling. Hierbij wordt verondersteld dat in de aangegeven gronden een matige toename in de stikstofleverantie optreedt als er een grondwaterstandsdaling plaatsvindt die groter is dan 10 cm. Als reactie hierop zullen plantensoorten verdwijnen met een stikstofindicatiegetal 1, 2 en 3 die tegelijkertijd een vochtindicatiegetal groter dan 6 hebben (REYNEN ET AL. 1981).

### Aëratie

De reactie van planten op een versterkte aëratie als gevolg van een grondwaterstandsdaling is gegeven in Tabel 21. Verondersteld is dat aëratie alleen van belang is aan het begin van de zomer, zodat de grondwaterstand aan het begin van de zomer gekozen is als een maat voor de aëratie. De grondwaterstand wordt daarbij beschouwd als een randvoorwaarde welke bij overschrijding een zeker effect oproept. De aanpassing van soorten aan de veranderende zuurstofvoorziening in de bodem is gebaseerd op onderzoek van GREMMEN (1984a), waarbij een koppeling is gelegd met vochtindicatiegetallen.

Tabel 21. Dosis-effect relaties voor de invloed van een ingreep in de waterhuishouding op de aëratie van de bodem;  $h_s$  heeft betrekking op de grondwaterstand aan het begin van de zomer;  $dh_s$  geeft een verandering aan.  $H$  = vochtindicatiegetal

Dosis	Randvoorwaarde	Effect
Elke $dh_s$ waardoor de randvoorwaarde wordt onderschreden	$h_s > 30$ cm-mv	plantensoorten met: $H \geq 10$
	$h_s > 0$ cm-mv	$H \geq 9$
	$h_s > 60$ cm-mv	$H \geq 8$
	$h_s > 70$ cm-mv	$H \geq 7$ verdwijnen

Plantensoorten met een vochtindicatiegetal groter of gelijk aan 10 (vochtige omstandigheden) zullen verdwijnen zodra de grondwaterstand zakt beneden 30 cm-mv. Op vergelijkbare wijze verdwijnen soorten met een vochtindicatiegetal 9, 8 of 7 indien de grondwaterstand daalt tot onder respectievelijk 50, 60, of 70 cm-mv.

#### Vochtleverantie

De relatieve produktie van een kruidachtige vegetatie kan worden beschouwd als een maat voor de beschikbaarheid van vocht voor de evapotranspiratie. Het gemiddelde vochtindicatiegetal van de samenstellende soorten wordt door REYNEN ET AL. (1981). beschouwd als een afspiegeling van de relatieve produktie van een vegetatie.

In deze studie is de verhouding tussen de actuele en de potentiële evapotranspiratie van grasland gebruikt als een maat voor de relatieve produktie van een kruidachtige vegetatie. Deze verhouding is gekoppeld aan de vochtindicatiegetallen. In Tabel 22 is de relatie tussen een verminderde vochtleverantie als gevolg van een ingreep en de reactie van plantensoorten weergegeven. Hiervoor is met het SWATRE-model de verhouding tussen actuele en potentiële evapotranspiratie berekend in afhankelijkheid van grondwaterstanden aan het begin van de zomer en de winter (JANSEN, 1983). Deze berekeningen werden uitgevoerd met weersgegevens van een 10% 'droog' jaar. Hierdoor wordt impliciet verondersteld dat het gemiddelde vochtindicatiegetal van een natuurlijke vegetatie wordt bepaald door weerssituaties die eens in de 10 jaar voorkomen. De vegetatiesamenstelling is derhalve niet gevoelig voor situaties die met een grotere frequentie voorkomen.



Tabel 22. Dosis-effect relaties voor de invloed van een ingreep in de waterhuishouding op de vochtleverantie;  $dh_s$  en  $dh_w$  hebben betrekking op een verandering van de grondwaterstand aan het begin van de zomer respectievelijk winter; H = vochtindicatiegetal

Dosis	Randvoorwaarde		Effect
	$E_{act}/E_{pot}$	rel. produktie	
elke $dh_s$ of $dh_w$ waardoor de randvoorwaarde wordt onderschreden	< 1,0	< 0,99	plantensoorten met: H ≥ 10
	< 0,975	< 0,95	H ≥ 9
	< 0,95	< 0,90	H ≥ 8
	< 0,89	< 0,80	H ≥ 7
	< 0,83	< 0,70	H ≥ 6
	< 0,71	< 0,50	H ≥ 5
	< 0,55	< 0,30	H ≥ 4 verdwijnen

#### 4.3.4. Waardering van effecten

In zijn algemeenheid zal verstoring van een natuurlijk milieu ruimte bieden aan meer algemene soorten met een brede ecologische amplitudo. Door hun algemeenheid zijn deze soorten minder waardevol voor het natuurbehoud. Verlaging van grondwaterstanden zal daarom in de meeste gevallen leiden tot minder waardevolle vegetaties. Verondersteld is dat de vegetatie zijn waarde ontleend aan de zeldzaamheid van de samenstellende soorten. De zeldzaamheid van de soorten is gebaseerd op hun frequentie van voorkomen in een landelijk stelsel van vierkante hokken ( $5 \times 5 \text{ km}^2$ ). Er zijn 9 frequentie-klassen onderscheiden (ARNOLDS en VAN DER MEYDEN, 1975). Het zeldzaamheidsgetal  $z(i)$  van een soort is gebaseerd op de frequentieklasse waarin de soort voorkomt (KEMMERS en JANSEN, 1985b). De waarde V van een vegetatietype is berekend volgens:

$$V = \sum_{i=1}^n z(i) \cdot a(i)$$

---

waarin: V = natuurwaarde  
z = zeldzaamheidsgetal  
a = frequentie van voorkomen  
i = teller voor de soort  
n = aantal soorten

Daling van de grondwaterstand leidt volgens de geformuleerde dosis-effect relaties tot het verdwijnen van soorten. Bij het verdwijnen van een soort verdwijnt tevens de bijdrage van die soort aan de waarde van de vegetatie. De daling van de waarde van de vegetatie wordt vervolgens procentueel weergegeven.

#### 4.3.5. Opmerkingen

Het gepresenteerde SWAFLO-model is in fysisch opzicht gegeven de huidige kennis zwak onderbouwd. Een aantal submodellen is in dit opzicht voor verbetering vatbaar. Ook de koppeling van de reactie van plantensoorten aan veranderende abiotische omstandigheden moet nog verder worden onderzocht.

Toetsing van de modeluitkomsten is vooralsnog niet mogelijk. In een ander kader concludeerde GREMMEN (1984b) dat het door hem ontwikkelde WAFLO model niet getoetst kan worden aan de huidige vegetatiesamenstelling omdat referentiesituaties uit het verleden onvoldoende aanwezig zijn. Een ander probleem is dat veranderingen in het hydrologisch regime vrijwel altijd gepaard gaan met niet-hydrologische milieuveranderingen waar planten ook op reageren. Dit probleem kan slechts worden omzeild door modellen als SWAFLO en WAFLO te gebruiken voor het evalueren van alternatieven van ingrepen of scenario's.

### 4.4. HET REGIONAAL HYDROLOGISCH MODEL SIMGRO

#### 4.4.1. Inleiding

Waterhuishoudkundige ingrepen als grondwaterwinning, beregening, aanvoer van oppervlaktewater, peilveranderingen, en andere hebben invloed op hun omgeving, resulterend in veranderingen van grondwaterstanden. De grootte ervan wordt bepaald door de intensiteit van de ingreep en de fysische

eigenschappen van het gebied waar de ingreep plaats vindt. Voor het kwantificeren van de effecten van deze ingrepen is het regionale hydrologische model SIMGRO ontwikkeld die de waterbeweging in de verzadigde zone, de onverzadigde zone en het oppervlaktewater simuleert. Hiervoor is het bestaande grondwatermodel FEMSAT (VAN BAKEL, 1978 en QUERNER, 1984) uitgebreid met submodellen voor de onverzadigde zone en voor het oppervlaktewater. Deelrapport I geeft een volledige beschrijving van dit model en er is een gebruikershandleiding beschikbaar (QUERNER, 1988). In verband met deze modellering is het studiegebied op basis van de bodemfysische eigenschappen en de meest voorkomende grondwatertrappen opgedeeld in 31 subgebieden (SMIDT, 1983).

Per subgebied zijn vier hoofdgroepen van bodemgebruik onderscheiden: landbouw, stedelijk gebied, natuur en bos. Het landbouwkundig bodemgebruik is opgedeeld in een aantal technologieën (vergelijk Par. 4.2.2.). De verschillende bodemgebruiksvormen liggen in de praktijk over een subgebied verspreid. In het model wordt de oppervlakte van een technologie behandeld als een percentage van de totale subgebiedsoppervlakte. De produktieniveaus per technologie kunnen, afhankelijk van de water- en meststoffenvoorziening, sterk uiteen lopen. Om deze reden is elke agrarische technologie onderverdeeld in subtechnologieën met elk een specifiek produktieniveau. De stedelijke bebouwing is opgesplitst in een percentage verhard oppervlak en een rest, die in het model als grasland wordt behandeld. De neerslag op de verharde oppervlakte wordt verondersteld buiten het gebied te worden afgevoerd. Bos wordt afzonderlijk beschouwd omdat de waterhuishouding van bos belangrijk verschilt van die van gras.

Met SIMGRO worden hydrologische parameters berekend, die enerzijds direct worden gebruikt, bijvoorbeeld verandering van grondwaterstanden, anderzijds worden gebruikt als invoer in gewasproductie- of grondwaterkwaliteitsmodellen. Voorbeelden zijn respectievelijk verdamping en fluxen over grensvlakken.

#### 4.4.2. Verzadigde zone in het hydrologische systeem

Voor het beschrijven van de grondwaterbeweging is een schematisatie toegepast in watervoerende en weerstandbiedende lagen volgens het schema in Figuur 18. In een watervoerende laag treedt horizontale stroming op en in een weerstandbiedende laag alleen verticale stroming. Op deze wijze wordt

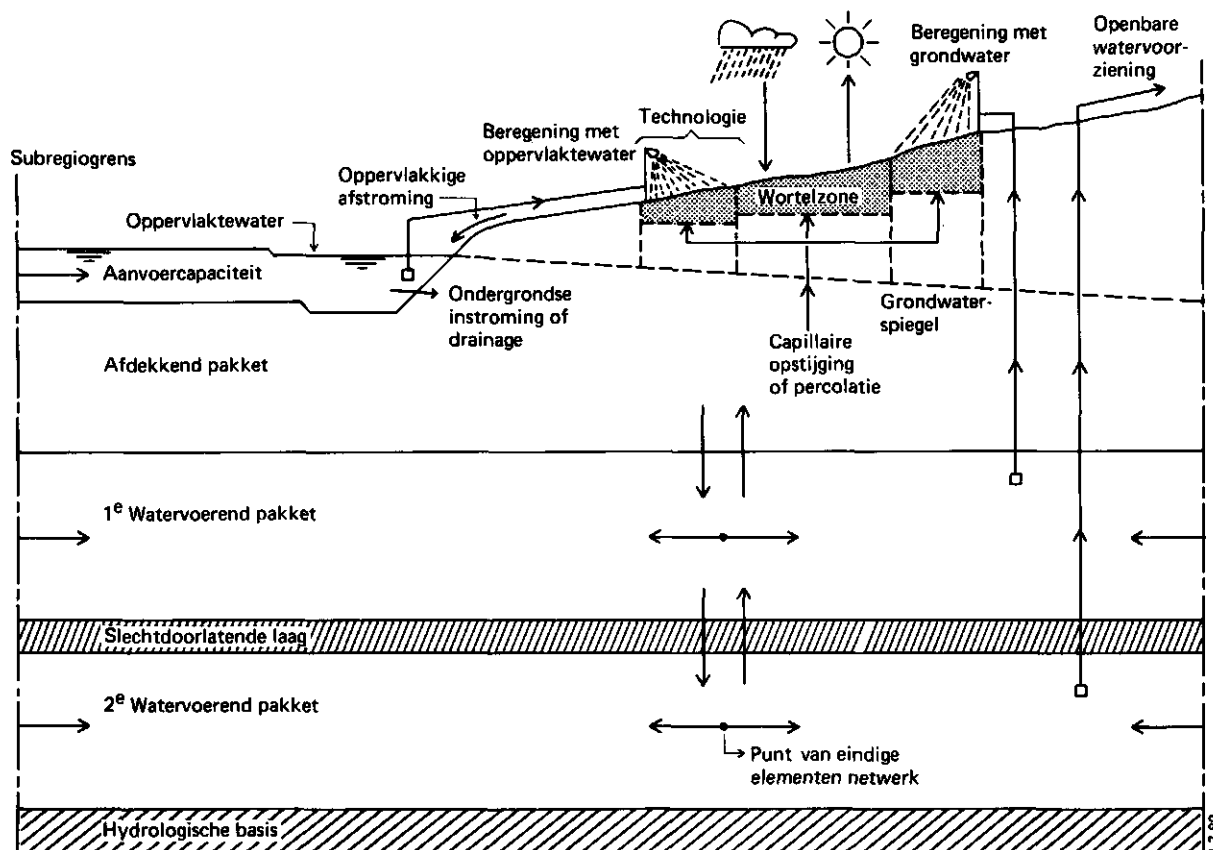


Fig. 18. Schematische weergave van de waterhuishouding in een subgebied volgens de werkwijze in het hydrologische model SIMGRO (technologie is een vorm van landbouwkundig bodemgebruik)

de stroming quasi drie-dimensionaal beschreven. Het studiegebied wordt verder opgedeeld in een aantal eindige elementen met knooppunten. Elk subgebied wordt op deze wijze voorgesteld als een deelverzameling van knooppunten. Met behulp van de wet van Darcy en het continuïteitsprincipe wordt een verandering in stijghoogte over een tijdstap berekend, rekening houdend met de randvoorwaarden. Hierbij wordt een lineair verband verondersteld tussen de stijghoogteverandering en de optredende grondwaterstroming, kwel, drainage, enz. De op deze wijze verkregen vergelijking wordt in het rekenschema opgelost door toepassing van de Crank-Nicholson benadering. Door het wege van de fluxen van opeenvolgende tijdstippen geeft deze vergelijking geen beperkingen aan de te kiezen tijdstap waardoor tijdstappen mogelijk zijn tot 10 dagen.

#### 4.4.3. Onverzadigde zone in het hydrologische systeem

Voor de berekening van het vochttransport in de onverzadigde zone worden twee reservoirs beschouwd, een voor de wortelzone en een voor de ondergrond. Hierbij is de ondergrond gedefinieerd als het profiel tussen wortelzone en freatisch vlak volgens het schema in Figuur 19. De beschouwde wortelzone heeft een berging van vocht die wordt bepaald door zijn dikte en de vocht karakteristiek van het bodemmateriaal; toevoeging of onttrekking hieruit zijn neerslag, beregening, evapotranspiratie, capillaire flux en percolatie. Als de vochtvoorraad behorende bij het evenwichtsprofiel wordt overschreden, zal het overtollige als percolatie naar de ondergrond gaan. Als er minder vocht dan behorende bij het evenwichtsprofiel in de wortelzone aanwezig is, kan er een capillaire flux optreden. Uit de waterbalans van de ondergrond wordt een verandering van de grondwaterstand berekend die afhankelijk is van de freatische bergingscoëfficiënt. Het vochttransport wordt op deze wijze op een pseudo-stationaire wijze benaderd, dat wil zeggen volgens een opeenvolging van stationaire situaties.

Omdat de grondwaterstand per knooppunt verschilt, de actuele en potentiële evapotranspiratie per technologie verschilt en de capillaire flux afhangt van de bodemfysische eigenschappen en de grondwaterstand zou deze modelbenadering moeten worden toegepast per knooppunt en per technologie. Deze werkwijze vereist zeer veel invoergegevens en betekent een zware aanslag op rekentijd en geheugencapaciteit. Daarom is een zodanige vereenvoudiging ingevoerd dat per subgebied en per technologie kan worden gerekend. Omdat de schematisering naar subgebieden is gebaseerd op bodemfysische en hydrologische kenmerken is deze stap geoorloofd. Een en ander

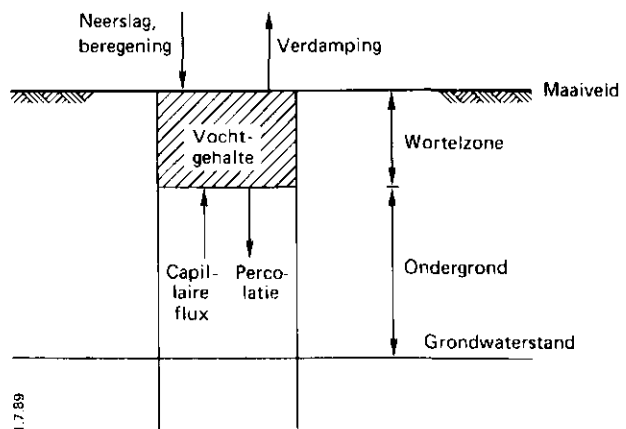


Fig. 19. Schematische weergave van de onverzadigde zone in het hydrologische model SIMGRO

betekent dat per subgebied en per technologie een (reservoir)model wordt toegepast voor het berekenen van bodemvochtgehalte, evapotranspiratie en capillaire flux op basis van gemiddelde hydrologische omstandigheden, met als voorbeeld: de capillaire flux in een subgebied is nu afhankelijk van de gemiddelde grondwaterstand. Neerslag en potentiële verdamping van grasland en bos zijn invoergegevens voor het model en moeten op dagbasis beschikbaar zijn. De potentiële verdamping van andere gewassen wordt afgeleid van die van grasland door vermenigvuldiging met een gewasfactor. De aktuele evapotranspiratie is een funktie van de bodemgebruiksvorm en de vochtvoorraad in de wortelzone. De capillaire flux is afhankelijk van de bodemfysische eenheid, de grondwaterstandsdiepte en de dikte van de wortelzone. De evenwichtsvochtvoorraad van de wortelzone is afhankelijk van dezelfde factoren.

In het model wordt berekend als een vooraf vastgestelde vochtvoorraad in de wortelzone wordt onderschreden. Deze grenswaarde is groter bij een hoger opgelegd produktieniveau. Dit betekent dat het produktieniveau aangeeft bij welke relatieve vochtvoorraad een beregeningsgift wordt gegeven.

Deze modelbenadering voor de onverzadigde zone werd getoetst aan de hand van berekeningen met het model SWATRE (BELMANS ET AL, 1983) waarmee de wortelzone en de ondergrond veel gedetailleerder worden beschreven. Uit een vergelijking van rekenuitkomsten bleek dat de evapotranspiratie berekend met het vereenvoudigde model 3-8% lager ligt; dit wordt mogelijk veroorzaakt door een te laag berekende capillaire flux in het vereenvoudigde model.

#### 4.4.4. Oppervlaktewater

Het oppervlaktewater binnen een subgebied bestaat in werkelijkheid uit een groot aantal leidingen maar wordt in het model beschouwd als een reservoir. De oppervlaktewateren van de subgebieden zijn op deze wijze onderling niet gekoppeld. Er wordt rekening gehouden met aan- of afvoer van water, drainage of infiltratie, oppervlakkige afstroming en onttrekking voor beregening. Een stuwpeil voor de winter- en zomerperiode moet worden opgegeven. Afhankelijk van de grondwaterstand wordt in de zomer het peil opgezet vanuit de winterstand naar de zomerstand. Bij een afvoersituatie zal de waterstand boven het stuwpeil uitkomen afhankelijk van de afvoerrelatie (stuwkromme). In een droge periode met infiltratie en onttrekking voor

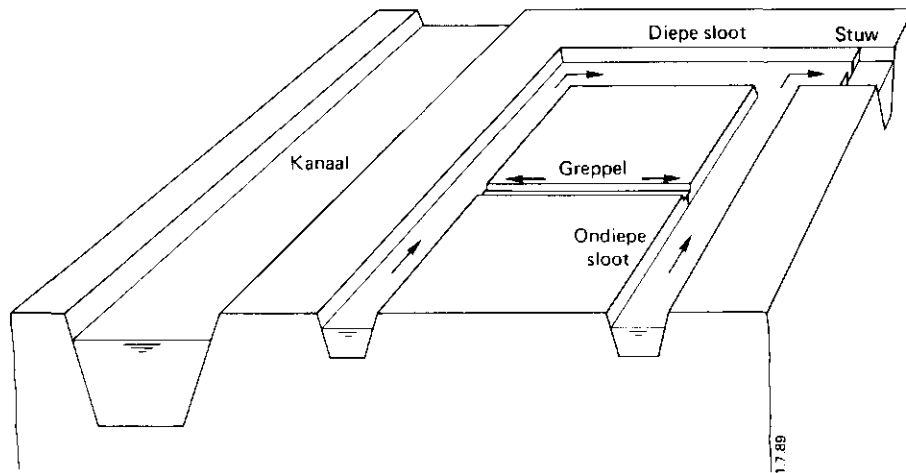


Fig. 20. Schematisering van de drainage naar vier ontwateringsmiddelen: greppels, ondiepe en diepere sloten en kanalen

berekening kan het water onder het stuwpeil zakken als de aanvoer niet voldoende is om het streefpeil te handhaven. Dan wordt rekening gehouden met de bergingscapaciteit van het systeem.

De drainage of infiltratie wordt berekend door per eenheid van oppervlak drie typen ontwateringsmiddelen te onderscheiden, namelijk greppels tot 0,20 m beneden maaiveld; sloten tot gemiddeld 1,00 m diepte en grotere sloten met een gemiddelde diepte van 2,00 m (zie Figuur 20). Voor elk van deze systemen wordt de drainageformule van ERNST (1978) toegepast. Hierbij wordt met behulp van de drainageweerstand en het verschil tussen grondwaterstand en open waterpeil een drainage dan wel een infiltratie berekend. Hierbij is een conversiefactor nodig om te kunnen rekenen met gemiddelde grondwaterstanden in plaats van de stand midden tussen twee waterlopen, waarvoor de drainageformule oorspronkelijk is afgeleid. Voor nog grotere waterlopen die maar plaatselijk voorkomen is de schematisatie afgestemd op de lengte van de kanalen. Deze vier ontwateringsmiddelen worden per knooppunt van het elementennetwerk ofwel per subgebied onderscheiden.

In het model wordt de oppervlakteafvoer berekend als de afvoer naar de greppels waarvan de ontwateringsbasis 0,2 m beneden maaiveld is gelegen. Modelmatig dus analoog aan de drainage via greppels.

#### 4.4.5. Verifikatie

De invoergegevens voor het model uit het studiegebied zijn ontleend aan een

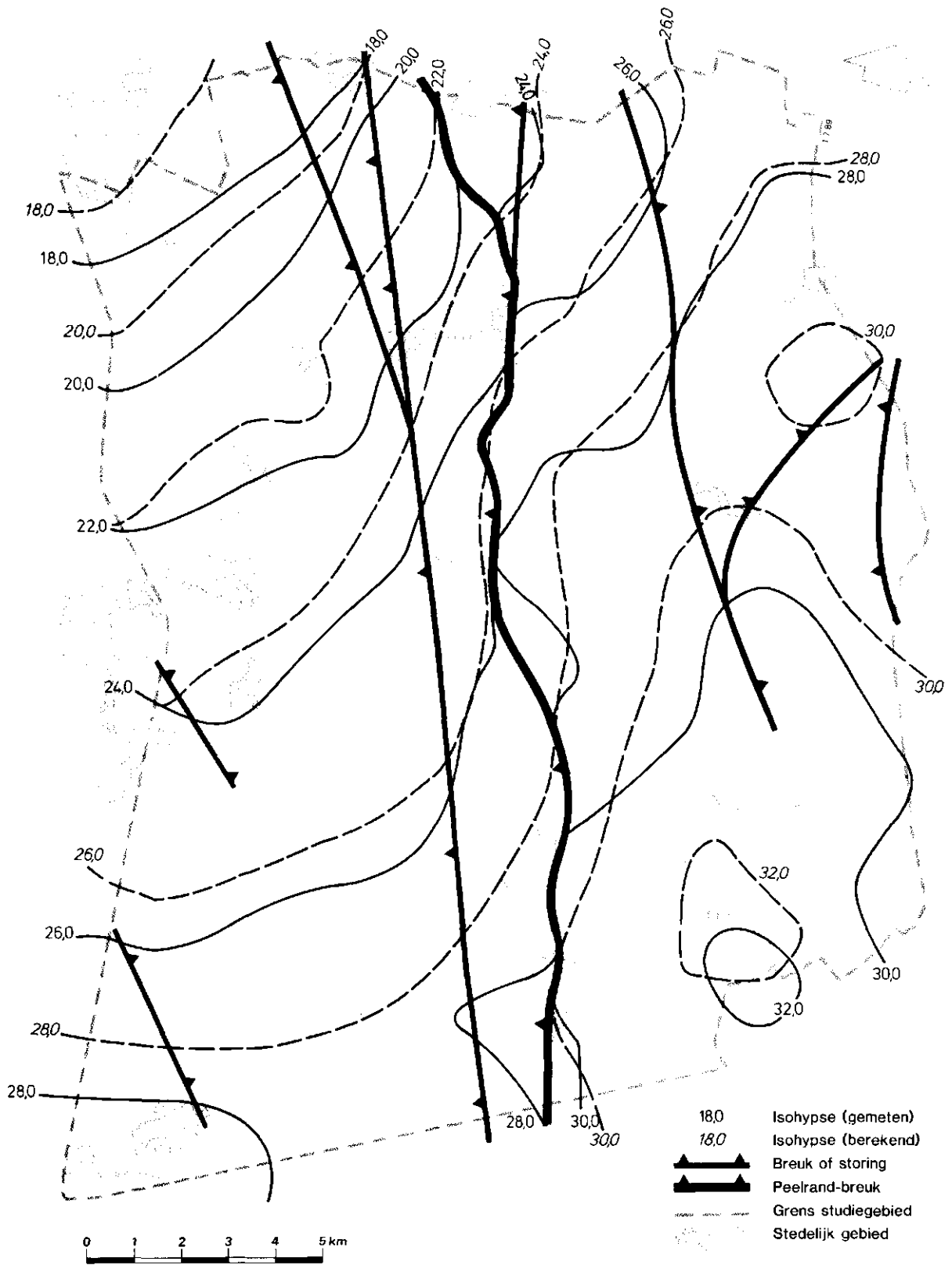
geohydrologisch onderzoek voor de benodigde bodemkonstanten (VAN REES VELLINGA en BROERTJES, 1984) en aan het hydrologisch onderzoek voor een aantal belangrijke randvoorwaarden (WIT, 1986). In het model SIMGRO worden de hydrologische processen zo realistisch mogelijk beschreven, maar beperkingen zijn in het algemeen de grootte van de subgebieden, een tekort aan nauwkeurige invoergegevens en gewenste hoeveelheid rekentijd. Dit beïnvloedt de resultaten tot een zekere mate.

De verificatie is in het studiegebied uitgevoerd door gemeten grondwaterstanden in de tijd te vergelijken met berekende waarden op een achttal punten gedurende een jaar (QUERNER en VAN BAKEL, 1984). Hieruit blijkt dat de berekende waarden in de Slenk redelijk overeenkomen met de gemeten waarden, met afwijkingen van 0,10-0,20 m. In de Horst zijn de verschillen iets groter en lopen uiteen van 0,20-0,50 m. Het berekende isohysenpatroon voor augustus 1982 is vergeleken met het patroon samengesteld op basis van gemeten grondwaterstanden. De berekende waarden vertonen een meer gelijkmatig patroon, omdat de gemeten waarden beïnvloed worden door lokale omstandigheden, zoals ook tot uiting komt in de buurt van de Peelrandbreuk. Hier is het relatief grove netwerk niet voldoende om de gecompliceerdheid van het breukensysteem goed te beschrijven.

Naast deze verificatie is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op enkele parameters van het systeem: de weerstand van het afdekkend pakket, de drainage weerstand, de  $KD$ -waarde van het eerste watervoerende pakket, de capillaire flux, de specifieke berging en de bodemkundige eenheid. De belangrijkste conclusies die uit de resultaten volgen zijn:

- de variatie in grondwaterstand is aan het begin van de zomer groter dan aan het begin van de winter;
- de grondwaterstand aan het begin van de zomer is in belangrijke mate afhankelijk van de drainageweerstand;
- nauwkeurige bodemfysische gegevens zijn van groot belang voor de juiste beschrijving van de hydrologische processen in het zomerhalfjaar;
- veranderingen in de geohydrologische parameters zoals verticale weerstand van het afdekkende pakket of  $KD$ -waarde van het eerste watervoerende pakket hebben nauwelijks invloed op de hoeveelheid beregening, de verdamping of de capillaire flux.





**Fig. 21. Isohypsenpatroon van het eerste watervoerende pakket in augustus 1982 volgens gemeten stijghoogten (getrokken lijn) en uit stijghoogten berekend met het model SIMGRO (gestippelde lijn)**

#### 4.5. HET GEWAS PRODUKTIEMODEL SIMCROP

##### 4.5.1. Inleiding

Voor een goede opbrengst van landbouwgewassen is de watervoorziening van groot belang. Bij veranderingen daarin rijst direct de vraag wat het effect is van deze veranderingen op de produktie en op de geldelijke opbrengsten. Een tekort aan water betekent voor een gewas een vermindering van verdamping en daarmee een teruggang in groei. Van groot belang is hierbij het bemestingsniveau: wordt het gewas optimaal van meststoffen voorzien of wordt de opbrengst verminderd door een tekort of een teveel aan voedingsstoffen. Voor het vaststellen van de effecten van veranderingen in beide groeifactoren zijn relaties opgesteld tussen water- en mestvoorziening en de gewasopbrengsten.

Hierbij is gebruik gemaakt van een door FEDDES, KOWALIK en ZARADNY (1978) ontwikkeld gewasproduktiemodel. Dit model beschrijft de groeisnelheid als een functie van de groeifactor water. De groeisnelheid hangt af van de efficiëntie van het watergebruik (watergebruiksefficiëntiefactor) en van de potentiële groeisnelheid. De laatste is afhankelijk van de invallende straling. Beide parameters zijn bepaald uit veldmetingen over een aantal jaren. Het zou ideaal zijn als voor elk gewas dit modelconcept zou kunnen worden gebruikt, maar tot op heden zijn niet voor alle gewassen voldoende gegevens beschikbaar. In deze studie worden de opbrengsten van de gewassen daarom bepaald op basis van de produktiefunctie voor aardappelen. Hiervoor is het model SIMCROP (Simulation of crop production and calculation of benefits) ontwikkeld. Een samenvatting van het model is gegeven in de Paragrafen 4.5.2 en 4.5.3. Een volledige beschrijving is in Deelrapport 2 gegeven.

##### 4.5.2. Droge-stofopbrengst van aardappelen

De groeisnelheid die maximaal mogelijk is, is op grond van de kennis van de theoretische teeltkunde afgeleid van de maximale bruto fotosynthesesnelheid. Deze opbrengst wordt voor veldomstandigheden vervolgens gecorrigeerd op verliezen als gevolg van onderhoudsademhaling, temperatuur en bodembedekking. De ontwikkeling van een gewas in de tijd varieert van jaar tot jaar afhankelijk van de meteorologische omstandigheden. Voor het elimineren

van deze tijdsfactor wordt een dimensieloos ontwikkelingsstadium geïntroduceerd tussen de opkomst- en de oogstdatum. Uit veldproeven met twee aardappelpelrassen is gebleken dat er een vaste relatie bestaat tussen bodembedekking en ontwikkelingsstadium over de jaren. Deze bodembedekking wordt, op basis van een daarvoor uit veldgegevens afgeleide relatie, omgezet in de oppervlakte bladeren per eenheid van grondoppervlak, ook wel bladoppervlakte-index genoemd.

De drogestofopbrengst wordt dan met de modelbenadering van FEDDES ET AL. (1978) berekend als functie van de maximale watergebruiksefficiëncyfactor, de transpiratiesnelheid, het dampdruktekort, de maximaal mogelijke groeisnelheid en een mathematische flexibiliteitsconstante. Het verband tussen deze verschillende factoren is schematisch weergegeven in Figuur 22. Afhankelijk van de genormaliseerde transpiratie (transpiratie/dampdruktekort) wordt op dagbasis een potentiële dan wel een werkelijke opbrengst berekend. De berekende werkelijke, potentiële of maximaal haalbare opbrengst is steeds voor de totale plant (produkt, wortels en bladeren). Een bepaald percentage, afhankelijk van de ontwikkelingsfase van het gewas, is het oogstbare produkt. Sommatie over het groeiseizoen geeft vervolgens de totale droge-stofopbrengst.

De verdamping is afhankelijk van de vochtvoorraad in de onverzadigde zone, deze wordt met het hydrologische model SIMGRO (Par. 4.4) berekend. Met dit model wordt de totale verdamping (evapotranspiratie) berekend. Voor de berekening van de drogestofopbrengsten moet de verdamping via het blad

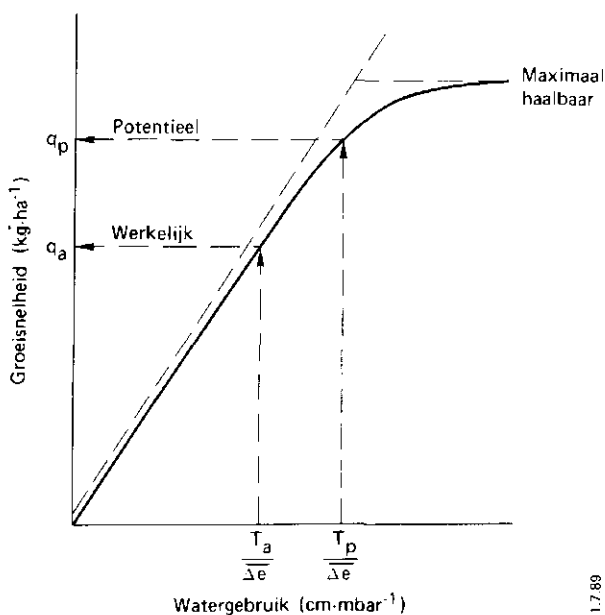


Fig. 22. Verloop van de groeisnelheid  $q$  als functie van de groeifactor water  $\left(\frac{T}{\Delta e}\right)$  beschreven volgens een niet-recht-hoekige hyperbolische functie

bekend zijn. Hiervoor wordt de totale verdamping verdeeld over de verdamping via het blad (transpiratie) en de verdamping van de grond (evaporatie), waarbij de verdeling een functie is van de bladoppervlakte-index.

#### 4.5.3. Opbrengst van andere gewassen

De potentiële opbrengsten van alle voorkomende gewassen wordt berekend door de potentiële opbrengst van aardappelen te vermenigvuldigen met een productiefactor. Deze factor is afgeleid van meerjarige opbrengstcijfers van de verschillende gewassen. De werkelijke opbrengst wordt vervolgens berekend op basis van de relatieve evapotranspiratie tussen opkomst- en oogstdatum. De berekende opbrengsten gelden voor een optimale stikstofbemesting van het gewas. Een reductie in de opbrengst wordt gerelateerd aan de verhouding tussen optimale en toegediende stikstof (zie Figuur 23).

De tot nu toe berekende opbrengsten hebben betrekking op theoretisch haalbare produkties. Als gevolg van ziekten, plagen of minder optimale bedrijfsvoering zijn de opbrengsten in de praktijk lager. Met deze effecten is rekening gehouden door de opbrengsten met een faktor 0,65-0,85 te vermenigvuldigen. Deze factor is afgeleid uit gemeten veldopbrengsten en theoretisch berekende produkties. Voor het studiegebied is op basis van de veldopbrengsten van het zuidoostelijk zandgebied 0,73 als vermenigvuldigingsfactor gebruikt (PAGV, 1985).

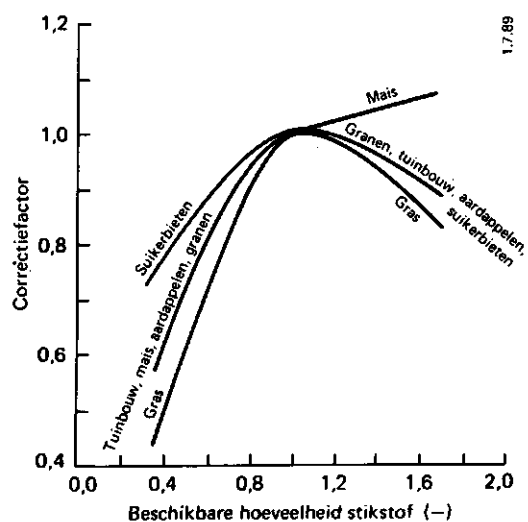


Fig. 23. Verloop van de correctiefactor  $n$  voor het corrigeren van de gewasopbrengsten in afhankelijkheid van de beschikbare hoeveelheid

stikstof  $\frac{N_a}{N_o}$  ( $N_a$  is de

hoeveelheid stikstof die beschikbaar is voor het gewas uit bemesting en bodemvoorraad en  $N_o$  de stikstofbehoefte die nodig is voor een optimale opbrengst).

#### 4.6 NITRAATUITSPOELING (ANIMO)

Het model ANIMO is ontwikkeld voor een kwantitatieve analyse van de organische stof- en de stikstofhuishouding van de grond. Hiervoor beschrijft het model kwantitatief de processen, die zowel in de stikstofcyclus als in de koolstofcyclus een rol spelen. Hierbij zijn de volgende processen van groot belang:

- mineralisatie en immobilisatie van stikstof als gevolg van processen in de koolstofcyclus;
- denitrificatie als gevolg van (partiële) anaërobie en aanwezigheid van biologisch afbreekbare organische stof;
- opname van stikstof door het gewas;
- transport van stikstofverbindingen in het bodemsysteem onder invloed van neerslag, verdamping, afvoer naar verschillende ontwateringssystemen, kwel en wegzijging.

Het model kan zowel op perceelsniveau als op regionaal niveau worden toegepast.

##### 4.6.1. Stikstofbalans

Indien de wortelzone wordt beschouwd als de bovenste laag van het bodemsysteem waar effecten van landbouwkundige activiteiten zich concentreren, dan kan de stikstofbalans voor deze laag worden opgesteld, zoals schematisch is weergegeven in Figuur 24.

Aanvoer van stikstofverbindingen kan afkomstig zijn van kunstmest, dierlijke mest, atmosferische depositie en biologische N-fixatie. In het bodem-water-plant systeem kunnen de verschillende stikstofvormen in elkaar worden omgezet en kan transport naar diepere lagen plaatsvinden. De omzettingsprocessen in de bodem worden beïnvloed door milieufactoren als temperatuur,

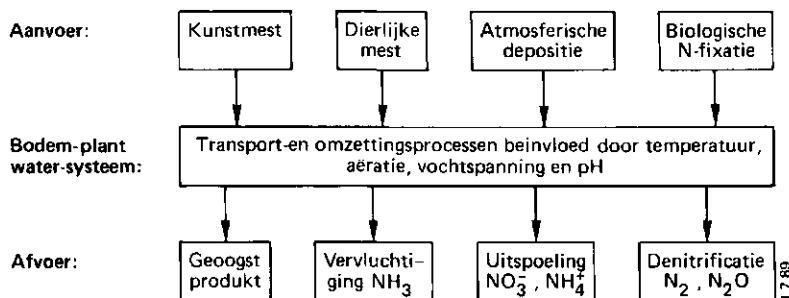


Fig. 24. Schematische weergave van de stikstofbalans van het bodem-water-plant-systeem, volgens het model ANIMO

aëratie, vochtspanning en pH. Met name de eerste drie factoren worden dominant bepaald door de fysische eigenschappen van de grond en de aanwezige hydrologische situatie. Stikstof kan de wortelzone verlaten, door afvoer via het geoogst produkt, vervluchtiging van ammoniak, uitspoeling naar diepere lagen ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , opgelost organisch N) en denitrificatie ( $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ).

De van belang zijnde processen worden hier kwalitatief beschreven, maar ze zijn in het model ANIMO, kwantitatief geformuleerd in een stelsel van wiskundige vergelijkingen (BERGHUYS VAN DIJK ET AL, 1985).

4.6.2. Stikstof- en koolstofcyclus

Stikstof kan in verschillende verschijningsvormen in de bodem voorkomen, waarbij de ene verschijningsvorm in de andere kan worden omgezet als gevolg van fysische en/of microbiologische processen. Schematisch is de stikstofcyclus weergegeven in Figuur 25.

Voor een goed begrip van deze processen is het noodzakelijk zowel de processen in de stikstofcyclus als in de koolstofcyclus in beschouwing te nemen, omdat beide onderling gekoppeld zijn. Figuur 26 geeft in dit verband een vereenvoudigd beeld van de koolstofcyclus in de grond.

Fig. 25. Schematische weergave van de stikstofcyclus in de bodem volgens het model ANIMO

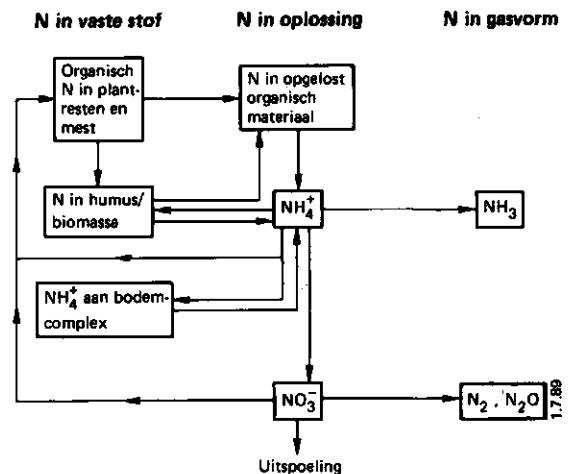
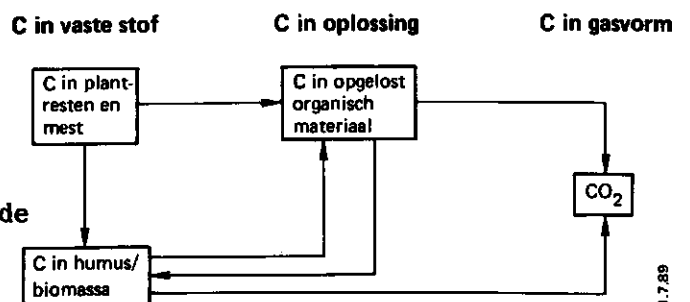


Fig. 26. Schematische weergave van de koolstofcyclus in de bodem volgens het model ANIMO



Gemakshalve worden oogstresten, afgestorven wortelmasse en dierlijke mest aan de toplaag van de bodem toegevoegd als 'vers' organisch materiaal. Dit materiaal wordt door de biomassa in de bodem afgebroken en gedeeltelijk omgezet in humeus bodemmateriaal.

De verschillende organische materialen in de bodem bevatten zowel stikstof als koolstof, zodat omzettingsprocessen in de koolstofcyclus corresponderen met omzettingen in de stikstofcyclus. Het humeuze materiaal dat bij afbraak van vers organisch materiaal wordt gevormd heeft doorgaans een belangrijk hoger N-gehalte, dan het verse organische materiaal waaruit het wordt gevormd. Immobilisatie van anorganische stikstof treedt op indien meer stikstof bij de humusvorming wordt vastgelegd, dan er uit het afgebroken verse materiaal vrij komt. Stikstof-mineralisatie in de vorm van  $\text{NH}_4^+$  treedt op als het omgekeerde het geval is.

Het  $\text{NH}_4^+$ -ion met zijn positieve lading wordt aan het bodemcomplex geadsorbeerd, waarbij er een relatie bestaat tussen de hoeveelheid ammonium in oplossing en de hoeveelheid aan het bodem-adsorptiecomplex. Het ammonium-ion kan op drie manieren uit het systeem verdwijnen, namelijk door vervluchtiging als  $\text{NH}_3$  naar de atmosfeer, door opname via plantenwortels en door oxydatie tot nitraat. Het nitrificatieproces verloopt onder aërobe omstandigheden doorgaans veel sneller dan het vrijkomen van ammonium door afbraak van organisch materiaal, zodat onder aërobe omstandigheden de ammoniumconcentratie in de bodem doorgaans laag is. Onder anaërobe omstandigheden kan bij aanwezigheid van biologisch afbreekbaar organisch materiaal het nitraat-ion fungeren als zuurstofdonor, waarbij nitraat wordt gereduceerd tot  $\text{N}_2$  en  $\text{N}_2\text{O}$ . Het al dan niet optreden van deze denitrificatie in de bodem wordt bepaald door de processnelheden en de waterhuishoudkundige omstandigheden in het bodemsysteem.

Opname van  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$  door de plantenwortels geschiedt door convectief transport (verdamping) en door diffusie. Hoewel de plant een voorkeur heeft om stikstof op te nemen in de vorm van  $\text{NH}_4^+$  heeft de lage ammoniumconcentratie in het bodemvocht tot gevolg dat de grootste opname plaats vindt als  $\text{NO}_3^-$ .

De biologische omzettingsprocessen worden beïnvloed door de milieufactoren temperatuur, vochtspanning, bodemaeratie en pH. De belangrijkste temperatuureffecten komen tot uiting in de afbraaksnelheid van de organische stof. De andere processen zijn hieraan gekoppeld, waarbij de mineralisatie van organische stof de sturende component is. Vochtspanning en bodemaeratie

zijn in het bodemsysteem onderling gekoppeld. Over het algemeen zal bij een hoge vochtspanning de bodemaëratie niet beperkend zijn, maar wordt de biologische activiteit mogelijk geremd door een vochttekort. Bij een lage vochtspanning is de bodemaëratie onvoldoende en wordt de biologische activiteit gestuurd door het zuurstofaanbod en de aanwezigheid van nitraat. Wijzigingen in de waterhuishouding als gevolg van grondwateronttrekking en/of veranderde ontwatering, hebben via de grondwaterstandsverlaging een direct effect op vochtspanning en bodemaëratie, en daardoor op de omzettingssnelheden bij de verschillende processen. Hoewel de relatie tussen processnelheid en pH een breed optimum heeft, wordt vooral bij een lage pH (zure gronden) de processnelheid gereduceerd. De invloed van deze verschillende milieufactoren op de omzettingsprocessen zijn in het model ANIMO gekwantificeerd.

#### 4.6.3. Transportprocessen

In het model wordt het transport van de verschillende opgeloste stoffen via een eendimensionaal systeem in beschouwing genomen. De bodem wordt hierbij in een aantal horizontale lagen verdeeld, waarbij via horizontale uitstroming verdamping en afvoer naar ontwateringsmiddelen wordt gesimuleerd, terwijl tevens verticaal transport van laag naar laag optreedt. Op deze manier kan ook kwel vanuit of wegzijging naar een watervoerend pakket eenvoudig in beschouwing worden genomen. Per laag wordt per tijdstap een volledige water- en stoffenbalans en de daarbij optredende omzettingsprocessen berekend. Bij de berekeningen wordt aangenomen dat in elke laag volledige menging optreedt.

#### 4.6.4. Verificatie

Het model ANIMO is uitgebreid getoetst op perceelsniveau met behulp van meetgegevens afkomstig van bemestingsproefvelden voor grasland in Ruurlo en voor mais in Cranendonck. Deze toetsing heeft met name betrekking op de volgende aspecten van de stikstofkringloop:

- opname van stikstof door het gewas;
- minerale stikstof in de bodemoplossing ( $\text{NO}_3^-$ -N en  $\text{NH}_4^+$ -N);
- totale hoeveelheid stikstof in de bodem als som van N-mineraal, N gebonden in organische vorm en N gecomplexeerd aan bodemdeeltjes;
- uitspoeling uit de wortelzone naar het grondwater.



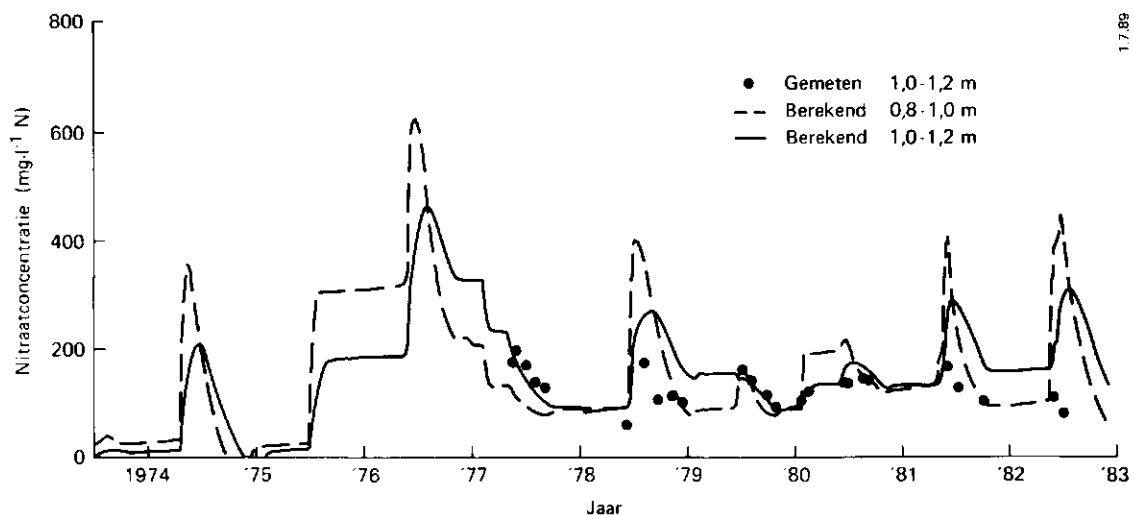


Fig. 27. Berekende en gemeten  $\text{NO}_3^-$ -concentraties op een diepte van circa 1 m-mv van een maisproefveld in Cranendonck waarop gedurende 9 jaar een rundveedrijfmestgift van  $250 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  is gegeven

Een overzicht van deze toetsing is gegeven in KROES (1988). Als voorbeeld van een toets zijn in Figuur 27 meetresultaten en rekenuitkomsten gegeven onder een maisperceel waar gedurende 9 jaar een bemesting heeft plaatsgevonden van 250 ton rundveedrijfmest per ha per jaar.

#### 4.7. KOPPELING VAN SIMGRO EN ANIMO

##### 4.7.1. Methode van koppeling

Voor het berekenen van de nitraatconcentraties in het grondwater van het zuidelijk peelgebied is het model SIMGRO voor de regionale waterhuishouding gekoppeld met het model ANIMO voor de stikstofhuishouding.

De stroming van het grondwater is in het model SIMGRO geschematiseerd op een wijze die in Figuur 18 is gegeven. Vanwege de laagsgewijze opbouw van het model ANIMO wordt in de hydrologische schematisering onderscheid gemaakt tussen een lokale en een regionale grondwaterstroming. De lokale stroming is de hoeveelheid water die binnen een subgebied naar greppels, sloten en voor zover aanwezig naar kanalen wordt afgevoerd. De regionale stroming betreft de hoeveelheid water die over de subgebiedsgrenzen stroomt, hiervoor wordt in het model per subgebied het gemiddelde genomen van de som van de ingaande en uitgaande stromingshoeveelheden. De stroombaan van de afvoer naar een greppel bevindt zich dicht aan de oppervlakte,

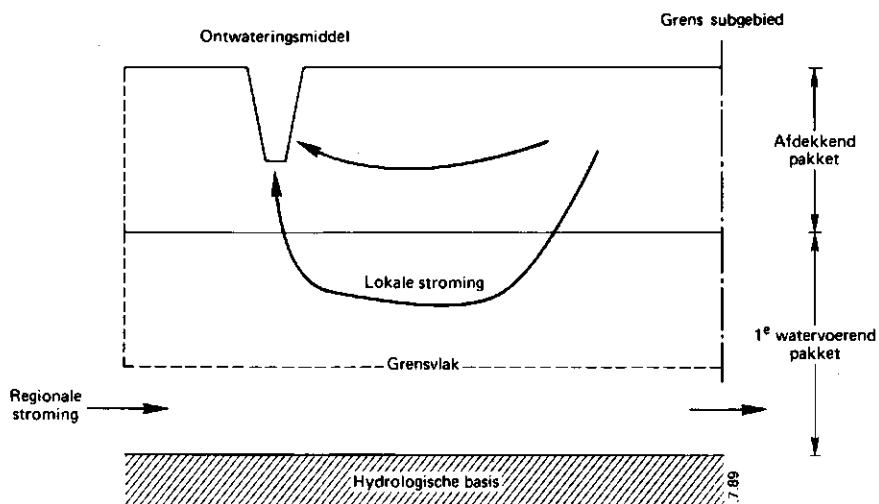


Fig. 28. Lokale en regionale stroming volgens de in het model ANIMO toegepaste schematisering

terwijl de stroombanen naar sloten en kanalen tot in het watervoerende pakket reiken.

De scheiding tussen lokale en regionale stroming in ANIMO is gelegd op een denkbeeldig grensvlak in het eerste watervoerende pakket (Figuur 28), omdat een deel van de lokale stroming tot in dat watervoerende pakket reikt. Hoe groot dit deel is wordt per subgebied bepaald door de heersende hydrologische omstandigheden zoals stromingsweerstand van het afdekkende pakket, kwel- of infiltratiegebieden. Verondersteld is dat de positie van het grensvlak wordt bepaald door de verhouding tussen de lokale grondwaterstroming via het watervoerende pakket en de regionale stroming. Deze positie is vooraf met behulp van SIMGRO-berekeningen bepaald (KROES, 1988).

Het model SIMGRO berekent een aantal hydrologische parameters welke als invoer dienen voor het grondwaterkwaliteitsmodel ANIMO. In beide modellen is gekozen voor een tijdstap van 7 dagen. Per tijdstap zijn door SIMGRO de volgende hydrologische parameters berekend:

- beregeningshoeveelheden;
- actuele verdamping;
- grondwaterstand;
- vochtinhoud wortelzone;
- wegzijging vanuit afdeklaag naar eerste watervoerende pakket;
- waterafvoeren naar een drietal ontwateringsmiddelen.

Daarnaast berekent SIMGRO per jaar:

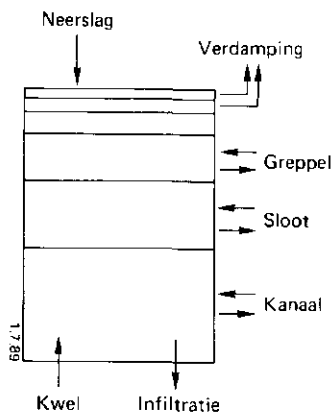


Fig. 29. Schematisch overzicht van de fluxen die vanuit de laagsgewijze opbouw van de ondergrond in het model ANIMO zijn onderkend

- fluxen van/naar het tweede watervoerende pakket;
- fluxen van/naar aangrenzende subgebieden.

In het model ANIMO is de ondergrond per subgebied ingedeeld in een aantal lagen tot en met het eerste watervoerende pakket. De bovenste lagen met de belangrijkste veranderingen in de stikstofhuishouding zijn dun, daaronder zijn ze dikker. Bij deze indeling zijn verder de volgende criteria aangehouden:

- lagen 1 t.m. 7 voor de wortelzones (verschillend per bodemgebruik);
- onderkant van laag 7 op 1 m-mv;
- onderkant van laag 11 vormt de onderkant van afdeklaag;
- lagen 12 en 13 in het eerste watervoerende pakket (lokale stroming);
- laag 14 in het eerste watervoerende pakket (regionale stroming).

In het model ANIMO wordt de met SIMGRO berekende lokale afvoer naar de ontwateringsmiddelen als laterale fluxen in de betreffende bodemlagen ingevoerd. In Figuur 29 is de wijze waarop dit gebeurt weergegeven, tevens zijn in deze figuur de overige relevante fluxen gegeven.

#### 4.7.2. Initialisatie

De indeling in subgebieden is tot stand gekomen op basis van hydrologische kenmerken en op basis van verschillen in bodemsamenstelling. Dit betekent dat de verschillende bodemgebruiksvormen voor kunnen komen op verschillende soorten gronden en bij verschillende grondwaterstanden. Het gevolg is dat de mogelijke uitspoeling van nitraat per bodemgebruiksvorm verschillend kan zijn. Voor deze uitspoeling naar diepere bodemlagen is met name de verdeling van organische stof en die van in de bodemoplossing aanwezige

minerale stikstof van belang. Deze verdeling wordt mede bepaald door de wijze waarop de gronden in het verleden zijn gebruikt.

Voor een goede startsituatie in 1983 met betrekking tot de samenstelling van de bodem per subgebied is de voorgeschiedenis over de periode 1953-1983 afzonderlijk gesimuleerd. In dit verband zijn eerst startwaarden voor de bodemsamenstelling in 1953 bepaald. Hiervoor zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor de verdeling van minerale stikstof in de eerste meter van het profiel zijn meetgegevens gebruikt van een aan het studiegebied grenzend proefveld (Cranendonck/Maarheeze); voor de lagen beneden de eerste meter is aangenomen dat daarin geen minerale stikstof aanwezig is.
- De initiële verdeling van de organische stof in de eerste meter van het profiel in 1953 is gebaseerd op een evenwichtssituatie, waarbij de afbraaksnelheid van organische stof gelijk is aan de aanvoersnelheid van vers organisch materiaal. De aanvoer van vers organisch materiaal bestaat uit dierlijke mest, stoppel- en oogstresten en afgestorven wortels bij de intensiteit van bedrijfsvoering in 1953.

In de resterende lagen van de afdeklaag (formatie van Nuenen) zijn de volgende waarden gebruikt: 0,46% organische stof in de Slenk en 0,36% in de Horst. Voor het eerste watervoerende pakket (formaties van Veghel/Sterksel) zijn gebruikt: 0,08% organische stof in de Slenk en 0,06% in de Horst. Bovengenoemde organische stofpercentages zijn gebaseerd op de in Tabel 16 samengevatte veldmetingen.

Van deze organische stof zijn in verband met denitrificatie twee aspecten van belang: afbraaksnelheid en verdeling over het profiel. Van de organische stof op grotere diepte wordt verondersteld dat deze erg stabiel is en slechts langzaam afbreekt. Er zijn weinig gegevens bekend over de afbraaksnelheid. Uit gegevens van JENKINSON and RAYNER (1977) en op basis van een toets van de uitkomsten daarmee aan veldgegevens (vergelijk Figuur 27) is voor dit onderzoek een  $k$ -waarde  $0,00141 \cdot j^{-1}$  afgeleid. Dit is vergelijkbaar met een halfwaardetijd van circa 500 jaar. Vanwege de contacttijd tussen nitraat en organische stof is het van wezenlijk belang of de organische stof regelmatig over het profiel is verdeeld dan wel in laagjes voorkomt. Bij de modelberekeningen is verondersteld dat de organische stof gelijkmatig is verdeeld over het profiel. De uitkomsten van de berekeningen blijken erg gevoelig te zijn voor de ingeschatte halfwaardetijd. In Figuur 30 is voor laag 9 in subgebied 7

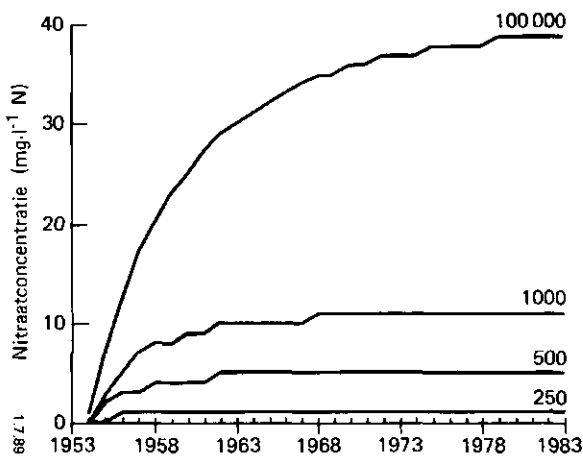


Fig. 30. Verloop van de nitraatconcentratie op een diepte van 1,5-6,0 m-mv in Slenk subgebied 7 (zuidoosten v.d. provincie Noord-Brabant) in de periode 1953-1983. De curven geven het verloop voor de aangegeven halfwaardetijden (in jaren) van organische stofafbraak in de ondergrond. De halfwaardetijd van 500 jaar is gebruikt als referentie

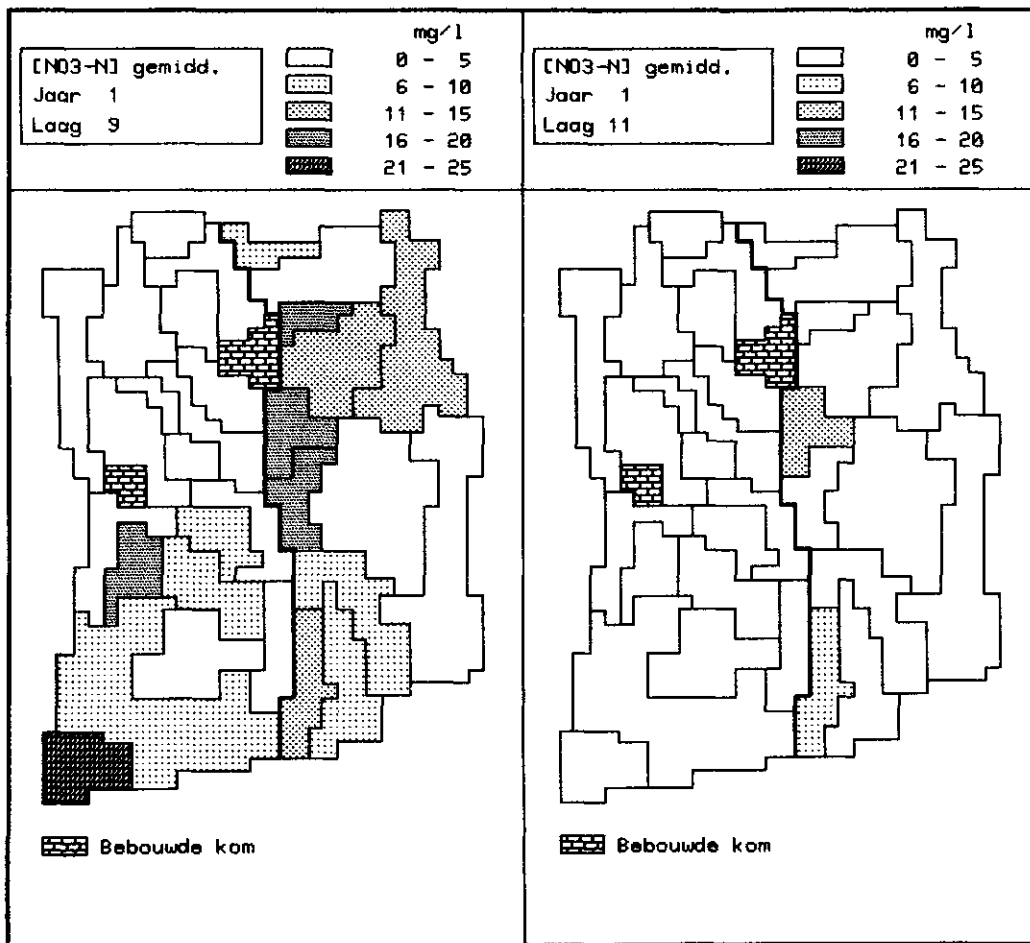


Fig. 31. Gemiddelde nitraatgehalten (mg.l<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub>-N) in de lagen 9 en 11 per subgebied per 1 februari 1983 na een simulatie van de voorgeschiedenis (ofwel: initiële toestand voor alle scenario's)

links:

- 1 februari 1983
- laag nr 9

(laag 9 = Slenk: 1,5- 6,0 m-mv, Horst: 1,5- 6,0 m-mv)

(laag 11 = Slenk: 15,0-25,0 m-mv, Horst: 3,5-12,3 m-mv)

rechts:

- 1 februari 1983
- laag nr 11

het verloop van de nitraatconcentratie gegeven bij verschillende halfwaardetijden met als referentie de waarde die in de modelberekeningen is toegepast. Een verdubbeling of een halvering van die halfwaardetijd betekent dat de nitraatconcentraties belangrijk gaan veranderen.

Overigens is bij deze initialisatie verondersteld dat er in de ondergrond verder geen gereduceerde verbindingen voorkomen die een bijdrage zouden kunnen leveren aan de denitrificatie.

De hoeveelheden mest die gedurende de periode 1953-1983 moeten worden toegediend zijn verkregen door de hoeveelheden volgens het bemestingsniveau 1982 met 0.4 te vermenigvuldigen. Deze reductiefactor is afgeleid uit de ontwikkelingen in de veehouderij tijdens de periode 1953-1983 (Tabel 4).

De resultaten van deze initialisatie zijn per 1 februari 1983 in Figuur 31 gegeven. In deze figuur worden de nitraat-stikstofconcentraties in mg per m<sup>3</sup> (als N) weergegeven. De concentraties zijn gepresenteerd als gewogen gemiddelden van de concentraties van de verschillende bodemgebruiksvormen met een weging naar bodemgebruiksoppervlakte. De uitkomsten zijn gepresenteerd voor de lagen 9 en 11 voor alle subgebieden. Laag 9 betreft het bovenste grondwater in de afdeklaag op een constante diepte van 1,5-6,0 m-mv in de Slenk; in de Horst zijn de concentraties, terwille van een goede vergelijkingsbasis, gepresenteerd als een gewogen gemiddelde van de lagen die op een diepte van 1,5-6,0 m-mv voorkomen. De onderkant van laag 11 vormt in het hele gebied de overgang van de afdeklaag naar het eerste watervoerende pakket (DRENT et al, 1988).

De klasseindeling voor het weergeven van het nitraatgehalte in de kaarten van Figuur 31 is zodanig gekozen dat een klassegrens komt te liggen bij de door de Europese Gemeenschap nagestreefde richtwaarde (5.6 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N per liter) en een bij de maximaal toelaatbare nitraatconcentraties in drinkwater in Nederland (11,3 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N per liter). Naast elke kaart staan in tabelvorm de berekende waarden per subgebied zodat ook de verschillen binnen een bepaalde klasse kunnen worden vergeleken.

Uit de gegevens in Figuur 31 blijkt dat in de initiële toestand de nitraatgehalten in de Slenk tot op een diepte van 6 m-mv uiteenlopen van 0-5 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N per liter, met uitzondering van de subgebieden 14 en 19. Subgebied 14 is een gebied met een diepe voorjaarsgrondwaterstand (1,63 m-mv) zodat de omstandigheden voor denitrificatie in dit subgebied

relatief ongunstig zijn. Bovendien is in dit subgebied de verblijftijd van het water in de afdeklaag relatief kort vanwege een grote wegzijging.

Subgebied 19 wordt gekenmerkt door zeer diepe grondwaterstanden en door een stromingsrichting in het 1e watervoerende pakket die afwijkt van de overige gebieden. De inkomende flux in dit subgebied wordt daarmee vrijwel volledig bepaald door de randfluxen over het model-randgebied. De nitraatgehalten in laag 9 in de Horst zijn vooral in de subgebieden 22, 24, 25, 26 en 29 wat hoger dan in de Slenk. Hierbij spelen twee aspecten een rol: in deze vijf subgebieden zijn de grondwaterstanden op 1 april en 1 oktober relatief diep, dus minder denitrificatie, en is er sprake van een forse wegzijging naar de ondergrond, dus kortere verblijftijden.

In laag 11 van de Slenk wordt per 1-2-'83 geen nitraat berekend, de bovengrond beschikt over voldoende denitrificatiecapaciteit. In de Horst daar en tegen komt op deze diepte in de subgebieden 25 en 29 een nitraatconcentratie voor van circa 10 mg per l. De reden is dat laag 11 in deze subgebieden veel minder diep ligt dan in de andere (op een diepte van respectievelijk 5,1 en 5,9 m-mv). Deze ondiepe ligging betekent dat in deze subgebieden de watervoerende laag snel wordt belast met nitraat, deze gebieden zijn dus erg kwetsbaar voor een verontreiniging met nitraat.

De resultaten, zoals in Figuur 31 weergegeven, zijn vergeleken met de in Tabel 15 gegeven meetcijfers uit 1982.

Bij deze vergelijking gelden de volgende beperkingen:

- elke veldmeting is slechts een puntwaarneming, terwijl de gesimuleerde uitkomsten gemiddelden zijn voor betrekkelijk grote gebieden;
- er is slechts een beperkt aantal waarnemingen;
- de waarnemingen zijn momentopnamen en geven geen verloop met de tijd;
- de waarnemingen zijn meestal niet op het midden van een perceel verricht maar aan de rand of langs wegbermen, hetgeen een vertekend beeld kan opleveren.

Uit de gegevens in Tabel 15 volgt een patroon van hoge nitraatconcentraties in de laag tot 5 m-mv. en lage op grotere diepten. Dit geldt voor zowel de Horst als de Slenk. Aangezien in Figuur 31 alleen subgebiedsgemiddelden zijn gegeven is er, ondanks de nodige spreiding, toch een redelijke overeenkomst tussen de berekende en de gemeten nitraatconcentraties.

---

## 5. MODELLEN VOOR OPTIMALISERING

### 5.1. INLEIDING

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat de optimalisering in het Scenario Genererend Systeem plaatsvindt met een eenvoudig model. Dit model is een combinatie van vereenvoudigde versies van de in hoofdstuk 4 beschreven meer gecompliceerde modellen. De gecompliceerde modellen worden gebruikt om de coëfficiënten in het vereenvoudigde model te bepalen en om de uitkomsten van de optimalisering (op onderdelen) te verifiëren.

Het eenvoudige model is een lineair programmeringsmodel. Dit houdt in dat alle vergelijkingen in het model lineaire vergelijkingen zijn. Er is gekozen voor lineaire programmering omdat de oplossing van een lineair programmeringsprobleem relatief (t.o.v. andere problemen) weinig rekentijd kost en omdat lineaire programmering de vorm is die zowel theoretisch als praktisch het verst uitgewerkt is.

Een lineair programmeringsmodel bestaat uit een doelstellingsfunctie en uit een aantal beperkingen. De doelstellingsfunctie beschrijft het criterium dat geoptimaliseerd wordt. In het Scenario Genererend Systeem is in eerste aanzet gekozen voor maximalisering van het inkomen in de landbouw. In dat geval beschrijft de doelstellingsfunctie dus het inkomen in de landbouw. Het is echter mogelijk ook andere doelstellingsfuncties op te stellen. In hoofdstuk 6 van dit rapport worden daar voorbeelden van gegeven.

De beperkingen beschrijven de grenzen waarbinnen geoptimaliseerd moet worden. Deze grenzen worden bepaald door de gebruikers in het gebied, door de fysische mogelijkheden (het hydrologisch systeem) en door de eisen die de waterbeheerder stelt. Stel bijvoorbeeld dat een specifiek natuurgebied in stand gehouden moet worden. Deze eis wordt dan via de modellen uit hoofdstuk 4 omgezet in een aantal voorwaarden met betrekking tot de toelaatbare grondwaterstanden en waterkwaliteit. Deze voorwaarden worden als beperkingen opgenomen in het optimaliseringsmodel.

In de volgende paragrafen wordt een samenvatting gegeven van de vereenvoudiging van de modellen uit hoofdstuk 4. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar het Deelrapport 5 van deze studie.



---

## 5.2. LANDBOUW

### 5.2.1. Inleiding

Het algemene model voor de beschrijving van de landbouw is besproken in Par. 4.2. Dit model bestaat uit twee blokken (zie Figuur 16):

- een produktieblok waar de fysieke omvang wordt bepaald van de produktie op de bedrijven en van de hierbij ingezette factor en non-factor input. Via de koppeling met het hydrologisch systeem wordt de toelaatbaarheid van de produktie getoetst met betrekking tot water- en mestgebruik;
- een ontwikkelingsblok waar veranderingen in de bedrijfskenmerken van de afzonderlijke bedrijven worden gegenereerd.

In het optimaliseringsmodel binnen het Scenario Genererend Systeem wordt een vereenvoudigde versie van het landbouwmodel gehanteerd. Deze vereenvoudiging is gebaseerd op de volgende veronderstellingen:

- de bedrijven werken volledig samen met het beleid. Dit houdt in dat de bedrijfsvoering op de bedrijven plaatsvindt volgens de door het beleid uitgevaardigde voorschriften, bijvoorbeeld maximalisering inkomen en niet overschrijden van de beperkingen met betrekking tot beregening en bemesting;
- er zijn geen verschillen in efficiëncy tussen bedrijven. Dit betreft verschillen ten gevolge van zowel de bedrijfsomvang (schaalvoordeel) als de kwaliteit van de bedrijfsvoering. Dit houdt in dat de opbrengst per eenheid van een technologie alleen kan worden beïnvloed door water- en mestgiften.
- voor de financiering van investeringen worden geen fondsen onttrokken aan andere sectoren van de economie of aan andere gebieden. De reden hiervoor is dat als aan andere sectoren van de economie of aan andere gebieden fondsen worden onttrokken dat dan ook het effect van deze onttrekking in de beschouwing moet worden betrokken.

In VREKE (1987) wordt de vereenvoudiging van het landbouwmodel nader uitgelegd. In dit hoofdstuk wordt volstaan met een beschrijving van het resultaat.

### 5.2.2. Technologieën

De activiteiten in de landbouw worden beschreven door middel van technologieën. Een technologie is een activiteit of een groep van activiteiten met een invoer (arbeid, water, mest e.d.) en een uitvoer (gewasopbrengst, melk, vlees, mest e.d.). De technologieën zijn verdeeld in grondgebonden en niet-grondgebonden technologieën (zie Tabel 23).

De produktie per eenheid van de grondgebonden technologieën kan over de deelgebieden verschillen door bijvoorbeeld verschillen in bodemtype. Binnen een deelgebied worden voor iedere grondgebonden technologie produktieniveaus berekend die zijn gekoppeld aan de mate waarin mesttoediening (kunstmest en dierlijke mest) en beregening (uit grond- of oppervlaktewater) plaatsvinden. Met betrekking tot de mesttoediening wordt een hoog en een laag niveau gedefinieerd. Het hoge niveau komt, met uitzondering van snijmais, overeen met het groeitechnisch 'optimale' niveau. Bij snijmais komt het hoge niveau overeen met een overdosering. Met betrekking tot de watervoorziening zijn de onderscheiden niveaus geen beregening, matige beregening (maximaal 25 mm per 14 dagen) en intensieve beregening (maximaal 25 mm per 7 dagen). Door combinatie van niveaus voor watervoorziening en mesttoediening wordt de behoefte van een technologie aan water en stikstof bepaald.

Tabel 23. Overzicht van de grondgebonden en niet-grondgebonden technologieën die in deze studie zijn onderscheiden. g.v.e. = grootvee-eenheid

Grondgebonden technologieën	Niet-grondgebonden technologieën
1. Glastuinbouw	1. Mestkalveren
2. Meerjarige teelten	2. Mestvarkens
3. Vollegrondstuinbouw	3. Fokvarkens
4. Akkerbouwmatige tuinbouw	4. Leghennen
5. Aardappelen	5. Slachtkuikens
6. Granen	6. Champignons
7. Snijmais	
8. Grasland met 3-4 g.v.e./ha	
9. Grasland met 2 g.v.e./ha	
10. Nieuw bos	

### 5.2.3. Relaties tussen technologieën

Het deelgebied is de kleinste eenheid in het optimaliseringsmodel. De activiteiten in de landbouw worden per deelgebied weergegeven door de omvang of intensiteit van de technologieën. De bedrijfsvoering wordt beschreven via een aantal relaties tussen de omvang van technologieën. Deze relaties, die zijn gebaseerd op de bedrijfsvoering op representatieve bedrijven, betreffen:

- de beschikbaarheid van grond voor bepaalde activiteiten. Dit betreft onder andere vruchtwisselingseisen en de voorwaarde dat het totale grondgebruik in een deelgebied het voor de landbouw beschikbare areaal niet mag overschrijden;
- de afhankelijkheid tussen bepaalde technologieën. Er is bijvoorbeeld een afhankelijkheid tussen fokvarkens en mestvarkens en tussen de oppervlakte snijmais en de omvang van de veehouderij. Snijmais wordt gebruikt als veevoeder;
- de afzet van eindprodukten. Bij toepassing van het model wordt verondersteld dat de omvang van het studiegebied zodanig is dat de prijzen op de nationale en internationale markt niet worden beïnvloed door de veranderingen binnen het studiegebied. Dit impliceert dat deze veranderingen binnen bepaalde grenzen moeten blijven. Deze grenzen betekenen randvoorwaarden voor de omvang van de technologieën.

### 5.2.4. Beregeningsbehoefte

In Par 5.2.2 is aangegeven dat de waterbehoefte van de landbouw in een deelgebied wordt bepaald door een combinatie van intensiteiten van technologieën en watervoorzieningsniveaus. De in de bodem beschikbare hoeveelheid water kan worden aangevuld via berekening uit grondwater en/of oppervlaktewater. Of berekening plaatsvindt hangt af van de aanwezige beregeningscapaciteit en van de beschikbaarheid van water voor de landbouw.

### 5.2.5. Bemestingsbehoefte

Evenals de behoefte aan water wordt ook de behoefte aan mest in een deelgebied bepaald door combinatie van mesttoedieningsniveaus en intensiteiten van technologieën. De voedingstoffen waarmee rekening wordt gehouden zijn

stikstof, fosfaat en kalium. Bij de bepaling van de mesttoedieningsniveaus wordt rekening gehouden met beperkingen voortkomend uit de nabijheid van natuurgebieden en uit de handhaving van de gewenste kwaliteit van het grondwater en met beperkingen die door het beleid worden geformuleerd.

Naast de genoemde beperkingen speelt de mestopslagcapaciteit een belangrijke financiële rol bij de bepaling van de niveaus van mesttoediening. Door een aantal niet-grondgebonden technologieën en door de graslandtechnologieën wordt mest geproduceerd. Deze mest (met uitzondering van de in de wei geproduceerde mest) moet eerst worden opgeslagen voordat ze mag worden uitgereden. Dit vereist een bepaalde opslagcapaciteit. De omvang van de opslagcapaciteit wordt beïnvloed door de lengte van de periodes waarin niet mag worden uitgereden. Een alternatief voor het niet uitrijden van de geproduceerde mest is de export van deze mest naar andere deelgebieden of naar buiten het gebied. De randvoorwaarde hierbij is dat de totale hoeveelheid mest die in een deelgebied geproduceerd of ingevoerd is, in het deelgebied moet worden uitgereden of naar een ander deelgebied moet worden geëxporteerd. Met betrekking tot de export uit het studiegebied is een bovengrens ingevoerd.

De modellering van de mesthuishouding biedt de mogelijkheid om het effect van bepaalde maatregelen (b.v. een verbod om gedurende een bepaalde periode mest uit te rijden) te bepalen. Een belangrijke factor hierbij is de gewenste grondwaterkwaliteit.

In het model wordt de behoefte aan voedingsstoffen (stikstof, fosfaat en kalium) bepaald op het niveau van groepen van grondgebonden technologieën (bouwland, snijmais, grasland en bos). Dit geldt ook voor de waterbehoefte.

#### 5.2.6. Gewasproductie

Voor de grondgebonden technologieën wordt het produktieniveau bepaald door de combinatie van water- en mestvoorzieningsniveaus. Dit zijn de factoren die, bij gegeven bodemtype en gegeven de weersomstandigheden, de gewasproductie bepalen.

De berekening van de gewasopbrengst vindt plaats door eerst de opbrengst te bepalen bij (groeitechnisch) optimale stikstofvoorziening en vervolgens een reductie toe te passen op basis van het eventuele stikstoftekort.

### 5.2.7. Arbeid

De produktiefactor arbeid bestaat uit eigen arbeid en vreemde arbeid (VREKE, 1985). Eigen arbeid is de arbeid van het bedrijfshoofd en zijn familie. De overige arbeid is vreemde gehuurde arbeid. De categorieën arbeid verschillen in de houding ten opzichte van inkomen en mobiliteit. Omdat de eigen arbeid is gekoppeld aan het bezit van kapitaalgoederen (en vaak van grond) is eigen arbeid minder mobiel dan vreemde arbeid. Daarnaast bestaat er bij de eigen arbeid een grotere bereidheid om met minder inkomen genoeg te nemen.

De veranderingen in de omvang van de eigen arbeid worden beperkt door de geringe neiging tot mobiliteit en door de (buiten het model bepaalde) demografische ontwikkeling. In het model zijn de toegestane veranderingen in de omvang van de eigen arbeid weergegeven door randvoorwaarden. Daarnaast zijn randvoorwaarden opgenomen met betrekking tot de omvang van de werkgelegenheid (eigen plus vreemde arbeid) in de landbouw.

Er bestaat een onderscheid tussen de behoefte aan arbeid en de hoeveelheid arbeid die daadwerkelijk wordt ingezet. De behoefte aan arbeid is direct gekoppeld aan de intensiteiten van de technologieën en aan de omvang van de mest- en beregeningsgiften. In deze behoefte wordt voorzien door de inzet van eigen arbeid en/of vreemde arbeid. In het model bestaat de mogelijkheid dat (in een deelgebied) de behoefte aan arbeid kleiner is dan de minimaal vereiste omvang van de eigen arbeid (randvoorwaarde). Als dit zich voordoet wordt de omvang van de eigen arbeid gelijk gesteld aan de randvoorwaarde. De ingezette arbeid overschrijdt dan de behoefte aan arbeid.

### 5.2.8. Inkomen

Het inkomen in de landbouw is gedefinieerd als de vergoeding voor de inzet van eigen arbeid, kapitaal en grond. Het inkomen is gelijk aan de ontvangsten voor de verkoop van de produkten verminderd met de kosten van vreemde arbeid, de kosten voor onderhoud en reparaties van kapitaalgoederen, de afschrijvingen en de kosten van de non-factor input (o.a. zaaigoed). De prijzen van de produkten, de kosten voor onderhoud en reparaties, de afschrijvingen en de kosten van de factor en de non-factor input worden buiten het model bepaald. Deze posten zijn verwerkt in de inkomenscoëfficiënten van de technologieën.

- 
- de kosten die variëren met de produktieniveaus. Dit betreft de variabele kosten van beregening en bemesting;
  - de vaste kosten van beregening en bemesting. Dit betreft de kosten van onderhoud en reparaties en de afschrijvingen van de aanwezige beregenningsapparatuur en van de mestopslagcapaciteit;
  - de kosten van vreemde arbeid.

Voor ieder deelgebied is een ondergrens ingevoerd voor het inkomen per eenheid eigen arbeid. Deze ondergrens is in de meeste berekeningen gelijk aan de geschatte uitgaven voor consumptie en belastingen per eenheid eigen arbeid.

### 5.2.9. Kapitaal

Uitbreiding van een technologie gaat gepaard met investeringen. In de optimalisering wordt verondersteld dat voor het doen van investeringen geen fondsen mogen worden aangetrokken vanuit andere sectoren van de economie of vanuit andere gebieden (zie par 5.2.1).

In de optimalisering wordt een mogelijke toekomstige toestand berekend zonder rekening te houden met het 'pad' er naar toe. Dit betekent dat het 'dynamische aspect' (hier: de financiering van de veranderingen) niet is opgenomen. Daarom is de randvoorwaarde opgenomen dat de omvang van de kapitaalgoederenvoorraad in de doeltoestand, de omvang in de uitgangstoestand slechts met een bepaalde factor mag overtreffen. De tijdige vervanging van aanwezige kapitaalgoederen is verrekend via de afschrijvingen die zijn verwerkt in de inkomenscoëfficiënt van de technologieën.

### 5.3. NATUUR

Toepassing van SWAFLO (zie par. 4.3) op een bepaald natuurgebied resulteert in een eenvoudige relatie tussen grondwaterstandsverlaging en ecologische waardeverandering. Door deze relatie in het systeem van lineaire modellen op te nemen kan het door de gebruiker van het SGS toegestane verlies aan natuurwaarde worden vertaald naar toelaatbare verlagingen van de grondwaterstand. Deze toelaatbare verlagingen functioneren in het model als bovengrenzen op berekende verlagingen als gevolg van grondwateronttrekkingen voor beregening en openbare watervoorziening.

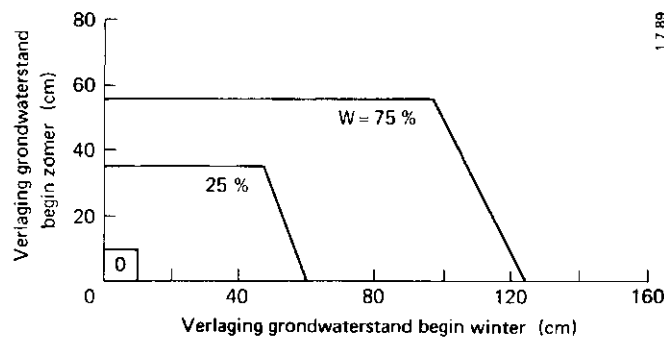


Fig. 32. Een door toepassing van SWAFLO verkregen diagram waarin het verlies aan natuurwaarde in een natuurgebied in verband is gebracht met veranderingen in grondwaterstanden. Als een combinatie van  $\Delta h_s$  (zomer) en  $\Delta h_w$  (winter) binnen het door een bepaalde percentage-lijns omsloten gebied blijft dan blijft het verlies aan natuurwaarde  $W$  beperkt tot de betreffende  $W$ -waarde

Op de horizontale as van een SWAFLO-diagram (Figuur 32) is uitgezet de verlaging van de grondwaterstand aan het begin van de zomer ( $\Delta h_s$ ) en op de verticale as de verlaging van de grondwaterstand aan het begin van de winter ( $\Delta h_w$ ). Voor een aantal waarden van verlies aan natuurwaarde ( $W$ ) is door middel van lijnen aangegeven welke combinaties van  $\Delta h_s$  en  $\Delta h_w$  een bepaald verlies kunnen veroorzaken. Het begin van de zomer is genomen op 1 april, het begin van de winter op 1 oktober. De curve in Figuur 32 geldt voor een van de in het studiegebied voorkomende natuurgebieden.

In een SWAFLO diagram heeft de verlaging van de grondwaterstand aan het begin van de zomer betrekking op de situatie die zich voordoet in een gemiddeld hydrologisch jaar. De verlaging aan het begin van de winter heeft betrekking op de omstandigheden die zich voordoen in een 10% droog jaar. (Een 10% droog jaar is een jaar waarin de weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen gekenmerkt worden door een verdampingstekort dat een overschrijdingskans heeft van 10%).

Een bij een bepaalde  $W$ -waarde horende lijn in een SWAFLO-diagram kan worden weergegeven door in totaal drie beperkingen in het model, een voor de lijn die evenwijdig aan de  $h_w$ -as loopt en twee voor de schuine lijn. De lijn evenwijdig aan de  $h_w$ -as komt overeen met een beperking op de verlaging aan het begin van de zomer. De schuine lijn houdt in dat de bovengrens voor de verlaging aan het begin van de winter hoger is naarmate de (werkelijke) verlaging aan het begin van de zomer kleiner is. Deze schuine lijn resulteert in twee beperkingen: een voor de verlaging aan het begin van de zomer en een voor de verlaging aan het begin van de winter.

De wijze waarop de verlagingen  $\Delta h_s$  en  $\Delta h_w$  in het model worden berekend wordt beschreven in par. 5.5 .

#### 5.4. OPENBARE WATERVOORZIENING

Tot de openbare watervoorziening wordt hier gerekend de drinkwatervoorziening, de voorziening van water voor de industrie, en de voorziening van water voor veedrenking in de landbouw. Als grondstof voor de openbare watervoorziening kan zowel grond- als oppervlaktewater dienen. Grondwater heeft over het algemeen de voorkeur boven oppervlaktewater door de hogere en meer constante kwaliteit.

In het model wordt aan de hoeveelheid grondwater die onttrokken wordt voor de drink- en industriewatervoorziening door de gebruiker van het Scenario Genererend Systeem een randvoorwaarde opgelegd. Aangenomen wordt dat al het water voor veedrenking uit grondwater afkomstig moet zijn. Aangezien de omvang van de activiteiten in de landbouw door het optimaliseringsmodel worden berekend wordt de hoeveelheid grondwater voor veedrenking niet voorafgaand aan een optimalisering opgegeven maar door de optimalisering bepaald.

#### 5.5. WATERHUISHOUDING

##### 5.5.1. Inleiding

De gebruikers van water, landbouw, natuur en openbare watervoorziening, hebben via de kwantitatieve waterhuishouding de volgende interacties met elkaar:

- aanvoer van oppervlaktewater;
- peilbeheer met als doel de infiltratie van oppervlaktewater te vergroten;
- onttrekking van oppervlaktewater en gebruik voor beregening;
- onttrekking van grondwater en gebruik voor beregening;
- onttrekking van grondwater ten behoeve van de openbare watervoorziening;
- gewasverdamping;
- invloed van hydrologische omstandigheden op de vegetatie in natuurgebieden.



Vanuit het gezichtspunt van een 'systeembenadering' kunnen deze interacties in de volgende categorieën geplaatst worden: 'input', 'throughput', 'output' en 'toestand'. Slechts een interactie past in de eerste categorie, namelijk de aanvoer van oppervlaktewater: dit water wordt van buitenaf het systeem ingepompt. Evapotranspiratie van gewassen en onttrekking van grondwater ten behoeve van drinkwatervoorziening passen in de derde categorie: dit water verlaat het systeem en keert er niet meer in terug (althans niet in het grondwater-bodem gedeelte van het systeem). De 'toestand' van het systeem beïnvloedt de vegetatie in natuurgebieden: het grondwaterregime heeft een grote invloed op de aëratie van de bodem; grondwaterstandsverlagingen hebben derhalve gevolgen voor de biochemische en microbiële processen in de bodem, en daarmee voor de natuurlijke vegetatie.

De overige interacties zijn ingrepen in de doorstromingen, oftewel modificaties van de 'throughput'. Zulke veranderingen kunnen leiden tot gesloten cirkels van oorzaken en gevolgen. De onttrekking van grondwater voor beregening is hiervan een goed voorbeeld. Een dergelijke onttrekking veroorzaakt een verlaging van grondwaterstanden, en dus een verlaging van de capillaire opstijging vanuit het grondwater naar de wortelzone. Daarmee wordt de hoeveelheid bodemvocht die beschikbaar is voor verdamping vermindert; deze vermindering zal weer aanleiding kunnen zijn de hoeveelheid beregening nog wat op te voeren.

Dergelijke terugkoppelingen zijn overal aanwezig in het waterhuishoudkundige deel en geven speciale problemen bij de eenvoudige modellering ten behoeve van optimalisering. In verband daarmee dient bij de eenvoudige waterhuishoudkundige modellering gebruik te worden gemaakt van data die zijn verkregen met het regionaal hydrologisch simulatiemodel SIMGRO (vergelijk par. 4.4) met daaraan gekoppeld het gewasproductiemodel SIMCROP (vergelijk par. 4.5).

### 5.5.2. Beregening

In het optimaliseringsmodel zijn de volgende opties voor beregening opgenomen:

- geen beregening;
- beregening met een maximale intensiteit van 25 mm per 14 dagen;
- beregening met een maximale intensiteit van 25 mm per 7 dagen.

In het model worden parameters berekend die aangeven hoeveel dagen van het seizoen beregeningsapparatuur daadwerkelijk wordt gebruikt. Deze parameters hangen af van het weerjaar dat voor de optimalisering gekozen wordt: In een droog jaar zal de totale beregeningsduur langer zijn dan in een nat jaar. Ze worden berekend aan de hand van beregeningshoeveelheden die in het simulatiemodel SIMGRO aan de gewassen worden toegediend. Deze hoeveelheden kunnen verschillen per gewas doordat per gewas een ander bodemvocht criterium wordt gehanteerd voor het aanzetten van de beregening: bij een tuinbouwgewas wordt eerder beregend dan bij een akkerbouwgewas. Ook kan een rol spelen dat het ene gewas meer vocht verbruikt dan het andere waardoor er een grotere behoefte aan extra water ontstaat.

Vermenigvuldiging van het aantal dagen dat beregeningsapparatuur in gebruik is met de aanwezige capaciteit geeft het totale volume beregeningswater dat op het land gebracht wordt. Dit volume is nodig voor de berekening van de variabele beregeningskosten en voor de berekening van de gewasverdamping en -productie.

Een gedeelte van het water dat door middel van beregening op het land gebracht wordt zal niet ten goede komen aan de gewasverdamping. Dit water zal als doorslagwater direct naar het grondwater stromen. Voor de modellering van de interacties tussen grondwater en oppervlaktewater is het nodig deze hoeveelheid percolatie te kennen. In het eenvoudige model wordt deze hoeveelheid gelijkgesteld aan 10% van de hoeveelheid beregening.

### 5.5.3. Grondwaterbeheer

Wanneer niet voldoende of helemaal geen oppervlaktewater van geschikte kwaliteit beschikbaar is, is grondwater de aangewezen hulpbron voor het leveren van water voor beregening en voor openbare watervoorziening. Het nadeel van het gebruik van grondwater is evenwel dat omliggende landbouw- en natuurgebieden schade ondervinden als gevolg van grondwaterstandsverlagingen die door de onttrekkingen kunnen worden veroorzaakt.

Grondwater moet worden onttrokken aan de ondergrond. Voor beregening wordt het grondwater meestal onttrokken met behulp van een verspreid aantal ondiepe putten, waardoor deze onttrekking een nogal diffuus karakter krijgt. Voor de openbare watervoorziening wordt daarentegen gewonnen in een relatief klein aantal diepe putten. Daarnaast is onttrekking van grondwater

voor berekening seizoensgebonden, terwijl onttrekking voor drinkwatervoorziening het hele jaar plaatsvindt.

Lokale geohydrologische omstandigheden (doorlatendheid en bergingsvermogen) kunnen een belemmering vormen voor grondwaterwinning. Het is zelfs mogelijk dat op bepaalde plaatsen geen watervoerende laag aanwezig is. In het model worden deze fysische belemmeringen ingevoerd door aan onttrekkingen per subgebied bovengrenzen op te leggen.

#### 5.5.4. Oppervlaktewaterbeheer

Behalve in subgebieden met zware kwel zal er tijdens de zomer in het studiegebied weinig oppervlaktewater aanwezig zijn indien er geen aanvoer van water plaatsvindt. Aanvoer van water naar het gebied betekent dat dit water elders niet kan worden aangewend. De afweging of aanvoer van water een verantwoorde beleidsbeslissing is in het licht van de mogelijkheden voor aanwending van het water in andere gebieden, is in de huidige modelopzet niet meegenomen. Aan de totale aanvoer naar het gebied moet door de gebruiker van het SGS een bovengrens worden opgelegd.

In deze studie wordt de infrastructuur voor aanvoer van oppervlaktewater als een gegeven beschouwd. Dit betekent dat de toewijzing van oppervlaktewater zodanig moet zijn dat de capaciteit van de aanwezige infrastructuur niet wordt overschreden. Een oppervlaktewaterstelsel is in werkelijkheid een netwerk. In deze studie wordt echter van dit netwerk geabstraheerd. Het systeem is gemodelleerd in een vorm alsof elk subgebied via een aquaduct direct verbonden is met het hoofdaanvoerpunt. Hiertoe zijn de doorvoercapaciteiten van de werkelijke infrastructuur vertaald naar capaciteiten die aangeven wat de maximale capaciteit is voor aanvoer vanuit het hoofdaanvoerpunt naar de respectievelijke subgebieden. Deze capaciteiten worden in het model als bovengrenzen gehanteerd voor het toewijzen van oppervlaktewater.

Voor het hele gebied is de totale aanvoercapaciteit opgelegd als randvoorwaarde die kan worden gevarieerd. Bij de berekening van de totale toewijzing van oppervlaktewater binnen het gebied wordt verondersteld dat de piekaanvoerbehoeften van alle subgebieden samenvallen. Dit hoeft in werkelijkheid niet het geval te zijn. Op basis van deze veronderstelling wordt een schatting gemaakt van de totale piekbehoefte, waar in werkelijkheid in ieder geval aan kan worden voldaan.

Een eerste voorwaarde voor de aanwending van oppervlaktewater voor beregning is uiteraard de aanwezigheid van een waterloop binnen een aanvaardbare afstand tot de te beregenen percelen. Deze afstand is op 200 m gesteld. Boven deze afstand is het uit praktisch oogpunt niet meer zinvol om uit oppervlaktewater te beregenen. In dat geval wordt uit grondwater beregend.

#### 5.5.5. Gecombineerd beheer van oppervlaktewater en grondwater

Aanvoer van water met als doel het peil te verhogen en daardoor de infiltratie te laten toenemen kan niet losgezien worden van het grondwaterbeheer. Dit komt omdat grondwateronttrekkingen de hoeveelheid infiltratie beïnvloeden: door de verlagingen van de grondwaterstand als gevolg van onttrekkingen ontstaat een groter potentiaalverschil tussen het oppervlaktewater en het grondwater. Hierdoor neemt de infiltratie van oppervlaktewater toe (vooropgesteld dat er voldoende oppervlaktewater wordt aangevoerd om deze infiltratie te doen plaatsvinden). Deze toename wordt geïnduceerde infiltratie genoemd. Bij de toewijzing van oppervlaktewater aan een subgebied door het optimaliseringsmodel wordt rekening gehouden met de waterbehoefte die uit deze vorm van infiltratie voortvloeit.

Voor de berekening van de effecten van infiltratie op de gewasgroei en op de vegetaties in natuurgebieden moet een referentietoestand worden gedefinieerd. De gekozen referentietoestand kan worden beschouwd als een onbeïnvloede situatie en heeft de volgende kenmerken:

- er vinden geen onttrekkingen van grondwater plaats, noch voor beregning, noch voor openbare watervoorziening;
- voor zover de aanvoercapaciteit van de infrastructuur dat toestaat wordt overal in het gebied ook tijdens de zomermaanden winterpeil gehandhaafd.

Door reeksen van berekeningen uit te voeren met het simulatiemodel SIMGRO met daarin een 'wandelende verstoring' worden 'responsies' gegenereerd die vervolgens in het optimaliseringsmodel als coëfficiënten in de lineaire vergelijkingen worden gebruikt. De responsiecoëfficiënten vormen samen een zogenaamde responsiematrix. Effecten van ingrepen in het regionale systeem worden op deze wijze in het optimaliseringsmodel berekend als effecten van verstoringen ten opzichte van de referentietoestand.

De extra infiltratie als gevolg van het opzetten van het peil is naar

boven toe begrensd door de hoeveelheid infiltratie die ontstaat bij een maximale peilstrategie.

### Responsiematrixmethode

De procedure voor het berekenen van effecten van verstoringen verloopt als volgt. Met het simulatiemodel SIMGRO wordt eerst de onbeïnvloede situatie gesimuleerd, hierboven aangeduid met de referentietoestand. De berekende getalswaarden van de variabelen (verdamping, gewasproductie, infiltratie) worden opgeslagen en dienen als constanten in de lineaire functies.

Vervolgens worden in de onderscheiden subgebieden verstoringen geïntroduceerd, bijvoorbeeld in de vorm van een onttrekking door een pompstation. Deze verstoringen worden een voor een per subgebied aangebracht; bij het invoeren van de volgende verstoring wordt de voorgaande ongedaan gemaakt. De effecten van de verstoringen, dat wil zeggen de verschillen met de onbeïnvloede situatie, dienen als coëfficiënten in de lineaire vergelijkingen die gebruikt worden voor de optimalisering.

Als voorbeeld zijn in Figuur 33 de resultaten gegeven van een berekening van de gewasverdamping met SIMGRO voor een onbeïnvloede situatie van een gebied ingedeeld in vijf subgebieden. In Figuur 34 zijn de verschillen gegeven tussen de onbeïnvloede en beïnvloede toestand. Deze verschillen worden vervolgens in een matrix ondergebracht (Figuur 35). Bij het gebruik van deze matrix in een optimaliseringsmodel worden de cumulatieve effecten van onttrekkingen in meer subgebieden bij elkaar opgeteld. Het totale effect op een subgebied  $i$  wordt berekend door elk element van rij  $i$  van de matrix te gebruiken als coëfficiënt per onttrekking, en de produkten bij elkaar op te tellen. Bijvoorbeeld voor het totale effect op subgebied 3 ( $e(3)$ ) geeft dit:

$$e(3) = - 5*q(1) - 9*q(2) - 20*q(3) - 4*q(4) - 10*q(5)$$

waarin  $q(1)$  t.m.  $q(5)$  de onttrekkingen in de subgebieden 1 t.m. 5 zijn. Voor de berekening van de gewasverdamping in subgebied 3 moet  $e(3)$  worden opgeteld bij de waarde in de onbeïnvloede situatie, in dit voorbeeld 410 mm.

Door een pompstation op de hier aangegeven manier in optimaliseringen te hanteren kan voor de keuze van de meest geschikte locatie met het effect op de regionale waterhuishouding rekening worden gehouden.

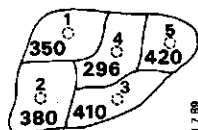


Fig. 33. Verdamping (in  $\text{mm.j}^{-1}$ ) per subgebied voor een fictieve situatie zonder onttrekkingen. De gestippelde open cirkels geven onttrekkingspunten aan

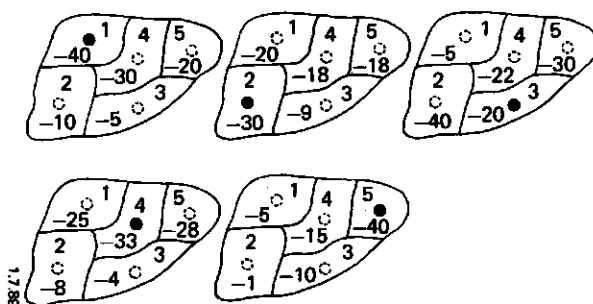


Fig. 34. Effect op de verdamping (in  $\text{mm.j}^{-1}$ ) van eenheidsonttrekkingen per subgebied. De gestippelde open cirkels geven onttrekkingspunten aan, gesloten cirkels geven aan dat in het desbetreffende subgebied een eenheidsonttrekking heeft plaatsgevonden

Fig. 35.

Responsiematrix.

Effecten op de verdamping (in  $\text{mm.j}^{-1}$ ) van een eenheidsonttrekking in subgebied  $i$  staan in de kolom  $i$  van de matrix

$$\begin{pmatrix} -40 & -20 & -5 & -25 & -5 \\ -10 & -30 & -40 & -8 & -1 \\ -5 & -9 & -20 & -4 & -10 \\ -30 & -18 & -22 & -33 & -15 \\ -20 & -18 & -30 & -28 & -40 \end{pmatrix}$$

### 5.5.6. Gewasverdamping en gewasproductie

Bij de berekening van de gewasverdamping wordt net als bij de berekening van de piekinfiltratie gebruik gemaakt van responsiematrices. De gewasverdamping zijn met name van belang in verband met de toetsing van de uitkomsten aan de hand van een verificatieberekening met het simulatiemodell. Deze toetsing wordt aan de hand van de gewasverdampingen uitgevoerd omdat deze beter herkenbaar zijn dan wanneer de gewasproducties daarvoor zouden worden gebruikt. Een voorbeeld van deze toetsing is gegeven in Paragraaf 6.2.

### 5.5.7. Grondwaterstandsverlagingen in natuurgebieden

Om grenzen aan de waardedaling van natuurlijke vegetaties in bepaalde subgebieden te kunnen stellen (zie ook Par. 5.3) dienen de grondwaterstandsverlagingen in deze subgebieden te worden berekend. Het betreft zowel de verlagingen aan het begin van de zomer als die aan het begin van de winter. Voor deze verlagingen worden de responsiematrices gebruikt die in Paragraaf 5.5.5 zijn behandeld.

## 5.6. STIKSTOFHUISHOUDING

### 5.6.1. Stikstofvoorziening van gewassen

Elke technologie uit de categorie grondgebonden technologieën heeft een bepaalde behoefte aan opneembare stikstof (zie ook Par. 5.2). Deze stikstof mag uit organische mest of uit kunstmest afkomstig zijn. De hoeveelheid uit kunstmest moet aan een minimum eis voldoen in verband met een snelle start van de groei.

De stikstof in organische mest is aanwezig in drie hoofdvormen. Een gedeelte is reeds gemineraliseerd op het moment van toediening. Een ander deel is gebonden in gemakkelijk afbreekbare organische verbindingen. Dit gedeelte komt beschikbaar in de loop van het eerste jaar na toediening. En een derde fractie is ingebouwd in stabiele verbindingen; deze fractie wordt pas in de loop van de jaren na toediening afgebroken.

In het model wordt niet gekeken naar het tijdsverloop van de hoeveelheid stabiele N in de grond. In plaats daarvan wordt een stationaire benadering gevolgd waarbij wordt aangenomen dat de hoeveelheid stabiele N in evenwicht is met de hoeveelheid die in het model aan de grond wordt toegediend. Op deze wijze is het mogelijk de hoeveelheid voor het gewas opneembare stikstof te berekenen door de mesttoedieningen te vermenigvuldigen met effectiviteitscoëfficiënten voor stikstof (LAMMERS, 1983).

De stikstofbalansen zijn geformuleerd op het aggregatieniveau van categorieën technologieën (bouwland, mais en grasland). Dit is acceptabel omdat op middellange termijn een rotatie van gewassen binnen deze categorieën plaats vindt. Bij de keuze van het aggregatieniveau heeft verder een rol gespeeld dat de wettelijke normen met betrekking tot de toediening van fos-

faat met organische mest, uitgesplitst zijn naar de genoemde categorieën technologieën. Het ligt dan voor de hand de vergelijkingen voor stikstof te formuleren op een wijze die analoog is aan die voor fosfaat (zie ook Par. 5.7).

#### 5.6.2. Nitraatbelasting van het grondwater

De nitraatbelasting van het grondwater wordt berekend in twee stappen. In de eerste stap wordt de hoeveelheid berekend die uitspoelt uit de wortelzone door de mesttoedieningen te vermenigvuldigen met uitspoelingscoëfficiënten. Bij de mesttoediening op grasland worden de hoeveelheden opgeteld die op natuurlijke wijze door het vee tijdens het zomerhalfjaar op het land worden gebracht. Deze hoeveelheden mest zijn overigens niet in de balansen van opneembare stikstof opgenomen omdat de effectiviteitscoëfficiënten daarvan laag zijn.

In de tweede stap wordt de reductie van nitraat in de nabijheid van het freatisch grondwater berekend met reductiecoëfficiënten in afhankelijkheid van de grondwaterstand. Naarmate de grondwaterstand hoger is wordt meer nitraat gedenitrificeerd en spoelt minder nitraat uit.

#### 5.6.3. Regionale verspreiding van nitraat door grondwaterstroming

In het optimaliseringsmodel wordt voor de regionale verspreiding van nitraat door grondwaterstroming een stationaire benadering gevolgd. Hiermee wordt bedoeld dat er stikstofconcentraties worden berekend die zouden ontstaan wanneer een bepaald patroon van mesttoediening jaar in jaar uit herhaald zou worden voor een oneindig aantal jaren. De keuze voor deze werkwijze is ingegeven doordat:

- de overheid met name geïnteresseerd is in de concentraties die op lange termijn zullen ontstaan bij een bepaald scenario;
- het opnemen van een dynamische modelformulering (dat wil zeggen een formulering waarin het tijdpad van de concentraties is opgenomen) een veel te groot beslag zou leggen op de beschikbare computercapaciteit.

Een verdere vereenvoudiging in de weergave van de processen die in werkelijkheid plaatsvinden is de toepassing van een mengvaten benadering. Deze benadering is redelijk acceptabel wanneer stationair wordt gerekend. Er zijn verder nog de volgende vereenvoudigende aannames gedaan:



- de afbraak van nitraat in de verzadigde zone als gevolg van denitrificatie wordt in rekening gebracht door middel van afbraakcoëfficiënten;
- de nitraatconcentratie van water dat over de rand van het gebied naar binnen stroomt heeft een concentratie die gelijk is aan de concentratie in het mengvat waar het water naar toestroomt.

Een geschikte indeling van de ondergrond in mengvaten hangt sterk af van het gebied. In het studiegebied is per subgebied een mengvat voor het freatische pakket genomen en voor de Slenk en de Horst (zie Par. 4.7.1) een groot mengvat voor de eerste watervoerende laag.

In de balansvergelijkingen voor de mengvaten staan steeds links van het gelijkteken de jaarlijkse afbraak en rechts de jaarlijkse netto instroming van nitraat, zodat in de evenwichtssituatie (stationaire toestand) de jaarlijkse afbraak gelijk is geworden aan de toestroming.

De weersafhankelijkheid van waterkwantiteitsvariabelen is niet in de balansvergelijkingen opgenomen. In plaats daarvan zijn de coëfficiënten verkregen aan de hand van een langjarige simulatie met het regionaal hydrologisch model SIMGRO: de waterkwantiteitsvariabelen worden hieruit verkregen door berekening van langjarige gemiddelden. De rechtvaardiging hiervoor ligt in de omstandigheid dat de stikstofhuishouding van de ondergrond een zeer lange karakteristieke tijd heeft, daardoor zijn niet de omstandigheden in een bepaald jaar bepalend voor de eindconcentratie van nitraat, maar het langjarige gemiddelde dat kenmerkend is voor een bepaald klimaat.

#### 5.6.4. Randvoorwaarden aan N-concentraties

Met het oog op het voldoen aan bepaalde milieunormen, met name het gehalte dat nog acceptabel is voor de drinkwaterwinning, mogen de N-concentraties niet boven bepaalde waarden uit stijgen. Hierin wordt voorzien door in het optimaliseringsmodel een aantal bovengrenzen aan de concentraties op te leggen.

## 5.7. FOSFAAT- EN KALIUMHUISHOUDING

### 5.7.1. Fosfaataccumulatie in de bodem

Wanneer meer fosfaat aan de grond wordt toegevoegd dan door de gewassen wordt opgenomen ontstaat een overschot. Dit overschot wordt gefixeerd in de bodem door adsorptie aan het adsorptiecomplex en door chemische verbindingen met de aanwezige aluminium- en ijzerionen. Als de aanwezige fixatiecapaciteit is verbruikt zal fosfaat doorslaan naar het grondwater. Om dat te voorkomen is door de overheid een gefaseerde normstelling opgesteld. Deze is gegeven in Tabel 24. Het voldoen aan een bepaalde norm wordt in het model gerealiseerd door de gegevens in deze tabel als beperkingen op te nemen.

Tabel 24. Toegestane (fase 1 en 2) en indicatieve (fase 3 en eindnorm) fosfaatdosering volgens het Besluit gebruik dierlijke meststoffen van de Rijksoverheid

Fase	Ingangsjaar	Fosfaatdosering ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$ )		
		bouwland	snijmais	grasland
Fase 1 ( $\text{P}_1$ )	1987	125	350	250
Fase 2 ( $\text{P}_2$ )	1991	125	250	200
Fase 3 ( $\text{P}_3$ )	1995	125	175	175
Eindnorm ( $\text{P}_4$ )	2000	70	75	110

### 5.7.2. Kalium toediening aan grasland

Om kopziekte van vee te vermijden mag er op grasland jaarlijks niet meer dan een bepaalde hoeveelheid kali aan de grond worden toegevoegd. Hiervoor is een beperking in het model opgenomen.

## 6. TOEPASSING VAN HET SCENARIO GENEREREND SYSTEEM

### 6.1. INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van voorbeelden van gegenereerde scenario's inzicht gegeven in de mogelijkheden van de ontwikkelde methodiek. Bij toepassing zal de methodiek antwoord moeten geven op vele vragen met betrekking tot alternatieven voor het waterbeheer. In het in Figuur 36 gegeven schema van het scenario genererend systeem komt het stellen van een vraag overeen met het door de gebruiker specificeren van 'scenario wensen'.

Bij voorkeur zou het Scenario Genererend Systeem in korte tijd antwoord moeten geven op een vraag van de gebruiker. Het is echter gebleken dat ondanks de sterke vereenvoudigingen die in de modellen voor optimalisering zijn doorgevoerd, het rekenproces aanzienlijk veel tijd nodig kan hebben.

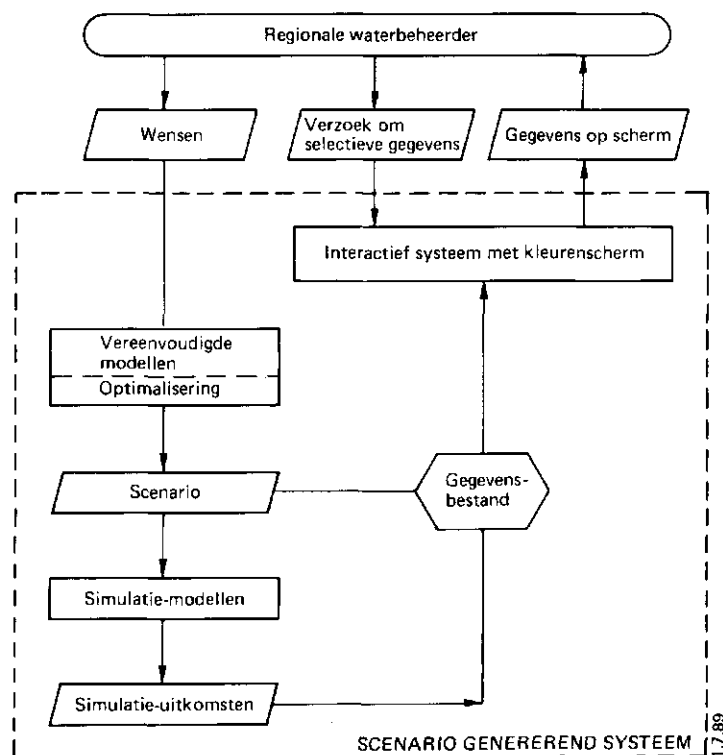


Fig. 36. Schema van het Scenario Genererend Systeem met daarin opgenomen het databestand van scenario's en een interactief systeem met kleurenscherm voor het oproepen van selectieve gegevens

Deze verwerkingstijd is sterk afhankelijk van de beginsituatie en de opgelegde randvoorwaarden. Op een DEC MICRO VAX II varieert de benodigde tijd van minuten tot enkele uren. Het is dus niet reëel om op een antwoord te wachten. Om deze reden is het specificeren van een vraag en het krijgen van een antwoord niet geïmplementeerd in de vorm van een interactief systeem. In plaats daarvan bevinden de 'knoppen' waar een gebruiker aan kan draaien (parameters waaraan de gebruiker een waarde moet geven) zich in een afzonderlijk databestand.

Zowel de optimaliseringsmodellen als de simulatiemodellen produceren grote aantallen uitvoergegevens. Het omgaan met en de interpretatie van deze gegevens is een probleem op zich. Daarom is er een interactief systeem ontwikkeld voor het presenteren van gegevens waarbij gebruik wordt gemaakt van een hiërarchische methode voor de opslag en het terughalen van data, in combinatie met een grafische presentatie op een kleurenscherm. Hiermee is het mogelijk doelgericht informatie uit het databestand op te vragen. Aan de hand van kaarten en diagrammen kunnen op deze wijze uitkomsten van verschillende scenarios met elkaar worden vergeleken. Een uitgebreide beschrijving van dit dataverwerkingssysteem is gegeven in Deelrapport 4.

## 6.2. PROCEDURE VOOR HET GENEREREN VAN SCENARIO'S

De in voorgaande hoofdstukken beschreven simulatiemodellen en modellen voor optimalisering bevatten kwantificeringen van het welbevinden van de watergebruikers, de zogenaamde indicatoren. In deze benadering is een indicator een parameter waarvan de waarde een maat is voor het welbevinden van een watergebruiker. Omdat welbevinden diverse aspecten kan hebben, worden per gebruikersgroep zonnodig meer indicatoren gehanteerd.

In de volgende lijst van onderscheiden indicatoren staat tussen haakjes steeds vermeld of toename van welbevinden gerelateerd is aan 'maximalisering' (max) of 'minimalisering' (min):

- inkomen uit de landbouw (max);
- werkgelegenheid in de landbouw (max);
- totale hoeveelheid grondwater dat onttrokken wordt voor de openbare watervoorziening (max);
- maximale nitraatconcentratie in het grondwater (min);
- verlies aan natuurwaarde in natuurgebieden (min).

Elk van deze indicatoren is met minstens een van de andere in strijd. Dus is het niet mogelijk alle indicatoren tegelijk optimaal te doen zijn. Daarom is gekozen voor de volgende procedure:

- neem het inkomen uit de landbouw als doelfunctie van de optimalisering;
- formuleer randvoorwaarden voor de resterende indicatoren. Voor de 'max'-indicatoren zijn dit randvoorwaarden in de vorm van ondergrenzen. Voor de 'min'-indicatoren zijn dit randvoorwaarden in de vorm van bovengrenzen;
- verricht een optimalisering van het inkomen uit de landbouw met voor de resterende indicatoren de opgegeven randvoorwaarden;
- evalueer het resultaat van de berekeningen;
- herhaal de procedure indien de waarde van het geoptimaliseerde inkomen niet in overeenstemming is met de wensen die de gebruiker in gedachten heeft.

Overigens is het mogelijk ook een andere indicator als doelfunctie van de optimalisering te nemen, bijvoorbeeld de totale hoeveelheid grondwater die onttrokken wordt voor de openbare watervoorziening. De uitkomst van een dergelijke exercitie kan dan worden gezien als de voor de drinkwatervoorziening 'winbare hoeveelheid grondwater', met inachtneming van randvoorwaarden met betrekking tot de andere watergebruikers, landbouw en natuur.

De beschreven procedure kan worden doorlopen voor verschillende opties met betrekking tot overige randvoorwaarden en data. Voor de randvoorwaarden is dit bijvoorbeeld:

- de totale aanvoercapaciteit van oppervlaktewater die beschikbaar is;
- de hoeveelheid mest die buiten het gebied kan worden afgezet;
- de fosfaatnorm die wordt opgelegd;
- de mogelijkheden voor uitbreiding van bepaalde technologieën;
- de onder- en bovengrenzen met betrekking tot de beschikbaarheid van arbeid.

Voor de data zijn er verschillende keuzes ten aanzien van:

- het weerjaar op basis waarvan het inkomen uit de landbouw wordt berekend;
- de economische omstandigheden die bepalend zijn voor prijzen en kosten in de landbouw.

Een voorbeeld van een vraag die een gebruiker met de methodiek zou kunnen oplossen is: wat is het maximaal mogelijke gebiedsinkomen uit de landbouw onder de randvoorwaarden dat:

- 
- er in het betreffende gebied minimaal 3000 mensen in de landbouw permanent hun werk vinden;
  - er 5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar aan het grondwater onttrokken kan worden voor de openbare watervoorziening (excl. de veedrenking);
  - de maximale evenwichtsconcentratie van nitraat-N in het grondwater niet meer dan 11,2 mg.l<sup>-1</sup> bedraagt;
  - het verlies aan natuurwaarde (in vergelijking met de ongestoorde toestand) in de natuurgebieden niet meer dan 25% bedraagt;
  - er 2 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> oppervlaktewateraanvoer beschikbaar is om aan de piekbehoefte te voldoen;
  - er geen afzet van mest buiten het gebied mogelijk is.

Indien de gebruiker op een punt aangeland is dat hij enigszins tevreden is met de combinatie van indicatorwaarden, is het noodzakelijk het verkregen scenario te verifiëren met behulp van de ontwikkelde simulatiemodellen. In Figuur 36 is deze optie aangegeven door de pijl tussen vereenvoudigde modellen en simulatiemodellen. In Figuur 37 is in meer detail gegeven de wijze waarop een scenario als invoer gebruikt wordt voor de simulatiemodellen, en tevens de onderlinge samenhang van die modellen.

### 6.3. VERIFICATIE VEREENVOUDIGDE MODELLEN

In Hoofdstuk 5 is reeds gesteld dat de vereenvoudigde modellen noodzakelijkerwijs een relatief grove benadering van de werkelijkheid zijn. Voor de uiteindelijke schatting van een scenario is dit niet bezwaarlijk omdat voor die schatting niet de vereenvoudigde modellen maar de simulatiemodellen gebruikt worden. De beoogde functie van de vereenvoudigde modellen is namelijk niet de evaluatie van scenario's maar juist datgene wat daaraan voorafgaat, namelijk het zoeken van veelbelovende alternatieven voor het waterbeheer en het daaraan gerelateerd landgebruik en -beheer.

De formele toetsing van de vereenvoudigde modellen in relatie tot het beantwoorden aan de beoogde functie, namelijk het op effectieve wijze zoeken van een scenario, is evenwel moeilijk in verband met het niet beschikbaar zijn van een toetssteen. Een dergelijke toetssteen zou namelijk moeten bestaan uit een scenario dat gevonden is met behulp van een optimaliseringsalgoritme dat direct gekoppeld is aan de simulatiemodellen. Met

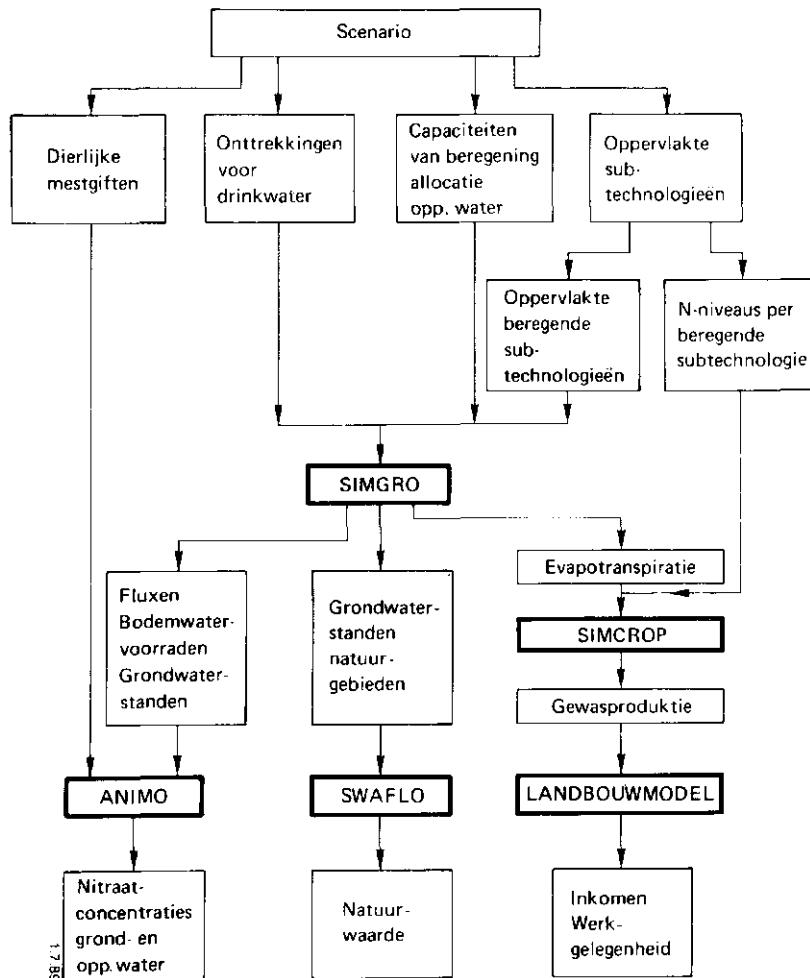


Fig. 37. Schema van de samenhang van de simulatiemodellen in relatie met de wijze waarop een scenario als invoer voor een verificatie kan worden gebruikt

Tabel 25. Vergelijking tussen de gewasverdamping berekend door het vereenvoudigd model ( $E_v$ ) en door het simulatiemodel ( $E_s$ )

Gewasverdamping onberegende mais				Gewasverdamping onberegend gras			
Subgebied	$E_v$ (mm.j <sup>-1</sup> )	$E_s$ (mm.j <sup>-1</sup> )	$E_v-E_s$ (mm.j <sup>-1</sup> )	Subgebied	$E_v$ (mm.j <sup>-1</sup> )	$E_s$ (mm.j <sup>-1</sup> )	$E_v-E_s$ (mm.j <sup>-1</sup> )
1	437	439	- 2	1	505	506	-2
2	426	429	- 3	2	510	509	1
3	398	398	0	3	483	485	-2
4	360	363	- 3	4	441	440	1
5	301	302	- 1	5	409	410	-1
6	358	373	-15	6	446	441	5
7	262	262	0	7	372	374	2
8	324	325	- 1	8	436	438	-2
9	302	303	- 1	9	425	426	-1
10*	-	-	-	10	-	-	-
11	368	367	1	11	441	441	0
12	298	299	- 1	12	391	391	0
13	444	445	- 1	13	518	519	-1
14	260	260	0	14	370	372	-2
15	437	438	- 1	15	477	471	6
16*	-	-	-	16	-	-	-
17	440	442	- 2	17	510	510	0
18	334	327	7	18	447	441	6
19	390	393	- 3	19	451	448	3
20	434	435	- 1	20	508	510	-2
21	407	398	9	21	501	500	1
22	289	292	- 3	22	385	387	-2
23	314	312	2	23	426	426	0
24	296	296	0	24	388	391	-3
25	275	280	- 5	25	380	383	-3
26	305	304	1	26	400	406	-6
27*	-	-	-	27	-	-	-
28	318	317	1	28	430	430	0
29	377	389	-12	29	446	450	-4
30	301	300	1	30	416	418	-2
31	329	329	0	31	433	434	-1

$E_v-E_s$ : gemiddelde = -1,2 mm  
spreiding = 4,5 mm

$E_v-E_s$ : gemiddelde = -0,5 mm  
spreiding = 2.8 mm

\*natuurgebied



een dergelijk systeem zou op een meer exacte wijze geoptimaliseerd kunnen worden.

Een voorbeeld van een andere toetsingsmethode is het maken van een vergelijking tussen de uitkomsten van het vereenvoudigde model en het simulatiemodel. Hoe meer de uitkomsten met elkaar overeenkomen, des te groter de effectiviteit van de vereenvoudigde modellen is in het zoeken naar scenario's die ook echt aan de wensen van de gebruiker voldoen.

In Tabel 25 zijn de uitkomsten vergeleken met betrekking tot de gewasverdamping van onberegende mais en onberegend gras. Onder de tabel staan een aantal statistische parameters van het verschil tussen de uitkomsten. Het gemiddelde blijkt nauwelijks van 0 af te wijken, zodat er dus nauwelijks sprake is van een systematisch afwijking. Wel is er bij onberegende mais een uitschieter tot  $15 \text{ mm.j}^{-1}$ . De spreiding bedraagt slechts 1 à 1,5% van het gemiddelde van de gewasverdampingen. De resultaten van het vereenvoudigd model kunnen zo goed met die van het simulatiemodel overeenkomen omdat er op systematische wijze gebruik wordt gemaakt van gegevens die aangeleverd worden door reeksen berekeningen met het simulatiemodel.

Voor het regionale stikstofmodel kon een dergelijke toetsing niet doorgevoerd worden omdat ten tijde van het afsluiten van de berekeningen voor dit onderzoek het simulatiemodel ANIMO nog niet operationeel was.

Voor het model waarmee de gevolgen van grondwaterstands dalingen op de vegetaties in de natuurgebieden worden berekend hoefde geen toetsing plaats te vinden. Het vereenvoudigde model is immers identiek aan het ondersteunende model dat beschreven is in Paragraaf 4.3. Het model van de openbare watervoorziening, tenslotte, heeft een triviaal karakter. Het bestaat slechts uit een vergelijking die de totale watervraag specificceert.

#### 6.4. VOORBEELDEN VAN REKENRESULTATEN

Zoals reeds in het voorgaande is gesteld zijn de rekenuitkomsten van het Scenario Genererend Systeem sterk afhankelijk van de vraag die aan het systeem wordt gesteld en van de opgelegde randvoorwaarden. De hier gepresenteerde resultaten zijn dan ook slechts voorbeelden van concrete optimalisering. De weersomstandigheden in de gepresenteerde voorbeelden zijn zodanig gekozen dat deze overeenkomen met een 10% droog jaar (hiervoor zijn meteorologische gegevens van het jaar 1975 gebruikt).

In Paragraaf 6.4.1 is het inkomen van de landbouw als doelfunctie genomen; in Paragraaf 6.4.2 is de doelfunctie de onttrekking van grondwater voor de openbare watervoorziening.

#### 6.4.1. Doelfunctie: het inkomen in de landbouw

De gevoeligheid van het inkomen in de landbouw is in de volgende paragrafen onderzocht voor een aantal combinaties van randvoorwaarden en parameterwaarden.

##### 6.4.1.1. Gevoeligheid inkomen voor mogelijkheden van mestafzet

In dit voorbeeld wordt gekeken naar de invloed van de mogelijkheden van mestafzet buiten het gebied op:

- a. het gebiedsinkomen uit de landbouw;
- b. de productieomvang gemeten in standaard bedrijfseenheden;
- c. de samenstelling van de intensieve veehouderij;

met als randvoorwaarden voor de scenario's:

- twee groeimogelijkheden (10% en 50%) voor de technologieën;
- een strenge fosfaatnorm voor de mestdosering: mestgift = onttrekking door het gewas, dit is de  $P_4$  fosfaatnorm (vergelijk Tabel 24);
- teruggang in natuurwaarde is niet toegestaan;
- gebied moet per jaar 7 miljoen  $m^3$  drinkwater leveren.

Als gevolg van deze randvoorwaarden probeert het systeem uit te wijken naar minder milieubelastende technologieën om de effecten op het landbouwincome zo klein mogelijk te maken. Deze uitwijkmogelijkheden naar andere technologieën worden in de praktijk bepaald door de afzetmogelijkheden van de producten, de geschiktheid van de grond en de in het gebied aanwezige kennis. Zo zal de vervanging van intensieve veehouderij door bijvoorbeeld glastuinbouw de productie van tuinbouwproducten doen toenemen waar een afname van de productie van vlees en eieren tegenover staat. De mate waarin deze respectievelijk afname van het aanbod leidt tot prijsveranderingen is afhankelijk van het aandeel in de totale landelijke respectievelijk regionale productie.

De invloed op de prijs van plaatselijke uitbreiding van de productie van vervangende gewassen is moeilijk te voorspellen en is ook moeilijk te hanteren

in een lineair optimaliseringsmodel, omdat ze niet alleen de inkomens in het studiegebied beïnvloedt maar ook daarbuiten. In de hier gegeven rekenvoorbeelden is daarom voor een andere benadering gekozen waarbij uitgegaan is van een beperking van de mogelijkheden tot uitbreiding van de produktie. In principe zou voor elke technologie nagegaan moeten worden hoever deze uitbreiding mogelijk is zonder beïnvloeding van het prijsniveau. Daar het hier slechts voorbeelden betreft is eenvoudigheidshalve voor de meeste technologieën eenzelfde percentage voor de maximum toegestane groei aangehouden voor twee niveaus 10% en 50%. Er is geen uitbreiding toegestaan van de melkveehouderij in verband met de overproduktie van melk. De mogelijkheid van mestafzet is gevarieerd tussen 200 000 en 500 000 ton per jaar tegen een gefixeerde prijs van f 20,- per ton voor drijfmest en f 8,- per ton voor droge mest.

Figuur 38 geeft een indruk van de betekenis van deze groeimogelijkheden van de technologieën en van de mogelijkheden van mestafzet buiten het gebied op het gebiedsinkomen uit de landbouw, de produktieomvang en de samenstelling van de intensieve veehouderij. Uit de Figuur blijkt dat bij 50% groeimogelijkheid de mogelijkheden voor verbetering van het landbouwinkomen veel groter zijn dan bij 10% (Figuur 38a). Deze extra groeimogelijkheid blijkt vooral benut te worden voor het laten groeien van de tuinbouwtechnologieën (Figuur 38b).

Voor alle scenario's in Figuur 38 is de zwaarste fosfaat-norm  $P_4$  opgelegd (vergelijk Tabel 24). Bij deze norm zal een deel van de intensieve veehouderij moeten verdwijnen tenzij er mogelijkheden zijn de geproduceerde mest elders af te zetten of eventueel te verwerken. Naarmate de afzetmogelijkheden groter zijn hoeft minder in de bedrijfsvoering te worden veranderd (Figuur 38c).

Bij een groeimogelijkheid van 50% stijgt het inkomen bij verruiming van de afzetmogelijkheden van 200 tot 300 duizend ton mest. Boven de 350 duizend ton wordt van de ruimere afzetmogelijkheden geen gebruik meer gemaakt, een verdere stijging van het inkomen blijft uit (Figuur 39a). Dit komt omdat een verdere vergroting van de veestapel slechts mogelijk is door het aantrekken van betaalde arbeidskrachten. Als randvoorwaarde is namelijk gesteld dat in het gebied maximaal 3500 eigen arbeidskrachten op de bedrijven aanwezig zijn. De voor uitbreiding van de veestapel nodige aanvullende arbeidskrachten zouden kennelijk meer kosten met zich meebrengen dan de eventuele toename van het inkomen. Daarom laat het model deze uitbreiding

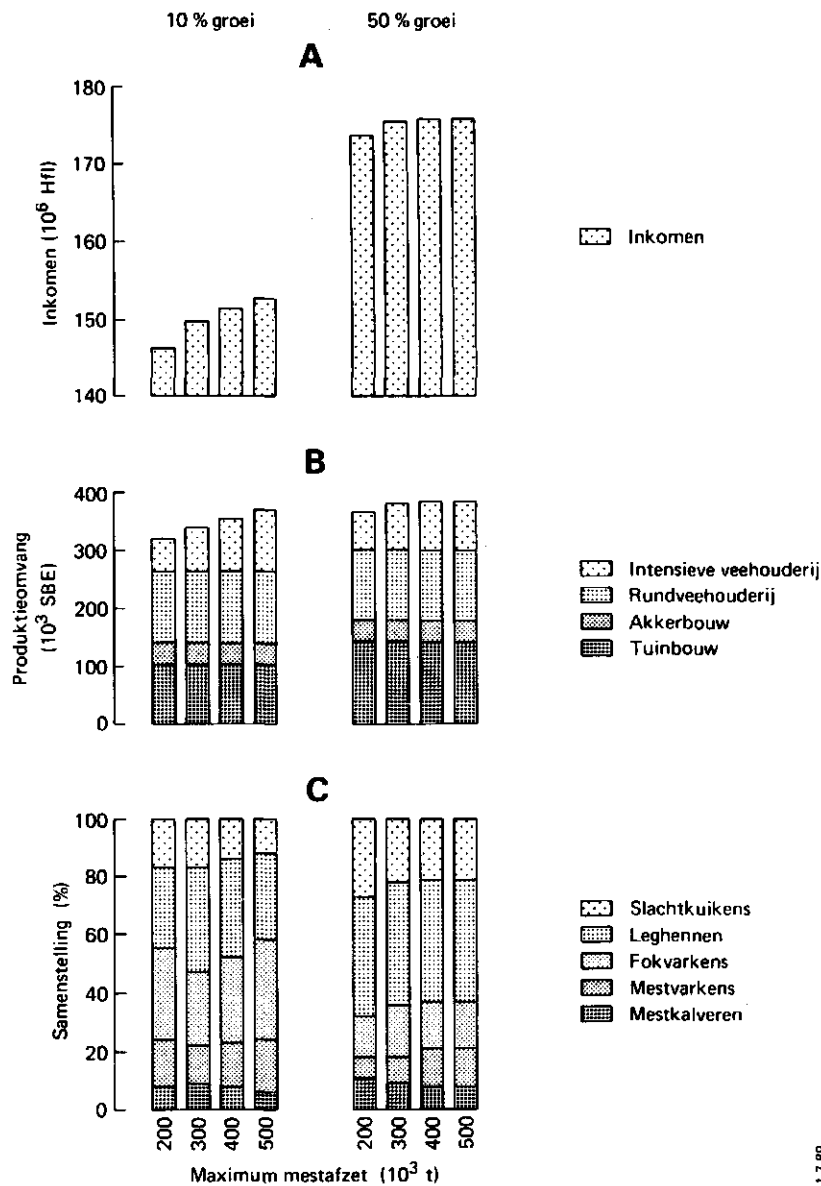


Fig. 38. Invloed van de afzetmogelijkheden van mest buiten het gebied en de groeimogelijkheden van technologieën (links max. 10% groei en rechts max. 50% groei) op: a. het gebiedsinkomen uit de landbouw op jaarbasis; b. de productieomvang gemeten in standaard bedrijfs-eenheden; c. de samenstelling van de intensieve veehouderij. De belangrijkste overige randvoorwaarden voor deze scenario's hebben betrekking op een strenge fosfaatnorm ( $P_4$ , vergelijk Tabel 24), teruggang in natuurwaarde niet toegestaan, gebied moet per jaar 7 miljoen  $m^3$  drinkwater leveren

achterwege en blijft het inkomen verder op hetzelfde niveau. De productieomvang (gemeten in standaard bedrijfseenheden) van de tuinbouw, de akkerbouw en de rundveehouderij wordt nauwelijks beïnvloed door de mogelijkheden tot mestafzet (Figuur 38b). De tuinbouw stijgt tot de maximaal toegestane waarde en de rundveehouderij blijft nagenoeg constant. Ten behoeve van de uitbreiding van de tuinbouw en de overige landbouwgewassen neemt de oppervlakte snijmais enigszins af, evenals de oppervlakte extensief gebruikt grasland. Bij een maximale groei van 50% is het aandeel van de intensieve veehouderij duidelijk geringer. Wat de samenstelling van de intensieve veehouderij betreft blijkt dat bij uitbreiding van de mogelijkheid tot mestafzet het aandeel van de mestkuikens en mestkalveren afneemt (Figuur 38c). Bij vergelijking van het verschil in gebiedsinkomen en de totale productieomvang valt op dat de productieomvang uitgedrukt in SBE bij 50% ten opzichte van 10% groei veel minder verschilt dan het inkomen. Een van de oorzaken is dat de kosten van mestafzet bij de bepaling van het inkomen wel een rol spelen maar bij de bepaling van het aantal SBE's niet. Daarnaast is bij de bepaling van het aantal SBE's per ha tuinbouw de kostenpost voor de grond aanzienlijk hoger dan voor de overige grondgebruiksvormen. In de hier uitgevoerde voorbeeldberekeningen zijn bij de bepaling van het gebiedsinkomen de grondkosten buiten beschouwing gebleven. Het zou immers onjuist zijn als uitbreiding van de tuinbouw zou leiden tot hogere grondkosten. Een en ander leidt er toe dat het inkomen per SBE uit de tuinbouw duidelijk hoger uitkomt dan uit de intensieve veehouderij.

#### 6.4.1.2. Gevoeligheid inkomen voor kostprijs van mestafzet

In dit voorbeeld wordt gekeken naar de invloed van de kostprijs van mestafzet op:

- a. het gebiedsinkomen uit de landbouw;
- b. de productieomvang gemeten in standaard bedrijfseenheden;
- c. de samenstelling van de intensieve veehouderij;

met als randvoorwaarden voor deze scenario's:

- twee fosfaatnormen ( $P_2$  en  $P_4$ , vergelijk Tabel 24) voor toediening van mest;
- maximale mestafzet 400 000 ton per jaar;
- groeimogelijkheden grondgebonden technologieën tot 30%, groeimogelijkheden intensieve veehouderij tot 20% (rundveehouderij uitgezonderd);

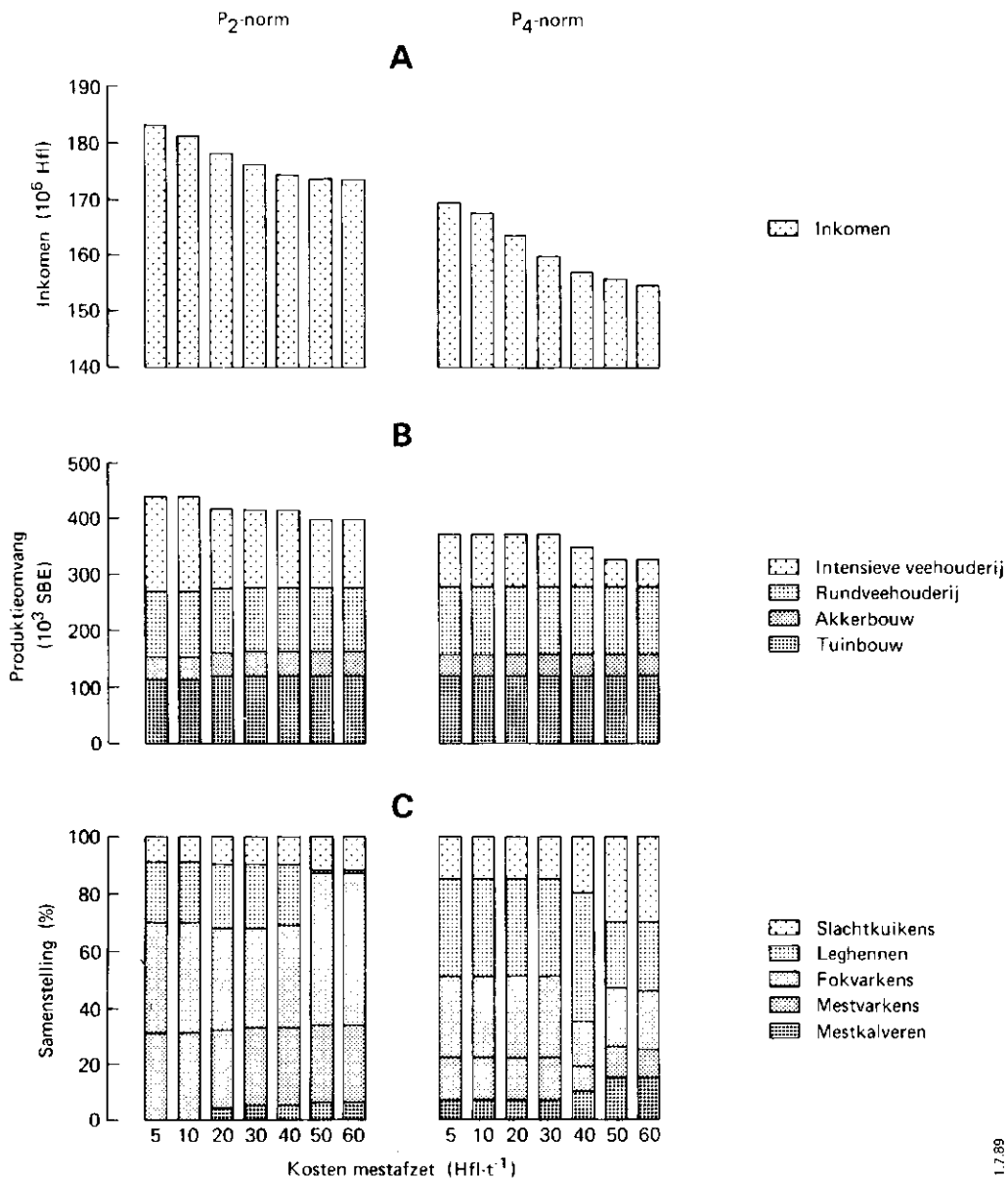
- teruggang in natuurwaarde niet toegestaan;
- gebied moet per jaar 7 miljoen m<sup>3</sup> drinkwater leveren.

In Figuur 39 zijn de resultaten gegeven van deze reeks scenario's waarbij de kostprijs van mestafzet gevarieerd is van f 5,- tot f 60,- per ton. Voor de scenario's in Figuur 38 was uitgegaan van een kostprijs van mestafzet buiten het gebied van 20 gulden per ton voor drijfmest en 8 gulden per ton voor droge mest. Indien de mestoverschotten fabrieksmatig zouden moeten worden verwerkt kunnen deze kosten aanzienlijk oplopen, daarom zijn in deze berekeningen hogere kosten opgevoerd.

Bij de P<sub>2</sub>-fosfaatnorm en bij afzetkosten van 5 en 10 gulden per ton drijfmest wijkt het scenario nauwelijks af van de situatie zonder beperking van de fosfaattoediening in mest. Stijgt deze prijs tot 20 gulden en meer dan neemt de omvang van de intensieve veehouderij af, en ook die van de mestafzet (Figuur 39c). Bij een prijs van 60 gulden per ton drijfmest wordt alleen nog droge mest afgezet, de afzet van drijfmest is te duur geworden. Aangezien de droge mest slechts een kleine hoeveelheid betreft is de verdere inkomensdaling gering, vandaar de afvlakking van de staven bij deze hoge kosten van mestafzet (Figuur 39a).

Bij de P<sub>4</sub>-fosfaatnorm is de afzetmogelijkheid van 400 000 ton onvoldoende om de huidige omvang van de intensieve veehouderij te handhaven. Vooral de varkenshouderij loopt drastisch terug. Tot een afzetprijs van 40 gulden per ton wordt de bedrijfsvoering echter niet verder beïnvloed. De daling van het inkomen wordt uitsluitend veroorzaakt door de toename van de kosten van de mestafzet. Bij kosten die hoger zijn dan 40 gulden per ton neemt de varkenshouderij en ook de leghennenstapel verder in omvang af, wat ook leidt tot een afname van de mestafzet (Figuur 39c).

Door vergelijking van de twee opgelegde fosfaatnormen is het tevens mogelijk uit deze Figuur het effect van de verzwaring van de fosfaatbeperking af te lezen bij verschillende niveaus van de kosten van mestafzet. Bij 5 gulden per ton doet deze verzwaring het inkomen met 14 miljoen gulden dalen, terwijl bij een kostenniveau van 60 gulden per ton deze daling 19 miljoen gulden bedraagt.



1.7.89

Fig. 39. De invloed van de kostprijs van mestafzet en twee opgelegde fosfaatnormen (links de P<sub>2</sub> norm en rechts de P<sub>4</sub> norm, vergelijk Tabel 24) voor toediening van dierlijke mest op: a. het gebieds-inkomen uit de landbouw op jaarbasis; b. de productieomvang gemeten in standaard bedrijfseenheden; c. de samenstelling van de intensieve veehouderij. Overige belangrijke randvoorwaarden zijn: maximale mestafzet 400 000 ton per jaar, groeiomvang gebonden technologieën tot 30%, groeiomvang intensieve veehouderij tot 20% (rundveehouderij uitgezonderd), teruggang in natuurwaarde niet toegestaan, gebied moet per jaar 7 miljoen m<sup>3</sup> drinkwater leveren

#### 6.4.1.3. Gevoeligheid inkomen voor beperkingen op mestgift

In dit voorbeeld wordt gekeken naar de invloed van beperkingen op de mestgift en een uitrijverbod tussen 1 november en 15 februari op:

- a. het gebiedsinkomen uit de landbouw;
- b. de produktieomvang in standaardbedrijfseenheden;
- c. de samenstelling van de intensieve veehouderij;

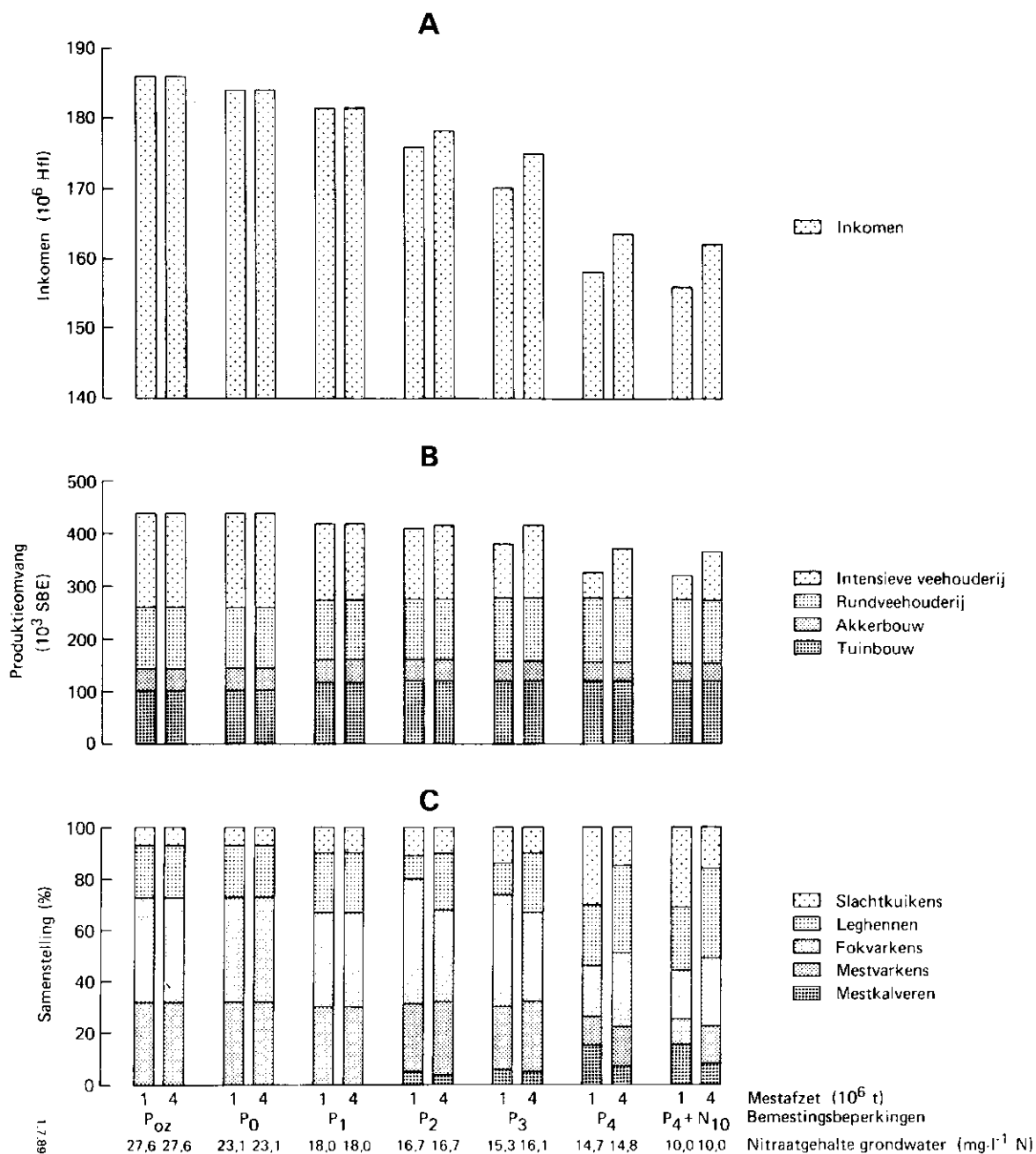
Met als randvoorwaarden voor deze scenario's:

- twee niveaus van mestafzet buiten het gebied, 100 000 ton per jaar en 400 000 ton per jaar tegen een prijs van 20 gulden per ton;
- beperkingen op mestgift op basis van fosfaatnormen volgens Tabel 24;
- voor 1 scenario is als extra randvoorwaarde opgelegd dat het nitraatgehalte van het grondwater maximaal  $10 \text{ mg.l}^{-1}$  (als N) mag bedragen;
- teruggang in natuurwaarde niet toegestaan;
- gebied moet per jaar 7 miljoen  $\text{m}^3$  drinkwater leveren.

In Figuur 40 zijn de resultaten gegeven van deze scenario's. Het invoeren van een uitrijverbod tussen 1 november en 15 februari heeft als resultaat dat het grondgebruik en de samenstelling van de intensieve veehouderij niet wordt beïnvloed, zolang er geen fosfaatnorm voor de bemesting wordt opgelegd. Wel daalt het gebiedsinkomen omdat extra kosten moeten worden gemaakt voor mestopslag. Het beperken van de mestgift tot het niveau van fase  $P_1$  (zie Tabel 24) leidt tot een inkrimping van de intensieve veehouderij, wat gedeeltelijk gecompenseerd wordt door een uitbreiding van de tuinbouw. Het verder beperken van de mestgift tot het niveau van fase  $P_2$  resulteert in een verdere afname van de intensieve veehouderij zonder dat compensatie via uitbreiding van de tuinbouw mogelijk is omdat bij fase  $P_1$  reeds de maximum omvang daarvan is bereikt. Bij de mogelijkheid om 400 000 ton mest af te zetten buiten het gebied is deze teruggang geringer dan bij een afzetmogelijkheid van 100 000 ton. Bij een verdere daling van de toegestane mestgift naar fase  $P_3$  en de eindfase  $P_4$  neemt vooral bij een beperkte mogelijkheid tot mestafzet de omvang van de intensieve veehouderij sterk af wat bij gebrek aan compensatiemogelijkheden leidt tot een drastische daling van het gebiedsinkomen uit de landbouw.

In Figuur 41 is het berekende nitraatgehalte van het grondwater gegeven voor de verschillende situaties. Dit gehalte is bij de eindfase van de





**Fig. 40.** Invloed van bemestingsbeperkingen op a. het gebiedsinkomen uit de landbouw op jaarbasis; b. de productieomvang in standaardbedrijfs-eenheden; c. de samenstelling van de intensieve veehouderij.

Overige belangrijke randvoorwaarden zijn:

- maximale mestafzet buiten het gebied 100 000 ton per jaar (1) of 400 000 ton per jaar (4);

- $P_{Oz}$ : een fosfaatnorm, geen uitrijverbod

$P_1$ - $P_4$  = fosfaatsnormen volgens Tabel 24, wel uitrijverbod tussen 1 november en 15 februari;

$P_4+N_{10}$  =  $P_4$  fosfaatnorm met als extra randvoorwaarde dat het nitraatgehalte van het grondwater maximaal  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (als N) mag bedragen.

Het in de onderste regel gegeven nitraatgehalte in het grondwater is het resultaat van de berekeningen, behalve bij  $P_4+N_{10}$ , waar het nitraatgehalte randvoorwaarde is:

- teruggang in natuurwaarde niet toegestaan;
- gebied moet per jaar 7 miljoen  $\text{m}^3$  drinkwater leveren

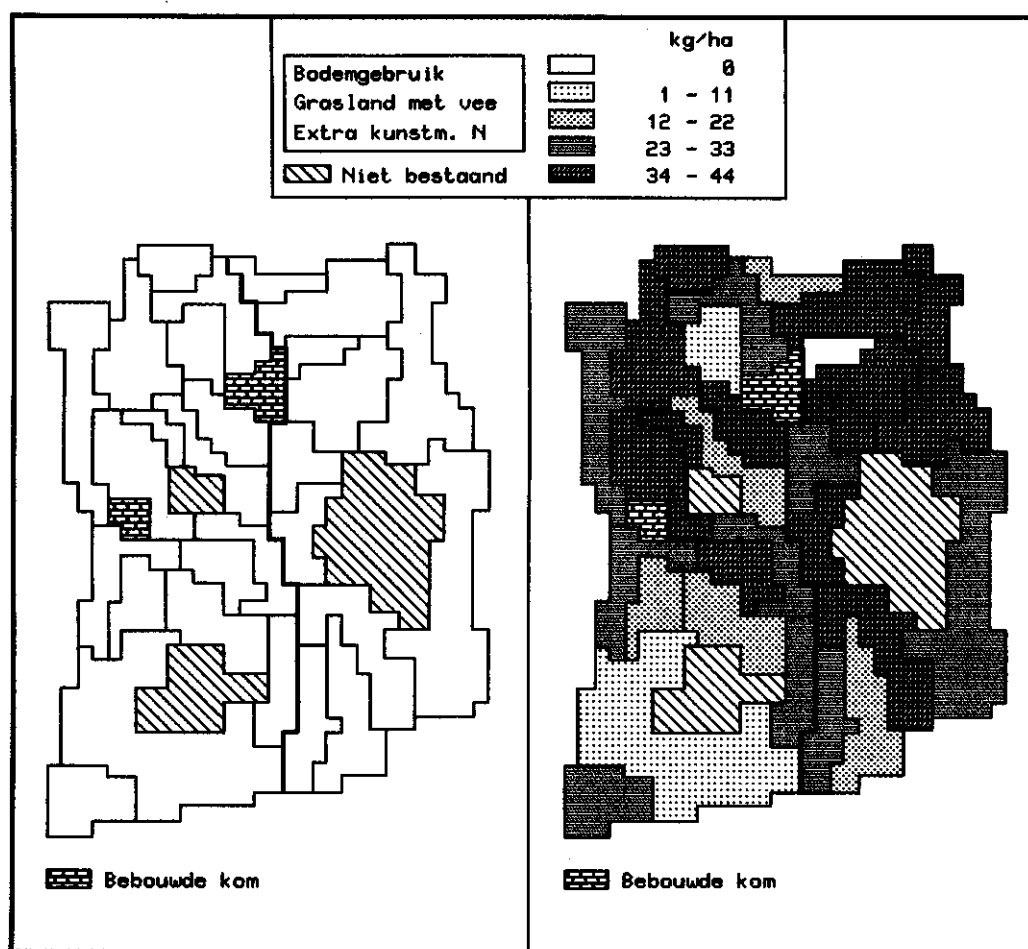


Fig. 41. Vergelijking van twee scenario's met als randvoorwaarden de fosfaatbestedingsnormen  $P_0$  en  $P_2$  (Tabel 24) in respectievelijk het linker en rechter kaartje. Uitgebeeld is de extra stikstofgift uit kunstmest op grasland met melkvee als gevolg van een strengere fosfaatnorm. Overige belangrijke randvoorwaarden:

- teruggang in natuurwaarde niet toegestaan;
- gebied moet per jaar 7 miljoen  $m^3$  drinkwater leveren

bestedingsbeperkingen ( $P_4$ ) tot ongeveer de helft teruggelopen ten opzichte van de situatie zonder beperkingen. De laatste set berekeningen is uitgevoerd voor een situatie waarbij als randvoorwaarde het maximale nitraatgehalte van het grondwater is gesteld op  $10 \text{ mg.l}^{-1}$  (als N) (zie de meest rechts gelegen staven in Figuur 41).

Het opleggen van bestedingsnormen voor dierlijke mest op basis van fosfaat heeft tot gevolg dat er ook minder stikstof via dierlijke mest wordt gegeven. Zolang er geen stikstofbestedingsnormen worden opgelegd compenseert het lineaire optimaliseringsmodel dit verlies aan organische stikstof met kunstmeststikstof ten einde aan de opgelegde behoefte te voldoen. In

Figuur 42 is voor twee scenario's op kaarten weergegeven hoeveel extra kunstmeststikstof op grasland als gevolg van deze beperkingen moet worden gegeven. Het kaartje links in de Figuur heeft betrekking op fase  $P_0$  (geen beperkingen), rechts op fase  $P_2$ , beide inclusief een uitrijverbod tussen 1 november en 15 februari.

Deze eis van een maximale nitraatconcentratie van 10 mg nitraat-N per liter leidt ten opzichte van de  $P_4$ -norm alleen tot een flinke daling van de maximale nitraatconcentratie, bij een relatief geringe daling van het inkomen (Figuur 42). De daling van de concentratie wordt gedeeltelijk gerealiseerd door tegen geringe kosten op een doelgerichte manier het mesttoedieningspatroon te veranderen: de mest die de meeste stikstofuitspoeling geeft wordt toegediend in de minst gevoelige subgebieden. Verder wordt in dit scenario circa duizend hectare nieuw bos geïntroduceerd, ten koste van mais en grasland met melkvee. Deze vervanging vindt met name plaats op de hogere gronden.

Er zijn hier twee redenen voor:

- de hogere gronden worden over het algemeen gekenmerkt door een permanente wegzijging, waardoor uitgespoelde nitraatstikstof het diepere grondwater kan bereiken;
- de hogere gronden worden over het algemeen gekenmerkt door relatief lage grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld; hierdoor treedt er minder denitrificatie op met als gevolg eerder een hoge nitraatbelasting van het grondwater (bij gelijke bemestingsdruk).

De hogere gronden zijn dus gevoeliger voor nitraatverontreiniging dan de lager gelegen gronden.

In Figuur 42 is het verband tussen de intensiteit van de wegzijging (linker kaartbeeld) en het door het Scenario Genererend Systeem geïntroduceerde nieuw bos (rechter kaartbeeld) gegeven. Als randvoorwaarde bij dit scenario is de eindnorm voor fosfaat ( $P_4$ -norm) opgelegd en de eis van een maximale nitraatstikstofconcentratie van 10 mg per liter in het grondwater. De kaartjes in de Figuren 41 en 42 zijn gemaakt met behulp van het interactieve grafische dataverwerkingssysteem. In Figuur 41 is een aspect van twee scenarios met elkaar vergeleken, terwijl in Figuur 42 twee aspecten van een scenario zijn gegeven (VAN WALSUM, 1988).

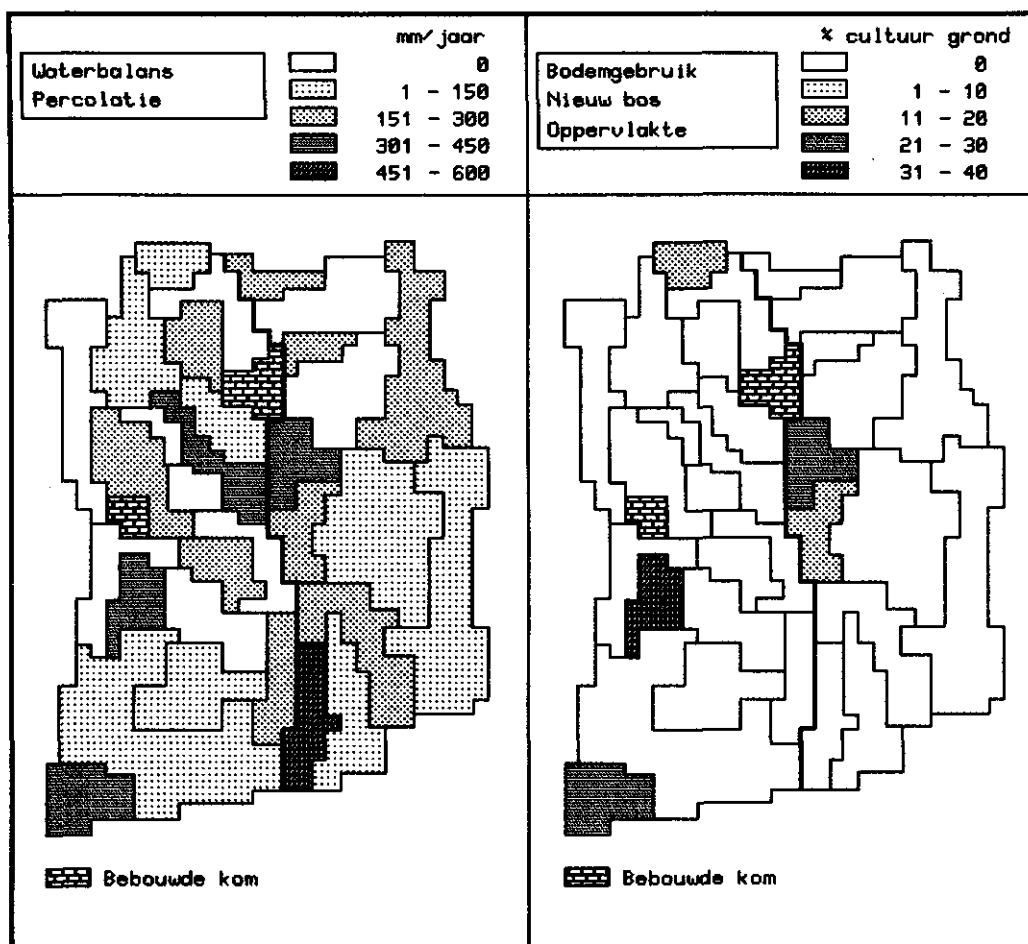


Fig. 42. Vergelijking van de wegzijging van het ondiepe grondwater naar het eerste watervoerende pakket (links) met het introduceren van nieuw bos (rechts) voor een scenario met de volgende randvoorwaarden:

- $P_4$  fosfaatnorm (Tabel 24) met als extra randvoorwaarde dat het nitraatgehalte in het grondwater niet hoger mag zijn dan 10 mg per liter (als N);
- teruggang in natuurwaarde niet toegestaan;
- gebied moet per jaar 7 miljoen  $m^3$  drinkwater leveren

#### 6.4.1.4. Gevoeligheid van het inkomen voor de aanvoercapaciteit van oppervlaktewater

In dit voorbeeld wordt gekeken naar de invloed van verschillende aanvoercapaciteiten op het inkomen in de landbouw. Als randvoorwaarden voor deze scenario's gelden:

- weersomstandigheden volgens het weerjaar 1975 (10% droog jaar) en het weerjaar 1976 (1% droog jaar);

- beperking mestdosering volgens  $P_4$  fosfaatnorm (Tabel 24);
- nitraatstikstofgehalte in het grondwater niet groter dan 10 mg/l;
- teruggang in natuurwaarde niet toegestaan;
- gebied moet per jaar 7 miljoen  $m^3$  drinkwater leveren.

In Figuur 43 zijn de resultaten gegeven van deze scenario's waarin de aanvoercapaciteit van oppervlaktewater is gevarieerd. Uit het verloop van de curves valt duidelijk de wet van afnemende meeropbrengsten te herkennen, aanvoer aanzienlijk hoger is dan in een wat minder droog jaar. De afgebeelde curves zijn in economische termen de regionale vraagfuncties van aanvoer van water.

In Figuur 44 is de geoptimaliseerde ruimtelijke verdeling van het aangevoerde oppervlaktewater gegeven voor een scenario met een aanvoercapaciteit van  $1 m^3 \cdot s^{-1}$  en een met een aanvoercapaciteit van  $2 m^3 \cdot s^{-1}$ . Beide scenario's zijn verkregen op basis van de weersomstandigheden in 1975. Op beide kaarten is duidelijk zichtbaar dat het Scenario Genererend Systeem er de voorkeur aan geeft de extra hoeveelheid water naar de Peelhorst te sturen.

Uit de staafdiagrammen links respectievelijk rechts van de kaartjes in Figuur 44 blijkt hoe de berekening in het gebied reageert op de beschikbare aanvoercapaciteit. Van de extra aanvoer blijkt 75% te worden gebruikt voor vervanging van beregening uit grondwater door beregening uit oppervlaktewater en 25% voor peilbeheer. Er vindt in dit scenario geen uitbreiding plaats van het beregende areaal.

Het inkomenseffect van deze extra wateraanvoer (0,5 miljoen gulden per

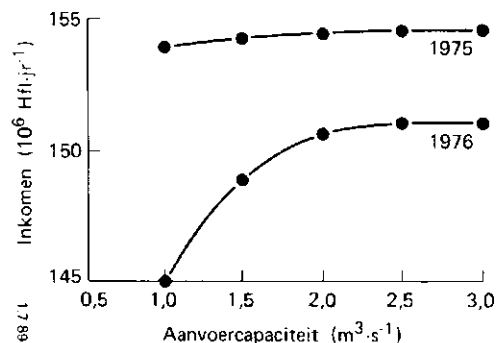


Fig. 43. Invloed van de aanvoercapaciteit van oppervlaktewater op het landbouwinkomen, in 1975, te beschouwen als een 10% droog jaar en in 1976, een 1% droog jaar. De huidige potentiële aanvoercapaciteit is  $2 m^3 \cdot s^{-1}$

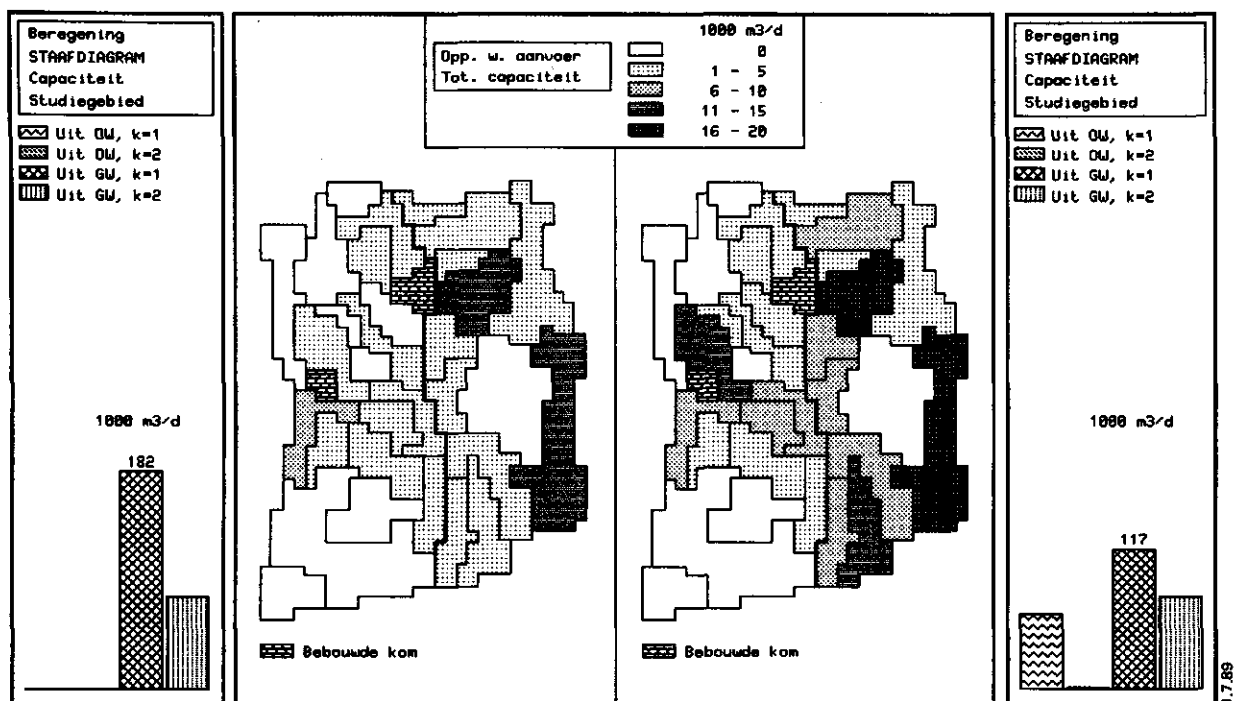


Fig. 44. Vergelijking van de ruimtelijke capaciteitsverdeling over het studiegebied van het aangevoerde oppervlaktewater (voor beregening en infiltratie) voor twee scenario's. Het linker deel van de Figuur heeft betrekking op een scenario met een aanvoercapaciteit van  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , het rechter deel van  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . In de staafdiagrammen links, respectievelijk rechts van de kaarten is uitgebeeld op welke wijze de beregeningscapaciteit verdeeld is over de volgende vier beregeningscategorieën (in  $\text{m}^3$  per sec. en gesommeerd over het hele gebied):

- 'Uit OW, k=1': beregening uit oppervlaktewater met een maximale intensiteit van  $25 \text{ mm}/14 \text{ d}$
- 'Uit OW, k=2': beregening uit oppervlaktewater met een maximale intensiteit van  $25 \text{ mm}/7 \text{ d}$
- 'Uit GW, k=1': beregening uit grondwater met een maximale intensiteit van  $25 \text{ mm}/14 \text{ d}$
- 'Uit GW, k=2': beregening uit grondwater met een maximale intensiteit van  $25 \text{ mm}/7 \text{ d}$

Overige randvoorwaarden voor deze scenario's:

- weerjaar 1975;
- $\text{P}_4\text{-N}_{10}$ :  $\text{P}_4$  fosfaatnorm (Tabel 24) en nitraatgehalte grondwater niet groter dan  $10 \text{ mg}$  per liter (als N);
- teruggang in natuurwaarde niet toegestaan;
- gebied moet per jaar  $7 \text{ miljoen m}^3$  drinkwater leveren

jaar) moet voor 80% worden toegeschreven aan de gevolgen van de verminderde opbrengstdepressie in verband met het wegvallen van een deel van de grondwateronttrekkingen voor beregening en voor 20% aan het gevolg van de extra infiltratie. De door beregening uit oppervlaktewater vervangen beregening uit grondwater betreft beregening met de matige intensiteit van 25 mm per 14 dagen (vergelijk Par. 5.5.2).

Dat juist de beregening met de matige intensiteit wordt vervangen is geen toeval: deze beregening geeft in verhouding tot de piekcapaciteit het hoogste volume aan beregeningswater. Dit komt omdat de periode waarin deze beregening in werking is relatief het langste is. Het gedeelte van het seizoen waarin het watertekort dusdanig is dat een beregeningsintensiteit van 25 mm per 14 dagen volledig kan worden benut is altijd langer dan de periode waarin dit het geval is voor een maximale intensiteit van 25 mm per 7 dagen (De eerstgenoemde periode omvat de laatstgenoemde.) Twee hectare die met een maximale intensiteit van 25 mm per 14 dagen worden beregend vereisen dus meer beregeningswater dan een hectare die met een maximale intensiteit van 25 mm per 7 dagen wordt beregend. Doordat het onttrekken van grondwater voor beregening schade berokkent aan de niet beregende percelen en tevens schade aan natuurgebieden kan veroorzaken, geeft het model er de voorkeur aan het extra beschikbare oppervlaktewater te gebruiken voor het substitueren van de met matige intensiteit beregende percelen.

#### 6.4.2. Doelfunctie: de onttrekking van grondwater voor de openbare watervoorziening

In dit voorbeeld wordt het resultaat van een reeks berekeningen gepresenteerd waarin de voor de drinkwatervoorziening winbare hoeveelheid grondwater wordt gemaximaliseerd bij een aantal niveaus voor de aanvoercapaciteit en twee niveaus voor het landbouwincome. Bij deze optimaliseringen is een randvoorwaarde aan het systeem toegevoegd die ervoor zorgt dat de onttrekkingen in vergelijking met de huidige situatie alleen procentueel kunnen veranderen; dit houdt in dat er geen nieuwe lokaties kunnen komen. In vergelijking met de huidige situatie kunnen alle onttrekkingen alleen met eenzelfde percentage toe- of afnemen. Deze procentuële verandering is als extra beslissingsvariabele aan het systeem toegevoegd.

In deze reeks berekeningen zijn, in tegenstelling tot eerder toegelichte scenario's, geen randvoorwaarden voor de natuur opgenomen en zijn de rand-

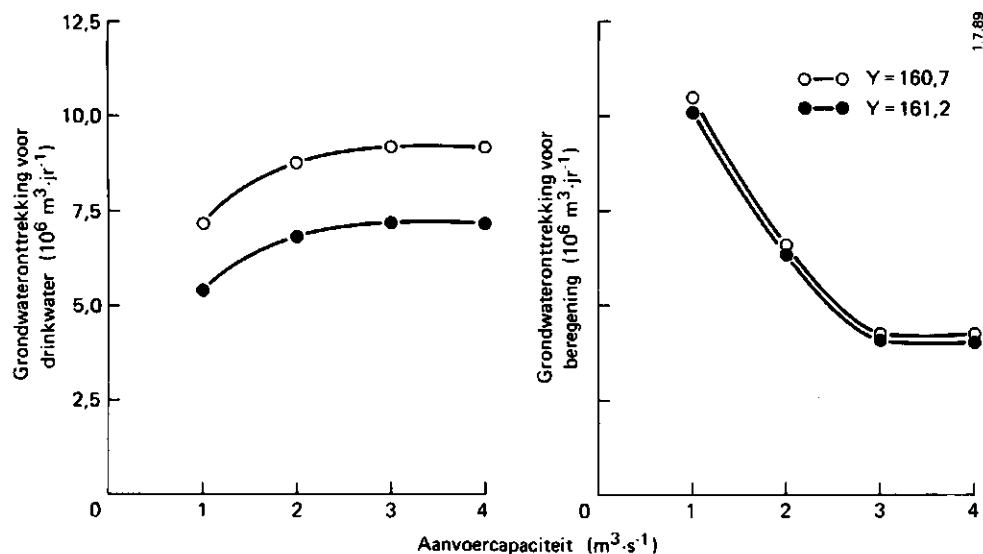


Fig. 45. Invloed van de aanvoercapaciteit ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) op de voor de drinkwatervoorziening winbare hoeveelheid grondwater (miljoen  $\text{m}^3$  per jaar) en de hoeveelheid onttrekking voor beregening uit grondwater (miljoen  $\text{m}^3$  per jaar), bij twee niveaus van het landbouwincome ( $Y$ ) in  $10^6 \text{ hfl. j}^{-1}$ . Het landbouwincome is berekend voor omstandigheden in het weerjaar 1975, zonder beperkingen ten aanzien van bemesting en natuurwaarde

voorwaarden ten aanzien van de fosfaattoediening en de maximale concentratie van nitraat in het grondwater losgelaten. Het inkomensniveau in Figuur 45 ligt dan ook hoger dan dat in Figuur 43. In het linker deel van Figuur 45 is de winbare hoeveelheid grondwater uitgezet als functie van de aanvoercapaciteit bij twee niveaus voor het landbouwincome: 160,7 en 161,2 miljoen gulden per jaar. Het landbouwincome is berekend op basis van de weersomstandigheden in het weerjaar 1975. Er zijn hierbij geen kosten opgevoerd voor de aanvoer van oppervlaktewater. Voor dezelfde reeks scenario's is in het rechter deel van de Figuur het totaal van de onttrekkingen voor beregening uit grondwater uitgezet.

Zoals ook het geval was in de reeks scenario's die onder 6.4.1.4 zijn toegelicht, wordt het opvoeren van de aanvoercapaciteit door de landbouw voornamelijk benut voor het vervangen van beregening uit grondwater door beregening uit oppervlaktewater. Dit blijkt in de reeksen scenario's op vrijwel identieke wijze te geschieden bij de twee inkomensniveaus. Door het afnemen van de opbrengstdepressie als gevolg van de vermindering van de grondwateronttrekkingen voor beregening en door de inkomensstijging als gevolg van peilbeheer ontstaat er bij een bepaalde randvoorwaarde ten aanzien van het landbouwincome (resp. 160,7 en 161,2 miljoen gulden per jaar) meer ruimte voor opbrengstdepressie als gevolg van onttrekking voor de



drinkwatervoorziening. Met andere woorden er kan meer water worden onttrokken voor de drinkwatervoorziening, zonder dat er een netto teruggang in het inkomen is. Het is dit effect dat leidt tot het oplopen van de curves in het linker deel van Figuur 45.

Doordat de opbrengstdepressie per eenheid van onttrekking voor berekening uit het grondwater aanzienlijk lager is dan per eenheid van onttrekking voor drinkwatervoorziening (voor een verklaring hiervan zie onder) nemen de laatstgenoemde onttrekkingen minder toe dan de afname van de onttrekkingen voor berekening. Tegenover een afname van de onttrekkingen voor berekening uit grondwater met  $2 \text{ m}^3$  staat een toename van de onttrekkingen voor drinkwatervoorziening met slechts 1 miljoen  $\text{m}^3$ .

Paradoxaal neemt dus bij toenemende aanvoercapaciteit de totale optimale grondwateronttrekking af. Deze schijntegenstelling komt voort uit het geheel andere karakter van de twee soorten winningen. Terwijl de onttrekkingen voor drinkwatervoorziening permanent zijn, hebben de onttrekkingen voor berekening slechts gedurende een korte periode plaats. Een aanzienlijk deel van deze onttrekkingen kan daardoor geleverd worden uit de berging in het ondiepe grondwater. Deze bergingsfluctuatie berokkent op zichzelf geen schade aan de landbouw.

Uit het linker deel van Figuur 45 kan tevens worden afgeleid wat de aan de landbouw toegebrachte schade is als gevolg van toename van grondwateronttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Bij bijvoorbeeld een aanvoercapaciteit van  $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  is het verschil tussen de winbare hoeveelheid grondwater voor drinkwatervoorziening 2 miljoen  $\text{m}^3$  per jaar (8,8-6,8), terwijl het verschil tussen de grondwateronttrekking voor berekening te verwaarlozen is. Het inkomensverschil bedraagt 0,5 miljoen gulden per jaar. Per  $\text{m}^3$  is dus de berekende schade  $f 0,25$ .

Uit de helling van de curven tussen 1 en  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  volgt dat voor dit traject de compenserende werking van  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  circa 1.5 miljoen  $\text{m}^3$  per jaar bedraagt. Vermenigvuldigd met het hierboven berekende schadebedrag van  $f 0,25$  per  $\text{m}^3$ , komt dit overeen met een bedrag van  $f 375 000,-$ . Hiermee is het verband gelegd met de helling van de curve voor het weerjaar 1975 in Figuur 43. Tussen 1 en  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  bedraagt de toename van het landbouwincome daar eveneens circa  $f 375 000,-$  per  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 7. MOGELIJKHEDEN EN BEPERKINGEN VAN TOEPASSING VAN HET ONTWIKKELDE SYSTEEM IN DE PRAKTIJK

### 7.1. INLEIDING

Een beleidsinstantie die betrokken is bij het opstellen van plannen voor het toekomstige waterbeheer binnen zijn ambstgebied, wordt met meerdere belangen geconfronteerd. Uit hoofde van zijn taak als waterbeheerder en toegespitst op de probleemstelling van dit project moet hij bijvoorbeeld waken voor:

- de kwaliteit van het milieu;
- een goede ontwikkeling van de landbouw;
- het veilig stellen van de drinkwatervoorziening.

Bij de invulling van deze afzonderlijke wensen moet rekening worden gehouden met het feit dat er een verwevenheid is van de verschillende functies in het landelijk gebied met grond- en oppervlaktewater als verbindende factoren.

Elke belangengroep zal zich weinig om de anderen bekommeren en zal steeds pleiten voor een maximale invulling van zijn of haar eigen zaak. De taak van de bestuurder ontwikkelt zich dan ook, met name in intensief gebruikte gebieden, tot de opdracht om datgene te verenigen dat feitelijk onverenigbaar is. In dit verband heeft deze studie tot doel gehad om een methode te ontwikkelen waarmee maatregelen van een beleidsinstantie zodanig kunnen worden opgesteld dat zo goed mogelijk wordt voldaan aan de doelstellingen die een regionale overheid heeft met betrekking tot de ontwikkeling van een gebied.

Een beleidsinstantie heeft voor het realiseren van plannen de beschikking over een reeks van maatregelen die in twee groepen kunnen worden gesplitst:

1. directe maatregelen die het karakter hebben van geboden en verboden met als voorbeelden:
  - het stellen van een maximum aan de toelaatbare mestdoseringen;

- de regulering van de onttrekking van grond- en oppervlaktewater voor beregening en openbare watervoorziening;
  - de ruimtelijke bestemming van gronden voor natuur, landbouw en drinkwatervoorziening;
  - een normstelling voor de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater;
  - een verbetering van de infrastructurale werken.
2. maatregelen waarmee een ontwikkeling van een gebied in een gewenste richting kan worden geleid, met als voorbeelden:
- scholing en voorlichting aan belangengroepen;
  - subsidies in de vorm van bedrijfsbeëindigingsvergoedingen of voor omzetting van landbouwgronden in gronden voor bosbouw;
  - afsluiten van beheersovereenkomsten tussen landbouw en overheid.

Dit overzicht van denkbare maatregelen is niet uitputtend maar is opgesteld terwille van de gedachtengang in de volgende paragrafen.

## 7.2. SIMULATIEMODELLEN TEGENOVER OPTIMALISERINGSMODELLEN

De waterbeheerder heeft bij het maken van zijn plannen bepaalde maatregelen en effecten daarvan voor ogen. Hij wil bijvoorbeeld weten welke grondwaterstandsaling nog acceptabel is als een nieuwe drinkwaterwinning wordt geïntroduceerd of welke hoeveelheid organische mest nog mag worden gedoosd zonder grondwaterverontreiniging te veroorzaken.

Voor een nadere concretisering van de effecten wordt in de praktijk veelal gebruik gemaakt van berekeningen met simulatiemodellen. De beheerder krijgt dan een antwoord dat meestal niet het meest optimale antwoord is. Vooral in complexe situaties met meerdere belangen wordt het zoeken van een optimum met simulatiemodellen onbeheersbaar. In feite is er bij dergelijke simulaties sprake van proberen en afwachten wat het effect wordt (trial en error). Deze werkwijze is schematisch in Figuur 46 aangegeven.

Met het ontwikkelde systeem van optimalisering en verificatie wordt de richting van het rekenen in Figuur 46 omgekeerd. Nu wordt in feite eerst

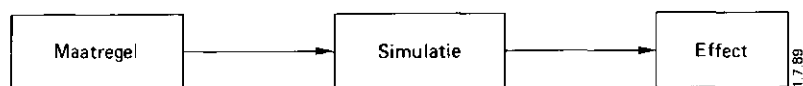


Fig. 46. Schema van een werkwijze met simulatiemodellen: uit een onafhankelijke variabele (maatregel) wordt via een berekening de afhankelijke variabele (effect) berekend

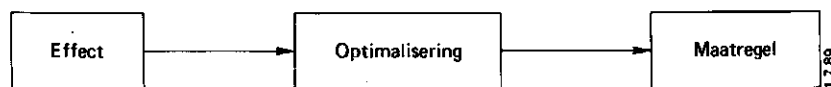


Fig. 47. Schema van de werkwijze met optimaliseringsmodellen: uit de afhankelijke variabele (effect) wordt de onafhankelijke variabele (maatregel) berekent

het toelaatbare effect gedefinieerd in de vorm van bijvoorbeeld:

- de hoeveelheid grondwater die in een gebied moet worden geleverd;
- de kwaliteit van het grondwater die moet worden gehaald;
- de waarde die een natuurgebied moet behouden.

Door de belangrijkste processen in een gebied terug te brengen tot lineaire relaties kan het effect in de vorm van een afhankelijke variabele  $y$  in de vergelijking  $y = ax + b$  worden gedefinieerd en met behulp van lineaire optimalisering vervolgens de onafhankelijke variabele  $x$  wordt berekend. Als voorbeeld kan het nitraatgehalte van het bovenste grondwater worden gebruikt. Deze mag bijvoorbeeld niet hoger worden dan  $11,3 \text{ mg.l}^{-1}$  (als  $N$ ) ( $y$ ), op grond waarvan bij de optimalisering de mestdosering ( $x$ ) een geoptimaliseerde grenswaarde krijgt. Deze werkwijze is schematische weergegeven in Figuur 47.

Deze wijze van werken leidt tot zodanige maatregelen dat met betrekking tot de ontwikkeling van een gebied aan de wensen van de gebruiker wordt voldaan. Hierbij moet worden opgemerkt dat er vele scenario's zijn die slechts weinig afwijken van het door een optimaliseringsmethode geselecteerde scenario. Met weinig wordt hier een kleine afwijking betreffende hun indicatorwaarden (is gelijk aan wensen van een beleidsinstantie) bedoeld.

### 7.3. RANDVOORWAARDEN, BEPERKINGEN EN MOGELIJKHEDEN

#### 7.3.1. Randvoorwaarden

De ontwikkelingen in een gebied worden beïnvloed door factoren die van buiten komen zoals:

1. Beleidsmaatregelen door de Europese Gemeenschap. Met als voorbeelden de superheffing op de melkproductie of de contigentering van de graanteelt.

2. Nationale wetgeving. Deze is direct van invloed op de randvoorwaarden voor de ontwikkeling van een gebied. Voorbeelden zijn:
- meststoffenwet, op grond waarvan normen kunnen worden gesteld aan de toelaatbare bemestingsniveaus;
  - bodembeschermingswet, waardoor aan bepaalde gronden gebruiksbeperkingen kunnen worden opgelegd.

Daarnaast is het denkbaar dat er beperkende randvoorwaarden zijn als gevolg van waterhuishoudkundige aspecten die ver boven een regionaal waterbeheersplan uitgaan. Voorbeelden zijn:

- het koppelen van waterwinningen, waardoor in een regio meer wordt onttrokken dan intern wordt gebruikt;
- de aanvoer van oppervlaktewater wordt in vele gevallen niet bepaald vanuit een interne behoefte, maar extern bepaald op grond van een nationaal verdelingsplan.

Bij de opzet van het model voor het berekenen van de landbouwinkomens is verondersteld dat de grootte van het gebied zodanig is dat veranderingen in de omvang van de produktie in het gebied de prijsvorming van de produkten op de markt niet beïnvloedt. Zodra echter in regio's met soortgelijke problemen en met vergelijkbare gebiedskenmerken het waterbeheer met dezelfde methodiek wordt geoptimaliseerd mag worden verwacht dat gelijksoortige uitkomsten worden verkregen. Dit heeft tot gevolg dat er tussen de regio's een concurrentie situatie ontstaat. De eerder genoemde veronderstelling wordt dan onhoudbaar en er ontstaat behoefte aan beperkingen van de groei van bepaalde landbouwkundige activiteiten.

### 7.3.2. Beperkingen

Bij de opzet van de studie zijn de belangengroepen landbouw, natuur en openbare waterwinning onderscheiden. Elke groep zal op zijn eigen wijze reageren op voorgestelde maatregelen, met uitzondering van de natuur als passieve gebruiker. De landbouw onderscheidt zich in deze in belangrijke mate vanwege het grote aantal individuele deelnemers aan het produktieproces. In het model is verondersteld dat elke belangengroep in de regio zich gedraagt op een wijze die de bestuurder wenst. De werkelijke reactie zal doorgaans afwijken van de veronderstelde reactie. In feite zou hiervoor

het individuele gedragspatroon van elke gebruiker moeten worden gemodelleerd waarvoor echter de kennis ontbreekt. In de ontwikkelde methode worden de gedragspatronen uitgedrukt op basis van economische verwachtingen, zoals:

- het investeringsgedrag op basis van verwachte groeimogelijkheden van de landbouw;
- wijzigingen in de produktierichting op basis van cursussen die zijn gevolgd naar aanleiding van bepaalde economische verwachtingen.

### 7.3.3. Mogelijkheden

Bij toepassing van het ontwikkelde systeem onder de voorwaarde van een goede inschatting van de aangegeven randvoorwaarden en rekening houdend met de genoemde beperkingen, is het mogelijk de regionale overheid zicht te geven op toekomstige ontwikkelingen van een gebied in relatie tot de daarbij behorende noodzakelijke maatregelen. De uitkomsten van de lineaire optimaliseringen moeten hiervoor worden getoetst met de in Hoofdstuk 5 behandelde simulatiemodellen.

In situaties met een complexe vraagstelling waar meerdere belangengroepen in onderlinge concurrentie actief zijn is het gewenst het hele schema van de methodiek te doorlopen. In andere situaties is dat minder noodzakelijk. Als bepaalde belangengroepen ontbreken kunnen hun activiteiten eenvoudig worden geëlimineerd door deze op nul te stellen. Nog niet ingevoerde activiteiten kunnen gemakkelijk worden toegevoegd zodat het systeem snel voor andere gebieden toepasbaar kan worden gemaakt.

Daarnaast is het goed mogelijk in gebieden met minder complexe vraagstukken alleen deelmodellen op verantwoorde wijze toe te passen. Een voorbeeld hiervan is gegeven in Paragraaf 4.7. Door koppeling van de simulatiemodellen ANIMO en SIMGRO is de toekomstige ontwikkeling van de nitraatbelasting van het grondwater op een regionale schaal berekend.

De uitkomsten van optimaliseringen en simulaties zijn vastgelegd in uitgebreide databestanden. Zowel de presentatie als het analyseren van die uitkomsten kan op systematische wijze plaatsvinden via het interactieve dataverwerkingssysteem dat in verbinding staat met een beeldscherm. Relevante scenario's kunnen op deze wijze door de beleidsinstanties doelgericht worden geanalyseerd en met elkaar worden vergeleken.

#### 7.3.4. Toepassingen in de praktijk

In paragraaf 7.3.3 is aangegeven dat een toepassing van de ontwikkelde methodiek in de praktijk niet noodzakelijkerwijs betekent dat de totale methode moet worden toegepast. Ook onderdelen ervan kunnen zelfstandig worden gebruikt voor het oplossen van praktische problemen. Zo zijn in een studie, gelegen in een gebied in het zuidoosten van Noord-Brabant, de nitraatconcentraties in het ondiepe en diepe grondwater berekend voor verschillende omstandigheden voor bemesting en waterhuishouding. Voor de waterhuishouding is het model SIMGRO (besproken in Par. 4.4) toegepast en voor de stikstofhuishouding het model ANIMO (besproken in Par. 4.6). Beide modellen zijn hiervoor zodanig gekoppeld dat de regionale verspreiding van het nitraatgehalte in grondwater en oppervlaktewater kan worden berekend. Voorbeelden van uitkomsten zijn gegeven in paragraaf 4.7. Een volledig verslag van de resultaten is gerapporteerd in DRENT, KROES en RIJTEMA, (1988).

Een andere toepassing van het model ANIMO heeft plaats gevonden bij het ontwikkelen van een methodiek voor het aanwijzen en begrenzen van bufferzones rondom beekdalen met natuurwetenschappelijke waarden (ADRIAANSE en KEMMERS, 1988).

Voor het verkrijgen van een beter inzicht in de gevolgen van menselijke ingrepen in de waterhuishouding in relatie tot het in stand houden en regenereren van levend hoogveen in de Groote Peel is een model studie uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van het model SIMGRO. Dit model is toegepast omdat hiermee de interactie oppervlaktewater-grondwater goed kan worden gesimuleerd. De ingrepen die in de studie zijn onderzocht hebben betrekking op drainage en peilverhogingen in het landbouwgebied rondom het natuurreservaat, op peilverhogingen in het natuurgebied zelf en op beregning uit grondwater in het landbouwgebied (POELMAN, 1987).

---

## 8. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Met de resultaten van het project Optimalisering Regionaal Waterbeheer is een eerste aanzet gegeven tot het ontwikkelen van rekentechnieken ten behoeve van de beleidsvorming op het gebied van integraal waterbeheer.

De ontwikkelde methode bestaat uit een combinatie van lineaire programmering en simulatiemodellen. Hiermee worden scenario's voor toekomstige waterhuishoudkundige ontwikkelingen gegenereerd. Deze scenario's zijn afhankelijk van de vooraf opgelegde randvoorwaarden in relatie tot natuur, landbouw en openbare watervoorziening.

Naarmate de randvoorwaarden scherper zijn voor een gebruiker van water worden de mogelijkheden voor de andere gebruikers beperkter. Door toepassing van lineaire programmering wordt gekeken naar hetgeen voor die andere gebruikers nog maximaal mogelijk is.

De opgelegde randvoorwaarden kunnen, voor zover ze van fysisch-chemische aard zijn, in principe worden herleid tot maatregelen ten behoeve van het waterbeheer. Hierbij moet bijvoorbeeld worden gedacht aan grenzen voor de toelaatbare onttrekking van grondwater of aan toelaatbare doseringen van organische mest in relatie tot de grondwaterkwaliteit. Voor zover er economische processen aan de orde zijn komt er een extra probleem bij. De gegenereerde toekomstige landbouwkundige ontwikkelingen zijn in de huidige methode gebaseerd op gefixeerde markt- en prijsciijfers. De afzet-mogelijkheden van landbouwprodukten en de prijzen komen nationaal en internationaal tot stand, zijn daardoor onzeker en moeilijk te voorspellen. Het gevolg is dat de gegenereerde landbouwkundige ontwikkeling in de scenario's slechts als richtinggevend mogen worden geïnterpreteerd.

De resultaten die in de loop van het project zijn verkregen laten zien dat er goede perspectieven zijn voor rekentechnieken ter voorbereiding en ondersteuning van waterbeheersmaatregelen. De tot nu toe ontwikkelde methode is echter nog niet op een eindpunt, maar moet verder worden uitgewerkt en verdiept teneinde uit te groeien tot een beleidsondersteunend instrument met een grotere praktische waarde.

Verbeteringen en aanvullingen moeten worden aangebracht op de volgende punten:



- 
- In het project zijn niet-lineaire processen teruggebracht tot lineaire relaties terwille van de opgelegde verplichting gebruik te maken van lineaire programmering of vermeden. Het gevolg is dat de volgende interessante aspecten niet goed zijn meegenomen:
    - \* netwerkaspecten van wateraanvoer ten behoeve van infiltratie en berekening;
    - \* meer dan evenredige toename van de stikstofuitspoeling bij toenemende bemestingsdruk;
    - \* de invloed van de grondwaterstands dalingen op de stikstofhuishouding.Voor het meenemen van deze aspecten is het noodzakelijk dat gebruik wordt gemaakt van niet-lineaire programmering.
  - Het model ANIMO simuleert de stikstof- en de koolstofhuishouding in de bodem in afhankelijkheid van het bemestingsniveau, het bodemgebruik, en de fysische omstandigheden in de wortelzone en de diepere ondergrond. Door de processen waaraan fosfaat en calcium onderhevig zijn in dat model in te bouwen kan ook de fosfaat- en de calciumhuishouding in de bodem worden gesimuleerd. Het wordt dan mogelijk op een breder vlak de kwaliteit van het grondwater te simuleren.
  - In het SWAFLO model wordt de waarde van de natuurgebieden gerelateerd aan de standplaatsfactoren milieudynamiek, aëratie, vocht en stikstof. Na uitbreiding van ANIMO met modules voor P en Ca en toepassing van de resultaten daarmee in het SWAFLO model krijgt het laatste model een breder draagvlak en daarmee een meer algemene toepassingsmogelijkheid.
  - In het huidige project is de modellering van de kwaliteit van het oppervlaktewater niet meegenomen. Een dergelijk model is noodzakelijk om rekening te kunnen houden met de effecten van aanvoer van gebiedsvreemd water, met name in kwetsbare gebieden die gevoelig zijn voor veranderingen in de kwaliteit van het oppervlaktewater.
  - Er kunnen vele scenario's zijn die slechts weinig afwijken van het door een optimaliseringsmethode geselecteerde scenario. Met weinig wordt hier een kleine afwijking met betrekking tot hun indicatorwaarden bedoeld. Voor het inventariseren van deze alternatieve scenario's moeten rekenkundige hulpmiddelen worden ontwikkeld.
  - In het Scenario Genererend Systeem wordt een vergelijkende statische benadering gevolgd. Hierbij worden twee toestanden met elkaar vergeleken: een begintoestand en een gegenereerde eindtoestand. Er wordt in dit geval geen aandacht besteed aan het traject waarlangs een gebied zich van de ene naar een andere toestand zou kunnen ontwikkelen. Het gevolg van deze

benadering is dat de economische haalbaarheid van de nieuwe toestand onvoldoende is belicht.

- Als indicatoren bij de optimalisering worden in het huidige model milieu, werkgelegenheid en inkomen in de landbouw gebruikt. Eventuele veranderingen in omvang en soorten bodemgebruik zijn in het model afhankelijk van de aangeleverde keuzemogelijkheden. In het model zijn de laatste beperkt tot de huidige landbouwactiviteiten en de mogelijkheid tot uitbreiding van het bosareaal. Het verdient aanbeveling in vervolgstudies ook agrarische activiteiten in te voeren die zich nu nog in het experimentele stadium bevinden.

Voorbeelden zijn: walnotenteelt, kaasmakerij op de boerderij, hennepeteelt voor de papierindustrie.

- De gedragssimulatiemodellen zijn tot nu toe nauwelijks uitgewerkt. De werkelijke reactie van de landbouwers op voorgestelde waterbeheersmaatregelen is naar verwachting erg complex en moeilijk in een model te formuleren. Nader onderzoek in deze richting is voor een goede voorspelling van de feitelijk te realiseren ontwikkelingen noodzakelijk.

Toepassing van de ontwikkelde methode hoeft niet noodzakelijkerwijs te betekenen dat de totale methodiek moet worden toegepast. Ook onderdelen ervan kunnen zelfstandig worden gebruikt voor het oplossen van praktische problemen.

Zo kunnen optimaliseringsmodellen worden toegepast voor kwantitatieve waterhuiskundige vraagstukken. Ook kunnen hiermee toekomstige bemestingsscenario's worden gegenereerd in afhankelijkheid van toelaatbare mestdoseringen. Laatstgenoemde toepassing heeft inmiddels plaatsgevonden voor het toeleveren van toekomstige mestgiften in verschillende projecten waarin ook andere onderdelen van het onderhavige project zijn toegepast. Dit betreft met name een aantal simulatiemodellen die in het kader van dit project zijn ontwikkeld.

Zo is de regionale verspreiding van nitraat in het ondiepe en diepe grondwater berekend voor verschillende omstandigheden voor bemesting en waterhuishouding. Hiervoor zijn de modellen SIMGRO en ANIMO gekoppeld.

Een andere toepassing van het model ANIMO heeft plaatsgevonden bij het ontwikkelen van een methodiek voor het aanwijzen en begrenzen van bufferzones rondom beekdalen met natuurwetenschappelijke waarde. Ook hiervoor zijn bemestingsscenario's volgens eerder genoemde werkwijze aangeleverd.

In het kader van de voorbereiding van de 3e nota waterhuishouding is het model ANIMO uitgebreid met een module waarmee het gedrag van fosfaat in de bodem kan worden gesimuleerd. Hiermee is vervolgens de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater berekend in relatie tot de intensiteit van het bodemgebruik.

Uit deze voorbeelden blijkt dat verschillende deelmodellen die in het kader van het project zijn ontwikkeld reeds in ander verband worden toegepast.

---

**LITERATUUR**

- ADRIAANSE, P.I. en R.H. KEMMERS. 1988. Bufferzones tegen nitraatinspoeling in beekdalen: een methode om de ligging en breedte vast te stellen. Rapport 27. ICW, Wageningen. 97 pp.
- ARNOLDS, E.J.M. en R. VAN DER MEIJDEN. 1975. Standaardlijst van de Nederlandse flora. Rijksherbarium, Leiden. 26 pp.
- BAKEL, P.J.T. VAN. 1978. A numerical model for non-stationairy saturated groundwater flow in a multi-layered system. Nota 1077. ICW, Wageningen. 39 pp.
- BAKEL, P.J.T. VAN. 1986. Planning, design and operation of surface water management systems. A case study. Report 13. ICW, Wageningen. 114 pp.
- BELMANS, C., J.G.WESSELING and R.A.FEDDES. 1983. Simulation model of a waterbalance of a cropped soil: SWATRE. J. Hydrol. 63, 3/4: 271-286. Techn. Bull. ns 21. ICW, Wageningen.
- BELMANS, C., J.G.WESSELING and R.A.FEDDES. 1984. Simulation model of the waterbalance of a cropped soil providing different types of boundary conditions (SWATRE). Nota 1257. ICW, Wageningen. 61 pp.
- BERGHUYS-VAN DIJK, J.T., P.E. RIJTEMA and C.W.J. ROEST. 1985. ANIMO, An agricultural nitrogen model. Nota 1671. ICW, Wageningen. 86 pp.
- BLOEMEN, G.W. 1980. Calculation of steady state capillary rise from the groundwater table in multi-layered soil profiles. Zeitschr. fur Pflanzenernaehr. Bodenk. 143. Band Heft 6; 701-719.
- BLOEMEN, G.W. 1982. Bodemfysische interpretatie van de bodemkundige gegevens van het zuidelijk peelgebied. Nota 1374. ICW, Wageningen. 25 pp.
- BLOEMEN, G.W. 1983. Bodemfysische interpretatie van de gronden in een drietal trajecten langs de Zuid-Willemsvaart. Nota 1412. ICW, Wageningen. 9 pp.
- DRENT, J. 1981. Optimalisatie van het regionaal waterbeheer in gebieden met tegengestelde belangen. Nota 1256. ICW, Wageningen. 14 pp.
- DRENT, J. J.G.KROES en P.E. RIJTEMA. 1988. Nitraatbelasting van het grondwater in het zuidoosten van Noord-Brabant. Rapport 26. ICW, Wageningen. 68 pp.
- EERENBEEMT, H. VAN DEN en H. KARTOREDJO. 1983. Drainageweerstanden in het zuidelijk peelgebied. Nota 1467. ICW, Wageningen. 20 pp.
- ELLENBERG, H. 1974. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas Scripta Geobotanica 9(II). 97 pp.

- ERNST, L.F. 1978. Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. I A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio. II The variable hydraulic head ratio. *Journal of Hydrology* 39, 3/4, 1 - 50 pp. Technical Bulletin 106. ICW, Wageningen. 50 pp.
- FEDDES, R.A., P.J. KOWALIK and H. ZADARNY. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monograph. Pudoc, Wageningen. 189 pp.
- FEDDES, R.A. and P.E. RIJTEMA. 1983. Calculation of actual evaporation and crop production for the Southern Peel area. Nota 1421. ICW, Wageningen. 10 pp.
- FEDDES, R.A., J.G. WESSELING and R. WIEBING. 1984. Simulation of transpiration and yield of potatoes with the SWACRO model. 9th Triennial Conference of the European Ass. for Potato Research (EAPR), Interlaken, Zwitserland, 1 - 6 july, pp. 346 - 348.
- FEDDES, R.A. 1984. Crop water use and dry matter production: state of the art. Conference Internationale de la CIID sur les Besoins en eau des Cultures, Paris, 11 - 14 sept., 14 pp.
- FEDDES, R.A., M. DE GRAAF, J. BOUMA and C.D. VAN LOON. 1988. Simulation of water use and production of potatoes as affected by soil compaction (accepted by Potatoes Research).
- GREMMEN, N.J.M. 1984a. Bijstellen van het WAFLO model. Intern rapport Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 46 pp.
- GREMMEN, N.J.M. 1984b. Een poging tot toetsing van het WAFLO model. Intern rapport Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 46 pp.
- GROOTJANS, A.P. 1985. Changes of groundwater regime in wet meadows. Dissertatie, Rijksuniversiteit Groningen. 146 pp.
- JANSEN, P.C. 1983. De gevolgen van veranderingen in de waterhuishouding voor de vegetatie. Nota 1476. ICW, Wageningen. 20pp.
- JENKINSON, D.S. and J.H. RAYNER. 1977. The turnover of soil organic matter in some Rothamsted classical experiments. *Soil. Sci.* 61: 375 - 392.
- KEMMERS, R.H. 1983. Vegetaties van enkele reservaten in beekdalen van het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1487. ICW, Wageningen. 35 pp.
- KEMMERS, R.H. en P.C. JANSEN. 1985a. Hydrologie in relatie tot de beschikbaarheid van vocht en voedingsstoffen voor natuurlijke begroeiingen. *Cult.Techn.Tijdschrift*, 24(4): 195-210.
- KEMMERS, R.H. and P.C. JANSEN. 1985b. Stikstofmineralisatie in onbemeste half-natuurlijke graslanden. Rapport 14. ICW, Wageningen. 20 pp.

- KEMMERS, R.H. and P.C. JANSEN. 1985c. Impact of groundwater lowerings on nature performance: an evaluation model. Nota 1650. ICW, Wageningen. 39 pp.
- KEMMERS, R.H. 1986. Calcium as hydrochemical characteristic of ecological states. Technical bulletin 47. ICW, Wageningen. 16 pp.
- KEMMERS, R.H. and P.C. JANSEN. 1988. Impact of groundwater lowerings on nature performance: an evaluation model. Report 28. ICW, Wageningen. 39 pp.
- KROES, J.G. 1988. ANIMO, Agriculture Nitrogen Model. version 1; User's Guide. Nota 1848. ICW, Wageningen. 67 pp.
- LAMMERS, H.W. 1983. Gevolgen van het gebruik van organische stof op bouwland. Consultantschap voor bodemaangelegenheden in de landbouw, Wageningen. 44 pp.
- LONDO, G. 1975. Nederlandse lijst van hydro-, freato- en afreatofyten. Intern rapport Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 52 pp.
- MAAREL, E. VAN DER en P.L. DAUVELLIER. 1978. Naar een globaal ecologisch model voor de ruimtelijke ontwikkeling van Nederland. 2dln. Studierapport Rijksplanologische Dienst nr.9, Den Haag.
- OOSTEROM, H.P. 1982. Samenstelling van het bovenste grondwater onder landbouwpercelen en enkele bospercelen. Nota 1385. ICW, Wageningen. 22 pp.
- ORLOVSKI, S., S. KADEN and P.E.V. VAN WALSUM, 1986. Decision support systems for the analysis of regional water policies. WP-86-33, Int. Inst. for Applied Systems Analysis (IIASA). Laxenburg, Austria. 335 pp.
- PAGV. 1985. Kwantitatieve informatie 1984 - 1985. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Volle Grond.
- POELMAN, A. 1987. Geohydrologische modelstudie van de Grootte Peel en omgeving. Rapport 88 - 3. Staatsbosbeheer, Utrecht. 60 pp. + bijlagen.
- POMPER, A.B. 1988a. Hydrochemisch onderzoek in het zuidelijk peengebied. Nota 1867. ICW, Wageningen. 71 pp.
- POMPER, A.B. 1988b. Chemische processen in de ondergrond van het zuidelijk peengebied aan de hand van kolomproeven. Nota ICW (in voorbereiding).
- QUERNER, E.P. 1984. Program FEMSAT, Part 1 - Calculation method for steady and unsteady groundwater flow. Nota 1557. ICW, Wageningen. 23 pp.
- QUERNER, E.P. and P.J.T. VAN BAKEL. 1984. Description of second level water quantity model, including results. Nota 1586. ICW, Wageningen. 67 pp.
- QUERNER, E.P. 1985. User manual for program SIMCROP ( version 1.3 ). Nota 1681. ICW, Wageningen. 43 pp.

- QUERNER, E.P. 1988. User's manual to groundwater model SIMGRO. Nota 1745. ICW, Wageningen. 66 pp.
- QUERNER, E.P. and P.J.T. VAN BAKEL. 1988. Description of the regional groundwater flow model SIMGRO. Report 26. ICW, Wageningen. 52 pp.
- QUERNER, E.P. and R.A. FEDDES. 1988. Calculation of agricultural crop production and cost benefit on a regional level. Report 27. ICW, Wageningen. 20 pp.
- REES VELLINGA, E. VAN en J.P. BROERTJES. 1984. Enige resultaten van een geohydrologisch onderzoek in het zuidelijk peelgebied. Nota 1590. ICW, Wageningen. 17 pp.
- REINDS, G.H. 1985. The farm technology in the Southern Peel. Nota 1653. ICW, Wageningen. 25 pp.
- REYNEN, M.J.M., A. VREUGDENHIL en H.M. BEIJE. 1981. Vegetatie en grondwaterwinning in het gebied ten zuiden van Breda. Rapport 81/24. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 140 pp. + bijlagen.
- REYNEN, M.J.M. en J. WIERTZ. 1984. Grondwater en vegetatie: een nieuw systeem voor kartering en effectvoorspelling. Landschap, 1,4: 261 - 281.
- RUIKEN, M.J. en J.H.A.M. STEENVOORDEN. 1986. Organische stofgehalten in de ondergrond van het zuidelijk peelgebied. Nota 1709. ICW, Wageningen. 10 pp.
- SCHOUWENAARS, J.M. 1978. De Deurnse en Liesselse Peel, verslag van een onderzoek naar vegetatie en waterhuishouding. Scriptie Landbouwhogeschool, Wageningen. 55 pp.
- SMIDT, E.H. 1983. Explanation of the map of subregions in the Southern Peel area (II). Nota 1420. ICW, Wageningen. 4 pp.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M., H. FONCK and H.P. OOSTEROM. 1986. Losses of nitrogen from intensive grassland systems by leaching and surface runoff. Technical Bulletin 53. ICW, Wageningen. 13 pp.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M. 1987. Nitraatgehalten in grond- en oppervlaktewater van een intensief rundveehouderijbedrijf in relatie tot de hydrologische situatie. Nota 1799. ICW, Wageningen. 24 pp.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M. en A.B. POMPER. 1988. Stikstofgehalten in grond- en oppervlaktewater van het zuidelijk peelgebied. Nota 1869. ICW, Wageningen. 18 pp.
- VREKE, J. 1985. The introduction of labour into the Scenario Generating System. Nota 1647. ICW, Wageningen. 10 pp.

- 
- VREKE, J. 1987. Modelling agriculture in regional water management. Proc. 27e Europees congres van de region Science Association. 25-28 aug. Athene. 19 pp.
- WALSUM, P.E.V. VAN. 1988. Decision support system for regions with intensive agriculture: simplified models. Report 30. ICW, Wageningen. 88 pp.
- WALSUM, P.E.V. VAN. 1988. Interactive comparative system for analysing results of environmental modelling. Report 29. ICW, Wageningen. 53 pp.
- WESSELING, J.G., G.W. BLOEMEN and W.A.J.M. KROONEN. 1984. Computer program 'CAPSEV' to calculate: 1. Soil hydraulic conductivity from grain size distribution. 2. Steady state water flow in layered soil profiles. Nota 1500. ICW, Wageningen. 34 pp.
- WIRDUM, G. VAN. 1981. Linking up the natec subsystem in models for the water management. Proc. and Informations No. 27. Comm. Hydrol. Onderz. TNO. 108-127.
- WIT, K.E., E. VAN REES VELLINGA en J.G. TE BEEST. 1985. De mogelijke invloed voor de landbouw van de voorgenomen verbeteringen van de Zuid-Willemsvaart. Nota 1607. ICW, Wageningen. 16 pp.
- WIT, K.E. 1986. Hydrologisch onderzoek in het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1691. ICW, Wageningen. 44 pp.



---

**BIJLAGE**

OVERZICHT PUBLIKATIES, DEELRAPPORTEN EN NOTA'S DIE IN HET KADER VAN HET PROJECT OPTIMALISERING REGIONAAL WATERBEHEER ZIJN VERSCHENEN

**PUBLIKATIES**

- ORLOVSKI, S., S. KADEN and P.E.V. VAN WALSUM. 1986. Decision support systems for the analysis of regional water policies. WP-86-33, Int. Inst. for Applied Systems Analysis (IIASA). Laxenburg, Austria. 335 pp.
- ORLOVSKY, S.A. and P.E.V. VAN WALSUM. 1988. Analysis of water policy mechanisms in regions of intensive agriculture. In: Systems Research, Methodological Problems, Yearbook 1987, USSR Academy of Science, Moscow. 387-403.
- VREKE, J. 1986. A Quantification of agriculture in water management decision problems. In: A.J. Carlson (ed.). Proc. UNESCO Symposium on Decision Making in Water Resources Planning, May 5-7, 1986, Oslo, Norway, Vol. 1: 315-331. Report 21. ICW, Wageningen. 17 pp.
- VREKE, J. 1987. Modelling agriculture in regional water management. Proc. 27e Europees congres van de Regional Science Association. 25-28 aug. Athene. 19 pp.
- WALSUM, P.E.V. VAN and J. DRENT. 1987. Decision support system for water management in regions with intense agriculture. In: M.B. Beck (ed). Systems analysis in water quality management. Pergamon Press, Oxford, UK, 435: 231-240. Techn. Bull. 62. ICW, Wageningen.

**DEELRAPPORTEN**

- KEMMERS, R.H. and P.C. JANSEN. 1988. Impact of groundwater lowerings on nature performance: an evaluation model. Report 28. ICW, Wageningen.
- QUERNER, E.P. and P.J.T. VAN BAKEL. 1988. Description of the regional groundwater flow model SIMGRO. Report 26. ICW, Wageningen.

- 
- QUERNER, E.P. and R.A. FEDDES. 1988. Calculation of agricultural crop production and cost benefit on a regional level. Report 27. ICW, Wageningen.
- WALSUM, P.E.V. VAN. 1988. Interactive comparative system for analysing results of environmental modelling. Report 29. ICW, Wageningen.
- WALSUM, P.E.V. VAN. 1988. Decision support system for regions with intense agriculture: simplified models. Report 30. ICW, Wageningen.

NOTA'S (Volgorde conform de serie Projectmap Zuidelijk Peelgebied)

1. DRENT, J. 1981. Optimalisatie van het regionaal waterbeheer in gebieden met tegengestelde belangen. Nota 1256. ICW, Wageningen. 14 pp.
2. KEMMERS, R.H. 1981. Natuurlijk milieu. Onderzoeksafbakening regionale studie Zuidelijk Peelgebied. Nota 1265. ICW, Wageningen. 6 pp.
3. VREKE, J. 1981. De opzet van het landbouwmodel. Nota 1272. ICW, Wageningen. 16 pp.
4. STEENVOORDEN, J.H.A.M. 1981. Onderzoek Afdeling Waterkwaliteit Landbouwgebieden in het project 'Optimalisering Regionaal Waterbeheer'. Nota (zonder nummer). ICW, Wageningen. 9 pp.
5. SLOTHOUWER, D. 1981. Bodemgebruikgegevens met betrekking tot het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1277. ICW, Wageningen. 13 pp.
6. POMPER, A.B. 1981. Tectoniek en tectonische bewegingen in het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1278. ICW, Wageningen. 19 pp.
7. FEDDES, R.A. and J. DRENT. 1982. Model for integrated watermanagement in the Southern Peel Area. Nota 1309. ICW, Wageningen. 15 pp.
8. VREKE, J. 1982. A concept of the agricultural model used in the research project 'Zuidelijk Peelgebied'. Nota 1311. ICW, Wageningen. 18 pp.
9. ROEST, C.W.J. 1982. Outline of a possible approach to modelling the salt transport through the unsaturated soil based on equilibria considerations: the catex model. Nota (zonder nummer). ICW, Wageningen. 39 pp.
10. BLOEMEN, G.W., 1982. Bodemfysische interpretatie van de bodemkundige gegevens van het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1374. ICW, Wageningen. 25 pp.

11. POMPER, A.B. 1982. Hydrochemisch onderzoek in het Zuidelijk Peelgebied I: Een beschrijving van de eerste resultaten van het meetprogramma in het voorjaar van 1982. Nota 1368. ICW, Wageningen. 32 pp.
12. HUET, H. 1982. Simulaties van temperatuurveranderingen in de bodem. Proefveld Ruurlo 1980. Nota 1389. ICW, Wageningen. 29 pp.
13. JANSEN, P.C. 1982. De kwaliteit van het oppervlaktewater in het Zuidelijk Peelgebied in de periode oktober 1981 - oktober 1982. Nota 1368. ICW, Wageningen. 32 pp.
14. OOSTEROM, H.P. 1982. Fosfaatbelasting vanuit woningen en landbouwbedrijfsgebouwen. Nota 1377. ICW, Wageningen. 7 pp.
15. OOSTEROM, H.P. 1982. Samenstelling van het bovenste grondwater onder landbouwpercelen en enkele bospercelen. Nota 1385. ICW, Wageningen. 22 pp.
16. OOSTEROM, H.P. 1982. Bodem en bodemgebruik binnen de grenzen van enkele afwateringsgebieden. Nota 1386. ICW, Wageningen. 13 pp.
17. HARMSSEN, J. 1982. Chemische analysemethoden gebruikt voor de Zuidelijke Peelstudie. Nota 1398. ICW, Wageningen. 7 pp.
18. VREKE, J. 1983. De algemene vorm van het landbouwmodel. Nota 1400. ICW, Wageningen. 45 pp.
19. DRENT, J. 1983. Working plan for developing a system of models for the analysis of alternatives for regional water management. Nota 1409. ICW, Wageningen. 9 pp.
20. KEMMERS, R.H. and P.C. JANSEN. 1983. Relations between values of nature and levelling down the groundwater level. Nota 1418. ICW, Wageningen. 6 pp.
21. STEENVOORDEN, J.H.A.M. 1983. Equations for the calculation of N- and P- load on surface waters. Nota 1419. ICW, Wageningen. 25 pp.
22. SMIDT, E.H., P.J.T. VAN BAKEL, S. KADEN, P.E.V. VAN WALSUM and K.E. WIT. 1983. I. Hydrological models for the Southern Peel area: collection of discussion papers concerning water quantity and water quality models, prepared between March and September 1983. II. Explanation to the map of subregions in the Southern Peel area. Nota 1420. ICW, Wageningen. 66 pp.
23. FEDDES, R.A. and P.E. RIJTEMA. 1983. Calculations of actual evapotranspiration and crop production for the Southern Peel Area. Nota 1421. ICW, Wageningen. 10 pp.

- 
24. VREKE, J. and L.J. LOCHT. 1983. Principles of the agricultural modeling for the Southern Peel Project, including possibilities for simplification. Nota 1422. ICW, Wageningen. 34 pp.
  25. RIJTEMA, P.E. and T.J. HOEIJMAKERS. 1983. The nitrate conflict between municipal water supply and agriculture. The NIMWAG model. Nota 1423. ICW, Wageningen. 20 pp.
  26. HUET, H. VAN. 1983. Kwantificering en modellering van de stikstofhuishouding in de bodem na bemesting. Nota 1426. ICW, Wageningen. 190 pp.
  27. WALSUM, P.E.V. VAN. 1983. Report on Southern Peel research session at IIASA, 12 - 16 September 1983. Nota 1463. ICW, Wageningen. 12 pp.
  - ✓ 28. EERENBEEMT, H. VAN DEN en H. KARTOREDJO. 1983. Drainageweerstand in het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1467. ICW, Wageningen. 20 pp.
  29. JANSEN, P.C. 1983. De gevolgen van veranderingen in de waterhuishouding voor de vegetatie. Nota 1476. ICW, Wageningen. 20 pp.
  30. KEMMERS, R.H. 1983. Vegetaties van enkele reservaten in beekdalen van het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1487. ICW, Wageningen. 29 pp.
  31. VREKE, J. 1984. Bespreking van enkele methodische aspecten van het project Optimalisering Regionaal Waterbeheer. Nota 1507. ICW, Wageningen. 18 pp.
  32. JANSEN, P.C. 1984. De waterhuishouding in de natuurreservaten De Oude Gooren, De Oetert en De Berken in het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1493. ICW, Wageningen. 24 pp.
  33. MEESTERS, P.H. 1984. Een floristische inventarisatie van het stroomdal van de Astensche Aa. Nota 1513. ICW, Wageningen. 101 pp.
  - ✓ 34. HAAIJER, B.M. 1984. Bepaling van de invloed van grondwateronttrekkingen en infiltratie op grondwaterstijghoogten en kwel/wegzijging in het Peelgebied, met behulp van het model voor de stationaire grondwaterstroming: FEMSATS. Nota 1518. ICW, Wageningen. 14 pp.
  35. KOPPERS, R.G.M. 1984. Onderzoek naar de verplaatsing van stikstof in de ondergrond van een veehouderijbedrijf ten Oosten van Deurne (N.B.). Nota 1519. ICW, Wageningen. 45 pp.
  36. BEEST, J.G. TE. 1984. Bepaling van de geohydrologische bodemconstanten in de Deurnsche Peel door middel van pomproef N 170. Nota 1538. ICW, Wageningen. 18 pp.
  37. WIJNSMA, M. 1984. Afvoermetingen in het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1545. ICW, Wageningen. 11 pp.

- 
38. QUERNER, E.P. and P.J.T. VAN BAKEL. 1984. Description of second level water quantity model, including results. Nota 1586. ICW, Wageningen. 67 pp.
  39. REES VELLINGA, E. VAN en J.P. BROERTJES, 1984. Enige resultaten van een geohydrologisch onderzoek in het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1590. ICW, Wageningen. 17 pp.
  40. PANKOW, J. 1985. Inventarisatie van de neerslag en de verdamping uit een vrij wateroppervlak in het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1638. ICW, Wageningen. 34 pp.
  41. BLÖMER, F. 1985. Een eenvoudige methode voor het berekenen van stroombanen uit de isohypsenkaart, toegepast op het verplaatsingsonderzoek in het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1644. ICW, Wageningen. 13 pp.
  42. VREKE, J. 1985. The introduction of labour into the Scenario Generating System. Nota 1647. ICW, Wageningen. 10 pp.
  43. VREKE, J. 1985. Outline of a Procedure to Generate the Target State. Nota 1648. ICW, Wageningen. 7 pp.
  44. VREKE, J. 1985. Framework of a first level model for the development of agriculture. Nota 1649. ICW, Wageningen. 11 pp.
  45. KEMMERS, R.H. and P.C. JANSEN. 1985. Impact of groundwater lowerings on nature performance: an evaluation model. Nota 1650. ICW, Wageningen. 39 pp.
  46. REINDS, G.H. 1985. The farm technology in the Southern Peel. Nota 1653. ICW, Wageningen. 25 pp.
  47. LOCHT, L.J. and J. VREKE. 1985. First draft for a model on policy impact analysis in agriculture. Nota 1657. ICW, Wageningen. 27 pp.
  48. LIMPENS, H.J.G.A. 1985. Kosten van mestverwerking en transport. Nota 1662. ICW, Wageningen. 62 pp.
  49. QUERNER, E.P. and R.A. FEDDES. 1985. Program SIMCROP. Calculation of agricultural crop production and income on a regional level. Nota 1666. ICW, Wageningen. 23 pp.
  50. HEMERT, A.K. VAN en G.H. REINDS. 1985. Ontwikkeling van het grondgebruik en de veehouderij in het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1667. ICW, Wageningen. 14 pp.
  51. BEEST, J.G. TE. 1985. Hydrologische bodemconstanten uit een viertal pompproeven in het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1678. ICW, Wageningen. 14 pp.

- 
52. WIT, K.E. 1986. Hydrologisch onderzoek in het Zuidelijk Peelgebied. ICW nota 1691. ICW, Wageningen. 43 pp.
  53. RUIKEN, M.J. en J.H.A.M. STEENVOORDEN. 1986. Organische stofgehalten in de ondergrond van het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1709. ICW, Wageningen. 10 pp.
  54. WALSUM, P.E.V. VAN. 1986. Interactive comparative display system. Nota 1735. ICW, Wageningen. 47 pp.
  55. LIMPENS, H.J.G.A. en L.J. LOCHT. 1987. Directe kosten met betrekking tot de natuurterreinen in de Zuid Peel studie. Nota 1760. ICW, Wageningen. 19 pp.
  56. STEENVOORDEN, J.H.A.M., W VAN DOORNE en A.M.H. VAN HEESEN. 1987. Bijdrage vanuit de landbouw aan de stikstof-, fosfaat- en chloridebelasting van het oppervlaktewater in zes afwateringsgebieden in de Zuidelijke Peel (per okt. 1981 - okt. 1983). Nota 1785. ICW, Wageningen. 39 pp.
  57. STEENVOORDEN, J.H.A.M. 1987. Nitraatgehalten in grond- en oppervlaktewater van een intensief rundveehouderijbedrijf in relatie tot de hydrologische situatie. Nota 1799. ICW, Wageningen. 24 pp.
  58. WALSUM, P.E.V. VAN. 1987. Decision support system for regions with intense agriculture: documentation of simplified models and software. Part A - Models. Nota 1814. ICW, Wageningen. 88 pp.
  59. POMPER, A.B. 1988. Hydrochemisch onderzoek in het Zuidelijk Peelgebied. Deel II. Nota 1867. ICW, Wageningen. 71 pp.
  60. STEENVOORDEN, J.H.A.M. en A.B. POMPER. 1988. Stikstofgehalten in grond- en oppervlaktewater van het Zuidelijk Peelgebied. Nota 1869. ICW, Wageningen. 18 pp.
  61. REINDS, G.H. 1987. Gevoeligheidsonderzoek begrotingsmethode Zuidelijke Peel. Nota (zonder nummer). ICW, Wageningen. 25 pp.
  62. QUERNER, E.P. 1988. User's manuel for groundwater model SIMGRO. Nota 1745. ICW, Wageningen. 73 pp.
  63. VREKE, J. 1988. Beslissing Ondersteunend Systeem voor het regionaal waterbeheer: methode voor de toetsing van de haalbaarheid van de gegenereerde veranderingen in de landbouw. Nota 1871. ICW, Wageningen. 16 pp.