396.1434.1

STICHTING VOOR BODEMKARTERING
WAGENINGEN

OVERZICHTSKAARTEN MET BETREKKING TOT EEN AANTAL ASPECTEN VAN DE WATERHUISHOUDING IN GELDERLAND

STI
BO
KA

Stichting voor Bodemkartering
Postbus 98
6700 AB Wageningen
tel. 08370-19100

Rapport nr. 1434
Project nr. 163.31

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

OVERZICHTSKAARTEN MET BETREKKING TOT EEN AANTAL ASPECTEN VAN DE WATERHUISHOUDING IN GELDERLAND

Rapport "Bezinningsgroep"

J. Bouma
(editor)

Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0010 5748

ISN 100204-02

Wageningen, februari 1979

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Stichting voor Bodemkartering en de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland.

25 OKT. 1979

Blz.

I N H O U D

LIJST VAN BIJLAGEN, AFBEELDINGEN EN TABELLEN 4

VOORWOORD (Th.J. v.d. Nes) 7

1 INLEIDING (J. Bouma) 9

2 PROCEDURES 11

2.1 Verzameling van basisgegevens (Oost-Gelderland) 11
2.1.1 Bodemkunde (A.F. van Holst en J. Bouma) 11
2.1.1.1 Bepaling van het representatief profiel per knooppunt met de bijbehorende relevante eigenschappen 11
2.1.1.2 Berekeningen met behulp van model "De Laat" 14
2.1.1.3 Verwerking voor SYMAP 17
2.1.1.4 Opbrengstdepressies bij wateroverlast 17
2.1.2 Geohydrologie (Oost-Gelderland) (F.G. Mulder) 20
2.1.3 Grondwaterinvloed en natuurwaarde (Oost-Gelderland) (G. van Wirdum) 21
2.1.3.1 De totstandkoming van de kaart 21
2.1.3.2 Beperkingen en relaties tot andere karteringen 23
2.2 Vochtleverantie-berekeningen (P.J.M. de Laat) 23
2.2.1 Inleiding 23
2.2.2 Gebruik k-daagse neerslag- en verdampingssommen 24
2.2.3 De hier gevolgde werkwijze 26
2.3 Computerverwerking (SYMAP) (J.A.J. Schasfoort) 28

3 TOELICHTING BIJ DE KARTOGRAMMEN 30

3.1 Bodemkundige en vochtleverantiekaarten Oost-Gelderland en Gelderland (J. Bouma en A.F. van Holst) 30
3.1.1 Inleiding 30
3.1.2 Kartogrammen met basisgegevens 31
3.1.3 Kartogrammen die betrekking hebben op vochtleverantie-berekeningen op basis van model De Laat 31
3.1.3.1 Inleiding 31
3.1.3.2 Enkele voorbeelden 34
3.1.3.3 Een maat voor gevoeligheid voor grondwaterstandsverlaging 35
3.1.3.4 Kartogrammen 36
3.1.4 Kartogram met opbrengstdepressies ten gevolge van wateroverlast 37
3.1.5 Slotopmerkingen 38
3.2 Kartogram van de fysische winbaarheid van grondwater Oost-Gelderland (F.G. Mulder) 38
3.3 Kartogram van grondwaterinvloed en natuurwaarde Oost-Gelderland (G. v. Wirdum) 38
3.3.1 Omschrijving van de legenda 38
3.3.2 Slotopmerkingen 41

4 INTEGRATIE PROCEDURES VOOR HET GEBRUIK VAN DE DEELKAARTEN (Th.J. v.d. Nes) 42

LIJST VAN BIJLAGEN

Bijlage 1 - Kartogram van de representatieve soort grond per element (= 100 ha) (Oost-Gelderland)

Bijlage 2 - Kartogram van de grondwatertrap van het representatief profiel per element (= 100 ha) (Oost-Gelderland)

Bijlage 3 - Kartogram van het representatief bodemgebruik per element (= 100 ha) (Oost-Gelderland)

Bijlage 4 - Kartogram van de gewogen gemiddelde opbrengst van het representatief profiel per element (= 100 ha) (Oost-Gelderland)

Bijlage 5 - Kartogram van de opbrengst in het 1% jaar van het representatief profiel per element (= 100 ha) (Oost-Gelderland)

Bijlage 6 - Idem in het 10% jaar

Bijlage 7 - Idem in het 20% jaar

Bijlage 8 - Kartogram van de grondwaterstandsverlaging (L) in het representatief profiel per element (= 100 ha) resulterend in 5% absolute opbrengstdaling (Oost-Gelderland)

Bijlage 9 - Kartogram van het maximale opbrengstverlies (ΔP) in het representatief profiel per element (= 100 ha) ten gevolge van grondwaterstandsverlaging (Oost-Gelderland)

Bijlage 10 - Kartogram van de gevoeligheid voor grondwaterstandsverlaging van het representatief profiel per element (= 100 ha) (Oost-Gelderland)

Bijlage 11 - Kartogram van de opbrengstdepressie ten gevolge van wateroverlast van het representatief profiel per element (= 100 ha) (Oost-Gelderland)

Bijlage 12 - Kartogram van de fysische winbaarheid van grondwater per element (= 100 ha) (Oost-Gelderland)

Bijlage 13 - Kartogram van grondwaterinvloed en natuurwaarde per element (= 100 ha) (Oost-Gelderland)

Bijlage 14 - Kartogram van de gewogen gemiddelde opbrengst van het representatief profiel per element (= 100 ha) (Gelderland)

Bijlage 15 - Kartogram van de opbrengst in het 10% jaar van het representatief profiel per element (= 100 ha) (Gelderland)

Bijlage 16 - Kartogram van de gevoeligheid voor grondwaterstandsverlaging van het representatief profiel per element (= 100 ha) (Gelderland)

Blz.

LIJST VAN AFBEELDINGEN

Afb. 1 - Bepaling van de gewogen gemiddelde relatieve verdamping $\overline{R}$ uit vier berekende waarden van R 26

Afb. 2 - Initiële vochtverdeling voor verschillende waarden van de aanvangsgrondwaterstand (GVG) in cm beneden maaiveld 26

Afb. 3 - Het verloop van grondwaterstand en neerwaartse flux door de onderrand van het deelsysteem voor onverzadigde stroming gedurende een groeiseizoen 26

Afb. 4 - Grafische weergave van de berekende vochtleverantie in een duinvaaggrond (Zd21), uitgaande van de natuurlijke toestand en van een aantal verlagingen van de grondwaterstand. De afgebeelde gegevens zijn gekozen uit tabellen zoals weergegeven in dit rapport in tabel 6 34

Afb. 5 - Idem in een kleivaaggrond (Rn67C) 34

Afb. 6 - Idem in een zwarte enkeerdgrond (zEZ21) 34

Afb. 7 - Idem in een beekeerdgrond (pZg23) 34

Afb. 8 - Idem in een veldpodzolgrond (Hn21) 34

Afb. 9 - Idem in een poldervaaggrond (KRn8) 34

Afb. 10 - Toelichting bij de afleiding van de ΔP en L criteria gebruikt bij het vaststellen van een gevoeligheidsmaat voor grondwaterstandsverlaging 35

Afb. 11 - Grondwaterinvloed en natuurwaarde in Oost-Gelderland. De hier in de oorspronkelijke vorm getoonde kaart vormde de basis voor het vervaardigde ecologische kartogram (bijlage 13) 38

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1 Van de bodemkaart afgeleide gegevens die betrekking hebben op de bodemkundige samenstelling van zes knooppuntsoppervlakten, elk ter grootte van 100 ha 12

Tabel 2 De voor de zes gekozen knooppunten toegekende pF-curven voor de bovengrond 13

Tabel 3 De voor de zes gekozen knooppunten toegekende K-ψ relaties voor de ondergrond met bijbehorende pF-curven 13

Tabel 4 Geschematiseerde grondwaterstandsverlopen behorend bij elf grondwatertrappen 14

Tabel 5 De voor de zes gekozen knooppunten toegekende fysische gegevens, zoals gebruikt bij de berekening van de vochtleverantie met behulp van model De Laat 14

Tabel 6 Computer-output voor de zes gekozen knooppunten 15

Tabel 7 Uit tabel 6 afgeleide basisgegevens voor de zes knooppunten die zijn gebruikt bij het vervaardigen van de verschillende als bijlage bijgevoegde vochtleverantiekartogrammen 18

Tabel 8 Opbrengst-depressiepercentages voor verschillende grondwatertrappen op vier grondsoorten bij graslandgebruik 19

Tabel 9 k-daagse verdampings-, neerslag- en verdampingsoverschotsommen 25

Blz.

Tabel 10 Cijfers met betrekking tot een groeiseizoen van 170 dagen vanaf begin april in zes opeenvolgende jaren 27

Tabel 11 Samenvatting van basisgegevens ontleend aan het kartogram dat het representatieve soort grond weergeeft per element van 100 ha, voor gebied Oost-Gelderland 32

Tabel 12 Samenvatting van basisgegevens, die betrekking hebben op heel Gelderland, per element van 100 ha 33

Tabel 13 Samenvattende tabel voor heel Gelderland waarin niet alleen de relatieve opbrengsten van gras in een 10% jaar staan weergegeven in een aantal klassen, maar ook de gewogen gemiddelde opbrengst en die in een 1% en 20% jaar 36

Tabel 14 Samenvattende tabel voor heel Gelderland waarop de geschatte opbrengstdepressies ten gevolge van wateroverlast staan weergegeven 37

Tabel 15 Schaalwaardentabel van Saaty 44

VOORWOORD

Dr.Ir. Th.J. v.d. Nes

Projectleider Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland

De bij de Commissie ingediende Stiboka begroting bevatte onder meer een post voor: "Het opstellen van een beschrijvend overzicht met kaarten van de waterhuishouding in Gelderland, nader te definiëren door een bezinningsgroep".

Deze groep kreeg als taak met de zeer beperkte financiële middelen, de bestaande kennis en de reeds verkregen gedetailleerde kennis uit modelstudies in de verschillende delen van Gelderland te evalueren en te extrapoleren naar geheel Gelderland.

De bezinningsgroep had de volgende samenstelling:

Voorzitter: Dr.Ir. Th.J. v.d. Nes, Provinciale Waterstaat van Gelderland

Secretaris: Dr.Ir. J. Bouma, Stichting voor Bodemkartering

Leden: Ir. J. Pape, idem

Ir. J.C. Boxem, Provinciale Landbouwkundige Dienst Gelderland

Dr. F.G. Mulder, Waterleiding Maatschappij Oostelijk Gelderland

Drs. G. van Wirdum, Rijksinstituut voor Natuurbeheer

Drs. J. Gardeniers, Landbouwhogeschool, vakgroep Natuurbeheer

Ir. B. Herfst, Rijkswaterstaat, Provinciale direktie Gelderland

Ir. P.J.M. de Laat, International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering

Ing. G.J. Grotentraast, Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven.

De algemene doelstelling van de bezinningsgroep werd als volgt geformuleerd:

"Het scheppen van mogelijkheden om zowel de bestaande waterhuishoudkundige toestand en zijn deelbelangen, als ook de gevolgen van bepaalde ingrepen daarin, op een overzichtelijke wijze te presenteren, in de vorm van overzichtskaarten".

Bij het werk van de bezinningsgroep kreeg de bodemkunde in relatie tot de landbouwwaterhuishouding de aandacht, terwijl tevens de fysische beschikbaarheid van grondwater (geohydrologische informatie) en de natuurlijke vegetaties in relatie tot de waterhuishouding bij het onderzoek werden betrokken. Gezien het globale karakter van de informatie op de diverse kaarten, is gebruik hiervan alleen voor de lange termijn planning van het waterbeheer toegestaan.

Voor het uitvoeren van waterbeheerswerken zijn deze kaarten volkomen ongeschikt, vanwege het gebrek aan gedetailleerde informatie. Gegeven de beperkte financiële middelen en de beschikbare tijd is het niet gelukt om alle aspecten voor geheel Gelderland in kaart te brengen. Dit is voor een groot deel wel gelukt voor Oost-Gelderland. Een beperkt aantal kaarten heeft betrekking op geheel Gelderland.

Verder is in dit rapport aandacht besteed aan de wijze waarop de integratie van de informatie op de verschillende kaarten ten behoeve van het waterbeleid op de lange termijn kan worden gerealiseerd.

Het doel van dit rapport is dan ook de discussie op gang te brengen op welke wijze bodemkundige en waterhuishoudkundige informatie in kaart moet worden gebracht en op welke wijze deze informatie dienstbaar kan worden gemaakt voor een integraal waterbeleid.

Deze discussie is noodzakelijk voor een goede relatie tussen onderzoek en beleid op het gebied van de waterhuishouding.

1 INLEIDING, J. Bouma

De opdracht aan de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland was: "het scheppen van een wetenschappelijke basis voor een optimaal beheer van het aanwezige oppervlaktewater en grondwater in Gelderland naar kwantiteit en kwaliteit". Deze formulering impliceert een duidelijk practische en maatschappelijke benadering via verschillende vakdisciplines. De gevraagde wetenschappelijke basis kan alleen worden gerealiseerd wanneer de te volgen procedures goed zijn gedefinieerd en reproduceerbaar zijn. Het gebruik van de term "optimaal" impliceert dat er in het kader van de practische beheersproblematiek waarschijnlijk tegenstrijdige eisen zullen worden gesteld door de diverse deelbelangen, die een onderlinge afweging noodzakelijk maken. Uit de rapporten 1 en 2 van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, die het onderzoek in de periode 1971-1974 beschrijven, is duidelijk gebleken dat het hydrologisch modelonderzoek een essentiële bijdrage kan leveren in het kader van de hier geschetste probleemstelling. Computertechnische, modelmatige en economische overwegingen hebben echter in de tweede onderzoeksperiode tot de conclusie geleid dat een toepassing van het hydrologische simulatiemodel GELGAM voor héél Gelderland (5137 km^2) niet haalbaar was. De aandacht werd daarom gericht op twee deelgebieden, namelijk Oost-Gelderland en Over-Betuwe. Daarnaast bleef echter, zeker ook gezien de oorspronkelijke formulering van de opdracht, de noodzaak bestaan tot het ontwikkelen van een wetenschappelijk verantwoorde procedure die ook voor heel Gelderland toepasbaar zou moeten zijn voor het grond- en oppervlaktewaterbeheer.

Het in de provincie Drente uitgevoerde onderzoek, zoals gerapporteerd door Alaerts en Van der Kamp, 1976; Goddijn en Van Handenhoven, 1976; en Tamminga, 1976, heeft in eerste instantie model gestaan voor de te volgen benadering. Hierbij werd per knooppunt voor een aantal voor het waterbeheer relevante factoren, een waardeoordeel toegekend in een ordinale schaal van 1 tot 10. De aldus verkregen getallen kunnen voor iedere factor afzonderlijk op een overzichtskaart voor alle knooppunten worden getoond. Ook kunnen verschillende factoren gesuperponeerd worden, waarbij desgewenst ook afwijkende gewichten kunnen worden toegekend aan de diverse factoren. In principe is de hier globaal geschetste benadering ook gevolgd bij de in dit rapport gepresenteerde studie. Alleen zijn de verschillende factoren zoveel mogelijk kwantitatief gedefinieerd met gebruikmaking van de in dit project ontwikkelde simulatietechnieken. Bovendien zijn voor het weergeven van de resultaten in kaartvorm moderne computertechnieken gebruikt. Tevens werd aan meer recente integratiemethoden (Paelinck en Saaty) de voorkeur gegeven, waarmee de voor de verschillende factoren bereikte resultaten objectief kunnen worden geintegreerd. Bij deze recente methoden wordt beter aangesloten bij het sociale gebeuren van beslissingsprocessen, waarbij meerdere personen betrokken zijn.

De in dit rapport te bespreken factoren, die belangrijk worden geacht voor het waterbeheer, hebben betrekking op: (1) Het in strikt technische zin winbaar zijn van grondwater en (2) De mogelijk te verwachten "schade" voor landbouw en ecologie. In de volgende hoofdstukken zullen genoemde factoren nader worden uitgewerkt.

Geciteerde literatuur

Alaerts J., en J.R. van de Kamp, 1976, Waterbeheer en beleidsanalyse. Hydrographica nr. 2. p. 17-20.

Goddijn J., en M. van Handenhoven, 1976, Een eenvoudige methode als hulpmiddel voor een beleidsplan en beleidsprogramma op korte en middellangetermijn. Hydrographica no. 3. p. 19-24.

Tamminga, M., 1976, Het grondwaterbeheer en de provincie. H_2O nr. 24. p. 496-499.

2 PROCEDURES

2.1 Verzameling van basisgegevens (Oost-Gelderland)

2.1.1 Bodemkunde, A.F. van Holst en J. Bouma

Bij de verzameling van de bodemkundige gegevens, de toekenning van fysische basisgegevens en de verwerking van de met deze gegevens verkregen rekenresultaten zijn een aantal procedures gevolgd die nu achtereenvolgens zullen worden besproken. In hoofdstuk 3.1 worden de aldaar gepresenteerde kartogrammen, die betrekking hebben op de vochtleverantie, toegelicht aan de hand van een zestal voorbeelden. Deze voorbeelden afkomstig uit Oost-Gelderland zullen hier worden gebruikt om de bij het verzamelen van de bodemkundige gegevens gebruikte procedures te illustreren.

2.1.1.1 Bepaling van het representatief profiel per knooppunt met de bijbehorende relevante eigenschappen

Met behulp van conceptbodemkaarten, schaal 1 : 25 000, en aanvullende opnamen (Oost-Gelderland) en al dan niet gepubliceerde gegevens van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, (heel Gelderland), zijn voor de per 100 ha onderscheiden knooppunten, representatieve kaarteenheden (=bodemeenheid + grondwatertrap) bepaald die binnen het (vierkante) oppervlak rondom het knooppunt de grootste oppervlakte innemen. De knooppunten zijn gesitueerd op de snijpunten van de coördinaten van de topografische kaart. Voor Oost-Gelderland is deze bepaling uitgevoerd op basis van de eerder verkregen gegevens (Van Holst e.a., 1974). Hierbij was de vaststelling van het representatieve profiel gebaseerd op planimeter-uitkomsten van de bij het knooppunt behorende oppervlakte van 100 ha. Voor heel Gelderland is per knooppunt de grootste eenheid per 100 ha (representatieve kaarteenheid) schattenderwijs vastgesteld.

Overigens is bij het verzamelen van de gegevens voor heel Gelderland, het gebied Oost-Gelderland opnieuw gekarakteriseerd. Hoewel mag worden aangenomen dat over het algemeen de basisgegevens voor het gebied Oost-Gelderland, voorkomend op de kaarten van Oost-Gelderland <u>en</u> op de kaarten van heel Gelderland, hetzelfde zullen zijn, kan dit in enkele gevallen niet zo zijn gezien de enigszins verschillende procedures.

De als voorbeeld genomen 6 knooppunten uit Oost-Gelderland dragen met verwijzing naar de in 1974 gepubliceerde overzichtskaart de volgende nummers: 375, 362, 154, 254, 373 en 462. De van de bodemkaart afgelezen samenstelling van de respectieve knooppuntsoppervlakten zijn samengevat in tabel 1. Het aantal voorkomende kaarteenheden varieert nogal per knooppuntsoppervlak. De eenheid met de grootste oppervlakte is als representatief aangenomen. Dit zijn achtereenvolgens:
Zd21 op Gt VII, Rn67C op Gt V, zEZ21 op Gt VII, pZg23 op Gt III, Hn21 op Gt V en KRn8 op Gt III. Zoals bekend is de Gt de zogenaamde grondwatertrap die het verloop aangeeft tussen de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddelde laagste stand (GLG). De GVG (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand) wordt uit de GHG afgeleid.

Uitgaande van de standaard-profielbeschrijving zoals verkregen uit rapporten behorend bij de bodemkaart, is nu voor ieder van deze profielen een pF-curve van onder- en bovengrond en een K-Ψ relatie voor de ondergrond geschat, alsmede een diepte van beworteling. Schattingen van pF resp. K-Ψ berusten op standaardreeksen (Krabbenborg, 1973; resp. Rijtema, 1969) die in hoofdzaak zijn gebaseerd op correlatie met textuur. De voor de zes knooppunten gebruikte pF-gegevens en K-Ψ relaties staan samengevat in de

Tabel 1 Van de bodemkaart afgeleide gegevens die betrekking hebben op de bodemkundige samenstelling van zes knooppuntsoppervlakten, elk ter grootte van 100 ha. De onderlijnde kaarteenheid neemt per knooppuntsoppervlak het grootste oppervlak in en wordt als representatief beschouwd

Knooppuntsoppervlakte 100 ha				Knooppuntsoppervlakte 100 ha			
knooppuntnummer	percentage	bodemeenheid	Gt	knooppuntnummer	percentage	bodemeenheid	Gt
375	40	Zd21	VII	254	75	pZg23	III
	35	Hn21	VI		15	Hn21	V
	15	Zn21	VI		5	pZg23	II
	10	Hn21	V		5	Hn21	III
362	35	Rn67C	V	373	35	Hn21	V
	25	Rd90C	VI		30	pZg23	III
	25	Rn95C	VI		20	Hn21	VI
	10	Rn95C	V		10	pZg23	V
	5	Rd10C	VII		5	Hn21	III
154	50	zEZ21	VII	462	60	KRn8	III
	20	zEZ21	VI		35	Zb23	VII
	10	Hd21	VII		5	bEZ23	VII
	10	Hn21	VI				
	5	bebouwd					
	5	Hn21	V				

tabellen 2 en 3. In principe is voor iedere voorkomende bodemeenheid deze schatting uitgevoerd. Het aantal knooppunten is inderdaad vele malen groter dan het aantal bodemeenheden met bijbehorende Gt, zoals uit onderstaand overzicht blijkt:

	Aantal knooppunten	Aantal bodemeenheden	Aantal grondwatertrappen	Aantal combinaties van bodemeenheid en Gt
Oost-Gelderland	768	41	6	75
Heel Gelderland	5137	94	11	392

Deze combinaties zijn geleverd aan De Laat, die op basis hiervan vochtleverantieberekeningen heeft uitgevoerd. Daarbij is de toegekende Gt enigszins geschematiseerd volgens de in tabel 4 aangegeven wijze. Voor de zes genoemde knooppunten werd de in tabel 5 vermelde serie gegevens aan De Laat verstrekt.

Wellicht ten overvloede wordt er nog eens op gewezen dat de hier verstrekte gegevens betrekking hebben op latere kartogrammen die de vochtleverantie karakteriseren (bijlagen 4 t/m 10; 14 t/m 16).

Nr. pF-curve bovengrond	Stiboka nr.	Poriën-volume	Volume percentage vocht bij:							
			pF 0,4	pF 1,0	pF 1,5	pF 2,0	pF 2,3	pF 2,7	pF 3,4	pF 4,2
2	4.1	46,3	45,3	43,4	41,0	33,3	27,6	23,2	11,5	7,4
6	7.1	48,3	47,2	43,5	40,0	27,8	21,1	15,8	8,8	5,7
9	10.1	51,8	50,9	48,0	46,7	42,2	35,9	32,9	18,2	12,8
14	AK 154.1	45,5	45,0	44,0	42,5	40,5	40,0	38,0	34,0	28,0
24	AK 188.1	43,0	42,5	41,0	38,2	19,7	16,7	15,5	7,6	4,9

Tabel 2 De voor de zes gekozen knooppunten toegekende pF-curven voor de bovengrond. Het nummer in de eerste kolom komt als verwijsnummer terug in tabel 5

pF												K-Ψ				
Nr. pF-curve en K-Ψ ondergrond	Stiboka nr.		Poriën-volume	Volume percentage vocht bij:								K_o cm day^{-1}	α cm^{-1}	ψ_a cm	$\psi_{max.}$ cm	~~α~~ a cm$^{2.4}$ day^{-1}
	pF	K-Ψ		pF 0,4	pF 1,0	pF 1,5	pF 2,0	pF 2,3	pF 2,7	pF 3,4	pF 4,2					
2	3.6	1L	38,1	37,6	34,9	30,6	11,8	7,8	5,0	2,0	1,5	300	0,138	0	90,4	0,63
3	4.3	2L	35,6	35,4	33,0	32,0	18,8	14,0	9,6	3,7	2,7	70	0,085	0	117,7	2,50
6	9.2	2L	36,4	35,4	33,1	31,9	24,8	18,9	15,4	6,8	4,1	70	0,085	0	117,7	2,50
9	AK 153.2	6L	40,5	40,0	39,0	37,0	34,0	32,0	29,5	26,0	20,0	23,5	0,0353	0	200	33,6
13	AK 160.5	1L	33,0	31,0	28,3	23,3	13,5	7,9	6,5	2,1	1,3	300	0,138	0	90,4	0,63
16	AK 188.2	1L	41,0	39,4	35,1	15,9	5,8	4,9	4,3	1,6	0,8	300	0,138	0	90,4	0,63

Tabel 3 De voor de zes gekozen knooppunten toegekende K-Ψ relaties voor de ondergrond met bijbehorende pF-curven. Het nummer in de eerste kolom komt als verwijsnummer terug in tabel 5

Grondwatertrap	GHG	GVG	GLG
I	10	20	45
II	15	40	70
II*	30	50	70
III	20	50	110
III*	40	65	110
IV	60	80	110
V	30	60	140
V*	40	70	150
VI	60	90	160
VII	100	130	200
VII*	200	230	300
	(in cm - mv.)		

Tabel 4 Geschematiseerde grondwaterstandsverlopen behorend bij elf grondwatertrappen (Gt's)

Rekennummer De Laat	Bodemeenheid	Grondwatertrap	Wortelzone		Ondergrond nr. K-ψ	GVG (cm - mv.)	GLG (cm - mv.)
			nr. pF	dikte in dm			
41	Zd21	VII	24	2	16	130	200
59	Rn67C	V	14	4	9	60	140
21	zEZ21	VII	6	8	2	130	200
26	pZg23	III	9	3	6	50	110
5	Hn21	V	2	3	3	60	140
71	KRn8	III	14	4	13	50	110

Tabel 5 De voor de zes gekozen knooppunten toegekende fysische gegevens, zoals gebruikt bij de berekening van de vochtleverantie met behulp van model De Laat

2.1.1.2 Berekeningen met behulp van model "De Laat"

De simulatieresultaten die betrekking hebben op gebied Oost-Gelderland, staan voor de zes knooppunten compleet weergegeven in tabel 6a t/m 6f. De nummering (linksboven in iedere tabel), het z.g. rekennummer De Laat, wijkt af van de knooppuntsnummering omdat, uiteraard alleen vochtleverantieberekeningen voor de 75 in Oost-Gelderland voorkomende combinaties van bodemeenheid en Gt, zijn uitgevoerd. In dit verband wordt knooppunt 375 gekarakteriseerd door combinatie 41; knooppunt 362 door comb. 59; knooppunt 154 door comb. 21; knooppunt 254 door comb. 26; knooppunt 373 door comb. 5 en knooppunt 462 door combinatie 71.

Door het model De Laat wordt een grote hoeveelheid gegevens geleverd. De relatieve verdamping en het produktieniveau worden berekend, voor het kengewas gras, met een groeiperiode van 150 dagen, voor de gegeven combi-

6a Knooppunt 375

*** 41 *** ROOTZONE 24 DEPTH 20. CM SUBSOIL 16 GVG 130. CM GLG 200. CM

GLG IN CM-MV	VERLAGING IN CM	QW (CM/DAG)	RELATIEVE VERDAMPING(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	PRODUCTIE NIVEAU(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	
200.2	0.	-0.142	79.8	41.4	58.0	65.7	82.6	100.0	66.6	17.1	33.7	43.2	68.2	100.0	3
210.2	10.	-0.143	79.7	41.2	57.8	65.5	82.4	100.0	66.5	16.9	33.4	42.9	67.9	100.0	1
225.2	25.	-0.145	79.5	40.9	57.6	65.2	82.1	100.0	66.2	16.7	33.1	42.6	67.5	100.0	1
250.2	50.	-0.148	79.2	40.5	57.2	64.7	81.7	100.0	65.7	16.4	32.7	41.9	66.7	100.0	1
499.7	300.	-0.144	78.6	39.7	56.3	63.9	80.8	100.0	64.9	15.8	31.7	40.8	65.3	100.0	3

L = *** DELTA = 1.0 G = 0

6b Knooppunt 362

*** 59 *** ROOTZONE 34 DEPTH 40. CM SUBSOIL 9 GVG 60. CM GLG 140. CM

GLG IN CM-MV	VERLAGING IN CM	QW (CM/DAG)	RELATIEVE VERDAMPING(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	PRODUCTIE NIVEAU(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	
140.0	0.	0.043	99.7	94.9	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	90.0	100.0	100.0	100.0	100.0	5
150.0	10.	0.041	99.7	93.8	100.0	100.0	100.0	100.0	99.3	88.0	100.0	100.0	100.0	100.0	3
165.0	25.	0.038	99.6	92.2	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	85.0	100.0	100.0	100.0	100.0	3
190.0	50.	0.035	99.4	89.4	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	79.9	100.0	100.0	100.0	100.0	3
215.0	75.	0.032	99.3	86.5	100.0	100.0	100.0	100.0	98.6	74.9	100.0	100.0	100.0	100.0	3
240.0	100.	0.029	99.0	82.9	99.5	100.0	100.0	100.0	98.2	68.8	98.9	100.0	100.0	100.0	3
290.0	150.	0.014	98.0	75.3	92.8	100.0	100.0	100.0	96.3	56.8	86.2	100.0	100.0	100.0	3
340.0	200.	-0.017	95.4	67.5	84.9	93.3	100.0	100.0	91.8	45.5	72.1	87.1	100.0	100.0	3
438.9	300.	-0.051	91.9	58.9	76.3	84.5	98.6	100.0	85.7	34.7	58.3	71.4	97.1	100.0	4

L = 170 DELTA = 13.7 G = 8

6c Knooppunt 154

*** 21 *** ROOTZONE 5 DEPTH 80. CM SUBSOIL 2 GVG 130. CM GLG 200. CM

GLG IN CM-MV	VERLAGING IN CM	QW (CM/DAG)	RELATIEVE VERDAMPING(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	PRODUCTIE NIVEAU(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	
200.0	0.	-0.080	98.6	79.4	97.2	100.0	100.0	100.0	97.5	63.1	94.6	100.0	100.0	100.0	4
210.0	10.	-0.080	98.1	76.1	94.1	100.0	100.0	100.0	96.6	57.9	88.5	100.0	100.0	100.0	1
225.0	25.	-0.080	97.4	72.4	90.4	99.3	100.0	100.0	95.4	52.4	81.8	98.6	100.0	100.0	1
250.0	50.	-0.080	96.8	67.9	85.8	94.7	100.0	100.0	92.5	46.2	73.7	89.6	100.0	100.0	1
275.0	75.	-0.080	96.2	66.1	84.0	92.8	100.0	100.0	91.3	43.7	70.6	86.1	100.0	100.0	1
300.0	100.	-0.080	96.1	66.0	83.9	92.6	100.0	100.0	91.2	43.5	70.3	85.8	100.0	100.0	1
350.0	150.	-0.082	96.0	65.7	83.6	92.3	100.0	100.0	91.1	43.2	69.9	85.3	100.0	100.0	3
400.0	200.	-0.082	94.9	65.5	83.4	92.1	100.0	100.0	90.9	42.9	69.5	84.8	100.0	100.0	1
500.0	300.	-0.084	94.8	65.1	83.0	91.8	100.0	100.0	90.7	42.4	68.9	84.3	100.0	100.0	3

L = 50 DELTA = 6.7 G = 13

Tabel 6 Computer-output voor de zes gekozen knooppunten. Zowel de relatieve verdamping als het produktieniveau wordt weergegeven in de natuurlijke toestand en bij een aantal verlagingen. De complete output wordt gepresenteerd in de subtabellen 6a t/m 6f.

6d Knooppunt 254

*** 26 *** ROOTZONE 9 DEPTH 30. CM SUBSOIL 6 GVG 50. CM GLG 110. CM

GLG IN CM-MV	VERLAGING IN CM	QW (CM/DAG)	RELATIEVE VERDAMPING(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	PRODUCTIE NIVEAU(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	
110.0	0.	0.037	99.0	82.2	99.8	100.0	100.0	100.0	98.2	67.6	99.7	100.0	100.0	100.0	5
120.0	10.	0.027	98.6	79.2	96.9	100.0	100.0	100.0	97.4	62.8	93.8	100.0	100.0	100.0	2
135.0	25.	0.006	97.6	73.7	91.3	99.5	100.0	100.0	95.7	54.3	83.4	99.1	100.0	100.0	3
160.0	50.	-0.032	94.5	64.9	82.3	90.6	100.0	100.0	90.2	42.2	67.7	82.2	100.0	100.0	5
185.0	75.	-0.042	92.9	60.5	77.8	86.1	100.0	100.0	87.6	36.6	60.6	74.1	100.0	100.0	2
209.4	100.	-0.042	91.3	57.1	74.4	82.6	98.7	100.0	84.8	32.6	55.4	68.3	97.4	100.0	1
259.4	150.	-0.042	88.6	53.1	70.3	78.5	95.2	100.0	80.3	28.1	49.5	61.6	90.5	100.0	1
309.1	200.	-0.044	88.1	52.4	69.5	77.7	94.5	100.0	79.4	27.4	48.4	60.4	89.2	100.0	3
409.1	300.	-0.049	87.5	51.5	68.6	76.8	93.6	100.0	78.4	26.5	47.1	58.9	87.7	100.0	3

L = 36 DELTA = 19.8 G = 54

6e Knooppunt 373

*** 5 *** ROOTZONE 2 DEPTH 30. CM SUBSOIL 3 GVG 60. CM GLG 140. CM

GLG IN CM-MV	VERLAGING IN CM	QW (CM/DAG)	RELATIEVE VERDAMPING(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	PRODUCTIE NIVEAU(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	
140.0	0.	-0.026	97.3	73.2	90.4	98.3	100.0	100.0	95.0	53.5	81.7	96.7	100.0	100.0	3
150.0	10.	-0.045	96.1	69.9	86.8	94.9	100.0	100.0	92.9	48.8	75.4	90.0	100.0	100.0	3
165.0	25.	-0.057	94.9	66.2	83.4	91.5	100.0	100.0	90.7	43.8	69.5	83.6	100.0	100.0	3
190.0	50.	-0.067	92.8	60.3	77.4	85.6	100.0	100.0	87.4	36.4	60.0	73.3	100.0	100.0	3
214.3	75.	-0.070	90.5	56.2	73.4	81.6	97.5	100.0	83.4	31.6	53.9	66.5	95.0	100.0	3
239.3	100.	-0.070	88.6	53.3	70.5	78.6	94.9	100.0	80.2	28.4	49.6	61.8	90.1	100.0	1
288.6	150.	-0.070	86.6	50.5	67.5	75.6	92.4	100.0	77.0	25.5	45.6	57.1	85.3	100.0	1
339.3	200.	-0.072	86.2	49.9	66.9	75.0	91.8	100.0	76.3	24.9	44.8	56.2	84.2	100.0	3
439.3	300.	-0.075	85.7	49.1	66.1	74.2	91.1	100.0	75.5	24.1	43.7	55.0	83.0	100.0	3

L = 30 DELTA = 19.5 G = 65

6f Knooppunt 462

*** 71 *** ROOTZONE 14 DEPTH 40. CM SUBSOIL 13 GVG 50. CM GLG 110. CM

GLG IN CM-MV	VERLAGING IN CM	QW (CM/DAG)	RELATIEVE VERDAMPING(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	PRODUCTIE NIVEAU(%) GEM.	1.%	10.%	20.%	50.%	90.%	
110.0	0.	0.015	95.9	68.1	86.0	94.7	100.0	100.0	92.5	46.4	74.0	89.7	100.0	100.0	4
120.0	10.	-0.014	93.6	62.3	79.8	88.2	100.0	100.0	88.7	38.8	63.6	77.8	100.0	100.0	3
133.3	25.	-0.038	91.1	56.9	74.2	82.5	98.4	100.0	84.5	32.4	55.1	68.0	96.8	100.0	4
160.3	50.	-0.060	86.4	50.2	67.2	75.3	92.0	100.0	76.6	25.2	45.2	56.7	84.6	100.0	3
184.4	75.	-0.061	84.2	47.1	64.1	72.0	88.9	100.0	73.2	22.2	41.1	51.9	79.0	100.0	3
209.4	100.	-0.061	83.3	45.8	62.7	70.6	87.6	100.0	71.7	21.0	39.4	49.9	76.7	100.0	1
407.4	300.	-0.064	82.1	44.4	61.2	69.0	86.0	100.0	70.0	19.7	37.4	47.6	73.9	100.0	3

L = 14 DELTA = 22.5 G = 160

Tabel 6 vervolg

natie bodemeenheid-grondwatertrap. Daarnaast worden deze waarden ook berekend voor een aantal verlagingen tot maximaal 3 m. Het aantal verlagingsstappen is afhankelijk van de combinatie bodemeenheid-grondwatertrap. De relatieve verdamping en het produktieniveau worden berekend voor de volgende reeks van droogtejaren: 1%, 10%, 20%, 50% en 90%. Integratie van de bij deze droogtejaren behorende uitkomsten leveren tenslotte de gewogen gemiddelde waarden van de relatieve verdamping resp. het produktieniveau op. Bij de later te bespreken classificatie is deze gewogen gemiddelde opbrengst gehanteerd. Het is duidelijk dat bij de verdere verwerking van deze gegevens slechts een deel van de simulatieresultaten zijn gebruikt. De in hoofdstuk 3.1 opgenomen figuren zijn direct afgeleid van de in tabel 6 vermelde rekenresultaten.

2.1.1.3 Verwerking voor SYMAP

De 75 in Oost-Gelderland voorkomende combinaties van bodemeenheid-grondwatertrap (392 combinaties voor heel Gelderland), werden nu opnieuw getabellariseerd, waarbij een keuze werd gemaakt uit de door De Laat berekende gegevens. Een voorbeeld, opnieuw voor de zes knooppunten, wordt gegeven in tabel 7. Opgenomen zijn de gemiddelde produkties en die in een 1%, 10%, 20% en 50% jaar. Ook is het percentage geschat van de te verwachten opbrengstdepressie als gevolg van wateroverlast (zie volgend hoofdstuk). De laatste gegevens werden gebruikt voor bijlage 11. Tenslotte werd voor ieder knooppunt een kaart geponst met de coördinaten en tevens een profielcode, die aansloot op de basisgegevens zoals weergegeven in de zojuist besproken tabel 7.

De gevolgde procedures bij het verkrijgen van de kartogrammen (bijlagen 1 t/m 16); met behulp van SYMAP, zullen afzonderlijk worden besproken (hoofdstuk 2.3).

Ten aanzien van de vaststelling van het bodemgebruik per knooppunt kan worden opgemerkt dat hierbij gebruik is gemaakt van chromo top. kaarten. Per knooppuntsoppervlak van 100 ha is het meest voorkomende gebruik bepaald. Voor Oost-Gelderland met onderscheidingen voor bouwland, grasland en bos zijn de toekenningen per knooppunt bijgesteld aan de hand van een meer recente inventarisatie (zie bijlage 3.2 van Rapport Cie. Best. Waterhuishouding Gelderland, 1976). Het bodemgebruik voor geheel Gelderland is uitsluitend ontleend aan de topografische kaart. Het aantal onderscheidingen is met één uitgebreid: heide. De geraadpleegde topografische kaarten hebben verschillende jaren van publikatie, variërend van 1965 tot 1977, zodat informatie over het bodemgebruik voor een aantal bladen inmiddels achterhaald zal zijn.

2.1.1.4 Opbrengstdepressies bij wateroverlast

Er is in Nederland veel onderzoek gedaan naar de betekenis van de grondwaterstandsdiepte voor de opbrengst van akkerbouwgewassen en gras. De onderzoeksresultaten worden bij de planning en uitvoering van ontwaterings- en landinrichtingswerken gebruikt. In belangrijke mate steunt men daarbij nog op het werk van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland, afgekort COLN (Visser, 1958). In het COLN-onderzoek zijn o.a. voor een zevental profieltypen de verbanden aangegeven tussen de grondwaterstand en de opbrengst van akkerbouwgewassen en grasland. Door een bepaalde grond in te passen in de reeks profieltypen, kan voor die grond de gewasopbrengst bij diverse combinaties van gemiddelde winter- en zomergrondwaterstanden worden afgelezen.

Gebruik makend van nieuwere inzichten hebben Feddes en Van Wijk (Feddes en Van Wijk, 1975) modellen ontwikkeld, waarmee de invloed van de grondwaterstand op de opbrengst bij akkerbouw en grasland kwantitatief kan worden berekend. Daarbij zijn de verschillende processen in beschouwing ge-

Rekennummer De Laat	eenheid	Gt	Bodemkaart	Productieniveau %							Opbr. reductie wateroverl. (%)
				gemidd.	1% j.	10% j.	20% j.	L	ΔP	$\frac{\Delta P}{L} \times 100 = G$	
41	5 Zd21	VII	per	66,6	17,1	33,7	43,2	> 300	1,8	0	0
59	6 Rn67C	V	coör-	99,4	90,0	100,0	100,0	170	13,7	8	9
21	3 zEZ21	VII	dinaat	97,5	63,1	94,6	100,0	50	6,7	13	0
26	4 pZg23	III		98,2	67,6	99,7	100,0	36	19,8	54	18
5	2 Hn21	V		95,0	53,5	81,7	96,7	30	19,5	65	9
71	7 KRn8	III		92,5	46,4	74,0	89,7	14	22,5	160	16

Tabel 7 Uit tabel 6 afgeleide basisgegevens voor de zes knooppunten die zijn gebruikt bij het vervaardigen van de verschillende als bijlage bijgevoegde vochtleverantiekartogrammen. De termen L en ΔP worden nader verklaard in hoofdstuk 3.1.3.3

nomen die via de waterhuishouding van invloed zijn op de teeltmaatregelen, de gewasgroei en uiteindelijk de opbrengst. Tot nu toe is deze methode echter slechts voor twee gronden (zavelgrond met akkerbouwgewassen; veengrond met grasland) uitgewerkt.

De in tabel 8 vermelde gegevens zijn ontleend aan een rapport van Haans en Van Soesbergen (1977). Bij deze inventarisatie is uitgegaan van de opbrengst-ontwateringsdieptecurven zoals die in eerste instantie door de COLN zijn ontwikkeld. De invloed van de grondwaterstandsdiepte is door de COLN uitgedrukt in een opbrengst-depressiepercentage van wat bij optimale ontwatering mogelijk is. In de opbrengst-depressiepercentages is zowel de invloed van wateroverlast als de invloed van verdroging op de opbrengst verdisconteerd. In nauw overleg met de afdeling Bedrijfseconomie van de Cultuurtechnische Dienst zijn deze cijfers door Haans en Van Soesbergen ten behoeve van de bovengenoemde inventaristie aangepast. Door de omzetting van de zomer- en wintergrondwaterstand in gemiddeld laagste en gemiddeld hoogste grondwaterstand (GLG en GHG), is vertaling in grondwatertrappen mogelijk. De door de COLN onderscheiden profielgroepen zijn samengevat tot vier grondsoorten (klei, zand, leem en veen), die bij de inventarisatie onderscheiden zijn. Slechts met de "natte tak" van de opbrengst-ontwateringsdieptecurve is rekening gehouden, met andere woorden slechts die aspecten van de waterhuishouding, die als wateroverlast gekwalificeerd worden en die via aëratie, stevigheid, bewerkbaarheid, vroegheid enz. werkzaam zijn, zijn in rekening gebracht.

De besproken modificaties leiden tot de in tabel 8 gegeven opbrengst-depressiepercentages voor de verschillende grondwatertrappen op de vier onderscheiden grondsoorten bij graslandgebruik. De opbrengst-depressiepercentages geven globaal aan hoeveel gemiddeld de netto produktie op een bepaalde grondwatertrap achterblijft ten gevolge van wateroverlast in vergelijking tot die op goed ontwaterde grond, onder de aanname dat grond- en gewasbehandeling aan de te stellen eisen voldoen. Tot "goed ontwaterde gronden" - gronden met 0% opbrengst-depressie - zijn voor grasland gronden met grondwatertrappen IV, V*, VI, VII en VII* gerekend.

Tabel 8 Opbrengst-depressiepercentages voor verschillende grondwatertrappen op vier grondsoorten bij graslandgebruik (ontleend aan Haans en Van Soesbergen, 1977)

Grondwatertrap (Gt)	Opbrengst-depressiepercentage			
	grasland			
	klei	zand	veen	leem
I	-	-	30	-
II	23	25	25	23
II*	10	10	12	10
III	16	18	20	16
III*	5	5	5	5
IV	0	0	0	0
V	9	9	12	9
V*	0	0	0	0
VI	0	0	0	0
VII	0	0	0	0
VII*	0	0	0	0

Geciteerde literatuur

Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, 1976. Werkgroep Rapport Eerste Onderzoeksperiode 1971-1974. Provinciale Waterstaat Gelderland. Arnhem.

Feddes, R.A. and A.L.M. van Wijk, 1975. An integrated model-approach to the effect of water management on crop yield. Agr. Water Man. vol 1 no. 1. p. 3-21.

Haans, J.C.F.M. en G.A. van Soesbergen, 1977. Bodemkundig-hydrologische Inventarisatie. Stiboka rapport no. 1266.

Holst, A.F. van, H.C. van Heesen en J.C. Pape, 1974. Grondwatermodel Achterhoek. Toelichting op en verwerking van bodemkundige gegevens. Stiboka rapport no. 1160.

Krabbenborg, A.J., 1973. Standaard pF-curven van fijnzandige zandgronden. Interne Mededeling 8. Stiboka.

Rijtema, P.E., 1969. Soil Moisture Forecasting. Nota 513 ICW-Wageningen.

Visser, W.C., 1958. De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland (COLN). TNO-Den Haag.

2.1.2 Geohydrologie (Oost-Gelderland), F.G. Mulder

De grenzen van het beschouwde gebied worden gevormd door de Nederlands-Duitse grens, de Rijn, de IJssel en de Gelders-Overijsselse provinciegrens.

Ten behoeve van en door een groot aantal diensten, instituten, bedrijven en particulieren is in dit gebied geohydrologisch onderzoek verricht, hetgeen geresulteerd heeft in vele publikaties, rapporten en nota's.

Hydrologisch bezien zijn de tertiaire en kwartaire afzettingen in Oost-Gelderland van belang. De tertiaire omdat ze vanwege hun fijnzandige en kleiachtige karakter nagenoeg ondoorlatend zijn en dus niet meedoen aan de grondwaterstroming en de kwartaire afzettingen omdat deze doorgaans bestaan uit matig grove tot grove zanden waarin grondwaterstroming wel goed mogelijk is.

De fijnzandige en kleiachtige tertiaire afzettingen komen in het oostelijke deel van het beschouwde gebied tot aan of tot dicht aan de oppervlakte voor. Ten westen van de lijn Aalten-Groenlo-Neede duiken de tertiaire lagen onder de kwartaire lagen en vormen de ondoorlatende basis van de watervoerende lagen. Gedurende het kwartair is het klimaat in Nederland aan sterke schommelingen onderhevig geweest. Tijdens de koudere perioden zijn grote delen van Europa bedekt geweest door landijs waardoor zuid-noord lopende rivieren een meer westelijke richting kregen. Als gevolg van een sterk verlaagde zeespiegel en door de verhoogde smeltwaterafvoer zijn vele rivierdalen in de tertiaire lagen ingesneden.

Tijdens de voorlaatste ijstijd is Oost-Gelderland bedekt geweest met landijs. Plaatselijk heeft het ijs heuvels opgestuwd. In oostelijk Gelderland bijvoorbeeld het Montferland en de Lochemse berg. De door de ijsstuwing en de rivierenerosie ontstane vlakten en dalen zijn later met fluvioglaciaal materiaal opgevuld. Dit materiaal bestaat overwegend uit matig grove tot zeer grove zanden welke een grote doorlatendheid bezitten. In de diepe en breed uitgesneden dalen (b.v. IJsseldal) en in mindere mate ook elders in Oost-Gelderland echter bestaat een deel van de opvulling uit fijne zanden en kleien die een geringe doorlatendheid voor grondwaterstroming hebben. Indien deze min of meer slecht doorlatende lagen een dikte hebben van enkele meters, dan is de weerstand tegen verticale stroming slechts gering. Hebben de fijne zanden en kleien dikten van enkele tientallen meters, dan is de verticale weerstand groter en dus wel van belang

voor de grondwaterstroming. Indien dit het geval is, dan staat hydraulisch gezien het watervoerende pakket beneden de kleilagen min of meer los van het erop liggende watervoerende pakket. De twee watervoerende pakketten hebben ieder een eigen doorlatendheid en de tussenliggende laag een weerstand tegen verticale stroming. De doorlatendheid van een watervoerend pakket (kD-waarde) wordt bepaald door de horizontale doorlaatfaktor k(m/dag) en de dikte D(m) van het watervoerende pakket. De faktor k is afhankelijk van de korrelgrootte en kan dus voor iedere laag verschillend zijn.

De hydraulische weerstand (C-waarde) is de weerstand van een laag tegen verticale stroming. Deze is evenredig met de dikte van de laag en omgekeerd evenredig met de verticale doorlaatfaktor.

De doorlatendheid van een watervoerend pakket en eventueel ook de weerstand van een slecht doorlatende laag welke twee watervoerende pakketten scheidt is te bepalen met behulp van pompproeven. Het doen van pompproeven is echter een kostbare en tijdrovende aangelegenheid.

In Oost-Gelderland zijn op een beperkt aantal plaatsen pompproeven gehouden. Op deze plaatsen en hun direkte omgeving zijn de bodemconstanten nauwkeurig bepaald. Op een veel groter aantal plaatsen in Oost-Gelderland zijn de bodemconstanten bepaald aan ongeroerde boormonsters of geschat aan de hand van boorbeschrijvingen. De bepaling van bodemconstanten aan ongeroerde boormonsters in het laboratorium is vaak een zeer tijdrovende bezigheid. Een relatief groot aantal bodemconstanten zijn bepaald aan de hand van beschrijvingen van boringen die in het verleden zijn uitgevoerd. De betrouwbaarheid van de gegevens die op deze wijze zijn verkregen zijn afhankelijk van de kwaliteit van de boringen en van de kwaliteit van de boorbeschrijvingen.

De bepaling van de bodemconstanten met behulp van pompproeven zijn doorgaans uitgevoerd in en om bestaande of geplande waterwingebieden teneinde de invloeden van de grondwaterwinning op de grondwaterstand te kunnen bepalen. De resultaten van pompproeven geven lokaal betrouwbare informatie over de opbouw van de ondergrond. Deze lokaal bepaalde gegevens vormen de basis voor de meer regionale interpretatie van de geohydrologische bodemconstanten.

Regionale interpretaties van bodemconstanten zijn van diverse deelgebieden van Oost-Gelderland gepubliceerd. Voor gedetailleerde informatie ten aanzien van de geohydrologische gegevens wordt verwezen naar het basisrapport van de groep geohydrologie.

2.1.3 Grondwaterinvloed en natuurwaarde (Oost-Gelderland), G. van Wirdum

2.1.3.1 De totstandkoming van de kaart

De kaart van grondwaterinvloed en natuurwaarde in Oost-Gelderland werd opgesteld op verzoek en ten behoeve van de Commissie Bestudering Waterhuishouding van Gelderland (CWG). De basis werd gevormd door een kaart van "natte en vochtige natuurgebieden"*, samengesteld door P. Aukes (Staatsbosbeheer, Arnhem) in overleg met G.J. Baaijens (Rijks Instituut voor Natuurbeheer). Deze "kaart van Aukes" was op zijn beurt gegrond op bestaande en bij het Consulentschap Natuurbeheer aanwezige inventarisatiegegevens.

---

* Onder natuurgebied wordt verstaan alle gebied dat betekenis heeft voor het behoud voor de wilde flora en fauna

Indien uit de beschrijving van het terrein en vooral van de vegetatie of uit de opsomming van plantesoorten bleek dat het terrein nat of vochtig was, of tenminste een vochtig gedeelte moest bezitten, was op de kaart van Aukes het gehele terrein aangegeven. Alleen wanneer bekend was welk gedeelte nat of vochtig was tijdens de inventarisatie, was, voor zover de kaartschaal het toeliet, alleen dát gedeelte aangegeven. In één geval was in de gemeente Aalten een gebied gearceerd aangegeven. Dit betrof het Zwanenbroek en het Bunninkgoor. De arcering was nodig wegens het voorkomen van veel kleine natuurelementen die op het vochtige karakter van het hele gebied duidden. Het Aaltense Goor had op dezelfde manier kunnen worden aangeduid, doch gezien de reservaatsvorming binnen de ruilverkaveling was het toekomstig reservaat aangegeven.

De inhoud van de aldus vervaardigde kaart van Aukes, die voor intern gebruik nog beschikbaar is, is overgebracht naar de knooppunten van het kilometernet van de Topografische Kaart van Nederland, waarbij tevens de oppervlakte natuurgebied is berekend. Op één knooppunt is steeds rekening gehouden met de vier omliggende kwadranten van (vier) kilometerhokken van de Topografische Kaart. In dit verband wordt het vierkant dat door deze vier kwadranten wordt gevormd een (kilometer-)hok of -vak genoemd. Alle hokken waarbinnen zich gemerkte gebiedsdelen van de kaart van Aukes bevonden zijn aangegeven met legenda-eenheid 1 (hoofdstuk 3.3). Daarbij is na ampel overleg met Aukes en met J. ter Hoeve (SBB, Utrecht) met het verschil in oppervlakte geen rekening gehouden, omdat blijkt dat sommige qua oppervlakte grote natuurgebieden in feite voor een belangrijk deel uit weinig interessant en aangeplant bos bestaan. Het natuurgebied met hogere waarde neemt daarbinnen dan slechts een kleine oppervlakte in. Tenslotte werden nog de dalen van de vanwege hun natuurwaarde belangrijke beken (naar gegevens van het Consulentschap Natuurbeheer) van de basiskaart naar de knooppuntenkaart overgebracht. Het vochtig of nat natuurgebied van de kaart van Aukes beslaat ongeveer 10% van de oppervlakte van de met dit symbool aangegeven vakken. Van de in aanmerking genomen knooppunten is ongeveer 40% erdoor "bezet". De totale oppervlakte vochtig of nat natuurgebied dat in dit symbool is erkend beslaat dus ongeveer 4% van de oppervlakte van Oost-Gelderland. Men zegt dan ook wel eens dat van dit oorspronkelijk zo waardevolle landschap niet meer dan "wat restjes en coulissen" over zijn.

Aukes en de schrijver van deze toelichting hebben op de ontstane knooppuntenkaart de gebieden omgrensd waar in "overhoekjes" waarschijnlijk of zeker dezelfde eigenschappen voorkomen als in de met eenheid 1 aangeduide vakken of waar een complex van gegevens de veronderstelling doet rijzen dat deze eigenschappen er tenminste tot ontwikkeling gebracht kunnen worden. Hierbij zijn gebieden waar zo'n ontwikkeling niet gewenst lijkt buiten beschouwing gelaten. Hoewel het gebied binnen deze omgrenzing niet hok voor hok op de genoemde eigenschappen gecontroleerd is, is in elk nog niet bezet hok daarbinnen op de knooppuntenkaart legenda-eenheid 2 aangegeven (hoofdstuk 3.3). In één geval betrof dit een gebied (tussen Doesburg, Didam en Westervoort) waarvan oorspronkelijk werd gedacht dat het geen dergelijke potentiële waarde als natuurgebied had. In tweede instantie bleek dat hier thans binnen het aanwezige reliëf nog steeds gradiënten met interessante plantesoorten aanwezig zijn en dat het gebied tot vrij kort geleden een belangrijk ganzen- en weidevogelgebied was. Bij nadere beschouwing bleek het aannemelijk dat een deel van de oorspronkelijke eigenschappen van dit gebied hersteld kan worden. Met dit legendasymbool is ongeveer 30% van de knooppunten op de kaart bezet.

Alle tot nu toe niet ingedeelde knooppunten, wederom ca. 30%, zijn op de kaart met legenda-eenheid 3 aangegeven. De gegevens over de desbetreffende kilometerhokken bevatten in sommige gevallen weinig of geen aanwijzingen voor een hoge actuele of potentiële natuurwaarde, maar het kunnen ook uiterst waardevolle "droge" natuurgebieden zijn. De afwezigheid van grondwaterinvloed is hier dan net zo'n belangrijke voorwaarde als de áán-

wezigheid daarvan in de hokken van eenheid 1 en 2.

2.1.3.2 Beperkingen en relaties tot andere karteringen

Bij de samenstelling van de kaart is geen onderscheid gemaakt tussen vochtige of natte gebieden met en zonder ondoorlatende lagen in de ondergrond, aangezien hieromtrent onvoldoende gegevens beschikbaar zijn. Bovendien is er geen rekening mee gehouden dat sommige gebieden die met legenda-eenheid 3 zijn aangegeven mogelijkerwijs geohydrologisch een eenheid vormen met vochtige of natte natuurgebieden. Zulke gebieden hebben een hoge natuurtechnische betekenis omdat ze een voorwaardelijke rol spelen in de bewaking van kwantiteit en kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater in hokken die met eenheid 1 of 2 zijn gemerkt. Er bestaat echter onvoldoende kennis over om hier in een kaartbeeld rekening mee te houden en dit is ook veeleer een hydrologische en fysisch-geografische dan een biologische kwestie.

Hoewel in de CWG al vroeg de wens ontstond over een kaart te kunnen beschikken betreffende de natuurwaarde in relatie tot grondwaterinvloed, is de nu gepresenteerde kaart pas "op de valreep" samengesteld onder de verantwoordelijkheid van de auteur van deze toelichting. Toen hij hiermee in laatste instantie werd belast, was niet voldoende tijd meer aanwezig om gebruik te maken van bestaande waarderingen zoals eerder ten behoeve van de CWG (maar ten dele bekritiseerd) of in landelijk verband uitgevoerd. Alleen met de Landelijke Milieukartering, die aanzienlijk zorgvuldiger is geschied dan de onderhavige, is een (grove visuele) vergelijking gemaakt. De belangrijkste afwijking bestaat in de waardering van het eerder genoemde gebied tussen Doesburg, Didam en Westervoort. Gezien de actuele toestand van dit gebied kon ook weinig anders worden verwacht.

2.2 Vochtleverantie-berekeningen, P.J.M. de Laat

2.2.1 Inleiding

Het gewas is voor de vochtvoorziening gedurende het groeiseizoen aangewezen op de hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone. De beschikbaarheid van dit vocht wordt bepaald door de bodemfysische eigenschappen van de betreffende grond. De hoeveelheid is afhankelijk van de bewortelingsdiepte, de situatie aan het begin van het groeiseizoen en de aanvoer gedurende deze periode. Aanvulling van de vochtvoorraad in de wortelzone door de bovenrand wordt bepaald door de neerslag, terwijl de aanvoer door de onderrand het gevolg is van capillaire opstijging vanuit de ondergrond.

In het algemeen heerst in de wortelzone een druk p (mbar) die negatief is ten aanzien van de atmosferische druk. Om praktische redenen wordt p uitgedrukt in een equivalente pF-waarde, waarbij pF = log(-p). De meeste landbouwgewassen zijn optimaal van vocht voorzien indien de pF-waarde in de wortelzone ligt tussen 1.5 en 3.0. Lagere waarden voor de pF kunnen aanleiding zijn tot produktieverlies als gevolg van vertrapping, te hoge CO_2 concentraties, langzamer opwarmen van de bodem in het voorjaar, e.d. Voor produktieverlies ten gevolge van te natte omstandigheden wordt verwezen naar Haans en Van Soesbergen (1977).

Indien het gewas optimaal van vocht is voorzien, is de werkelijke gewasverdamping E_{re} gelijk aan de potentiële evapotranspiratie E_{pot}. Voor hogere waarden van de pF kan het gewas niet meer aan de potentiële verdampingsvraag voldoen. Onder dergelijke droge omstandigheden is de vochtvoorziening een beperkende factor voor de opbrengst van het gewas. Het verband tussen verdamping en relatieve opbrengst van gras kan geschreven worden als (Rijtema, 1971)

$$P = R^2 \qquad (1)$$

waarin P de relatieve produktie voorstelt en R de relatieve verdamping, het quotiënt van de over het groeiseizoen gesommeerde werkelijke en potentiële verdamping ($R = \Sigma E_{re}/\Sigma E_{pot}$). Het is mogelijk om met een op Penman gebaseerde rekenwijze E_{re} en E_{pot} dag voor dag te berekenen in relatie tot de vochttoestand in de wortelzone. Hiervoor kan het simulatiemodel voor grondwaterstroming en verdamping (De Laat en Awater, 1978) worden gebruikt. Dit model is met name geschikt om verlagingen te berekenen ten gevolge van grondwaterwinning en het effect van deze verlagingen op de gewasverdamping. Het resultaat heeft betrekking op het gesimuleerde tijdvak. Een uitspraak ten aanzien van dit effect op de lange termijn is slechts mogelijk indien een zeer lange periode wordt gesimuleerd voor de situatie met en zonder onttrekking. De kosten van een dergelijke toepassing zijn bijzonder hoog, terwijl de benodigde randvoorwaarden in het algemeen ontbreken. Voor slechts een fractie van de kosten kan de werkelijke situatie worden gesimuleerd indien het model wordt toegepast in één bepaald punt. Deze toepassing reduceert het quasi drie-dimensionale model tot een één-dimensionale versie voor uitsluitend verticale stroming. De randvoorwaarde aan de onderzijde van het model bestaat nu uit een in de tijd voorgeschreven grondwaterstand of flux op het grensvlak verzadigde-onverzadigde stroming. Het is duidelijk dat met deze toepassing geen grondwaterstandsverlaging ten gevolge van een naburige onttrekking berekend kan worden. Wel bestaat de mogelijkheid om voor die sporadische gevallen waarvoor het grondwaterstandsverloop gedurende een zeer lange periode bekend is, de werkelijke situatie en de situatie met een verlaagde grondwaterstand te simuleren. Hiermee wordt een indruk verkregen van het lange-termijn-effect van een constante grondwaterstandsverlaging op de relatieve verdamping en de gewasopbrengst. Nu blijkt de verlaging van het freatisch vlak ten gevolge van een naburige stationaire grondwateronttrekking niet constant te zijn, zodat de nauwkeurigheid van deze benadering van opbrengstderving ten gevolge van grondwateronttrekking niet moet worden overschat.

2.2.2 Gebruik k-daagse neerslag- en verdampingssommen

Wesseling (1957) suggereert een eenvoudiger methode door gebruik te maken van de frequentieverdeling waarmee een bepaald verdampingstekort gedurende het groeiseizoen voorkomt. De werkelijke verdamping wordt benaderd met de som van vochtleverantie uit het bodemprofiel en de totale hoeveelheid neerslag. Onder vochtleverantie wordt verstaan de hoeveelheid vocht die voor de plant beschikbaar komt door uitdroging van de wortelzone en aanvoer vanuit de ondergrond. Voor de vochtleverantieberekening kan volstaan worden met een gegeven grondwaterstand aan het begin en aan het einde van het groeiseizoen.

Een nauwkeuriger benadering van de vochtleverantie wordt verkregen met het algorithme van Rijtema (1971), waarbij de berekening plaatsvindt voor een stapsgewijze verlaging van het freatisch vlak, uitgaande van een evenwichtsvochtverdeling bij een gegeven begingrondwaterstand. Voor de randvoorwaarde aan maaiveld (het verschil tussen potentiële verdamping en neerslag) is gebruik gemaakt van frequentietabellen voor k-daagse neerslag- en verdampingssommen vanaf 15 april ($k = 15,30,45,...,150$). Deze k-daagse sommen hebben betrekking op neerslag- en verdampingscijfers van het waarnemingsstation Winterswijk, die voor een groot aantal jaren door het KNMI ter beschikking zijn gesteld. De potentiële verdamping E_{pot} is afgeleid uit de open-waterverdamping volgens Penman E_o, waarbij $E_{pot} = 0.8\ E_o$. Rijtema combineert de frequentieverdelingen voor neerslag en verdamping tot k-daagse verdampingsoverschot-sommen (tabel 9). Verder wordt aangenomen dat voor een 90% droog jaar, d.w.z. een jaar met 90% kans dat het betreffende verdampingsoverschot wordt overschreden, de relatieve verdamping $R = 1$. Gebruik makend van k-daagse verdampingsoverschotsommen wordt voor

overschrij-dingsfre-quentie (%)	k in dagen vanaf 15 april									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
1	4.4	9.0	14.0	19.0	24.3	30.6	35.8	40.8	45.4	49.5
10	4.1	8.5	12.8	18.2	23.5	28.8	33.9	38.4	43.1	47.0
20	4.0	8.3	12.4	17.6	22.8	27.9	32.8	37.2	41.9	45.0
50	3.5	8.0	12.0	17.0	22.0	27.0	31.8	36.0	40.5	44.0
90	3.5	8.0	12.0	17.0	22.0	27.0	31.8	36.0	40.5	44.0

Tabel 9a k-daagse verdampingssommen (cm)

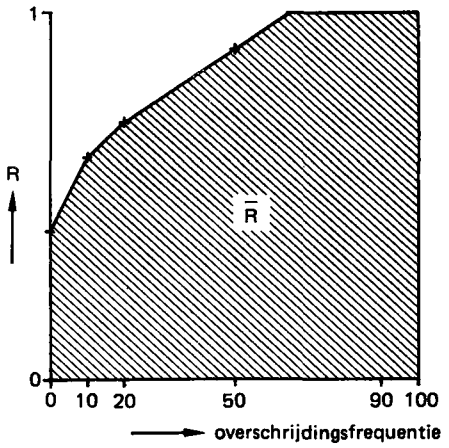
onderschrij-dingsfre-quentie (%)	k in dagen vanaf 15 april									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
1	0.4	1.0	2.4	3.9	5.2	7.5	9.9	12.0	14.7	16.9
10	0.9	2.1	4.0	6.9	9.7	12.5	15.7	18.2	21.4	23.7
20	1.3	2.8	4.6	7.5	11.1	14.5	17.6	20.2	23.7	26.0
50	2.1	5.0	7.9	11.7	15.2	18.5	22.3	25.5	29.7	32.8
90	3.2	7.4	11.1	15.7	20.3	25.0	29.4	33.2	38.1	41.9

Tabel 9b k-daagse neerslagsommen (cm)

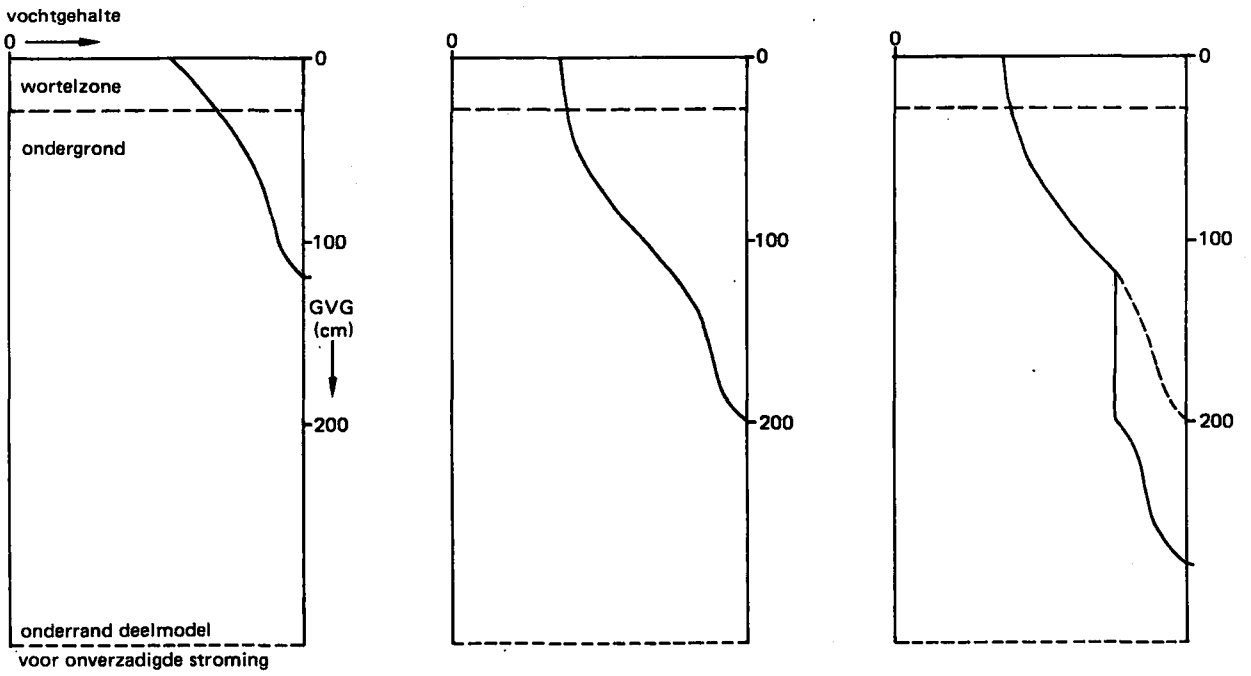
overschrij-dingsfre-quentie (%)	k in dagen vanaf 15 april									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
1	4.0	8.0	11.6	15.1	19.1	23.1	25.9	28.8	30.7	32.6
10	3.2	6.4	8.8	11.3	13.8	16.3	18.2	20.2	21.7	23.3
20	2.7	5.5	7.8	10.1	11.7	13.4	15.2	17.0	18.2	19.0
50	1.4	3.0	4.1	5.3	6.8	8.5	9.5	10.5	10.8	11.2
90	0.3	0.6	0.9	1.3	1.7	2.0	2.4	2.8	2.4	2.1

Tabel 9c k-daagse verdampingsoverschotsommen (cm)

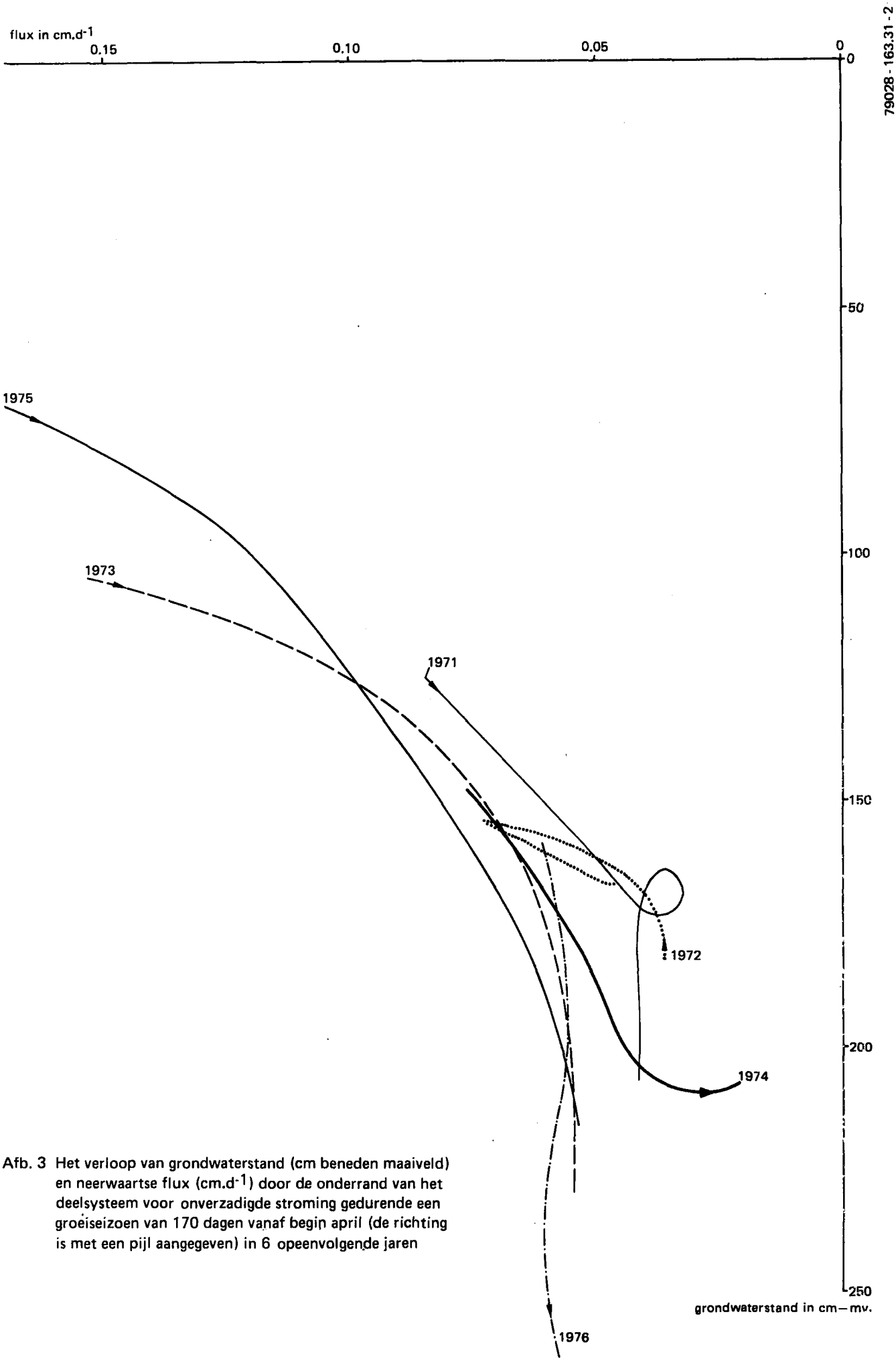
Tabel 9 k-daagse verdampings-, neerslag- en verdampingsoverschotsommen (cm), ontleend aan Rijtema (1969)



Afb. 1 Bepaling van de gewogen gemiddelde relatieve verdamping
$\overline{R}$ uit 4 berekende waarde van R (+)



Afb. 2 Initiële vochtverdeling voor verschillende waarden van de aanvangsgrondwaterstand (GVG) in cm beneden maaiveld



Afb. 3 Het verloop van grondwaterstand (cm beneden maaiveld) en neerwaartse flux ($cm.d^{-1}$) door de onderrand van het deelsysteem voor onverzadigde stroming gedurende een groeiseizoen van 170 dagen vanaf begin april (de richting is met een pijl aangegeven) in 6 opeenvolgende jaren

de overige frequenties de vochtleverantie berekend. Combinatie van vochtleverantie en bijbehorende neerslag- en (potentiële) verdampingssom levert voor het 1, 10, 20 en 50% droge jaar de relatieve verdamping R. Integratie van de relatieve verdamping over jaren met een overschrijdingsfrequentie van 0 tot 100% resulteert in een gewogen gemiddelde waarde $\bar{R}$ in procenten (afb. 1). Evenzo levert integratie van de relatieve opbrengst P, die voor de betreffende jaren met behulp van (1) is verkregen de gewogen gemiddelde waarde $\bar{P}$.

2.2.3 De hier gevolgde werkwijze

In dit rapport zijn $\bar{R}$ en $\bar{P}$ berekend overeenkomstig de hierboven beschreven procedure van Rijtema (1971). De benodigde vochtleverantie voor het 1, 10, 20 en 50% droge jaar is benaderd met het deelsysteem voor onverzadigde stroming van het eerder genoemde model voor grondwaterstroming en verdamping. Simulatie van stroming in de onverzadigde zone vereist dat de situatie aan het begin van het groeiseizoen en randvoorwaarden gedurende deze periode worden gespecificeerd. Voor de bovenste 200 cm van het profiel is voor de initiële situatie op 15 april een evenwichtstoestand verondersteld, overeenkomend met een gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG). Indien de aanvangsgrondwaterstand lager is dan 200 cm beneden maaiveld geldt voor het dieper gelegen gedeelte van de onverzadigde zone een vochtverdeling die overeenkomt met een stationaire stroming van 0,1 $cm.d^{-1}$ in neerwaartse richting (afb. 2). Dit betekent dat voor lage grondwaterstanden in het voorjaar (GVG > 200 cm) de initieel aanwezige vochtvoorraad in de wortelzone onafhankelijk is van de aanvangsgrondwaterstand terwijl de pF-waarde aan maaiveld gelijk is aan 2.3.

De rekenperiode van 150 dagen is verdeeld in tijdstappen met een lengte van 15 dagen. Als randvoorwaarden aan maaiveld geldt het verschil van twee opeenvolgende k-daagse verdampingsoverschotten (tabel 1). De berekende vochtleverantie per tijdstap is steeds gelijk aan het verdampingsoverschot totdat de pF in de wortelzone de waarde 4.2 heeft bereikt. De veronderstelling dat gewasverdamping potentieel verloopt totdat de uitdroging overeenkomt met het verwelkingspunt is in strijd met de eerder gemaakte opmerking dat reducties in E_{pot} reeds mogelijk zijn voor pF-waarden groter dan drie. Uit gevoeligheidsanalyses (Feddes et al., 1978) is echter gebleken dat deze vereenvoudiging in de berekening van de werkelijke verdamping c.q. vochtleverantie niet noemenswaardig van invloed is op het berekende resultaat aan het einde van het groeiseizoen.

In principe kan ten aanzien van de onderrandvoorwaarde gekozen worden uit de volgende mogelijkheden:

a. de grondwaterstand opgeven per tijdstap,
b. de flux door de onderrand (het grensvlak verzadigde-onverzadigde stroming) opgeven per tijdstap,
c. een relatie specificeren tussen grondwaterstand en flux door de onderrand.

Laatstgenoemde mogelijkheid is voorgesteld door Rijtema (1971). Het gebruik van een dergelijke relatie moet echter worden ontraden omdat het bestaan van een eenduidig verband tussen grondwaterstand en flux door de onderrand niet is aangetoond. In afb. 3 is met een vloeiende lijn het verloop weergegeven van grondwaterstand en flux gedurende het groeiseizoen zoals deze voor de jaren 1971 t/m 1976 zijn berekend met het model voor grondwaterstroming en verdamping voor een punt op 1 km ten noorden van het pompstation 't Klooster (Hengelo, Gld.). Het begin van de lijn markeert de flux en grondwaterstand in het voorjaar (begin april) en het eindpunt van de lijn (de richting is met een pijl aangegeven) geeft deze waarden na 170 dagen. Gebleken is dat met het deelsysteem voor onverzadigde stroming en verdamping de opgetreden grondwaterstanden redelijk gesimuleerd

kunnen worden indien voor de onderrandvoorwaarde gebruik wordt gemaakt van een "gemiddelde" relatie, gebaseerd op afb. 3. De overeenstemming van de op deze wijze berekende waarden voor R met de oorspronkelijke resultaten is zelfs uitstekend (tabel 10). Maar tevens is gebleken dat de relatie voor de onderrandvoorwaarde niet geldt voor een gewijzigde hydrologische situatie, zodat het gebruik van een functioneel verband tussen grondwaterstand en flux door de onderrand voor de berekening van het effect van een gewijzigd grondwaterstandregime op de vochtleverantie niet geoorloofd is. Dit betekent dat men ten aanzien van de onderrandvoorwaarde is aangewezen op de overige twee mogelijkheden (a en b). Gebrek aan gegevens noodzaakt beide mogelijkheden te combineren. In het algemeen kan aan de hand van morfologische profielkenmerken of met behulp van een grondwatertrappenkaart een redelijke schatting worden verkregen van de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG). De GVG en de GLG hebben betrekking op grondwaterstanden aan het begin, respectievelijk het einde van het groeiseizoen voor een gemiddeld (50% droog) jaar. Met deze grondwaterstanden en de gegeven bovenrandvoorwaarde kan de flux door de onderrand iteratief worden opgelost, indien wordt aangenomen dat deze flux constant is gedurende het groeiseizoen.

	R			ΣE_{pot}	ΣN	$\Sigma E_{pot}-\Sigma N$
jaar	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1971	.721	.714	.718	50.9	27.7	23.2
1972	1.000	1.000	1.000	41.3	50.1	-8.8
1973	.577	.579	.598	51.7	25.6	26.1
1974	.883	.884	.888	45.9	36.7	9.2
1975	.672	.673	.712	56.1	28.1	28.0
1976	.408	.413	.414	63.4	16.5	46.9

Tabel 10 Cijfers met betrekking tot een groeiseizoen van 170 dagen vanaf begin april in zes opeenvolgende jaren voor een knooppunt (bodemgebruik: gras) 1 km noordelijk van het pompstation 't Klooster (Hengelo, Geld.)

(1) Relatieve verdamping R berekend met het model voor grondwaterstroming en verdamping

(2) Relatieve verdamping R berekend met het deelmodel voor onderverzadigde stroming en verdamping, waarbij voor de onderrandvoorwaarde gebruik is gemaakt van een "gemiddelde" relatie, gebaseerd op afb. 3

(3) Idem, maar met gebruikmaking van een constante flux door de onderrand, die jaarlijks gelijk is aan de onder (1) gevonden (over het groeiseizoen) gemiddelde waarde

(4) Over het groeiseizoen gesommeerde potentiële gewasverdamping in cm (ΣE_{pot})

(5) Over het groeiseizoen gesommeerde neerslag in cm (ΣN)

(6) Het totale verdampingsoverschot gedurende het groeiseizoen ($\Sigma E_{pot}-\Sigma N$)

Uit tabel 10 blijkt dat met een constante flux redelijke resultaten worden verkregen voor zowel natte als droge jaren. Omdat de berekende onderrandvoorwaarde slechts geldt voor het gemiddelde jaar zou dezelfde procedure herhaald moeten worden voor jaren met een lagere overschrijdingsfrequentie van het verdampingsoverschot. Hierbij kan eveneens van de GVG gebruik gemaakt worden omdat de kans op een droog groeiseizoen onafhankelijk is van de voorjaarsgrondwaterstand. Dit geldt echter niet voor de stand na 150 dagen die, ten gevolge van het grotere verdampingsoverschot en de toegenomen afvoer door de onderrand lager is dan de GLG. Gebleken is dat de toename van de neerwaartse flux door de onderrand voor jaren met een lagere overschrijdingsfrequentie gering is en niet noemenswaardig van invloed op de berekening van de relatieve verdamping R. Vandaar dat bij de berekening van de vochtleverantie voor het 1, 10, 20 en 50% droge jaar steeds gebruik gemaakt is van dezelfde onderrandvoorwaarde.

Uit een beperkte gevoeligheidsanalyse is gebleken dat de berekende vochtleverantie sterk afhankelijk is van de aangenomen beginsituatie in het onverzadigde pakket, de dikte van de wortelzone en de daarbij behorende pF-curve, terwijl de bodemfysische eigenschappen van de ondergrond een minder belangrijke rol spelen. Het gebruik van frequentieverdelingen van neerslag en verdamping in plaats van simulatie van de werkelijke situatie gedurende een groot aantal jaren is volgens Ton (1975) verantwoord voor de berekening van de gemiddelde vochtleverantie. Gezien de wijzigingen die het deelmodel voor onverzadigde stroming sindsdien heeft ondergaan, de gebleken gevoeligheid van de aanvangssituatie en de gebrekkige gegevens waarover Ton beschikte, is het wenselijk dit aspect nader te bestuderen. Uit het onderzoek van Ton is tevens gebleken dat k-daagse neerslag- en verdampingssommen van diverse KNMI-stations aanmerkelijke verschillen kunnen vertonen.

Geciteerde referenties

Feddes, R.A., P.J.T. van Bakel, H.A.R. de Bruin en W. Kohsiek, 1978. Verdamping in relatie tot landbouwproduktie. Basisrapport Commissie bestudering Waterhuishouding Gelderland, Arnhem.

Haans, J.C.F.M. en G.A. van Soesbergen, 1977. Bodemkundig-hydrologische inventarisatie. Rapport nr. 1266, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Laat, P.J.M. de en R.H.C.M. Awater, 1978. Groundwater flow and evapotranspiration. A simulation model. Basisrapport Commissie bestudering Waterhuishouding Gelderland, Arnhem.

Rijtema, P.E., 1971. Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekking. Nota nr. 587, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Ton, H., 1975. Een onderzoek naar het gebruik van frequenties van neerslag- en verdampingsoverschotten in het rekenschema Rijtema. Mededelingen nr. 116. Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.

Wesseling, J., 1957. Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. Versl. Landbouwb. Onderz. 63.5. Pudoc, Wageningen.

2.3 Computerverwerking (SYMAP), J.A.J. Schasfoort, Informatiesysteem Aardwetenschappen, Wageningen. Gedetacheerd bij de Stiboka vanuit IWIS-TNO

De kartografische weergave van de berekende - of ingevoerde - gegevens werd uitgevoerd met een computerprogramma afkomstig van de Harvard Universiteit en aangeduid met de naam "SYMAP". Dit programma accepteert coördinaten en bijbehorende waarden welke omgezet worden in een papierafdruk. De

puntwaarden worden omgerekend naar vlakken waarna de kaart afgedrukt wordt door op een gewone regeldrukker symbolen over elkaar te zetten om grijstonen te simuleren. Het programma heeft allerlei opties om de legenda en het kaartuiterlijk te beïnvloeden. Het gebruik van een standaard regeldrukker maakt eenvoudig en snel werk mogelijk. Een fotografische verkleining van het resultaat is echter voor publikatie gewenst omdat de weergave in eenheden van letter-posities voor kleinschalige kaarten te grof is.

De invoer van de gegevens bestond uit gegevens per coördinatiepunt (het km-rooster) welke op ponskaarten geponsd zijn. De volgende gegevens werden vastgelegd per roosterpunt: X- en Y-coördinaat, profiel- en subcode, grondwatertrap, bodemgebruik en voor de Achterhoek nog eens extra: volgnummer en kaarteenheidsnummer. Na ponsen en controleponsen zijn voor O-Gelderland (768 punten) en voor geheel Gelderland (5137 punten) frequentietabellen gemaakt, die zijn gebruikt voor de controle van de invoergegevens. Voor Oost-Gelderland waren per kaarteenheidsnummer (75 stuks)(samengesteld op basis van de profielcode, subcode en Gt) gegevens bepaald uit door De Laat opgegeven tabellen: opbrengstdepressie percentage, L, Δp, G, produktieniveaus en gevoeligheidsklasse (zie hoofdstuk 3). Het bestand werd per knooppunt met deze gegevens uitgebreid.

Uit het uitgebreide bestand werden rechtstreeks allerlei kaarten uitgedraaid met behulp van het "SYMAP"-programma. Daar de gegevens geen ruimtelijk continue grootheden weergeven is geen gebruik gemaakt van de mogelijkheid om contourkaarten te maken. In plaats daarvan werd de waarde van een knooppunt representatief geacht voor zijn naaste omgeving. De kaartvlakken krijgen hierbij de waarde toegekend van het naast gelegen knooppunt ("proximal"-kaart). Het is een eenvoudige maar effectieve en doorzichtige manier van kaartweergave.

Deze Symap-kaarten werden zo afgebeeld dat per roosterpunt een vierkant vlakje ontstond van 5 symbolen horizontaal en 4 symbolen verticaal ofwel ¼ inch^2. Fotografisch is daarna de publikatieschaal 1:100 000 gerealiseerd. Na een eerste complete run werden nog enkele fouten ontdekt in het basismateriaal en zijn enkele punten toegevoegd en weggelaten. Voor de gevoeligheidsklassenkaart is uitgegaan van een L / Δp tabel met 11 klassen (zie hoofdstuk 3.1). Dit is wel het maximaal haalbare aantal. Voor de knooppunten van de hele provincie Gelderland werd een analoge-procedure toegepast. Ook deze gegevens moesten uitvoerig gecontroleerd worden door middel van frequentietabellen. Bovendien bleek het aantal L / Δp klassen te groot. Door samenvoeging en latere scheiding d.m.v. intekenen van symbolen kon dit probleem worden opgelost. De kaarten voor heel Gelderland werden in delen afgedrukt en wel zodanig dat de randen zoveel mogelijk overeenkwamen met kaartbladgrenzen en de Noord-Zuid richting.

Bij de verwerking is gebruik gemaakt van de CDC-computer van IWIS-TNO. Vanuit de Stiboka (INFA) werden de computerprogramma's en gegevens aangeleverd en opgeroepen via terminals in het Staringgebouw, gekoppeld aan het telefoonnet. De fotografische- en kartografische afdeling van de Stiboka werkte de computerkaarten af. Het computerwerk betrof voor 60% personele kosten en voor 40% computerkosten. Tweederde van de benodigde looptijd van het computerwerk is besteed aan controle en correctie van de basisgegevens. De computerkosten van deze fase zijn slechts 10% van de totale computerkosten. De resterende éénderde van de looptijd en 90% van de kosten, werd gebruikt voor de produktie van de verschillende tabellen en computerkaarten. De uitbesteding van het verponsen van de basisgegevens bedroeg 20% van de totale computerkosten. Het voorbereiden en nalopen van de basisgegevens is dus de grootste kostenpost in dit project geweest.

3 TOELICHTING BIJ DE KARTOGRAMMEN

3.1 Bodemkundige- en vochtleverantiekaarten Oost-Gelderland en Gelderland, J. Bouma en A.F. van Holst

3.1.1 Inleiding

De beschrijvingen in dit hoofdstuk zijn bedoeld als toelichting bij elf kartogrammen die voor het gebied Oost-Gelderland zijn vervaardigd en bij drie kartogrammen die betrekking hebben op de gehele provincie (zie bijlagen 1 t/m 11 en 14 t/m 16). De kartogrammen bestaan uit drie groepen;

(1) Drie kartogrammen (Oost-Gelderland) die basisgegevens weergeven, zoals het representatieve soort grond, de grondwatertrap en het bodemgebruik per knooppuntsoppervlakte.

(2) Zeven kartogrammen (Oost-Gelderland) en drie kartogrammen (Gld.) die op verschillende manieren de resultaten weergeven van de vochtleverantieberekeningen van De Laat, zoals toegelicht in hoofdstuk 2.2. Deze kartogrammen tonen voor gebied Oost-Gelderland resp. de gewogen gemiddelde opbrengst per element, opbrengsten in een 1%, 10% en 20% jaar, de grondwaterstandsverlaging die resulteert in een 5% absolute produktiedaling, het maximaal opbrengstverlies ten gevolge van grondwaterstandsverlaging en "de gevoeligheid" voor grondwaterstandsverlaging, volgens een legenda die werd afgeleid uit gegevens van de twee laatstgenoemde kartogrammen. Voor heel Gelderland zijn kartogrammen vervaardigd (behorend tot de hier besproken groep), die betrekking hebben op de gewogen gemiddelde opbrengst, de opbrengst in een 10% jaar en de "gevoeligheid" voor grondwaterstandsverlaging.

(3) Eén kartogram (Oost-Gelderland) dat de opbrengstdepressie ten gevolge van wateroverlast weergeeft, uitgaande van de bestaande toestand, waarbij wordt gebruik gemaakt van de representatieve grondwatertrap per knooppunt. Dit kartogram is theoretisch veel minder onderbouwd dan de kartogrammen uit groep 2 die zijn gebaseerd op de simulatieberekeningen van De Laat. De opbrengstdepressie ten gevolge van wateroverlast is geschat, en de hier gebruikte percentages werden ontleend aan een rapport van Haans en Van Soesbergen (1977). (Zie hoofdstuk 2.1.2).

Het onderscheid tussen groep 2 en 3 vloeit voort uit het nog niet toereikend zijn van het gebruikte simulatiemodel "De Laat" dat opbrengstdepressies berekent die een gevolg zijn van grondwaterstandsverlagingen. Dit betekent dat bij hoge grondwaterstanden wordt aangenomen dat de produktie maximaal is, omdat er geen vochtgebrek optreedt en de reële en potentiële verdampingen dus gelijk kunnen zijn. Het model voorspelt niet het optreden van een produktieverlies als gevolg van te natte condities, die ondermeer kunnen resulteren in zuurstofgebrek voor de wortels- en vertraagde groei. Dit aspect wordt nu afzonderlijk weergegeven in het kartogram dat de opbrengstdepressie toont als gevolg van wateroverlast. Bij de integratieprocedures van deelkaarten, te bespreken in hoofdstuk 4, worden in het kader van de op de landbouw gerichte vochtleverantieberekeningen in feite twee kartogrammen beschouwd, nl. die welke de "gevoeligheid van grondwaterstandsverlaging" weergeeft (bijlagen 10 voor Oost-Gelderland, en 16 voor Gelderland), en die welke de opbrengstdepressie toont ten gevolge van wateroverlast. Naast deze twee kartogrammen worden ook de kartogrammen van de geohydrologie (Oost-Gelderland) (bijlage 12) en de ecologie (Oost-Gelderland) (bijlage 13) in de integratieprocedure betrokken.

Laatstgenoemde twee kartogrammen worden besproken in de hoofdstukken 3.2 en 3.3 respectievelijk.

De op de vochtleverantie betrekking hebbende kartogrammen zijn alle vervaardigd uitgaande van gras als kengewas. Dit had ten doel de onderlinge vergelijking te vergemakkelijken. Tot slot wordt er nog op gewezen

dat de legenda van ieder kartogram ook de frequentieverdeling van de knooppunten aangeeft, behorend tot de onderscheiden legenda-eenheden.

3.1.2 Kartogrammen met basisgegevens

Bijlage 1 (Oost-Gelderland) toont het kartogram van de representatieve soort grond per element van 100 ha, zoals vastgesteld met de in hoofdstuk 2.1.2 toegelichte procedures. Dit kartogram is tot op zekere hoogte nuttig bij het interpreteren van de volgende kartogrammen t/m nr. 11. Wel moet worden opgemerkt dat de in bijlage 1 onderscheiden 7 klassen duidelijk zijn opgebouwd uit samengevoegde bodemeenheden met soms verschillend bodemfysisch gedrag, ook al behoren ze bodemgenetisch in dezelfde groep (tabel 11). Voor heel Gelderland zou ook een dergelijk kartogram kunnen worden vervaardigd, omdat alle gegevens in gepaste vorm beschikbaar zijn. Om technische en financiële redenen zijn er echter voor héél Gelderland slechts drie kartogrammen vervaardigd. Wel is de frequentieverdeling bepaald voor de 5137 voorkomende knooppunten. Deze wordt gepresenteerd in tabel 12. Het op bijlage 1 weergegeven beeld lijkt, uiteraard, in grote lijnen op dat van de bodemkaart waaruit het is afgeleid door per element de meest voorkomende bodemeenheid te kiezen. Naarmate de knooppuntsoppervlakten kleiner zijn, zal het kartogram beter het beeld van de bodemkaart benaderen.

Bijlage 2 (Oost-Gelderland) toont het kartogram van de bij de representatieve grond behorende Gt per element van 100 ha. De nummering van de legenda-eenheden is zodanig dat deze met het nummer van de Gt overeenkomt. Zoals gebruikelijk zijn de uiterwaarden als aparte groep onderscheiden: de hier sterk wisselende grondwaterstanden laten geen toekenning van een Gt toe. Uit bijlage 2 blijkt dat Gt II slechts dominant is in acht knooppunten, en dat het accent in Oost-Gelderland vooral ligt op Gt III, V en VII. Voor heel Gelderland is voor de Gt geen kaart vervaardigd, maar de gevonden frequentieverdeling is weergegeven in tabel 12.

Bijlage 3 (Oost-Gelderland) toont het representatief bodemgebruik per element van 100 ha. In feite wordt dit kartogram niet verder gebruikt omdat gras is gekozen als kengewas. Overigens blijkt uit de legenda dat grasland als bodemgebruik ook het belangrijkste is. Bijlage 3 toont veel meer elementen met bebouwing dan de voorafgaande kartogrammen. Dit komt omdat, met het oog op eerder onderzoek van de Comm. Waterhuishouding Gelderland, hier is uitgegaan van 50% als kritieke grens in plaats van 100% zoals in de andere bijlagen. Wanneer de bebouwing in een element dus meer dan 50% van het oppervlak van 100 ha beslaat, wordt bebouwing in bijlage 3 representatief geacht voor het element. Voor alle andere bijlagen geldt dat bebouwing alleen als zodanig wordt aangegeven als het 100% van het element beslaat.

3.1.3 Kartogrammen die betrekking hebben op vochtleverantie-berekeningen op basis van model De Laat

3.1.3.1 Inleiding

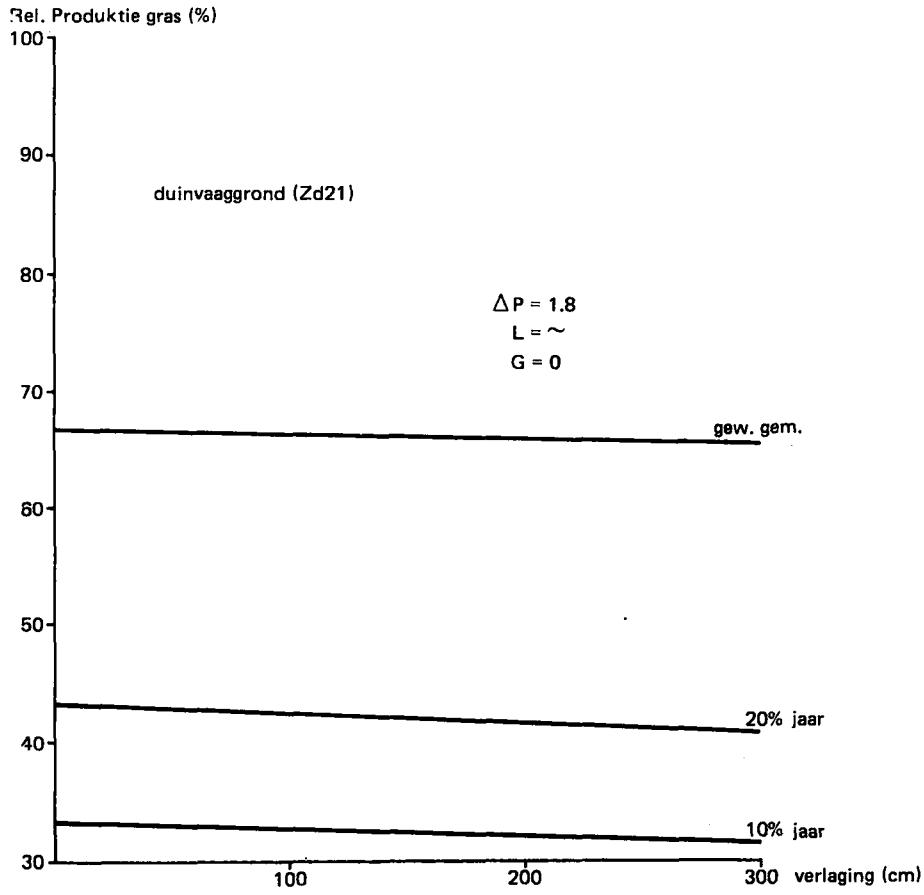
Deze groep kartogrammen, bijgevoegd als bijlagen 4 t/m 10 (Oost-Gelderland) en 14 t/m 16 (heel Gelderland), vormen de belangrijkste en theoretisch best onderbouwde resultaten van het vochtleverantie-onderzoek. Alle zijn gebaseerd op de vochtleverantieberekeningen zoals toegelicht in hoofdstuk 2.2. Zes voorbeelden van berekeningen die betrekking hebben op een karakteristieke serie bodemeenheden zullen worden besproken. De door De Laat berekende vochtleveranties in natuurlijke toestand en bij een serie verlagingen, die gelijk zijn genomen voor GVG en GLG, zijn grafisch weergegeven om de toegankelijkheid van het materiaal te vergroten. De pF-curve van de bovengrond en de K-Ψ curve van de ondergrond zijn geschemati-

Rekennrs De Laat	Grondsoort	Uiterwaard	Grondwatertrappen						Totaal	Bodemgebruik			Totaal
			II	III	IV	V	VI	VII		1 bouwl.	2 grasl.	3 bos	
1,74	moerige gronden	0	1	1	0	0	0	0	2	0	2	0	2
2-15,75	podzolgronden	0	0	17	0	159	55	8	239	19	170	48	237
16-23	enkeerdgronden	0	0	0	0	0	4	99	103	47	45	6	98
24-30	beekeerdgronden	0	0	154	0	57	2	0	213	36	162	10	208
31-34	gooreerdgronden	0	0	5	0	10	0	0	15	2	12	1	15
35-46	vaaggronden	0	1	16	24	3	1	15	60	6	41	10	57
47-65	rivierkleigronden	11	5	49	1	3	16	22	96	9	93	0	102
66-73	oude rivierkleigronden	0	1	7	0	9	1	1	19	0	16	2	18
	subtotaal	11	8	249	25	241	79	145	758	119	541	77	737
						Bebouwing			10	----------			31
						Oost-Gelderland			768	----------			768

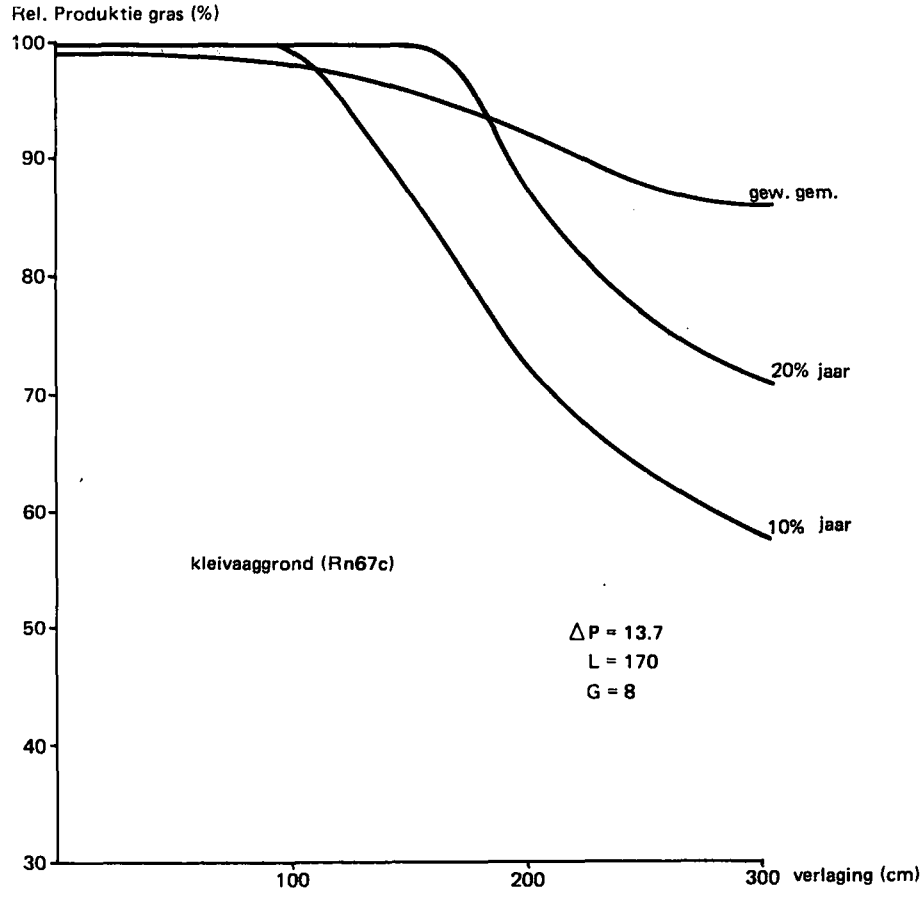
Tabel 11 Samenvatting van basisgegevens ontleend aan het kartogram dat het representatieve soort grond weergeeft per element van 100 ha, voor gebied Oost-Gelderland (bijlage 1)

Grondsoort	Uiter-waard	Grondwatertrappen								Totaal	Bodemgebruik				Totaal
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VII*		1 bouwl.	2 grasl.	3 bos	4 heide	
Veengronden	1	10	33	0	1	0	0	0	0	45	1	44	0	0	45
Moerige gronden	0	3	29	11	0	0	0	0	0	43	0	41	2	0	43
Podzolgronden	0	0	0	77	16	349	187	76	799	1504	68	585	716	135	1504
Dikke eerdgronden	0	0	0	6	0	1	34	301	69	411	123	255	32	1	411
Zandgronden	2	0	43	488	23	11[1]	29	64	236	996	50	659	242	45	996
Kalkh.zandgronden	11	0	0	0	0	0	2	2	0	15	1	14	0	0	15
Beekleigronden	0	5	7	11	2	0	0	0	0	25	0	25	0	0	25
Rivierkleigronden	275	0	57	310	15	256	535	211	0	1659	105	1542	2	0	1659
Oude rivierklei + leemgronden	0	0	2	15	2	24	24	11	27	105	14	77	13	1	105
Subtotaal	289	18	171	918	59	741	811	665	1131	4803	362	3252	1007	182	4803
								Bebouwing		165				Bebouwing	165
								Blanco		169				Blanco	169
								Gelderland		5137				Gelderland	5137

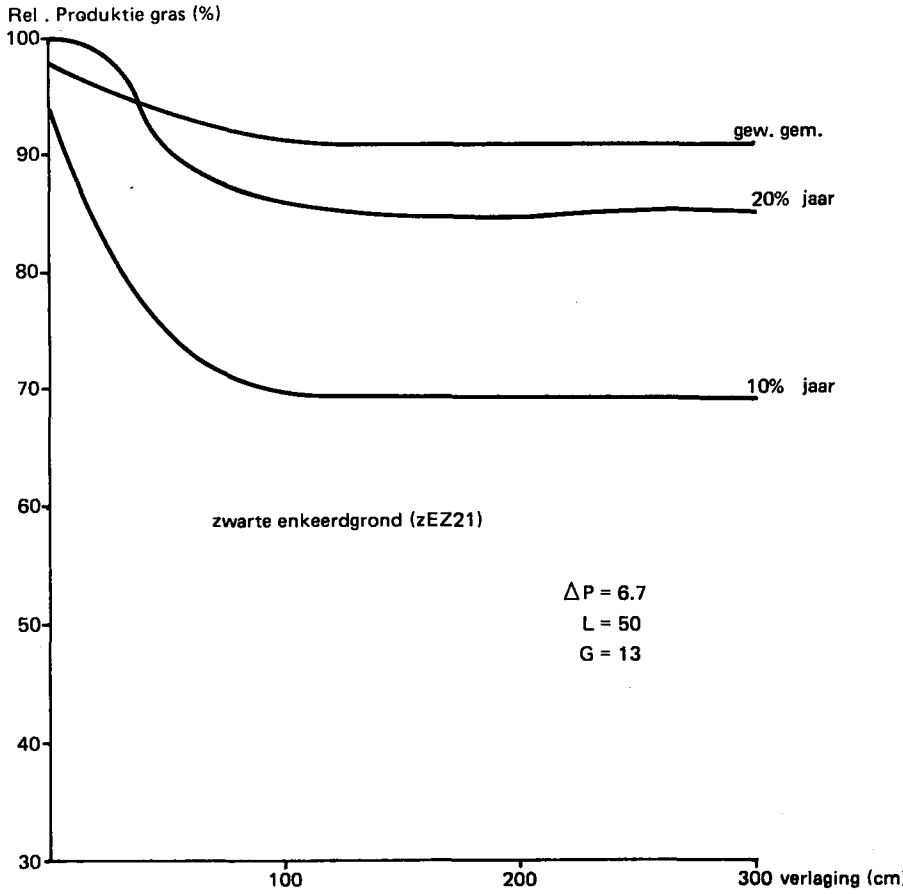
Tabel 12 Samenvatting van basisgegevens, die betrekking hebben op heel Gelderland, per element van 100 ha. Deze gegevens zijn niet in een kartogram verwerkt



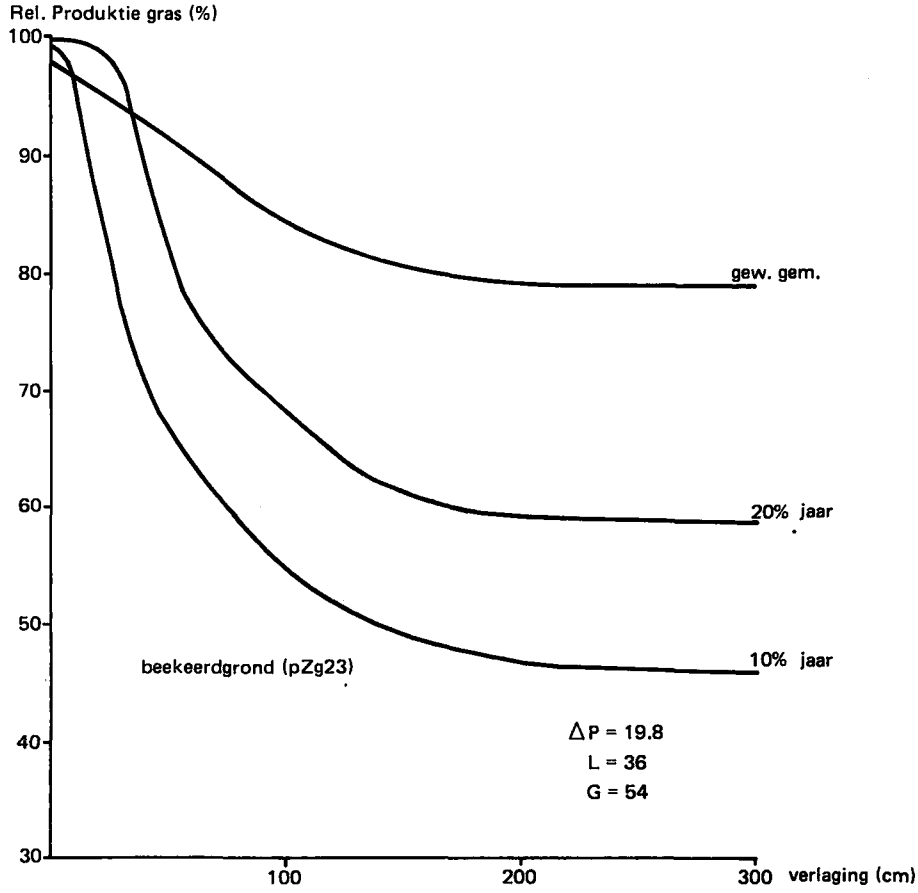
Afb. 4 Grafische weergave van de berekende vochtleverantie in een duinvaaggrond (Zd21), uitgaande van de natuurlijke toestand en van een aantal verlagingen van de grondwaterstand. De afgebeelde gegevens zijn gekozen uit tabellen zoals weergegeven in dit rapport in tabel 6



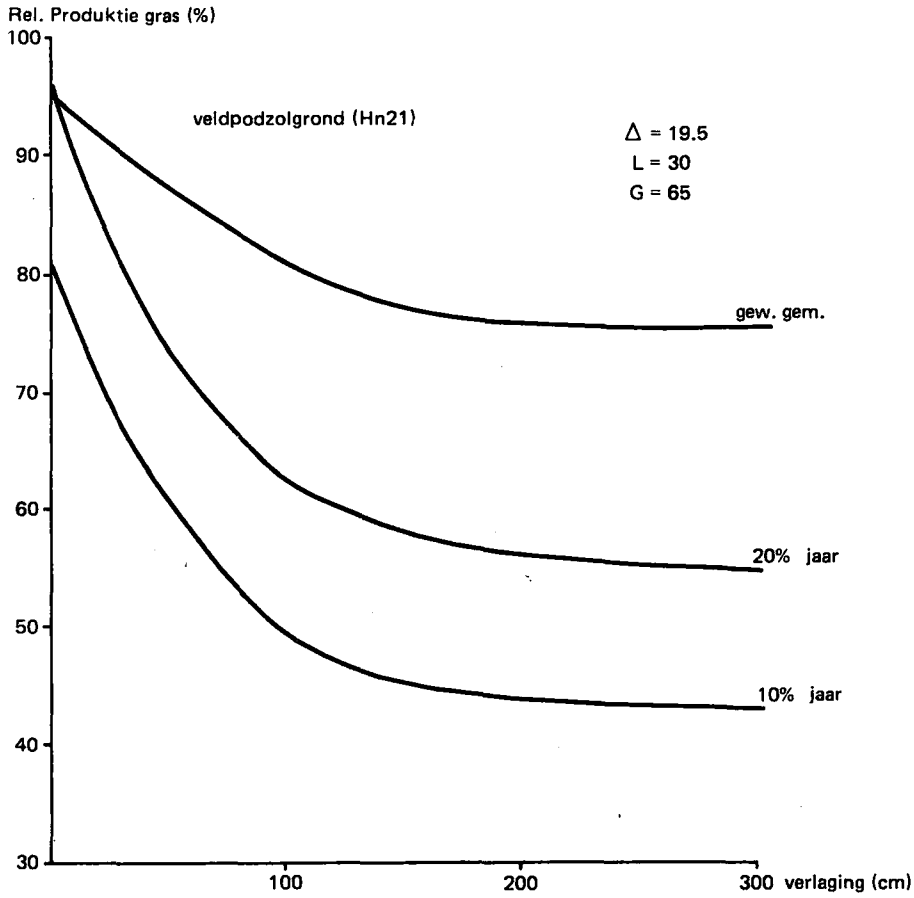
Afb. 5 Grafische weergave van de berekende vochtleverantie in een kleivaaggrond (Rn67C), uitgaande van de natuurlijke toestand en van een aantal verlagingen van de grondwaterstand. De afgebeelde gegevens zijn gekozen uit tabellen zoals weergegeven in dit rapport in tabel 6



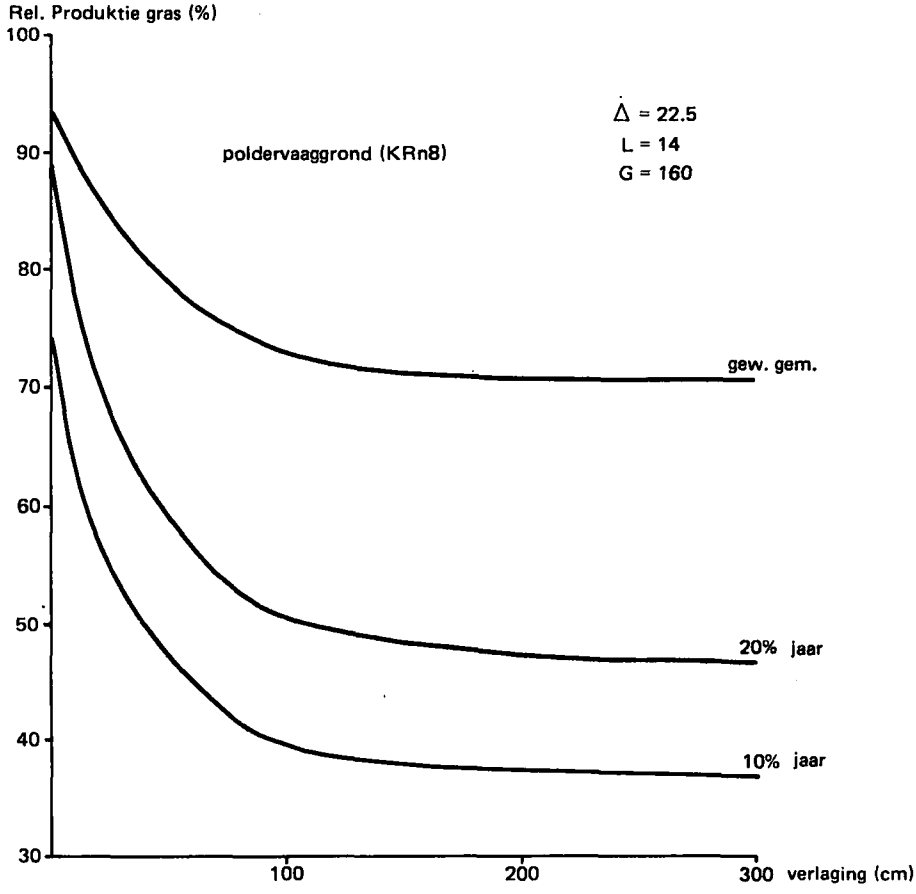
Afb. 6 Grafische weergave van de berekende vochtleverantie in een zwarte enkeerdgrond (zEZ21), uitgaande van de natuurlijke toestand en van een aantal verlagingen van de grondwaterstand. De afgebeelde gegevens zijn gekozen uit tabellen zoals weergegeven in dit rapport in tabel 6



Afb. 7 Grafische weergave van de berekende vochtleverantie in een beekeerdgrond (pZg23), uitgaande van de natuurlijke toestand en van een aantal verlagingen van de grondwaterstand. De afgebeelde gegevens zijn gekozen uit tabellen zoals weergegeven in dit rapport in tabel 6



Afb. 8 Grafische weergave van de berekende vochtleverantie in een veldpodzolgrond (Hn21), uitgaande van de natuurlijke toestand en van een aantal verlagingen van de grondwaterstand. De afgebeelde gegevens zijn gekozen uit tabellen zoals weergegeven in dit rapport in tabel 6



Afb. 9 Grafische weergave van de berekende vochtleverantie in een poldervaaggrond (KRn8), uitgaande van de natuurlijke toestand en van een aantal verlagingen van de grondwaterstand. De afgebeelde gegevens zijn gekozen uit tabellen zoals weergegeven in dit rapport in tabel 6

seerd tot "slecht", "matig" en "goed" (aangegeven als 1, 2 of 3 plusjes en pijlen van verschillende lengtes voor de pF en K-ψ respectievelijk). De toegekende Gt's zijn geschematiseerd volgens de in tabel 4 in hoofdstuk 2.1.1 weergegeven trajecten van GHG, GVG en GLG.

3.1.3.2 Enkele voorbeelden (zie voor basisgegevens tabel 6 in hoofdstuk 2.1.1.2)

Voorbeeld 1: Duinvaaggrond (Zd21) (afb. 4)

Een ondiepe beworteling tot 20 cm in een weinig vochthoudende bovengrond, geringe capillaire opstijging en een diepe grondwaterstand (Gt VII) resulteren in een gewogen gemiddelde produktie van 66%, en veel lagere opbrengsten voor het 1%, 10% en 20% jaar. Bij verlaging van de grondwaterstand blijven de relatieve produkties vrijwel gelijk: er is sprake van een "hangwaterprofiel" waarin het effect van de grondwaterspiegel op de vochtleverantie te verwaarlozen is.

Voorbeeld 2: Kleivaaggrond (Rn67c) (afb. 5)

Een beworteling tot 40 cm in een sterk vochthoudende bovengrond, een grote capillaire opstijging en een matig diepe grondwaterstand (Gt V) resulteren in een hoge gemiddelde produktie van 99%, terwijl zowel de produktie voor het 10% en 20% jaar, gelijk is aan 100%. Bij verlaging van de grondwaterstand blijven deze hoge produkties lange tijd gehandhaafd. Pas bij verlagingen van meer dan 1 meter treedt produktieverlaging op. Evenals de grond van voorbeeld 1 is deze grond dus relatief ongevoelig voor grondwaterstandsverlaging, hoewel op een volkomen verschillende wijze. Immers, deze grond heeft een zeer goede vochtleverantie die ook bij grondwaterstandsverlagingen lange tijd in stand blijft.

Voorbeeld 3: Zwarte enkeerdgrond (zEZ21) (afb. 6)

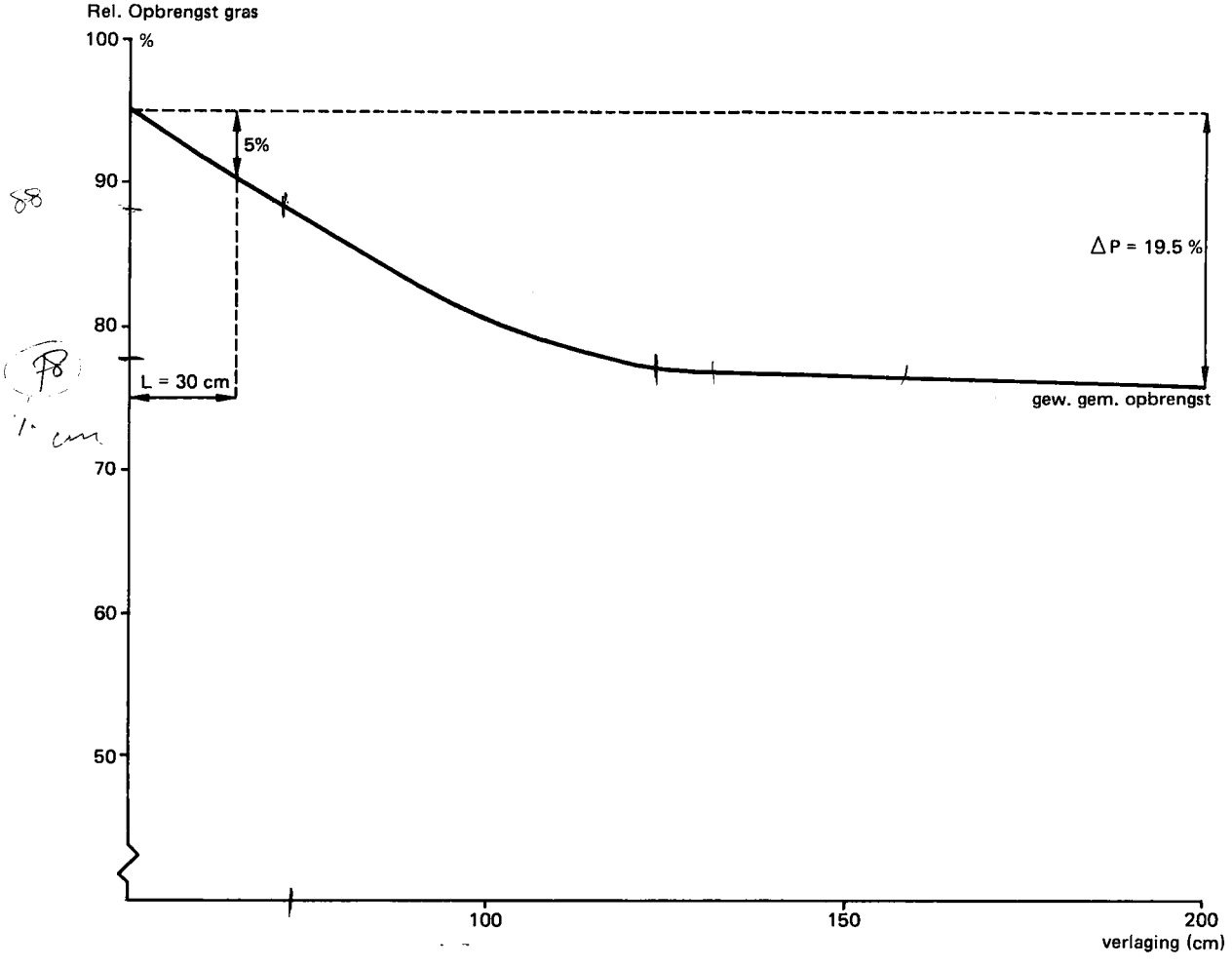
Een diepe beworteling tot 80 cm in een sterk vochthoudende bovengrond, een matig capillaire opstijging en een diepe grondwaterstand (Gt VII), resulteren in een gemiddelde produktie van 97%; en waarden van 100% in een 20% jaar en 95% in een 10% jaar. Bij verlaging van de grondwaterstand dalen deze produkties vrij snel. De gevoeligheid voor verlaging is duidelijk hoger dan die van voorbeeld 2.

Voorbeeld 4: Beekeerdgrond (pZg23) (afb. 7)

Een beworteling tot 30 cm in een sterk vochthoudende bovengrond, een matige capillaire opstijging en een ondiepe grondwaterstand (Gt III) resulteren in een gemiddelde produktie van 96%, terwijl ook de waarden voor het 10% en 20% jaar zeer hoog zijn. Bij verlaging van de grondwaterstand treedt echter een zeer sterke daling op van de produktie, die duidelijk groter is dan die van voorbeeld 3. De gevoeligheid voor verlaging is dus ook duidelijk groter.

Voorbeeld 5: Veldpodzolgrond (Hn21) (afb. 8)

Een beworteling tot 30 cm in een matig vochthoudende bovengrond, een matige capillaire opstijging en een vrij diepe grondwaterstand (Gt V) resulteren in een gemiddelde produktie van 95%, die ook in het 20% jaar wordt bereikt. In een 10% jaar bedraagt deze 80%, hetgeen de kwetsbaarheid van deze grond onder natuurlijke omstandigheden illustreert. Bij verlaging treedt een zeer sterke daling op, die vergelijkbaar is met voorbeeld 4. Ook deze grond is duidelijk gevoelig voor waterstandsverlaging.



Afb. 10 Toelichting bij de afleiding van de ΔP en L criteria gebruikt bij het vaststellen van een gevoeligheidsmaat voor grondwaterstandsverlaging (zie tekst)

Voorbeeld 6: Poldervaaggrond (KRn8) (afb. 9)

Een beworteling tot 40 cm in een matig vochthoudende bovengrond, een geringe capillaire opstijging en een ondiepe grondwaterstand (Gt III) resulteren in een gemiddelde produktie van 93%. De produkties in een 20% jaar en 10% jaar zijn duidelijk lager, terwijl de afname bij grondwaterstandsverlaging zeer sterk is. Zodra het vocht in de doorwortelde zone is uitgeput, neemt de vochtleverantie snel af door geringe capillaire nalevering. Ook deze grond is gevoelig voor grondwaterstandsverlaging.

3.1.3.3 Een maat voor gevoeligheid voor grondwaterstandsverlaging

De hierboven besproken zes voorbeelden illustreren verschillend gedrag van de gronden als gevolg van een verlaging van de grondwaterstand. Het doel van dit onderzoek was onder meer het vaststellen van een éénduidige maat voor de aanwezige "gevoeligheid". Vele procedures die alle gebaseerd kunnen zijn op de berekende produkties, zouden in principe kunnen worden gevolgd. Na vele besprekingen in het z.g. bezinningsgroepje is besloten uit te gaan van de volgende elementen:

(1) De gewogen gemiddelde produktie wordt als maatstaf genomen.
(2) Twee "gevoeligheidsmaten" worden gehanteerd, de ene heeft betrekking op de afstand L waarmee de grondwaterstand moet worden verlaagd om een absolute produktiedaling van 5% te veroorzaken, en de andere heeft betrekking op de maximale daling in produktie (ΔP), die ten gevolge van grondwaterstandsverlaging kan optreden. Het laatste kan ook als volgt worden geformuleerd: hoe groot is de benodigde grondwaterstandsverlaging die van een grondwaterprofiel een hangwaterprofiel maakt (zie afb. 10).

Bij de zes voorbeelden zijn steeds zowel de L als de ΔP waarden aangegeven. Het is duidelijk dat een kleine L waarde indicatief is voor een grote gevoeligheid. Immers, wanneer slechts een geringe daling van de waterstand reeds een duidelijk effect heeft, is de grond gevoelig. Een grote L waarde duidt derhalve op een geringe gevoeligheid. Gaande van voorbeeld 1 t/m 6 neemt de L steeds af. Er is dus sprake van een reeks van toenemende gevoeligheid voor waterstandsverlaging, althans op basis van het L criterium. Het is echter ook belangrijk het effect van een eventueel verdere verlaging te kennen; ook al zal juist de eerste 5% opbrengstdaling economisch gezien een belangrijke rol spelen.

Het ΔP criterium is hier van nut. Is deze waarde klein dan is de grond relatief weinig gevoelig. Immers, de grond gedraagt zich al snel als "hangwaterprofiel", waarbij verdere verlaging geen effect heeft. Is de ΔP waarde groot, dan kan verlaging uiteindelijk resulteren in een forse produktiedaling. De voorbeelden 1 t/m 6 tonen over het algemeen een toenemende reeks van ΔP, met uitzondering van voorbeeld 3 waar, als gevolg van het zeer dikke humeuze dek, het hangwaterprofiel toch nog een hoge vochtleverantie garandeert.

In de twee genoemde criteria komt het absolute produktieniveau niet voor. Gebleken is echter dat dit indirect toch tot uiting komt omdat alleen de gronden met een lage gemiddelde produktie onder natuurlijke omstandigheden, zeer hoge L en zeer lage ΔP waarden bezitten (voorbeeld 1). Er bestaan geen gronden, althans niet in dit gebied, die worden gekarakteriseerd door horizontale produktie-lijnen op het 80-100% niveau, gaande tot verlagingen van 3 meter. De twee criteria kunnen ook nog als ratio G worden uitgedrukt, die het quotient van ΔP en L weergeeft. Is deze waarde laag dan is de grond ongevoelig (ΔP = klein; L = groot), is hij hoog dan is de grond gevoelig. De berekende G-waarden voor de bovenstaande voorbeelden 1 t/m 6 illustreren het gebruik van deze karakteristiek. Om een te grote abstractie te voorkomen is de gecombineerde legenda van de "gevoeligheidskaart" (bijlage 10) toch uitgedrukt in termen van L op de y-as en ΔP op de x-as. De hier besproken criteria lijken goede resultaten te leveren. Het spreekt

echter vanzelf dat ook andere criteria kunnen worden ontworpen op basis van de grote hoeveelheid gegevens die via het simulatiemodel voor iedere grond zijn berekend.

Gelderland

Relat. opbrengst gras %	Aantal knooppunten Gew. gemidd.	1% j.	10% j.	20% j.
Klasse				
< 30	0	1517	241	0
30 tot 50	0	733	1254	1114
50 tot 70	1089	1515	613	677
70 tot 80	400	123	172	150
80 tot 90	603	420	589	231
90 tot 95	208	153	350	108
95 tot 100	2175	14	214	336
100	39	39	1081	1898
Subtotaal	4514	4514	4514	4514
Bebouwing	165			
Blanco	169			
Uiterwaard	289			
Gelderland	5137			

Tabel 13 Samenvattende tabel voor heel Gelderland (5137 km^2), waarin niet alleen de relatieve opbrengst van gras in een 10% jaar staat weergegeven, in een aantal klassen (zie kartogram in bijlage 15), maar ook de gewogen gemiddelde opbrengst en die in een 1% en 20% jaar.

Bijlage 4 (Oost-Gelderland) toont het kartogram van de gewogen gemiddelde opbrengsten, uitgedrukt in equivalent droge-stofproduktie. Het accent ligt op de klasse 95-100%, maar langs de IJssel tussen Zutphen en Doesburg komen verschillende elementen voor in de klasse 70-80%.Bijlage 14 (Gelderland) toont het overeenkomstige kartogram voor heel Gelderland, waar ondermeer als gevolg van het voorkomen van het Veluwe-massief, het accent ligt op de klasse 50-70%. Het is niet de bedoeling van dit verslag om de kaarten in detail per knooppuntsoppervlak te analyseren; de gebruiker zal naar keuze aan de hand van zijn specifieke belangstelling deelgebieden kunnen analyseren op basis van de in dit verslag gegeven toelichting.

Bijlage 5, 6 en 7 (Oost-Gelderland) geven de produkties in een 1%, 10% en 20% jaar. Bijlage 15 geeft het kartogram voor het 10% jaar voor heel Gelderland. Opvallend is de in deze reeks toenemende mate van "zwarting", die aangeeft dat het producerend vermogen van de gronden steeds toeneemt naarmate de jaren "natter" worden. Wel is de mate van toename karakteristiek verschillend voor de verschillende bodemeenheden (tabel 13).

Bijlage 8 toont de L kaart, zoals reeds in het voorafgaande hoofdstuk toegelicht. Volgens het L criterium komen in het westelijk deel van Oost-Gelderland "gevoelige" en "ongevoelige" gronden naast elkaar voor. De verschillen kunnen niet worden gecorreleerd met de bodemkaart (bijlage 1) omdat de rivierkleigronden daar zijn samengevat. Puttend uit de basisgegevens kan worden geconcludeerd dat de "gevoelige" rivierkleigronden bestaan uit matig vochtleverende doorwortelde bovengronden op ondergronden van grof zand met een laag capillair geleidingsvermogen, terwijl de "ongevoelige" types, dikkere, meer vochthoudende bovengronden bezitten met meer opdrachtige ondergronden.

Bijlage 9 toont de ΔP kaart, zoals eerder omschreven. Toenemende "zwarting" valt ook hier samen met toenemende gevoeligheid. Voor het westelijk deel van Oost-Gelderland, dat bij de bespreking van bijlage 8 kort werd be-

licht, geldt hetzelfde onderscheid, maar nu op basis van het P criterium.

Bijlage 10 toont het kartogram dat is gebaseerd op een combinatie van de L en P principes waarbij 11 klassen zijn onderscheiden. Ook nu is weer toenemende "zwarting" geassocieerd met toenemende gevoeligheid voor waterstandsverlaging. De hoogste gevoeligheid (legenda-eenheid H) wordt b.v. gevonden in rivierkleigronden met een dun, matig vochthoudend dek met een ondergrond van grof zand die weinig capillaire nalevering toelaat (zie het eerder gegeven voorbeeld 6). De laagste gevoeligheid (L) wordt b.v. gevonden in enkele stuifzanden (zandvaaggronden) die als zuivere hangwaterprofielen moeten worden beschouwd (zie het eerder gegeven voorbeeld 1). Een soortgelijke sequentie met 13 klassen wordt gevonden voor heel Gelderland (bijlage 16).

3.1.4 Kartogram met opbrengstdepressies ten gevolge van wateroverlast

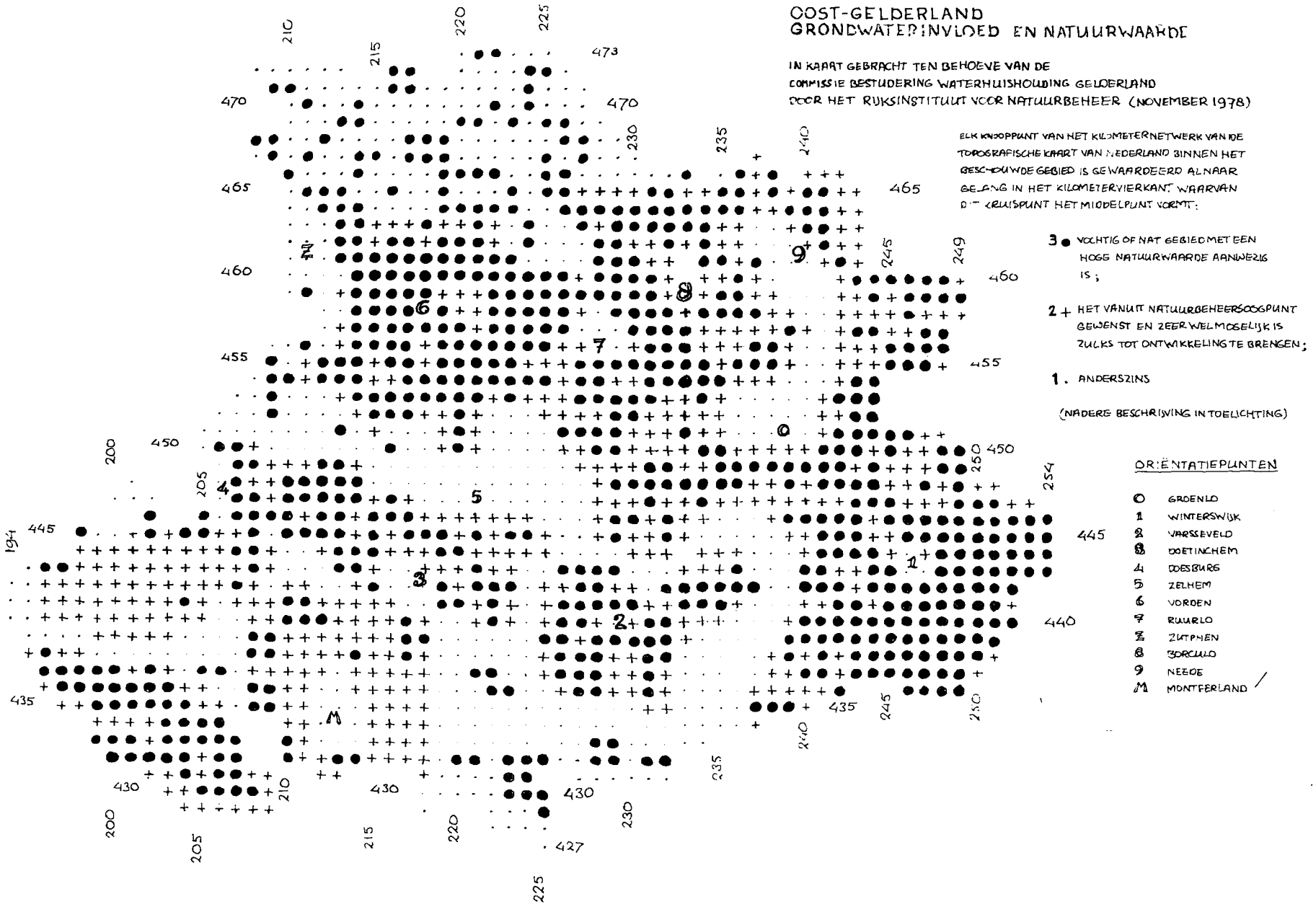
Het als bijlage 11 opgenomen kartogram toont aan dat de klassen 1, 3 en 4 (resp. 0%, 5-15% en 15-20% opbrengstverlies) het meest dominant zijn. Genoemde elementen zijn over het gehele gebied verspreid, hoewel in het centrum en in het westen en noorden duidelijk de lagere klassen voorkomen, die een geringer opbrengstverlies - en dus hogere Gt's - representeren. De frequentieverdeling van de knooppunten over de wateroverlastklasse voor geheel Gelderland is weergegeven in tabel 14.

Gelderland

Opbrengstdepressie door wateroverlast in % (grasland)	Aantal knooppunten n	%
0	2793	54
1 tot 5	167	3
5 tot 15	641	13
15 tot 20	751	15
20 tot 30	162	3
Subtotaal	4514	88
Uiterwaard	289	6
Bebouwing	165	3
Blanco	169	3
Gelderland	5137	100

Tabel 14 Samenvattende tabel voor heel Gelderland waarop de geschatte opbrengstdepressies ten gevolge van wateroverlast staan weergegeven. Deze gegevens zijn niet in een kartogram verwerkt

Een globale vergelijking met bijlage 10 toont aan dat er meerdere elementen zijn die zowel een groot opbrengstverlies bezitten ten gevolge van wateroverlast als een grote gevoeligheid voor grondwaterstandsverlaging. In het laatste geval wordt een hoge potentiële produktie uitgerekend omdat, ten gevolge van de "natte" Gt, veel water beschikbaar is. Zoals bekend, houdt model De Laat geen rekening met opbrengstverlies ten gevolge van te grote natheid. Indien nu een grofzandige ondergrond of een dunne doorwortelde zone aanwezig is, wijzen de berekeningen op een grote gevoeligheid voor grondwaterstandsverlaging. Dit is in feite juist, hoewel bij de interpretatie rekening moet worden gehouden met het beginniveau. Het lijkt, gezien de verschillende aard van de gegevens, in dit stadium minder zinvol om de getallen die ten grondslag liggen aan de kartogrammen 10 en 11, onderling te combineren in het verwerkingsprogramma.



Afb. 11 Grondwaterinvloed en natuurwaarde in Oost-Gelderland. De hier in de oorspronkelijke vorm getoonde kaart vormde de basis voor het vervaardigde ecologische kartogram (bijlage 13)

3.1.5 Slotopmerkingen

Ondanks de geschetste beperkingen geven genoemde kartogrammen, en met name bijlage 10, een beeld van de relatieve gevoeligheden die voor het verkrijgen van een overzicht zinvol zijn. Zoals gesteld in de algemene inleiding moeten de kartogrammen vooral worden gebruikt voor oriënterende doeleinden, ten behoeve van het beleid, waarbij het onderling vergelijken van deelgebieden belangrijker is dan het vaststellen van absolute niveaus. Dit geldt temeer omdat relaties tussen relatieve verdamping en opbrengsten nog allerminst éénduidig zijn vastgesteld.

3.2 Kartogram van de fysische winbaarheid van grondwater Oost-Gelderland, F.G. Mulder

Ten behoeve van het modelonderzoek Oost-Gelderland is van het gebied een zogenaamde knooppuntenkaart gemaakt. Aan ieder kilometerknooppunt zijn gegevens voor de kD-waarde toegekend, die verder zijn verwerkt tot een kartogram (bijlage 12). Bij het samenstellen van de knooppuntenkaart hebben de in 2.1.2 genoemde Regionale Interpretaties de basis gevormd.

Ten aanzien van het eventueel aanwezig zijn van meerdere watervoerende pakketten is uitgegaan van één watervoerend pakket omdat de waarde van de weerstandbiedende laag relatief gezien gering was dan wel gegevens over de weerstandbiedende laag onbekend zijn. Indien twee watervoerende pakketten aanwezig zijn is de som van de respectieve kD-waarden gegeven.

Van de gebieden waarover nog geen Regionale Interpretatie gepubliceerd is, is aan de hand van de resultaten van diverse onderzoekingen schattenderwijs aan de kilometerknooppunten een kD-waarde toegekend. Het moge duidelijk zijn dat aan de op deze wijze verkregen gegevens slechts een indikatieve waarde mag worden toegekend. De kwaliteit van het grondwater is buiten beschouwing gebleven.

De fysische winbaarheid van grondwater wordt bepaald door de kD-waarde van het watervoerende pakket. Hoe hoger de kD-waarde, des te gemakkelijker technisch bezien het grondwater te winnen is.

Gezien het globale karakter van de verzamelde konstanten en het globale karakter van het modelonderzoek is bij de presentatie van de gegevens de volgende indeling aangehouden. Voor meer gedetailleerde informatie zie het basisrapport van de groep geohydrologie.

<u>Fysische winbaarheid</u>

slecht	$kD \leq 500\ m^2/dag$
matig	$500 < kD \leq 1000$
goed	$1000 < kD \leq 2500$
zeer goed	$kD > 2500$

3.3 Kartogram van grondwaterinvloed en natuurwaarde Oost-Gelderland, G. v. Wirdum

3.3.1 Omschrijving van de legenda (afb. 11)

Op het kartogram van grondwaterinvloed en natuurwaarde in Oost-Gelderland (bijlage 13) komen drie legenda-eenheden voor:

3 (o) Vochtig of nat gebied met een hoge natuurwaarde aanwezig

2 (+) Vochtig of nat gebied met een hoge natuurwaarde kan tot ontwikkeling worden gebracht en het is vanuit natuurbeheersoogpunt gewenst dit te doen

1 (.) Anderszins.

In de beschrijving van de totstandkoming van dit kartogram is reeds aandacht besteed aan de feitelijke inhoud van deze legenda-eenheden. Hieronder wordt een nadere toelichting op de interpretatieve betekenis ervan

gegeven*.

3. In de vakken waaraan legenda-eenheid 3 is toegekend zijn dikwijls waterhuishoudkundige veranderingen gewenst of zelfs nodig om de kwaliteit van de natuurgebieden in de toekomst te behouden. De meeste natuurgebiedjes waar het om gaat zijn geïsoleerde restjes in vochtige of natte zones in het landschap van Oost-Gelderland. De eigenschappen ervan zijn ontstaan in afhankelijkheid van grondwater in de wortelzone. Soms ging het daarbij om moerassen en natte gebieden, waar de wortelzone zich in het volcapillaire gedeelte van de bodem of zelfs onder het freatisch vlak bevond. Elders speelde tenminste in een kritiek gedeelte van het seizoen de capillaire opstijging een rol. Voor zover kon worden nagegaan is dit ook in de resterende natuurgebieden thans nog het geval, zij het niet altijd in dezelfde mate als vóór de belangrijkste drinkwaterwinningen en landbouwontwateringen. Een uitzondering geldt voor natuurgebieden waar zich een schijngrondwaterspiegel boven een ondoorlatende laag bevindt. Afgezien van het zeer complexe gebied rondom Winterswijk speelt dit vermoedelijk binnen het gekarteerde gebied slechts een geringe rol. Waar dit wel het geval is, en zeker in het Winterswijkse, is de bodemgesteldheid ruimtelijk zo ingewikkeld dat moeilijk valt na te gaan in hoeverre de hoogte en stabiliteit van de schijnspiegels door de potentiaal van het diepere grondwater wordt bepaald.

De eigenschappen van de natuurgebieden in legenda-eenheid 3 zijn eveneens in afhankelijkheid van de chemische eigenschappen van het grondwater ontstaan. Deze eigenschappen zijn, zeker in het bovenste gedeelte van het grondwaterreservoir, op vele plaatsen thans anders dan vroeger het geval was. Dit komt niet alleen door afvalwaterlozingen, uitspoeling van wegenzout en meststoffen, maar ook door de veranderde hoeveelheid en kwaliteit van infiltrerend regenwater en van elders aangevoerd grond- en oppervlaktewater. Een nadere, geografisch gespecificeerde aanduiding van deze veranderingen is uitermate moeilijk en zal nog veel nader onderzoek vergen. Bovendien duurt het vaak vele jaren voor een natuurgebied op enige honderden meters afstand van een haard van veranderingen daarvan de invloed ondervindt.

Waterhuishoudkundige veranderingen die niet zijn afgestemd op het natuurbeheer zullen in de hokken van eenheid 3 vrijwel steeds op ernstige bezwaren van de zijde van natuurbeheerders stuiten.

2. De legenda-eenheid 2 onderscheidt zich van eenheid 3 doordat de voor 3 opgegeven eigenschappen hier slechts zeer ten dele in kleine overhoekjes of zelfs in het geheel niet aanwezig zijn. De mogelijkheid om deze eigenschappen tot stand te brengen is weliswaar in algemene zin aanwezig, om het werkelijk te doen zou van plek tot plek nader moeten worden aangegeven wat daarvoor dan nodig is. Op dit ogenblik wordt door de natuurbeheerssector in het Nederlandse maatschappelijk bestel niet over voldoende gegevens beschikt om een dergelijke planstudie uit te voeren en evenmin over de onderzoekscapaciteit om de bedoelde gegevens te verzamelen.

De wens om deze vaag omschreven veranderingen uit te voeren komt ten dele voort uit de eigenschappen die de desbetreffende gebieden in het verleden hadden en anderdeels uit het feit dat ze in wezen een onafscheidelijk deel vormen van de met eenheid 3 aangeduide gebieden. De meeste daarvan zijn namelijk te klein om aan het vereiste minimumareaal voor de voorkomende levensgemeenschappen te kunnen voldoen en zullen daardoor in waarde nog verder achteruitgaan. Het is dus niet zo, dat met eenheid 2 tersluiks getracht is "beslag te leggen" op bufferzones voor de natuurgebieden. Er bestaat onvoldoende inzicht om zoiets op een redelijke basis te doen voor het gehele kaartgebied en het is eigenlijk wel zeker dat ook een deel van

---

* De wijze van ponsen en de verwerking op het RIN en bij de PW-Arnhem maakt het noodzakelijk de legenda-eenheden in de hier gegeven ongebruikelijke volgorde te bespreken

de met eenheid 1 aangegeven gebieden onmisbaar is om het natuurgebeuren in de hokken van eenheid 3 beschermend te reguleren. Bovendien zal daadwerkelijke omzetting van 2-hokken in 3-hokken ook bufferzones voor de oorspronkelijke 2-hokken vereisen. Zoals reeds in de toelichting bij de totstandkoming van de kaart werd gememoreerd, is die problematiek niet in de toewijzing betrokken en onderwerp voor dringend gewenst onderzoek op hydrologisch en fysisch-geografisch gebied. Uiteraard zal bij zulk onderzoek deskundig oecologische (bege)leiding onontbeerlijk zijn.

Het blijft de vraag of bij een belangenafweging ook algemeen maatschappelijk de wens tot realisering van de eigenschappen van eenheid 3 in de hokken van eenheid 2 zal worden erkend. De beoordeling daarvan lijkt echter geheel afhankelijk van de totstandkoming van een soort regionaal natuurbeheersstructuurplan. Zolang de natuurbeheerssector niet redelijkerwijs in de gelegenheid is gesteld het daarvoor vereiste onderzoek te verrichten en een dergelijk plan op te stellen, lijkt het verwerpelijk daarop vooruit te lopen door maatregelen die hydrologisch ingrijpend zijn. Dit betekent dat ook in met eenheid 2 aangeduide hokken hydrologische veranderingen zonder zeer omvangrijk nader onderzoek thans ontoelaatbaar zijn. Met zulk onderzoek wordt natuurlijk niet het altijd vereiste onderzoek naar de consequenties van een ingreep bedoeld, maar het onderzoek naar de planologische inpasbaarheid van eventuele consequenties.

1. De aanduiding "anderszins" voor legenda-eenheid 1 laat reeds vermoeden dat een inclusieve omschrijving daarvan moeilijk is. Wel niemand zal heden ten dage nog in de verleiding komen deze aanduiding op te vatten als een vrijbrief voor tal van mogelijke ingrepen in het landschap. Zo is het natuurlijk ook niet bedoeld! Sommige hokken bevatten zeer belangrijke natuurgebieden, die echter niet "vochtig of nat" zijn. Dat betekent dat verlaging van de grondwaterspiegel voor deze gebieden zèlf niet licht als schadelijk zal worden ervaren. Verhoging zal dat dan echter dikwijls wel zijn. Bij de kartering is geen onderscheid gemaakt tussen de vakken waar verhoging van de grondwaterspiegel eventueel wel en waar dit beslist niet kan worden toegestaan.

Uit wat reeds eerder in deze toelichting werd opgemerkt mag ook onmiddellijk volgen dat bij elke geplande ingreep nagegaan zal dienen te worden wat de uitstralingseffecten zijn. In de toewijzingscriteria voor eenheid 2 is, zoals gezegd, geen verwachting omtrent uitstralingseffecten ingebouwd. Wat deze effecten betreft moet vooral ook rekening worden gehouden met de invloed op de kwaliteit van grondwater dat, misschien pas na enige decennia, een natuurgebied elders kan bereiken. Het gaat hier immers dikwijls om infiltratiegebieden (gebieden waar het grondwater wordt gevoed, hier langs natuurlijke weg). Via de infiltrerende hoeveelheid water, de lokale verblijftijd en geochemische processen kunnen hydrologische ingrepen in zo'n gebied de chemische eigenschappen van een aldaar vertrekkend (eventueel passerend) grondwatersurplus beïnvloeden. Over deze uitstralingseffecten is nog veel minder bekend dan over die betreffende de kwantitatieve waterhuishouding, zoals peil en peilschommelingen.

Tenslotte moet worden benadrukt dat de omschrijving "anderszins" de mogelijkheid niet uitsluit dat plaatselijk in de aldus bestempelde hokken al dan niet beschermd natuurgebied met levensgemeenschappen van natte of vochtige omgeving voorkomt. Dit is dan echter thans niet bij de Natuurbeschermingsconsulent in Gelderland bekend, zodat moet worden aangenomen dat het dan, althans wat deze aspecten betreft, niet om gebieden met een werkelijk hoge natuurwaarde gaat, zoals voor eenheid 3 wel vereist is.

3.3.2 Slotopmerkingen

Reeds is uiteengezet dat de geleverde kaart een compromis moest zijn tussen de eisen van de bij de samenstelling betrokken personen, de in laatste instantie beschikbare tijd en de wensen van de CWG. Het gebruik van de kaart is dan ook beperkt tot signalering in de studiefase over beleidsvoorbereiding. Zodra in werkelijke beleidsvoorbereiding over gegevens betreffende de natuurwaarde in het aangegeven gebied moet worden beschikt, zal een grondiger kartering nodig zijn. Het zal steeds gewenst zijn de Natuurbeschermingsconsulent in de provincie nauw te betrekken bij het gebruik van de kaart en ook eventuele gevolgtrekkingen aan hem voor te leggen wanneer de kaart daaromtrent geen duidelijk uitsluitsel geeft. De signalering kan samenvattend als volgt worden verwoord:

Hydrologische ingrepen die een met eenheid 3 gemerkt knooppunt beïnvloeden zullen vrijwel steeds op onontkoombare natuurtechnische bezwaren stuiten, tenzij ze zijn afgestemd op vergroting van de natuurwaarde. Voor de met eenheid 2 aangegeven knooppunten zal tezijnertijd een natuurtechnisch ontwikkelingsplan moeten worden opgesteld, waaruit ten dele ook waterhuishoudkundige maatregelen voortvloeien. Wanneer in een dergelijk hok veranderingen met een ander doel moeten worden toegestaan, dan zullen deze aan zo'n natuurtechnisch ontwikkelingsplan getoetst moeten worden. In de categorie "anderszins" moet vooral rekening worden gehouden met de eerder besproken uitstralingseffecten en met de eisen van eventueel aanwezig "droog natuurgebied". Het is in feite bijvoorbeeld zeer de vraag of drinkwaterwinning in zulke gebieden, zelfs als peilen in "natte" gebieden nauwelijks worden beïnvloed, minder schadelijk is voor het natuurbeheer dan in die natte gebieden zelf.

De indruk zou nu licht kunnen worden gewekt dat deze kaart, die in de afgelopen maanden wel eens als "obstakelkaart" is aangeduid, is bedoeld als één groot obstakel voor elke ingreep die niet door een natuurbeheerder is bedacht. De schrijver is er zich van bewust dat een dergelijk obstakel in werkelijkheid géén obstakel zou blijken, ook niet voor díe ingrepen, die wellicht vanuit geen enkel belang werkelijk nodig zijn. Veeleer valt dan ook te hopen dat de kaart als een stimulans wordt opgevat om het eerder aangestipte landschapstechnisch onderzoek in gang te zetten. Pas dan zullen de ingrepen in het landschap waaraan wij niet alleen onze levenswijze en de noodzaak tot natuurbescherming, maar ook de mogelijkheid daartoe, danken, evenwichtig naar deze gevolgen kunnen worden beoordeeld en uitgevoerd.

4. INTEGRATIE PROCEDURES VOOR HET GEBRUIK VAN DE DEELKAARTEN, Th.J.v.d.Nes

In dit rapport zijn vele kaarten gepresenteerd, die ieder op zich vanuit een bepaald waterhuishoudkundig aspect nuttige informatie verschaft. Voor het opstellen van waterbeheersplannen is het veelal nodig verschillende kaarten integraal te bekijken. De vraag is echter dan hoe kan dit het beste geschieden.
In eerste instantie is gekeken naar een methode, zoals die in de provincie Drente gebruikt wordt. In een later stadium zijn twee andere methoden van respectievelijk Paelinck en Saaty bestudeerd. Deze beide methoden worden thans in Gelderland toegepast.
In het volgende zullen de drie methoden beknopt worden behandeld. Voor een uitgebreide behandeling en toepassing van de methoden wordt verwezen naar andere gespecialiseerde rapporten over dit onderwerp.

METHODE DRENTE (Goddijn en Handenhoven, 1976, Tamminga, 1976)

Bij het onderzoek in Drente staat het grondwaterbeheer centraal. De basisinformatie wordt per aspect voor $\pm$ 800 vlakken van 2 bij 2 km (dus 4 km^2) weergegeven. Voor zover de informatie beleidsrelevant is, wordt de informatie per vlak omgezet in een ordinale score schaal (bijvoorbeeld 1-10 of 1-100).
Hoe hoger de score des te beter het betreffende vlak geschikt is voor grondwaterwinning in relatie tot een bepaald aspect.
Hierbij wordt er van uitgegaan dat een activiteit in een bepaald vlak geen invloed heeft op de omliggende vlakken. Dit is veelal niet juist. Vervolgens worden de score-kaarten voor de verschillende aspecten als volgt gesuperponeerd.
De schalen van de verschillende score-kaarten worden vergelijkbaar gemaakt door ze te normeren; dit is mogelijk door de volgende bewerking op de gegevens van iedere score-kaart uit te voeren.

$$\mu_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \qquad i = 1, \ldots n. \text{ (nummer van het vlak)}$$

, waarbij x_i = score, $\bar{x}$ = gemiddelde score en σ = standaardafwijking.

Het superponeren kan vervolgens geschieden met toekenning van gelijk gewichten aan de aspecten c.q. criteria, dan wel met verschillende gewichtsverdelingen van de criteria onderling. Hiertoe worden de genormeerde score-kaarten vermenigvuldigd met het gewicht van het criterium en daarna opgeteld. Verschillende gewichtsverdelingen leiden uiteindelijk tot verschillende integrale score-kaarten.
De hier geschetste methode is nogal grof en technisch georiënteerd. De sociale kant van de beleidsvoorbereiding, de beslissing en het beslissingsproces komt dan ook bij deze methode onvoldoende tot zijn recht. Het is niet duidelijk hoe de wisselwerking tussen beleidsvoorbereiders en beslissers verloopt. Verder wordt geen oplossing geboden voor de situatie met meerdere beslissers, waarbij verschillende gewichtsverdelingen voor de criteria worden gehanteerd.
Uit het bovenstaande is duidelijk dat er een aantal bezwaren zijn aan te voeren tegen de methode Drente. Een voordeel van deze methode is echter dat het rekensysteem, mits de nodige informatie aanwezig is, kan worden geautomatiseerd, zodat integrale score-kaarten zeer eenvoudig kunnen worden geproduceerd.

METHODE SAATY (Van de Nes en Van Lohuizen 1978, De Graan 1978)

Bij het onderzoek in Gelderland is de basisinformatie per aspect voor vlakken van 1 bij 1 km (dus 1 km^2) weergegeven. Het grond- en oppervlaktewaterbeheer staat hierbij centraal.
Bij de methode van Saaty worden een aantal concrete alternatieve waterbeheerprojecten op alle beleidsrelevante kaarten gezet.
Per kaart (criterium) worden nu eerst de projecten onderling met elkaar vergeleken. Hierbij wordt tevens de gehele omgeving van het project, dus ook de omliggende vlakken in de beschouwing betrokken. Het vergelijken van de projecten voor de verschillende criteria geschiedt door verschillende deskundigen. Bij het vergelijken van de projecten wordt gebruik gemaakt van relatieve gewichten, waarbij een schaal van 1 tot en met 9 wordt gehanteerd. De volgende verklaring aan de cijfers 1 tot en met 9 wordt gegeven in Tabel 15.

Tabel 15 Schaalwaardentabel van Saaty

Schaalwaarde	definitie	nadere toelichting
1	even belangrijk	twee activiteiten dragen in ongeveer gelijke mate tot de doelstelling bij.
3	in geringe mate belangrijker	ervaring en inzicht leiden tot geringe voorkeur van de eerste activiteit ten opzichte van de tweede.
5	wezenlijk, duidelijk belangrijker	ervaring en inzicht leiden tot duidelijke voorkeur van de eerste activiteit ten opzichte van de tweede.
7	aantoonbaar belangrijker	de duidelijke voorkeur van de eerste activiteit t.o.v. de tweede wordt door praktijkervaring ondersteund.
9	absoluut belangrijker	er bestaat geen enkele twijfel over de voorkeur van de eerste activiteit ten opzichte van de tweede.
2, 4, 6, 8	het oordeel ligt tussen twee van de bovengenoemde	te gebruiken als compromis; bij voorkeur echter gebruik maken van de oneven getallen.

Bij het vergelijken van projecten worden deze getallen of de reciproque waarde gehanteerd.
De resultaten van het vergelijken van de projecten voor een bepaald criterium, worden in een matrix weergegeven. Het is eenvoudig te bewijzen dat het bepalen van de eigenvector van deze matrix de absolute gewichten van de projecten geeft.
Deze absolute gewichten worden genormeerd, dat wil zeggen de som van de gewichten is 1.
Op deze wijze ontstaat er een volgorde van projecten met afnemend absoluut gewicht (dat wil zeggen van goed naar slecht) voor de verschillende criteria.
De volgende stap is nu de verschillende criteria te wegen. Dit gebeurt op dezelfde wijze als het afwegen van de projecten ten opzichte van de verschillende criteria. Dezelfde schaalwaarden van tabel 15 worden hierbij gebruikt. Dit is een taak van de waterbeheerders c.q. beslissers.
De resultaten van het vergelijken van de criteria worden in een matrix weergegeven. De eigenwaarde van deze matrix geeft de absolute gewichten van de criteria.

De integrale gewichten van de projecten worden verkregen door de matrix met de absolute gewichten van de projecten voor de verschillende criteria te vermenigvuldigen met de vector van de absolute gewichten van de criteria.
Het is mogelijk deze methode toe te passen met meerdere beslissers. Verder is het werken met een hiërarchie van criteria mogelijk.
Voor een uitvoerige beschrijving van deze methode en een toepassing in Oost-Gelderland moet verwezen worden naar de rapporten van Van de Nes en Van Lohuizen (1978) en De Graan (1978).
Ook bij deze methode is verdere automatisering zeer wel mogelijk, echter gewaakt moet worden tegen het feit dat dit niet ten koste gaat van de betrokkenheid van de onderzoeker en de beslisser bij de integrale planning van het waterbeheer.

METHODE PAELINCK (Van de Nes en Van Lohuizen, 1978)

Het principe van de methode verschilt enigszins met de methode van Saaty.
Ook in dit geval moeten de alternatieve waterbeheersprojecten op alle beleidsrelevante kaarten worden gezet. Per kaart (criterium) worden aan de projecten ordinale schaalwaarden toegekend (bijvoorbeeld +, ++, +++ etc.).
Voor alle mogelijke rangorden van de projecten (bij n projecten is dit n!) wordt op een bepaalde wijze een score berekend per criterium. Hoe hoger de score van de rangorde des te meer is deze in overeenstemming met de toegekende ordinale schaalwaarden van de projecten voor een bepaald criterium. De uiteindelijke resultaten worden in een matrix weergegeven.
Vervolgens worden de criteria gerangschikt, daarna worden deze genormeerd dat wil zeggen de som van de gewichten van de criteria is 1.
Het integrale gewicht van een bepaalde rangorde van projecten ontstaat door de score van de rangorde voor de verschillende criteria te vermenigvuldigen met de gewichten van de criteria en daarna op te tellen. Voor verschillende gewichtsverdelingen van de criteria komen verschillende rangordes als beste uit de bus. De resultaten worden in een beslissingsveelhoek weergegeven, waarbij na ordening van de criteria verschillende gewichtsverdelingen van de criteria worden verondersteld. Het plaatje laat zien binnen welke gewichtsverdelingen

van de criteria een bepaalde rangorde van projecten het beste is. Deze methode heeft als nadeel dat bij veel projecten het rekenwerk zeer sterk toeneemt, terwijl tevens een rangorde van de criteria gegeven moet zijn. Een uitvoerige beschouwing over deze methode en een vergelijking met de methode van Saaty is te vinden in het rapport van Van de Nes en Van Lohuizen (1978).
Een verdere ontwikkeling van de methode Paelinck vindt thans plaats, zodat deze beter toepasbaar wordt op het gebied van de waterhuishouding. Een zeer globale economische optimalisatie van de waterhuishouding in Oost-Gelderland vindt thans met deze methode plaats (Ancot en Paelinck, 1979).
Verder onderzoek zal moeten uitwijzen welke methoden het meest geschikt zijn. De evaluatie zal moeten worden gebaseerd op de volgende criteria

a. het type beslissingsvraagstuk
b. de efficiency van de methode
c. de toepasbaarheid in het beslissingsproces.

LITERATUUR

Ancot, J.P. en J. Paelinck (NEI). "Aquaflex", een model ter voorbereiding van beslissingen met betrekking tot de waterhuishouding in Gelderland. Basisrapport. Comm.Best.Waterhuish.Gelderland (1979).

Tamminga, M. Het grondwaterbeheer in de provincie. Tijdschrift H_2O no. 24, 1976.

Goddijn, J. en M. van Handenhoven. Het gebruik van een wiskundig model voor grondwaterbeheer. Tijdschrift Hydrographica 3/1976.

Nes, Th.J. v.d. en E.P. van Lohuizen. Onderzoek naar de toepasbaarheid van multi-criteria afwegingsmodellen ten behoeve van de waterhuishouding in Gelderland. Rapport ten behoeve van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland (1978).

Graan, J.G. de. Enkele uitbreidingen van het beslismodel van Saaty. (Een aanvulling op het rapport Van de Nes en Van Lohuizen). Rapport ten behoeve van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland (1978).

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW