



Bodem/perceel geschiktheids- beoordeling voor Landbouw, Bosbouw en Recreatie.

**T.b.v. een optimalisatie van grond- en
oppervlaktewaterpeil**
State of the art 2018

Zesde gewijzigde druk, okt. 2018

Samenstelling:

J.Th.M.Huinink M.Sc.

Besteladres:

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

Een (open source) Excel-programma met de in deze publicatie beschreven rekenmodules is op aanvraag beschikbaar bij de auteur

© 2018 BodemConsult-Arnhem

Alle rechten voorbehouden.

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

Bodem/perceel geschiktheids- beoordeling voor Landbouw, Bosbouw en Recreatie

T.b.v. een optimalisatie van grond- en
oppervlaktewaterpeil.

State of the art 2018

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 handleiding voor het beoordelen van bodemgeschiktheden in het veld en eventuele effecten hierop van profileringrepen 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 zijn 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 zesde 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, Dienst Landelijk Gebied en medewerkers van de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA) en van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishoudingen (ICW), en van het latere Staring Centrum. Deze veldmap vormde een nadere uitwerking van het waarderingssysteem van *De Vries (1974)* en is gebaseerd op een 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 over 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 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 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 de hierbij behorende bodem) bepaald en werden veeljarig gemeten hoger en lagere opbrengsten (en bijbehorende 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 (bewerkbaarheidsdrukhoogten) 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 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 ontwatering ook een sterk stikstofeffect heeft op de opbrengst dat echter 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 tot een derde kleiner is dan laboratoriummetingen aan zeer kleine Kopecky-ringen suggereren. Dit verklaart wellicht dat a.g.v. GHG onderschatting, de natschades berekend door *Van Wijk et al* voor de grondwatertrappen V-VII tot 15% hoger 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. Voor de "natschade" is daarom steeds en ook thans overwegend gebruik gemaakt van de resultaten van proefveldonderzoek en vele andere praktijkmetingen en ervaringen.

Droogteschade lijkt sinds ca. 1990 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 aannames over 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 *Schothors, t* en samen met de resultaten van het onderzoek door *Boeke* kan voor deze teelten in zekere mate een nadere opsplitsing van de natschade worden gemaakt naar vroegheid, lengte van groeiseizoen, en structuurstabiliteit.

De oorspronkelijke (kunstmatige) bodemgebruiksvormen 'akkerbouw', 'tuinbouw' 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 afzonderlijke 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 aard van de landbouwmechanisatie.

Bedrijfseconomische veranderingen (het praktisch potentiële teeltsaldo) daarentegen waren de afgelopen 60 jaar zeer groot a.g.v autonome ontwikkelingen, subsidieregelingen en mest- en gewasbeschermingwetgeving. 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 onderzoeksontwikkelingen voorgedaan.

Een factor die inmiddels wel is gewijzigd is het klimaat en een actualisatie van de “*Regionale verschillen in Neerslag en verdamping binnen Nederland*” (Huinink 2017) heeft geleid tot een aanpassing van de afleiding van de droogteschade in deze nota.

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 groot aantal andere schadefactoren negeert zoals schade of extra kosten door oppervlakkige en interne slemp, onvoldoende verkruielbaarheid, huidkwaliteit, windvastheid, stuifschade, perceelsvorm en -oppervlak, nachtvorstschade, stenigheid van de bovengrond, beschaduwing, perceelshelling en bovenal perceelsvorm en -afmetingen. 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 profileringreep (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).

De voorliggende 6^e druk bevat ten opzichte van de vorige uitgave (2011) een aanpassing voor de berekening van de droogteschade en de kwantificering van de opbrengstderving voor sierteelten; de saldoderving door onvoldoende kluitstabiliteit is beperkt tot de kosten voor het aanbrengen van wortelnetten.

De belangrijkste aanpassingen vloeien voort uit een actualisatie van de opbrengstprijzen en toegerekende kosten.

Oosterbeek, okt. 2018

J. Huinink

Inhoudsopgave

Voorwoord en Verantwoording	
1 Inleiding	7
2 Bodemgeschiktheidsfactoren	9
3 Lengte van het groeiseizoen	11
3.1 Bewerkbaarheidsgrondwaterstand	12
3.2 Berekende lengte van het groeiseizoen; Regime curve	15
3.3. "Te laat"-schade melkvee grasland	19
3.4 "Te laat"-schade overige grasland	24
3.5 "Te laat"-schade eenjarige teelten	24
3.6 "Te laat"-schade meerjarige akker- en tuinbouwteelten	26
4 Droogteschade	28
4.1 Hangwatervocht	30
4.2 Capillaire nalevering	33
4.3 Van bodemvochtlevering naar droogteschade	35
4.4 Van % droogteschade naar € per ha; Berekening	36
5 Verkruijmelbaarheid	38
6 Structuurstabiliteit	41
6.1 Interne slemp	41
6.2 Oppervlakkige slemp	42
6.3 Stuifschade	43
7 Vorstschade	45
7.1 Vorstgevoelige teelten	45
7.2 Landschappelijke vorstgevoeligheid	45
8 Verticale doorlatendheid en textuursprongen	47
8.1 Verticale doorlandheid	47
8.2 Textuursprongen	48
9 Huidkwaliteit	49
10 Windvastheid	49
11 Perceelsvorm	50
12 Reliëf	53
12.1 Extra mechanisatiekosten hellingen	53
12.2 Hellingerosie	54
13 Schaduw	55
14 Stenen in de bouwvoor	55
15 Zuurgraad bouwvoor	56
16 Overige bodemgeschiktheidsfactoren	57
16.1 Bodemverontreiniging	57
16.2 Waterkwaliteit en beschikbaarheid	57
17 Bodemgeschiktheid voor bosbouw	59
18 Van % opbrengstderving naar € per ha	61
18.1 Berekening cumulatieve opbrengstderving	61
18.2 Teeltsaldo of financiële opbrengst? Opbrengst specifieke saldo	62
Nawoord, HELP-tabellen	67
Literatuur	69

Bijlagen:

<i>1 Afleiding schade door te late voorjaarsgrondbewerking/voortijdige oogst;</i>	<i>74</i>
<i>2 Afleiding droogteschade,</i>	<i>76</i>
<i>3 Berekening van dag-grondwaterstand en Regime-curve;</i>	<i>98</i>
<i>4 GHG i.a.v. Ontwateringsintensiteit en OntwateringsBasis;</i>	<i>101</i>
<i>5 Bodemkwaliteitwaarden</i>	<i>102</i>

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 melkvee grasland.

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) 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 ruwvoer.

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 wensen 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 (€ /ha) 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 (rooibeschatiging, 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 grondwaterstandsfluctuatie.

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 slomp
- interne slomp
- 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 sinds de vele landinrichtingsprojecten 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 geschiktheidsbeoordelingen.

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 opbrengstdervingen 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 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: bovendien mag het beweiden/berijden van veegrasland evenals het gebruik van recreatief groen (sportvelden, speel- en ligweiden) 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 in de praktijk een strengere (drogere) 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 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.

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 hergroei temperatuur 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 (verandering hierin) 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 Bewerkbaarheidsgroundwaterstand

Draagkracht, tijdstip van bewerkbaarheid, tijdstip van verkruielbaarheid, tijdstip van beweidbaarheid, tijdstip van berijdbaarheid, tijdstip van hergroei, vroegheid of 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, zaaïen/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 bewerkbaarheidsgroundwaterstand 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. Afgezien hiervan wordt de optimale voorjaarsgrondwaterstand nagenoeg geheel bepaald door de gewenste tijdigheid in het voorjaar en is er nauwelijks een 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 (te hoge voorjaarsgrondwaterstand) al snel tot (veel) meer opbrengstderving dan een hierdoor bespaarde droogteschade (hogere voorjaarsgrondwaterstand is in principe ook een hogere zomergrondwaterstand). 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 voor dit gewas, 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 voor dit gewas, zal er voortijdig moeten worden geoogst om structuurschade voor de volgende teelt(en) 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,Haagsma1971, 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	benodigde Gws onder bewerkings- diepte)*	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 gedegenereerd 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 gedegenereerde, 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 gecultivatoerd (12 à 15 cm diep).

Deze bewerkingstiepten moeten bij de *gws onder bewerkingstiepte* 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 bewerkingstiepte, kleiner is dan 1,25 mm/dag (gelijk aan het veeljarige gemiddelde verdampingsoverschot 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 bewerkingstiepte.

Voor het vaststellen van de grondwaterstand met $V_{c1,25}$ moet de bodemopbouw onder de voorjaarsbewerkingstiepte, en daarmee eerst deze bewerkingstiepte (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 bewerkingstiepte, 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 wordt, kan worden afgeleid uit de Z-h relaties voor 1,25 mm/d. De laatste kolom in tabel 1 geeft de Z-afstand ($Z_{1,25}$) 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 (is ook de bewerkingdiepte) 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 $1,25$ mm/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 $Z_{1,25}$ 100 cm bedraagt bij een beschikbare h van -60 cm (tabel 1, 3e regel, 1e en laatste kolom). Voor $1,25$ mm/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 kracht 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 sinusoidaal grondwaterstandsverloop tussen 15 februari en 15 augustus.

Bij een natuurlijk grondwaterstandsverloop is veeljarig gemiddeld in Nederland, de regimegrondwater-stand 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 (zie verder) geldt ook indien door peilverhoging de grondwaterstand in de zomer hoger is dan in de winter en het voorjaar en de koppeling van de begrippen GHG / GLG aan 15-2, resp. 15-8 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. Voorwaarde is wel dat er in en na deze ≥ 8 jaar periode er geen significante verandering in ontwateringsbasis, ontwateringsintensiteit -*peilbeheer, drainage, slootafstanden of grondwateronttrekking*- en klimaat heeft plaatsgevonden.

Regime grondwaterstand 15 aug.: het gemiddelde over een periode van minimaal 8 jaar, van de afzonderlijke jaarlijkse gemiddelden uit de 3 laagste grondwaterstanden (gemeten op de 14e en de 28e van elke maand) in de periode tussen 15 mei en 15 november. Voorwaarde is ook hier dat er in en na deze ≥ 8 jaar periode er geen significante verandering in ontwateringsbasis, ontwateringsintensiteit en klimaat heeft plaatsgevonden maar ook dat er geen significante veranderingen in gewas(verdamping) plaatsvond. In de praktijk is dit veelal niet het geval; met name in de akkerbouw. Aardappelen tussen granen en suikerbieten betekent dat 8 jaar in feite te kort is.

De dag (tussen 15 februari en 15 augustus) waarop een grondwaterstand de diepte van x cm-mv heeft bereikt kan worden berekend met (bijlage 3; grondwaterstanden in cm-mv dus positieve waarden):

Dag met $Gws_y = 138 + - (\arcsin \{ [- gws_{dagx} - (- gws_{15\text{ feb}} + - gws_{15\text{ aug}}) / 2] / [(- gws_{15\text{ feb}} - - gws_{15\text{ aug}}) / 2] \} / 0,0172142$

Wanneer we voor de gevraagde gws (gws dagx) de bewerkbaarheidsgrondwaterstand invullen resulteert uit 228 (15 augustus) – A het aantal dagen dat de grond voor 15 augustus bewerkbaar is; en voor A+228 het aantal dagen dat de grond na 15 augustus bewerkbaar is. Althans indien er geen peilopzet plaatsvindt waardoor de gws op 15 augustus ondieper is dan op 15 februari.

Indien dit wel het geval is resulteert uit 228-A de dag waarop de grond in het voorjaar niet meer bewerkbaar is en uit A+ 228 de dag in het najaar waarop de grond opnieuw bewerkbaar is.

Indien de bewerkbaarheidsgrondwaterstand ondieper is dan de hoogste regimegrondwaterstand (15 feb of 15 aug) of dieper is dan de laagste regimegrondwaterstand op 15 feb of 15 aug, resulteert deze rekenregel in een foutmelding. In de eerste situatie is de grond altijd bewerkbaar en is er geen opbrengstderving door een beperkte lengte van het groeiseizoen.

Indien de bewerkbaarheids-grondwaterstand dieper is dan de laagste van deze twee regimegrondwaterstanden 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.

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:

$138 - (\text{BOOGSIN} \{ [- 76 - (- 25 - 150) / 2] / [(- 25 + 150) / 2] \} / 0,0172024) = \text{dag } 127 \text{ (7 mei).}$

Vijftien augustus (dag 228) stijgt de regimecurve weer. In ons voorbeeld duurt het potentiële groeiseizoen van dag 228-127= 101 dagen vóór 15 augustus, en eveneens nog eens 101 dagen erna.

In ons voorbeeld treedt de GHG zoals gewoonlijk rond 15 februari op en de GLG rond 15 aug. Indien het perceel wordt geïnfilteerd waarbij de grondwaterstanddaling wordt beperkt of zelfs verhoogd (bloembollenteelt) en de grondwaterstand daarbij hoger blijft of hoger komt dan de bewerkbaarheids-grondwaterstand, is er geen gewasverpleging of oogst mogelijk. De relatieve lengte van het groeiseizoen eindigt dan op die dag. Peilverhoging heeft men veelal zelf in de hand en daarbij is de praktijkervaring dat men hier rond 1 augustus mee moet stoppen om de oogst niet in gevaar te brengen.

Tabel 2 geeft de gewenste lengte van het groeiseizoen weer.

Voor pootaardappelen zijn 150 dagen nodig vóór 15 augustus (eerste week van augustus gerooid) en geen dagen na 15 augustus. In ons voorbeeld is de grond 101 dagen voor (en na 15 augustus) bewerkbaar.

Voor een onbeperkte voorjaarsbewerking, poten, gewasverpleging en nabewerking van de pootaardappelteelt is een totale groeiseizoenlengte nodig van 150 dagen. Hiervan komt deze voorbeeldbodem er 49 tekort: de relatieve lengte van het groeiseizoen (daadwerkelijk/gewenst) bedraagt $101/150 = 0,67$.

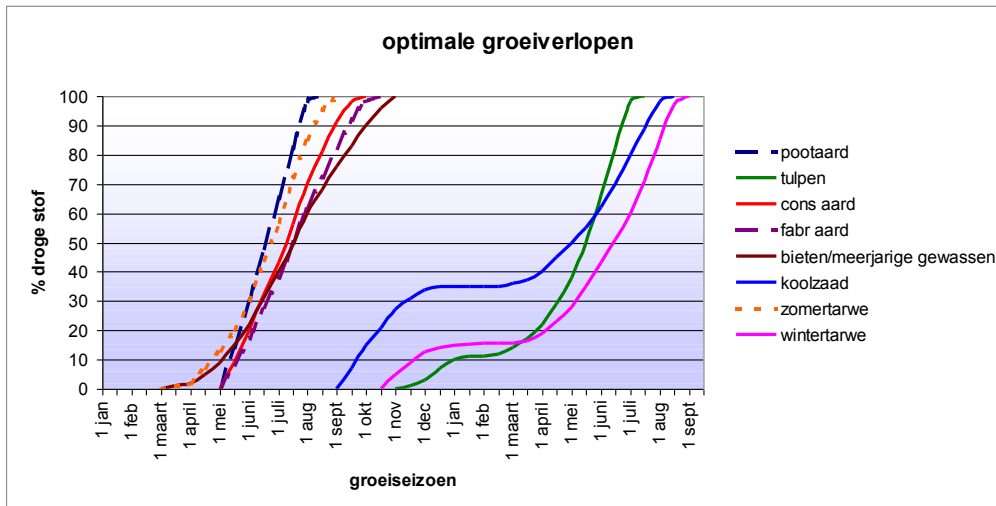
Tabel 2. Benodigde groeiseizoenlengte voor maximale opbrengst / bruikbaarheid

	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
Fabrieksaardappelen	155	65	220
Suikerbieten	155	75	230
Wintertarwe	165	10	175
Zomergerst	165	0	170
Snijmaïs	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, hyacint	180	140	320
Dahlia's	100	140	320
Bladgroenten	100	75	175
Beweid/gemaaid gras	180	75	255
Plantsoenen	180	75	255
Gazons	100	75	210
kampeerterreinen, speel- en ligweiden	100	45	145
Sportvelden	180	75	255

De vertaling van een tekort groeiseizoen naar opbrengstderving 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 resp. eind van de potentiële groeiperiode op, maar is niet lineair doch 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 als 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 beweidingssysteem (verhouding tussen beweiden en stalvoeding) en bovenal de mate waarin het bedrijf zelfvoorzienend is in de ruwvoedervoorziening (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.

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:

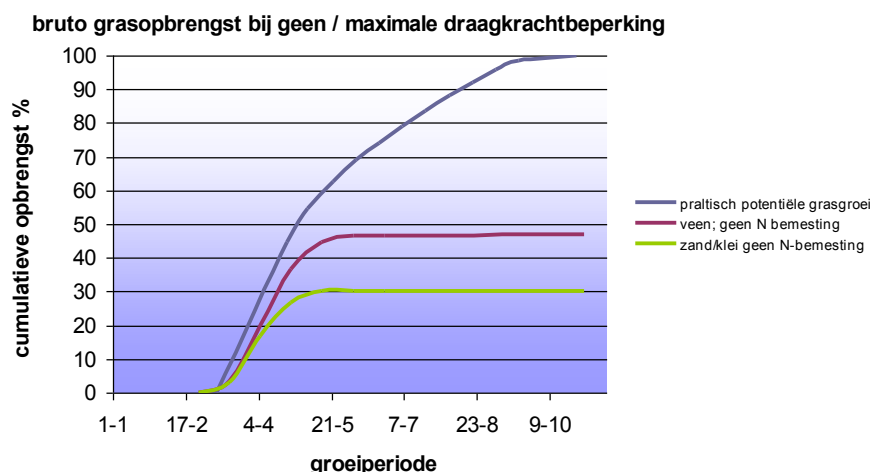
- te nat in het voorjaar heeft een beperking op de grasgroei door een te lage bodemtemperatuur (grasgroei begint vanaf ca. 5^o C) en bovenal door het niet tijdig kunnen strooien van (N-)meststof waardoor de oogst van de eerste snede wordt vertraagd. Indien de draagkracht ook in het najaar voortijdig (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 resp. overige gronden) in figuur 2 (De Vos et al, 2004; Handboek Melkveehouderij 2017). 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 47 à 30 % (veen resp. overige gronden) van de potentiële opbrengst 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 (deze curve is vereffend; in werkelijkheid zitten er 5 oogst-tredes in). Deze potentiële groeicurve schuift naar beneden tot deze de ‘natte’ groeicurve op de datum met voldoende draagkrachtige snijdt.
- als de bewerkbaarheidsgrondwaterstand (lees: draagkrachtgrondwaterstand; tabel 1) eerder dan 29 oktober (=75 dagen na 15 augustus; het einde van het beweidingseizoen) wordt onderschreden –de gws te hoog wordt- 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 van 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.

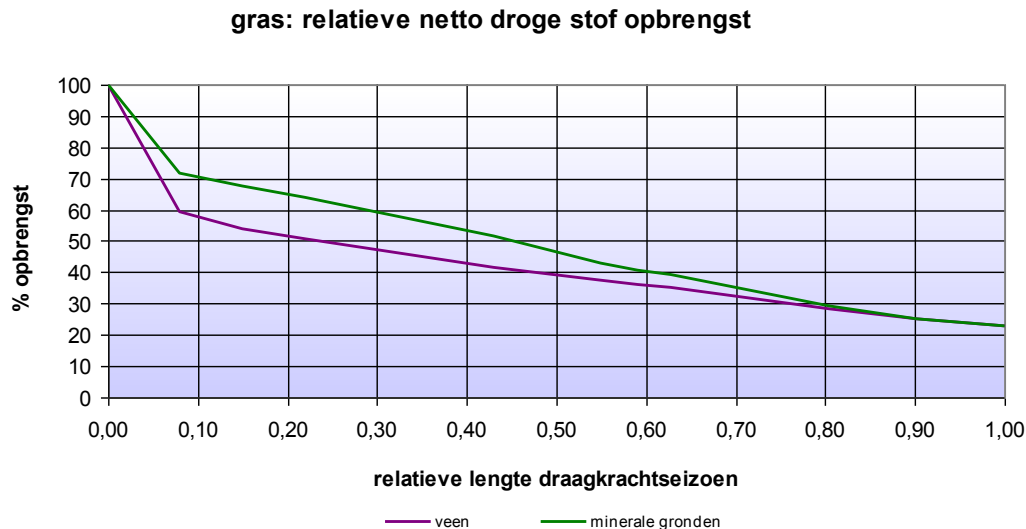
Figuur 2. Grasgroeicurven bij optimale draagkracht + N-bemesting en bij onvoldoende draagkracht en derhalve geen N-bemesting



Nadat aldus de bruto derving aan droge stof-opbrengst door een beperking van het beweidingseizoen 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 opbrengst aan droge stof op grasland in afhankelijkheid van de relatieve lengte van het groeiseizoen.



De lijnen in figuur 2 en 3 verschillen doordat

A figuur 2 de cumulatieve bruto grasgroei weergeeft

B figuur 3 de netto droge stof opbrengst geeft, die

- 23 % lager is dan de grasopbrengst vlg figuur 2 door beweiding- en ruwvoederwinning-verliezen;
- bij een relatieve lengte van het groeiseizoen kleiner dan 0,08 de opbrengst nihil wordt (derving 100%) omdat het gras niet kan worden beweid 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	25	25
0,8	28	29
0,6	36	41
0,55	38	43
0,43	41	51
0,22	54	68
0,08	59	72
0	100	100

De voederwaarde van melkvee grasland wordt echter niet zozeer bepaald door de drogestofopbrengst aan gras (grotendeels wel voor vleesvee, paarden en 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; grondwatertrappen omgerekend naar rel.lengte draagkrachtseizoen*).

Tabel 4. Degeneratie % / jaar van kVEM productie (afname “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

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 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%.

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

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 bij organische stofgehalten hoger dan 8% zinvol is om tot graslandvernieuwing (ploegen en herinzaai) over te gaan.

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). Berekening van de Z voor een $V_{c1,25}$ (par 3.2, toets2) geeft een uitkomst van 63 cm-mv: dus dieper dan 55 cm en dus niet van toepassing. De dag waarop deze grondwaterstand wordt bereikt (bijlage 3) is $138 - (BOGSIN \{ [- 55 - (- 25 - 150) / 2] / [(- 25 + 150) / 2] \} / 0,0172142) = \text{dag } 106$.

De lengte van het groeiseizoen is dus $228 - 106 = 122$ dagen voor 15 augustus en 122 dagen erna. Tabel 2 geeft aan dat voor optimaal grasland er 180 dagen voor 15 augustus nodig zijn en 75 erna; in totaal 255 dagen. In het voorjaar komt ons voorbeeld er $180 - 122 = 58$ dagen te kort. De relatieve lengte van het groeiseizoen bedraagt dus $(255 - 58) / 255 = 0,77$ overeenkomend met een veeljarig gemiddelde droge stofopbrengstreductie van 31 % (tabel/figuur 3). Het degeneratie % bedraagt 11% (tabel 4) en bij een herinzaaifrequentie van bijvoorbeeld 8 jaar is (tabel 5; gem. ds productie ruim 73%) de veeljarig gemiddelde opbrengst $(100 - 31) \times 73 / 100 = 51\%$ van de potentiële opbrengst, dus veeljarig gemiddeld 49% opbrengstderving t.o.v. de potentiële *kVEM* opbrengst.

Herinzaai is duur (€ 300,- voor doodspuitmiddel, startbemesting en zaaizaad en 11 uur arbeid gemiddeld à € 70,- = €1070,-/ha en daarnaast 1,5 snede gras) en de gemiddelde herinzaaikosten per jaar moeten eveneens als een opbrengstderving in mindering worden gebracht.

Stel het praktisch potentiële saldo van grasland op €2750,- /ha, dan bedraagt dit saldo in ons voorbeeld 51% (49 % derving, zie hierboven) hiervan: € 1402,- /ha/jaar.

Elke 8 jaar graslandvernieuwing kost $1070 / 8 = € 134,- / \text{ha} / \text{jaar}$. Omdat dit een vaste kostenpost is mag deze 134 euro in dit stadium niet worden omgerekend tot een relatieve (procentuele) derving (zie hfst 18.2). Uitgedrukt op het saldo na correctie voor korter groeiseizoen zou dit weliswaar $134 / 1402 \times 100 = 9,6 \%$ bedragen, maar er volgen hierna nog meerdere relatieve dervingen waardoor uiteindelijk misschien een saldo resteert van € 500,- /ha. Uitgedrukt hierop zouden de extra herinzaaikosten $134 / 500 \times 100 = 27\%$ bedragen.

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 6 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 schapen) 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 melkvee grasland en grasland t.b.v. hobbydierhouderij.

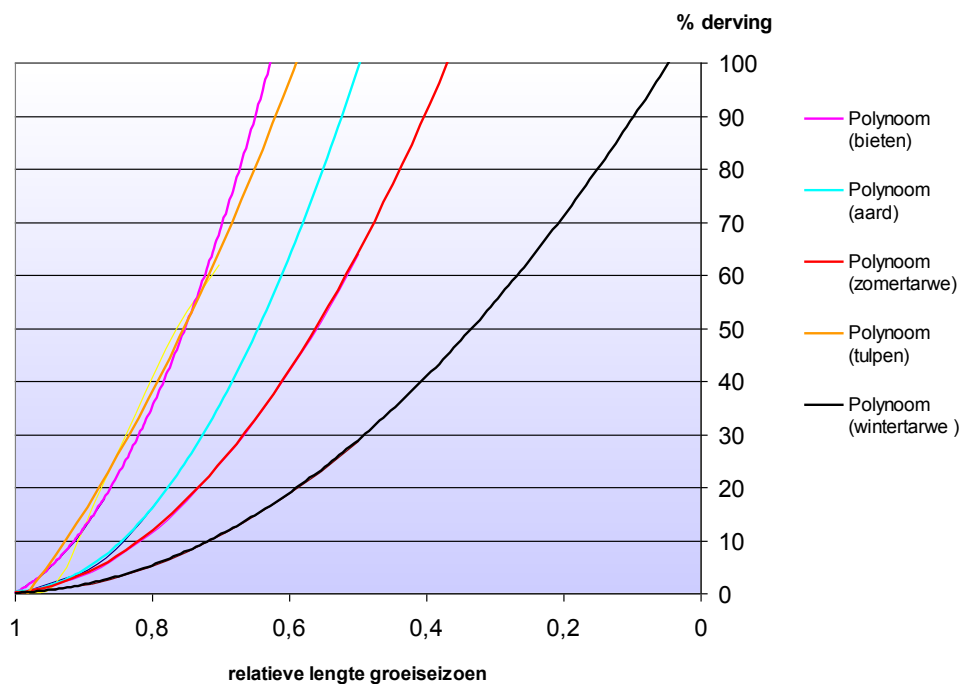
Recreatie

Voor sportvelden, kampeerterreinen en parken kan de derving wél grotendeels 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: 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 laatheid 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):

- a bieten, gezaaide groenten (schorseneren, peen, erwten/bonen):
 $\% \text{ opbrengstderving} = 538 \times \text{RLG}^2 - 1144 \times \text{RLG} + 606$
- b zomergranen, maïs, graszaad
 $\% \text{ opbrengstderving} = 232 \times \text{RLG}^2 - 475 \times \text{RLG} + 244$
- c wintergranen (correctie voor 15% najaar- en wintergroei: zie volgende paragraaf)
 $\% \text{ derving} = (232 \times \text{RLG}^2 - 475 \times \text{RLG} + 244) \times 0,85 / 2$
- d aardappelen, geplante groenten (bladgroenten prei, spruiten, koolsoorten, witlof,);
 $\% \text{ opbrengstderving} = 392 \times \text{RLG}^2 - 785 \times \text{RLG} + 393$

In ons pootaardappelvoorbeeld (RLG= 0,67) bedraagt de “te laat schade” (regel c):

$$392 \times 0,67^2 - 785 \times 0,67 + 393 = 392 \times 0,50 - 785 \times 0,71 + 393 = 42 \%$$

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.q.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
Kleiig 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 38 % “te laat” schade door een onvoldoende diepe voorjaarsgrondwaterstand worden verhoogd met 5 % textuurgebonden schade en bedraagt $42,5 + 5 = 47,5\%$.

De textuurgebondenschade is geen afzonderlijke opbrengstdedrvingsfactor maar een correctie op de rekenregels (a t/m d; zie bijlage 1) waardoor beiden een op een moet worden opgeteld (en **niet**: $42,5 + (100 - 42,5) \times 5/100 = 45\%$)

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.

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

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

Bij meerjarige of overwinterende teelten anders dan grasland (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, narcissen en hyacint 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 bewerkbaarheids-grondwaterstand 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 dahlia, groot en klein fruit, boomteelt, asperge en bosbouw kan de groeicurve voor suikerbieten worden gebruikt; voor wintertarwe de curve voor zomertarwe. 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 vorige paragraaf vermeld.

a1 tulp, narcis, iris, hyacint,

$$\% \text{ opbrengstderving} = 538 \times \text{RLG}^2 - 1144 \times \text{RLG} + 606$$

a2 boomteelt, groot- en klein fruit, dahlia, gladiolen, asperge, bosbouw;

$$\% \text{ derving} = (538 \times \text{RLG}^2 - 1144 \times \text{RLG} + 606) / 2$$

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

$$\% \text{ derving} = (538 \times \text{RLG}^2 - 1144 \times \text{RLG} + 606) \times 0,85 / 2$$

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 slomp; 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.

Deze aspecten worden verderop in hoofdstuk 8 behandeld.

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.

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 in of capillaire nalevering naar de wortelzone voldoende is om de periode met de maximale cumulatieve droogte (voortschrijdend neerslagtekort) te overbruggen.

Een suboptimale verdamping wordt daarbij omgerekend naar het verlies aan groeidagen (productiedagen) en gerelateerd aan het potentiële aantal groeidagen. (bijlage 2; *Cult. tech. Vad. 2000;; 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 de meest gangbare landbouwgewassen vastgesteld op basis van neerslag en gewasverdamping waarbij de neerslag is verminderd met interceptiehoeveelheid (neerslag die aan het gewas blijft “hangen” en niet beschikbaar komt in de wortelzone voor gewasverdamping) en bij een twaalfstal bodemvochtleveringen (10 tot 300 mm). Hiertoe is het daadwerkelijk opgetreden neerslagoverschot in droge periodes verminderd met de bodemvochtlevering.

Voor elke bodemvochtlevering zijn vervolgens per KNMI-station voor elk gewas 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 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 sinusoidaal 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 1,46 mm/dag in cumulatieve droogteperiodes (*Huinink, 2016*)
- 3 begin van de grootste cumulatieve droogteperiode: gemiddeld op 27 april (*Huinink, 2016*).

De bodemvochtlevering wordt berekend voor de veeljarig gemiddelde situatie: in eerste stap met de hangwaterhoeveelheid. Deze hoeveelheid hangwater wordt gedeeld door 1,46 mm en dit geeft het aantal dagen na 27 april (zie punt 3 hierboven) waarop verdroging op de betreffende bodem begint indien er geen capillaire nalevering optreedt.

Vervolgens wordt berekend hoe lang er voldoende capillaire nalevering optreedt indien het gewas niet over hangwater zou beschikken.

De capillaire nalevering breekt af op de dag dat de grondwaterstand op een z-afstand voor 1,46 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 1,46 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 dit wordt niet of nauwelijks benut zolang de hoeveelheid hangwatervocht toereikend is voor de gewasverdamping,

De vertaling van bodemvochtlevering (mm) naar opbrengstderving (veeljarig gemiddelde droogteschade) kan plaatsvinden met behulp van de tabellen in bijlage 2.

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** voor de capillaire nalevering. De effectieve worteldiepte is de diepte waarop de breedte van de beworteling het grootst is, overeenkomend met de diepte waarbinnen zich 80% van de wortelmassa bevindt. De reden dat voor de capillaire nalevering niet de maximale worteldiepte wordt genomen is dat de diepste wortels in aantal zo beperkt zijn dat zij niet in staat zijn voldoende vocht met een flux

van 1,46 m/dag vanuit het grondwater op te nemen om aan de verdampingsvraag van de gehele plant te kunnen voldoen. De verhouding tussen totale worteldiepte een effectieve worteldiepte is sterk gewasafhankelijk (tabel 7).

In bodems waar de (maximale) worteldiepte door pH, dichtheid of O₂-tekort wordt beperkt, wordt de potentiële effectieve worteldiepte wel bereikt indien de storing zich dieper bevindt dan de potentiële bewortelingsdiepte.

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.

Hoewel veeljarig gemiddeld op 27 april de periode met het grootste cumulatieve neerslagtekort begint en de beworteling voor menig gewas dan nog niet de maximale diepte heeft bereikt, berekenen we de hoeveelheid hangwatervocht toch uit het bodemvolume dat (in de betreffende bodem) bij maximale doorworteling ontsloten wordt. De reden hiervoor is dat de wortelgroei (mits niet beperkt door bodemopbouw, gws of plantfysiologie) doorgaat na 27 april en in de praktijk gebleken is dat de fysiologische doorgroeisnelheid van de beworteling (en daarmee de benutting van het diepere hangwatervocht) ruimschoots in de vochtvraag kan blijven voorzien tot (in de betreffende bodem) de maximale bewortelingsdiepte is bereikt. Het cumulatieve vochttekort groeit niet sneller dan het extra hangwatervochtaanbod dat beschikbaar komt door de wortelgroei.

Dit betekent tevens dat een vertraagde wortelontwikkeling (door te laat zaaien of poten) op zich niet tot droogteschade leidt. De maximale bewortelingsdiepte wordt bij alle 22 door *Schuurman en Schäffner, 1974* onderzochte 1-larige teelten bereikt tegen het oogsttijdstip en de toename van de worteldiepte verloopt min of meer lineair in de tijd. Maar ook als de worteldiepte aan het begin van de eerste droogteperiode ondieper is, kan ook dan door de worteldieptegroei (en daarmee het extra vocht) in de cumulatieve verdampingsvraag worden voorzien.

Hoeveelheid vocht

Bij uitdrogingstoestanden natter dan $h = -50$ is voor landbouwgewassen het vocht niet meer opneembaar (zuurstoftekort in de wortel). 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.

Het vochtgehalte in het bodemprofiel tussen een uitdrogingstoestand van $h = -50$ cm en $h = -500$ cm vormt dan ook de berekeningsgrondslag voor de hoeveelheid beschikbaar hangwatervocht.

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.

Dieper in de wortelzone is de uitdrogingstoestand natter maar de mate waarin is niet relevant. Door O₂ tekort is de wortel niet in staat door te groeien in bodemlagen natter dan $h = -50$ cm: de beworteling wacht in de drogere laag daarboven tot de onderliggende grond (hetzij door vochtonttrekking door de wortels daarboven, hetzij door wegzijging van de gws) tot de onderliggende bodemlaag tot $h = -50$ cm is opgedroogd.

We kunnen daarom voor de gehele bewortelingsdiepte uitgaan van een hoeveelheid opneembaar vocht gelijk aan het verschil tussen $h = -50$ cm en $h = -500$ cm in de bewortelbare bodem.

De hoeveelheid vocht tussen deze 2 uitdrogingstoestanden 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 af van de dikte van de wortelzone en de vocht karakteristieken van de bodemlagen in de wortelzone.

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. Uitsluitend geeft de indringingsweerstand (1 cm^2 conusoppervlak; meten bij $h = -100$ cm). Indien de I_w hoger is dan 2,5 MPa is er nagenoeg geen beworteling mogelijk. Ook wordt de beworteling sterk geremd door een plotselinge stijging van I_w : 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 3,5; en evenmin binnen 10 à 25 cm boven de grondwaterspiegel (veen+grof zand: 10 cm; dekzand + kleiig zand: 15 cm; zavel+klei: 20 cm; sterk lemig+zand loss: 25 cm).

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.

Ons voorbeeld: pootaardappelteelt op

0-30 cm: humeus (4 %) zwaklemig (14 %) dekzand, pH 5,1, I_w 1,8 Mpa,

30-50 cm: sterk lemig (25 %) zand, pH 4,8, I_w 2,2 Mpa

50-80 cm: leemarm (8 %) zand, pH 4,7, I_w 2,4 Mpa

80-150 cm: veen, pH 2,8, I_w 0,7 Mpa

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

Hydrologisch is in deze bodem de totale worteldiepte beperkt tot 10 cm (veen) boven de GLG; dus tot $150-10 = 145$ cm. 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). In deze bodem bedraagt de totale worteldiepte voor pootaardappelen derhalve 60 cm (en de -voor de capillaire nalevering relevante- effectieve diepte: 40 cm).

Tabel 7 Fysiologische gewaseigenschappen

	worteldiepte (m)		Verdampingsfactor t.o.v gras (referentieverdamping of E-Makkink)
	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
Fabriksaardappelen	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	0,7	0,3	1,2
Beweid/gemaaid gras	0,45	0,15	1
Plantsoenen	0,5	0,2	1
Gazons	0,5	0,07	1
kampeeterreinen, speel- en ligweiden	0,5	0,1	1
Sportvelden	0,4	0,05	1

bronnen: Van Dam 1973, Houben 1974, Goedewagen 1955, Schuurman en Knot 1970, Schuurman en Schäffer 1974, De Buffer 1982-2

De gemiddelde volumefractie hangwatervocht in de wortelzone kan worden bepaald met tabel 8. Deze tabel geeft gemiddelde waarden weer die zijn afgeleid uit een groot aantal vocht karakteristieken:

Tabel 8. Volumefrakties productief vocht (verschil tussen $h = -50$ en $h = -500$ cm)

	humeus (5% os)	niet humeus(0-1% os)
zand: 0-10 % leem	0,19	0,15
10-20 % leem	0,18	0,14
20-50 % leem	0,16	0,13
löss:	0,11	0,09
zavel: 8-14 % lutum	0,13	0,12
14-17 % lutum	0,12	0,13
17-25 % lutum	0,10	0,11
klei: 25-35 % lutum	0,08	0,09
> 35 % lutum	0,065	0,075
veen:	0,22	

bronnen: Bloemen, 1975, Krabbenborg, 1982, Wosten et al, 1987, 1994, 2001, 2013

Voor ons pootaardappelvoorbeeld bedraagt de gemiddelde hoeveelheid hangwatervocht:

In de bouwvoor: vol.fr.vocht: 0,18 (humeus)
 In de 20 cm sterk lemig zand: vol.fr.vocht: 0,13 (niet humeus)
 In het 10 cm doorwortelbare deel
 van het leemarme zand: vol.fr.vocht 0,15 (niet humeus)

De gevonden volumefractie productief vocht, vermenigvuldigd met de wortellaagdikte (in mm) geeft de hoeveelheid productief vocht (hangwatervocht) in de wortelzone ; $300 \times 0,18 + 200 \times 0,13 + 100 \times 0,15 = 51 + 26 + 15 = 95$ mm.

De veeljarig gemiddelde vochtbehoefte in de cumulatieve droogteperioden bedraagt 1,46 mm/dag (Huinink, 2016). De hoeveelheid hangwatervocht delen door 1,46 resulteert in het aantal dagen na 27 april waarop veeljarig gemiddeld het hangwater verbruikt is.

In bovenstaand voorbeeld is dat $95/1,46 = 65$ dagen na 27 april (dag 117) = dagnr 182.

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 1,46 mm/dag wordt
- 2 wanneer deze grondwaterstand wordt bereikt.

Ad 1 Z-afstanden voor 1,46 mm/dag.

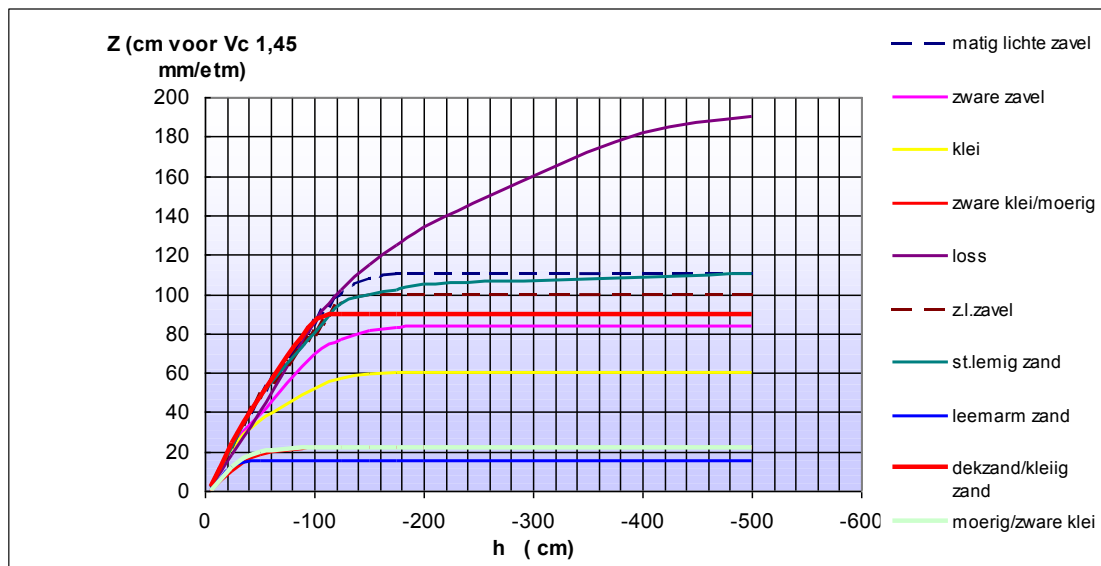
Tabel 9 (gevisualiseerd in figuur 5) geef de z-h relatie voor een twaalftal hoofd-bodemtypen. Bij de meeste gewassen begint de droogteschade (en neemt deze snel toe) zodra de uitdrogingstoestand kleiner (negatiever) wordt dan $h = -500$ cm.

Tabel 9. Z-afstanden (stijghoogten) voor 1,46 mm/dag

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
zwarte 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

Uit tabel 9 en figuur 5 blijkt dat in homogene bodems de grondwaterstand tot onderstaande diepte onder de effectieve worteldiepte mag dalen ($h = -500$ cm) voordat de bodemvochtlevering stagneert:

Leemarm, (matig) grof zand:	15 cm	Matig lichte zavel:	110 cm
Kleiig zand, dekzand	90 cm	Zware zavel	84 cm
Sterk lemig zand:	110 cm	Lichte klei:	60 cm
Löss:	190 cm	Veen/zwarte klei:	22 cm
Zeer lichte zavel:	100 cm		

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

Bij een heterogene bodemopbouw moeten lijnstukken uit de z-h relaties van de afzonderlijke bodemtypes worden “gestapeld”.

Effectieve worteldiepte

Wordt voor de berekening van de hoeveelheid hangwatervocht de maximale bewortelingsdiepte berekend; voor de capillaire nalevering wordt de effectieve bewortelingsdiepte genomen en de grondwaterstand bepaald waarbij de nalevering minder dan 1,46 mm/dag wordt door de Z-afstand uit tabel 9 op te tellen bij de effectieve bewortelingsdiepte.

In ons voorbeeld is de effectieve bewortelingsdiepte 40 cm. De bodemopbouw tussen 40 cm en de GLG (150 cm) is heterogeen en voor de afleiding van de grondwaterstand waarbij nog 1,46 mm/d capillaire nalevering plaatsvindt moeten de lijnstukken uit de z-h relaties van de afzonderlijke bodemlagen worden “gestapeld”.

Dieper dan deze 40 cm (effectieve worteldiepte) bedraagt de bodemopbouw:

40-50 cm: sterk lemig zand:

1,46 mm/dag over 10 cm bij een drukhoogte van –500 cm aan de bovenzijde (bijbehorende $z=110$ cm) vergt een drukhoogte van –150 cm aan de onderzijde ($z=110-10=100$ cm; tabel 9, rij 3, 2e kolom en 7e kolom);

50-80 cm: leemarm zand:

Bij een beschikbare drukhoogte van $h = -50$ cm of kleiner, dus ook bij de beschikbare $h = -150$ cm aan de bovenzijde van deze laag is de z-afstand voor 1,46 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 1,46 mm/dag bevindt zich in deze bodem op 15 cm in het leemarme zand: op 65 cm–mv dus.

Met andere woorden 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 deze grondwaterstand veeljarig gemiddeld wordt bereikt kan uit de regimecurve worden bepaald (zie voor een toelichting bijlage 3) en zoals we eerder hebben gezien met de bewerkbaarheids gws met:

Dag $x = 138 + - (BOOGSIN \{ [-gws_{dagx} - (-gws_{15\text{ feb}} + -gws_{15\text{ aug}}) / 2] / [(-gws_{15\text{ feb}} - gws_{15\text{ aug}}) / 2] \} / 0,0172024)$

(Deze rekenregel werkt overigens ook indien de gws in augustus hoger is dan in februari; i.e. bij infiltratie).

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

In ons voorbeeld

$138 + - (BOOGSIN \{ [-65 - (-25 + -150) / 2] / [(-25 - -150) / 2] \} / 0,0172024) = \text{dag } 117$

Dit is veel eerder dan de dag waarop het hangwater is verbruikt (dag 182) en de capillaire nalevering in deze voorbeeldbodem heeft geen betekenis voor de bodemvochtlevering.

De verdampingsvraag voor het referentiegewas (gras) bedraagt gemiddeld 1,46mm/dag en dit kan de voorbeeldbodem (indien het referentiegewas een bewortelingsdiepte zou hebben als pootaardappelen) tot dag 182 leveren. Uitgedrukt in mm bedraagt de bodemvochtlevering: $(\text{dag } 182 - \text{dag } 117) * 1,46 = 95 \text{ mm}$, en dit hadden we ook al berekend in paragraaf 4.1 over hangwatervocht.

4.3 Van bodemvochtlevering naar opbrengstderving

De vertaling van bodemvochtlevering naar opbrengstderving (veeljarig gemiddelde droogteschade) kan plaatsvinden met behulp van de tabellen va blz 85 in bijlage 2. Deze zijn het gemiddelde resultaat nadat voor 30 afzonderlijke jaren (1985-2015), voor elk KNMI hoofdstation, voor elk gewas de droogteschade is berekend per bodemvochtleveringsklasse. Jaarlijks is de begin en einddatum van de periode met het grootste cumulatieve vochtttekort vastgesteld alsook het verdampingstekort vermeerderd met de hoeveelheid (gewasspecifieke) interceptie. Afhankelijk van de bodemvochtlevering en gewas-specifieke verdampingsfactor, is berekend of er vochtttekort optrad, zo ja of en wanneer verwelking optrad, danwel hoe lang er in welke mate groeistagnatie plaatsvond. Het aldus berekende aantal ongestoorde groeidagen in elk jaar is gerelateerd aan het aantal benodigde ongestoorde groeidagen voor een maximale opbrengst.

Voor elk station werden deze 30 droogteschades gemiddeld tot een veeljarig gemiddelde droogteschade. Bijlage 3 geeft de details van de berekeningswijze en bevat de tabellen voor elk KNMI hoofdstation.

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 en 2016 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.

Indien onze voorbeeldgrond met een bodemvochtlevering van 95 mm zich in Zuid Limburg zou bevinden bedraagt de veeljarig gemiddelde droogteschade voor pootaardappelen ca. 24 % (tabel Maastricht, zandgronden). Op Texel bedraagt de droogteschade voor dezelfde grond 43 % (Tabel Den Helder, zandgronden).

4.4 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 berekening bedragen anno 2018 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 (inclusief verlies door suboptimale verdeling) 5 mm begening 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 berekening t.b.v. vorstbestrijding op € 510,- /jaar voor groot fruit en € 460,-/ha/jaar voor overige teelten. Indien berekening ook tegen droogteschade plaats vindt (klein fruit, vroege (poot-) aardappelen, bladgroenten, sierteelten, dahlia's, hyacint en iris) worden de vaste kosten van berekening gedeeld en komen niet volledig voor rekening van vorstbestrijding noch voor droogtebestrijding.

Indien uit tabel 29 wordt afgeleid dat de veeljarig gemiddelde droogteschade groter is dan de kosten voor berekening 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 berekening 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 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 47 % natschade en 24 % droogteschade. De veeljarig gemiddelde opbrengst zonder beregening bedraagt $(100-47) - 24/100 \times (100-47) = 40$ % van de praktisch potentiële opbrengst (overeenkomend met 5263 €/ha: het opbrengstspecifieke saldo bedraagt € 13190,- tabel 29).

Met beregening: (24 % droogteschade wordt met 80% teruggebracht tot ca. 5 %) bedraagt de veeljarig gemiddelde opbrengst: $(100-47) \times (100-5)/100 = 50$ % excl. de kosten voor beregening. Bij een praktisch potentieel saldo (tabel 29) van € 13190,- /ha is het veeljarig gemiddelde bruto saldo bij beregening 50 % hiervan: € 6579,-/ha, dus $(6579-5263=)$ 1350 € meer dan zonder beregening.

De kosten van beregening bedragen € 5,- per % droogteschade $(24 \times 5) + €360,-$ vaste kosten; totaal € 480,- /ha/jaar.

Het netto saldo na beregenen bedraagt derhalve $€6579 - €480 = €6099,-$ hetgeen overeenkomt met : $6099/13190 \times 100 = 46$ % 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 met vaste kosten, zoals 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 opbrengstprijzen 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 10 worden afgeleid en in een kengetal worden vastgelegd:

Tabel 10. 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
bij: per % org.stof	-	0,06	0,09	0,12	0,25	0,35	0,45
af: per eenheid pH _{KCl} <7	-	-	0,15	0,3	0,7	1	1,5

Gebruik van tabel 10 leidt tot een semi-kwantitatieve beoordeling van de verkruijmelbaarheid waarmee in tabel 11 de randvoorwaarden voor de betreffende bodemgeschiktheid kan worden getoetst. 'Onrendabel' in tabel 11 (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 11 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.

Een uitzondering hierbij is bij sierteelten en laanbomen/onderstammen de derving door onvoldoende kluitstabiliteit. De derving is hierbij beperkt tot de kosten voor het aanbrengen van een wortelnet rond elke kluit. Uitgegaan kan worden van 250 uren arbeid hiervoor (laagbetaald; 1/7 van de gemiddelde loonwerkkosten) en € 500,- aan materiaal).

Tabel 11. Randvoorwaarden voor bodemgeschiktheid m.b.t. verkruielbaarheid

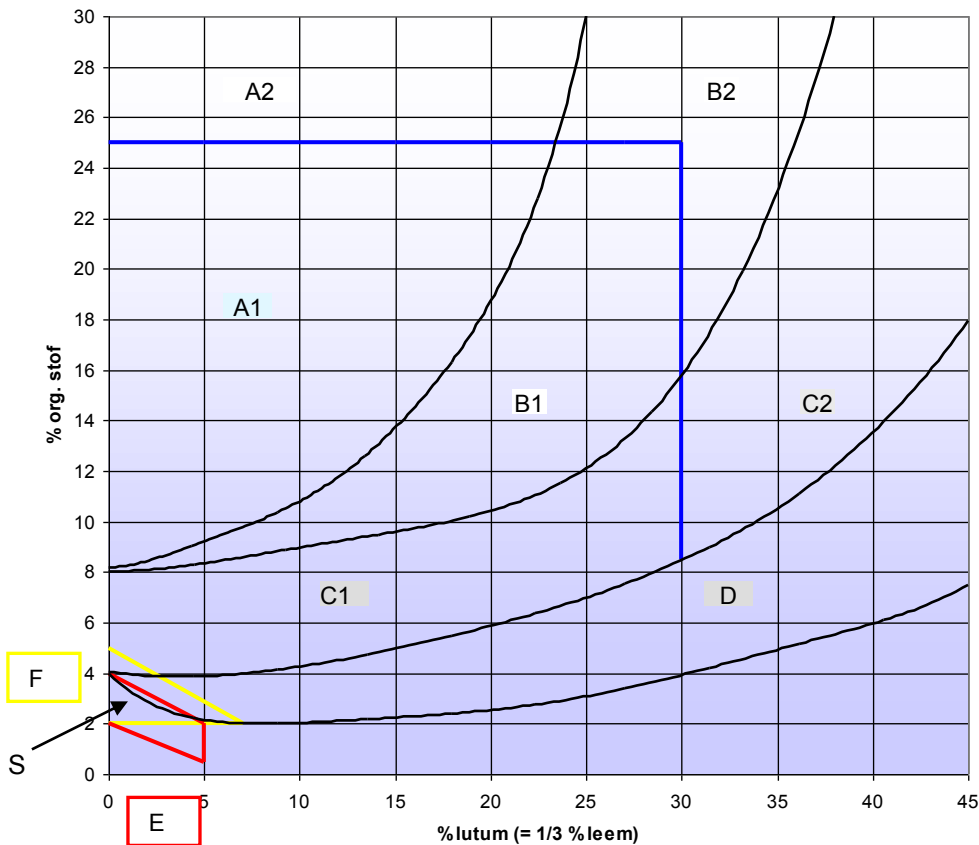
waardering verkruiel- baarheid	teelt	beperking:
minimaal/optimaal/maximaal		
8/ 8,5 /9	asperges	steekbaarheid, trage (begin)groei;kromgroei resp instabiele, stuivende rug
8 /8 8,5 / 9,5	sierteelten	onvoldoende aëratie, resp. kluitstabiliteit
8/ 9 / nvt	bladgroenten, dahlia's, hyacinten	trage, onregelmatige (begin)groei, rooibeschattingen
6,5 / 8/ nvt	in najaar geplante bloembollen	trage, onregelmatige (begin)groei rooibeschattingen
6 / 9 / nvt	pootaardappelen	trage (begin)groei, ongunstige sortering, veel tarra en rooibeschattingen
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	sportvelden	blessurerisico op droge velden
2 / 7,5 /nvt	erwten, bonen	
0 / 7 / nvt	kampeertreinen	sterk vertraagde opkomst en begingroei
3 / 8 / nvt	weiland, graszaad, granen	<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	erwten,bonen, koolsoorten,	vertraagde opkomst en begingroei
4 / 8 / nvt	groot en klein fruit	O ₂ -tekort bij fertigatie en in natte perioden
5 / 6,5 / 8	bos- en haagplantsoen	onvoldoende plant- en rooibaarheid resp.
4 / 6 / 8	laanbomen/onderstammen	kluitstabiliteit
5 / 8 / nvt	naaldbos, sportvelden	loofbos groeit beter, resp blessure risico
0 / 8 / nvt	granen, maïs, loofbos, recr. gras	
0 / 7 / 8,5	kampeertreinen	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 10 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 11 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; V. Wijk, 1975, 1980; vd Knaapen V. Dam, 1988; Vis en Geenen, 1972).

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



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

6 Structuurstabiliteit.

Een direct met de verkruijmelbaarheid samenhangende factor is de structuurstabiliteit. Immers naarmate een bodemstructuur moeilijker te veranderen is (een grond moeilijker is te verkruijmel) is de structuur stabiel. De structuurstabiliteit wordt gewoonlijk alleen beoordeeld op verstuijing en slompgevoeligheid, waarbij deze laatste wordt onderscheiden in interne slomp en oppervlakkige slomp. Omdat oppervlakkige slomp en verstuijing (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 slomp is een bodemeigenschap waarvoor geen maatregelen kunnen worden getroffen en een opbrengstderving daardoor moet worden geaccepteerd.

6.1 Interne slomp

Interne slomp kan optreden onder zeer natte omstandigheden in onnatuurlijk losse (bewerkte) gronden. De bodembestanden, 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 12 geeft een kwalitatieve beoordeling van de gevoeligheid voor interne slomp:

Tabel 12. Waardering van structuurstabiliteit in verband met interne slomp.
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 slomp alleen in slecht ontwaterde, humusarme, lichte zavelbovengronden voor en gaat dan meestal gepaard met oppervlakkige slomp, 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 slomp uit de waardering hiervoor worden afgeleid uit tabel 13:

Tabel 13. Veeljarig gemiddelde opbrengstderving voor slomp

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 x 0,13 (interpoleren tussen 0 en 0,2) en een toeslag voor pH van 0 (7-5=2x0=0), resteert in een waardering voor interne slemp van 9,5. De bruto interne-slemschade is derhalve nihil (0,23 % na interpolatie in tabel 13).

6.2 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 verstopen. Aldus ontstaat een dun slempplagje 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 luchtintrede 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 slempgevoelig: regendruppels slaan de grond weliswaar gemakkelijk uit elkaar, doch de grond bevat te weinig fijne delen om de grotere poriën te kunnen verstopen. Humusarme gronden met ca. 10 % lutum of > 50 % leem (löss) zijn daarentegen het meest slempgevoelig.

Uit onderstaande tabel 14 kan de gevoeligheid voor slemp worden afgeleid in afhankelijkheid van de textuur en het organische-stofgehalte en met tabel 15 (die overigens gelijk is aan tabel 13 voor interne slemp –Boekel, 1972) worden vertaald naar de veeljarig gemiddelde opbrengstderving hierdoor,

Tabel 14. 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: per % org.stof</i>	0,4	0,6	0,8	1	0,7	0,4	0,3

Tabel 15 Veeljarig gemiddelde opbrengstderving voor slemp

waardering: veeljarig gemiddelde saldoderving)¹

10	0
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 slempgevoelige 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: $4 \times 0,47 =$ totaal 8,5 (tabel 14) met een veeljarig gemiddelde brutoderving van ca. 1% (tabel 15). Op € 6579,-/ha (kosten voor beregening in dit stadium niet meerekenen) is dit € 66,-; minder derhalve dan de kosten voor slempherstel. Het veeljarig gemiddelde saldo omt daarmee op € 6513,-/ha.

6.3 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 beregening 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..

Stuif wordt 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. Bieten worden in zomergerst gezaaid, dat na opkomst van de bieten wordt doodgespoten (kosten 200,- euro/ha/jaar).

Tabel 16 geeft de veeljarig gemiddeld stuifschade indien geen maatregelen worden toegepast.

:

Tabel 16. Veeljarig gemiddelde opbrengstderving door verstuiwing

	≤1% org. stof en ≤2% lutum en ≤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	€ 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 tabel 14. (interpoleren: $7\% - \{(4-1)/(10-1) \times 7\} = 5\%$. Op basis van het leemgehalte: $7\% - \{(14-6)/(20-6) \times 7\} = 3\%$. De meest beschermende factor (in ons voorbeeld het leemgehalte) is leidend, derhalve een veeljarig gemiddelde stuifschade van 3%.

Bij een praktisch potentieel saldo van € 13500,- /ha zou de bruto stuifschade, indien er geen enkele andere derving optreedt, 3 % hiervan ofwel € 405,- / 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 ½ uur/ha ofwel ca. €35,-/ha. Op een potentieel saldo van €13500,- 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 50 % van het potentiële saldo á €13190 = € 6579,- (50 % opbrengstderving door natschade, droogteschade doch excl. beregeningskosten).

Indien er geen stuifbeheersingsmaatregelen worden getroffen bedraagt de netto stuifschade 2 % hiervan; € 135,- / ha. Deze stuifschade is hoger dan de kosten van de maatregel ertegen: extra aanaarden ad €35,-/ha/jr. Met de kosten voor beregening en aanaarden komt het netto veeljarig gemiddelde saldo in ons voorbeeld op € 6513,- - € 480,- - € 35,- = € 5998,- /ha.

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.

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 bodemgeschiktheids-beoordeling.

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 15. 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
Opbrengstderving					
Zonder maatregel	0	12	18	24	30
Bij gws tot 15 mei < 50 cm/mv) ⁰	0	0	0	0	0
Bij strodek of folie) 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 variabele kosten voor vorstbestrijding dmv beregening: fruit: €150,-/ha/jr.; overige €100,-/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. berekening 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 berekening, van 0-30 % op een niet resp. sterk vorstgevoelig perceel; en met berekening 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 eerste 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 € 13190,-);

	Bruto derving %	resterende € / ha	netto opbrengst in % van pot. saldo	netto derving totaal	deze factor
nat-schade	47	6925	53	47	47
droogte bij berekening	5	6579	50	50	3
verkruimelbaarheid	-	6579	50	50	-
interne slemp	0,23	6567	50	50	0,1
oppervlakkige slemp	1	6501	49	51	0,5
vorstschade met berekening	0	6501	48	51	0
verstuiving	€ 35,-	6466	48	52	0,3
 beregeningskosten variabel	€ 360,-	6106	44	55	2,7
droogte	€ 120,-	5986	44	55	1
vorstbestrijding	€100,-	5886	44	56	1

Zonder berekening worden de beregeningskosten bespaard en zou de droogteschade 24 % bedragen en de vorstschade 12%. De netto opbrengst komt dan uit op 4539 € /ha/jr.

Zonder vorstbestrijding bedraagt de netto opbrengst 5206 €: dat is 680 € /ha/jr minder en alleen de vorstschade maakt berekening al rendabel.

De netto derving (opp. slemp, verstuiving, vorstschade) die door een strodek of folie zou kunnen worden voorkomen is ca. € 790,- /ha/jaar. Een stro- of folie-dek is in de pootaardappelteelt praktisch niet uitvoerbaar en 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, beweid, 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 (voormalige) geringe drooglegging dan met een geringe doorlatendheid.

Groenteteelten, kampeerterreinen en sportvelden

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

Tabel 18. 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
Kampeeterreinen	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, spitzfreen 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 Maasgrinden 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 µm, leiden tot dit verschijnsel.

Indien de textuursprong zich op de onderkant van de bouwvoor voordoet (ploegdiepte, in de meeste gronden ca. 30 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, ter 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 kampeerterreinen) 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:

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

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; indien de bewortelingsdiepte zich buiten deze schadediepten bevindt kan worden geëxtrapoleerd.

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

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 bodembepaling (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 afrijden 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 nemen ook directe opbrengstverliezen toe 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, een perceelslengte van ca. 300 m en een perceelsoppervlak van 5 ha of groter. Bij grotere percelen wordt de L/B verhouding niet meer relevant; de verhouding 3:1 zou het optimale perceelsoppervlak tot 3 ha beperken.

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:

$$(\text{aantal rechthoeken} \times \text{oppervlak rechthoek} \times \% \text{ arbeidsbehoefte}) + (\text{opp. taartpunt} \times \% \text{ arbeidsbehoefte}) / \text{perceelsoppervlak}.$$

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

Grasland							
oppervlak (ha)	0,01	0,1	0,5	1	2	3	9
L/B 1:1	450	390	274	214	155	135	100
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	100
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 10 uur, voor akker- en tuinbouw ca. 16,5 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 ook tot grotere wend- en kopakkers, met name bij een suboptimale perceelsvorm.

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

Voor grasland:

% extra arbeidsaanspraak/100 * 10 uur * € 70

en voor akkerbouw:

% extra arbeidsaanspraak/100 * 16,5 uur * € 70,-

Voor ons voorbeeld betekent dit $42/100 \times 16,5 =$ bijna 7 uur extra mechanisatiewerk à € 70 / uur = ruim € 476,- / 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 m² landverlies. Volgens het ICW (Tanis, 1984, Pronk, 1984) bedraagt dit gemiddeld 1m² per meter perceelsrand (beide perceelslengten) en 3 m² per meter

wendakker (beide perceelsbreedten) voor eenjarige teelten en voor meerjarige teelten de helft hiervan. 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 $\times$ perceelslengte $\times 2\text{ m}^2$.

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

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 $620 \times 1 + 200 \times 3 = 12200\text{ m}^2$ 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 kampeerterreinen. Hoewel op kampeerterreinen 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 slompgevoelige 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 slompgevoelige 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 (slompgevoeligheid; 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 & Rosling, 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 loonwerktarief 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 arbeidsmechanisatievraag 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 vlak perceel..

De relatieve arbeidsvraag door de suboptimale perceelsvorm (hoofdstuk 11) bedraagt 142%. Door de helling neemt dit met 2,5 % toe tot 145 %.

De door de helling veroorzaakte extra arbeidsaanspraak bedraagt in €/ha: $145 - 142 = 3$ % van 18 uur = 0,6 uur à €70,- = € 39,-

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

	hellinglengte (m)					
	0	5	25	100	300	600
Waardering						
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) 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: $2\% + (10 - 8,5) / (10 - 3) * (12 - 2) = 4\%$

Gemiddeld over het perceel is dit hellingsoppervlak / 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 :
 $10\% \text{ van } 18 \text{ uur maal de helft van } € 70,- = 1,8 * 35 = € 63,- \text{ bedragen.}$

15 pH (zuurgraad bouwvoor)

Naast de invloed van de pH op slempgevoeligheid en verkrumelbaarheid 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 verkrumelbaarheids-effecten. Met name de aardappelteelt reageert fysiologisch omgekeerd aan de structuureffecten van de pH op de opbrengst.

Wanneer deze netto pH-effecten worden geschoond van de structuureffecten 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,groenten,fruit	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 verkrumelbaarheid 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}								
	4,0	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	≤3/8/≥22
Bieten	50/40/32	32/26/21	21/18/16	16/13/11	11/9/8	8/5/4,5	4/2,2/1,5	1/0/0	0/0/0
Tarwe	26/17/10	10/5/2,5	2,5/1/0	0/0/0,5	0,5/1,5/2,5	2,5/4/5,5	5/7/9	8/11/14	12/16/22
Aardappelen	8,5/4,5/2	2/ 0,5/ 0	0/ 0/0,5	0,5/1,5/2,5	2,5/4/6	6/8/16	11/14/28	18/24/42	27/36/62
Maïs	25/14/8	8/ 4/ 2	2/0,5/0	0/0/1	1/3,5/7	7/12/18	16/24/33	28/38/52	42/55/74
Gras	25/14/8	8/ 4/ 2	2/0,5/ 0	0	0	0	0	0	2

Bronnen: Bakker, 1970, Boskma 1967, Boekel 1985, NMI 2000

Voor ons pootaardappelvoorbeeld (pH bouwvoor = 5,1 en 4 % organische stof) vinden door kruislings interpoleren een derving door suboptimale pH van 2,75 %

Beoordeel de pH effecten overigens niet per gewas maar (saldogewogen) voor het teeltplan!

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 beregend 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	gras-land	mens	herkauwers	varkens	pluim-vee	nabij kust	overig Nederl.
Troebling	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
EC ₂₅	mS/cm	1,0	1,5	1,5	1,7	2,7	2,7		8	7	4		0,2
Zuurgraad	pH	6,5 tot 8						6,5 - 9	4 - 9) ³	4 - 9) ³	4 - 9) ³		4,3
Cl ⁻	mg/l	50) ⁷						200	2000	2000	2000	14,9	3,5
HCO ₃ ⁻	mg/l	250	200	300	300	600	600	500					4
NO ₂ ⁻	mg/l		250	180	250				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					
Be	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	5	5	5		
Br	mg/l	1,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0		0,1	0,1	0,1		
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		
Li	mg/l	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					0,4	0,24
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												
W	mg/l								0,1	0,1	0,1		
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					
	mg/l							1					
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 verstoppem 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 naaldbout (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 voornamelijk 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 (Waenink en V. Lynden, 1984, V. Lynden, 1966, Haans, 1979)..

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 voedings-

toestand. 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 door een te kort groeiseizoen = A %

A - (A * % schade door onvoldoende verkruielbaarheid (*indien deze schade bestaat uit onvoldoende kluitstabiliteit bij boom/sierteelten – alleen indien deze schade lager is dan de kosten voor wortelnet: zoniet: verkruielbaarheidschade op 0% stellen en let op bij R hieronder-*) / 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 beschaduwning / 100) = I %

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

J - (J * % droogteschade / 100) = K % (*berekening rendabel? Dan restschade bij berekening invullen*)

K - (K * % schade door opp. 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 *uit tabel 29* – 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 wortelnet boom/-sietreelten) / praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo} x 100 = S %

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

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

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

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

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, slemp, vorst en droogte) daarentegen zijn absoluut. Deze kosten (N t/m V) 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, slemp, stuif en nachtvorst; voor grasland de extra herinzaaikosten en bij boom-/sierteelten de evt. kosten voor wortelnet. 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 slemp, stuifschade en vorstschade maken de berekening complexer omdat een strodek of folie tegen vorstschade, tevens oppervlakkige slemp 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 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 fysieke opbrengst (kg gewasopbrengst / ha) maar evenals bij O t/m U van de resulterende financiële opbrengst (opbrengstspecifieke saldo -€ / ha-). Indien de kosten van een beschermingsmaatregel tegen slemp, 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 pootaardappelvoorbeeld in par. 18.2.

18.2 Teeltsaldo of financiële opbrengst?

In voorgaande versies van deze nota en gewoonlijk 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 bruto 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 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.

De financiële effecten van veranderingen in ontwatering (peilbeheer, buisdrainage) van bekalking (pH-wijziging) en van profielingrepen (veranderingen van bodemsamenstelling, structuur en bewortelingsdiepte door (diep)mengen of woelen) kunnen met het OpbrengstSpecifieke Saldo worden gekwantificeerd.

Maar **niet** het arbeidsinkomen of winst uit onderneming, en daarmee evenmin de financiële veranderingen bij overgang naar een ander bedrijfstype. Voor een dergelijke vergelijking moeten ook alle vaste toegerekende kosten, de afschrijvingskosten van machines, werktuigen en gebouwen, en ook de arbeidskosten worden betrokken.

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

Tabel 29. Opbrengst specifieke 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 %	€ 33 000,-
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 (brouwwrdig)	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,-

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

	praktisch potentiële opbrengst/ha	potentieel financ. opbr.	opbrengstafhankelijke toegerekende kosten	opbrengst specifieke saldo
snijmaïs (bezorgd)	22 t ds/ 20,8 t kVEM	€ 3833,-	16 %	€ 3 220,-
eigen veevoer	idem	€ 3833,-	nihil	€ 3 833,-
cons. aardappelen	65t.	€ 7800,-	7 %	€ 7 254,-
pootaardappelen	45t.	€ 13500,-	2,3 %	€ 13 190,-
fabrieksaardappelen	75t.	€ 5250,-	7 %	€ 4 883,-
suikerbieten	130t.	€ 5850,-	13%	€ 5 090,-
uien	27 t.	€ 4590,-	nihil	€ 4 590,-
Groenteteelten:				
Doperwten	8 t erwten/ 4 t stro	€ 3 240,-	2 %	€ 3 175,-
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 %	€ 17 580,-
boerenkool	22t.	€ 3 960,-	nihil	€ 3 960,-
bloemkool	26 000 st	€15 600,-	27%	€ 11 390,-
bospeen	45000 st.	€ 21 150,-	21%	€ 16 710,-
courgette	215000 st	€ 53 750,-	5%	€ 51 060,-
ijsla	65000 st.	€ 11 700,-	41 %	€ 6 900,-
prei	45t.	€ 19 800,-	31 %	€ 13660,-
melkveehouderij:				
grasland bruto	21) ¹) ³			
netto beweid	15,7 t. ds	€3302,-) ^{1c}	8% (N-bem.)	€ 3038,-
gemaaid:	17,2 t. ds	€3618,-) ^{1c}	7% (N-bem.)	€ 3365,-
gemiddeld:				
(1/3 maaïen, 2/3 weiden)	16,2 t. ds	€3408,-) ^{1c}	7,5% (N-bem.)	€ 3152,-
luzerne (3-jr): gem.	13,5 t. ds	€1983,-	nihil	€ 1983,-
voederbieten:	16 t. ds	€3717,-	nihil	€ 3717,-
snijmaïs eigen voer	22 t ds	€3833,-	nihil	€ 3833,-
verkoop	22 t ds	€3833,-	16%	€ 3220,-

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

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

en minus

b: oogstverlies; = 7 % voor snijmaïs, 10% voor voederbieten, ruim 13 % gewogen gemiddeld voor beweide (17%) en gemaaid (9%) 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 = 0,89 ton kVEM en 90kg DVE voor gras; 0,7 ton kVEM en 47 kg DVE voor luzerne; 0,98 ton kVEM en voor voederbieten; 0,95 kVEM en 47 kg DVE voor snijmaïs. 1 ton kVEM = 160 €; 1 kg DVE = 0,755 €

)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 verkrumelbaarheid) 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 verkrumelbaarheid en dient hiervoor zo nodig bij de uiteindelijke vertaling van bodemgeschiktheid naar saldo te worden gecorrigeerd.

)3 Voor grasland is uitgegaan van een bedrijf dat 100% zelfvoorzienend is in de ruwvoerbehoefte; indien >100% zal men overgaan op extra snijmaïsteelt en dit verkopen. Sturend voor het grassaldo is in de praktijk de kVEM kosten bij snijmaïs aankoop: 15,2 ct/kg thuis bezorgd. 1 % grasopbrengststijging op niet zelfvoorzienende bedrijven (162 kg =14,4 kVEM) correspondeert derhalve met met € 21,9,-/ha

In ons pootaardappelvoorbeeld doen zich de volgende opbrengstdervingen voor:

Lengte groeiseizoen: 47 %, verkruielbaarheid: 0%; interne slemp, verminderde huidkwaliteit en windvastheid; 0%, textuursprong 4,6 %, extra arbeidskosten door perceelsvorm € 437,-; perceelrandverliezen 4%; extra mechanisatiekosten helling €39, -; hellingerosie 0,7 %; beschaduwing en stenen: 0 %; oppervlakkige slemp 1%; vorstschade 3 %; pH schade 2,75%; stuifschade €35,-; droogteschade (beregend) 5 % en kosten voor beregening (incl vorstbestrijding € 496,-/ha.

Het praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo (tabel 29) bedraagt € 13190,-/ha. Het veeljarig gemiddelde opbrengstspecifieke saldo (OSS) op dit perceel voor pootaardappelteelt volgt uit onderstaande tabel:

<i>Factor</i>	<i>derving bruto</i>	<i>Opbrengstspecifieke saldo €/ha</i>
Lengte groeiseizoen	47 %	13190 – 13190 x 47,5/100 = 6925,-
Verkruielbaarheid	0 %	
Interne slemp	0%	
Textuursprong	4,6%	6925 - 6925 x 4,6/100 = 6606,-
Huidkwaliteit	0%	
Windvastheid	0%	
Perceelrandverliezen	4 %	6606 - 6606,-x 4/100 = 6335,-
Hellingerosie	1 %	6335 - 6335 x 1/100 = 6291,-
Beschaduwing	0%	
pH schade	2,75%	6291- 6291 x 2,75/100 = 6118,-
Droogteschade	5 %	6118 – 6118 x 5 /100 = 5812,-,
Oppervlakkige slemp	1%	5812 – 5812 x 1/100 = 5771,-
Vorstschade	0%	
Stuifschade	0 %	(wel maatregelkosten)
Stenigheid bouwvoor	0%	
Extra arbeidskosten		
a.g.v. perceelsvorm	€ 437,-	5771 - 437 = 5334,-
Extra mechanisatiekosten		
a.g.v. helling	€ 39,-	5334 – 39 = 5295,-
Beregeningskosten	€580,-	5295 – 580 = 4715,-
Kosten slempbestrijding	0	
Kosten stuifbestrijding	€ 35	4715 - 35,- = 4680,-
Kosten folie/strodek	0	

Controle of de maatregelkosten ook uiteindelijk rendabel zijn:

Niet beregenen bespaart € 580,- aan kosten en de droogteschade neemt toe met 24-5 = 19 % en de vorstschade met 12%

Het opbrengstspecifieke saldo daalt dan tot 3552 €/ja/jr. Beregenen is derhalve rendabel (met een rendement van veeljarig gemiddeld € 1128,- /ha/jaar).

Achterwege laten van stuifbestrijding bespaart € 35,- in ruil voor stuifschade ter grootte van 3 %, waarmee de financiële opbrengst uitkomt op: €4542.- Ook dit is aanzienlijk lager dan € 4680,- en de kosten voor stuifbestrijding blijken ook bij het netto eindresultaat rendabel te zijn.

Het veeljarige gemiddelde opbrengstspecifieke saldo in ons voorbeeld bedraagt derhalve € 4680,- voor pootaardappelteelt; i.e. 36 % van het veeljarig gemiddelde praktisch potentiële opbrengstspecifieke saldo. De veeljarig gemiddelde netto-opbrengstderving bedraagt derhalve 65 %.

Deze forse opbrengstderving wordt vooral veroorzaakt door de hoge voorjaarsgrondwaterstand. Slooppeilverlaging, al dan niet met buisdrainage, waardoor de GHG wordt verlaagd tot 70 cm cm-mv leidt tot een stijging van het opbrengstspecifieke saldo tot € 9340,- (netto derving 29 %).

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 worden bereikt. In de praktijk worden de potentiële maximale opbrengsten uiterst zelden behaald: een niet-slempgevoelige grond is stuifgevoelig (leemarm zand) of moeilijk verkruimelbaar (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 22 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 (profielengrepen, 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, oktober 2018

Literatuur

- Aandekerck, 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
- Bakker, Y., 1970. Cursus Bemestingsleer, dl III, Rijkslandbouwkundig Consulentenschap voor Bodem- en Bemestingsvraagstukken, Wageningen.
- 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. Consulentenschap 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 veengrasland. 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. Zaaaidatum 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
- Consulentenschap Tuinbouw, 1979, j. Grootte en vorm van percelen. In: Zandgrond als produktiemiddel. Lisse, jan. 1979.
- Cult. tech. Vad. 2000. 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; 1973. 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. Zaaitijden 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 een 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 1971 *Consulentschap 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
- Hellings, A.J., 1980. Berekeningseffecten van enkele akkerbouwgewassen. *Bedrijfsontwikkeling* 11(11); p.1063-1068. Ook in *Verspreide Overdrukken* 257, *ICW*, Wageningen.
- Hellings, A.J., M. de Graaf, D.A. van der Schans, 1982. De relatie tussen wateraanvoer, verdamping en productie van het gewas aardappelen. *Verslag van een veldproef op het proefterrein Sinderhoeve* in 1981. nota *ICW*, Wageningen.
- HELP'78: Werkgroep Herziening Evaluatie Landinrichtingsplannen, 1978. *Methode voor de evaluatie van landinrichtingsplannen*. Cultuurtechnische Dienst, Utrecht 1978.
- HELP'87: Werkgroep HELP-Tabel, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. *Med. Landinrichtingsdienst* 176, Utrecht.
- HELP 2005; V. Bakel, J; J.Huinink, H.Prak, F.van der Bolt J 2005. HELP-2005. Uitbreiding en actualisering Van de Help-tabellen t.b.v het Waternoodinstrumentarium. *STOWA* rapp. 16 2005. ;
- 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)

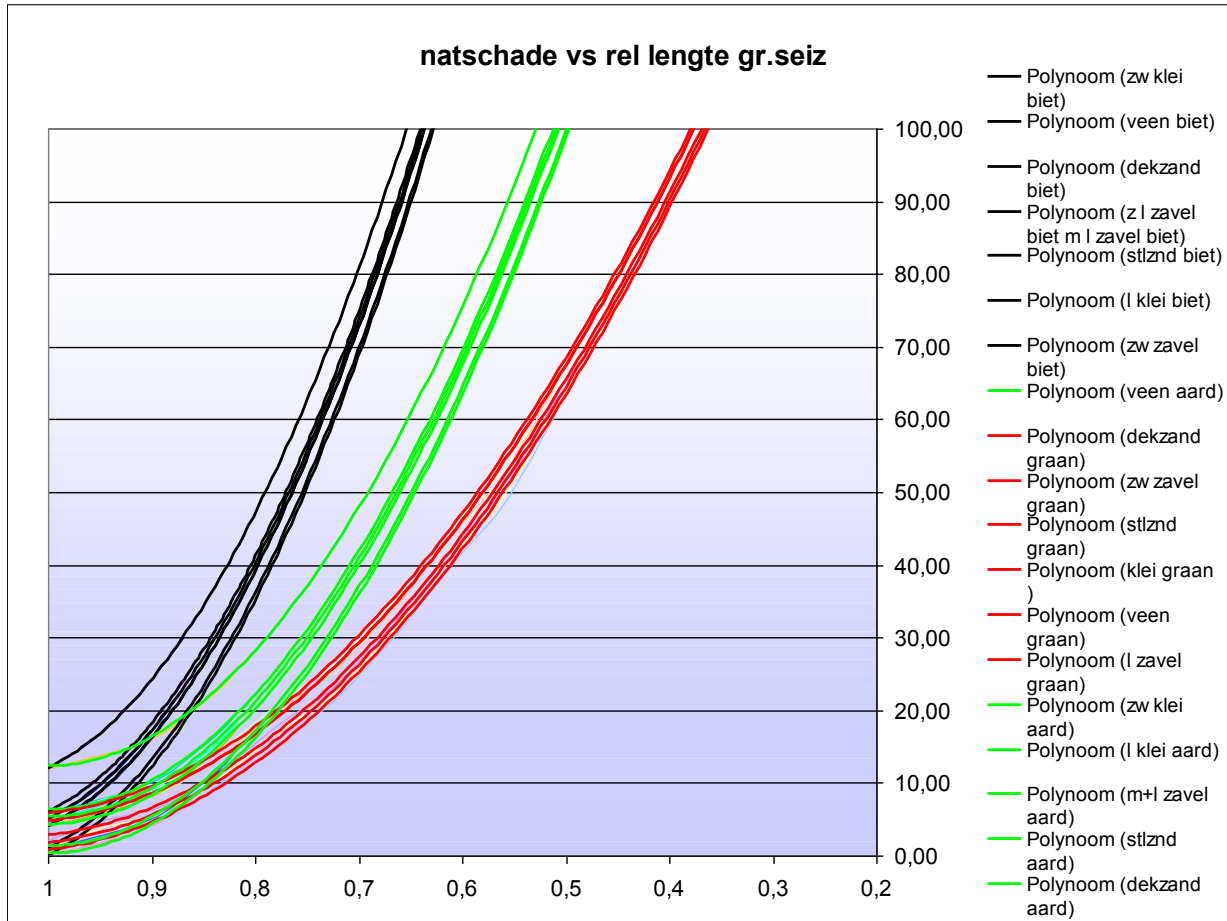
- Houben, J.M.M.Th. 1974. Wortelontwikkeling en bodemgeschiktheid. Bedr. Ontw. 5 (1974) pp141-1979; Bodemgesteldheid en diepte van beworteling. Stiboka, Rapport 1459
- Hoving, I.E. 2006. De HerinzaaiWijzer als hulpmiddel bij afweging van graslandvernieuwing. Praktijkrapport Rundvee 82, ASG Lelystad.
- 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 1965-1994; regionale verschillen binnen Nederland; IKC-Landbouw
 - 2011; Bodemkwaliteit; Grenswaarden voor landbouw, natuur en recreatie. Bodemconsult Arnhem, Rapp. 2011-2, Oosterbeek
 - 2016. Neerslag en verdamping 1986-2015; regionale verschillen binnen Nederland; BodemConsult Arnhem,
- 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
- Krabbenborg, A.J., 1982. Standaard pF-curven van fijnzandige zandgronden. Stiboka, Interne mededeling. Nr 8. Wageningen
- KWIN: Kwantitatieve Informatie: resp. voor de Akkerbouw en Vollegrondsgroente (2015; PPO nr 383); voor de Boomkwekerij (2006; PPO nr 422); voor de Fruitteelt (2009-2010; PPO nr 2009-41), Bloembollen- en bolbloementeelt (2005; PPO nr 719): voor de Rundveehouderij (2017; 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, PAGV, Lelystad.
- 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 Praktijkgids 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. & J. Hettinga 1972. Het effect van polderpeilverlaging in een proefobject in de Alblasserwaard. 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. J.L. Knot. Vergelijking van de wortelontwikkeling van drie grassoorten en zomertarwe. Versl. l.b.k. 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 zaai capaciteit 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 overzaai beslissing 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. Tuinbouw. Rubriek 85.02 LEI, Den Haag
- Staringreeks 2001, J.H.M. Wösten, G.J. Veerman en J. Scholte; Waterretentie- en doorlatendheids-karakteristieken voor boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave, 2001. Alterra rapport 153, 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 1982. 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.
- Wind, G.P. 1960. Opbrengstderving 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.
- Wösten, J.H.M. G.J. Veerman en J. Scholte; 2001. Waterretentie- en doorlatendheids-karakteristieken voor boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave, 2001. Alterra rapport 153, Wageningen
- Wösten, Henk, Folkert de Vries, Tom Hoogland, Harry Massop, Ab Veldhuizen, Henk Vroon, Jan Wesseling, Joost Heijkers en Almer Bolman, 2013; BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland, Alterra-rapport 2387 Wageningen UR
- 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.
- 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
- Zachariasse, L.C., 1974; Boer en bedrijfsresultaat.: analyse van uiteenlopende rentabiliteit van vergelijkbare akkerbouwbedrijven in de Noord-Oostpolder. Diss. LH-Wageningen, 113p.

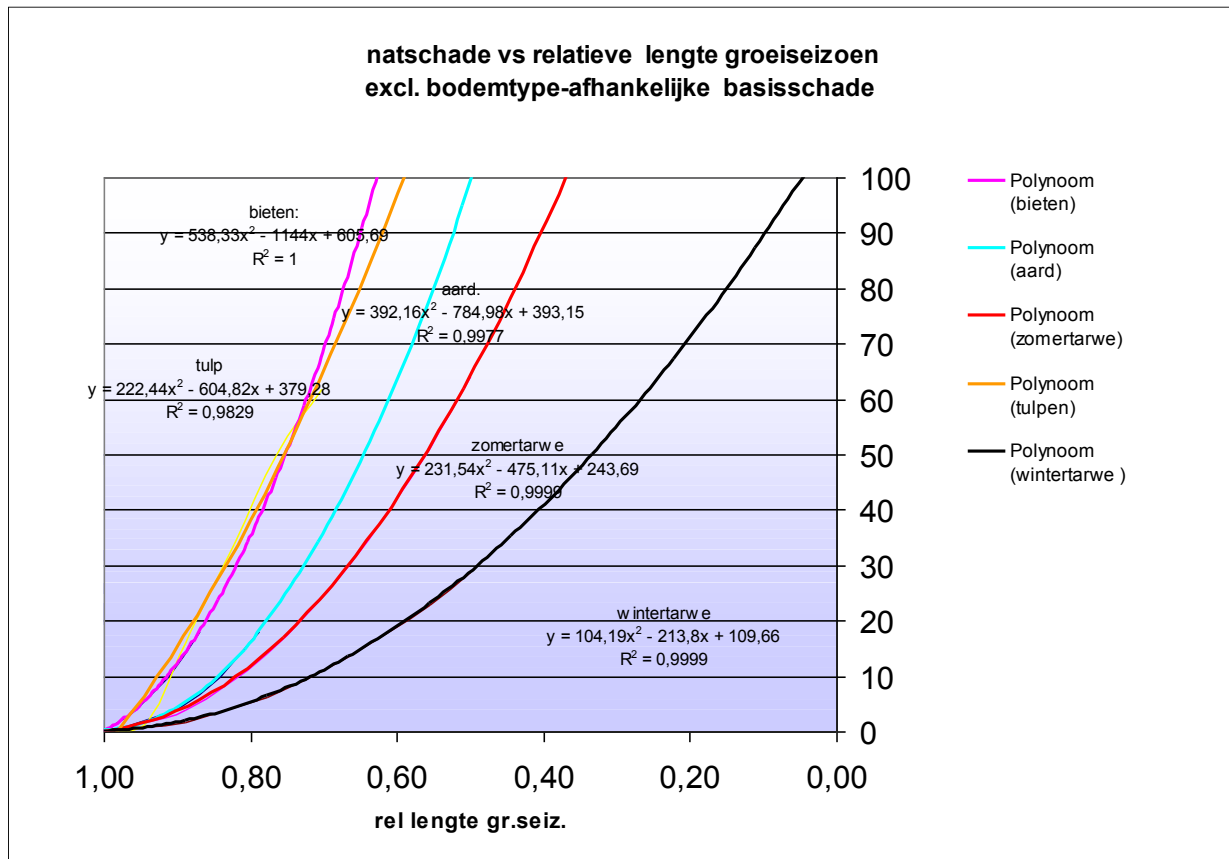
Bijlage 1 Afleiding schade door te late voorjaarsbewerking

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 zaaibed.

Basisschade te late voorjaarsbewerking

Textuur	% extra schade door trage kieming, opkomst, (begin-/door-)ontwikkeling	
	Aardappelen, bieten, granen, maïs,	
Moerig	6	5
Kleig 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
zwarte zavel	4	2
klei	4	4
zwarte klei	12	6

Bijlage 2 Afleiding van de droogteschade

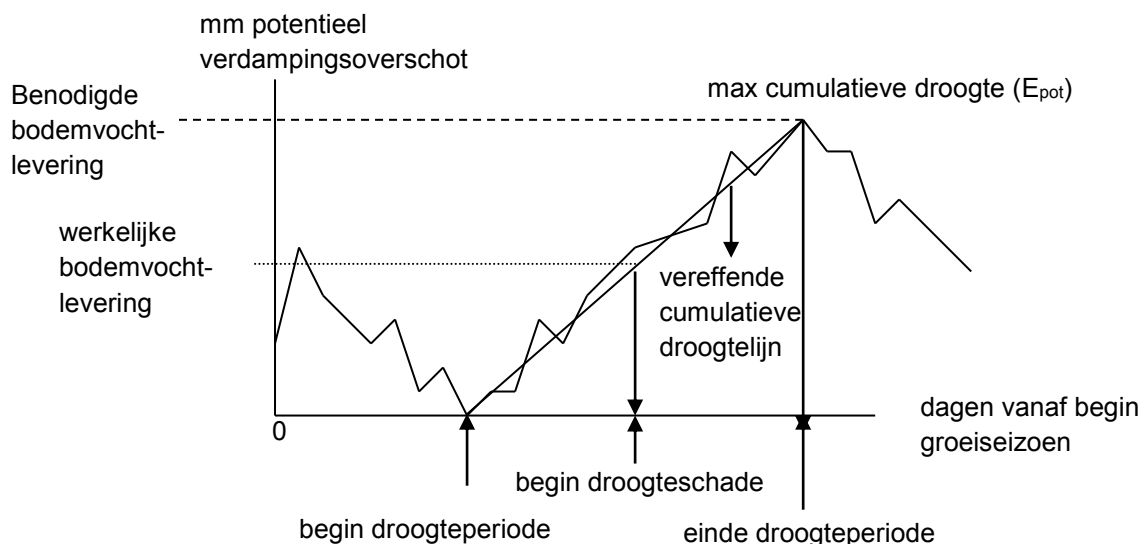
Maximale gewasgroei (maximale droge stofopbrengst) wordt bereikt als op het maximale aantal groeidagen de potentiële verdamping plaatsvindt. Wordt de groei belemmerd door vochttekort, is de opbrengst gelijk aan:

(werkelijk aantal dagen met maximale groei/potentiële aantal groeidagen) * 100%

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

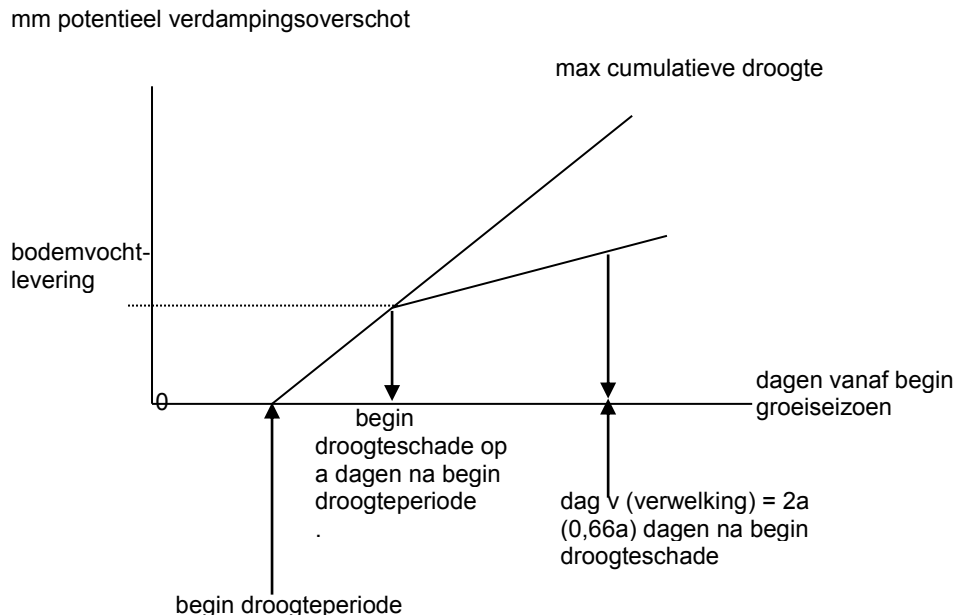
In figuur 2 hieronder is de vereffende lijn uit de vorige figuur die het gemiddelde verloop van het max. cumulatieve neerslagtekort weergeeft, overgenomen. Voor een genuanceerde berekening van de veeljarig gemiddelde droogteschade is als volgt met het moeilijk beschikbare vocht om gegaan. Uitgangspunt hierbij is dat de productie stagneert en de verdamping afneemt zodra het makkelijk beschikbare hangwater ($h \geq -500$) verbruikt is (a dagen; $a = \text{bodemvochtlevering/gem verdamping per dag}$) en vervolgens een ventuele capillaire nalevering minder dan 1,46 mm-dag wordt. Zodra vervolgens ook het moeilijk beschikbare hangwater 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) bodemhangwater,

Deze hoeveelheid moeilijk beschikbaar hangwatervocht 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 hangwater (tussen $h = -50$ en -500 cm). Voor de overige grondsoorten is de hoeveelheid moeilijk beschikbaar vocht ongeveer even groot als de hoeveelheid makkelijk beschikbaar hangwater.

Omdat de verdamping in de droogtestressperiode lineair afneemt (de plant 2 keer zolang doet met het moeilijk beschikbare vocht als met het productieve bodemvocht) is de maximale droogtestressperiode voor niet-zandgronden gelijk aan $2a$ dagen, en voor zandgronden $(2 \cdot 1/3 a) = 0,66 a$ dagen bij een gemiddeld gelijk blijvende dagelijkse verdampingsvraag (figuur 2).

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

Figuur 2. Droogteschade bij verwelking (voor leemarm/zwaklemig 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 $0,66 a / 2 = 0,33a$ 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)

Verwelking treedt op indien de duur van de cumulatieve droogteperiode groter is dan

$1,66 \times \text{bodemvochtlevering/gemiddeld dagelijks vochttekort}$ (voor zandgronden) of:

$3 \times \text{bodemvochtlevering/gemiddeld dagelijks gemiddeld vochttekort}$ (overige gronden) en het einde van de droogteperiode eerder is dan de beoogde oogstdag.

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

aantal groeidagen tot aan de begindag maximale cumulatieve droogteperiode

= dag begin droogteschade – dag 0

plus aantal dagen volwaardige bodemvochtlevering

= $\text{bodemvochtlevering} / \text{gemiddeld dagelijks gemiddeld vochttekort}$

plus de groei in de afstervingsperiode:

= $(\text{verwelkingsdag} - \text{dag begin droogteschade}) / 2$.

Uitgedrukt in %:

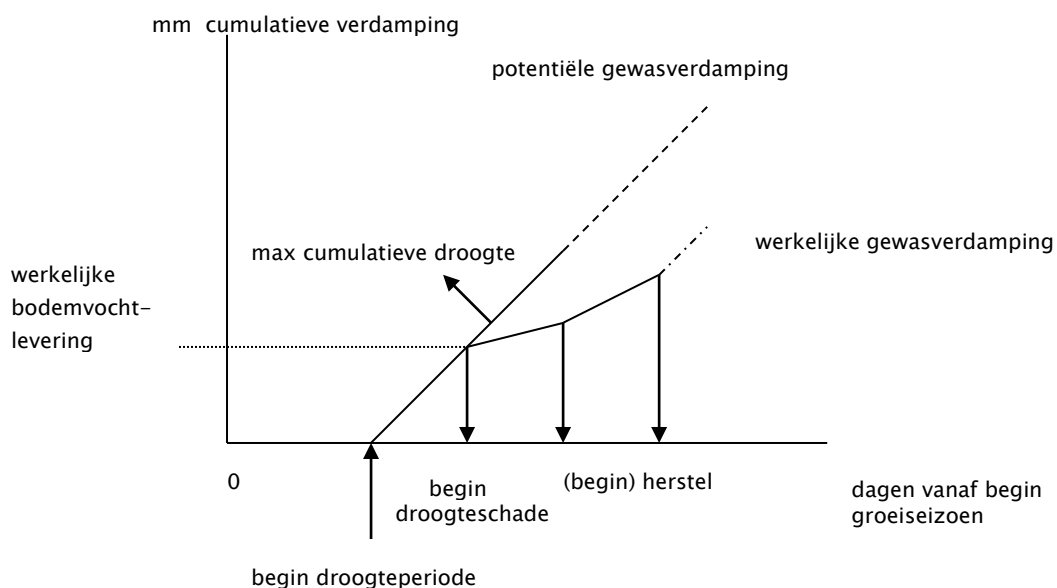
$\text{droogteschade} = \{1 - [(\text{dag nr begin droogteschade} - \text{dag nr begin groeiseizoen}) + (\text{verwelkingsdag} - \text{begindag droogteschade}) / 2] / \text{potentiële lengte groeiseizoen}\} \times 100 \%$.

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 dagelijkse 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:

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

- *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.)
- *lengte herstelperiode*: = relatieve lengte stressperiode maal 5 dagen
 waarin: *relatieve lengte stressperiode* = (einddag droogteperiode – begindag stressperiode) / (verwelkingsdag – begindag stressperiode)
 waarin: *Verwelkingsdag*: = begindag droogteschade + 2 x (mm b.v.lev. / gem. dag. verd.) voor overige gronden, en voor leemarme/zwaklemige zandgronden: *Verwelkingsdag*: = begindag droogteschade + 0,66 x (mm b.v.lev. / gem. dag. verd.)
- *productie (dgn) in stress- + herstelperiode*:
 = $(1 - \text{relatieve stressperiode} / 2) \times (\text{lengte stress- + herstelperiode})$
(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 2014 op een lössgrond in Zuid Limburg, met 75 mm bodemvochtlevering.

Uit: *Neerslag, Verdamping en Neerslagoverschotten-Regionale verschillen binnen Nederland*, (Huinink 2016) vinden we voor het KNMI station Zuid Limburg (Maastricht) in jaar 2014 (80 % droogtejaar) in tabel A op blz. 178 dat het maximale cumulatieve neerslagtekort 79 mm bedraagt, deze grootste aaneengesloten droogteperiode 8 decades lang is en wel 40 dagen voor en na 11 mei (dag 132) Deze 79 mm neerslagtekort moet nog worden verhoogd met interceptiewater (zie paragraaf hierna): voor gras is de hoeveelheid interceptie gemiddeld 0,39 mm per groeidag: voor 80 groeidagen wordt dan het vochttekort $79 + 80 \times 0,39 = 110$ mm overeenkomend met $110/80 = 1,36$ mm/dag.

Treedt er verwelking op?

De bodemvochtlevering houdt het gras maximaal in leven voor $3 \times 75 / 1,36 = 165$ dagen; dus ruim 2 maal zolang als de droogteperiode in dat jaar. Er treedt dus geen verwelking op.

De bodemvochtlevering is voldoende voor $75 / 1,36 = 55$ gewasproductiedagen. De droogteperiode begint op 40 dagen voor 11 mei (dag 92; 1 april. Droogteschade begint op $55 - 40 = 15$ dagen na 11 mei: dag 147.

De droogteperiode eindigt op 40 dagen na 11 mei: dag $132 + 40 = 172$

De lengte van de periode met droogtestress is $172 - 147 = 25$ dagen.

De relatieve lengte van de stressperiode is stressperiode/maximale stressperiode. De maximale stressperiode is verwelkingsdag - eerste droogtestressdag = $(92 + 165 = 257) - 147 = 110$. $25/110 = 0,23$; de relatieve lengte droogtestressperiode.

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

- potentiële lengte groeiseizoen = 255 dagen
- lengte van de stressperiode: 25 dagen
- Lengte herstelperiode: *relatieve lengte stressperiode maal 5 dagen* $0,23 \times 5 =$ ruim 1 dag
- Productie in stress- en herstelperiode $= (1 - \text{relatieve stressperiode}/2) \times (\text{lengte stress-} + \text{herstelperiode}) = (1 - 0,23/2) \times (25 + 1,2) = 23$ dagen

De droogteschade voor gras in 1989 op deze lössgrond in Zuid Limburg bedraagt dan:

$[1 - (255 - 25 - 1 + 23) / 255] \times 100 =$ ruim 1 %.

De tabellen op blz 85 ev zijn de resultaten van deze berekening van de gemiddelden uit elk afzonderlijk jaar tussen 1985 en 2015; voor elk van de 17 KNMI hoofdstations; en voor de gewasspecifieke parameters als verdampingfactor, interceptie en optimale datum voor zaaien/planten en oogst.

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.

Correctie voor 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
december	1	2	1,5	2	0,5	2	0	0
Totaal mm		226,8		170		105,6		67,2
gem. interceptieverlies/dag mei-aug (droogteperiode)		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.

Dauw; geen correctie nodig

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 regensmeters (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.

Correctie voor overschrijding maximale bodemvochtaanvulling.

(Cumulatieve) neerslaghoeveelheden groter dan de maximale hoeveelheid hangwatervocht in de wortelzone gaan voor de wortels verloren; zodra deze bodemvochtvoorraad maximaal is aangevuld.

Aanvullende neerslag wordt naar de ondergrond afgevoerd en deze hoeveelheid is niet (direct) effectief voor de plantverdamping. De vraag doet zich dan ook voor in welke mate neerslag effectief is voor de gewasverdamping.

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, 2016* blijkt dat in de maanden april tot september (droogteschade treedt overwegend in deze periode op) er geen cumulatieve neerslagoverschotten optreden groter dan 50 mm. In bodems waar de hangwatervochtlevering kleiner is wordt de droogte in die periode onderschat. Weliswaar kan een groter neerslagoverschot deels nog wel tijdelijk (voordat het naar de ondergrond verdwijnt) in de wortelzone worden geborgen maar leidt dan tot zuurstoftekort en groeistagnatie.

Voor de tabellen verderop in deze bijlage zijn cumulatieve neerslagoverschotten in het groeiseizoen (herbevochtiging van de wortelzone) dan ook beperkt tot het maximale aantal mm hangwater in de bodem. Daarbij bleek dat de veeljarig gemiddelde droogteschade in bodems met 25 mm bodemvochtlevering voor zandgronden en overige gronden resp. 2 en 1% hoger uitkomen dan zonder deze correctie. Voor hangwatervochtleveringen vanaf 35 mm zijn er veeljarig gemiddeld geen verschillen.

Kortsluiting, en hydrofobie; effecten verwaarloosbaar?

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.

Onderstaande tabellen bevatten de resultaten van de hierboven geschetste berekeningswijze.

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Den Helder	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	78	76	73	69	64	57	47	37	24	13	6	0
	Loofbos interceptie	73	73	71	68	66	60	52	48	36	23	10	0
	Naaldbos interceptie	73	72	69	66	61	52	44	29	13	6	3	0
	erwten/bonen	89	86	79	70	62	47	32	18	10	4	2	0
	groot fruit	72	71	68	62	59	48	32	16	6	3	1	0
	klein fruit	75	74	71	64	61	51	40	22	11	4	2	0
	cons.aardappelen	86	84	80	74	68	58	46	36	24	14	8	0
	pootaardappelen	85	83	78	70	64	51	38	26	16	9	4	0
	fabriksaardappelen	88	86	83	77	72	63	52	42	29	17	9	0
	suikerbieten	80	78	75	68	65	54	43	24	12	4	2	0
	wintertarwe	79	77	72	66	60	49	37	27	17	10	5	0
	zomergerst	78	75	71	64	58	47	34	24	14	8	4	0
	snijmais	95	93	88	81	75	64	50	35	22	13	6	0
	laanbomen/bos/haag	75	74	71	64	61	51	40	22	11	4	2	0
	overig boomteelt	73	71	68	61	58	48	37	20	10	4	2	0
	graszaad	73	70	65	56	51	37	25	14	7	3	1	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	99	99	98	96	91	85	71	53	33	19	9	0
	witlof,selderij,uien	96	95	94	90	82	62	21	6	1	0	0	0
	was-/bospeen	98	98	96	94	92	81	67	53	36	23	14	0
dahlia,gladiolen	bladgroenten	99	98	97	95	94	86	74	63	44	31	18	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	80	78	73	66	61	48	37	26	17	10	5	0
	dahlia,gladiolen	90	89	86	82	80	72	66	55	48	35	25	0

Den Helder	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	76	74	70	61	54	36	18	9	5	3	2	0
	Loofbos interceptie	73	71	69	62	60	47	27	10	6	3	2	0
	Naaldbos interceptie	72	70	64	56	52	28	9	4	2	1	0	0
	erwten/bonen	86	81	70	56	46	28	14	7	3	1	1	0
	groot fruit	71	69	63	53	45	16	6	2	1	0	0	0
	klein fruit	74	71	65	55	50	22	8	4	2	1	0	0
	cons.aardappelen	84	81	75	64	56	38	22	12	8	4	2	0
	pootaardappelen	83	79	71	59	50	32	18	10	6	3	1	0
	fabriksaardappelen	86	83	78	69	60	42	24	12	7	5	3	0
	suikerbieten	78	76	69	59	53	23	9	4	2	1	0	0
	wintertarwe	77	73	67	56	48	31	18	10	6	3	2	0
	zomergerst	75	72	65	53	45	29	16	9	5	3	1	0
	snijmais	93	89	80	70	61	39	21	11	6	4	2	0
	laanbomen/bos/haag	74	71	65	55	50	22	8	4	2	1	0	0
	overig boomteelt	71	69	62	52	47	21	9	4	2	1	1	0
	graszaad	70	66	57	44	37	18	9	4	2	1	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	97	96	91	87	79	53	25	11	5	3	2	0
	witlof,selderij,uien	93	92	89	69	42	10	3	1	0	0	0	0
	was-/bospeen	95	93	89	79	73	56	35	21	14	8	5	0
dahlia,gladiolen	bladgroenten	97	95	92	84	79	64	37	20	13	8	5	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	78	74	67	55	48	33	21	13	7	4	2	0
	dahlia,gladiolen	89	87	83	75	72	58	40	23	13	8	5	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Berkhout	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	78	76	73	69	64	57	47	38	24	12	6	0
	Loofbos interceptie	74	73	71	68	66	60	52	48	36	22	10	0
	Naaldbos interceptie	73	72	69	66	61	52	44	28	13	6	3	0
	erwten/bonen	89	86	80	70	63	48	32	19	10	4	2	0
	groot fruit	73	71	68	62	59	48	32	16	6	3	1	0
	klein fruit	75	74	71	64	62	51	40	22	11	4	2	0
	cons.aardappelen	86	84	80	74	68	58	46	36	24	14	8	0
	pootaardappelen	85	83	78	70	64	51	38	26	16	9	4	0
	fabriksaardappelen	88	86	83	77	72	64	52	43	28	17	9	0
	suikerbieten	80	78	75	69	66	55	43	24	12	4	2	0
	wintertarwe	79	77	72	66	60	50	38	27	17	10	5	0
	zomergerst	78	75	71	64	58	47	34	24	15	8	4	0
	snijmais	95	93	88	81	75	64	50	35	21	12	6	0
	laanbomen/bos/haag	75	74	71	64	62	51	40	22	11	4	2	0
	overig boomteelt	73	71	68	62	58	48	37	20	10	4	2	0
	graszaad	73	70	65	56	51	37	26	14	7	3	1	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	99	99	98	96	91	85	71	54	33	19	9	0
	witlof,selderij,uien	96	95	94	91	82	63	21	6	1	0	0	0
	was-/bospeen	98	98	96	94	92	82	67	54	36	23	14	0
	bladgroenten	99	98	97	96	94	86	74	63	44	31	18	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	80	78	73	66	61	48	37	26	17	10	5	0
	dahlia,gladiolen	90	89	86	82	80	72	66	56	49	36	25	0

Berkhout	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	76	74	70	62	54	36	18	9	5	3	2	0
	Loofbos interceptie	73	71	69	63	60	47	26	9	6	3	2	0
	Naaldbos interceptie	72	70	64	56	52	25	9	4	2	1	0	0
	erwten/bonen	86	81	70	57	47	28	15	8	3	1	1	0
	groot fruit	71	69	63	53	45	16	6	2	1	0	0	0
	klein fruit	74	71	65	55	50	22	8	4	2	1	0	0
	cons.aardappelen	84	81	75	64	56	38	22	12	7	4	2	0
	pootaardappelen	83	79	71	59	50	32	18	10	6	3	1	0
	fabriksaardappelen	86	83	78	69	61	42	24	12	7	4	3	0
	suikerbieten	78	76	69	59	54	23	9	4	2	1	0	0
	wintertarwe	77	73	67	56	48	32	18	10	6	3	2	0
	zomergerst	75	72	65	53	45	29	17	9	5	3	1	0
	snijmais	93	89	80	70	61	38	21	11	6	3	2	0
	laanbomen/bos/haag	74	71	65	55	50	22	8	4	2	1	0	0
	overig boomteelt	71	69	62	52	47	21	9	4	2	1	1	0
	graszaad	70	66	57	44	37	18	9	4	2	1	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	98	96	91	87	79	52	25	11	5	3	2	0
	witlof,selderij,uien	93	92	89	69	40	10	3	1	0	0	0	0
	was-/bospeen	95	93	89	79	73	56	35	21	14	8	5	0
	bladgroenten	97	95	92	84	79	64	37	20	12	8	5	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	78	74	67	55	48	33	21	13	7	4	2	0
	dahlia,gladiolen	89	87	83	75	72	59	39	23	13	8	5	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Naaldwijk/schip	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	78	76	73	69	64	57	47	38	24	12	6	0
	Loofbos interceptie	74	73	71	68	66	60	52	48	36	22	10	0
	Naaldbos interceptie	73	72	69	66	61	52	44	28	13	6	3	0
	erwten/bonen	89	86	80	70	63	48	32	19	10	4	2	0
	groot fruit	73	71	68	62	59	48	32	16	6	3	1	0
	klein fruit	75	74	71	64	62	51	40	22	11	4	2	0
	cons.aardappelen	86	84	80	74	68	58	46	36	24	14	8	0
	pootaardappelen	85	83	78	70	64	51	38	26	16	9	4	0
	fabriksaardappelen	88	86	83	77	72	64	52	43	28	17	9	0
	suikerbieten	80	78	75	69	66	55	43	24	12	4	2	0
	wintertarwe	79	77	72	66	60	50	38	27	17	10	5	0
	zomergerst	78	75	71	64	58	47	34	24	15	8	4	0
	snijmais	95	93	88	81	75	64	50	35	21	12	6	0
	laanbomen/bos/haag	75	74	71	64	62	51	40	22	11	4	2	0
	overig boomteelt	73	71	68	62	58	48	37	20	10	4	2	0
	graszaad	73	70	65	56	51	37	26	14	7	3	1	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	99	99	98	96	91	85	71	54	33	19	9	0
	witlof,selderij,uien	96	95	94	91	82	63	21	6	1	0	0	0
	was-/bospeen	98	98	96	94	92	82	67	54	36	23	14	0
	bladgroenten	99	98	97	96	94	86	74	63	44	31	18	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	80	78	73	66	61	48	37	26	17	10	5	0
	dahlia,gladiolen	90	89	86	82	80	72	66	56	49	36	25	0

Naaldwijk/schip	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	76	74	70	62	54	36	18	9	5	3	2	0
	Loofbos interceptie	73	71	69	63	60	47	26	9	6	3	2	0
	Naaldbos interceptie	72	70	64	56	52	25	9	4	2	1	0	0
	erwten/bonen	86	81	70	57	47	28	15	8	3	1	1	0
	groot fruit	71	69	63	53	45	16	6	2	1	0	0	0
	klein fruit	74	71	65	55	50	22	8	4	2	1	0	0
	cons.aardappelen	84	81	75	64	56	38	22	12	7	4	2	0
	pootaardappelen	83	79	71	59	50	32	18	10	6	3	1	0
	fabriksaardappelen	86	83	78	69	61	42	24	12	7	4	3	0
	suikerbieten	78	76	69	59	54	23	9	4	2	1	0	0
	wintertarwe	77	73	67	56	48	32	18	10	6	3	2	0
	zomergerst	75	72	65	53	45	29	17	9	5	3	1	0
	snijmais	93	89	80	70	61	38	21	11	6	3	2	0
	laanbomen/bos/haag	74	71	65	55	50	22	8	4	2	1	0	0
	overig boomteelt	71	69	62	52	47	21	9	4	2	1	1	0
	graszaad	70	66	57	44	37	18	9	4	2	1	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	98	96	91	87	79	52	25	11	5	3	2	0
	witlof,selderij,uien	93	92	89	69	40	10	3	1	0	0	0	0
	was-/bospeen	95	93	89	79	73	56	35	21	14	8	5	0
	bladgroenten	97	95	92	84	79	64	37	20	12	8	5	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	78	74	67	55	48	33	21	13	7	4	2	0
	dahlia,gladiolen	89	87	83	75	72	59	39	23	13	8	5	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Visseringen	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	72	71	68	64	59	51	38	28	21	12	7	0
	Loofbos interceptie	69	68	66	63	61	55	50	40	28	19	10	0
	Naaldbos interceptie	68	67	64	61	56	50	35	24	13	6	1	0
	erwten/bonen	78	75	69	59	51	37	24	14	8	3	1	0
	groot fruit	68	66	63	57	54	39	26	14	8	1	1	0
	klein fruit	70	68	66	59	56	44	31	21	10	5	1	0
	cons.aardappelen	79	77	73	67	62	50	38	28	19	12	7	0
	pootaardappelen	76	74	69	61	56	42	30	20	13	7	3	0
	fabriksaardappelen	82	80	76	71	68	56	44	32	24	16	9	0
	suikerbieten	75	73	70	63	59	47	33	22	10	5	1	0
	wintertarwe	71	69	65	58	54	41	30	21	14	8	4	0
	zomergerst	70	67	62	55	51	38	28	18	11	6	3	0
	snijmais	87	85	80	73	66	55	39	27	19	11	6	0
	laanbomen/bos/haag	70	68	66	59	56	44	31	21	10	5	1	0
	overig boomteelt	67	66	62	55	52	41	28	19	9	4	1	0
	graszaad	66	63	58	48	43	30	19	12	6	3	1	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	95	95	93	91	85	77	58	43	32	17	11	0
	witlof,selderij,uien	86	85	83	79	75	45	21	6	1	0	0	0
	was-/bospeen	93	92	89	85	82	70	56	41	29	20	12	0
	bladgroenten	95	94	92	89	87	77	64	51	36	27	17	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	72	69	64	57	52	39	29	21	13	8	4	0
	dahlia,gladiolen	85	84	82	78	75	67	59	49	38	29	23	0

Visseringen	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	71	69	64	55	48	30	16	7	4	3	1	0
	Loofbos interceptie	68	66	64	57	54	37	22	9	5	3	2	0
	Naaldbos interceptie	67	65	59	53	44	22	8	3	2	1	0	0
	erwten/bonen	75	70	61	46	39	21	11	5	2	1	0	0
	groot fruit	66	64	57	45	33	14	4	2	1	0	0	0
	klein fruit	68	66	60	50	41	21	7	3	2	1	0	0
	cons.aardappelen	77	74	68	56	49	31	19	11	6	4	2	0
	pootaardappelen	74	70	62	49	42	25	15	9	4	2	1	0
	fabriksaardappelen	80	77	72	62	54	35	21	11	6	4	2	0
	suikerbieten	73	71	63	53	44	22	7	4	2	1	0	0
	wintertarwe	69	66	59	48	41	25	15	9	5	3	1	0
	zomergerst	67	64	57	45	38	23	14	8	4	2	1	0
	snijmais	85	81	74	61	52	32	17	10	6	3	2	0
	laanbomen/bos/haag	68	66	60	50	41	21	7	3	2	1	0	0
	overig boomteelt	66	63	56	46	38	20	7	4	2	1	0	0
	graszaad	63	59	49	37	29	15	8	4	2	1	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	94	92	89	79	70	44	20	8	5	3	2	0
	witlof,selderij,uien	84	82	77	50	34	6	2	1	0	0	0	0
	was-/bospeen	90	87	82	70	64	45	30	19	11	7	4	0
	bladgroenten	93	91	87	77	73	51	33	20	11	7	4	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	69	65	58	46	40	26	17	11	7	3	1	0
	dahlia,gladiolen	84	82	78	70	66	49	34	21	14	6	4	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Eelde	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	72	71	67	61	56	40	28	14	8	2	1	0
	Loofbos interceptie	69	68	66	63	61	52	39	27	17	8	2	0
	Naaldbos interceptie	69	67	64	60	53	39	21	10	2	0	0	0
	erwten/bonen	78	74	66	54	44	25	13	5	2	0	0	0
	groot fruit	68	66	63	53	45	29	11	2	0	0	0	0
	klein fruit	70	68	65	59	50	33	18	8	1	0	0	0
	cons.aardappelen	79	76	71	63	57	38	26	14	7	3	1	0
	pootaardappelen	76	73	66	56	49	30	18	8	4	1	0	0
	fabriksaardappelen	81	79	75	68	63	44	31	17	9	3	1	0
	suikerbieten	75	73	69	63	53	35	19	9	1	0	0	0
	wintertarwe	71	68	62	54	48	30	19	9	4	2	1	0
	zomergerst	69	66	60	51	45	28	16	7	3	1	0	0
	snijmais	87	84	78	69	61	41	26	12	7	2	1	0
	laanbomen/bos/haag	70	68	65	59	50	33	18	8	1	0	0	0
	overig boomteelt	68	66	62	55	47	30	16	7	1	0	0	0
	graszaad	65	61	54	38	32	17	7	3	1	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	96	95	93	89	83	61	43	19	9	1	0	0
	witlof,selderij,uien	87	86	84	76	58	25	2	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	95	93	90	84	79	56	37	21	11	6	2	0
Klei, löss, veen	bladgroenten	96	95	93	89	85	64	46	30	15	9	2	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	71	67	61	51	45	29	17	9	4	2	1	0
	dahlia,gladiolen	85	83	80	75	72	57	44	33	21	11	6	0
	gras en overige natuur	71	68	62	46	37	16	6	3	1	0	0	0
	Loofbos interceptie	68	67	64	55	52	25	9	4	2	1	1	0
	Naaldbos interceptie	67	65	61	45	33	10	3	1	1	0	0	0
	erwten/bonen	74	68	56	37	27	11	4	2	1	0	0	0
	groot fruit	66	64	53	35	22	4	2	0	0	0	0	0
	klein fruit	68	66	56	39	29	6	3	1	0	0	0	0
	cons.aardappelen	76	72	64	47	37	18	8	4	2	1	0	0
	pootaardappelen	73	68	58	40	30	14	6	3	1	0	0	0
	fabriksaardappelen	79	76	69	52	41	19	8	4	2	1	0	0
	suikerbieten	73	70	60	41	31	6	3	1	0	0	0	0
	wintertarwe	68	64	55	39	30	14	6	3	1	1	0	0
	zomergerst	66	62	53	37	28	13	6	2	1	0	0	0
	snijmais	84	80	71	50	39	17	7	3	1	1	0	0
	laanbomen/bos/haag	68	66	56	39	29	6	3	1	0	0	0	0
	overig boomteelt	66	63	53	36	27	7	3	1	0	0	0	0
	graszaad	61	55	40	26	16	6	2	1	0	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	94	92	88	67	55	20	6	3	1	0	0	0
	witlof,selderij,uien	85	83	68	36	14	2	1	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	91	87	80	61	52	28	14	7	4	2	1	0
	bladgroenten	93	91	86	67	58	32	13	7	4	2	1	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	67	63	53	38	31	17	8	3	1	1	0	0
	dahlia,gladiolen	83	81	76	63	54	36	16	6	4	2	1	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Leeuwarden	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	75	74	70	61	57	46	35	23	11	5	2	0
	Loofbos interceptie	72	71	69	66	62	55	44	33	20	12	7	0
	Naaldbos interceptie	71	70	67	59	56	43	30	13	6	1	1	0
	erwten/bonen	84	80	73	58	51	34	20	9	3	1	0	0
	groot fruit	71	69	66	56	49	37	15	7	1	0	0	0
	klein fruit	73	71	68	58	55	40	25	11	2	1	0	0
	cons.aardappelen	83	80	75	66	59	45	34	21	10	5	2	0
	pootaardappelen	81	78	72	61	53	39	26	14	6	2	1	0
	fabriksaardappelen	85	83	78	70	64	50	39	25	12	7	3	0
	suikerbieten	78	76	72	62	59	43	26	12	3	1	0	0
	wintertarwe	75	73	67	57	51	38	26	15	7	3	1	0
	zomergerst	74	71	65	55	48	35	23	13	5	2	1	0
	snijmais	91	89	83	70	65	50	36	20	9	4	2	0
	laanbomen/bos/haag	73	71	68	58	55	40	25	11	2	1	0	0
	overig boomteelt	71	69	65	55	52	37	22	10	3	1	0	0
	graszaad	69	65	57	45	39	25	13	4	1	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	98	97	96	87	84	68	54	31	16	4	2	0
	witlof,selderij,uien	84	83	81	75	62	38	11	1	0	0	0	0
	was-/bospeen	97	95	93	86	79	65	49	34	20	8	4	0
	bladgroenten	98	97	95	89	83	70	56	40	26	13	7	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	76	73	67	57	49	36	25	15	8	3	1	0
	dahlia,gladiolen	87	86	83	78	71	61	52	42	30	20	11	0

Leeuwarden	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	74	71	62	50	43	21	8	4	2	1	1	0
	Loofbos interceptie	71	70	67	58	54	35	16	6	3	2	1	0
	Naaldbos interceptie	70	68	60	47	37	16	5	2	1	0	0	0
	erwten/bonen	80	74	60	44	34	16	6	3	1	0	0	0
	groot fruit	69	64	57	43	29	6	3	1	0	0	0	0
	klein fruit	71	69	59	45	33	12	4	2	1	0	0	0
	cons.aardappelen	80	76	65	52	44	25	12	6	3	2	1	0
	pootaardappelen	78	73	61	47	38	20	10	4	2	1	0	0
	fabriksaardappelen	83	80	69	56	48	27	13	7	4	2	1	0
	suikerbieten	76	73	63	47	35	13	4	2	1	0	0	0
	wintertarwe	73	69	57	45	37	20	10	5	2	1	0	0
	zomergerst	71	67	55	43	34	18	9	4	2	1	0	0
	snijmais	89	84	72	57	48	22	11	6	3	1	1	0
	laanbomen/bos/haag	71	69	59	45	33	12	4	2	1	0	0	0
	overig boomteelt	69	66	56	42	31	12	4	2	1	0	0	0
	graszaad	65	57	46	33	25	9	4	1	0	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	96	94	85	72	63	28	9	5	2	1	1	0
	witlof,selderij,uien	82	80	69	45	23	4	1	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	93	90	78	67	60	38	20	10	6	3	1	0
	bladgroenten	95	93	83	72	65	42	21	11	6	4	2	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	73	68	58	45	37	22	13	6	2	1	0	0
	dahlia,gladiolen	86	84	77	68	59	42	22	11	6	4	2	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Lelystad	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	74	72	69	59	54	41	29	19	9	3	1	0
	Loofbos interceptie	71	70	68	65	61	52	40	27	21	13	4	0
	Naaldbos interceptie	71	69	66	58	53	39	24	13	4	1	0	0
	erwten/bonen	81	77	69	54	46	29	16	7	3	1	0	0
	groot fruit	70	68	65	53	44	29	15	4	1	0	0	0
	klein fruit	72	70	67	55	49	35	21	10	3	1	0	0
	cons.aardappelen	81	78	73	64	55	40	28	17	9	5	2	0
	pootaardappelen	79	76	69	58	49	33	21	11	5	2	1	0
	fabriksaardappelen	83	81	77	68	60	45	33	21	12	6	2	0
	suikerbieten	77	75	71	59	52	37	23	10	3	1	0	0
	wintertarwe	73	71	65	55	47	33	21	12	6	3	1	0
	zomergerst	72	69	63	53	44	30	19	10	5	2	1	0
	snijmais	90	87	81	68	61	44	27	18	8	4	2	0
	laanbomen/bos/haag	72	70	67	55	49	35	21	10	3	1	0	0
	overig boomteelt	70	68	64	52	46	32	19	9	3	1	0	0
	graszaad	67	63	55	40	34	20	11	4	1	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	97	96	95	85	80	63	40	28	14	4	1	0
	witlof,selderij,uien	90	89	87	74	62	35	7	1	0	0	0	0
	was-/bospeen	96	94	92	84	76	58	41	27	16	8	4	0
Klei, löss, veen	bladgroenten	97	96	94	87	81	63	48	34	20	11	5	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	73	70	63	53	46	32	21	12	6	3	1	0
	dahlia,gladiolen	86	84	81	74	69	57	46	34	24	16	8	0

Lelystad	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	72	70	60	46	38	19	7	4	2	1	0	0
	Loofbos interceptie	70	69	66	55	51	29	13	5	3	1	1	0
	Naaldbos interceptie	69	67	57	45	33	12	4	2	1	0	0	0
	erwten/bonen	77	71	57	39	30	14	6	2	1	0	0	0
	groot fruit	68	64	53	36	25	6	2	1	0	0	0	0
	klein fruit	70	68	56	39	29	9	3	1	1	0	0	0
	cons.aardappelen	78	74	63	47	39	22	11	6	3	2	1	0
	pootaardappelen	76	71	58	42	34	17	8	4	2	1	0	0
	fabriksaardappelen	81	78	67	51	44	24	10	5	3	1	1	0
	suikerbieten	75	72	60	42	31	10	3	2	1	0	0	0
	wintertarwe	71	66	55	40	33	17	9	4	2	1	0	0
	zomergerst	69	64	53	38	30	15	8	3	2	1	0	0
	snijmais	87	82	69	51	41	21	10	5	2	1	0	0
	laanbomen/bos/haag	70	68	56	39	29	9	3	1	1	0	0	0
	overig boomteelt	68	65	53	37	27	9	4	2	1	0	0	0
	graszaad	62	57	41	27	20	8	3	1	0	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	95	93	84	66	56	27	9	4	2	1	0	0
	witlof,selderij,uien	87	85	68	39	20	3	1	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	92	89	77	60	54	33	18	10	5	3	1	0
Klei, löss, veen	bladgroenten	94	92	82	65	60	36	18	9	5	3	1	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	70	65	55	40	33	18	11	5	2	1	0	0
	dahlia,gladiolen	84	82	75	61	54	35	21	9	5	3	2	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Twenthe	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	74	72	69	59	54	41	29	19	9	3	1	0
	Loofbos interceptie	71	70	68	65	61	52	40	27	21	13	4	0
	Naaldbos interceptie	71	69	66	58	53	39	24	13	4	1	0	0
	erwten/bonen	81	77	69	54	46	29	16	7	3	1	0	0
	groot fruit	70	68	65	53	44	29	15	4	1	0	0	0
	klein fruit	72	70	67	55	49	35	21	10	3	1	0	0
	cons.aardappelen	81	78	73	64	55	40	28	17	9	5	2	0
	pootaardappelen	79	76	69	58	49	33	21	11	5	2	1	0
	fabriksaardappelen	83	81	77	68	60	45	33	21	12	6	2	0
	suikerbieten	77	75	71	59	52	37	23	10	3	1	0	0
	winterarwe	73	71	65	55	47	33	21	12	6	3	1	0
	zomergerst	72	69	63	53	44	30	19	10	5	2	1	0
	snijmais	90	87	81	68	61	44	27	18	8	4	2	0
	laanbomen/bos/haag	72	70	67	55	49	35	21	10	3	1	0	0
	overig boomteelt	70	68	64	52	46	32	19	9	3	1	0	0
	graszaad	67	63	55	40	34	20	11	4	1	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	97	96	95	85	80	63	40	28	14	4	1	0
	witlof,selderij,uien	90	89	87	74	62	35	7	1	0	0	0	0
	was-/bospeen	96	94	92	84	76	58	41	27	16	8	4	0
	bladgroenten	97	96	94	87	81	63	48	34	20	11	5	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	73	70	63	53	46	32	21	12	6	3	1	0
	dahlia,gladiolen	86	84	81	74	69	57	46	34	24	16	8	0

Twenthe	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	72	70	60	46	38	19	7	4	2	1	0	0
	Loofbos interceptie	70	69	66	55	51	29	13	5	3	1	1	0
	Naaldbos interceptie	69	67	57	45	33	12	4	2	1	0	0	0
	erwten/bonen	77	71	57	39	30	14	6	2	1	0	0	0
	groot fruit	68	64	53	36	25	6	2	1	0	0	0	0
	klein fruit	70	68	56	39	29	9	3	1	1	0	0	0
	cons.aardappelen	78	74	63	47	39	22	11	6	3	2	1	0
	pootaardappelen	76	71	58	42	34	17	8	4	2	1	0	0
	fabriksaardappelen	81	78	67	51	44	24	10	5	3	1	1	0
	suikerbieten	75	72	60	42	31	10	3	2	1	0	0	0
	winterarwe	71	66	55	40	33	17	9	4	2	1	0	0
	zomergerst	69	64	53	38	30	15	8	3	2	1	0	0
	snijmais	87	82	69	51	41	21	10	5	2	1	0	0
	laanbomen/bos/haag	70	68	56	39	29	9	3	1	1	0	0	0
	overig boomteelt	68	65	53	37	27	9	4	2	1	0	0	0
	graszaad	62	57	41	27	20	8	3	1	0	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	95	93	84	66	56	27	9	4	2	1	0	0
	witlof,selderij,uien	87	85	68	39	20	3	1	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	92	89	77	60	54	33	18	10	5	3	1	0
	bladgroenten	94	92	82	65	60	36	18	9	5	3	1	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	70	65	55	40	33	18	11	5	2	1	0	0
	dahlia,gladiolen	84	82	75	61	54	35	21	9	5	3	2	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Eibergen	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	67	66	63	58	54	39	33	21	8	3	1	0
	Loofbos interceptie	65	64	62	60	58	52	40	23	14	5	1	0
	Naaldbos interceptie	64	63	61	57	53	39	25	8	1	0	0	0
	erwten/bonen	66	63	57	48	42	25	17	10	3	1	0	0
	groot fruit	62	59	54	48	35	17	3	0	0	0	0	0
	klein fruit	66	64	61	57	50	37	22	7	1	0	0	0
	cons.aardappelen	71	68	64	58	54	38	30	20	13	4	1	0
	pootaardappelen	66	63	58	50	45	30	21	14	9	2	1	0
	fabriksaardappelen	75	73	69	64	60	44	35	23	16	5	1	0
	suikerbieten	70	68	65	60	54	39	24	8	1	0	0	0
	wintertarwe	62	60	56	49	44	30	22	14	9	3	1	0
	zomergerst	60	58	53	46	41	27	19	12	8	2	1	0
	snijmais	79	76	71	64	59	41	32	21	8	3	1	0
	laanbomen/bos/haag	66	64	61	57	50	37	22	7	1	0	0	0
	overig boomteelt	62	61	58	53	47	34	20	7	1	0	0	0
	graszaad	57	54	48	40	32	22	14	10	3	1	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	90	89	87	83	78	60	50	31	11	4	1	0
	witlof,selderij,uien	88	87	85	75	63	23	2	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	86	84	81	75	71	57	42	31	22	8	4	0
	bladgroenten	89	88	85	82	78	66	51	40	28	10	4	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	59	57	52	44	39	27	18	12	8	6	3	0
	dahlia,gladiolen	79	78	75	71	68	57	45	40	27	22	10	0

Eibergen	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	66	63	59	45	39	22	5	2	1	0	0	0
	Loofbos interceptie	64	63	60	54	49	22	8	3	2	1	0	0
	Naaldbos interceptie	63	61	55	43	39	9	2	1	0	0	0	0
	erwten/bonen	63	58	50	34	27	15	5	2	1	0	0	0
	groot fruit	60	53	39	25	3	1	0	0	0	0	0	0
	klein fruit	64	62	57	41	33	8	2	1	0	0	0	0
	cons.aardappelen	68	65	59	46	38	23	8	4	2	1	0	0
	pootaardappelen	63	59	52	38	31	18	6	3	1	1	0	0
	fabriksaardappelen	73	70	65	51	43	26	8	4	2	1	0	0
	suikerbieten	68	66	60	43	35	9	2	1	0	0	0	0
	wintertarwe	60	57	50	37	31	18	7	3	2	1	0	0
	zomergerst	58	54	47	35	28	16	6	3	1	1	0	0
	snijmais	76	73	66	48	41	25	7	3	2	1	0	0
	laanbomen/bos/haag	64	62	57	41	33	8	2	1	0	0	0	0
	overig boomteelt	61	58	53	38	31	8	2	1	0	0	0	0
	graszaad	54	50	42	28	20	10	3	1	0	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	88	86	82	66	58	33	5	2	1	0	0	0
	witlof,selderij,uien	86	84	66	36	12	2	0	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	83	80	73	63	52	34	15	7	4	2	1	0
	bladgroenten	87	84	80	70	59	38	16	6	3	2	1	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	57	53	46	36	28	18	11	4	2	1	1	0
	dahlia,gladiolen	78	76	72	65	53	41	26	7	3	2	1	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

De Bilt	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	70	68	65	60	56	41	28	15	9	5	2	0
	Loofbos interceptie	67	66	64	61	60	50	40	23	16	8	4	0
	Naaldbos interceptie	67	65	63	59	51	38	19	13	5	1	0	0
	erwten/bonen	73	69	62	52	46	28	16	7	3	1	0	0
	groot fruit	66	64	61	54	46	29	15	5	1	0	0	0
	klein fruit	68	66	63	58	48	32	17	7	4	1	0	0
	cons.aardappelen	75	72	68	60	56	40	28	15	10	5	2	0
	pootaardappelen	72	68	62	54	48	33	21	10	6	3	1	0
	fabriksaardappelen	78	76	72	66	62	45	32	18	13	6	3	0
	suikerbieten	72	71	67	61	51	34	18	8	4	1	0	0
	wintertarwe	67	64	59	52	47	32	22	11	6	3	1	0
	zomergerst	65	62	57	49	44	30	19	9	5	2	1	0
	snijmais	83	80	75	67	62	43	28	15	7	4	2	0
	laanbomen/bos/haag	68	66	63	58	48	32	17	7	4	1	0	0
	overig boomteelt	65	63	60	54	45	30	16	7	3	1	0	0
	graszaad	61	58	52	42	36	22	10	5	2	1	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	91	90	88	84	80	61	43	23	11	6	2	0
	witlof,selderij,uien	82	81	78	69	56	26	8	1	0	0	0	0
	was-/bospeen	89	87	83	76	72	57	42	26	14	8	4	0
	bladgroenten	91	90	87	82	78	63	48	34	20	10	7	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	66	63	57	49	44	31	21	13	7	3	1	0
	dahlia,gladiolen	82	81	78	73	70	58	45	34	22	16	10	0

De Bilt	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	68	66	60	46	36	18	7	3	2	1	0	0
	Loofbos interceptie	66	65	62	53	48	22	11	5	2	1	1	0
	Naaldbos interceptie	65	63	59	44	29	11	3	2	1	0	0	0
	erwten/bonen	69	64	54	37	29	13	6	2	1	0	0	0
	groot fruit	64	62	51	33	21	6	2	1	0	0	0	0
	klein fruit	66	64	57	39	27	9	3	1	1	0	0	0
	cons.aardappelen	72	69	62	46	39	19	10	5	3	2	1	0
	pootaardappelen	68	64	56	40	33	15	8	4	2	1	0	0
	fabriksaardappelen	76	73	67	51	44	21	10	5	3	2	1	0
	suikerbieten	71	68	60	42	29	10	3	2	1	0	0	0
	wintertarwe	64	61	53	39	32	15	8	4	2	1	0	0
	zomergerst	62	58	51	36	30	14	7	3	2	1	0	0
	snijmais	80	76	68	51	39	19	9	5	2	1	1	0
	laanbomen/bos/haag	66	64	57	39	27	9	3	1	1	0	0	0
	overig boomteelt	63	60	53	37	26	9	3	2	1	0	0	0
	graszaad	58	53	43	28	20	8	3	1	1	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	89	87	83	67	52	26	9	4	2	1	0	0
	witlof,selderij,uien	80	77	66	30	15	3	1	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	85	82	75	61	52	28	16	9	5	3	1	0
	bladgroenten	89	86	80	67	58	30	16	9	5	3	2	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	63	58	50	39	31	19	11	5	2	1	0	0
	dahlia,gladiolen	81	78	74	64	54	37	20	10	5	3	2	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Herwijnen	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	60	59	58	56	52	47	28	16	4	2	0	0
	Loofbos interceptie	60	60	59	57	57	43	23	9	5	3	0	0
	Naaldbos interceptie	60	59	58	55	51	31	14	2	0	0	0	0
	erwten/bonen	50	49	46	41	38	33	19	9	2	1	0	0
	groot fruit	60	59	58	53	50	25	7	2	0	0	0	0
	klein fruit	60	60	58	54	51	32	16	3	0	0	0	0
	cons.aardappelen	58	56	53	50	44	29	17	8	2	0	0	0
	pootaardappelen	50	48	44	41	36	23	13	6	1	1	0	0
	fabriksaardappelen	64	62	60	56	50	32	20	9	2	0	0	0
	suikerbieten	63	62	57	54	34	17	4	0	0	0	0	0
	wintertarwe	49	47	44	41	36	23	13	6	1	0	0	0
	zomergerst	46	44	40	38	33	21	12	6	1	0	0	0
	snijmais	65	63	60	56	49	30	15	4	2	0	0	0
	laanbomen/bos/haag	60	58	54	51	32	16	3	0	0	0	0	0
	overig boomteelt	56	55	50	47	30	15	3	0	0	0	0	0
	graszaad	47	44	37	36	28	19	10	2	0	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	87	85	83	78	69	43	22	5	2	0	0	0
	witlof,selderij,uien	73	71	62	42	6	0	0	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	79	76	72	67	60	44	31	17	5	2	0	0
Klei, löss, veen	bladgroenten	85	83	80	75	68	50	36	20	5	2	0	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	41	38	34	32	27	23	16	9	6	3	0	0
	dahlia,gladiolen	69	68	66	65	59	50	35	24	16	6	0	0
	gras en overige natuur	59	58	53	49	35	12	1	1	0	0	0	0
	Loofbos interceptie	60	59	58	44	31	6	1	1	0	0	0	0
	Naaldbos interceptie	59	58	55	36	25	3	1	0	0	0	0	0
	erwten/bonen	48	46	41	36	25	9	2	1	1	0	0	0
	groot fruit	59	58	52	30	16	1	0	0	0	0	0	0
	klein fruit	60	58	54	38	23	3	1	0	0	0	0	0
	cons.aardappelen	58	57	53	47	37	17	3	1	1	0	0	0
	pootaardappelen	50	48	44	39	30	14	3	1	1	0	0	0
	fabriksaardappelen	64	62	59	52	41	19	3	1	0	0	0	0
	suikerbieten	63	62	57	41	25	3	1	0	0	0	0	0
	wintertarwe	49	47	44	38	30	14	3	1	1	0	0	0
	zomergerst	46	44	40	35	28	13	3	1	1	0	0	0
	snijmais	65	63	58	53	36	13	2	1	0	0	0	0
	laanbomen/bos/haag	60	58	54	38	23	3	1	0	0	0	0	0
	overig boomteelt	56	55	50	36	22	3	1	0	0	0	0	0
	graszaad	47	43	39	32	24	7	1	1	0	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	87	85	79	73	48	18	1	1	0	0	0	0
	witlof,selderij,uien	72	69	52	13	4	0	0	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	78	76	72	63	57	26	7	2	1	1	0	0
	bladgroenten	84	83	80	70	64	30	7	2	1	0	0	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	40	38	35	30	27	17	8	3	2	1	0	0
	dahlia,gladiolen	69	68	66	60	55	35	16	3	1	1	0	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Eindhoven	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	73	71	68	63	56	47	36	22	14	6	3	0
	Loofbos interceptie	69	68	66	63	60	53	45	36	23	15	8	0
	Naaldbos interceptie	68	67	64	59	54	45	32	20	7	2	1	0
	erwten/bonen	79	75	68	58	49	33	19	9	4	1	0	0
	groot fruit	68	66	63	54	50	39	21	7	3	1	0	0
	klein fruit	70	69	65	59	53	42	24	15	6	1	0	0
	cons.aardappelen	79	77	72	65	60	46	34	22	13	7	3	0
	pootaardappelen	77	74	68	59	53	38	25	14	7	3	1	0
	fabriksaardappelen	82	80	76	70	65	52	40	27	17	9	5	0
	suikerbieten	75	73	69	63	57	45	26	16	6	1	0	0
	wintertarwe	72	69	64	57	51	38	26	15	8	4	2	0
	zomergerst	70	67	62	54	49	35	23	13	7	3	1	0
	snijmais	87	85	80	72	63	49	36	22	13	6	3	0
	laanbomen/bos/haag	70	69	65	59	53	42	24	15	6	1	0	0
	overig boomteelt	68	66	62	56	50	39	22	13	5	1	0	0
	graszaad	66	63	56	45	39	25	13	6	2	1	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	96	95	94	91	83	70	56	35	22	9	4	0
	witlof,selderij,uien	91	90	85	79	71	38	10	2	0	0	0	0
	was-/bospeen	94	93	90	85	81	66	51	34	21	12	6	0
	bladgroenten	96	95	93	89	87	72	59	43	29	18	9	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	72	69	64	56	50	36	25	15	9	4	2	0
	dahlia,gladiolen	86	84	81	77	74	63	53	43	32	23	16	0

Eindhoven	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	71	69	62	52	45	25	11	5	3	2	1	0
	Loofbos interceptie	68	67	64	56	51	37	19	7	4	2	1	0
	Naaldbos interceptie	67	65	57	49	43	18	5	3	1	1	0	0
	erwten/bonen	75	70	59	43	34	17	8	3	1	0	0	0
	groot fruit	66	64	55	43	31	10	3	1	1	0	0	0
	klein fruit	69	66	57	48	37	14	5	2	1	0	0	0
	cons.aardappelen	77	73	66	53	46	27	14	8	4	2	1	0
	pootaardappelen	74	70	61	46	39	21	11	5	2	1	0	0
	fabriksaardappelen	80	77	71	58	50	30	15	8	4	2	1	0
	suikerbieten	73	70	61	51	40	15	5	2	1	0	0	0
	wintertarwe	69	65	58	45	38	21	11	6	3	1	1	0
	zomergerst	67	63	56	42	35	19	10	5	2	1	0	0
	snijmais	85	81	72	58	48	26	13	7	4	2	1	0
	laanbomen/bos/haag	69	66	57	48	37	14	5	2	1	0	0	0
	overig boomteelt	66	63	54	44	35	13	5	3	1	0	0	0
	graszaad	63	58	46	33	25	10	4	2	1	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	94	93	87	75	65	35	14	6	3	2	1	0
	witlof,selderij,uien	89	85	77	47	29	5	2	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	91	88	82	67	60	39	23	12	7	4	2	0
	bladgroenten	93	91	87	73	67	45	26	14	8	5	3	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	69	65	57	44	37	23	14	7	3	1	1	0
	dahlia,gladiolen	84	82	78	67	61	46	27	14	7	5	3	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Gilze/Rijen	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	74	72	68	61	56	45	35	24	14	8	2	0
	Loofbos interceptie	71	70	68	64	59	51	44	35	24	14	7	0
	Naaldbos interceptie	70	69	65	59	54	44	31	16	9	2	1	0
	erwten/bonen	81	77	70	59	51	34	20	11	4	2	0	0
	groot fruit	69	68	64	55	50	36	19	10	2	1	0	0
	klein fruit	72	70	66	59	54	39	26	14	7	1	1	0
	cons.aardappelen	80	78	73	66	60	45	33	23	14	8	4	0
	pootaardappelen	78	76	70	61	54	38	25	16	9	4	2	0
	fabriksaardappelen	83	81	76	70	64	50	38	28	17	10	5	0
	suikerbieten	76	75	70	63	57	42	27	15	7	1	1	0
	wintertarwe	73	70	65	58	52	37	26	17	10	5	2	0
	zomergerst	71	69	63	56	49	34	23	15	8	4	2	0
	snijmais	89	86	80	71	64	49	36	23	13	6	3	0
	laanbomen/bos/haag	72	70	66	59	54	39	26	14	7	1	1	0
	overig boomteelt	69	67	63	56	51	36	24	13	6	2	1	0
	graszaad	67	64	58	46	40	25	15	7	3	1	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	97	96	93	87	82	69	54	36	21	11	2	0
	witlof,selderij,uien	86	83	81	77	70	35	15	2	0	0	0	0
	was-/bospeen	95	94	91	87	81	64	50	35	22	13	7	0
	bladgroenten	96	95	94	90	84	69	58	44	28	18	11	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	72	70	65	57	52	38	25	16	10	5	2	0
	dahlia,gladiolen	86	84	82	76	73	63	52	42	32	23	16	0

Gilze/Rijen	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	72	69	62	50	44	24	12	5	3	1	1	0
	Loofbos interceptie	70	68	64	53	51	33	17	6	3	2	1	0
	Naaldbos interceptie	69	65	57	47	41	17	5	2	1	1	0	0
	erwten/bonen	77	72	60	43	34	17	9	3	1	1	0	0
	groot fruit	67	64	55	41	30	11	3	1	1	0	0	0
	klein fruit	70	66	57	45	37	15	5	2	1	0	0	0
	cons.aardappelen	78	74	65	51	44	27	14	8	4	2	1	0
	pootaardappelen	76	71	61	45	38	21	12	6	3	1	1	0
	fabriksaardappelen	81	77	69	55	48	30	16	7	4	2	1	0
	suikerbieten	75	71	61	48	40	16	5	2	1	0	0	0
	wintertarwe	70	66	57	43	37	21	12	6	3	2	1	0
	zomergerst	69	64	55	41	34	19	11	5	3	1	1	0
	snijmais	86	82	72	55	46	26	13	7	4	2	1	0
	laanbomen/bos/haag	70	66	57	45	37	15	5	2	1	0	0	0
	overig boomteelt	67	64	55	42	35	14	5	2	1	0	0	0
	graszaad	64	59	48	32	25	11	5	2	1	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	95	91	85	72	62	34	16	5	3	2	1	0
	witlof,selderij,uien	81	80	73	48	28	4	2	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	91	88	79	69	59	39	23	13	7	4	2	0
	bladgroenten	94	90	83	75	66	45	24	12	7	4	3	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	70	66	58	45	37	23	13	9	3	2	1	0
	dahlia,gladiolen	84	82	77	66	59	45	25	16	7	4	3	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Venlo	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	74	72	68	61	56	45	35	24	14	8	2	0
	Loofbos interceptie	71	70	68	64	59	51	44	35	24	14	7	0
	Naaldbos interceptie	70	69	65	59	54	44	31	16	9	2	1	0
	erwten/bonen	81	77	70	59	51	34	20	11	4	2	0	0
	groot fruit	69	68	64	55	50	36	19	10	2	1	0	0
	klein fruit	72	70	66	59	54	39	26	14	7	1	1	0
	cons.aardappelen	80	78	73	66	60	45	33	23	14	8	4	0
	pootaardappelen	78	76	70	61	54	38	25	16	9	4	2	0
	fabriksaardappelen	83	81	76	70	64	50	38	28	17	10	5	0
	suikerbieten	76	75	70	63	57	42	27	15	7	1	1	0
	wintertarwe	73	70	65	58	52	37	26	17	10	5	2	0
	zomergerst	71	69	63	56	49	34	23	15	8	4	2	0
	snijmais	89	86	80	71	64	49	36	23	13	6	3	0
	laanbomen/bos/haag	72	70	66	59	54	39	26	14	7	1	1	0
	overig boomteelt	69	67	63	56	51	36	24	13	6	2	1	0
	graszaad	67	64	58	46	40	25	15	7	3	1	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	97	96	93	87	82	69	54	36	21	11	2	0
	witlof,selderij,uien	86	83	81	77	70	35	15	2	0	0	0	0
	was-/bospeen	95	94	91	87	81	64	50	35	22	13	7	0
	bladgroenten	96	95	94	90	84	69	58	44	28	18	11	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	72	70	65	57	52	38	25	16	10	5	2	0
	dahlia,gladiolen	86	84	82	76	73	63	52	42	32	23	16	0

Venlo	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	72	69	62	50	44	24	12	5	3	1	1	0
	Loofbos interceptie	70	68	64	53	51	33	17	6	3	2	1	0
	Naaldbos interceptie	69	65	57	47	41	17	5	2	1	1	0	0
	erwten/bonen	77	72	60	43	34	17	9	3	1	1	0	0
	groot fruit	67	64	55	41	30	11	3	1	1	0	0	0
	klein fruit	70	66	57	45	37	15	5	2	1	0	0	0
	cons.aardappelen	78	74	65	51	44	27	14	8	4	2	1	0
	pootaardappelen	76	71	61	45	38	21	12	6	3	1	1	0
	fabriksaardappelen	81	77	69	55	48	30	16	7	4	2	1	0
	suikerbieten	75	71	61	48	40	16	5	2	1	0	0	0
	wintertarwe	70	66	57	43	37	21	12	6	3	2	1	0
	zomergerst	69	64	55	41	34	19	11	5	3	1	1	0
	snijmais	86	82	72	55	46	26	13	7	4	2	1	0
	laanbomen/bos/haag	70	66	57	45	37	15	5	2	1	0	0	0
	overig boomteelt	67	64	55	42	35	14	5	2	1	0	0	0
	graszaad	64	59	48	32	25	11	5	2	1	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	95	91	85	72	62	34	16	5	3	2	1	0
	witlof,selderij,uien	81	80	73	48	28	4	2	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	91	88	79	69	59	39	23	13	7	4	2	0
	bladgroenten	94	90	83	75	66	45	24	12	7	4	3	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	70	66	58	45	37	23	13	9	3	2	1	0
	dahlia,gladiolen	84	82	77	66	59	45	25	16	7	4	3	0

Veeljarig gemiddelde droogteschade 1985-2015

Maastricht	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Zandgronden	gras en overige natuur	72	70	67	62	55	41	31	22	14	5	2	0
	Loofbos interceptie	68	67	65	62	59	49	39	35	26	16	4	0
	Naaldbos interceptie	67	66	63	58	53	38	30	18	5	2	1	0
	erwten/bonen	77	73	66	55	47	27	16	8	4	1	0	0
	groot fruit	67	65	62	53	49	33	23	8	2	0	0	0
	klein fruit	69	68	64	57	52	35	25	15	4	1	0	0
	cons.aardappelen	78	75	70	63	58	40	29	20	13	7	3	0
	pootaardappelen	75	72	66	58	51	32	21	13	7	3	1	0
	fabriksaardappelen	81	79	75	68	63	45	34	25	17	9	4	0
	suikerbieten	74	72	68	61	55	37	27	16	4	1	0	0
	wintertarwe	70	67	62	55	49	32	22	14	8	4	2	0
	zomergerst	68	65	60	52	47	30	19	12	6	3	1	0
	snijmais	86	83	78	70	61	41	31	21	13	5	2	0
	laanbomen/bos/haag	69	68	64	57	52	35	25	15	4	1	0	0
	overig boomteelt	67	65	61	54	49	32	23	13	4	1	0	0
	graszaad	64	61	55	43	35	21	13	6	2	1	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	96	95	93	89	80	60	49	36	21	5	3	0
	witlof,selderij,uien	87	85	81	73	60	41	8	1	0	0	0	0
	was-/bospeen	93	92	89	84	79	61	42	30	20	12	6	0
	bladgroenten	95	94	92	89	84	68	50	40	29	18	8	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	70	67	62	53	48	34	21	13	7	4	2	0
	dahlia,gladiolen	85	83	80	76	73	61	45	38	31	23	15	0

Maastricht	mm bodemvochtlevering	10	15	25	40	50	75	100	125	150	175	200	400
Klei, löss, veen	gras en overige natuur	70	67	61	45	39	24	9	5	3	1	1	0
	Loofbos interceptie	67	66	61	52	46	35	18	7	4	2	1	0
	Naaldbos interceptie	66	64	58	42	37	20	5	2	1	0	0	0
	erwten/bonen	73	68	57	38	29	16	7	3	1	0	0	0
	groot fruit	65	63	54	37	29	7	3	1	0	0	0	0
	klein fruit	68	65	56	39	35	14	4	2	1	0	0	0
	cons.aardappelen	75	72	64	50	39	25	14	7	4	2	1	0
	pootaardappelen	72	68	59	44	33	19	10	5	2	1	0	0
	fabriksaardappelen	79	76	68	54	43	29	15	7	4	2	1	0
	suikerbieten	72	69	60	42	37	15	5	2	1	0	0	0
	wintertarwe	67	64	56	42	32	19	10	5	3	1	1	0
	zomergerst	66	62	53	40	30	17	9	4	2	1	0	0
	snijmais	83	79	70	50	42	25	12	6	3	2	1	0
	laanbomen/bos/haag	68	65	56	39	35	14	4	2	1	0	0	0
	overig boomteelt	65	62	53	37	32	13	5	2	1	0	0	0
	graszaad	61	56	45	28	22	10	4	2	1	0	0	0
	asperge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	schorseneren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	prei,spruiten,kool	94	92	86	66	57	34	11	5	3	1	1	0
	witlof,selderij,uien	84	80	66	47	29	4	1	0	0	0	0	0
	was-/bospeen	90	86	80	67	53	35	21	12	7	4	2	0
	bladgroenten	93	90	86	73	58	41	26	12	7	4	2	0
	tulpen,narcis,iris, hyacinth	67	63	55	42	35	21	12	6	3	1	1	0
	dahlia,gladiolen	83	81	76	65	56	42	26	12	7	4	3	0

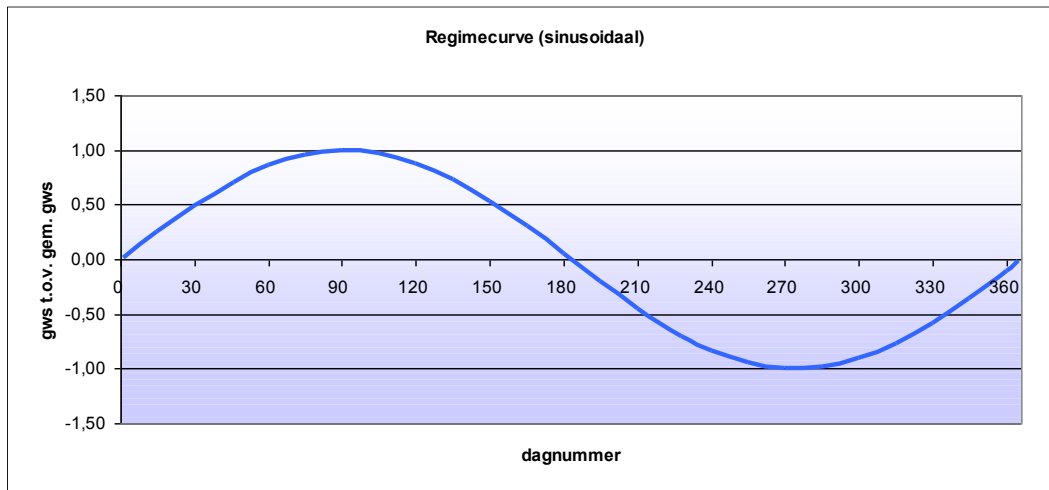
Bijlage 3 Berekening van dag-grondwaterstanden; de regimecurve.

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 $2\pi / 365 = 0,0172142$ rad.

De waarde op de Y-as op dagnummer x kan worden berekend uit $A * \sin(x * 0,0172024)$ 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 de regimegrondwaterstanden op 15 feb en 15 aug.

Figuur 1 Sinusoidaal verloop van de grondwaterstand, amplitude = 1



De dagen op de X-as in figuur 1 corresponderen nog niet correct met de jaarlijkse dagnummers: de top van de curve (in figuur 1a op dag 92) moet immers samenvallen met de GHG op 15 februari (dag 46) en het dal met de GLG op 15 augustus (dag 228); er moet nog een faseverschuiving van 46 dagen plaatsvinden.

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

Gws dag x = Gem gws + amplitude gws golf x $\sin[(\text{dag}_x - \text{faseverschuiving}) \times 0,0172024]$

ofwel:

Grondwaterstand op dag x

= $-(\text{reg.gws 15 feb} + \text{reg.gws 15 aug})/2 + (\text{reg.gws 15 feb} - \text{reg.gws 15 aug})/2 * \sin\{0,0172142 * (\text{dagx} - 46)\}$

Vereenvoudigd:

= $-(\text{reg.gws 15 feb} - \text{reg.gws 15 aug})/2 + (\text{reg.gws 15 feb} + \text{reg.gws 15 aug})/2 * \sin\{0,0172142 * (\text{dagx} + 46)\}$

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 verder 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 laagste 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.

1 Om de dag waarop grondwaterstand y (bijv. waarbij de capillaire nalevering stagneert of de bewerkbaarheidsgrens wordt bereikt) 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 $-\frac{1}{2}\pi$ en $+\frac{1}{2}\pi$ (dus tussen -1,57 en +1,57). Omdat we voor de bewerkbaarheids-grondwaterstand en voor de bodemvochtlevering primair geïnteresseerd zijn in het grondwaterstandsverloop tussen 15 februari en 15 augustus, kan deze beperking worden vermeden door 15 februari te laten corresponderen met $+\frac{1}{2}\pi$ radialen en 15 augustus met $-\frac{1}{2}\pi$ radialen. Elke dag na 15 februari (dag 0) neemt dan af met $\pi / 182,5$ dagen = 0,0172142 radialen.

2 De uiteindelijke rekenregel wordt eenvoudiger indien we de **dagen** berekenen t.o.v. de waarden op de dag met de gemiddelde groeiseizoens-grondwaterstand: dit is 15 mei, dus deze dagnr. 138 nemen we als dag 0 (waarop dus rad =0; dag -92 (=15 feb.) = $+0,5\pi$ rad; dag 92 (=15 aug) = $-0,5\pi$ rad); een faseverschuiving van -138

De dag x te waarop tussen 15 februari en 15 augustus een gegeven grondwaterstand y gemiddeld voor komt volgt uit:

$$\text{Dag } x = -\arcsin [-(\text{gws}_y - \text{gemiddelde gws}) / \text{amplitude van de golf}] / 0,0172142 + 138$$

De gehele rekenregel wordt dan:

$$\text{Dag met Gws}_y = 138 + -(\arcsin \{ [-\text{gws dag}_x - (-\text{gws 15 feb} + -\text{gws 15 aug}) / 2] / [(-\text{gws 15 feb} - -\text{gws 15 aug}) / 2] \} / 0,0172142$$

ofwel vereenvoudigd:

$$\text{Dag Gws}_y = 138 - (\arcsin \{ [-\text{gws dag}_x - (-\text{gws 15 feb} - \text{gws 15 aug}) / 2] / [(-\text{gws 15 feb} + \text{gws 15 aug}) / 2] \} / 0,0172142$$

Ook deze rekenregel werkt in het traject 15 feb. – 15 augustus tevens indien er wordt geïnfiltreerd 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 sinusoïdaal verloop wordt berekend tussen 15 feb. en 15 aug.

Indien de grondwaterstand op 15 augustus hoger is dan rond 15 februari (peilopzet, infiltratie) kan een eventueel afgebroken capillaire nalevering of te hoge bewerkbaarheidsgrondwaterstand zich herstellen.

De dag waarop dit veeljarige gemiddeld plaatsvindt is:

$$320 - (\text{BOOGSIN} \{ [-\text{gws dagx} - (-\text{gws 15 feb} - \text{gws 15 aug})/2] / [(-\text{gws 15 aug} + \text{gws 15 feb})/2] \} / 0,0172142)$$

De referentiedag (met gemiddelde winter-grondwaterstand) is 15 nov (dag 320). Omdat de sinus daalt wordt de amplitude andersom berekend: gws 15 aug minus gws 15 feb.

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 (q/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)
Serk lemig zand / loss	= 0,002 x e ^(0,0343x GHG)
Lichte zavel	= 0,0024 x e ^(0,0329x GHG)
Zware zavel	= 0,0028 x e ^(0,0266x GHG)
Klei	= 0,002 x e ^(0,034 x GHG)
Ontwateringsbasis 120 cm –mv	
Veen	= 0,0009 x e ^(0,0295x GHG)
Dekzand	= 0,0013 x e ^(0,0223x GHG)
Sterk lemig zand / loss	= 0,0013 x e ^(0,025x GHG)
Lichte zavel	= 0,0014 x e ^(0,0258x GHG)
Zware zavel	= 0,0013 x e ^(0,0267x GHG)
Klei	= 0,0013 x e ^(0,0257x 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 (Huinink 2011)

Landbouw

Cadmium	Richtwaarden (mg/kg droge grond)					
	Zand	zavel	klei	kleiig 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	kleiig 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	Kleiig 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	Kleiig 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	Kleiig 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	kleiig 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	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	
Veevoeder- gewassen	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
Moestuin	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
Moestuin	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
Moestuin	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 57	75 68	141 90	194 111	96 57	48 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/ dieldrin	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