



Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor Landbouw, Bosbouw en Recreatie

**T.b.v een optimalisatie van grondwater- en
oppervlaktewaterpeilbeheer.**

State of the art 2011

Vijfde gewijzigde druk, juni 2011

Samenstelling:

J.Th.M.Huinink M.Sc.

Besteladres:

BodemConsult-Arnhem, Weverstraat 116, 6862 DS Oosterbeek / www.bodemconsult.nl

Een (open source) Excel-programma met de in deze publicatie beschreven rekenmodules wordt u toegezonden na overmaking van € 47,50 op rekeningnummer 3793481 van BodemConsult-Arnhem. Bij bestelling de volgende code vermelden: BCA 07-11.

© 2011 BodemConsult-Arnhem

Alle rechten voorbehouden.

BodemConsult-Arnhem stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij het gebruik van deze uitgave.

Bodemgeschiktheidsbeoordeling voor Landbouw, Bosbouw en Recreatie

T.b.v. een optimalisatie van grondwater- en
oppervlaktewaterpeilbeheer.

State of the art 2011

J. Th. M. Huinink

Voorwoord en verantwoording

De voorliggende *Handleiding Bodemgeschiktheidsbeoordeling* vormt een leidraad voor het afleiden van een kwantitatieve bodemgeschiktheidsbeoordeling voor een 20-tal vormen van bodemgebruik.

Het is niet alleen bedoeld als leidraad voor het beoordelen van bodemgeschiktheden in het veld en eventuele effecten hierop van profielingrepen of veranderingen in de waterhuishouding; tevens vormt het een basis voor de evaluatie van plannen voor gebiedsgericht beleid waarbij bodemfuncties worden verplaatst of waterbeheersmaatregelen worden doorgevoerd.

De volgende bodemgebruiksvormen kunnen worden onderscheiden:

bosbouw, recreatie (speel- en ligweiden/kampeerterrainen), stedelijk groen, sportvelden, rundveehouderij, en de akker- en tuinbouwteelten: fruit, bloembollen, poot-, consumptie- en fabrieksaardappelen, asperge, bladgroenten, witlof, peen, uien, koolsoorten, suikerbieten, en granen.

De handleiding vormt de weerslag van een vijfde herziening/uitbreiding van de oorspronkelijke *Veldmap Bodembeschrijving en -Beoordeling* welke destijds werd uitgegeven als onderdeel van de Cursus Bodemkunde 1981/1982 door het Ministerie van LNV, voor specialisten 'Bodem en Water' binnen de landbouwvoorlichtingsdienst en Dienst Landelijk Gebied, en medewerkers van de Stichting voor Bodemkartering en het latere Staring Centrum. Deze veldmap vormde een nadere uitwerking van het waarderingssysteem van *De Vries (1974)*, en is gebaseerd op combinatie van gevalideerde onderzoeksresultaten uit de literatuurlijst van dit rapport; op decennialange praktijkervaringen ("gesystematiseerde boerenervaring"- *Vink 1958* en evaluaties van landinrichtingsprojecten); op praktijkonderzoeken en ervaringen binnen de toenmalige Landbouwvoorlichtingsdienst; en op de resultaten van talloze proefplek- en veeljarige proefveldonderzoeken, zowel bij proefstations, proefboerderijen en proeftuinen als op praktijkbedrijven. Ook de veeljarig gemiddelde LEI gegevens (met regionale opbrengstverschillen) zijn voor de kwantificering van de veeljarig gemiddelde opbrengst op bodem-Gt combinaties, gebruikt.

Zowel bij het waarderingssysteem van De Vries, de latere uitgaven van de Veldmap, als de voorliggende Bodemgeschiktheidsbeoordeling, is steeds aangenomen dat (veeljarig gemiddelde) verschillen in bedrijfsresultaten niet samenhangen met de 'kwaliteit van de landbouwer (*Zachariasse 1974*) maar dat bij het huidige opleidingsniveau van boer en tuinder en de toegankelijkheid van voorlichting en onderzoek, veeljarig gemiddelde verschillen in teeltsaldi per ha (productopbrengst minus toegerekende kosten) overwegend met bodemfactoren samenhangen.

In 1986 en 1994 werd de Veldmap herzien waarbij de voorheen kwalitatieve geschiktheidsbeoordeling omgevormd werd tot een leidraad voor een kwantitatieve beoordeling van de bodemgeschiktheid, voor zowel akkerbouw als rundvee grasland. De afleiding hiervoor was gebaseerd op regionale verschillen in teeltsaldi per ha die er volgens de *KWIN*-gegevens bestonden en werden gekoppeld aan verschillen tussen voor de regio representatief geachte bodemprofielen en klimaatverschillen. Daarnaast werd zoveel mogelijk op basis van proefvelden en praktijkbedrijven per teelt de veeljarig gemiddelde potentiële opbrengst (en hierbij behorende bodem) bepaald en werden veeljarig gemeten suboptimale opbrengsten (bodemopbouw) hieraan gerelateerd.

In 2000 werd, ten behoeve van het nieuwe *Cultuurtechnisch Vademecum 2000*, de Handleiding opnieuw herzien om nieuwe inzichten en onderzoeksresultaten in de bodemgeschiktheidsbeoordeling te betrekken. Genoemd moeten worden een nieuwe regionalisering van het neerslagtekort, het gebruik van het cumulatieve neerslagtekort bij de beoordeling van droogteschade, en het verschijnen van de publicaties van *Van Wijk et al. 1988*, *Huinink 1993*, en *Van der Neut, 1994*.

Gezien de grote verschillen in aannames met betrekking tot bewerkbaarheids-vochtgehalten (drukhoogten van het bodemvocht) tussen de modelonderzoeken van *Van Wijk en Feddes (1975)* en *Van Wijk et al (1988)*, werden de onderzoeksresultaten uit 1975 niet langer gebruikt. Ook de genoemde publicatie uit 1988 is slechts ten dele gebruikt. *Van Wijk et al* baseerden zich in voor de modellering van het gedrag van zware kleigronden op het voormalige grondwaterstandproefveld in Groningen en gingen ervan uit dat de resultaten uit de eerste jaren na ontwatering, permanent geldig zijn. Uit ander onderzoek is gebleken dat het extreme stikstofeffect op de opbrengst na een aantal jaren sterk afneemt (zoals de RIJP -*Rijksdienst IJsselmeerpolders*- constateerde na drooglegging van Flevopolders) en ook dat ontwaterde zware klei na ca. 5 jaar dusdanig rijpt dat er een wezenlijk andere K-h relatie ontstaat en de klei nadien wel degelijk (en aanzienlijk) vroeger berijdbaar en bewerkbaar wordt. (*Van Hoorn, 1958, 1960, 1985, Dekker en Bouma 1978*). Ook gingen *Van Wijk et al (1975 en 1988)* uit van theoretisch afgeleide bergingsfactoren, terwijl *Wesseling* in 1957 reeds aantoonde dat in het veld de bergingsfactor door luchtinsluitingen ca. een derde kleiner is dan laboratoriummetingen aan zeer kleine Kopecky-ringen suggereren. Dit verklaart wellicht dat de natschades berekend door *Van Wijk et al* voor de grondwatertrappen V-VII tot 15% lager zijn dan die volgens de HELP-tabellen. Daarnaast is door deze auteurs uitgegaan van een gedurende het groeiseizoen constante ontwateringsintensiteit waardoor de berekende zomergrondwaterstanden (GLG's) aanzienlijk dieper zijn dan die in werkelijkheid optreden. Dit roept twijfel op over de door hen gehanteerde aannames.

Voor de "natschade" is daarom steeds en ook thans, overwegend gebruik gemaakt van proefveldonderzoek en talloze andere praktijkmetingen en ervaringen. Droogteschade lijkt anno 2011 wél goed door modelsimulaties te kunnen worden gekwantificeerd, maar blijkt ook op eenvoudiger (analytische) wijze te kunnen worden vastgesteld. De met dit rapport berekende droogteschades wijken niet meer dan 5 à 7 % af van de HELP-droogteschades en die kunnen voor een belangrijk deel nog worden verklaard door verschillen in gehanteerde bouwvoor-samenstelling en bodemopbouw.

De 'natschade' ligt gecompliceerder; de totale natschade voor een gegeven bodem-ontwatering situatie is redelijk bekend, maar opsplitsing daarvan in deelschades door luchttekort, temperatuureffecten, slemp, verdichting, bewerkbaarheid en vroegheid, is voor veel gewassen arbitrair. Voor aardappelen, suikerbieten, granen en maïs echter, kunnen de resultaten van veldmetingen m.b.t. bewerkbaarheid en vroegheid door *Beuving (1982)* en door *Soesbergen et al (1995)* worden gebruikt; voor gras het vele onderzoek van *Schothorst*, en samen met de resultaten van het vele onderzoek door *Boekel* kan een nadere opsplitsing van de natschade worden gemaakt naar vroegheid, lengte van groeiseizoen, en structuurstabiliteit.

De oorspronkelijke (kunstmatige) bodemgebruiksvormen 'akkerbouw', 'tuintbouw' en 'grasland' ruimden intussen het toneel. De grote verschillen in gewaseisen en bedrijfseconomische saldi tussen aardappelen, suikerbieten en granen leidden reeds tot arbitraire geschiktheidsparameters voor 'akkerbouw' en de komst van groenten en andere teelten binnen deze bedrijfsvorm

heeft ertoe geleid dat de geschiktheidsbeoordeling niet langer op een rigide bouwplan maar volledig op de teelten zelf is gebaseerd.

Vanaf 2000 kon dan ook op basis van de werkelijke vruchtopvolging en de saldi per % opbrengstderving per teelt, voor elk bouwplan een (gewogen gemiddelde) geschiktheid worden vastgesteld.

Evenals de eerste veldmap, werden de volgende drukken van de kwantitatieve beoordeling veelvuldig gebruikt bij veldlessen en uiteenlopende bodemkundige/hydrologische excursies, waaronder bij- en nascholing van leraren Bodemkunde in het agrarisch onderwijs, bodemkundigen werkzaam bij Landbouwvoorlichtingsdiensten, bij Stiboka, ICW en de opvolgers daarvan (StaringCentrum, Alterra), bij medewerkers van Waterschappen en Landinrichtingsdienst, en studenten voor het Hoger Diploma Cultuurtechniek resp. Hoger Diploma Milieubeheer (Unie van Waterschappen, PBNA, Elseviers Opleidingen en HAN).

De betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de "Bodemgeschiktheidsbeoordeling" en daarmee het draagvlak ervoor, nam hierdoor sterk toe omdat elke bodembeoordeling die er mee werd verricht, werd getoetst aan de ervaringen van de gebruiker/eigenaar van het perceel.

Actualisatie HELP tabellen.

Medio 2001 ontstond er een maatschappelijke vraag over de kwaliteit en huidige bruikbaarheid van de z.g.n. HELP/tabellen: normen die sinds 1987 werden en worden toegepast door DLG, waterschappen en provincies bij de evaluatie van effecten van waterbeheer op de landbouw. In deze tabellen schuilt impliciet een bodemgeschiktheids-beoordelingssysteem, waarover vragen rezen m.b.t. de actualiteit en toepasbaarheid daarvan.

Een werkgroep die zich hierover boog heeft gepoogd de tabellen te evalueren en actualiseren doch concludeerde dat de benodigde deskundigheid daarvoor anno 2002 niet meer in voldoende mate aanwezig was (*STOWA Waternoodrapport 4, 2002*).

De voorliggende *up date* van de bodemgeschiktheidsbeoordeling die is gebaseerd op empirische kennis uit proefveldresultaten, van praktijkkennis binnen de landbouwvoorlichtingsdienst, DLG, en bovenal de kennis en ervaringen van landbouwers en tuinders zelf, lijkt op dit moment dan ook het meest haalbare met betrekking tot een actualisatie en verfijning van de HELP- systematiek.

Zoals ook bleek tijdens een tweetal workshops bij Alterra in 2008 naar de actualisatie van HELP, zal de toekomstige actualisatiebehoefte vooral blijven liggen bij de vertaling van opbrengstderving/percentages naar euro's per ha. De huidige bodemgeschiktheidsbeoordeling zelf kan uiteraard worden verbeterd en verfijnd, maar zal alleen verouderen bij grote veranderingen in gewaseigenschappen en in de aard van landbouwmechanisatie.

Bedrijfseconomische veranderingen (het praktisch potentiële teeltsaldo) daarentegen waren de afgelopen 60 jaar zeer groot a.g.v autonome ontwikkelingen, subsidieregelingen en mest- en gewasbeschermingswetgeving. De (kwantitatieve interpretatie van de)

bodemgeschiktheidsfactoren daarentegen veranderde vooral door beter inzicht in en kennis van de effecten van een factor op de veeljarig gemiddelde gewasopbrengst in de periode tot aan ca. 2000; nadien hebben zich weinig nieuwe ontwikkelingen voorgedaan.

Een factor die inmiddels wel kan zijn gewijzigd is het klimaat en een actualisatie van de "*Regionale verschillen in Neerslag en verdamping binnen Nederland*" zou tot een aanpassing van de afleiding van de droogteschade kunnen leiden.

Vooruitlopend op hoofdstuk 18 (Van % opbrengstderving naar € per ha) is een kantekening hier al op zijn plaats met betrekking tot het huidige gebruik (misbruik) van de HELP-tabellen. Deze tabellen geven slechts 2 opbrengstdervingspercentages (natschade en droogteschade) en uit ervaring weet ik dat de meeste gebruikers beide percentages bij elkaar optellen voor de totale opbrengstderving. Ook omgekeerd wordt het rendement van peilverhoging (maar ook van beregening) gelezen uit de afname van het HELP-droogteschade percentage, en ontwatering uit de afname van het HELP natschade percentage.

Met deze werkwijze rekent men zich te rijk; 50% natschade en 50% droogteschade is geen 100% aan totale opbrengstderving maar 75%. Ontwateren waardoor de natschade sec van 50 naar 0 % daalt, levert in dit voorbeeld in werkelijkheid slechts een rendement op van 25% (afname van de totale derving van 75% naar 50%).

Ook al zou men deze fout niet maken, rekent men nog steeds te optimistisch omdat de HELP een aantal andere schadefactoren negeert zoals schade of extra kosten door oppervlakkige en interne slomp, onvoldoende verkruielbaarheid, huidkwaliteit, windvastheid, stuifschade, perceelsvorm, nachtvorstschade, stenigheid van de bovengrond, beschaduwing en perceelshelling.

Opbrengstderving door deze factoren worden niet of nauwelijks door peilbeheer beïnvloed en indien deze zich voordoen, verlagen zij het rendement van een ontwatering-aanpassing. Deze nota voorziet ook in een kwantificering van deze schadefactoren waardoor het effect van peilbeheer, drainage of profielingreep (grondverbetering) op een meer realistische wijze kan worden vastgesteld.

De voorgaande versies van dit werk bestonden uit twee delen: een praktische handleiding voor een bodembeschrijving en een deel met de bodemgeschiktheidsbeoordeling. Omdat in de veldtechniek van het 'schatten' en beschrijven van een bodem sindsdien weinig is veranderd en ook de bodemgeschiktheidsparameters niet zijn gewijzigd, wordt voor een veldhandleiding voor de bodembeschrijving, verwezen naar de vorige versie (verkrijgbaar via www.bodemconsult.nl). Via deze website is tevens een excelprogramma verkrijgbaar met de rekenmodules uit deze publicatie (zie ook het colofon).

Oosterbeek, juni 2011

J. Huinink

Inhoudsopgave

Voorwoord en Verantwoording	1
1 Inleiding	7
2 Bodemgeschiktheidsfactoren	9
3 Lengte van het groeiseizoen	11
3.1 Bewerkbaarheidsgrondwaterstand	12
3.2 Gemiddelde lengte van het groeiseizoen; Regime curve	15
3.3. "Te laat"-schade melkvee grasland	18
3.4 "Te laat"-schade overige grasland	23
3.5 "Te laat"-schade meerjarige akker- en tuinbouwteelten	23
3.6 "Te laat"-schade eenjarige teelten	24
4 Droogteschade	27
4.1 Hangwatervocht	29
4.2 Capillaire nalevering	32
4.3 Van bodemvochtlevering naar droogteschade	34
4.4 Van % droogteschade naar € per ha; Berekening	36
5 Verkruijmelbaarheid	39
6 Structuurstabiliteit	43
6.1 Interne slemp	43
6.2 Stuifschade en oppervlakkige slemp	44
7 Vorstschade	47
7.1 Vorstgevoelige teelten	47
7.2 Landschappelijke vorstgevoeligheid	47
8 Verticale doorlatendheid en textuursprongen	49
9 Huidkwaliteit	51
10 Windvastheid	51
11 Perceelsvorm	52
12 Reliëf	55
12.1 Extra mechanisatiekosten hellingen	55
12.2 Hellingerosie	56
13 Schaduw	57
14 Stenen in de bouwvoor	57
15 Zuurgraad bouwvoor	58
16 Overige bodemgeschiktheidsfactoren	59
16.1 Bodemverontreiniging	59
16.2 Waterkwaliteit en beschikbaarheid	59
17 Bodemgeschiktheid voor bosbouw	61
18 Van % opbrengstderving naar € per ha	63
18.1 Berekening cumulatieve opbrengstderving	63
18.2 Teeltsaldo of financiële opbrengst? Opbrengst specifieke saldo	64
Nawoord, HELP-tabellen	69
Literatuur	71
Bijlagen: 1 Afleiding schade door te late voorjaarsgrondbewerking/voortijdige oogst;	
2 Afleiding droogteschade,	
3 Berekening van dag-grondwaterstand en Regime-curve;	
4 GHG i.a.v. Ontwateringsintensiteit en OntwateringsBasis;	
5 Bodemkwaliteitwaarden	

1 Inleiding

De bodemgeschiktheid wordt bepaald door de mate waarin de eisen die een gebruiksvorm aan de bodem stelt, overeenkomen met de eigenschappen van de betreffende bodem.

Van belang zijn dus de werkelijke eigenschappen van de bodem en de gewenste eigenschappen bij een gegeven bodemgebruiksvorm. Daarbij worden voor recreatieve bodemgebruiksvormen andere eisen aan gedrag en eigenschappen van de bodem gesteld dan voor een agrarische gebruiksvorm als bloembollen-, aardappelteelt of weiland.

De bodemgeschiktheid voor landbouwkundige gebruiksvormen wordt meestal gerelateerd aan het potentiële saldo: de veeljarige gemiddelde geldelijke gewasopbrengst minus de toegerekende kosten, die zou worden verkregen indien alleen klimaat en planteigenschappen beperkend zouden zijn. Alle overige factoren zoals vakmanschap van de landbouwer of tuinder, kwaliteit zaaizaad of pootgoed, ziekte- en onkruiddruk en (onvoldoende) arbeidsaanbod, worden daarbij optimaal verondersteld.

De bodemgeschiktheid wordt dan omschreven als de mate waarin het actuele veeljarig gemiddelde saldo per ha, het potentiële saldo van die gebruiksvorm benadert.

Op rundveebedrijven echter is het aandeel van de door het dier toegevoegde waarde (melkopbrengst van gras en snijmaïs) in het saldo per ha zo overheersend, dat de bodemgeschiktheid voor rundveehouderij wordt beoordeeld als de geschiktheid voor de meerjarige teelt van gras en het saldo wordt afgeleid van de verkoopwaarde (*kVEM*) van het gras/maïs.

Zowel het gebruik van het gewassaldo als de bruto financiële opbrengst is omstreden bij de vertaling van opbrengstdervingspercentages naar € per ha. In dit rapport wordt een meer realistischer kengetal hiervoor gebruikt: de bruto financiële opbrengst minus de toegerekende kosten waarvan de hoogte afhankelijk is van de fysieke gewasopbrengst (Opbrengst Specifieke Saldo).

In deze nota staan de eisen van de belangrijkste bodemgebruiksvormen centraal. Tevens wordt aangegeven op welke wijze de mate waarin een bodem aan deze eisen voldoet kan worden vastgesteld en hoe dit niet alleen tot een kwalitatieve maar ook kwantitatieve bodemgeschiktheidsbeoordeling kan worden verwerkt.

2 Bodemgeschiktheidsfactoren

Hoewel in de inleiding 'bodemgeschiktheid' werd omschreven in termen van financiële opbrengsten, vloeit deze voor landbouwkundige gebruiksvormen primair voort uit de gewasopbrengst, de gewaskwaliteit en de kosten voor teelt en oogst.

Dit gaat verder dan alleen een beoordeling op fysieke gewasopbrengst (kg product): ook productkwaliteit (productprijs) en afwijkende kosten voor grondbewerkingen en oogst (rooibeschatting, verontreiniging van oogst met grond –“tarra”) spelen een rol bij de beoordeling van de bodemgeschiktheid voor een gegeven teelt. Voor dit doel wordt een aantal criteria gebruikt en deze zullen in de volgende hoofdstukken worden behandeld. Daarbij zal blijken dat het merendeel van deze beoordelingscriteria overwegend door slechts 3 kengetallen wordt beïnvloed: textuur, organische stofgehalte en grondwaterfluctuatie.

Daarnaast spelen perceelsvorm en afmeting, helling, stenigheid en beschaduwing een rol.

De bodemgeschiktheid zelf wordt bepaald door de volgende factoren:

- verticale doorlatendheid
- bodemvochtlevering
- verkruielbaarheid
- lengte van het groeiseizoen
- oppervlakkige slemp
- interne slemp
- stuifgevoeligheid
- stenigheid van de bovengrond
- huidkwaliteit
- windvastheid
- pH
- bodemverontreiniging
- voedingstoestand (alleen voor bosbouw)

Daarnaast worden perceelsgebonden factoren beoordeeld:

- perceelsvorm
- helling/reliëf
- vorstgevoeligheid
- beschaduwing

In oudere literatuur worden ook ontsluiting, nabijheid van veiling, chemische bodemvruchtbaarheid, ontwatering, zuurgraad, aëratie, bewerkbaarheid, stevigheid van de bovengrond, vroegheid, bodemtemperatuur en draagkracht genoemd. Deze aspecten zijn tegenwoordig niet meer relevant of maken impliciet onderdeel uit van bovengenoemde factoren.

Ontsluiting (toegankelijkheid van het perceel voor trekkers en werktuigen) is anno 2010 nauwelijks nog een belemmering; ook de wens tot nabijheid van veiling en afzetmarkt voor slecht houdbare tuinbouwproducten dateert uit een tijd dat transport langzaam en relatief duur was.

Chemische bodemvruchtbaarheid en zuurgraad zijn sinds de beschikbaarheid van kunstmest vrij onbelangrijk geworden: de landbouwkundige wensen met betrekking tot deze aspecten hebben overwegend betrekking op de samenstelling van het bodemvocht in de wortelzone en kunnen eenvoudig, snel en relatief goedkoop met kalk- en (kunst)meststoffen worden gerealiseerd. Door het extensieve karakter van bosbouw is bemesting hier niet gebrui-

kelijk, reden waarom de chemische bodemvruchtbaarheid (voedingstoestand genoemd) hier wel een factor van betekenis is.

De **ontwatering** (lees: ontwateringsintensiteit en -diepte) is daarentegen voor alle bodemgebruiksvormen van zeer groot belang. Samen met verticale doorlatendheid en bodemopbouw beïnvloedt de ontwatering nagenoeg alle overige geschiktheidfactoren. Ontwateringdiepte en -intensiteit kunnen daarom gezien worden als middel om geschiktheidfactoren aan te passen, en niet als geschiktheidfactor zelf. De kengetallen ervoor (GHG, GLG) spelen uiteraard wel een rol bij alle geschiktheidbeoordelingen.

Met: **bewerkbaarheid, vroegheid, draagkracht** en (synoniem) **stevigheid van de bovengrond**, werd steeds bedoeld: wanneer in het voorjaar, en tot hoe lang in het najaar is de grond bruikbaar en geschikt voor gewasgroei en teeltmaatregelen. Afhankelijk van bodem en bodemgebruiksvorm werden met dezelfde term zeer uiteenlopende bodemeigenschappen bedoeld: bodemwarmte, begin- en eindtijdstip van verkrumelbaarheid en rooibaarheid; idem van berijdbaarheid, van beweidbaarheid, of kans op bespeelbaarheid (sportvelden, speel- en ligweiden). In de beoordelingsfactor: **lengte van het groeiseizoen** worden al deze aspecten verenigd waarbij het meest beperkende deelaspect sturend is.

Bodemtemperatuur en **aëratie** tenslotte worden niet langer in de beoordeling betrokken daar deze indirect via de lengte van het groeiseizoen (in feite met de hier achter schuilende ontwateringsintensiteit en -diepte) en de verticale doorlatendheid worden beoordeeld.

De in deze nota beschreven bodemgeschiktheidsbeoordeling is weliswaar een puntbeoordeling maar de vertaling naar opbrengsten heeft plaats gevonden op basis van de veeljarig gemiddelde perceelsopbrengsten. De keus van de bodemlocatie vond daarbij plaats door de landbouwer te vragen naar een in zijn ogen voor het perceel representatieve boorlocatie. Omdat de validatie van de opbrengstderivaten zoals bepaald met deze nota steevast heeft plaatsgevonden aan de hand van perceelsopbrengsten, is deze beoordeling zowel geschikt voor een puntbeoordeling als een perceelsbeoordeling mits, voor een perceelsbeoordeling, de bodemvariatie binnen het perceel niet te sterk afwijkt van de gemiddelde variatie binnen vergelijkbare percelen in Nederland.

3 Lengte van het groeiseizoen

Tijdstip van bewerkbaarheid: draagkracht of verkruielbaarheid?

Een van de belangrijkste factoren die een bodemgeschiktheid bepalen is de lengte van het bodemgebruikseizoen; hoe langer bijv. de groeiperiode, des te hoger de droge-stofproductie kan zijn. Naarmate een gewas zich dus vroeger ontwikkelt en/of langer doorgroeit (later wordt geoogst), des te hoger in principe de opbrengst zal zijn. De beperkende factor hiervoor is in de praktijk voor zand- en veengronden de draagkracht van de grond. Om vroeg te kunnen zaaien of laat te kunnen oogsten zal ook de grond reeds vroeg in het voorjaar, resp. laat in het najaar, voldoende draagkracht moeten bezitten om met machines en werktuigen te kunnen worden bereiden en bewerkt. Voor grasland geldt dat de grond over een zo lang mogelijke periode begaanbaar moet zijn: gebruik van recreatief groen (sportvelden, speel- en ligweiden) en beweiden/berijden van veegrasland mag geen grote schade aan de zode veroorzaken.

Draagkracht stond voorheen gelijk aan berijdbaarheid: het niet vast raken met trekker of paard en werktuig. Met de moderne vierwiel aangedreven trekkers speelt de berijdbaarheid een minder grote rol en kan voldoende draagkracht worden omschreven als een situatie waarin structuurschade (verdichting, versmering) door het berijden van de grond niet dieper plaatsvindt dan met een gebruikelijke, latere grondbewerking wordt gecorrigeerd.

De draagkracht neemt toe met de dichtheid van de grond, en af met een toenemend bodemvochtgehalte. Omdat een toenemende dichtheid van de grond al spoedig tot beperkingen voor de wortelactiviteit leidt, wordt in de praktijk gestreefd naar zo laag mogelijke bodemvochtgehalten in perioden waarin de draagkracht van de grond beperkend kan zijn voor het bodemgebruik. Het is dit streven naar zo laag mogelijke vochtgehalten in voor- en najaar die hebben geleid tot de landbouwkundige normen voor grond- en oppervlaktewaterbeheersing.

Tijdstip van verkruielbaarheid.

De vroegheid/lengte van het groeiseizoen van grasland ongeacht de bodemopbouw, en op zand- en veengronden voor akker- en tuinbouw, wordt hoofdzakelijk bepaald door de draagkracht van de grond. Voor akker- en tuinbouw op zavel en klei geldt een andere norm: het tijdstip van verkruielbaarheid. Met verkruielbaar wordt de situatie (bodemvochtgehalte) bedoeld waarin de voorgenomen grondbewerking ook daadwerkelijk het beoogde effect heeft. Voor zavel- en kleigronden nu stelt deze grondbewerking hogere eisen aan de uitdrogingstoestand van de grond dan er voor een voldoende draagkracht nodig is. Op zavel en klei bepalen dus de werktuig-eisen de vroegheid van de grond. Dit in tegenstelling tot zand- en veengronden: indien deze voldoende draagkrachtig zijn voor berijden zijn zij tevens voldoende uitgedroogd om met succes te kunnen worden bewerkt (te kunnen worden verkruield).

Ook het eind van het groeiseizoen wordt bij zavel- en kleigronden niet zozeer door de benodigde draagkracht maar door werktuigeisen bepaald. Zo vindt de oogst van rooivruchten meestal mechanisch plaats waarbij de "meegeoogste" grond gemakkelijk en zonder het product te beschadigen, hiervan moet kunnen worden gescheiden (gezeefd). De eisen die hiervoor aan het bodemvochtgehalte worden gesteld zijn strenger dan die voor een voldoende berijdbaarheid.

Warme en koude gronden

Bij meerjarige teelten waar de grond niet elk voorjaar wordt bewerkt, wordt met vroegheid het tijdstip bedoeld waarop de bodemtemperatuur zover is gestegen dat hergroei begint. Hoewel dit begingroei-effect overigens ook op grasland speelt denkt men op rundveehouderijbedrijven bij het woord vroegheid toch eerder aan de datum waarop het weideseizoen begint (draagkracht).

Ook gronden die na neerslag snel weer draagkrachtig zijn en dus in het voorjaar relatief vroeg (voordat de volgende regenbui gevallen is) kunnen worden bereiden en bewerkt worden 'vroeg' gronden genoemd.

Op dergelijke gronden is niet de draagkracht beperkend voor het begin van het groeiseizoen maar de minimum en gemiddelde etmaaltemperatuur; respectievelijk de kans op nachtvorstschade en het tijdstip in het voorjaar waarop de minimum kiemings- of hergroeitemperatuur voor het gewas wordt bereikt.

Hiervoor geldt dat bovengronden met hoge bodemluchtgehalten (droge zand- en veengronden en daarnaast alle recent bewerkte droge bovengronden), het snelst op straling reageren en daarmee in het voorjaar het snelst opwarmen. Keerzijde is dat ook nachtelijke uitstraling vanuit dergelijke bovengronden de grootste temperatuurinvloed heeft waardoor bij de 'warmste' gronden tevens het meest 'vorst aan de grond' optreedt en daarmee nachtvorstschade.

In de praktijk weegt een relatief hoge gemiddelde etmaaltemperatuur hierbij zwaarder en wordt het risico voor vorstschade op de koop toe genomen en met teeltmaatregelen (beregening, folie of strodek) en soms ook kavelinrichting beperkt (zie paragraaf 7.1 en 7.2).

3.1 Bewerkbaarheidsgrondwaterstand

Draagkracht, tijdstip van bewerkbaarheid, tijdstip van verkruielbaarheid, tijdstip van beweidbaarheid, tijdstip van berijdbaarheid, tijdstip van hergroei, vroegheid; bodemtemperatuur-afhankelijkheid van de grondwaterstand; wat men ook binnen de betreffende teelt bedoelt, het kan met behulp van de *lengte van het groeiseizoen* worden gekarakteriseerd. Wanneer deze voldoende lang is (de benodigde bewerkbaarheid-grondwaterstand vroeg genoeg in het voorjaar en laat genoeg voor de oogst kan worden gerealiseerd) zijn er geen opbrengstdervingen door gedwongen uitstel van voorjaarswerk, zaaien/poten, en daardoor vertraagde gewasontwikkeling, en/of een gedwongen voortijdige oogst.

De bepaling van de lengte van het groeiseizoen vindt plaats door veeljarig het gemiddelde aantal dagen vast te stellen waarop de bewerkbaarheidsgrondwaterstand in voor- en najaar wordt overschreden (voldoende diep is) en de lengte van deze periode (lengte van het groeiseizoen) te vergelijken met de voor die teelt optimale lengte van het groeiseizoen.

Voor een zo lang mogelijk groeiseizoen is een zo droog mogelijke grond in voor- en najaar gewenst. Afgezien van het weer speelt vooral de ontwatering hierin een grote rol en zou er theoretisch gestreefd moeten worden naar zo diep mogelijke voorjaarsgrondwaterstanden. Echter, voorjaarsgrondwaterstanden dieper dan 80 cm (dekzand, veen) á 1,2 m (zavel) hebben nauwelijks een extra effect meer op de snelheid waarmee de bovengrond in het voorjaar of na regen opdroogt, maar kunnen wel leiden tot een diepere zomergrondwaterstand en daarmee

mogelijk tot onnodige droogteschade. Maar de optimale voorjaarsgrondwaterstand wordt nagenoeg geheel bepaald door de gewenste tijdigheid in het voorjaar en is geen compromis tussen deze tijdigheid en beperking van droogteschade later in het groeiseizoen: in ons humide klimaat –ook in alle KNMI scenario's m.b.t. klimaatverandering– leidt te laat bewerken in het voorjaar al snel tot (veel) meer opbrengstderving dan een hierdoor bespaarde droogteschade. De gewenste voorjaarsgrondwaterstand t.b.v. bewerkbaarheid is in ons klimaat veel sterker sturend dan de gewenste voorjaarsgrondwaterstand met het oog op zoveel mogelijk beperken van zomerdroogte.

De veeljarig gemiddelde lengte van het groeiseizoen van een bodem-gewascombinatie wordt vastgesteld door de dag te bepalen waarop in voorjaar en najaar (oogst) de voor bewerkbaarheid minimaal benodigde grondwaterstand optreedt. De mate waarin deze dag later is dan de veeljarig gemiddeld optimale dag bepaalt de mate waarin er opbrengstderving optreedt door een te late start van het groeiseizoen. Het eind van het groeiseizoen wordt bepaald door de veeljarig gemiddelde dag waarop de najaarsgrondwaterstand de oogst belemmert. Treedt deze dag eerder op dan de optimale oogstdatum zal er voortijdig moeten worden geoogst om structuurschade te voorkomen en wordt het groeiseizoen ook hierdoor verkort.

De grond is bewerkbaar indien de grondwaterstand zo diep is dat op bewerkingsdiepte de bodem voldoende is opgedroogd. Middels praktijkonderzoek (*Beuving 1982, Huitema 1987, Soesbergen & Van der Voort 1988, 1995*) zijn hiervoor onderstaande (tabel 1) grenswaarden voor de benodigde drukhoogten vastgesteld en de daarbij behorende grondwaterstanden ten opzichte van (onder) de voorjaarsbewerkings-diepte. De bijbehorende grondwaterstanden komen overeen met die bij hydrostatisch evenwicht en stemmen overeen met de resultaten van grondwaterstandsproefvelden (*Wind & Schothorst 1965, Segeren & Visser 1969, Haagsma 1971, Haagsma & Van Vulpen, 1971, Schothorst & Hettinga 1972, Boxem 1975, Schothorst, 1975, Van Hoorn, 1958, 1985, Van Loon 1985, Wesseling 1957, 1985, Van Wijk et al 1986, 1988, Van der Neut 1994, Vos et al 2004*).

Tabel 1 *Bewerkbaarheidskengetallen (cm)*

	Bewerkbaarheids drukhoogte)*	Gws onder bewer- kingsdiepte)*	voorjaars- bewerkings diepte)*	Z voor 1,25 mm/d bij bew.brh. drukhoogte
zand: 5- 10% leem	-45	45	30	27
10-20 % leem	-55	55	30	65
>20 % leem	-60	60	30	100
löss:	-65	65	12	105
zavel: 8- 12 % lutum	-85	85	30	73
12-17 % lutum	-85	85	12	95
17-25 % lutum	-75	75	15	66
klei: 25-35 % lutum	-65	65	15	60
> 35 % lutum	-45	45	15	53
veen:	-55	55	22	45

)* op grasland (*weiland, plantsoenen, kampeerterreinen, speel- en ligweiden en sportterreinen*) en bos en groot fruit, vindt geen voorjaarsgrondbewerking plaats en is de voorjaarsbewerkings-diepte gelijk aan nul.

Voor oud grasland (met een zgn. viltige zode, *Schothorst 1975*) is gebleken dat de grondwaterstand (en drukhoogte) wat hoger kan zijn dan de bewerkbaarheids-(draagkracht-) drukhoogte: een met een dergelijke graszode bedekte bovengrond blijkt in de praktijk een hogere draagkracht te bezitten dan een onbedekte bodem doordat de zode bijdraagt aan de

draagkracht. Daar staat tegenover dat de botanische samenstelling bij een dergelijke zode sterk is gedegeneerd en de kVEM-opbrengst zo laag is dat men in de praktijk al lang tot graslandvernieuwing (herinzaai) is overgegaan. In deze nota is daarom geen rekening gehouden met het draagkrachteffect van een gedegeneerde, viltige zode.

Bij graslandvernieuwing en herinplant van bos en groot-fruit wordt de grond weliswaar ook bewerkt maar dit hoeft niet perse in het vroege voorjaar plaats te vinden en kan zonder (extra) opbrengstderving ook later in het seizoen worden uitgevoerd.

Bij de overige bodemgebruiksvormen worden veen, zand en zeer lichte zavel in het voorjaar geploegd (veen 22 cm diep; zand en z.l. zavel: 30 cm), en de zwaardere zavel- en kleibovengronden (on)diep gecultiveerd (12 à 15 cm diep).

Deze bewerkingdiepten moeten bij de *gws onder bewerkingdiepte* uit tabel 1 worden geteld om de bewerkbaarheidsgrondwaterstand in cm-mv te vinden.

In sommige, veelal gelaagde, bodemprofielen is de grond echter reeds bij een hogere grondwaterstand bewerkbaar: zodra de grondwaterstand zo diep is gedaald dat de capillaire nalevering tot aan bewerkingdiepte, kleiner is dan 1,25 mm/dag (gelijk aan het veeljarige gemiddelde verdampingoverschot in de maanden maart-april; *Huinink, 2001*). Bij deze grondwaterstand breekt de capillaire nalevering af en droogt de grond door verdamping spoedig tot de gewenste drukhoogte uit.

De bewerkbaarheidsgrondwaterstand is dus de ondiepste uit twee: die uit tabel 1 hierboven wordt afgeleid, dan wel de grondwaterstand met een capillaire nalevering van 1,25 mm/dag onder bewerkingdiepte.

Voor het vaststellen van de grondwaterstand met $V_{c1,25}$ moet de bodemopbouw onder de voorjaarsbewerking-diepte, en daarmee eerst deze bewerkingdiepte (tabel 1), worden vastgesteld.

Aan de hand van onderstaand voorbeeld wordt geïllustreerd op welke wijze de grondwaterstand met een capillaire nalevering van 1,25 mm/d tot aan bewerkingdiepte, kan worden vastgesteld.

Voorbeeld: pootaardappelteelt op onderstaande bodem:

- 30 cm: humeus (4% org. stof), zwaklemig (14 % leem) zand, met een pH 5,0

30-50 cm: sterk lemig zand

50-80 cm: leemarm zand

80- 150 cm: veen

(GHG: 25 cm-mv, GLG 150 cm-mv)

Toets 1

De bouwvoor bestaat uit zand die in het voorjaar (tabel 1) ca 30 cm diep wordt geploegd.

Onder hydrostatisch evenwicht is de grond op ploegdiepte voldoende droog bij een grondwaterstand van $30+55 = 85$ cm-maaiveld.

Toets 2

Maar wellicht is de grond bij een hogere grondwaterstand bewerkbaar omdat de capillaire nalevering in het voorjaar achterblijft bij de nettoverdamping.

De grondwaterstand waarbij deze V_c kleiner dan 1,25 mm/dag optreedt kan worden afgeleid uit de Z-h relaties voor 1,25 mm/d. De laatste kolom in tabel 1 geeft de Z-afstand waarbij, bij de betreffende bewerkbaarheidsdrukhoogte, de capillaire nalevering van 1,25 mm/dag afbreekt. Uit figuur 5 zien we dat bij deze lage drukhoogten de z-h relaties nagenoeg lineair zijn (zich in

het onderste -lineaire- deel van de curve bevinden en we uit kunnen gaan van een constante lineaire relatie tussen Z en h.

Op 30 cm diepte (zwaklemig zand) is onze voorbeeldgrond bewerkbaar indien de drukhoogte kleiner (negatiever) is dan -55 cm (tabel 1). Voor het vast stellen van de grondwaterstand met een capillaire nalevering van 1,25 mm/dag op 30 cm diepte, gaan we daarom uit van een beschikbare zuigkracht op deze diepte van -55 cm. Omdat de Z-h relaties in deze natte trajecten nagenoeg lineair zijn neemt h met de diepte evenredig toe met de verhouding tussen de dikte van de bodemlaag en de maximale z-afstand voor 1,25mm/d voor het betreffende bodemmateriaal bij een beschikbare h gelijk aan de bewerkbaarheids-h.

Tussen 30 en 50 cm diepte bestaat de bodem uit sterk lemig zand waarin de maximale $Z_{1,25}$ mm/d 100cm bedraagt bij een beschikbare h van -60 cm (tabel 1, 3e regel, 1e en laatste kolom).

Voor 1,25mm/dag door 20 cm van deze laag is een drukhoogte-afname nodig van $20/100 \times -60 = -12$ cm. Op de overgang tussen sterk lemig zand en leemarm zand op 50 cm diepte is dus een drukhoogte vereist van maximaal -55 minus $-12 = -43$ cm, om op bewerkingdiepte in deze bodem (30 cm-mv) de capillaire nalevering minder dan 1,25 mm/d te laten zijn.

Tussen 50 en 80 cm diepte bestaat de bodem uit leemarm zand waarvoor bij een zuigkracht van $h = -45$ cm over 27 cm een V_c van 1,25 mm/dag mogelijk is (tabel 1, 1e rij, 1e en laatste kolom). Er is 43 cm zuigkracht beschikbaar waardoor op $-43/-45 \times 27 = 26$ cm of dieper in deze leemarme zandlaag de drukhoogte nul (lees de grondwaterstand) moet zijn om op bewerkingdiepte in deze bodem de V_c niet groter te laten zijn dan het gemiddelde verdampingsoverschot in het voorjaar (1,25 mm/d). Dit betekent dus een grondwaterstand van 50 (bovenkant leemarme zand) + 26 = 76 cm of dieper.

Hoewel deze bodem dus in natte perioden zonder nettoverdamping tot 85 cm diep ontwaterd moet zijn (hydrostatisch evenwicht bepaalt het vochtgehalte op bewerkingdiepte) zien we dat in een veeljarig gemiddeld voorjaar met een nettoverdamping van 1,25 mm/dag, een grondwaterstand van 76 cm reeds voldoende is om tijdig te kunnen ploegen.

3.2 Berekening Lengte van het groeiseizoen; Regimecurve

Voor de vaststelling van de veeljarig gemiddelde dag waarop de grond bewerkbaar is, is uitgegaan van de zogenaamde regimecurve: een sinusoïdaal grondwaterstandsverloop tussen 15 februari (=GHG bij natuurlijke gw-fluctuatie) en 15 augustus (GLG bij een natuurlijk gws verloop).

Bij een natuurlijk grondwaterstandsverloop is gemiddeld in Nederland, de regimegrondwaterstand op 15 februari gelijk aan GHG en de regimegrondwaterstand voor 15 augustus gelijk aan GLG. Met opzet zijn de termen GHG en GLG hier niet gebruikt maar regimegrondwaterstand op 15/2 resp. 15/8: de rekenregel voor de regimecurve geldt ook indien door peilverhoging de grondwaterstand in de zomer hoger is dan in de winter en het voorjaar en de begrippen GHG / GLG niet meer van toepassing zijn.

De regimegrondwaterstanden op een dag zijn niet gelijk aan de veeljarig daggemiddelde grondwaterstand op die dag (evenmin als de GHG gelijk is aan de daggemiddelde grondwaterstand op 15 februari), maar moeten aldus worden berekend:

Regime grondwaterstand 15 febr.: het gemiddelde over een periode van minimaal 8 jaar, van de afzonderlijke jaarlijkse gemiddelden uit de 3 hoogste grondwaterstanden (gemeten op de 14e en de 28e van elke maand) in de periode tussen 15 november en 15 mei. Gedurende deze periode zal er in de praktijk zelden peilverhoging plaatsvinden en de aldus berekende regime.gws 15 febr. zal meestal gelijk zijn aan de GHG.

Regime grondwaterstand 15 aug.: het gemiddelde over een periode van minimal 8 jaar, van de afzonderlijke jaarlijkse gemiddelden uit de 3 hoogste grondwaterstanden (gemeten op de 14e en de 28e van elke maand) in de periode tussen 15 mei en 15 november.

De dag waarop een grondwaterstand de diepte van x cm-mv heeft bereikt kan worden berekend met (bijlage 3):

dag met Gwsx = $\text{ARCSIN} \left\{ - \left[\text{Gwsx} - (\text{reg.gws15aug} + \text{reg.gws15febr}) / 2 \right] / \left[(\text{reg.gws15aug} - \text{reg.gws15febr}) / 2 \right] \right\} / -0,01726 + 137$

Indien de bewerkbaarheidsgrondwaterstand dieper is dan de laagste regimegrondwaterstand (GLG) of hoger dan de GHG, resulteert deze rekenregel in een foutmelding. In de eerste situatie treedt de bewerkbaarheidsgrondwaterstand nooit op en is de gewasopbrengst nihil indien met grondbewerking wordt gewacht tot dit zonder structuurschade aan de bodem kan plaats vinden. Indien de bewerkbaarheids-grondwaterstand ondieper is dan de GHG is de grond altijd bewerkbaar en is er geen opbrengstderving door een beperkte lengte van het groeiseizoen.

In ons voorbeeld waarin de bewerkbaarheids-grondwaterstand 76 cm-mv bedraagt, de GHG (veeljarig gemiddeld op 15 februari) zich op 25 cm-mv en de GLG op 15 aug. zich op 150 cm-mv bevinden, wordt deze bewerkbaarheids-grondwaterstand veeljarige gemiddeld bereikt op dag:

$$\text{ARCSIN} \left\{ - \left[76 - (150 + 25) / 2 \right] / \left[(150 - 25) / 2 \right] \right\} / -0,01726 + 137 = \text{dag } 126.$$

Vijftien augustus (dag 228) stijgt de regimecurve weer. In ons voorbeeld duurt het potentiële groeiseizoen van dag 228-126= 102 dagen vóór 15 augustus, en eveneens nog eens 102 dagen erna.

Hierbij moet een kanttekening worden gemaakt indien het perceel wordt geïnfiltreerd waarbij de grondwaterstanddaling wordt beperkt of zelfs verhoogd. Indien de grondwaterstand daarbij hoger komt dan de bewerkbaarheids-grondwaterstand, zal het gewas afsterven door wortelrot en/of is er geen gewasverpleging mogelijk. De relatieve lengte van het groeiseizoen eindigt dan op die dag.

Tabel 2 geeft de gewenste lengte van het groeiseizoen weer.

Voor pootaardappelen zijn 150 dagen nodig vóór 15 augustus (eerste week van augustus geroid) en geen dagen na 15 augustus. In ons voorbeeld is de grond 102 dagen voor (en na 15 augustus) bewerkbaar en dit zijn er 150-102= 48 dagen te weinig.

Voor een onbeperkte voorjaarsbewerking, poten, gewasverpleging en nabewerking van de pootaardappelteelt is een totale groeiseizoenlengte nodig van 150 dagen. Hiervan komt deze

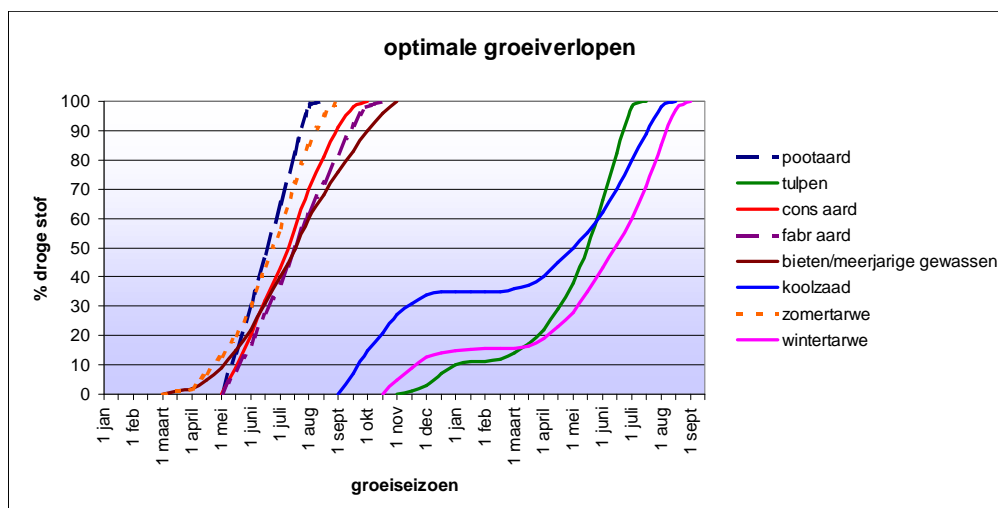
voorbeeldbodem er 48 tekort: de relatieve lengte van het groeiseizoen (daadwerkelijk/gewenst) bedraagt $(150-48)/150 = 0,68$.

Tabel 2. Benodigde groeiseizoenlengte voor maximale opbrengst / bruikbaarheid

	dagen voor 15 aug. (GLG)	dagen na 15 aug. (GLG)	Totaal dagen
Naaldbos	170	75	245
Loofbos	170	75	245
groot fruit	170	75	245
klein fruit (aardbeien, bessen)	170	75	245
Aardappelen	155	35	190
Pootaardappelen	150	0	150
Fabriksaardappelen	155	65	220
Suikerbieten	155	75	230
Wintertarwe	165	10	175
Zomergerst	165	0	170
Snijmais	130	35	165
laanbomen/onderstammen	170	75	245
Overige boomteelt	170	55	225
Graszaad	170	15	185
Asperge	170	75	245
Schorseneren	170	75	245
prei, spruiten, koolsoorten	100	125	225
erwten, bonen,	135	-15	130
Witlof, selderij, uien	75	65	140
Was/-bospeen	100	25	125
tulpen, narcis	180	140	320
Hyacinten, dahlia's	180	140	320
Bladgroenten	100	75	175
Beweid/gemaaid gras	180	75	255
Plantsoenen	180	75	255
Gazons	100	75	210
kampeerterrinen, speel- en ligweiden	100	75	175
Sportvelden	180	75	255

De vertaling van een tekort groeiseizoen naar opbrengstderiving is niet evenredig aan de verkorting van het veeljarig gemiddelde optimale groeiverloop uit tabel 2. Figuur 1 laat zien dat in het begin en einde van het teeltseizoen de potentiële groei aanmerkelijk trager verloopt dan in het midden van de groeiperiode. Schade door te late voorjaarsbewerking of gedwongen voortijdige oogst treedt in het begin en eind van de potentiële groeiperiode op, maar neemt sterk toe naarmate er langer moet worden gewacht of eerder moet worden geoogst.

Figuur 1 Veeljarig gemiddelde optimale groeiverlopen



De opbrengstderving bij een korter dan optimale lengte van het groeiseizoen, kunnen dus niet voor alle teelten door eenvoudigweg opschuiving van het potentiële groeibegin naar de dag waarop de grond bewerkbaar is (en bij handhaving van de optimale oogstdatum) worden vastgesteld.

Uit zaaiproeven blijkt voor granen bijvoorbeeld dat er minder opbrengstderving optreedt dan op basis van verschuiving van de curve figuur 1, zou worden verwacht: van de voorjaarsachterstand wordt een gedeelte weer ingehaald in de zomer.

Suikerbieten en aardappelen vertonen daarentegen een grotere opbrengstderving dan door middel van naar achteren schuiven van de groeicurve (maar handhaving van de oogstdatum) m.b.v. fig. 1, zou worden afgeleid: de opbrengst wordt bij deze gewassen vooral gestuurd door knolzetting resp. suikergehalte en in veel mindere mate door bruto droge-stofproductie. Ook voor meerjarige gewassen als asperge, koolzaad, bloembollen, fruit en boomteelt treedt een inhaaleffect op na een te late start in het voorjaar.

3.3 Benadering van de opbrengstderving op “te late” gronden. Grasland, melkveehouderij

Voor gemaaid en geweid grasland is zeer veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen draagkracht (lengte groeiseizoen), vertrapping en grondwatersand (*samenvattingen hiervan in: Frankema en Goedewagen, 1942, Pieters 1961, Schothorst 1963, 1969, 1972, 1975, Wind 1965, Boxem 1975, Hassink 1971, Beuving et al 1989, Hoving 2006*).

De reden voor dit vele onderzoek is dat grasland voor medio 1970 veelvuldig op de minder goed ontwaterde percelen voorkwam en de praktijk zich vaak gedwongen voelde tot berijden en beweiden bij onvoldoende draagkracht.

Het voordeel van te natte grond beweiden en berijden is dat er in het voorjaar wel (N-)meststof kan worden uitgereden (volle mestkelders) en het gras wel groeit, dat de laatste sneden wel worden binnen gehaald en het gras niet te lang de winter in gaat waardoor verstikking van het gras wordt voorkomen (legeren door sneeuw) en de voedingswaarde van de eerste snede in het daarop volgende voorjaar niet fors lager is. Ook voorkomt dit een versnelde achteruitgang van de botanische samenstelling doordat het gras te lang de winter ingaat en daardoor (extra kosten voor) een frequentere herinzaai (graslandvernieuwing) wordt vermeden.

Nadelen van te nat bereiden en beweiden is schade aan de zode en daarmee grasverliezen (vertrappingschade, beweiding- en ruwvoederwinning-verliezen). Ook dit leidt tot een versnelde achteruitgang van de botanische samenstelling en daardoor kosten voor een frequentere herinzaai.

Alleen beweiden en berijden wanneer het perceel voldoende draagkracht heeft, betekent dus dat op te natte percelen er later stikstof kan worden gestrooid in het voorjaar en de opbrengst van de eerste snede op een later tijdstip plaats vindt en deze snede een lagere voedingswaarde heeft doordat het gras te lang de voorafgaande winter in ging. De bruto grasopbrengst, uitgedrukt in kVEM waarde, is bij wachten tot voldoende draagkracht daardoor op jaarbasis lager; het verschil tussen bruto-grasgroei en netto opbrengst is echter aanzienlijk geringer omdat de vertrappings- en ruwvoederwinning-verliezen fors lager zijn.

De gulden middenweg tussen wachten of accepteren van vertrapping / bodemstructuurschade is afhankelijk van de mate van het te nat zijn van het perceel, het beweidingstelsel

(verhouding tussen beweiden en stalvoeding) en bovenal de mate waarin het bedrijf zelfvoorzienend is in de ruwvoederverzorging (veedichtheid).

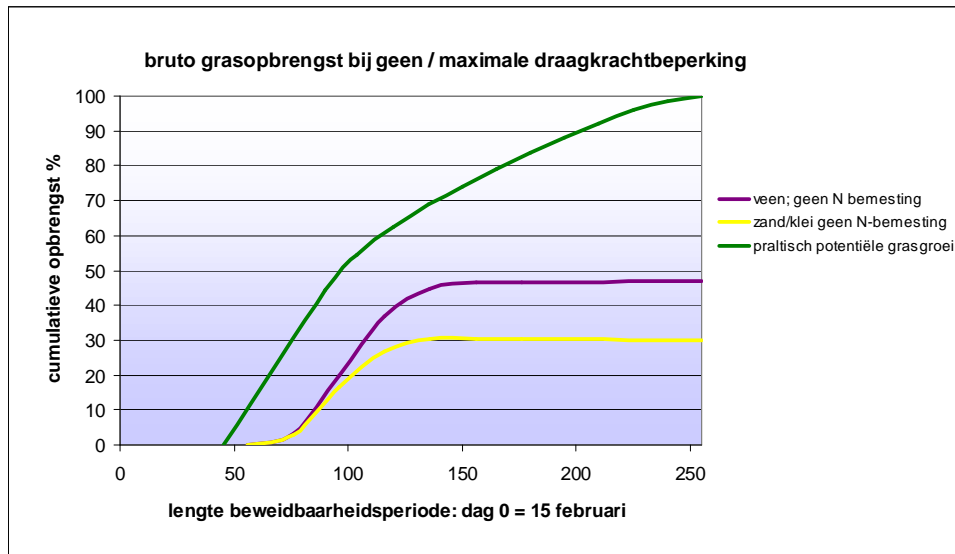
De hieronder gehanteerde werkwijze voor het vaststellen van de derving door een suboptimale lengte van het groeiseizoen (weideseizoen) is dan ook niet meer dan een benadering. Wel wordt in de vertaling van % derving naar euro's/ha rekening gehouden met de mate van zelfvoorziening (hst. 18).

Tabel 3 geeft de derving door een verkort beweidingseizoen. Hierbij is ervan uitgegaan dat de opbrengstderving kan worden benaderd door uit te gaan van beweiding en berijden op het moment dat de draagkracht dit toelaat, en indien er te nat wordt beweid en bereiden de schade vergelijkbaar is met de derving wanneer er wordt gewacht op voldoende draagkracht. Dit leidt tot de volgende uitgangspunten:

- te nat in het voorjaar heeft geen beperking op de grasgroei door een te lage bodemtemperatuur (grasgroei begint vanaf bij 4⁰ C); De beperking vloeit voort uit het niet tijdig kunnen strooien van (N)-meststof waardoor de oogst van de eerste snede wordt vertraagd. Indien de draagkracht ook in het najaar voortijdig (eerder dan 29 oktober) beperkend is, worden extra laatste sneden gemist. Omdat er alleen wordt gemaaid en geweid als de grond voldoende draagkracht heeft, zijn de ruwvoederwinning-verliezen beperkt en bedragen op alle gronden gemiddeld 23% van de bruto grasopbrengst, uitgaande van 1/3 maaien en 2/3 beweiding. (*Boxem 1975, Schothorst 1969, 1972, 1975, Frankema en Goedewagen, 1942, Wind 1965, Hassink 1971*).
- doordat er pas stikstof kan worden gestrooid op het moment dat de grond draagkrachtig is, verloopt de grasgroei tot dat moment volgens de onderste groeicurven (veen en niet-zandgronden) in figuur 2 (*De Vos et al, 2004; Handboek Melkveehouderij 2006*). Als de grond te nat blijft en er ook in mei nog niet kan worden gemaaid of geweid; gaat de vegetatieve groei over in het generatieve stadium en stopt de droge stof (*kVEM*) opbrengst. Deze bedraagt op dat moment ca. 35 % van de potentiële opbrengst (netto 5,25 ton in plaats van 15 ton droge stof aan "goede" grassen) onder optimale omstandigheden. Op het moment van voldoende draagkracht (N-gift) wordt het gras geweid / gemaaid en stikstof gestrooid. Vanaf dat moment verloopt de cumulatieve grasopbrengst volgens de bovenste curve (schuift naar rechts), zij het met een vertraging (cumulatieve grasgroei neemt een poos niet toe) door de benodigde tijd voor de stikstofgift gaat werken. Deze vertraging neemt lineair in de tijd af van 45 dagen na toediening eind februari (optimaal) naar 35 dagen indien de stikstof in mei of later wordt toegediend.
- als de bewerkbaarheids-grondwaterstand (lees: draagkrachtgrondwaterstand; tabel 1) eerder dan 29 oktober (=75 dagen na 15 augustus; het einde van het beweidingseizoen – tabel 2) wordt onderschreden; is het gras vanaf die datum niet meer oogstbaar.

Uit onderzoek is gebleken dat in het grondwaterstandtraject tussen 40 en 80 cm er nog een effect bestaat voor organische stof- en lutumgehalte in de bovengrond (beide verhogen de vertrappingverliezen). Bij de hier gehanteerde benadering wordt hiervoor impliciet gekort doordat een hoger organische-stofgehalte en/of lutumgehalte tot een hogere bewerkbaarheids-grondwaterstand leiden, en dus tot een kortere relatieve lengte van het groeiseizoen.

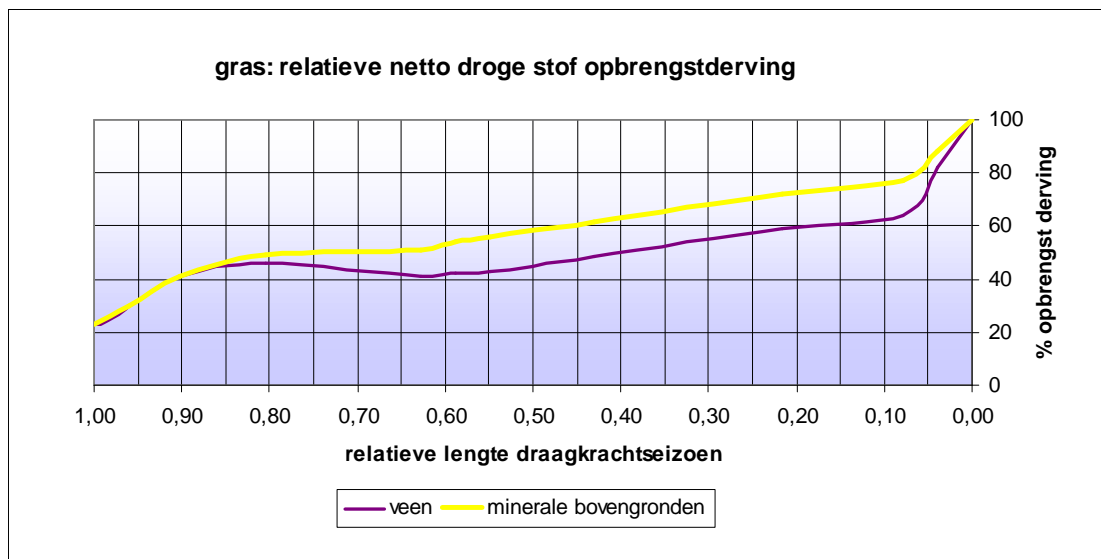
Figuur 2. Grasgrooeicurven bij optimale draagkracht + N-bemesting en bij onvoldoende draagkracht en derhalve geen N-bemesting



Nadat aldus de bruto derving aan droge stof-opbrengst door een beperking van het beweidingsseizoen is vastgesteld wordt de netto droge stof opbrengst berekend door vermindering van de bruto-opbrengst met 23% voor onvermijdelijke ruwvoederwinning-verliezen (beweidingverliezen door vertrapping, mestvervuiling en maaiverliezen).

Tabel 3 geeft de resultaten van deze benadering; figuur 3 geeft een grafische weergave hiervan:

Figuur 3. Netto relatieve opbrengstderving aan droge stof op grasland in afhankelijkheid van de relatieve lengte van het groeiseizoen.



De lijnen in figuur 2 en 3 verschillen door

A figuur 2 de cumulatieve bruto grasgroei weergeeft

B figuur 3 de netto derving geeft, die

- 23 % van de grasopbrengst vlgs figuur aan beweiding- en ruwvoederwinning-verliezen bedraagt
- bij een relatieve lengte van het groeiseizoen kleiner dan 0,08 de opbrengst nihil wordt (derving 100%) omdat het gras niet kan worden beweide of machinaal geoogst en op het land blijft staan.

Tabel 3. Opbrengstderving netto droge stofproductie melkvee grasland, door een beperkte lengte van het draagkrachtseizoen

Relatieve lengte groeiseizoen	% opbrengstderving	
	Veenbovengrond	overige bovengronden
1	23	23
0,9	41	41
0,8	46	49
0,6	42	54
0,5	45	59
0,43	48	62
0,22	59	72
0,08	64	77
0	100	100

De voederwaarde van melkvee grasland wordt echter niet zozeer bepaald door de drogestofopbrengst aan gras (grotendeels wel voor vleesvee, paarden, hobbydieren), maar aan de droge stofopbrengst van de gewenste ("goede") grassen (kVEM-waarde). Deze neemt volgens tabel 4 vanaf (her)inzaai in de loop van de tijd af doordat de gewenste botanische samenstelling achteruitgaat (Hoving 2006).

Tabel 4. Degeneratie % / jaar van kVEM productie ("goede grassen") in afhankelijkheid van relatieve lengte draagkrachtseizoen ("te nat zijn" van het perceel)

Relatieve lengte groeiseizoen	degeneratie % kVEM waarde	
	Veenbovengrond	overige bovengronden
1	3	2,5
0,9	11	6
0,8	15	10
0,6	18	15
0,5	19	16
0,43	20	17
0,22	21	19
0,08	22	20
0	22	20

De veeljarig gemiddelde opbrengstderving door degeneratie wordt daardoor afhankelijk van de herinzaaifrequentie (graslandvernieuwing). In het jaar van scheuren of doorzaai gaat ca 25% verloren door het missen van een gemiddeld 1,5 snede. In tabel 5 is dit verwerkt en deze tabel geeft de veeljarig gemiddelde relatieve opbrengst aan "goede grassen" (kVEM) in afhankelijkheid van doorzaaifrequentie en degeneratie%. *Schothorst 1963* geeft een hiermee samenhangende reden voor graslandvernieuwing; onder grasland neemt het organische-stofgehalte in de bovenste 5 cm in de loop van de tijd toe (naar 25%) en bij gehalten vanaf 8% neemt de draagkracht, ook bij een goede ontwatering, dusdanig af –en de beweidingsverliezen dusdanig toe- dat het ook om deze reden rendabel is tot graslandvernieuwing (ploegen en herinzaai) over te gaan.

Tabel 5. Jaargemiddelde relatieve opbrengst in netto droge stofproductie melkvee grasland in afhankelijkheid van doorzaaifrequentie en degeneratie % (tabel 4).

degeneratie %	22	20	18	16	14	10	6	4	2
herinzaaifrequentie									
1	75	75	75	75	75	75	75	75	75
2	87,5	87,5	87,5	87,5	87,5	87,5	87,5	87,5	87,5
3	84,3	85,0	85,7	86,3	87,0	88,3	89,7	90,3	91,0
4	78,5	79,8	81,1	82,4	83,7	86,5	89,3	90,8	92,3
5	72,3	74,0	75,9	77,8	79,7	83,8	88,1	90,3	92,6
6	66,4	68,5	70,8	73,1	75,5	80,8	86,4	89,4	92,6
7	61,0	63,4	66,0	68,6	71,5	77,7	84,6	88,3	92,3
8	56,2	58,8	61,5	64,4	67,6	74,6	82,6	87,0	91,8
9	51,9	54,6	57,4	60,6	64,0	71,6	80,6	85,7	91,2
10	48,1	50,8	53,7	57,0	60,5	68,8	78,7	84,4	90,6
11	44,7	47,4	50,4	53,7	57,4	66,0	76,7	83,0	90,0
12	41,7	44,3	47,3	50,7	54,4	63,4	74,8	81,6	89,3
13	39,0	41,6	44,6	47,9	51,7	61,0	73,0	80,2	88,6
14	36,5	39,1	42,0	45,4	49,2	58,6	71,1	78,9	87,8
15	34,4	36,9	39,7	43,0	46,9	56,4	69,4	77,6	87,1
16	32,4	34,8	37,6	40,9	44,7	54,3	67,7	76,2	86,4
17	30,6	33,0	35,7	38,9	42,7	52,3	66,0	74,9	85,6
18	29,0	31,3	34,0	37,1	40,8	50,5	64,4	73,7	84,9
19	27,6	29,8	32,4	35,4	39,1	48,7	62,9	72,4	84,2
20	26,3	28,4	30,9	33,9	37,4	47,0	61,4	71,2	83,4
21	25,1	27,1	29,5	32,4	35,9	45,4	59,9	70,0	82,7
22	24,0	25,9	28,3	31,1	34,5	43,9	58,5	68,8	82,0
23	22,9	24,8	27,1	29,8	33,2	42,5	57,1	67,7	81,3
24	22,0	23,8	26,0	28,7	32,0	41,1	55,8	66,6	80,6
25	21,1	22,9	25,0	27,6	30,8	39,8	54,6	65,5	79,8

Voorbeeldberekening

In ons poot aardappelvoorbeeld bedroeg de bewerkbaarheids-grondwaterstand 76 cm-mv. Voor grasland is de voorjaarsbewerkings-diepte 0 en bedraagt de bewerkbaarheids-grondwaterstand geen 76 cm maar 55 cm (tabel 1; de Z voor $V_{c_{1,25}}$ is 63 cm-mv dus dieper). Berekening van de hierbij behorende relatieve lengte van het groeiseizoen resulteert in 0,78 overeenkomend met een veeljarig gemiddelde droge stofopbrengstreductie van 50% (tabel 3). Het degeneratie % bedraagt ruim 10% (tabel 4) en bij een herinzaaifrequentie van bijvoorbeeld 8 jaar is (tabel 5; gem. ds productie 74,6%) de veeljarig gemiddelde opbrengst $(100-50) \times 74,6/100 = 37\%$ van de potentiële opbrengst, dus veeljarig gemiddeld 63% opbrengstderving t.o.v. de potentiële *kVEM* opbrengst.

Herinzaai is duur (€ 300,- zaaizaad en 11 uur arbeid gemiddeld à €70,- = €1070,-) en de extra kosten ten opzicht van de herinzaaikosten op een optimale graslandbodem, moeten eveneens als een relatieve opbrengstderving in mindering worden gebracht.

Stel het praktisch potentiële saldo van grasland op €2550,- /ha, dan bedraagt dit saldo in ons voorbeeld 37% (63 % derving, zie hierboven) hiervan: € 944,- /ha/jaar.

Elke 8 jaar graslandvernieuwing kost $1070/8 = € 134,-/ha/jaar$. Op een optimale graslandbodem is het bedrijfseconomisch optimaal om 1 maal per 10 jaar graslandvernieuwing plaats te laten vinden en bedragen de kosten daarvan $1070/10 = € 107,-$ per jaar. De extra kosten voor

graslandvernieuwing in ons voorbeeld bedragen derhalve $134-107 = \text{€ } 27,-$ per jaar, overeenkomend met een relatieve opbrengstderving van $27/944 = 3 \%$.

De gezamenlijke opbrengstderving door een te kort groeiseizoen, de (hierdoor extra) degeneratie van de botanische samenstelling en de gemiddelde jaarlijkse kosten voor graslandvernieuwing bedraagt dan $63\% + 3/100 \cdot (100-63) = 64 \%$.

Gezien het rendement van (de vaste kosten voor) herinzaai sterk afhangen van de netto mogelijke grasopbrengst (droogteschade, lengte groeiseizoen e.d..) is de herinzaaifrequentie voor de (melk)veehouder een optimalisatieparameter. Met het bij dit rapport behorende excelprogramma is de optimale herinzaaifrequentie eenvoudig vast te stellen.

In dit voorbeeld leidt een herinzaaifrequentie van 5 jaar tot het hoogste graslandsaldo voor dit perceel.

3.4 “Te laat”-schade: overig grasland

Vleesvee en hobbydierhouderij

Voor grasland ten behoeve van hobbydieren is een hoge *kVEM*-waarde en eiwitgehalte van het gras van veel minder belang of (paarden en vleeschapen) zelfs ongewenst. Het saldo kan hier rechtstreeks van de droge stofopbrengst worden afgeleid en er hoeft geen rekening te worden gehouden met degeneratie van het gras en herinzaaikosten. Grasland voor vleesvee bevindt zich wat dit betreft tussen melkveegrasland en grasland t.b.v. hobbydierhouderij.

Recreatie

Voor sportvelden, kampeerterreinen en parken kan de derving wel worden afgeleid uit de omgekeerd rechtevenredige relatie met de lengte van het relatieve groeiseizoen (bijv. RLG: 0,8 = 20% derving): hier bepaalt immers niet de grasgroei de mate van opbrengstderving maar de mate waarin de gewenste gebruiksduur van deze terreinen afneemt.

3.5 “Te laat” schade: meerjarige akker- en tuinbouwteelten

Asperge, boom-en fruitteelt, wintertarwe, in het najaar geplante bloembollen.

Bij overige meerjarige of overwinterende teelten (asperge, bloembollen, fruit, wintertarwe, boomteelt) vindt geen (uitgestelde) voorjaarsbewerking of zaaien/poten plaats. De natschade in deze gewassen wordt veroorzaakt door vertraagde groei als gevolg van een te koude wortelzone en zuurstoftekorten in de wortelzone in het voorjaar. Voor tulpen en narcissen met een zeer steile groeicurve treedt nauwelijks een inhaaleffect op na een vertraagde voorjaarsgroei en kan de derving hierdoor worden benaderd door de groeicurve in figuur 1 met het aantal dagen “te laat” (aantal dagen na 15 februari –*veeljarig gemiddeld klimatologisch/fysiologisch het begin van de hergroei*- waarop de bewerkbaarheidsgrondwaterstand wordt bereikt) naar rechts te verschuiven maar bij behoud van de oogstdatum. Figuur 4 geeft het resultaat hiervan.

Voor de overige overwinterende teelten kan de derving door een te late start in het voorjaar worden afgeleid uit een groeicurve voor een eenjarige teelt met een corresponderende lengte van het groeiseizoen. Voor klein fruit, asperge en in het voorjaar geplante bloembollen kan de groeicurve voor aardappelen worden gebruikt; voor wintertarwe de curve voor zomertarwe; en voor boomteelt en grootfruit de curve voor suikerbieten.

De opbrengstderving bij meerjarige / overwinterende gewassen door een te natte bodem in het voorjaar is echter niet één op één gelijk aan die voor eenjarige teelten met een vergelijkbare groeicurve: het overwinterende gewas hoeft in het voorjaar niet te wachten tot de grondbewerking kan worden uitgevoerd en er kan worden gezaaid of gepoot; het zit al in de grond en ondervindt alleen een vertraagde hergroei. De derving van deze teelten kan worden benaderd door de derving van de corresponderende eenjarige teelt te halveren.

Voor wintertarwe moet daarbij nog worden gecorrigeerd voor de wintergroei: ca 15% van de potentiële groei is in het voorjaar reeds bereikt en deze kan in de praktijk worden veilig gesteld door, indien de bodem ook in het najaar vroeg nat is, eerder in het najaar te zaaien.

De resulterende rekenregels voor de derving a.g.v. een tekort groeiseizoen voor overwinterende akker- en tuinbouwteelten staan onder figuur 4 in de volgende paragraaf vermeld.

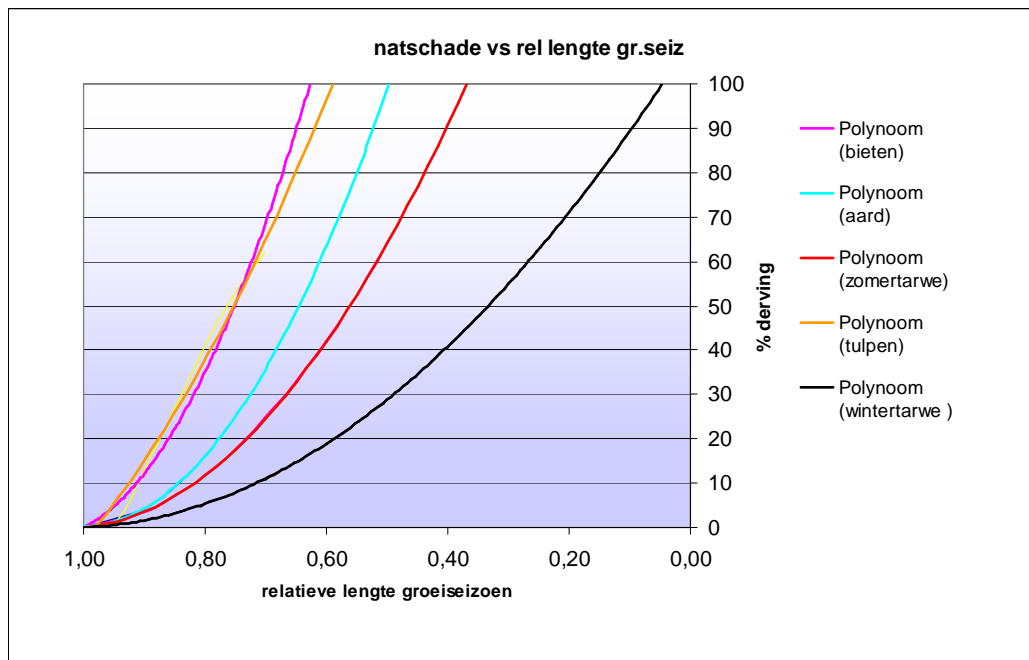
3.6 “Te laat” schade: Eenjarige akker- en tuinbouwteelten

De resultaten uit de praktijkproeven naar de derving van een te late kieming en begingroei van eenjarige gewassen en de hierboven gegeven uitwerking voor wintertarwe en tulp/narcis staan weergegeven in figuur 4 (naar: *Jorritsma 1975, Sloots 1971, V. Wijk et al, 1988, Wind 1960, Witney en Elbanna, 1985, Bray en Thompson, 1985, Boer 1985, Ten Hag et al, 1984*)

waarbij het “aantal dagen te laat” is uitgedrukt in relatieve lengte van het groeiseizoen.

Volgens *PAGV 1982 en Van Wijk et al (1988)* kan voor gezaaide groenteteelten de groeicurve voor suikerbieten worden toegepast; voor geplante groenten de curve voor aardappelen.

Figuur 4. Veeljarig gemiddelde opbrengstderving door laetheid van de grond, indien gewacht tot structuurschade wordt vermeden



De lijn voor tulp / narcis blijkt nauwelijks te verschillen van die voor suikerbieten waardoor er een viertal basale en twee daarvan afgeleide “te laat schadelijnen” overblijven:

(RLG = relatieve lengte groeiseizoen):

a1 bieten, tulp, narcis: % opbrengstderving= $538 \times RLG2 - 1144 \times RLG + 606$

a2 boomteelt, groot fruit, gezaaide groenten; bosbouw:

% derving= $(538 \times RLG2 - 1144 \times RLG + 606) / 2$

b zomergranen, maïs, graszaad

% opbrengstderving= $232 \times RLG2 - 475 \times RLG + 244$

c wintergranen (correctie voor 15% najaar- en wintergroei:

% derving= $(232 \times RLG2 - 475 \times RLG + 244) \times 0,85 / 2$

d1 aardappelen, % opbrengstderving= $392 \times RLG2 - 785 \times RLG + 393$

d2 niet gezaaide (geplante) groenten, asperge, dahlia, hyacint, klein fruit

% opbrengstderving= $(392 \times RLG2 - 785 \times RLG + 393) / 2$

In ons pootaardappelvoorbeeld (RLG= 0,68) bedraagt de “te laat schade” (regel c1):

$392 \times 0,682 - 785 \times 0,68 + 393 = 392 \times 0,50 - 785 \times 0,71 + 393 = 40 \%$.

Deze schade is de zuivere schade door te laat bewerken als gevolg van een suboptimale grondwaterstand (bijlage 1) en treedt op in sterk lemig zand. Sommige bouwvoor-texturen zijn minder optimaal voor kieming en begingroei en zijn ook bij een optimale ontwatering daardoor “later” dan lemig zand. Het sterkst geldt dit voor zware klei: hoe diep de voorjaarsgrondwaterstand ook is; deze gronden blijven een dag of tien achter (natter) ten opzichte van lemig zand en kieming en begingroei zal ook op andere gronden bij de meeste teelten altijd achterblijven bij de opkomst en beginontwikkeling op lemig zand of op zeer lichte zavel. Ook leemarm zand en veenbovengronden blijven achter bij lemig zand door dat deze sterker opdrogen (tragere kieming) dan lemig zand. Bij de hierboven afgeleide zuivere ‘te laat schade’ moet voor een aantal texturen hun “basis”schade worden opgeteld (*Van Wijk et al, 1988*):

Tabel 6. Onvermijdelijke beginsschade a.g.v. textuur effecten

Textuur	% extra schade door trage kieming, opkomst, (begin-/door-)ontwikkeling		
	Zaai-, plant- en pootgoed, klein fruit	granen, maïs, graszaad	gras, bos, groot fruit, boomteelt,
Moerig	6	5	0
Kleilig zand	2	1	0
Leemarm zand	5	4	0
Dekzand	5	2	0
(matig) sterk lemig zand	0	1	0
löss	2	2	0
zeer lichte zavel	1	0	0
matig lichte zavel	1	0	0
zware zavel	4	2	0
klei	4	4	0
zware klei	12	6	0

In ons pootaardappelvoorbeeld (dekzand) moet de 40 % "te laat" schade door een onvoldoende diepe voorjaargrondwaterstand worden verhoogd met 5 % textuurgebonden schade en bedraagt $40 + (100 - 40) \times 5/100 = 43$ %.

Zoals eerder aangegeven, indien de bewerkbaarheids-grondwaterstand ondieper is dan de hoogste regimegrondwaterstand, is er geen opbrengstderving door een te hoge voorjaarsgrondwaterstand. Bovenstaande textuurgebonden basisschade treedt echter altijd op, ook bij zeer diepe voorjaarsgrondwaterstanden.

De aldus vastgestelde opbrengstderving treedt op indien er zo lang gewacht wordt als nodig is om de grond zonder structuurschade te kunnen bewerken. In de praktijk wordt er nogal eens structuurschade geaccepteerd ("de landbouwer kijkt in maart naar zijn grond; in april met een schuin oog naar de kalender en in mei alléén nog naar de kalender"). De schade door te laat bewerken en zaaien/planten wordt, hoe verder het voorjaar vordert, minder groot geacht dan de structuurschade door de grond te nat te bewerken. Dit geldt weliswaar voor (een groot deel) bij een te natte oogst waarna de structuurschade voor het volgende gewas ("over de vorst") door een extra diepere grondbewerking (deels) weer kan worden hersteld.

Voor te natte voorjaarsbewerkingen is dit zeer de vraag: de structuurschade kan nadien niet meer tijdens het lopende groeiseizoen worden hersteld en het gewas riskeert hierdoor niet alleen zuurstoftekort tijdens en na regenperiodes, maar ook denitrificatie (dus het niet benutten) van N-meststoffen, verhoogde ziektedruk, en droogteschade doordat de wortelontwikkeling en bewortelingsdiepte door de structuurschade wordt beperkt.

Deze gevolgen van structuurschade zijn daarom minstens zo groot geacht (kwantitatieve onderzoekresultaten hiernaar ontbreken helaas) dan de "te laat schade" als gevolg van het wachten tot de bewerkbaarheids-grondwaterstand is bereikt.

Onvoldoende doorlatendheid

Naast de in deze paragraaf behandelde natschade door te hoge grondwaterstanden, kan er natschade optreden door een onvoldoende (water)doorlatendheid van de bodem door een te dichte bodemstructuur, hetzij met een geogene oorsprong zoals interne slemp; dan wel een secundair gevolg van langdurig hoge grondwaterstanden (semi-permanente zwel); te nat bereden en bewerkt (structuurschade). Ook textuursprongen (onvoldoende onverzadigde doorlatendheid in het natte K-h traject) kunnen tot extra natschade leiden.

Hoewel sommige oorzaken samenhangen met intrinsieke bodemeigenschappen kunnen zij nagenoeg alle met een profielingreep ("grondverbetering"), een aangepaste buisdrainage (met "grove sleufvulling") of met een aangepaste bodembehandeling (specifieke grondbewerking) worden verholpen. Deze aspecten worden verderop in hoofdstuk 8 behandeld.

4 Droogteschade

Voor landbouwgewassen blijkt er een lineaire relatie te bestaan (gemiddeld over alle gewassen ca. 1 op 1) tussen droge stofproductie en gewasverdamping (*De Wit 1958, Rijtema 1968, Feddes 1985*). De gewasopbrengst verhoudt zich tot de potentiële opbrengst als de actuele verdamping tot de potentiële verdamping van het gewas. De helling van die lijn is afhankelijk van de plantensoort en de (gemiddelde) luchtvochtigheid (*Wesseling 1957, De Wit & Alberda, 1961*). De invloed van de chemische bodemvruchtbaarheid (plantenvoedingsstoffen) op de helling van de lijn is gering: als planten suboptimaal worden bemest is zowel de groeisnelheid als de verdamping evenredig lager (*Tanner & Sinclair, 1963; Van der Keulen, 1975*).

Suboptimale bemesting leidt wél tot een geringere verdamping en dus benodigde bodemvochtlevering doch in deze nota is de bemestingstoestand optimaal verondersteld. Indien de bodemvochtlevering geringer is dan de verdampingsvraag reageert de plant met het sluiten van de huidmondjes en beschermt zichzelf tegen uitdroging. Minder verdamping betekent echter ook minder stoftransport in de plant en daarmee minder groei.

Droogteschade is daarmee afhankelijk van de mate waarin de bodemvochtlevering toereikend is voor de verdampingsvraag.

In ons klimaat blijkt er jaarlijks in de zomerperiode slechts één uitgesproken periode te zijn met een groot cumulatief neerslagtekort –of: verdampingsoverschot- (*Huinink, 2001*). De droogteschade in een jaar is dan ook afhankelijk van de mate waarin de bodemvochtlevering tegemoet komt aan het maximale cumulatieve neerslagtekort in dat jaar (bijlage 1). Indien de gewasverdamping wordt geremd, wordt de productie evenredig sterk geremd of stopt zelfs, indien verwelking optreedt. Minder verdamping betekent minder gewasgroeidagen (minder productiedagen); en het aantal mindere productiedagen t.o.v. maximale productiedagen komt overeen met de droogteschade (%).

Droogte: vaststelling van de schade

Het principe van de droogteschadeberekening is dat berekend wordt of de hoeveelheid hangwater voldoende is om de periode met de maximale cumulatieve droogte (voortschrijdend neerslagtekort) te overbruggen. Zoniet, wordt berekend of de capillaire nalevering voldoende aanvulling kan geven om de droogteperiode te kunnen doorstaan. Een suboptimale verdamping wordt daarbij omgerekend naar het verlies aan groeidagen (productiedagen) en gerelateerd aan het potentiële aantal groeidagen. (*Cult. tech. Vad. 1998; Van der Sluijs, 1993*).

De droogteschade wordt vastgesteld door het bodemvochtleverend vermogen van een grond te relateren aan de veeljarig gemiddelde droogteschade die zou hebben plaats gevonden op eenzelfde bodem met eenzelfde bodemvochtlevering op het meest nabije KNMI hoofdstation. (bijlage 2). Hiervoor is voor elk KNMI hoofdstation voor 30 afzonderlijke achtereenvolgende jaren de droogteschade voor het referentiegewas (gras) vastgesteld bij een 4-tal waarden voor interceptiehoeveelheid (neerslag die aan het gewas blijft “hangen” en niet beschikbaar komt in de wortelzone voor gewasverdamping) en bij een twaalfstal bodemvochtleveringen (10 – 250 à 300 mm). Hiertoe is het daadwerkelijk opgetreden neerslagoverschot in droge periodes verminderd met de bodemvochtlevering.

Voor elke bodemvochtlevering zijn vervolgens per KNMI-station en per interceptiewaarde (gras en laag groeiende natuur, akker- en tuinbouw, naaldbos en loofbos) de 30 droogteschades gemiddeld tot een veeljarige gemiddelde droogteschade.

Door nu voor een gegeven bodem de (veeljarig gemiddelde) bodemvochtlevering vast te stellen en deze te vergelijken met de veeljarig gemiddelde droogteschade (per interceptiewatergroep) die voor deze bodem-bodemvochtleveringcombinatie bij het meest nabije KNMI station zou zijn opgetreden, kan de droogteschade worden afgeleid.

Van belang is hierbij dat de berekende bodemvochtlevering overeenkomt met de bodemvochtlevering die veeljarig gemiddeld beschikbaar is. Hiertoe is voor de berekening van de bodemvochtlevering uitgegaan van

- 1 De zgn. regimecurve: een sinusoïdaal grondwaterstandsverloop tussen 15 februari (=GHG bij natuurlijke gw-fluctuatie) en 15 augustus (GLG bij een natuurlijk gws verloop)
- 2 een gemiddelde referentie-(gras)verdampingsvraag van 1,45 mm/dag in cumulatieve droogteperioden (*Huinink, 2001*)
- 3 begin van de droogteperiode: gemiddeld op 27 april (*Huinink, 2001*).

De bodemvochtlevering wordt berekend voor de veeljarig gemiddelde situatie: in een eerste stap met de hangwaterhoeveelheid op 27 april; veeljarige gemiddeld het begin van de grootste cumulatieve droogteperiode. Deze hoeveelheid hangwater wordt gedeeld door 1,45 mm en dit geeft het aantal dagen na 27 april waarop verdroging op de betreffende bodem begint indien er geen capillaire nalevering optreedt.

Vervolgens wordt berekend of, en zo ja tot hoe lang, er na het opraken van de hoeveelheid hangwater in de wortelzone, er voldoende capillaire nalevering optreedt.

De capillaire nalevering breekt af op de dag dat de grondwaterstand op een z-afstand voor 1,45 mm/dag onder de effectieve wortelzone is gedaald. Ook deze dag kan uit de regimecurve worden afgeleid.

Het laatste dagnummer uit deze twee (dag waarop hangwater is verbruikt dan wel de capillaire nalevering stagneert) wordt verminderd met 117 (=27 april; gemiddeld de begindag van de grootste cumulatieve droogteperiode) en de uitkomst (aantal dagen voldoende vochtlevering) vermenigvuldigd met 1,45 mm/dag. Dit geeft de bodemvochtlevering (mm).

De hoeveelheid hangwater en hoeveelheid potentiële capillaire nalevering worden dus niet bij elkaar opgeteld; bij hoge grondwaterstanden in het begin van de droogteperiode is er weliswaar potentieel een grote capillaire nalevering mogelijk, doch in de praktijk wordt dit niet benut in bodems waar de grondwaterstand (mede) daalt als gevolg van wegzijging. Als er wegzijging optreedt (de GLG is in die gronden dieper dan de z-afstand vlg figuur 5 vermeerderd met de effectieve bewortelingsdiepte) is dit sterkst in het begin van het groeiseizoen en wordt geleidelijk nul als de GLG wordt bereikt. De grondwaterstanddaling in het begin van het groeiseizoen wordt dan niet of slechts in geringe mate door capillaire nalevering veroorzaakt en overwegend door wegzijging.

In bodems waar geen wegzijging of zelfs kwel optreedt (GLG is gelijk aan, resp. hoger dan de dan de z-afstand vlg figuur 5 vermeerderd met de effectieve bewortelingsdiepte) wordt de hoeveelheid hangwater nagenoeg het gehele groeiseizoen continue aangevuld. De datum waarop het gewas van capillaire nalevering afhankelijk wordt, wordt met de hier gebruikte methodiek onderschat, maar de droogteschade niet (nihil in dergelijke bodems).

De vertaling van bodemvochtlevering (mm) naar opbrengstderving (veeljarig gemiddelde droogteschade) kan plaatsvinden met behulp van tabel 10.

Deze tabel geldt voor het referentiegewas gras. Voor andere gewassen moet deze droogteschade worden gecorrigeerd op basis van de gewasfactor (afwijkende verdamping ten opzichte van gras) en afwijkende lengte van het groeiseizoen.

Vaststelling van de Bodemvochtlevering

De bodemvochtlevering bestaat dus uit twee potentiële vochtcomponenten:

- 1 Hangwater in de wortelzone
- 2 Capillaire nalevering vanuit het grondwater.

Beide worden bepaald door de bewortelingsdiepte, de grondwaterstandfluctuatie en de fysische eigenschappen van de grond.

Hierbij worden 2 verschillende worteldieptes gebruikt: de **totale worteldiepte** voor de vaststelling van de hoeveelheid hangwater en de **effectieve worteldiepte** (diepte waarbinnen zich 80% van de wortelmasse bevindt) voor de capillaire nalevering. De reden hiervoor is dat de diepste wortels in aantal zo beperkt zijn dat zij niet in staat zijn voldoende vocht met een flux van 1,45 m/dag vanuit het grondwater op te nemen om aan de verdampingsvraag van de gehele plant te kunnen voldoen. Uit onderzoek is gebleken dat hier ca. 20 % van de (diepste) wortelmasse voor nodig is.

4.1 Hangwatervocht (productief vocht in de wortelzone).

Zodra de wortelzone verder uitdroogt dan een drukhoogte $h = \leq -500$ cm (pF 2,7) begint er opbrengstderving door verdroging op te treden. De hoeveelheid vocht die voordien uit de wortelzone kan worden opgenomen wordt *productief vocht* of kort: (*productief*) *hangwatervocht* genoemd.

Veeljarig gemiddeld begint op 27 april de periode met het grootste cumulatieve neerslagtekort. Het gemiddelde vochtgehalte in het bodemprofiel rond 27 april vormt dan ook de referentiesituatie voor de hoeveelheid beschikbaar hangwatervocht.

In theorie bestaat er enkele dagen na een natte periode een zgn. hydrostatisch evenwicht in de bodem waarin de uitdrogingstoestand op elke diepte (uitgedrukt in drukhoogte waterkolom h) gelijk is aan de negatief genomen afstand tot de grondwaterspiegel. In de praktijk blijkt dit in het voorjaar alleen het geval te zijn bij grondwaterstanden ondieper dan 50 cm in de bodem. Bij diepere grondwaterstanden duurt het - zeker bij kleigronden- aanzienlijk langer dan slechts enkele dagen voordat hydrostatisch evenwicht bereikt is en blijft de uitdrogingstoestand van de bovengrond 'hangen' op ca. $h = -50$ cm.

Voorbeeld: 30 cm dikke wortelzone, grondwaterstand 60 cm-maaiveld.

Aan de bovenkant van de wortelzone (maaiveld): correspondeert de uitdrogingstoestand enkele dagen na regen niet met hydrologisch evenwicht ($h = -60$ cm) maar met $h = -50$ cm.

De uitdrogingstoestand aan de onderkant van de wortelzone zou $h = -30$ cm (afstand tot de grondwaterstand) bedragen bij hydrostatisch evenwicht: doch omdat de drukhoogtegradiënt tussen maaiveld en 60 cm diepte (grondwaterstand) geen -60 cm maar -50 cm bedraagt; is de drukhoogte op 30 cm diepte $-50 - (30/60 \cdot -50) = -25$ cm,

De gemiddelde uitdrogingstoestand in de wortelzone bedraagt $(-50 + (30/60 \cdot -50)) / 2 = h = -37,5$ cm. De hoeveelheid vocht tussen deze $h = -37$ cm en $h = -500$ cm kan uit de vocht karakteristiek (tabel 8) van dat bodemtype worden gelezen en bedraagt (omgerekend tot mm waterschijf) de hoeveelheid hangwatervocht.

Deze hoeveelheid hangwatervocht hangt derhalve hangt af van de van de dikte van de wortelzone en de grondwaterstand indien deze hoger is dan 50 cm-maaiveld.

Dikte van de wortelzone

De meest gronden zijn bewortelbaar, behalve humusarm materiaal met minder dan 12 % lutum of minder dan 20 % leem; deze zijn gewoonlijk te dicht. Uitsluitel geeft de indringingsweerstand (1 cm^2 conusoppervlak; meten bij $h = -100\text{ cm}$). Indien de lw hoger is dan 2,5 MPa is er nagenoeg geen beworteling mogelijk. Ook wordt de beworteling sterk geremd door een plotselinge stijging van lw: een toename van meer dan 0,2 MPa over een diepte van minder dan 5 cm is eveneens stagnerend voor de beworteling.

Daarnaast is er geen beworteling mogelijk in materiaal met pH_{KCl} kleiner dan 3; en evenmin binnen 10 à 25 cm boven de grondwaterspiegel (resp. grof zand / zavel-klei-löss).

Naast beperkingen die de bodem aan de beworteling kan stellen bestaan er plantfysiologische beperkingen; niet alle gewassen kunnen een diep doorwortelbare grond ook diep doorwortelen.

Tabel 7 geeft de fysiologische verschillen weer tussen de diverse gewassen .

Tabel 7 Fysiologische gewaseigenschappen

	worteldiepte (m)		Verdampingsfactor t.o.v gras
	Maximaal	effectief	
Naaldbos	2	1	0,7
Loofbos	4	1,5	0,7
groot fruit	1,7	0,8	0,7
klein fruit (aardbeien,bessen)	0,6	0,4	0,8
Aardappelen	0,65	0,4	1,1
Pootaardappelen	0,6	0,4	1,1
Fabrieksaardappelen	0,65	0,5	1,1
Suikerbieten	1,7	0,8	0,8
Wintertarwe	1,2	1	1,1
Zomergerst	1	0,6	1,1
Snijmaïs	1,1	0,9	1
laanbomen/onderstammen	0,9	0,7	0,8
Overige boomteelt	0,4	0,3	0,8
Graszaad	1,1	0,7	1
Asperge	1,4	0,7	n.v.t.
Schorseneren	0,55	0,45	n.v.t.
prei, spruiten,	0,35	0,25	1
erwten, bonen, koolsoorten	0,7	0,45	1
Witlof	0,8	0,6	0,5
tulpen, narcis	0,4	0,3	1,4
hyacinten, dahlia's	0,4	0,3	1,4
bladgroenten, bospeen	0,4	0,3	1,2
Beweid/gemaaid gras	0,45	0,07	1
Plantsoenen	0,5	0,07	1
Gazons	0,5	0,07	1
kampeerterrainen, speel- en ligweiden	0,5	0,1	1
Sportvelden	0,4	0,05	1

Behalve van de bewortelingsdiepte is de hoeveelheid hangwater afhankelijk van de grondwaterstand indien deze eind april hoger is dan 50 cm onder de bewerkbaarheidsdiepte.

Omdat veeljarig gemiddeld de grootste cumulatieve droogteperiode op 27 april begint (het hangwatervocht wordt aangesproken) berekenen we de hoeveelheid hangwater op die datum, dus bij de veeljarig gemiddelde grondwaterstand op dag 117.

Deze grondwaterstand kan uit de regimecurve worden bepaald (zie voor een toelichting par. 3.2 en bijlage 3).

Deze begin-droogte-grondwaterstand kan worden berekend met:

$$\text{grondwaterstand op dagnummer 117 (27 april)} = \\ (\text{reg.gws15aug.} + \text{reg.gws15febr.}) / 2 + (\text{reg.gws15aug} - \text{reg.gws15febr.}) / 2 \times \text{SIN} [(117-137) \times 0,01726]$$

In ons voorbeeld vinden we op 15 februari de GHG van 25 cm-mv en op 15 augustus de GLG van 150 cm-mv (de rekenregel werkt overigens ook indien de gws in augustus hoger is dan in februari; i.e. bij infiltratie), waardoor de begindroogte-gws (veeljarig gemiddeld de gws op 27 april) gelijk is aan:

$$(150+25)/2 + (150-25)/2 \times [\text{SIN}(117-137) \times 0,1726] = 87,5 + 62,5 \times \sin [(-20) \times 0,01726] = \\ 87,5 + 62,5 \times -0,913 \times 0,01726 = 52,5 - 4,3 = 66 \text{ cm-mv.}$$

Let op: bij gebruik van een zakrekenapparaat: deze in stellen in de modus: radiaalen!

Vervolgens wordt de totale bewortelingsdiepte bepaald (ondiepste waarde uit bodemopbouw of plantfysiologische beperking) en vervolgens de gemiddelde drukhoogte in de wortelzone op 27 april (gemiddelde begin droogteperiode).

Ons voorbeeld: poot aardappel teelt op

- 0-30 cm: humeus (4 %) zwaklemig (14 %) dekzand, pH 5,1, lw 1,8 Mpa,
- 30-50 cm: sterk lemig (25 %) zand, pH 4,8, lw 2,2 Mpa
- 50-80 cm: leemarm (8 %) zand, pH 4,7, lw 2,4 Mpa
- 80- 150 cm: veen, pH 2,8, lw 0,7 Mpa
- (GHG: 25 cm-mv, GLG 150 cm-mv.

Bodemkundig is de beworteling beperkt door het zure veen (vanaf 80 cm diepte).

Fysiologisch is de totale bewortelbaarheid echter al beperkt tot 60 cm en de effectieve bewortelbaarheid tot 40 cm (tabel 7). Hydrologisch is in deze bodem de totale worteldiepte beperkt tot 10 cm boven de 27 april-grondwaterstand; dus tot 66-10=56 cm. In deze bodem bedraagt de totale worteldiepte voor poot aardappelen derhalve 56 cm en de effectieve: 40 cm.

Omdat de gws aan het begin van de droogteperiode (66 cm-mv; zie hierboven) dieper dan 50 cm bedraagt zal de bodem nog niet sterker uitgedroogd zijn dan h=-50 cm. Bij een gws op 27 april van 66 cm bedraagt het drukhoogteverloop:

0 (maaiveld)	h = - 50 cm (géén -66 cm)
30 (overgang bouwvoor – sterk lemig zand)	h = (66-30)/66 x -50 = - 27,3 cm
50 (overgang sterk lemig –leemarm zand)	h = (66-50)/66 x -50 = - 12 cm
56 (onderkant wortelzone)	h = (66-56)/66 x -50) = - 7,5 cm
66 (gws 27 april)	h = 0 cm

De gemiddelde uitdrogingstoestand per laag bedraagt $(h_{\text{bovenkant}} - h_{\text{onderkant}}) / 2$.

Dus voor laag:

$$\begin{aligned} (-50 + -27,3) / 2 &= - 38,7 \text{ cm} \\ 30-50 (-27,3 + -12) / 2 &= - 20 \text{ cm} \\ 50-56 (-12 + -4,5) / 2 &= -10 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dieper dan 56 cm is in dit voorbeeld niet meer relevant omdat de wortelzone tot deze diepte beperkt is.

Nadat per bewortelbare laag de gemiddelde drukhoogte is vastgesteld kan de gemiddelde volumefractie hangwatervocht in de wortelzone worden bepaald.

Tabel 8 geeft hiervoor gemiddelde waarden weer die zijn afgeleid uit een groot aantal vocht karakteristieken (Staringreeks, 1994).

Tabel 8. Volumefracties productief vocht

volumefractie vocht tussen $h=-500$ en $h=$:

	0	-35	-50
zand: 0-10 % leem	0.36	0.30	0.11
10-20 % leem	0.26	0.21	0.17
>20 % leem	0.3	0.22	0.17
löss:	0.15	0.11	0.09
zavel: 8-17 % lutum	0.18	0.14	0.12
17-25 % lutum	0.14	0.10	0.09
klei: 25-35 % lutum	0.11	0.08	0.07
> 35 % lutum	0.06	0.05	0.045
veen:	0.31	0.23	0.20

Voor ons poot aardappel voorbeeld met een begindroogte gws van 66 cm bedraagt de gemiddelde hoeveelheid hangwatervocht (interpoleren in tabel 8) op 27 april:

In de bouwvoor: $h_{gem.} = -39$ cm vol.fr.vocht: 0,20
 In de 20 cm sterk lemig zand: $h_{gem.} = -20$ cm vol.fr.vocht: 0,25
 In het 10 cm doorwortelbare deel
 van het leemarme zand: $h_{gem.} = -10$ cm vol.fr.vocht 0,34

De gevonden volumefractie productief vocht, vermenigvuldigd met de wortellaagdikte (in mm) geeft de hoeveelheid productief vocht (hangwatervocht) in de wortelzone ; $300 \cdot 0,2 + 200 \cdot 0,25 + 60 \cdot 0,34 = 60 + 50 + 21 = 131$ mm.

De veeljarig gemiddelde vochtbehoefte in de cumulatieve droogteperioden bedraagt 1,45 mm/dag (Huinink, 2001). De hoeveelheid hangwatervocht delen door 1,45 resulteert in het aantal dagen na 27 april waarop veeljarig gemiddeld het hangwater verbruikt is.

In bovenstaand voorbeeld is dat $131/1,45 = 90$ dagen na 27 april (dag 117) = dagnr 207.

4.2 Capillaire nalevering.

Nadat de datum is vastgesteld waarop veeljarig gemiddeld de hangwatervoorraad is verbruikt wordt vastgesteld of wellicht met capillaire nalevering er een langdurige vochtleverantie mogelijk is, i.c.

- 1 bij welke gws de capillaire nalevering naar de wortels minder dan 1,45 mm/dag wordt
- 2 wanneer deze grondwaterstand wordt bereikt.

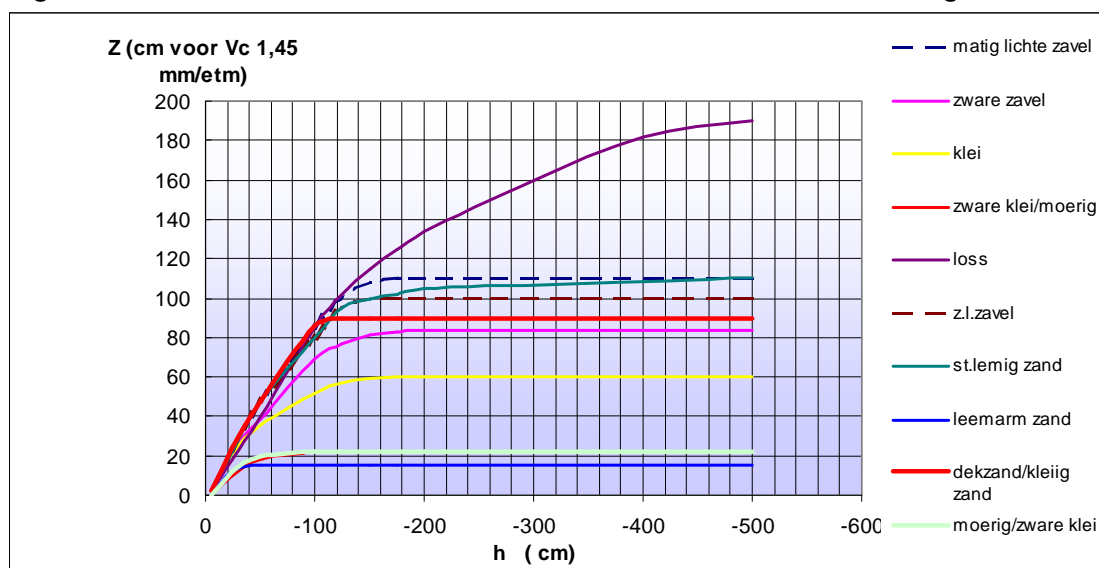
Ad 1 Z-afstanden voor 1,45 mm/dag.

Tabel 9 (gevisualiseerd in figuur 5) geef de z-h relatie voor een twaalfstal hoofd-bodemtypen. Bij de meeste gewassen begint de droogteschade (en neemt deze snel toe) zodra de uitdrogingstoestand kleiner (negatiever) wordt dan h= -500 cm.

Tabel 9. Z-afstanden (stijghoogten) voor 1,45 mm/dag bij h = -500 cm

h (cm)	-500	-400	-300	-200	-175	-150	-125	-100	-50	-20	-5	0
leemarm zand	15	15	15	15	15	15	15	15	15	12	1	0
kleiig/dek zand	90	90	90	90	90	90	90	86	48	24	2	0
sterk lemig zand	110	109	107	105	103	100	95	80	48	22	2	0
löss	190	182	160	134	125	115	102	85	40	18	2	0
z.l.zavel	100	100	100	100	100	100	95	80	48	22	2	0
m.l. zavel	110	110	110	110	110	108	100	85	47	23	0	0
zwave zavel	84	84	84	84	83	77	69	39	23	0	0	0
lichte klei	60	60	60	60	60	59	57	52	36	21	0	0
klei/veen	22	22	22	22	22	22	22	22	18	10	0	0

Figuur 5. Z-h relaties voor de 12 meest voorkomende bodemsamenstellingen



Uit tabel 9 en figuur 5 blijkt dat in homogene bodems de grondwaterstand tot onderstaande diepte onder de effectieve wortelzone mag dalen voordat de bodemvochtlevering stagneert:

Leemarm, (matig) grof zand:	18 cm	Matig lichte zavel:	110 cm
Kleiig zand, dekzand	90 cm	Zwavel zavel	84 cm
Sterk lemig zand:	110cm	Lichte klei:	60 cm
Löss:	190 cm	Veen/zwave klei:	22 cm
Zeer lichte zavel:	100 cm		

Bij een heterogene bodemopbouw moeten lijnstukken uit de z-h relaties van de afzonderlijke bodemtypen worden ‘gestapeld’.

In ons voorbeeld reikt de effectieve wortelzone (pootaardappelen) tot 40 cm en bedraagt de bodemopbouw daaronder:

40-50 cm: sterk lemig zand:

1,45 mm/dag over 10 cm bij een drukhoogte van -500 cm aan de bovenzijde (z=110 cm), vergt een drukhoogte van -150 cm aan de onderzijde (z=110-10=100cm; tabel 9, rij 3, 2e kolom en 7e kolom);

50-80 cm: leemarm zand:

Bij een beschikbare drukhoogte van h = -110 cm of kleiner, dus ook bij de beschikbare h = -150 cm aan de bovenzijde van deze laag is de z-afstand voor 1,45 mm/dag maximaal 15 cm (tabel 9, 1e rij, tussen 8e en 9e kolom).

Deze z-afstand is minder dan deze laagdikte en de grondwaterstand voor een capillaire nalevering van 1,45 mm/dag bevindt zich in deze bodem op 15 cm in het leemarme zand: op 65 cm-mv dus.

Met andere woorden: de totale z afstand voor 1,45 mm/dag in dit profiel bedraagt 10+15=25 cm. Zodra de grondwaterstand 25 cm onder de effectieve wortelzone daalt (die is 40 cm, dus een gws op 65 cm-mv) breekt de capillaire nalevering spoedig af en eindigt de bodemvochtlevering.

Ad 2. De dag waarop de grondwaterstand deze diepte van 65 cm-mv heeft bereikt kan worden berekend met (bijlage 2);

dag met $Gwsx = \text{ARCSIN} \left\{ - \left[\frac{Gwsx - (\text{reg.gws15aug} + \text{reg.gws15febr})}{2} \right] / \left[\frac{(\text{reg.gws15aug} - \text{reg.gws15febr})}{2} \right] \right\} / -0,01726 + 137$

In ons voorbeeld (GHG 25, GLG 150) wordt de grondwaterstand van 65 cm-mv, veeljarig gemiddeld bereikt op dag: $\text{ARCSIN} \left\{ - \left[\frac{65 - (150 + 25)}{2} \right] / \left[\frac{(150 - 25)}{2} \right] \right\} / -0,01726 + 137 = \text{dag } 116$.

Dit is veel eerder dan de dag waarop het hangwater is verbruikt (dag 207) en de capillaire nalevering in deze voorbeeldbodem heeft geen betekenis voor de bodemvochtlevering.

De verdampingsvraag voor het referentiegewas (gras) bedraagt gemiddeld 1,45mm/dag en dit kan de voorbeeldbodem (indien het referentiegewas een bewortelingsdiepte zou hebben als pootaardappelen) tot dag 207 leveren. Uitgedrukt in mm bedraagt de bodemvochtlevering: (dag 207 – dag 117) * 1,45 = 131 mm.

4.3 Van bodemvochtlevering naar opbrengstderving

De vertaling van bodemvochtlevering naar opbrengstderving (veeljarig gemiddelde droogteschade) kan plaatsvinden met behulp van tabel 10. Deze is het resultaat nadat voor 30 afzonderlijke jaren, voor elk KNMI hoofdstation, voor 4 groepen interceptiewater en voor 12 stappen in bodemvochtlevering (van 10 tot 200 mm) jaarlijks de droogteschade voor het referentiegewas (met een referentiegewasverdampingfactor = 1) werd berekend uit de weergegevens (afzonderlijke cumulatieve droogteperiodes). Deze 30 droogteschades werden vervolgens gemiddeld tot een veeljarig gemiddelde droogteschade. Bijlage 2 geeft de details van de berekeningswijze en bevat de achterliggende tabellen voor elk KNMI hoofdstation.

Tabel 10. Veeljarig gemiddelde droogteschade voor het referentiegewas (gras), doch bij 4 hoeveelheden interceptiewater (gras, overige landbouw, naaldbos, loofbos) gemiddeld over de KNMI hoofdstations in West (kuststreek), Midden en Oost Nederland in % van praktisch potentiële opbrengst; voor leemarme / zwaklemige zandgronden en overige gronden (bijlage 2).

mm bodemvochtlevering	kustzone leemarme/zwaklemige zandgronden				Centraal Nederland +Twente leemarme/zwaklemige zandgronden				(zuid)oost Nederland excl. Twente leemarme/zwaklemige zandgronden			
	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	Loofbos	naaldbos
10	74,4	74,4	75,4	74,8	70,2	69,7	71,2	70,2	67,7	67,6	68,7	68,1
15	71,5	72,8	74,3	73,4	68,6	68,2	70,1	68,8	66,0	65,8	67,6	66,7
25	67,2	67,8	72,2	69,6	60,0	59,9	63,6	61,4	56,7	55,7	61,4	58,3
40	63,8	64,0	69,0	66,3	56,6	55,8	62,0	58,1	53,0	52,7	59,5	55,4
50	60,2	60,3	66,9	62,4	52,7	52,1	58,1	54,7	47,6	47,2	55,4	50,9
75	47,6	46,9	60,0	52,5	41,5	41,2	51,4	44,9	37,1	35,7	47,4	39,9
100	38,0	37,1	50,4	42,3	30,8	29,1	44,4	36,1	25,3	24,1	39,6	30,3
125	28,2	26,5	43,1	33,0	17,8	16,6	36,3	23,8	14,7	13,4	31,1	20,3
150	16,8	14,9	34,9	23,4	9,6	8,4	26,5	14,5	8,1	7,1	23,1	12,4
175	8,3	8,0	28,4	13,8	4,7	4,5	18,6	7,6	4,3	3,8	16,0	6,7
200	4,3	4,1	20,3	7,3	2,7	2,4	12,3	4,3	2,1	2,0	9,8	3,6
300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

mm bodemvochtlev	kustzone sterk lemig zand, zavel, klei, veen, loss				Centraal Nederland +Twente sterk lemig zand, zavel, klei, veen, loss				(zuid)oost Nederland excl. Twente sterk lemig zand, zavel, klei, veen, loss			
	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos
10	73,3	73,0	74,3	73,4	68,6	68,1	70,4	69,2	66,4	66,1	67,9	67,3
15	71,2	70,7	72,7	71,4	64,7	64,1	68,4	66,2	62,6	62,4	66,2	64,8
25	65,3	64,7	69,6	66,4	57,5	57,4	61,9	59,1	54,1	53,1	59,5	57,0
40	56,0	53,2	63,2	56,4	48,8	48,3	56,9	51,8	44,7	44,2	53,5	48,4
50	49,7	46,7	57,1	50,0	42,5	41,5	52,5	46,7	37,5	36,2	47,4	43,3
75	33,2	29,5	44,2	34,0	24,2	23,3	39,2	29,9	22,0	20,5	36,5	29,0
100	18,8	12,7	31,7	17,7	15,2	14,7	27,3	18,6	11,7	10,9	24,5	17,6
125	11,38	7,34	17,29	9,18	9,0	8,5	18,8	11,5	6,4	5,8	15,2	10,4
150	6,56	4,28	9,81	5,46	5,2	4,6	12,9	7,5	2,7	2,3	10,0	5,4
175	3,2	2,3	6,4	3,1	2,5	2,3	8,9	3,9	1,4	1,3	6,9	2,8
200	1,9	1,2	4,0	1,8	1,5	1,3	6,1	2,4	0,7	0,7	3,2	1,8
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

In voorgaande versies is de veeljarig gemiddelde droogteschade berekend op basis van de aanname dat deze correspondeert met de werkelijke droogteschade in een 30% (overschrijdingskans) droogtejaar. Om het bijbehorende grondwaterstandsverloop (en daarmee de bodemvochtlevering en droogteschade) in een 30% droogtejaar te benaderen werd de GLG hiertoe op basis van praktijkmetingen met een of meerdere decimeters verdiept. Latere studies (Huinink 2001) wezen uit dat het kansjaar waarin de werkelijk optredende droogteschade gelijk is aan de veeljarig gemiddelde droogteschade, afhankelijk is van de bodemvochtlevering. Dit kansjaar varieert tussen een 10 % droogtejaar bij > 175 mm bodemvochtlevering, en een 75 % droogtejaar bij 10 mm bodemvochtlevering. In de wijze waarop in de huidige beoordeling de bodemvochtlevering is bepaald (regimecurve) wordt verondersteld dat grotere droogteschade in droge jaren gecompenseerd wordt door evenredig minder droogteschade in natte zomers.

Deze aanname is in principe correct als in droge jaren het max. cumulatieve neerslag tekort relatief niet vaker later in het groeiseizoen optreedt en in natte jaren niet relatief vroeg in het groeiseizoen. In dat geval zou de droogteschade met deze systematiek worden onderschat. Uit Huinink 2001 (A-tabellen voor de KNMI stations) blijkt dat dit niet het geval is; als er een afhankelijkheid bestaat is de significantie laag en ligt die omgekeerd; juist in (zeer) natte jaren treedt de droogteperiode wat vaker aan het eind van het groeiseizoen op, in de 25% droogste jaren valt (het midden van) de droogte periode steevast in de periode tussen de 3e decade in mei en de 1e decade in juli. De regimecurve kan dus verantwoord worden gebruikt voor het vaststellen van de veeljarige gemiddelde droogteschade.

Gewascorrectie

De aldus berekende droogteschade geldt voor een vegetatie met een verdampingsfactor gelijk aan 1 (tabel 10) maar wel bij de met het gewas zelf corresponderende hoeveelheid interceptiewater (en bewortelingsdiepte).

Indien onze voorbeeldgrond met een bodemvochtlevering van 131 mm zich in Zuid Limburg zou bevinden bedraagt de veeljarig gemiddelde droogteschade voor gras (indien deze het bewortelingsgedrag van pootaardappelen in ons voorbeeld zou hebben) ca.12 % (bovenste helft van tabel 10; 2 na laatste kolom; interpoleren tussen 13,4 en 7,1 %). Op Texel bedraagt de droogteschade voor dezelfde grond ca. het dubbele (derde kolom; Interpoleren tussen 26,5 en 14,9 %).

Voor andere teelten dan gras kan de droogteschade worden afgeleid door te corrigeren voor de verdampingsfactor van dat gewas over de decades mei-III-t/m juli-I (veruit de meeste max.cum.droogteperiodes vallen in deze periode) en de potentiële lengte van het groeiseizoen van dat gewas.

Voor ons pootaardappelenvoorbeeld bedraagt de potentiële lengte van het groeiseizoen (tabel 2): $150+0=150$ dagen (voor gras: 255 dagen) en bedraagt de verdampingsfactor 1,1 (voor gras: 1).

De droogteschade voor pootaardappelen bedraagt:

droogteschade referentiegewas (gras) * 255/ groeiseizoenlengte * verdampingsfactor;
 $= 12 * 255/150 * 1,1 = 22$ % in Zuid Limburg en 44 % op Texel.

4.3.1 Van % droogteschade naar € per ha; Berekening

Met behulp van tabel 29 kan voor de bodemgebruiksvormen waarbij dit relevant is, de fysieke veeljarig gemiddelde droogteschade (en andere schades) worden vertaald naar financiële schade.

Voor sportvelden, groente- en fruitteelten, en voor alle teelten onder glas, is een beregeningsinstallatie vereist voor resp. herstel van speelschade, voor de grondbewerking en opkomst van zomerteelten, resp. voor fertigatie. De bodemvochtlevering vormt in die situaties geen beperking.

Voor kampeerterreinen, en voor speel- en ligweiden die niet worden beregend, is het van belang dat het natuurlijk herstel van zodebeschadigingen snel en spontaan optreedt, waarvoor een vochtvoorziening is vereist die veeljarig gemiddeld niet meer dan tot 40% droogteschade leidt.

Voor bodemgebruiksvormen waarbij de vegetatiegroei niet maximaal hoeft te zijn (bijv. stedelijk groen) is een suboptimale vochtvoorziening tot veeljarig gemiddeld 60% droogteschade, acceptabel.

De kosten van beregening bedragen anno 2011 gemiddeld € 360,- / beregende ha aan vaste kosten en ca. €1,- per beregende mm (basis: actualisatiefactor 0,71 van *Huinink et. al 1998, op basis van CBS prijsindexcijfers en overgang gulden naar euro*). Gemiddeld is er 5 mm beregening nodig om 1 % droogteschade te voorkomen, waarmee de variabele beregeningskosten uitkomen op € 5,- per % droogteschade. Voor nachtvorstbestrijding van groot fruit kunnen in een vorstjaar twee- tot driehonderd mm nodig zijn; veeljarig gemiddeld wordt 150 mm/jaar tegen nachtvorst beregend. Voor de overige teelten wordt op beregende percelen veeljarig gemiddeld 100 mm beregend. Dit brengt de gemiddelde kosten voor beregening op € 510,- /jaar voor groot fruit en € 460,-/ha/jaar voor overige teelten.

Indien uit tabel 29 wordt afgeleid dat de veeljarig gemiddelde droogteschade groter is dan de kosten voor beregening mag niet zonder meer worden geconcludeerd dat kunstmatige beregening rendabel is. Om te beginnen moet ook de derving a.g.v. de overige bodemgeschiktheidsfactoren in rekening worden gebracht en de relatieve droogteschade als laatste factor worden vertaald naar absolute derving (€/ha) en deze derving vergeleken met de beregeningskosten. Maar ook als dan blijkt dat beregening rendabel is moet worden nagegaan of de voor beregening benodigde arbeid (kosteloos) aanwezig is en met beregening het vochttekort zoveel als praktisch mogelijk is kan worden opgeheven.

In de praktijk is gebleken dat met beregening men veeljarig gemiddeld de droogteschade maximaal tot ca. 80% van de oorspronkelijke droogteschade kan beperken: 20 % restschade is niet te voorkomen door een ongelijke verdeling van de watergift en (mede hierdoor) omdat men in menig jaar wordt verrast door onverwachte neerslag kort na een beregeningsgift (augustus!) en het gewas in (extra) wateroverlast verzeild raakt. Daarnaast blijkt in de praktijk dat (ook om bedrijfseconomische redenen) de beregeningscapaciteit beperkt is.

Veeleer nog zien we ook dat de benodigde arbeid voor beregening niet (betaalbaar) aanwezig is waardoor met beregening in droge jaren slechts 3/4 tot de helft van de droogteschade kan worden weggenomen.

Indien er wordt beregend moeten de kosten hiervoor in mindering worden gebracht van het saldo. Ook de beregeningskosten kunnen naar een equivalente opbrengstderving worden omgerekend om de netto-opbrengstverschillen tussen verschillende bodems te kunnen berekenen.

Voor ons voorbeeld (poot aardappelen) bedraagt de tot nu toe vast gestelde derving in Zuid Limburg 43 % natschade en 22% droogteschade. De veeljarig gemiddelde opbrengst zonder beregening bedraagt $(100-43) - 22)/100 \times (100-43) = 44,5 \%$ (= € 5874,-) van de praktisch potentiële opbrengst (opbrengstspecifieke saldo, tabel 29).

Met beregening: (22 % droogteschade wordt met 80% teruggebracht tot 4,5%) bedraagt de veeljarig gemiddelde opbrengst: $(100-43) \times (100-4,5)/100 = 54,4 \%$ excl. de kosten voor beregening. Bij een praktisch potentieel saldo (tabel 29) van € 13200,- /ha. is het veeljarig gemiddelde bruto saldo bij beregening 54,4 % hiervan: € 7185,-.

De kosten van beregening bedragen € 5,- per % droogteschade $(22 \times 5) + €360,-$ vaste kosten; totaal € 470,- /ha/jaar.

Het netto saldo na beregenen bedraagt derhalve €7185 - €470 = €6715,- hetgeen gelijk is aan: $6715/13200 \times 100 = 51\%$ van het potentiële saldo.

Bovenstaande berekening is enkel als voorbeeld bedoeld hoe het rendement van beregening (of een andere opbrengstverhogende maatregel) niet mag worden afgeleid van het praktisch potentiële saldo maar van het werkelijke gemiddelde saldo, dus na aftrek van alle onvermijdbare dervingen. In dit voorbeeld is alleen de onvermijdbare natschade in rekening gebracht; hoofdstuk 18 legt uit waarom ook eerst alle overige onvermijdbare dervingen in mindering moeten worden gebracht om de relatieve kosten (rendement) van een maatregel als beregening op correcte wijze te kunnen vaststellen.

5 Verkruijmelbaarheid

De beoordeling van de verkruijmelbaarheid is een beoordeling van de binding tussen de bodemaggregaten en is in de landbouw van groot belang voor de plantbaarheid, begingroei, sortering van oogstproducten (en daarmee de opbrengstrijzen zoals van aardappelen schorseneren), de hoeveelheid tarra (meegeogste grond), rooibeschattingen, steekbaarheid van asperges, gevoeligheid voor vertrapping en blessures op sportvelden, en in het algemeen voor de werktuigkeuze en tijdstippen van bewerking en de benodigde grondbewerkingen. Indien de verkruijmelbaarheid beperkt is kan de bodem ongeschikt zijn voor menige gebruiksvorm.

Met verkruijmelbaarheid wordt in feite de energie bedoeld welke nodig is om de bovengrond, bij het meest optimale vochtgehalte hiervoor, te breken. Gronden met een goede verkruijmelbaarheid vallen makkelijk uiteen en doen dit over een breed vochtgehalte-traject; moeilijk verkruijmelbare gronden daarentegen bezitten een sterke interne binding (zeer taai indien nat; zeer hard indien droog) en laten zich alleen bij een specifiek vochtgehalte breken. Dit betekent dat naarmate de verkruijmelbaarheid afneemt, de grondbewerkingen meer energie (brandstof) en tijd kosten doordat er extra werkgangen nodig zijn; dit met zwaardere trekkers en speciale aangedreven werktuigen op precies het juiste moment (vochtgehalte) moet plaatsvinden (extra investeringen), en dan nog is het eindresultaat veelal suboptimaal. Behalve deze extra-kostenfactor leidt een moeilijke verkruijmelbaarheid tot een vertraagde en onregelmatige opkomst van zaaizaad of pootgoed (veel kiemplantjes zien eerst via een grote omweg om de harde kluit heen, het licht). Bij de oogst zorgen de kluiten vervolgens voor beschadiging van het oogstproduct en voor relatief grote hoeveelheden meegeogste grond. Deze zogenaamde tarra leidt al snel tot een fors lagere kg-prijs voor het oogstproduct en bij grotere hoeveelheden tarra wordt de oogst ronduit door de afnemer geweigerd (aardappel- en bietenindustrie).

De verkruijmelbaarheid wordt beïnvloed door het lutumgehalte: hoe hoger, des te moeilijker de grond verkruijmelbaar is. Dit negatieve effect van lutum wordt in zware zavel- en kleigronden echter tegengegaan door organische stof en pH: in zeer lichte zavel en zand daarentegen is het pH-effect nihil en versterkt humus het bindende effect van lutum. Dit hangt samen met het afzwakken van de lutum-binding in zwaardere gronden door organische stof (humus bindt minder sterk dan lutum); in de lichtere gronden is weinig lutum aanwezig en zwakt humus deze binding niet af doch vult deze aan.

De invloed van lutum, organische stof en pH op de verkruijmelbaarheid kan uit onderstaande tabel 11 worden afgeleid en in een kengetal worden vastgelegd:

Tabel 11. Beoordeling verkruijmelbaarheid

% lutum:	<4	4-10	11-17	18-24	25-30	30-40	>40
% leem:	<8	8-20	21-50	>50			
basiswaardering:	10	9	8	6,5	5	3,5	1
<i>bij:</i> per % org.stof	-	0,06	0,09	0,12	0,25	0,35	0,45
<i>af:</i> per eenheid pH _{KCl} <7	-	-	0,15	0,3	0,7	1	1,5

Gebruik van tabel 11 leidt tot een semi-kwantitatieve beoordeling van de verkruijmelbaarheid waarmee in tabel 12 de randvoorwaarden voor de betreffende bodemgeschiktheid kan worden getoetst. 'Onrendabel' in tabel 12 (*Aandekerk 1975, 1980; De Bakker, 1983; Boekel, 1972, 1973, 1982, 1985; De Bijl, 1965; Bray&Thomson, 1985; Van Dam, 1963; Van Dam en Hulshof, 1968*), betekent dat door de veeljarig gemiddelde opbrengstderving en/of de meerkosten voor arbeid en mechanisatie het potentiële saldo met ca. 40% wordt verlaagd. Bij een waardering 10 (tenzij er in tabel 12 zowel een bovengrens als ondergrens is gegeven: dan de gemiddelde waardering hiertussen) is de saldoderving nihil. Bij van de optimale waardering afwijkende waarderingen kan van een lineair verband worden uitgegaan voor de opbrengstderving tussen 0% bij optimale waardering en 40% bij overschrijding van minimum of maximum waarderingen.

Tabel 12. Randvoorwaarden voor bodemgeschiktheid m.b.t. verkruielbaarheid

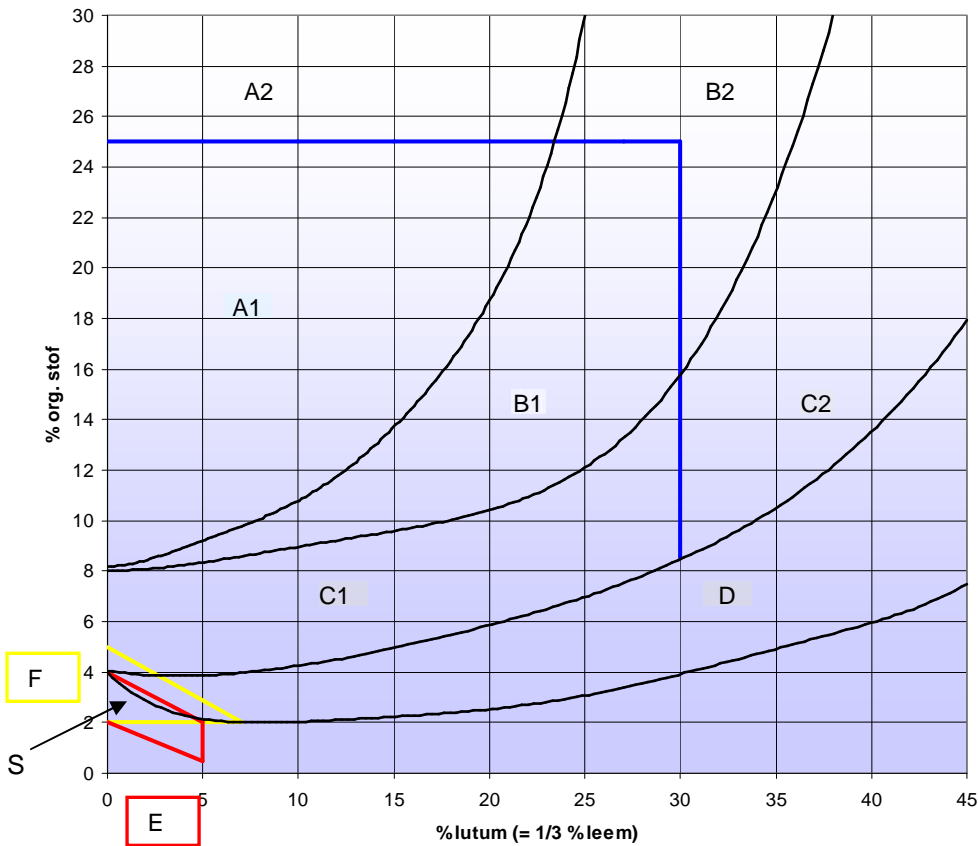
waardering verkruiel- baarheid minimaal/optimaal/maximaal	teelt	beperking:
8/ 8,5 /9	asperges	steekbaarheid, trage (begin)groei;kromgroei resp instabiele, stuivende rug
8 /8 8,5 / 9,5 8/ 9 / nvt	sierteelten bladgroenten, dahlia's, hyacinten	onvoldoende aëratie, resp. kluitstabiliteit trage, onregelmatige (begin)groei, rooibeschadigingen
6,5 / 8/ nvt	in najaar geplante bloembollen	trage, onregelmatige (begin)groei rooibeschadigingen
6 / 9 / nvt	pootaardappelen	trage (begin)groei, ongunstige sortering, veel tarra en rooibeschadigingen
6 / 8/ nvt	cons.aardappelen, peen, schorseneren, teelten onder glas	idem
5 / 8 / nvt	witlof, selderij, uien, prei, spruiten, fabriksaardappelen, koolsoorten	sterk vertraagde opkomst, te veel tarra en beschadiging bij (gemechaniseerde) oogst, veel tarra, trage (begin)groei
5 / 8/ nvt 2 / 7,5 /nvt 0 / 7 / nvt 3 / 8 / nvt	sportvelden erwten, bonen kampeerterreinen weiland, graszaad, granen	blessurerisico op droge velden sterk vertraagde opkomst en begingroei <3; graslandvernieuwing alleen dmv doorzaai;
4 / 8 / nvt	suikerbieten,	sterk vertraagde opkomst en begingroei sterk vertraagde opkomst, te veel tarra en beschadiging bij (gemechaniseerde) oogst
2 / 7,5 / nvt 4 / 8 / nvt 5 / 6,5 / 8 4 / 6 / 8 5 / 8 / nvt	erwten,bonen, koolsoorten, groot en klein fruit bos- en haagplantsoen laanbomen/onderstammen naaldbos, sportvelden	vertraagde opkomst en begingroei O ₂ -tekort bij fertigatie en in natte perioden onvoldoende plant- en rooibaarheid resp. kluitstabiliteit loofbos groeit beter, resp blessure risico
0 / 8 / nvt 0 / 7 / 10	granen, maïs, loofbos, recr. gras kampeerterreinen	verankering tent haringen

In ons pootaardappelteelt-voorbeeld bestaat de bovengrond uit 4 % organische-stof, 14% leem en met een pH van 5,0.

Uit tabel 11 lezen we voor 14 % leem een basiswaardering van 9 met extra waardering voor organische stof van 4 0,06 en geen pH correctie; resulterend in 9,24. Tabel 12 geeft 40% opbrengstderving bij een waardering van 6 en geen opbrengstderving bij een waardering groter dan 9. Er is derhalve geen derving door onvoldoende verkruielbaarheid in ons voorbeeld.*

Voor openbaar groen en recreatieve vormen van bodemgebruik gelden eveneens eisen m.b.t. verkruielbaarheid en het financiële belang ervan is veelal zo groot dat men geen risico accepteert en de bovengrond bij ongeschiktheid vervangt of een andere vegetatie kiest (figuur 6; *Huinink, 1990*).

Figuur 6. Samenstellingseisen voor bovengrond t.b.v. recreatieve bodemgebruiksvormen en stedelijk groen. Voor leemgehalten: leemgehalte delen door 3 en lezen als lutumgehalte.



Gebruiksvorm:	zone:
<i>bosplantsoen</i>	A t/m D
<i>sierplantsoen</i>	A t/m C
<i>heideplanten</i>	A
<i>bomen in open grond</i>	A1+B1+C1
<i>bomen in wegverharding</i>	F en M_{50} tussen 180-300um
<i>gazons</i>	C1
<i>kruidenrijke vegetaties, bloemrijk grasland</i>	E
<i>speel- en ligweiden</i>	C
<i>sportvelden</i>	S
<i>kampeertreinen</i>	B1+C1

6 Structuurstabiliteit.

Een direct met de verkruielbaarheid samenhangende factor is de structuurstabiliteit. Immers naarmate een bodemstructuur moeilijker te veranderen is (een grond moeilijker is te verkruielen) is de structuur stabiel. De structuurstabiliteit wordt gewoonlijk alleen beoordeeld op verstuing en slempgevoeligheid, waarbij deze laatste wordt onderscheiden in interne slemp en oppervlakkige slemp. Omdat oppervlakkige slemp en verstuing (en vorstschade) beide met eenzelfde maatregel kunnen worden voorkomen (en de gezamenlijke schade tot de kosten van de maatregel worden gemaximeerd) worden deze in een afzonderlijke paragraaf (6.2) behandeld. Interne slemp is een bodemeigenschap waarvoor geen maatregelen kunnen worden getroffen en een opbrengstderving daardoor moet worden geaccepteerd.

6.1 Interne slemp

Interne slemp kan optreden onder zeer natte omstandigheden in onnatuurlijk losse (bewerkte) gronden. De bodembestanddelen, waaronder met name de siltdelen, neigen hierbij in suspensie te gaan waarna de grond in elkaar zakt. Dit betekent een sterke afname van het luchtgehalte en ook de waterberging en de waterdoorlatendheid verminderen sterk. Winterteelten kunnen uitwinteren terwijl de grond in het voorjaar lang nat blijft. Tabel 13 geeft een kwalitatieve beoordeling van de gevoeligheid voor interne slemp:

Tabel 13. Waardering van structuurstabiliteit in verband met interne slemp.
Hoge waardering (max 10) komt overeen met hoge stabiliteit.

% lutum:	≤4	6	9	12	17	25	≥30
% leem:	≤10	21	40	≥50	nvt	nvt	nvt
basiswaardering;							
afh. van GHG:							
25 cm-mv	10	8,5	5,7	4,3	5,5	7	8,5
40	10	8,5	6	4,5	6	7,3	8,5
60	10	8,7	6,3	5	6,5	7,5	8,7
90	10	8,7	6,5	5,5	6,7	7,7	8,7
125	10	9	7	6	7	8	9
bij: per % org.stof	-	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
af: per eenheid pH _{KCl} <7	-	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3

In de praktijk komt interne slemp alleen in slecht ontwaterde, humusarme, lichte zavelbovengronden voor en gaat dan meestal gepaard met oppervlakkige slemp, bodemverdichting, late bewerkbaarheid, langdurige anaërobie en andere afgeleide vormen van wateroverlast die op zich reeds de bodemgeschiktheid beperken.

De veeljarig gemiddelde opbrengstderving kan evenals voor oppervlakkige slemp uit de waardering hiervoor worden afgeleid uit tabel 14:

Tabel 14. Veeljarig gemiddelde opbrengstderving voor slemp

waardering:	veeljarig gemiddelde opbrengstderving
10	0
8	1
6	4
4	7
2	12

Bij teelten met een permanente bodembedekking (boomteelt, grootfruit) vindt geen grondbewerking plaats en treedt geen interne slemp op. Bij semi-permanente grondbedekkingen (grasland dat periodiek

word vernieuwd) bedraagt de veeljarig gemiddelde derving door interne slemp ca. ¼ van die bij teelten waarbij jaarlijks een kerende grondbewerking wordt uitgevoerd.

In ons pootaardappelteelt-voorbeeld bestaat de bovengrond uit 4 % organische-stof, 14% leem, met een pH van 5,0 en een GHG van 25 cm-mv

De waardering voor interne slemp bedraagt: basiswaardering 8,95 (interpoleren tussen ≤10 en 21 % leem met waarderingen resp. 10 en 8,5) met een toeslag voor 4 % organische stof van $4 \times 0,13$ (interpoleren tussen 0 en 0,2) en een toeslag voor pH van 0 ($7-5=2 \times 0=0$), resteert in een waardering voor interne slemp van 9,5. De bruto interne-slemschade is derhalve nihil (0,25 % na interpolatie in tabel 14).

6.2 Stuifschade en Oppervlakkige slemp

6.2.1 Stuifschade

Verstuiving treedt op bij opkomende of nog jonge eenjarige gewassen op lichte humusarme zandgronden, bij harde (veelal droge oosten-) wind in het voorjaar. De schade vloeit voort uit beschadiging (zandstralen) en daardoor uitval van het gewas. In het ergste geval moet worden overgezaaid waarmee, afgezien van de kosten hiervoor, onvermijdelijk een korter groeiseizoen en daardoor lagere opbrengst is gemoeid. Veeljarig gemiddeld bedraagt de schade op zeer stuifgevoelige gronden 7%. Bij ruggenteelten valt in de praktijk de schade mee tot een extra werkgang voor opnieuw aanaarden van de ruggen (bij voorkeur noord/zuid georiënteerd); de kosten hiervan bedragen ca. € 70,-/ha”stuifjaar”; overeenkomend met gemiddeld €35,-/ha/jaar.

Bij (groente)teelten die (kunnen) worden beregend of gefertigeerd kan een tijdige kleine watergift verstuiving tegengaan.

Bovengronden met > 10% organische stof en/of meer dan 8% lutum (20% leem) zijn nauwelijks stuifgevoelig.

Ook zonder berekening kan verstuiving met relatief eenvoudige middelen (tot ca. € 350,-/ha/jaar) preventief worden bestreden, zij het dat dit bedrag bij suikerbieten-, graszaad- en fabrieksaardappelteelt een zodanig forse onkostenpost vormt dat bedrijfseconomisch veelal beter voor het risico gekozen kan worden.

In het verleden zijn er vele bodemstabilisatiemiddelen in de handel gebracht en weer uit de handel genomen omdat het middel onvoldoende werkte of qua prijs niet concurreerde.

Drijfmest werkt bijzonder goed, met name rundveedrijfmest omdat deze het best kleeft, maar mag ter beperking van ammoniakemissie, niet oppervlakkig worden aangewend. Alleen voor Texel is een uitzondering gemaakt en kan stuif voor ca. €150,-/ha/jaar met drijfmest worden voorkomen.

Buiten Texel wordt stuif bestreden met een dekgewas (suikerbietenteelt) en het aanbrengen van een strodek bij nachtvorstgevoelige bollenteelten. Voor overige bollenteelten op stuifgevoelige gronden wordt papiercellose (restproduct van papierfabrieken, kosten 250 euro/ha/jaar) toegepast of, bij –overigens frequent voorkomende- schaarste aan papiercellulose: calcium- of magnesiumlignosulfonaat (kosten 350 euro/ha/jr.) Gemiddeld bedragen de kosten van het gebruik van deze bodemstabilisatoren € 275,-/ha/jaar.

De kosten van een strodek (of insteken van stro) bij nachtvorstgevoelige bollenteelten (hyacinten, dahlia's, irissen) bedragen ca. € 800,-/ha/jr. en heeft zowel een beschermende functie tegen stuif als tegen vorst.

Op stuifgevoelige akker- en tuinbouwbedrijven vindt in de praktijk alleen bij de bietenteelt preventieve stuifbestrijding plaats. Buiten Texel (waar drijfmest wordt toegepast) worden bieten in zomergerst gezaaid, dat na opkomst van de bieten wordt doodgespoten (kosten 200,- euro/ha/jaar).

Veeljarig gemiddeld bedraagt de stuifschade:

Tabel 15. Veeljarig gemiddelde opbrengstderving door verstuiwing

	≤1% org. stof èn ≤2% lutum èn ≤6% leem	≥10 % org. stof en/of ≥10 % lutum en/of >20% leem
meerjarige teelten	nihil	nihil
overige (niet beregende) teelten:	7%	nihil

De stuifschade schade is echter gemaximaliseerd door eventuele kosten voor stuifbestrijding indien deze lager zijn dan de financiële derving:

Ruggenteelten	€ 35,-/ha
Bloembollen: in de herfst geplant én nachtvorstgevoelig:	€ 800,-/ha
Overige teelten op Texel:	€ 150,-/ha
Suikerbieten buiten Texel:	€ 200,-/ha
Overige teelten buiten Texel	€ 275,-/ha

Ook de kosten voor stuifbestrijding (indien deze lager zijn dan de stuifschade zonder de maatregel ertegen) kunnen naar een opbrengstdervingspercentage worden teruggerekend door deze kosten te relateren aan de netto financiële opbrengst en hierop in mindering te brengen.

In ons poot aardappelteelt-voorbeeld bestaat de bovengrond uit 4 % organische-stof en 14% leem. Op basis van het organische stofgehalte bedraagt de veeljarig gemiddelde stuifschade vlg's tabel 15. (interpoleren: $7\% - \{(4-1)/(10-1) \times 7\} = 4\%$. Op basis van het leemgehalte: $7\% - \{(14-6)/(20-6) \times 7\} = 2\%$. De meest beschermende factor (in ons voorbeeld het leemgehalte) is leidend, derhalve een veeljarig gemiddelde stuifschade van 2%.

Bij een praktisch potentieel saldo van € 13200,- /ha zou de bruto stuifschade, indien er geen enkele andere derving optreedt, 2 % hiervan ofwel € 264,- / ha bedragen indien er geen maatregelen worden getroffen. Omdat het hier een ruggenteelt betreft waarvoor de stuifbeheersingskosten bestaan uit extra aanaarden blijft de stuifschade beperkt tot de maatregelkosten hiervoor: veeljarig gemiddeld €35,-/ha. Op een potentieel saldo van €13200,- is dit nihil (<0,3%) indien geen enkele overige factor tot opbrengstderving zou leiden.

In de praktijk zijn de relatieve kosten van een maatregel echter aanzienlijk groter. Hoofdstuk 18 gaat hier nader op in maar vooruitlopend daarop:

De netto-opbrengst op onze (beregende) voorbeeldgrond in Limburg bedroeg tot nu toe ruim 51% van het potentiële saldo á €13200 = € 6715,- (49 % opbrengstderving door natschade, droogteschade en beregeningskosten).

Indien er geen stuifbeheersingsmaatregelen worden getroffen bedraagt de netto stuifschade 2 % hiervan; € 134,- / ha. Maar ook deze stuifschade is hoger dan de kosten van de maatregel ertegen: extra aanaarden ad €35,-/ha/jr.

Deze € 35,- euro aan kosten voor stuifbeheersing op € 6715,- komt overeen met een saldoderving van 0,5 % waardoor het netto veeljarig gemiddelde saldo in ons voorbeeld op € 6680,- /ha komt.

6.2.2 Oppervlakkige slemp.

Bij slemp ontstaat op onbedekte gronden, onder invloed van het mechanische effect van de inslag van regendruppels een schifting van de bodembestanddelen waarbij aan het maaiveld de fijne deeltjes (lutum en leem) de poriën tussen de grotere zanddeeltjes of bodemaggregaten verstoppen. Aldus ontstaat een dun slemplaagje dat na opdrogen verandert in een zogenaamde slempkorst. Ontstaat de slempkorst vrij direct na zaaien dan kan dit de opkomst verhinderen door luchtgebrek en een te grote mechanische weerstand voor het kiemplantje. Verslemping ná opkomst kan eveneens tot luchttekort in de wortelzone leiden; verslemping vóór het zaaien of poten kan de luchtintreding en opdroging van de bovengrond sterk vertragen en leiden tot het lang nat blijven en dus laat bewerkbaar zijn van de grond.

De gevoeligheid voor slemp wordt evenals de verkruielbaarheid door de mate van binding bepaald en dus vooral door het organische-stofgehalte en het lutumgehalte. Gronden met meer dan 20 massa % lutum verslempen nauwelijks. Hoewel humusarme zandgronden met minder dan 8 % leem slechts een zeer zwakke binding bezitten (zeer goed verkruielbaar zijn), zijn deze niet slempegevoelig: regendruppels slaan de grond weliswaar gemakkelijk uit elkaar, doch de grond bevat te weinig fijne delen om de grotere poriën te kunnen verstoppen. Humusarme gronden met ca. 10 % lutum of > 50 % leem (löss) zijn daarentegen het meest slempegevoelig.

Uit onderstaande tabel 16 kan de gevoeligheid voor slemp worden afgeleid in afhankelijkheid van de textuur en het organische-stofgehalte en met tabel 17 (die overigens gelijk is aan tabel 14 voor interne slemp –Boekel, 1972) worden vertaald naar de veeljarig gemiddelde opbrengstderving hierdoor,

Tabel 16. Waardering structuurstabiliteit in verband met oppervlakkige slemp.
Hoge waardering (max. 10) komt overeen met hoge stabiliteit

% lutum:	≤4	6	9	12	17	25	≥30
% leem:	≤10	21	40	≥50	nvt	nvt	nvt
basiswaardering:	7	6	3	2	4	8	9
<i>bij:</i> per % org.stof	0,4	0,6	0,8	1	0,7	0,4	0,3

Tabel 17. Veeljarig gemiddelde opbrengstderving voor slemp

waardering: veeljarig gemiddelde saldoderving)¹

10	<1
8	1
6	4
4	7
2	≥12

Oppervlakkige slemp speelt geen rol op permanent bedekte bodems (grasvegetaties -dus ook groot fruit, bosbouw en stedelijk groen) alsook bij teelten waar uit oogpunt van vorst- en/of stuifbestrijding een strodek wordt toegepast.

Evenals voor stuif bestaat er een maximum aan de financiële opbrengstderving voortvloeiende uit oppervlakkige slemp. Indien deze hoger is dan € 105,- /ha/jaar (de kosten voor extra arbeid voor het openbreken van slempkorsten; veeljarig gemiddeld 1,5 werkgang per jaar op slempegevoelige gronden) blijft de slempschade tot dit bedrag beperkt.

De brutoderving door oppervlakkige slemp bedraagt in het pootàardappelvoorbeeld;

Basiswaardering (14% leem): 6,6 met een toeslag voor organische stof: 4 x 0,47= totaal 8,5 (tabel 16) met een veeljarig gemiddelde brutoderving van ca. 1% (tabel 17). Op € 6680,-/ha is dit € 67,-; minder derhalvedan de kosten voor slempherstel.

7 Risico voor vorstschade

Zoals onder 'Vroegheid van de grond' reeds werd aangegeven reageren bovengronden met hoge luchtgehalten (droge zand- en veengronden en daarnaast alle recent bewerkte droge bovengronden), het snelst op warmtestraling en zijn daarmee in het voorjaar niet alleen het 'vroegst' maar ook het meest gevoelig voor vorstschade. Dit geldt ook voor het najaar bij laat geoogste gewassen (erwten, bonen).

7.1 Vorstgevoelige teelten

Het risico voor vorstschade is sterk afhankelijk van het gewas (en ras!) en het risico dat de teler neemt bij het zo vroeg mogelijk zaaien/poten van het gewas (op de markt willen zetten van het oogstproduct). Vorstschade treedt nauwelijks of niet op in bos, gras, teelt van laanbomen/onderstammen, granen, erwten en bonen (mits voor 15 oktober geoogst), koolsoorten, tulpen, narcis, asperge, schorseneren, suikerbieten, en teelten die in de praktijk een opkomst hebben (of geplant worden) na 15 mei: witlof, selderij, was- en bospeen, snijmaïs.

Risico voor vorstschade treedt daarom in de praktijk alleen op bij groot en klein fruit, sierboomteelten, hyacinten, dahlia's, irissen, bladgroenten en vroege (poot-)aardappelen.

Gemiddeld in Nederland treedt veeljarig gemiddeld slechts 1 maal per 7 jaar in verontrustende mate vorstschade op. Indien de financiële schade groter wordt dan de kosten van een maatregel tegen vorst, blijft de schade tot de kosten hiervan beperkt: € 510,-/ha/jr. voor beregenen in fruitteelten; €450,-/ha/jr. voor beregenen van overige teelten; of €800,-/ha/jr. voor een strodek of folie (bloembollen, bladgroenten). Met een strodek of folie wordt ook eventuele slempschade (en, met name met folie, ook stuifschade) voorkomen en ook deze kosten en baten moeten worden meegenomen in de bodemgeschiktheidsbeoordeling.

Bij laagblijvende gewassen op vlakke grond (bloembollen, bladgroenten) treedt geen vorstschade van betekenis op indien de grondwaterstand tot half mei binnen 50 cm-mv kan worden gehandhaafd.

7.2 Landschappelijk vorst risico

Naast de gewasafhankelijkheid van de vorstschade, bestaan er grote verschillen in "koudheid" van een bodem die samenhangen met het regionale klimaat, topografie rondom en ook binnen het perceel; met de bodemopbouw en de grondwaterstand tot ca. 15 mei.

Daar waar de maritieme invloed op het weer groot is (Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden en ten noorden hiervan binnen een ca. 10 km brede strook vanaf de kust) komt nauwelijks vorstschade voor.

Bijzonder vorstgevoelig zijn daarentegen

- droge zand- en veenpercelen in een depressie (grote ingesloten laagte) binnen een open landschap;
- droge zand- en veenpercelen die zich geïsoleerd in een bos bevinden of in de windschaduw (<200m) van een bos;
- alle gronden onderaan hellingen.

Op dergelijke percelen treedt er gemiddeld 2-jaarlijks een ernstig risico voor vorstschade op en per vorstochtend bovendien zo langdurig, dat de ijsvorming in geval van beregening in fruitteelten, hier tot gewasbeschadiging leidt.

Veeljarig gemiddeld bedraagt -bij vorstgevoelige teelten- de schade tot 30% op zeer vorstgevoelige percelen indien er geen beregening plaats vindt en geen strodek kan worden toegepast (fruit, ruggenteelten).

Wanneer we de vorstgevoeligheid van de gemiddelde bodem in Nederland op een schaal van 1-5 met de waarde 2 aanduiden; niet vorstgevoelige percelen (binnen 10 km nabij de kust) met de waarde 1; en zeer vorstgevoelige percelen met de waarde 5; bedraagt de veeljarig gemiddelde vorstschade:

Tabel 18. Opbrengstderving iav vorstgevoeligheid. (alleen voor groot en klein fruit,hyacinten, dahlia's, irissen, sierteelten, bladgroenten en vroege (poot-)aardappelen).

Vorstgevoeligheid perceel	1	2	3	4	5
<i>Opbrengstderving</i>					
Zonder maatregel	0	12	18	24	30
Bij gws tot 15 mei < 50cm/mv) ⁰	0	0	0	0	0
Bij strodekof					
gws 15 mei < 50cm-mv) ¹	0	0	0	0	0
Bij beregenen) ²	0	0	3	9	15

)⁰ alleen voor bloembollen, sierteelten en bladgroenten;

)¹ Kosten voor strodek/folie € 800,-/ha/jr. (alleen voor bloembollen, sierteelten en geplante groenten, asperges)

)² gemiddelde kosten voor beregening: fruit: € 510,-/ha/jr.; overige € 460,-/ha/jr.

Vorstschade kan dus door maatregelen worden beperkt waarbij dan zowel de kosten voor die maatregel als de (resterende) beperking van de bodemgeschiktheid door vorstgevoeligheid, moeten worden meegerekend.

Echt groot wordt de veeljarig gemiddelde vorstschade in de praktijk bij een onvoldoende beschikbaarheid van water bij vorstgevoelige teelten op vorstgevoelige percelen. Voor het tegengaan van vorstschade d.m.v. beregening is een aanvoerbehoefte van 30 m³/ha/uur vereist, dan wel een watervoorraad van 200 à 300 m³/ha/vorstdag. De kosten hiervan bedragen € 510,-/ha/jr. Bedrijfseconomisch is dit in grote delen van Nederland rendabel, maar het benodigde beregeningswater moet wel voorhanden zijn.....

In ons pootaardappelvoorbeeld (vorstgevoelige teelt) is de vorstschade afhankelijk van de landschappelijke ligging en varieert, zonder beregening, van 0-30 % op een niet resp. sterk vorstgevoelig perceel; en met beregening van 0 –15% op niet resp. sterk vorstgevoelig percelen.

Omdat het aanbrengen van folie of een strodek/ (stro steken) zowel stuif, oppervlakkige slemp als vorstschade tegengaat, is de eerst stap de totale schade door deze 3 factoren vast te stellen in teelten waar een strodek of folie praktisch uitvoerbaar is (sierteelten, bloembollen, plantgroenten, asperge). In ons pootaardappelvoorbeeld (beregend, Zd. Limburg, gemiddelde vorstgevoeligheid van het perceel: 2) bedraagt de opbrengstderving tot nu toe (praktisch potentieel opbrengstspecifieke saldo € 13200,-);

	Bruto derving %	resterende € / ha	netto opbrengst in % van pot. saldo	netto derving totaal	deze factor
nat-schade	43	7524	57	43	43
droogte bij beregening	4,5	7185	54	46	3
beregeningskosten	€ 470,-	6715	50,8	49,1	3
verkruielbaarheid	-	-	50,8	49,1	-
interne slemp	-	-	50,8	49,1	-
verstuing	€ 35,-	6680	50,6	49,4	0,3
oppervlakkige slemp	1	6613	50,1	49,9	0,5
vorstschade:	0	7030	50,1	49,9	0

De netto derving (opp. slemp, verstuing, vorstschade) die door een strodek of folie kan worden voorkomen is derhalve 49,9 - 49,1 = 0,8 % van € 13500,- = €13500 = € 106,- /ha/jaar.

Een stro- of folie-dek is in de pootaardappteelt praktisch niet uitvoerbaar maar zou de kosten ervan (€ 800,-/ha/jr) ook niet opbrengen.

8 Verticale doorlatendheid, textuursprongen

8.1 Verticale doorlatendheid

Om tijdens en na perioden met veel neerslag de overlast doordat de grond niet kan worden bereiden, beweiden, bewerkt etc. te beperken, alsook om grote opbrengstdervingen door zuurstoftekort in de wortelzone te voorkomen, worden er eisen gesteld aan de verzadigde doorlatendheid van de bodem tussen 30 cm-mv en 1 à 1,4 m-mv (tot ca. 20 cm onder de zgn. bewerkbaarheids-grondwaterstand; zie tabel 1).

Een onvoldoende doorlatendheid van de bovengrond (bodemverdichting, verslemping) is veelal slechts van tijdelijke aard of valt met eenvoudige maatregelen te verhelpen (grondbewerking).

Indien er echter in de ondergrond aaneengesloten lagen voorkomen met een verzadigde verticale waterdoorlatendheid kleiner dan 0,2 cm/dag is de afvoer van overtollige neerslag via de bodem zo traag dat bij nagenoeg alle bodemgebruiksvormen er veeljarig gemiddeld 40% of meer saldoderving optreedt. In de praktijk hebben dergelijke gronden een natuurfunctie of worden ze gebruikt voor extensief grasland na 'rondleggen' met begreppeling.

Waarden voor K_{sat} kleiner dan 2mm/dag worden aangetroffen:

- in sterk verdicht bodemmateriaal ongeacht textuur of organische stofgehalte (zij het dat zware zavel, klei en veen door krimp vanzelf herstellen doch alleen voor zover zij de kans krijgen sterk in te drogen dan wel de verdichting zich boven de vorstgrens bevindt (ca. 50 cm);
- in slecht ontwaterde tertiaire zavel en kleien in Oost Nederland en potklei in Noord Nederland;
- soms in lutumrijk (riet-)zeggeveen (meerbodems).

Hoewel ook keileem en kom- en poelkleien een naam hebben zeer slecht doorlatend te zijn valt dit in de praktijk mee: keileem bevat gewoonlijk voldoende zandlenzen die voor de neerwaartse waterbeweging zorgdragen en de reden voor 'ronde' maaiveldligging en greppels bij zware klei hangt meer samen met een geringe drooglegging dan met een geringe doorlatendheid.

Groenteteelten, kampeertreinen en sportvelden

Naast bovengenoemde minimumeisen geldt voor sommige bodemgebruiksvormen een hogere grenswaarde voor de verticale doorlatendheid:

Tabel 19. Minimumwaarden voor K_{sat} van bodemlagen tussen 30 en 120 cm diepte

Productiegrasland, bosbouw	$K_{sat} > 0,2$ cm/dag
Granen, maïs, suiker- en voederbieten,	
Koolzaad, spruiten, koolsoorten, prei,:	$K_{sat} > 0,5$ cm/dag
Overig akker- en tuinbouw, speel- en ligweiden:	$K_{sat} > 1,0$ cm/dag
Kampeertreinen	$K_{sat} > 2,0$ cm/dag
Sportvelden	$K_{sat} > 10$ cm/dag

Uit praktijkervaringen is gebleken dat de meeste problemen door een onvoldoende verzadigde doorlatendheid met ontwatering kunnen worden opgelost. Drainageproefvelden in de IJsselmeerpolders en op komklei (proefboerderij "De Vlierd") leerden dat buisdrainage en slootpeilverlagingen aanvankelijk weinig resultaat hadden doch na een jaar of vijf trad er een dusdanige (na)rijping van de bodem op (niet in de laatste plaats door het allengs dieper doorgroeien van de beworteling) dat de oorspronkelijk beperkte doorlatendheid niet langer tot problemen leidde. Deze periode kan worden versneld door buisdrainage aan te leggen met een kettinggraver (open sleuf) waarbij de sleuf wordt gevuld met goeddoorlatend materiaal (glas-as, schelpen, grofzand/grind, of perlietkorrels). Dunnere slecht-doorlatende lagen kunnen met succes door diepwoelen, meng(ploeg)woelen, spifrezen of mengroteren worden "gebroken" en in brokken binnen het bodemprofiel worden verspreid.

8.2 Textuursprongen

Plotselinge grote overgangen (abrupt en scherp in de definitie van de profielbeschrijving) in textuur en organische stofgehalte kunnen een bodem zeer en langdurig nat houden; niet door een slecht doorlatende laag onder een goed doorlatende laag daarboven (stagnatie door lage verzadigde doorlatendheid) maar juist omgekeerd doordat de textuursprong tot een zeer slechte onverzadigde (nabij verzadigde) doorlatendheid leidt.

Berucht zijn de lössafzettingen op ondiepe Maasgronden in Noord en Midden Limburg. Het grind (bijvoorbeeld ten zuiden van Bredeweg, plaatselijk binnen 25 cm diepte) met daarin slechts enkele grote poriën neemt niet eerder water op dan nadat de even grote poriën in de löss daarboven, met water zijn gevuld; i.c niet eerder dan nadat de löss nagenoeg geheel verzadigd is. Het grind voert vervolgens eventjes snel wat water uit de bovenliggende löss af, maar stopt hier direct weer mee zodra de grote poriën in de löss (slechts de worm- en wortelgangen) hun water kwijt zijn. Het overgrote deel van de löss poriën is veel kleiner dan de poriën in het grind en raken hun overtollig water alleen kwijt door (gewas)verdamping. Maar dan moet het gewas wel actief zijn; lees: er voldoende bodemaëratie moet zijn en de wortels moeten beschikken over voldoende met lucht (en niet overwegend met water) gevulde poriën. Dit verschijnsel doet zich bij elke regenbui opnieuw voor.

Plotselinge toe- of afname van organische stofgehalten met >20%, leemgehalten met >30% , lutumgehalten met >15% of een verschil in M50 >100 um, leiden tot dit verschijnsel.

Indien de textuursprong zich op de onderkant van de bouwvoor voordoet (ploegdiepte, in de meeste gronden 27 cm) bedraagt de veeljarig gemiddelde natschade hierdoor ca. 20 %. Indien de textuursprong zich dieper dan 20 cm onder de (totale) wortelzone én 20 cm onder de bewerkbaarheidsgrondwaterstand voordoet is de schade nihil.

In tussenliggende situaties kan de textuursprong-natschade door interpolatie hiertussen worden vastgesteld.

In ons poot aardappelvoorbeeld is er een textuursprong in het leemgehalte op 80 cm diepte; dus 20 cm dieper dan de totale bewortelingsdiepte, maar 16 cm ondieper dan de bewerkbaarheidsgrondwaterstand + 20 cm (76 + 20). Op 96 cm diepte zou de structuursprongschade nihil zijn geweest. In ons voorbeeld veroorzaakt de textuursprong een derving als gevolg van een extra vertraging van het groeiseizoen in het voorjaar, er grootte van: $(96-80) / (96-27) \times 20 = 4,6 \%$.

9 Verminderde huidkwaliteit

Organische stofgehalten van ca. 4% en hoger, geven een donkere kleur aan het oogstproduct en leiden daarmee tot lagere productprijzen voor asperges, schorseneren, witlof, selderij, peen, consumptieaardappelen, hyacinten en dahlia's. De saldoderving hierdoor loopt voor deze gewassen op van 0 bij 4% organische stof tot 15% bij organische-stofgehalten >7%.

In ons pootaardappelvoorbeeld is de huidkwaliteit niet relevant (bovendien bevat de bovengrond niet meer dan 4% organische stof) en is er geen derving door afzetproblemen als gevolg van een onaantrekkelijk uiterlijk.

10 Windvastheid

Voor bodemgebruiksvormen waarin bomen een rol spelen (fruit, boomteelt, bosbouw, bomen in openbaar groen en kampeertreinen) speelt de windvastheid (verankering) een rol. Hiervoor is een minimale bewortelingsdiepte vereist welke afhankelijk is van het organische stofgehalte in de wortelzone. Deze minimaal vereiste worteldiepte neemt lineair toe met het organische-stofgehalte volgens tabel 20:

Tabel 20 Worteldiepten waarbij de veeljarig gemiddelde windschade 40 resp. 5% bedraagt

org. stofgehalte:	Worteldiepte (totaal) waarbij	
	windschade 40%:	windschade <5%
0	35 cm	45 cm
7	45 cm	60 cm
30	120 cm	150 cm
100	135 cm	160 cm

Gewoonlijk bestaat de bodem uit meerdere lagen met verschillende organische stofgehalten. Het gemiddelde organische stofgehalte in de wortelzone kan dan worden berekend als een gewogen gemiddelde:

$\{(dikte\ bewortelbare\ laag\ a\ \times\ o.s.gelalte\ in\ laag\ a) + (dikte\ bewortelbare\ laag\ b\ \times\ gelalte\ laag\ b) + \} /$
totale worteldiepte (=som laagdikten).

Door interpolatie kan vervolgens uit tabel 20 de worteldiepten worden afgeleid waarbij bij dit organische stofgehalte de windschade veeljarig gemiddeld <5 resp. 40% of meer bedraagt. Indien de (totale) worteldiepte in de onderhavige bodem zich tussen deze twee schade-diepten bevindt, kan door interpolatie de veeljarig gemiddelde windschade voor deze bodem worden afgeleid.

Windvastheid van de bodem is in de praktijk alleen van belang voor groot fruit, bosbouw, bomen in het openbaar groen en recreatie (kampeertreinen).

Laanbomenteelt, teelt van onderstammen en sierbomenteelten zijn eveneens windgevoelig doch worden hier gewoonlijk met boompalen tegen beschermd. Omdat dit in deze sectoren ook in windvaste bodems een gebruikelijke teeltmaatregel is, zijn dit geen extra kosten die specifiek voortvloeien uit een bodembepanking (onvoldoende windvastheid). Deze kosten voor boompalen worden bedrijfseconomisch gerekend tot de toegerekende kosten en leiden binnen deze teelten niet tot een saldoderving a.g.v. een onvoldoende windvastheid van de bodem.

11 Perceelsvorm

Behalve door bodemfactoren wordt de bodemgeschiktheid beïnvloed door kavelvorm en kaveloppervlakte. De verliezen door perceelsranden en op wendakkers ("kopakkers") en door eventuele greppels nemen relatief zeer sterk toe naarmate de perceelsoppervlakte kleiner dan 1 ha wordt en de perceelsvorm afwijkt van een rechthoek ("gérende" percelen).

Naarmate het perceel kleiner is

- A 1 nemen de aan- en aflooptijden toe ten opzichte van de totale werktijd (rijtijden naar het perceel toe en terug, aankoppel-, afstel, en transportklaarmaak-tijden)
- 2 neemt het relatieve oppervlak aan perceelsranden en wendakkers toe en daarmee de benodigde extra arbeidstijd (lagere werksnelheid langs de randen; niet volledig kunnen benutten van de werkbreedte van het werktuig; meer tijd nodig voor het wenden op de kopakkers)
- B directe opbrengstverliezen doordat het perceel niet tot op de rand kan worden beteeld/gewasverpleging niet tot de uiterste rand kan plaatsvinden.

Deze effecten worden bijzonder versterkt indien het perceel is begreppeld en in mindere mate ook indien een of meerdere perceelsranden grenzen aan oppervlaktewater en er een verplichting is voor het aanhouden van een spuit-, mest- of teeltvrije zone.

De perceelsvorm is van belang voor alle bodemgebruiksvormen waarbij het werk machinaal plaatsvindt. Bij (deels) handmatige arbeid (bosbouw, fruit, asperge, boomteelten, sommige groenteteelten) speelt de kavelvorm en afmeting in mindere mate of (bosbouw) nauwelijks, een rol.

De meest optimale perceelsvorm blijkt in de praktijk een rechthoekig perceel met een lengte:breedte verhouding van 3:1 of groter, en een perceelslengte van ca. 300 meter.

Langere percelen leiden weliswaar tot een relatief kleiner oppervlak aan wendakkers (minder tijdverlies voor keren) maar dit voordeel wordt grotendeels te niet gedaan door langere transport- en afrijtijden.

De perceelsvorm en -afmetingen (oppervlak) bepalen dus de hoeveelheid benodigde extra arbeid en de directe opbrengstderving door niet benut oppervlak.

De benodigde extra arbeid kan worden vastgesteld door een niet rechthoekig perceel onder te verdelen in een rechthoekig deel en een resterende "taartpunt"; en vervolgens van elk het oppervlak vast te stellen en van het rechthoekige deel de lengte/breedte verhouding.

Indien het perceel is begreppeld bestaat het rechthoekige deel uit meerdere rechthoekige delen (aantal = (perceelsrandlengte / de greppelafstand) + 1) en wordt de extra arbeidsvraag voor een door greppels omsloten perceelsdeel vastgesteld en vermenigvuldigd met het aantal aan deze delen.

Tabel 21 (*Tanis 1984, Pronk, 1984, Consulentschap Tuinbouw. 1979*) geeft de relatieve hoeveelheid extra mechanisatiewerk (in % van het benodigde mechanisatiewerk bij een optimale perceelsvorm) voor rechthoeken en de "taartpunten". Door interpolatie in tabel 21 kan de relatieve arbeidsbehoefte voor rechthoek en taartpunt worden berekend.

De relatieve arbeidsbehoefte voor het gehele perceel wordt dan berekend volgens:

(aantal rechthoeken x oppervlak rechthoek x % arbeidsbehoefte) + (opp. taartpunt x % arbeidsbehoefte) / perceelsoppervlak.

Tabel 21. Benodigde arbeidsuren in % van die bij een optimale perceelsvorm

Grasland							
oppervlak (ha)	0,01	0,1	0,5	1	2	3	20
L/B 1:1	450	390	274	214	155	135	129
L/B 3:1	350	310	213	167	120	105	100
'Taartpunt'	935	800	548	429	310	269	257
Akker- en tuinbouw							
oppervlak (ha)	0,01	0,1	0,5	1	2	3	20
L/B 1:1	570	450	322	243	166	145	129
L/B 3:1	380	340	251	189	129	113	100
'Taartpunt'	1200	1000	645	487	322	290	257

Stel ons pootaardappelperceel heeft de afmetingen:

Lengte linkerzijde: 320 m

Lengte rechterzijde: 300 m

Voorzijde (kopakker) : 100 m

Achterzijde (wendakker) : 100 m

Dit perceel bestaat uit een rechthoek van $300 \times 100 \text{ m} = 3 \text{ ha}$ met een L:B =3:1 en een

"taartpunt van $20/2 \times 100 \text{ m} = 0,1 \text{ ha}$.

De arbeidsaanspraak is voor de rechthoek 113 % en voor de taartpunt 1000 %.

Voor het totale perceel (3,1 ha) bedraagt de relatieve arbeidsbehoefte

$(113 \times 3 + 1000 \times 0,1) / 3,1 = 142 \%$

De extra arbeidsaanspraak ten opzichte van een optimale perceelsvorm is $142 - 100 = 42 \%$.

Met name indien percelen kleiner worden dan 1,5 ha neemt de arbeidsvraag zeer sterk toe.

De economische waarde van de hierdoor bespaarde uren kan zeer groot zijn indien het werk uit loonwerk bestaat of de bespaarde uren in het bedrijf zelf kunnen worden benut. Hier bovenop komt nog een besparing op de variabele kosten voor werktuigen. De totale besparing bij "Eigen Mechanisatie" kan daarmee worden gelijkgesteld aan (bespaarde) loonwerkkosten.

Let wel; het gaat hier uitsluitend om veldmechanisatie-uren; de totale arbeidsaanspraak is voor veel teelten een veelvoud hiervan (waaronder reinigen, sorteren, drogen, verpakken, opslag) doch de hiervoor benodigde uren zijn niet afhankelijk van de perceelsvorm of helling.

De gemiddelde gemechaniseerde-arbeidsaanspraak bij een optimale perceelsvorm bedraagt voor grasland 12 uur, voor akker- en tuinbouw ca. 18 uur; snijmaïs 7 uur, aspergeteelt 6 uur, fruit ca. 4 uur en boomteelten 3 uur/ha, afhankelijk van de gebruikte werktuigen. Grotere werktuigen leiden tot een lagere arbeidsaanspraak maar ondervinden relatief grotere hinder van een suboptimale perceelsvorm.

Bij een loonwervtarief van 70 €/uur bedragen de kosten van extra arbeid door een suboptimale perceelsvorm:

Voor grasland:

% extra arbeidsaanspraak/100 * 12 uur * € 70

en voor akkerbouw:

% extra arbeidsaanspraak/100 * 18 uur * € 70,-

Voor ons voorbeeld betekent dit $42/100 \times 18 =$ bijna 7,5 uur extra mechanisatiewerk à € 70 / uur = ruim € 520,- / ha aan extra mechanisatiekosten.

Directe opbrengstderving op perceelsranden

Naast de extra arbeidsaanspraak leiden relatief langere perceelsranden en wendakkers tot een directe opbrengstderving door het niet benutten van een deel van het perceelsoppervlak.

Deze schade kan worden uitgedrukt in netto m^2 landverlies. Volgens het ICW (*Tanis, 1984, Pronk, 1984*) bedraagt dit gemiddeld $1m^2$ per meter perceelsrand (beide perceelslengten) en $3 m^2$ per meter wendakker (beide perceelsbreedten). Indien een perceelsrand (ook wendakker) grenst aan oppervlaktewater met een mest-, spuit- of teeltvrije zone is het verlies $5m^2$ per strekkende meter perceelsrand.

Bij begreppeling in de lengte van het perceel moet het verlies worden verhoogd met het aantal greppels x perceelslengte x $2 m^2$.

Bij begreppeling in de breedte worden de perceelslengten de wendakkers: de derving is dan de som van beide perceelsranden (lengten) x 3 + (gemiddelde perceelsbreedte x 2+ aantal greppels x 2) x $2 m^2$.

Bij een optimale perceelsvorm bedraagt de directe opbrengstderving door randen en wendakkers minder dan 4 %; bij een L/B van 1:1 en 0,5 ha perceelsoppervlak is de directe derving 10%. Begreppeling verhoogt de opbrengstderving tot >12% resp. >16%.

Ons voorbeeldperceel heeft 620 meter aan perceelsrand en 200 meter aan wendakker: de opbrengstderving door randverliezen bedragen $620 \times 1 + 200 \times 3 = 12200 m^2$ op een oppervlak van 3,1 ha is dit $1220 / 31000 \times 100 = 4 \%$.

12 Reliëf.

12.1 Extra arbeidsaanspraak

Met reliëf worden hoogteverschillen en hellingen waarmee dit gepaard gaat, bedoeld. Onderscheiden worden micro-, meso-, en macroreliëf.

Met **microreliëf** worden hellingen bedoeld met lengten tot 5 meter. Het zal duidelijk zijn dat voor sportvelden de hoogste eisen aan reliëf (het ontbreken ervan) worden gesteld, op de voet gevolgd door kampeerterrainen. Hoewel op kampeerterrainen bij onvoldoende verticale doorlatendheid het maaiveld vaak bewust onder verhang wordt gelegd, worden hellingen groter dan 2 % reeds als sterk hinderlijk ervaren door tentkampeerders.

Ook de landbouw stelt eisen aan de vlakheid van het maaiveld. Afhankelijk van de hellingshoek kan bij de huidige mechanisatie (waarbij de werkbreedte van de werktuigen nog steeds toeneemt) een geaccidenteerd microreliëf met hoogteverschillen van 10 - 30 cm reeds sterk hinderlijk werken. In de praktijk komen problemen met het microreliëf niet voor: waar deze oorspronkelijk optraden zijn deze door egalisatie (kilveren) en reguliere grondbewerking (uit- en inploegen van hoogtes resp. laagtes) verholpen.

Met **meso-reliëf** worden hellingen bedoeld van 5 tot 100 meter. Problemen met de waterhuishouding kunnen reeds bij hellingen < 8% ontstaan; er kunnen aanzienlijke verschillen in bodemvochtlevering (lees: gewasontwikkeling) optreden, niet alleen door verschillen in grondwaterstand maar meestal ook in profielopbouw. Bovendien kan in slempgevoelige gronden of in gronden die gemakkelijk verdichten, de doorlatendheid dermate laag zijn dat bij zwaardere regenbuien water oppervlakkig afstroomt naar ingesloten laagten. Deze krijgen extra water te verwerken hetgeen structuurverval nog verder in de hand werkt, niet in de laatste plaats doordat deze plekken veelal te nat bewerkt worden.

Voor het gebruik van werktuigen doen zich geen problemen voor bij hellingen tot ca 8 %. Steilere hellingen leiden tot hogere mechanisatiekosten: 4-wielaangedreven trekkers met een groter dan gangbaar vermogen worden noodzakelijk, en slijtage aan stuurinrichting en wiellagers (contourbewerking -evenwijdig aan hoogtelijnen- om erosie tegen te gaan) treedt aanzienlijk sneller op. Ook de werksnelheid neemt af: het kost moeite om de trekker met (vooral getrokken) werktuigen aan te laten sluiten bij de voorafgaande werkgang. Het bewerken van hellingen is daardoor al vermoeiend, maar wordt versterkt doordat de berijder continue bezig is zich zoveel mogelijk in een verticale houding te brengen.

Op percelen waarvan de kopakkers onder hellingen liggen steiler dan 20% is geen mechanisatie mogelijk: het risico voor kantelen van de trekker bij het keren is te groot. Indien de kopakkers minder steil zijn kan het perceel in hellingsrichting (op- en neerwaarts) worden bewerkt maar de schade door erosie is –vooral op slempgevoelige gronden zoals löss- zeer groot omdat contourbewerking (evenwijdig aan de hoogtelijnen) niet meer mogelijk is.

Met **macroreliëf** bedoelt men hellingen met lengten groter dan 100 meter, soms resulterend in hoogteverschillen van vele tientallen meters. Een meer dan 4% hellend macroreliëf heeft landbouwkundig grote consequenties door het hiermee gepaard gaande erosiegevaar. Meestal wordt dit nog versterkt door de geringe structuurstabiliteit (slempgevoeligheid; löss!). Het probleem met verschillen in waterhuishouding (bodemvochtlevering, hellingkwel) doet zich ook hier voor, waarbij bovendien noordhellingen aanzienlijk minder zonne-energie ontvangen dan zuidhellingen. In sommige jaren kan dit leiden tot weken achterstand in tijdstip van bewerkbaarheid en/of gewasontwikkeling.

Tabellen 22 en 23 (*Hogenboom, 1989, Damoiseaux & Rosing, 1993*) kwantificeren de nadelen van hellingen.

Tabel 22. Extra mechanisatiekosten (extra arbeidsuren en werktuigslijtage) op hellingen.

Helling %	0	2	10	16	20
% extra mechanisatie	0	0	15	25	0)*

)* geen extra kosten omdat contourbewerking niet meer plaats vindt; wel (fors) hogere erosiekosten.

De extra mechanisatiekosten op perceelschaal a.g.v. helling, worden verkregen door het % extra mechanisatie-uren te vermenigvuldigen met het oppervlak van de helling binnen het perceel (in ha) en vervolgens te delen door het totale perceelsoppervlak. Delen door 100 en vermenigvuldiging met het voor de perceelsvorm gecorrigeerde aantal benodigde werkuren/ha voor de betreffende teelt, geeft de extra mechanisatiekosten uitgedrukt in extra arbeidsuren.

Vermenigvuldiging hiervan met het gangbare loonwervtarief brengt de derving in €/ha.

Stel het perceel in ons voorbeeld (opp. 3,1 ha) bevat een helling van gemiddeld 10 % met een lengte van 100 m en een breedte van 50 meter. De extra arbeidsmechanisatie vraag is 15 %; het oppervlak van de helling bedraagt $100 \times 50 = 0,5$ ha. Gemiddeld over het perceel is de extra arbeidsvraag: $0,5 / 3,1 \times 15 = 2,5$ % vergeleken met een optimale perceelsvorm.

De relatieve arbeidsvraag door de suboptimale perceelsvorm (hoofdstuk 11) bedraagt 142%. Door de helling neemt dit met 2,5 % toe tot bijna 146 %.

De door de helling veroorzaakte extra arbeidsaanspraak bedraagt in €/ha: $145,6 - 142 = 3,5$ % van 18 uur = 0,6 uur à € 70,- = € 43,-

12.2 Helling erosie

Behalve een hogere arbeidsaanspraak leiden hellingen (m.u.v. permanente begroeiing; bosbouw en gras – dus ook groot fruit en stedelijk groen) tot extra opbrengstderving door afstromend water. De mate waarin is afhankelijk van de gevoeligheid van de bovengrond voor oppervlakkige slemp (tabel 23):

Tabel 23. Opbrengstderving door hellingerosie

Waardering	hellinglengte (m)					
	0	5	25	100	300	600
opp. slemp: 3						
helling %						
2	0	0	0	0	0	0
10	0	1	1,2	2	3	4
≥ 20	0	2	3	5	8	10
Waardering						
opp. slemp: 10						
helling %						
2	0	0	0	0	0	0
10	0	4	7	12	18	20
≥ 20	0	10	15	25	40	50

In ons voorbeeld perceel met een waardering voor oppervlakkige slemp van 8,5 (hoofdstuk 6.2.2) en een helling van 10% over een lengte van 100 meter is de extra slempderving: (tabel 23) :

bij een waardering voor opp. slemp van 3: 2%

en bij een waardering voor opp. slemp van 10: 12 %.

Interpoleren geeft voor de werkelijke waardering voor opp. slemp van 8,5:

$$2\% + (10-8,5)/(10-3) * (12-2) = 4\%$$

$$\text{Gemiddeld over het perceel is dit hellingoppervlak / perceeloppervlak x derving \%} \\ = 100 * 50 / 31000 \times 4 = 0,7 \%$$

Hellingerosie kan met contourbewerkingen (mogelijk tot 20% helling) worden beperkt maar niet met teeltmaatregelen als extra aanaarden of breken van een slempkorst worden voorkomen. Ook indien een foliedek wordt toegepast zal dit in een later groeistadium moeten worden verwijderd en ontstaat alsnog het risico voor hellingerosie.

13 Schaduw

Opbrengstderving door beschaduwning (minder gewasverdamping, regenschaduw, vochtconcurrentie) kan zeer groot zijn en is nauwelijks gewasafhankelijk. Wel laten sommige gewassen (maïs) het ook duidelijk zien, terwijl bij andere gewassen de schade eerst na het bepalen van de opbrengst duidelijk wordt (kVEM waarde van gras). De opbrengstderving door beschaduwning kan worden benaderd door het gemiddelde aantal uren dat het gewas op een zonnige dag zich in de schaduw van bomen of gebouwen bevindt, te delen door 16 en het quotiënt te vermenigvuldigen met 100 (relatief dervings %).

14 Stenen in de bovengrond

Stenen in de bovengrond met afmetingen groter dan 3 cm, kunnen de bodemgeschiktheid sterk beperken. Werktuigen worden sneller bot (ploeg), slijten snel (kouters), lopen vast (zaaiapparatuur), en onderdelen breken sneller. Groter is veelal de schade door rooibeschatiging en verontreiniging van het oogstproduct. Aardappelen en groenten met stenen leiden tot beschadiging van machines bij de verwerking en worden door de verwerkende industrie geweigerd. Ook op grasland wordt hinder ondervonden van stenen: niet zozeer tijdens graslandvernieuwing maar doordat stenen in winterperioden door vorst in de grond omhoog getrokken worden en maaier, schudder, harker en hooipers beschadigen. Ook bij een steenvrij gemaakt maaiveld of bouwvoor ontstaat door strenge vorstwerking na verloop van tijd opnieuw hinder. Anders dan in Scandinavische landen kennen we in Nederland geen stenenrooiers; door het relatief geringe aantal stenige percelen is er tot nu toe geen markt voor geweest. Naast de extra slijtage aan werktuigen bestaat de schade door stenen uit een (zeer grote) extra arbeidsaanspraak: akker- en tuinbouwproducten zullen (handmatig) van stenen moeten worden ontdaan.

De beperking door stenigheid neemt toe naarmate het aantal stenen en de afmeting toeneemt. Bovengronden die gemiddelde per 10 liter bouwvoor (emmer) meer dan 5 stenen met een grootte van 3 cm bevatten of gemiddeld per 30 liter bouwvoor >1 steen groter dan 6 cm, geven landbouwkundige bezwaren.

Bij ≥ 30 stenen met afmeting van 3 cm /10 liter bouwvoor en ≥ 2 stenen groter dan 6cm /10 liter bouwvoor (dus 6 stenen/30 liter bouwvoor) zijn de veldwerkkosten met ca 15% toe genomen als gevolg van extra werktuigslijtage (*Hogenboom, 1989, Damoiseaux & Rosing, 1993*) en kunnen knol- en wortelgewassen niet meer in de industrie worden afgezet en is alleen verkoop aan huis nog mogelijk. Alleen handmatig geoogste knol- en wortelgewassen (asperge), en daarnaast bladgroenten, granen, boomteelt en fruit, kunnen nog worden geteeld. Bosbouw, kampeerterreinen, boomteelten, fruit, sportvelden (kunnen handmatig worden geschoond) en extensief grasland (alleen grazen; niet bij kuilen of hooien) ondervinden geen hinder van stenigheid.

Stenige percelen komen in Nederland voor in Zuid Limburg met kalk- en vuursteen-eluvium, op Maasterrasafzettingen in Limburg en Gelderland, en in grond en eindmorenes (stuwwallen) in Noord-Limburg, Gelderland, Overijssel, Utrecht en langs de Hondsrug in Drenthe.

Tabel 24 geeft een overzicht van de beperkingen van een stenige bovengrond:

Tabel 24. Extra veldwerkkosten (%) door extra slijtage werktuigen

Aantal stenen/ 30 liter bouwvoor	steen diameter	
	3 à 6 cm	≥ 6 cm
0	0	0
1	0	0
2	0	15
5	0	30)*
30	15)*	70)*

)* knol- en wortelgewassen niet aan industrie leverbaar

Deze extra veldwerkkosten kunnen worden gekwantificeerd door deze uit te drukken m.b.v het uurtarief; ca de helft hiervan bestaat uit werktuigkosten, waardoor bijvoorbeeld 10 % extra werktuigkosten bij een basis arbeidsbehoefte van 18 uur /ha en een veldwerkuurtarief van € 70,- de meerkosten : 10% van 18 uur maal de helft van € 70,- = 1,8 * 35 = € 63,- bedragen.

15 pH (zuurgraad bouwvoor)

Naast de invloed van de pH op slempgevoeligheid en verkruielbaarheid is er ook een direct effect van de pH op de opbrengst die sterk gewasafhankelijk is. Voor een deel heeft de pH een fysiologische invloed, deels wordt de derving veroorzaakt door verminderde beschikbaarheid (verdringing) en opneembaarheid van voedingsstoffen.

Boskma geeft op basis van 166 proefjaren op klei- en zavelgronden de opbrengstderving door een suboptimale pH in de bovengrond. Deze netto-effecten zijn de resultante van het (bio)chemisch/fysiologisch effect op de gewasopbrengst en de structuur- en verkruielbaarheids-effecten. Met name de aardappelteelt reageert fysiologisch omgekeerd aan de structureffecten van de pH op de opbrengst.

Wanneer deze netto pH-effecten worden geschoond van de structureffecten volgens Boekel (1972, 1973, 1982, 1985) resteren de dervingpercentages in tabel 25 voor de biochemische / fysiologische effecten:

Tabel 25. Biochemische / fysiologische opbrengstderving door suboptimale zuurgraad van zavel- en kleibovengronden

Gewas	pH _{KCl}								
	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	
Bieten	12	11	10	7	4,5	2	1	0	
Tarwe	11	10	9	7	4	2	0	0	
Aardappelen	0	2	3	4	4,5	5	6	11	
Erwten	12	5	2	1	0	0	2	5	
Gras	9	3	1	0	0	0	0	2	

Zand-, veen- en lössgronden zijn voor verkruielbaarheid en slemp nauwelijks pH-afhankelijk. Voor de opbrengst op deze gronden bestaat uitsluitend een fysiologische afhankelijkheid van de zuurgraad zij het dat, in tegenstelling tot zavel- en kleigronden, deze optimale pH mede afhankelijk is van het organische-stofgehalte (tabel 26).

Voor alle gronden geldt dat een opbrengstderving door een suboptimale pH moet worden afgewogen tegen de bekalkingskosten (kunnen extreem hoog zijn voor veengronden), en de effecten op de andere gewassen in het bouwplan; pH-aanpassingen vergen immers meerdere tot vele jaren en is op kalkrijke gronden zelfs praktisch onmogelijk.

Tabel 26. Biochemische / fysiologische opbrengstderving door suboptimale zuurgraad van de zand-, veen- en löss-bovengronden

Gewas	pH _{KCl}								
	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	
% org stof	3/8/22	3/8/22	3/8/22	3/8/22	3/8/22	3/8/22	3/8/22	3/8/22	
Bieten	32/26/21	21/18/16	16/13/11	11/9/5	8/5/5	4/2/2	1/0/0	0/0/0	
Tarwe	10/5/2	3/1/0	0/0/1	1/2/3	3/4/6	5/7/9	8/11/14	12/16/22	
Aardappelen	2/ 1/ 0	0/ 0/0	1/2/3	3/4/6	6/8/16	11/14/28	18/24/42	27/36/62	
Maïs	8/ 4/ 2	2/ 1/0	0/0/1	1/4/7	7/12/18	16/24/33	28/38/52	42/55/74	
Gras	8/4/2	2/1/0	0	0	0	0	0	2	

Voor ons pootaardappelvoorbeeld (pH bouwvoor = 5,0 4 % organische stof) betekent dit een fysiologische derving van 0,35 %.

16 Overige bodemgeschiktheidsfactoren

16.1 Bodemverontreiniging.

Indien het profiel een afwijkende bodemkleur vertoont of het geboorde of gegraven bodemmateriaal een onnatuurlijke geur bezit, moet ernstig rekening worden gehouden met verontreinigingen die het gewenste bodemgebruik sterk kunnen beperken. Met name voor gebruiksvormen waarbij consumptiegewassen (zowel voor mens als dier) worden geteeld wordt een verontreinigde bodem al snel ongeschikt, zij het dat bij geringe verontreinigingen met metalen door een pH-verhoging tot boven 6,5 de risico's kunnen worden verminderd. Veelal betekent dit weer een afname van de geschiktheid omdat dergelijke pH-waarden suboptimaal zijn voor het gewas en tot opbrengstdervingen leiden.

Ook recreatieve bodemgebruiksvormen worden reeds onacceptabel bij een relatief geringe bodemverontreiniging. Dit geldt overigens sterker voor kampeerterreinen en speel- en ligweiden (grondconsumptie door jonge kinderen) dan voor sportvelden.

Bodemverontreiniging met zware metalen (uiterwaarden van de grote rivieren) worden door rundvee grotendeels effectief uit de melk gehouden waardoor deze wel voor consumptie geschikt blijft. Dit geldt echter niet voor het orgaanvlees van deze dieren.

Het minst gevoelig voor bodemverontreiniging zijn de gebruiksvormen productiebos, bloembollenteelt, bloemisterijteelten, en boomteelten, voorzover de verontreiniging niet toxisch is voor de plant en de gewasgroei of -kwaliteit er niet door wordt geremd. Bijlage 5 geeft attenderingswaarden voor de bodemkwaliteit waarbij het oogstproduct onverhandelbaar of riskant in het gebruik wordt.

16.2 Waterkwaliteit en beschikbaarheid.

Droogte kan in de praktijk tot ca. 1/5 van de oorspronkelijke droogteschade worden beperkt door kunstmatig te beregenen, incidenteel ook door infiltratie/fertigatie. Voor sommige gebruiksvormen is de beschikbaarheid van water zelfs essentieel, bijvoorbeeld voor groenteteelt en groot fruit op (landschappelijk) vorstgevoelige percelen. Het gebruikte water moet echter aan zekere kwaliteitseisen voldoen. Met name substraatteelten in de glastuinbouw stellen zeer hoge eisen aan de samenstelling van het water.

Indien er geen water met de vereiste kwaliteit beschikbaar is kan dit de betreffende bodemgebruiksvorm onmogelijk maken hoewel de bodem zelf en de perceelsvorm optimaal kunnen zijn. Tabel 27 geeft de belangrijkste richtlijnen voor een acceptabele waterkwaliteit.

Voor wat de hoeveelheid water betreft worden de hoogste eisen gesteld bij bestrijding van vorst in fruit en boomteelt: voor het tegengaan van vorstschade d.m.v. beregening is een aanvoerbehoefte van 30 m³/ha/uur vereist, en ook een watervoorraad van 200 à 300 m³/ha/vorstnacht.

Voor bodemgebruiksvormen waarbij wordt berekend bedraagt de waterbehoefte ca. 4 mm/dag (40 m³/ha/dag); voor fertigatie in de fruitteelt is 6 liter/boom/dag nodig, hetgeen bij 2500 bomen/ha overeen komt met 15 m³/ha/dag.

Tabel 27. Grenswaarden voor acceptabele waterkwaliteit. Attenderingswaarden: bij overschrijding (onderschrijding indien minima staan vermeld) is het schaderisico groot, doch sterk afhankelijk van interacties.

Omschrijving	eenheid	LANDBOUW						DRINKWATER				NEERSLAG							
		sub-straat	overige glas-tuinb.	groente	fruit	akkerbouw	grasland	mens	herkauwers	varkens	pluimvee	nabijkust	overig Nederl.						
Troebelings	mgSiO ₂ /l	750) ¹	750) ¹	750) ¹	750) ¹	750) ¹	750) ¹	25											
KMnO-verbruik	mg/l	8	16	16				5	100) ²	100) ²	100) ²								
hardheid (tot.)	°D		12	12	12			10	25	25	20	4,2	2	0,2					
EC ₂₅	mS/cm	1,0	1,5	1,5	1,7	2,7	2,7		8	7	4								
Zuurgraad	pH	6,5 tot 8						6,5 - 9	4 - 9) ³	4 - 9) ³	4 - 9) ³			4,3					
Cl ⁻	mg/l	50) ⁴	200	300	300	600	600	200	2000	2000	2000	14,9	3,5						
HCO ₃ ⁻	mg/l	250	250	180	250			500					4						
NO ₂ ⁻	mg/l								1	1	1		0,03						
NO ₃ ⁻	mg/l							50	200	200	50	4,2	3,8						
PO ₄ ³⁻	mg/l							6				0,06	0,06						
S ²⁻	mg/l	1,0) ¹						0	0	0	0								
SO ₂ ²⁻	mg/l		1,0) ¹	1,0) ¹	1,0) ¹	1,0) ¹	1,0) ¹	250	250	250	50	8,3	6,5						
Al	mg/l	5 bij pH < 5,5							5	5	5								
As	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05												
Ba	mg/l							0,05	0,1	0,1	0,1								
B	mg/l	0,3	0,6	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	5	5	5								
Be	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,1	0,1	0,1								
Br	mg/l	1,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0												
Ca	mg/l	100	250					200	1000	1000	1000	1,2	0,9						
Co	mg/l	0,05; met name bij pH < 5,5							1	1	1								
Cd	mg/l	0,01) ⁴	0,01) ⁴	0,01) ⁴	0,01) ⁴	0,01) ⁴	0,01) ⁴	0,005	0,01) ⁴	0,01) ⁴	0,01) ⁴			0,0007					
Cu	mg/l	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,01	0,05	0,05	0,05			0,006					
Cr	mg/l	Totaal Cr: 1; zeswaardig Cr: 0,1						Totaal Cr: 1; zeswaardig Cr: 0,05						0,0012					
F	mg/l	0,5	0,5	1,0; met name bij pH < 5,5				1,5	2	2	2								
Fe	mg/l	00,5	2,5) ⁵	2,5) ⁵	1	7	15	1,0											
Hg	mg/l								10) ⁵	10) ⁵	10) ⁵		0,04						
K	mg/l							12	0,001	0,001	0,001	0,4	0,24						
Li	mg/l	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5												
Mg	mg/l	20						150	250	250	250	1,1	0,29						
Mn ²⁺	mg/l	1	1	1															
Mn tot.	mg/l	0,5	1,5	2; met name bij pH < 5,5				0,05	2	2	2								
Mo	mg/l	0,01	0,01	0,01					0,1	0,1	0,1								
Na	mg/l	125	115	0,01	0,01	0,01		200	4000	2000	500	8,3	1,9						
NH ₄ ⁺	mg/l	25	2	2				0,05	10	2	0,5	1,6	1,9						
Ni	mg/l	0,2; met name bij pH < 5,5							0,1	0,1	0,1			0,006					
Pb	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1) ⁶	0,1) ⁶	0,1) ⁶								
Se	mg/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02			0,008					
Sn	mg/l	nauwelijks opgenomen door plant; tolerantie niet bekend																	
Ti	mg/l																		
V	mg/l													0,1	0,1	0,1			
W	mg/l																		
Zn	mg/l	0,5	1,5	2,0; met name in humusarm materiaal en bij pH < 5,5					0,25	0,25	0,25			0,27					
organochloorpesticiden	mg/l							0,0001											
cholinesterase remmers	mg/l							0,001	0,0001										
phenolen	mg/l							0,002		0,0001	0,0001								
minerale olien en vetten	mg/l																		
methyleenblauw-actieve stoffen	mg/l							0,3											
fecale colibacteriën	aantal/l	25000 (totaal)) ¹						10	100	100	100								

)¹ risico voor verstopping van beregeningsproeiers en drinknippels

)² bij toevoeging van medicijnen: 50

)³ bij toevoeging van medicijnen: 6 – 7

)⁴ bij continu gebruik: 0,005

)⁵ bij berekening onder gewassen: 5 mg/l toelaatbaar; druppelaars en drinknippels verstopten echter bij > 1mg/l

)⁶ bij continu gebruik: 0,05

)⁷ bij recirculatie (hergebruik van het water): 25

17 Bodemgeschiktheid voor bosbouw.

Anders dan bij cultuurgronden wordt bemesting in de bosbouw niet als een normale teeltmaatregel beschouwd en wordt ook de bodemvoorraad aan plantenvoeding in de geschiktheidbeoordeling betrokken. Als randvoorwaarde geldt hierbij de zuurgraad van de wortelzone: gronden met een pH in de wortelzone boven 4,5 zijn minder geschikt voor naaldhout (met uitzondering van *pinus nigra*) wegens het grote risico voor wortelrot en storingen in de nutriëntenhuishouding van de boom. Onder een pH 3,5 (sommige pleistocene stuifzanden, oligotrofe venen en katteklei) groeit ook loofhout niet of alleen zeer slecht.

De beoordeling van de voedingstoestand is vooralsnog niet gebaseerd op bodemchemisch onderzoek maar wordt van de spontane kruidenvegetatie afgeleid (Bannink et al 1987).

De **hoogste voedingstoestand** wordt aangetroffen in

- cultuurgronden en
- in gronden onder natuurlijke vegetaties met dauwbraam, brandnetel, klaverzuring, hazelaar;

Een **matige voedingstoestand** wordt aangetroffen onder vegetaties met

- framboos, braam, stekelvaren, witbol, struisgras en lijsterbes;

Arme voedingstoestanden corresponderen met

- vegetaties die grotendeels uit zandzegge, duinriet, rendiermos, laddermos en klauwtjesmos bestaan.

Met in acht name van bovengenoemde invloed van de zuurgraad als randvoorwaarde, kan m.b.v. de reeltieve lengte van het groeiseizoen (RLG), de veeljarig gemiddelde droogteschade en de voedingstoestand, uit tabel 28 de bodemgeschiktheid voor bosbouw worden gelezen.

Tabel 28. Bodemgeschiktheid voor bosbouw. Groeiverwachting: + = hoog; ± = gemiddeld; -- = slechte groei

		Populier			Zomereik			Beuk			Grove den			Douglas			Lariks			Fijnspar		
Voedingstoestand		H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L
RLG	Droogteschade %																					
< 0,2	0																					
	25																					
	50																					
	75																					
0,3	0																					
	25																					
	50																					
	75																					
0,75	0																					
	25																					
	50																					
	75																					
1	0																					
	25																					
	50																					
	75																					

Uit tabel 28 blijkt dat niet alle boomsoorten even gevoelig zijn voor droogte, wateroverlast en voedingsstoestand. Voor genoemde soorten neemt deze in onderstaande volgorde af:
 te hoge GHG: beuk, douglas, populier, zomereik, lariks, grove den, fijnspar;
 verdroging: populier, beuk, zomereik, lariks, fijnspar, douglas, grove den;
 voeding: populier, beuk, zomereik, lariks, fijnspar, douglas, grove den.

De groei wordt uitgedrukt in m³ houtaanwas per ha per jaar en de uit tabel 28 afgeleide groeiverwachting kan als volgt worden gekwantificeerd:

boomsoort:	goede groei	slechte groei
populier	> 17	< 12,5
zomereik	> 6,5	< 3,5
beuk	> 6,8	< 3,4
grove den	> 6,6	< 4,2
douglas	> 13,5	< 8,8
lariks,	> 11,9	< 7,2
fijnspar	> 12,3	< 7,6

Menig bosbouwer heeft niet de keus of de beschikbare grond geschikt is voor bosbouw en laat zich bedrijfseconomisch vooral leiden door de actuele kapitaalrente. Het in tabel 29 genoemde Opbrengst Specifieke Saldo (de in dit rapport gebruikte referentie voor financiële opbrengst/saldo) is dan ook niet meer dan een indicatie. De jaarlijkse bijgroei is na aanplant zeer groot en neemt met het ouder worden van het bos relatief af. Er wordt overgegaan tot kap zodra

- én de verkoopwaarde groter is dan de aanplant- en velkosten;
- én de bijgroei (in % van bestaande houtopstand) minder wordt dan de marktkapitaalrente.

Vanaf dat moment is het voordeliger de winst te nemen en opnieuw aan te planten.

De beoordeling van de bodemgeschiktheid voor bosbouw is daarnaast niet altijd enkel op houtproductie, gebaseerd maar ook op recreatieve en landschappelijke toepassingen (zgn. "maatschappelijke diensten"). Indien dit meegenomen wordt betekent dit dat een grond beter geschikt wordt beoordeeld naarmate niet alleen de groei beter, maar ook het aantal boomsoorten dat er redelijk wil groeien, groter is. Indien op een bodem minstens 3 van de 6 genoemde gidsboomsoorten (populier, zomereik, beuk, grove den, douglas, lariks en fijnspar) acceptabel tot goed groeien, wordt de grond als zeer geschikt voor bosbouw beoordeeld; indien slechts twee soorten niet meer dan normaal groeien en de overige slecht, wordt de grond 'weinig geschikt voor bosbouw' genoemd.

18 Van % opbrengstderving naar € per ha

18.1 Berekening cumulatieve opbrengstderving

Bij de vaststelling van de totale opbrengstderving of de hieruit volgende veeljarig gemiddelde relatieve opbrengst van een bodem (100 % - alle 'schades') mogen niet alle dervingpercentages (lengte groeiseizoen, droogte, verkruielbaarheid, huidkwaliteit, schaduw, perceelsvorm, windvastheid, helling, stenigheid, interne slemp, textuursprongen, oppervlakkige slemp, stuifschade, vorstschade en beregeningskosten) cumulatief worden opgeteld. Immers als een bodem gemiddeld 50% droogte schade en 50 % natschade heeft, is de veeljarig gemiddelde totale derving geen 50+50 = 100% maar $50 + \{50 \cdot (50/100)\} = 75\%$.

De netto-opbrengst die resteert als gevolg van de opbrengstdervingen door de afzonderlijke bodemgeschiktheidsfactoren moet als volgt worden berekend:

100 - % schade te korte lengte groeiseizoen = A %

A - (A * % schade door onvoldoende verkruielbaarheid / 100) = B %

B - (B * % opbrengstderving door interne slemp / 100) = C %

C - (C * % opbrengstderving a.g.v. textuursprong / 100) = D %

D - (D * % opbrengstderving door mindere huidkwaliteit / 100) = E %

E - (E * % schade door onvoldoende windvastheid / 100) = F %

F - (F * % schade door perceelrandverliezen / 100) = G %

G - (G * % schade door hellingerosie / 100) = H %

H - (H * % schade door beschaduwing / 100) = I %

I - (I * % schade door suboptimale pH van de bouwvoor / 100) = J %

J - (J * % droogteschade / 100) = K % **(berekening rendabel?)**

K - (K * % schade door oppervlakkige slemp **(mits deze lager is dan de maatregelkosten: zoniet: op 0 % stellen)**) / 100) = L %

L - (L * % stuifschade **(mits deze lager is dan de maatregelkosten, zoniet: op 0 % stellen)**) / 100) = M %

M - (M * % vorstschade **(mits deze lager is dan de maatregelkosten: zoniet: % aanpassen)**) / 100) = N %

{(N/100 x praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo) - extra mechanisatiekosten a.g.v. stenen} / praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo x 100 = O%

{(O/100 x praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo) - extra arbeidskosten a.g.v. perceelsvorm} / praktisch potentiële gewasopbrengstafhankelijke financiële opbrengst x 100 = P%

{(P/100 x praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo) - extra mechanisatiekosten a.g.v. helling} / praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo x 100 = Q %

{(Q/100 x praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo) - beregeningskosten} / praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo x 100 = R %

{(R/100 x praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo) - kosten slempbestrijding} / praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo x 100 = S %

{(S/100 x praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo) - kosten stuifbestrijding} / praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo x 100 = T %

{(T/100 x praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo) - kosten folie of strodek} / praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo x 100 = U %

{(U/100 x praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo) - extra herinzaaikosten grasland} / praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo x 100 = V %

De volgorde waarin de cumulatieve opbrengstdervingen van de factoren A t/m M (met eenheid: % fysieke opbrengstdervingen) wordt berekend is niet relevant.

Opbrengstdervingen in de vorm van kosten (extra arbeidskosten voor perceelsvorm en helling, kosten van maatregelen tegen stuif, slerp, vorst en droogte) daarentegen zijn absoluut. Deze kosten (N t/m U) moeten als laatste in de berekening worden opgenomen, te beginnen met de onvermijdbare kosten voor extra arbeid a.g.v. stenigheid, perceelsvorm en helling. De volgorde tussen deze drie is weer niet van belang en ze mogen ook samen worden genomen.

Als laatste moeten de kosten worden meegerekend die facultatief zijn: maatregelen tegen droogte, slerp, stuif en nachtvorst; en voor grasland de extra herinzaaikosten. Ook deze onderlinge volgorde is niet van belang. Wel moet iteratief worden nagegaan of elke maatregel uiteindelijk nog wel rendabel is. De uiteindelijke netto opbrengst kan zo laag geworden zijn dat de absolute kosten van een of meerdere maatregelen niet meer rendabel blijkt en het voordeliger is de opbrengstderving die met de maatregel wordt voorkomen, te accepteren en de maatregel achterwege te laten.

Oppervlakkige slerp, stuifschade en vorstschade maken de berekening complexer omdat een strodek of folie tegen vorstschade, tevens oppervlakkige slerp en stuif voorkomt. Ook het wel of niet kunnen beregenen is van invloed op vorstschade en dus het eventuele rendement van een folie of strodek. De werkwijze is eerst de posten hierboven t/m Q te berekenen, zonder beschermingsmaatregelen. Vervolgens moet per afzonderlijke maatregel worden vastgesteld of deze nog rendabel is (netto nog tot een financiële opbrengstverhoging leidt). Met het bij dit rapport behorende excelprogramma (zie colofon van dit rapport) kan deze iteratieve toets op eenvoudige wijze plaatsvinden.

De berekening wordt eenvoudiger door bij de dervingen A t/m M niet uit te gaan van de praktisch potentiële fysieke opbrengst (kg gewasopbrengst / ha) maar evenals bij O t/m U van de praktisch potentiële financiële opbrengst (€ / ha). Indien de kosten van een beschermingsmaatregel tegen slerp, vorst of verstuing goedkoper is dan de schade erdoor, behoeven de kosten niet te worden omgerekend tot een relatieve fysieke opbrengstderving maar kunnen direct op de resterende financiële opbrengst in mindering worden gebracht; zie het voorbeeld in par. 18.2.

18.2 Teeltsaldo of financiële opbrengst?

In voorgaande versies van deze nota en ook bij de interpretatie van de HELP- en TCGB-tabellen vindt de vertaling van % opbrengstderving naar € per ha plaats op basis van het teeltsaldo: de geldelijke gewasopbrengst minus toegerekende kosten zoals die voor zaaizaad, pootgoed, bemesting, grondbewerking, gewasbehandeling, oogst, transport, drogen, reinigen en bewaring. De overweging was dat de gebruiker zijn grond kent en bij een lager productievermogen evenredig minder in de teelt investeert en de toegerekende kosten evenredig minder zijn. Alleen bij een tijdelijke of onverwachte achteruitgang van de bodemgeschiktheid (onvoorziene grondwaterstandverandering door toedoen van derden) leert jurisprudentie dat de geldelijke derving aan oogstopbrengst moet worden vergoed en niet de saldoderving. Overweging hierbij is dat de landbouwer in die situaties de vermindering van het productievermogen van zijn grond niet heeft kunnen zien aankomen en daar niet op heeft kunnen anticiperen met zijn investeringen in de teelt

Vanuit de landbouw is van oudsher kritiek geweest op het gebruik van het teeltsaldo in plaats van de geldelijke gewasopbrengst voor financiële schadebepalingen, met name op het uitgangspunt dat de toegerekende kosten als een vast % kunnen worden gezien van de financiële gewasopbrengst. En inderdaad blijken in recentere KWIN's voor veel teelten de toegerekende kosten (zaaizaad, pootgoed, bemesting, grondbewerking en gewasbehandeling, grotendeels vaste posten te zijn en nauwelijks

gerelateerd aan de opbrengst. Alleen de kosten voor oogst, transport drogen, reinigen en bewaring zijn afhankelijk van de gewasopbrengsten.

In deze nota is daarom niet langer uitgegaan van de het teeltsaldo (geldelijke opbrengst minus alle toegerekende kosten) maar van het opbrengstspecifieke saldo (OSS): de geldelijke gewasopbrengst minus uitsluitend de toegerekende kosten waarvan de hoogte van de fysieke gewasopbrengst afhankelijk is.

Hiermee wordt dus de geldelijke gewasopbrengst bedoeld minus de toegerekende kosten voor oogst, transport, drogen, reinigen en bewaring, voor zover die voor rekening van het landbouwbedrijf zelf komen.

Tabel 29 geeft de praktisch potentiële brutogewasopbrengsten, de opbrengstafhankelijke toegerekende kosten en de resulterende opbrengstspecifieke saldi.

Tabel 29. Praktisch potentiële saldi bij netto praktisch potentiële droge stofopbrengsten)¹

	Pot. fysieke opbrengst/ha	potentieel financ. opbr./ha	opbrengstafhankelijke toegerekende kosten (%)	Opbrengst specifieke saldo
Bosbouw	pm	€ 300,-	30%	€ 210,-
Bloembollen				
Dahliaknollen	175.000 st	€ 32000,-	6,5 %	€ 29 900,-
Gladiolen	1.250.000 st	€ 25000,-	7 %	€ 23 250,-
Hyacint,	250 000 st	€ 37500,-	12 %	€ 33000,-
Iris,	850.000 st	€ 25500,-	9 %	€ 23 200,-
Narcis	500.000 st	€ 10000,-	6,5 %	€ 9 440,-
Tulp	400.00 st	€ 20000,-	13 %	€ 17 400,-
Fruit				
Appel	50 t.	€ 22500,-	42 %	€ 13 000,-
Peer	45 t.	€ 27450,-	33 %	€ 18 400,-
aardbeien:	35 t.	€ 6950,-	2 %	€ 6 800,-
blauwe bessen:	1,5 t	€ 13500,-	25,5 %	€ 10 600,-
Boomteelten				
Laanbomen:) ²	90 000 st.	€ 40 000,-	nihil	€ 40 000,-
Vruchtboomonderstammen) ²	70 000 st	€ 35 000,-	nihil	€ 35 000,-
Rozenonderstammen) ²	65 000 st	€ 100 000,-	nihil	€ 100 000,-
Bos- en haagplantsoen, rozen:	1.200.00 st	€ 35 000,-	nihil	€ 35 000,-
Houtige siergewassen) ²	280 000 st	€110 000,-	nihil	€ 110 000,-
Akkerbouw				
wintertarwe	10t. kor./6t stro	€ 2400,-	0,4 %	€ 2 390,-
zomertarwe/wintergerst	8t. kor./5t. stro	€ 1350,-	0,4 %	€ 1 340,-
zomergerst (brouwrdig)	5,5t./3t,1,5t. doorval	€ 2000,-	0,9 %	€ 1 980,-
winterrogge	7t. kor. 6t. stro	€ 1700,-	0,45 %	€ 1 690,-
haver	7,5t. korrels,5t. stro	€ 1200,-	0,6 %	€ 1 190,-
blauwmaanzaad	1,7t .	€ 3100,-	15 %	€ 3 050,-
koolzaad	4t.	€ 850,-	12 %	€ 750,-
graszaad	2t. zaad / 9t. gras	€ 1233,-	19 %	€ 1 000,-
snijmais (bezorgd)	22 t ds/ 20,8 t kVEM	€ 3740,-	16 %	€ 3 030,-
eigen veevoer	idem	€ 3740,-	nihil	€ 3 740,-
cons. aardappelen	65t.	€ 7800,-	7 %	€ 7 250,-
pootaardappelen	45t.	€ 13500,-	2,3 %	€ 13 200,-
fabrieksaardappelen	75t.	€ 5250,-	7 %	€ 5 000,-
suikerbieten	80t.	€ 2800,-	14%	€ 2 400,-
uien	27 t.	€ 4590,-	nihil	€ 4 590,-
Groenteteelten:				
Doperwten	8 t erwten/ 4 t stro	€ 3 240,-	2 %	€ 3 200,-
bruine bonen	4,5t.	€ 2 970,-	nihil	€ 2 970,-
stamslabonen:industrie	16t.	€ 2 880,-	nihil	€ 2 280,-
spinazie	30t.	€ 11 400,-	3,5 %	€ 11 000,-
andijvie (zomer-/herfstteelt):	60t.	€ 25 800,-	4 %	€ 24 800,-
asperges (incl. eerste jaren)	7 t.	€ 18 700,-	6 %	€ 18 000,-
boerenkool	22t.	€ 3 960,-	nihil	€ 3 960,-
bloemkool	26 000 st	€15 600,-	27%	€ 11 400,-
bospeen	45000 st.	€ 21 150,-	21%	€ 17 000,-
courgette	215000 st	€ 53 750,-	5%	€ 51 000,-
ijssla	65000 st.	€ 11 700,-	41 %	€ 6 900,-
prei	45t.	€ 19 800,-	31 %	€ 13670,-

Vervolg tabel 29 Praktisch potentiële saldi bij netto praktisch potentiële droge stofopbrengsten)¹

	Potentiële fysieke opbrengst/ha	potentieel financ. opbr.	opbrengstafhankelijke toegerekende kosten	opbrengst specifieke saldo
melkveehouderij:				
grasland bruto 19,8) ¹) ³				
netto beweid	15,3 t. ds	€ 1070,- / €2602,-) ³	18% / 8% (N-bem.)	€ 880,- / € 2400,-
gemaaid:	17,9 t. ds	€ 1253,- / € 3048,-) ³	16% / 7% (N-bem.)	€ 1050,- / € 2840,-
gemiddeld:				
(1/3 maaien, 2/3 weiden)	16,1 t. ds	€ 1127,- / € 2741,-) ³	18% / 7% (N-bem.)	€ 925,- / € 2550,-
luzerne (3-jr): gem.	13,5 t. ds	€1000,-	nihil	€ 1000,-
voederbieten:	16 t. ds	€4800,-	nihil	€ 4800,-
snijmaïs eigen voer	22 t ds	€3740,-	nihil	€ 3740,-
verkoop	22 t ds	€3740,-	16%	€ 3080,-

)1 (praktisch potentiële drogestofopbrengst is potentiële oogstbare bruto-opbrengst minus

a: negatieve effecten van bodemheterogeniteiten, rijsporen, onvermijdelijke beheersfouten) = 10 % voor snijmaïs, voederbieten, beweid en gemaaid grasland;

en minus

b: oogstverlies; = 14 % voor snijmaïs, 10% voor voederbieten, 13 % gemiddeld voor beweid en gemaaid grasland;

(naar: Aarts en Van Keulen, 1992; Boxem 1975, Schothorst 1969, 1972, 1975, Frankema en Goedewagen, 1942, Wind 1965, Hassink 1971)

c: 1 ton ds = 0,95 ton kVEM voor gras; 0,7 ton kVEM voor luzerne; 0,98 ton kVEM voor voederbieten en 0,95 kVEM voor snijmaïs.

)2 De meest riskante overige boomteelten blijken in de praktijk alleen op zand- en veengronden realiseerbaar. De hoger salderende teelten vertonen op zavel en klei een dusdanig vertraagde groei en/of kwaliteitsvermindering (zie verkruielbaarheid) dat met een minder duur sortiment veeljarig gemiddeld een hoger bedrijfsinkomen wordt behaald. Als gevolg van deze verschillen in sortimentmogelijkheden bestaat er op de meest geschikte zavel en löss, reeds een opbrengstderving van 25% t.o.v. zand en veen; en op klei zelfs 50%. Omdat deze 'basisderving' niet voor bos- en haagplantsoen geldt is dit niet als een voor de gehele boomteelt geldende beperking opgenomen bij de beoordeling van de verkruielbaarheid en dient hiervoor zo nodig bij de uiteindelijke vertaling van bodemgeschiktheid naar saldo te worden gecorrigeerd.

)3 Voor grasland moet bij de vertaling van een % opbrengstderving naar een saldoderving in euro's per ha onderscheid worden gemaakt in wel en niet-zelfvoorzienende bedrijven, waarbij zelfvoorzienend betekent dat de veebezetting dusdanig is (en blijft) dat geheel in de eigen ruwvoederverzorging kan worden voorzien. Sturend is in de praktijk de kVEM kosten bij snijmaïs aankoop: 17,9 ct/kg thuis bezorgd.. Op niet-zelfvoorzienende bedrijven correspondeert 1 % grasopbrengstderving (152 kg kVEM) met € 27,40/ha. Op zelfvoorzienende bedrijven kan het ruwvoer-overschot worden verkocht waarbij het in de praktijk gebruikelijk is dat de aanbieder de transportkosten voor zijn rekening neemt. Deze blijken behalve van de hoeveelheid, vooral ook afhankelijk van de transportafstand en bedragen gemiddeld 16% van de financiële (kVEM) waarde van de oogst.

In ons pootardappelvoorbeeld doen zich de volgende opbrengstdervingen voor:

Lengte groeiseizoen: 43 %, verkruielbaarheid: 0%; interne slemp, verminderde huidkwaliteit en windvastheid; 0%, textuursprong 4,6 %, extra arbeidskosten door perceelsvorm € 520,-; perceelrandverliezen 4%; extra mechanisatiekosten helling €43,-; hellingerosie 0,7 %; beschaduwing en stenen: 0 %; oppervlakkige slemp 1%; vorstschade 0 %; stuifschade €35,-; droogteschade (beregend) 4,5 % en kosten voor beregening €470,-/ha.

Het praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo (tabel 29) bedraagt € 13200,-/ha. Het veeljarig gemiddelde opbrengstspecifieke saldo (OSS) op dit perceel voor pootardappteelt volgt uit onderstaande tabel:

<i>Factor</i>	<i>derving bruto</i>	<i>Opbrengstspecifieke saldo € /ha</i>
Lengte groeiseizoen	43 %	13200 – 13200 x 43/100 = 7524,-
Verkrumelbaarheid	0 %	
Interne slemp	0%	
Textuursprong	4,6%	7524 - 7524 x 4,6/100 = 7177
Huidkwaliteit	0%	
Windvastheid	0%	
Perceelrandverliezen	4 %	7178 - 7178 x 4/100 = 6891
Hellingerosie	1 %	6891 – 6891 x 1/100 = 6822
Beschaduwing	0%	
pH schade	0,35%	6822 - 6822 x 0,35/100 = 6798
Droogteschade	4,5 %	6798 – 6798 x 4,5 /100 = 6492,
Oppervlakkige slemp	1%	6492 – € 6492 x 1/100 = 6427,-
Vorstschade	0 %	
Stuifschade	0 % (wel maatregelkosten)	
Stenigheid bouwvoor	0%	
Extra arbeidskosten		
a.g.v. perceelsvorm	€ 520,-	6427 - 520 = 5907
Extra mechanisatiekosten		
a.g.v. helling	€ 43,-	5907 –43 = 5864
Beregeningskosten	€ 470,-	5864 – 470 = 5394
Kosten slempbestrijding	0	
Kosten stuifbestrijding	€ 35	5394 - 35,- = 5359
Kosten folie/strodek	0	

Controle of de maatregelkosten ook uiteindelijk rendabel zijn:

Niet beregenen bespaart € 470,- aan kosten doch de droogteschade neemt toe met 22-4,5= 17,5 %:

€ 5359,- + € 470,- = € 6130, minus 17,5 % = € 4809,. Beregenen is derhalve rendabel (met een rendement van veel;jarige gemiddeld € 550,- /ha/jaar).

Achterwege laten van stuifbestrijding bespaart € 35,- in ruil voor stuifschade ter grootte van 3 %, waarmee de financiële opbrengst uitkomt op: = € 5359,- + 35,- = € 5394,- minus 3 % stuifschade = € 5232,-. Ookdit is lager dan € 5359,- en de kosten voor stuifbestrijding blijken ook bij het netto eindresultaat rendabel te zijn.

Het veeljarige gemiddelde opbrengstspecifieke saldo in is voorbeeld bedraagt derhalve € 5359,- voor pootaardappelteelt; i.e. 41 % van het veeljarig gemiddelde praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo. De veeljarig gemiddelde netto-opbrengstderving bedraagt derhalve 59 %.

Deze forse opbrengstderving wordt vooral veroorzaakt door de hoge voorjaarsgrondwaterstand. Slootpeilverlaging, al dan niet met buisdrainage, waardoor de GHG wordt verlaagd tot 70 cm cm-mv leidt tot een stijging van het opbrengstspecifieke saldo tot € 10200,- (netto derving 23 %).

In de praktijk blijkt dat voor de meest gangbare vormen van landbouw vooral een suboptimale GHG en perceelsvorm, tot de grootste opbrengstdervingen leiden. De GHG kan met het bij dit rapport behorende excelprogramma op vrij eenvoudige (en in de praktijk op relatief betaalbare wijze -slootpeilverlaging / buisdrainage) worden geoptimaliseerd. Zodra daarmee de gewenste GHG is vastgesteld kan met behulp van bijlage IV de hiervoor benodigde ontwerpcriteria (ontwateringsbasis en –intensiteit) worden afgeleid en vervolgens draindiepte en drainafstand worden berekend. (Huinink, 1990).

Nawoord, HELP-tabellen

De in tabel 29 vermelde opbrengsten en saldi kunnen slechts op enkele (of eigenlijk: binnen) percelen in Nederland worden bereikt. In de praktijk worden de potentiële maximale opbrengsten uiterst zelden behaald: een niet-slempgevoelige grond is stuifgevoelig (leemarm zand) of moeilijk verkruiembaar (klei) of leidt tot een onverkoopbare huidkwaliteit van het oogstproduct (veen). Een gunstige waardering voor bodemgeschiktheidsfactor A leidt bijna altijd tot een minder gunstige waardering voor factor B. Grasland waar zonder berekening weinig droogteschade optreedt (bruto droge stofopbrengsten van 20 ton/ha), is zo nat dat er zeer grote schade door wateroverlast optreedt (geen of zeer korte beweide- en bereikbaarheidsperiode). Het gras groeit wel maar kan niet of slechts met zeer grote verliezen worden binnen gehaald. De beste graslandgronden hebben veeljarig gemiddeld dan ook minstens 25% droogteschade.

In dit rapport worden dervingen soms tot op fracties van procenten berekend en het zal duidelijk zijn dat dit veelal een schijnnaauwkeurigheid is; als de betreffende bodemgeschiktheidsfactor al betrouwbaar uit onderzoek afkomstig is, geldt deze betrouwbaarheid veelal alleen voor de bedrijfsomstandigheden waarbinnen het effect van de factor is onderzocht. Voor een gemiddeld praktijkperceel moet bij het met deze nota berekende opbrengstspecifieke saldo een slag om de arm gehouden worden van plusminus 5 à 10%.

De HELP-tabellen beoordelen de bodemgeschiktheid uitsluitend op nat- en droogteschade en hoewel met name de GHG (natschade) in ons klimaat de meest bepalende bodemgeschiktheidsfactor is, worden door het gebruik van de HELP-tabellen de overige bodemgeschiktheidsfactoren wel in een erg sterke mate genegeerd. Hier kan tegenin worden gebracht dat de meeste bodemgeschiktheidsfactoren moeilijk of kostbaar (profielingrepen, perceelsvorm) zijn aan te passen, vergeleken met het aanpassen van de GHG en de HELP-tabellen zijn ontwikkeld voor evaluatie van ingrepen in het peilbeheer (GHG/GLG). Op hoofdlijnen (voor gebieden met vergelijkbare bodemtypen en bodemgebruiksvormen) kunnen de HELP-tabellen inderdaad hiervoor worden gebruikt mits voor een vertaling van % naar € niet het praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo wordt gebruikt maar een aanzienlijk lagere financiële referentie opbrengst waarin de gemiddelde derving binnen het gebied voor de niet grondwatergebonden bodemfactoren in mindering is gebracht.

Voor maatwerk op bedrijfs-, perceels- en teelt-niveau is de benadering in dit rapport meer geschikt.

Oosterbeek, juni 2011

Literatuur

- Aandekerkerk, Th.G.L. 1975. De geschiktheid van laagveengronden voor de teelt van boomkwekerijgewassen. B.O. 6, 5:469-472.
- 1980. Onderzoek van bezandingproeven op laagveengrond. B.O. 11,6:623-628
- Aarts, H.F.M. & H. van Keulen, 1992. De praktische gevolgen van verscherpte milieu-eisen voor de weide- en voederbouw op zandgrond; een theoretische benadering. CABO, Wageningen.
- Bakker, G. de, De bodemgesteldheid van enkele Zuid-Bevelandse polders en hun geschiktheid voor fruitteelt. De bodemkartering van Nederland IV/Versl. Landb.k. onderz. 56.14
- Bannink, J.F, P.A. Kouwenhoven, R.H. Kemmers. Vegetatie en bodem. In: Bodemkunde van Nederland. red. H. de Bakker, W. Locher, dl 2. p 117-. Malmberg Den Bosch
- Berenschot, M.C. 1995. De bodemeisen van en de bodemgeschiktheid voor de hyacintenteelt in Nederland. Consulentschap voor de Landbouw Noord Holland / HOHAHO, Lisse.
- Beuving, J. 1982. Onderzoek naar bodem- en waterhuishoudkundige gegevens voor invoer en verificatie van een model voor berekening van de effecten van de waterhuishouding. Nota 1378, ICW, Wageningen.
- Beuving, J., K. Oostindie, Th. Vellinga, 1989. Vertrappingsverliezen door onvoldoende draagkracht van veeengrasland. Staring Centrum rapp. 6. Wageningen
- Bloemen, G.W. 1975. Berekening van de capillaire stijghoogte voor een aantal Nederlandse standaardgronden. ICW Nota 857, Wageningen.
- Boekel, P., 1972. Factoren die van invloed zijn op de structuur van de grond. In: Bodemkunde in de moderne landbouw- en tuinbouw. p. 12-22. Voordrachten gehouden op de 28e B-leergang, Ministerie van Landbouw en Visserij, 's-Gravenhage.
- Boekel, P., 1973. Soil structure and plant growth. Neth. Journ. Agric. Sci. 11 120-127
- Boekel, P., 1982. De bodemstructuur in de moderne landbouw. Bedrijfsontwikkeling, 13; 1001-1007
- Boekel, P & A. Pelgrum, Bodemfysisch onderzoek op enkele percelen tulpen in Noord-Holland. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid; Rapport 4, Haren (G).
- Boer, M. de, 1985; De invloed van de zaaidatum op de opbrengst van zomergerst. Afgesloten meerjarig onderzoek in ZW Nederland. Uitg. 1985; 39-
- Bon, G.J. 1975. Zaaidatum en opbrengst van zomergraan. BedrijfsOntwik. 6, nr 5
- Boxem, Tj. 1975; Grondwaterstandsverlaging op veengrasland geeft goed resultaat. Bedr. Ontw. 6, nr 12. Buffer de; jaargang 1982 nr 2; Beworteling van Landbouwgewassen
- Buyijn, J. 1955. De plantenwortel in de landbouw. 's Gravenhage:
- Bijl. D. de, 1965 Fruitteelt op rivierklei. In: Resultaten van komgrondproefboerderij De Vlierd. Wageningen, Publicaties Proefst. Akker- en Weideb. 27:82-91
- Bray, W.E. en K. J.Thomppson, 1985; Sugar beet; a growers guide. Booms Barn Exp. Station Consulentschap Tuinbouw, 1979, j. Grootte en vorm van percelen. In: Zandgrond als produktiemiddel. Lisse, jan. 1979.
- Cult. tech. Vad. 1998. hfdst 3.3; Vochtleverantiemodellen.
- Dam, J.G.C. van; 1966. Verslag van het proefplekkenonderzoek bij het ras Jonathan Gold. Stiboka, rapp. 702
- Dam, J.G.C. van; 1967. Geschiktheid van de grond voor tuinbouw. Landbouwk. tijdschr. 's Grav. 79:229-305
- Dam, J.G.C. van; Bodemgeschiktheidsonderzoek, in het bijzonder bij asperges, appels en stooktomaten. Bodemkundige studies 10, Stiboka, 1973
- Dam, J.G.C. van & J.A. Hulshof; 1960. Zijn de lichtste gronden de geschiktste aspergegronden? Meded. Dir. Tuinb. 24:54-55
- Dam, J.G.C. van & J.A. Hulshof; 1964. Onderzoek naar de geschiktheid van de grond in Limburg voor de teelt van asperges. Jaarversl. v.d. proeftuinen Horst, Venlo en Ulestraten. 1964: 85-93
- Dam, J.G.C. van; & C. J. van der Knaap. 1965. Invloed van de grond op de teeltresultaten van tulpen. Stiboka, Rapp. 908.

- Dam, J.G.C. van; & F. A. Wopereis. 1977. Geschiktheid van zandgronden in Zuid-Nederland voor de teelt van sierconiferen. B.O 8,4.
- Dekker, L.W. & J. Bouma; 1978. De invloed van drainage en verbeterde ontwatering op de verticale verzadigde doorlatendheid van komklei- en knipkleigronden. Stiboka, rapp. 1416, Wageningen
- Damoiseaux, J.H., en H. Rosing, 1993; Toelichting bij de herziene kaartbladen 59 Peer en 60 West en Oost Sittard, DLO-Staring Centrum, 1993
- Dekker, P.H.M., 1985. Opbrengstverschillen afhankelijk van bodemverschillen voor doperwten, stamslaboon en knolselderij. PAGV.
- Dekker, P.H.M. & J.J. Neuvel, 1987. Zaatijden doperwten. PAGV rapp.
- Erpers Roijaards, T. van; 1987, Een onderzoek naar enige bodemtechnische factoren bij de bezanding van bloembollengronden in Noord-Holland. ICW nota 1808, sept 1987.
- Feddes, R.A. 1971. Water, heath and crop growth. Meded. Landb. hogeschool Wageningen. 71(12)1-184
- Feddes, R.A. 1985. Crop water use and dry matter production: state of the art. In: Les besoins en eau des cultures. Conference Internationale, Paris 11-14 sept 221-234.
- Franken, A.A. & J.P.N.L. Roorda van Eysinga, 1958. Bewortelingsdiepte van Asperge. Meded. Dir. Tuinbouw. 21: 491-494
- Frankena, H.J. & M. A. Goedewagen 1942. Een vakkenproef over den invloed van verschillende waterstanden op den grasopbrengst bij drie grondsoorten. Versl. Lbk onderz. 48 (6) A. IB Groningen
- Gezondheidsdienst voor Dieren, 2007. Praktijkmap voor herkauwers. Deventer.
- Goedewagen et al 1955. Wortelgroei in gronden bestaande uit en bovengrond van klei en een ondergrond van zand. Versl.lbk..ond. 61.7 Staatsdrukk den Haag
- Haagsma, S, 1971, resp Haagsma S.en J. van Vulpen 1971: Grasland op droog en nat/Ontwatering veengraslanden. Bedrijfsvoorlichting nr.7 juli 1971Consulentschap voor de rundveehouderij, Utrecht
- Haans, J.C.F.M. (red.), 1979. De interpretatie van bodemkaarten. Rapp. 1463. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, 221 p.
- Hag, B.A. ten, H.M.G. van der Werf, J. de Boer; 1984; Optimalisering van de snijmaïsteelt. In:Themadag Snijmaïs. PAGV-themaboek nr 4; 7-26
- HELP'78: Werkgroep Herziening Evaluatie Landinrichtingsplannen, 1978. Methode voor de evaluatie van landinrichtingsplannen. Utrecht, 1978.
- HELP'87: Werkgroep HELP-Tabel, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Med. Landinrichtingsdienst 176, Utrecht.
- Hoekstra. C. & C. van Wallenburg. 1967. De teelt van eigenheimers op klei- en zavelgronden van de Zuid-Hollandse eilanden. Landb. Voorl. 24:106-109, 142-145, 196-200.
- Hogenboom, 1989; Mechanisatiemogelijkheden i.v.m. helling. Consulentschap voor akker en tuinbouw in Limburg. Roermond, 1989
- Hoorn, J.W. van, 1958/1985. Results of a ground water level experimental field with arable crops on clay soil . Technical bulletin Institute for Land and Water Management Research (no 1). Overdr. Netherlands, Journal of agricultural science. 6 (1985) 1 (Febr.)
- Hoorn, J.W. van, 1960; Grondwaterstroming in komgrond en de bepaling van enige hydrologische grootheden in verband met het ontwateringssysteem . Verslagen Landbouwkundige Onderzoekingen;(86-10)
- Houben, J.M.M.Th. 1974. Wortelontwikkeling en bodemgeschiktheid. Bedr. Ontw. 5 (1974) pp141-1979; Bodemgesteldheid en diepte van beworteling. Stiboka, Rapport 1459
- Hoving, I.E, 2006. De HerinzaaiWijzer als hulpmiddel bij afweging van graslandvernieuwing. Praktijkrapport Rundvee 82, ASG Lelystad.
- Huinink, J.Th.M., 1990. Berekening van drain- en slootafstanden. Tijdschrift Landinrichting; jan.1990
- 1990. Bodemgeschiktheidstabellen voor landbouwkundige vormen van bodemgebruik. IKC-MKT-14, juni 1993, 32pp. + bijl
- 1990. Teelgrond is meer dan 'zwarte' grond. Wegen; sept.'90. pp.23-29

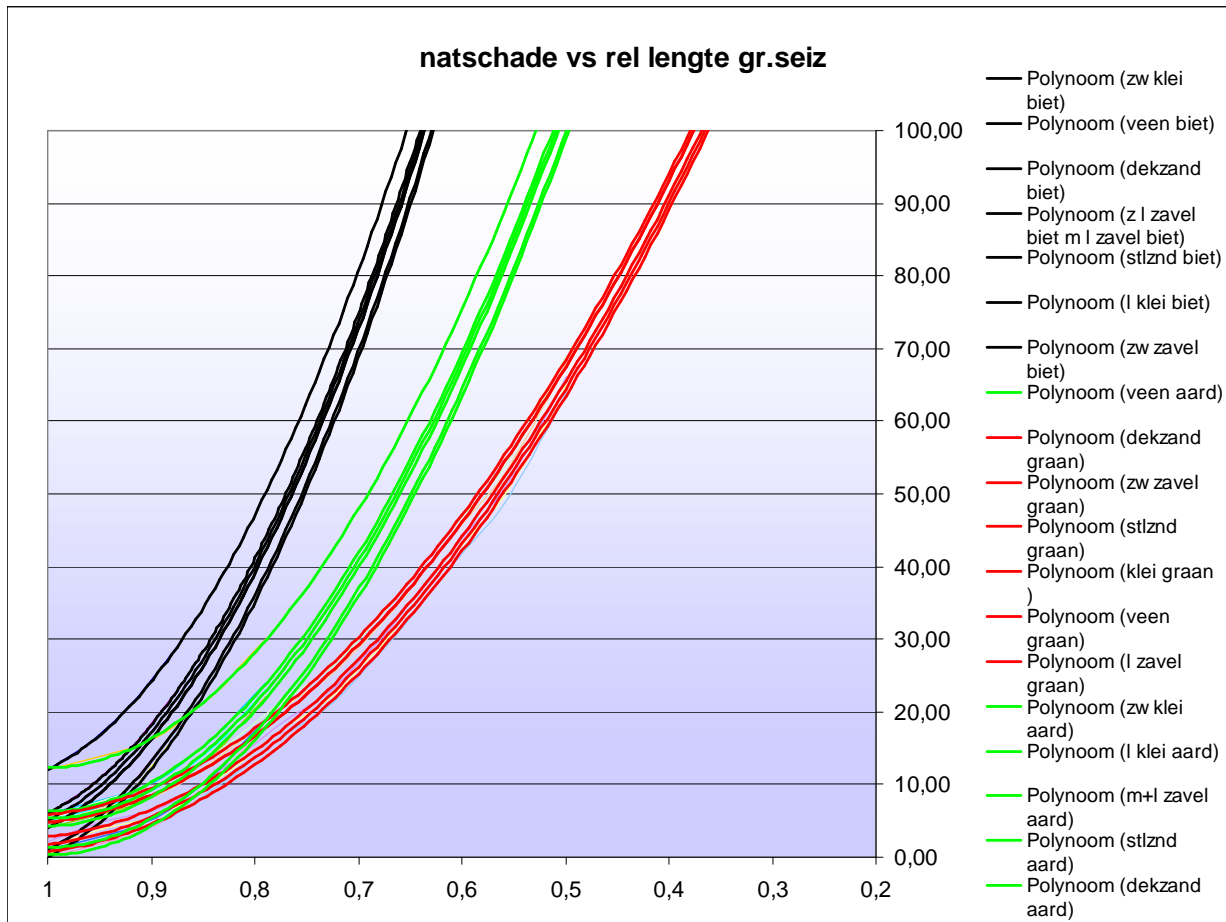
- 1992. Bodemgeschiktheid. In: Inwerkprogramma Specialisten Bodem, Water en Bemesting. Hoofdstuk 19. IKC Akker- en Tuinbouw, afd Milieu, Kwaliteit en Techniek
 - 1993. Bodemkunde van de bouwvoor. In: Locher, W.P. en H. de Bakker (red.) Bodemkunde van Nederland, Hfst.14 pp197-209, Malmberg, Den Bosch.
 - 1996. Veldmap Profielbeschrijving en beoordeling. Vierde gewijzigde druk, IKC-L.
 - 1998; en: F. Verstraten, J. Janssen. M. Mooij, L. Beijer, A. van der Wees, Het economisch belang van water in de landbouw; IKC-L. nr 137, Ede
 - 2001. Neerslag en verdamping; regionale verschillen binnen Nederland; IKC-Landbouw
 - 2011; Bodemkwaliteit; Grenswaarden voor landbouw, natuur en recreatie. Bodemconsult Arnhem, Rapp. 2011-2, Oosterbeek
- Huitema. J. 1987. Het vochtgehalte van de bodem tijdens grondbewerkingen en de invloed daarvan op de grond en de gewasopbrengst. Consulentenschap voor Bodem-, Water- en Bemestingsaangelegenheden in de Akker- en Tuinbouw.
- Jacobs A., B. Hesinkveld, B Holtslag; 2006; Dauw boven grasland. Meteorologica 15/ nr 1. pp27-30.
- Jorritsma, J. 1975. Length of growing period and yield of sugarbeet. 38th Winter congress. Session 1 rep. 1.3
- Knaap. W.C.A, van der, & J.C. van Dam. 1984. Bodemgeschiktheid voor bloembollenteelt. BedrijfsOntwikk. 15, 12: 983-987.
- Knaap. W.C.A, van der, & J.C. van Dam. 1988. Bodemgeschiktheid voor grassportvelden en trapvelden. Landelijk Contact. (198).
- Keuls. M & J.J. Post. 1956. Invloed van de temperatuur op de groei van asperges. Meded. Dir. Tuinb. 19:827-845.
- Kloes, L.J.J. van der, 1965. Bodemkundige aspecten van de teelt van enige tuinbouwgewassen. Versl. Landb.k. Onderz. 665.
- Kodde, J. 1985. Opbrengstverschillen tussen percelen proefboerderij Rusthoeve voor wintertarwe, suikerbieten, zaaiuien en consumptieaardappelen. Consulentenschap Akker- en Tuinbouw, Goes
- KWIN: Kwantitatieve Informatie: resp. voor de Akkerbouw en Vollegrondsgroente (2009; PPO nr 383); voor de Boomkwekerij (2006; PPO nr 422); voor de Fruitteelt (2009-2010; PPO nr 2009-41), Bloembollen- en bolbloemeteelt (2005; PPO nr 719): voor de Rundveehouderij (2011; WUR/DLO
- Loon, C.D. van, 1985. Opbrengstverschillen a.g.v. bodemverschillen: pootaardappelen, consumptieaardappelen en fabrieksaardappelen. PAGV, Lelystad.,
- Lynden, K.R. van, 1966. Indeling van gronden naar geschiktheid. Ned. Bosb.Tijdschr. 38:280-291.
- Meier. W. 1985. Opbrengstverschillen a.g.v. bodemverschillen: koolzaad,
- Nerum,K. & A. Palasthy. 1966. Studie van de bodemgeschiktheid voor de aspergeteelt. Agricultura, Louvain 14:251:288.
- Neut, D. van der, 1994; Effecten van peilverlaging in de Hoeksche Waard. LU Wageningen/ Zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden, Dordrecht/ Waterschap De Groote Waard, Klaaswaal, okt. 1994
- NMI 1987 Bosbemesting. Brochure; Nederlands Meststoffen Instituut, Wageningen.
- NMI 2002 Praktijkids Bemesting; Nutriënten Management Instituut,Wageningen.
- Pieters, J.H., 1961. Gevoeligheid van grasland voor vertrapping. Landb. Voorl. Juni 1961 pp 377-381.
- Pronk, G.M., 1984; Berekening van baten van landinrichting voor weidebedrijven. Cult. Techn. Tijdschr. 24-2, pp. 71-83, aug./sept. 1984.
- Pijls: F.W.G. & J.A. Hulshof,1957. De geschiktheidsclassificatie van de grond te behoeve van de tuinbouw. Meded. Dir. Tuinbouw. 20: 386-387.
- Rops, A.H. 1987. Invloed zaaitijd van waspeen op opbrengst en kwaliteit. Wg 105-124 en 142. ROC De Waag.
- Schothorst, C.J. 1963. Beweidingsverliezen op diverse graslandgronden. ICW. Meded. 57
- Schothorst, C.J. 1975. Invloed ontwatering op draagkracht. Grondjournaal, nr. 9 p27-
- Schothorst, C.J. 7 D.& J.Hettinga 1972. Het effect van polderpeilverlaging in een proefobject in de Ablasserwaard. ICW Nota 697, Wageningen.

- Schie, W. van, 1985. Bodembeschikbaarheid voor bloembollenteelt op duinzandgrond en boomteelt op veengrond. Consulentenschap. Bloembollenteelt en Consulentenschap Boomkwekerij; Lisse, resp. Boskoop.
- Schuurman, J. ,L. Knot. Vergelijking van de wortelontwikkeling van drie grassoorten en zomertarwe. Versl.lbk.ond. 1970, Pudoc Wageningen;
- Schuurman J.J., B.E.Schäffner. 1974. De wortelontwikkeling van enige tuinbouwgewassen op zandgrond. IB, 11-74 Haren, Gr.
- Segeren, W.J. & L. Visser, 1969. Het waterstandsproefveld van de fruitteelt in de IJsselmeerpolders. Meded. Dir. Tuinb. 32:180-196
- Sloots, G.B. 1971. Samenhang tussen zaaicapaciteit en opbrengst bij zomergranen. Int. Rapport 242' RIJP, Kampen.
- Sluijs, P. van der, 1993, Vochtlevering van de grond; in: 'Bodemkunde van Nederland; hfdst 18; ed W.P Locher/H.J. De Bakker; Malmberg 1003).
- Smit, A.I. 1987. Een kwantitatieve benadering van de overzaaibeslissing bij suikerbieten. PAGV. 56.8.11
- Soesbergen, G.A. van, W.J.M. van der Voort, W.J.M. de Groot, 1995. Drempelwaarde bewerkbaarheid van de grond voor akkerbouw. Rapport DLO-Staring Centrum, Wageningen
- Spoor, P.A. 1966. Toelichting kg-opbrengst en boomomvang van appel- en pererassen. Bedrijfsecon. Vademecum v.d. Tuinbpuw. Rubriek 85.02 LEI, Den Haag
- Staringreeks'94, J.H.M. Wösten, G.J. Veerman en J. Scholte; Waterretentie- en doorlatendheids-karakteristieken voor boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave, 1994. SC-DLO; Techn. doc. 18, Wageningen
- Stiboka, 1984, Handleiding voor de karteerder; Stichting Voor Bodemkartering, Wageningen, okt. 1984
- SWNBL, 1987, Relatie boomgroei en vochtleverantie bodem. In: Eindrapport 'Water en bodem'. 1983-1987
- Tanis, T., Berekening van baten van landinrichting voor akkerbouwbedrijven. Cult. Techn. Tijdschr. 24-2, pp. 88-99, aug./sept. 1984.
- TCGB, 1990; Achtergrond en toepassing van de TCGB tabel. Een methode voor het bepalen van de Opbrengstdepressie van gasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandsverlaging. Technische Commissie GrondwaterBeheer, Utrecht
- Vink, A.P.A. 1963. Enkele onderzoeken over de bodemgeschiktheidsclassificatie voor akker- en weidebouw. Bodemk. Studies 6/Versl landb.k.onderz. 68.13
- Vis, T. & H.G.M Geenen, . 1972. Plasvorming op kampeerterreinen en geschiktheid van de bodem voor intensief recreatief gebruik. Stiboka. Meded. Nr 6.
- Voort, W.J. van der & G. A. van Soesbergen, 1988. Onderzoek naar het Bewerkbaarheidstijdstip van zavel- en kleigronden. Stiboka, rapp. 2026
- Vos, J.A. de, I.E. Hoving, P.J.T. van Bakel, J. Wolf, J.G. Conijn, G. Holshof; Effecten van peilbeheer in de polders Zegveld en Oud Kamerik op de nat- en droogteschade in de landbouw; Alterra rapport 987, 2004
- Vries, Th. de, 1974; Waardering van de landbouwkundige waarde van de grond. Bedrijfsontwikkeling 56 (2): p.159-168.
- Waenink, A.W. & K. R. van Lynden. Een systeem voor de geschiktheidsbeoordeling van gronden onder bos. Stiboka, Wageningen.
- Werf, G. van de & J. Schreuder, 1985. Opbrengstverschillen i.a.v. bodemverschillen voor snijmaïs,. PAGV, Lelystad.
- Werkgroep grondbewerking 1987. Themadag "werkbaarheid en tijdigheid". PAGV, verslag nr. 64, Lelystad
- Wesseling, J., 1957. Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. Versl. Lbk. Onderz. Nr 635, Den Haag
- Wesseling, J.G. 2009 Soil physical data and modelling soil moisture flow. Ph.D thesis, WUR.
- Witney, B.D. en E.B. Elbanna, 1985; Simulation of crop yield losses from untimely establishment. Res. and Developm. in Agric. 2.2: 105-117
- Wind, G.P. 1960. Opbrengstderiving door te laat zaaien. Landb.k.tijdschr. 72, 4

- Wind, G.P. 1963. Gevolgen van wateroverlast in de moderne landbouw. Cie Hydr. Ondz.TNO. Versl. & Meded. 9. p55
- Wind, G.P. & C. J. Schothorst. 1965. Over de invloed van de bodemgesteldheid op De beweidingsmogelijkheid en van de beweiding op de bodemgesteldheid. Landb.k. Tijdschr. 77:189-199.
- Wijk, A.L.M. van, 1980. A soil technological study on effectuating en maintaining adequate playing conditions of grass sport fields. Thesis Agric. Univ. Wageningen.. 124 p.
- Wijk, A.L.M. van, & J. Beuving. 1975. Bodemtechnisch ontwerp voor sport- en ligweiden en trapvelden. Cult. Techn. Tijdschr. 15,3:150-163.,
- Wijk, A.L.M. van , & R.A. Feddes, J.G. Wesseling, en J. Buitendijk, 1988
Effecten van grondsoort en ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen. Rapporten, nieuwe serie nr 31. ICW, Wageningen 1988
- Wijk, A.L.M. van, & R.A. Feddes, 1986:
Simulating effects of soiltype and drainage on arable crop yield. In: A.L.M. van Wijk and J. Wesseling (ed). Agricultural Water Management, Proc. Symp. on Agric. Wat. Man., Arnhem, 12-21 june 1985. A. Balkema, Rotterdam: 97-112.
- Zachariasse, L.C., 1974; Boer en bedrijfsresultaat.: analyse van uiteenlopende rentabiliteit van vergelijkbare akkerbouwbedrijven in de Noord-Oostpolder. Diss. LH-Wageningen, 113p.

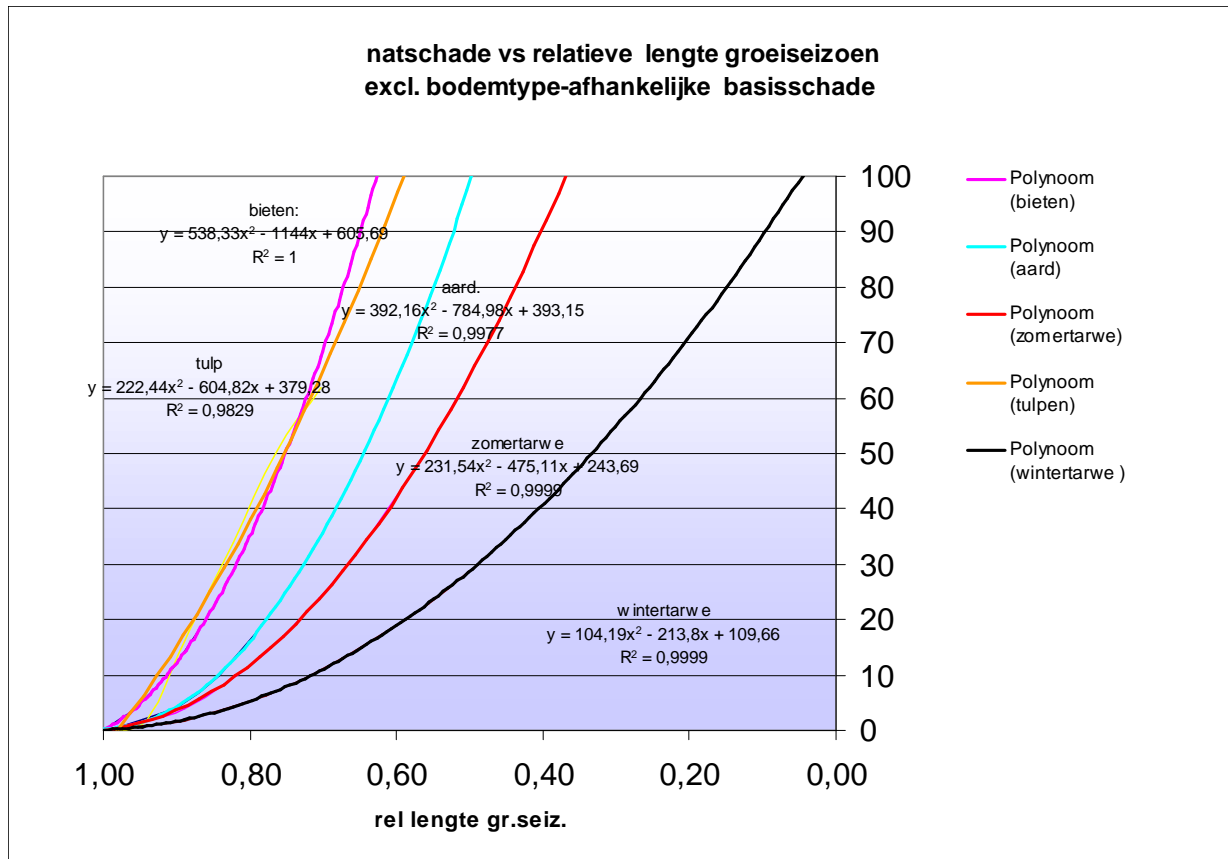
Bijlage 1 Afleiding schade door te late voorjaarsbewerking

In het verslag van de Themadag Bewerkbaarheid en Tijdigheid (PAGV 1987) en in de publicatie van Van Wijk et al, 1988 staan overzichten van de resultaten van praktijkproeven naar de effecten van later zaaien/poten op de eindopbrengst. Indien de groeiperiode vanaf het moment van zaaien wordt uitgedrukt op de optimale lengte van het groeiseizoen (zaai-/pootdatum met de hoogste opbrengst) resulteren de lijnen vlg onderstaande figuur.



De vorm van de curven blijkt voor elk gewas (aardappelen, bieten, graan) voor elk bodemtype grotendeels overeen te komen; als de lijnen omlaag worden verschoven tot in het 0-punt op de Y-as, zijn ze per gewastype nagenoeg identiek. Dit betekent dat er per gewas een bodemtype-afhankelijke basisschade bestaat, maar daarboven de relatie tussen te late voorjaarsbewerking en opbrengstdaling voor alle bodemtypen gelijk is.

Na verticale verschuiving van de lijnen tot in de oorsprong ontstaan onderstaande gemiddelde relaties tussen te laat bewerken in het voorjaar en opbrengstderving.



De basisschade (snijpunt van de lijnen met de Y/as in de eerste figuur) wordt veroorzaakt door verschillen tussen de bovengrondsoorten in zaai- en poot-bedtemperatuur en uitdrogingsnelheid van het zaai-bed.

Basisschade te late voorjaarsbewerking

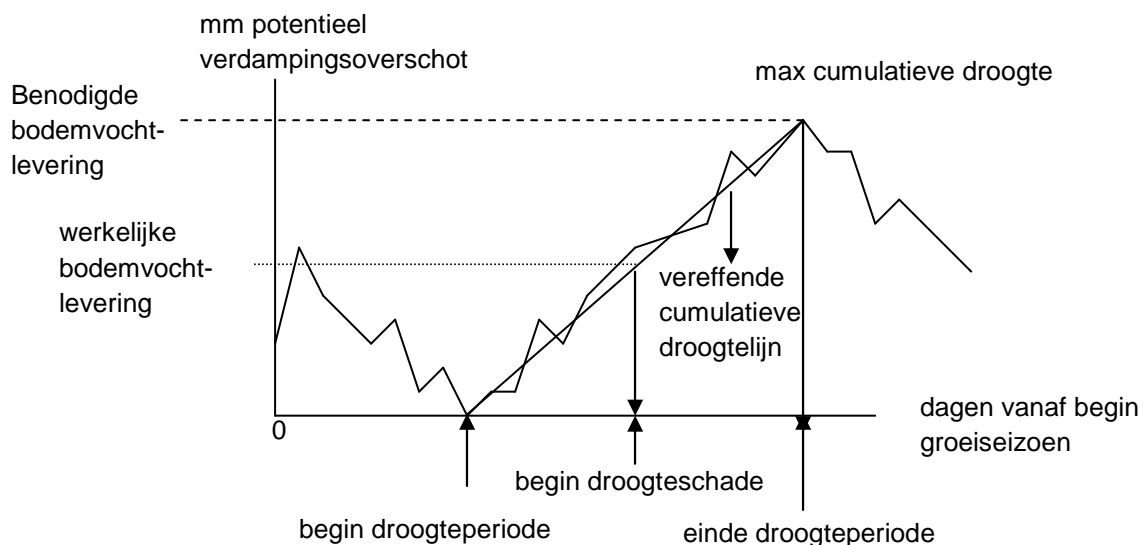
Textuur	% extra schade door trage kieming, opkomst, (begin-/door-)ontwikkeling Aardappelen, bieten, granen, maïs,	
Moerig	6	5
Kleilig zand	2	1
Leemarm zand	5	4
Dekzand	5	2
(matig) sterk lemig zand	0	1
löss	2	2
zeer lichte zavel	1	0
matig lichte zavel	1	0
zware zavel	4	2
klei	4	4
zware klei	12	6

Bijlage 2 Afleiding van de droogteschade

Onderstaande figuur 1 geeft een voorbeeld van het verloop van het cumulatieve neerslagtekort in het groeiseizoen. In de figuur is voor de periode waarin het maximale cumulatieve neerslagtekort optreedt, het verloop van dit tekort vereffend door een gemiddelde lijn.

De verticale as geeft aan hoe groot de bodemvochtlevering (productief vocht, dus tussen $h = -50$ cm en $h = -500$ à -1000 cm) moet zijn om in een dergelijk jaar geen droogteschade te hebben. Op de horizontale as staat aangegeven vanaf welke dag en gedurende hoeveel dagen er groeiremming optreedt indien het bodemvochtleverend vermogen minder is dan het max. cum. neerslagtekort, hier gemakshalve er nog even van uitgaande dat er geen verwelking (afsterving) van het gewas optreedt.

Figuur 1 Bodemvochtlevering en vegetatiegroei

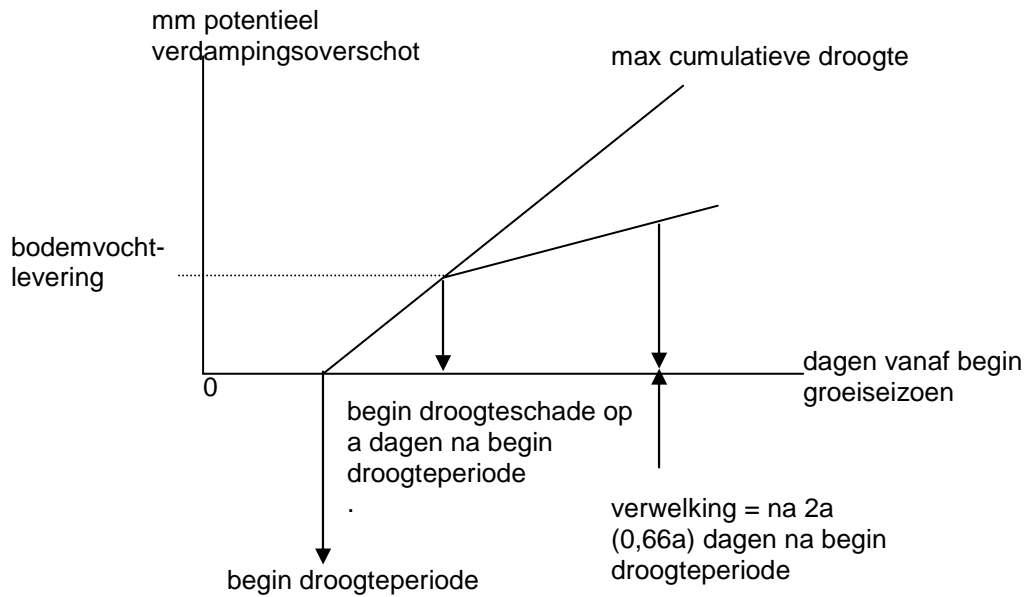


Droogteschade-kansberekening

In figuur 2 hieronder is de vereffende lijn uit de vorige figuur die het gemiddelde verloop van het max. cumulatieve neerslagtekort weergeeft, overgenomen. Voor een genuanceerde berekening van de veeljarig gemiddelde droogteschade is als volgt met het moeilijk beschikbaar vocht om gegaan. Uitgangspunt hierbij is dat de productie stagneert en de verdamping afneemt zodra het makkelijk beschikbaar vocht ($h = -500$) verbruikt is (a dagen; $a = \text{bodemvochtlevering} / \text{gem verdamping per dag}$). Zodra vervolgens ook het moeilijk beschikbaar vocht is verbruikt (tussen $h = -500$ cm en $h = -1000$ cm) treedt er afsterving van het gewas op en stagneert de productie definitief (verwelking). De duur van deze droogtestressperiode is berekend door de verdamping lineair af te laten nemen met het moeilijker beschikbaar worden van het (moeilijk beschikbare) bodemvocht, waardoor de plant met het moeilijk beschikbare vocht maximaal tweemaal ($2a$ dagen in figuur 2) zo lang doet dan met eenzelfde hoeveelheid productief vocht (a dagen).

De hoeveelheid moeilijk beschikbaar vocht blijkt uit de Staringreeks en oudere ICW / Stiboka-publicaties, samen te hangen met de hoeveelheid makkelijk beschikbaar (productief) vocht. Voor leemarm en zwakleemig zand bedraagt de hoeveelheid moeilijk beschikbaar vocht ca. $1/3$ van de hoeveelheid productief bodemvocht (tussen $h = -50$ en -500 cm). Voor de overige grondsoorten is de hoeveelheid moeilijk beschikbaar vocht ongeveer even groot als de hoeveelheid makkelijk beschikbaar vocht. De maximale droogtestressperiode is dus voor niet-zandgronden gelijk aan $2a$ dagen, en voor zandgronden $(2 \cdot 1/3 a) = 0,66 a$ dagen (figuur 2).

Indien er tijdens deze droogtestress-periode de bodemvochtlevering niet wordt aangevuld stopt de gewasgroei definitief op de verwelkingsdag.

Figuur 2. Droogteschade bij verwelking (voor leemarm/zwakleemig zand: voor $2a = 0,66 a$ lezen)

Uitgaande van een lineaire afname van de verdamping met het afnemen van de beschikbaarheid van vocht, bedraagt de productie (uitgedrukt in volwaardige productiedagen) gedurende de maximale droogtestressperioden (die dus eindigt met het afsterven van de vegetatie), gemiddeld de helft van de potentiële productie, voor niet-zandgronden derhalve $2a/2 = a$ potentiële productiedagen, en voor zandgronden $0,66a / 2 = 0,33a$ potentiële productiedagen.

De droogteschade kan worden berekend uit het aantal dagen waarop potentiële groei optreedt en dit te delen door het aantal benodigde dagen voor een volledige gewasopbrengst.

Bij verwelking (berekening 1)

Indien er verwelking optreedt (figuur 2) bedraagt het aantal volwaardige groeidagen:

aantal groeidagen tot aan eerste dag maximale cumulatieve droogteperiode:

= dag begin droogteschade – dag 0

plus de groei in de afstervingsperiode:

= (verwelkingsdag minus dag begin droogteschade) / 2.

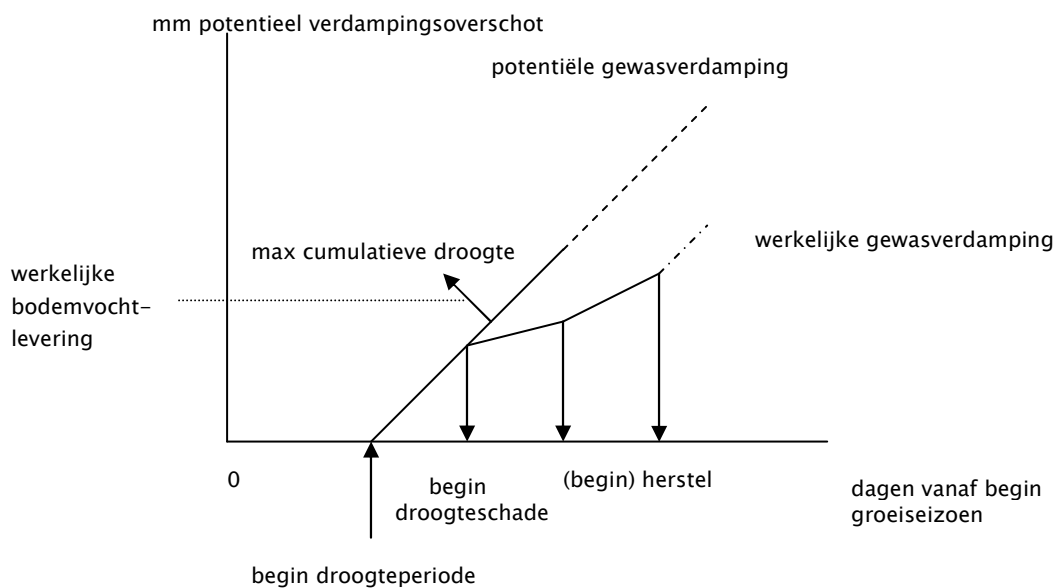
Uitgedrukt in %:

droogteschade = $\{1 - [\text{groeidag nr begin droogteschade} + (\text{verwelkingsdag} - \text{begindag droogteschade}) / 2] / \text{potentiële lengte groeiseizoen}\} \times 100 \% \times \text{einddag groeiseizoen}$ indien dit eerder optreedt

Geen Verwelking: door tijdige neerslag treedt herstel op (berekening 2)

De droogtestressperiode kan worden afgebroken door neerslag, en door het bereiken van het einde van het groeiseizoen. Dit laatste geldt ook voor de herstelperiode volgend op een droogtestressperiode.

Indien (figuur 3) de cumulatieve droogteperiode eindigt tijdens de droogtestressperiode (neerslag wordt groter dan de verdamping) zal de gewasproductie niet onmiddellijk weer maximaal zijn: de plant heeft een herstelperiode nodig die op basis van praktijkervaringen gerelateerd is aan de duur van de voorafgaande droogtestressperiode (aantal verstreken dagen sinds dag begin droogteschade) met een maximum van 5 hersteldagen. De gezamenlijke stress+herstelperiode bedraagt dus maximaal $2a + 5$ dagen voor niet-zandgronden en $0,66a + 5$ dagen voor zandgronden.

Figuur 3 Droogteschade bij herstel na droogtestress

Het aantal volwaardige groeidagen (dagen met potentiële verdamping) is gelijk aan de lengte van het potentiële groeiseizoen minus de groeiderving in de stress en herstelperiode.

De droogteschade is gelijk aan:

$[1 - (\text{potentiële lengte groeiseizoen} - \text{lengte stressperiode} - \text{lengte herstelperiode} + \text{productie (dgn) in stress- en herstelperiode}) / \text{potentiële lengte groeiseizoen}] \times 100 \%$

Vervanging van a door: $\text{mm bodemvochtlevering} / \text{gem dagelijkse gewasverdamping}$ geeft:

- *lengte van de stressperiode*: = einddag cum droogteperiode (of einde groeiseizoen; wat het eerst optreedt) minus begindag droogteschade (= begindag droogteperiode + mm b.v.lev. / gem. dag. verd. voor overige gronden; voor leemarme/zwaklemige zandgronden: 1e droogtedag + 1/3 mm b.v.lev. / gem. dag. verd.)
Indien de aldus berekende relatieve lengte van de droogtestressperiode groter is dan 1, is er verwelking opgetreden; is er geen herstelperiode en de droogteschade kan met berekeningsregel 1 worden vastgesteld.
- *lengte herstelperiode*: = relatieve lengte stressperiode maal 5 dagen
waarin: $\text{relatieve lengte stressperiode} = (\text{einddag droogteperiode} - \text{begindag stressperiode}) / (\text{verwelkingsdag} - \text{begindag stressperiode})$
waarin: $\text{Verwelkingsdag} = \text{begindag droogteperiode} + 2 \times (\text{mm b.v.lev.} / \text{gem. dag. verd.})$ voor overige gronden, en voor leemarme/zwaklemige zandgronden: $\text{Verwelkingsdag} = \text{begindag droogteperiode} + 0,66 \times (\text{mm b.v.lev.} / \text{gem. dag. verd.})$
- *productie (dgn) in stress- + herstelperiode*:
= $(1 - \text{relatieve stressperiode} / 2) \times (\text{lengte stress-} + \text{herstelperiode})$
(productie alleen in herstelperiode: = $(1 - \text{relatieve stressperiode} / 2) \times \text{lengte herstelperiode}$)
(productie (dgn) alleen in stressperiode: = $(1 - \text{relatieve stressperiode} / 2) \times \text{lengte stressperiode}$)

Voorbeeld: droogteschade gras in het jaar 1989 op een lössgrond in Zuid Limburg, met 75 mm bodemvochtlevering.

Uit: *Neerslag, Verdamping en Neerslagoverschotten-Regionale verschillen binnen Nederland*, (Huinink 2001) vinden we voor het KNMI station Zuid Limburg (Beek) in jaar 1989 ("15 % droogtejaar") in tabel A op blz 218 dat het maximale cumulatieve neerslagtekort 222 mm bedraagt, deze grootste aaneengesloten droogteperiode 110 dagen lang is en wel 55 dagen voor en na 15 juni (dag 167). De gemiddelde potentiële verdamping in deze periode bedraagt 2 mm/dag en de eerste droogtedag trad in 1989 in Zd Limburg op 55 dagen vóór 5 juni (in 1989 het midden van de droogteperiode) op, dus op dag 112; de cumulatieve droogteperiode eindigde op 55 dagen na 5 juni: op dag 222 (9 augustus).

Voor gras bedraagt de potentiële lengte van het groeiseizoen 255 dagen; het groeiseizoen begint op 180 dagen voor 15 augustus (dag 46 =15 februari en eindigt 75 dagen na 15 augustus op dag 301 (27 oktober). De potentiële grasverdamping is gelijk aan de KNMI referentieverdamping (verdampingsfactor voor gras bedraagt 1).

De droogteschade bedraagt: $[1-(\text{potentiële lengte groeiseizoenlengte stressperiode-lengte herstelperiode}+\text{productie (dgn) in stress- en herstelperiode}) / \text{potentiële lengte groeiseizoen}] * 100 \%$

- potentiële lengte groeiseizoen = **255** dagen
- lengte van de stressperiode: = *einddag cum droogteperiode (of einde groeiseizoen; wat het eerst optreedt) minus begindag droogteschade (= begindag droogteperiode + a mm/gem. dagelijkse verdamping voor niet-zandgronden; voor zandgronden: 1e droogtedag+1/3 x(mm bod.vochtlev. / gem. dagelijkse verdamping)*

De einddag van de droogteperiode (dag 222) treedt eerder op dan het einde van de groeiperiode (dag 301). De droogteschade begint op: 75 mm bodemvochtlev. / 2 mm benodigd per dag = 38 dagen na de begindag droogteperiode = 112+38= dag 150.

De lengte van de droogtestressperiode is derhalve 222-150= **72** dagen

- Lengte herstelperiode: *relatieve lengte stressperiode maal 5 dagen*
relatieve lengte stressperiode: = lengte droogtestressperiode einddag (72) / (verwelkingsdag – begindag stressperiode(150))
Verwelkingsdag: = begindag droogteperiode + 2 x bodemvochtlev. / gemidd. dagelijkse verdamping = 150+ 2x75/2 mm= dag 225
Relatieve lengte droogtestressperiode: 72 / (225-150) = 0,96

Lengte herstelperiode: 0,96 maal 5 dagen = 4,8 dagen

- Productie in stress- en herstelperiode =(1-relatieve stressperiode/2) x (lengte stress-+herstelperiode) = (1-0,96/2) x (72+4,8)=39,9 dagen

De droogteschade voor gras in 1989 op deze lössgrond in Zuid Limburg bedraagt dan:
 $[1-(255-72-4,8+39,9) / 255] \times 100 = 15 \%$.

De aldus berekende droogteschade geldt voor een vegetatie met een verdampingsfactor gelijk aan 1 en een groeiperiode van dag 46 t/m dag 301; in totaal 255 dagen.

Voor andere teelten dan gras kan de droogteschade worden afgeleid door te corrigeren voor de verdampingsfactor van dat gewas over de decades mei-III-t/m juli-I (veruit de meeste max.cum. roogteperiodes vallen in deze periode) en de potentiële lengte van het groeiseizoen van dat gewas.

Voor consumptieaardappelen bijvoorbeeld bedraagt de potentiële lengte van het groeiseizoen (tabel 2 in de hoofdstuk): 155+35=190 dagen en bedraagt de verdampingsfactor 1,1.

De droogteschade voor aardappelen op een lössgrond in Zuid Limburg met 75 mm bodemvochtlev. bedraagt in 1989:

droogteschade referentiegewas (gras) * 255/ groeiseizoenlengte * verdampingsfactor;
= 15 * 255/190 * 1,1 = 22 %

Voor een afwijkende groeiseizoenlengte moet hierbij naar omgekeerde evenredigheid worden gecorrigeerd: indien deze korter is dan het referentiegewas is het relatieve aandeel van de (absolute) droogteschade in de stress en herstelperiode groter en daarmee de gemiddelde droogteschade.

Een kanttekening bij de aldus berekende droogteschade is dat de totale droge-stofopbrengst wordt berekend en wordt gerelateerd aan de potentiële droge stofopbrengst. Voor niet alle gewassen is dit 1 op 1 gelijk aan de oogstproduct-opbrengsten en daarmee financiële opbrengsten. Met name voor fruit- en graankorrel-opbrengsten is een waarschuwing op zijn plaats. Vooralsnog ontbreekt het aan voldoende praktische en fysiologische kennis voor een genuanceerde benadering hiervoor.

Correctie voor interceptiewater, dauw, overschrijding maximale bodemvochtaanvulling, kortsluiting en moeilijke herbevochtiging

Bij het hierboven geschetste principe van de afleiding van de droogteschade is tot nu toe alle neerslag effectief verondersteld; elke regendruppel die tijdens het groeiseizoen valt werd verondersteld in de wortelzone terecht te komen, daarin te blijven en beschikbaar te zijn voor gewasverdamping. In de praktijk rekenen we ons daarmee te rijk: een deel van de neerslag blijft als interceptiewater op het gewas achter en verdampt daar rechtstreeks als openwaterverdamping en niet als gewasverdamping. Daarnaast zullen grotere hoeveelheden neerslag in bodems met een geringe bodemvochtlevering niet in de wortelzone vast kunnen worden gehouden en (deels) percoleren naar de diepere ondergrond. De neerslag die in regenmeters wordt opgevangen is daarom niet gelijk aan de neerslag die de bodemvochtlevering aanvult en moet voor verliezen worden gecorrigeerd.

Interceptiewater

Interceptiewater is de eerste neerslag van een bui die aan de vegetatie blijft 'hangen'. Deze neerslag bereikt de bodem en wortelzone niet en is niet effectief voor de plantverdamping. De hoeveelheid Interceptiewater varieert sterk met de aard van de vegetatie en is nagenoeg nihil in regenmeters. De in regenmeters gemeten neerslag is daarom groter dan de hoeveelheid neerslag die daadwerkelijk in de bodem terecht komt en voor gewasverdamping beschikbaar is.

Tabel 1 geeft voor 4 groepen vegetatie de hoeveelheid interceptiewater per regenbui per maand (gerelateerd aan de bladontwikkeling).

Tabel 1 Interceptie

	loofbos		Naaldbos		gras+natuur		Overige landbouw	
	mm/bui	mn/maand	mm/bui	mn/maand	mm/bui	mn/maand	mm/bui	mn/maand
jan	1	3	1,5	3	0,5	3	0	0
feb	1	12	1,5	14	0,5	6	0	0
maart	1	12	1,5	18	0,7	8,4	0	0
april	1,7	20,4	1,5	18	0,9	10,8	0,3	3,6
mei	2,5	30	1,5	18	1	12	0,7	8,4
juni	3	36	1,5	18	1	12	0,9	10,8
juli	3	36	1,5	18	1	12	1	12
augustus	2,7	32,4	1,5	18	1	12	1	12
september	2	24	1,5	18	1	12	1	12
oktober	1	12	1,5	18	0,7	8,4	0,7	8,4
november	1	7	1,5	7	0,6	7	0	0
<u>december</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1,5</u>	<u>2</u>	<u>0,5</u>	<u>2</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
Totaal mm		226,8		170		105,6		67,2
gem. interceptieverlies/dag mei-aug (droogteperio		1,10		0,59		0,39		0,35

Gemiddeld valt neerslag in hoeveelheden groter dan 1mm, op 12 dagen per maand.

De variatie in interceptie tussen de maanden en tussen de KNMI stations is opvallend gering (1 á 2 dagen/maand); reden waarom er geen onderscheid is gemaakt tussen klimaatregio's binnen Nederland. In principe wordt er bijvoorbeeld in januari in loofbos 12 dagen maal 1 mm interceptiewater door de vegetatie vastgehouden. De hoeveelheid interceptiewater per maand kan echter niet meer zijn dan de totale verdamping in die maand. Indien bij een volgende regenbui er nog (niet-verdampt) interceptiewater aanwezig is van een vorige bui, zal deze bij een nieuwe bui alsnog over het plantoppervlak afvloeien naar

de bodem. De hoeveelheid interceptiewater per maand is dus 12 dagen maal de hoeveelheid interceptie die de plant in die maand kan vasthouden, doch niet groter dan de totale verdamping in die maand.

Voor ons doel is alleen de interceptie in de droogteperiode tijdens het groeiseizoen relevant; die bedraagt gemiddeld tussen 1,1 mm/dag voor loofbos en 0,35 mm/per dag voor akker- en tuinbouwgewassen (tabel 1).

Voor de berekening van de droogteschade in afhankelijkheid van de bodemvochtlevering zijn de cumulatieve neerslagtekorten volgens de KNMI gegevens met deze gemiddelde dagintercepties verhoogd. In het hierboven gegeven voorbeeld waar voor het KNMI station Zuid Limburg (Beek) in jaar 1989 de grootste aaneengesloten droogteperiode 110 dagen lang is, en het maximale cumulatieve neerslagtekort volgens het KNMI 222 mm bedraagt, is dit voor grasinterceptie gecorrigeerd tot $222+(110 \times 0,35) = 261$ mm; en voor loofbosinterceptie tot: $220+110 \times 1,1=341$ mm.

In onderstaande tabellen A en B zijn de resultaten van bovenstaande berekening van de droogteschade in afhankelijkheid van de bodemvochtlevering voor 4 groepen interceptiewater, voor het referentiegewas gras over de 30 jarige periode 1965-1995 gemiddeld en weergegeven voor elk KNMI hoofdstation zowel voor de leemarme/zwaklemige zandgronden als de overige gronden.

De laatste tabel B (gelijk aan tabel 10 in de hoofdttekst) geeft de gemiddelde waarden van de KNMI stations weer, na clustering tot 3 klimaatzones met afnemende droogtegevoeligheid. Met uitzondering van Twente (midden Nederland) komen die overeen met de regio's kuststreek (Den Helder, Hoorn, Naaldwijk/Schiphol en Vlissingen) , Midden Nederland (Leeuwarden, Lelystad, Twente, De Bilt, Herwijnen, Oudembosch/Gilze Rijen en Eindhoven) en Oost Nederland (Eelde, Eibergen, Venlo en Zuid Limburg)

Dauw

Jacobs et al 2006: constateerden dat de hoeveelheid dauw tot 3 mm kan bedragen bij een heldere nacht, doch gemiddeld niet meer dan 3 mm per maand bedraagt en verdeeld is over ca 20 nachten; overeenkomend met 0,15 mm per dauwochtend. Dauw is in tegenstelling tot interceptie geen verlies maar een extra hoeveelheid neerslag die in regenmeters (grotendeels) wordt gemist. Echter ook dauw blijft op de plant achter en komt niet ten goede aan de bodemvochtvoorraad. Het neerslagtekort / overschot hoeft daarom niet voor dauw te worden gecorrigeerd.

De vraag doet zich echter voor in welke mate aanhangend vocht (dauw, interceptie) de plantverdamping vermindert. Immers zolang de luchtvochtigheid rond de plant 100 % bedraagt – de plant met dauw of interceptiewater is bedekt- treedt er geen gewasverdamping op en vinden er derhalve geen transportprocessen plaats en is er geen fotosynthese (gewasgroei). De potentiële gewasverdamping werd echter altijd in veldproeven gemeten (vochtbalans, lysimeters) waarbij ook dauw en interceptie optrad. In de gewasfactoren waarmee de potentiële verdamping van de Makkink-verdamping wordt afgeleid zit dus impliciet een korting voor dauw- en interceptie-verdamping.

Tabel A Veeljarig gemiddelde droogteschade voor het referentiegewas (gras), doch bij 4 hoeveelheden interceptiewater (gras, overige landbouw, naaldbos, loofbos) per de KNMI hoofdstation

mm	Leeuwarden				Den Helder				Eelde				Hoorn			
	Leemarme/zwaklemigezandgronden				Leemarme/zwaklemigezandgronden				Leemarme/zwaklemigezandgronden				Leemarme/zwaklemigezandgronden			
bodvochtlevering	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos
10	71,3	71,2	72,2	71,6	75,6	75,6	76,4	75,9	67,6	67,6	68,7	68,0	74,1	74,0	75,0	74,4
15	69,7	69,6	71,2	70,2	68,7	74,2	75,4	74,7	66,0	65,9	67,6	66,6	72,6	72,5	74,0	73,1
25	60,5	60,3	62,7	61,3	66,0	69,0	73,5	72,2	56,4	55,3	61,0	59,6	69,6	69,4	71,9	70,4
40	56,1	55,8	62,0	57,5	63,2	67,1	70,5	68,5	54,1	53,8	58,9	55,6	65,1	64,8	68,7	66,5
50	52,3	51,9	57,8	54,9	60,5	62,2	68,5	64,0	47,5	47,1	55,9	51,1	62,1	61,7	66,6	63,8
75	40,4	39,9	52,0	43,7	52,5	51,8	61,5	56,1	38,0	35,6	47,0	40,1	47,2	46,7	61,4	55,2
100	29,3	27,9	43,0	36,1	43,4	43,6	52,9	47,1	23,7	21,6	39,3	29,3	35,6	35,1	51,5	42,0
125	15,4	14,8	36,6	23,5	32,5	29,1	46,9	37,3	13,4	11,5	29,6	19,5	25,3	24,8	43,5	29,0
150	6,5	6,1	27,6	12,5	21,3	20,2	39,6	26,6	5,1	3,8	21,4	9,7	16,2	13,9	30,2	22,7
175	4,0	3,7	17,4	6,0	11,2	11,4	30,8	18,6	2,3	2,1	16,3	3,8	7,2	6,8	25,3	13,4
200	2,1	2,0	9,1	3,2	4,4	4,4	22,0	10,1	1,5	1,4	6,0	2,4	4,3	4,1	20,0	6,0
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

mm bodvochtlev	Leeuwarden				Den Helder				Eelde				Hoorn			
	Klei, löss, veen				Klei, löss, veen				Klei, löss, veen				Klei, löss, veen			
	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos
10	67,3	67,2	71,2	70,2	74,3	74,2	75,4	74,7	66,0	65,9	67,6	66,6	74,0	72,5	74,0	73,1
15	63,6	63,4	67,2	64,4	72,2	72,1	73,9	72,8	60,5	60,3	65,9	61,4	72,5	70,2	72,4	71,1
25	56,9	56,6	60,4	58,2	66,0	65,8	71,0	69,1	53,0	52,2	58,6	56,3	69,4	65,5	69,3	67,1
40	44,5	44,1	55,8	49,3	58,1	55,8	64,5	59,8	41,9	41,5	52,0	44,9	64,8	53,1	64,5	59,2
50	39,7	37,6	49,3	42,9	50,5	50,1	59,7	54,3	32,7	32,3	45,5	38,5	61,7	45,5	59,5	49,8
75	16,0	14,2	35,6	23,9	31,9	31,3	49,3	36,5	13,2	11,4	28,0	22,1	46,7	26,2	42,3	31,0
100	7,7	6,6	19,3	10,1	16,8	14,7	34,2	22,8	5,7	5,4	18,2	7,5	35,1	10,4	28,8	15,6
125	4,15	3,91	10,39	5,64	7,8	7,4	22,1	9,9	2,6	2,4	7,6	4,6	24,78	6,04	14,97	8,75
150	1,69	1,54	6,28	2,58	4,0	3,8	10,8	5,4	1,3	1,2	5,0	2,1	13,92	3,87	9,39	5,39
175	0,9	0,8	3,4	1,6	2,3	2,1	6,4	3,5	0,6	0,5	2,7	1,3	6,8	1,7	6,1	2,6
200	0,4	0,4	2,1	0,9	1,3	1,1	4,3	2,1	0,3	0,3	1,7	0,7	4,1	0,9	3,5	1,7
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vervolg tabel A Veeljarig gemiddelde droogteschade voor het referentiegewas (gras), doch bij 4 hoeveelheden interceptiewater (gras, overige landbouw, naaldbos, loofbos) per de KNMI hoofdstation

mm bodvochtlevering	Lelystad				Twente				De Bilt				Naaldwijk/Schiphol			
	Leemarme/zwaklemigezandgronden				Leemarme/zwaklemigezandgronden				Leemarme/zwaklemigezandgronden				Leemarme/zwaklemigezandgronden			
	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos
10	71,3	70,5	72,3	71,0	71,6	71,5	72,6	72,0	70,8	68,9	71,9	69,3	74,8	74,7	75,9	75,2
15	69,8	68,9	71,2	69,6	70,0	69,9	71,5	70,6	69,2	67,3	70,8	67,9	73,2	73,1	74,8	73,8
25	59,5	60,2	63,8	61,2	60,3	60,2	65,9	64,4	59,1	58,6	61,4	59,5	68,0	67,8	72,6	68,8
40	55,4	56,0	63,1	57,5	58,2	55,9	65,1	60,4	56,8	54,3	60,9	55,8	63,3	63,0	69,3	64,8
50	52,7	53,2	56,9	55,1	53,2	52,8	60,7	55,0	52,1	51,5	56,6	53,4	60,3	59,8	67,1	62,1
75	41,4	42,1	52,1	46,3	40,5	40,0	52,9	45,5	42,3	41,5	50,2	44,3	46,6	45,6	59,8	49,1
100	32,1	32,5	44,2	39,2	27,0	24,6	46,0	30,1	29,1	28,6	45,6	35,8	38,2	36,1	48,4	41,4
125	22,4	21,7	38,4	26,8	15,0	14,6	31,6	21,5	16,2	14,6	36,8	22,5	28,0	27,4	42,4	34,1
150	14,0	12,4	30,2	19,5	10,0	8,4	24,6	13,0	6,7	7,1	25,2	12,9	16,6	14,5	35,6	22,4
175	6,7	6,1	22,7	9,5	3,3	3,0	16,7	7,3	4,1	4,0	17,0	7,0	7,8	7,4	28,8	13,1
200	3,9	3,7	17,0	6,1	1,3	1,1	11,9	3,2	2,3	2,2	10,6	4,1	3,6	3,4	20,0	6,6
300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

mm bodvochtlevering	Lelystad				Twente				De Bilt				Naaldwijk/Schiphol			
	Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen				Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen				Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen				Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen			
	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos
10	69,4	68,5	71,2	69,6	70,0	69,9	71,5	70,6	68,8	66,9	70,8	67,9	73,2	73,1	74,8	73,8
15	64,7	63,4	69,2	64,7	66,7	66,5	69,9	68,5	61,9	59,5	68,8	65,5	70,8	70,6	73,1	71,7
25	56,1	56,8	61,4	58,2	57,1	56,7	63,4	61,1	55,7	55,0	59,2	56,5	64,1	63,8	69,9	65,5
40	45,3	46,1	55,0	49,8	46,5	44,3	56,0	50,6	46,4	45,6	53,0	49,2	51,0	50,6	63,0	53,2
50	41,6	41,5	50,3	44,8	33,2	32,7	51,0	42,0	39,5	38,2	50,2	44,3	44,9	44,4	55,1	49,3
75	23,6	23,6	37,7	28,8	16,9	15,6	31,4	22,0	16,3	15,3	34,7	21,3	26,6	26,0	43,1	34,0
100	10,9	10,2	25,7	12,9	6,6	6,2	19,4	10,2	7,5	7,5	21,1	10,3	11,7	11,3	31,4	17,9
125	5,76	5,45	13,33	8,15	3,17	2,94	10,36	4,29	4,03	3,98	11,39	5,66	6,48	6,16	16,58	8,36
150	2,76	2,56	8,10	4,92	1,68	1,54	5,78	2,74	1,67	1,61	6,22	2,60	4,15	3,92	9,18	5,52
175	1,5	1,4	5,7	2,4	0,9	0,8	3,3	1,6	0,9	0,8	3,4	1,6	1,9	1,7	6,4	2,6
200	0,8	0,7	3,1	1,5	0,4	0,4	2,1	0,9	0,5	0,4	2,1	0,9	1,0	0,9	3,7	1,8
250	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Vervolg tabel A Veeljarig gemiddelde droogteschade voor het referentiegewas (gras), doch bij 4 hoeveelheden interceptiewater (gras, overige landbouw, naaldbos, loofbos) per de KNMI hoofdstation

mm	Eibergen				Herwijnen				Vlissingen				Oudenbosch/Gilze Rijen			
	Leemarme/zwaklemigezandgronden				Leemarme/zwaklemigezandgronden				Leemarme/zwaklemigezandgronden				Leemarme/zwaklemigezandgronden			
bodvochtlevering	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos
10	68,5	68,4	69,5	68,9	69,0	68,9	69,9	69,3	73,2	73,1	74,1	73,5	67,9	67,8	68,9	68,3
15	66,9	66,7	68,4	67,5	67,4	67,3	68,8	67,9	71,6	71,5	73,1	72,2	66,3	66,2	67,8	66,9
25	56,0	55,9	63,1	56,8	58,8	58,6	60,9	59,6	65,3	65,1	70,9	66,9	62,4	62,2	64,7	63,3
40	52,0	51,7	60,0	55,7	54,7	54,4	58,5	55,9	63,8	61,2	67,7	65,2	57,9	57,6	61,6	59,3
50	47,9	47,5	56,0	50,9	52,1	49,9	56,1	53,5	57,9	57,5	65,5	59,7	53,2	52,8	59,6	56,7
75	36,9	36,4	47,4	39,1	42,5	42,0	49,6	44,5	44,0	43,5	57,4	49,5	40,7	40,3	52,7	43,8
100	24,8	23,5	38,4	29,6	33,1	28,6	43,7	36,3	34,9	33,7	48,7	38,8	28,8	26,4	43,0	36,3
125	13,3	12,8	30,1	18,2	16,6	16,1	37,0	24,1	26,9	24,8	39,5	31,4	18,4	16,2	34,8	22,3
150	7,0	6,7	21,0	11,6	9,0	7,0	26,1	14,3	13,3	11,0	34,1	22,1	8,1	7,8	23,4	12,5
175	3,5	3,3	13,8	6,6	4,5	4,2	18,1	6,6	6,8	6,4	29,0	9,9	4,5	4,2	18,1	7,5
200	2,0	1,9	8,9	3,4	2,5	2,3	11,6	3,4	4,9	4,6	19,0	6,5	3,3	2,5	11,4	4,3
300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

mm	Eibergen				Herwijnen				Vlissingen				Oudenbosch/Gilze Rijen			
	Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen				Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen				Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen				Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen			
bodvochtlevering	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos
10	66,9	66,3	68,4	67,5	67,0	66,9	68,8	67,9	71,6	72,2	73,1	72,2	65,9	65,8	67,8	66,9
15	62,1	61,9	66,3	64,9	59,7	59,5	66,8	63,1	69,3	70,1	71,4	70,1	63,2	63,0	65,8	64,0
25	52,8	52,5	60,6	54,1	55,4	55,2	58,6	56,6	61,8	63,6	68,2	63,6	58,7	58,3	62,2	60,0
40	40,8	40,4	51,8	42,7	46,3	45,9	52,4	48,0	50,3	53,5	60,6	53,5	45,7	45,3	55,7	47,6
50	33,9	31,2	43,0	37,6	39,8	38,7	49,7	44,6	41,8	46,7	53,9	46,7	39,9	37,8	50,9	43,2
75	15,4	13,5	32,3	18,9	18,8	18,3	36,0	24,8	27,4	34,5	42,0	34,5	16,8	14,9	34,1	25,1
100	6,5	6,2	17,4	8,4	8,3	7,2	20,7	10,7	11,8	14,4	32,4	14,4	8,1	7,8	21,1	10,9
125	3,61	3,40	8,52	4,97	4,55	4,31	10,90	5,84	6,50	9,75	15,52	9,75	4,58	4,35	11,67	5,97
150	1,78	1,65	5,46	2,38	2,01	1,86	6,53	3,76	4,14	5,58	9,89	5,58	2,96	2,81	6,51	3,97
175	1,0	0,9	3,7	1,7	1,1	1,0	4,5	1,6	1,9	3,8	6,6	3,8	1,2	1,1	4,6	1,7
200	0,6	0,5	2,1	1,1	0,6	0,5	2,3	0,9	1,0	1,7	4,7	1,7	0,7	0,6	2,4	1,2
250	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Vervolg tabel A Veeljarig gemiddelde droogteschade voor het referentiegewas (gras), doch bij 4 hoeveelheden interceptiewater (gras, overige landbouw, naaldbos, loofbos) per de KNMI hoofdstation

mm bodvochtlevering	Eindhoven				Venlo				Zd Limburg			
	Leemarme/zwaklemigezandgronden				Leemarme/zwaklemigezandgronden				Leemarme/zwaklemigezandgronden			
	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos
10	69,5	69,5	70,4	69,9	68,0	67,9	69,0	68,4	66,7	66,6	67,8	67,1
15	68,1	68,0	69,4	68,6	66,4	66,2	67,9	67,0	64,6	64,5	66,6	65,6
25	59,5	59,4	65,5	60,3	58,9	56,5	61,3	59,9	55,3	55,1	60,0	57,1
40	57,1	56,8	62,5	60,5	54,4	54,1	60,7	55,9	51,6	51,3	58,4	54,5
50	53,0	52,7	59,3	54,5	47,7	47,3	56,2	51,3	47,4	46,9	53,5	50,5
75	42,8	42,4	50,3	46,2	38,3	36,1	49,2	40,6	35,2	34,6	46,0	39,9
100	35,9	35,3	45,3	38,7	26,3	25,8	41,4	31,1	26,3	25,7	39,5	31,3
125	20,2	18,1	38,9	26,0	16,5	14,4	32,7	21,4	15,5	14,9	32,1	22,1
150	12,5	10,4	28,6	17,1	10,1	8,7	25,2	14,1	10,1	9,1	24,6	14,4
175	6,2	5,9	20,3	9,4	6,1	5,9	15,6	8,5	5,2	4,1	18,2	8,0
200	3,7	2,8	14,9	6,0	2,6	2,4	11,5	5,1	2,4	2,3	12,9	3,6
300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

mm bodvochtlevering	Eindhoven				Venlo				Zd Limburg			
	Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen				Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen				Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen			
	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos
10	68,1	68,0	69,4	68,6	66,4	66,2	67,9	67,0	64,6	64,5	66,6	66,6
15	64,2	64,0	67,8	64,9	62,2	62,0	66,3	63,1	59,9	59,7	64,5	64,5
25	56,4	56,2	63,1	57,5	55,2	53,1	58,9	56,6	52,0	51,6	57,5	57,5
40	46,7	46,3	53,2	49,7	42,4	42,0	52,3	44,5	41,6	40,7	51,0	51,0
50	42,2	41,3	50,4	45,0	34,5	34,0	46,2	40,3	34,1	32,5	44,3	44,3
75	20,3	19,0	41,1	26,6	16,8	16,3	32,2	22,6	18,0	16,8	34,4	34,4
100	10,3	9,9	24,3	13,6	9,4	9,0	19,5	11,3	7,3	6,9	21,6	21,6
125	5,35	5,08	13,64	6,96	4,36	4,13	11,40	5,82	4,38	4,13	11,34	11,34
150	2,50	2,32	7,50	3,40	2,12	1,97	6,31	2,88	1,89	1,73	6,69	6,69
175	1,4	1,3	4,3	2,2	1,2	1,1	3,7	2,0	1,0	0,9	3,7	3,7
200	1,0	1,0	3,0	1,0	0,7	0,6	2,4	1,2	0,0	0,5	2,4	2,4
250	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabel B. Veeljarig gemiddelde droogteschade voor het referentiegewas (gras), doch bij 4 hoeveelheden interceptiewater (gras, overige landbouw, naaldbos, loofbos) gemiddeld over de KNMI hoofdstations in West (kuststreek), Midden en Oost Nederland in % van praktisch potentiële opbrengst; voor leemarme / zwakleemige zandgronden en overige gronden

mm	kustzone				centraal Nederland + Twenthe				(zuid)oost Nederland excl. Twenthe			
	Leemarme/zwakleemigezandgronden				Leemarme/zwakleemigezandgronden				Leemarme/zwakleemigezandgronden			
bodvochtlevring	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	Loofbos	naaldbos
10	74,4	74,4	75,4	74,8	70,2	69,7	71,2	70,2	67,7	67,6	68,7	68,1
15	71,5	72,8	74,3	73,4	68,6	68,2	70,1	68,8	66,0	65,8	67,6	66,7
25	67,2	67,8	72,2	69,6	60,0	59,9	63,6	61,4	56,7	55,7	61,4	58,3
40	63,8	64,0	69,0	66,3	56,6	55,8	62,0	58,1	53,0	52,7	59,5	55,4
50	60,2	60,3	66,9	62,4	52,7	52,1	58,1	54,7	47,6	47,2	55,4	50,9
75	47,6	46,9	60,0	52,5	41,5	41,2	51,4	44,9	37,1	35,7	47,4	39,9
100	38,0	37,1	50,4	42,3	30,8	29,1	44,4	36,1	25,3	24,1	39,6	30,3
125	28,2	26,5	43,1	33,0	17,8	16,6	36,3	23,8	14,7	13,4	31,1	20,3
150	16,8	14,9	34,9	23,4	9,6	8,4	26,5	14,5	8,1	7,1	23,1	12,4
175	8,3	8,0	28,4	13,8	4,7	4,5	18,6	7,6	4,3	3,8	16,0	6,7
200	4,3	4,1	20,3	7,3	2,7	2,4	12,3	4,3	2,1	2,0	9,8	3,6
300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1000	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
mm bodvochtlev	kustzone				centraal Nederland + Twenthe				(zuid)oost Nederland excl. Twenthe			
	Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen				Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen				Sterk lemig zand, zavel, klei, löss, veen			
	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos	gras	akker/tuinb	loofbos	naaldbos
10	73,3	73,0	74,3	73,4	68,6	68,1	70,4	69,2	66,4	66,1	67,9	67,3
15	71,2	70,7	72,7	71,4	64,7	64,1	68,4	66,2	62,6	62,4	66,2	64,8
25	65,3	64,7	69,6	66,4	57,5	57,4	61,9	59,1	54,1	53,1	59,5	57,0
40	56,0	53,2	63,2	56,4	48,8	48,3	56,9	51,8	44,7	44,2	53,5	48,4
50	49,7	46,7	57,1	50,0	42,5	41,5	52,5	46,7	37,5	36,2	47,4	43,3
75	33,2	29,5	44,2	34,0	24,2	23,3	39,2	29,9	22,0	20,5	36,5	29,0
100	18,8	12,7	31,7	17,7	15,2	14,7	27,3	18,6	11,7	10,9	24,5	17,6
125	11,38	7,34	17,29	9,18	9,0	8,5	18,8	11,5	6,4	5,8	15,2	10,4
150	6,56	4,28	9,81	5,46	5,2	4,6	12,9	7,5	2,7	2,3	10,0	5,4
175	3,2	2,3	6,4	3,1	2,5	2,3	8,9	3,9	1,4	1,3	6,9	2,8
200	1,9	1,2	4,0	1,8	1,5	1,3	6,1	2,4	0,7	0,7	3,2	1,8
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Overschrijding maximale bodemvochtaanvulling

(Cumulatieve) neerslaghoeveelheden groter dan de bodemvochtlevering gaan voor de wortels verloren; als de bodemvochtvoorraad maximaal is aangevuld wordt aanvullende neerslag naar de ondergrond afgevoerd en deze hoeveelheid is niet effectief voor de plantverdamping. Omdat zelfs de meest droge ("dunne") graslandgrond altijd nog wel een bodemvochtlevering heeft van 25 mm, betekent dit dat cumulatieve neerslagoverschotten kleiner dan 25 mm in de praktijk altijd in de wortelzone kunnen worden opgenomen en effectief zijn.

Uit *Huinink, 2001* blijkt dat in de maanden april tot september (droogterisico's komen overwegend in deze periode voor) er geen grotere cumulatieve neerslagoverschotten optreden dan 50 mm. Risico voor ineffektieve neerslag (overlopen van de bodemvochtvoorraad) bestaat dan ook alleen bij bodemvochtleveringen kleiner dan 50 mm bij cumulatieve neerslagoverschotten tussen 25 en 50 mm.

Nagegaan is daarom in welke mate de tabellen A en B in deze bijlage wijzigen als er voor bodemvochtleveringen van 25 en 50 mm gecorrigeerd wordt voor percolatieverliezen, waarbij cumulatieve neerslagoverschotten groter dan 25 resp. 50 mm als niet effectief zijn beschouwd en het verdampingsoverschot in de betreffende periodes met eenzelfde mate zijn verhoogd.

Daarbij bleek dat de veeljarig gemiddelde droogteschade in bodems met <50 mm bodemvochtlevering in werkelijkheid hierdoor < ½ % hoger uitkomen dan volgens tabel A en B. Dit verschil is zo klein dat is afgezien van het gebruik van extra tabellen voor bodemvochtleveringen van 25 resp. 50 mm.

De verklaring hiervoor is dat cumulatieve neerslagoverschotten groter dan 25 mm nagenoeg uitsluitend in (zeer) natte zomers optreden waarin geen droogteschade van betekenis optreedt, en dus ook geen extra droogteschade a.g.v. het naar de ondergrond verdwijnen van een deel van de neerslag. Van het KNMI station Herwijnen (hoogste zomerneerslag van alle KNMI hoofdstations) trad van de 30 groeiseizoenen slechts 2 maal een droogteperiode op met daarin of vlak voorafgaand, een regengebeurtenis met een neerslagoverschot groter dan 25 mm (mei 1983: 55mm, juni 1971: 26 mm). Van de 30 jaren moet dus slechts voor 2 seizoenen het neerslagtekort worden verhoogd; eenmaal met 20 mm en eenmaal met 1 mm. In de betreffende jaren nam de droogteschade (t.o.v. die in tabel A en B) toe met 1,5 % resp. 0% en veeljarig gemiddeld blijft hier slechts 1/30 deel van over.

Kortsluiting en moeilijke herbevochtiging; hydrofobie.

In sommige bodems wordt (grotere) neerslag minder of nauwelijks door de bovenlaag opgenomen. Het betreft

A; sterk ingedroogde humeuze/moerige bovengronden (met name met een grasvegetatie) die hydrofoob geworden zijn. De neerslag blijft langdurig op de bodem liggen waarna uiteindelijk op enkele specifieke plaatsen wel herbevochtiging optreedt waar vervolgens de neerslag van het maaiveld daaromheen, naar toe trekt en versneld naar de ondergrond wordt afgevoerd.

B zwaardere zavel- en kleigronden die na sterke uitdroging krimpscheuren vertonen; zodra op het maaiveld een plas gaat ontstaan wordt deze via de krimpscheuren versneld naar de ondergrond afgevoerd.

Beide vormen van versnelde afvoer van neerslag aan maaiveld naar de ondergrond wordt *kortsluiting* of *preferente stroming* genoemd.

De vraag doet zich voor in welke mate de neerslag hierdoor niet ten goede komt aan het gewas.

De sterke uitdroging wordt door vochtopname door de wortel veroorzaakt en zal niet veel dieper reiken dan deze wortelzone. Preferente stroming leidt er vooral toe dat de neerslag versneld naar de onderzijde van de wortelzone stroomt; daar stagneert en vandaar uit de wortelzone erboven herbevochtigt.

Onduidelijk is of en zo ja in welke mate, er hierbij een verlies aan effectieve neerslag optreedt. Omdat preferente stroming zich bovendien slechts in incidentele droge jaren voordoet is het effect op de veeljarig gemiddelde droogteschade verwaarloosbaar geacht.

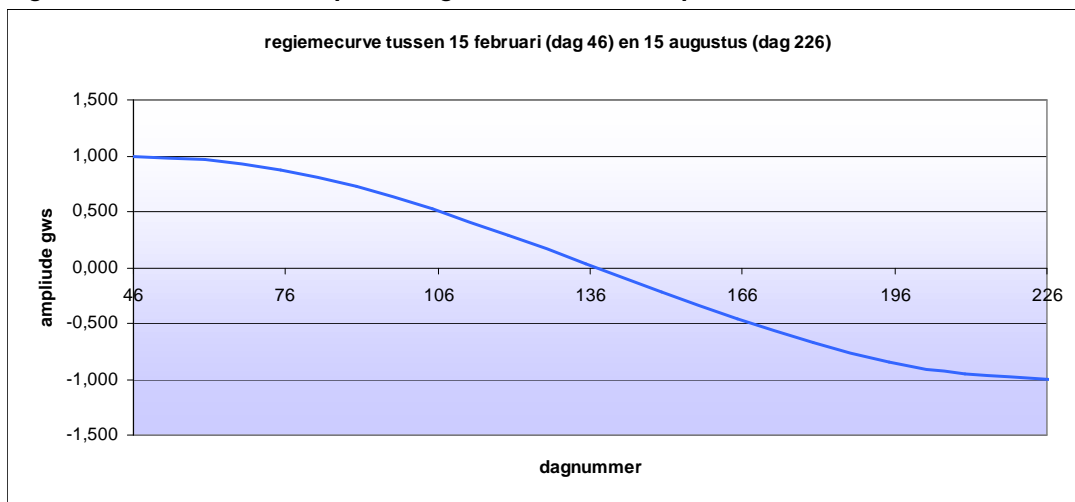
Bijlage 3 Berekening van dag-grondwaterstanden; de regimecurve.

Het grondwaterstandsverloop in de tijd blijkt uit de praktijk veelal een min of meer sinusoidaal verloop te hebben; zeker het veeljarig gemiddelde grondwaterstandsverloop tussen GHG en GLG, die de basis vormt voor de berekening van de (veeljarig gemiddelde) bodemvochtlevering en de dag waarop veeljarig gemiddeld de bewerkbaarheids-grondwaterstand optreedt.

In figuur 1 stelt de horizontale as de cyclus voor. De jaarlijkse cyclus is 2π radialen lang waarbij een dag overeen komt met $2 \pi / 365 = 0,0172$ rad.

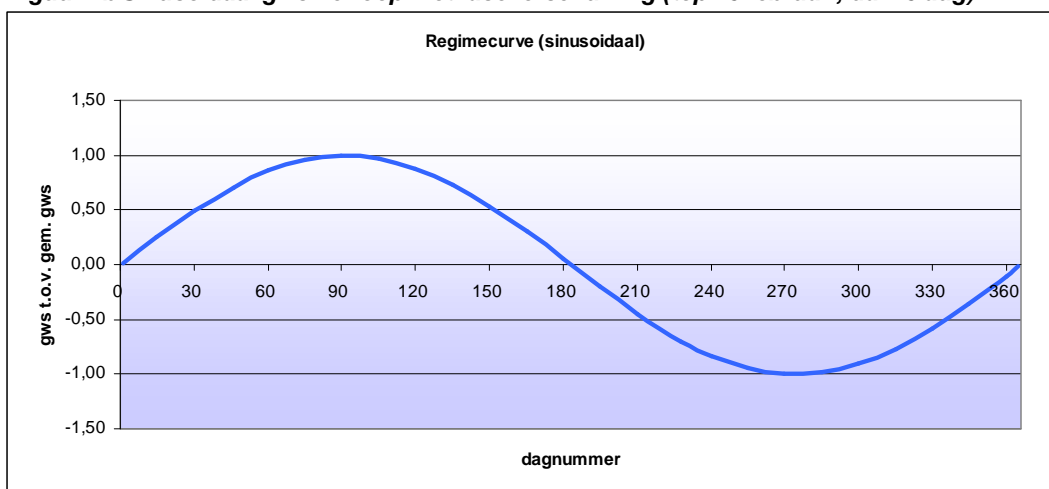
De waarde op de Y-as op dagnummer x kan worden berekend uit $A * \sin(x * 0,0172)$ waarin A de amplitude van de golf (het halve grondwaterstandsverloop) bedraagt (*zakrekenapparaat in modus RAD!*). In deze voorbeeldfiguren is de amplitude op 1 gesteld: de werkelijke amplitude (steilheid van de golf) volgt uit GHG en GLG.

Figuur 1a Sinusoidaal verloop van de grondwaterstand, amplitude = 1



De dagen op de X-as in figuur 1a corresponderen nog niet correct met de jaarlijkse dagnummers: de top van de curve (in figuur 1a op dag 90= 30 maart) moet immers samenvallen met de GHG op 15 februari (dag 46) ; het dal met de GLG op 15 augustus (dag 226); er moet nog een faseverschuiving van 44 dagen plaatsvinden:

Figuur 1b Sinusoidaal gws-verloop met faseverschuiving (top 15 februari, dal 15 aug)

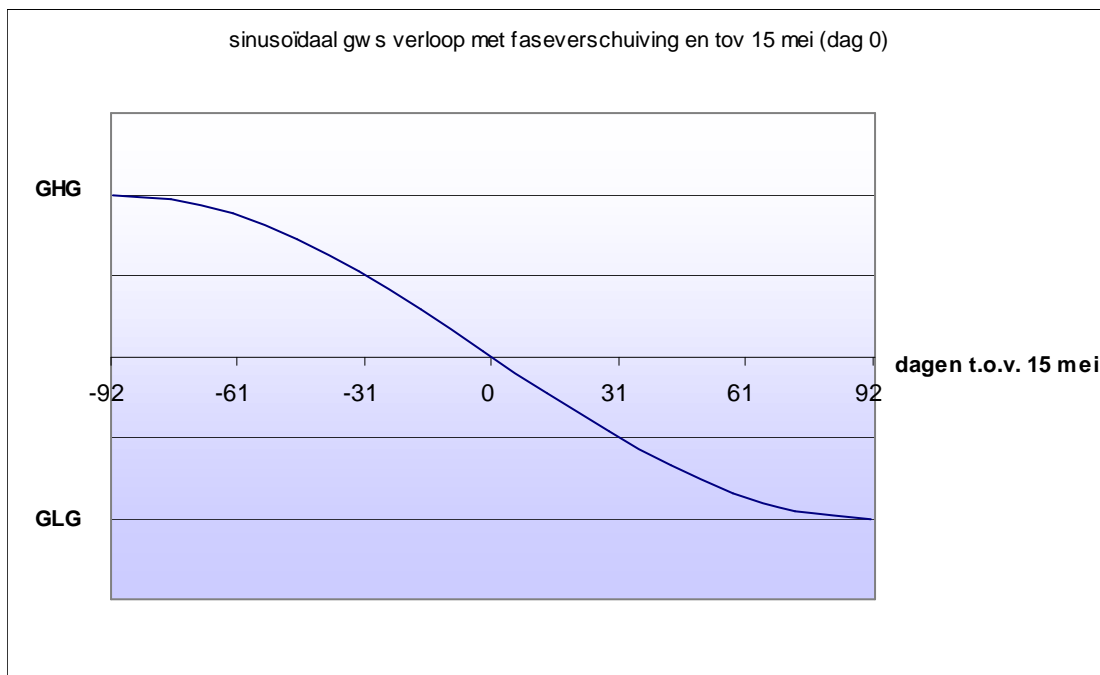


Voor de keuze van de faseverschuiving in de berekening zelf zijn nog 2 overwegingen van belang.

1 Omdat we niet alleen de grondwaterstand op dag x willen berekenen maar ook de dag waarop grondwaterstand y (waarbij de capillaire nalevering afneemt) optreedt, moeten we de schaal van de x-as beperken tot waarden waaruit ook de arcsinus kan worden berekend. De sinus kan uit elk getal worden berekend; de arcsinus alleen voor de halve sinusgolf (tussen top en dal) voor de x-waarden tussen $-1/2 \pi$ en $+1/2 \pi$ (dus tussen $-1,57$ en $+1,57$). Omdat we voor de bewerkbaarheids-grondwaterstand en voor de bodemvochtlevering alleen geïnteresseerd zijn in het grondwaterstandsverloop tussen 15 februari en 15 augustus waarbij de golf niet van dal naar top maar van top naar dal verloopt, kan deze beperking worden vermeden door 15 februari te laten corresponderen met $+1/2 \pi$ radialen en 15 augustus met $-1/2 \pi$ radialen. Elke dag na 15 februari (dag 0) neemt dan af met $\pi / 182$ dagen = $0,01726$ radialen.

2 De uiteindelijke rekenregel wordt eenvoudiger indien we grondwaterstanden en dagen berekenen t.o.v. de waarden op de dag met de gemiddelde regimegrondwaterstand-dag: dit is 15 mei, dus deze dagnr. 137 nemen we als dag 0 (waarop dus $\text{rad} = 0$; dag -92 (=15 feb.) = $+0,5 \pi$ rad; dag 92 (=15 aug) = $-0,5 \pi$ rad). Dit leidt tot een faseverschuiving t.o.v. fig. 1a van -137 dagen:

Figuur 1b Sinusoïdaal gws-verloop met faseverschuiving (top 15 februari, dal 15 aug en de dagen op de x-as t.o.v. 15 mei (=dag 137; deze combinatie leidt tot een faseverschuiving van -137 dagen).



Daarnaast moeten de gemiddelde grondwaterstand (gws 15 aug. + gws 15feb.) /2 en afwijkingen t.o.v. gemiddelde grondwaterstand nog worden omgezet naar gws -mv (positieve waarden!) waardoor voor praktisch gebruik de berekening wordt:

Grondwaterstand op dag x =

Gem gws + amplitude gws golf x SIN [(dagx-137) x 0,01726]

ofwel:

(reg.gws15aug + reg.gws15febr) /2 + (reg.gws15aug-reg.gws15febr) / 2 x SIN [(dagx-137) x 0,01726]

Deze rekenregel werkt ook indien er wordt geïnfiltreerd en de zomergrondwaterstand op 15 augustus gelijk of hoger is dan op 15 februari, zij het dat ook de grondwaterstijging na 15 februari, volgens een sinusoidaal verloop wordt berekend tussen 15/2 en 15 augustus.

Bij gebruik van een zakrekenapparaat: denk erom deze in te stellen in de modus: radialen ! (Excel doet dit in de meeste versies uit zichzelf).

Reg.gws staat hierboven voor regimegrondwaterstand. Bij een natuurlijk gws verloop (geen wateraanvoer en infiltratie) is de regimegrondwaterstand op 15 februari gelijk aan de GHG en de regimegrondwaterstand voor 15 augustus gelijk aan GLG. Met opzet zijn de termen GHG en GLG hier niet gebruikt: de rekenregel geldt ook indien door zomerpeilverhoging de grondwaterstand in de zomer hoger is dan in de nawinter en het voorjaar.

De regimegrondwaterstanden zijn niet gelijk aan de veeljarig daggemiddelde grondwaterstand op 15 februari of 15 augustus (evenmin als de GHG gelijk is aan de daggemiddelde grondwaterstand op 15 februari), maar moeten aldus worden berekend:

Regime grondwaterstand 15 febr.: het gemiddelde over een periode van minimal 8 jaar, van de afzonderlijke jaarlijkse gemiddelden uit de 3 hoogste grondwaterstanden (gemeten op de 14e en de 28e van elke maand) in de periode tussen 15 november en 15 mei. Gedurende deze periode zal er in de praktijk zelden peilverhoging plaatsvinden en de aldus berekende regime.gws 15 febr. zal dan gelijk zijn aan de GHG.

Regime grondwaterstand 15 aug.: het gemiddelde over een periode van minimal 8 jaar, van de afzonderlijke jaarlijkse gemiddelden uit de 3 hoogste grondwaterstanden (gemeten op de 14e en de 28e van elke maand) in de periode tussen 15 mei en 15 november.

(waarin bij een natuurlijk gws verloop de reg.-gws 15 aug overeenkomt met GLG en gws 15 febr. met GHG)

Berekening van dag waarop een gegeven grondwaterstand gemiddeld optreedt.

Om de dag x te berekenen waarop een gegeven grondwaterstand y gemiddeld voor komt moet in bovenstaande rekenregel de waarde voor "dag x" worden opgelost waarbij de faseverschuiving van 137 dagen er nu moet bij worden opgeteld:

Dag x = arcsin [-(gws_y – gemiddelde gws)/amplitude van de golf] /-0,01726 + 137

De gehele rekenregel wordt dan:

Dag met Gws_y

= ARCSIN { - [Gws_y - (reg.gws15aug+reg.gws15febr) / 2] / (reg.gws15aug-reg.gws15febr) / 2} / -0,01726 +137

Ook deze rekenregel werkt tevens indien er wordt geïnfiltrerd en de zomergrondwaterstand op 15 augustus gelijk of hoger is dan op 15 februari, met de kanttekening dat ook een grondwaterstijging na 15 februari, volgens een sinusoidaal verloop wordt berekend tussen 15/2 en 15 augustus.

Bijlage 4 GHG in afhankelijkheid van ontwateringsbasis (OB) en Ontwateringsintensiteit (OI).

Van Wijk et al, 1987 hebben voor een groot aantal combinaties van OI en OB de resulterende GHG en GLG afgeleid. De GLG blijkt hierbij sterk afhankelijk van het gewas (verdamping!) en de bodemvochtlevering en daarvoor kunnen geen praktisch bruikbare richtlijnen worden afgeleid.

De (veel belangrijkere) GHG daarentegen wel, zij het dat hun studie slechts modelberekeningen betreft die niet in het veld zijn gevalideerd.

Als indicatie echter kunnen onderstaande relaties tussen ontwateringsbasis, ontwateringsintensiteit (reciproke van drainageweerstand) en GHG worden gebruikt.

Deze zijn van belang indien men de natschade a.g.v. een suboptimale GHG wil verminderen door middel van slootpeilverlaging (verlaging ontwateringsbasis), buisdrainage of extra sloten (verhoging ontwateringsintensiteit) en aldus de gewenste GHG wil realiseren.

De gewenste GHG (in cm-mv) kan worden gerealiseerd door afhankelijk van de ontwateringsbasis een ontwateringsintensiteit (reciproke van drainageweerstand) te realiseren ter grootte van:

Bodemtype	gewenste ontwateringsintensiteit (g/MO) =
Ontwateringsbasis 60 cm –mv	
Veen	= 0,0036 x e ^(0,0481 x GHG)
Dekzand	= 0,0044 x e ^(0,0426 x GHG)
Sterk lemig zand / loss	= 0,0033 x e ^(0,0537 x GHG)
Lichte zavel	= 0,0041 x e ^(0,0518 x GHG)
Zware zavel	= 0,006 x e ^(0,0325 x GHG)
Klei	= 0,003 x e ^(0,0561 x GHG)
Ontwateringsbasis 90 cm –mv	
Veen	= 0,0016 x e ^(0,0347 x GHG)
Dekzand	= 0,0022 x e ^(0,0277 x GHG)
Sterk lemig zand / loss	= 0,002 x e ^(0,0343 x GHG)
Lichte zavel	= 0,0024 x e ^(0,0329 x GHG)
Zware zavel	= 0,0028 x e ^(0,0266 x GHG)
Klei	= 0,002 x e ^(0,034 x GHG)
Ontwateringsbasis 120 cm –mv	
Veen	= 0,0009 x e ^(0,0295 x GHG)
Dekzand	= 0,0013 x e ^(0,0223 x GHG)
Sterk lemig zand / loss	= 0,0013 x e ^(0,025 x GHG)
Lichte zavel	= 0,0014 x e ^(0,0258 x GHG)
Zware zavel	= 0,0013 x e ^(0,0267 x GHG)
Klei	= 0,0013 x e ^(0,0257 x GHG)
Ontwateringsbasis 150 cm –mv	
Veen	= 0,0005 x e ^(0,0239 x GHG)
Dekzand	= 0,001 x e ^(0,0168 x GHG)
Sterk lemig zand / loss	= 0,001 x e ^(0,019 x GHG)
Lichte zavel	= 0,0012 x e ^(0,0179 x GHG)
Zware zavel	= 0,0011 x e ^(0,0202 x GHG)
Klei	= 0,0011 x e ^(0,0184 x GHG)

Bijlage 5 Bodemkwaliteit: attenderingswaarden

Landbouw

Cadmium	Richtwaarden (mg/kg droge grond)					
	Zand	zavel	klei	kleilig veen	Dalgrond	löss
Beweid grasland	1,0	1,0	1,1	1,8	1,2	0,8
Veevoedergewassen	6,6	8,5	12,7	24,1	12,7	11,9
Akkerbouw	2,5	0,9	1,1	4,2	6,5	0,6
Groenteteelten	1,4	6,0	6,9	7,6	1,6	3,1
Fruit	4,9	11,9	14,4	16,5	5,3	10,0
Sierteelten	5,1	11,8	14,7	17,0	5,5	9,1

Lood	Richtwaarden					
	Zand	zavel	klei	kleilig veen	dalgrond	löss
Beweid grasland	92	114	119	195	121	77
Veevoedergewassen	737	478	708	3354	2380	248
Akkerbouw	47	57	81	147	86	42
Groenteteelten	177	251	291	446	252	224
Fruit	133	158	198	599	231	130
Sierteelten	536	686	796	2408	930	617

Kwik	Richtwaarden					
	Zand	Zavel	Klei	Kleilig veen	Dalgrond	Löss
Beweid grasland	1,8	2,2	2,3	6,6	2,7	1,2
Veevoedergewassen	1,38	0,81	1,44	15	7,7	0,29
Akkerbouw	0,9	0,6	0,45	2,1	1,6	0,15
Groenteteelten	1,1	0,38	0,2	0,17	1,44	0,6
Fruit	0,9	5,7	7,7	6,5	0,8	4,6
Sierteelten	0,9	5,1	7,8	6,5	0,8	3,1

Arseen	Richtwaarden					
	Zand	Zavel	Klei	Kleilig veen	Dalgrond	löss
Beweid grasland	35	96	123	173	44	69
Veevoedergewassen	29	57	64	79	32	44
Akkerbouw	12	35	72	111	25	25
Groenteteelten	16	30	33	42	21	22
Fruit	38	99	118	117	38	83
Sierteelten	37	94	117	115	37	73

Koper	Richtwaarden					
	Zand	Zavel	Klei	Kleilig veen	Dalgrond	löss
Beweid grasland	127	106	93	362	205	60
Veevoedergewassen	64	50	63	201	150	45
Akkerbouw	64	51	64	299	149	46
Groenteteelten	65	108	122	223	112	79
Fruit	62	63	82	193	129	36
Sierteelten	54	74	76	168	112	77

Zink	Richtwaarden					
	Zand	zavel	klei	kleilig veen	dalgrond	löss
beweid grasland	376	427	440	1361	547	213
Veevoedergewassen	164	320	481	585	244	302
Akkerbouw	126	183	319	689	292	124
Groenteteelten	151	664	831	1398	247	331
Fruit	112	164	243	684	279	74
Sierteelten	92	195	218	560	229	190

Nikkel	Richtwaarden					
	Zand	Zavel	Klei	Kleiig veen	Dalgrond	Löss
Beweid grasland	11	12	14	22	11	10
Veevoedergewassen	15	22	32	30	18	31
Akkerbouw	15	23	36	25	16	33
Groenteteelten	14	30	30	27	11	20
Fruit	14	19	22	25	15	13
Sierteelten	9	16	18	18	11	18

Chroom Richtwaarden voor driewaardig chroom: voor zeswaardig: richtwaarden vermenigvuldigen met 0,2

	Zand	Zavel	Klei	Kleiig veen	Dalgrond	Löss
Beweid grasland	229	626	798	447	219	821
Veevoedergewassen	228	605	401	275	103	451
Akkerbouw	228	556	342	364	125	418
Groenteteelten	251	250	313	319	227	360
Fruit	302	521	528	365	137	1084
Sierteelten	501	683	871	604	227	393

Organische microverontreinigingen (mg/kg droge grond)

	Aldrin/ dieldrin	endrin	ddt/dde	α HCH	β HCH H	γ HCH (lindaan)	Hepta- chloor	HCB	PCB	dioxine	MCPA
Beweid grasland	0,19	0,16	3,5	0,2	0,06	1,6	0,08	1,1	0,04	0,00007	
Veevoedergewassen	0,31	0,25	4,7	0,8	0,09	2,5	0,12	1,8	0,06	0,00007	
Akkerbouw	0,2	3,1	2,3								

Natuur en recreatie

Cadmium

Richtwaarden

	zand	Zavel	klei	kleiig veen	Dalgrond	löss
Moestuín	0,8	3,6	4,1	4,5	1,0	1,8
Speel- en ligweiden Kampeertreinen, gazons	0,7	1,2	6,3	2,9	0,8	0,7
Terrestrische natuur	6,0	7,5	11,5	9,1	5,7	6,5

Lood

Richtwaarden

	Zand	zavel	klei	kleiig veen	dalgrond	löss
Moestuín	112	142	156	198	142	131
Speel- en ligweiden Kampeertreinen, gazons	124	155	250	203	139	133
Terrestrische natuur	100	106	210	125	86	92

Kwik

Richtwaarden

	Zand	Zavel	Klei	Kleiig veen	Dalgrond	Löss
Moestuín	1,1	0,38	0,2	0,16	1,4	0,6
Speel- en ligweiden, kampeertreinen, gazons	1,1	0,36	0,2	0,16	1,3	0,6
Terrestrische natuur			pm			

Arseen	Richtwaarden					
	Zand	Zavel	Klei	Kleiig veen	Dalgrond	Löss
Moestuin, Speel- en ligweiden, Kampeertreinen, gazons: Terrestrische natuur	32	53	56	67	39	42
	32	37	64 pm	60	36	29

Koper	Richtwaarden					
	Zand	Zavel	Klei	Kleiig veen	Dalgrond	löss
Moestuin, Speel- en ligweiden	65	108	122	223	112	78
Kampeertreinen, gazons Terrestrische natuur	75	75	141	194	96	48
	57	68	90	111	57	53

Zink	Richtwaarden					
	zand	zavel	klei	Kleiig veen	dalgrond	Löss
Moestuin Speel- en ligweiden, kampeertreinen, gazons Terrestrische natuur	151	664	831	1398	247	331
	143	260	1211	982	197	130
	142	192	300	305	141	148

Nikkel	Richtwaarden					
	Zand	Zavel	Klei	Kleiig veen	Dalgrond	Löss
Moestuin Speel- en ligweiden, kampeertreinen, gazons Terrestrische natuur	14	30	30	27	11	20
	10	11	46	19	10	10
	8	30	48	62	9	22

**Chroom Richtwaarden voor driewaardig chroom:
voor zeswaardig Cr: richtwaarden vermenigvuldigen met 0,2**

	Zand	Zavel	Klei	Kleiig veen	Dalgrond	Löss
Moestuin Speel- en ligweiden, kampeertreinen, gazons Terrestrische natuur	166	250	313	319	227	360
	201	979	181 pm	672	303	1285

Organische microverontreinigingen (mg/kg droge grond)

	Aldrin/ dielrin	Endrin	DDT/ DDE	α HCH	β HCH	γ HCH lindaan	Hepta- chloor	HCB	PCB	dioxine	MCPA
Moestuin Terrestrische natuur	1		2,3								
			2			10		426	8,5		100