

**De relatie tussen de vochttoestand van de bodem
en de vochtindicatie van de vegetatie**

**Een nadere bepaling van de grens tussen 'vochtig' en 'droog'
binnen het ecotopensysteem**

P.H. Verburg

RAPPORT 62

Juli 1995

Vakgroep Waterhuishouding
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen

ISSN 0926-230X

912373

SAMENVATTING

P.H. Verburg, 1995. De relatie tussen de vochttoestand van de bodem en de vochtindicatie van de vegetatie; een nadere bepaling van de grens tussen 'vochtig' en 'droog' binnen het ecotopensysteem. Doctoraalscriptie. Vakgroep Waterhuishouding. Landbouwwuniversiteit Wageningen.

Het ecotopensysteem (Runhaar et al., 1987) is bedoeld om aan te geven welke typen ecosystemen zullen verdwijnen of ontstaan bij veranderingen in het milieu. Een ecotoop is gedefinieerd als een 'ruimtelijke eenheid die homogeen is ten aanzien van vegetatiestructuur, successiestadium en de voornaamste abiotische factoren die voor de plantengroei van belang zijn' (Stevens et al., 1987a). Voor elk van deze indelingskenmerken zijn een aantal kenmerkklassen gedefinieerd. Om het systeem operationeel te maken moeten de grenzen tussen de verschillende kenmerkklassen gekwantificeerd worden in termen van abiotisch gedefinieerde parameters.

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van de abiotische grens tussen de kenmerkklassen 'vochtig' en 'droog'. Runhaar (1989a) vond een matig verband tussen de als 'vochtig' en 'droog' getypeerde vegetaties en de grondwaterstand. Vermoedelijk zal het vochttekort dat een bepaald (standaard)gewas op de standplaats ondervindt beter gecorreleerd zijn met de vochtindicatie van de vegetatie.

Met behulp van het model SWATRE (Belmans et al., 1983), dat de waterbalans in de onverzadigde zone simuleert, is het vochttekort voor 40 verschillende standplaatsen, verspreid over 8 natuurgebieden in Nederland bepaald (voor de periode 1980-1986). Van de vegetatie op die 40 standplaatsen is tevens de vochtindicatie volgens het ecotopensysteem bepaald en uitgedrukt in het percentage 'droge' soorten. Dit percentage is zowel berekend uit de presentie als de bedekking van de soorten.

Het percentage 'droge' soorten is duidelijk beter gecorreleerd met het vochttekort dan met de grondwaterstand (GVG en GLG). Dit valt te verklaren door de fysiologische betekenis van het vochttekort voor de plantengroei. De grondwaterstand is slechts indirect van fysiologische betekenis voor de plantengroei. De grens tussen 'vochtige' en 'droge' standplaatsen ligt in een 10-20% droog jaar (b.v. 1983) bij een vochttekort van 50 mm dat een (standaard)gewas (gewascoëfficiënt 0.7, Penman open-waterverdamping; worteldiepte 20 cm) op die standplaats ondervindt. In een gemiddeld jaar bedraagt het vochttekort ongeveer 15 mm.

De vochtindicatie van de vegetatie gebaseerd op de bedekking van soorten geeft een slechter verband met het vochttekort van de standplaats dan de vochtindicatie op basis van presentie. Indien de vochtindicatie op bedekking gebaseerd is beïnvloedt een klein aantal planten met hoge bedekking de vochtindicatie te veel.

De absolute grootte van de berekende vochttekorten is gevoelig voor de keuze van randvoorwaarden en beschrijving van processen in het model. In vergelijking met andere studies zijn de berekende vochttekorten laag. Alhoewel het verband van het vochttekort met de vochtindicatie van de vegetatie redelijk is, is toepassing moeilijk omdat voor modellering veel parameters nodig zijn en de modellering arbeidsintensief is. Voor veel toepassingen zal de GVG in combinatie met een deskundigenoordeel over de waterretentie en drainagekarakteristieken van de standplaats, een voldoende karakterisering opleveren.

VOORWOORD

Het in dit verslag beschreven ecohydrologisch onderzoek is gedaan in het kader van een zes maands afstudeervak Agrohydrologie aan de vakgroep Waterhuishouding van de Landbouwniversiteit in Wageningen. De studie is een vervolg op de 'toetsing van het ecotopensysteem' die in 1989 door J. Runhaar aan het Centrum voor Milieukunde van de Rijksuniversiteit Leiden werd uitgevoerd.

Doordat in de ecohydrologie zowel hydrologische als ecologische kennis nodig is heb ik tijdens deze studie vele mensen gespecialiseerd in één van beide disciplines moeten raadplegen. Zonder deze mensen met name te noemen bedank ik ze hierbij voor hun hulp. Han Runhaar van het Centrum voor Milieukunde in Leiden wil ik bedanken voor het aanleveren van de opdracht en bijhorende gegevens. Tevens waren de voortgangsgesprekken en toelichting van de gegevens erg nuttig. Paul Torfs begeleidde het hydrologische deel van deze studie vanuit de vakgroep Waterhuishouding te Wageningen. Hem wil ik speciaal bedanken voor zijn hulp bij het vaststellen van de randvoorwaarden voor de modellering. Mijn hoofdbegeleider Flip Witte, ook werkzaam bij de vakgroep Waterhuishouding, wil ik bedanken voor de vele nuttige ideeën en hulp. Ik heb het zeer op prijs gesteld dat ik bij hem altijd met vragen en ideeën binnen kon lopen.

Peter Verburg

INHOUD

SAMENVATTING	1
VOORWOORD	3
INHOUD	5
1 INLEIDING	7
1.1 Het ecotopensysteem	7
1.2 Doel van het onderzoek	8
1.3 Indeling van dit rapport	9
2 DE VOCHTTOESTAND VAN EEN STANDPLAATS	11
2.1 Fysiologische betekenis vochttoestand	11
2.1.1 <i>Vochtvoorziening</i>	
2.1.2 <i>Zuurstofvoorziening</i>	
2.2 Vochttoestand van de bodem	12
2.3 Indeling naar vochttoestand binnen het ecotopensysteem	12
2.4 Karakterisering van de vochttoestand van de bodem door abiotische parameters	12
3 BESCHRIJVING VAN DE GEBRUIKTE GEGEVENS EN LOCATIES	15
3.1 Selectie van de opnamen	15
3.2 Beschrijving van de locaties	15
4 BEREKENING VAN HET VOCHTTEKORT VAN DE BODEM	19
4.1 Inleiding	19
4.2 Het SWATRE model	19
4.3 Bovenrandvoorwaarde	20
4.3.1 <i>Meteorologische gegevens</i>	
4.3.2 <i>Verdamping van natuurlijke vegetaties</i>	
4.4 Schematisering van de bodemfysische karakteristieken	27
4.5 Onderrandvoorwaarde	28
4.5.1 <i>Inleiding</i>	
4.5.2 <i>Grondwaterstand aan het begin van de simulatieperiode</i>	
4.5.3 <i>Calibratie van de onderrandvoorwaarde</i>	
4.5.4 <i>Validatie van de onderrandvoorwaarde</i>	

4.6 Berekening van het vochttekort van een standaardgewas	33
4.6.1 <i>Definitie standaardgewas</i>	
4.6.2 <i>Berekening vochttekort</i>	
4.6.3 <i>Karakterisering van de meteorologische omstandigheden</i>	
5 BEPALING VAN DE VOCHTINDICATIE VAN DE VEGETATIE	39
5.1 Inleiding	39
5.2 Indeling volgens 'ECOTYP'	39
5.2.1 <i>Methode</i>	
5.2.2 <i>Resultaten</i>	
5.3 Indeling volgens 'weegfactoren' methode	42
5.3.1 <i>Methode</i>	
5.3.2 <i>Resultaten</i>	
5.4 Vergelijking van de 'ECOTYP' methode en de 'weegfactoren' methode	45
6 VERBAND TUSSEN DE BEREKENDE VOCHTTEKORTEN EN DE VOCHTINDICATIE VAN DE VEGETATIE	49
6.1 Inleiding	49
6.2 Grens tussen 'vochtig' en 'droog'	49
6.3 Relatie tussen het vochttekort en het percentage 'droge' soorten	52
7 DISCUSSIE	57
7.1 Inleiding	57
7.2 Betrouwbaarheid van de resultaten	57
7.3 Vergelijking van de resultaten met eerder onderzoek	58
7.4 Toepassingsmogelijkheden	59
8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK	63
8.1 Conclusies	63
8.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek	63
LITERATUURLIJST	65
BIJLAGE	

1 INLEIDING

1.1 HET ECOTOPENSYSTEEM

Voor het uitvoeren van beleidsstudies zijn methoden nodig voor de voorspelling en beoordeling van effecten op de natuur. Hierbij valt onder meer te denken aan de effecten van verdroging en vermessing op het ecosysteem. Het Centrum voor Milieukunde van de Rijksuniversiteit Leiden heeft daartoe het ecotopensysteem ontwikkeld (o.a. Runhaar et al., 1987; Stevers et al., 1987a). Het ecotopensysteem is bedoeld om aan te geven welke typen ecosystemen zullen verdwijnen of ontstaan bij veranderingen in het milieu. Daarbij wordt gewerkt met ecosystemen op het schaalniveau van ecotopen. Een ecotoop is gedefinieerd als een 'ruimtelijke eenheid die homogeen is ten aanzien van vegetatiestructuur, successiestadium en de voornaamste abiotische factoren die voor de plantengroei van belang zijn' (Stevens et al., 1987a).

De indeling van terrestrische ecotopen is gebaseerd op vegetatiestructuur, successiestadium en een aantal abiotische factoren die voor de plantengroei van belang zijn: voedselrijkdom, vochttoestand, zuurgraad, saliniteit en dynamiek. Deze abiotische factoren zijn zoveel mogelijk operationele standplaatsfactoren, dat wil zeggen standplaats eigenschappen die direct bepalend zijn voor de fysiologische omstandigheden waaronder de planten groeien.

Binnen deze indelingskenmerken kunnen een aantal klassen onderscheiden worden (tabel 1.1). Ecotooptypen worden gedefinieerd als combinaties van deze kenmerkklassen, bijvoorbeeld 'graslanden op natte, voedselrijke bodems', of 'pioniervegetaties op droge, voedelarme, basische bodems'. In tabel 1.1 is bij alle kenmerkklassen een symbool aangegeven. Ecotooptypen worden aangeduid met een code die bestaat uit drie tot vijf van deze symbolen. Zo duidt de code G27 op graslanden (G) van natte (2), matig voedselrijke (7) bodems.

Naast een ecosysteemclassificatie bestaat het ecotopensysteem uit een indeling van plantesoorten in ecologische soortengroepen die overeenkomen met de onderscheiden ecotooptypen. Op basis van deskundigenoordeel, literatuur, de archieven en collecties van het Rijksherbarium en veldgegevens zijn de soorten van de Nederlandse flora toegedeeld aan de ecotooptypen (Runhaar et al., 1987). Hierbij is rekening gehouden met de ecologische amplitudes van soorten, namelijk doordat één soort bij meerdere ecotooptypen kan zijn ingedeeld.

Deze indeling in ecologische soortengroepen is veelal niet gebaseerd op metingen van de abiotische omstandigheden. Om het systeem operationeel te maken moet echter wel een verband tussen de indelingskenmerken en abiotische factoren bekend zijn. Runhaar (1989a) heeft hiertoe ondermeer de grens tussen de kenmerkklassen 'nat' en 'vochtig' vast kunnen stellen bij een gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) van ongeveer 20 centimeter onder maaiveld. Wanneer de GVG hoger is dan 20 centimeter onder maaiveld zal de vegetatie hoofdzakelijk bestaan uit soorten die ingedeeld zijn bij natte ecotooptypen. Wanneer de GVG lager is dan 20 centimeter zal het gaan om soorten die ingedeeld zijn bij vochtige ecotooptypen. De grens tussen 'vochtige' en 'droge' standplaatsen bleek niet alleen afhankelijk te zijn van de grondwaterstand maar tevens van de textuur van de bodem.

tabel 1.1 *De in het ecotopensysteem onderscheiden kenmerken en kenmerkklassen*
(naar Runhaar et al., 1987)

<i>saliniteit (prefix)</i>
- zoet
b brak
z zilt
<i>vegetatiestructuur en successiestadium (hoofdletter)</i>
G grasland
H bos en struweel
P pioniervegetatie
R ruigte
V verlandingsvegetatie
W watervegetatie
<i>vochttoestand (eerste cijfer)</i>
1 aquatisch
2 nat
4 vochtig
6 droog
<i>trofietoestand en zuurgraad (tweede cijfer)</i>
1 voedselarm zuur
2 voedselarm zwak zuur
3 voedselarm basisch
7 matig voedselrijk
8 zeer voedselrijk
9 matig tot zeer voedselrijk
0 niet van toepassing
<i>additionele kenmerken (suffix)</i>
kr kalkrijk
mu stenig substraat
ro geroerd
sa polysaproob
st stuivend
tr betreden

1.2 DOEL VAN HET ONDERZOEK

Dit onderzoek is gedaan om de grens tussen de kenmerkklassen 'vochtig' en 'droog' binnen het ecotopensysteem te definiëren met een abiotische parameter. Voor deze parameter zal in plaats van de grondwaterstand het vochttekort dat een vegetatie ondervindt genomen worden. Verwacht wordt dat deze parameter een goede maat is voor de vochttoestand van de standplaats, omdat naast de grondwaterstand ook de eigenschappen van de bodem het vochttekort zullen beïnvloeden.

1.3 INDELING VAN DIT RAPPORT

Een korte samenvatting van de fysiologische betekenis van de vochttoestand en de manier, waarop deze in de indeling van het ecotopensysteem verwerkt is, wordt gegeven in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de gegevens waarmee in deze studie is gewerkt. Het daarop volgende hoofdstuk behandelt uitvoerig de methode en resultaten van de berekening van het vochttekort van de bodem. Hoofdstuk 5 beschrijft hoe de vochtindicatie van de vegetatie op basis van het ecotopensysteem bepaald is. Daarna zal het verband tussen het vochttekort en de vochtindicatie volgens het ecotopensysteem behandeld worden. Hoofdstuk 7 gaat in op de betrouwbaarheid en toepasbaarheid van de verkregen resultaten. Tot slot worden in hoofdstuk 8 de belangrijkste conclusies samengevat en worden enkele aanbevelingen gedaan ten aanzien van nader onderzoek.

2 DE VOCHTTOESTAND VAN EEN STANDPLAATS

2.1 FYSIOLOGISCHE BETEKENIS VOCHTTOESTAND (NAAR RUNHAAR, 1989A)

De vochttoestand van de wortelzone bepaalt zowel de vochtvoorziening als de zuurstofvoorziening van de planten. Wanneer de wortelzone waterverzadigd is zijn de hoeveelheden zuurstof meestal erg laag en beperkend voor de meeste planten. Omgekeerd bevat een droge wortelzone meestal voldoende zuurstof terwijl er wat betreft de watervoorziening tekorten optreden.

2.1.1 Vochtvoorziening

Water vormt één van de basisbehoeften van de plant, niet alleen als grondstof in de koolzuurassimilatie, maar ook als transportmiddel van nutriënten en organische verbindingen. De (hogere) planten nemen dit water door middel van hun wortelstelsel uit de bodem op. Naarmate de bodem droger wordt neemt het vochtgehalte van de bodem af en kunnen planten de resterende hoeveelheid vocht slechter opnemen. Wanneer de zuigspanning van de bodem erg groot wordt (8000 tot 16000 centimeter waterdruk), is het voor de planten in het geheel niet meer mogelijk water op te nemen. Dit remt de groei en zal uiteindelijk leiden tot verwelking. Verschillende planten bezitten aanpassingen om droge omstandigheden te overleven (afreatofyten). Vetkruid (*Sedum sp.*) is bijvoorbeeld gewapend tegen droge perioden door middel van een relatief klein verdampend oppervlak. Onder droge omstandigheden zullen dergelijk aangepaste planten voorkomen, terwijl ze onder vochtiger omstandigheden het zullen afleggen tegen sneller groeiende, niet aan droge omstandigheden aangepaste, planten.

2.1.2 Zuurstofvoorziening

Plantewortels hebben zuurstof nodig om water en voedingsstoffen te kunnen opnemen. De meeste planten moeten deze zuurstof met de wortels opnemen en zijn dus afhankelijk van zuurstof die in de poriën van de bodem aanwezig is. Indien deze poriën langdurig met water verzadigd zijn ontstaan zuurstofloze omstandigheden die uiteindelijk kunnen leiden tot het afsterven van de wortels. Planten die op permanent natte standplaatsen groeien (freatofyten) hebben een zeer oppervlakkig wortelstelsel of kunnen zuurstof uit de lucht opnemen en door zogenaamd luchtweefsel naar de wortels transporteren.

De hoeveelheid zuurstof in de bodem heeft ook invloed op tal van andere biologische en chemische processen zoals mineralisatie, (de)nitrificatie en sulfaatreductie. Deze processen beïnvloeden op hun beurt andere standplaatskenmerken zoals zuurgraad en voedselrijkdom.

2.2 VOCHTTOESTAND VAN DE BODEM

De vochttoestand van de bodem is afhankelijk van de eigenschappen van de bodem, de bronnen van vochtvoorziening en de hoeveelheid vocht die door de plant wordt verbruikt.

De eigenschappen van de bodem bepalen in hoeverre de bodem in staat is vocht dat in de wortelzone aanwezig is, vast te houden. In humusarm, leemarm zand zal al het aanwezige water snel uitzakken naar diepere lagen en zal er weinig overblijven voor de planten. In kleigronden zal echter altijd veel water aanwezig zijn. Het is echter zo sterk gebonden aan de bodemmatrix, dat slechts een kleine hoeveelheid water beschikbaar is voor de planten. De eigenschappen van de bodem bepalen tevens hoeveel vocht door capillair transport de wortelzone kan bereiken.

De voornaamste bron van water in de wortelzone is neerslag. In voor- en najaar is deze groter dan de verdamping van zowel bodem als vegetatie. In de zomer is er echter sprake van een neerslagtekort en is de plantegroei afhankelijk van de voorraad water die nog aanwezig is in de bodem en de capillaire opstijging vanuit het grondwater, indien dit niet te diep zit.

2.3 INDELING NAAR VOCHTTOESTAND BINNEN HET ECOTOPENSYTEEM

Binnen het ecotopensyteem zijn drie kenmerkklassen voor de vochttoestand onderscheiden: nat, vochtig en droog. Het verschil tussen nat en vochtig is vooral gebaseerd op de mate waarin perioden met zuurstoftekorten optreden, terwijl het verschil tussen de klassen vochtig en droog is gebaseerd op de mate waarin vochttekorten optreden (Stevens et al., 1987b):

nat	<i>op plaatsen waar door hoge grondwaterstanden aan het begin van het groeiseizoen langdurige perioden met lage zuurstofspanning optreden</i>
vochtig	<i>op plaatsen waar geen langdurige perioden met lage zuurstofspanning optreden, en waar in de zomer voldoende water voor de plantengroei beschikbaar is</i>
droog	<i>op plaatsen waar 's zomers onvoldoende water voor de vegetatie beschikbaar is.</i>

De planten van de Nederlandse flora zijn toegedeeld aan één of meer van deze kenmerkklassen. Deze indeling heeft plaats gevonden op basis van onder andere deskundigenoordeel en andere indelingen, die ook grotendeels op deskundigenoordeel zijn gebaseerd.

2.4 KARAKTERISERING VAN DE VOCHTTOESTAND VAN DE BODEM DOOR ABIOTISCHE PARAMETERS

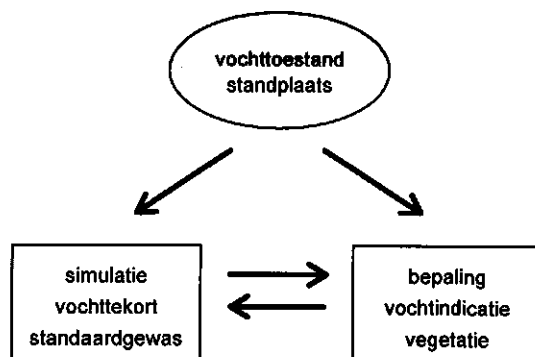
Veranderingen in de vochttoestand van de bodem zullen meestal uitgedrukt worden in abiotische parameters, zoals een verandering in grondwaterstand of vochtgehalte. Indien we de effecten van veranderingen in de vochttoestand op de vegetatie willen voorspellen is een verband nodig tussen deze abiotische parameters en de vochtindicatie van de vegetatie.

De abiotische parameter waarmee de vochttoestand van de bodem omschreven wordt, moet een zo goed mogelijke beschrijving geven van de vochttoestand van de bodem zoals de plant die ondervindt. Voor het onderscheid tussen 'natte' en 'vochtige' standplaatsen bleek de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) een goed verband te vertonen met de indicatiewaarde van de vegetatie (Runhaar, 1989a). Voor het onderscheid tussen 'vochtige'

en 'droge' standplaatsen bleek de grondwaterstand minder geschikt.

In deze studie is gekozen voor het karakteriseren van de vochttoestand van de bodem door middel van het vochttekort dat een gewas gedurende het zomerhalfjaar ondervindt. Omdat verschillende planten op dezelfde standplaats een verschillend vochttekort zullen ondervinden moet uitgegaan worden van een standaardgewas, zodat de vochttekorten van verschillende standplaatsen vergelijkbaar zijn.

Door vergelijking van de gesimuleerde vochttekorten met de vochtindicatie van de vegetatie die in werkelijkheid op de standplaats voorkomt kan een relatie tussen het vochttekort van een standaardgewas en de vochtindicatie afgeleid worden.



3 BESCHRIJVING VAN DE GEBRUIKTE GEGEVENS EN LOCATIES

3.1 SELECTIE VAN DE OPNAMEN

Voor de toetsing van het ecotopensysteem (Runhaar, 1989b) zijn in totaal 202 vegetatieopnamen gemaakt in 19 verschillende natuurgebieden door geheel Nederland verspreid. Bij elke vegetatieopname zijn voor verschillende jaren binnen de periode 1980-1987 grondwaterstanden bekend. Niet al deze vegetatieopnamen zijn geschikt om in deze studie te gebruiken. Bij veel opnamen betreft het natte of zeer vochtige standplaatsen. Het ligt niet in de verwachting dat op deze standplaatsen de vegetatie een vochttekort zal ondervinden. Verschillende opnamen zijn gemaakt in bossen en struwelen; modellering van de waterbalans van de onverzadigde zone in bossen en struwelen is zeer gecompliceerd; daarnaast is de vegetatiesamenstelling door aanplant van bomen en struiken niet altijd in evenwicht met de heersende standplaatsomstandigheden. Deze opnamen zijn derhalve minder geschikt om de relatie tussen soortensamenstelling en standplaatsomstandigheden te onderzoeken. Een serie opnamen is niet gebruikt omdat de grondwaterstandgegevens onbetrouwbaar, ofwel onvolledig waren. Tot slot zijn buitendijkse opnamen alsmede zeer soortenarme opnamen buiten beschouwing gelaten.

Deze selectie reduceert de data-set tot 40 opnamen, verdeeld over 8 natuurterreinen. Vijftien opnamen beschrijven een 'droge' of 'vochtig tot droge' vegetatie, 22 een 'vochtige' of 'nat tot vochtige' vegetatie en 3 opnamen een 'natte' vegetatie. Tijdens het modelleren moest één opname afvallen wegens calibratieproblemen.

3.2 BESCHRIJVING VAN DE LOCATIES

De locaties van de verschillende natuurterreinen zijn weergegeven in figuur 3.1. In het navolgende is een korte beschrijving gegeven van de verschillende natuurterreinen (naar Runhaar (1989b)). De nummering van de opnamen is gelijk gehouden aan de originele nummering in de data-set.

1. Rheezer maten en belten (opname: 46, 49, 50, 52, 57, 58, 59 en 60)

De Rheezer maten en belten liggen aan de Overijsselsche Vecht en bestaan uit een afwisseling van oude rivierduinen (belten) en lager gelegen hooigraslanden (maten) op de plaats van een vroegere rivierloop. De opnamen zijn gemaakt in het rivierduingedeelte, waarin een aantal kleinere depressies voorkomen, die bestaan uit gedeeltelijk opgevulde, vroegere rivierlopen. De ondergrond bestaat uit matig fijn tot fijn zand; in de depressies komen op ongeveer 1 meter diepte zavel en klei voor. De vegetatie bestaat uit droge graslanden, gedomineerd door *Agrostis capillaris* en *Festuca rubra* terwijl in de lagere delen vochtige graslanden met *Agrostis stolonifera*, *Alopecurus geniculatus* en *Deschampsia cespitosa* te vinden zijn.



Figuur 3.1 Locatie van de natuurgebieden

2. Tielerwaard (opname: 53 en 54)

Het komgrondenreservaat 'de Tielerwaard' ligt in één van de laagste en natste delen van de Tielerwaard. De bodem bestaat uit kalkloze poldervaaggrond op zware klei. Het reservaat kent bemeste en onbemeste hooilanden met onder meer *Rhinantus angustifolius* en *Chrysanthemum leucanthemum*.

3. Grasgorzen Haringvliet (opname: 65, 66, 67, 68, 69, 70 en 72)

Het reservaat bestaat uit een aantal voormalig buitendijkse gebieden langs het Haringvliet. De bodem bestaat uit kalkrijke poldervaaggrond, in het westelijke deel (opn. 65, 66, 67) op lichtere grond (zwarte zavel) dan in het oostelijk deel (opn. 68 t/m 72, lichte klei). Het gebied bestaat uit natte en vochtige, brakke graslanden terwijl opname 67 betrekking heeft op een ruigte op (verzoetende) brakke grond langs het Haringvliet.

4. Konijnendijk (opname: 96)

Dit terrein ligt in een dekzandlandschap op gestuwd Preglaciaal. De bodem bestaat uit bekeerdgrond op zwak lemig fijn zand. Heischraal grasland met o.a. *Danthonia decumbens*, *Agrostis vinealis*, *Dactylorhiza maculata*, *Pedicularis sylvatica* vormt de begroeiing.

5. Stelkampsveld (opname: 97, 99, 103, 104, 105, 108, 109)

Ook het Stelkampsveld ligt in het dekzandlandschap op gestuwd Preglaciaal. Het centrale deel bestaat uit een uitgegraven laagte die naar het noorden toe afwatert. In de hoge delen worden humuspodzolen gevonden die begroeid zijn met droge heidevegetaties. Deze gaan in de lagere delen over in veldpodzolen en bekeerdgronden met heischrale graslanden en blauwgraslanden in de laagste delen.

6. *Dwingeloo* (opname: 112, 115, 119)

Het gebied ligt op een keileem-plateau dat is afgedekt door een dunne laag dekzand. De bodem bestaat uit een complex van veldpodzolen en moerige podzolgronden met keileem ondiep in de ondergrond. De opnamen bestaan uit heidevegetaties.

7. *Needse Achterveld* (opname: 121, 122, 125, 127, 128, 131, 132)

Het Needse Achterveld ligt in het dekzandlandschap ten noorden van Neede. De bodem bestaat overwegend uit veldpodzolen op matig fijn tot fijn leemarm zand, in de hogere delen overgaand in haarpodzolen. De vegetatie bestaat uit natte, vochtige en droge heide. De heidevegetaties zijn soortenarm. Mogelijke oorzaken daarvoor kunnen de relatief grote grondwaterstandfluctuaties en de invloed van zure regen zijn.

8. *Texel* (opname: 151, 152, 153 en 164)

De opnamen zijn gemaakt in het duingebied tussen De Koog en de Slufter. De bodem bestaat uit duinvaaggronden op matig fijn leemarm zand, in de valleien overgaand in vlakvaaggronden. De vegetatieopnamen zijn gemaakt in duingraslanden en extensief gebruikte cultuurgraslanden.

4 BEREKENING VAN HET VOCHTTEKORT VAN DE BODEM

4.1 INLEIDING

De vochttoestand van de bodem op een bepaalde plaats kan worden gekarakteriseerd door het vochttekort dat een gewas ondervindt. Het vochttekort is het verschil tussen de verdamping van een vegetatie onder optimale omstandigheden (de potentiële verdamping) en de verdamping die het gewas in werkelijkheid heeft bij de vochttoestand van de standplaats (de actuele verdamping). Hierbij wordt verondersteld dat de overige standplaatsfactoren de verdamping niet beïnvloeden. Reductie van de potentiële verdamping is een gevolg van een gebrek aan gemakkelijk beschikbaar water in de wortelzone, oftewel, afhankelijk van de drukhoogte (pF -waarde) in de wortelzone.

Voor de 40 geselecteerde locaties (hoofdstuk 3) is het vochttekort berekend. Voor alle locaties is uitgegaan van eenzelfde gewas (een 'standaardgewas'). Hierdoor is het vochttekort een maat om de vochttoestand van de bodem op verschillende locaties te vergelijken.

Om het vochttekort te bepalen kan gebruik gemaakt worden van numerieke modellen, die de bodemwaterbalans en stroming door de onverzadigde zone beschrijven. In deze studie is gebruik gemaakt van het SWATRE-model (Belmans et al., 1983).

In paragraaf 4.2 zal kort de werking van het SWATRE-model beschreven worden. Daarna zullen de parameters die voor de modellering met behulp van dit model nodig zijn besproken worden (§4.3 t/m 4.5). Tot slot zullen de resultaten van de simulaties behandeld worden.

4.2 HET SWATRE MODEL

SWATRE is een eindige-differentie model dat op het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (Feddes et al., 1978; Belmans et al., 1983) is ontwikkeld. Het model beschrijft het verticaal transport van water in de onverzadigde zone ten gevolge van gradiënten in drukhoogte op dagbasis. Deze gradiënten zijn het gevolg van veranderingen:

1. aan de bovenzijde van het systeem (neerslag, bodemevaporatie, interceptieverdamping),
2. in het systeem (wateropname door plantewortels),
3. aan de onderzijde van het systeem.

Deze veranderingen zijn afhankelijk van de randvoorwaarden van het systeem. Als randvoorwaarde aan de bovenzijde van het profiel wordt de stromingsdichtheid door het bodemoppervlak gebruikt. Deze kan bestaan uit een naar boven gerichte verdampingsflux, de bodemevaporatie en de transpiratie van planten, of uit een neerwaarts gerichte flux als gevolg van de infiltratie van regenwater. Om deze flux te bepalen zijn meteorologische gegevens nodig in combinatie met de verdampingseigenschappen van de bodem en vegetatie.

Als randvoorwaarde aan de onderzijde van de verzadigde zone wordt vaak een gemeten grondwaterstand gebruikt. Dit is echter niet altijd een goede onderrandvoorwaarde voor het doorrekenen van hypothetische situaties (scenario's). De grondwaterstand wordt namelijk beïnvloed door de bovenrandvoorwaarde. Indien een vegetatie aanwezig is die veel verdampt, zal de grondwaterstand dieper zakken dan wanneer er geen sterk verdampende vegetatie aanwezig is. Hieruit volgt dat de bovenrandvoorwaarde en de onder-

randvoorwaarde gekoppeld zijn. Het is daarom niet correct gemeten grondwaterstanden als onderrandvoorwaarde te gebruiken bij het modelleren van het vochttekort van een standaardgewas.

In plaats van de grondwaterstand kan de flux door de onderrand van het gemodelleerde profiel gebruikt worden. In dit geval wordt ook een klein deel van de verzadigde zone bij de modellering betrokken. De flux door de onderrand van het profiel is afhankelijk van de positie van het profiel in het landschap en de regionale grondwaterstroming (zie bijlage 1 voor uitvoerige beschrijving). Deze grootte is in veel mindere mate afhankelijk van de bovenrandvoorwaarde en is daarom geschikter om te gebruiken in deze studie. Deze flux (in het vervolg drainage genoemd) is echter niet direct meetbaar in het veld.

Wanneer de randvoorwaarden bekend zijn kan het model de stroming van water door de onverzadigde stroming berekenen. Bij de berekening wordt rekening gehouden met de waterretentie en doorlatendheidskarakteristiek van betreffende bodem. Voor verschillende bodems zullen deze karakteristieken verschillen.

4.3 BOVENRANDVOORWAARDE

4.3.1 Meteorologische gegevens

Neerslag en open-watervedamping zijn afgeleid uit de "Maandoverzichten van het weer in Nederland" (KNMI, 1957-1987). Er is gebruik gemaakt van decadedcijfers zoals deze voor 15 verschillende districten in Nederland bekend zijn. Telkens zijn de meteorologische gegevens van het district, waar de betreffende locatie toe behoort, gebruikt. Het gebruik van decadedcijfers in plaats van dagwaarden leidt tot een zekere vervlakking van de meteorologische omstandigheden. Doordat een regenbui gelijkmatig over een decade wordt verdeeld, zullen, in het bijzonder op goed doorlatende gronden, waar water zich na een regenbui snel door het profiel naar beneden beweegt, de vochttekorten kleiner zijn dan bij het gebruik van dagwaarden. Het verschil valt echter mee, mits de berekening van de hoeveelheid interceptie is aangepast voor het gebruik van decadedcijfers (bijlage 2).

4.3.2 Verdamping van natuurlijke vegetaties

Inleiding

De totale verdamping van een vegetatie is de som van twee processen. Ten eerste kan evaporatie worden onderscheiden; hieronder wordt de verdamping van natte oppervlakken verstaan. Dit kan zowel verdamping van natte bladeren (interceptieverdamping) als wel bodmevaporatie zijn. Water, dat via de huidmondjes en de cuticula van planten wordt verdampt, noemen we transpiratie.

De interceptieverdamping wordt voornamelijk bepaald door de intensiteit en duur van de regen en de capaciteit van de vegetatie om dit regenwater te onderscheppen. De transpiratie en bodmevaporatie zijn afhankelijk van meteorologische omstandigheden, bodem en vegetatiekenmerken. Wanneer vegetatie en bodem optimaal van water zijn voorzien is de verdamping maximaal voor betreffende bodem en vegetatie en spreken we van potentiële evapotranspiratie. Als gevolg van vochttekorten kan de verdamping kleiner worden dan de potentiële evapotranspiratie. De werkelijk optredende verdamping is de actuele evapotranspiratie.

In de volgende paragrafen worden respectievelijk de interceptie, potentiële en actuele

evapotranspiratie behandeld. Er wordt bij de beschrijving uitgegaan van de berekeningsmethode zoals toegepast in het SWATRE-model. De besproken parameters zijn invoerparameters.

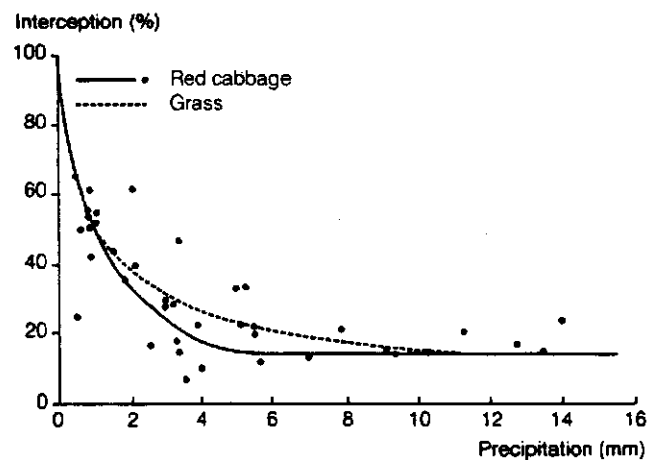
Het SWATRE-model is in principe ontwikkeld voor het simuleren van de bodemwaterbalans op gronden met landbouwgewassen. Voor natuurlijke vegetaties is het verdampingsproces minder eenvoudig te beschrijven daar we te maken hebben met een combinatie van meerdere plantesoorten met verschillende verdampingseigenschappen, die in wisselende verhoudingen in de vegetatie voorkomen. In tegenstelling tot landbouwgewassen is bovendien weinig onderzoek verricht naar de verdamping van natuurlijke vegetatie, en onderzoek naar de toepassing in modellen is schaars (Den Besten, 1986).

Interceptie

De hoeveelheid water die door de bladeren van planten opgevangen en vastgehouden kan worden is onder andere afhankelijk van de intensiteit, hoeveelheid en verdeling van de regen over een bepaalde periode. Daarnaast zijn de eigenschappen van de plant zoals bladoppervlak en bladoriëntatie van belang. Het is waarschijnlijk dat de hoeveelheid interceptie zal verschillen voor verschillende vegetatietypen; een heidevegetatie zal allicht een kleinere interceptie hebben dan een kruidig grasland. Onderzoek naar de interceptie van natuurlijke vegetaties is echter schaars.

De relatie tussen interceptie en hoeveelheid neerslag is in het SWATRE-model beschreven door een zogenaamde precipitatie-interceptie functie. In deze functie is de hoeveelheid interceptie een functie van de hoeveelheid neerslag. Figuur 4.1 geeft een voorbeeld van een dergelijke precipitatie-interceptie functie.

Feddes et al. (1978) baseren deze functie op metingen van de interceptie van respectievelijk gras en rode kool (Rijtema, 1965 en Feddes, 1971). Voor beide gewassen werd een vergelijkbare interceptie gemeten (figuur 4.1).



Figuur 4.1 *Relatie tussen interceptie en neerslag (Koopmans en Feddes, 1994)*

Bij gebrek aan parameters die de precipitatie-interceptie functie voor natuurlijke vegetaties beschrijven, zal deze functie niet voor de verschillende vegetatietypen worden veranderd. Voor alle vegetaties zijn de parameterwaarden genomen zoals afgeleid door Feddes et al. (1978) voor gras en rode kool. Aanpassing van de parameters voor het gebruik van decadecijfers voor de precipitatie is wel gebeurd, zoals beschreven in bijlage 2.

Potentiële evapotranspiratie

De potentiële evapotranspiratie van een vegetatie kan berekend worden uit de referentie-verdamping zoals die bepaald wordt op meteorologische stations. Deze berekening gebeurt door middel van een zogenaamde gewascoëfficiënt, in dit geval een vegetatiecoëfficiënt:

$$ET_p = k_c \cdot ET_{ref}$$

waarin: ET_p : potentiële evapotranspiratie (cm d⁻¹)
 k_c : vegetatiecoëfficiënt (-)
 ET_{ref} : referentie evapotranspiratie (cm d⁻¹)

De gebruikte gewascoëfficiënt moet corresponderen met de gebruikte referentie evapotranspiratie. In Nederland werd tot 1 april 1987 de referentieverdamping van een open wateroppervlak bepaald volgens Penman (1948), E_o . Na deze datum wordt de referentie verdamping echter berekend met de formule van Makking (1957); E_r . Feddes (1987) geeft omrekeningsfactoren voor de vegetatiecoëfficiënt op basis van de verhouding E_o/E_r (bijlage 4).

In het navolgende zijn alle gewas/vegetatiecoëfficiënten omgerekend naar de referentieverdamping volgens Penman, daar deze als invoer voor het model wordt gebruikt.

De vegetatiecoëfficiënten kunnen op verschillende manieren bepaald zijn, b.v. door middel van lysimeter experimenten maar ook door middel van chloride metingen of volgens de zgn. flux-profiel methode (Ovaa, 1990). De meeste coëfficiënten zijn echter met behulp van lysimeters vastgesteld.

In het navolgende zijn literatuurwaarden voor verschillende (relevante) vegetatietypen vergeleken. Alle waarden zijn omgerekend naar de Penman open-watervedamping en soms gemiddeld voor de betreffende maand.

Heide (niet vergrast)

De waarden zoals gemeten door Eggink en Vink (1989) op een hoogveen zijn aanzienlijk hoger dan de andere bronnen vermelden (tabel 4.1). Dit kan het gevolg zijn van verschillende groeiomstandigheden. Jansen (1994) meldt dat de vegetatiecoëfficiënten voor een Erica vegetatie onder erg natte omstandigheden 0.15 tot 0.2 hoger kunnen liggen. Daar op een hoogveen erg natte omstandigheden vaak voor zullen komen kan dit de hogere coëfficiënten verklaren. Daarnaast is het waarschijnlijk dat de aanwezige veenmossen de verdamping zullen verhogen.

tabel 4.1 Vegetatiecoëfficiënten voor (niet vergraste) heide

maand	Jansen (1994)	Eggink en Vink (1989)	Jansen (1986a)
april	0.45		
mei	0.55	0.6	
juni	0.6	0.8	
juli	0.65	0.85	
augustus	0.6	0.9	
september	0.6	0.7	
gemiddeld	0.6	0.75	0.6 (max. 0.75)

Heide (vergrast)/Molinia

Tabel 4.2 geeft de coëfficiënten voor vergraste heide. De metingen van Schouwenaars (1993) en Moors et al. (1994) zijn in dezelfde jaren in hetzelfde (hoogveen-)gebied gedaan; Schouwenaars werkte met micro-lysimeters terwijl Moors et al. de flux-profiel methode hebben toegepast.

Ook hier is een grote spreiding tussen de verschillende bronnen te zien, echter, de orde van grootte is alleen afwijkend voor Jansen (1986a). Deze vermeldt echter niet hoe de vegetatiecoëfficiënten zijn bepaald.

tabel 4.2 Vegetatiecoëfficiënten voor vergraste heide

maand:	Jansen (1994)	Schouwenaars (1993)	Moors et al. (1994)	Jansen (1986a)
april	0.6			
mei	0.6	0.4		
juni	0.6	0.6	0.65	
juli	0.85	0.75	0.85	
augustus	1.0	0.85	0.9	
september	1.0	0.80	0.8	
gemiddeld:	0.8	0.7		0.5 (max. 0.75)

Schraalgrasland

In tabel 4.3 staan de coëfficiënten voor schraalgrasland. Vergeleken met gewascoëfficiënten voor gras (Feddes, 1987) zijn die van schraalgrasland tot juli lager en in augustus en september iets hoger. De samenstelling van het schraalgrasland zal een duidelijke invloed hebben op de verdamping. De vegetatiecoëfficiënten zijn door Jansen (1994) bepaald voor een schraalgrasland dat voornamelijk bestaat uit Biezeknoppen (*Juncus subulifloris*), Krui-pend struisgras (*Agrostis canina*), Gewone Wederik (*Lysimachia vulgaris*), Moerasrolklaver (*Lotus uliginosus*), Reukgras (*Anthoxantum odoratum*) en Gewone Zegge (*Carex nigra*). Gezien deze soortensamenstelling betreft het een vochtig schraalgrasland.

tabel 4.3 Vegetatiecoëfficiënten voor schraalgrasland

maand:	Jansen (1994)	Jansen (1986a)	Feddes (1987) gewoon grasland
april	0.55		0.8
mei	0.6		0.8
juni	0.6		0.8
juli	0.8		0.8
augustus	1.0		0.8
september	0.85		0.8
gemiddeld:	0.75	0.75 (0.65)	0.8

Duinen

De verdamping van duinvegetaties is aangepast aan een hoge verdampingsvraag. Dit is het gevolg van afwijkende weersomstandigheden vlak langs de kust. Voor de open-waterverdamping worden door Bakker et al. (1979) waarden tussen de 750 en 780 mm per jaar genoemd. Onder optimaal van water voorziene omstandigheden hebben duinvegetaties toch een hoge vegetatiecoëfficiënt. Voor lysimeters in *Castricum* wordt een vegetatiecoëfficiënt van 0.75 gevonden voor een vegetatie bestaande uit Duindoorn (*Elaeagnaceae Hippophae*), Helm (*Ammophila arenaria*) en mos. Voor droge onbegroeide duingrond kan 0.3 worden aangehouden.

Tabel 4.4 geeft een samenvatting van de vegetatiecoëfficiënten zoals die in deze studie gebruikt zijn. Jansen (1994) is overwegend als bron gebruikt daar deze de vegetatiecoëfficiënten heeft bepaald voor vegetaties die het best overeen komen met de te modelleren vegetaties.

tabel 4.4 Vegetatiecoëfficiënten zoals in deze studie gebruikt

vegetatie	april	mei	juni	juli	augustus	september
heide	0.45	0.55	0.60	0.65	0.60	0.60
molinia	0.60	0.60	0.60	0.85	1.00	1.00
schraalgrasland	0.55	0.60	0.60	0.80	1.00	0.85
grasland	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
duinen (vegetatie)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
duinen (zand)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

Deze vegetatiecoëfficiënten zijn overwegend bepaald voor gesloten vegetaties. De verdamping zal in veel gevallen voor het grootste deel uit transpiratie bestaan. Tussen de te modelleren profielen komen veel situaties voor, waarin de vegetatie de bodem maar voor een klein deel bedekt. De rest van de bodem bestaat uit kale grond dan wel uit mossen. In deze situaties zal de bodemverdamping een belangrijke rol spelen en leidt het gebruik van vegetatiecoëfficiënten die bepaald zijn voor gesloten vegetatie tot fouten. Daarom wordt voor de berekening van de potentiële verdamping het oppervlak van het profiel, aan de hand van de bodembedekking, onderverdeeld in een begroeid deel en een onbegroeid deel. Voor de berekening van de verdamping van het begroeide deel wordt gebruik gemaakt van de bijhorende vegetatiecoëfficiënt en voor het onbegroeide deel van een coëfficiënt voor open grond. Meer details worden gegeven in bijlage 6.

Bij het gebruik van lysimeters wordt de vegetatiecoëfficiënt berekend uit de waterbalans volgens:

$$k_c ET_{ref} = P - D + \Delta W$$

waarin: P : neerslag (cm d^{-1})
 D : drainage (cm d^{-1})
 ΔW : verandering in berging (cm d^{-1}); bij constante grondwaterstand gelijk aan 0

De op deze wijze berekende potentiële verdamping bestaat uit de potentiële transpiratie, de potentiële bodemverdamping en de interceptieverdamping. In SWATRE wordt de met behulp van de vegetatiecoëfficiënt berekende evapotranspiratie echter onderverdeeld in

potentiële transpiratie en potentiële bodemverdamping. De interceptieverdamping wordt los daarvan berekend en bij de totale evapotranspiratie opgeteld. De totaal berekende verdamping is hierdoor groter dan de in de lysimeters gemeten verdamping. Een kleine verandering in de code van het programma zorgt er echter voor dat de potentiële transpiratie gecorrigeerd wordt voor de interceptieverdamping (zie bijlage 5).

Actuele evapotranspiratie

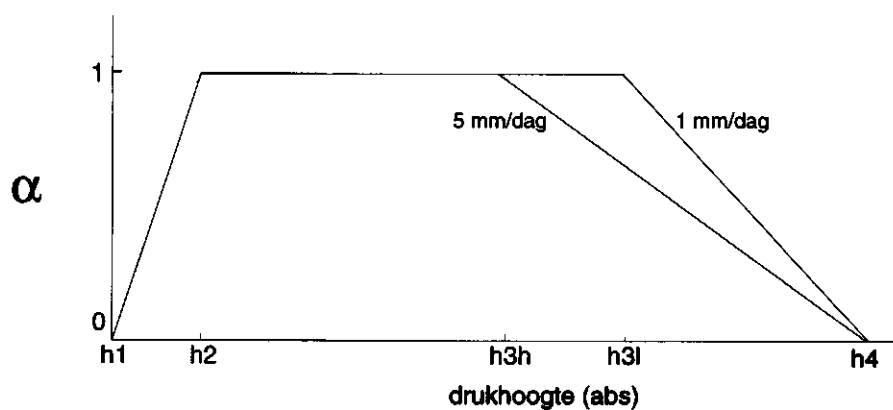
Wanneer de bodem uitdroogt, nemen zowel de evaporatie als de transpiratie af. De afname van de bodemevaporatie wordt veroorzaakt door een verlaging van de conductiviteit van de droge toplaag van de bodem.

De reductie van de actuele transpiratie wordt beschreven door een zogenaamde α -functie die afhankelijk is van de drukhoogte in het profiel. Daar de drukhoogte niet overal in het profiel gelijk is wordt de reductie van de actuele transpiratie beschreven als een reductie in de extractie van water door de wortels volgens:

$$S = \alpha(h) S_{max}$$

- waarin: S : water opname door wortels ($cm\ d^{-1}$)
 $\alpha(h)$: een dimensieloze functie van de drukhoogte
 S_{max} : de maximaal mogelijke wortel opname ($cm\ d^{-1}$)

Figuur 4.2 laat het verloop van de α -functie zien en tabel 4.5 geeft voor een aantal verschillende landbouwgewassen de bijhorende waarden. Hieruit blijkt dat de meeste landbouwgewassen zowel onder natte als droge omstandigheden een reductie van de transpiratie hebben.



Figuur 4.2 Reductie van de actuele evapotranspiratie (α) als functie van de drukhoogte

tabel 4.5 Waarden voor de belangrijkste drukhoogten (cm) zoals gebruikt in de α -functie

gewas	h1	h2	h3h	h3l	h4
aardappelen	-10	-25	-320	-600	-16000
bieten	-10	-25	-320	-600	-16000
graan	0	-1	-500	-900	-16000
gras	-10	-25	-200	-800	-8000
maïs	-15	-30	-325	-600	-8000

Voor natuurlijke vegetatie zijn de drukhoogten waar de α -functie een waarde lager dan 1 heeft niet onderzocht. Het ligt hier ook veel moeilijker daar een vegetatie uit meerdere plantesoorten bestaat die een andere α -functie hebben. Jansen en Kemmers (1986) wijzen erop dat Moerasspirea (*Filipendula ulmaria*) de verdamping tijdens uitdroging in een later stadium reduceert dan Gewoon Knoopkruid (*Centaurea pratensis*). Hieruit blijkt dat de laatste beter aan droge omstandigheden is aangepast dan Moerasspirea. Op grond van alleen deze plantesoorten is het niet mogelijk te zeggen of dit voor alle freato- en afreatofyten geldt. De vorm van de plant kan ons echter wat meer zeggen. Heide heeft kleine compacte bladeren die goed aangepast lijken om onder droge omstandigheden de verdamping te beperken. Evenzo rolt b.v. Muizenootje (*Hieracium pilosella*) onder droge omstandigheden zijn bladeren op, waardoor vochtverlies wordt tegengegaan (Ovaa, 1990). Planten die alleen onder natte omstandigheden groeien lijken minder in staat de verdamping te beperken; in droge zomers sterven veel planten daarom af.

Voor veel gewassen is het bekend dat ook onder waterverzadigde of bijna waterverzadigde omstandigheden de actuele evapotranspiratie afneemt. Jansen (1994) heeft echter laten zien, dat voor de door hem geteste vegetatie (*Erica*, *Molinia*, schraalgrasland) dit niet opgaat en de planten onder natte omstandigheden potentieel verdampen. Jansen en Kemmers (1986) vonden dat zowel de freatofyt Moerasspirea (*Filipendula ulmaria*) als de afreatofyt Knoopkruid (*Centaurea pratensis*) geen reductie van de verdamping vertonen onder natte omstandigheden. Voor de modellering zal aangenomen worden dat dit voor alle beschouwde vegetaties geldt. Bovendien zullen deze natte situaties zich tijdens de te modelleren zomermaanden slechts sporadisch voordoen.

Het SWATRE model is niet in staat optimale verdamping onder waterverzadigde omstandigheden correct te simuleren. Door een kleine aanpassing kan dit probleem echter verholpen worden, zie daarvoor bijlage 7.

Op basis van de waarden voor de landbouwgewassen en de verwachte aanpassingen van sommige soorten aan droge omstandigheden zijn de volgende α -functies gebruikt (tabel 4.6):

tabel 4.6 Waarden voor de belangrijkste drukhoogten zoals gebruikt in de α -functie

vegetatie	h1	h2	h3h	h3l	h4
graslanden en vergraste heide	0	0	-200	-800	-8000
heide	0	0	-100	-500	-8000
duinen	0	0	-100	-400	-8000

Doordat de reductie van de evapotranspiratie als een functie van de vochttoestand in het bodemprofiel beschreven wordt, is de worteldiepte hier ook van belang. Bepaalde soorten in de vegetatie zullen veel dieper wortelen dan de overige soorten. De worteldiepten van de verschillende vegetaties zijn niet bij de vegetatieopnamen vermeld en zijn daarom uit literatuur afgeleid (Jansen, 1986b en Beringen en Wiertz, 1986). Tabel 4.7 geeft voorbeelden voor een aantal soorten; de verschillende auteurs geven sterk verschillende waarden. Op basis van dominante soorten is voor elke opname de gemiddelde worteldiepte apart bepaald. Er is uitgegaan van de worteldiepten volgens Beringen en Wiertz (1986) daar deze de meest volledige lijst presenteren. De uiteindelijk ingevoerde worteldiepte zal vaak een slechte benadering van de werkelijke worteldiepte zijn, daar bodemomstandigheden (storende lagen, nutriënten) en concurrentie tussen soorten de worteldiepte sterk beïnvloeden.

tabel 4.7 Worteldiepte van enkele soorten

soort	Jansen (1986b)	Beringen en Wiertz (1986)
Dopheide (<i>Erica tetralix</i>)	25	22
Struikheide (<i>Calluna vulgaris</i>)	40	13
Pijpestrootje (<i>Molinia caerulea</i>)		
*niet-dominant	30	35
*dominant	tot 100	-
Ruwbeemdgras (<i>Poa trivialis</i>)	20	22
Veldbeemdgras (<i>Poa pratensis</i>)	30	44
Rood zwenkgras (<i>Festuca rubra</i>)	30	23
Frans raaigras (<i>Arrhenatherium elatius</i>)	80	55
Ruwe smele (<i>Deschampsia cespitose</i>)	80	25

4.4 SCHEMATISERING VAN DE BODEMFYSISCHE KARAKTERISTIEKEN

Om de stroming van water door het bodemprofiel juist te kunnen berekenen moeten de bodemfysische eigenschappen van de bodem bekend zijn. Het gaat hierbij om waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken. Deze zijn veelal verschillend voor de verschillende lagen in de bodem. Van de te modelleren profielen zijn geen bodemfysische karakteristieken in het veld bepaald. Daarom is in deze studie gebruik gemaakt van de zogenaamde Staringreeks (Wösten et al., 1994) die bestaat uit een op een ruim 600 metingen gebaseerde serie gemiddelde bodemfysische karakteristieken. Deze karakteristieken zijn ingedeeld op basis van textuur en positie in het profiel (boven- of ondergrond). Op basis van bij de vegetatieopnamen aanwezige bodembeschrijvingen zijn uit de Staringreeks bodemfysische karakteristieken voor de verschillende lagen in de bodem gekozen. Op deze manier levert de Staringreeks een serie 'bouwstenen' waaruit de fysische karakterisering van het profiel kan worden opgebouwd (Stolte en Wösten, 1991).

Deze 'bouwstenen' zijn echter grotendeels gebaseerd op metingen in gronden die voor agrarische doeleinden gebruikt worden. Er zijn duidelijke verschillen te verwachten met de karakteristieken voor gronden zoals deze in natuurgebieden voorkomen:

- in natuurgebieden is vaak een strooisel- en/of humuslaag aanwezig die veelal een hoge waterretentie heeft.

- de bovengronden van landbouwgronden hebben vaak door veelvuldige grondbewerking (ploegen, eggen e.d.) een andere structuur dan hun natuurlijke equivalenten.

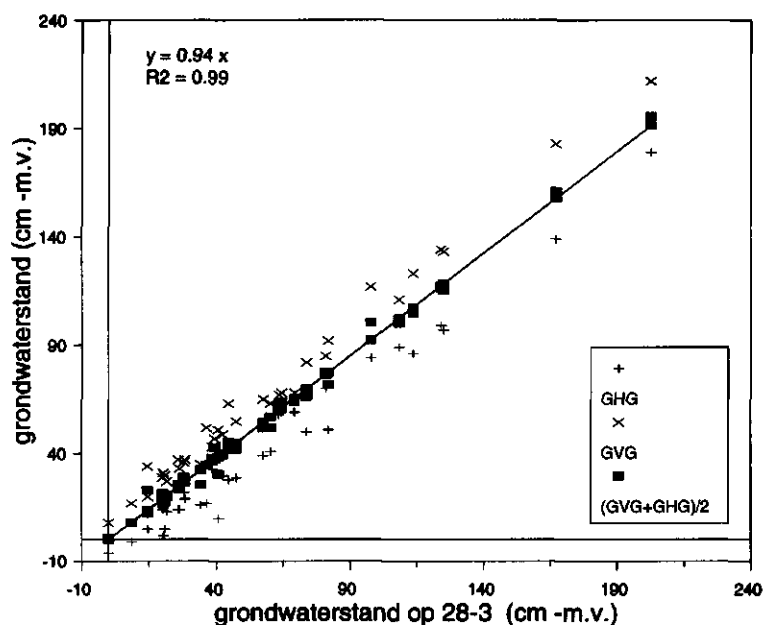
- slecht doorlatende en hydrofobe lagen zijn in landbouwgronden vaak door grondbewerking 'doorbroken'. Hierbij valt in het bijzonder te denken aan humuspodzol-B-horizonten (Dekker en Wösten, 1983).

Naast deze nadelen, die specifiek voor natuurgebieden gelden, bezitten de 'bouwstenen' een grote interne variabiliteit. Dit is onder meer het gevolg van de indeling op basis van textuur zonder onderscheid te maken in afzettingsmechanisme. Een zandige, gelaagde fluviatiele afzetting zal bij dezelfde klasse worden ingedeeld als een zandige eolische afzetting, terwijl wel degelijk verschillen in fysische karakteristieken te verwachten zijn (Tietje en Tapkenhinrichs, 1993).

4.5 ONDERRANDVOORWAARDE

4.5.1 Inleiding

Als onderrandvoorwaarde wordt gebruik gemaakt van de flux door de onderrand van het te modelleren profiel. Deze is echter niet direct in het veld meetbaar en moet daarom door middel van calibratie worden bepaald. Dit is beschreven in paragraaf 4.5.3. Daarna is een validatie uitgevoerd om de calibratie te toetsen (§4.5.4). Allereerst moet echter bepaald worden wat de grondwaterstand aan het begin van de simulatieperiode is (§4.5.2).



Figuur 4.3 Relatie tussen de grondwaterstand op 28 maart en het gemiddelde van GVG en GLG

4.5.2 Grondwaterstand aan het begin van de simulatieperiode

De simulatieperiode loopt van 28 maart tot en met 27 september. Aan het begin van de periode moet de grondwaterstand opgegeven worden, ook indien als onderrandvoorwaarde voor de rest van de simulatieperiode de flux door de onderrand van het profiel gebruikt wordt. Omdat niet voor alle profielen en alle jaren de grondwaterstand op 28 maart bekend is, is uitgegaan van een relatie tussen de gemiddelde grondwaterstand op 28 maart en de GVG en GHG anderzijds zoals die door Runhaar (1989b) bepaald zijn op basis van gemeten grondwaterstanden (figuur 4.3). Door het gebruik van deze relatie wordt ervan uitgegaan dat de grondwaterstand op 28 maart voor elk jaar gelijk is. Tabel 4.8 toont dat dit, voor alle profielen gemiddeld, redelijk opgaat maar dat voor de afzonderlijke profielen de afwijkingen kunnen oplopen tot 50 centimeter. Gebruik van een dergelijke gemiddelde begingrondwaterstand kan hierdoor tot fouten leiden in de waterbalans.

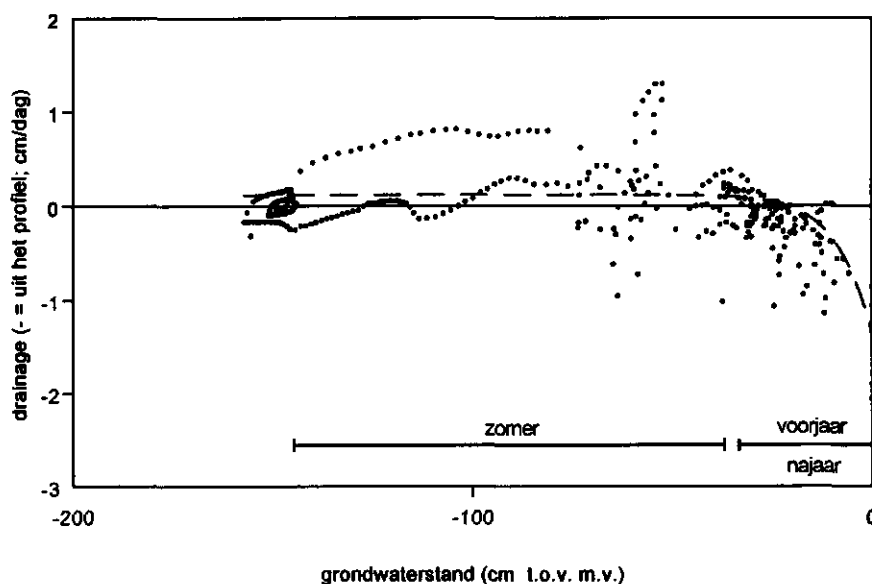
tabel 4.8 *Afwijking van de grondwaterstand (cm) op 28 maart t.o.v. de over 6 jaar gemiddelde grondwaterstand op 28 maart en het aantal profielen waarvan de grondwaterstand op 28 maart bekend is (totaal 40 profielen)*

jaar	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
aantal profielen met grondwaterstand op 28 maart	25	33	27	39	38	37	20
gem. afwijking	13.8	-11.6	11.4	-12.2	2.4	9.4	-11.0
grootste pos. afwijking	26.4	8.6	44.3	3.7	15.8	30.7	15.0
grootste neg. afwijking	-4.4	-31.3	-11.4	-33.7	-4.5	-14.5	-53.3

4.5.3 Calibratie van de onderrandvoorwaarde

De flux door de onderrand van het profiel wordt vaak beschreven als functie van de grondwaterstand door middel van een zogenaamde drainagefunctie (o.a. Ernst en Feddes, 1979). Voor het zomerhalfjaar is het in veel gevallen mogelijk uit te gaan van een constante grondwaterstandonafhankelijke flux (bijlage 1 en figuur 4.4). Een schatting van deze flux wordt gemaakt door analyse van de waterbalans op dagbasis wanneer de grondwaterstand bekend is. Hiertoe wordt de waterbalans gesimuleerd met de verdamping van de natuurlijke vegetatie als bovenrandvoorwaarde (§4.3) en de grondwaterstand als onderrandvoorwaarde. De flux door de onderrand van het profiel blijft over als restterm van de waterbalans. Omdat de flux ook tijdens het zomerhalfjaar allerminst constant is wordt deze net zo lang bijgesteld tot de gesimuleerde grondwaterstanden overeenkomen met de gemeten grondwaterstanden.

Deze calibratie is uitgevoerd voor drie jaar, resp. 1983, 1984 en 1985. Voor deze jaren waren relatief veel grondwaterstandsgegevens beschikbaar en de meteorologische condities zijn voor de drie jaren duidelijk verschillend (zie ook §4.6.3). De methode en achterliggende gedachte zijn meer uitvoerig beschreven in bijlage 1.



Figuur 4.4 *Flux door de onderrand van het profiel als functie van de grondwaterstand*

Resultaten calibratie

Voor de meeste profielen bleek het mogelijk door calibratie van de drainageflux de gemeten grondwaterstanden goed te benaderen. Vochttekorten berekend met gemeten grondwaterstanden als onderrandvoorwaarden stemden goed overeen met vochttekorten berekend met de gecalibreerde drainage-flux als onderrandvoorwaarde. Bijlage 9 geeft de gecalibreerde drainage voor de verschillende profielen.

De gecalibreerde drainageflux is veelal niet voor de drie beschouwde jaren gelijk. Dit wordt veroorzaakt door de invloed van de hydrologie van de omgeving op de drainage van het profiel. Doordat de beschouwde jaren (1983, 1984 en 1985) meteorologisch totaal verschillend zijn kan worden aangenomen dat de drie gecalibreerde drainages het bereik van de voorkomende waarden beschrijven. Wanneer ook simulaties voor jaren buiten de voor calibratie gebruikte jaren gedaan zijn, is gebruik gemaakt van de gemiddelde drainage over de drie jaren. Indien voor één jaar de calibratie slecht was, is de voor dat jaar bepaalde flux minder zwaar bij berekening van het gemiddelde meegenomen.

Profielen met ondiepe grondwaterstanden bleken op deze wijze moeilijk te modelleren. Een oorzaak hiervan is het optreden van grondwaterstand-afhankelijkheid van de drainage. In deze gevallen kan in plaats van een constante drainage als onderrandvoorwaarde beter gebruik worden gemaakt van een drainagefunctie. Gebruik hiervan levert in de praktijk echter problemen met het computeralgoritme op. Een tweede oorzaak is het optreden van waterverzadiging van het profiel gedurende de eerste maanden van het zomerhalfjaar. Oppervlakkige afstroming van water boven het maaiveld is moeilijk te modelleren met een ééndimensionaal, verticaal model. Oppervlakkige afstroming naar laagtes en drainage door macroporiën kunnen in deze gevallen de waterbalans aanzienlijk beïnvloeden.

4.5.4 Validatie van de onderrandvoorwaarde

1. Validatie door modellering

Er is een validatie uitgevoerd om te testen of met de modelparameters ook situaties goed kunnen worden gesimuleerd waarvoor de modelparameters niet zijn gecalibreerd. Dit is met name belangrijk voor deze studie daar het de bedoeling is simulaties uit te voeren met een standaardgewas in plaats van de werkelijke vegetatie voor een langere periode dan de drie voor calibratie gebruikte jaren.

De validatie is uitgevoerd op de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). Deze kan berekend worden op basis van de grondwaterstanden zoals ze gemeten zijn en vergeleken worden met een op basis van de gemodelleerde grondwaterstanden berekende GLG.

Hiertoe worden de profielen gesimuleerd met als bovenrandvoorwaarde de verdamping van de natuurlijke vegetatie en als onderrandvoorwaarde de drainageflux zoals die door middel van de calibratie bepaald is. De grondwaterstanden die op deze manier berekend worden zouden nu overeen moeten komen met de gemeten grondwaterstanden.

Berekening GLG op basis van gemeten grondwaterstanden

Voor de beschouwde profielen is de GLG berekend (Runhaar, 1989b) aan de hand van grondwaterstandsgegevens over de jaren 1980 t/m 1986. De berekening is gebaseerd op het gemiddelde van de gemeten laagste drie grondwaterstanden gedurende het jaar. De grondwaterstanden zijn over het algemeen één maal in de twee weken gemeten. Voor het ontbreken van grondwaterstandsgegevens is gecorrigeerd op basis van opnamen waarvan alle grondwaterstandsgegevens aanwezig waren (zie Runhaar, 1989b).

Berekening GLG op basis van door het model berekende grondwaterstanden

Uit de door het model berekende grondwaterstanden kan een nieuwe GLG berekend worden. Het is belangrijk deze op dezelfde manier te berekenen als gedaan is voor de gemeten grondwaterstanden. Van elk jaar is het gemiddelde genomen van de drie laagste grondwaterstanden die om de 15 dagen optreden. De verkregen jaargemiddelden worden over de 7 beschouwde jaren gemiddeld. Omdat het voor de GLG kan uitmaken of de eerste meting op 28 maart dan wel een week later plaats vindt, zijn de berekeningen voor verschillende begindagen herhaald en gemiddeld.

Resultaten validatie

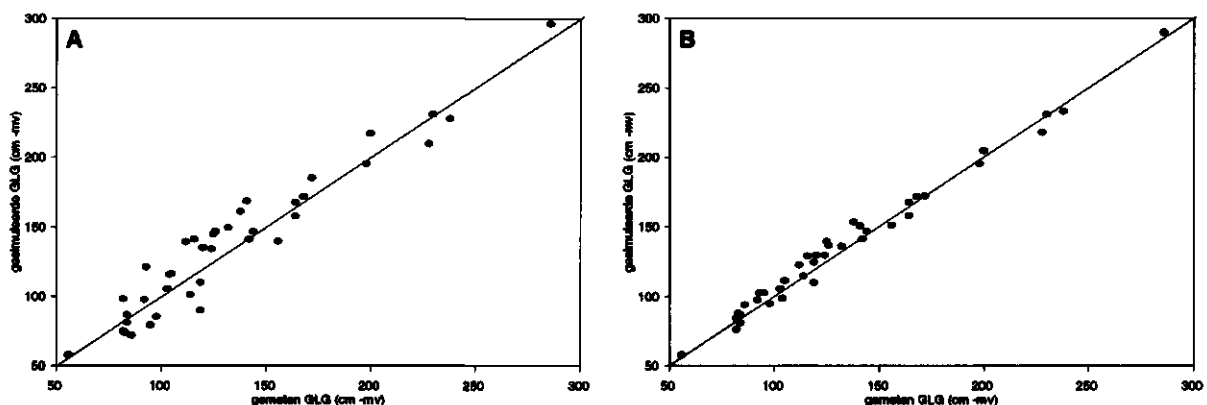
De resultaten van de validatie zijn weergegeven in figuur 4.5a. De gemodelleerde GLG komt redelijk overeen met de gemeten GLG. Verschillen kunnen veroorzaakt zijn door:

-meetfouten: onzekerheid in de bepaling van de GLG uit de meetdata, veelal veroorzaakt door het ontbreken van meetgegevens en extrapolatie vanuit andere peilbuizen. Runhaar (1989b) verwacht dat de afwijking tussen berekende en werkelijke grondwaterstanden ter plekke van de opname in de meeste gevallen niet groter zal zijn dan een decimeter.

-calibratiefouten: zoals vermeld is het nooit mogelijk gebleken door een constante drainage als onderrandvoorwaarde te nemen een perfecte simulatie van het verloop van de grondwaterstand te krijgen. Daarnaast is als criterium voor de calibratie het verloop van de grondwaterstand genomen terwijl bij deze validatie alleen gekeken wordt naar de diepste waterstanden.

-fouten in de beginsituatie als gevolg van het gebruiken van de gemiddelde grondwaterstand op 28 maart in plaats van de precieze grondwaterstand.

-fouten als gevolg van de representativiteit van de gemiddelde drainage voor de verschillende jaren: bij de gekozen benadering wordt de drainage-flux als een constante van het profiel gezien. Dat is echter niet waar. Het is zeker dat het gebruik van de gemiddelde drainageflux tot fouten voor de afzonderlijke jaren zal leiden. Nadere beschouwing van figuur 4.5a toont dat de gemodelleerde GLG structureel iets te groot is. Het is waarschijnlijk dat de gemiddelde drainageflux over 1983 t/m 1985 niet geheel representatief is voor de overige jaren.



Figuur 4.5 Verband tussen gemeten en gesimuleerde GLG voor (A) en na (B) aanpassing van flux

Uitgaande van het feit dat de fout structureel en verklaarbaar is, is besloten over te gaan tot een kleine aanpassing van de gemiddelde drainage van een aantal afwijkende profielen. Normaal gesproken is het tijdens de validatie niet toegestaan nog parameters bij te stellen. De aanpassingen zijn daarom aan strikte regels gebonden:

-de aanpassing van de drainageflux mag slechts zeer klein zijn ten opzichte van de variatie in de drainageflux over de jaren 1983 t/m 1985.

-de aangepaste, gemiddelde drainageflux moet ruim binnen de variatie van de drie, over de jaren 1983 t/m 1985 bepaalde, drainagefluxen liggen.

Deze kleine aanpassingen resulteerden in het verband tussen gemeten GLG en gesimuleerde GLG zoals weergegeven in figuur 4.5b. De gesimuleerde GLG komt nu goed overeen met de gemeten GLG.

Het is belangrijk er rekening mee te houden dat de resultaten van deze validatie niet betekenen dat de gehele simulatie correct is. Fouten in de bovenrandvoorwaarde kunnen zijn gecompenseerd door calibratie van de onderrandvoorwaarde. Indien in verdere simulaties met een andere bovenrandvoorwaarde wordt gewerkt kan dit tot fouten in de modeluitkomsten leiden.

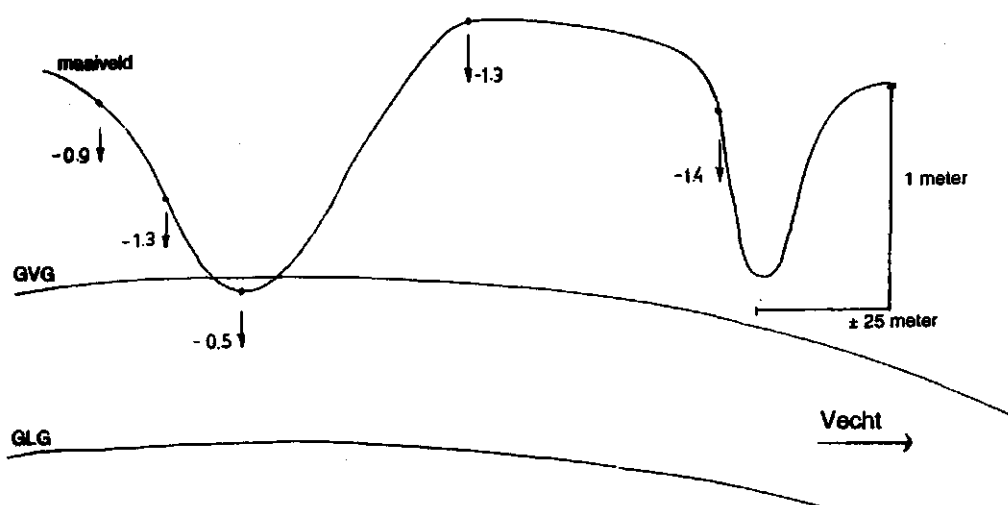
Daarnaast is het nodig een kritische opmerking te maken aangaande de validatie zelf. Bij validatie is het niet de bedoeling dezelfde meetgegevens te gebruiken als bij de calibratie (Van den Broek et al., 1993). Dit is hier deels wel het geval; voor de berekening van de GLG uit de gemeten grondwaterstanden is gebruik gemaakt van de grondwaterstanden uit 1983 t/m 1985. Deze grondwaterstandsgegevens zijn ook gebruikt voor de calibratie. Bij gebrek aan meer meetgegevens was validatie voor een andere parameter niet mogelijk.

2. Landschappelijke validatie

Door middel van het interpreteren van de landschappelijke ligging van de verschillende profielen is gekeken of de gecalibreerde drainageflux waarschijnlijk is. Vaak geeft de terreingesteldheid indicaties of er sprake is van kwel of wegzijging. Hierbij is het meestal zo, dat naarmate de hoogte van het maaiveld boven het oppervlaktewater toeneemt, de wegzijging groter wordt, hetgeen verklaard kan worden door het optredende stijghoogteverschil. Vooral wanneer meerdere profielen in eenzelfde gebied gesimuleerd zijn is landschappelijke validatie door onderlinge vergelijking van de profielen mogelijk.

Voor de verschillende gebieden leverde dit de volgende resultaten op:

-*Rheezermaten*: De onderlinge verschillen in drainageflux tussen de verschillende opnamen



Figuur 4.6 Landschappelijke positie van de opnamen en bijhorende drainageflux door de onderrand van het profiel voor de zomersituatie (mm dag⁻¹); Rheezermaten

kan goed verklaard worden uit de landschappelijke ligging van de verschillende opnamen en de grondwatergradiënt. Het gebied is gedraineerd door de rivier de Overijselsche Vecht. Dichterbij de rivier neemt de gradiënt van de grondwaterstand toe en daarmee ook de drainage. Figuur 4.6 geeft een schets van de ligging van de opnames en de daarbij horende drainageflux.

-*Tielerwaard*: Volgens het model is de drainageflux voor deze gronden gelijk aan nul of iets groter dan nul (kleine kwelflux). Dit lijkt (bij afwezigheid van intensieve kunstmatige drainage) overeen te komen met de landschappelijke situering van komgronden.

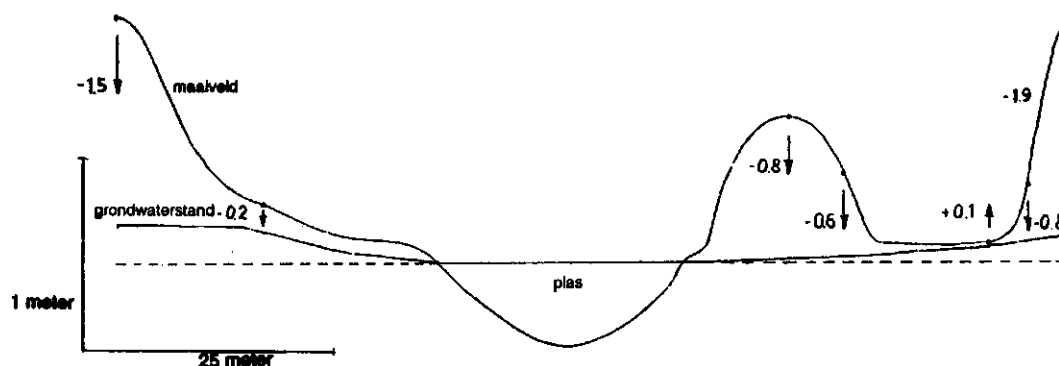
-*Grasgorzen Haringvliet*: Hier zijn kleine opwaartse fluxen gevonden. Dit is een logisch gevolg van de ligging van deze polders aan het Haringvliet.

-*Stelkampsveld*: In figuur 4.7 is het verband tussen de landschappelijke ligging en de drainage weergegeven. Ook is het verloop van de grondwaterstand aangegeven. De hoge delen zijn goed gedraineerd terwijl de lagere delen slecht gedraineerd zijn. Bij de laagst gelegen opname is sprake van enige kwel.

-*Needse Achterveld*: Voor dit gebied is de precieze landschappelijke ligging van de opnames niet bekend. Echter, uit een ecohydrologisch onderzoek van Hijdra en Van der Meulen (1985) blijkt dat de omgeving van de opnames goed gedraineerd is door middel van greppels, hetgeen overeenkomt met de bepaalde drainagefluxen.

-Voor de gebieden Konijnendijk, Dwingeloo en Texel is niet bekend hoe de opnamen landschappelijk gesitueerd zijn.

Uit het voorgaande valt te concluderen dat de gecalibreerde drainageflux redelijk overeenkomt met de landschappelijke ligging van de profielen.



Figuur 4.7 Landschappelijke positie van de opnamen en bijhorende drainageflux door de onderrand van het profiel voor de zomersituatie (mm dag^{-1}); Stelkampsveld

4.6 BEREKENING VAN HET VOCHTTKORT VAN EEN STANDAARDGEWAS

4.6.1 Definitie standaardgewas

De keuze van het standaardgewas is beperkt doordat het gedefinieerde gewas ongeveer evenveel moet verdampen als de natuurlijke vegetatie op de plek van opname. Indien een veel sterker verdampend gewas gekozen wordt, zouden de gesimuleerde grondwaterstanden dieper zijn en de gecalibreerde drainageflux waarschijnlijk niet geldig. Een nadeel van een standaardgewas dat geen hoge verdamping heeft, is het relatief weinig

optreden van vochttekorten. Daarom is gekozen voor een gewas dat relatief gevoelig is voor droge omstandigheden (aangepaste α -functie en kleine worteldiepte). Tabel 4.9 geeft de gewasparameters van het standaardgewas. Tevens zijn de parameters voor een gesloten, korte grasmat gegeven ter vergelijking. Vergelijking leert dat het gekozen standaardgewas overeenkomt met een grasmat die een iets lagere potentiële verdamping heeft en iets droogtegevoeliger is.

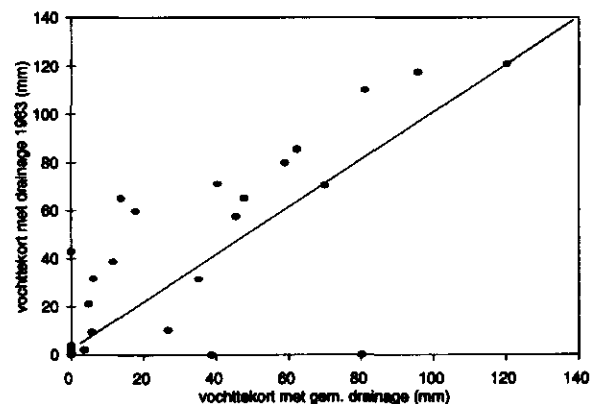
tabel 4.9 Parameters voor standaardgewas en gesloten, korte grasmat¹

parameter	waarde voor standaardgewas	waarde voor gesloten, korte, grasmat
worteldiepte ² (cm):	20	20-50
bodembedekking:	90%	100%
gewascoëfficiënt:	0.7	0.8
(gedurende gehele seizoen)		
α -functie (cm)		
h1:	0	-10
h2:	0	-25
h3h:	-200	-200
h3l:	-400	-800
h4:	-8000	-8000

4.6.2 Berekening vochttekort

Het cumulatief vochttekort van het standaardgewas gedurende het zomerseizoen op de geselecteerde locaties is bepaald voor de zeven jaar tussen 1980 en 1986. Voor de berekening van deze vochttekorten is voor de onderrandvoorwaarde gebruik gemaakt van de door calibratie bepaalde drainage. Voor elk jaar is daarbij uitgegaan van dezelfde drainageflux. Voor 1983 en 1984 is gecontroleerd of dit tot afwijkingen in de berekende vochttekorten leidde door vergelijking met vochttekorten gebaseerd op de jaar-specifieke drainageflux (zoals door calibratie voor 1983 t/m 1985 bepaald). Figuur 4.8 laat zien dat dit inderdaad tot afwijkingen leidt. Wanneer de resultaten van 1983 of 1984 onafhankelijk van de resultaten voor andere jaren worden gebruikt, zal uitgegaan worden van de op de jaar-specifieke drainageflux gebaseerde vochttekorten.

In bijlage 9 zijn de vochttekorten voor alle locaties en jaren apart weergegeven. Tabel 4.10



Figuur 4.8 Vergelijking van vochttekorten berekend met gem. drainage en vochttekorten berekend met de drainage zoals die voor 1983 is gecalibreerd

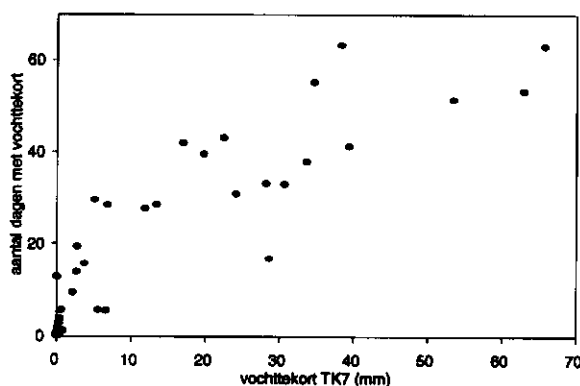
¹de parameters gelden voor de aangepaste versie van SWAP93 (bijlage 5 en 6); zie bijlage 8 voor het gebruik van de originele versie

²de opname van vocht door de wortels is constant verondersteld over de gehele worteldiepte volgens Feddes et al. (1988)

geeft voor de verschillende jaren de vochttekorten gemiddeld over de 39 locaties. Terwijl in 1982, 1983 en 1986 de vochttekorten hoog oplopen, zijn de vochttekorten in 1985 erg laag. Dit wordt veroorzaakt door de regelmatige regenval tijdens de zomer van 1985. Het aantal dagen dat een vochttekort optreedt, is gecorreleerd met de grootte van het vochttekort (figuur 4.9).

tabel 4.10 Gemiddeld vochttekort en maximaal vochttekort dat het standaardgewas ondervindt (38 locaties)

jaar	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
gem. vochttekort (mm)	12.0	9.7	28.6	22.3	4.1	0.0	18.6
max. vochttekort (mm)	76.5	109.2	108.4	120.2	37.1	0.0	92.5



Figuur 4.9 Verband tussen het cumulatief vochttekort en het aantal dagen dat vochttekorten optreden

Om de berekende vochttekorten te kunnen vergelijken met simulaties voor andere jaren is het nodig de jaren meteorologisch te karakteriseren.

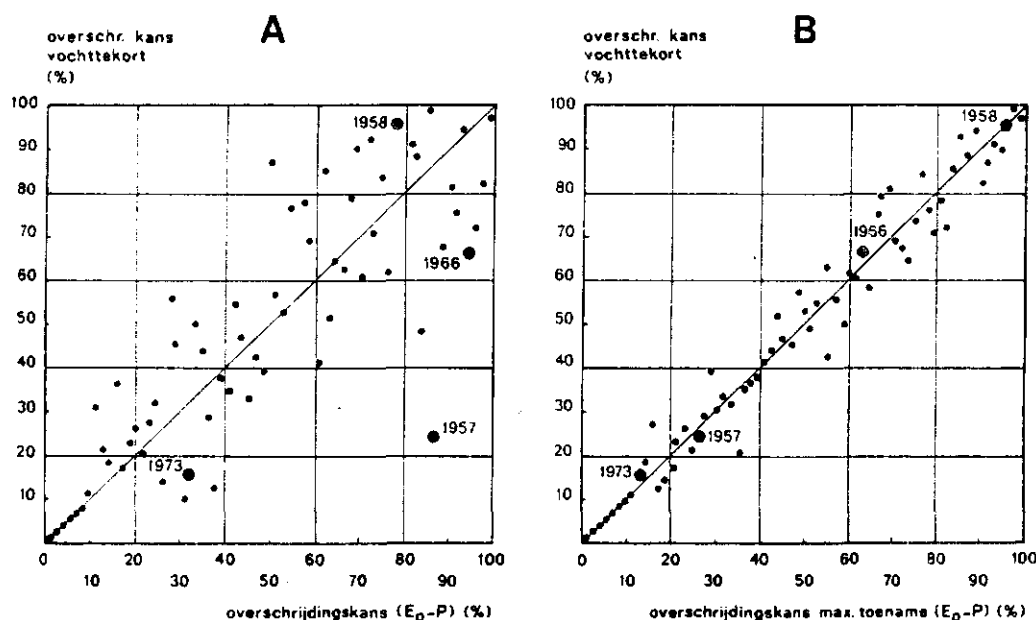
4.6.3 Karakterisering van de meteorologische omstandigheden

De meteorologische omstandigheden kunnen van jaar tot jaar sterk verschillen; gerekend over de periode 1 april tot 1 oktober kan de neerslaghoeveelheid in regenrijke jaren 40 tot 50% meer bedragen dan gemiddeld. In zeer droge jaren daarentegen, kan de neerslaghoeveelheid 50 tot 60% minder zijn dan gemiddeld.

Het is van belang om de droogtegraad van de beschouwde jaren te karakteriseren. Jaren met dezelfde droogtegraad zullen bij benadering dezelfde vochttekorten hebben, zodat extrapolatie van de resultaten naar andere jaren mogelijk wordt.

Meestal wordt de droogtegraad gekarakteriseerd door de kans waarop een bepaalde meteorologische grootheid (of afgeleide daarvan) in een bepaalde periode wordt over- of onderschreden. Voor landbouwkundige doeleinden wordt vaak gebruik gemaakt van het potentiële verdampingsoverschot ($E_p - P$) of vergelijkbare grootheden zoals het neerslagtekort ($P - E_o$). Het blijkt dat het potentiële verdampingsoverschot geen geschikte maat is voor de mate waarin vochttekorten optreden (figuur 4.10a), hetgeen te verklaren is door verschillen in de verdeling van de neerslag en de verdamping binnen het groeiseizoen. Deze verdeling bepaalt in welke mate planten een vochttekort zullen ondervinden.

Voor het station De Bilt zijn de overschrijdingskansen (1957-1987) van het neerslagoverschot

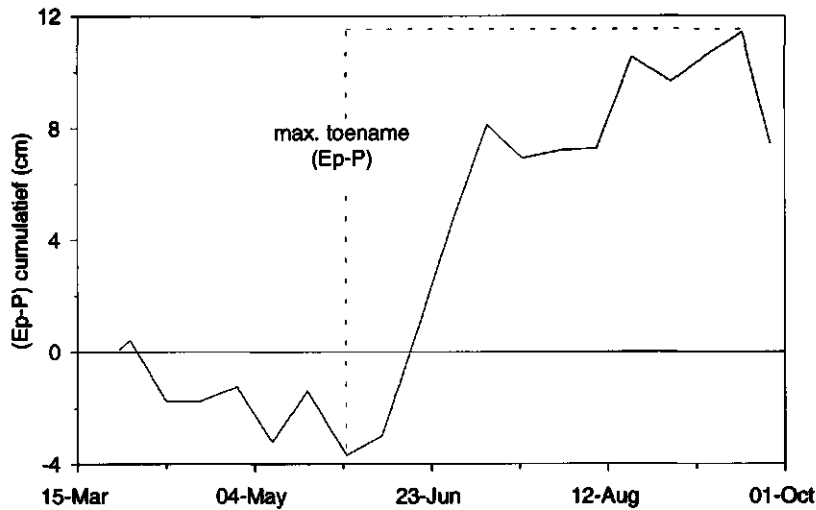


Figuur 4.10 Relatie tussen de overschrijdingskans van het berekende vochtttekort en A: de overschrijdingskans van het verdampingsoverschot, en B: de overschrijdingskans van de maximale toename van het cumulatieve verdampingsoverschot (april-september); uit: CoGroWa, 1984

voor zowel het hele jaar als het in deze studie beschouwde zomerhalfjaar (28 maart t/m 27 september) bepaald. Tabel 4.11 geeft de resultaten weer (bijlage 3 voor details). De overschrijdingskans van het neerslagoverschot voor het gehele jaar blijkt slecht gecorrelleerd met het vochtttekort zoals dat in deze studie is gevonden. Voor de overschrijdingskans van het neerslagoverschot voor het zomerseizoen wordt de relatie met het vochtttekort al enigszins beter. Het jaar 1983 wordt echter als vrij nat gekarakteriseerd terwijl er toch aanzienlijke vochtttekorten optreden. Een betere overeenstemming wordt verkregen door de overschrijdingskans van het vochtttekort te relateren aan de overschrijdingskans van de maximale toename van het cumulatieve verdampingsoverschot in een aaneengesloten periode binnen het groeiseizoen (figuur 4.10b; CoGroWa, 1984 en Boheemen, 1980). Figuur 4.11 illustreert de berekening van deze grootheid. Ook voor de in deze studie beschouwde jaren blijkt een goede overeenstemming met de vochtttekorten te bestaan (figuur 4.12); extrapolatie van de resultaten naar andere jaren lijkt hierdoor geoorloofd.

Uit tabel 4.11 blijkt dat de beschouwde jaren (1980-1986) gelijkmatig verdeeld zijn over natte en droge jaren. Er kan daarom vanuit worden gegaan dat het gemiddelde vochtttekort over deze jaren overeenkomt met het gemiddelde vochtttekort over een veel langere periode of over een gemiddeld jaar. Dit vochtttekort zal in het vervolg aangeduid worden met TK7.

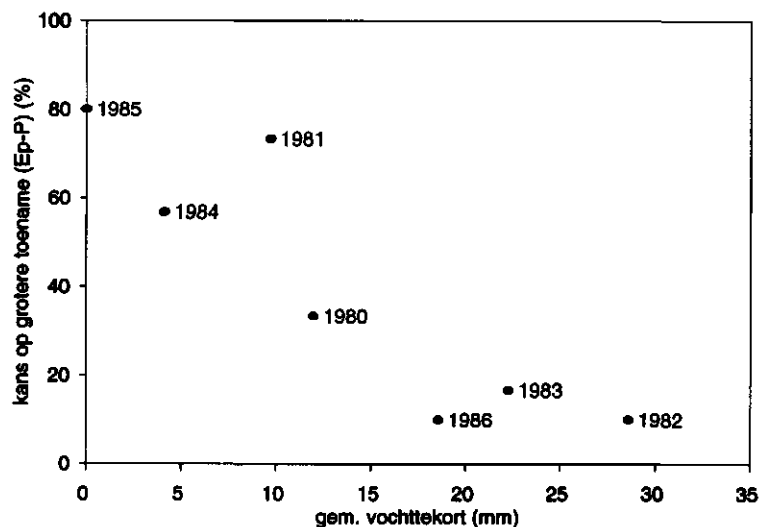
Vaak worden vochtttekorten bepaald voor zogenaamde 10% droge jaren. Deze jaren zijn vergelijkbaar met 1982 en 1986. In deze studie is echter de voorkeur gegeven aan 1983. Het jaar 1983 is een 17% droog jaar. Omdat voor dit jaar de calibratie is uitgevoerd zijn de berekende vochtttekorten nauwkeuriger dan voor 1982 en 1986. De verschillen met een 10% droog jaar zijn relatief klein.



Figuur 4.11 Verloop van het cumulatief verdampingsoverschot gedurende 1973 (De Bilt); aangegeven is hoe de maximale toename van dit verdampingsoverschot bepaald wordt

tabel 4.11 Gemiddeld vochttekort (over 38 opnamen) en verschillende maatstaven voor de droogtegraad met de bijhorende kans op een droger jaar (alles in mm)

jaar	gemiddeld vochttekort	neerslagoverschot heel jaar	onderschrijdingskans (%)	neerslagovershot 28/3-27/9	onderschrijdingskans (%)	max. toename cum. verdampingsoverschot	overschrijdingskans (%)
1980	12.0	229	60	-125	57	137	33
1981	9.7	395	93	-154	37	76	73
1982	28.6	-44	17	-340	10	224	10
1983	22.3	238	63	-98	73	203	17
1984	4.1	290	80	-124	57	123	57
1985	0.0	4	23	-161	33	55	80
1986	18.6	48	27	-290	20	227	10



Figuur 4.12 Verband tussen het gemiddelde vochttekort (38 opnamen) en de kans op een grotere toename van het verdampingsoverschot

5 BEPALING VAN DE VOCHTINDICATIE VAN DE VEGETATIE

5.1 INLEIDING

De plantesoorten uit de Nederlandse flora zijn ingedeeld in ecologische soortengroepen die overeenkomen met de in het ecotopensysteem onderscheiden ecotooptypen (Runhaar et al., 1987). Elke ecologische soortengroep omvat die soorten die kenmerkend geacht worden voor een bepaald ecotooptype. Soorten die in meer dan één ecotooptype voorkomen, zijn bij meer dan één ecologische soortengroep ingedeeld. Een soort kan dus zowel bij een 'natte' als een 'vochtige' groep, of bij een 'vochtige' en 'droge' groep zijn ingedeeld. Deze indeling is gebaseerd op deskundigenoordeel, literatuur (waaronder diverse indicatiewaardesystemen: Ellenberg, 1979; Klapp, 1965; Kruyne et al., 1967 en Clausman et al., 1987), de archieven en collecties van het Rijksherbarium en veldgegevens.

Op basis van de soortensamenstelling van de vegetatie, en de indeling van de verschillende plantesoorten in ecologische soortengroepen, kan voor elke vegetatieopname een gemiddelde vochtindicatie afgeleid worden. Er zijn echter verschillende manieren waarop deze gemiddelde vochtindicatie berekend kan worden. In het navolgende zal eerst de berekening volgens het programma 'ECOTYP' (Stevens et al., 1987b) worden behandeld. In de daarop volgende paragraaf zal de berekening met behulp van 'weegfactoren' (gebaseerd op Witte en Van der Meijden, 1992) behandeld worden.

5.2 INDELING VOLGENS 'ECOTYP'

5.2.1 Methode

Het 'ECOTYP'-programma (Stevens et al., 1987b) is ontwikkeld als een geformaliseerde sleutel voor het bepalen van het ecotooptype uit de soortensamenstelling van de vegetatie. In deze vorm is het gebruikt om bij elke opname het bijhorende ecotooptype te bepalen (Runhaar, 1989b). Daarnaast bestaat het programma 'SGPRI' (Runhaar en Van 't Zelfde, 1995) dat op dezelfde wijze het relatieve bedekkings- of presentieaandeel van soorten voor de verschillende kenmerkklassen bepaalt. Dit programma is gebruikt voor het afleiden van de vochtindicatie van de opname.

Hiertoe wordt eerst uit de indeling in ecologische soortengroepen afgeleid in welke vochtcategorie de tot de opname behorende soorten thuishoren. Mogelijke categorieën zijn 'nat', 'vochtig', 'droog', 'nat tot vochtig' en 'vochtig tot droog'. Een soort die bijvoorbeeld alleen in vochtige soortengroepen voorkomt zal in de categorie 'vochtig' worden ingedeeld. Een soort die zowel in vochtige als droge soortengroepen voorkomt zal daarentegen in de categorie 'vochtig tot droog' worden ingedeeld.

Soorten kunnen bij de verschillende categorieën meetellen op basis van presentie (alle soorten even zwaar) of op basis van bedekking (een soort met hoge bedekking telt zwaarder mee dan een soort met lage bedekking op basis van de gemiddelde bedekkingspromilages die corresponderen met de 9-delige Braun-Blanquetschaal (IAWM, 1981)).

Uit de indeling van de soorten in de verschillende categorieën kan de gemiddelde vochtindicatie voor de opname worden afgeleid. Hiertoe wordt de opname ingedeeld bij 'nat',

'vochtig' of 'droog'¹. Indien de verschillen tussen de categorieën kleiner dan 5% zijn, is het op grond van de vegetatiesamenstelling niet mogelijk ondubbelzinnig de indeling van de opname te bepalen en wordt de opname bij beide klassen ingedeeld. Het is op die manier dus mogelijk een 'vochtig tot droog' ecotooptype te krijgen.

In deze studie is naast deze indeling in vijf klassen (nat, nat tot vochtig, vochtig, vochtig tot droog en droog) gebruik gemaakt van een nauwkeuriger indeling. Daarvoor is het percentage presentie/bedekking droge soorten gebruikt. Dit percentage kan op twee verschillende manieren gedefinieerd worden:

- 1. (DROOG1) de presentie/bedekking van droge soorten gedeeld door de totale presentie/bedekking van de opname verminderd met de presentie/bedekking vochtig tot droge soorten²
- 2. (DROOG2) de presentie/bedekking van droge soorten vermeerderd met de helft van de presentie/bedekking van vochtig tot droge soorten gedeeld door de totale presentie/bedekking³

Bij de berekening volgens de eerste methode wordt gecorrigeerd voor vochtig tot droge soorten. Bij de tweede methode wordt daarentegen de helft van het percentage vochtig tot droge soorten opgeteld bij het percentage droge soorten.

Kader 5.1 geeft een voorbeeld van de bepaling van de verschillende parameters die de vochtindicatie van de vegetatie weergeven voor een hypothetische opname.

5.2.2 Resultaten

De relatieve presentie/bedekking van de verschillende categorieën is in bijlage 10 voor alle opnamen weergegeven. Ook het percentage soorten dat bij geen van de categorieën ingedeeld kon worden (indifferente soorten t.o.v. vocht) is weergegeven. De hieruit afgeleide, voor de opname gemiddelde, vochtindicatie is in dezelfde bijlage vermeld. Het blijkt dat het voor deze gemiddelde vochtindicatie niet zoveel uitmaakt of deze op presentie dan wel bedekking is gebaseerd.

Wanneer uit deze relatieve presenties/bedekkingen het percentage droge soorten wordt afgeleid blijkt, dat wanneer de eerste methode wordt gebruikt (DROOG1) verschillen tussen de opnamen gedeeltelijk wegvallen. Dit wordt veroorzaakt door opnamen die geen of slechts zeer weinig droge soorten bevatten maar wel een verschillend aandeel vochtig tot droge soorten. Daarom zijn in het vervolg slechts de resultaten, zoals bepaald met de tweede rekenmethode (DROOG2), gebruikt.

Het gebruik van de presentie dan wel de bedekking van de verschillende soorten heeft wel een grote invloed op het percentage droge soorten (figuur 5.1). Dit is het gevolg van de grote verschillen in bedekkingspercentage tussen de verschillende soorten. Een plantesoort met een bedekking van 40% telt 40 maal zo zwaar mee als een soort met een bedekking van 1%.

¹toedeling op basis van de volgende beslisregels:

als $n > v + d + vd \Rightarrow$ nat
als $d > n + v + nv \Rightarrow$ droog
anders: vochtig

² $DROOG1 = d / (n + nv + v + d)$

³ $DROOG2 = (d + 0.5 * vd) / (n + nv + v + vd + d)$

Kader 5.1 Bepaling van de vochtindicatie van een hypothetische vegetatieopname volgens de methode 'ECOTYP'

Hypothetische vegetatieopname:

Naam:	Abundantiecode: (volgens IAWM, 1981)	Abundantie %:	Ecologische groepen:
<i>Agrostis vinealis</i>	5	85	G61,G62
<i>Calluna vulgaris</i>	5	85	G41,G61
<i>Danthonia decumbens</i>	2	3	G42,G61,G62
<i>Erica tetralix</i>	7	375	G21,G41
<i>Carex pilulifera</i>	5	85	G41,G61
<i>Deschampsia flexuosa</i>	4	30	G61,G64
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	4	30	G22,G42,G62 ¹

De indeling in kenmerkklassen vindt als volgt plaats:

	presentie:	bedekking:
nat	0	0
nat-vochtig	1	375
vochtig	0	0
vochtig-droog	3	173
droog	2	115

in percentages uitgedrukt:

	presentie:	bedekking:
nat	0	0
nat-vochtig	17	57
vochtig	0	0
vochtig-droog	50	26
droog	30	17

Hetgeen voor de opname leidt tot een indeling in de kenmerkklassse 'droog' op basis van de presentie ($d > n + v + nv$) en bij 'vochtig' op basis van bedekking ($d < n + v + nv$ en $n < v + d + vd$).

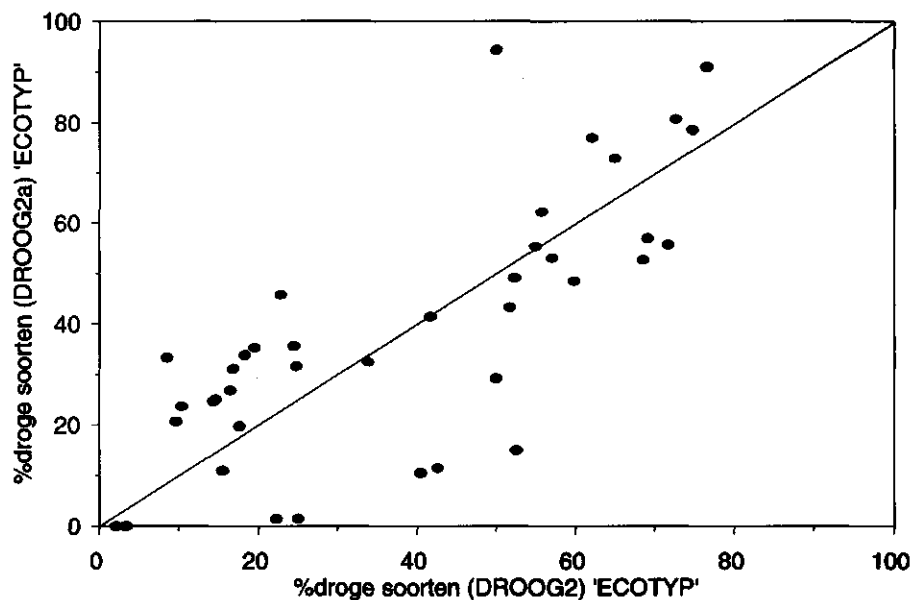
Het percentage droge soorten is:

	presentie:	bedekking:
DROOG1:	67%	23%
DROOG2:	55%	30%

De afwijkende vochtindicatie van *Erica tetralix* heeft een grote invloed wanneer de vochtindicatie van de opname op de bedekking van de soorten wordt gebaseerd. Deze invloed is in dit voorbeeld overdreven groot daar er maar 7 soorten aanwezig zijn, waarvan er één niet meetelt omdat deze indifferent is t.o.v. het kenmerk vochttoestand (nl. *Anthoxanthum odoratum*).

Danthonia decumbens komt voor in twee droge ecotootypen en één vochtig type en komt daardoor terecht in de kenmerkklassse 'vochtig tot droog'. Er zijn ook plantesoorten die bijvoorbeeld voorkomen in 4 droge ecotootypen en slechts in 1 vochtig ecotootype. Ook deze plantesoorten worden aan de kenmerkklassse 'vochtig tot droog' toegedeeld.

¹in werkelijkheid komt deze soort in een nog groter aantal ecologische groepen voor; voor de begrijpelijkheid van dit voorbeeld zijn deze weggelaten



Figuur 5.1 *Vergelijking van het percentage droge soorten waarbij de soorten zijn gewogen naar presentie (DROOG2) met het percentage droge soorten gewogen naar bedekking (DROOG2a)*

Presentie van soorten is daardoor in sterke mate ondergeschikt gemaakt aan de bedekking. Het nadeel van het gebruik van de bedekking is de grote invloed van algemene veel voorkomende soorten, en de relatief erg kleine invloed van zeldzame, sterk differentiërende, soorten. Ellenberg et al. (1991) merken bovendien op, dat de bedekkingsgraad van een plantensoort niet enkel een functie is van de voorkeur van betreffende plantesoort voor de standplaats, maar vooral ook een gevolg van de groeiwijze van betreffende plantesoort. Als voorbeeld worden de orchideeën (*Orchidaceae*) genoemd; deze groeien bijna altijd solitair maar zijn gevoelige indicatoren voor de standplaats. Grassen kennen daarentegen een sterke vegetatieve vermeerdering en zullen door hun hoge bedekking de indicatiewaarde van de opname onterecht veel beïnvloeden. Gebruik van de presentie heeft als nadeel dat soorten die met een kleine bedekking voorkomen, omdat de standplaatseigenschappen niet overeenkomen met het ecologisch optimum van de soort, toch evenzwaar meetellen. Bij zeer soortenarme opnamen kunnen toevallig voorkomende, voor de standplaats niet indicatieve soorten, een te grote invloed krijgen indien de presentie wordt gebruikt (Ellenberg et al., 1991).

Groen et al. (1993) stellen gebruik van een logaritmische transformatie van de bedekkingsschaal voor om de relatieve gewichtsverschillen tussen soorten met hoge bedekking en lage bedekking te verkleinen. In deze studie is deze methode niet nader bekeken.

5.3 INDELING VOLGENS 'WEEGFACTOREN' METHODE

5.3.1 Methode

Bij deze methode worden soorten aan ecologische soortengroepen toegerekend met behulp van weegfactoren. Deze weegfactoren zijn gebaseerd op de soorten die voorkomen in de 'Standaardlijst van de Nederlandse flora' van 1990 (Van der Meijden et al., 1991) en de

indeling van blad- en levermossen in ecologische soortengroepen (Dirkse en Kruijzen, 1993)¹. Zo'n weegfactor geeft aan in hoeverre een soort voor een ecologische soortengroep kenmerkend is (Witte en Van der Meijden, 1992). Een soort die in twee verschillende soortengroepen voorkomt, krijgt voor beide soortengroepen de weegfactor 0.5. Een soort die specifiek in één soortengroep voorkomt, krijgt de weegfactor 1. Deze methode wordt doorgaans gebruikt voor het bepalen van het ecotooptype uit een vegetatieopname. Aangepast kan deze methode echter ook gebruikt worden om de indicatiewaarde voor de vochttoestand te bepalen. Een soort krijgt nu voor de kenmerkklassen 'nat', 'vochtig' en 'droog' een weegfactor toegekend. Komt een soort bijvoorbeeld voor in drie droge soortengroepen en één vochtige soortengroep dan krijgt de soort voor de kenmerkklassse 'droog' de weegfactor 0.75 en voor de kenmerkklassse 'vochtig' de weegfactor 0.25. Hierdoor wordt op een meer genuanceerde methode dan bij de 'ECOTYP' methode rekening gehouden met de ecologische amplitudo en het ecologisch optimum van de soorten. Optellen van de weegfactoren van alle soorten in de beschouwde opname voor de verschillende kenmerkklassen levert een score voor de drie klassen. Hieruit kan het percentage natte, vochtige en droge soorten (IND0) worden afgeleid. Bij deze methode is alleen gelet op de presentie van de verschillende soorten. In principe zou ook hier de bedekking meegenomen kunnen worden.

Een nadeel is, dat plantesoorten die zowel in natte, vochtige als droge ecotooptypen voor kunnen komen bij alle kenmerkklassen voor 0.33 meetellen, hetgeen de verschillen in indicatiewaarde tussen de opnamen verkleint. Daarom is besloten om soorten die een weegfactor kleiner dan 0.5 hebben voor een bepaalde kenmerkklassse niet mee te tellen bij die kenmerkklassse (IND0.5). Om nog meer indifferente soorten (t.o.v. vocht) uit de indeling te weren, is daarnaast tevens de indicatiewaarde berekend wanneer alleen soorten die een weegfactor groter dan 0.5 hebben meetellen bij die kenmerkklassse (IND>0.5). Hierdoor verdwijnen soorten die evenredig over twee kenmerkklassen voorkomen uit de analyse.

Kader 5.2 geeft een voorbeeldberekening

5.3.2 Resultaten

Bijlage 10 geeft voor alle opnamen het percentage droge soorten zoals met behulp van de 'weegfactoren' berekend.

Het weglaten van weegfactoren die respectievelijk kleiner dan 0.5 (IND0.5) en kleiner en gelijk aan 0.5 (IND>0.5) zijn leidt tot een extremere vochtindicatie. Lage percentages droge soorten worden nog lager terwijl hogere percentages hoger worden (figuur 5.2). Door het niet laten meetellen van soorten die geen grote weegfactor (lees: indicatiewaarde) hebben voor een bepaalde kenmerkklassse wordt de invloed van soorten die wel een grote weegfactor hebben relatief groter; hetgeen de extremere vochtindicatie verklaart.

De som van de weegfactoren, die na het weglaten van weegfactoren kleiner of gelijk aan 0.5 overblijft, gedeeld door de originele score geeft een index (0-1) voor het voorkomen van soorten met een hoge indicatiewaarde. Een lage index geeft aan dat veel van de op die locatie voorkomende planten niet specifiek afhankelijk zijn van de vochttoestand op de betreffende standplaats. Bijlage 10 geeft deze index voor alle opnamen.

¹alleen voor korstmossen was het niet mogelijk weegfactoren af te leiden; het voorkomen van deze soorten is afhankelijk van de aanwezigheid van de struik of boom waarop de soort voorkomt en slechts indirect van de vochttoestand van de bodem

Kader 5.2 Bepaling van de vochtindicatie van een hypothetische vegetatieopname volgens de 'weegfactoren' methode

Hypothetische vegetatieopname:

Naam:	Ecologische groepen:	Weegfactoren:		
		nat:	vochtig:	droog:
<i>Agrostis vinealis</i>	G61,G62	0	0	1.00
<i>Calluna vulgaris</i>	G41,G61	0	0.50	0.50
<i>Danthonia decumbens</i>	G42,G61,G62	0	0.33	0.67
<i>Erica tetralix</i>	G21,G41	0.50	0.50	0
<i>Carex pilulifera</i>	G41,G61	0	0.50	0.50
<i>Deschampsia flexuosa</i>	G61,G64	0	0	1.00
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	G22,G42,G62 ¹	0.33	0.33	0.33

De som van de weegfactoren voor de verschillende kenmerkklassen (IND0) bedraagt:

kenmerkklasse:	som weegfactoren:	percentage:
nat:	0.83	12%
vochtig:	2.16	31%
droog:	4.00	57%

De som van de weegfactoren met weglating van weegfactoren kleiner dan 0.5 (IND0.5) bedraagt:

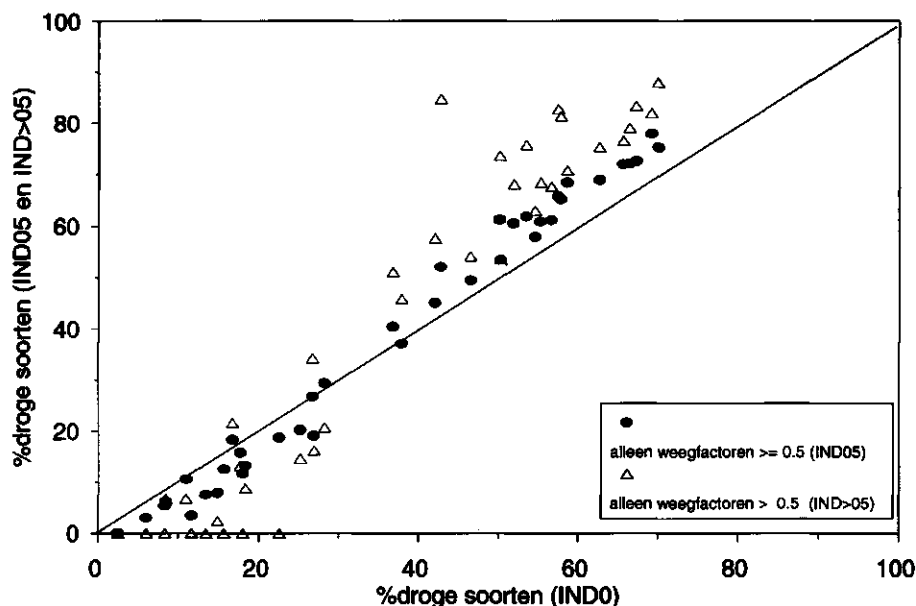
kenmerkklasse:	som weegfactoren:	percentage:
nat:	0.50	9%
vochtig:	1.50	27%
droog:	3.66	64%

Wanneer alleen weegfactoren groter dan 0.5 meetellen (IND>0.5) bedraagt de som voor de verschillende kenmerkklassen:

kenmerkklasse:	som weegfactoren:	percentage:
nat:	0	0%
vochtig:	0	0%
droog:	2.66	100%

Het weglaten van de lagere weegfactoren leidt tot een veel extremere vochtindicatie. Tevens is duidelijk dat de vochtindicatie duidelijk kan verschillen van de vochtindicatie zoals bepaald met de 'ECOTYP' methode (zie kader 5.1).

¹in werkelijkheid komt deze soort in een nog groter aantal ecologische groepen voor; voor de begrijpelijkheid van dit voorbeeld zijn deze weggelaten

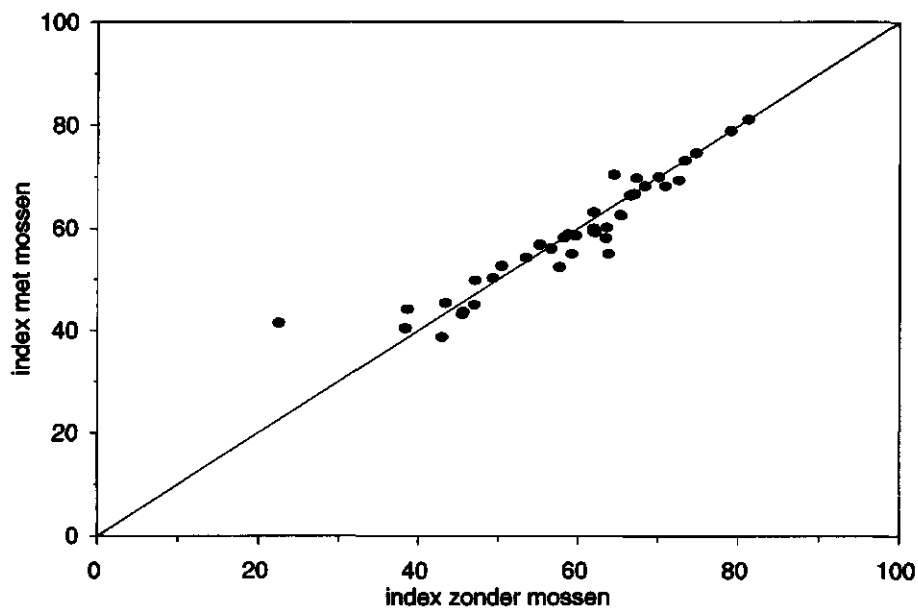


Figuur 5.2 Verband tussen het percentage droge soorten waarbij alle weegfactoren meetellen (IND0) en het percentage droge soorten waarbij resp. weegfactoren < 0.5 (IND05) en weegfactoren ≤ 0.5 (IND>05) weggelaten zijn

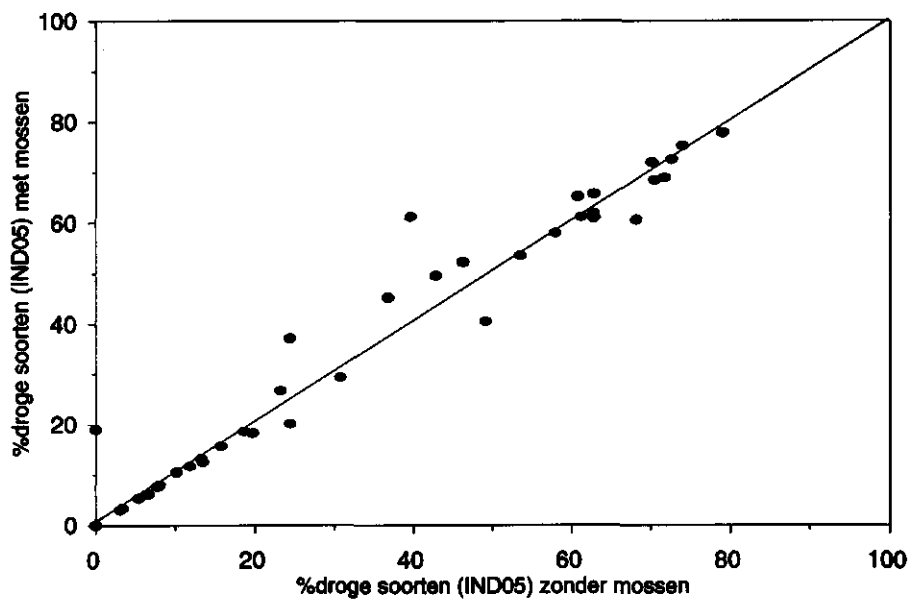
Deze index is ook gebruikt om te bepalen of toevoeging van de weegfactoren van mossen leidt tot een gemiddeld hogere indicerende waarde voor de opname. Figuur 5.3 laat zien dat slechts voor een paar opnamen de index na toevoeging van de weegfactoren van de mossen daadwerkelijk toeneemt. De mossen geven blijkbaar niet meer specifieke informatie over de standplaatseigenschappen dan de hogere planten. Ook het percentage droge soorten zelf is weinig anders met of zonder toevoeging van de weegfactoren van mossen (figuur 5.4).

5.4 VERGELIJKING VAN DE 'ECOTYP' METHODE EN DE 'WEEGFACTOREN' METHODE

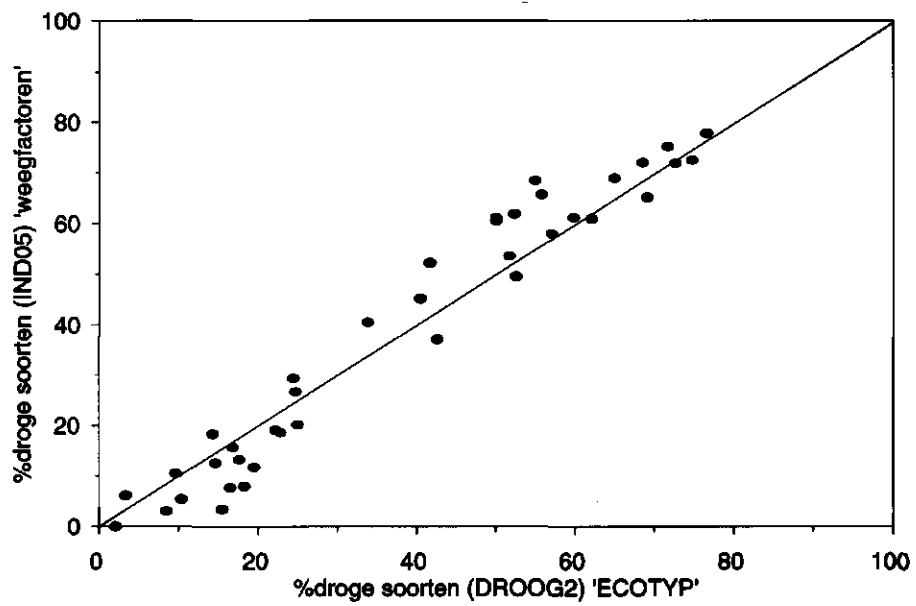
Theoretisch lijkt de 'ECOTYP' methode op de 'weegfactoren' methode waarbij kenmerkklassen met weegfactoren kleiner dan 0.5 weggelaten worden. De 'weegfactoren' methode deelt soorten echter meer genuanceerd toe aan kenmerkklassen indien de soort bij meer dan twee verschillende ecologische soortengroepen is ingedeeld. De 'ECOTYP'-methode houdt altijd vast aan weegfactor 0.5 (de klasse 'vochtig tot droog') terwijl de weegfactor rekening houdt met het aantal ecologische soortengroepen van een bepaalde vocht-kenmerkklassse. Figuur 5.5 laat zien dat de methodes niet structureel verschillende resultaten opleveren.



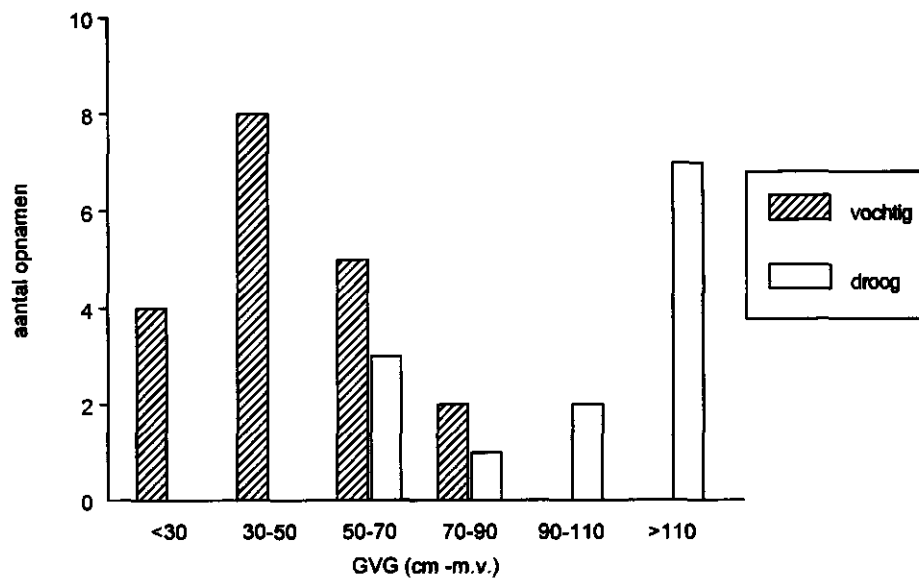
Figuur 5.3 *Index voor indicatiewaarde van de opname ten aanzien van vocht zonder en met toevoeging van de weegfactoren van mossen*



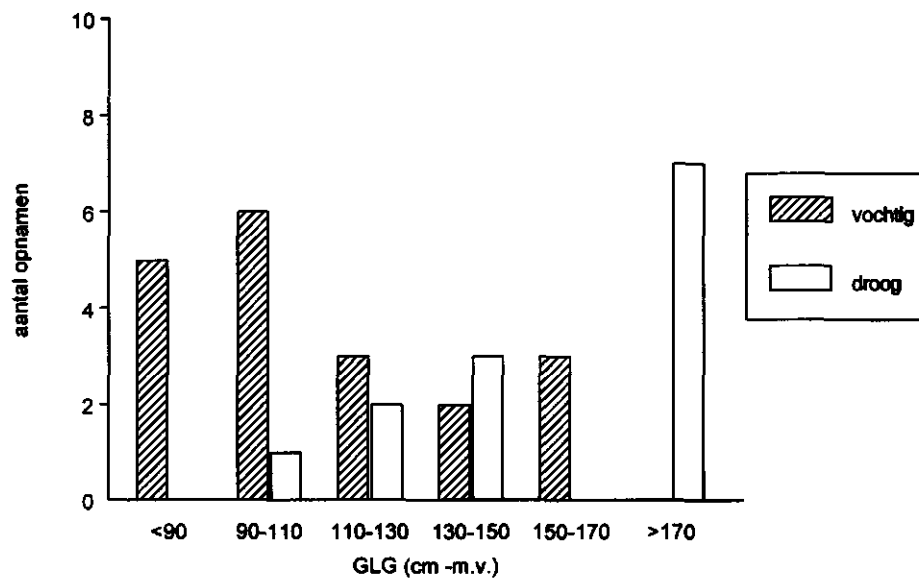
Figuur 5.4 *Percentage droge soorten bepaald zonder en met de weegfactoren voor mossen*



Figuur 5.5 *Percentage droge soorten bepaald met de 'weegfactoren' methode tegen het percentage droge soorten bepaald met de 'ECOTYP' methode*



Figuur 6.1 *Frequentieverdeling van de vochtindicatie van de opnames voor verschillende klassen van de GVG*



Figuur 6.2 *Frequentieverdeling van de vochtindicatie van de opnames voor verschillende klassen van de GLG*

6 VERBAND TUSSEN DE BEREKENDE VOCHTTEKORTEN EN DE VOCHTINDICATIE VAN DE VEGETATIE

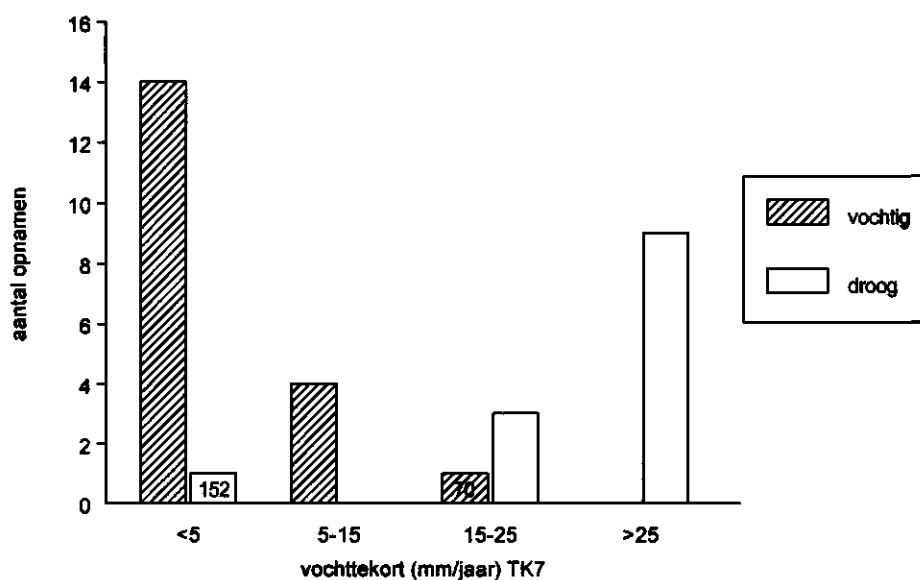
6.1 INLEIDING

De voor het standaardgewas berekende vochttekorten kunnen nu vergeleken worden met de vochtindicatie van de op de standplaats voorkomende vegetatie. In paragraaf 6.2 zal gekeken worden of het mogelijk is de klassegrens tussen 'vochtig' en 'droog' uit de gegevens af te leiden. Paragraaf 6.3 behandelt de relatie tussen het vochttekort en de vochtindicatie in meer detail aan de hand van het percentage droge soorten. Hoofdstuk 7 bevat een meer algemene discussie van de resultaten, waarbij vooral gelet wordt op de onzekerheid en de toepasbaarheid van de resultaten.

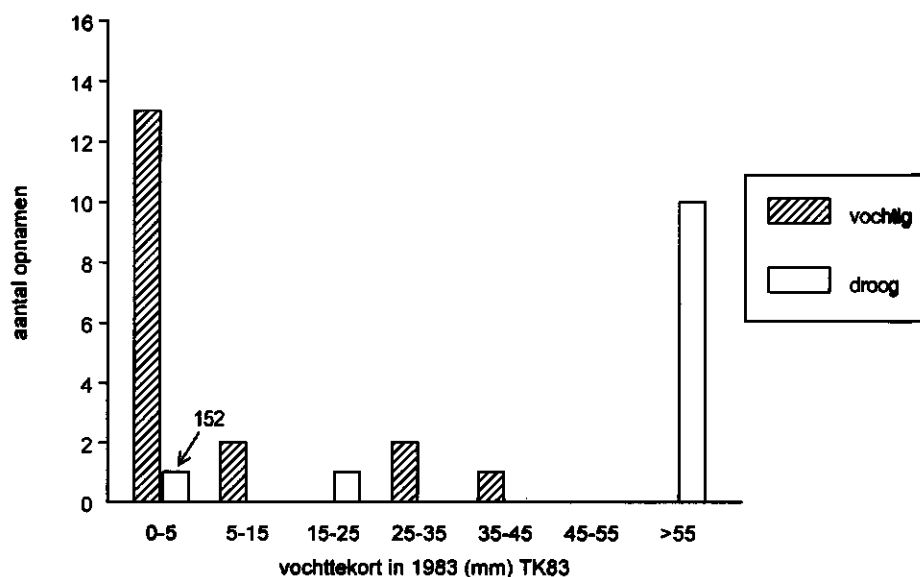
6.2 GRENS TUSSEN 'VOCHTIG' EN 'DROOG'

In de praktijk zal de vochtindicatie van de vegetatieopname niet vaak worden uitgedrukt in een percentage droge soorten. De grove klassen van de 'ECOTYP' klassificatie geven snel een beeld van de vochtindicatie van de vegetatie als geheel. In de figuren 6.1 en 6.2 is een frequentieverdeling gemaakt van de vochtindicatie (gebaseerd op 'ECOTYP', weging naar bedekking) voor de GVG en GLG. De 'natte' en 'vochtig tot droge' opnamen zijn uit deze grafieken weggelaten. Opvallend is dat in plaats van de laagste grondwaterstanden (GLG) de hoge voorjaarsgrondwaterstand (GVG) onderscheidend is voor 'vochtige' en 'droge' vegetaties. Runhaar (1989c) geeft als oorzaak voor de overlap tussen de categorieën het verschil in capillaire eigenschappen tussen de bodems. Bij de berekening van het vochttekort wordt wel rekening gehouden met de capillaire eigenschappen van de bodem. De frequentieverdeling voor het gemiddeld vochttekort over 7 jaar (TK7) en het vochttekort in 1983 (TK83) zijn weergegeven in figuur 6.3 en 6.4. De overlap tussen de klassen is afgenomen. Het vochttekort is dus duidelijk een betere maat voor het onderscheid tussen 'vochtige' en 'droge' ecotootypen dan de GVG.

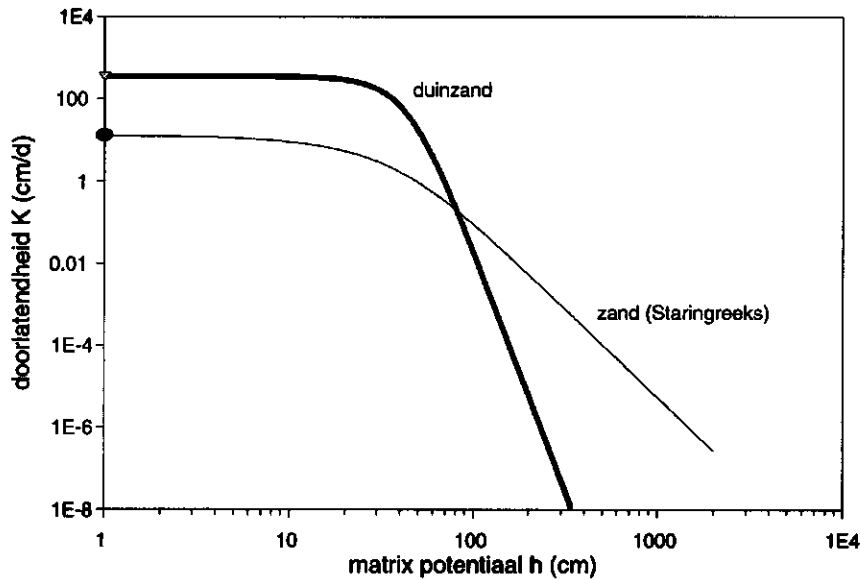
Slechts twee opnamen veroorzaken overlap van de categorieën. Het gaat hier allereerst om opname 152. Deze opname is afkomstig uit de Texelse duinen. De vegetatie bestaat uit typisch 'droge' soorten, echter, volgens de berekeningen treden er geen of slechts zeer kleine vochttekorten op. Een mogelijke oorzaak is de slechte kwaliteit van de grondwaterstandgegevens voor deze standplaats. Het is goed mogelijk dat als gevolg van het ontbreken van gegevens, dan wel vanwege een slechte calibratie, de GLG niet overeenstemt met de werkelijk optredende grondwaterstanden. Een andere oorzaak kan gezocht worden in de afwijkende fysische karakteristieken van duinzand. Voor het modelleren van de waterbalans van deze standplaats is gebruik gemaakt van de voor leemarm zand geldende bouwsteen van de Staringreeks (Wösten et al., 1994). Deze 'bouwsteen' is afgeleid uit fysische karakteristieken die voornamelijk in het dekzandlandschap in oost-Nederland (podzolen) bepaald zijn. Deze zijn over het algemeen slechter doorlatend en hebben (a.g.v. een hoger organischstofgehalte) een betere waterretentie dan duingronden. De hogere doorlatendheid en slechte waterretentie van duingronden zullen naar alle waarschijnlijkheid sneller tot vochttekorten leiden. Een doorlatendheidscurve zoals gemeten in de duinen bij Ouddorp illustreert de verschillen in fysische eigenschappen (figuur 6.5).



Figuur 6.3 Frequentieverdeling van de vochtindicatie van de opnames voor verschillende klassen van het over 7 jaar gemiddelde vochtttekort (152,70 = opnamenummers)

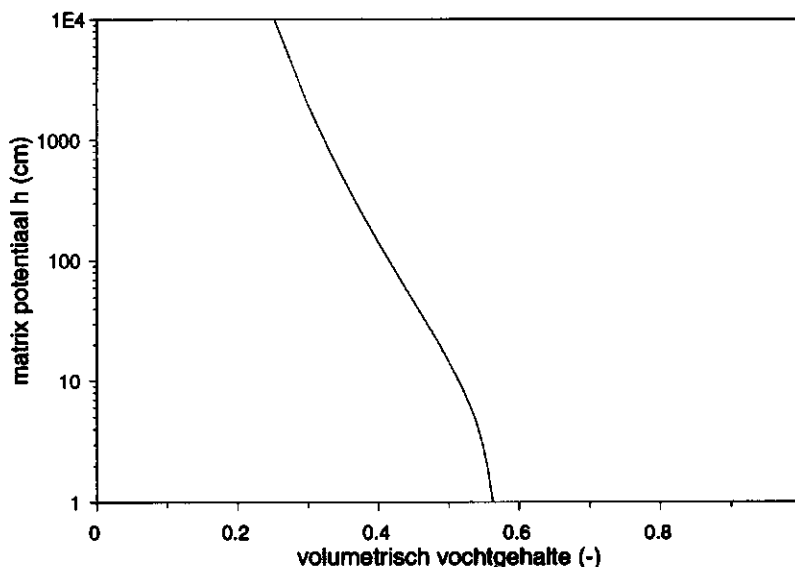


Figuur 6.4 Frequentieverdeling van de vochtindicatie van de opnames voor verschillende klassen van het in 1983 optredende vochtttekort (152 = opnamenummer)



Figuur 6.5 Doorlatendheidscurve voor respectievelijk zand (Staringreeks) en duinzand

Pogingen de vochttekorten voor de Texelse duinen opnieuw te berekenen met deze voor duingrond geldende fysische eigenschappen mislukten, omdat het model door het steile verloop van deze doorlatendheidscurve niet tot convergentie kon komen. Bij verdere analyses van de resultaten is opname 152 uit de resultaten weggelaten. De overige twee in de Texelse duinen gemaakte opnamen zijn wel gehandhaafd. Waarschijnlijk zijn ook voor deze opnamen de berekende vochttekorten te laag. Omdat hier bij de huidige fysische eigenschappen al aanzienlijke vochttekorten optreden worden de resultaten slechts in geringe mate beïnvloed door de te lage vochttekorten.



Figuur 6.6 pF-curve voor kleigrond

De tweede afwijkende opname is opname 70. Deze is afkomstig uit de Grasgorzen aan het Haringvliet. Deze opname bevat slechts zeer weinig droge soorten (<20%) terwijl er toch duidelijk een vochttekort optreedt. Ditzelfde is, in mindere mate, het geval met opname 53 en 54, beide afkomstig uit het komgrondenreservaat in de Tielerwaard. Opvallend is dat alle

drie deze opnamen gesitueerd zijn op zware kleigronden. Kenmerkend voor zware kleigronden is de zeer lage waterbeschikbaarheid. Reeds bij een zeer kleine afname van het volumetrisch watergehalte neemt de matrix potentiaal sterk toe (zie figuur 6.6) en is het voor planten niet meer mogelijk water op te nemen. Door het hoge vochtgehalte voelen deze gronden dan nog steeds nat aan. De gevonden vochttekorten lijken dus realistisch te zijn. De vegetatie lijkt echter allerminst op de droge vegetatietypen op de hoge zandgronden. Een verklaring hiervoor kunnen de verschillende eigenschappen om vochttekorten te voorkomen zijn. Waar op de droge zandgronden de planten vochttekorten vermijden door een lage bedekking en klein verdampend bladoppervlak hebben de planten op zware kleigronden lange wortelstelsels die vaak tot het, niet al te diep voorkomende, grondwater reiken. Ook worden de structuurscheuren vaak door wortels gebruikt, omdat water zich daar vaak verzamelt (internal catchment, Bouma, 1990).

Het vochttekort van een standaardgewas met vastgestelde worteldiepte is blijkbaar geen geschikte maat om het voorkomen van planten op dergelijke gronden te verklaren.

6.3 RELATIE TUSSEN HET VOCHTTEKORT EN HET PERCENTAGE 'DROGE' SOORTEN

Om de relatie tussen de vochtindicatie van de vegetatie en de vochttoestand van de standplaats nader te beschouwen is de vochttoestand uitgezet tegen het percentage droge soorten in de vegetatie. In figuur 6.7 en 6.8 is dat gedaan voor respectievelijk de GLG en de GVG. Het percentage droge soorten neemt toe als de grondwaterstand dieper onder het maaiveld te vinden is. De punten liggen echter sterk verspreid zodat de relatie niet erg duidelijk is (lage regressiecoëfficiënten).

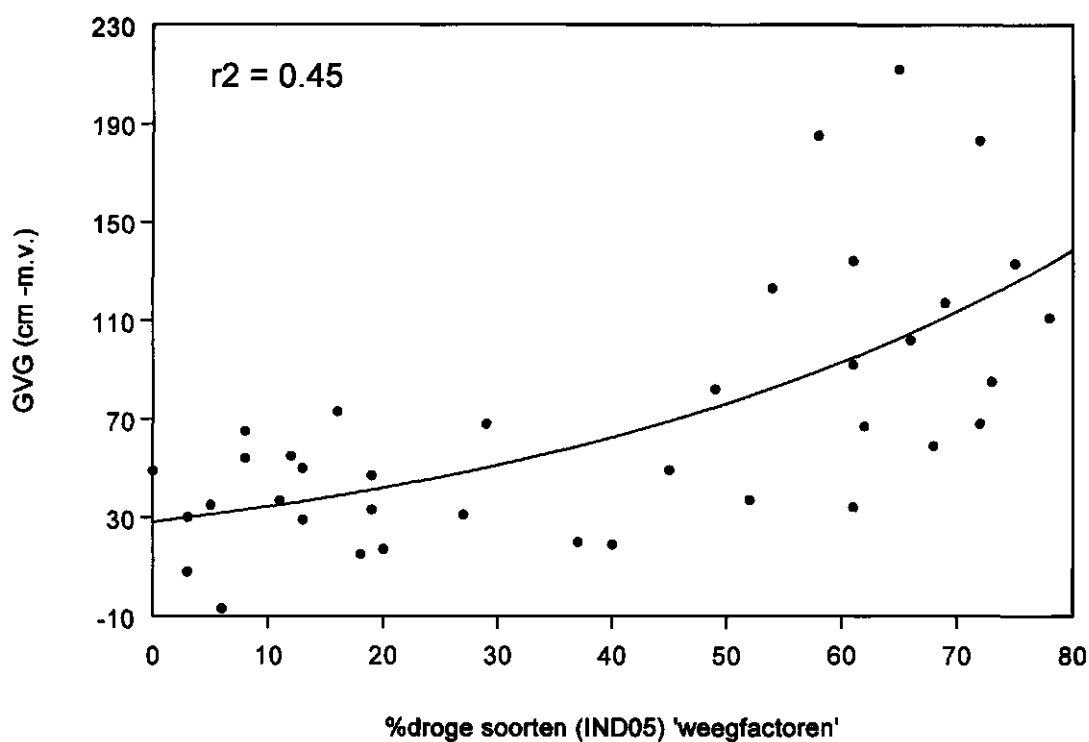
In figuur 6.9 is de vochttoestand van de standplaats gekarakteriseerd door het gemiddelde vochttekort, dat een standaardgewas op deze standplaats ondervindt. Alhoewel ook hier sprake is van een zekere spreiding in de punten kan het voorkomen van hoge percentages droge soorten duidelijk gerelateerd worden aan het optreden van vochttekorten¹. Indien het standaardgewas op een standplaats een vochttekort ondervindt van meer dan 10 mm is het voorkomen van een vegetatie met minder dan 60% droge soorten zeer onwaarschijnlijk.

Opvallend in de figuur is het optreden van vochttekorten bij een aantal vegetaties met zeer lage percentages droge soorten. Het gaat hier wederom om de standplaatsen op zware klei.

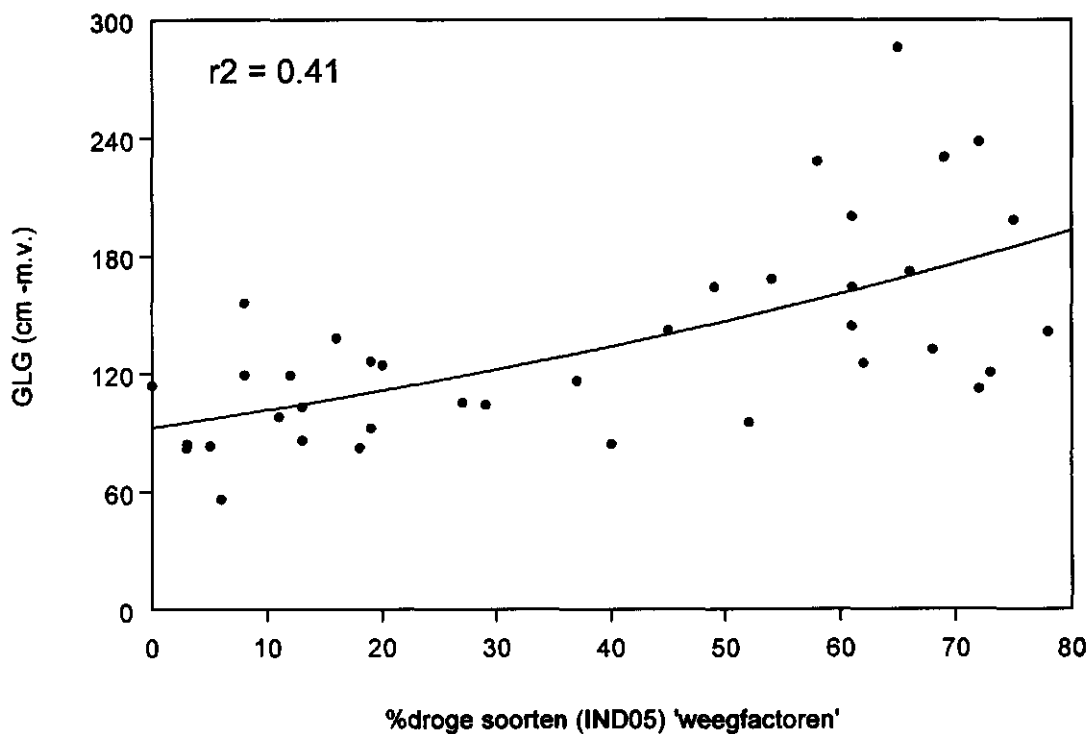
Figuur 6.10 toont dezelfde relatie. Hier is echter het percentage droge soorten niet bepaald met de op presentie gebaseerde 'weeg-factoren'-methode (IND05) maar op de op abundantie gebaseerde 'ECOTYP' methode (DROOG2a). De slechte relatie met het vochttekort illustreert dat het toekennen van veel gewicht aan de abundantie niet leidt tot een juiste karakterisering van de vochtindicatie van de vegetatie.

Figuur 6.11 geeft het verband tussen het percentage droge soorten en het vochttekort dat het standaardgewas in 1983 ondervond. Dit jaar kan gekarakteriseerd worden als een 10 tot 20% droog jaar.

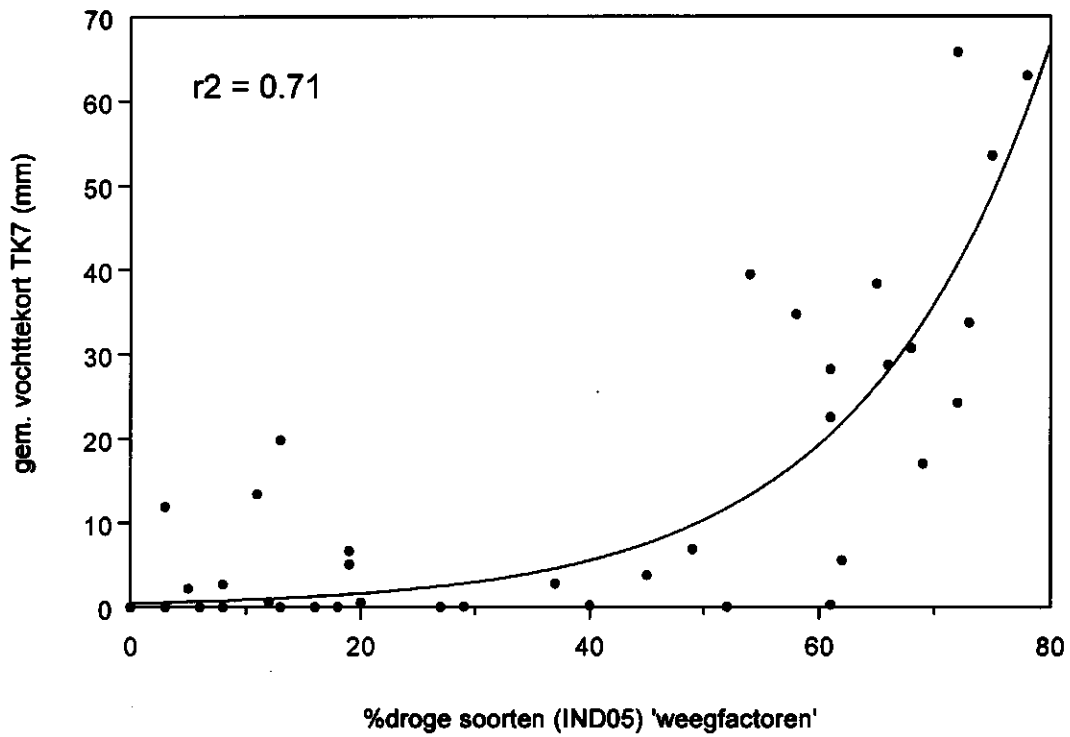
¹het is niet juist de regressiecoëfficiënt van figuur 6.9 te vergelijken met de regressiecoëfficiënten in de figuren 6.7 en 6.8. Omdat het vochttekort geen negatieve waarden aan kan nemen is hier sprake van een 'asymmetrische' verdeling terwijl de GVG en GLG wel een tweezijdige verdeling kunnen hebben.



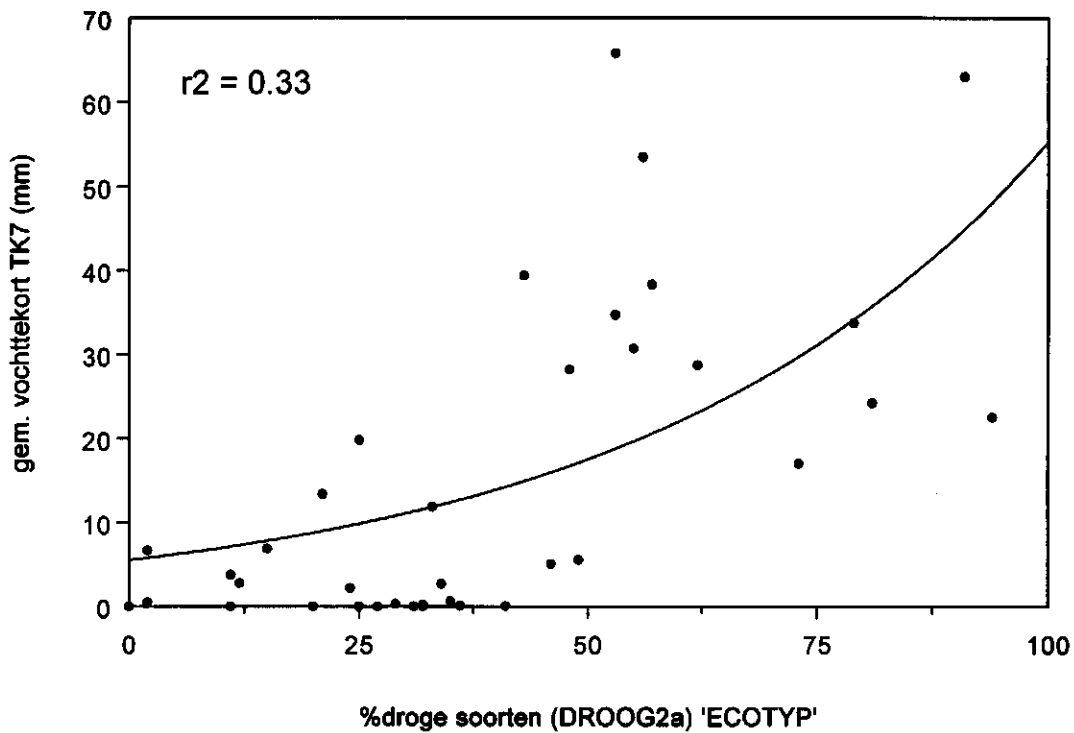
Figuur 6.7 Verband tussen het percentage droge soorten ('weefactoren') en de GVG



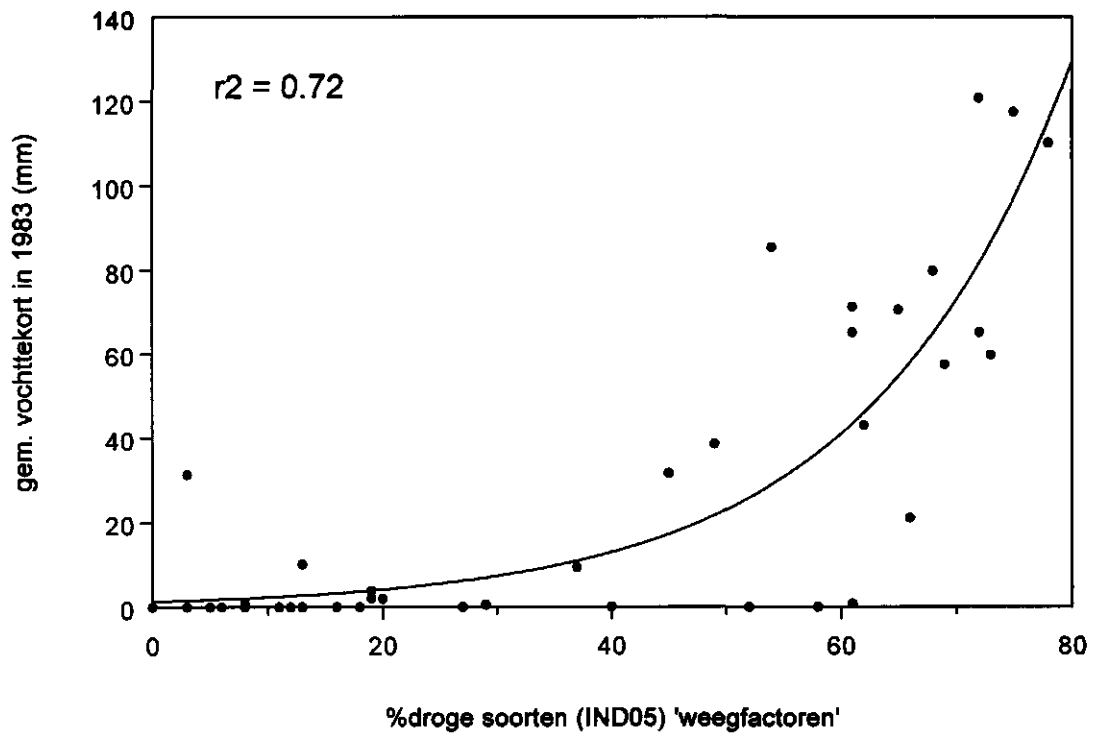
Figuur 6.8 Verband tussen het percentage droge soorten ('weefactoren') en de GLG



Figuur 6.9 Verband tussen het percentage droge soorten ('weefactoren') en het over 7 jaar gemiddelde vochttekort



Figuur 6.10 Verband tussen het percentage droge soorten (naar bedekking gewogen) en het over 7 jaar gemiddelde vochttekort



Figuur 6.11 Verband tussen het percentage droge soorten ('weegfactoren') en het vochttekort in 1983

7 DISCUSSIE

7.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk behandelt allereerst de betrouwbaarheid van de in deze studie gevonden resultaten. In paragraaf 7.3 vindt een vergelijking van de gevonden relatie tussen vochtindicatie van de vegetatie en de vochttekorten met eerder uitgevoerd onderzoek plaats. De toepassingsmogelijkheden van de gevonden resultaten worden behandeld in paragraaf 7.4.

7.2 BETROUWBAARHEID VAN DE RESULTATEN

Betrouwbaarheid van de simulatie van het vochttekort

Het gebruik van een detaillistisch model als SWATRE brengt met zich mee dat veel invoerparameters nodig zijn zoals vegetatiecoëfficiënten, fysische karakteristieken en een interceptiefunctie. Gebleken is dat, speciaal voor de situatie in natuurgebieden, deze parameters niet exact bekend zijn. De gemaakte veronderstellingen en abstracties nodig door dit gebrek aan parameters, vormen een bron van fouten.

Het vaststellen van de onderrandvoorwaarde vormt een andere bron van fouten. Gebruik van drainagefuncties geeft vaak geen bevredigend resultaat en bleek nog vaker totaal onmogelijk als gevolg van onvolkomenheden in het numerieke algoritme van het model. De aanname van een constante, nader te calibreren, drainage is niet in al de profielen geldig en slechts bruikbaar voor het zomerhalfjaar.

De calibratie van deze onderrandvoorwaarde is nooit perfect en kan in sommige gevallen een bron van fouten vormen. Een goede validatie was niet mogelijk omdat voor de validatie dezelfde meetgegevens (grondwaterstanden) gebruikt moesten worden als bij de calibratie. Andere gegevens om de modellering te valideren zijn niet aanwezig. Op deze wijze kunnen fouten in de verdamping gecompenseerd worden door de gecalibreerde onderrandvoorwaarde.

Aangezien het vochttekort niet direct meetbaar is, is het niet mogelijk de bij het modelleren gemaakte fouten te kwantificeren.

Om een idee te krijgen over de foutenmarge die kan ontstaan, kunnen de berekende vochttekorten vergeleken worden met vergelijkbare simulatieresultaten uit de literatuur.

Vochttekorten voor grasland (waarschijnlijk gewasfactor 0.75) zijn berekend voor zowel 1975 (10% droog jaar) als voor een gemiddeld jaar voor verschillende bodemprofielen en grondwaterstanden (Provincie Gelderland, 1993). De vochttekorten zijn hierbij berekend op basis van constante grondwaterstanden, terwijl in deze studie is uitgegaan van een fluctuerende grondwaterstand. Voor een zwak lemige podzol grond treedt geen vochttekort op bij grondwaterstanden van minder dan 1 meter beneden maaiveld. Voor een gemiddeld jaar, en een grondwaterstand van 2 meter beneden maaiveld, wordt een vochttekort van 150 mm gevonden, terwijl dit in een droog jaar (1975) op kan lopen tot 200 mm. De in deze studie berekende waarden zijn iets lager (vermoedelijk a.g.v. van een iets lagere gewasfactor).

De Waal (1987) simuleerde het vochttekort voor een heideveld (Tondensche Heide) op een

veldpodzolgrond. De GHG reikte tot het maaiveld terwijl de GLG 1.10 meter onder het maaiveld was. In 1983 vond hij een verwaarloosbaar klein vochttekort (<10 mm). De auteur beoordeelde dit als onrealistisch laag; het stemt echter overeen met de in deze studie gevonden vochttekorten.

In het kader van de 'stalen-methode' (Kemmers, 1990) heeft Groenendijk (1990) een studie uitgevoerd met als doel relaties te vinden tussen de standplaatsfactoren: GVG, GLG en het vochttekort in 1975 bij verschillende waterhuishoudkundige ingrepen. Hij vindt voor vergelijkbare situaties ongeveer 10 tot 50% hogere vochttekorten dan in deze studie. De auteur waarschuwt echter dat de waarden niet noodzakelijkerwijs overeenstemmen met de werkelijkheid.

Hieruit valt te concluderen dat, hoewel vergelijking met bovengenoemde studies moeilijk is, de vochttekorten zoals ze in deze studie zijn berekend relatief laag zijn.

Een reden hiervoor kan de gevoeligheid van het vochttekort voor de manier waarop de interceptie berekend wordt zijn (bijlage 5). Essentieel lijkt hierbij de reductie van de evapotranspiratie als gevolg van interceptieverdamping te zijn. Als deze reductie niet toegepast wordt zijn de berekende vochttekorten aanzienlijk hoger (bijlage 8). Welke vochttekorten het best overeenstemmen met de werkelijkheid is niet te zeggen.

Alhoewel er duidelijk aanzienlijke onzekerheden zijn ten aanzien van de absolute grootte van het vochttekort zijn de resultaten prima bruikbaar voor een vergelijking van de onderlinge profielen en de daarbij behorende vochtindicatie van de vegetatie.

Betrouwbaarheid van de vochtindicatie van de vegetatie

De vochtindicatie van de vegetatie kan op verschillende wijzen bepaald worden. In deze studie is gekeken naar de 'ECOTYP'-methode en de 'weeg-factoren' methode. Daarbij is het tevens mogelijk te kiezen voor weging naar presentie ofwel abundantie. Het is duidelijk dat de resultaten kunnen verschillen per methode. Het door elkaar gebruiken van verschillende methoden kan tot fouten leiden. Standaardisatie van de methode is daarom noodzakelijk.

7.3 VERGELIJKING VAN DE RESULTATEN MET EERDER ONDERZOEK

De relatie tussen vochttoestand en vochtindicatie van de vegetatie is eerder onderzocht door Gremmen en Ter Braak (1984). Deze hebben getracht de (per vegetatieopname gemiddelde) vochtindicatiegetallen van Ellenberg (1979) te koppelen aan het vochtleverend vermogen van de bodem. Hierbij is gebruik gemaakt van ongeveer 1100 vegetatieopnamen uit het pleistocene deel van West-Brabant. Zij konden echter niet op basis van het vochtleverend vermogen een betrouwbare schatting van het vochtgetal van de opname maken of omgekeerd. Dit is onder meer het gevolg van het ontbreken van precieze gegevens aangaande grondwaterstand en bodemgesteldheid (er is uitgegaan van de bodemkaart 1:50.000). Door Gremmen (1987) is hetzelfde gegevensbestand later nogmaals geanalyseerd in het kader van de ontwikkeling van het 'natuurtechnisch model'. Op grond van de resultaten van deze analyse legt hij de grenswaarde tussen de categorieën 'droog' en 'vochtig', welke ongeveer overeenkomen met de categorieën 'droog' en 'vochtig' in het ecotopensysteem, bij een vochtleverantie van 150 mm per groeiseizoen, hetgeen overeenkomt met een vochttekort van 100 mm, in een 10% droog jaar¹ en een gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand van 150 cm

¹er is niet beschreven op welke meteorologische grootte deze 10% is gebaseerd

beneden het maaiveld in een gemiddeld jaar. Voor de grens tussen de categorieën 'vochtig' en 'nat' zijn deze waarden resp. 225 mm (vochtttekort is 25 mm) en 50 cm -m.v.

Door de grote onzekerheden in de resultaten van dit onderzoek zijn later op basis van de resultaten van Runhaar (1989c) de grenzen wat betreft de GVG veranderd in respectievelijk 20 en 90 cm -m.v. voor de grenzen tussen de klassen 'nat' en 'vochtig' en de klassen 'vochtig' en 'droog' (Gremmen, 1990). Aangezien voor de vochtttekorten geen nieuwe gegevens beschikbaar waren zijn deze waarden gehandhaafd onder de vermelding dat ze mogelijk ook te hoog zijn.

De in deze studie gevonden grens tussen de klassen 'vochtig' en 'droog' ligt bij een veel lager vochtttekort. Vergelijking van de resultaten is echter moeilijk omdat niet bekend is op welk gewas de vochtleveranties van Gremmen en Ter Braak (1984) gebaseerd zijn. Het lijkt echter onwaarschijnlijk dat vegetaties op de grens van 'nat' tot 'vochtig' vochtttekorten ondervinden.

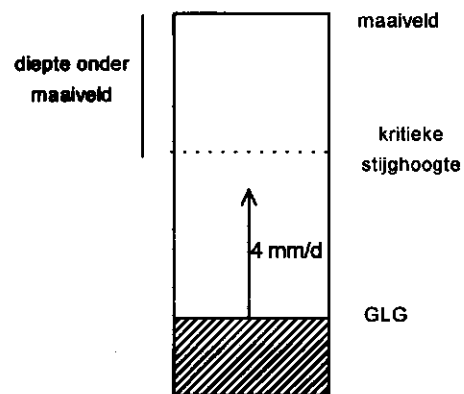
7.4 TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN

Het ecotopensysteem is een systeem waarin de relatie tussen vegetatie en standplaatsfactoren vast ligt in eenvoudige en algemeen toepasbare kwantitatieve relaties. Op grond van de relaties tussen standplaatstypen en plantesoorten kan aangegeven worden wat de gevolgen van milieuveranderingen voor de plantengroei zijn. Hierbij is het noodzakelijk dat de grenzen tussen de verschillende standplaatstypen beschreven zijn in abiotische parameters. Deze studie geeft een kwantificatie van de grens tussen 'vochtige' en 'droge' standplaatstypen.

Het vochtttekort dat een standaardgewas (in een bepaald jaar) ondervindt is echter een parameter die niet direct beschikbaar dan wel meetbaar is. Om het vochtttekort te bepalen moet gebruik gemaakt worden van numerieke modellen (zoals het hier gebruikte SWATRE) of van reeds berekende situaties in tabelvorm (b.v. provincie Gelderland, 1993). Wanneer het vochtttekort op deze wijze wordt berekend zijn veel invoervariabelen nodig, waaronder de bodemfysische karakteristieken en de drainage van het profiel. Vooral de drainage door de onder- rand van het profiel is hierbij lastig te bepalen. Twee mogelijke wijzen om deze parameter te verkrijgen zijn:

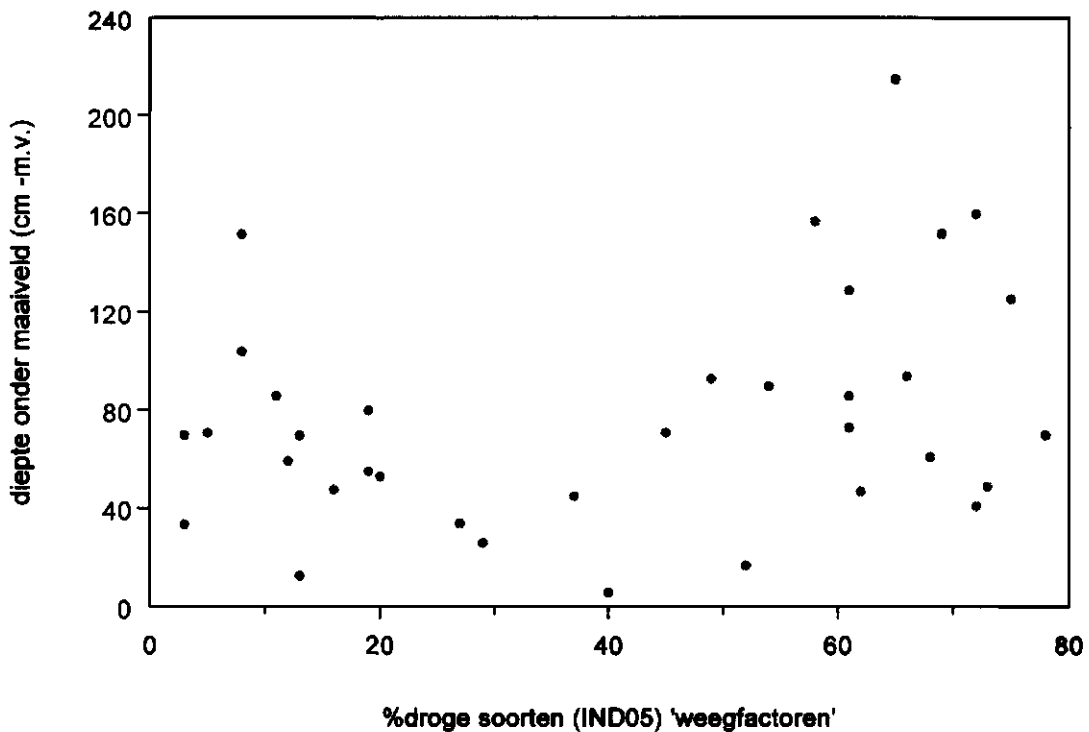
- Indien voldoende grondwaterstandsgegevens aanwezig zijn kan de drainage op dezelfde wijze als in deze studie door middel van calibratie verkregen worden.
- Een regionaal grondwaterstromingsmodel kan kwel/drainage als uitvoer hebben. Deze kan dan gebruikt worden als invoer voor het SWATRE model. Een goede koppeling van de modellen is noodzakelijk.

Het is duidelijk dat, alhoewel het vochtttekort de grens tussen 'vochtige' en 'droge' standplaatstypen beter beschrijft dan de GVG (zoals door Runhaar (1989c) bepaald), het vochtttekort van een standaardgewas een moeilijk te berekenen grootte is waarvan de absolute waarde sterk afhankelijk is van de modelabstracties. Gebruik van een eenvoudiger te bepalen grootte is daarom gewenst, vooral bij praktische toepassingen. Een mogelijke grootte zou de zogenaamde kritieke stijghoogte kunnen zijn. De kritieke stijghoogte is de



Figuur 7.1 Diepte onder het maaiveld tot waar capillaire opstijging van 4 mm/dag kan stijgen

waar nog capillaire opstijging vanuit het grondwater van meer dan 2 millimeter per dag te verwachten is. Deze hoogte kan eenvoudig berekend worden op basis van de fysische eigenschappen van de bodem (zie bijlage 11). In combinatie met de GLG geeft deze parameter informatie over de vochttoestand van het profiel gedurende de zomer (wanneer capillaire opstijging bij gebrek aan neerslag de vochtvoorziening van de planten kan aanvullen). De GLG en kritische stijghoogte zijn gecombineerd tot een parameter gedefinieerd als de diepte onder het maaiveld waar nog een capillaire opstijging vanuit het grondwater van meer dan 4 mm per dag¹ te verwachten is (figuur 7.1). Deze grootheid is berekend voor de in deze studie beschouwde profielen. De resultaten van de berekeningen zijn gepresenteerd in figuur 7.2. Het is duidelijk dat deze grootheid geen goede maat is voor de (voor planten belangrijke) vochttoestand van de standplaats. Omdat voor droge standplaatsen alleen gegevens beschikbaar waren van zandgronden, levert voor deze standplaatsen de toevoeging van de kritische stijghoogte geen extra informatie op ten opzichte van de GLG. Bij de vochtiger standplaatsen was wel sprake van verschillende bodemtypen. In de huidige vorm blijkt de gekozen grootheid niet geschikt om het verschil tussen 'vochtige' en 'droge' standplaatstypen te beschrijven.



Figuur 7.2 Verband tussen het percentage droge soorten en de diepte onder maaiveld tot waar capillaire opstijging van 4 mm dag⁻¹ kan stijgen

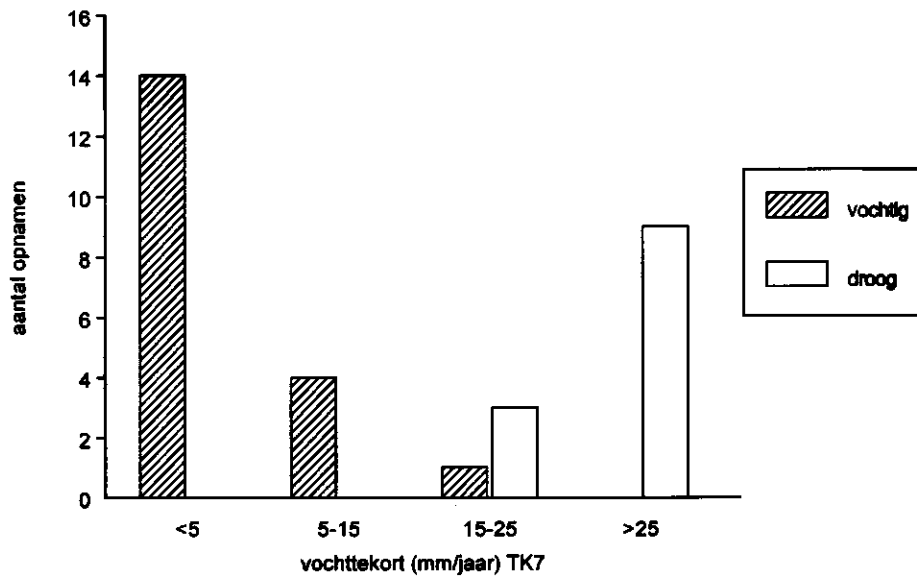
In veel gevallen zal het echter niet nodig zijn de grens tussen 'vochtig' en 'droog' vast te stellen door het berekenen van ingewikkelde grootheden. Een deskundige kan op basis van grondwaterstandgegevens, een inschatting van de waterretentie van de bodem en de drainage van het profiel (n.a.v. de landschappelijke ligging) de standplaats indelen bij 'vochtig' of 'droog'. De volgende richtlijnen kunnen dan aangehouden worden:

¹in plaats van de gebruikelijke 2 mm dag⁻¹ is gekozen voor 4 mm dag⁻¹ omdat bij 2 mm dag⁻¹ de capillaire flux theoretisch in veel gevallen tot ver boven het maaiveld uit zou kunnen stijgen

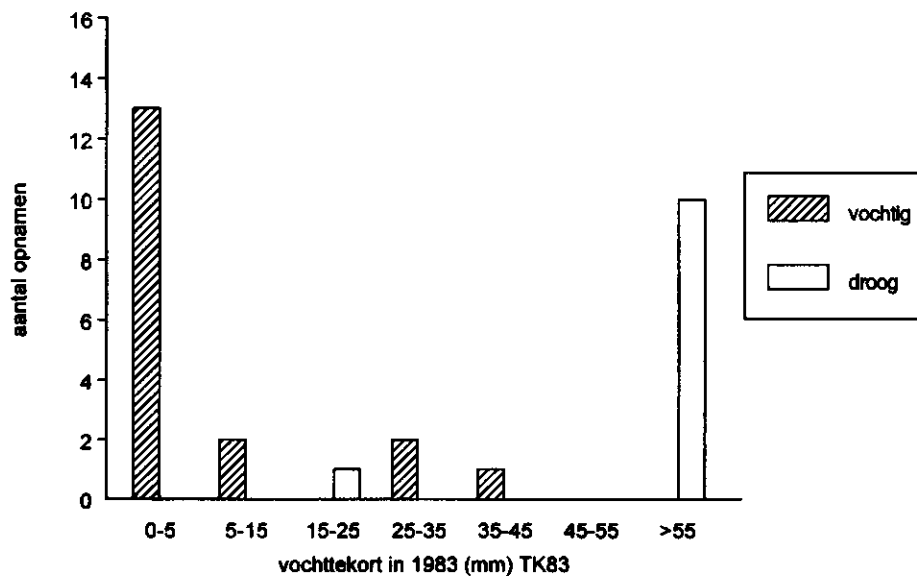
- vochtig: * GVG < 50 centimeter -m.v.
 * GVG tussen 50 en 90 centimeter -m.v. indien:
 -slecht tot redelijk gedraineerd
 -textuur met matige tot goede waterretentie (zwak lemig zand, leem)
- droog: * GVG > 90 centimeter -m.v.
 * GVG tussen 50 en 90 centimeter -m.v. indien:
 -erg goed gedraineerd
 -textuur met lage waterretentie (leemarm zand, b.v. duinzand)

In deze studie zijn geen grondwateronafhankelijke profielen beschouwd. In de meeste gevallen is te verwachten dat op dergelijke profielen door gebrek aan capillaire nalevering grote vochttekorten optreden. Hierdoor zullen de meeste grondwateronafhankelijke standplaatsen als droog gekarakteriseerd worden.

In Zuid-Limburg zijn echter op grondwateronafhankelijke posities veelal lössgronden en krijtverweringsgronden aanwezig. Deze gronden staan bekend om hun hoge waterretentie. Om dit te illustreren is het vochttekort van het in deze studie gedefinieerde standaardgewas berekend voor een grondwateronafhankelijk profiel op löss. De fysische karakteristieken zijn ontleend aan Van Dam et al. (1992). Het vochttekort bedroeg over de periode 1980-1986 gemiddeld 5.4 millimeter per groeiseizoen; in het droge jaar 1983 bedroeg het vochttekort slechts 3 millimeter. Vegetatieopnamen (Kruyne et al., 1967) op een plateau nabij Bemelen (Zuid-Limburg) bevatten tussen de 35 en 40 procent droge soorten (methode 'ECOTYP'; DROOG2). Dit percentage droge soorten komt overeen met de in deze studie afgeleide relatie tussen het percentage droge soorten en het vochttekort (zie figuur 6.9). Op basis van de grondwaterstand was hier een hoger percentage droge soorten verwacht.



Figuur 8.1 Frequentieverdeling van vochtige en droge opnamen voor verschillende klassen van het over 7 jaar gemiddelde vochttkort



Figuur 8.2 Frequentieverdeling van vochtige en droge opnamen voor verschillende klassen van het vochttkort in 1983

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK

8.1 CONCLUSIES

*Op grond van de indicatiewaarden van soorten kan onderscheid gemaakt worden tussen 'vochtige' en 'droge' standplaatsen. Op 'droge' standplaatsen ondervindt een standaardgewas (gewascoëfficiënt 0.7; worteldiepte 20 cm) in een 10-20% droog jaar (b.v. 1983) een vochttekort van meer dan 50 mm. In een gemiddeld jaar bedraagt het vochttekort minstens 15 mm (figuur 8.1 en 8.2).

*Het vochttekort beschrijft de grens tussen 'vochtige' en 'droge' standplaatsen beter dan de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) of de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG).

*De vochtindicatie van de standplaats berekend op basis van de bedekking van soorten is slechter gerelateerd aan het vochttekort van de standplaats dan de vochtindicatie op basis van de presentie van soorten.

*De absolute grootte van het vochttekort is gevoelig voor de vele parameters die voor de berekening nodig zijn. De GVG geeft in combinatie met een deskundigenoordeel over de waterretentie en drainage-karakteristieken van de standplaats, een voor veel toepassingen voldoende karakterisering.

8.2 AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK

*Onderzoek naar de modellering van de verdamping van natuurlijke vegetaties en een grotere beschikbaarheid van modelparameters zal de kwantificering van de waterbalans van de onverzadigde zone in natuurgebieden verbeteren. Hierdoor zal de betrouwbaarheid en de toepasbaarheid van de relatie tussen vochtindicatie en vochttekort vergroot kunnen worden.

*Een nadere validatie van het gepresenteerde verband tussen vochttekorten en vochtindicatie aan de hand van vegetatieopnamen op grondwateronafhankelijke profielen met hoge waterretentie is nodig om de algemene geldigheid van de relatie te toetsen.

LITERATUURLIJST

- Arnold, G.E. en W.E. van Vuuren, 1988
Evaluation and improvement of hydrological concepts used in PAWN. Agricultural Water Management 14: 219-230. Amsterdam
- Bakker, T.W.M., Klijn, J.A. en F.J. Zadelhoff, 1979
Duinen en duinvalleien: een landschapsecologische studie van het Nederlandse duingebied. PUDOC. Wageningen
- Belmans, C., Wesseling, J.G. and R.A. Feddes, 1983
Simulation of a cropped soil: SWATRE. J. Hydrology 63: 271-286
- Beringen, R. en J. Wiertz, 1986
Verkennde literatuurstudie naar de bewortelingsdiepte van de Nederlandse flora. R.I.N. Leersum
- Besten, J.J. den, 1986
Berekeningsmethoden vochtleverantie en aëratie: evaluatie en bruikbaarheid simulatiemodellen. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. Rapport 8a
- Boheemen, P.J.M. van, 1980
Seizoen- en piekbehoefte aan kunstmatige watervoorziening bij gras, aardappelen en tuinbouwgewassen. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1211. Wageningen
- Boot, K., 1982
Drainagekarakteristieken van het proefgebied Sleen voor de jaren 1976, 1977 en 1978. Rijkswaterstaat, Dir. Waterhuishouding en Waterbeweging, district Zuidoost. Interne notitie 1982-F
- Bouma, J., 1990
Using morphometric expressions for macropores to improve soil physical analysis of field soils. Geoderma 46: 3-13
- Broek, B.J. van den, Wesseling, J.G., Kabat, P. en A.J. Dolman, 1993
Bodemwaterstromings- en gewasgroeimodellen in het kwantitatief waterbeheer Landinrichting 1993/33 5
- Bruin, H.A.R. de, 1987
From Penman to Makking. in: CHO-TNO, 1987
- CHO-TNO, 1987
Evaporation and weather, Proceedings and information No. 39. The Hague.
- Clausman, P.H.M.A., Held, A.J. den, Jalink, L.M. en J. Runhaar, 1987
Het vegetatieonderzoek van de provincie Zuid-Holland. Deelrapport II: milieuindicaties van vegetaties (TOEWIJS). Provincie Zuid-Holland. 's-Gravenhage

CoGroWa, 1984

Landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking. Commissie Grondwaterwet waterleidingbedrijven. Werkgroep Landbouwkundige Aspecten. Utrecht

Dam, J.C. van, Stricker, J.N.M. en P. Droogers, 1992

Inverse method for determining soil hydraulic functions from one-step outflow experiments. Soil Science Society of America Journal 56:1042-1050

Dekker, L.W. en J.H.M. Wösten, 1983

Hydrologische gevolgen van het losmaken van humuspodzol-B-horizonten op de Elspeetsche heide en in het Rozendaalsche Veld. Onderzoek naar de effecten van militaire oefeningen op Bodem, Vegetatie en fauna. Rapport 8. Stichting voor Bodemkartering, rapport 1674. Wageningen

Dirkse, G.M. en B.J.W.M. Kruijssen, 1993

Indeling in ecologische groepen van Nederlandse blad- en levermossen. Gorteria 19: 1-29

Eggink, H. en J. Vink, 1989

Een lysimeterstudie naar de verdamping in een hoogveenrestant. Deelverslag I van een verdampingsonderzoek in de Engbertsdijkvenen in de zomer van 1988. Scriptie. Vakgroep Cultuurtechniek, Landbouwuniversiteit Wageningen

Ellenberg, H., 1979

Zeigerwerte der Gefäszpflanzen Mitteleuropas. Erich Goltze, Göttingen, 2e ed.

Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. en D. Paulißen, 1991.

Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta geobotanica, volume 18. Göttingen

Ernst, L.F., 1962

Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij de aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Versl. Landbouwk. Onderz. 67.15. PUDOC. Wageningen

Ernst, L.F. en R.A. Feddes, 1979

Invloed van grondwateronttrekking voor beregening en drinkwater op de grondwaterstand. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1116. Wageningen

Feddes, R.A., 1971

Water, heat and crop growth. Thesis Comm. Wageningen University.

Feddes, R.A., P.J. Kowalik en H. Zaradny, 1978

Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs. Pudoc. Wageningen. 189 pp.

Feddes, R.A., 1987

Crop factors in relation to Makkink's reference crop evapotranspiration. in: CHO-TNO, 1987

Feddes, R.A., Kabat, P., Bakel, P.J.T. van, Bronswijk, J.J.B. en J. Halbertsma, 1988

Modelling soil water dynamics in the unsaturated zone - state of the art. Journal of Hydrology, 100 (1988): 69-111

Gremmen, N.J.M. en C.J.F. ter Braak, 1984

Ecologische amplitudo's bij Ellenberg's vochtindicatiegetallen en de responsie van plantesoorten op het vochtleverend vermogen van de bodem in het pleistocene deel van West Brabant. Intern rapport. Rijksinstituut voor Natuurbeheer. Leersum

Gremmen, N.J.M., 1987

Natuurtechnisch model voor de beschrijving en voorspelling van effecten van veranderingen in wateregime op de waarde van een gebied vanuit natuurbehoudsstandpunt. I: uitgangspunten en modelconcept. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. Rapport 1e

Gremmen, N.J.M., 1990

Natuurtechnisch model voor de beschrijving en voorspelling van effecten van veranderingen in wateregime op de waarde van een gebied vanuit natuurbehoudsstandpunt. IV: herziening en verificatie van het model. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. Rapport 1r

Groen, C.L.G., Stevers, R.A.M., Gool, G.R. van en M.E.A. Broekmeyer, 1993

Uitwerking ecotopensysteem fase III. Herziene landelijke typologie en vertaalsleutels voor Overijssel, Gelderland, Noord-Brabant en Limburg. Rapportage van een studie in opdracht van de Rijksplanologische Dienst. Centrum voor Milieukunde. CML mededelingen 49. Leiden

Groenendijk, P., 1990

Effecten van waterbeheer op standplaatsfactoren van korte vegetaties. III Grondwaterstand en vochtleverantie. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. Rapport 1l

Hijdra, R.D.W. en L. van der Meulen, 1985

Het Needse Achterveld; een ecohydrologisch en bodemkundig onderzoek. Intern Rapport. Rijksinstituut voor Natuurbeheer Arnhem. Leersum en Texel

Hooghoudt, S.B., 1940

Bijdrage tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van den grond. Deel 7. Versl. Landbouwk. Onderz. 46(14): 515-707

IAWM, 1981

Interprovinciale handleiding voor vegetatie-opnamen. Interprovinciale ambtelijke werkgroep milieu-inventarisatie (IAWM), subwerkgroep flora en vegetatie. Provinciale Waterstaat. Utrecht

Jansen, P.C. en R.H. Kemmers, 1986

Experimenteel verdampingsonderzoek aan twee plantesoorten: moerasspirea en gewoon knoopkruid. Cultuurtechnisch Tijdschrift 25: 6, 1986

Jansen, P.C. 1986a

De potentiële verdamping van (half-)natuurlijke vegetaties. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1703. Wageningen

Jansen, P.C. 1986b

De beworteling van (half-)natuurlijke vegetaties. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1698. Wageningen

- Jansen, P.C., 1994
De verdamping van een erica-, een molinia- en een schraal graslandvegetatie. Interne mededeling 294, februari 1994. DLO-Staring Centrum. Wageningen
- Kemmers, R.H., 1990
Effecten van waterbeheer op standplaatsfactoren van korte vegetaties. Deel I: de stalenmethode. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. Rapport 1j
- Klapp, E., 1965
Grünlandvegetationen und Standort. Verlag Paul Parey, Berlin
- KNMI, 1957-1987
Maandoverzicht van het weer in Nederland. Jaargangen 1957 t/m 1987. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. De Bilt
- Koopmans, R. en R.A. Feddes, 1994
Dictaat agrohydrologie. Vakgroep Waterhuishouding. Landbouwwuniversiteit Wageningen
- Kruijne A.A., Vries, P.M. de en H. Mooi, 1967
Bijdrage tot de ecologie van de Nederlandse graslandplanten. IBS, Meded. 338. Wageningen
- Laat, P.J.M. de, 1979
Vochtleverantie-berekeningen. In: Overzichtskaarten met betrekking tot een aantal aspecten van de waterhuishouding in Gelderland. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland/Stiboka rapport no. 1434
- Lanen, H.A.J. van, Drecht, G. van en J.D. Leenen, 1982
Bruikbaarheid van het DEMGEN model (PAWN-onderzoek) voor het bepalen van de hydrologische effecten van permanente en geconcentreerde grondwaterwinning. Rijksinstituut voor drinkwatervoorziening. Nota Hy.h. 82-04
- Lanen, H.A.J. van, 1985
Grondwaterstand-afvoerrelaties als randvoorwaarde voor bodemvochttekortberekeningen met onverzadigde grondwaterstromingsmodellen. Cultuurtechnisch Tijdschrift. jg. 25 nr. 3
- Makking, G.F., 1957
Testing the Penman formula by means of lysimeters. Journal of the Institution of Water Engineers 11: 277-288
- Meijden, R. van der, Duuren, L. van, Weeda, E.J. en C.L. Plate, 1991
Standaardlijst van de Nederlandse flora 1990. Gorteria 17: 75-127
- Ovaa, A.H. 1990
Verdamping in Natuurgebieden. Een literatuurstudie naar de achtergronden van verdamping in (half-)natuurlijke vegetaties. Scriptie. Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica. Landbouwwuniversiteit Wageningen
- Penman, H.L., 1948
Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proceedings Royal Society 193. London
- Provincie Gelderland, 1993
Karakteristieken van de onverzadigde zone ten behoeve van het waterbeheer; leidraad voor het waterbeheer. Provincie Gelderland, Afdeling water

- Rijtema, P.E., 1965
An analysis of actual evapotranspiration. Agric. Res. Rep. 659. Pudoc. Wageningen.
- Runhaar, J., Groen, C.L.G., Meijden, R. van der, en R.A.M. Stevers, 1987
Een nieuwe indeling in ecologische groepen binnen de Nederlandse flora. Gorteria 13: 277-359
- Runhaar, 1989a
Toetsing van het ecotopensysteem I: hoofdrapport. Centrum voor Milieukunde, CML mededeling 48a. Rijksuniversiteit Leiden
- Runhaar, 1989b
Toetsing van het ecotopensysteem II: rapportage van het veldwerk. Centrum voor milieukunde. CML mededeling 48b. Rijksuniversiteit Leiden
- Runhaar, J., 1989c
Toetsing ecotopensysteem: relatie tussen de vochtindicatie van de vegetatie en grondwaterstanden. Landschap 1989:2 129-146
- Runhaar, J. en M. van 't Zelfde., 1995
Handleiding bij programmapakket VEGTOOL. Centrum voor Milieukunde Leiden
- Schouwenaars, J.M., 1993
De verdamping van pijpestrootje (*Molinia caerulea*) en veenmos (*Spagnum papillosum*) in hoogveengebieden en hun betekenis voor het waterbeheer. H₂O (26), nr 14. p.376-382
- Stevens, R.A.M., Runhaar, J., Udo de Haes, H.A. en C.L.G. Groen, 1987a
Het CML-ecotopensysteem, een landelijke ecosysteemtypologie toegespitst op de vegetatie. Landschap 2: 135-149
- Stevens, R.A.M., Runhaar, J en C.L.G. Groen, 1987b
Het CML ecotopensysteem: uitwerking voor Noord, West- en Zuidwest-Nedeland. Centrum voor Milieukunde, CML mededeling 34, Rijksuniversiteit Leiden
- Stolte, J. en J.H.M. Wösten, 1991
Soil physical schematisation of the catchment area of the river Vecht. The Winand Staring Centre. Report 45. Wageningen
- Stricker, G.J., Moors, J.N.M. en G.D. van den Abeele (in voorbereiding)
Evapotranspiration of cutover bog covered by *Molinia caerulea*. Vakgroep Waterhuishouding. Landbouwniversiteit Wageningen
- Tietje, O. en M. Tapkenhinrichs, 1993
Evaluation of Pedo-Transfer functions. Soil Science Soc. Am. J. 57: 1088-1095
- Vuuren, W.E. van, 1981
Analyse van drainagekarakteristieken voor proefgebied Hupsel - een verkennend onderzoek. Interne mededeling directie waterhuishouding en Waterbeweging, district Zuidoost, notitie 1981-Q

Vuuren, W.E. van, 1984

Validation of the agrohydrological model DEMGEN (Demand Generator) on point data from the hupselse beek area in the Netherlands. in: Recent Investigations in the Zone of Aeration (RIZA) volume 2 - Proceedings of the International Symposium Munich, West-Germany, October 1984. Editors: Udluft, P., Merkel, B. en K.H. Prösl. Department of Hydrogeology and hydrochemistry, Technical University of Munich, FRG

Waal, R.W. de, 1987

Simulatie van vochtleverantie en äeratie in de natuurgebieden Veerstalblok en Tondensche Heide. Studicommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. Rapport 8b

Witte, J.P.M. en R. van der Meijden, 1992

Verspreiding en natuurwaarden van ecotoopgroepen in Nederland. Onderzoek effecten grondwaterwinning, deel 6. Landbouwniversiteit Wageningen; Rijksherbarium/Hortus Botanicus, Leiden

Wösten, J.H.M., Veerman, G.J. en J. Stolte, 1994

Waterretentie- en doorlantendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Staring Centrum. Technisch Document 18. Wageningen

BIJLAGE

- Bijlage 1: Het gebruik van de drainage door de onderrand van het profiel als randvoorwaarde voor het modelleren van de vochthuishouding in de onverzadigde zone
- Bijlage 2: Het gebruik van decadecijfers in plaats van dagcijfers voor de neerslag en verdamping
- Bijlage 3: Karakterisering van de droogtegraad van de beschouwde jaren
- Bijlage 4: Omrekeningsfactoren voor de referentieverdamping van Makking naar de open-watervedamping van Penman
- Bijlage 5: Reductie van de transpiratie als gevolg van interceptieverdamping
- Bijlage 6: De verdeling van de verdamping over bodemevaporatie en transpiratie bij open vegetaties
- Bijlage 7: Beperking gewasverdamping onder waterverzadigde omstandigheden
- Bijlage 8: Het gebruik van de niet-aangepaste versie van SWAP93 voor de simulatie van het vochttekort
- Bijlage 9: Resultaten berekening vochttekorten
- Bijlage 10: Resultaten berekening vochtindicatie
- Bijlage 11: Berekening van de kritische stijghoogte

BIJLAGE 1

HET GEBRUIK VAN DE DRAINAGE DOOR DE ONDERRAND VAN HET PROFIEL ALS RANDVOORWAARDE VOOR HET MODELLEREN VAN DE VOCHTHUISHOUDING IN DE ONVERZADIGDE ZONE

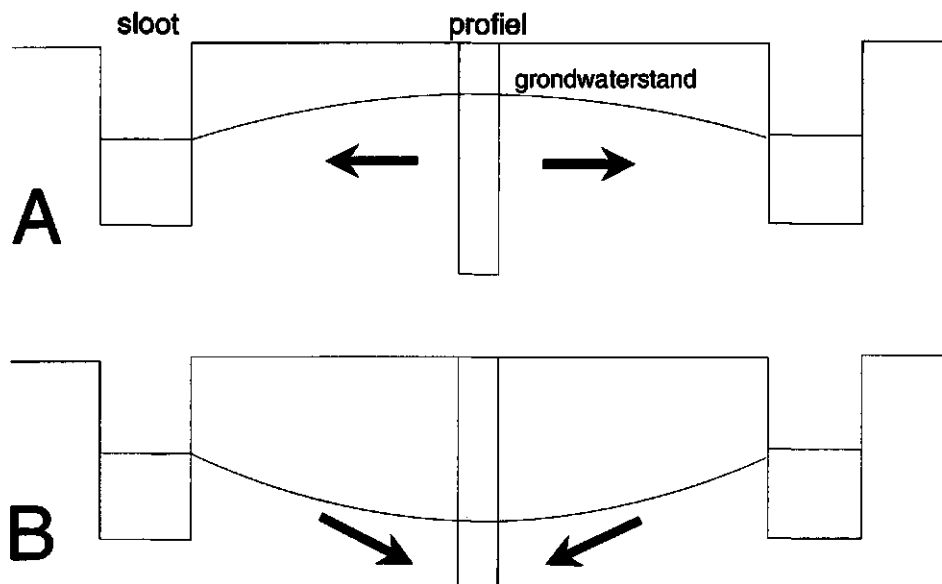
Inleiding

Indien grondwaterstandgegevens niet geschikt, of niet aanwezig zijn kan de drainage door de onderzijde van het te modelleren profiel gebruikt worden als randvoorwaarde bij het simuleren. Verschillende methoden kunnen hiertoe gebruikt worden (Van Lanen, 1985):

- het koppelen van de simulatie van de onverzadigde zone met modellen waarin de verzadigde grondwaterstroming wordt gesimuleerd.
- het gebruik van een grondwaterstand-afvoerrelatie, vaak aangeduid met $q(h)$ relatie ofwel drainagefunctie. Deze relatie geeft aan welk verband er bestaat tussen de grondwaterstand beneden maaiveld en de af- of toevoer van grondwater door een horizontaal vlak dat net iets dieper ligt dan het diepste punt tot waar de grondwaterstand daalt.

Het koppelen van modellen die waterstroming in de onverzadigde zone beschrijven aan modellen die de regionale verzadigde grondwaterstroming simuleren is gecompliceerd en vereist veel kennis van de regionale stromingspatronen en geohydrologische opbouw.

Het gebruik van een grondwaterstand-afvoerrelatie vereist aanzienlijk minder gegevens. Het principe van de grondwaterstand-afvoerrelatie kan eenvoudig geïllustreerd worden in kunstmatig gedraineerde gebieden (figuur B1.1).

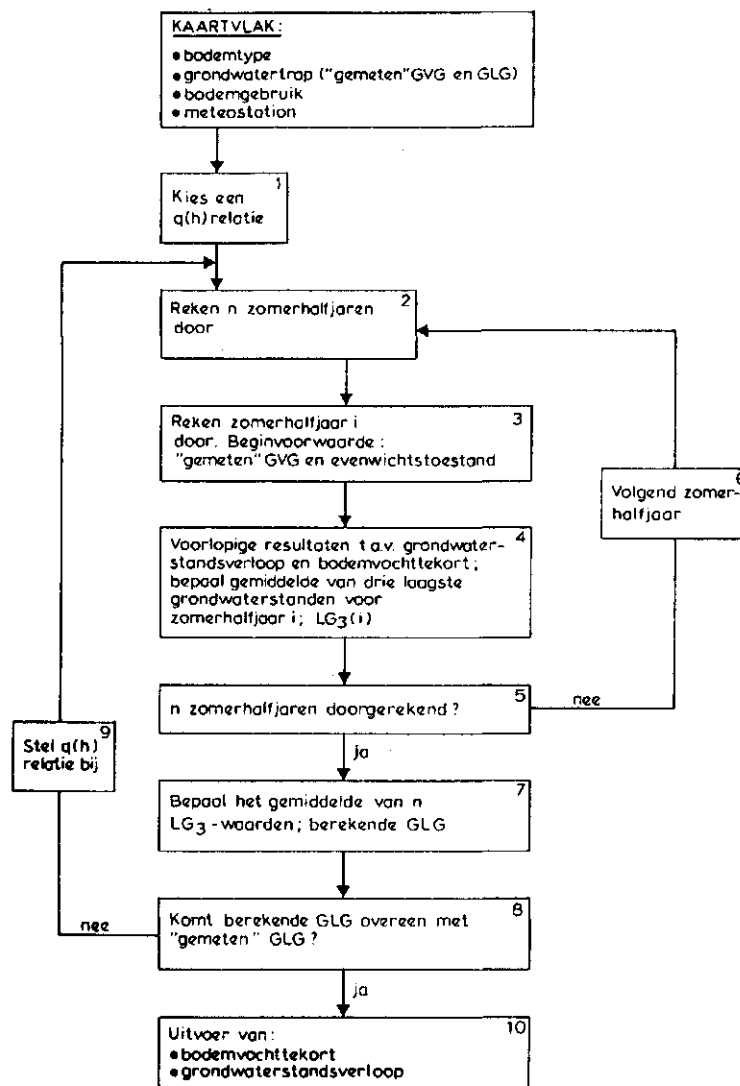


Figuur B1.1 Relatie tussen de grondwaterstand en de drainage van een profiel; A: wintersituatie, B: zomersituatie

Bij hoge grondwaterstanden zal water vanuit het gemodelleerde profiel draineren terwijl bij lage grondwaterstanden water vanuit sloten het profiel zal instromen. De grondwaterstand-afvoerrelatie

kan in dit geval afgeleid worden uit de drainage formules van bijvoorbeeld Hooghoudt (1940) of Ernst (1962). De drainage vindt plaats door zowel de onderzijde van het (hypothetische) profiel als door de zijkanten (in het verzadigde deel van het profiel). In het SWATRE model wordt verondersteld dat alle drainage door de onderrand plaatsvindt.

Voor andere gebieden is het meestal niet mogelijk op dergelijke wijze grondwaterstand-afvoerrelaties vast te stellen daar het drainagepatroon niet regelmatig is. Toch valt te verwachten dat over het algemeen bij hoge waterstanden de drainage groter zal zijn dan bij lage. Bij lage grondwaterstanden treedt in veel gevallen instroming vanuit omliggende delen op. In feite hebben we dan te maken met kwel. De landschappelijke ligging van het profiel en regionale grondwaterstromingspatronen zullen de vorm van de grondwaterstand-afvoerrelatie bepalen.



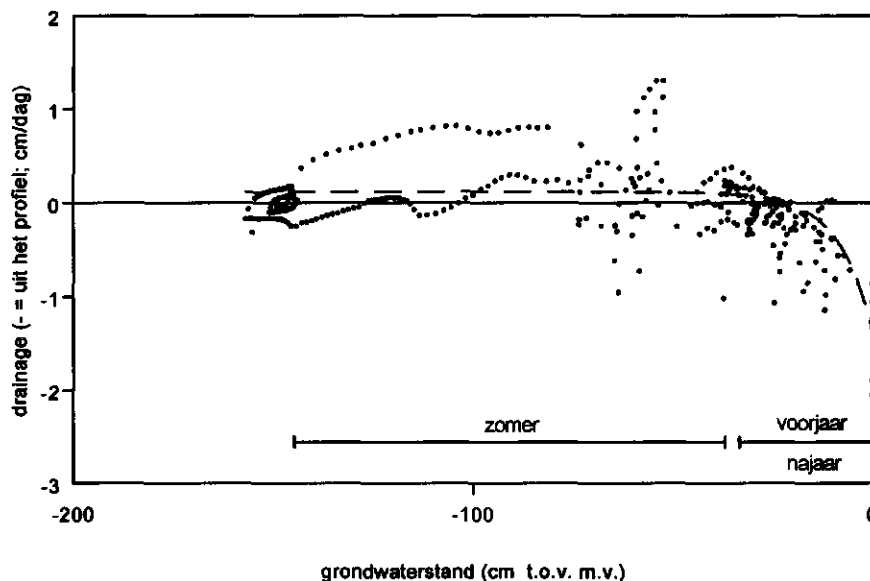
Figuur B1.2 Schematische weergave van de rekenprocedure om de $q(h)$ relatie bij te stellen en het bodemvochttekort te berekenen (Van Lanen, 1985)

Het afleiden van de grondwaterstand-afvoerrelatie ($q(h)$ relatie)

Grondwaterstand-afvoerrelaties kunnen op punt- en op gebiedsniveau bepaald worden (Van Lanen, 1985). Op puntniveau wordt de $q(h)$ relatie afgeleid uit de waterbalans van de onverzadigde zone. Veelal zijn deze gegevens echter alleen beschikbaar op hydrologische proefvelden. Op gebiedsniveau wordt de $q(h)$ relatie afgeleid uit de waterbalans van het oppervlaktewaterstelsel en de gebiedsgemiddelde grondwaterstand. Onder andere voor de proefgebieden Sleen en Hupsel zijn deze relaties

bekend (Boot, 1982; Van Vuuren, 1981). Het gebruik van dergelijke relaties in andere gebieden is twijfelachtig daar bij een andere geohydrologische opbouw van het gebied en een andere gemiddelde hoogteligging de relaties aanzienlijk kunnen verschillen. Aangezien het in deze studie gaat om het modelleren van profielen zal de $q(h)$ relatie op puntniveau bepaald moeten worden. Voor het geval slechts de grondwatertrap bekend is kan gebruik worden gemaakt van de rekenprocedure (invers-modelleren) zoals voorgesteld door Van Lanen (1985). Deze gaat uit van een gekozen $q(h)$ relatie waarna de waterbalans in het profiel voor een aantal jaren wordt doorgerekend. De berekende gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) wordt vergeleken met de bij de grondwatertrap behorende GLG. Indien deze sterk verschilt wordt de $q(h)$ relatie bijgesteld en de berekening herhaald. Deze procedure wordt herhaald totdat de met behulp van de $q(h)$ relatie berekende GLG overeenkomt met de 'gemeten' GLG. De procedure is schematisch weergegeven in figuur B1.2.

Indien meer grondwaterstandgegevens bekend zijn kan de drainagefunctie direct bepaald worden door simulatie van de waterbalans van het profiel waarbij de bekende grondwaterstanden als onderrandvoorwaarde en bijhorende neerslag en verdamping als bovenrandvoorwaarde worden gebruikt. De drainage wordt nu door het model berekend. De $q(h)$ relatie wordt bepaald door de berekende drainage uit te zetten tegen de bijhorende grondwaterstand (figuur B1.3). De relatie blijkt niet eenduidig en tevens verschillend voor verschillende jaren (zie figuur B1.4, De Laat, 1979). Ook Van Vuuren (1984) vond een grote spreiding in de berekende drainage bij vergelijkbare grondwaterstand. Gebruik van de gemiddelde $q(h)$ relatie resulteerde in aanzienlijke verschillen tussen gemeten en berekend vochttekort.

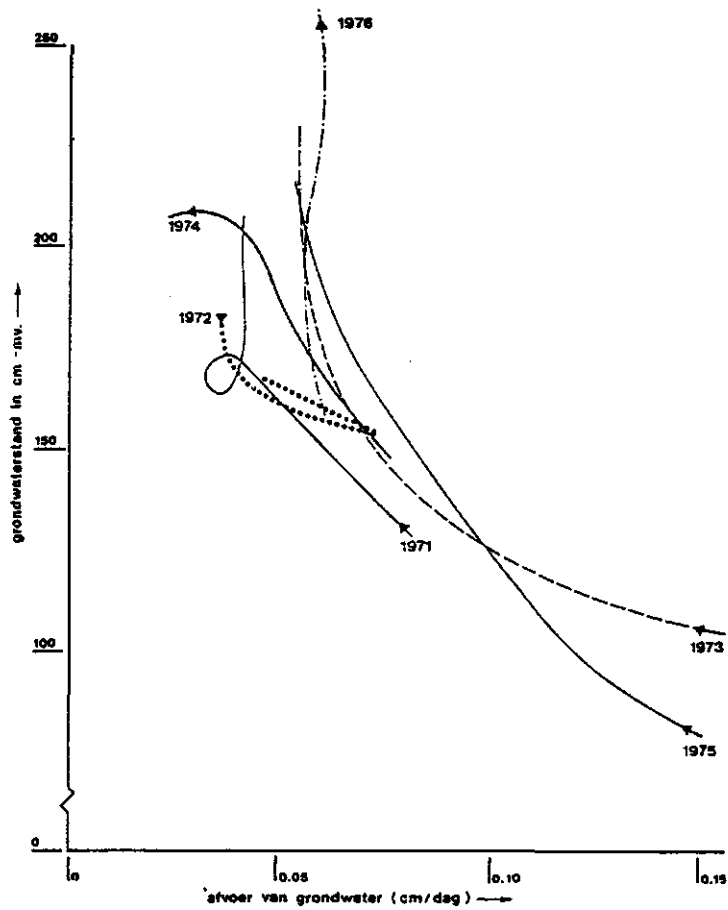


Figuur B1.3 Verband tussen de grondwaterstand en de drainage door de onderrand van het profiel

Het ontbreken van een eenduidig verband tussen grondwaterstand en drainage is het gevolg van:

- Fouten in de waterbalans accumuleren in de drainageterm. Wanneer b.v. de verdamping lager ingeschat wordt dan deze in werkelijkheid is zal dit leiden tot een grotere drainage dan de werkelijke drainage.
- De onnauwkeurigheid van de grondwaterstandgegevens. Deze zijn in de meeste gevallen slechts één maal per maand gemeten. Daartussen zijn ze door lineaire interpolatie afgeleid. Vooral bij ondiepe grondwaterstanden reageert de grondwaterstand snel op regenbuien. Het model zal dit corrigeren door een verhoogde drainage vlak na een regenbui.
- De onnauwkeurigheid van de neerslaggegevens. Decadecijfers voor het district waarin het betreffende profiel ligt zijn gebruikt in plaats van dagcijfers voor de precieze locatie.
- Hysteresis effecten (zowel als gevolg van fysische bodemkarakteristieken, als van naijling van de drainage veroorzaakt door de grondwaterstand in de omgeving). Deze hysteresis-lussen werden ook opgemerkt door Van Lanen et al. (1982).
- De afhankelijkheid van de $q(h)$ punt-relatie voor invloeden buiten het beschouwde profiel.

Peilbeheer of een nabij drainagekanaal of grondwateronttrekking kan de grondwaterstand beïnvloeden.

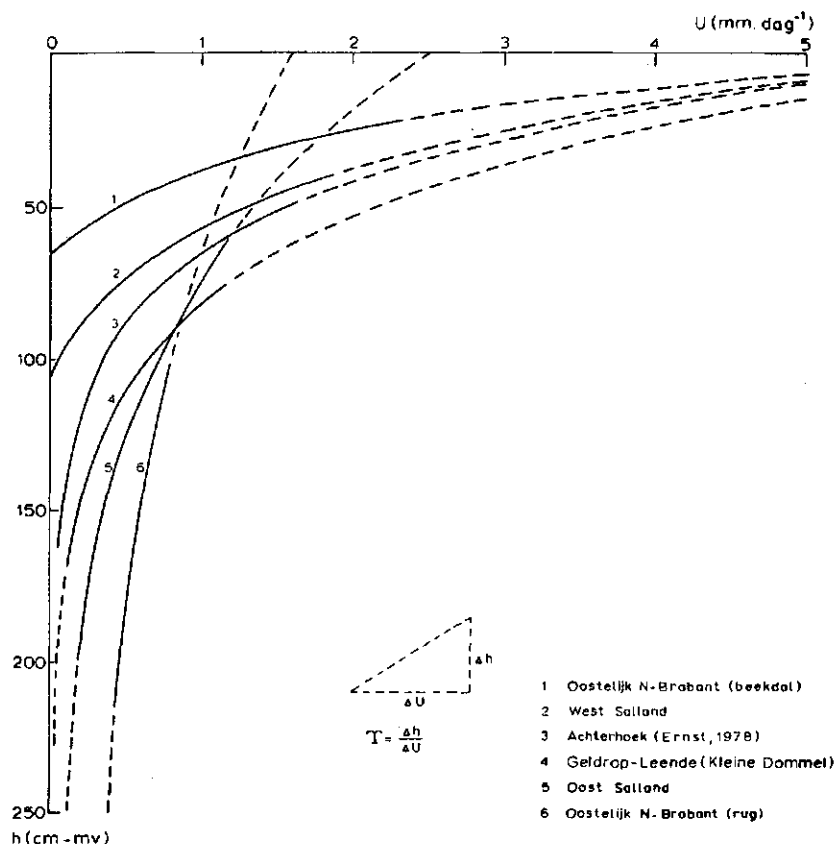


Figuur B1.4 De berekende afvoer van grondwater in een aantal zomerhalfjaren als functie van de grondwaterstand in een punt in Oost-Gelderland (De Laat, 1979)

De via deze wijze verkregen $q(h)$ relatie kan worden gevalideerd door vergelijking van de (met deze functie) berekende grondwaterstanden en vochttekorten, met gemeten grondwaterstanden en op basis van deze grondwaterstanden berekende vochttekorten. De resultaten zijn slecht. Het is echter ook niet noodzakelijk dat de dusdanig afgeleide functie de beste functie is. Om te komen tot de best mogelijke $q(h)$ relatie kan de functie net zolang aangepast worden tot de berekende grondwaterstanden redelijk overeenkomen met de gemeten grondwaterstanden. Dit invers modelleren vereist echter veel rekencapaciteit tot de ideale functie gevonden is daar de $q(h)$ relatie door minimaal twee parameters beschreven moet worden. Daar in deze studie een groot aantal profielen voor meerdere jaren doorgerekend moet worden is deze methode niet haalbaar zonder vereenvoudigingen.

In figuur B1.5 wordt de grondwaterstand-afvoerrelatie voor een aantal gebieden met uiteenlopend reliëf geschetst (Ernst en Feddes, 1979). Het meest voorkomende grondwatertraject voor de verschillende gebieden is aangegeven door de getrokken lijnen. Uit deze figuur blijkt dat de hoge zandgronden (curven 4, 5 en 6) bij iets diepere grondwaterstanden een bijna constante, grondwaterstandonafhankelijke drainage hebben. Dit werd ook gevonden bij de meeste in deze studie beschouwde profielen voor het zomerhalfjaar wanneer de grondwaterstanden laag zijn. Daar in deze studie alleen het zomerhalfjaar beschouwd wordt, lijkt de aanname dat de drainage constant is acceptabel¹. Voor slechts één parameter is de calibratie door invers-modelleren goed toepasbaar, mede doordat uit de grafiek, waarin de afvoer en grondwaterstand tegen elkaar worden uitgezet, een goede beginschatting gemaakt kan worden.

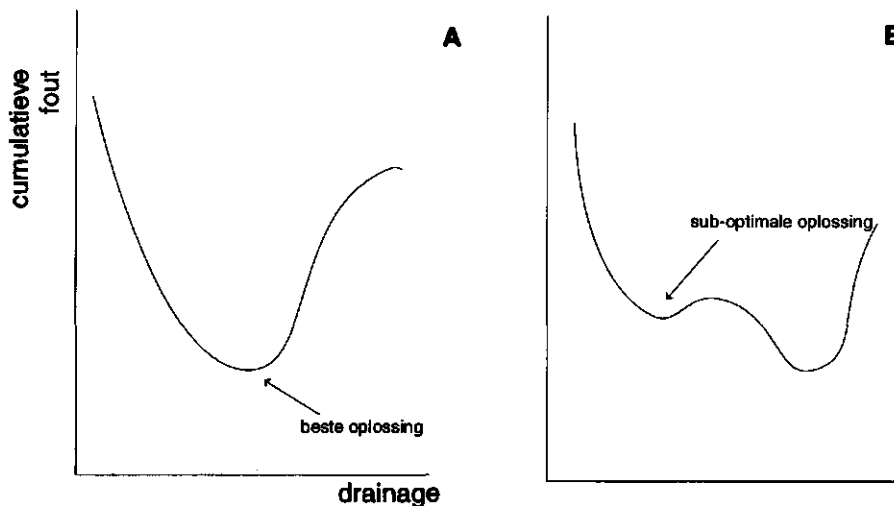
Daar de drainage niet voor elk jaar dezelfde waarde heeft is ervoor gekozen deze voor elk te gebruiken jaar apart vast te stellen. De beste oplossing wordt gevonden als het verschil tussen de



Figuur B1.5 Afvoer U als functie van de grondwaterstandsdiepte h voor een aantal gebieden in Nederland (Ernst en Feddes, 1979)

¹Deze aanname blijft geldig zolang de bovenrandvoorwaarde (verdamping en neerslag) niet dusdanig wordt veranderd dat de grondwaterstanden een geheel ander bereik krijgen

gemeten grondwaterstanden en gesimuleerde grondwaterstanden minimaal is. Figuur B1.6A geeft het (cumulatieve) verschil tussen gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden voor verschillende waarden van de drainage weer. De drainage wordt vanaf de beginwaarde verlaagd totdat het verschil niet meer kleiner wordt. Om te voorkomen dat een 'sub-optimale' oplossing (figuur B1.6B) wordt gevonden wordt de oplossing ook van de andere zijde benaderd.



Figuur B1.6 De drainage wordt bepaald door te zoeken naar de drainage waarbij het cumulatief verschil tussen gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden minimaal is

Het blijkt dat op deze wijze voor veel situaties een goede benadering voor de onderrandvoorwaarde gevonden kan worden. Met gemeten grondwaterstanden berekende vochttekorten komen veelal goed overeen met vochttekorten waarbij de drainage als invoer is gebruikt.

Aanpassingen van SWAP93

In het model SWAP93 is het mogelijk als onderrandvoorwaarde een relatie tussen de grondwaterstand en de drainage vanuit het onderste bodemcompartiment definiëren. Deze relatie moet de volgende vorm bezitten:

$$drainage = COFQHA \cdot e^{(COFQHB \cdot abs(groundwaterlevel))}$$

waarin COFQHA en COFQHB coëfficiënten zijn.

Daar het in sommige situaties mogelijk is dat bij lage grondwaterstanden water vanuit de omgeving het bodemcompartiment infiltreert is het wenselijk dit mogelijk te maken. Daartoe moet de vorm van de q(h) relatie aangepast worden tot:

$$drainage = COFQHA \cdot e^{(COFQHB \cdot abs(groundwaterlevel))} + COFQHC$$

waarin COFQHC eveneens een coëfficiënt is.

Om dit te bereiken zijn de volgende aanpassingen in de source-code van SWAP93 noodzakelijk (veranderingen vet en cursief):

File: COMMON.FOR

regel: 74

```
      real*4  accur1, accur2, pi, cofqha, cofqhb, COFQHC, cofred
regel: 117
      common/dive/      accur1, accur2, pi, cofqha, cofqhb, COFQHC, cofred,
      $                lunin, lunbal, luncrp, lunexa, lunexb, lshort, lunsal,
                        swnums, floutp, flequa, finfil, fwritq, bell
```

File: SWA1.FOR

regel: 458 e.v.

```
      c ---- flux calculated as function of h
      if (swbotb.eq.3) qbot = (COFQHA * EXP(COFQHB * ABS(GWL(1))))
      $      + COFQHC
```

File: SWA2.FOR

regel: 986 e.v.

```
      c ---- flux-groundwater level relationship
      if (swbotb.eq.3) then
        label='>flgwfu:'
        call findadr (file, lunin, label)
        read (lunin, *) cofqha, cofqhb, COFQHC
        write (lunbal, 542) cofqha, cofqhb, COFQHC
542      format (' FLUX-GROUNDWATER LEVEL RELATIONSHIP: '/,
      $      ' flux ='e10.3' * exp('e10.3' * abs(groundwaterlevel)) +',
      $      ' 'E10.3' (cm/day)'/)
      end if
```

De nieuwe coëfficiënt COFQHC moet in de desbetreffende invoerfile direct na COFQHA en COFQHB ingevoerd worden.

BIJLAGE 2

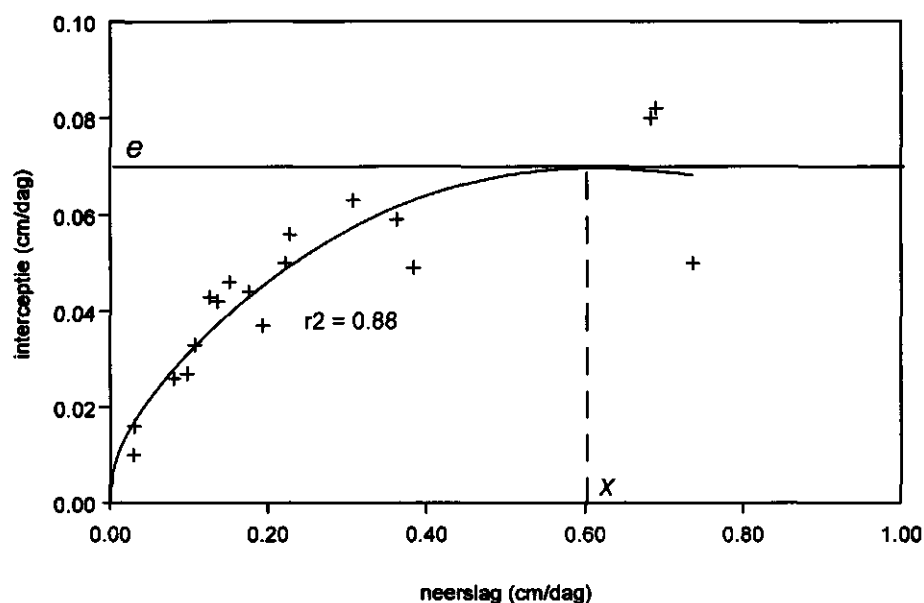
HET GEBRUIK VAN DECADECIJFERS IN PLAATS VAN DAGCIJFERS VOOR DE NEERSLAG EN VERDAMPING

Het gebruik van decadecijfers in plaats van dagcijfers leidt tot een vervlaking van het werkelijke weerbeeld. Zo worden zware regenbuien uitgemiddeld over een periode van tien dagen. Dit zal in het bijzonder in droge periodes met een enkele zware regenbui tot afwijkingen van de werkelijkheid leiden. Voor de potentiële verdamping zal de afwijking kleiner zijn daar de verdamping minder fluctueert over periodes van tien dagen.

Bij het gebruik van decade waarden moet rekening gehouden worden met de berekening van de interceptie. In het model 'SWAP93' wordt interceptie berekend met behulp van een precipitatie-interceptiefunctie. De standaard gebruikte precipitatie-interceptiefunctie is afgeleid uit metingen van Feddes (1971) en Rijtema (1965) voor respectievelijk rode kool en gras. Alhoewel deze functie niet voor alle gewassen gelijk zal zijn kan aangenomen worden dat voor verschillende gewassen en vegetaties een vergelijkbare functie zal gelden. Deze precipitatie-interceptiefunctie wordt beschreven door zes coëfficiënten en is een functie van de bodembedkking en neerslag:

$$\begin{aligned}
 P &\leq x \\
 E_i &= SC \cdot a \cdot P^{(b-c \cdot (P-d))} \\
 P &> x \\
 E_i &= SC \cdot e
 \end{aligned}$$

waarin: P : neerslag (cm d⁻¹)
 E_i : interceptie (cm d⁻¹)
 SC : bodembedkking (-)
 a,b,c,d,e,x : coëfficiënten²



Figuur B2.1 Precipitatie-interceptie functie voor het gebruik van decadecijfers voor neerslag

De coëfficiënten die voor het gebruik van dagcijfers zijn afgeleid (Feddes (1971) zijn bij het gebruik van decadecijfers niet zonder meer opnieuw bruikbaar. Gebaseerd op de bekende coëfficiënten is een

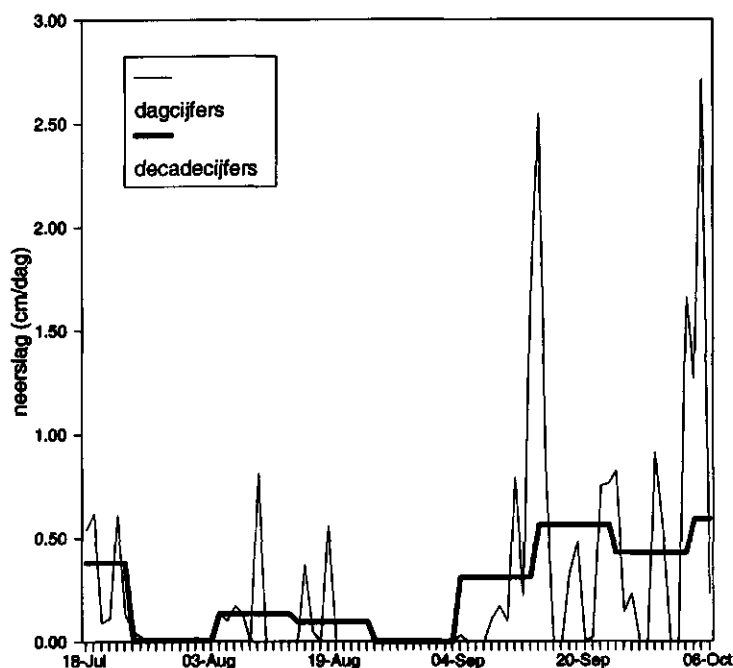
²overeenkomend met COFIPA, COFIPB etc. in de invoer-file van SWAP93

nieuwe functie voor decadecijfers afgeleid met behulp van dagcijfers voor neerslag en verdamping van het station Hupsel (april-september 1984). Figuur B2.1 geeft de neerslag en de daarbij horende interceptie (berekend op basis van dagwaarden) opgeteld en uitgemiddeld over decades. Op basis van deze waarden zijn de parameters zoals in bovenstaande formule genoemd opnieuw gefit. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

coëfficiënt:	a	b	c	d	e	x
dagwaarden:	0.169	0.516	0.179	0.059	0.19	2.0
decade waarden: ³	0.058	0.477	1.249	-0.068	0.07	0.6

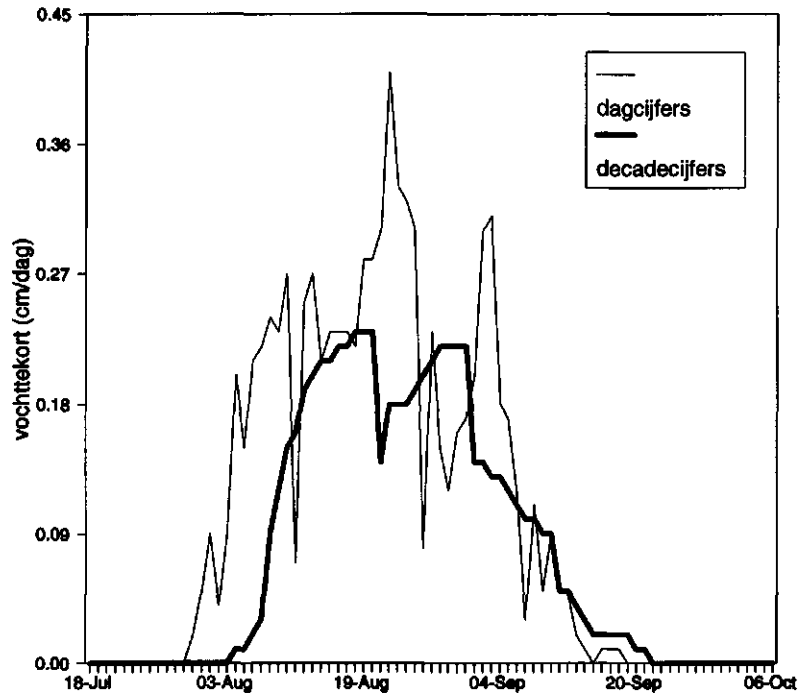
De gevolgen van het gebruik van decadecijfers voor het berekende vochttekort zijn nader bekeken. Hiertoe is de bodemwaterbalans voor dezelfde periode achtereenvolgens met dag- en decadecijfers voor neerslag en verdamping (meteorologie station Hupsel, 1983; figuur B2.2) gesimuleerd. Figuur B2.3 toont voor beide simulaties het berekende vochttekort. Hieruit blijkt dat de het totale vochttekort kleiner is bij gebruik van decadecijfers dan bij gebruik van dagcijfers. Dit kan verklaard worden door het uitsmeren van de neerslag over de decades, zodat er een meer constante aanvoer van vocht voor de planten is. Dit verklaart ook de absentie van pieken in het vochttekort bij het gebruik van decadecijfers.

Door het gebruik van decadecijfers zullen de berekende vochttekorten lager zijn dan bij het gebruik van dagcijfers.



Figuur B2.2 Neerslag tussen 18 juli en 6 oktober 1983 (station Hupsel) op basis van dagcijfers en decadecijfers

³ ook bij het gebruik van decadecijfers moet de invoer van de meteorologische gegevens in cm/dag geschieden; de coëfficiënten hebben dan ook betrekking op decadecijfers in cm/dag



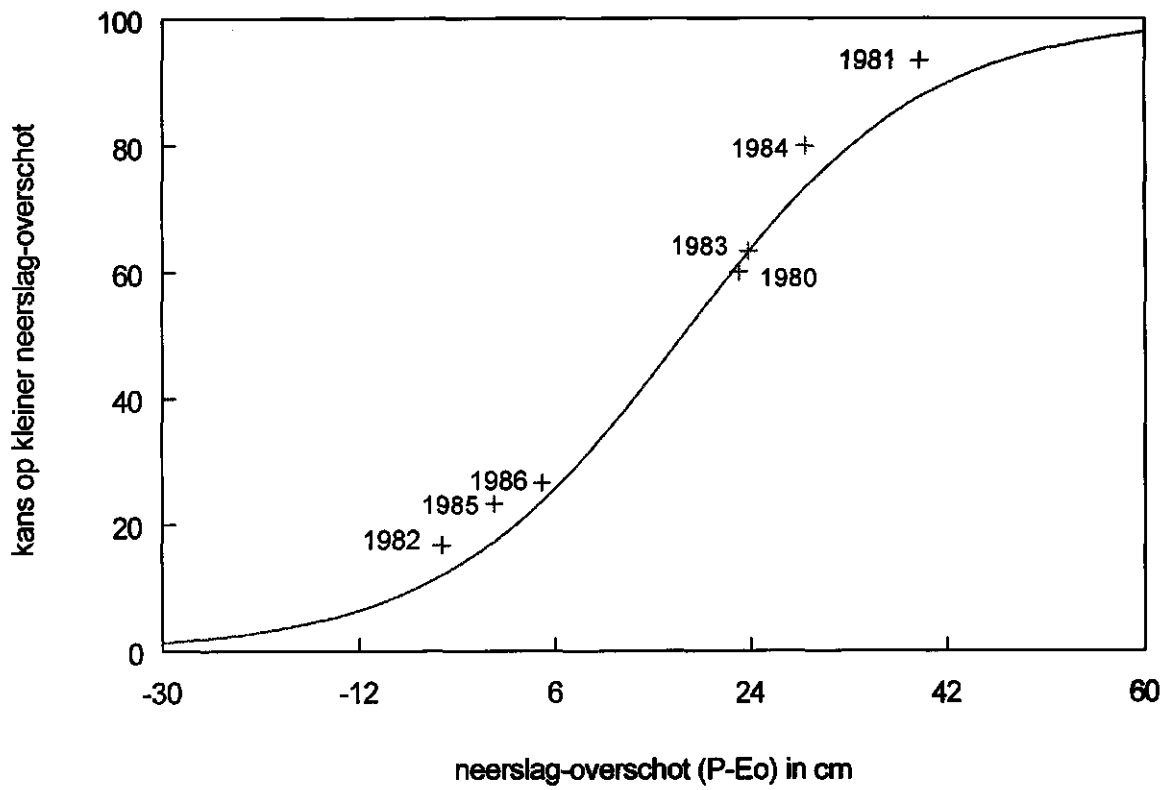
Figuur B2.3 Vochtttekorten voor 1983 voor een zwak lemig profiel berekend op basis van dagcijfers en decadecijfers voor neerslag en verdamping (figuur B2.2)

BIJLAGE 3

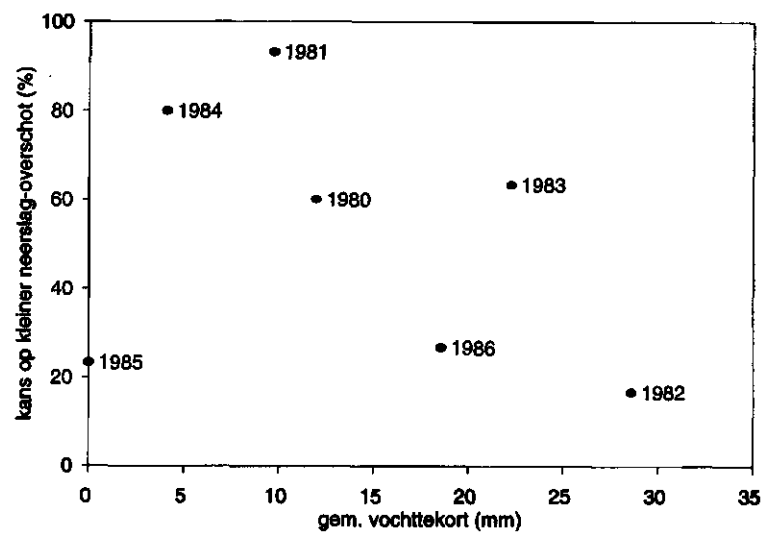
KARAKTERISERING VAN DE DROOGTEGRAAD VAN DE BESCHOUWDE JAREN

De frequentieverdelingen (overschrijdingskansen) van respectievelijk het neerslagoverschot over het gehele jaar, het zomerseizoen (27 maart t/m 27 september) en de maximale toename van het cumulatief verdampingsoverschot zijn berekend aan de hand van decadedcijfers voor de neerslag en verdamping over de periode 1957 tot 1987 voor De Bilt (KNMI, 1957/1987). Het neerslagoverschot is gedefinieerd als het verschil tussen de neerslag en de open-watervedamping volgens Penman ($P-E_o$) over de beschouwde periode. De maximale toename van het verdampingsoverschot is gedefinieerd als de maximale toename van het cumulatieve verdampingsoverschot (potentiële verdamping minus neerslag; E_p-P met $E_p = 0.8 E_o$) over de periode van 27 maart tot 27 december. De hier afgeleide frequentieverdeling stemt overeen met een voor de waarnemingsreeks Avereest (1911 t/m 1977) afgeleide verdeling (CoGroWa, 1984).

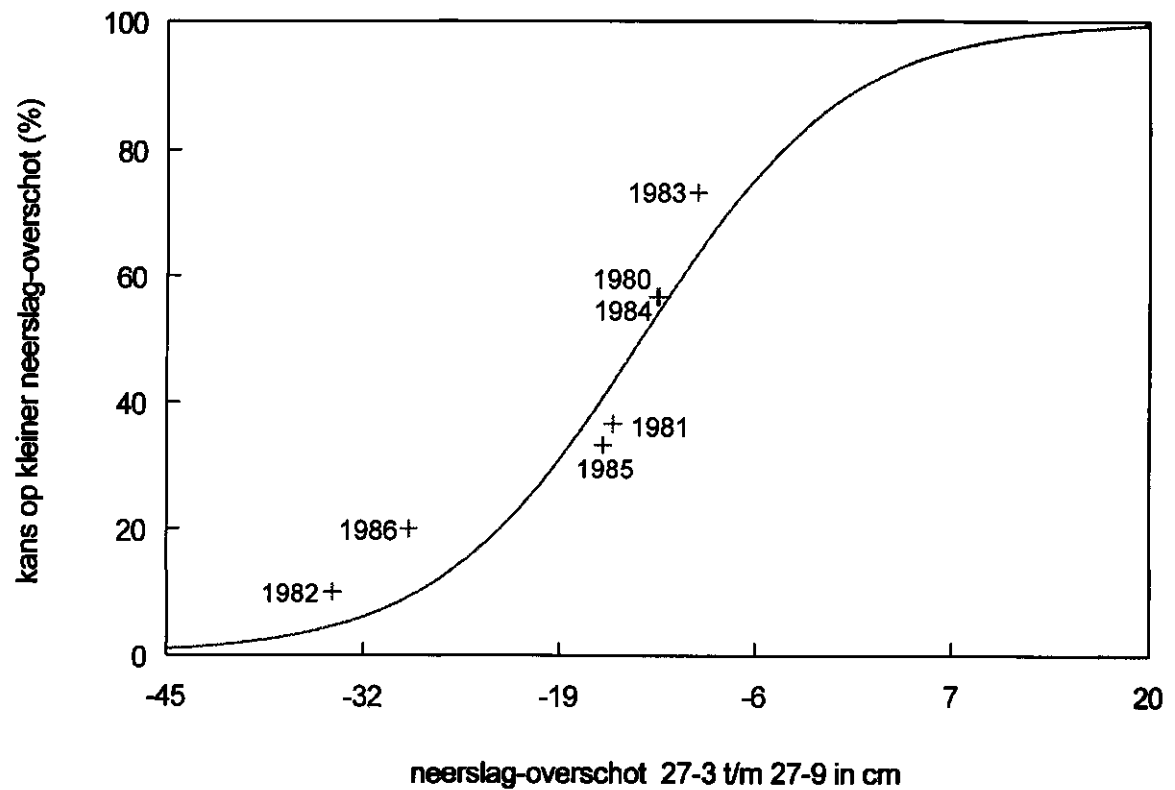
Het (met SWATRE) berekende, gemiddelde, vochttekort is slecht gecorreleerd met de uit de frequentieverdeling van het neerslagoverschot bepaalde kansen op een droger jaar (lees: een jaar met een kleiner neerslagoverschot). Gebruik van de frequentieverdeling van de maximale toename van het verdampingsoverschot levert veel betere resultaten op.



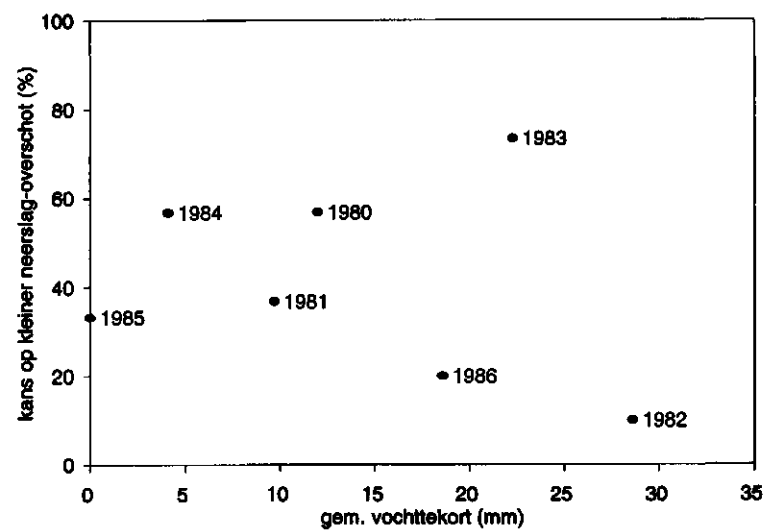
Figuur B3.1 Frequentieverdeling van de neerslagoverschotten over een heel jaar



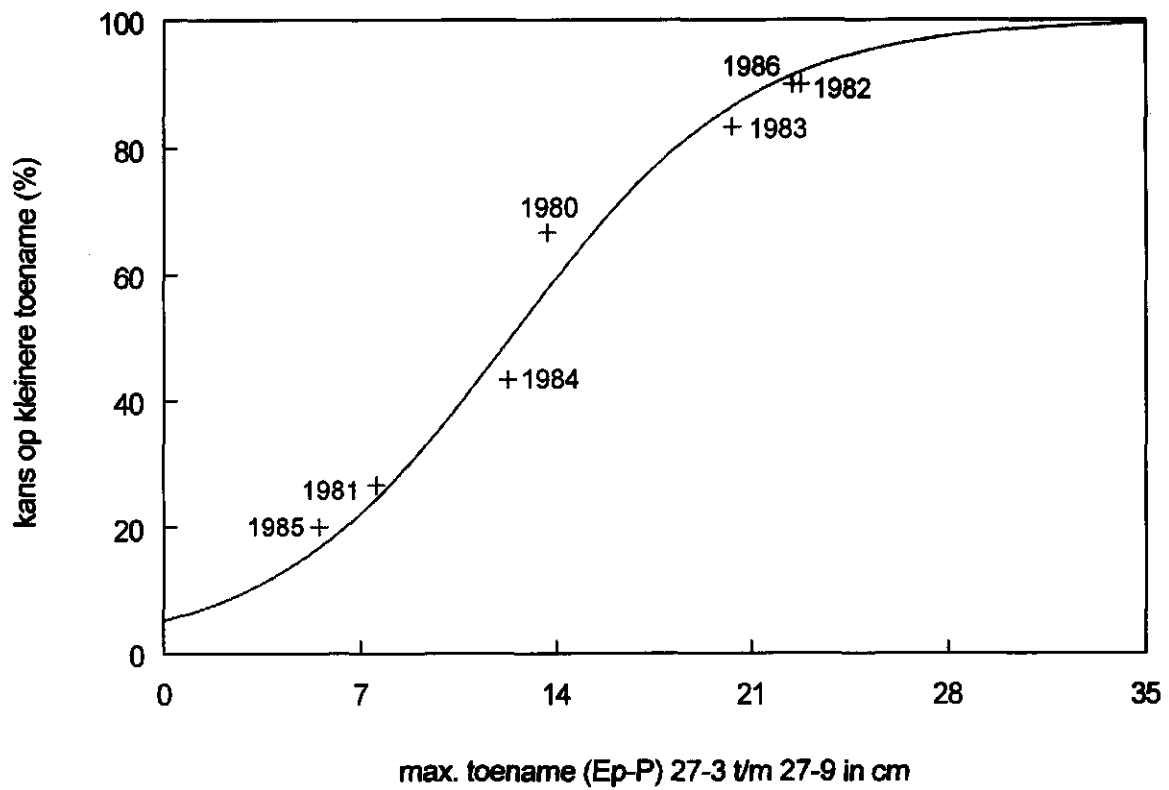
Figuur B3.2 Relatie tussen het gemiddelde vochttekort en de kans op een kleiner neerslagoverschot (over geheel jaar)



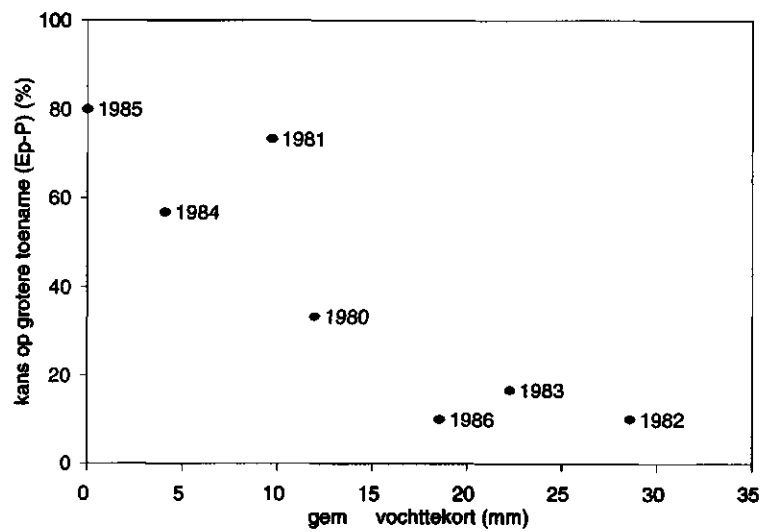
Figuur B3.3 Frequentieverdeling van de neerslagoverschotten over de periode 27 maart t/m 27 september



Figuur B3.4 Relatie tussen het gemiddelde vochttekort en de kans op een kleiner neerslagoverschot (over de periode 27-3 t/m 27-9)



Figuur B3.5 Frequentieverdeling van de maximale toename van het verdampingsoverschot over de periode 27 maart t/m 27 september



Figuur B3.6 Relatie tussen het gemiddelde vochttekort en de kans op een grotere toename van het verdampingsoverschot (over de periode 27-3 t/m 27-9)

BIJLAGE 4

OMREKENINGSFACTOREN VOOR DE REFERENTIEVERDAMPING VAN MAKING NAAR DE OPEN-WATER-VERDAMPING VAN PENMAN

Het ratio E_o/E_r over decades van het groeiseizoen gemiddeld over de periode 1965-1985 voor De Bilt, Eelde en Beek (Feddes, 1987 naar De Bruin, 1987)

maand	decade 1	decade 2	decade 3
april	1.30	1.3	1.30
mei	1.30	1.3	1.30
juni	1.31	1.31	1.31
juli	1.29	1.27	1.24
augustus	1.21	1.19	1.18
september	1.17	1.17	1.17

BIJLAGE 5

REDUCTIE VAN DE TRANSPIRATIE ALS GEVOLG VAN INTERCEPTIEVERDAMPING

Gebruik gewas coëfficiënt in SWATRE

Het SWATRE model verdeelt de potentiële evapotranspiratie (ET_p) over de potentiële bodem-evaporatie (E_p) en de potentiële transpiratie (T_p):

$$ET_p = E_p + T_p$$

De maximale evapotranspiratie (ET_{max}) treedt op na een regenbui wanneer het interceptiewater verdampt (E_i):

$$ET_{max} = ET_p + E_i$$

Uitgaande van de open-watervedamping volgens Penman krijgen we:

$$ET_{max} = K_c \cdot E_o + E_i = E_p + T_p + E_i$$

Bepaling van de gewascoëfficiënt m.b.v. lysimeters

De K_c factor wordt vaak bepaald door middel van lysimeter-experimenten. Voor periodes van 10 dagen wordt de K_c berekend door:

$$K_c \cdot E_o = P - D - \Delta W$$

waar P de neerslag, D de drainage en ΔW de verandering in berging weergeven. In feite komt de zo berekende potentiële verdamping overeen met:

$$P - D - \Delta W = E_p + T_p + E_i = K_c \cdot E_o$$

De interceptieverdamping is dus opgenomen in de K_c factor.

Indien gebruik wordt gemaakt van dusdanig bepaalde K_c factoren en de berekeningswijze van de verdamping volgens SWATRE wordt de totale verdamping overschat.

Aanpassing van SWATRE

De volgende aanpassing voor de berekening van de potentiële transpiratie van de begroeide delen (waar de bodemevaporatie verwaarloosbaar klein is) is daarom in SWATRE aangebracht:

$$T_p = K_c \cdot E_o - E_i$$

waarbij de transpiratie minimaal 0 kan worden. De fysische achtergrond voor deze berekening is te vinden in het feit dat wanneer de bladeren van de planten vochtig zijn de transpiratie gereduceerd zal zijn ten gunste van de interceptieverdamping.

De totaal berekende verdamping komt nu overeen met de gemeten verdamping in de lysimeter experimenten.

Fouten in de schatting van de interceptie hebben slechts een klein effect op de waterbalans als deze berekeningsmethode wordt toegepast (Feddes, 1971).

De benodigde aanpassingen in de code van SWAP93 zijn aangegeven in bijlage 6

BIJLAGE 6

DE VERDELING VAN DE VERDAMPING OVER BODEMEVAPORATIE EN TRANSPIRATIE BIJ OPEN VEGETATIES

Landbouwgewassen

De maximale evapotranspiratie (ET_{max}) van een gewas is empirisch gerelateerd aan de open water verdamping volgens Penman (E_p) door middel van een gewascoëfficiënt (K_c):

$$ET_{max} = K_c \cdot E_o$$

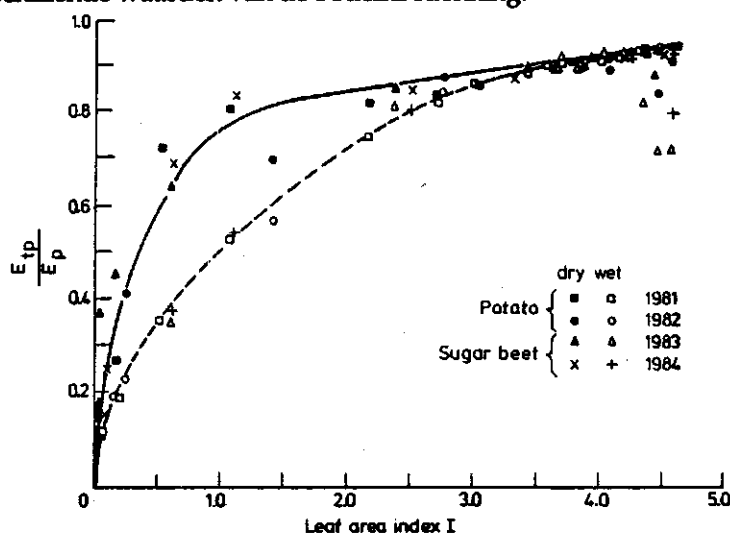
Daar de bodembedekking varieert gedurende het jaar, variëren de gewascoëfficiënten eveneens gedurende het jaar.

De verdeling van de maximaal mogelijke evapotranspiratie over bodemevaporatie en transpiratie is afhankelijk van de bodembedekking van het gewas en het vochtgehalte van het bodemoppervlak (Feddes, 1987). Figuur B6.1 laat de verhouding tussen de potentiële transpiratie (T_p) en potentiële evapotranspiratie ($ET_p = ET_{max}$ bij een droog bladoppervlak) zien als functie van de LAI (Leaf Area Index) bij een droog en nat bodemoppervlak. In het SWATRE model wordt deze verdeling beschreven als:

$$E_p = (E_o K_c) \cdot \theta^{0,8LAI}$$

$$T_p = (E_o K_c) - E_p$$

De potentiële bodemevaporatie is hierdoor een functie van de gewascoëfficiënt. Voor landbouwgewassen is de gewascoëfficiënt bekend voor verschillende stadia gedurende de gewasgroei en daarmee voor verschillende waarden van de bodembedekking.



Figuur B6.1 Potentiële transpiratie (E_{tp}) gedeeld door potentiële evapotranspiratie (E_p) als een functie van de leaf area index bij zowel een nat bodemoppervlak als een droog bodemoppervlak (Feddes, 1987)

Natuurlijke vegetatie

Natuurlijke vegetaties kennen een minder sterke ontwikkeling van de bodembedekking gedurende het jaar; de bodembedekking is mede afhankelijk van standplaatseigenschappen en beheer. Vegetatiecoëfficiënten (de gewascoëfficiënt voor een vegetatie) zijn niet bekend voor sterk uiteenlopende waarden van de bodembedekking.

Indien gebruik wordt gemaakt van vegetatiecoëfficiënten, bepaald bij een vegetatie die 90% van de bodem bedekt, voor het modelleren van een vegetatie die slecht de helft van het bodemoppervlak bedekt is de afhankelijkheid van de bodemevaporatie van de vegetatiecoëfficiënt misplaatst.

Om te komen tot een acceptabele benadering van de verdeling over bodemevaporatie en transpiratie

bij natuurlijke vegetaties wordt het oppervlak van het te modelleren profiel verdeeld in een begroeid en onbegroeid deel. Voor het begroeide deel wordt verondersteld dat de gehele verdamping toe te schrijven is aan transpiratie ($T_p = ET_p$) terwijl het onbegroeide deel slechts bodemevaporatie kent ($E_p = ET_p$). De verdeling over begroeid en onbegroeid deel wordt bij vegetatieopnames vermeld. De transpiratie kan nu berekend worden als:

$$T_p = SC \cdot K_o \cdot E_o$$

waar SC de bodemdekking voorstelt en de vegetatiecoëfficiënt gebruikt wordt die bepaald is voor een gesloten vegetatie. De tijdsafhankelijkheid van de vegetatiecoëfficiënt moet gehandhaafd blijven daar de LAI van de vegetatie zich gedurende het groeiseizoen zal ontwikkelen (binnen het begroeide gedeelte van de opname). Tevens geeft de tijdsafhankelijkheid van de vegetatiecoëfficiënt de reactie van de vegetatie op de veranderende verdampingsvraag gedurende de tijd weer.

Voor de berekening van de potentiële bodemevaporatie van het onbegroeide deel is de relatie tussen deze potentiële bodemevaporatie en de open water verdamping nodig. Deze kan worden afgeleid uit de gewascoëfficiënten gedurende de eerste groeistadia van het gewas. De transpiratie is dan nog zeer laag en bijna de gehele verdamping is toe te schrijven aan bodemevaporatie. Feddes (1987) geeft voor veel gewassen een gewascoëfficiënt van 0.4 in het eerste groeistadium. Voor onbegroeide duinen wordt door Bakker et al. (1979) een gewascoëfficiënt van 0.3 gegeven. Hiervan uitgaande kan de bodemevaporatie berekend worden met:

$$E_p = (1 - SC) \cdot 0.3 E_o$$

De totale potentiële evapotranspiratie kan worden berekend als:

$$ET_p = E_p + T_p = [(SC \cdot K_o) + ((1 - SC) \cdot 0.3)] \cdot E_o$$

Aanpassingen in de source-code van SWAP93

SWA1.FOR
regel 1206 e.v.

```
c --- pot. evapotranspiration entered as ref. evapotr. * crop fact.
  if (swtopb.eq.1) then
    atmpot=(sc(daynr)*refeva*crpfac(daynr))+((1-sc(daynr))*refeva*0.3)
    peva=(1-sc(daynr))*refeva*0.3
    intc=min(intc,(atmpot-peva))
    ptra=(sc(daynr)*refeva*crpfac(daynr))-intc
  end if
```

BIJLAGE 7

BEPERKING GEWASVERDAMPING ONDER WATERVERZADIGDE OMSTANDIGHEDEN

In het SWATRE model wordt de gewasverdamping onder waterverzadiging gelijk aan 0 verondersteld. Hierdoor zal ook bij partiële aeratie van de wortelzone de verdamping gereduceerd worden. Zo zal in geval van waterverzadiging tot 10 centimeter onder maaiveld en een worteldiepte van 20 centimeter de verdamping gehalveerd worden.

Om dit effect te elimineren moeten de volgende veranderingen in de programma code van SWAP93 aangebracht worden; tevens moet in de input file de hlim1 t/m hlim3l op een overdruk van tenminste de dikte van de wortelzone gezet worden.

Onder natte en vochtige omstandigheden leidt deze aanpassing tot een aanmerkelijk lager verschil tussen de actuele en potentiële verdamping (het vochttekort) van de vegetatie.

aanpassing:

SWA2.FOR
regel 134 e.v.

```
c ---- input of sink-term boundaries
      label='>sink'//yeastr//': '
      call findadr (icropf1,lunin,label)
      read (lunin,*,err=1000) hlim1,hlim2u,hlim2l,hlim3h,hlim3l,
      $                    hlim3,hlim4
c      hlim1 = -abs(hlim1)
c      hlim2u = -abs(hlim2u)
c      hlim2l = -abs(hlim2l)
c      hlim3h = -abs(hlim3h)
c      hlim3l = -abs(hlim3l)
c      hlim3 = -abs(hlim3)
c      hlim4 = -abs(hlim4)
```

BIJLAGE 8

HET GEBRUIK VAN DE NIET-AANGEPASTE VERSIE VAN SWAP93 VOOR DE SIMULATIE VAN HET VOCHTTEKORT

Indien men het vochttekort voor het standaardgewas wil berekenen met de originele versie van het SWAP93 model moeten de gewasparameters in het invoerbestand enigszins aangepast worden.

Drainage-flux als onderrandvoorwaarde

Daar in de drainagefunctie zoals die in het model is gedefinieerd geen constante en/of positieve flux (kwel) ingevoerd kan worden moet gekozen worden voor de mogelijkheid om de flux vanuit de verzadigde zone tabelmatig in te voeren. Daar deze constant is verondersteld kan volstaan worden met het vermelden van de flux op de eerste en laatste dag van modellering. Lineaire interpolatie zal ervoor zorgen dat voor alle dagen dezelfde drainage-flux aangehouden wordt.

Bodembedekking en gewasfactor

In de aangepaste versie wordt het oppervlak verdeeld over een begroeid en niet begroeid gedeelte van het oppervlak met een verschillende gewas-coëfficiënt. Gebruik van een bodembedekking van 90% (0.9) en een gewascoëfficiënt van 0.7 zal leiden tot de verdeling van de evapotranspiratie over evaporatie en transpiratie zoals weergegeven in tabel B8.1. Door de bodembedekking en gewasfactor enigszins bij te stellen is het mogelijk dezelfde verdeling als bij het aangepaste model te verkrijgen.

tabel B8.1 *Verdeling en grootte van de evapotranspiratie over evaporatie en transpiratie bij de aangepaste en originele versie van het model SWAP93*

	aangepast model	origineel model	origineel model
K_c (gewascoëfficiënt)	0.7	0.7	0.66
SC (bodembedekking)	0.9	0.9	1.0
max. transpiratie	$0.63 \cdot E_0$	$0.64 \cdot E_0$	$0.63 \cdot E_0$
max. evaporatie	$0.03 \cdot E_0$	$0.06 \cdot E_0$	$0.03 \cdot E_0$
max. evapotranspiratie	$0.66 \cdot E_0$	$0.70 \cdot E_0$	$0.66 \cdot E_0$

Interceptieverdamping

In het originele model wordt de interceptieverdamping opgeteld bij de evapotranspiratie; het aangepaste model reduceert de transpiratie op regenachtige dagen met de interceptie. Hierdoor ligt de evapotranspiratie bij het originele model hoger dan bij het aangepaste model. Het is niet mogelijk dit verschil te vereffenen door het aanpassen van de gewascoëfficiënt. Dan wordt namelijk de verdamping ook op droge dagen kleiner, hetgeen niet de bedoeling is.

De invloed van het niet reduceren van de transpiratie op regenachtige dagen vinden we vooral terug in het optreden van vochttekorten op regenachtige dagen bij het originele model. Vochttekorten treden bij het aangepaste model op regenachtige dagen weinig op omdat de transpiratie-flux slechts erg klein is. Vochttekorten kunnen bij berekening met het originele model tot een factor 2 groter zijn (tabel B8.2).

Het is niet mogelijk deze verschillen op te vangen door het aanpassen van de invoer-parameters. Bij gebruik van het originele model moet rekening gehouden worden met de grotere vochttekorten. Een juiste definitie voor de vochttekorten waarbij vochtige ecotootypen overgaan in droge ecotootypen is voor het originele model niet te geven. Dit verdient nader onderzoek.

tabel B8.2 *Vergelijking van berekende vochttekorten met originele en aangepaste versie van SWAP93*

opnameno.	%droge soorten (IND05)	vochttekort (mm) volgens de in deze studie gebruikte (aangepaste) versie van SWAP93	vochttekort (mm) volgens de originele versie van SWAP93
119	69	57.3	93.0
127	49	38.5	78.0
128	65	70.4	103.0

BIJLAGE 9

RESULTATEN BEREKENING VOCHTTEKORTEN

opname	GVG	GLG	drainage voor validatie	drainage na validatie	TK7	TK83	TK84	kritische stijghoogte (4 mm/dag)	diepte onder maaiveld	gem. aantal dagen met vochttekort
	cm -m.v.	cm -m.v.	cm/dag	cm/dag	cm	cm	cm	mm	cm - m.v.	dagen
46	123	168	-0.09	-0.09	39.4	85.4	0.01	783	90	41
49	92	144	-0.13	-0.13	28.2	71.1	0.01	712	73	33
50	50	103	-0.05	-0.05	0	0	0	907	12	0
52	183	238	-0.12	-0.13	65.8	120.7	3.04	783	160	63
53	30	82	0.02	0.01	11.9	31.3	0	123	70	28
54	37	98	0.02	0.01	13.4	0	0.05	123	86	29
57	133	198	-0.14	-0.14	53.5	117.4	1.51	728	125	52
58	49	114	-0.04	-0.06	0	0	0	1158	-2	0
59	73	138	-0.09	-0.07	0	0	0	907	47	13
60	185	228	-0.1	-0.11	34.7	0	0.45	712	157	55
65	8	84	0.04	0.04	0	0	0	508	33	0
66	55	119	0.01	0.01	0.6	0	0	600	59	6
67	65	156	0.01	0	2.7	0.8	0	45	152	14
68	35	83	0.02	0.01	2.2	0	0	123	71	9
69	47	92	0.01	0.01	5.1	2	0	123	80	30
70	29	86	0.03	0.01	19.8	10.1	0	165	69	40
72	54	119	0.01	-0.01	0	0	0	152	104	0
96	31	105	-0.07	-0.06	0	0	0	712	34	0
97	102	172	-0.16	-0.15	28.7	21	0.04	783	94	17
99	15	82	-0.04	-0.02	0	0	0	926	-11	0
103	59	132	-0.21	-0.19	30.7	79.7	1.41	712	61	33
104	19	84	-0.08	-0.08	0.2	0	0	782	6	2
105	-7	56	0.01	0.01	0	0	0	768	-21	0
108	37	95	-0.04	-0.06	0.03	0	0	783	17	0
109	67	125	-0.1	-0.08	5.6	42.9	0	783	47	6
112	34	164	-0.14	-0.14	0.3	0.7	0	783	86	3
115	68	104	-0.02	-0.01	0.07	0.5	0	782	26	1
119	117	230	-0.23	-0.23	17	57.3	0.19	783	152	42
121	17	124	-0.08	-0.07	0.5	1.9	0	712	53	4
122	20	116	-0.12	-0.09	2.8	9.3	0.01	712	45	19
125	134	200	-0.18	-0.16	22.5	65	0.37	712	129	43
127	82	164	-0.16	-0.16	6.9	38.5	0.03	712	93	29
128	212	286	-0.17	-0.16	38.3	70.4	1.13	712	215	63
131	33	126	-0.1	-0.07	6.7	3.8	0	712	55	6
132	49	142	-0.17	-0.17	3.8	31.5	0	712	71	16
151	68	112	-0.12	-0.09	24.2	65	1.19	712	41	31
152	63	93	-0.05	-0.02	0.8	0	0	712	22	1
153	111	141	-0.13	-0.1	63	110	3.71	712	70	53
164	85	120	-0.08	-0.07	33.7	59.6	0.39	712	49	38

BIJLAGE 10

RESULTATEN BEREKENING VOCHTINDICATIE

Vochtindicatie berekend volgens de 'ECOTYP' methode gewogen naar presentie

opname	nat	nat-vochtig	vochtig	vochtig-droog	droog	droog1	droog2	ecotoopgr.
46	3	18	7	39	32	53	52	5
49	0	5	5	62	29	76	60	6
50	20	35	10	35	0	0	18	4
52	0	0	7	49	44	87	69	6
53	6	33	44	17	0	0	9	4
54	16	42	22	19	0	0	10	4
57	0	0	4	48	48	91	72	6
58	39	43	13	4	0	0	2	2
59	16	34	21	25	4	6	17	4
60	0	10	0	66	24	71	57	6
65	19	19	31	31	0	0	16	4
66	5	12	44	39	0	0	19	4
67	3	27	33	37	0	0	18	4
68	11	16	52	21	0	0	10	4
69	9	4	41	46	0	0	23	4
70	18	24	29	29	0	0	15	4
72	0	20	47	33	0	0	17	4
96	17	37	9	26	12	16	25	4
97	0	22	0	44	34	60	56	4
99	18	53	4	21	4	5	14	4
103	9	9	0	55	27	61	55	4
104	13	38	0	31	18	26	34	4
105	69	25	0	7	0	0	3	2
108	0	44	0	28	28	38	42	4
109	6	21	0	42	31	54	52	5
112	0	19	6	50	25	50	50	6
115	8	36	12	40	4	7	24	4
119	0	0	10	50	40	80	65	4
121	0	50	0	50	0	0	25	6
122	7	29	0	43	21	37	43	4
125	0	25	0	50	25	50	50	5
127	0	20	5	45	30	55	53	5
128	0	8	0	46	46	85	69	6
131	11	44	0	44	0	0	22	6
132	0	37	0	45	18	33	40	4
151	3	5	5	27	59	81	73	5
152	2	13	7	32	46	68	62	6
153	0	6	3	28	63	87	77	6
164	0	3	3	38	56	90	75	6

Vochtindicatie berekend volgens de 'ECOTYP' methode gewogen naar bedekking

opname	nat	nat-vochtig	vochtig	vochtig-droog	droog	droog1a	droog2a	ecotoopgr.
46	0	12	1	73	6	33	43	5
49	0	5	2	70	14	67	48	6
50	5	47	3	39	0	0	20	4
52	0	0	0	70	18	100	53	6
53	0	27	6	66	0	0	33	4
54	10	24	24	41	0	0	21	4
57	0	0	0	70	20	100	56	6
58	41	58	1	0	0	0	0	2
59	1	34	2	62	0	0	31	4
60	0	0	0	90	8	100	53	6
65	62	11	5	22	0	0	11	2
66	8	8	13	71	0	0	35	4
67	0	20	12	67	0	0	34	4
68	2	29	21	47	0	0	24	4
69	1	2	4	91	0	0	46	4
70	14	33	2	50	0	0	25	4
72	0	42	5	54	0	0	27	4
96	1	45	1	41	11	19	32	4
97	0	24	0	25	50	67	62	6
99	10	46	0	37	6	10	25	4
103	0	0	0	89	11	100	55	6
104	1	59	0	8	28	32	32	4
105	93	7	0	0	0	0	0	2
108	0	45	0	26	28	39	41	4
109	0	34	0	30	34	50	49	5
112	0	57	0	21	19	25	29	4
115	0	18	5	69	1	4	36	4
119	0	0	1	49	48	98	73	6
121	0	97	0	3	0	0	2	3
122	1	80	0	15	4	5	12	4
125	0	2	0	7	91	98	94	6
127	0	74	0	22	4	5	15	4
128	0	1	0	84	15	94	57	6
131	0	97	0	3	0	0	2	3
132	0	77	0	17	2	3	11	4
151	0	1	1	28	67	97	81	6
152	0	1	4	28	63	93	77	6
153	0	0	3	8	87	96	91	6
164	0	0	0	41	58	100	79	6

Vochtindicatie berekend volgens de 'weegfactoren' methode gewogen naar presentie

opname	--- weegfactoren van mossen niet meegeteld ---				-- weegfactoren van mossen wel meegeteld --			
	IND0	IND05	IND>05	index	IND0	IND05	IND>05	index
46	51	54	54	62	50	54	54	60
49	58	61	68	47	57	61	68	45
50	18	13	9	73	18	13	9	69
52	66	70	77	60	66	72	79	59
53	6	3	0	75	6	3	0	75
54	11	10	7	65	11	11	7	63
57	70	74	87	57	70	75	88	56
58	2	0	0	70	2	0	0	70
59	17	16	13	71	18	16	13	68
60	56	58	63	46	55	58	63	44
65	12	3	0	79	12	3	0	79
66	18	12	0	68	18	12	0	68
67	15	8	2	67	15	8	2	67
68	8	5	0	81	8	5	0	81
69	23	19	0	58	23	19	0	58
70	17	13	0	64	16	13	0	60
72	13	8	0	73	13	8	0	73
96	23	23	32	49	27	27	34	50
97	57	63	80	59	58	66	83	55
99	18	20	28	50	17	18	22	53
103	58	70	73	67	59	68	71	67
104	40	49	67	46	37	40	51	43
105	7	7	7	62	8	6	7	59
108	38	46	81	38	43	52	85	41
109	55	63	76	58	54	62	76	52
112	58	68	80	64	52	61	68	55
115	29	31	22	55	28	29	21	57
119	67	72	79	62	63	69	75	59
121	29	24	24	43	25	20	15	39
122	28	24	35	53	38	37	46	54
125	38	40	48	43	50	61	74	45
127	41	43	49	63	47	49	54	58
128	55	61	81	39	58	65	81	44
131	24	0	0	23	27	19	16	41
132	34	37	51	47	42	45	58	50
151	63	70	75	67	66	72	77	70
152	56	63	70	62	55	61	68	63
153	68	79	85	64	69	78	82	70
164	67	73	83	59	67	73	83	59

BIJLAGE 11

BEREKENING VAN DE KRITIEKE STIJGHOOGTE

De kritieke stijghoogte is de hoogte boven de grondwaterstand tot waar nog een capillaire opstijging vanuit het grondwater van meer dan 2 mm/dag te verwachten is. Deze grootte beschrijft de situatie in een bodemprofiel gedurende een periode zonder regen, wanneer de verdampingsvraag hoog is. Het is van toepassing voor een zomersituatie in een gematigd klimaat in profielen met relatief ondiepe grondwaterstanden.

Deze grootte wordt berekend op basis van Darcy's vergelijking voor een stationaire, opwaartse verticale stroming:

$$\frac{\delta}{\delta z} \{k(h) \left(\frac{\delta h}{\delta z} + 1\right)\} = 0$$

waar dh/dz de verticale gradiënt van de drukhoogte is en k de onverzadigde doorlatendheid. Partiële afgeleiden kunnen vervangen worden door normale afgeleiden ten opzichte van z omdat er maar één onafhankelijke variabele is:

$$k(h) \left(\frac{dh}{dz} + 1\right) = \text{constant}$$

In andere woorden: de flux, v_z , is constant.

Vaak wordt aangenomen dat de gemiddelde flux (van de capillaire opstijging) constant is over de periode van een aantal dagen. Op deze aanname zijn de zogenaamde pseudo steady state modellen zoals DEMGEN (Arnold & Van Vuuren, 1988) gebaseerd. Tijdens zo'n periode geldt dat:

$$\frac{dh}{dz} = -\frac{v_z \cdot k(h)}{k(h)}$$

waar v_z overeenkomt met de gemiddelde flux.

Hieruit kan de hoogte, z , geassocieerd met een zekere waarde van de drukhoogte, h , berekend worden voor elke gekozen waarde van v_z indien de $k(h)$ relatie bekend is.

$$z = \int_0^z dz = - \int_0^h \frac{k(h)}{v_z \cdot k(h)} dh$$

Omdat dh negatief is resulteert dit in een positieve waarde voor z .

De integratie van de formule kan numeriek gedaan worden met behulp van een eenvoudig computer-algoritme. Aangenomen is dat de drukhoogte (h) aan de bovenrand -500 cm bedraagt.