

(047.1)1526 I

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

Rapport nr. 1526
Project nr. 63.2137

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

BODEMKUNDIG-HYDROLOGISCH ONDERZOEK TEN
BEHOEVE VAN GRONDWATERPLAN DRENTHE

G.H. Stoffelsen
en
A.F. van Holst

Wageningen, juni 1982

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Stichting voor Bodemkartering en de Prov. Waterstaat Drenthe.



10 SEP. 1982

JSN 164092_01

Redactie: J.C. van den Top



VOORWOORD

In het door de provincie te ontwerpen grondwaterplan, zoals dat in de grondwaterwet is voorzien, worden de hoofdlijnen van het te voeren beleid en de duidelijke keuzen ten aanzien van het grondwaterbeheer aangegeven. In het grondwaterplan dient een zo verantwoord mogelijke afweging van alle bij het grondwaterbeheer betrokken belangen te worden gemaakt, zodat per gebied de gewenste ontwikkelingen terzake van uitbreiding of beperking van grondwaterwinning kunnen worden aangegeven.

Een van de belangen die in het grondwaterplan worden onderscheiden is de landbouw. Teneinde de gevolgen van grondwaterwinning op de landbouw te kunnen kwantificeren is het onderhavige onderzoek uitgevoerd. Het omvat naast de inventarisatie en verwerking van bodemkundige basisgegevens de beschrijving van de gevolgde simulatiemethodiek van vochtleverantieberekeningen. Met het laatste worden o.m. de resultaten van ingrepen in de waterhuishouding zichtbaar gemaakt. (Gewasopbrengsten en opbrengstdervingen).

De berekeningsresultaten zijn, gezien onder meer de grote omvang, niet in dit rapport opgenomen. Op beperkte schaal - uitsluitend voor de leden van de Technische Werkgroep Grondwaterplan - is een computeruitvoer van de rekenresultaten aangemaakt. Ten behoeve van de Prov. Waterstaat zijn de rekenuitkomsten eveneens opgeslagen in een automatisch bestand (floppy-disc).

De opdracht voor het bodemkundig-hydrologisch onderzoek is in 1980 ontvangen van de Provinciale Waterstaat van Drenthe ten behoeve van voornoemde Technische Werkgroep Grondwaterplan.

Het onderzoek is verricht in 1980 en 1981 door G.H. Stoffelsen en Ir. A.F. van Holst, die samen ook de verslaggeving verzorgden. De simulatieberekeningen van de relatieve verdamping, opbrengsten enz. alsmede de toelichting daarop zijn uitgevoerd door Dr. P.J.M. de Laat (IHE - Delft). De vereiste bodemfysische parameters van gemengde veenkoloniale gronden zijn bijeengebracht en toegelicht door Ing. G.W. Bloemen (ICW - Wageningen). De technische en organisatorische leiding van het onderzoek berustte bij Ir. A.F. van Holst en Ing. H.J.M. Zegers.

DE DIRECTEUR VAN DE
STICHTING VOOR BODEMKARTERING

Ir. R.P.H.P. van der Schans

INHOUD		blz.
	VOORWOORD	3
1	INLEIDING	5
1.1	Algemeen	5
1.2	Doel van het onderzoek	5
1.3	Werkwijze	5
2	BODEMKUNDIG- HYDROLOGISCHE BASISGEGEVENS	10
2.1	De effectieve wortelzone	10
2.2	Het capillair geleidingsvermogen	11
2.3	Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en gemiddeld laagste grondwaterstand	12
3	DE K- Ψ RELATIES IN GEMENGWOELDE VEENPROFIELEN (G.W. Bloemen)	18
4	REKENPROCEDURE (P.J.M. de Laat)	27
5	LITERATUUR	34
6	AANHANGSEL	
AFBEELDINGEN		
1	Situatiekaart met bladindeling	6
2	Veranderingen in profielopbouw (vóór en na grondverbetering)	8
3	De K- Ψ relaties van de in par. e genoemde grondsoorten	21
4	De stijghoogte van een capillaire flux van 2 mm.d ⁻¹ als functie van de drukhoogte Ψ in de in afb. 3 genoemde grondsoorten	23
5	Maximale capillaire flux tot maaiveld bij toenemende grondwaterdiepte en een drukhoogte in de bovengrond van ca. 10 000 cm, vóór en na mengwoelen bij drie profielen	25
6	Berekening van een gewogen gemiddelde waarde voor E _{rel.}	30
TABELLEN		
1	Vocht karakteristieken wortelzone	14
2	Standaardondergronden	15
3	De K- Ψ relaties per ondergrond-type	16
4	Verdampingsgegevens voor gras en aardappelen	28
5	De potentiële opbrengst en de opbrengstderving per cm vochttekort voor de verschillende overschrijdingsfrequenties van de verdampingsoverschotsommen	31
6	Voorbeeld computeruitvoer	32

1 INLEIDING

1.1 Algemeen

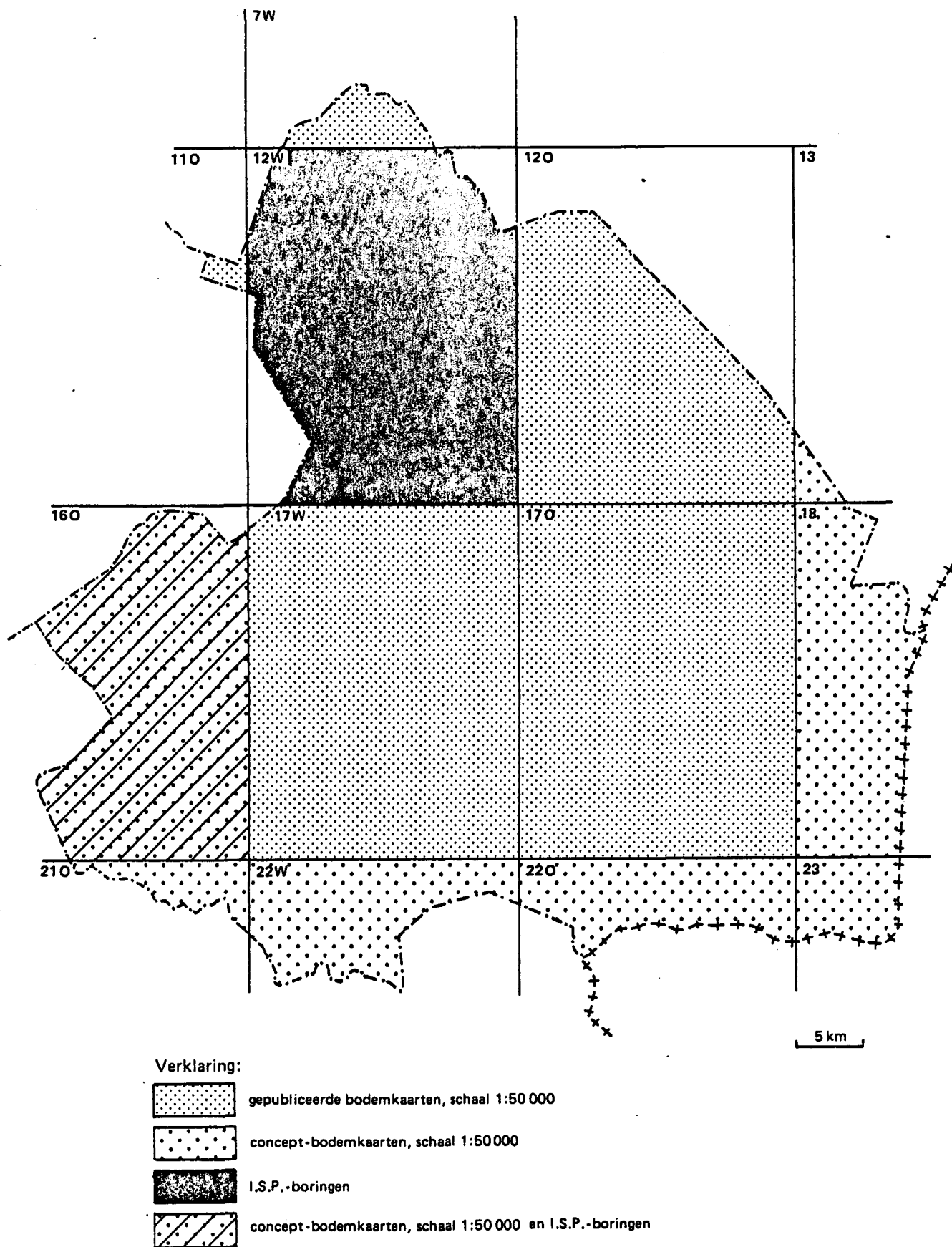
In opdracht van de Provinciale Waterstaat van Drenthe is een onderzoek uitgevoerd naar de waarde van de relatieve verdamping en de opbrengsten van gras en fabrieksaardappelen op de onderscheiden bodemkaartenheden in de provincie Drenthe.

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek was het verzamelen van bodemkundige, bodemfysische en hydrologische gegevens en deze zodanig te bewerken dat voor elke kaartenheid de relatieve verdamping, het vochttekort, de opbrengst en de opbrengstderving volgens het rekenmodel De Laat berekend konden worden. Dit is geschied voor de uitgangstoestand en bij acht uiteenlopende grondwaterstandsverlagingen. Tevens is het verloop van het vochttekort met de tijd en de gevoeligheid voor grondwaterstandsverlaging berekend.

1.3 Werkwijze

Door de Provinciale Waterstaat van Drenthe is aan de hand van bodemkundige gegevens in de vorm van bodemkaarten, voor de gehele provincie Drenthe (groot ca. 2700 km²) per km²-vak van de topografische kaart een inventarisatie van kaartenheden en een procentuele verdeling daarvan in oppervlakte gemaakt. Bij deze inventarisatie zijn alle voorkomende legenda-eenheden met grondwatertrappen en toevoegingen alsmede het bodemgebruik per km²-vak in tabelvorm gerubriceerd. De gegevens zijn, voor zover mogelijk, ontleend aan de Bodemkaart van



Afb. 1 Situatiekaart met bladindeling

Nederland, schaal 1 : 50 000 (afb. 1). Daarbij is gebruik gemaakt van de volgende kaartbladen: (de periode van opname is tussen haakjes achter het kaartbladnummer aangegeven):

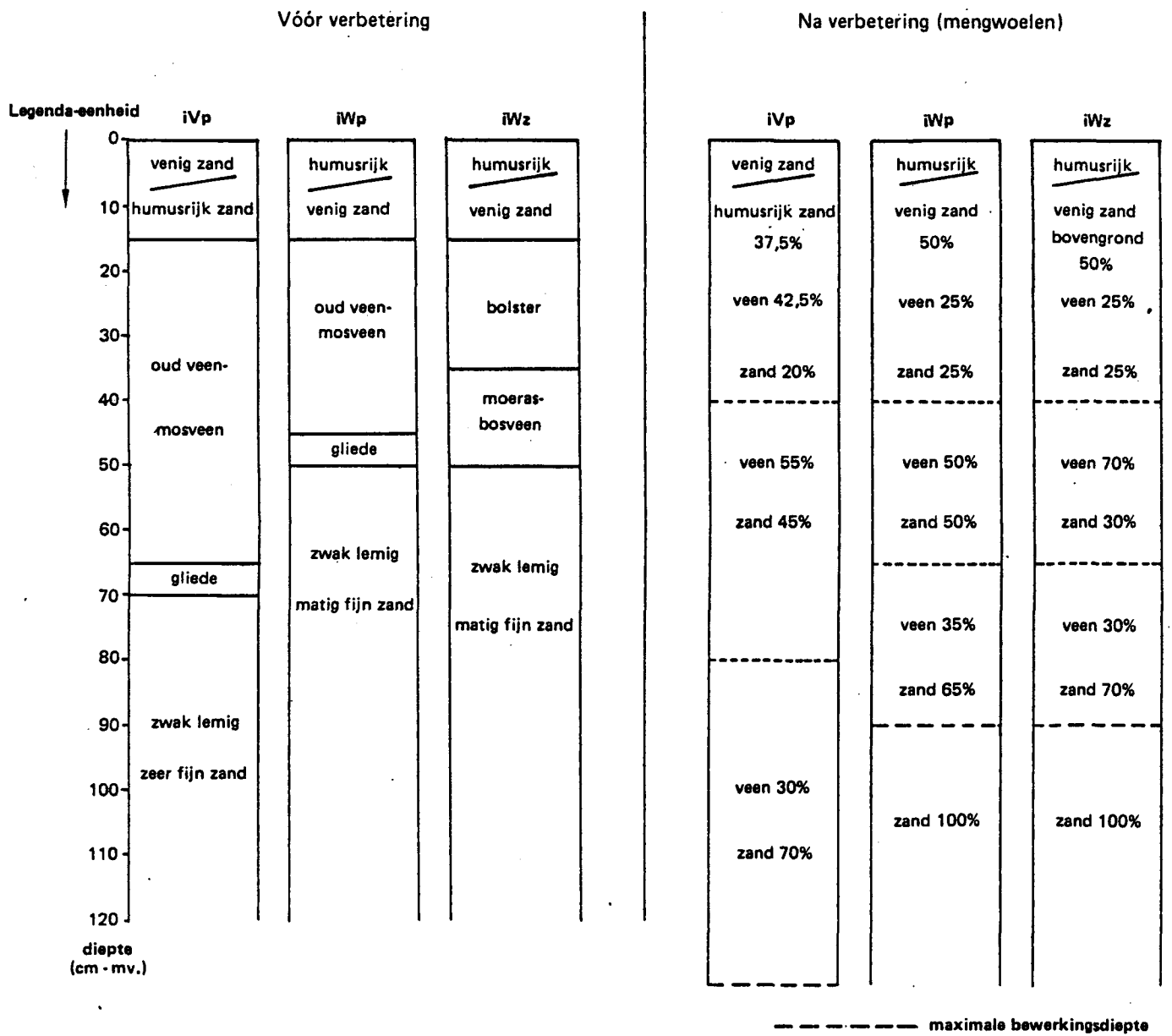
- a Kaartbladen 7 West ('63 t/m '68), 11 Oost ('63 t/m '67), 12 Oost ('70 t/m '72), 17 West en Oost ('65 t/m '76), welke gepubliceerd zijn.
- b Kaartbladen 13, 18 en 23 ('68 t/m '72), als concept-kaarten beschikbaar.
- c Kaartbladen 21 Oost, 22 West en 22 Oost, als concept-kaarten bruikbaar*.
- d Kaartblad 16 Oost, als concept-kaart aanwezig en bruikbaar, behoudens een oppervlakte van 4000 ha.

Van kaartblad 12 West was geen informatie aanwezig.

Teneinde de ontbrekende bodemkundige gegevens op de kaartbladen 12 West en 16 Oost aan te vullen is gebruik gemaakt van gegevens die verzameld zijn in het kader van het onderzoek Integraal Struktuur Plan Noorden des Lands. Dit betreft boorgegevens met een dichtheid van één waarneming per 100 ha op de snijpunten van de coördinaatlijnen.

De bodemgebruiksvormen zijn afgeleid van de topografische kaarten. De gebruiksvormen tuinbouw, bos, natuur en vervening zijn verder niet in dit onderzoek betrokken; grasland en akkerbouw (in de vorm van aardappelteelt) daarentegen wel. De aldus verkregen definitieve lijst van bodemkaartenheden van de provincie Drenthe is door de Stichting voor Bodemkartering als uitgangspunt genomen, om aan elke combinatie kaartenheid-cultuurtoestand de voor het rekenmodel benodigde parameters toe te kennen. Bij de toekenning van de bodemkundige parameters is gebruik gemaakt van bestaande archief- en literatuurgegevens en mondelinge mededelingen van de bodemkundig medewerker ter plaatse, de heer A.H. Booy. Met behulp van het daartoe aangepaste rekenmodel De Laat (deelmodel voor de onverzadigde zone van het simulatiemodel Gelgam) is uit de toegekende parameters

* Ten tijde van de rapportage waren de onder c-genoemde kaartbladen reeds in definitieve vorm gepubliceerd.



Afb. 2 Veranderingen in profielopbouw (vóór en na grondverbetering)

voor elke geïnterpreteerde combinatie van kaarteenheid en cultuurtoestand (gras of fabrieksaardappelen) de grootte van de relatieve verdamping, het vochttekort, de opbrengst en de opbrengstderving berekend (zie hoofdstuk 4). De uitkomsten voor gras en/of aardappelen betreffen zowel de waarden bij de droogteklasse-jaren 1,4, 5, 10, 20 en 50%, als de gewogen gemiddelde waarden. Overeenkomstige berekeningsuitkomsten zijn gegeven bij de volgende reeks grondwaterstandsverlagingen van 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 en 300 cm. Uitgangspunten bij deze berekening zijn, dat de potentiële opbrengsten van gras en aardappelen variëren in afhankelijkheid van het droogteklasse-jaar en dat de opbrengstderving per cm vochttekort gehanteerd wordt volgens de vastgestelde normen. Het materiaal hiervoor is door de Provinciale Waterstaat geleverd, evenals de verdampings-overschotsommen behorend bij de verschillende droogteklasse-jaren voor Drenthe voor de gewassen gras en aardappelen. Uitgaande van de uitgangstoestand als 100% opbrengstniveau zijn tevens rekenresultaten verstrekt inzake gevoeligheid voor grondwaterstandsverlaging betreffende de gewogen gemiddelde opbrengsten. Het vochttekort per decade in de verschillende droogteklasse-jaren is alleen voor de uitgangstoestand gegeven. De groeiperiode van gras is vastgesteld op 18 decaden (1 april tot 30 september); van fabrieksaardappelen op 13 decaden (1 mei tot 10 september). Ten aanzien van de veenkoloniale gronden is uitgegaan van het gegeven, dat deze gronden worden beoordeeld als zijnde verbeterd (gemengwoeld). Dit geldt met name voor de legenda-eenheden iVp, iWp en iWz (zie afb. 2). Ten aanzien van de legenda-eenheden iVs, iVc en iVz is besloten, dat deze als niet-verbeterd worden beoordeeld.

2 BODEMKUNDIG-HYDROLOGISCHE BASISGEGEVENS

Bij het toekennen van bodemkundige en hydrologische parameters is gebruik gemaakt van bestaande archief- en literatuurgegevens en veldbodemkundige kennis. Dit betreft:

- a de dikte en de vocht karakteristiek (pF-curve) van de effectieve wortelzone;
- b het capillair geleidingsvermogen ($K-\Psi$ relatie) en de vocht karakteristiek van de verschillende lagen beneden de effectieve wortelzone; (de laagopvolging bepaalt het ondergrondtype);
- c de grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen: de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), en de grondwaterstand aan het eind van het groeiseizoen: de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG).

2.1 De effectieve wortelzone

De effectieve wortelzone wordt gedefinieerd als het gedeelte van de bovengrond waarin 80% van de wortelmassa aanwezig is. Voor een nadere begripsbepaling en de bijbehorende randvoorwaarden wordt verwezen naar Rijtema (1971). De vochtleverantie door de effectieve wortelzone wordt in de eerste plaats bepaald door de dikte van deze zone. Naar aanleiding van gesprekken met o.a. ICW en LD is bepaald, dat met het oog op de verwerking, de maximale bewortelingsdiepte voor gras 30 cm bedraagt, terwijl deze voor aardappelen maximaal 50 cm kan bedragen. Daarnaast is van belang de hoeveelheid beschikbaar vocht per decimeter zijnde het verschil tussen het evenwichtsvochtgehalte aan het begin van het groeiseizoen en het verwelkingspunt (pF 4,2). Deze beschikbare hoeveelheid vocht kan bij een gegeven voorjaarsgrondwaterstand uit de vocht karakteristiek(en) van de effectieve wortelzone worden afgeleid. Deze standaardvocht karakteristieken zijn afkomstig van de Afd. Bodemtechniek van Stiboka.

Op basis van vergelijking zijn deze vocht karakteristieken aan de verschillende in Drenthe onderscheiden eenheden toegekend. Door de variatie in profielopbouw zijn in sommige gevallen aan de wortelzone twee vocht karakteristieken meegegeven. Ten aanzien van de, als verbeterd beschouwde veenkoloniale gronden kan worden opgemerkt, dat de vocht karakteristieken van de wortelzone berekend zijn uit de gemiddelden van de samenstellende bestanddelen, zoals deze na de bewerking in de wortelzone kunnen voorkomen (zie afb. 2). In totaal zijn 61 verschillende vocht karakteristieken voor de wortelzone gehanteerd (zie tabel 1 blz. 17).

2.2 Het capillair geleidingsvermogen (type standaardondergrond)

De capillaire vocht aanvoer gedurende het groeizeizoen vanuit de ondergrond naar de effectieve wortelzone, wordt bepaald door het verloop van de drukhoogte (zuigspanning) aan de onderzijde van de wortelzone en door de afstand van de wortelzone tot het grondwater (z) met de tijd, alsmede door het capillair geleidingsvermogen ($K-\Psi$ relatie) van de ondergrond. Voor de vocht leverantie heeft Rijtema (1970) een reeks van 20 standaard-ondergronden opgesteld, waarvan de hydrologische eigenschappen in termen van vocht karakteristiek en capillair geleidingsvermogen beschreven zijn. Daarnaast zijn door De Laat (zie hoofdst. 4), in het kader van het onderzoek in het Waterwingebied 't Klooster, nog enkele standaard-ondergronden aan de reeks toegevoegd (Bouma en Van Heesen, 1979). Voorts zijn door Bloemen (ICW) $K-\Psi$ relaties berekend voor veengronden, moerige en gemengwoelde veenkoloniale gronden (zie hoofdst. 3). Deze zijn in tabel 2 (blz. 18) aangeduid als Bl. 1 t/m 9. Tenslotte is nog gebruik gemaakt van de vocht karakteristieken en het capillair geleidingsvermogen van keileem en kleigronden bepaald door Stiboka, in tabel 2 aangegeven met OVB nummer en S nummer.

De samenstelling van de ondergrond van Drenthe wisselt sterk, vandaar dat homogene ondergronden (d.w.z. ondergronden die tussen de effectieve wortelzone en 120 cm diepte geen materiaal bevatten, dat qua hoedanigheid of textuur één klasse of meer afwijkt) procentueel gezien weinig voorkomen. Vandaar dat er in totaal 84 ondergrond-typen zijn onderscheiden. Hierbij zijn per type maximaal 4 verschillende lagen gekarakteriseerd (zie tabel 3 blz. 19).

2.3 Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en gemiddeld laagste grondwaterstand

Voor de berekening van het vochtleverend vermogen met het door De Laat ontwikkelde rekenmodel, worden twee hydrologische parameters ingevoerd. Dit zijn de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Aangezien produktie, dus ook groei, nauw gerelateerd is aan de verdamping van het gewas, is voor gras aangenomen dat de groei aanvangt op het tijdstip, dat gemiddeld de verdamping de neerslag overtreft.

Voor Drenthe is 1 april als begindatum genomen. Voor aardappelen is 1 mei als begin van de groeiperiode gesteld, omdat dit globaal gezien het tijdstip is waarop het loof boven de grond komt. De berekening is echter voor beide gewassen op 1 april gestart, waarbij voor aardappelen tot 1 mei de verdamping van kale grond is aangenomen. Als begingrondwaterstand is de GVG genomen, zijnde de gemiddelde op 15 april optredende grondwaterstand.

De gemiddeld laagste grondwaterstand wordt geacht aan het eind van een "normaal" groeiseizoen op te treden. Bij natte gronden is dit veelal wat vroeger en bij droge gronden veelal wat later. Het einde van de berekeningsperiode is voor gras op 30 september

en voor fabrieksaardappelen op 10 september gesteld. De toegekende hydrologische parameters zijn standaardwaarden, die in voorkomende gevallen zijn gecorrigeerd en aangepast. Zo kunnen minder goed doorlatende veen-, gliede- en keileemlagen, GVG-verhogend werken terwijl bijvoorbeeld grof zand in de ondergrond als GVG-verlagend kan functioneren.

Tabel 1 Vochtkarakteristieken wortelzone

Nr. vocht-karakteristiek	Nr. vocht-karakteristiek (intern)	Vochtgehalte in volume % bij:													
		pF 0	1,0	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,2
		ψ 0	10	20	31	50	100	200	250	500	1.000	2.500	5.000	10.000	16.000
1	VI-6	80	78	76	73	71	67	60	59	54	47	37	33	29	27
2	III-3-2	36	35	34	33	30	18	13	12	9	7	5	4	3	3
3	VI-1-8	65	63	62	60	59	54	47	46	39	33	27	23	20	18
4	III-1-5	46	44	42	40	37	29	24	22	18	14	11	9	8	7
5	VI-2	90	87	85	84	80	72	62	61	48	35	25	22	18	16
6	VI-1-3	59	55	54	52	50	47	42	40	34	27	21	17	15	13
7	VI-1-2	59	55	54	52	51	45	36	34	28	24	20	17	14	13
8	VI-5	88	85	83	81	79	71	66	65	59	43	32	27	23	21
9	VI-1-5	61	58	57	55	53	49	42	39	33	28	24	21	18	16
10	VI-1-6	61	58	57	55	54	51	45	44	39	33	26	22	19	17
11	IV-1-2	44	41	40	38	37	32	26	24	20	17	13	11	9	8
12	IV-1-3	46	43	41	40	38	33	27	25	20	17	12	11	9	8
13	V-1-4	46	43	41	40	38	34	29	27	23	20	16	13	11	10
14	IV-1-7	59	56	54	53	51	47	37	35	29	25	20	17	15	14
15	VI-4	89	87	84	82	80	75	68	66	62	47	39	31	25	21
16	IV-1-8	59	56	54	53	51	48	42	40	34	28	23	20	17	15
17	II-1-8	51	45	43	41	38	31	24	22	18	16	13	11	9	8
18	II-2-2	48	42	40	37	34	21	15	14	11	9	7	6	4	4
19	II-1-9	50	46	44	42	39	34	27	25	21	18	14	12	10	8
20	II-2-6	44	40	37	35	30	21	15	14	11	9	7	6	5	4
21	II-1-5	46	41	38	36	34	27	21	20	16	14	11	9	8	7
22	II-2-4	45	40	38	35	31	13	9	8	7	5	4	3	3	2
23	III-1-8	50	47	45	43	41	35	28	26	21	17	13	11	9	8
24	III-2-5	44	42	40	37	33	26	21	20	16	14	11	9	8	7
25	III-1-9	50	47	46	45	42	37	31	30	26	20	15	14	12	10
26	I-1-5	50	45	43	41	38	30	24	22	18	15	11	9	8	7
27	I-4-5	45	40	38	37	31	23	16	15	13	11	10	8	7	6
28	I-1-1	48	41	39	38	32	22	19	17	14	10	7	5	4	4
29	I-4-7 ^b	38	35	32	30	25	14	10	9	7	6	5	4	3	3
30	III-2-3	50	49	48	46	45	42	38	37	33	29	24	21	18	16
31	I-1-6	50	45	44	43	39	34	25	24	20	16	13	11	9	8
32	I-4-3	49	47	45	43	42	37	30	29	24	21	18	16	14	12
33	III-2-4	44	41	38	37	31	24	18	17	15	12	10	8	7	7
34	I-4-4	45	40	39	36	28	19	14	14	12	9	8	6	5	5
35	I-1-7	53	48	46	44	41	36	29	27	22	18	15	12	11	9
36	I-1-4	50	44	42	39	36	28	23	21	17	13	10	8	6	5
37	I-4-4 ^a	49	44	41	37	30	20	16	14	12	10	8	7	6	5
38	I-1-2	48	42	40	39	33	25	20	18	15	11	8	7	5	5
39	I-4-1	49	45	43	41	38	31	26	24	21	18	15	13	11	10
40	I-1-9	53	49	48	46	45	40	31	30	25	22	18	15	12	11
41	II-1-6	46	41	40	39	36	31	25	24	20	15	11	10	8	6
42	IV-1-5	50	47	46	44	42	38	31	29	24	20	16	13	11	10
43	IV-1-6	50	47	45	43	42	38	34	32	27	23	18	15	13	11
44	III-3-2 ^a	38	36	35	34	30	20	13	12	10	7	5	4	3	2
45	V-3-13	46	43	41	40	38	35	30	29	24	21	16	15	13	12
46	III-3-1	36	35	34	33	30	16	11	10	7	6	4	3	2	2
47	III-3-3 ^a	38	36	35	34	30	23	17	15	12	9	7	5	4	4
48	I-5-1 ^b	35	33	31	29	25	15	10	9	6	4	3	2	2	1
49	I-5-2 ^b	35	32	31	29	22	15	10	9	6	4	3	2	2	1
50	I-5-3 ^a	41	36	33	32	29	21	13	12	9	7	6	5	4	3
51	II-2-6	44	40	37	35	30	21	15	14	11	9	7	6	5	4
52	III-1-5	46	43	42	41	36	30	24	22	18	14	11	9	8	7
53	A	65	51	48	46	43	42	41	40	38	37	34	33	30	29
54	B	61	60	59	59	58	56	55	54	52	49	45	41	36	33
55	180.1	35	33	32	30	27	20	16	16	14	12	10	9	8	7
56	D	50	49	49	49	48	48	48	48	47	47	45	43	40	38
57	E	48	47	47	46	46	45	44	44	43	42	40	36	32	28
58	F	44	44	43	43	41	38	35	34	29	24	19	16	13	12
59	C	66	64	63	62	61	59	56	55	52	49	45	41	37	35
60	G	68	67	65	64	61	56	48	46	37	28	22	18	15	13
61	H	62	60	58	56	54	49	41	38	31	25	20	17	14	12

Tabel 2 Standaard-ondergronden

K-ψ relatie	L1	L2 (III-3-2)	R1	R3	R5 (II-1-4)	R5 (I-1-5)	R5 (I-2-5)	R5 (I-2-6)	R4							
Ko (cm.dag ⁻¹)	300	70	1120	110	1,0	1,0	1,0	1,0	50							
(cm ⁻¹)	0,138	0,085	0,224	0,0822	0,0269	0,0269	0,0269	0,0269	0,0500							
ψ (cm)	0	0	10	0	0	0	0	0	0							
ψ max (cm)	90	120	80	125	165	165	165	165	175							
(cm ^{2,4} .dag ⁻¹)	0,63	2,5	0,080	3,30	15,0	15,0	15,0	15,0	10,9							
nr. vochtka- rakteristiek	L1	III-3-2	R1	R3	II-1-4	I-1-5	I-2-5	I-2-6	R4							
vochtgehalte in vol.% bij:																
pF	ψ															
0	0	38,1	36,0	39,5	35,0	46,0	49,8	45,9	46,0	36,4						
1,0	10	34,9	35,0	21,5	32,5	41,0	45,0	41,4	42,8	35,2						
1,3	20	32,7	34,1	15,0	31,6	38,2	42,7	39,2	40,3	33,8						
1,5	31	30,6	32,7	10,7	30,5	36,0	40,8	37,0	38,2	32,0						
1,7	50	22,6	29,3	7,2	26,5	33,1	38,0	33,2	35,0	28,8						
2,0	100	11,8	18,2	3,2	15,5	23,7	30,1	25,5	26,9	19,6						
2,4	250	7,0	12,2	2,2	7,7	17,2	21,9	18,2	19,6	14,5						
2,7	500	5,0	9,5	1,8	6,1	14,2	18,1	14,1	15,8	12,0						
3,0	1000	3,2	7,3	1,5	5,0	12,0	14,8	11,0	12,9	9,1						
3,4	2500	2,0	5,3	1,4	4,3	9,7	11,5	8,2	10,2	6,6						
3,7	5000	1,7	4,1	1,3	3,2	8,3	9,6	6,9	8,6	5,5						
4,0	10000	1,6	3,2	1,2	2,5	7,1	7,9	5,6	7,1	4,6						
4,2	16000	1,5	2,7	1,1	2,3	6,3	6,9	4,9	6,5	4,2						
K-ψ relatie	B11 (VI-1-9)	B12 (VI-2)	B13 (VI-3)	B14 (VI-4)	B15 (VI-5)	B16 (VI-6)	B17a	B17b	B17c	B18a	B18b	B18c	B19a	B19b	B19c	
$K/\psi = Ke(\frac{\psi_w}{\psi})^n$																
Ke	120	0,355	0,5	0,8	0,4	0,02	40,1	32,1	48,2	51,4	35,5	44,9	51,1	21,5	47,8	
ψw	5,0	42,5	24,0	20,0	22,0	37,0	7,6	7,5	7,4	7,6	7,5	7,5	7,0	7,5	6,5	
n	1,93	2,10	2,20	2,50	2,45	1,40	2,37	2,32	2,34	2,38	2,33	2,34	2,37	2,27	2,48	
nr. vochtka- rakteristiek	VI-1-9	VI-2	VI-3	VI-4	VI-5	VI-6	B17a	B17b	B17c	B18a	B18b	B18c	B19a	B19b	B19c	
vochtgehalte in vol.% bij:																
pF	ψ															
0	0	65,0	90,0	91,0	89,0	88,0	80,0	68,4	66,2	52,5	61,8	63,5	55,3	61,8	73,4	52,0
1,0	10	62,6	87,0	89,0	86,5	85,0	77,1	67,0	64,7	51,2	59,5	62,0	53,9	59,5	71,2	50,4
1,3	20	61,3	85,0	87,5	84,3	83,0	75,0	65,0	63,5	50,1	57,9	60,8	52,8	57,9	69,5	49,2
1,5	31	60,2	83,0	86,2	82,5	81,0	73,0	63,0	62,1	48,8	56,1	59,5	51,4	56,1	67,7	47,7
1,7	50	58,9	80,2	84,3	80,0	78,3	71,0	61,0	59,6	45,8	54,0	56,8	48,6	54,0	64,9	44,5
2,0	100	56,1	73,5	80,5	75,5	73,5	67,0	56,0	52,5	39,0	48,5	49,4	40,0	48,5	57,8	35,2
2,4	250	51,5	56,0	71,0	67,0	65,0	60,5	46,0	42,0	29,8	38,0	39,5	30,5	38,0	46,5	27,3
2,7	500	47,0	45,0	59,0	57,0	55,5	54,0	37,0	34,5	23,3	30,5	32,1	24,5	30,5	38,5	22,3
3,0	1000	39,0	36,0	42,0	46,0	43,0	46,5	28,6	26,4	17,7	25,2	24,7	19,5	25,2	31,6	17,7
3,4	2500	29,5	26,5	29,0	35,5	32,0	38,0	22,6	18,3	12,4	20,0	17,2	13,6	20,0	23,9	13,3
3,7	5000	25,0	21,8	23,3	29,0	26,8	33,0	18,2	14,7	9,9	17,0	13,7	10,8	17,0	19,5	10,7
4,0	10000	21,5	18,0	19,4	24,5	22,8	28,5	14,9	12,1	8,0	14,0	11,3	8,9	14,0	16,3	8,8
4,2	16000	19,5	16,0	17,5	22,0	20,5	26,0	13,3	10,8	7,1	12,3	10,1	7,9	12,3	14,5	7,8
K-ψ relatie	S1	OVB2	OVB3 (IX-5-6)	OVB3	OVB4											
$K = a \cdot \psi^{-n}$																
a (cm.dag ⁻¹)	4,74	56,0	50,0	50,0	30,0											
n	-1,164	-1,32	-1,30	-1,30	-1,24											
nr. vochtka- rakteristiek	S1	OVB2	OVB3	OVB3	OVB4											
vochtgehalte in vol.% bij:																
pF	ψ															
0	0	30,0	43,2	52,0	42,6	48,5										
1,0	10	29,0	39,9	49,6	40,1	46,4										
1,3	20	28,7	38,8	48,9	38,9	45,9										
1,5	31	28,2	37,8	48,1	38,0	45,3										
1,7	50	27,5	36,5	47,5	37,0	45,0										
2,0	100	26,1	34,4	46,1	35,5	44,1										
2,4	250	24,7	31,4	44,0	33,1	42,2										
2,7	500	23,5	29,2	41,9	31,5	40,5										
3,0	1000	22,0	27,0	38,3	29,5	38,3										
3,4	2500	20,0	24,1	32,5	26,9	36,0										
3,7	5000	18,5	21,8	28,9	24,2	33,0										
4,0	10000	17,0	19,0	25,5	22,0	30,0										
4,2	16000	16,0	17,4	23,6	20,5	27,7										

Tabel 3 De K-Ψ relaties per ondergrond-type

Onder- grond type	1e laag		2e laag		3e laag		4e laag	
	dikte	K-Ψ	dikte	K-Ψ	dikte	K-Ψ	dikte	K-Ψ
1	0-∞	B13/VI-3						
2	0-∞	B15/VI-5						
3	0-50	B15/VI-5	50-∞	OVB4				
4	0-50	B15/VI-5	50-∞	L2				
5	0-50	B15/VI-5	50-80	L2	80-∞	S1		
6	0-35	B15/VI-5	35-∞	L2				
7	0-75	B14/VI-4	75-85	L2	85-∞	S1		
8	0-70	B14/VI-4	70-∞	L2				
9	0-80	B15/VI-5	80-∞	L2				
10	0-50	B13/VI-3	50-∞	L2				
11	0-45	B13/VI-3	45-75	L2	75-∞	S1		
12	0-70	B15/VI-5	70-∞	L2				
13	0-70	B15/VI-5	70-80	L2	80-∞	S1		
14	0-75	B13/VI-3	75-∞	L2				
15	0-65	B13/VI-3	65-75	L2	75-∞	S1		
16	0-∞	B12/VI-2						
17	0-60	B15/VI-5	60-∞	R3				
18	0-65	B15/VI-5	65-85	R3	85-∞	S1		
19	0-55	B15/VI-5	55-∞	L2				
20	0-40	B15/VI-5	40-60	L2	60-∞	S1		
21	0-25	B13/VI-3	25-∞	L2				
22	0-20	B13/VI-3	20-50	L2	50-∞	S1		
23	0-15	B11/VI-1-9	15-∞	OVB4				
24	0-30	B15/VI-5	30-60	L2	60-∞	S1		
25	0-20	B15/VI-5	20-∞	L2				
26	0-30	B14/VI-4	30-∞	L2				
27	0-20	B14/VI-4	20-∞	L2				
28	0-20	B14/VI-4	20-50	L2	50-∞	S1		
29	0-∞	L2						
30	0-∞	R3						
31	0-30	B14/VI-4	30-60	L2	60-∞	S1		
32	0-55	R3	55-∞	S1				
33	0-∞	L1						
34	0-70	L2	70-∞	S1				
35	0-70	L1	70-∞	R1				
36	0-70	L1	70-∞	S1				
37	0-80	L1	80-∞	S1				
38	0-80	L1	80-∞	R1				
39	0-50	L1	50-80	B16/VI-6	80-∞	S1		
40	0-75	R3	75-∞	S1				
41	0-70	R3	70-∞	R1				
42	0-∞	R1						
43	0-55	L2	55-∞	S1				
44	0-40	L1	40-60	B16/VI-6	60-∞	L1		
45	0-40	L2	40-70	S1	70-∞	R1		
46	0-30	B16/VI-6	30-70	L2	70-∞	S1		

Vervolg tabel 3

Onder- grond type	1e laag		2e laag		3e laag		4e laag	
	dikte	K-Ψ	dikte	K-Ψ	dikte	K-Ψ	dikte	K-Ψ
47	0-75	L2	75-∞	R1				
48	0-45	L1	45-∞	S1				
49	0-45	L2	45-∞	S1				
50	0-30	B16/VI-6	30-∞	L2				
51	0-30	B16/VI-6	30-70	R3	70-∞	S1		
52	0-25	R5/II-1-4	25-∞	L1				
53	0-25	R5/I-1-5	25-∞	L1				
54	0-25	R5/I-2-5	25-∞	L1				
55	0-25	R5/I-2-5	25-70	L1	70-∞	S1		
56	0-25	R5/I-2-6	25-∞	L2				
57	0-∞	S1						
58	0-30	R3	30-∞	S1				
59	0-50	R3	50-∞	R1				
60	0-50	L1	50-∞	R1				
61	0-25	R5/I-2-6	25-70	L2	70-∞	S1		
62	0-∞	R4						
63	0-∞	OVB4						
64	0-20	OVB4	20-40	B16/VI-6	40-∞	OVB4		
65	0-45	OVB4	45-∞	B15/VI-5				
66	0-45	OVB3	45-∞	OVB3/IX-5-6				
67	0-55	OVB4	55-∞	OVB3				
68	0-50	OVB3	50-∞	OVB2				
69	0-60	B14/VI-4	60-∞	R3				
70	0-60	B14/VI-4	60-80	R3	80-∞	S1		
71	0-15	B17a	15-55	B17b	55-∞	B17c		
72	0-15	B17a	15-55	B17b	55-75	B17c	75-∞	S1
73	0-40	B17b	40-∞	B17c				
74	0-40	B17b	40-60	B17c	60-∞	S1		
75	0-15	B18a	15-40	B18b	40-65	B18c	65-∞	L2
76	0-15	B18a	15-40	B18b	40-65	B18c	65-∞	S1
77	0-25	B18b	25-50	B18c	50-∞	L2		
78	0-25	B18b	25-60	B18c	60-∞	B16/VI-6		
79	0-25	B18b	25-60	B18c	60-∞	S1		
80	0-25	B18b	25-60	B18c	60-∞	R1		
81	0-15	B19a	15-40	B19b	40-65	B19c	65-∞	L2
82	0-15	B19a	15-40	B19b	40-65	B19c	65-∞	S1
83	0-25	B19b	25-50	B19c	50-∞	L2		
84	0-25	B19b	25-50	B19c	50-∞	S1		

a. Een eenvoudige manier om de samenhang tussen het capillair geleidingsvermogen K en de vochtspanning Ψ weer te geven is de machtsfunctie van Brooks and Corey (1964). Deze is

$$K(\Psi) = K_s \left(\frac{\Psi_a}{\Psi} \right)^{n_d} \quad (1)$$

waarin K_s de verzadigde doorlatendheid voorstelt; Ψ_a is de drukhoogte van het bodemvocht waarbij de breedste doorlopende poriën hun capillair water verliezen; en n_d de snelheid voorstelt waarmee bij uitdroging na verzadiging K vanaf K_s afneemt als Ψ vanaf Ψ_a toeneemt. n_d is een maat voor de poriëngrootteverdeling. Om aan de met verg. (1) berekende K - Ψ relaties een grotere praktische betekenis te geven, moet de invloed van hysteresis zo goed mogelijk worden verantwoord. Daarom is verg. (1) gewijzigd in

$$K(\Psi) = K_e \left(\frac{\Psi_w}{\Psi} \right)^{n_s} \quad (2)$$

waarin K_e de grootste doorlatendheid is, die bereikt wordt door herverzadiging na uitdroging; Ψ_w is de drukhoogte waarbij K_e is bereikt; en n_s is de snelheid waarmee K vanaf K_e afneemt als Ψ vanaf Ψ_w toeneemt (Bloemen, 1980a). Als K en Ψ op log.-schalen worden getekend dan is de samenhang tussen K en Ψ rechtlijnig indien $\Psi < \Psi_w$ en $n_s = \frac{d(\log K)}{d(\log \Psi)}$. Indien $\Psi > \Psi_w$ dan is $K = K_e$.

b. Directe metingen van het capillair geleidingsvermogen K in gemengwoelde of anderszins verstoorde veenprofielen zijn niet beschikbaar. Over K -waarden van de verschillende lagen in een veenprofiel in natuurlijke ligging is voldoende bekend. Men zal dus K -waarden van de verstoorde lagen uit die van de ongestoorde lagen moeten afleiden. Er moeten daarom rekenfactoren bekend zijn, die de effecten van de verstoring voorstellen, hetzij direct op de K -waarden, hetzij op de constanten in de vergelijking, waarmee de K -waarden worden berekend. Ook hierover is niet zoveel be-

kend, maar Laliberte and Corey (1967) hebben door metingen aange-
toond dat door verstoring van de natuurlijke ligging van zand-,
klei- en leemmonsters de constante n wordt vergroot met de fac-
tor 1,54. Bloemen (1980a, p. 587) vond door vergelijking van in
de literatuur verschaftte gegevens, dat n -waarden in ongestoorde
en gestoorde monsters zich verhouden als 1 : 1,43. Op K_e en Ψ_w is
geen duidelijke invloed te vinden. Bij het berekenen van de K -
waarde van het door het mengwoelen aangeploegde zand zou men dus
de n_s -waarden in verg. (2) met ca. 1,5 kunnen vermenigvuldigen,
maar de voorkeur heeft b.v. een factor 1,25 omdat een deel van
het onmiddellijke effect van het mengwoelen door bezakking gauw
zal zijn verdwenen.

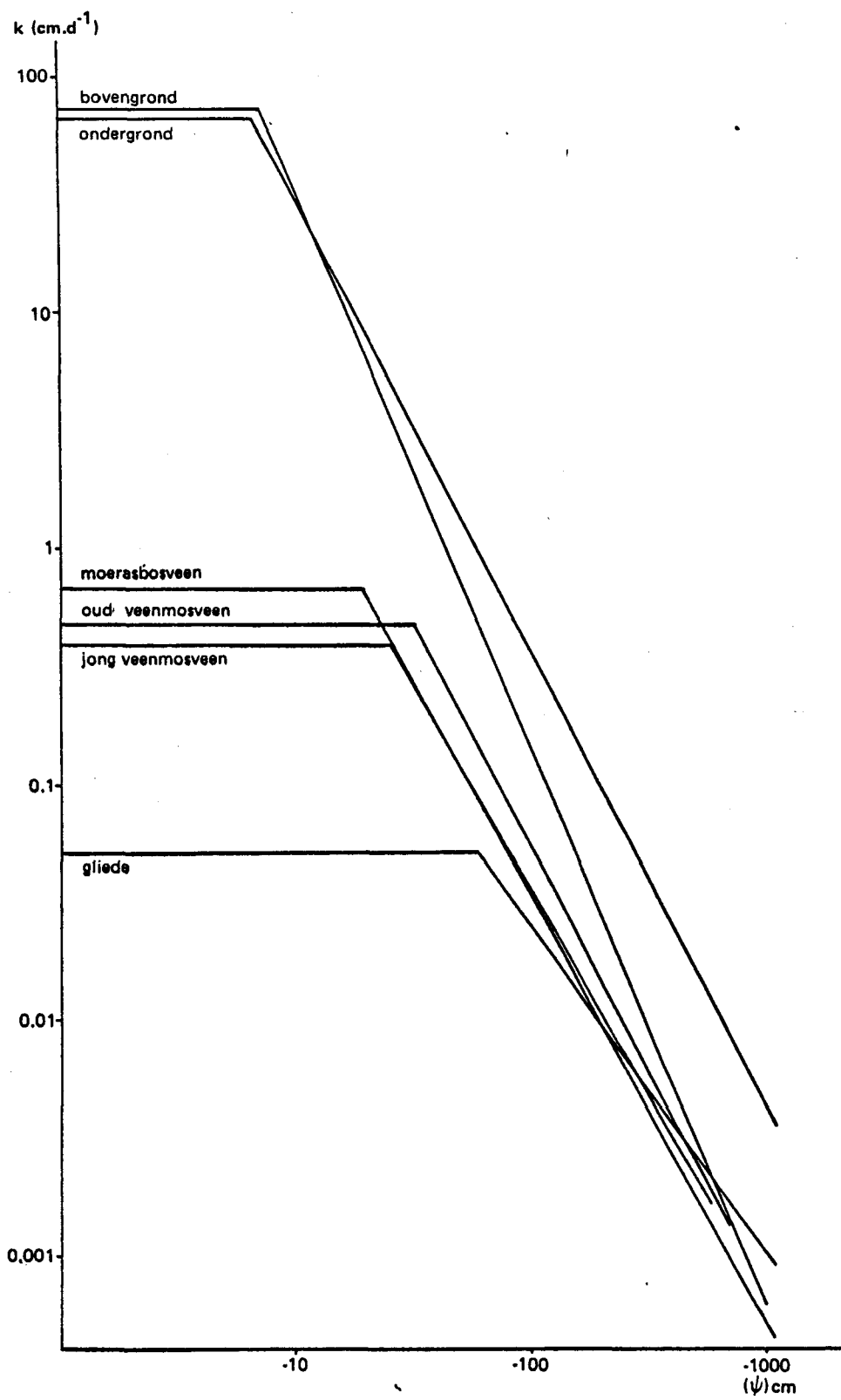
c. Veenlagen zullen door het mengwoelen niet op dezelfde wijze
als zandgronden hun natuurlijke samenhang verliezen maar in brok-
ken worden verdeeld, die verspreid in het profiel terechtkomen.
De brokken zelf behouden hun natuurlijke samenhang. Een eventuele
gelaagdheid in het veen zal een andere helling ten opzichte van
het phreatisch vlak krijgen. Dit kan consequenties hebben voor de
 K - Ψ relatie van de veenbrokken, die betrekking heeft op vertica-
le stroming. Door metingen is nl. aangetoond dat de verzadigde
doorlatendheid in veenmosveen in natuurlijke ligging in horizon-
tale richting ca. 7 x groter is dan in verticale richting als de
dichtheid van het veen gering is, en ca. 10 x groter bij grote
dichtheden. Voor de constante Ψ_a geldt een factor 0,5 (Bloemen,
1981). Nu zullen niet alle brokken van de opgebroken veenlaag
rechttop komen te staan en bij het berekenen van de K -waarden van
deze brokken zal men de K_e -waarden bv. met een factor 4 en de Ψ_w -
waarden bv. met een factor 0,75 kunnen vermenigvuldigen.

d. Vóór het mengwoelen zijn de K -waarden op een bepaalde diepte
in het veenprofiel bepaald door de constanten in verg. (2), die
voor de laag op die diepte gelden. Na het mengwoelen echter kan
op de diepte waar eerst een veenlaag voorkwam, nu een afwisseling
van veenbrokken en zandbanen voorkomen. De gemiddelde K -waarde

in een horizontale doorsnede op deze diepte zal worden bepaald door de oppervlakteverhoudingen tussen veenbrokken en zandbanen. Deze zal niet constant zijn. Aangenomen wordt, dat in het algemeen de gemiddelde oppervlakteverhoudingen per laag gelijk zullen zijn aan de in afb. 2 gegeven mengverhoudingen. Dit betekent dat als in een laag de mengverhouding 50% veen en 50% zand is, de constanten in verg. (2) voor deze laag het rekenkundig gemiddelde zijn van de constanten voor het veen en het zand waaruit de gemengde laag is gevormd. Bij andere mengverhoudingen wordt het gewogen gemiddelde berekend. Er dient wel eerst een omrekening van de constanten plaats te vinden, zoals bedoeld in par. b en par. c.

e. Het is duidelijk dat begonnen moet worden met het bepalen van de constanten in verg. (2) voor de verschillende lagen die in de oorspronkelijke profielen voorkomen. Welke dit zijn blijkt uit afb. 2. Voor de venige tot humusrijke zandbovengrond en de zwak lemige matig tot zeer fijne zandondergrond worden deze constanten bepaald zoals is aangegeven door Bloemen (1980) op grond van de textuur en het humusgehalte. Hiervoor werden de volgende uitgangsgegevens gebruikt:

Laag	% humus	in % van minerale delen							
		<2	2-16	16-50	50-75	75-105	105-150	150-220	>220 μm
zandboven- grond	23,5	1,8	10,1	15,2	12,8	16,9	25,9	12,1	7,0
zandonder- grond	1	3,5	1,9	13,4	11,4	23,5	24,8	13,4	7,4



Afb. 3 De K - ψ relaties van de in par. e genoemde grondsoorten

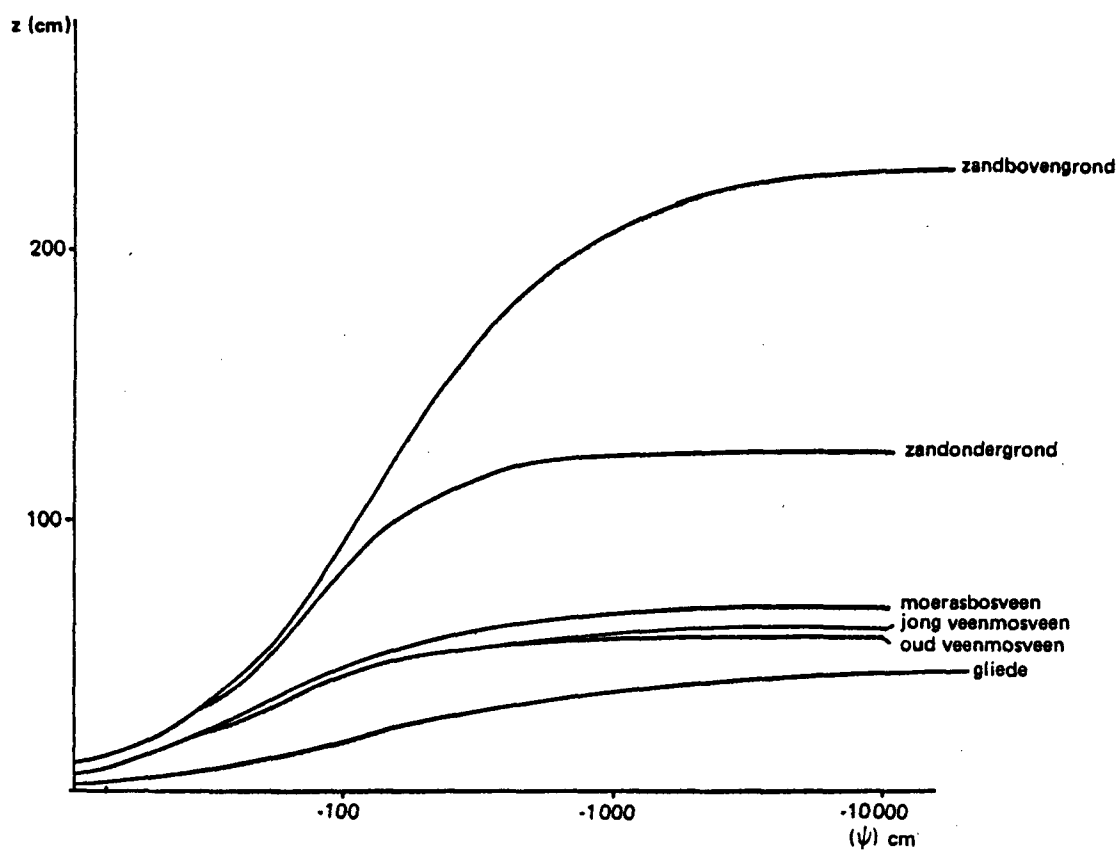
Hieruit werden de volgende waarden voor de constanten in verg. (2) berekend:

Laag	K_e (cm.d ⁻¹)	Ψ_w (cm)	n_s
zandbovengrond	73,3	-6,5	1,93
zandondergrond	67,5	-7,5	2,36

Voor het oud veenmosveen, de bolster, het moerasbosveen en de gliede worden de constanten in verg. (2) berekend zoals aangegeven door Bloemen (1981) op grond van dichtheden van resp. 0,14, 0,15, 0,175 en 0,32 g.cm⁻³ en organische-stofgehalten van resp. 90%, 90%, 85% en 65%. Deze gegevens zijn verstrekt door de Stiboka, evenals de textuurgegevens van de zandbovengrond en de zandondergrond. De constanten in verg. (2) voor de veenlagen krijgen nu de volgende waarden:

Laag	K_e (cm.d ⁻¹)	Ψ_w (cm)	n_s
oud veenmosveen	0,47	-23	1,91
jong veenmosveen	0,39	-25	1,81
moerasbosveen	0,67	-19	1,75
gliede	0,05	-59	1,39

In afb. 3 zijn de K- Ψ relaties van de zandbovengrond en de zandondergrond en van de veenlagen in beeld gebracht. De grote verschillen tussen zand- en veenlagen en die tussen de verschillende veenlagen komen nog duidelijker dan in afb. 3 tot uitdrukking in afb. 4, waarin de stijghoogte van een capillaire flux van 2 mm.d⁻¹ als functie van de vochtspanning is weergegeven. De vergelijkenderwijs geringe verschillen tussen de veenlagen zijn een gevolg van de geringe verschillen in dichtheid en organische-stofgehalte. De gliedelaag met veel grotere dichtheid onderscheidt zich duidelijk van de overige veenlagen. Voor de berekening van de lijnen in afb. 4 is aangenomen dat het veen of de gliede boven de grondwaterspiegel homogeen is tot op de hoogte z. Op deze berekening wordt ingegaan in par. g.



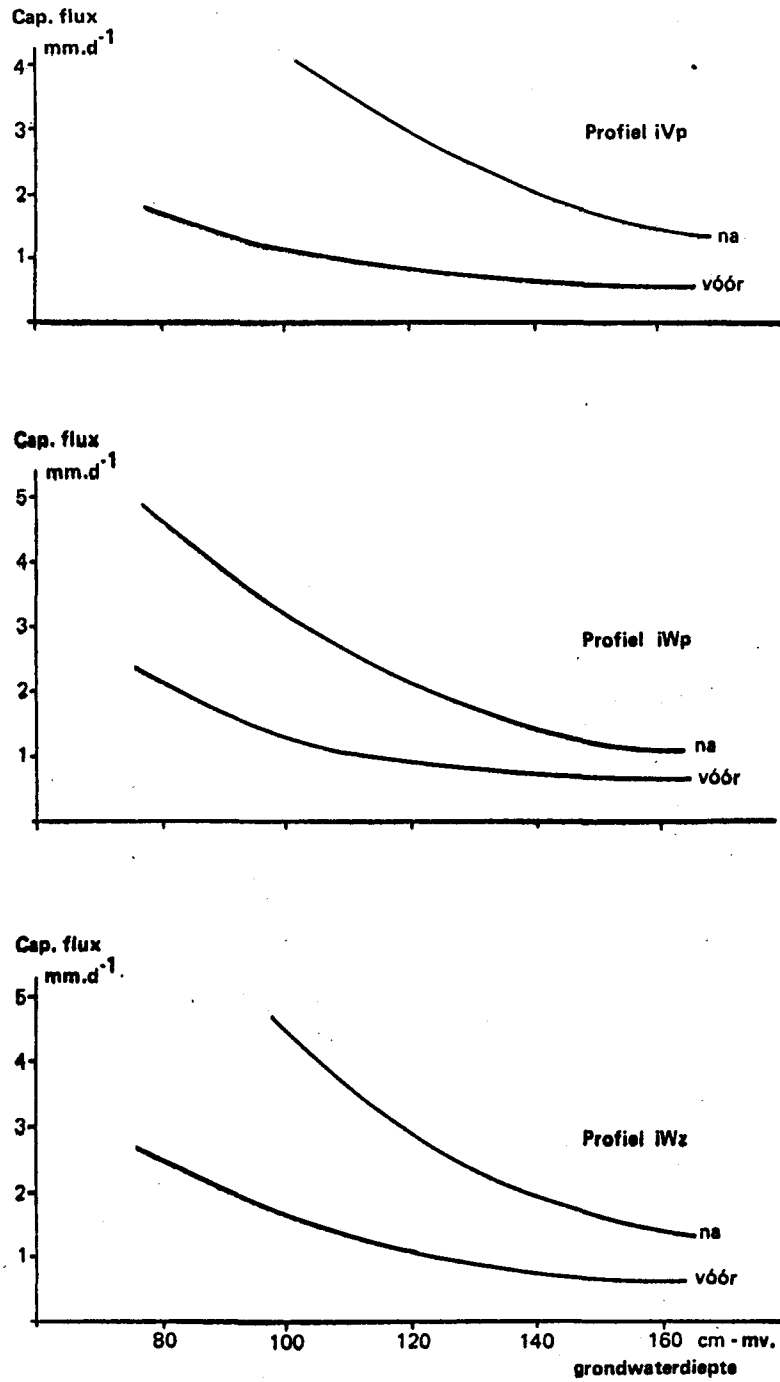
Afb. 4 De stijghoogte (z) van een capillaire flux van $2\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ als functie van de drukhoogte (ψ) in de in afb. 3 genoemde grondsoorten
Verondersteld is dat de grond homogeen is tot op een diepte die gelijk is aan de max. stijghoogte boven het grondwater

f. Door het mengwoeleffect zal, zoals in par. b werd opgemerkt, van de zandlagen de waarde van de constanten n_s met 1,25 worden vermenigvuldigd, daarbij rekening houdend met het feit dat het directe effect van het mengwoelen door bezakking voor een deel vrij snel verloren zal gaan. Voor de veenlagen is ervan uitgegaan dat de constante K_e 5 x groter wordt en de constante Ψ_w 0,75 x. De constanten in verg. (2) krijgen nu de volgende waarden:

Laag	K_e (cm.d ⁻¹)	Ψ_w (cm)	n_s
zandbovengrond	73,3	-6,5	2,41
zandondergrond	67,5	-7,5	2,95
oud veenmosveen	2,35	-17	1,91
jong veenmosveen	1,95	-19	1,81
moerasbosveen	3,35	-14	1,75

De gliedelaag is blijkens afb. 2 in gemengwoelde profielen verwaarloosd. Op grond van de mengverhoudingen in afb. 2 is nu voor de verschillende lagen na mengwoelen de waarde van de constanten in verg. (2) berekend. Voor de laag van 0-40 cm in het profiel iVp wordt de K_e -waarde nu $(37,5 \times 73,3 + 42,5 \times 2,35 + 20 \times 67,5) / 100 = 41,98$ cm.d⁻¹. Voor de gemengwoelde profielen op afb. 2 komt men nu tot de volgende afgeronde waarden:

Profiel	Diepte (cm - mv)	K_e (cm.d ⁻¹)	Ψ_w (cm)	n_s
iVp	0- 40	42	-11	2,30
	40- 80	32	-13	2,38
	80-120	48	-20	2,64
iWp	0-40	54	- 9	2,42
	40-65	35	-12	2,43
	65-90	45	-11	2,59
iWz	0-40	54	-10	2,39
	40-65	22	-14	2,13
	65-90	48	-10	2,59



Afb. 5 Maximale capillaire flux tot maaiveld bij toenemende grondwaterdiepte en een drukhoogte in de bovengrond van ca. -10 000 cm, vóór en na mengwoelen bij drie profielen

g. De rekenfactoren in par. f kunnen behalve voor de berekening van K-waarden ook worden gebruikt voor de berekening van de stijghoogte van capillaire fluxen als functie van de vochtspanning in de grond. In afb. 4 is hiervan een voorbeeld gegeven. De berekening is gebaseerd op de wet van Darcy voor onverzadigde stroming, geschreven als:

$$q = K(\Psi) \left(\frac{d\Psi}{dz} - 1 \right) \quad (3)$$

waarin q de capillaire flux (cm.d^{-1}) voorstelt; K is het capillair geleidingsvermogen (cm.d^{-1}); Ψ is de drukhoogte (cm, negatief in onverzadigde toestand); en z is de hoogte boven het grondwater (cm, positief in opwaartse richting). Substitutie van verg (2) in verg. (3) en integratie levert vergelijkingen voor stationnaire stroming op waarmee de onderlinge samenhang tussen q , Ψ en z bij gegeven grondwaterstanden kan worden berekend. De berekening hiervan in gelaagde profielen en het daarbij gebruikte computerprogramma wordt uitvoerig toegelicht door Bloemen (1980b). Om aan de cijfers in par. f een wat grotere betekenis te geven is op de beschreven wijze berekend welk effect het mengwoelen van de veenprofielen in afb. 2 heeft op de capillaire eigenschappen van de grond. In afb. 5 is weergegeven welke maximale capillaire flux vóór en na mengwoelen bij toenemende grondwaterdiepte het maaiveld kan bereiken. De drukhoogte van het bodemvocht heeft dan een maximale waarde van ca. -10 000 cm. Het blijkt dat het mengwoelen in de drie profielen een gunstige invloed heeft op de capillaire eigenschappen. Het ongunstige effect van mengwoelen op de poriëngrootteverdeling van de zandlagen, hetgeen tot uiting komt in de toename van de hellingsconstante n_s na mengwoelen, wordt blijkbaar ruimschoots gecompenseerd door het effect van het opbreken van de veenlagen, die in natuurlijke ligging een slechte invloed op de capillaire eigenschappen van het profiel hebben. Het beeld in afb. 5 is uiteraard sterk geflatteerd, omdat bij hogere grondwaterstanden de drukhoogte in de bovengrond lagere waarden zal hebben dan bij lagere grondwaterstanden. De samenhang tussen grondwaterdiepte en drukhoogte in de bovengrond is echter niet bekend en uiteraard ook niet eenduidig.

De gevolgde procedure voor het berekenen van de vochtleverantie is hier in het kort weergegeven. Voor een uitvoeriger beschrijving wordt verwezen naar rapport nr. 1434. (Bouma ed. 1979).

De onverzadigde stroming is gesimuleerd met een pseudo-stationair model (De Laat, 1980). De randvoorwaarden bestaan uit een flux door de bovenrand (maaiveld) en de onderrand (freatisch vlak). De bovenrandvoorwaarde is het verdampingoverschot (= potentiële verdamping - neerslag) dat per tijdstip wordt ingelezen. De waarden zijn verstrekt door de Provinciale Waterstaat van Drenthe en gebaseerd op een statistische verdeling van neerslag en verdamping. Zij hebben betrekking op een 1,4, 5, 10, 20 en 50% droog jaar. (tabel 4). Voor een 90% droog jaar, dat wil zeggen een jaar met 90% kans dat het betreffende verdampingoverschot wordt overschreden, is aangenomen dat geen vochttekorten optreden. De onderrandvoorwaarde (flux) is onbekend, maar kan iteratief worden opgelost indien deze flux constant wordt verondersteld gedurende de rekenperiode. Hiertoe wordt met het model de onverzadigde stroming gesimuleerd voor de gegeven begingrondwaterstand (GVG) en de bovenrandvoorwaarde die overeenkomt met het 50% droog jaar. Deze simulatie wordt steeds opnieuw uitgevoerd voor een andere waarde van de flux aan de onderzijde totdat de berekende en de gegeven grondwaterstand aan het einde van de rekenperiode (GLG) overeenstemmen. De gevonden onderrandvoorwaarde geldt in principe alleen voor het 50% droog jaar. Voor een andere overschrijdingsfrequentie zal deze flux toenemen in neerwaartse richting naarmate de overschrijdingskans afneemt en aldus bijdragen tot een lagere grondwaterstand aan het einde van het groeiseizoen in drogere jaren. Gebleken is echter dat het gebruik van één en dezelfde flux door de onderrand voor verschillende overschrijdingsfrequenties de uitkomsten niet noemenswaardig beïnvloedt. (zie rapport 1434).

De lengte van de rekenperiode bedraagt voor gras en aardappelen respectievelijk 180 en 160 dagen. Omdat de gemiddelde voorjaarsgrond-

Tabel 4. Verdampingsgegevens voor gras en aardappelen. Verdampingsoverschot (cumulatief in mm per decade) en de potentiële verdamping over de rekenperiode voor gras en aardappelen bij een vijftal overschrijdings-frequenties.

Gewas: Gras		Overschrijdingsfrequentie (%)					
Maand	Decade	1,4	5	10	20	50	
groeiperiode	april	I	12	12	-4	8	-3
		II	33	22	6	5	-3
		III	18	35	15	9	15
	mei	I	37	57	34	19	28
		II	54	73	44	30	25
		III	88	97	55	65	30
	juni	I	118	116	63	85	44
		II	130	125	66	106	59
		III	145	146	91	110	70
	juli	I	162	178	107	119	91
		II	187	210	118	115	88
		III	225	206	130	119	98
	augustus	I	252	218	123	111	101
		II	284	230	133	105	77
		III	308	242	145	110	77
september	I	321	251	161	123	67	
	II	343	252	168	128	44	
	III	337	256	165	122	45	
E _{pot} over rekenperiode		505	482	488	456	441	

Gewas: Aardappelen		Overschrijdingsfrequentie (%)				
Maand	Decade	1,4	5	10	20	50
april	I	2	-4	-18	-4	-11
	II	9	-13	-22	-23	-15
	III	-18	-17	-26	-33	-14
mei	I	-11	-10	-26	-30	-21
	II	-4	-1	-32	-22	-33
	III	26	25	-13	0	16
juni	I	51	31	-13	14	-14
	II	67	60	-1	44	7
	III	86	90	30	55	9
juli	I	108	116	50	73	24
	II	139	156	67	85	28
	III	180	166	85	92	25
augustus	I	211	173	79	89	33
	II	239	186	98	78	34
	III	260	194	111	75	38
september	I	283	201	123	84	21
E _{pot} over rekenperiode		421	410	395	396	357

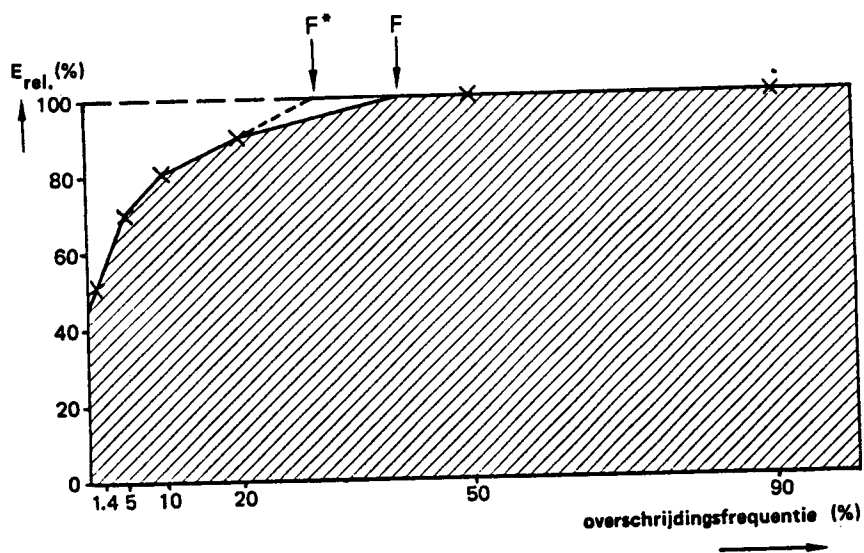
Bron: Provinciale Waterstaat van Drenthe

waterstand (GVG) geldt voor 1 april, is deze datum gekozen als het begin van de rekenperiode. Het groeiseizoen voor gras valt samen met de rekenperiode, maar voor aardappelen geldt een groeiseizoen van slechts 130 dagen vanaf 1 mei. De lengte van de tijdstap is constant en bedraagt 10 dagen.

Voor het 1,4, 5, 10, 20 en het 50% droog jaar wordt de stroming in de onverzadigde zone gesimuleerd, uitgaande van de gegeven GVG en de berekende onderrandvoorwaarde. Er ontstaat een vochttekort indien niet voldaan kan worden aan de flux door de bovenrand. Het vochttekort is het verschil tussen het gegeven verdampingsoverschot en de maximaal door het profiel te leveren hoeveelheid vocht. De som van de vochttekorten van alle tijdstippen in het groeiseizoen is het totale vochttekort. De gegeven potentiële verdamping gedurende het groeiseizoen E_{pot} minus het totale vochttekort levert de actuele verdamping E . De relatieve verdamping E_{rel} wordt gevonden als het quotiënt van werkelijke en potentiële verdamping ($E_{rel} = E/E_{pot} \times 100\%$).

Voor ieder jaar met een bepaalde overschrijdingsfrequentie van het verdampingsoverschot wordt het totale vochttekort en de relatieve verdamping berekend, terwijl ook de vochttekorten per tijdstap worden afgedrukt. Met behulp van door de Provinciale Waterstaat van Drenthe verstrekte gegevens (tabel 5) kan het totale vochttekort worden gerelateerd aan de opbrengstderving. De werkelijke opbrengst wordt vervolgens berekend in kg/ha terwijl de opbrengstderving wordt afgedrukt in zowel kg/ha als in procenten van de potentiële opbrengst.

De berekening van het vochttekort (mm), de relatieve verdamping (%), de opbrengstderving (kg/ha en %) en de opbrengst (kg/ha) wordt herhaald voor de volgende reeks van grondwaterstandsverlagingen: 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 en 300 cm.



Afb. 6 Berekening van een gewogen gemiddelde waarde voor $E_{rel.}$

Tabel 5 De potentiële opbrengst en de opbrengstderving per cm vochttekort voor de verschillende overschrijdingsfrequenties van de verdampingsoverschotsommen

Over- schrijdings- frequentie	Gras		Aardappelen	
	potentiële opbrengst (kg)	opbrengst- derving per cm vocht- tekort (kg)	potentiële opbrengst (kg)	opbrengst- derving per cm vocht- tekort (kg)
1,4	16500	462	65000	2600
5	16200	437	64000	2560
10	15800	427	62000	2480
20	15400	400	60500	2420
50	14000	336	55000	2190
90	14000	-	55000	-

Een grondwaterstandsverlaging geldt voor zowel de GVG als de GLG. Voor iedere verlaging moet de volledige berekening worden herhaald, inclusief het iteratief oplossen van de onderrandvoorwaarde (de flux Q_W). De berekende vochttekorten in mm per tijdstap worden echter alleen afgedrukt voor de situatie zonder verlaging. In een aparte tabel worden de waarden opgenomen van de opbrengstderving in kg/ha die het gevolg zijn van grondwaterstandsverlaging (tabel 6).

Voor de genoemde grootheden waarvan voor iedere overschrijdingsfrequentie van het verdampingsoverschot een waarde is berekend, wordt tevens een gewogen gemiddelde bepaald (GEM). Dit geschiedt voor de relatieve verdamping E_{rel} als volgt (afb. 6). Eerst wordt een schatting gemaakt van F , de overschrijdingsfrequentie waarvoor E_{rel} juist gelijk is aan 100%. Een eerste schatting F^* wordt verkregen uit een lineaire extrapolatie van berekende E_{rel} -waarden. De waarde van F wordt vervolgens gevonden als het gemiddelde van F^* en de waarde van de eerstvolgende in beschouwing genomen overschrijdingsfrequentie. Integratie van E_{rel} over jaren met een overschrijdingsfrequentie van 0 tot 100% (het gearceerde deel in afb. 6) levert na deling door 100 een gewogen gemiddelde waarde voor E_{rel} . De berekening

*** 2 ***		Qm	RELATIEVE VERDAMPING (%)						
GVC	CLG	(CM/DAG)	GEM.	1.4%	5.0%	10.0%	20.0%	50.0%	90.0%
CM-MV	CM-MV		90.3	49.4	66.5	83.0	86.2	92.5	100.0
40.0	70.1	-0.006	88.9	47.0	64.3	81.0	84.5	90.8	100.0
50.0	80.0	-0.013	87.1	44.1	61.4	78.4	82.1	88.0	100.0
60.0	95.0	-0.022	84.9	40.2	57.5	74.3	79.1	85.0	100.0
70.0	120.0	-0.030	83.0	37.9	54.4	71.3	76.1	82.0	100.0
115.0	143.0	-0.046	81.7	35.2	52.2	69.3	74.1	80.0	100.0
140.0	170.0	-0.052	80.5	33.2	50.2	67.4	73.0	79.1	100.0
190.0	220.0	-0.055	80.2	32.7	49.7	66.8	72.4	78.8	100.0
240.0	270.0	-0.071	80.0	32.4	49.4	66.5	72.2	78.5	100.0
340.0	370.0	-0.072							

VERLAGING	VOCHTTEKORT IN MM						
IN CM	45.3	255.5	161.3	83.0	62.9	32.9	0.0
0.0	51.9	267.6	172.1	92.2	70.9	41.6	0.0
10.0	59.9	282.3	185.8	105.5	81.4	52.8	0.0
25.0	70.0	301.8	204.9	125.3	95.1	65.2	0.0
50.0	78.6	315.9	219.6	139.9	106.2	77.4	0.0
75.0	84.7	327.1	230.3	149.4	115.1	85.1	0.0
100.0	90.1	337.1	240.2	159.1	123.1	92.1	0.0
150.0	91.6	339.0	242.4	164.8	125.1	93.6	0.0
200.0	92.4	341.4	243.7	165.3	126.6	94.7	0.0
300.0							

VERLAGING	OPBRENGST IN KG/HA						
IN CM	12754.	4695.	9152.	12254.	12884.	12896.	14000.
0.0	12505.	4139.	8080.	11844.	12504.	12601.	14000.
10.0	12201.	3460.	8079.	11304.	12143.	12227.	14000.
25.0	11816.	2555.	7245.	10450.	11595.	11808.	14000.
50.0	11490.	1904.	6603.	9838.	11151.	11400.	14000.
75.0	11259.	1386.	6136.	9338.	10744.	11142.	14000.
100.0	11050.	924.	5724.	9004.	10478.	10907.	14000.
150.0	10994.	798.	5609.	8891.	10372.	10855.	14000.
200.0	10965.	729.	5550.	8827.	10336.	10819.	14000.
300.0							

VERLAGING	OPBRENGSTDERVING IN KG/HA						
IN CM	1836.	11805.	7348.	3546.	2516.	1104.	0.
0.0	2066.	12361.	7520.	3956.	2836.	1399.	0.
10.0	2389.	13040.	8121.	4496.	3257.	1773.	0.
25.0	2774.	13945.	8955.	5350.	3805.	2192.	0.
50.0	3100.	14596.	9597.	5962.	4249.	2600.	0.
75.0	3332.	15114.	10364.	6402.	4606.	2858.	0.
100.0	3540.	15576.	10946.	6796.	4922.	3093.	0.
150.0	3596.	15702.	10571.	6909.	5028.	3145.	0.
200.0	3626.	15771.	10650.	6973.	5064.	3181.	0.
300.0							

VERLAGING	OPBRENGSTDERVING IN PROCENTEN						
IN CM	11.9	71.5	43.5	22.4	16.3	7.9	0.0
0.0	13.5 <td>74.9 <td>46.6 <td>25.0 <td>18.6 <td>10.0 <td>0.0</td> </td></td></td></td></td>	74.9 <td>46.6 <td>25.0 <td>18.6 <td>10.0 <td>0.0</td> </td></td></td></td>	46.6 <td>25.0 <td>18.6 <td>10.0 <td>0.0</td> </td></td></td>	25.0 <td>18.6 <td>10.0 <td>0.0</td> </td></td>	18.6 <td>10.0 <td>0.0</td> </td>	10.0 <td>0.0</td>	0.0
10.0	15.6 <td>79.0 <td>50.1 <td>28.8 <td>21.4 <td>12.7 <td>0.0</td> </td></td></td></td></td>	79.0 <td>50.1 <td>28.8 <td>21.4 <td>12.7 <td>0.0</td> </td></td></td></td>	50.1 <td>28.8 <td>21.4 <td>12.7 <td>0.0</td> </td></td></td>	28.8 <td>21.4 <td>12.7 <td>0.0</td> </td></td>	21.4 <td>12.7 <td>0.0</td> </td>	12.7 <td>0.0</td>	0.0
25.0	18.1 <td>84.3 <td>53.3 <td>33.9 <td>24.7 <td>15.4 <td>0.0</td> </td></td></td></td></td>	84.3 <td>53.3 <td>33.9 <td>24.7 <td>15.4 <td>0.0</td> </td></td></td></td>	53.3 <td>33.9 <td>24.7 <td>15.4 <td>0.0</td> </td></td></td>	33.9 <td>24.7 <td>15.4 <td>0.0</td> </td></td>	24.7 <td>15.4 <td>0.0</td> </td>	15.4 <td>0.0</td>	0.0
50.0	20.3 <td>88.5 <td>57.2 <td>37.9 <td>27.6 <td>18.6 <td>0.0</td> </td></td></td></td></td>	88.5 <td>57.2 <td>37.9 <td>27.6 <td>18.6 <td>0.0</td> </td></td></td></td>	57.2 <td>37.9 <td>27.6 <td>18.6 <td>0.0</td> </td></td></td>	37.9 <td>27.6 <td>18.6 <td>0.0</td> </td></td>	27.6 <td>18.6 <td>0.0</td> </td>	18.6 <td>0.0</td>	0.0
75.0	21.8 <td>91.6 <td>62.1 <td>40.0 <td>29.9 <td>20.0 <td>0.0</td> </td></td></td></td></td>	91.6 <td>62.1 <td>40.0 <td>29.9 <td>20.0 <td>0.0</td> </td></td></td></td>	62.1 <td>40.0 <td>29.9 <td>20.0 <td>0.0</td> </td></td></td>	40.0 <td>29.9 <td>20.0 <td>0.0</td> </td></td>	29.9 <td>20.0 <td>0.0</td> </td>	20.0 <td>0.0</td>	0.0
100.0	23.3 <td>94.4 <td>64.8 <td>43.0 <td>32.0 <td>22.1 <td>0.0</td> </td></td></td></td></td>	94.4 <td>64.8 <td>43.0 <td>32.0 <td>22.1 <td>0.0</td> </td></td></td></td>	64.8 <td>43.0 <td>32.0 <td>22.1 <td>0.0</td> </td></td></td>	43.0 <td>32.0 <td>22.1 <td>0.0</td> </td></td>	32.0 <td>22.1 <td>0.0</td> </td>	22.1 <td>0.0</td>	0.0
150.0	23.6 <td>95.2 <td>65.4 <td>43.7 <td>32.6 <td>22.5 <td>0.0</td> </td></td></td></td></td>	95.2 <td>65.4 <td>43.7 <td>32.6 <td>22.5 <td>0.0</td> </td></td></td></td>	65.4 <td>43.7 <td>32.6 <td>22.5 <td>0.0</td> </td></td></td>	43.7 <td>32.6 <td>22.5 <td>0.0</td> </td></td>	32.6 <td>22.5 <td>0.0</td> </td>	22.5 <td>0.0</td>	0.0
200.0	23.8 <td>95.6 <td>65.7 <td>44.1 <td>32.9 <td>22.7 <td>0.0</td> </td></td></td></td></td>	95.6 <td>65.7 <td>44.1 <td>32.9 <td>22.7 <td>0.0</td> </td></td></td></td>	65.7 <td>44.1 <td>32.9 <td>22.7 <td>0.0</td> </td></td></td>	44.1 <td>32.9 <td>22.7 <td>0.0</td> </td></td>	32.9 <td>22.7 <td>0.0</td> </td>	22.7 <td>0.0</td>	0.0
300.0							

L = 37 DELTA = 12.0 G = 32

VERLAGING	OPBRENGSTDERVING IN KG/HA T.G.V. VERLAGING						
IN CM	0.	55.0.	472.	410.	320.	295.	0.
0.0	249.	1239.	1073.	950.	742.	669.	0.
10.0	338.	2140.	1907.	1804.	1289.	1088.	0.
25.0	1264.	2791.	2549.	2416.	1733.	1446.	0.
50.0	1496.	3309.	3016.	2856.	2040.	1754.	0.
75.0	1704.	3771.	3448.	3250.	2407.	1989.	0.
100.0	1760.	3897.	3543.	3363.	2512.	2041.	0.
150.0	1790.	3965.	3601.	3427.	2549.	2077.	0.
200.0							
300.0							

VOCHTTEKORT IN MM PER TIJDSTAP (SITUATIE ZONDER VERLAGING)							
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	7.1	12.8	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0
5	7.7	4.6	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6	2.6	18.4	4.0	25.4	0.0	0.0	0.0
7	23.6	14.0	0.0	13.2	0.0	0.0	0.0
8	6.4	4.6	0.0	15.1	0.0	0.0	0.0
9	10.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	12.6	28.3	1.1	17.9	0.0	15.9	0.0
11	21.0	28.5	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0
12	34.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	23.5	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	28.7	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	21.0	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	10.0	6.3	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0
17	19.1	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabel 6 Voorbeeld computeruitvoer

van de gewogen gemiddelden voor de andere grootheden geschiedt op dezelfde wijze met gebruikmaking van de reeds bekende waarde voor F.

In tabel 6 zijn tenslotte nog drie waarden afgedrukt die een maat zijn voor de gevoeligheid van de opbrengst voor grondwaterstandsverlaging. Hiervan is L de grondwaterstands daling in cm die een opbrengstderving van 5% tot gevolg heeft, DELTA is de maximale opbrengstderving (%) die wordt verkregen bij een grondwaterstands daling van 300 cm en $G = 100 \times \text{DELTA}/L$.

Bij gebruikmaking van de berekende waarden voor het vochttekort moet de nodige voorzichtigheid worden betracht. De vochttekorten zijn in eerste instantie bepaald voor de vaststelling van de droogteschade. De berekening van de opbrengst(derving) is gebaseerd op verschillen in vochttekort. Bij het gebruik van de absolute waarden moet men bedenken dat ten gevolge van de statistische bewerking van de neerslag- en verdampingsgegevens de werkelijke vochttekorten groter zijn dan de berekende.

5 LITERATUUR

- Bloemen, G.W. (1980a). Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. Zeitschr. Pflanzenernaehr. Bodenk. 143. Band Heft 5; 581-605.
- Bloemen, G.W. (1980b). Calculation of steady state capillary rise from the groundwater table in multi-layered soil profiles. Zeitschr. Pflanzenernaehr. Bodenk. 143. Band Heft 6; 701-719.
- Bloemen, G.W. (1981). Calculation of hydraulic conductivities and capillary rise in peat soils from bulk density and solid matter volume. Nota 1291, ICW Wageningen.
- Bouma, J. (editor) (1979). Overzichtskaarten m.b.t. een aantal aspecten van de waterhuishouding in Gelderland. Rapport "Beziningsgroep". Rapportnr. 1434. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Bouma, J. en H.C. van Heesen (1979). Waterwingebied 't Klooster. Toelichting bij de veldbodemkundige gevoeligheidsanalyse. Basisrapport Commissie Waterhuishouding Gelderland. Rapportnr. 1432. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Bouma, J., G.H. Stoffelsen en J.J. de Gruijter (1979). De variabiliteit van de K/Ψ relatie in lichte zavel en zware klei, gemeten met behulp van de heteluchtmethode. Cultuurtechnisch Tijdschrift 19 (1979) 3: 121-130.
- Brooks, P.H. and F. Corey (1964). Hydraulic properties of porous media. Colorado State Univ. Hydrol. Papers 3. 27 p.p.
- Holst, A.F. van en H.C. van Heesen (1974). Grondwaterbeheermodel Achterhoek. Rapportnr. 1160. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Laat, P.J.M. de (1980). Model for unsaturated flow above a shallow water-table. Pudoc, Wageningen.
- Laliberte, G.E. and F. Corey (1969). Hydraulic properties of disturbed and undisturbed soils. Permeability and Capillarity of soils, ASTM STP 419, Am. Soc. Testing mats. 56 p.p.
- Rijtema, P.E. (1969). Soil moisture forecasting. Nota 513. I.C.W., Wageningen.
- Rijtema, P.E. (1971). Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekking. Nota nr. 578. I.C.W., Wageningen.
- Stoffelsen, G.H. en J. Bouma (1979). Waterwingebied Over-Betuwe. Toelichting op een verwerking van bodemkundige gegevens. Basisrapport Comm. Best. Waterhuish. Gelderland. Stiboka rapport 1433.