

Droogtestress als functie van grondwaterstand en bodemtype

**P.C. Jansen
J. Runhaar**

Alterra-rapport 367

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2001

REFERAAT

P.C. Jansen & J. Runhaar, 2001. *Droogtestress als indicator voor de samenstelling van grasvegetaties*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 367. 34 blz. 6 fig.; 4 tab.; 16 ref.

De effecten van het waterbeheer op de vegetatie kunnen onder vochtige tot droge omstandigheden goed worden voorspeld uit de relatie tussen het aantal dagen dat droogtestress optreedt en het aandeel droogte-indicatoren in een grasvegetatie. De droogtestress, als aantal dagen dat een bepaalde drukhoogte in de wortelzone wordt onderschreden, is geen praktische maat. Daarom zijn voor verschillende bodemeenheden relaties berekend tussen de droogtestress en de gemiddelde grondwaterstand. Deze zogenaamde reprofuncties kunnen worden ingezet in evaluatie- en planningsmodellen.

Trefwoorden: droogtestress, vochtindicatie, vochtleverantie, grondwaterstand

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 30,00 (€13) over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 367. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2001 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

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

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

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Algemeen	9
1.2 Doelstelling	10
1.3 Opzet van het rapport	11
2 Werkwijze	13
2.1 De vochttoestand van de bodem	13
2.2 Berekening van reprofuncties	16
3 Resultaten	17
3.1 Effecten van verschillen in meteorologische districten	17
3.2 Reprofuncties	18
4 Discussie	21
4.1 Evaluatie van de methode	21
4.2 Toepassing van reprofuncties	23
Literatuur	25
<i>Bijlagen</i>	
1a Relatie tussen de GVG (x) en het aantal dagen met vochtstress (y) voor verschillende grondsoorten en verschillende districten	27
1b Relatie tussen de GLG en het aantal dagen met vochtstress voor verschillende grondsoorten en verschillende districten	28
2a Relatie tussen de GVG en het aantal dagen met vochtstress voor verschillende bodemtypen en verschillende districten	29
2b Relatie tussen de GLG en het aantal dagen met vochtstress voor verschillende bodemtypen en verschillende districten	30

Woord vooraf

Het onderzoek waarvan in dit rapport verslag wordt gedaan vormt een vervolg op eerder onderzoek naar de relatie vochtinhouding - vegetatie (Jansen et al., 2000). Uit dat onderzoek kwam naar voren dat de droogtestress, gedefinieerd als het aantal dagen dat een kritieke vochtspanning in de wortelzone wordt onderschreden, een bepalende factor lijkt te zijn voor de vegetatiesamenstelling, en dan met name voor het aandeel xerofyten daarin. In de verschillende projecten is vervolgens gezocht naar een geschikte manier om de droogtestress te voorspellen in situaties dat een volledige schematisatie van het topsysteem en het inzetten van SWAP vanwege de vereiste reken capaciteit niet mogelijk is. Het bleek dat op basis van de gemiddeld laagste of de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en het bodemtype een goede schatting van de droogtestress mogelijk is. In dit rapport zijn de relaties voor de in Nederland voorkomende droogtegevoelige bodemtypen afgeleid en weergegeven, zodat ze gebruikt kunnen worden voor toepassingen in landevaluatie en ecologische voorspellingen. De resultaten van dit onderzoek zijn lopende het project al gebruikt door Paul van Walsum van Alterra voor een onderzoek naar de effecten van klimaatveranderingen op de waterhuishouding in een gebied in Noord Brabant. Wij bedanken hem voor de nuttige ideeën en aanvullingen die hij daardoor heeft kunnen leveren. Verder hebben wij dankbaar gebruik gemaakt van de kritische kanttekeningen die Jan van Bakel bij dit rapport heeft gemaakt.

Met dit rapport komt voorlopig een einde aan het onderzoek naar de relatie vochtinhouding - vegetatie. We bedanken Flip Witte en Jos van Dam van de sectie Waterhuishouding van Landbouwwuniversiteit Wageningen met wie we aan dit project hebben samengewerkt voor hun stimulerende inbreng.

Samenvatting

Uit onderzoek naar de samenstelling van grasvegetaties onder droge omstandigheden is gebleken dat er, ongeacht de grondsoort, een goede relatie bestaat tussen het aandeel xerofyten en de tijdsduur dat er een vochtstress in de bodem voorkomt (Jansen et al., 2000). De vochtstress is hierbij uitgedrukt als het aantal dagen dat de drukhoogte in het midden van de wortelzone lager is dan $-12\ 000$ cm. In theorie is deze relatie goed inzetbaar in onder andere evaluatiemodellen om effecten van hydrologische ingrepen te kunnen beoordelen. In de praktijk echter is de vochtstress moeilijk te bepalen omdat het daarvoor noodzakelijk is de onverzadigde zone te schematiseren en in te voeren in het model voor de onverzadigde zone SWAP. In gebieden met veel differentiatie in de bodem, reliëf en grondwaterstandsverloop is dit vaak een onhaalbare zaak. Daarom is gezocht naar variabelen die vaak al bekend zijn of die met een eenvoudig hydrologisch model kunnen worden berekend en die goed correleren met de onderschrijdingsduur van de drukhoogte van $-12\ 000$ cm. Uit berekeningen met SWAP bleek dat er een goede relatie bestaat tussen enerzijds de droogtestress en anderzijds het bodemtype en de GLG of GVG.

Voor de zand-, klei- en leemgronden zijn uit een periode van 25 jaar de GVG, de GLG en het aantal dagen met vochtstress berekend voor 20 verschillende hydrologische scenario's. Bij de gronden zijn dunne, matig dikke en dikke bovengronden onderscheiden. Verder zijn de neerslag- en verdampinggegevens van de districten Eelde, De Bilt, Vlissingen en Eindhoven gebruikt. De uitkomsten die met de gegevens van Eelde en De Bilt zijn berekend zijn samengevoegd omdat de verschillen erg klein waren. Met de gegevens van district Vlissingen, dat een hoge verdamping heeft en relatief weinig neerslag, werd bij iedere grondsoort het hoogste aantal dagen met vochtstress berekend, gevolgd door district Eindhoven dat als droog bekend staat. Naast grondsoorten met verschillende diktes van bovengronden zijn op grond van kenmerkende profielbeschrijvingen (de Vries, 1999) 10 bodemeenheden gedefinieerd, waarbij voor de verschillende bodemhorizonten passende gronden uit de Staringreeks (Wösten et al., 1994) zijn gekozen. Voor deze bodemeenheden zijn op identieke wijze als voor de afzonderlijke grondsoorten is gedaan, waarden voor de GVG, GLG en het gemiddelde aantal dagen met vochtstress berekend. De relaties tussen GVG cq. GLG en het aantal dagen met vochtstress zijn met de Gompertz-vergelijking beschreven. De verklaarde variantie is voor de meeste zandgronden hoog. Een aantal grondsoorten had een dermate goed vochtleverend vermogen, dat er nauwelijks vochtstress optrad. Voor deze gronden, waartoe ook de zavelgronden horen, is geen relatie vastgesteld.

Op grond van textuur en dikte van bovengrond zijn relaties van de afzonderlijke grondsoorten toegedeeld aan bodemeenheden waarvoor geen aparte relatie is berekend. Omdat er verschillen zijn tussen de reprofuncties van verschillende meteorologische districten is Nederland op grond van de verdeling van neerslag en verdamping opgedeeld in de kuststrook, droge delen en de rest.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

In het vegetatiekundig onderzoek wordt de relatie tussen waterhuishouding en soortensamenstelling traditioneel beschreven in de vorm van duurlijnen of regimecurves. Voor toepassing in de voorspelling zijn deze relaties minder geschikt, omdat niet altijd duidelijk is of de gevonden relaties samenhangen met causale verbanden. Daarvoor is kennis nodig over de wijze waarop de grondwaterhuishouding de vegetatiesamenstelling beïnvloedt, en op grond hiervan die hydrologische variabelen te selecteren die het meest bepalend zijn.

Voor natte tot vochtige omstandigheden is de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand een belangrijke variabele, omdat deze bepalend is voor de aëratie aan het begin van het groeiseizoen en een goede voorspeller is voor het aandeel hygroyten en mesofyten in de vegetatie. (Runhaar et al., 1997). Hygroyten zijn aangepast aan natte en periodiek anaërobe omstandigheden en mesofyten kunnen noch onder zeer droge, noch onder zeer natte omstandigheden groeien (Londo, 1975). Het aandeel xerofyten, soorten die zijn aangepast aan droge omstandigheden, blijkt goed gerelateerd te zijn aan de vochtstress (Jansen et al., 2000). Daarbij is de vochtstress gedefinieerd als het aantal dagen dat de drukhoogte in het midden van de wortelzone lager is dan $-12\ 000$ cm. De relatie, die voor alle bodemeenheden geldt (klei, löss, leem, zand), en die een correlatiecoëfficiënt heeft van 0.92 luidt als volgt (figuur 1):

$$Y = 0.38 X + 13.11 \quad (1)$$

met:

X = Aandeel xerofyten (%) volgens het ecotopensysteem (Stevens et al., 1987)

Y = Aantal dagen per jaar met een drukhoogte < -12000 cm

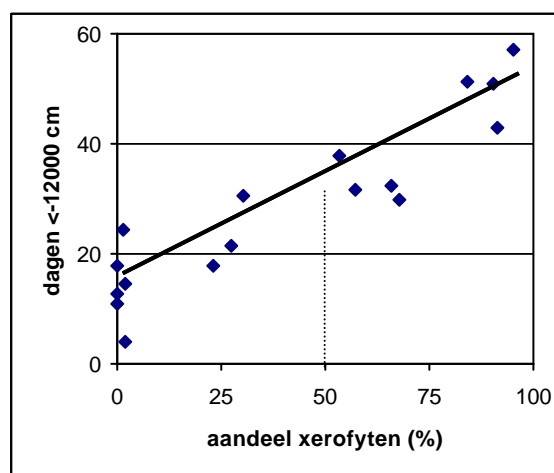


Fig. 1 Verband tussen het bedekkingsaandeel xerofyten en het aantal dagen dat een drukhoogte van -12000 cm op 12.5 cm diepte

De drukhoogte kan als maat voor de vochtstress alleen modelmatig worden vastgesteld. Voor evaluatiedoeleinden zijn praktischer maten echter beter geëigend. Mogelijke hydrologische maten zijn met behulp van het hydrologische model SWAP (van Dam et al., 1997) berekend voor een standaard grasvegetatie op verschillende gronden. Uit de uitkomsten bleek dat verschillende maten de relatie met de kritieke vochtstress goed beschrijven. Voor het onderzoek naar klimaatverandering dat in het kader van het 'Nationaal Onderzoek Programma Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering' wordt uitgevoerd (van Walsum et al., 2001) zijn voor enkele grondsoorten relaties opgesteld tussen de duur van de kritieke vochtstress enerzijds met het neerslagtekort en de duur van een specifieke grondwaterstand anderzijds. Ook tussen de duur van de kritieke vochtstress en de gemiddelde voorjaars- of gemiddelde laagste grondwaterstand (GVG en GLG) zijn de relaties over het algemeen goed. Relaties met de GLG zijn geïmplementeerd in het voorspellingsmodel NATLES (Runhaar, 1989) en zijn gebruikt in het project 'Toepassing en Evaluatie Waterlood in het proefgebied de Leijen' (Projectgroep Waterlood De Leijen, in prep.).

Naast de genoemde toepassing in NATLES kunnen deze zogenaamde reprofuncties ook in andere ecohydrologische voorspellingsmodellen (NVEG, Natuurplanner) en in natuurgerichte evaluatiesystemen (Waterlood, Symbiosis) worden toegepast om een koppeling te leggen tussen bodem, grondwaterstand en vegetatie.

Met het beschikbaar komen van de relaties tussen de vochtstress en de gemiddelde voorjaars- of gemiddelde laagste grondwaterstand voor droge omstandigheden is het mogelijk om voor het hele traject nat – droog de vochthuishouding van standplaatsen te beschrijven in ecologisch relevante hydrologische variabelen waarvoor de causale relatie met de vegetatiesamenstelling bekend is.

De toepassing van de reprofuncties die de drukhoogte op verschillende grondsoorten voorspellen maakt het gewenst dat het onderliggende onderzoek goed gedocumenteerd is. Omdat er nog geen eerdere verslaglegging heeft plaatsgevonden wordt met dit rapport in die leemte voorzien.

1.2 Doelstelling

Gezien de goede perspectieven voor het gebruik van de reprofuncties in verschillende voorspellings- en evaluatiemodellen en de wensen die er vanuit het huidige gebruik lagen, was een verdere onderbouwing en uitbreiding van het aantal reprofuncties gewenst. De functies die zijn gebruikt in 'Toepassing en Evaluatie Waterlood in het proefgebied de Leijen' (Projectgroep Waterlood De Leijen, in prep.) zijn gebaseerd op een rekenreeks van 8 jaar, waarin natte, gemiddelde en droge jaren voorkomen, maar het is onvoldoende duidelijk in hoeverre deze periode representatief is voor een gemiddelde, cq. langjariger periode.

Een tweede aanpassing betreft de representativiteit van de gevonden relaties voor heel Nederland. Voor de eerder genoemde klimaatstudie is het neerslagoverschot in de relatie ingebouwd, maar voor de meeste modellen wordt uitgegaan van de gemiddelde, actuele hoeveelheid en verdeling van neerslag en verdamping. Aangezien er binnen Nederland verschillen in gemiddelde hoeveelheid neerslag en verdamping

voorkomen, kan het gebruik van de meteorologische gegevens van alleen meteorostation De Bilt een te beperkte geldigheid hebben.

Tenslotte waren alleen reprofuncties opgesteld voor zandgronden, omdat dat de meest voorkomende droogtegevoelige gronden van Nederland zijn. Niet bekend was in hoeverre er ook in gronden met betere capillaire eigenschappen, zoals de zavel- leem – en kleigronden, zodanige vochttekorten kunnen optreden dat de drukhoogte in de wortelzone tot beneden de –12 000 cm afneemt. Bij de zandgronden waren de functies berekend voor gronden met een homogene textuur en met een verschillende dikte van de humeuze bovengrond (dun, matig dik en dik). Vervolgens is aangegeven met welke bodemtypen van de 1 : 50 000 bodemkaart de standaardprofielen het meest overeenkomen. Omdat deze extrapolatie tot minder nauwkeurige resultaten kan leiden, is in deze studie voor een aantal veel voorkomende bodemtypen ook de droogtestress berekend op basis van de profielopbouw van de typen.

Samenvattend was de doelstelling van deze studie het bepalen van reprofuncties met behulp van het model SWAP waarmee de droogtestress kan worden berekend uit de GVG of GLG en het bodemtype. Ten opzichte van eerdere berekeningen zijn de volgende veranderingen doorgevoerd:

- een rekenreeks van 25 jaar
- een regionale opsplitsing van Nederland op grond van verschillen in neerslag en verdamping
- relaties voor GVG en GLG
- bodemtypen die op de bodemkaart 1 : 50 000 voorkomen

1.3 Opzet van het rapport

In hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving gegeven van het model SWAP dat gebruikt is om de droogtestress te berekenen, de modelinvoer en de verschillen in de gebruikte neerslag- en verdampingsgegevens. Tevens wordt aangegeven op welke wijze de reprofuncties uit de modeluitkomsten worden berekend. In hoofdstuk 3 worden de resultaten gepresenteerd. Eerst wordt ingegaan op de herkomst van de reeksen met neerslag- en verdampingsgegevens en vervolgens worden de reprofuncties voor de verschillende grondsoorten en bodemeenheden gegeven. In hoofdstuk 4 vindt een evaluatie plaats.

2 Werkwijze

2.1 De vochttoestand van de bodem

De vochttoestand wordt berekend met SWAP, een ééndimensionaal hydrologisch model dat op grond van drukhoogteverschillen de waterbalans van de onverzadigde zone berekent (Belmans et al, 1983; Feddes et al., 1987; van Dam et al., 1997). Voor de modelinvoer van de vegetatie en de hydrologische scenario's worden de eigenschappen genomen die bij het onderzoek dat tot de relatie (formule 1, pag. 11) tussen de vochtindicatie van plantensoorten en de droogtestress heeft geleid (Jansen et al., 2000). Voor de vegetatie betreft dat de eigenschappen van een standaard grasvegetatie die de bodem volledig bedekt en die een worteldiepte van 25 cm heeft. Verondersteld wordt dat de wateropname cq. potentiële transpiratie onder natte omstandigheden niet reduceert maar wel onder droge omstandigheden. De reductie neemt toe beneden de drukhoogte van -320 cm tot het fysieke verwelkingspunt van -16 000 cm. Verdere eigenschappen staan beschreven in van Dam et al. (1997). Voor iedere grondsoort worden 20 verschillende hydrologische scenario's doorgerekend, variërend van vochtig tot erg droog. De scenario's zijn samengesteld uit de combinaties van vijf uiteenlopende drainagekarakteristieken en vier verschillende onderrandvoorwaarden (tabel 1). Bij de drainage is de afvoer afhankelijk van de hoogte van de grondwaterstand. De kwel die via de onderrand plaatsvindt verloopt volgens een sinusoïde met de grootste flux in de nazomer.

Tabel 1 Overzicht van drainage- en kwelkarakteristieken die in combinatie met elkaar 5 x 4 hydrologische scenario's vormen

diepte	drainageafvoer (cm/dag)					infiltratie (-) en kwel (+) (cm/dag)			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4
0.0 m	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	-0.05	0.00	0.05	0.10
1.0	0.0	0.05	0.1	0.2	0.3				
2.0	0.0	0.0	0.0	0.05	0.3				
3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				

Tabel 2 Overzicht van grondsoorten waarvoor reprofuncties worden opgesteld

Grond soort	Grofheid	Lemigheid of zwaarteklasse	Dike humusdek			Bodemfysische eigenschappen ¹⁾
			dun	matig dik	dik	
Zand fijn	fijn	zeer sterk lemig	x	x	x	b4 en o4 1)
		sterk lemig	x	x	x	b3 en o3 1)
	fijn	lemig	x	x	x	b2 en o2 1)
	fijn	leemarm	x	x	x	b1 en o1 1)
	matig grof	lemig	x	x	x	p1 en q1 2)
	matig grof	leemarm	x	x	x	p2 en q2 2)
	grof	leemarm	x	x	x	p3 en o5 2,1)
Zavel		zeer licht	x	x	x	b7 en o8 1)
		matig licht	x	x	x	b8 en o9 1)
		zwaar	x	x	x	b9 en o10 1)
Klei		licht	x	x	x	b10 en o11 1)
		matig zwaar	x	x	x	b11 en o12 1)
		zeer zwaar	x	x	x	b12 en o13 1)
Leem		zandig	x	x	x	b14 en o14 1)
		Siltig	x	x	x	b14 en o15 1)

¹⁾ Codering volgens Wösten et al. (1994).

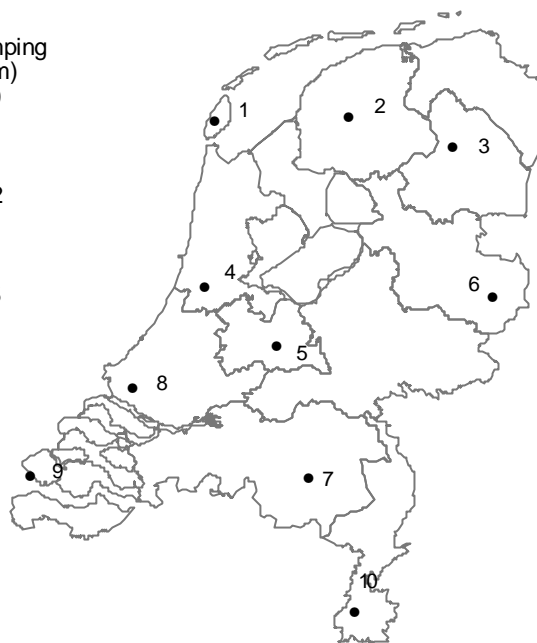
²⁾ Op grond van granulaire samenstelling met pedotransferfunctie (Stolte et al., 1996)

b en p = bovengrond; o en q = ondergrond

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de standaardgronden die zijn gebruikt. Alle gronden hebben ieder een dunne (5 cm), matig dikke (15 cm) en dikke (30 cm) humeuze bovengrond. Daarnaast zijn de bodemtypen uit tabel 3 doorgerekend waarvan de profielopbouw gebaseerd is op kenmerkende profielschetsen van Nederlandse gronden (de Vries, 1999). De benodigde bodemfysische eigenschappen zijn ontleend aan de gronden van de Staringreeks (Wösten et al., 1994). Het poriënvolume met 20% gereduceerd omdat de ongewijzigde Staringreeks een onderschatting van de vochttekorten oplevert (Van Walsum, pers. mededeling). Reden is dat de vocht karakteristieken onder laboratorium-omstandigheden zijn uitgevoerd waarbij is uitgegaan van volledig verzadigde bodemmonsters die aan uitdroging worden blootgesteld. De effecten van hysteresis en luchtinsluitingen, die tot gevolg hebben dat het effectief vochtbergend vermogen veel geringer is, worden daarbij genegeerd. Voor enkele minerale grondsoorten die in de Staringreeks ontbreken zijn de eigenschappen berekend aan de hand van de granulaire samenstelling (Stolte et al., 1996). Bij de bodemtypen is een extra veldpodzolgrond (-2) opgenomen waarbij de uitspoeling-horizont als aparte laag met slechte capillaire eigenschappen is onderscheiden.

Voor de reprofuncties zijn dagwaarnemingen van neerslag en referentieverdamping volgens Makkink (1957) over een periode van 25 jaar (1971-1995) gebruikt. Binnen Nederland varieert de gemiddelde hoeveelheid neerslag en verdamping. Zo is de verdamping aan de kust hoger en zijn er in het binnenland verschillen in neerslag (figuur 2). Op grond van deze verschillen worden de gegevens van 4 districten gebruikt: Eelde (noordoost), Eindhoven (zuidoost) en Vlissingen (kust) en De Bilt (midden). Daarmee wordt Nederland grotendeels bestreken. Omdat er geen gemeten dagwaarnemingen van de districten Eelde, Eindhoven en Vlissingen beschikbaar waren is aan de maandtotalen de variatie van het district De Bilt opgelegd om zo een meer realistisch verloop te bewerkstelligen.

Station	neerslag (mm)	verdamping (mm)
1 De Kooy	750	590
2 Leeuwarden	750	
3 Eelde	780	535
4 Schiphol	735	
5 De Bilt	800	542
6 Twenthe	715	
7 Eindhoven	700	
8 Rotterdam	790	
9 Vliszingen	730	595
10 Beek	760	560



Figuur 2 Gemiddelde hoeveelheden neerslag en verdamping voor een aantal stations in Nederland over de periode 1960 - 1990 (KNMI, 1992)

Van iedere grondsoort en bodemtype wordt van ieder van de 20 hydrologische scenario's gemiddelden berekend over de 25 jaar van:

- de gemiddelde voorjaargrondwaterstand (GVG) als gemiddelde van de dagelijkse standen in maart en april;
- de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) als gemiddelde van de 3 laagste standen van de standen op de 14e en 28e van de maanden in de zomerhalfjaren
- het gemiddelde aantal dagen waarop de vochtstress in het midden van de wortelzone (op 12,5 cm) lager is dan kritieke waarde van -12 000 cm.

Tabel 3 Overzicht van bodemtypen waarvoor reprofuncties zijn opgesteld

Bodemtype Code	Naam	Dikte bodemhorizonten (cm)			Bodemfysische eigenschappen 1)		
		1	2	3	1	2	3
pZg23	beekeerdgrond	15	385		b3	o3	
Zd21	duinvaaggrond	5	395		b1	o1	
pZn21	gooreerdgrond	25	375		b1	o1	
Hd21	haarpodzolgrond	8	392		b1	o1	
zEZ21	hoge enkeerdgrond	90	310		b2	o1	
cHn21	laarpodzolgrond	35	365		b2	o1	
EZ23	lage enkeerdgrond	70	330		b3	o2	
pRn99	leekeerdgrond	25	55	320	b4	o10	o1
Hn21	veldpodzolgrond-1	40	360		b2	o1	
Hn21	veldpodzolgrond-2	10	15	375	b2	2)	o1
Zn21	vlakvaaggrond	15	485		b1	o1	

1) Codering volgens Wösten et al. (1994)

2) Via samenstelling matig grof zand volgens functie Stolte et al. (1996)

2.2 Berekening van reprofuncties

Per grondsoort en bodemtype zijn 20 getallenparen beschikbaar waaruit de relatie tussen de droogtestress en de GVG of GLG berekend kan worden. De droogtestress is het aantal dagen dat de drukhoogte in het midden van de wortelzone lager is dan – 12 000 cm. Er is vanuit gegaan dat onder natte omstandigheden geen vochtstress optreedt. Onder droge omstandigheden kan wel vochtstress optreden en die bereikt een maximaal aantal dagen als er geen (ook niet tijdelijk) capillaire nalevering meer optreedt. De relaties hebben naar verwachting een al dan niet gedeeltelijk afgevlakt s-vormig verloop. Een dergelijk verloop kan worden beschreven met een Gompertz-curve. De Gompertz-curve, die een asymmetrisch verloop heeft, wordt beschreven met behulp van de volgende vergelijking:

$$Y = a + c * \text{EXP}(-\text{EXP}(-b (X-m))) \quad (2)$$

met:

Y = langjarig gemiddeld aantal dagen met vochtstress

X = langjarig gemiddelde grondwaterstand (cm)

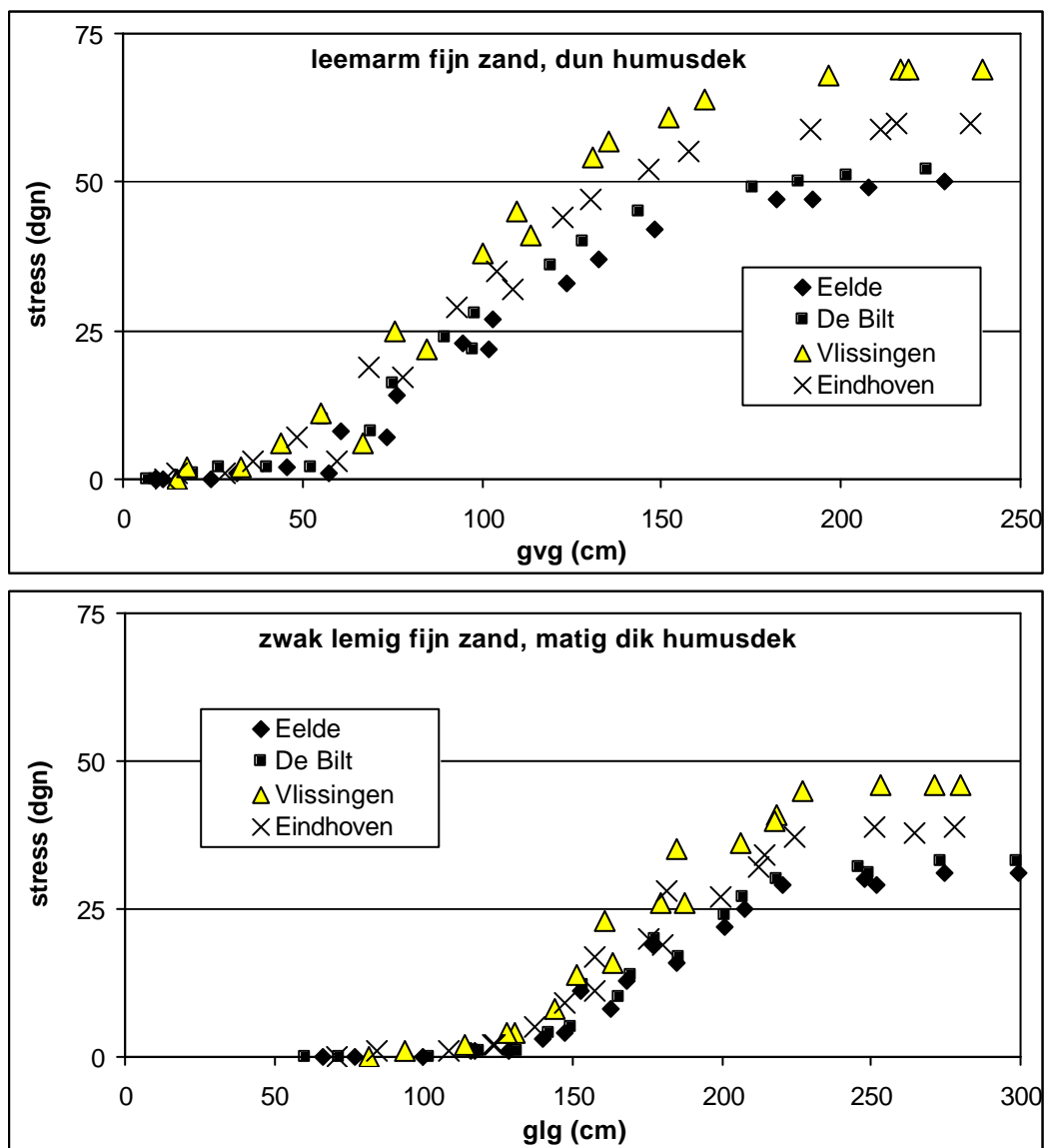
a, b, c, m = constanten

Aangenomen is dat de curve niet noodzakelijkerwijs door de oorsprong hoeft te lopen omdat ook bij een GVG van 0 cm kan later in het seizoen nog droogtestress kan optreden.

3 Resultaten

3.1 Effecten van verschillen in meteorologische districten

De verschillen in hoeveelheid neerslag en verdamping in Nederland hebben consequenties voor de relatie vochtstress - GVG of GLG. In figuur 3 wordt dat geïllustreerd voor een leemarme fijne zandgrond met een dun (5 cm) humusdek en een zwak lemig fijne zandgrond met een matig dik (15 cm) humusdek. Voor de leemarm zandgrond is de GVG tegen het aantal dagen met vochtstress uitgezet en voor de zwak lemige fijne zandgrond is de GLG gebruikt.



Figuur 3 Verschillen in relaties tussen de gemiddelde grondwaterstand en de vochtstress tussen verschillende districten

In het kustdistrict Vlissingen komen beduidend meer stressdagen voor dan in de andere districten. In de kuststrook is de referentieverdamping hoog en is de hoeveelheid neerslag relatief klein. District Eindhoven, dat gekozen is omdat het één van de drogere districten van Nederland is, kent wat minder stressdagen. In de districten Eelde en De Bilt is het aantal stressdagen het geringst. De verschillen tussen de relaties vochtstress - GVG of GLG van de districten Eelde en De Bilt zijn minimaal voor grondsoorten die een goed vochtleverende vermogen hebben zoals sterk lemig fijn zand en hooguit enkele dagen voor de droogtegevoelige grove zandgrond. Voor de verdere uitwerking zijn de gegevens voor deze beide districten samengevoegd.

3.2 Reprofuncties

Grondsoorten

Voor de 15 grondsoorten uit tabel 2 zijn, met voor iedere grondsoort 3 verschillende diktes van humeuze bovengrond, voor 20 hydrologische scenario's de GVG, de GLG en het gemiddelde aantal dagen met droogtestress berekend over de periode 1971-1995. Dat is gedaan voor de districten Eelde + De Bilt, Eindhoven en Vlissingen. Hieruit zijn Gompertz-curven berekend (formule 2, pag.16).

Voor grondsoorten met een goed vochtleverend vermogen treedt alleen onder erg droge omstandigheden vochtstress op. Gemiddeld gaat het om hooguit enkele dagen voor de droogste scenario's. Voor deze gronden kunnen geen betrouwbare en zinvolle relaties worden berekend. De gronden die dat betreffen zijn:

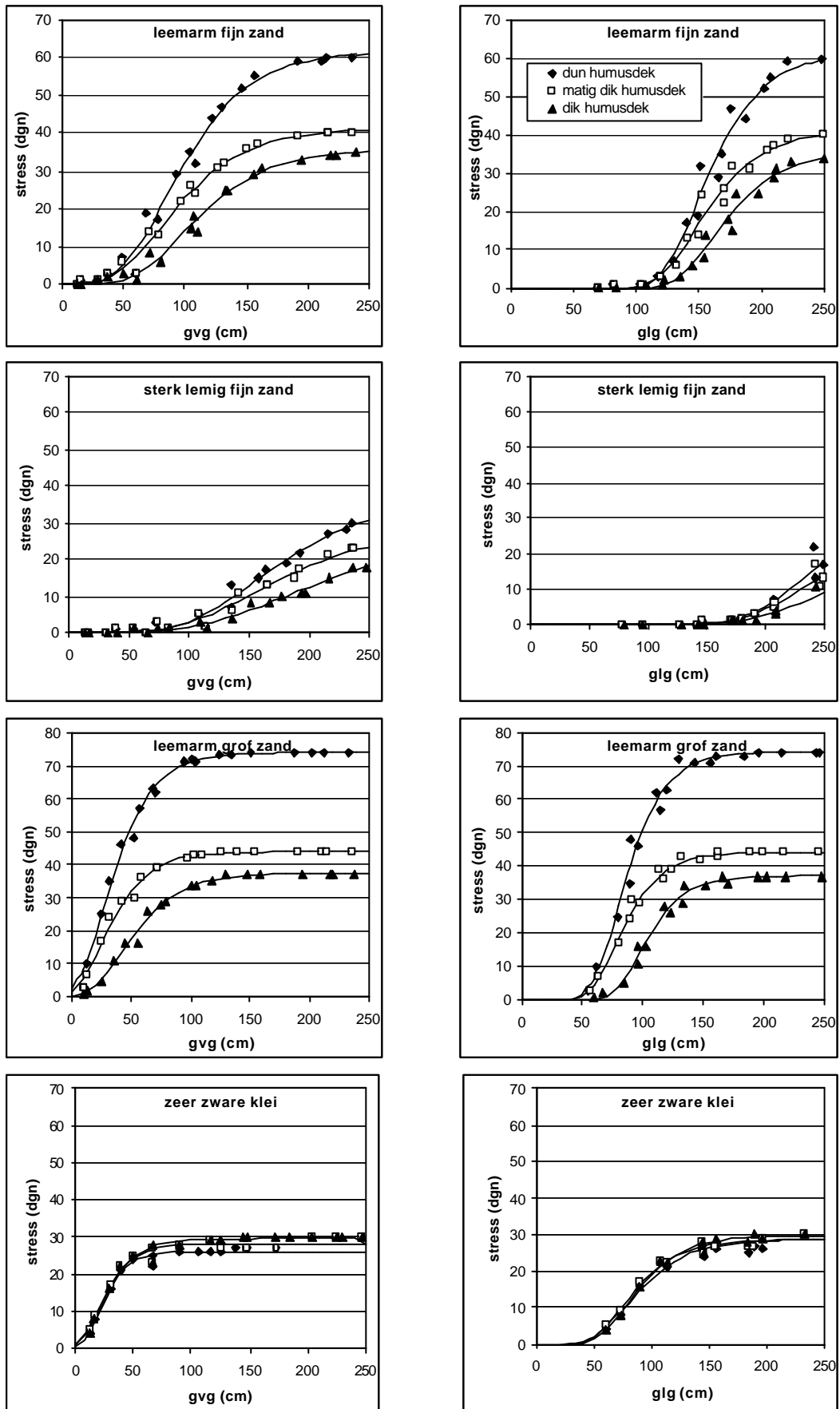
- zeer sterk lemig fijn zand
- zavel (zeer licht, matig licht en zwaar)
- matig zware klei
- zandige leem

Verder zijn de uitkomsten van enkele droge scenario's niet gebruikt omdat voor zware kleigronden extreme situaties niet berekend konden worden of omdat de grondwaterstand beneden de modelrand was gedaald. In figuur 4 staan de waarnemingen van enkele grondsoorten en de gefitte curven voor de GVG en de GLG.

De curven uit figuur 4 laten zien dat in gronden met slechte capillaire eigenschappen, zoals grof zand en zeer zware klei, de vochtstress al bij hoge GVG's kan optreden en dat die met het dieper worden van de GVG snel toeneemt tot een maximum aantal dagen. Opvallend is verder dat bij de zeer zware klei de dikte van de bovengrond geen invloed heeft. De vergelijkingen van de curven voor de GVG staan in bijlage 1a en van de curven voor de GLG in bijlage 1b.

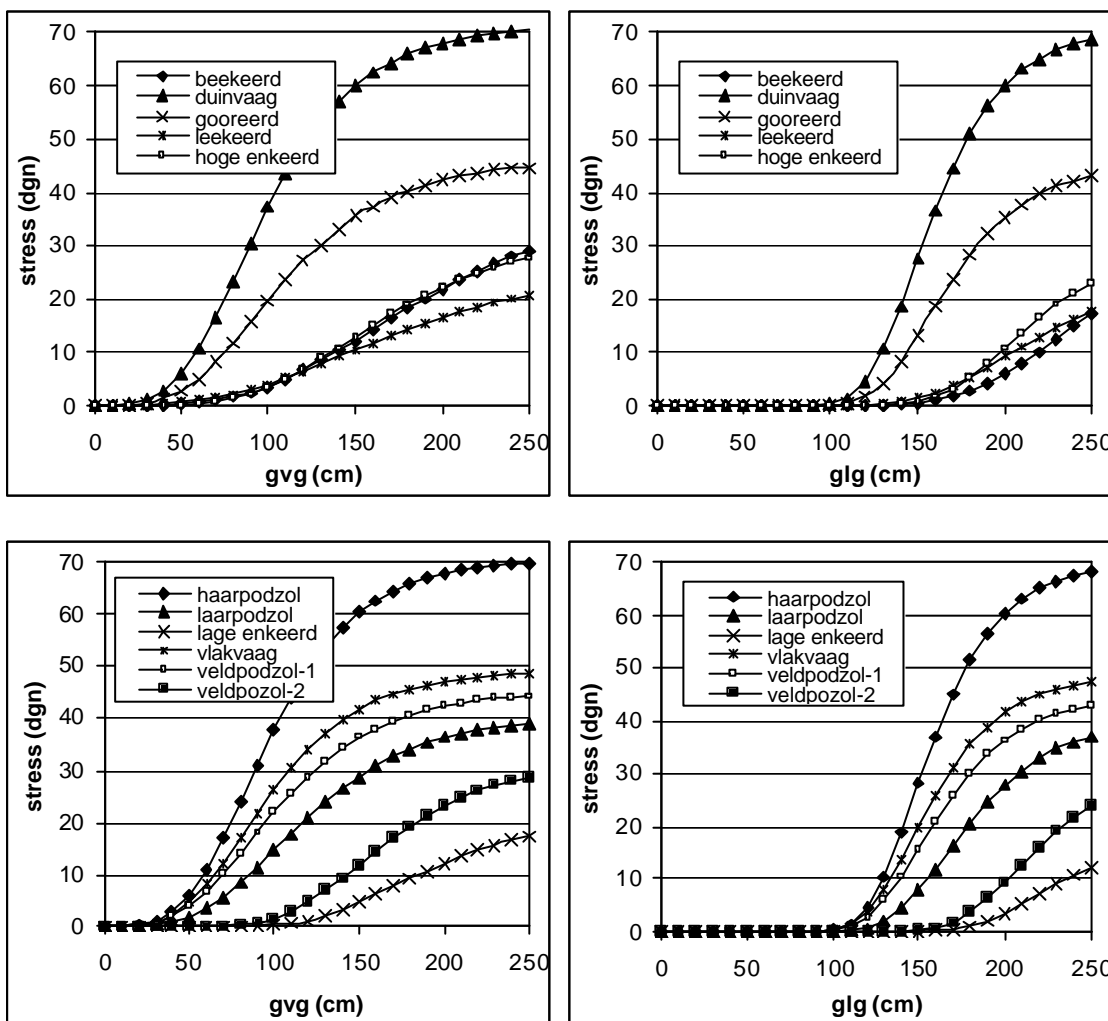
Bodentypen

Van 10 bodemeenheden die veelvuldig op de bodemkaart 1: 50 000 voorkomen (tabel 2) zijn eveneens de GVG, de GLG en het aantal dagen met stress berekend voor de districten Eelde + De Bilt, Eindhoven en Vlissingen. De resultaten staan in figuur 5 en de vergelijkingen en verklaarde varianties van de curven in bijlage 2a voor de GVG en in bijlage 2b voor de GLG.



Figuur 4 Relaties GVG - vochtstress en GLG - vochtstress voor verschillende grondsoorten in district Eindhoven

In de duinvaag- en de haarpodzolgrond loopt de vochtstress sterk op met de toename van de GVG of GLG. De lage enkeerdgrond en de leekeerdgrond leveren daarentegen maximaal enkele dagen met vochtstress op. Een dikke humeuze bovengrond (hoge enkeerd- en beekeerdgrond) maakt ook dat de vochtstress beperkt blijft. De vochtstress in de veldpodzol-1, die een tamelijk dikke, zwak lemige bovengrond heeft, is beduidend minder dan die van dan de droogtegevoeliger variant (veldpodzol-2) waar de uitspoelinghorizont als een aparte laag met slechte capillaire eigenschappen is onderscheiden.



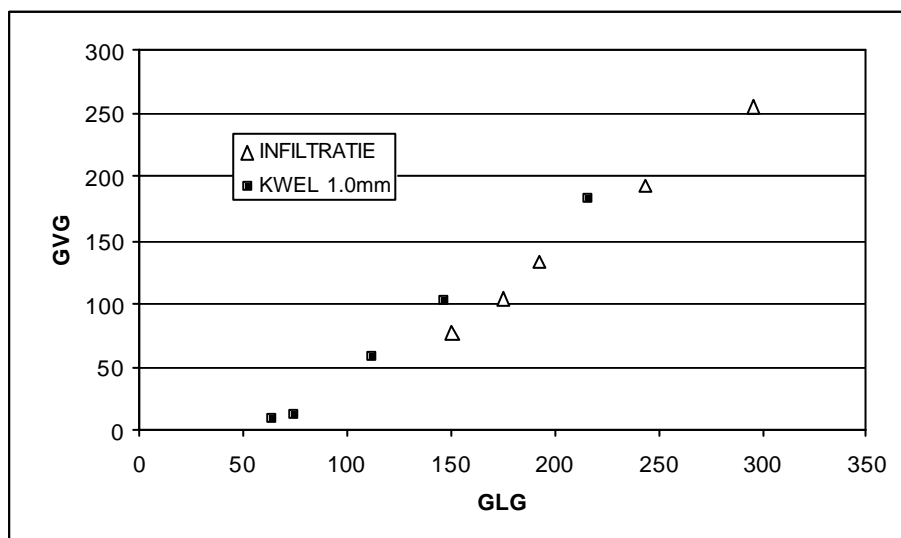
Figuur 5 Relaties GVG - vochtstress en GLG - vochtstress voor verschillende bodemeenheden voor district Vlissingen

4 Discussie

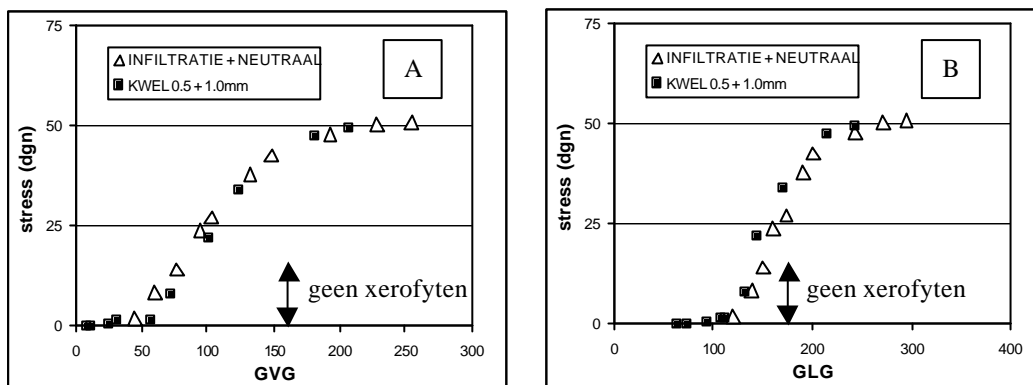
4.1 Evaluatie van de methode

Door de keuze van drainage- en kwelkarakteristieken (tabel 1) is een breed scala aan scenario's doorgerekend. De resultaten van de scenario's zijn gebruikt voor het vaststellen van de reprofuncties. Er is geen onderscheid aangebracht in kwel- of infiltratiescenario's omdat de verschillen tussen kwel- en infiltratiesituaties te gering zijn. In figuur 6 is de GVG tegen de GLG voor de kwel- (0,10 cm/dag) en infiltratiescenario's (-0,05 cm/dag) uitgezet voor leemarm fijn zand. Conform de verwachting is bij een zelfde GLG de GVG in kwelsituaties hoger dan de GVG bij infiltratie omdat door de toevoer van kwelwater de grondwaterstand minder snel zal wegzakken.

De GVG uitgezet tegen de gemiddelde vochtstress (figuur 7a) laat zien dat bij diepere grondwaterstanden de relatie GVG – droogtestress voor kwel- en infiltratiesituaties niet verschilt, wat samenhangt met het feit dat bij diepe standen capillaire nalevering niet of nauwelijks een rol speelt. Bij de ondiepere grondwaterstanden zijn er wel verschillen tussen kwel (0,05 en 0,10 cm/dag) en infiltratie (-0,05 en 0,00 cm/dag) maar omdat tot een vochtstress van 13 dagen geen xerofyten verwacht worden is dit verschil voor de beoogde toepassing, de voorspelling van ecologische droogtestress, is niet relevant. De relatie tussen de GLG en de gemiddelde vochtstress (figuur 7b) laat bij de diepere grondwaterstanden wel een klein verschil tussen kwel en infiltratie zien. In kwelsituaties wordt een vochtstress van 20 dagen bij een minder diepe GLG bereikt dan bij infiltratie. In beide gevallen treedt weinig of geen capillaire nalevering op, maar de grondwaterstand wordt door kwel wel op een iets hoger niveau gehouden. De verschillen zijn in vergelijking met andere bodemtypen of diktes van humusdek dermate klein dat geen onderscheid is gemaakt tussen kwel en infiltratie.

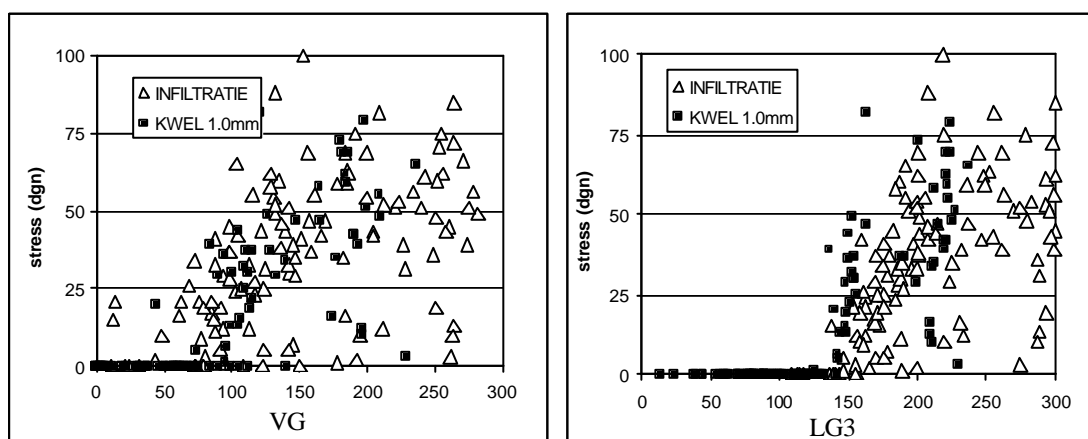


Figuur 6 De relatie GVG –GLG bij infiltratie en bij kwel



Figuur 7 De relatie GVG – vochtstress (A) en de relatie GLG – vochtstress (B) voor lemig fijn zand

Opvallend is het feit dat er een eenduidig verband is tussen de grondwaterstand en de droogtestress. De spreiding is gering. Daarbij moet evenwel bedacht worden dat het gaat om langjarig gemiddelde, waarbij weersinvloeden zijn weggefilterd. Als illustratie voor leemarm fijn zand laat figuur 8 zien dat er wel grote verschillen tussen de verschillende jaren kunnen optreden. Er zijn jaren waarin de grondwaterstand weliswaar diep wegzakt, maar waarin door een gelijkmatige neerslagverdeling in de zomer toch geen enkele dag met vochtstress van minder dan -12 000 cm wordt gehaald. Anderzijds kan bij een hoge VG (voorjaargrondwaterstand gemiddeld over maart en april) door een droge zomer nog wel een aanzienlijke vochtstress optreden. De LG3 (laagste stand als gemiddelde van de 3 laagste standen) heeft boven een minimale diepte geen vochtstress, omdat dan de capillaire nalevering dan voldoende groot is om boven de -12 000 cm te blijven. Hoewel het meest causale verband met de laagste grondwaterstand bestaat (figuur 8b) maakt het voor het langjarig gemiddelde weinig uit of wordt uitgegaan van de gemiddelde voorjaars- of gemiddelde laagste grondwaterstand.



Figuur 8 Relaties tussen de GVG3 en GLG3 enerzijds en het aantal dagen met vochtstress anderzijds voor de afzonderlijke jaren voor lemig fijn zand.

De keuze van drainage- en kwelkarakteristieken houdt in dat niet alle denkbare scenario's in beschouwing zijn genomen. Het is niet zinvol om 'natte' scenario's door

te rekenen waarbij het aantal dagen met vochtstress gering is. Veel voorkomende situaties die niet in beschouwing genomen zijn, maar waarbij de grondwaterstand in de zomer wel diep wegzakt zijn scenario's die representatief zijn voor grondwatertrap V. Kenmerkend voor deze grondwatertrap zijn hoge grondwaterstanden in de winter waarbij kwel een rol speelt terwijl in de zomer de standen onder invloed van wegzijging diep kunnen wegzakken. De GVG van een grondwatertrap V bevindt zich meestal binnen het traject 30 – 90 cm terwijl de GLG dieper is dan 120 cm (van der Sluis, 1982). Voor leemarm fijn zand differentieert de GLG dan volgens figuur 7 beter dan GVG. Uitgaande van de beschikbare functies verdient het de voorkeur om bij diepe GLG's (> 1,5 m) gebruik te maken van de relatie tussen vochtstress en GLG, bij ondiepere GLG's zijn beide relaties bruikbaar. Het verdient aanbeveling om bij een eventuele uitbreiding van het onderzoek meer extreme scenario's te betrekken. Daarbij moet gedacht worden aan situaties met een hoge GVG en een lage GLG (grondwatertrap V).

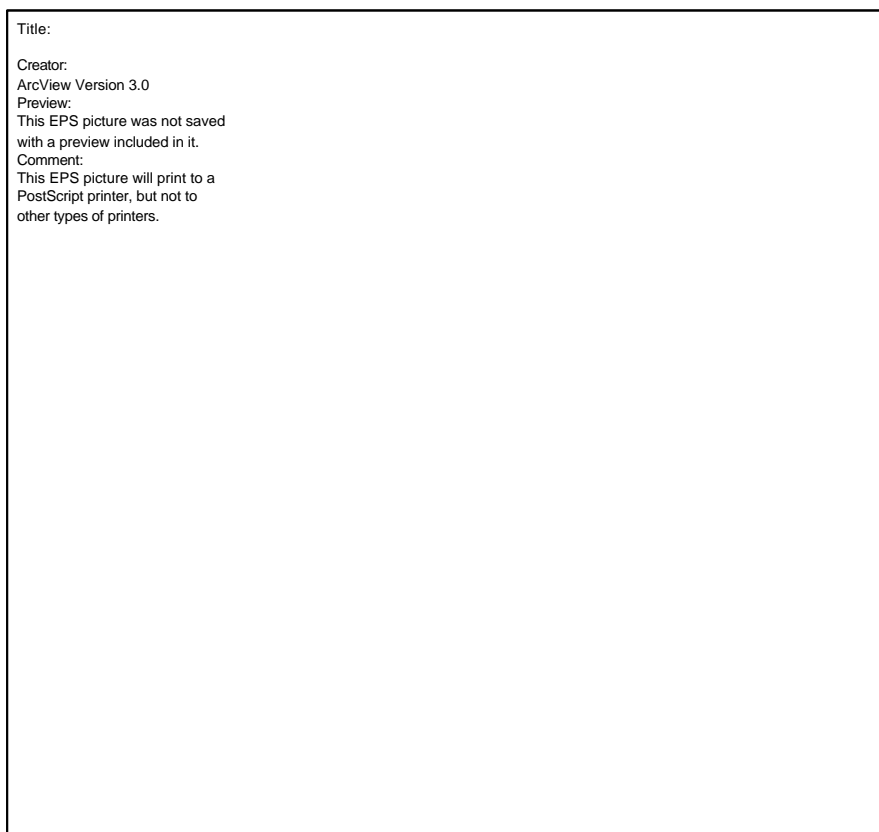
De reprofuncties zijn bruikbaar met inachtneming van de marges ten aanzien van textuur en het onderscheid in boven- en ondergrond. Bij een eventuele uitbreiding van het aantal reprofuncties verdient het aanbeveling om deze uitkomsten die met de Staringreeks berekend zijn, te vergelijken met de uitkomsten van dezelfde grondsoorten maar waarvan de bodemfysische gegevens met behulp van de pedotransferfunctie (Stolte et al., 1996) uit de granulaire samenstelling is bepaald. Er dient rekening mee te worden gehouden dat de resultaten voor vergelijkbare grondsoorten kunnen verschillen.

4.2 Toepassing van reprofuncties

Er zijn reprofuncties berekend voor verschillende grondsoorten en voor een aantal bodemeenheden. Voor veen- en verschillende klei- en leemgronden zijn geen functies berekend omdat hier (vrijwel) geen vochtstress optreedt. Op uitgedroogd hoogveen is dat mogelijk wel het geval, maar dit bodemtype is niet in beschouwing genomen. Voor de veldpodzolgrond kan onderscheid worden gemaakt in een 'droge' en een 'natte' variant, afhankelijk van de aanwezigheid van een al of niet uitgesproken uitspoelingshorizont. De reprofuncties kunnen via de bodemcode voor de betreffende eenheid direct gekoppeld worden aan de bodemkaart. Omdat voor de beschrijving van deze bodemeenheden gebruik is gemaakt van een karakteristieke beschrijving (de Vries, 1999) komen ze weliswaar op grote schaal voor, maar zijn ze niet representatief voor de eenheden die een andere textuur hebben. In die gevallen, en voor andere ontbrekende bodemeenheden, kunnen reprofuncties van de verschillende grondsoorten worden gebruikt. Op grond van de textuur en de dikte van de bovengrond is voor een groot aantal bodemtypen geschat welke reprofunctie het meest toepasselijk is (bijlage 3).

Per bodemeenheid zijn reprofuncties beschikbaar voor de districten Eelde + De Bilt, Vlissingen en Eindhoven. Op grond van de verdeling van neerslag en verdamping is Nederland opgedeeld in gebieden waarvoor deze functies representatief geacht worden (figuur 9).

De reprofuncties maken het mogelijk om voor uiteenlopende bodemeenheden en voor verschillende delen van Nederland een schatting te geven van het aandeel xerofyten in een grasvegetatie. Volgens de relatie tussen het aandeel xerofyten en het aantal dagen met vochtstress (formule 1, pag. 11) zijn er xerofyten te verwachten bij meer dan 13 stressdagen en domineert het aandeel xerofyten bij meer dan 32 dagen.



Figuur 9 Indeling van Nederland voor het gebruik van reprofuncties

Literatuur

Belmans, C., J.G. Wesseling and R.A. Feddes, 1983. *Simulation of the water balance of a cropped soil: SWATRE*. Journal of Hydrology 63, 271-286.

Dam, J.C. van, J.Huygens, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk en C.A. van Diepen, 1997. *Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere_Plant environment*. Wageningen, Agricultural University. Department Water Resources. Report 71. 167 pp.

Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. *Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs*. Wageningen, Pudoc. 189 pp.

Gremmen, N.J.M., 1987. *Natuurtechnisch model voor de beschrijving en voorspelling van veranderingen in het waterregime op de waarde van een gebied vanuit natuurbehouds-oogpunt*. Deel 1: Uitgangspunten en modelconcept. Studiecommissie Natuur, Bos en Landschap.

Gremmen, N.J.M., 1990. *Natuurtechnisch model voor de beschrijving en voorspelling van veranderingen in het waterregime op de waarde van een gebied vanuit natuurbehouds-oogpunt*. Deel 4: Herziening en verificatie van het model. Studiecommissie Natuur, Bos en Landschap.

Jansen, P.C., J. Runhaar, J.P.M. Witte en J.C. van Dam, 2000. *Vochtindicatie van grasvegetaties in relatie tot de vochttoestand van de bodem*. Wageningen, Alterra rapport 057. 59 pp.

KNMI, 1992. *Klimatologische gegevens van Nederlandse stations*. De Bilt, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. Publicatienummer 150-27.

Londo, G., 1975. *Nederlandse lijst van hydro-, freato- en afreatofyten*. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.

Makkink, G.F., 1957. *Testing the Penman formule by means of lysimeters*. J. Int. Water Eng., 11, Pag. 277-288.

Projectgroep Waterlood, in prep. *Toepassing en Evaluatie Waterlood in het proefgebied de Leijen*. Wageningen, Alterra rapport.

Runhaar, J., 1989. *Toetsing ecotopensysteem. Relatie tussen de vochtindicatie van de vegetatie en grondwaterstanden*. Landschap 6: 129-146.

Runhaar, J., J.P.M. Witte en P.H. Verburg, 1997. *Ground-water level, moisture supply and vegetation in the Netherlands*. Wetlands 17: 528-538.

- Sluis, P. van der, 1982. *De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop*. H₂O, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling 15: p. 42-46.
- Stevens, R.A.M, J. Runhaar en C.L.G. Groen, 1987. *Het CML-ecotopensysteem een landelijk ecosysteemtypologie toegespitst op de vegetatie*. Landschap 2: 135-150.
- Stolte, J., J.G. Wesseling and J.H.M. Wösten, 1996. *Pedotransfer functions for hydraulic and thermal properties of soil and the tool HERCULES*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Report 126.
- Vries, F. de, 1999. *Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 654.
- Walsum, P.E.V. van, P.F.M. Verdoeschot en J. Runhaar, 2001. *Effects on land-use change on lowland stream ecosystems*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 18.

Bijlage 1a Relatie tussen de GVG (x) en het aantal dagen met vochtstress (y) voor verschillende grondsoorten en verschillende districten

Verklaarde variantie en constanten voor de vergelijking $Y = c * \text{EXP}(-\text{EXP}(-b(X-m)))$

Grond- Soort ¹⁾	boven- grond ²⁾	verkl. var	Eelde + de Bilt			verkl. var.	Eindhoven			verkl. var.	Vlissingen		
			b	m	c		b	m	c		b	m	c
1	dun	98.7	0.02780	87.39	51.80	98.9	0.02676	84.30	61.82	98.8	0.02760	84.97	70.95
1	matig	98.7	0.02797	84.75	33.69	99.0	0.02673	80.60	41.18	98.7	0.02646	82.47	49.26
1	dik	98.2	0.02589	103.65	28.74	98.8	0.02587	97.45	35.83	98.8	0.02380	99.75	43.74
2	dun	98.4	0.02563	98.92	48.97	99.1	0.02386	96.52	59.13	98.8	0.02501	96.70	68.87
2	matig	98.6	0.02579	95.09	32.75	98.8	0.02276	93.12	40.75	98.7	0.02307	92.21	48.22
2	dik	97.8	0.02387	120.80	26.14	98.9	0.02319	116.97	33.84	98.9	0.02148	117.53	41.63
3	dun	97.9	0.01632	166.08	31.85	98.3	0.01763	152.74	36.77	98.5	0.01437	161.99	49.50
3	matig	96.8	0.01654	163.89	23.93	98.1	0.01645	152.37	28.73	98.6	0.01439	158.40	38.12
3	dik	96.7	0.01530	184.45	18.90	98.8	0.01265	183.58	28.26	98.5	0.01340	174.74	31.71
5	dun	98.6	0.03502	69.17	75.93	98.6	0.03139	69.56	87.05	98.4	0.03429	68.40	93.90
5	matig	97.9	0.03475	64.69	44.20	98.9	0.03115	64.28	52.96	98.8	0.03282	63.82	60.01
5	dik	97.7	0.02882	86.13	36.38	98.8	0.02879	82.59	44.07	98.4	0.02957	82.92	51.16
6	dun	98.7	0.0321	76.42	74.49	98.7	0.03020	75.76	85.38	98.6	0.03292	74.65	92.42
6	matig	98.4	0.03354	74.10	37.83	98.6	0.03089	69.30	45.57	98.6	0.03198	72.14	53.94
6	dik	98.3	0.03277	87.92	30.93	99.1	0.03284	82.73	38.72	99.2	0.03003	84.74	47.03
7	dun	98.3	0.04293	27.35	64.27	99.0	0.04476	27.34	73.84	99.2	0.04779	27.22	81.02
7	matig	96.6	0.04444	25.68	36.36	98.9	0.04670	25.17	43.91	99.5	0.04564	25.81	51.05
7	dik	96.7	0.03693	46.63	30.21	99.1	0.03834	42.65	37.31	98.9	0.03694	44.37	44.53
11	dun	90.3	0.02041	65.64	22.77	90.6	0.02582	50.67	27.90	91.7	0.02352	50.93	33.10
11	matig	92.0	0.01872	60.63	19.81	92.0	0.02208	48.03	25.43	92.3	0.02017	46.57	30.60
11	dik	91.7	0.01550	89.86	11.13	94.4	0.01344	82.63	17.72	92.3	0.01449	70.84	21.22
13	dun	95.6	0.05855	21.33	19.97	97.4	0.07317	20.28	26.13	96.6	0.05957	21.80	32.17
13	matig	93.0	0.06579	19.29	21.61	95.4	0.06381	19.69	28.26	93.0	0.06615	21.02	34.26
13	dik	95.0	0.06120	20.36	22.89	97.0	0.05926	21.59	29.48	93.4	0.06286	21.41	35.25
15	dun	97.3	0.01270	123.80	16.78	96.7	0.01260	97.87	24.11	97.8	0.01361	91.16	27.68
15	matig	93.9	0.01471	120.93	12.73	93.8	0.01443	89.90	18.90	95.8	0.01383	92.35	23.57
15	dik	95.0	0.01026	151.10	11.84	97.5	0.01364	93.85	16.24	97.9	0.01312	97.39	20.44

¹⁾ 1 leemarm fijn zand
2 zwak lemig fijn zand
3 sterk lemig fijn zand

4 zeer sterk lemig fijn zand
5 leemarm matig grof zand
6 zwak lemig matig grof zand

7 grof zand
11 lichte klei
13 zeer zware klei
15 siltige leem

²⁾ dun 7.5 cm
matig dik 15 cm
dik 30 cm

Bijlage 1b Relatie tussen de GLG en het aantal dagen met vochtstress voor verschillende grondsoorten en verschillende districten

Verklaarde variantie en constanten voor de vergelijking $Y = c * \text{EXP}(-\text{EXP}(-b(X-m)))$

grond-soort ¹⁾	boven-grond ²⁾	verkl. var	Eelde + de Bilt			verkl. var.	Eindhoven			verkl. var.	Vlissingen		
			b	m	c		b	m	c		b	m	c
1	dun	98.2	0.03353	153.00	52.00	98.2	0.03458	148.84	61.51	97.9	0.03565	148.33	70.42
1	matig	97.9	0.03317	151.73	33.88	98.1	0.03452	146.63	40.99	97.7	0.03458	147.04	48.81
1	dik	98.1	0.03353	168.79	28.79	98.0	0.03312	161.21	35.78	97.7	0.03108	162.20	43.40
2	dun	98.6	0.03278	166.94	48.90	98.2	0.03058	163.26	59.03	97.8	0.03207	162.39	68.51
2	matig	98.0	0.03158	165.11	32.97	98.1	0.02970	161.06	40.51	97.9	0.03032	159.59	47.78
2	dik	98.4	0.03282	186.42	25.74	98.3	0.02964	181.23	33.88	98.1	0.02788	180.71	41.32
3	dun	95.2	0.02640	240.21	27.95	94.7	0.02000	234.68	37.24	94.1	0.01679	239.60	48.82
3	matig	95.7	0.02631	239.47	21.33	95.0	0.01880	233.23	28.91	94.0	0.01756	233.60	36.39
3	dik	93.8	0.02306	254.64	16.69	95.2	0.01446	261.20	29.13	94.4	0.01587	247.00	30.60
5	dun	99.0	0.04670	127.04	75.35	98.7	0.04404	127.17	86.11	98.7	0.04901	125.58	92.91
5	matig	98.4	0.04537	125.40	43.91	98.3	0.04306	124.77	52.39	98.1	0.04643	123.76	59.31
5	dik	99.1	0.03912	146.34	35.96	99.4	0.03928	141.97	43.68	99.3	0.04094	141.82	50.67
6	dun	99.0	0.04227	136.29	74.00	98.5	0.04129	135.16	84.55	98.5	0.04568	133.74	91.53
6	matig	98.1	0.04185	136.06	37.69	98.3	0.04193	131.49	45.12	98.0	0.04398	133.02	53.30
6	dik	98.0	0.04089	148.52	30.78	97.8	0.04274	142.31	38.45	97.9	0.03917	143.40	46.61
7	dun	99.0	0.04795	81.14	64.27	98.7	0.04677	79.10	74.17	98.5	0.05360	78.08	81.10
7	matig	97.2	0.04670	79.85	36.46	98.9	0.04753	77.33	44.14	97.9	0.05039	76.90	51.07
7	dik	96.4	0.04378	101.57	29.91	98.6	0.04866	97.10	37.06	98.3	0.04683	96.57	44.16
11	dun	91.6	0.02984	151.82	19.47	94.4	0.02578	141.98	27.64	94.0	0.02398	137.12	32.57
11	matig	92.8	0.02205	150.69	18.62	94.1	0.02230	138.11	25.34	93.1	0.02070	132.78	30.44
11	dik	87.8	0.01955	176.52	9.90	92.3	0.01770	167.68	16.49	91.9	0.01853	157.07	20.25
13	dun	97.1	0.03801	82.39	20.19	94.7	0.03328	77.95	28.82	98.2	0.04033	75.63	32.33
13	matig	95.6	0.03721	79.72	22.00	97.0	0.03945	75.15	28.63	96.2	0.03883	74.70	34.61
13	dik	97.7	0.03827	82.40	23.17	98.5	0.03868	78.73	29.70	97.3	0.03675	76.52	35.60
15	dun	83.5	0.09420	241.19	11.63	91.1	0.04800	237.43	21.05	87.9	0.01728	217.30	26.99
15	matig	84.1	0.10240	243.61	9.50	90.5	0.04470	236.83	17.57	87.2	0.01787	220.50	23.06
15	dik	82.4	0.03600	244.54	7.57	92.1	0.04260	236.39	15.00	87.8	0.0172	221.90	19.89

- ¹⁾
- | | | |
|-------------------------|------------------------------|--------------------|
| 1 leemarm fijn zand | 4 zeer sterk lemig fijn zand | 7 grof zand |
| 2 zwak lemig fijn zand | 5 leemarm matig grof zand | 11 lichte klei |
| 3 sterk lemig fijn zand | 6 zwak lemig matig grof zand | 13 zeer zware klei |
| | | 15 siltige leem |

- ²⁾
- | | |
|-----------|--------|
| dun | 7.5 cm |
| matig dik | 15 cm |
| dik | 30 cm |

Bijlage 2a Relatie tussen de GVG en het aantal dagen met vochtstress voor verschillende bodemtypen en verschillende districten

Verklaarde variantie en constanten voor de vergelijking $Y = c * \text{EXP}(-\text{EXP}(-b(X-m)))$

bodem- eenheid	verkl. var.	Eelde + de Bilt			verkl. var.	Eindhoven			verkl. var.	Vlissingen		
		b	m	c		b	m	c		b	m	c
beekeerd	96.7	0.01554	165.13	24.59	98.3	0.01661	153.30	28.76	98.7	0.01450	157.94	37.96
duinvaag	98.7	0.02613	86.63	52.23	99.1	0.02699	84.59	61.78	98.9	0.02685	83.80	71.05
gooreerd	98.2	0.02578	96.05	30.28	99.1	0.02441	92.73	38.34	98.8	0.02391	92.72	45.69
haarpodzol	98.7	0.02656	85.07	51.90	99.1	0.02689	83.06	61.12	98.9	0.02749	82.71	70.51
enkeerd-hoog	97.6	0.01963	154.49	19.37	98.9	0.01802	147.65	27.27	98.7	0.01789	144.49	32.25
laarpodzol	97.9	0.02438	105.43	25.86	98.8	0.02278	99.50	33.31	98.9	0.02175	101.20	40.79
enkeerd-laag	94.8	0.01297	215.29	16.29	98.0	0.01770	180.74	18.74	98.8	0.02068	169.57	20.83
leekeerd	96.7	0.01646	159.10	14.32	98.5	0.01645	147.74	20.25	97.6	0.01457	141.14	25.38
veldpodzol-1	98.1	0.02599	91.57	30.51	99.2	0.02496	88.29	37.73	98.9	0.02410	86.43	45.12
veldpodzol-2	97.4	0.02266	155.20	18.98	98.1	0.02281	150.96	27.55	99.1	0.02197	149.90	32.30
vlakvaag	98.7	0.02797	84.75	33.69	99.0	0.02673	80.60	41.18	98.7	0.02646	82.47	49.29

Bijlage 2b Relatie tussen de GLG en het aantal dagen met vochtstress voor verschillende bodemtypen en verschillende districten

Verklaarde variantie en constanten voor de vergelijking $Y = c * \text{EXP}(-\text{EXP}(-b (X-m)))$

bodem- eenheid	verkl. var.	Eelde + de Bilt			verkl. var.	Eindhoven			verkl. var.	Vlissingen		
		b	m	c		b	m	c		b	m	c
beekeerd	95.2	0.02680	238.46	21.02	94.6	0.01824	234.70	29.37	94.1	0.01788	233.00	36.09
duinvaag	98.2	0.03206	152.47	52.29	98.2	0.03486	149.11	61.49	98.0	0.03547	148.01	70.42
gooreerd	97.8	0.03283	162.05	30.21	97.9	0.03191	156.76	38.13	97.7	0.03227	156.30	45.10
haarpodzol	98.2	0.03255	151.61	52.01	98.2	0.03457	148.06	60.86	98.1	0.03653	147.43	69.88
enkeerd-hoog	97.7	0.03283	210.41	17.66	97.5	0.02842	206.46	26.04	97.2	0.02446	202.88	31.64
laarpodzol	98.1	0.03291	174.02	25.76	98.3	0.03159	167.02	33.04	98.0	0.02935	166.28	40.42
enkeerd-laag	95.5	0.02316	247.05	12.17	95.3	0.02437	233.79	18.23	95.5	0.02470	222.66	20.67
leekeerd	95.9	0.02723	213.61	12.98	97.1	0.02268	205.81	19.96	96.5	0.02214	197.78	24.02
veldpodzol-1	97.7	0.03271	158.13	30.48	98.1	0.03216	153.12	37.61	98.1	0.03239	151.36	44.67
veldpodzol-2	97.3	0.03822	211.47	17.47	96.7	0.03166	208.01	27.04	97.3	0.02787	207.15	32.34
vlakvaag	97.9	0.03317	151.73	33.88	98.1	0.03452	146.63	40.99	97.7	0.03458	147.04	48.81

Bijlage 3 Toedeling reprofuncties aan bodemeenheden

GRONDSOORT	BOVEN- *) GROND	REPRO- CODE	BODEMEENHEID	BODEM- CODE	REPRO- CODE
leemarm fijn zand	dun	1a	beekeerd	pZg23	a
	matig dik	1b	duinvaag	Zd21	b
	dik	1c	gooreerd	pZn21	c
zwak lemig fijn zand	dun	2a	haarpodzol	Hd21	d
	matig dik	2b	enkeerd-hoog	zEZ21	e
	dik	2c	laarpodzol	cHn23	f
sterk lemig fijn zand	dun	3a	enkeerd-laag	EZg23	g
	matig dik	3b	leekeerd	pRn80	h
	dik	3c	veldpodzol-1	Hn23	i
zeer sterk lemig fijn zand	dun	4a	veldpodzol-2	Hn21	j
	matig dik	4b	vlakvaag	Zn21	k
	dik	4c			
grof zand	dun	5a			
	matig dik	5b			
	dik	5c			
lichte klei	dun	11a			
	matig dik	11b			
	dik	11c			
zeer zware klei	dun	13a			
	matig dik	13b			
	dik	13c			
siltige leem	dun	15a			
	matig dik	15b			
	dik	15c			

*) dun 7,5 cm
 matig dik 15 cm
 dik 30 cm

Bodemeenheid	bodem-code	repro-code	Bodemeenheid	bodem-code	repro-code
Holtpodzol	Y21	1a/1b	Hoge enkeerd	z/bEZ21	e
	Y30	5a/5b		z/bEZ23	3c
Loopodzol	cY21	1a/1b		z/bEZ30	5c
	cY23	2a/2b	Beekeerd	pZg21	2b
	cY30	5a/5b		pZg23	a
Veldpodzol	Hn21	j	Gooreerd	pZn21	c
	Hn23	i		pZn23	2b
Laarpodzol	cHn21	1b	Vlakvaag	Zn21	k
	cHn23	f		Zn23	3a
Haarpodzol	Hd21	d	Duinvaag	Zd21	b
	Hd30	5a		Zd30	5a
Lage enkeerd	Ezg21	1c	Vorstvaag	Zb21	1a
	Ezg23	g		Zb30	5a
Lichte klei	Mn3. Rn8. Rd8.	11b	Zeer zware klei	Mn4. Rn8. Rd8.	13b

