

NN31545.1348

DTA 1348 I

december 1981

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

REMOTE SENSING STUDIEPROJECT OOST-GELDERLAND

VOCHTLEVEREND VERMOGEN VAN ENKELE BODEMS IN OOST-GELDERLAND

MET EN ZONDER GRONDWATERONTTREKKING

ir. H.A.M. Thunnissen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking



ISBN 161 379-01

29 JULI 1982

NN31545.1348

DTA 1348

I

december 1981

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

REMOTE SENSING STUDIEPROJECT OOST-GELDERLAND

VOCHTLEVEREND VERMOGEN VAN ENKELE BODEMS IN OOST-GELDERLAND

MET EN ZONDER GRONDWATERONTTREKKING

ir. H.A.M. Thunnissen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking



ISBN 161 379-01

29 JULI 1982

I N H O U D

	Blz.
INLEIDING	1
1. BEREKENING VAN VOCHTLEVERANTIE EN VOCHTTEKORT	3
1.1. Algemeen	3
1.2. Toegepaste werkwijze	5
1.3. Resultaten van berekeningen	8
2. GEVOELIGHEID VAN DE BODEMS VOOR DROOGTE EN GRONDWATERSTANDSDALING	11
2.1. Een maat voor de gevoeligheid voor droogte	11
2.2. Een maat voor de gevoeligheid voor grondwater- standsdaling	14
3. RESULTATEN EN CONCLUSIES	18
LITERATUUR	21
BIJLAGEN	

INLEIDING

Op 1 september 1981 is het Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland van start gegaan. Aan het remote sensing project wordt deelgenomen door zeven instellingen waaronder het ICW. Het project is er primair op gericht de mogelijkheden voor operationele toepassing van remote sensing opnametechnieken in een gebied van enige omvang te onderzoeken en te evalueren. Als proefgebied is een gebied in Oost-Gelderland gekozen (zie bijlage 1). Voor verdere informatie over het project wordt verwezen naar Deelrapport 1 van het Projectteam Remote Sensing Studieproject (1981).

Eén van de doelstellingen van het onderzoek is na te gaan hoe met behulp van remote sensing technieken informatie kan worden verkregen omtrent het waterverbruik van vegetatiedekken en de bodemvochtvoorraad. Hiertoe wordt vanuit een vliegtuig met behulp van een scanner, die het betreffende gebied in stroken loodrecht op de vliegrichting af-tast, de stralingstemperatuur gemeten. Zo wordt een warmtebeeld verkregen. Naarmate het gewas slechter voorzien is van water neemt de verdamping af. Tegelijkertijd neemt de gewastemperatuur toe, hetgeen uit de warmtebeelden kan worden afgeleid.

Met het oog op het interpreteren van deze warmtebeelden is het noodzakelijk inzicht te hebben in het vochtleverend vermogen van de in het gebied voorkomende bodemtypen en het optreden van vochttekorten onder verschillende klimatologische en hydrologische omstandigheden. Afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone en de capillaire eigenschappen van de ondergrond zal de vochtleverantie*

*Onder vochtleverantie wordt verstaan de hoeveelheid vocht die voor de plant beschikbaar komt door uitdroging van de wortelzone en aanvoer vanuit de ondergrond.

door de bodem aan het gewas meer of minder achterblijven bij een toenemende verdampingsvraag van de atmosfeer. De bodem is meer of minder droogtegevoelig.

De vochtleverantie van de bodem is afhankelijk van de grondwaterstand. Daar in het onderzoeksgebied op verschillende plaatsen freatisch water wordt gewonnen is onderzocht in hoeverre de vochtleverantie van de bodem afneemt bij daling van de grondwaterstand.

Voor de in het onderzoeksgebied voorkomende kaarteenheden (= bodemeenheid + grondwatertrap), (bodemkaart van Nederland, 1:50 000) zijn met behulp van het onverzadigde deel van het model 'de Laat' de vochtleveranties berekend voor een reeks van droogte jaren en voor een aantal grondwaterstands dalingen. Deze vochtleveranties zijn gebruikt voor de berekening van een maat voor de gevoeligheid voor droogte en de gevoeligheid voor grondwaterstands daling. De resultaten zijn met behulp van een kleurencode weergegeven op kaarten. De berekeningen zijn uitgevoerd voor gras als kengewas. Dit heeft tot doel de onderlinge vergelijking te vereenvoudigen. Bovendien is grasland de vorm van bodemgebruik, die in het onderzoeksgebied het meest voorkomt.

1. BEREKENING VAN VOCHTLEVERANTIE EN VOCHTTEKORT

1.1. Algemeen

Het gewas is voor de vochtvoorziening gedurende het groeiseizoen aangewezen op de hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone. De hoeveelheid is afhankelijk van de bewortelingsdiepte, de hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone aan het begin van het groeiseizoen en de af- en aanvoer gedurende het groeiseizoen. Aanvulling van de vochtvoorraad in de wortelzone wordt aan de bovenkant bepaald door de neerslag terwijl de aanvoer aan de onderkant het gevolg is van capillaire opstijging vanuit het grondwater.

De vochtspanning p in de wortelzone wordt om praktische redenen veelal 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.

Indien het gewas optimaal van vocht is voorzien, is de werkelijke (E_{re}) gelijk aan de potentiële gewasverdamping (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 gewasverdamping en daarmee voor de opbrengst van het gewas. Er bestaat namelijk een rechtstreeks verband tussen verdamping en relatieve opbrengst van landbouwgewassen: $p = f(R)$, waarin p de relatieve opbrengst voorstelt, het quotiënt van de werkelijke en potentiële opbrengst, en R de relatieve verdamping, het quotiënt van de over het groeiseizoen gesommeerde werkelijke en potentiële verdamping ($R = \sum E_{re} / \sum E_{pot}$).

Een benadering van de vochtleverantie wordt verkregen met het algoritme van RIJTEMA (1971), waarbij de berekening plaats vindt 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) maakt Rijtema gebruik van frequentietabellen voor k -daagse neerslag- en verdampingsommen vanaf 15 april ($k = 15, 30, 45 \dots 150$) voor verschillende droogtejaren. Deze k -daagse sommen hebben betrekking op neerslag- en verdampingscijfers van het

waarnemingsstation Winterswijk. 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 verdampingsoverschotsommen (zie tabel 1).

Tabel 1. k-daagse verdampings-, neerslag- en verdampingsoverschotsommen (cm), ontleend aan RIJTEMA (1969).

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

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

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

k-daagse verdampingsoverschotsommen (cm)

Aangenomen wordt verder dat in een 90% droog jaar, dat wil zeggen een jaar met 90% kans dat het betreffende verdampingsoverschot wordt overschreden, de verdamping potentiëel is en dus de relatieve verdamping $R = 1$. In drogere jaren kan afhankelijk van het optredende verdampingsoverschot en de door het profiel geleverde hoeveelheid vocht een vochttekort optreden. In dat geval is de werkelijke verdamping kleiner dan de potentiële en dus de relatieve verdamping $R < 1$. Gebruik makend van de k-daagse verdampingsoverschotsommen uit tabel 1 wordt voor de overige frequenties (50, 20, 10 en 1% droog jaar) de vochtleverantie en het eventuele vochttekort berekend. Combinatie van de berekende vochtleverantie en bijbehorende potentiële verdampingsom levert voor het 50, 20, 10 en 1% droge jaar de relatieve verdamping R.

1.2. Toegepaste werkwijze

DE LAAT en AWATER (1978) hebben een computermodel ontwikkeld voor de berekening van grondwaterstroming en verdamping. Dit model is een quasi drie-dimensionaal model waarin de een-dimensionale onverzadigde stroming is gekoppeld aan de twee-dimensionale verzadigde grondwaterstroming. Voor een gedetailleerde beschrijving van het model wordt verwezen naar DE LAAT en AWATER (1978).

Voor deze toepassing is het model gereduceerd tot een een-dimensionale versie (deelmodel voor onverzadigde stroming) voor uitsluitend verticale stroming. De randvoorwaarde aan de onderzijde van het model bestaat nu uit een in de tijd voorgeschreven grondwaterstand en/of flux op het grensvlak verzadigde-onverzadigde stroming.

De vochtleverantie voor het 50, 20, 10 en 1% droog jaar is benaderd met dit deelmodel voor onverzadigde stroming. Dit deelmodel berekent met behulp van bodemfysische gegevens voor een bepaald bodemprofiel relatieve verdampingswaarden en vochttekorten volgens de methode van Rijtema (zie par. 1.1). De randvoorwaarden en benodigde invoergegevens worden nu kort behandeld.

Met behulp van de bodemkaarten 33 Oost, 34 West, 34 Oost en 40 Oost en de concept-bodemkaarten 28 West, 41 West en 41 Oost van Stiboka (schaal 1:50 000) is nagegaan welke kaartenheden (= bodemeenheid + grondwatertrap) er in het onderzoeksgebied voorkomen. In het gebied

blijken + 260 combinaties van bodemeenheden en grondwatertrappen voor te komen.

Uitgaande van de standaard-profielbeschrijvingen, zoals die zijn verkregen uit rapporten behorend bij de bodemkaarten, is voor de voorkomende bodemeenheden een pF -curve van de wortelzone en een $k-\psi$ relatie van de ondergrond geschat, alsmede een bewortelingsdiepte. Schattingen van pF respectievelijk $k-\psi$ relaties berusten op standaardreeksen (RIJTEMA, 1969 en KRABBENBORG, 1973), die in hoofdzaak zijn gebaseerd op correlatie met textuur. Voor het merendeel van de profielen konden schattingen van pF - en $k-\psi$ relaties worden overgenomen van een eerder onderzoek uitgevoerd door Stiboka in opdracht van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland (BOUMA, J. ed., 1979). Voor de overige profielen zijn de schattingen uitgevoerd met behulp van Stiboka.

Simulatie van stroming in de onverzadigde zone vereist dat de situatie aan het begin van het groeiseizoen en randvoorwaarden gedurende deze periode worden gespecificeerd. We bekijken eerst de begin situatie. 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), welke wordt afgeleid uit de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG). De gemiddelde hoogste (GHG) respectievelijk laagste (GLG) grondwaterstand wordt gedefinieerd als de som van de jaarlijks gemeten drie hoogste respectievelijk drie laagste grondwaterstanden over een periode van minimaal acht jaren, gedeeld door het aantal jaren maal drie. Indien de aanvangsgrondwaterstand dieper 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 $0,1 \text{ cm.d}^{-1}$ in neerwaartse richting. Dit betekent dat voor diepe grondwaterstanden in het voorjaar ($GVG > 200 \text{ cm}$) de initieel aanwezige vochtvoorraad in de wortelzone onafhankelijk is van de aanvangsgrondwaterstand, terwijl de pF -waarde aan maaiveld gelijk is aan 2,3 ($= \log 200$).

Als randvoorwaarde aan maaiveld geldt het verschil van twee opeenvolgende 15-daagse verdampingsoverschotten (tabel 1). De rekenperiode van 150 dagen is verdeeld in tijdstappen met een lengte van

15 dagen. De berekende vochtleverantie per tijdstap is steeds gelijk aan het verdampingsoverschot totdat de pF in de wortelzone de waarde 4,2 heeft bereikt.

Voor de berekening van de onderrandvoorwaarde wordt gebruik gemaakt van de GVG en de GLG welke kunnen worden geschat aan de hand van profielkenmerken en grondwaterstandswaarnemingen. De GVG en de GLG hebben betrekking op grondwaterstanden aan het begin respectievelijk het einde van het groeiseizoen voor een gemiddeld (50%) droog jaar. In dit onderzoek zijn de grondwatertrappen overgenomen van de genoemde bodemkaarten (schaal 1:50 000). Daarbij zijn de grondwatertrappen enigszins geschematiseerd (zie tabel 2). Met deze grondwaterstanden en de gegeven bovenrandvoorwaarde kan de flux door de onderrand iteratief worden opgelost, indien wordt aangenomen dat de flux constant is gedurende het groeiseizoen. Hierbij wordt de flux zodanig bepaald dat aan het eind van het groeiseizoen de berekende grondwaterstand overeenkomt met de GLG. Hoewel de GVG en de GLG betrekking hebben op de grondwaterstanden in een gemiddeld (50%) droog jaar is bij de berekening van de vochtleverantie voor het 50, 20, 10 en 1% droog jaar steeds gebruik gemaakt van dezelfde onderrandvoorwaarde. Gebleken is namelijk dat deze vereenvoudiging niet noemenswaardig van invloed is op de berekening van de relatieve verdamping R.

Tabel 2. Geschematiseerde grondwaterstandsverlopen behorend bij elf grondwatertrappen (Gt's)

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.)		

1.3. Resultaten van berekeningen

Voor een drietal kaartenheden, te weten een laarpodzolgrond (CHn21) met Gt VII, een beekeerdgrond (pZg21) met Gt IV en een vlakvaaggrond (Zn21g; en letter g betekent hier grof zand en/of grind in de ondergrond) met Gt VI zijn de berekeningsresultaten weergegeven in tabel 3. Het nummer linksboven in iedere tabel is het zogenaamde rekennummer. Verder zijn gegeven de GVG, de GLG en de afvoer naar het grondwater (QW) behorend bij een negental verschillende grondwaterstandstrajecten in het groeiseizoen, die overeenkomen met de natuurlijke toestand en een aantal verlagingen van de grondwaterstand. De GVG en de GLG zijn steeds met eenzelfde hoeveelheid verlaagd. Voor elk grondwaterstandstraject is de relatieve verdamping (%) en het vochttekort (cm) berekend welke voorkomen in een 1%, 10%, 20%, 50%, 90% en gewogen gemiddeld droog jaar. Integratie van de relatieve verdamping over jaren met een overschrijdingsfrequentie van 0 tot 100% resulteert in een gewogen gemiddelde waarde \bar{R} in procenten (zie fig. 4 en kolom gem. in tabel 3).

De aan de drie profielen toegekende fysische gegevens zoals die zijn toegepast in het computermodel van De Laat en Awater staan gegeven in tabel 4. De gebruikte pF-gegevens en k- Ψ relaties staan samengevat in de tabellen 5 en 6.

Tabel 3. Computer output van de drie gekozen profielen. Zowel de relatieve verdamping als het vochttekort worden voor een reeks droogtejaren weergegeven in de natuurlijke toestand en bij een aantal verlagingen van de grondwaterstand

*** 2c ***			RELATIEVE VERDAMPING (%)					
GVC	GEG	GH						
CM-MV	CM-MV	(CM/DAG)	GEM.	1.0%	10.0%	20.0%	50.0%	90.0%
130.C	200.0	-0.062	93.7	62.1	79.4	87.6	100.0	100.0
140.C	210.0	-0.063	93.3	69.7	77.5	85.8	100.0	100.0
150.C	220.0	-0.063	87.7	67.8	75.1	83.3	99.1	100.0
180.C	249.9	-0.063	90.0	54.9	72.1	80.3	96.6	100.0
200.C	279.9	-0.063	88.9	53.1	70.2	78.4	95.0	100.0
300.C	300.0	-0.063	88.9	52.5	69.8	77.8	94.4	100.0
350.C	350.0	-0.067	80.2	51.9	69.1	77.1	94.0	100.0
400.C	400.0	-0.069	87.9	51.4	69.6	76.6	93.4	100.0
430.C	500.0	-0.073	87.5	50.8	67.9	76.0	93.0	100.0

VERLAGING		VOCHTTEKORT IN CM					
IN CM		1.0%	10.0%	20.0%	50.0%	90.0%	
0.0		2.1	18.7	9.7	5.6	0.0	0.0
10.0		1.4	12.7	10.6	6.4	0.0	0.0
20.0		2.3	20.9	11.7	7.2	0.0	0.0
30.0		4.3	22.3	13.1	8.5	0.0	0.0
40.0		5.3	23.2	14.0	9.7	0.0	0.0
50.0		5.5	23.2	14.2	10.8	0.0	0.0
100.0		5.7	23.8	14.5	10.3	2.6	0.0
150.0		5.9	24.1	14.8	10.5	5.3	0.0
200.0		6.0	24.3	15.1	10.6	5.1	0.0

*** 55 ***			RELATIEVE VERDAMPING (%)					
GVC	GEG	GH						
CM-MV	CM-MV	(CM/DAG)	GEM.	1.0%	10.0%	20.0%	50.0%	90.0%
80.C	110.0	-0.045	99.0	82.4	100.0	100.0	100.0	100.0
90.C	115.0	-0.045	90.5	78.0	96.1	100.0	100.0	100.0
105.C	135.0	0.012	97.0	70.9	88.7	97.3	100.0	100.0
130.C	160.0	-0.029	91.3	61.5	79.3	87.7	100.0	100.0
150.C	170.0	-0.031	91.7	57.1	74.8	83.0	97.2	100.0
180.C	210.0	-0.031	91.0	54.6	71.9	80.1	96.7	100.0
210.C	240.0	-0.034	88.3	52.4	69.7	77.7	95.3	100.0
280.C	310.0	-0.040	86.1	51.7	68.9	77.1	94.0	100.0
380.C	410.0	-0.048	87.4	50.7	67.8	75.9	92.8	100.0

VERLAGING		VOCHTTEKORT IN CM					
IN CM		1.0%	10.0%	20.0%	50.0%	90.0%	
0.0		0.5	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0		0.8	10.7	1.9	0.0	0.0	0.0
20.0		1.3	14.4	3.3	0.0	0.0	0.0
30.0		2.1	18.9	5.7	0.0	0.0	0.0
40.0		3.3	21.4	7.6	0.0	0.0	0.0
50.0		4.0	22.5	13.2	8.9	1.4	0.0
100.0		4.7	23.8	14.3	10.1	2.4	0.0
150.0		5.7	23.9	14.8	10.3	3.6	0.0
200.0		6.1	24.4	15.1	10.8	3.2	0.0

*** 65 ***			RELATIEVE VERDAMPING (%)					
GVC	GEG	GH						
CM-MV	CM-MV	(CM/DAG)	GEM.	1.0%	10.0%	20.0%	50.0%	90.0%
90.C	160.0	-0.154	81.5	42.9	59.6	67.4	84.3	100.0
100.C	170.0	-0.154	80.8	45.0	58.7	66.9	83.4	100.0
110.C	180.0	-0.154	79.7	46.7	57.4	65.0	81.7	100.0
120.C	200.0	-0.154	79.3	40.2	56.8	64.4	81.3	100.0
160.C	248.9	-0.154	79.1	40.0	56.6	64.2	81.1	100.0
190.C	259.9	-0.154	78.9	39.8	56.4	64.0	80.9	100.0
240.C	310.0	-0.154	78.7	39.7	56.3	63.9	80.8	100.0
290.C	360.0	-0.154	78.7	39.7	56.3	63.9	80.8	100.0
390.C	460.0	-0.152	78.9	39.7	56.3	63.9	80.8	100.0

VERLAGING		VOCHTTEKORT IN CM					
IN CM		1.0%	10.0%	20.0%	50.0%	90.0%	
0.0		0.7	23.3	19.0	14.7	6.9	0.0
10.0		0.0	28.7	19.4	15.1	7.3	0.0
20.0		0.7	29.3	20.0	15.7	7.9	0.0
30.0		0.6	29.6	20.3	16.0	8.2	0.0
40.0		0.7	29.7	20.4	16.1	8.3	0.0
50.0		0.8	29.8	20.5	16.2	8.4	0.0
100.0		0.8	29.8	20.5	16.2	8.4	0.0
150.0		0.8	29.8	20.5	16.2	8.4	0.0
200.0		0.8	29.8	20.5	16.2	8.4	0.0
300.0		0.8	29.8	20.5	16.2	8.4	0.0

Tabel 4. De aan de drie profielen toegekende fysische gegevens ter berekening van de vochtleverantie met behulp van het model De Laat

Reken- nummer	Bodem- eenheid	Grondwater- trap	Wortelzone		Ondergrond nr k- Ψ	GVG (cm-mv)	GLG (cm-mv)
			nr pF	dikte in cm			
26	CHn21	VII	3	40	22	130	200
55	pZg21	IV	8	30	22	80	110
65	Zn21g	VI	24	20	1	90	160

Tabel 5. De aan de drie profielen toegekende pF-curven voor de bovengrond

Nr pF-curve bovengrond	Poriën- volume	Volumepercentage vocht bij pF:									
		1,0	1,5	2,0	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,2	
3	50,0	42,7	39,2	28,4	20,6	16,8	13,1	9,2	7,4	5,5	
8	48,4	45,7	43,6	37,4	30,5	29,8	28,8	18,2	11,0	9,0	
24	43,0	41,0	38,5	19,7	16,6	15,5	12,0	7,6	6,0	4,9	

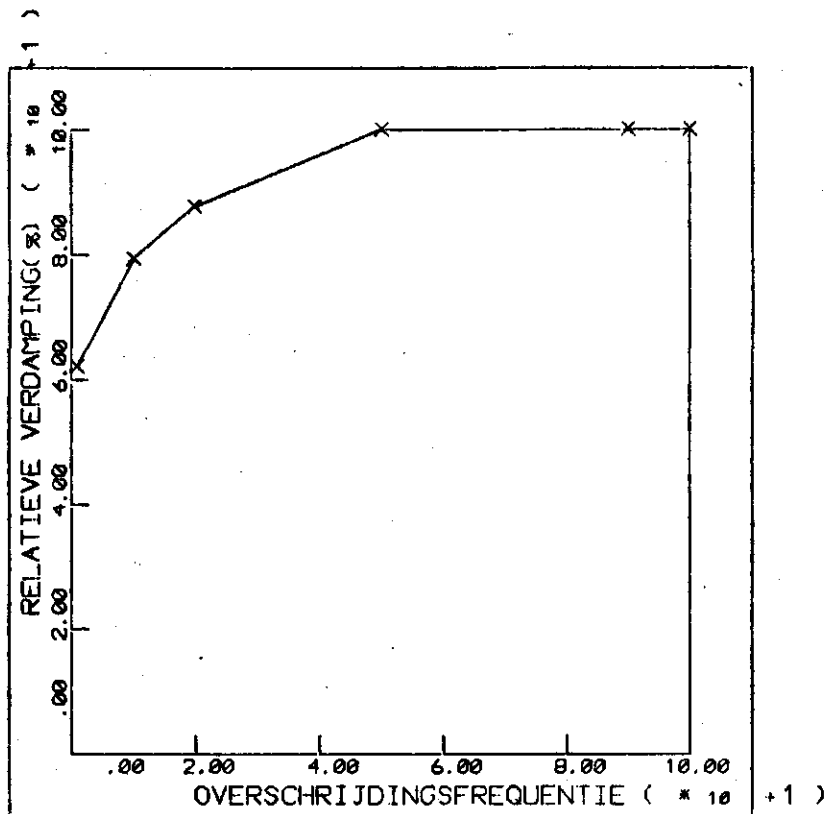
Tabel 6. De aan de drie profielen toegekende k- Ψ relaties voor de ondergrond

Nr k- Ψ ondergrond	K_o cm.dag ⁻¹	α cm ⁻¹	ψ_a cm	ψ_{max} cm	a cm ^{2,4} .dag ⁻¹
1	1120	0,224	10	80,0	0,080
22	70	0,085	0	117,7	2,50

2. GEVOELIGHEID VAN DE BODEMS VOOR DROOGTE EN GRONDWATERSTANDSDALING

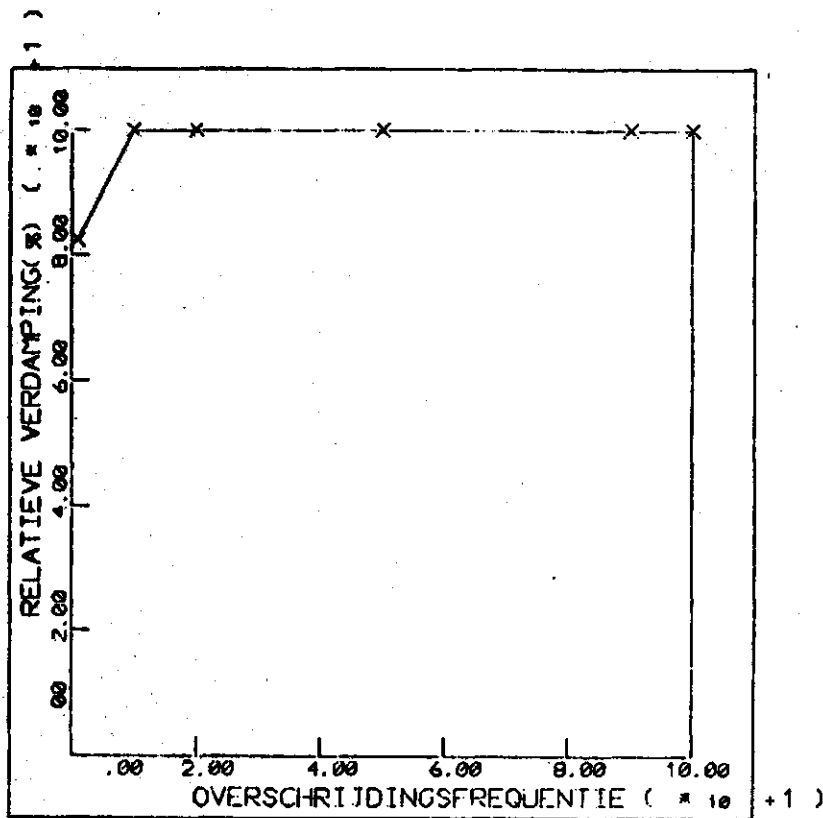
2.1. Een maat voor de gevoeligheid voor droogte

Voor de drie bovengenoemde profielen is de relatieve verdamping R , die optreedt in respectievelijk een 1, 10, 20, 50, 90 en 100% droog jaar uitgezet tegen de overschrijdingsfrequentie (fig. 1, 2 en 3), (een 10% droog jaar, is een jaar met 10% kans dat het betreffende verdampingsoverschot wordt overschreden, de overschrijdingsfrequentie is dus 10, enz.). De gegevens uit tabel 3 zijn hier gebruikt. Integratie van 0 tot 100% resulteert in een gewogen gemiddelde waarde \bar{R} in procenten (fig. 4).



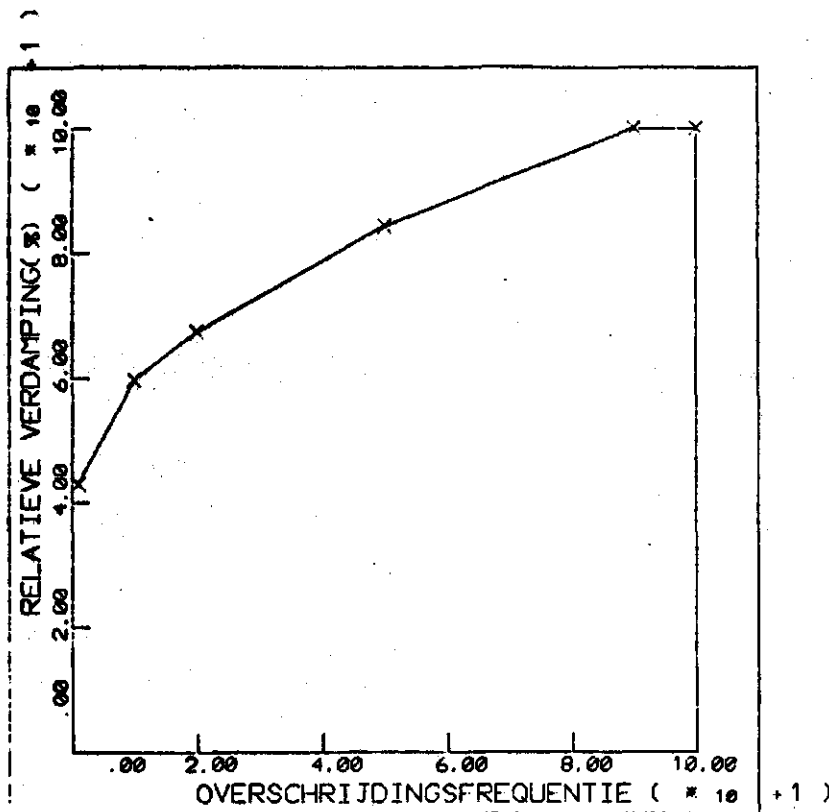
FIGUUR 1

Grafische weergave van de berekende relatieve verdamping in een laarpodzolgrond (CHn21, Gt VII) uitgaande van een 1, 10, 20, 50 en 90% droog jaar



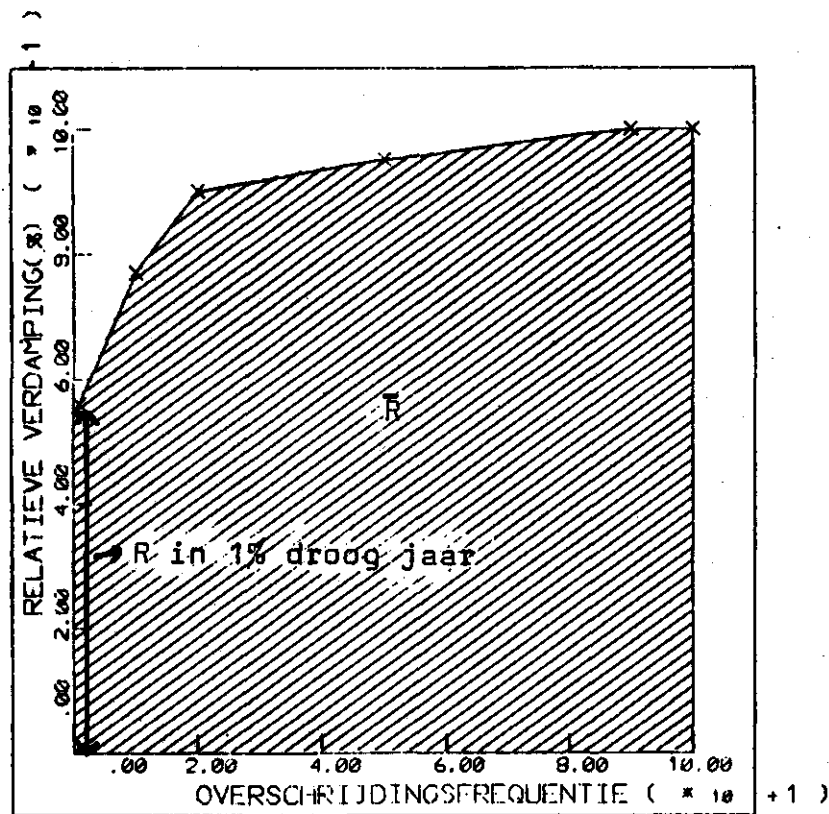
FIGUUR 2

Grafische weergave van de berekende relatieve verdamping in een bekeerdgrond (pZg21, Gt IV) uitgaande van een 1, 10, 20, 50 en 90% droog jaar



FIGUUR 3

Grafische weergave van de berekende relatieve verdamping in een vlakvaaggrond (Zn21g, Gt VI) uitgaande van een 1, 10, 20, 50 en 90% jaar



FIGUUR 4

$$D = \frac{\bar{R} \times R(1\%)}{100}$$

Bepaling van de droogtegevoeligheidsmaat D uit de gewogen gemiddelde relatieve verdamping \bar{R} en de relatieve verdamping R in een 1% droog jaar (zie tekst)

Als gevoeligheidsmaat voor droogte wordt nu gebruikt: het produkt D van de gewogen gemiddelde relatieve verdamping \bar{R} met de relatieve verdamping R in een 1% droog jaar, gedeeld door 100 (zie fig. 4). Het is duidelijk dat een lage en een hoge waarde van D duidt op respectievelijk een grote en geringe gevoeligheid voor droogte. De waarden van D staan voor de drie voorbeeld profielen gegeven in tabel 7.

Tabel 7. Waarden van de D, L, ΔE en G criteria voor de drie voorbeeld profielen

Bodem	Gt	D	L	ΔE	G
CHn21	VII	58	35	6,4	18
pZg21	IV	82	30	11,6	39
Zn21g	VI	35	∞	2,6	0

2.2. Een maat voor de gevoeligheid voor grondwaterstands- daling

Voor de drie profielen uit par. 1.3 is voor een 10%, 20% en een gewogen gemiddeld droog jaar de berekende relatieve verdamping uitgezet tegen een aantal verlagingen van de grondwaterstand ten opzichte van de natuurlijke toestand (fig. 5 t/m 7). Hiervoor zijn de gegevens uit tabel 3 gebruikt. De consequenties van een grondwaterstands-daling worden voor de drie genoemde profielen kort besproken.

Voorbeeld 1: laarpodzolgrond (CHn21)

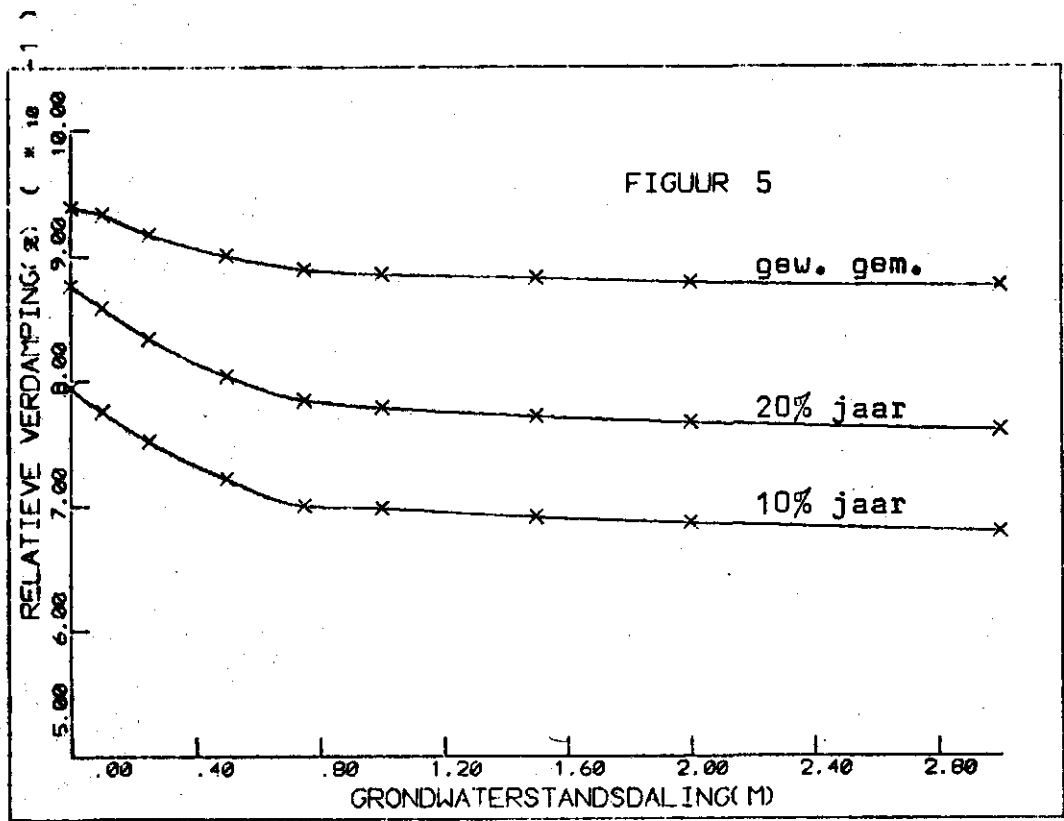
Een beworteling tot 40 cm in een matig vochthoudende bovengrond, matige capillaire eigenschappen en een diepe grondwaterstand (Gt VII) resulteren in een gewogen gemiddelde relatieve verdamping van 93,9% (zie fig. 5). Voor een 20% en 10% droog jaar is deze respectievelijk 87,6 en 79,4%. Bij verlaging van de grondwaterstand daalt de verdamping aanvankelijk vrij constant. Bij dalingen van meer dan 1,0 m neemt de verdamping echter nauwelijks verder af; dan is sprake van een hangwaterprofiel, waarin het effect van de grondwaterspiegel op de vochtleverantie te verwaarlozen is.

Voorbeeld 2: beekerdgrond (pzg21)

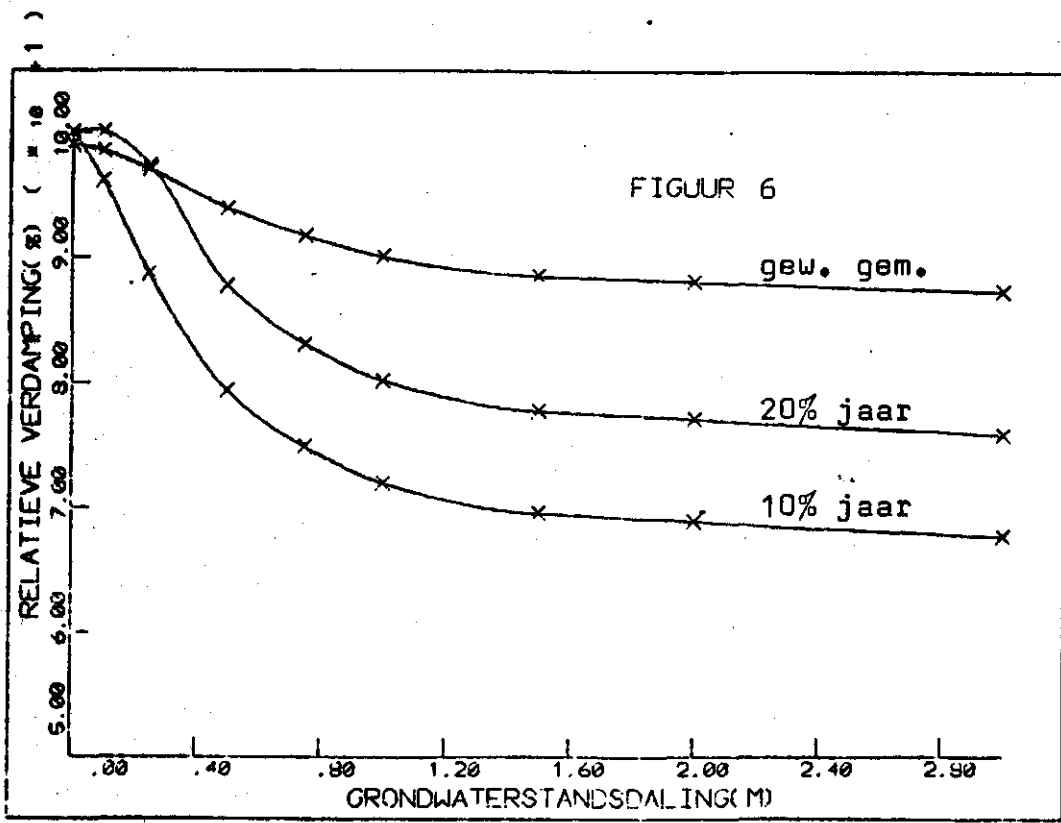
Een 30 cm diepe beworteling in een sterk vochthoudende bovengrond, matige capillaire eigenschappen en een matig diepe grondwaterstand (Gt IV) resulteren in een hoge gewogen gemiddelde relatieve verdamping van 99% (zie fig. 6), en waarden van 100% in een 20 en 10% droog jaar. Bij verlaging van de grondwaterstand treedt echter een zeer sterke daling van de verdamping op, die duidelijk groter is dan die in het vorige voorbeeld. De effecten van verlaging op de vochtleverantie zijn dus ook duidelijk groter.

Voorbeeld 3: vlakvaaggrond met grof zand en/of grind in de ondergrond (Zn21g)

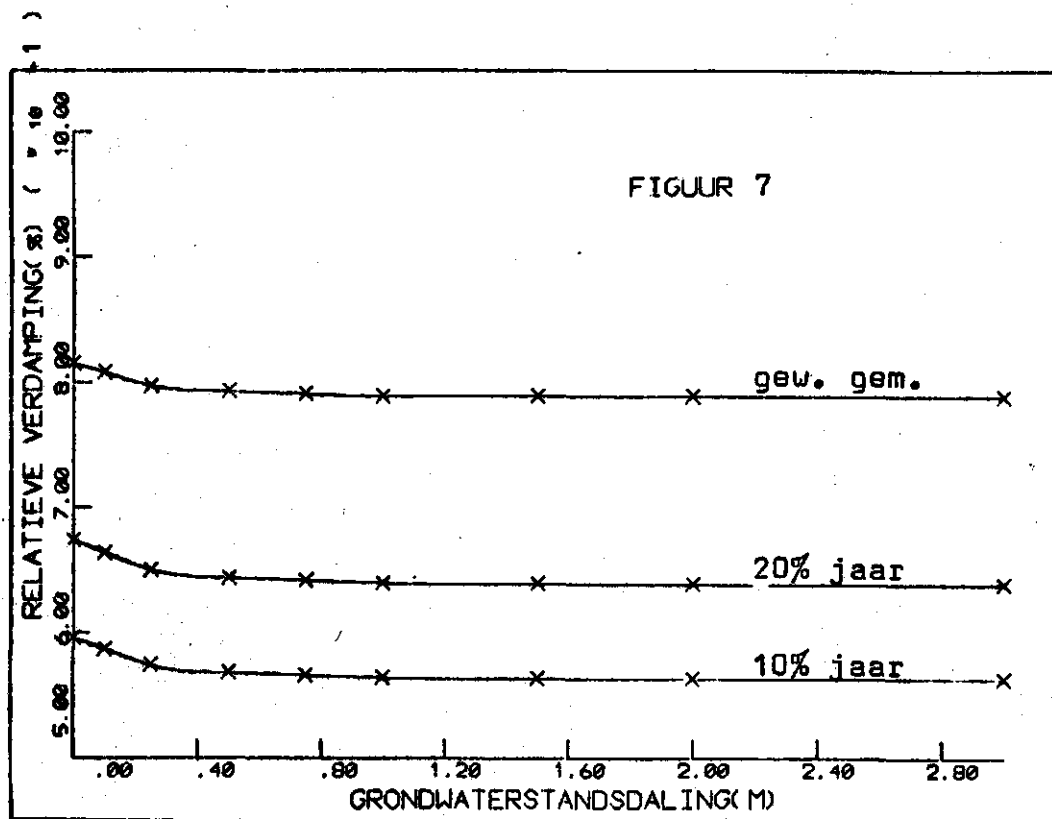
Een ondiepe beworteling tot 20 cm in een weinig vochthoudende bovengrond, geringe capillaire opstijging en een vrij diepe grondwaterstand (Gt VI) resulteren in een gewogen gemiddelde relatieve verdamping van 81,5% (zie fig. 7) en veel lagere waarden voor het 20 en 10% droog jaar (resp. 67,4 en 59,6%). Bij verlaging van de grond-



Grafische weergave van de berekende relatieve verdamping in een laarpodzolgrond (CHn21) uitgaande van de natuurlijke toestand (gt VII) en van een aantal verlagingen van de grondwaterstand



Grafische weergave van de berekende relatieve verdamping in een beekerdgrond (pZg21) uitgaande van de natuurlijke toestand (Gt IV) en van een aantal verlagingen van de grondwaterstand



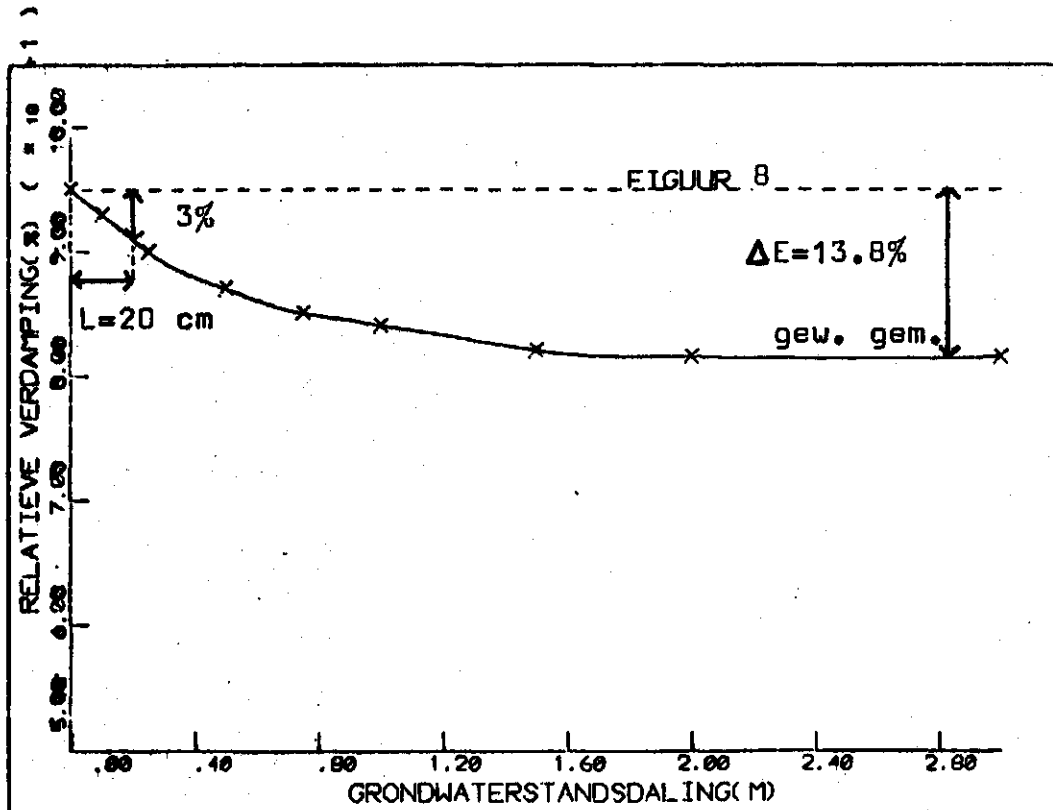
Grafische weergave van de berekende relatieve verdamping in een vlakvaaggrond (Zn21g) uitgaande van de natuurlijke toestand (Gt VI) en van een aantal verlagingen van de grondwaterstand

waterstand daalt de verdamping nauwelijks. Er is sprake van een hangwaterprofiel.

De hierboven besproken drie voorbeelden illustreren verschillend gedrag van de bodems als gevolg van een verlaging van de grondwaterstand. Voor het vaststellen van een eenduidige maat voor de aanwezige 'gevoeligheid' voor grondwaterstandsval is, in navolging van BOUMA e.a. (1979) besloten uit te gaan van de volgende elementen:

1. De gewogen gemiddelde relatieve verdamping 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 daling van de relatieve verdamping R van 3% te veroorzaken en de andere heeft betrekking op de maximale daling van de verdamping ΔE , die tengevolge van grondwaterstandsverlaging

kan optreden. Het laatste kan ook als volgt worden geformuleerd: hoe groot is de benodigde grondwaterstands­daling die van een grondwater­profiel een hangwaterprofiel maakt (zie fig. 8).



Toelichting bij de afleiding van de L en ΔE criteria gebruikt bij het vaststellen van een gevoeligheidsmaat voor grondwaterstands­daling (zie tekst)

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 duidelijke verdampingsreduktie als gevolg heeft, is de bodem gevoelig voor grondwaterstands­verlaging. Een grote L-waarde duidt derhalve op geringe gevoeligheid.

Hoewel juist de eerste 3% verdampingsreductie met het oog op de opbrengst een belangrijke rol zal spelen, is het ook van belang het effect van een eventueel verdere verlaging te kennen. Het ΔE criterium is hiervoor van nut. Is deze waarde klein dan is de bodem relatief weinig gevoelig voor verlaging van de grondwaterstand. Immers de bodem gedraagt zich snel als een 'hangwaterprofiel', waarbij verdere

verlaging geen effect heeft. Is de ΔE -waarde groot dan kan verlaging uiteindelijk resulteren in een forse verdampingsreductie.

Door het quotiënt G van ΔE en L te beschouwen worden beide criteria tot één gevoeligheidsmaat teruggebracht. Is deze waarde laag, dan is de bodem ongevoelig ($\Delta E =$ klein, $L =$ groot), is hij hoog dan is de bodem gevoelig. De waarden van de criteria L , ΔE en G staan voor de drie voorbeeld profielenge gegeven in tabel 7.

3. RESULTATEN EN CONCLUSIES

Bekijken we de waarden van gevoeligheidsmaten D , L , ΔE en G , die behoren bij de drie voorbeeld profielen (zie tabel 7) dan zien we dat voorbeeld 3 (Zn2lg, Gt VI, fig. 3) het meest gevoelig is voor droogte ($D = 35$). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de geringe hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone en de slechte capillaire eigenschappen van de ondergrond. Voorbeeld 1 (CHn2l, Gt VII, fig. 1) is matig gevoelig voor droogte ($D = 58$; dikke wortelzone, redelijke capillaire eigenschappen van de ondergrond) en voorbeeld 2 (pZg2l, Gt IV, fig. 2) is weinig gevoelig ($D = 82$; ondiepe grondwaterstand en redelijke capillaire eigenschappen van de ondergrond).

We zien verder dat de bodem die het meest gevoelig is voor droogte (Zn2lg, Gt VI) praktisch ongevoelig is voor grondwaterstands-daling ($G = 0$, zie fig. 7). Dit komt doordat er sprake is van een hangwaterprofiel, waardoor verdere verlaging van de grondwaterstand geen invloed heeft op de verdamping. Voorbeeld 1 (CHn2l, Gt VII, fig. 5) is matig gevoelig ($G = 18$) voor grondwaterstands-daling en voorbeeld 2 (pZg2l, Gt IV, fig. 6), welke weinig gevoelig is voor droogte is sterk gevoelig voor grondwaterstands-daling ($G = 39$). Dit wordt veroorzaakt door het snel minder worden van de capillaire nalevering als gevolg van het dalen van de grondwaterstand.

Met behulp van de vochtleverantieberekeningen, zoals weergegeven in tabel 3, zijn voor alle in het onderzoeksgebied voorkomende combinaties van bodemeenheden en grondwatertrappen op de bovenbeschreven wijze waarden uitgerekend van de criteria G (gevoeligheidsmaat voor grondwaterstands-daling) en D (gevoeligheidsmaat voor droogte).

Voor beide gevoeligheidsmaten is een indeling gemaakt in vijf klassen, lopend van 'niet tot weinig gevoelig' tot 'zeer gevoelig'. Met behulp van een aan iedere 'gevoeligheidsklasse' toegekende kleurencode zijn twee kaarten vervaardigd; één kaart die van de in het gebied voorkomende bodemtypen de gevoeligheid voor grondwaterstands-daling geeft en een kaart die de gevoeligheid voor droogte geeft. Beide kaarten hebben een schaal van 1:50 000. Een deel van beide kaarten is toegevoegd als bijlage 2. De kleuren zijn vervangen door een arcering.

De schaal van de kaart bepaalt de mate van detail waarmee de bodemgesteldheid kan worden weergegeven. Bij een schaal van 1:50 000 kan de opbouw van de bodem binnen een kaarteenheid grote verschillen vertonen. De schaal van de kaart maakt het bovendien moeilijk oppervlakten van minder dan ca. 10 ha (1 cm^2 op de kaart is 25 ha in het terrein) weer te geven. Het zal daarom duidelijk zijn, dat deze kaarten zich niet lenen voor het beoordelen van percelen. Deze kaarten zijn overzichtskaarten en dus niet geschikt voor gedetailleerd gebruik.

De schematisering van het bodemprofiel en de toewijzing van pF- en k- Ψ curven zijn gebaseerd op standaard profielbeschrijvingen, verkregen uit rapporten behorend bij de bodemkaarten. Bodems, die identiek zijn uit pedogenetisch oogpunt, kunnen echter verschillende bodemfysische eigenschappen hebben bijvoorbeeld als gevolg van verschillen in textuur van de ondergrond. De nadruk op het verkrijgen van representatieve gemiddelde fysische gegevens voor bodemeenheden gaat voorbij aan het feit dat een reeks van eigenschappen vaak meer relevant is dan een of andere gemiddelde waarde. Met dit in het achterhoofd kunnen de originele boringen van de bodemkundige, die op verschillende plaatsen binnen een bodemeenheid uitgevoerd zijn, waarde hebben voor het voorspellen van de reeks van eigenschappen van de bodemeenheid.

Fig. 9 geeft een voorbeeld van berekende relatieve produkties (direct afgeleid uit de berekende relatieve verdamping voor een bepaalde bodemeenheid). Hierbij zijn drie verschillende worteldiepten D_r genomen ($D_r = 50, 40$ en 30 cm) en twee verschillende k- Ψ relaties (resp. voor fijn zand ($k = 1$) en voor lemig fijn zand ($k = 2$)). Veldwaarnemingen binnen deze bodemeenheid resulteerde in deze reeks van

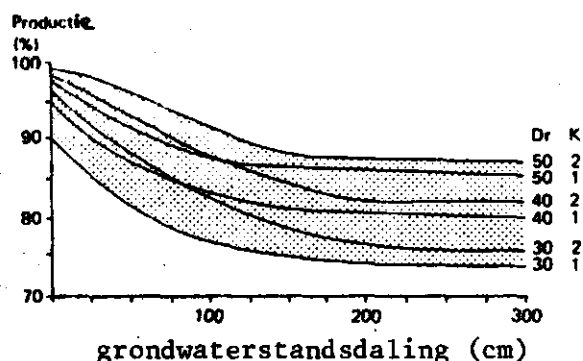


Fig. 9. Relatieve producties voor zes bodemprofielen, beschreven op zes verschillende plaatsen binnen een bodemeenheid. De profielen varieerden in bewortelingsdiepten (Dr) en $k-\psi$ relaties van de ondergrond (k). De relatieve produkties zijn gegeven voor de natuurlijke grondwaterstand en voor grondwaterstandsdingen tot 3 m (BOUMA e.a., 1980)

fysische gegevens. Het gestippelde deel in fig. 9 geeft nu de 'band' van eigenschappen van de betreffende bodemeenheid. De band is op te vatten als een soort betrouwbaarheidsinterval. Vergelijkingen tussen verschillende bodemeenheden zouden veeleer gebaseerd moeten zijn op dergelijke 'banden' in plaats van op enkele lijnen, welke slechts zijn gebaseerd op één boring of op een gemiddeld bodemprofiel.

Het is niet duidelijk of de gebruikte grondwatertrappen de huidige situatie steeds even nauwkeurig weergeven. In grote delen van het gebied is de hydrologische situatie de laatste jaren aanzienlijk gewijzigd. Oorzaken van deze veranderingen in de waterhuishouding zijn beekverbeteringen, A-2 werken, ruilverkavelingen, grondwateronttrekkingen en dergelijke. Afhankelijk van het opnametijdstip van de bodemkaarten en de tijd die verloopt totdat bovengenoemde ingrepen in de waterhuishouding tot uiting komen in profielkenmerken en/of het grondwaterstandsverloop, geven de grondwatertrappen de huidige situatie meer of minder nauwkeurig weer. Om eventuele moeilijkheden bij de interpretatie te ondervangen is een zo'n volledig mogelijke inventarisatie gemaakt van recente werkzaamheden in het gebied, die van invloed zijn op de waterhuishouding.

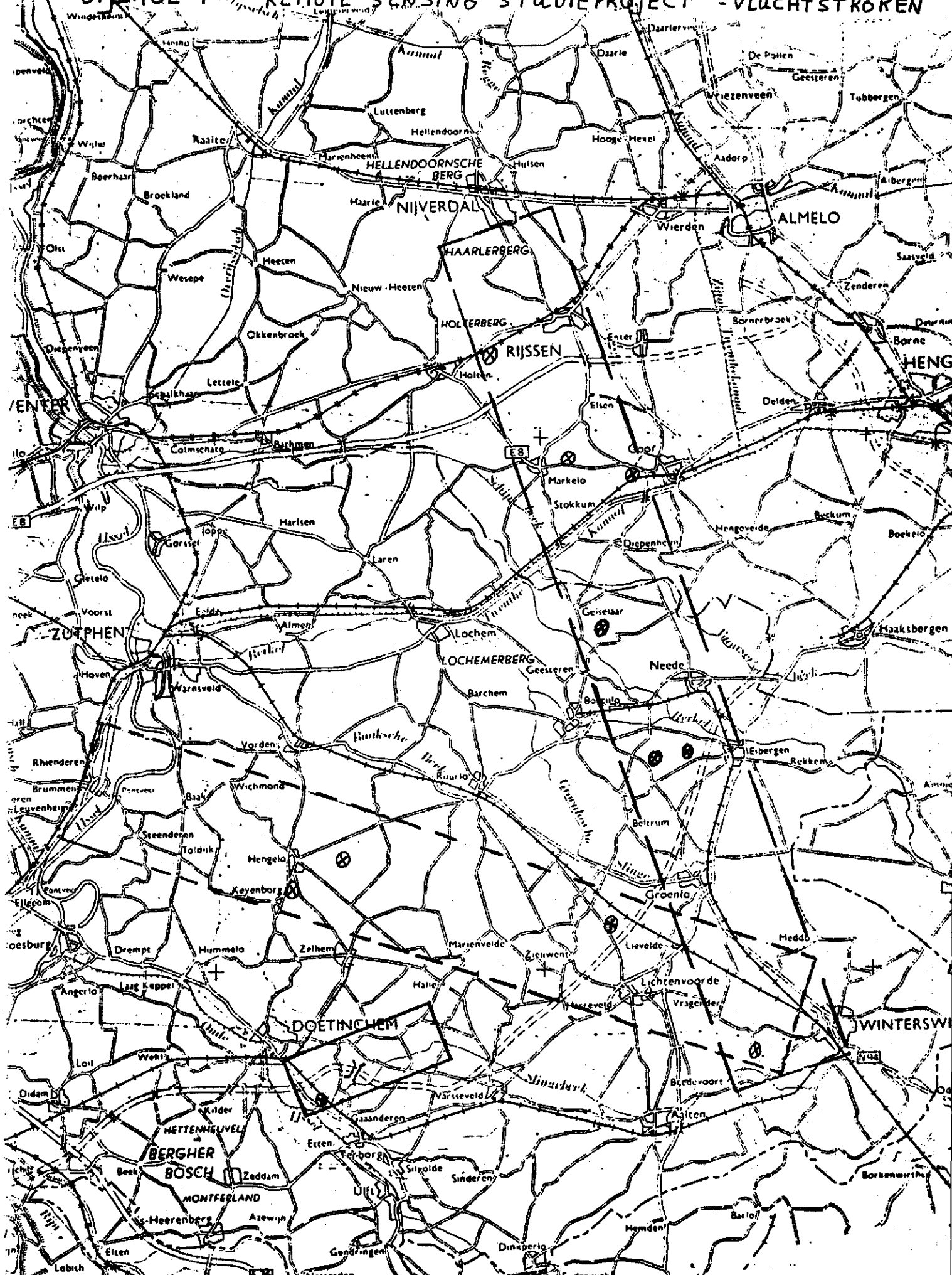
Ondanks alle bovengenoemde beperkingen geven beide kaarten toch een globale indicatie hoe de verschillende bodemeenheden zich ten

opzichte van elkaar gedragen in geval van droogte i.c. grondwaterstandsverlaging. De praktische bruikbaarheid van dergelijke kaarten zal wellicht getoetst kunnen worden met behulp van de remote sensing opnamen, in het bijzonder de warmtebeelden.

LITERATUUR

- BOUMA, J. (ed.), 1979. Overzichtskaarten met betrekking tot een aantal aspecten van de waterhuishouding in Gelderland. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, Stiboka rapport nr 1434, Wageningen.
- , P.J.M. DE LAAT, A.F. VAN HOLST en Th.J. VAN DE NES, 1980. Predicting the effects of changing water table levels and associated soil moisture regimes for soil survey interpretations. Soil science society of America Journal. Vol. 44, No. 4, p. 797-802.
- KRABBENBORG, A.J., 1973. Standaard pF-curven van fijnzandige zandgronden. Interne Mededeling 8, Stiboka.
- LAAT, P.J.M. DE en R.H.C.M. AWATER, 1978. Groundwater flow and evaporation. A simulation model. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, Arnhem.
- PROJECTTEAM REMOTE SENSING STUDIEPROJECT, 1981. Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. Beschrijving van het onderzoek, Deelrapport 1.
- RIJTEMA, P.E., 1969. Soil moisture forecasting. Nota 513, ICW, Wageningen.
- , 1971. Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade tengevolge van grondwateronttrekking. Nota 587, ICW, Wageningen.
- STICHTING VOOR BODEMKARTERING, 1975. Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000, blad 40 West Arnhem, blad 40 Oost Arnhem.
- , 1979. Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000, blad 34 West Enschede, blad 34 Oost Enschede, blad 35 Glanerburg.
- , 1979. Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000, blad 33 West Apeldoorn, blad 33 Oost Apeldoorn.

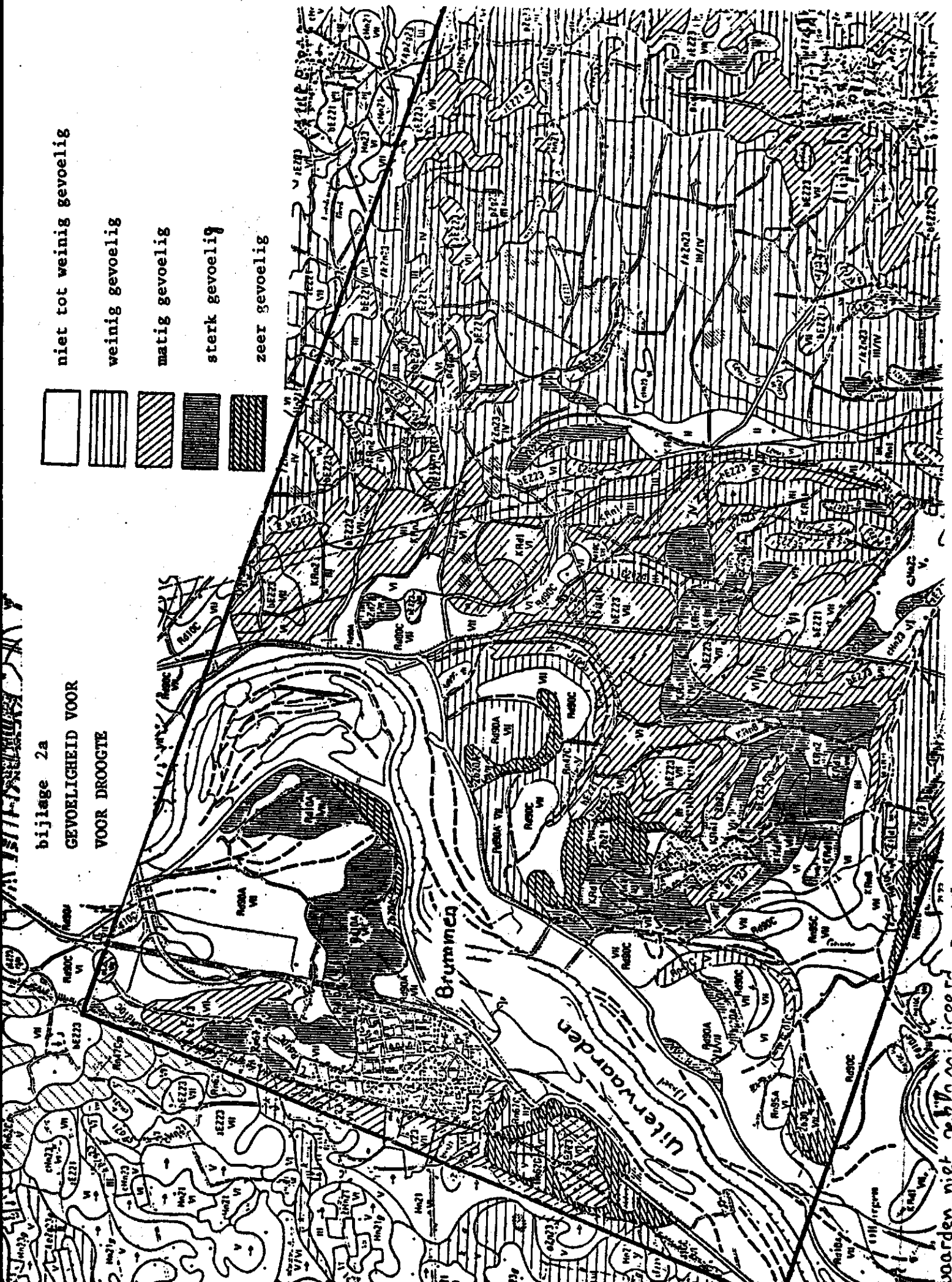
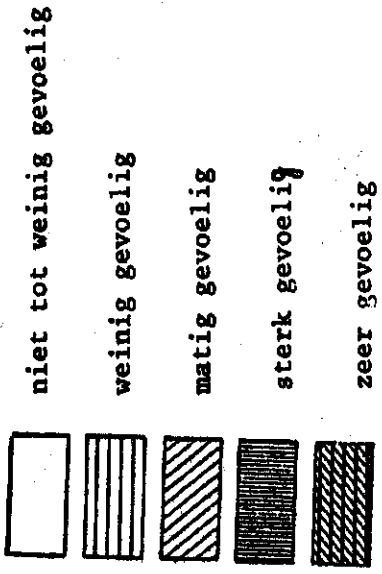
BIJLAGE 1 REMOTE SENSING STUDIEPROJECT - VLUCHTSTROKEN



bijlage 2a

GEVOELIGHEID VOOR

VOOR DROOGTE

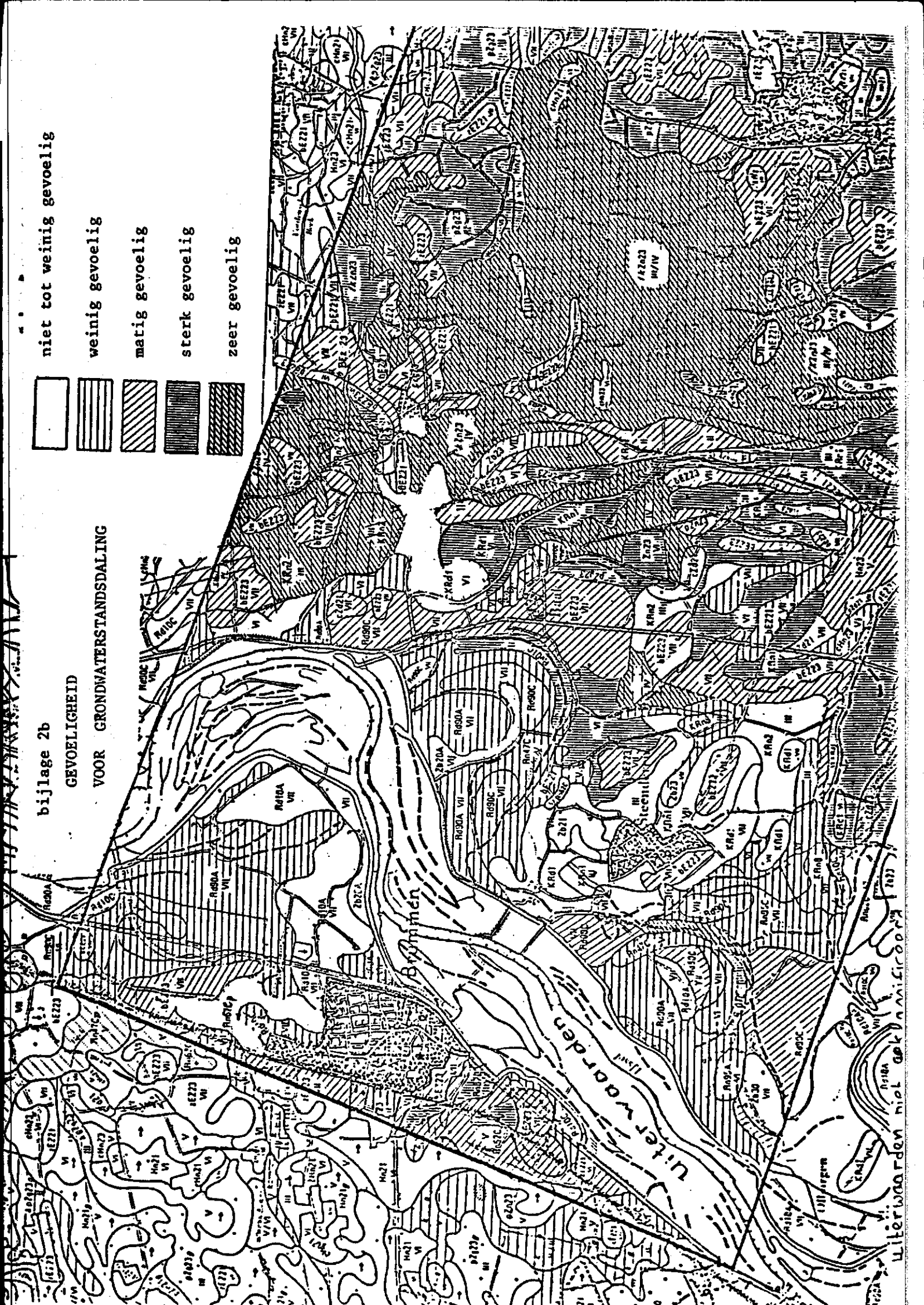


waarden niet ...

bijlage 2b

GEVOELIGHEID
VOOR GRONDWATERSTANDSDALING

- niet tot weinig gevoelig
- wenig gevoelig
- matig gevoelig
- sterk gevoelig
- zeer gevoelig



Literwörden niet gekantonneerd