

stowa

KENNIS OVER INDIRECTE NAT- EN DROOGTESCHADE BIJ GRAS EN MAÏS VOOR WATERWIJZER LANDBOUW



RAPPORT

2017
W01

KENNIS OVER INDIRECTE NAT- EN DROOGTESCHADE
BIJ GRAS EN MAÏS VOOR WATERWIJZER LANDBOUW

RAPPORT

2017
WO1



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS

Jan van Bakel (De Bakelse Stroom)
Idse Hoving (Wageningen UR Livestock Research)

BEGELEIDING

Jan Jaap Buuse (Vitens)
Jeroen Castelijns (Brabant Water)
Johan Elshof/Wubbo de Raad (LTO)
Myrjam de Graaf (Waterschap Limburg)
Chris Griffioen (vz, Waterschap Drents Overijsselse Delta)
Han Grobbe (ACSG)
Jan Huinink (Ministerie van EZ)
Saske Klerks(ACSG)
Hans Mankor (Provincie Utrecht)
Rob Ruijtenberg (Bureau WeL namens STOWA)
Jan Strijker (Provincie Zuid-Holland)
Michelle Talsma (STOWA)
Wim Werkman (Rijkswaterstaat)
Bas Worm (Zoetwatervoorziening Oost Nederland (ZON)/Waterschap Vechtstromen)

ONDERZOEK MEDE MOGELIJK GEMAAKT DOOR

Rijkswaterstaat, provincie Utrecht, provincie Zuid-Holland, AdviesCommissie Schade Grondwater (ACSG), VEWIN, Zoetwatervoorziening Oost Nederland (ZON), Alterra /Minis-terie van EZ, De Bakelse Stroom en STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2017-W01

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

WOORD VOORAF

Deze notitie is een product van literatuuronderzoek en consultatie van experts. Versies van deze notitie zijn besproken in de projectgroep Waterwijzer waarvan, naast de auteurs, de volgende personen medio 2015 lid waren:

- Mirjam Hack (Wageningen Environmental Research (Alterra));
- Ruud Bartholomeus (KWR Watercycle Research Institute);
- Jos van Dam (Wageningen Environmental Research);
- Joop Kroes (Wageningen Environmental Research (Alterra));
- Frank van der Bolt (Wageningen Environmental Research (Alterra));
- Gertjan Holshof (WUR-Livestock Research);
- Dennis Walvoort (Alterra).

Op 2 juli 2015 is bij Alterra een bespreking gehouden van een eerdere versie van deze notitie waarbij, naast de auteurs, de volgende personen aanwezig waren:

- Mirjam Hack;
- Henk Schilder (WUR-Livestock Research);
- Jan van den Akker (Wageningen Environmental Research (Alterra));
- Ebbing Kiestra (Wageningen Environmental Research (Alterra));
- Gert Stoffelsen (Wageningen Environmental Research (Alterra)).

Naar aanleiding van dit overleg is de notitie bijgesteld en voorgelegd voor commentaar aan Henk Vroon (Wageningen Environmental Research). De auteurs danken alle genoemde personen voor hun bijdrage.

Jan van Bakel
Idse Hoving

SAMENVATTING

INLEIDING

Droogteschade, zoutschade en natschade aan landbouwgewassen zijn te relateren aan de waterhuishoudkundige toestand. Deze schade kan direct of indirect optreden. Om een methodiek te ontwikkelen waarmee landbouwschade kan worden geschat in afhankelijkheid van agrohydrologische omstandigheden is zowel kennis over directe als over indirecte droogte- en natschade nodig. Kennis over indirecte schade is momenteel echter niet operationeel voor inbouw in Waterwijzer. Deze studie heeft als doel de kennis over indirecte schade bij gras en maïs te actualiseren en geschikt maken voor opname in de schadeberekening.

INDIRECTE DROOGTE- EN NATSCHADE

Vormen van indirecte droogteschade zijn onder meer achteruitgang in botanische samenstelling van de graszode door regelmatige droogtestress, (gedeeltelijk) afsterven van de zode na langdurige (extreme) droogtestress, verzuring van de wortelzone doordat basenrijke kwel wegvault ten gunste van wegzijging, remming van de kieming na (her)inzaai grasland of een ander gewas, niet of minder aanslaan van kiemplanten, indrogen van kleigrond waardoor een groot deel van het neerslagwater de wortelzone passeert via krimpscheuren, (versterkte) afbraak van veengrond, achteruitgang van de afrijping of kwaliteit van het oogstbaar product, en (vervroegd) afsterven van het gewas.

Vormen van natschade zijn onder meer verminderde bewerkbaarheid, berijdbaarheid en betreedbaarheid door verminderde draagkracht, vertrappingsverliezen, berijdingsverliezen, structuurbederf van de bodem, vertraagde gewasgroei door afkoeling van natte grond, verminderde stikstofmineralisatie, schade door inundatie, schade door ziekten en plagen die beter gedijen onder natte omstandigheden, en verschuiving in de botanische samenstelling van de grasmat doordat sommige grassoorten minder concurrerend zijn onder natte omstandigheden en andere juist meer.

UITGANGSPUNTEN LITERATUURONDERZOEK EN IMPLEMENTATIE IN WATERWIJZER

Het literatuuronderzoek beperkte zich tot de teelt van maïs en gras voor de melkveehouderij. De bodemeigenschappen sluiten aan op de 72 bodemeenheden van BOFEK2012. Om vernatting te kunnen vertalen in beperking van het graslandgebruik, wordt veel aandacht besteed aan het opstellen van bodemafhankelijke draagkrachtfuncties. De te operationaliseren kennis over indirecte natschade moet voldoende zijn gevalideerd. De verzamelde kennis en expertise moet te operationaliseren zijn in Waterwijzer, als input voor de bedrijfsvoering of als nabewerking. De effecten moeten daarom zijn te koppelen aan nog te kiezen hydrologische karakteristieken zoals drukhoogte in de wortelzone. De kennis moet te vertalen zijn in effecten op de bedrijfsvoering en daarmee op bedrijfskenmerken/kengetallen als ruwvoeropbrengsten, extra voeraankoop, verandering aandeel weiden en verandering hoeveelheid drijfmest. Schade door inundatie van perceelsvreemd water wordt niet beschouwd, omdat daarvoor de WaterSchadeSchatter is ontwikkeld.

Het instrumentarium Waterwijzer Landbouw bouwt voor wat de veehouderij betreft voort op het Waterpasmodel. Binnen Waterpas zijn de modellen BedrijfsBegrotingsProgramma Rundveehouderij (BBPR) en SWAP aan elkaar gekoppeld om de interactie tussen de vochttoestand van de bovengrond en grasgroei in modelsimulaties mee te kunnen nemen, aanvanke-

lijk op jaarbasis en tegenwoordig op dagbasis. Bij de koppeling op dagbasis zijn vochttoestand en grasgroei volledig geïntegreerd.

Door rekening te houden met interacties tussen de beschikbaarheid van stikstof als meststof, de grasproductie, de grasopname, de melkproductie, de mestproductie en het graslandgebruik hebben berekeningen op bedrijfsniveau voor de melkveehouderij een grote meerwaarde.

Voor het berekenen van de schadepercentages worden voor Waterwijzer Landbouw een aantal wijzigingen voorzien. De integratie van hydrologie en gewasgroei met SWAP-WOFOST komt in de plaats van SWAP en GRAMIN/GRAS2007. De directe natschade (zuurstofstress) is ingebouwd in SWAP. SWAP berekent per tijdstap drukhoogtes, grondwaterstanden en eventueel schijngrondwaterstanden waaruit per dag (een) waarde(n) wordt getrokken die nodig is om indirecte schades te bepalen of om hydrologische karakteristieken te bepalen (zoals GXG) waarmee indirecte schades zijn gerelateerd. Per bedrijfstype worden x percelen gedefinieerd met elk een eigen hydrologie en een groot aantal bedrijfskenmerken die bepalen hoe er beweid en/of gemaaid gaat worden en hoe droge stofopbrengsten en bijvoeding worden omgezet in melkproductie c.q. bedrijfsresultaat. Voor de mechanisatietypering van de bedrijven wordt uitgegaan van het topsegment van de gebruikte landbouwmachines in 2010 en wordt rekening gehouden met de reeds bestaande verdichting van de ondergrond. Elk perceel heeft een eigen relatie met het oppervlaktewater in de vorm van tijdsverloop van oppervlaktewater en een op basis van digitaal beschikbare, gebiedsdekkende hulpinformatie over ontwateringsmiddelen bepaalde drainageweerstandrelatie, plus een relatie met de omgeving via een Cauchy-onderrandvoorwaarde. Per bedrijfstype worden 30 weerjaren doorgerekend die het huidige klimaat en nader te bepalen klimaatreeksen regionaal gedifferentieerd weergeven. Als er kan worden berekend worden criteria daarvoor gehanteerd. Vooralsnog wordt verondersteld dat berekening niet leidt tot een andere onderrandvoorwaarde. Per perceel wordt per dag bekeken of het 'aan de beurt is' om beweid of gemaaid te worden en of dit mogelijk is, op basis van de drukhoogte op 10 cm -mv. Via een opzoektabel wordt een indringingsweerstand bepaald en of hierbij niet beweid of bereiden kan worden. Als het mogelijk is wordt berekend welke vertrappings- of berijdingsverliezen er optreden indien de indringingsweerstand minder is dan de grenswaarde waarboven geen vertrappings- of berijdingsverliezen voorkomen. Daarvoor is per perceel een relatie beschikbaar via koppeling BOFEK2012-eenheid aan bodemafhankelijke relatie tussen indringingsweerstand en vertrappings- resp. berijdingsverliezen. Voor sommige gronden is deze relatie afhankelijk van de (schijn)grondwaterstand(sarakteristiek), de droogleggingskarakteristiek en de intensiteit-van-berijding-karakteristiek. In die gevallen moet herberekening plaatsvinden. Overige tweede-orde-effecten die te relateren zijn aan de berekende (schijn)grondwaterstand of drukhoogte op een bepaalde diepte in de onverzadigde zone, of daarvan afgeleide karakteristieken, worden als nabewerking in rekening gebracht: maaiveld daling door veenafbraak, verdichting ondergrond, vermindering bewortelingsdiepte en extra verslemping. Met het BedrijfsBegrotingsProgramma Rundvee (BBPR) kunnen landbouwkundige, milieukundige en bedrijfseconomische kengetallen worden berekend, waarmee de fysieke effecten worden omgezet in verandering in euro's per ha.

RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK NAAR INDIRECTE NATSCHADE BIJ GRAS

Koeien in de wei beschadigen de zode waardoor vertrappingsverliezen optreden, die groter zijn naarmate de draagkracht geringer is. Ook bij berijding of zodebemesting treden verliezen op. De draagkracht van de grond bepaalt of grasland kan worden beweid of bereiden en wat

de vertrappings- en berijdingsverliezen zijn. Een maat voor draagkracht is indringingsweerstand.

Met blijvende structuurverandering wordt bij grasland gedoeld op de verdichting van wortelzone en bodem onder de bouwvoor onder invloed van berijding met zware machines. Deze verdichting leidt onder andere tot verminderde infiltratiecapaciteit, minder vochtleverend vermogen, minder aeratie, minder bodemleven, veranderde en veelal geringere verzadigde doorlatendheid, veranderde onverzadigde doorlatendheid, verminderde bewortelbaarheid en betere betreedbaarheid en bewerkbaarheid (bij dezelfde vochtspanning).

Onder verslemping verstaan we de bodemkundige eigenschap waarbij het bovenste laagje van 1 à 2 cm dikte van de bouwvoor door regen gemakkelijk verspoelt, zodat de bodemdeeltjes bij opdrogen een harde korst op de grond vormen. Dit kan vooral bij lichte zavelgronden en leemgronden optreden. Doordat een gezonde grasmat voldoende weerstand tegen verslemping biedt, speelt bij grasland verslemping alleen een rol als wordt ingezaaid. In principe wordt de verslemping verergerd door natte beginomstandigheden maar de relatie met de waterhuishoudkundige toestand van de bodem wordt verondersteld zwak te zijn.

Het begin van de grasgroei is te relateren aan het aantal graaddagen (de som van de overschrijding van een bepaalde waarde van de gemiddelde temperatuur, van dagen vanaf een bepaalde datum vroeg in het voorjaar). Natte grond warmt in het voorjaar langzamer op dan droge, waardoor de grasgroei wordt uitgesteld. Dit uitstel wordt geschat op maximaal twee weken en gemiddeld één week. In het najaar koelt natte grond wellicht minder snel af dan droge, vanwege de grote warmtecapaciteit van water. Het is niet bekend of dit opweegt tegen de betere geleidbaarheid van natte grond. Het effect op graslandproductie zal minder zijn dan aan de start van het groeiseizoen in het voorjaar omdat grasland in het najaar niet meer zo productief is.

Zuurstofgebrek in de bodem bevordert de afbraak van nitraat, met wellicht verminderde beschikbaarheid van stikstof tot gevolg en gevolgen voor de grasopbrengst. De mogelijkheden om dit te compenseren met extra stikstoftoediening zijn vanwege de mestwetgeving beperkt. Omdat de kans op zuurstofgebrek is te relateren aan de vochttoestand van de bodem is er een relatie tussen waterhuishoudkundige toestand van de het perceel en de opbrengstreductie door stikstofgebrek.

Als land inundeert kan het gewas niet meer worden gebruikt als veevoer, zeker als inundatie vanuit waterlopen plaatsvindt. Onderscheid is dus nodig tussen inundatie door hoge grondwaterstanden of inundatie vanuit waterlopen. Water op het land door overschrijding van de infiltratiecapaciteit wordt verondersteld zo kortstondig te zijn dat dit geen indirecte schade tot gevolg heeft. Door water op het land raakt de wortelzone verzadigd met water, waardoor vooral bij akkerbouwgewassen al na één dag verrotting van oogstbare producten kan optreden. Ook bij grasland kan de snede verrotten als deze langere tijd onder water ligt. Daarnaast kan gedurende een bepaalde periode het bouwland niet worden bereiden of bewerkt, of kan het grasland niet worden bereiden of beweiden.

Onder natte omstandigheden zullen diverse ziekten en plagen meer optreden, maar schade van bijvoorbeeld mollen en veldmuizen kan afnemen. De relatie tussen kans op ziekten en plagen en waterhuishoudkundige toestand is op basis van de literatuur nog niet voldoende te kwantificeren.

De samenstelling van de grasmat is voor een deel het resultaat van onderlinge concurrentiekracht tussen grassoorten die afhangt van het hydrologisch regime. Onder natte omstandigheden nemen de aan natte omstandigheden geadapteerde, landbouwkundig minder gewaardeerde, grassoorten de overhand waardoor de grasproductie minder kan worden.

Als aan natte omstandigheden geadapteerde, landbouwkundig minder gewaardeerde, grassoorten de overhand krijgen kan de voederwaarde van het gras sterk dalen. Op basis van expertkennis is binnen BBPR een correctie aan te brengen op de netto kVEM-opbrengst en deze werkwijze is daarmee ook opgenomen in Waterwijzer.

RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK INDIRECTE NATSCHADE BIJ MAÏS

De teelt van snijmaïs voor de melkveehouderij is te vergelijken met een eenjarig akkerbouwgewas. Voor elke bewerking of berijding dienen grenzen voor de indringingsweerstand voor optimale en onmogelijke omstandigheden te worden vastgesteld. Voor het tussentraject dient de relatie tussen hydrologische variabele en structuurschade te worden vastgesteld. Uitstel van de zaaidatum geeft opbrengstverlies. De bouwvoor mag bij het zaaien niet te dicht zijn. Bij losse grond is de opkomst gedurende een droge periode te traag, terwijl bij matige en vooral sterk verdichte gronden de wortelgroei in de bouwvoor soms beperkt is door zuurstofgebrek. Ook kan de indringingsweerstand te hoog zijn, vooral onder droge omstandigheden. Voor de grenzen van bewerkbaarheid en berijdbaarheid voor maïs in het voorjaar kan kennis worden benut die voor akkerbouwgewassen beschikbaar is. Een koppeling van gemeten drukhoogte en bewerkbaarheid/berijdbaarheid is ook mogelijk. In de praktijk wordt eerder voor een vroeg ras dat minder opbrengt gekozen naarmate de kans op natte omstandigheden in het najaar groter is.

Bij sommige bodems treedt bij zware neerslag na het zaaien korstvorming op waardoor de kieming van maïs kan worden belemmerd. De relatie met de ontwateringstoestand is zwak, maar het vervloeien van de bodem bij hoge vochtgehalten (interne slemp) is wel afhankelijk van de ontwateringstoestand.

Maïs is gevoelig voor koude na het zaaien. In de literatuur is geen bruikbare relatie voor Nederlandse omstandigheden gevonden om deze gevoeligheid om te zetten in opbrengstreductie.

Verkruielbaarheid is in het WIB-systeem een aanduiding van het gemak waarmee de bouwvoor zich laat verkruielen en van de breedte van het vochtgehalte waarbinnen dit mogelijk is. Dit kan vooral een probleem zijn bij kleigronden. Omdat naar schatting slechts 15% van de maïs op kleigrond wordt geteeld is verkruielbaarheid voor Waterwijzer Landbouw van minder belang.

RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK ZOUTSCHADE BIJ GRAS EN MAÏS

Gras is als tolerant en snijmaïs als matig gevoelig te classificeren voor zout in de wortelzone. Aan de literatuur zijn geen cijfers te ontleen van zoutschade door beregening met brak water in Nederland. Deze vorm van zoutschade wordt niet als een probleem gezien omdat het niet of nauwelijks voorkomt, mogelijk door de zouttolerantie van gras of doordat maïs niet of nauwelijks wordt beregend.

RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK INDIRECTE DROOGTESCHADE BIJ GRAS EN MAÏS

Voor gras en snijmaïs zijn de volgende vormen van indirecte droogteschade mogelijk van

belang: achteruitgang in botanische samenstelling van de graszode, (gedeeltelijk) afsterven van de zode na langdurige en extreme droogtestress, remming van de kieming na (her)inzaai van grasland of na zaaien van maïs, vertraagde herbevochtiging als gevolg van (gedeeltelijk) irreversibel indrogen van (klei)grond en (versnelde) afbraak van veen.

Door structurele droogteschade kan de samenstelling van de grasmat verschuiven naar minder productieve soorten en dus mindere kwaliteit van het gras, waardoor het nodig is vaker te herinzaaien. Een economische kosten-baten analyse hiervoor is mogelijk met de Herinzaaiwijzer van Livestock Research van Wageningen-UR (<http://webapplicaties.wur.nl/software/herinzaaiwijzerfe/>).

Bij lang aanhoudende extreme droogte 'verbrandt' de zode, waarmee al dan niet irreversibele tweede-orde effecten van droogtestress op het assimilatievermogen van gras worden bedoeld. Voor verbrand gewas is na herbevochtiging tijdelijk geen normale drogestofproductie meer mogelijk. Bij ernstige verbranding is herinzaai nodig. De mate van verbranding is te koppelen aan temperatuur en berekende verdampingsreductie per snede.

Kieming van graszaad in het voorjaar kan bij sterk drogend weer en vooral bij een losse bovengrond worden geremd en het opgekomen gras kan afsterven. Vermoedelijk hangt dit eerder met bodemsamenstelling dan met grondwaterstand samen. Door berekening kan remming of afsterving van pas opgekomen gras worden voorkomen.

Zwellende en krimpende gronden en waterafstotende gronden kunnen na overschrijding van een bepaalde uitdrogingsgrens (tijdelijk) moeilijker worden herbevochtigd, waardoor deze gronden meestal droogtevoeliger zijn dan op grond van de 'normale' bodemeigenschappen wordt berekend. Met berekening kan dit proces worden voorkomen of verminderd en dit dient in de berekening van de effecten ervan te worden verdisconteerd.

Bij verlaging van de grondwaterstand door grondwaterwinning kan de pH dalen doordat kalkrijke kwel wegvalt. Hierdoor verzuurt de wortelzone, waardoor de samenstelling van het bodemleven kan veranderen en de groei/kwaliteit van het gewas verminderen. Verzuring kan worden opgeheven door (extra) bekalking en is dan een kostenpost.

Mineralisatie van veen wordt versneld als zuurstof kan toetreden doordat veenlagen boven de grondwaterstand komen te liggen. Dit leidt tot ongewenste effecten zoals meer productie van CO₂, meer uitspoeling van N en P en (extra) maaiveldsdaling. Voor ontwaterde veengronden is de relatie tussen waterhuishouding en veenafbraak/daling van het maaiveld uitermate belangrijk. Maaiveldsdaling leidt meestal tot een holle maaiveldligging binnen het perceel. De middendelen van de percelen zijn daardoor in natte tijden (bolle grondwaterspiegel) extra nat en extra kwetsbaar voor plasvorming. In de voortdurend dalende veenweiden neemt wegzijging af of kwel toe, waardoor percelen steeds natter of minder droog worden. Dit is wel afhankelijk van de ontwikkeling in de tijd van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. Maaiveldsdaling kan worden geremd met onderwaterdrainage, waarbij de drains permanent onder slootpeil en op relatief korte (4-6 m) afstand van elkaar liggen. Voordelen voor het landbouwkundig gebruik zijn de extra wateraanvoer in droge tijden en extra waterafvoer in natte tijden, zoals het voorjaar. Zowel droogteschade als natschade kunnen dus worden verminderd. Daarnaast kunnen onderwaterdrains nadelige indirecte effecten in de vorm van ongeschiktheid voor berijding en matige beschikbaarheid voor de plant van meststoffen verminderen.

Stuifgevoeligheid van grond hangt vooral af van lutum- en leemgehalte, organischestofgehalte en vochtgehalte van de bouwvoor. Alleen de relatie tussen stuifgevoeligheid en lutum- en leemgehalte is beschreven. Bij scherp drogend weer en harde wind kunnen vooral leemarme en zwaklemige gronden ernstig verstuiven, waarbij vooral de plekken met laag organischestofgehalte het meest verstuiven, wat meestal ook de hoogste plekken in het perceel zijn. De relatie met de grondwaterstand is zwak, waardoor vooralsnog geen relatie is te leggen met de waterhuishoudkundige variabelen zoals grondwaterstand of drukhoogte op een bepaalde diepte in de wortelzone.

Op overstromingsgronden met een betonstructuur kunnen bij verdroging zelfs kiemplantjes afbreken.

VOORSTELLEN VOOR OPERATIONALISERING IN WATERWIJZER LANDBOUW

Tabel S1, S2 en S3 geven een overzicht van de wijze waarop de indirecte effecten in Waterwijzer Landbouw (WWL) zullen worden geoperationaliseerd, voor gras en snijmaïs. Tevens is gemotiveerd waarom een bepaald aspect wel of niet wordt opgenomen.

TABEL S1 INDIRECTE NATSCHADE BIJ GRAS

Aspect	Inschatting van belang	Wel/niet in WWL	Hoe resp. motivatie voor niet meenemen
Berijdbaarheid/betreedbaarheid	Zeer groot	Wel	Gekoppeld aan kritieke drukhoogtes op 15 resp. 10 cm -mv
Bodemtemperatuur	Groot	Wel	Begin grasgroei gekoppeld aan gesimuleerde bodemtemp. op 10 cm -mv (8 graden)
Blijvende structuurschade	Groot	Niet	Onvoldoende kennis om voor alle bodems aan te geven wat de actuele situatie is
Verslemping	Klein	Niet	Lang niet alle gronden zijn slempgevoelig Is voor grasland nauwelijks aan de orde
Denitrificatie/N-mineralisatie	Groot	Niet	In SWAP-WOFOST geen koppeling gewasgroei aan gesimuleerde N-huishouding van de wortelzone
Inundatie door hoge grondwaterstanden	Gering	Niet	Via zuurstofstressmodule in SWAP wordt de daardoor veroorzaakte directe natschade gekwantificeerd
Inundatie door 'gebiedsvreemd' water	Gering	Niet	Wordt meegenomen in de WSS (STOWA-rapport 2013-11)
Ziekten en plagen	Gering	Niet	Beschikbare kennis niet generiek toepasbaar
'Achteruitgang' botanische samenstelling	Groot	Wel	beslisregels in BBPR

TABEL S2 INDIRECTE DROOGTESCHADE BIJ GRAS

Aspect	Inschatting van belang	Wel/niet in WWL	Hoe resp. motivatie voor niet meenemen
'Achteruitgang' botanische samenstelling c.q. afsterven zode	Matig	Wel	Als nabewerking. Frequentie herinzaai gekoppeld aan opbrengstreductie door droogte
Vertraagde herbevochtiging	Gering	Niet	Beschikbare kennis niet generiek toepasbaar
Verzuring	Gering	Niet	Geen <i>proven knowledge</i> (wel praktijk bij winning Mander)
Afbraak van veen	Zeer groot	Wel	Nabewerking. In kader van aparte opdracht wordt apart gerekend met en zonder onderwaterdrainage

TABEL S3 INDIRECTE NAT- EN DROOGTESCHADE BIJ SNIJMAÏS

Aspect	Inschatting van belang	Wel/niet in WWL	Hoe resp. motivatie voor niet meenemen
Bewerkbaarheid/berijdbaarheid	Groot	Wel	Gekoppeld aan drukhoogte op 20 cm –mv
Natte grond is koude grond	Matig	Wel	Verlating zaaidatum c.q. opkomst gekoppeld aan gesimuleerde bodemtemp op 6 cm –mv
Blijvende structuurschade	Groot	Niet	Onvoldoende kennis om voor alle bodems aan te geven wat de actuele situatie is
Verslemping	Gering	Niet	Mogelijk te koppelen aan slempgevoeligheid uit WIB-methode. Periode dat het aan de orde is, is kort
Verstoorde kolfzetting en vervroegde afsterving	Matig	Wel	Als nabewerking. Eerder oogsten als groei voor langere tijd (vrijwel) tot stilstand is gekomen
Inundatie door hoge grondwaterstanden	Gering	Wel	Via zuurstofstressmodule in SWAP en daardoor veroorzaakte directe natschade
Inundatie door 'gebiedsvreemd' water	Gering	Niet	Wordt meegenomen in de WSS (STOWA-rapport 2013-11)
Ziekten en plagen	Matig	Niet	Beschikbare kennis niet generiek toepasbaar

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

KENNIS OVER INDIRECTE NAT- EN DROOGTESCHADE BIJ GRAS EN MAÏS VOOR WATERWIJZER LANDBOUW

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	WOORD VOORAF	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Probleemstelling	1
1.3	Projectdoelstelling	1
1.4	Opbouw van dit rapport	1
2	INDIRECTE DROOGTE- EN NATSCHADE	3
3	UITGANGSPUNTEN LITERATUURONDERZOEK EN IMPLEMENTATIE IN WATERWIJZER	5
3.1	Afbakening literatuuronderzoek	5
3.2	Vertrekpunt voor implementatie in Waterwijzer Landbouw	5
3.3	Voorziene wijzigingen	8
4	RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK NAAR INDIRECTE NATSCHADE BIJ GRAS	11
4.1	Vertrappings- en berijdingsverliezen	11
4.1.1	Factoren die de indringingsweerstand beïnvloeden	11
4.1.2	Relatie tussen indringingsweerstand en draagkracht	15
4.1.3	Relatie tussen indringingsweerstand en bodemeigenschappen en grondwaterstand	17
4.1.4	Relaties tussen indringingsweerstand en verliezen	20
4.1.5	Koppeling indringingsweerstand aan drukhoogte	22
4.1.6	Koppeling berijdbaarheid/betreedbaarheid aan drukhoogte via veldwaarnemingen	23
4.2	Blijvende bodemstructuurverandering	24
4.2.1	Inleiding	24
4.2.2	Kwantificering van de verdichting	24
4.2.3	Effecten van verandering in bodemstructuur op de waterhuishouding	25
4.3	Verslemping	29
4.4	Natte grond is koude grond	29
4.5	Denitrificatie	30
4.6	Inundatie	30
4.7	Ziekten en plagen	31
4.8	Verschuiving in botanische samenstelling van de grasmat	31

5	RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK INDIRECTE NATSCHADE BIJ MAÏS	32
5.1	Inleiding	32
5.2	Literatuuroverzicht	32
6	RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK ZOUTSCHADE BIJ GRAS EN MAÏS	36
7	RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK INDIRECTE DROOGTESCHADE BIJ GRAS EN MAÏS	38
7.1	Achteruitgang in botanische samenstelling van de graszode	38
7.2	(Gedeeltelijk) afsterven van de zode	39
7.3	Remming van de kieming en opkomst	39
7.4	Vertraagde herbevochting	39
7.5	Verzuring	39
7.6	Afbraak van veen	39
7.7	Stuifgevoeligheid	40
7.8	Overige aspecten	41
8	VOORSTELLEN VOOR OPERATIONALISERING IN WATERWIJZER	42
8.1	Grasland	42
8.1.1	Inleiding	42
8.1.2	Koppeling bedrijfsvoering aan beperking van de beweidbaarheid/berijdbaarheid	42
8.1.3	Koppeling grasgroei aan bodemtemperatuur (natte grond is koude grond)	47
8.1.4	Overige vormen van indirecte natschade	47
8.1.5	Indirecte droogteschade	49
8.2	Maïs	51
8.2.1	Inleiding	51
8.2.2	Koppeling zaaien en oogsten aan bewerkbaarheid en berijdbaarheid	51
8.2.3	Koppeling tijdstip van zaaien en gewasgroei aan bodemtemperatuur	51
8.2.4	Overige vormen van indirecte nat- en droogteschade	51
8.2.5	Samenvattende tabellen indirecte effecten	53
	LITERATUUR	54
Bijlage 1	Beschouwingen over koppeling hydrologische karakteristieken aan droogte- en natschade	59
Bijlage 2	Nadere uitwerking 2e orde effecten	63
Bijlage 3	Draagkracht van de bodem in het Waterpas-model	65

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

De opbrengst van landbouwgewassen die in theorie mogelijk is wordt in de praktijk meestal niet gehaald omdat er schade optreedt. Vormen van schade die zijn te relateren aan de waterhuishoudkundige toestand zijn:

- 1 Droogteschade
- 2 Zoutschade
- 3 Natschade

Voor een beschrijving van zoutschade verwijzen wij naar Van Bakel en Stuyt (2011). Hier gaan wij in op droogte- en natschade.

Droogteschade is onder te verdelen in directe en indirecte droogteschade. Directe droogteschade is het gevolg van verminderde wateropname door de wortels als gevolg van droge omstandigheden in de wortelzone, waardoor de gewasverdamping, -groei en opbrengst worden gededuceerd. Met SWAP-WOFOST wordt deze vorm van droogteschade gesimuleerd.

Natschade is eveneens onder te verdelen in directe en indirecte natschade. Directe natschade is een gevolg van te natte omstandigheden in de wortelzone waardoor de water- en/of voedingsstoffenopname door de platenwortels wordt geremd of wortels afsterven. De zuurstofstressmodule in SWAP-WOFOST neemt de afremming van vochttopname door plantenwortels voor zijn rekening. Er wordt nog geen rekening gehouden met de afname van voedingsstoffenopname en het afsterven van plantenwortels.

1.2 PROBLEEMSTELLING

Om een methodiek te ontwikkelen waarmee landbouwschade kan worden geschat in afhankelijkheid van agrohydrologische omstandigheden is niet alleen kennis over directe droogte- en natschade nodig, maar ook over indirecte. Deze kennis over indirecte schade is momenteel niet operationeel voor inbouw in Waterwijzer.

1.3 PROJECTDOELSTELLING

Het doel van dit onderzoek is de kennis over indirecte schade bij gras en maïs, inclusief structuurbederf en gewaskwaliteit, te actualiseren en deze kennis geschikt maken voor opname in de schadeberekening.

1.4 OPBOUW VAN DIT RAPPORT

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de vormen van indirecte droogte- en natschade. Hoofdstuk 3 geeft voor de meest voorkomende vormen van indirecte natschade een overzicht van de stand van de kennis met betrekking tot grasland en maïs, in relatie tot de mogelijkheden

deze kennis is Waterwijzer in te bouwen. De daarbij gehanteerde uitgangspunten worden hieronder beschreven.

Impliciet of expliciet is daarbij aangenomen dat voor het opstellen van de relaties tussen waterhuishouding en opbrengst bij de teelt van gras en maïs voor de melkveehouderij de bedrijfsvoering wordt meegenomen.

2

INDIRECTE DROOGTE- EN NATSCHADE

Vormen van indirecte droogteschade zijn onder andere:

- **Achteruitgang in botanische samenstelling van de graszode**, als gevolg van regelmatig optredende droogtestress;
- (Gedeeltelijk) **afsterven van de zode**, na een aanhoudende lange periode van (extreme) droogtestress;
- **Verzuring van de wortelzone** doordat basenrijke kwel wegvalt ten gunste van wegzijging;
- **Remming van de kieming** na (her)inzaai grasland of een ander gewas;
- **Niet of minder aanslaan van kiemplanten**;
- **Indrogen** van kleigrond met als gevolg dat een groot deel van het neerslagwater de wortelzone passeert via krimpscheuren die pas in de winter weer volledig zijn dichtgezwollen;
- **(Versterkte) afbraak** van veengrond;
- **Achteruitgang van de kwaliteit van het oogstbaar product**, zoals doorgroei bij aardappels waardoor sortering ongunstig wordt beïnvloed;
- **Verslechterde kolfzetting en geringere korrelvulling bij maïs**;
- Verschil in afrijping en/of verschil in kwaliteit, als gevolg van **langdurig onregelmatige luchtinsluitingen** die in het bodemprofiel ontstaan wanneer tijdens het groeiseizoen perioden met weinig of geen neerslag van betekenis worden gevolgd door perioden met een neerslagoverschot, waardoor het vocht onregelmatig in het bodemprofiel wordt verdeeld (dit komt bij producten zoals erwten zeer nauw);
- **(Vervroegd) afsterven van het gewas**.

Indirecte natschade kent vele uitingvormen (zie ook Bartholomeus et al., 2013):

- **Verminderde bewerkbaarheid, berijdbaarheid en betreedbaarheid** als gevolg van verminderde draagkracht: hoe natter de wortelzone hoe geringer de draagkracht, wat leidt tot uitstel van zaaien of poten, niet of niet op tijd kunnen spuiten of oogsten, of niet op de gewenste tijd kunnen beweiden, maaien en gras binnenhalen;
- **Vertrappingsverliezen**, die groter worden naarmate rundvee de zode vertrappt onder nattere omstandigheden;
- **Berijdingsverliezen**, doordat berijding van grasland onder natte omstandigheden extra schade aan de grasmat veroorzaakt;
- **Structuurbederf** in de bouwvoor en/of ondergrond, veroorzaakt door berijding onder natte omstandigheden, vervolgschade tot gevolg;
- **Structuurbederf door verslemping** in lichte zavelgronden en leemgronden die daarvoor gevoelig zijn en wordt verergerd door natte omstandigheden in de bouwvoor, met als gevolg een verstuurde zuurstofhuishouding verstoord en de kans dat denitrificatie optreedt;
- **Natte grond is koude grond**, waardoor op nat grasland de gewasgroei later op gang komt, bouwland later kan worden ingezaaid en/of het gewas later opkomt, met gevolgen voor de opbrengsten;
- **Verminderde stikstofmineralisatie** doordat door zuurstofgebrek in de bodem de afbraak en omzetting van organische mest en van organische stof wordt geremd, wat kan leiden

tot stikstofgebrek of extra stikstofbemesting (als dat is toegestaan vanuit de mestwetgeving);

- **Inundatie**, waardoor het geïnundeerde gewas niet meer kan worden gebruikt als veevoer, zeker als dat perceelsvreemd water is (afkomstig van inundatie vanuit waterlopen). Onderscheid is dus nodig tussen water op het land door hoge grondwaterstanden en water op het land door inundatie vanuit waterlopen. Daarnaast kan er uiteraard gedurende een bepaalde periode het bouwland niet worden bereiden of bewerkt of kan het grasland niet meer worden bereiden of beweiden. De directe effecten van inundatie worden door de zuurstofstressmodule meegenomen;
- **Ziekten en plagen**, doordat talrijke ziekten en plagen beter gedijen onder natte omstandigheden: bijvoorbeeld leverbot bij koeien en schapen, structuur- en vraatschade van ganzen. Het tegenovergesteld kan ook het geval zijn (denk aan mollen en veldmuizen).
- **Verschuiving in de botanische samenstelling van de grasmatten**, doordat sommige grassoorten minder concurrerend zijn onder natte omstandigheden en andere juist meer. Omdat niet alle grassoorten even productief of smakelijk zijn kan dit leiden tot productieverlies of kwaliteitsverlies van het oogstbare product.

3

UITGANGSPUNTEN LITERATUURONDERZOEK EN IMPLEMENTATIE IN WATERWIJZER

Het is van belang de uitgangspunten voor het opstellen en uitvoeren van de werkzaamheden helder vast te stellen. Deze zijn te splitsen in uitgangspunten voor begrenzing van het literatuuronderzoek en het vertrekpunt voor inbouw van kennis uit de literatuur in het instrumentarium Waterwijzer.

3.1 AFBAKENING LITERATUURONDERZOEK

Vanwege beperkte tijd en budget is het literatuuronderzoek afgebakend volgens de volgende uitgangspunten:

- 1 Alleen de teelt van maïs en gras voor de melkveehouderij worden in beschouwing genomen.
- 2 Alleen reeds uitgevoerde onderzoeken worden meegenomen.
- 3 Voor de bodemeigenschappen wordt aangesloten op de 72 BOFEK2012-bodemeenheden (Wösten et al., 2013).
- 4 Om vernatting te kunnen vertalen in beperking van het graslandgebruik, wordt de draagkracht van de bodem cruciaal geacht en moet relatief veel aandacht worden besteed aan het opstellen van bodemafhankelijke draagkrachtfuncties.
- 5 De te operationaliseren kennis over indirecte natschade moet voldoende zijn gevalideerd.
- 6 De verzamelde kennis en expertise moet te operationaliseren zijn in Waterwijzer, hetzij als de input voor de bedrijfsvoering, hetzij als nabewerking (bijvoorbeeld extra schade door ziekten en plagen en schade door verandering van de samenstelling van de grasmat). Dat betekent dat de effecten moeten zijn te koppelen aan nog te kiezen hydrologische karakteristieken, bijvoorbeeld drukhoogte in de wortelzone. Zie ook Bijlage 1.
- 7 De te operationaliseren kennis moet te vertalen zijn in effecten op de bedrijfsvoering en daarmee op bedrijfskenmerken/kengetallen als ruwvoeropbrengsten, extra voeraankoop, verandering aandeel weiden en verandering hoeveelheid drijfmest.
- 8 Schade door inundatie van perceelsvreemd water wordt niet meegenomen. Daarvoor is de WaterSchadeSchatter ontwikkeld (Hoes e.a., 2013). STOWA heeft destijds een keuze gemaakt voor een aparte applicatie.

3.2 VERTREKPOINT VOOR IMPLEMENTATIE IN WATERWIJZER LANDBOUW

Het instrumentarium Waterwijzer Landbouw is voor de melkveehouderij te beschouwen als een verdere ontwikkeling van het Waterpasmodel. Waterpas is uitgebreid in de literatuur beschreven, zie o.a. De Vos et al. (2006, 2007, 2008 en 2010) en inmiddels door Livestock Research van Wageningen UR verder ontwikkeld.

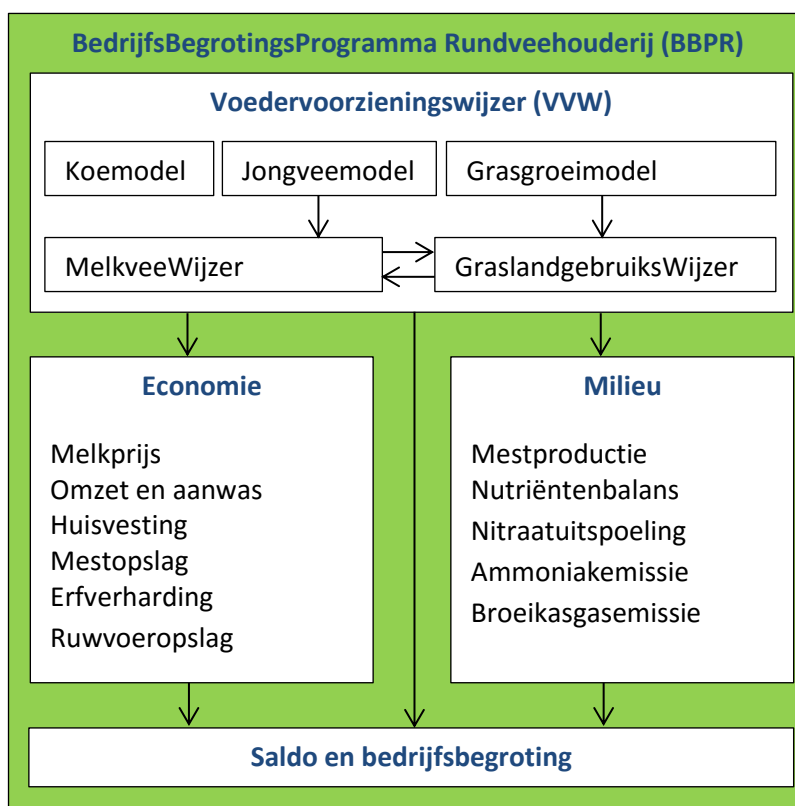
Binnen Waterpas zijn de modellen BedrijfsBegrotingsProgramma Rundveehouderij (BBPR; Mandersloot et al., 1991) van Livestock Research en SWAP van Alterra aan elkaar gekoppeld

om de interactie tussen de vochttoestand van de bovengrond en grasgroei in modelsimulaties mee te kunnen nemen. Aanvankelijk vond een koppeling tussen modellen plaats op jaarbasis en tegenwoordig gebeurt dit op dagbasis. Bij de koppeling op dagbasis is de vochttoestand en de grasgroei volledig geïntegreerd.

BBPR bestaat uit de modules VoederveorzieningsWijzer (VWV), Economie, Milieu en een module voor het berekenen van het saldo en een bedrijfsbegroting (zie Figuur 1). VWV (Werkgroep Normen voor de Voederveorziening, 1991; Van der Kamp *et al.*, 2003) simuleert aan de hand van de melkveestapel en de grasgroei het graslandgebruik. Het grasareaal binnen een bedrijf is opgesplitst in een aantal percelen voor melkvee en een aantal percelen voor jongvee (pinken en kalveren). De simulatie van het graslandgebruik betreft de beslissing om te weiden of te maaien en in het geval van weiden de beweidingsduur per perceel. Het graslandgebruik interacteert met de voeropname van melkvee en jongvee, wat respectievelijk wordt gesimuleerd met het Koemodel (Zom *et al.*, 2002) en het jongveemodel. Op basis van de voederveorziening worden vervolgens de opbrengsten, kosten en belangrijke milieueffecten berekend. Op basis van de resultaten van de modules VWV, Economie en Milieu worden saldo en bedrijfsbegroting berekend.

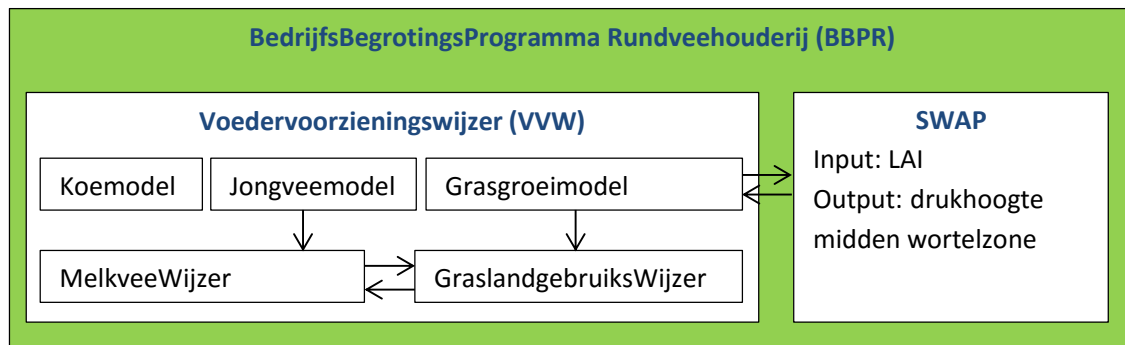
Door rekening te houden met de optredende interacties tussen de beschikbaarheid van stikstof als meststof, de grasproductie, de grasopname, de melkproductie, de mestproductie en het graslandgebruik hebben berekeningen op bedrijfsniveau voor de melkveehouderij een grote meerwaarde.

FIGUUR 1 **BEDRIJFSBEGROTINGSPROGRAMMA RUNDVEEHOUDERIJ (BBPR) EN DE MODULES EN MODELLEN DIE HET VERTEGENWOORDIGD MET SCHEMATISCH WEERGEGEVEN DE ONDERLINGE UITWISSELING VAN DATA.**



In de toepassing van Waterpas, waarbij BBPR en SWAP gekoppeld zijn, wordt de vochthuishouding van de bodem op perceelsniveau met SWAP doorgerekend. Aanvankelijk gebeurde dit op jaarbasis en volgens de huidige toepassing gebeurt dit op dagbasis. In Figuur 2 staat schematisch de koppelingen tussen de modellen weergegeven. SWAP draait in Waterpas als module onder BBPR en de daadwerkelijke koppeling vindt plaats tussen SWAP en het grasgroeimodel. In de koppeling op dagbasis levert het groeimodel aan SWAP een Leaf Area Index (LAI) als input en SWAP levert een drukhoogte (midden van de wortelzone) als output. Deze output dient vervolgens als input voor het groeimodel.

FIGUUR 2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE KOPPELING TUSSEN BBPR EN SWAP, WAARBIJ SWAP ALS EEN MODULE BINNEN BBPR DRAAIT EN OP DAGBASIS GEGEVENS UITWISSELT MET HET GRASGROEI-MODEL BINNEN DE MODULE VVW.



De grasgroei wordt met het groeimodel in VVW (GRAMIN/GRAS2007) primair berekend op basis van de beschikbaarheid van stikstof uit mest en uit mineralisatie van organische stof in de bodem. Dit geeft een potentiële groei die vervolgens gecorrigeerd wordt door nat- of droogteschade. Op basis van de drukhoogte uit SWAP wordt de nat- of droogteschade bepaald aan de hand van een Feddescurve-interpretatie (relatie relatieve wortelopname en drukhoogte). Dit resulteert in een hoeveelheid grasgroei per dag waarvan het grasaanbod per perceel wordt berekend. Met de MelkveeWijzer wordt de vraag naar gras door vee berekend. De GraslandgebruiksWijzer berekent aan de hand van de vraag en aanbod van gras de optimale perceelsplanning. Daarbij leiden te natte omstandigheden tot een beperking van het graslandgebruik vanwege een verminderde draagkracht. De draagkracht wordt berekend op basis van de drukhoogtes uit SWAP. De grenzen voor draagkracht in BBPR zijn gekozen op basis van Van Wijk (1984). Daarbij wordt voor maaien een vaste grens gehanteerd van 0,5 MPa, die wordt bereikt bij een drukhoogte van -40 cm (op 14 cm -mv). Voor weiden is de minimale draagkrachtgrens gesteld op 0,25 MPa. Er treedt dan echter wel extra schade op door vertrapping. Naarmate de draagkracht groter is neemt de vertrappingsschade af. Bij een draagkracht groter dan 0,7 MPa treedt geen vertrapping meer op. De bijbehorende drukhoogtegrenzen zijn respectievelijk -30 en -70 cm.

Tot nu toe zijn berekeningen voor de polders Zegveld (De Vos et al., 2004), Krimpenerwaard (Hoving en De Vos, 2007) en de Vlietpolder (Van Bakel et al., 2009) volgens de minder geavanceerde methode uitgevoerd waarbij BBPR en SWAP op jaarbasis en niet op dagbasis waren gekoppeld. Dit betekende een grovere benadering van de werkelijkheid. Met de koppeling op dagbasis zijn in de eerste instantie testberekeningen uitgevoerd en vergeleken met veldproefgegevens graspercelen van het Veenweidecentrum Zegveld. Hierbij kwamen vernatting en verdroging daadwerkelijk in de grasproductie tot uiting en werden de gemeten opbrengstniveaus goed benaderd (STOWA, 2013). Met deze geavanceerde methode zijn vervolgens voor het adviesmodel VeenWijzer de schadepercentages voor vernatting, verdroging en gebruik berekend voor verschillende peilregimes en de toepassing van onderwaterdrains op basis van

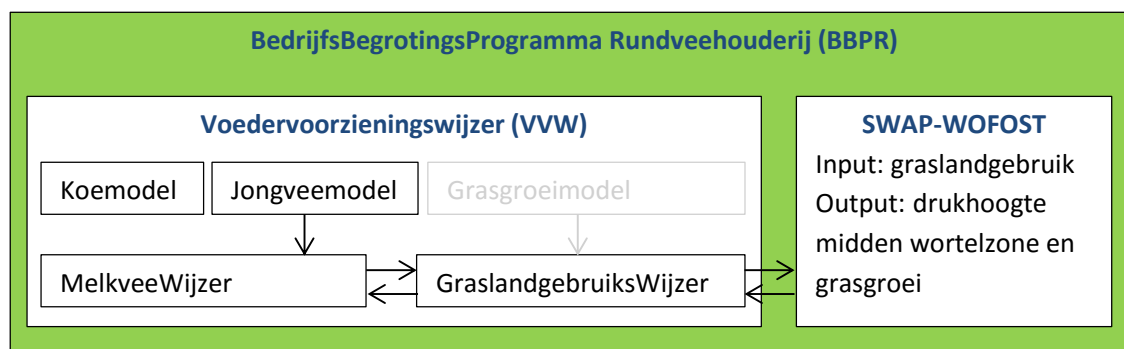
tien weerjaren. Daarmee zijn de schadepercentages goed onderbouwd en is het een aanzienlijke verbetering ten opzichte van het gebruik van de HELP-tabel.

3.3 VOORZIENE WIJZIGINGEN

Ten behoeve van het berekenen van de schadepercentages worden voor het instrument Waterwijzer de volgende wijzigingen voorzien:

- 1 De integratie van hydrologie en gewasgroei met SWAP-WOFOST komt in de plaats van SWAP en GRAMIN/GRAS2007. Figuur 3 geeft aan hoe deze koppeling gerealiseerd wordt.

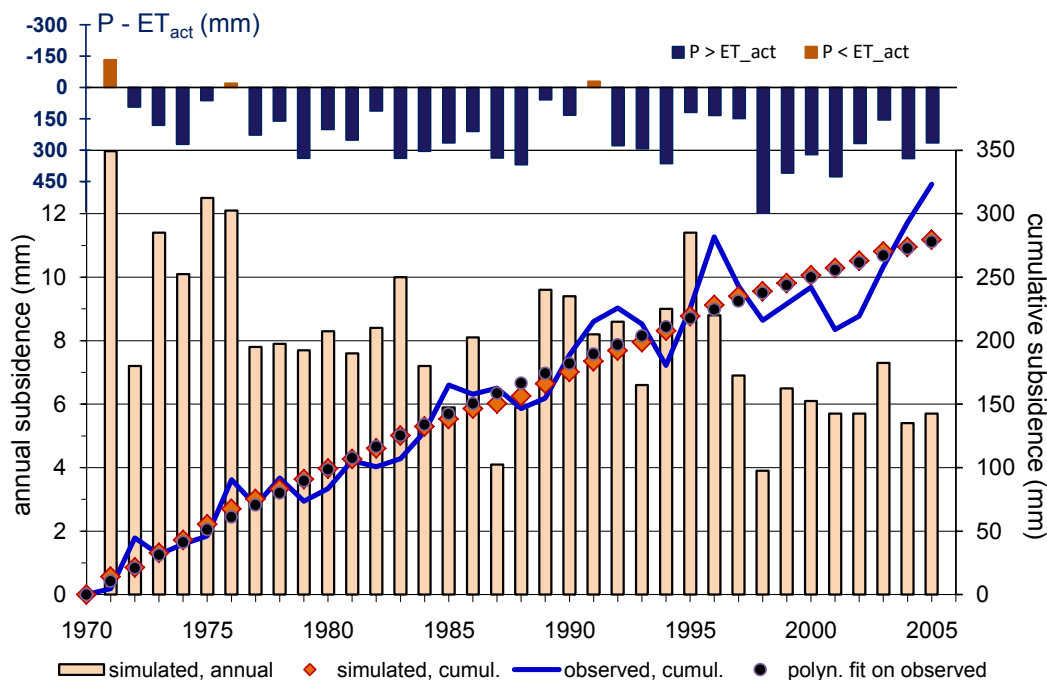
FIGUUR 3 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE KOPPELING TUSSEN BBPR EN SWAP-WOFOST, WAARBIJ HET GRASGROEI-MODEL WORDT UITGESCHAKELD. SWAP-WOFOST GAAT ALS EEN MODULE BINNEN BBPR GAAT DRAAIEN EN OP DAGBASIS GEGEVENS UITWISSELEN MET DE GRASLANDGEBRUIKSWIJZER BINNEN DE MODULE VVW.



- 2 De directe natschade (zuurstofstress) is ingebouwd in SWAP (Bartholomeus et al., 2013).
- 3 SWAP berekent per tijdstap drukhoogtes, grondwaterstanden en eventueel schijngrondwaterstanden waaruit per dag (een) waarde(n) wordt getrokken die nodig is om indirecte schades te bepalen of om hydrologische karakteristieken mee te bepalen (zoals de grondwaterstandskarakteristieken GXG) omdat indirecte schades daaraan zijn gerelateerd.
- 4 Per bedrijfstype worden x percelen gedefinieerd met elk perceel een eigen hydrologie en verder een groot aantal bedrijfskenmerken die bepalen hoe er beweid en/of gemaaid gaat worden en hoe droge stofopbrengsten en bijvoeding worden omgezet in melkproductie c.q. bedrijfsresultaat.
- 5 Voor de mechanisatietypering van de bedrijven wordt uitgegaan van het topsegment van de gebruikte landbouwmachines in 2010 en er wordt rekening gehouden met de reeds bestaande verdichting van de ondergrond (Vermeulen et al., 2013).
- 6 Elk perceel heeft een eigen relatie met het oppervlaktewater in de vorm van tijdsverloop van oppervlaktewater en een op basis van digitaal beschikbare, gebiedsdekkende hulpinformatie over ontwateringsmiddelen (zoals slootafstand, natte omtrek, geohydrologische parameters) bepaalde drainageweerstandrelatie, plus een relatie met de omgeving via een Cauchy-onderrandvoorwaarde.
- 7 Er draait dus geen deelmodel van het oppervlaktewatersysteem mee.
- 8 Er worden per bedrijfstype 30 weerjaren doorgerekend die het huidige klimaat en nader te bepalen klimaatreeksen weergeven. Het huidige klimaat en de klimaatscenario's zijn regionaal gedifferentieerd.
- 9 In het geval dat er kan worden berekend worden criteria voor berekening gehanteerd. Vooralsnog wordt verondersteld dat berekening niet leidt tot een verandering in de ondergrondvoorwaarde en het dus niet uitmaakt of er berekend wordt uit grondwater of oppervlaktewater.

- 10 Per perceel wordt per dag bekeken of het 'aan de beurt is' om beweid of gemaaid te worden (afhankelijk van het beweidingssysteem en gerealiseerde droge stof van de snede) en of dit mogelijk is, op basis van de drukhoogte op 10 cm -mv. Via een opzoektabel wordt een indringingsweerstand bepaald en of hierbij niet beweid of bereiden kan worden. Als het mogelijk is wordt berekend welke vertrapings- of berijdingsverliezen er optreden indien de indringingsweerstand minder is dan de grenswaarde waarboven geen vertrapings- of berijdingsverliezen voorkomen. Daarvoor is per perceel een relatie beschikbaar via koppeling BOFEK2012-eenheid aan bodemafhankelijke relatie tussen indringingsweerstand en vertrapings- resp. berijdingsverliezen.
- 11 Voor sommige gronden is de bovenbedoelde relatie afhankelijk van de (schijn)grondwaterstand(skarakteristiek), de droogleggingskarakteristiek en de intensiteit-van-berijding-karakteristiek. Als de relatie afhangt van de grondwaterstandskarakteristiek moet, indien dat leidt tot een noodzaak tot gebruik van een andere relatie, een herberekening plaatsvinden.
- 12 De overige tweede-orde-effecten (voor definities: zie Bijlage 2) die te relateren zijn aan de berekende (schijn)grondwaterstand of drukhoogte op een bepaalde diepte in de onverzadigde zone, of daarvan afgeleide karakteristieken, worden als nabewerking in rekening gebracht:
- maaiveldddaling door veenafbraak;
Normaal wordt ongeveer 1 x per 10 jaar het peil aangepast aan de maaiveldddaling ter wille van herstel/behoud van de oorspronkelijke drooglegging.
Wat er binnen die 10 jaar gebeurt aan maaiveldddaling is nogal ingewikkeld als gevolg van reversibele krimp gevolgd door zwel. In (zeer) droge jaren daalt het maaiveld extra door reversibele krimp; volgt een (vrij) nat weerjaar dan zwelt het veen weer op en krijg je maaiveldstijging, eventueel met een aantal tussenjaren waarin er niet veel gebeurt, zie Figuur 4:

FIGUUR 4 COMPARISON BETWEEN LONG-TERM (35 YEARS) CUMULATIVE SIMULATED AND OBSERVED ANNUAL SOIL SUBSIDENCE FOR Z3. 'POLYN. FIT' REFERS TO A SECOND-ORDER POLYNOMIAL FIT ON THE OBSERVED DATA. ALSO SHOWN ARE SIMULATED ANNUAL SUBSIDENCES OF THE INDIVIDUAL YEARS. ON TOP, ANNUAL PRECIPITATION EXCESSES ($P - ET_{act}$ AS CALCULATED WITH SWAP) ARE DEPICTED. NOTE THAT THE VALUES OF $P - ET_{act}$ ARE PLOTTED IN REVERSED ORDER (R. HENDRIKS, IN VOORBEREIDING).



Naast het dynamische proces van maaiveldsdaling (blauwe lijn) is er een trendmatige maaiveldsdaling als gevolg van oxidatie (zwarte bolletjes in Figuur 4). De rode ruitjes en staven zijn de SWAP-ANIMO-berekeningen waarin de verschillen in weerjaren zijn verdisconteerd, in tegenstelling tot de polynomiale fit;

- verdichting ondergrond;
- vermindering bewortelingsdiepte;
- extra verslemping.

- 13 Met het BedrijfsBegrotingsProgramma Rundvee (BBPR) kunnen landbouwkundige, milieukundige en bedrijfseconomische kengetallen worden berekend. De bedrijfseconomische kengetallen worden gebruikt om de fysieke effecten om te zetten in verandering in euro's per ha.

4

RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK NAAR INDIRECTE NATSCHADE BIJ GRAS

4.1 VERTRAPPINGS- EN BERIJDINGSVERLIEZEN

Koeien in de wei beschadigen de zode waardoor verliezen aan opbrengst (droge stof die kan worden gemaaid of kan worden gegraasd) optreden. Ook in een ‘ideale’ situatie zijn deze vertrappingsverliezen onvermijdbaar en worden dan ook wel betredingsverliezen genoemd.

De vertrappingsverliezen zijn groter naarmate de draagkracht geringer is en kunnen zo groot worden dat de koeien in de stal moeten blijven.

Ook bij berijding of zodebemesting treden verliezen op. De verliezen die optreden bij ideale draagkracht zou je in analogie met betreding berijdingsverliezen kunnen noemen en de extra verliezen de verrijdingsverliezen. Aangezien dit niet gebruikelijk is bedoelen we in het vervolg met berijdingsverliezen de verliezen als gevolg van berijding of bewerking die extra optreden ten opzichte van de ideale draagkrachtsituatie.

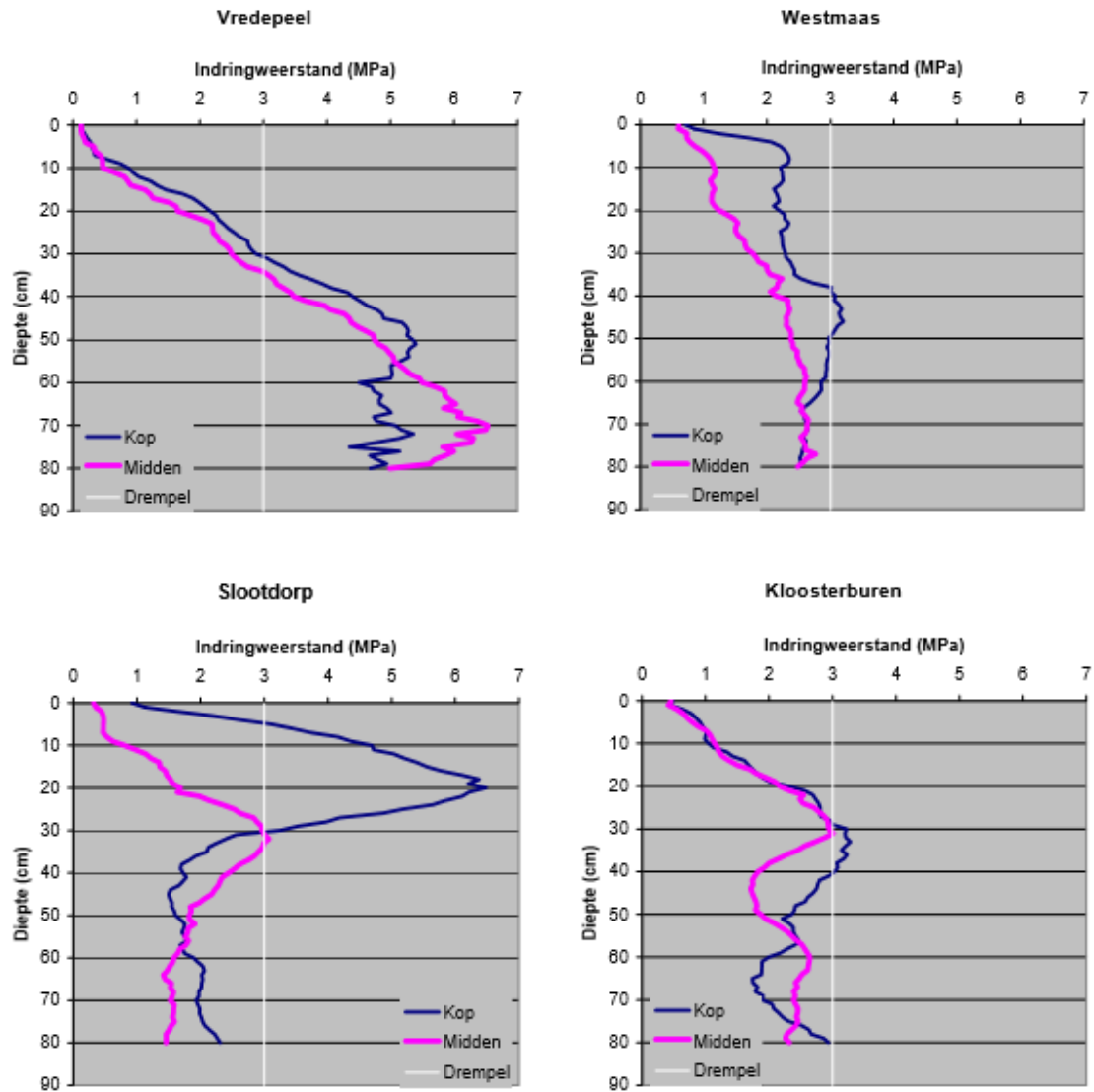
De draagkracht van de grond is dus bepalend voor het al of niet kunnen berijden of beweiden van grasland of voor de vertrappings- en berijdingsverliezen. Een maat voor de draagkracht is de indringingsweerstand. In de navolgende sectie wordt de relatie tussen indringingsweerstand en draagkracht nader uitgewerkt.

4.1.1 FACTOREN DIE DE INDRINGINGSWEERSTAND BEÏNVLOEDEN

Hielkema (1974) verrichtte literatuurstudie en onderzoek naar de indringingsweerstand van klei- en zavelgronden in Zeeuws-Vlaanderen. Hij onderscheidt bodemverdichting als proces en als resultaat van dat proces. Hierin wordt de invloed van de bodemverdichting op de eigenschappen van de grond genoemd en nader gekwantificeerd met curves uit veelal buitenlandse literatuur.

Meer recent verrichtten Van den Akker en De Groot (2008) inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavel. Zij onderscheiden een aantal drempelwaarden om de verdichting te karakteriseren, waaronder de indringingsweerstand. Uit figuur 6 blijkt dat de indringingsweerstand afhangt van de grondsoort, de diepte en de mate van berijding.

FIGUUR 6 GEMETEN INDRINGINGSWEERSTANDEN OP VERSCHILLENDE LOCATIES (FIGUUR 8 UIT VAN DEN AKKER EN DE GROOT, 2008)



De Wit (1988) deed onderzoek naar de invloed van verschillende bodemparameters op de indringingsweerstand van zandgronden. Interessant is vooral het resultaat van literatuuronderzoek, waaruit de volgende relevante factoren zijn af te leiden:

- bulkdichtheid;
- organisch stofgehalte;
- watergehalte.

Onderstaande figuren uit deze nota illustreren deze factoren.

FIGUUR 7 (ONTLEEND AAN DE WIT, 1988)

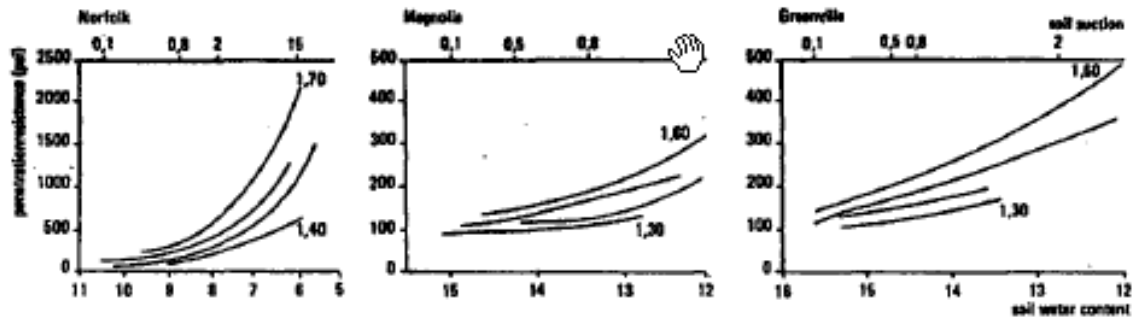


Fig. 2.26. Verband tussen de indringingsweerstand en het vochtgehalte bij verschillende dichtheden (CAMP en LUND, 1968)

De relaties in Figuur 7 zijn wellicht ook voor de bouwstenen voor de bovengrond uit de Staringreeksaf te leiden, zodat het mogelijk wordt een relatie te leggen met het actuele vochtgehalte.

FIGUUR 8 (ONTLEEND AAN DE WIT, 1988)

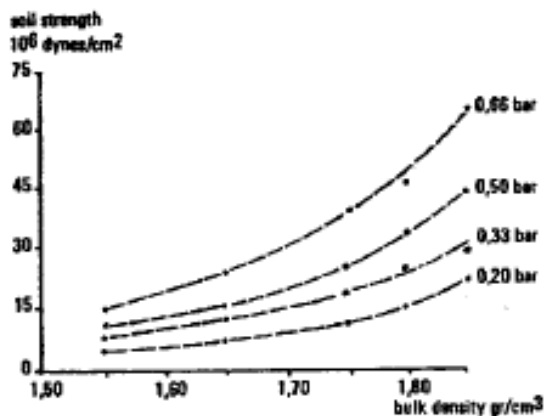


Fig. 2.24. Verband tussen de soil strength en dichtheid bij verschillende vochtspanningen (TAYLOR en GARDNER, 1963)

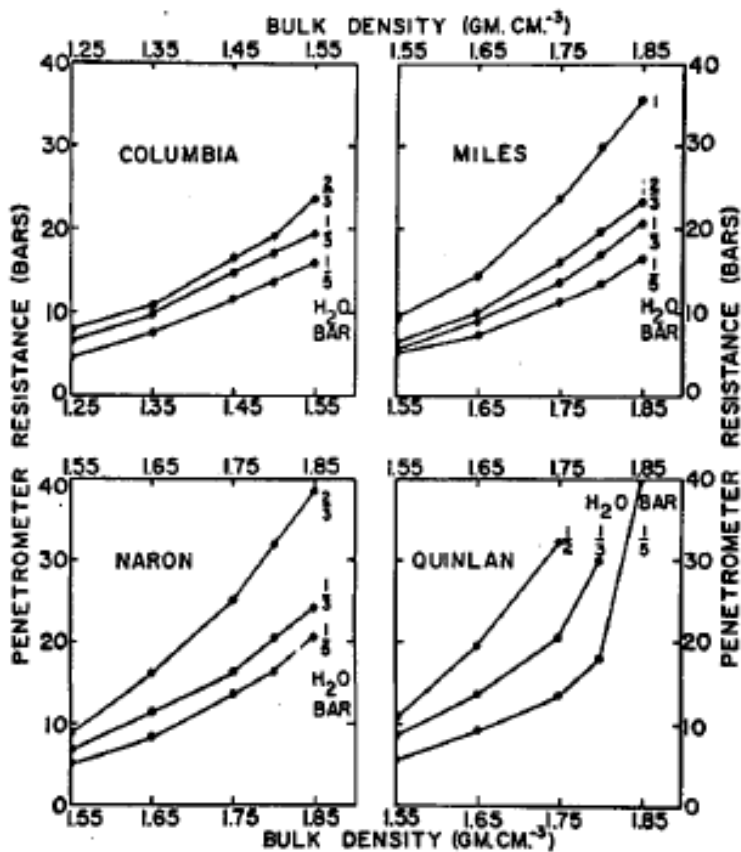


Fig. 2.25. Relaties tussen de indringingsweerstand, de dichtheid en vochtspanning voor vier verschillende grondsoorten (TAYL et al., 1966)

Figuur 8 laat zien dat voor alle gronden -dus ook voor zandgronden- geldt dat berijding leidt tot verdichting waardoor de draagkracht toeneemt bij dezelfde drukhoogte.

Bij de landbouwkundige toepassingen van indringingsweerstandsmetingen worden genoemd:

- beworteling en bewortelbaarheid (Houben, 1979);
- draagkracht en berijdbaarheid (De Wit, 1988);

- vóórkomen van storende lagen;
- structuur (Van Soesbergen et al., 1986);
- geschiktheidsbeoordelingen voor bepaalde teelten (Van Soesbergen et al., 1986).

Deze literatuur met de bijbehorende data komt hierna aan de orde.

4.1.2 RELATIE TUSSEN INDRINGINGSWEERSTAND EN DRAAGKRACHT

Van Wallenburg en Vleeshouwer (1987) voerden een landelijke inventarisatie uit van de stevigheid van de bovengrond van grasland. Op 189 plekken maten zij gelijktijdig grondwaterstanden en indringingsweerstand. Op basis hiervan leidden zij voor vijf bodemgroepen relaties af tussen grondwaterstand en indringingsweerstand. Opvallend is dat deze relaties verschillend zijn voor winter en voorjaar, zie Tabel 1.

TABEL 1

(ONTLEEND AAN VAN WALLENBURG EN VLEESHOUWER, 1987)

Tabel 13 Regressievergelijkingen voor de indringingsweerstand I_w (in MPa) met de grondwaterstand g (m - mv.) op tijdstip van meting van de indringingsweerstand en het organische stofgehalte¹⁾ van de zodelaag h (in %)

Bodemgroep	Seizoen	Regressie- vergelijking I_w	Standaardafwij- king van I_w (S)
moerig	winter '81	$0,27 + 0,38 g$	0,12
	voorjaar '82	$0,28 + 0,69 g$	0,22
klei-op-veen	winter '81	$0,35 + 0,61 g$	0,11
	voorjaar '82	$0,35 + 0,71 g$	0,15
klei	voorjaar '82	$0,42 + 0,45 g$	0,21
zavel	winter '82	$0,22 + 0,31 g$	0,12
	voorjaar '82	$0,29 + 0,44 g$	0,16
zand	winter '81	$0,72 + 0,49 g - 0,034 h$	0,09
	voorjaar '82	$0,64 + 0,37 g - 0,017 h$	0,12

¹⁾ alleen voor zand.

Als voor de kritieke grens voor voldoende draagkracht een indringingsweerstand 0,6 MPa wordt genomen is de vereiste grondwaterstand voor de vijf bodemgroepen in de winter ook anders dan in het voorjaar, zie Tabel 2.

TABEL 2 (ONTLEEND AAN WALLENBURG EN VLEESHOUWER, 1987)

Tabel 14 Vereiste gemiddelde grondwaterstand (in cm - maaiveld) in winter en voorjaar per bodemgroep bij een grenswaarde van 0,6 MPa

Seizoen	Bodemgroep						
	moerig	klei-op-veen	klei	zavel	zand met organisch-stofgehalte van:		
					12%	8%	4%
winter	87	41	-	123	59	31	3
voorjaar	46	35	40	70	44	26	7

In het voorjaar is voor een voldoende zodestevigheid een minder diepe grondwaterstand toereikend en zijn de verschillen in gewenste grondwaterstanden tussen de bodemgroepen ook minder groot. De vereiste grondwaterstanden zijn in het voorjaar wel te realiseren. In die tijd resulteert een goede ontwatering in een goede berijdbaarheid en beweidbaarheid.

Een mogelijke verklaring is dat in het voorjaar het drukhoogteverloop vanaf grondwaterstand anders zal zijn dan in de winter omdat de verticale flux boven de grondwaterspiegel in de winter overwegend neerwaarts is gericht terwijl in het voorjaar de verdamping toeneemt en de kans op optreden van opwaarts gerichte verticale stroming groter is. Koppeling van de draagkracht aan de drukhoogte in de wortelzone zou volgens deze theorie het probleem van niet-eenduidig zijn oplossen.

Volgens Vroon (pers. meded.) heeft het genoemd verschil vooral te maken met het poriënvolume. Verder merkt hij op dat voor de relaties in Tabel 2 bij zandgronden het leemgehalte belangrijk is.

Van Wijk (1988) beschreef de resultaten van een literatuuronderzoek naar de relatie tussen de indringingsweerstand, I_w , gemeten met een standaard penetrometer (5 cm² en 60°), en de draagkracht, D_k , waarbij hij geen onderscheid maakte tussen draagkracht voor vee en machines. Samengevat is de draagkracht onvoldoende bij een indringingsweerstand van 0,5 MPa of lager en ruim voldoende bij een weerstand van 0,7 MPa of hoger. Bij een indringingsweerstand van 0,6 MPa is de draagkracht voldoende.

4.1.3 RELATIE TUSSEN INDRINGINGSWEERSTAND EN BODEMEIGENSCHAPPEN EN GRONDWATERSTAND

De indringingsweerstand hangt af van de bodemeigenschappen waaronder bulkdichtheid en organischestofgehalte, en van het vochtgehalte. Dit illustreert Figuur 9.

FIGUUR 9 (ONTLEEND AAN VAN WIJK, 1988/SCHOTHORST, 1982)

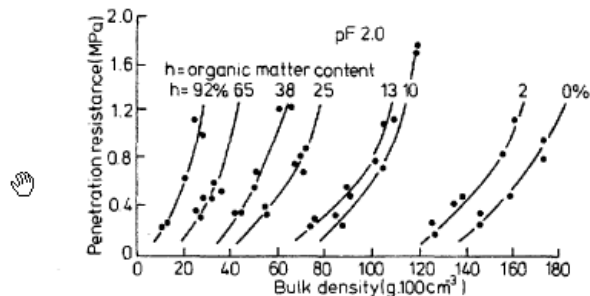


Fig. 1. Relationships between penetration resistance and bulk density at variable organic matter content and a soil water pressure head of -100 cm (SCHOTHORST, 1982)

De Handleiding bodemgeografisch onderzoek, Deel D (Ten Cate et al., 1995) en voorlopers ervan (o.a. Van Soesbergen et al., 1986) gebruiken de term 'stevigheid van de bovengrond', waarbij drie gradaties worden onderscheiden naar de indringingsweerstand bij GHG, zie Tabel 3.

TABEL 3 (ONTLEEND AAN TEN CATE ET AL., 1995)

Tabel D-20 Gradatie in stevigheid van de bovengrond als afhankelijke van de indringingsweerstand (MPa)

Gradatie		Indringingsweerstand bij GHG (MPa)
code	benaming	
1	zeer groot	$\geq 0,6$
2	vrij groot tot matig	$> 0,3$ en $< 0,6$
3	gering	$\leq 0,3$

Voor grootschalige bodemkaarten onderscheiden Ten Cate et al. (1995) bij het bodemgebruik grasland vijf gradaties, zie Tabel 4.

TABEL 4 (ONTLEEND AAN TEN CATE ET AL, 1995)

Tabel D-21 Gradatie in stevigheid van de bovengrond als afhankelijke van de indringingsweerstand (MPa) bij GHG en GVG, en de gevoeligheid* voor vertrapping bij beweiden en voor insporing bij berijden per seizoen voor sommige grootschalige bodemkaarten

Gradatie		Indringingsweerstand (MPa)		Gevoeligheid in			
code	benaming	bij GHG	bij GVG	winter	lente	zomer	herfst
1	zeer groot	$\geq 0,6$	$\geq 0,6$	1	0	0	0
2	vrij groot	$> 0,3$ en $< 0,6$	$\geq 0,6$	2	1	0	0
3	matig	$> 0,3$ en $< 0,6$	$> 0,3$ en $< 0,6$	2	2	0	1
4	vrij gering	$\leq 0,3$	$> 0,3$	3	2	1	2
5	zeer gering	$\leq 0,3$	$\leq 0,3$	3	3	2/3	3


* 0 = niet; 1 = weinig of niet; 2 = matig; 3 = sterk gevoelig

Merk op dat de kritieke waarden voor voldoende stevigheid in Tabel 4 duidelijk lager zijn dan bij Van Wijk (1988). In de toelichting wordt echter als grenswaarde voor beweiding 0,6 MPa aangegeven (blz. D-50).

Ten Cate et al. (1995) merken op dat het ondoenlijk is de gradatie door meting van de indringingsweerstand te achterhalen en leggen daarom een koppeling tussen GHG en bodemeigenschappen, zie Tabel 5.

TABEL 5 (ONTLEEND AAN TEN CATE ET AL, 1995) DE WAARDEN VOOR DE INDRINGINGSWEERSTAND HEBBEN BETREKKING OP METINGEN MET PENETROMETER MET EEN CONUSOPPERVLAKTE VAN 5 CM² EN EEN TOPHOEK VAN 600.

Tabel D-22 Gradatie in stevigheid van de bovengrond als afhankelijke van de GHG en samenstelling van de bovengrond (organische-stofgehalte en textuur) voor vertrapping bij beweiden en voor insporing bij berijden in drie gradaties en voor sommige grootschalige bodemkaarten in vijf gradaties

Gradatie		GHG	Samenstelling van de bovengrond			
code 	benaming		org. stof	textuur		
3-deling	5-deling			lutum	leem	
1	1	zeer groot	>40	< 5	-	-
			>40	5-15	n.v.t.	-
			25-40	< 5	n.v.t.	<17,5
2	2	vrij groot	>40	5-15	-	n.v.t.
			>40	>15	-	-
			25-40	< 5	n.v.t.	>17,5
			25-40	5-15	n.v.t.	-
	3	matig	25-40	<15	<30	n.v.t.
			25-40	>15	n.v.t.	-
			<25	< 5	n.v.t.	<17,5
3	4	vrij gering	25-40	<15	>30	n.v.t.
			<25	< 5	-	n.v.t.
			<25	< 5	n.v.t.	>17,5
	5	zeer gering	25-40	>15	-	n.v.t.
			<25	> 5	-	-

Tabel 1 tot en met 5 bieden de mogelijkheid om per bodemgroep het in SWAP opgelegde verband tussen drukhoogte en indringingsweerstand te valideren. Een mogelijke aanpak hiervan is als volgt. In SWAP wordt per bodemgroep c.q. bouwsteen een relatie opgelegd tussen drukhoogte op x cm -mv en indringingsweerstand. Vervolgens worden 30 jaar gesimuleerd met als resultaten de grondwaterstanden en simultaan gesimuleerde indringingsweerstand, opgesplitst naar de vier jaargetijden (meteorologische indeling). De indringingsweerstand wordt geclassificeerd in vijf gradaties. Aldus kan per bodemgroep relatie worden gelegd tussen GHG en stevigheid. Deze kan vervolgens worden vergeleken met de waarden in Tabel 5.

4.1.4 RELATIES TUSSEN INDRINGINGSWEERSTAND EN VERLIEZEN

Vertrappingsverliezen en daarmee de opbrengstverliezen nemen toe bij afnemende indringingsweerstand, zoals blijkt uit Figuur 10.

FIGUUR 10 (ONTLEEND AAN VAN WIJK, 1988)

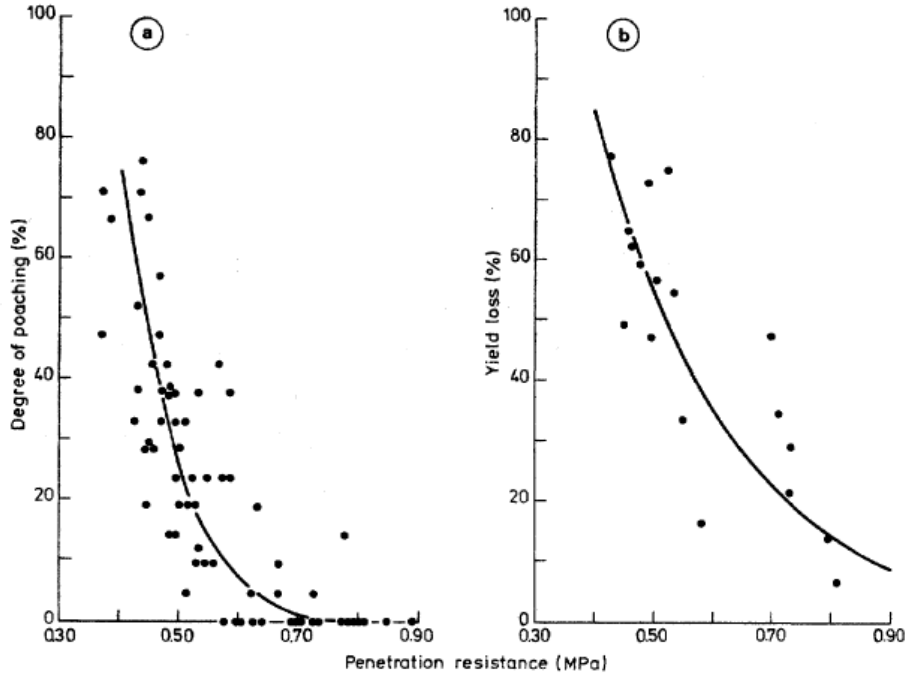


Fig. 7. Degree of poaching and yield loss in relation to the bearing capacity of a low moor peat soil. Degree of poaching is measured as the percentage of the area that is damaged by trampling. Yield loss refers to the fraction of the amount of consumable grass, present at the time of trampling

Beuving et al. (1989) onderzochten de vertrappingsverliezen op veengrond, zie Figuur 11.

FIGUUR 11 (ONTLEEND AAN BEUVING ET AL., 1989)

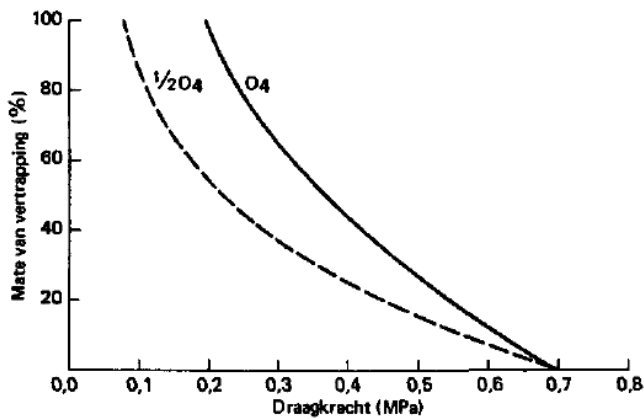


Fig. 4. Relatie tussen de draagkracht en de mate van vertrapping bij een betreding met melkkoeien overeenkomend met het beweidingsstelsel O₄ (vier dagen dag en nacht weiden) en de helft van dit beweidingsstelsel, 1/2O₄

Beuving et al. (1989) zetten de vertrappingsverliezen om naar opbrengstverliezen voor de verschillende snedes, zie Figuur 12.

FIGUUR 12 (ONTLEEND AAN BEUHING ET AL., 1989)

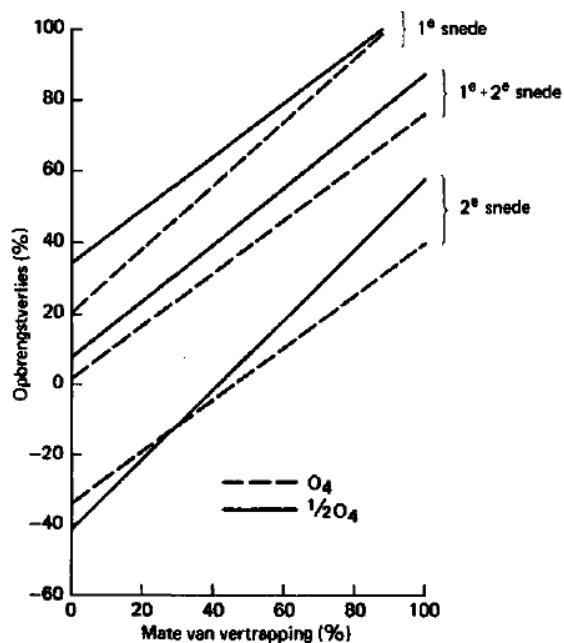


Fig. 7. Relatie tussen opbrengstverlies in procenten van het grasaanbod (som van vertrappingsverlies en betredingsverlies) en mate van vertrapping voor de eerste, de tweede en de eerste + tweede snede bij betreding met melkkoeien overeenkomend met het beweidingsstelsel O₄ (vier dagen dag en nacht weiden) en de helft van het beweidingsstelsel, 1/2O₄

Betreding onder natte omstandigheden leidt ook tot schade aan de zode, met gevolgen voor de grasopbrengsten van de snedes die er na komen binnen hetzelfde groeiseizoen. In de daarop volgende winterperiode wordt de schade aan de zode hersteld waarmee kosten zijn gemoeid.

Bij **berijding** onder natte omstandigheden wordt verondersteld dat er geen extra verliezen aan de grasoogst optreden (Beuving et al., 1989). Wel kunnen de kosten van mesttoediening of binnenhalen van de grasopbrengst hoger zijn omdat lichtere of aangepaste machines moeten worden ingezet of minder belading is toegestaan. Ook treedt er extra schade op aan de zode of wordt de ondergrond verdicht. De schade aan de zode leidt tot opbrengstderving in de snedes die erop volgen. Verondersteld wordt dat dit alleen in hetzelfde groeiseizoen optreedt. In de daarop volgende winterperiode wordt de schade aan de zode hersteld waarmee kosten zijn gemoeid (stelpost).

4.1.5 KOPPELING INDRINGINGSWEERSTAND AAN DRUKHOOGTE

Van Wijk (1984) mat in Zegveld, Hoenkoop, de Bommelerwaard en Bennekom in situ gelijktijdig drukhoogte en indringingsweerstand, zie Figuur 13.

FIGUUR 13 (ONTLEEND AAN VAN WIJK, 1984)

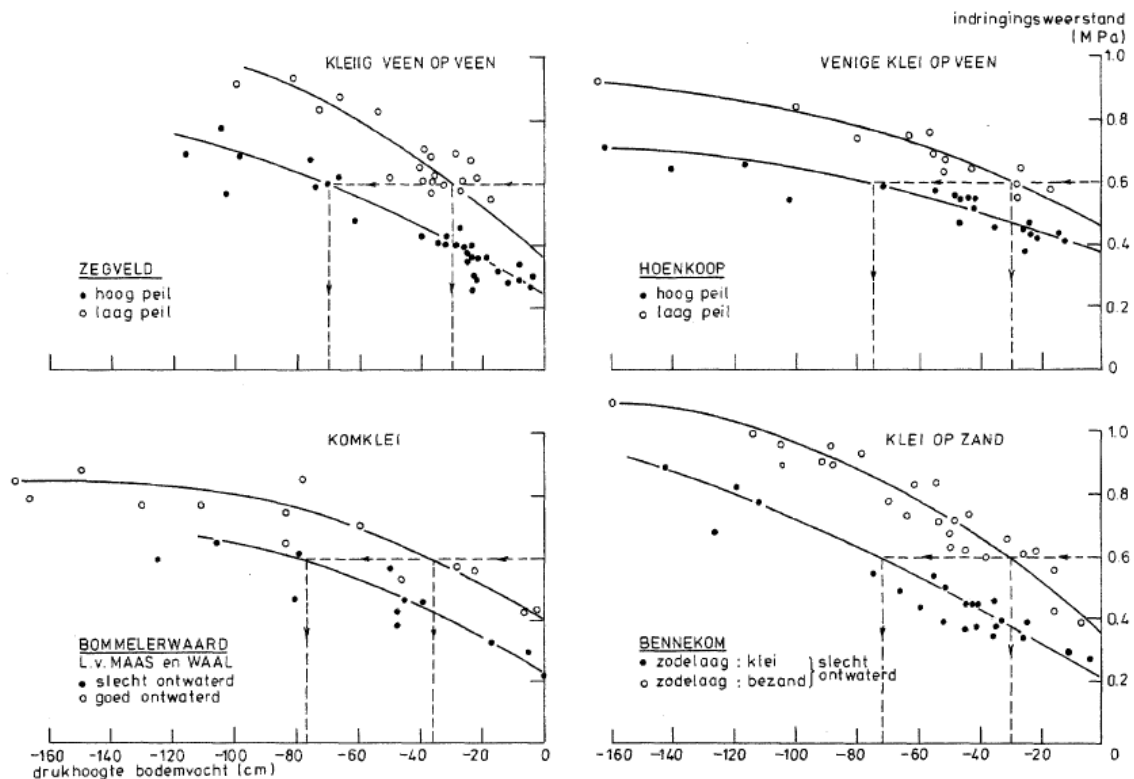
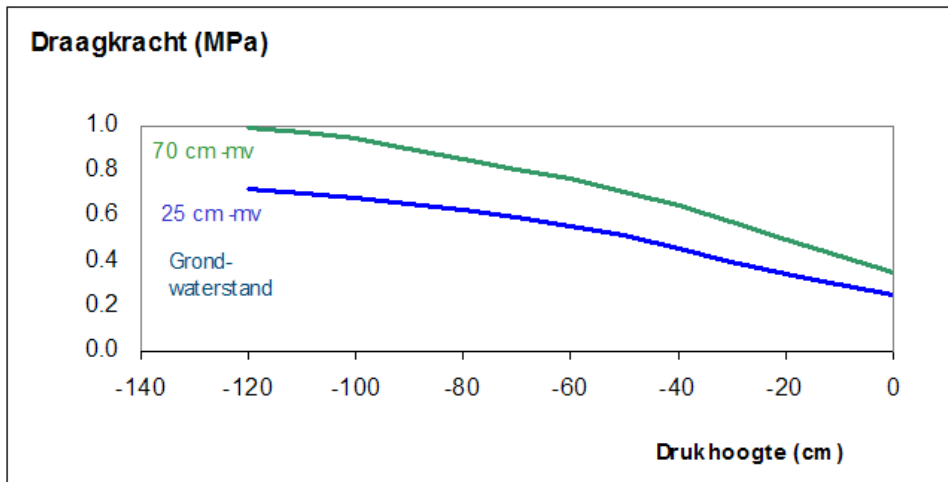


Fig. 2. Relatie tussen draagkracht en drukhoogte van het bodemvocht (vochtspanning) in de zodelaag voor vier graslandgronden bij een slechte en goede ontwatering. De stippellijnen geven de vochtspanning waarbij de zode voldoende draagkracht ($0,6 \text{ MPa}$ ($6 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$)) heeft voor beweiden en berijden

Uit de verschillen tussen hoog en laag peil in Figuur 13 blijkt dat de relatie tussen drukhoogte van het bodemvocht en indringingsweerstand afhangt van de drooglegging. Bij een grotere drooglegging is het veen compacter of meer veraard waardoor de relatie tussen drukhoogte en indringingsweerstand verandert. Bij klei leidt een grotere drooglegging tot meer rijping. Dit heeft gevolgen voor Waterwijzer, omdat als door een maatregel de grondwaterstand structureel verandert, ook de relatie verandert tussen drukhoogte en indringingsweerstand/draagkracht. Die verandering gaat niet momentaan en bovendien is de vraag of de relatie volledig reversibel is. Door een hydrologisch model kan het verloop van de drukhoogte op verschillende dieptes worden berekend. Daarmee kan de indringingsweerstand worden bepaald als er een relatie is opgesteld tussen drukhoogte en indringingsweerstand. Voor Waterpas is op basis van een notitie van De Vos en Holshof (2005) een dergelijke relatie opgesteld voor veen-grasland (ROC Zegveld), gebaseerd op Van Wijk (1984), zie Figuur 14.

FIGUUR 14 (ONTLEEND AAN NOTITIE IN BIJLAGE 3).



Figuur B3.1. Relatie tussen de draagkracht en de drukhoogte in de zodelaag (5 cm -mv) voor een graslandgrond op het ROC-Zegveld bij een hoog (ca. 25 cm -mv) en een laag slootpeil (ca. 70 cm -mv) (afgeleid uit: Van Wijk, 1984).

De notitie is als Bijlage 3 in dit rapport opgenomen. De daarin afgeleide relatie is in de huidige versie van Waterpas echter **niet** afhankelijk van de drooglegging.

Tijdens een workshop op 2 juli 2015 werd de vraag gesteld hoe de relatie tussen draagkracht en drukhoogte verandert bij onderwaterdrainage. Beredeneerd kan worden dat bij een hoog peil van 30 cm (de bovengrens voor toepassing van onderwaterdrainage) de relatie enigszins zal tenderen naar relaties voor grotere drooglegging en bij een peil van 65 cm (de ondergrens voor toepassing) de relatie zal tenderen naar relaties voor geringere drooglegging.

4.1.6 KOPPELING BERIJDBAARHEID/BETREEDBAARHEID AAN DRUKHOOGTE VIA VELDWAARNEMINGEN

De relatie tussen drukhoogte en berijdbaarheid of betreedbaarheid kan direct in het veld worden vastgesteld, zonder de tussenstap via indringingsweerstand. Zodra de grondbewerker de situatie als berijdbaar of betreedbaar beoordeelt wordt de drukhoogte gemeten.

Van Wijk et al. (1988) leggen de relatie tussen de drukhoogte op 5 cm diepte en de geschiktheid voor het poten van aardappelen, zoals door de grondgebruiker beoordeeld, zie Figuur 15.

van gemiddeld 43 cm naar gemiddeld 74 cm. Vermeulen et al. (2013) concluderen dat de bodembelasting in de ondergrond, uitgedrukt in gemiddeld en maximaal voorkomende piekgrondspanningen, van 1980 tot 2010 ongeveer gelijk is gebleven op 25 diepte, met 10 % is toegenomen op 40 cm diepte en met 20 % is toegenomen op 50 cm diepte. Voorts concluderen zij hieruit dat het risico op verdichting van de ondergrond in de afgelopen 30 jaar duidelijk is toegenomen.

Van den Akker et al. (2013) brachten de risico's van bodemverdichting landsdekkend in kaart, door een koppeling te leggen met digitaal beschikbare, gebiedsdekkende hulpinformatie. Zij stellen dat berekeningen met bijvoorbeeld het Soil Compaction Model (SOCOMO; Van den Akker, 2004) te duur zijn, omdat deze te veel dure proeven zouden vergen. SOCOMO is echter wel te gebruiken om de zijwaartse spreiding van de druk te bepalen. Hoe natter de grond hoe minder de zijwaartse spreiding. Als een bepaalde waarde van de druk wordt overschreden treedt vervorming op.

4.2.3 EFFECTEN VAN VERANDERING IN BODEMSTRUCTUUR OP DE WATERHUISSHOUING

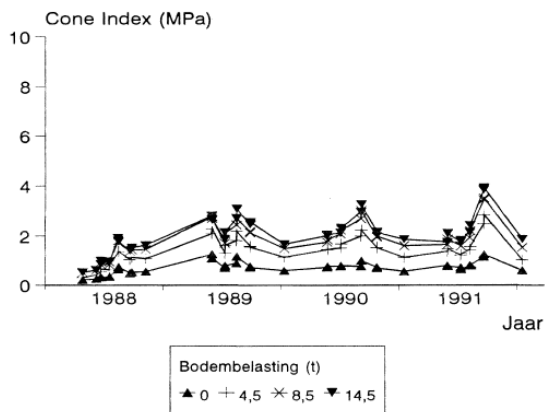
Van Dijk en Van Miltenburg (2013) verkenden modelmatig de theoretisch mogelijke invloeden van verbetering van de bodemstructuur op het watersysteem. Zij concludeerden:

- Door bodemverbetering kan droogtestress op grasland worden verminderd met gemiddeld meer dan een week (7,6 dagen op podzolgrond en 17,1 dagen op ooivaaggrond).
- Op maïsland heerst minder droogtestress en kan de droogte worden verminderd van zes dagen tot geen droogtestress op de ooivaaggrond.
- Na bodemverbetering wordt voor grasland gemiddeld 9,6 tot 75 mm water aangevoerd, wat 33 tot 84 % minder is dan wanneer geen bodemverbetering wordt toegepast.
- Door bodemverbetering toe te passen is voor maïsland op een ooivaaggrond geen wateraanvoer meer nodig.
- Bodemverbetering heeft op een podzolgrond vooral invloed op het overbruggen van droogtestress in een normaal jaar (1984). In een erg droog jaar (1976) leidt bodemverbetering niet tot reductie van droogtestress op een podzolgrond.
- Bodemverbetering op een beekerdgrond en een ooivaaggrond is zowel in erg droge als normale jaren relevant voor het verminderen van droogtestress.
- Na een bui wordt het water door een verbeterd profiel langer vastgehouden, waardoor het profiel dus minder snel uitdroogt.
- Door bodemverbetering is er tijdens droge perioden meer vocht in de bodem, waardoor over het algemeen minder wateraanvoer noodzakelijk is. Dit geldt niet voor een podzolgrond onder zeer droge omstandigheden zoals in 1976. Als een podzolgrond eenmaal is uitgedroogd kost het meer water om weer voldoende vocht beschikbaar te maken voor het gewas.

Schipper et al. (2015) werkten dit nader uit. De positieve werking van bodemverbetering op vermindering van piekafvoeren en vermindering van droogteschade worden hierin bevestigd.

Arts et al. (1994) onderzochten de relatie tussen **berijding en bodemconditie** en de **gevolgen voor de drogestof-opbrengst van gras op zandgrond**, gedurende de jaren 1988-1991. Daaruit kwam een duidelijke invloed van de belasting op de indringingsweerstand, dichtheid (porievolumen) en de pF-curven naar voren. Figuur 16 tot en met 19 zijn uit Arts et al. (1994) afkomstig.

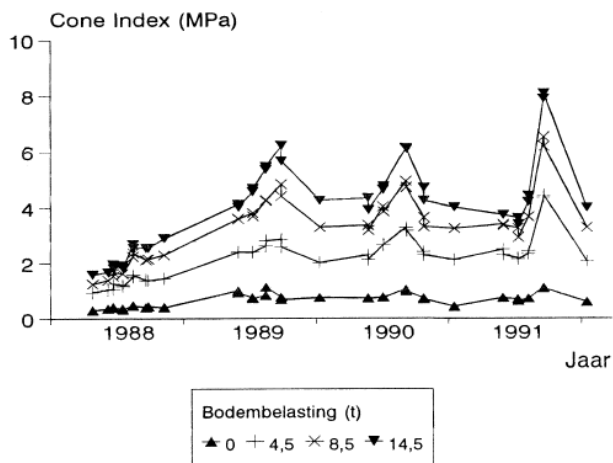
FIGUUR 16A (ONTLEEND AAN ARTS ET AL., 1994)



Figuur 13 Indringweerstand in de jaren 1988 t/m 1991 in de laag 0-5 cm -mv bij de diverse bodembelastingen.

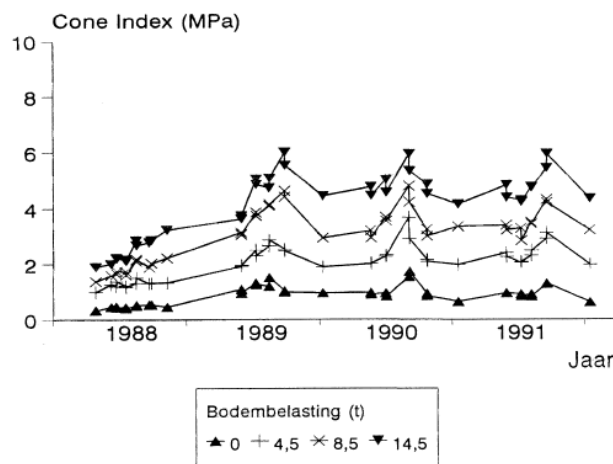
Figure 13 Cone Index from 1988 to 1991 in the 0-5 cm layer for each load.

FIGUUR 16B (ONTLEEND AAN ARTS ET AL., 1994)



Figuur 14 Indringweerstand in de jaren 1988 t/m 1991 in de laag 15-20 cm -mv bij de diverse bodembelastingen.

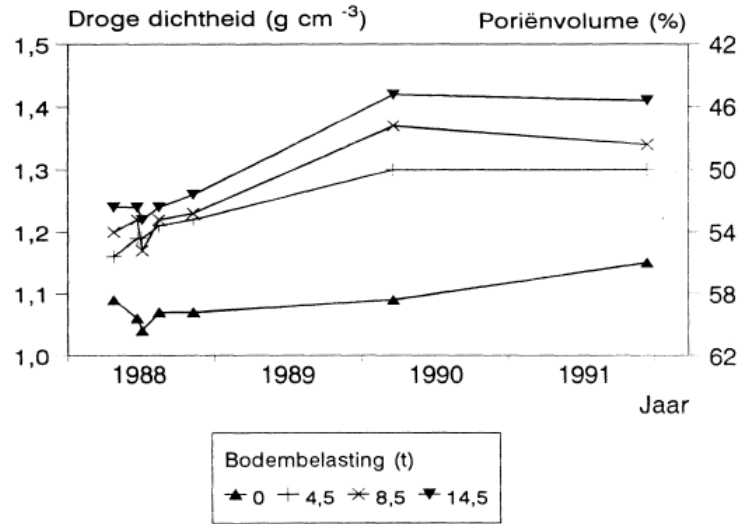
Figure 14 Cone Index from 1988 to 1991 in the 15-20 cm layer for each load.



Figuur 15 Indringweerstand in de jaren 1988 t/m 1991 in de laag 30-35 cm -mv bij de diverse

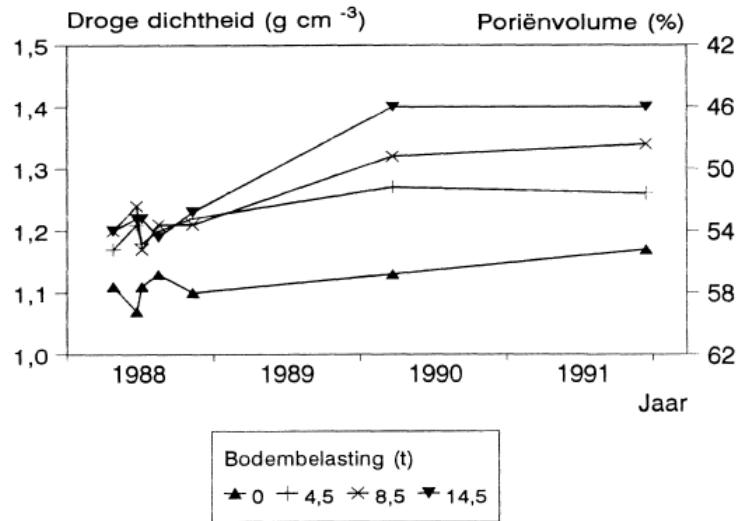
FIGUUR 17

(ONTLEEND AAN ARTS ET AL., 1994)



Figuur 3 Droge dichtheid en bijbehorend poriënvolume in de jaren 1988 t/m 1991 voor de laag 15-20 cm -mv bij de verschillende bodembelastingen.

Figure 3 Dry bulk density and corresponding pore space from 1988 to 1991 in the 15-20 cm layer for each load.

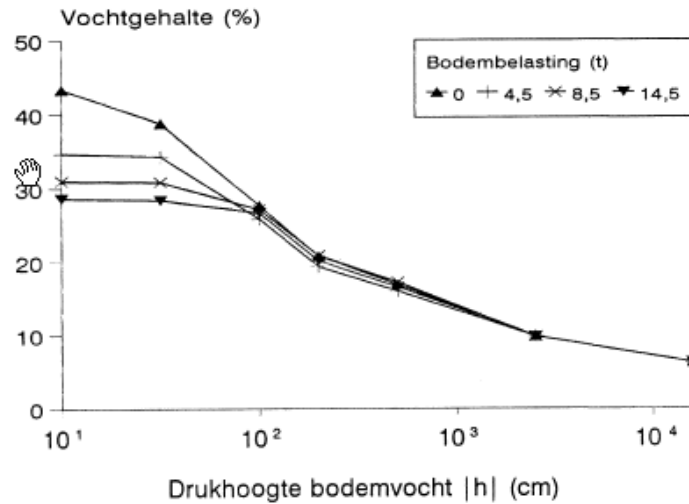


Figuur 4 Droge dichtheid en bijbehorend poriënvolume in de jaren 1988 t/m 1991 voor de laag 30-35 cm -mv bij de verschillende bodembelastingen.

Figure 4 Dry bulk density and corresponding pore space from 1988 to 1991 in the 30-35 cm layer for each load.

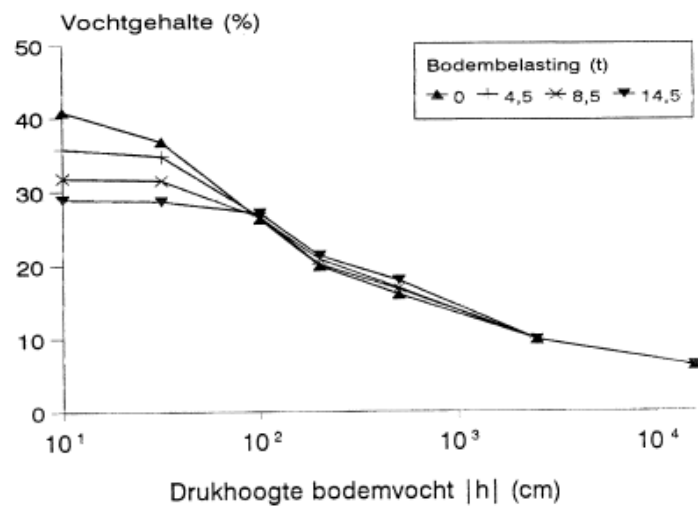
FIGUUR 18

(ONTLEEND AAN ARTS ET AL., 1994)



Figuur 9 Vochtgehalte (gew. %, d.b.) in de laag 15-20 cm -mv afhankelijk van de drukhoogte van het bodemvocht en de bodembelasting.

Figure 9 Soil moisture content (% w/w, d.b.) for the 15-20 cm layer as a function of pressure head and for each load.



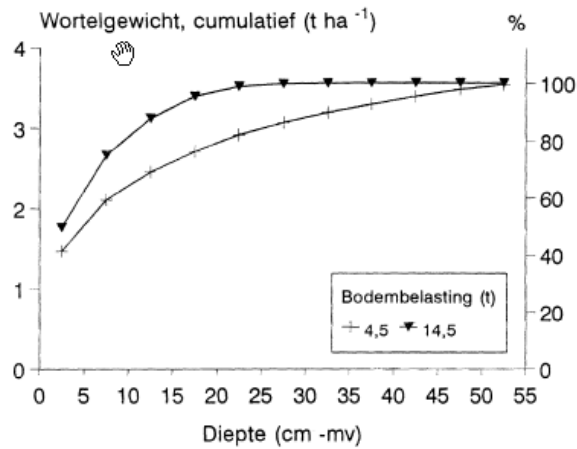
Figuur 10 Vochtgehalte (gew. %, d.b.) in de laag 30-35 cm -mv afhankelijk van de drukhoogte van het bodemvocht en de bodembelasting.

Figure 10 Soil moisture content (% w/w, d.b.) for the 30-35 cm layer as a function of pressure head and for each load.

Figuur 19, afkomstig uit Arts et al. (1994), geeft de gevolgen van bodembelasting voor beworteling.

FIGUUR 19

(ONTLEEND AAN ARTS ET AL., 1994)



Figuur 30 Cumulatief wortel-drooggewicht per gewasoppervlakte, voor twee bodembelastingsobjecten, beide afhankelijk van de diepte.

Figure 30 Cumulative dry matter weight of roots per crop area as a function of depth, in plots subjected to two of the loading treatments.

De opbrengsten namen aanzienlijk af, zowel bij een toename van de bodembelasting van 4,5 naar 8,5 ton als bij een toename van 8,5 naar 14,5 ton. Bij een bodembelasting van 14,5 ton was de opbrengst 12% lager dan bij een bodembelasting van 4,5 ton.

4.3 VERSLEMPING

Onder verslemping verstaan we de bodemkundige eigenschap waarbij het bovenste laagje van 1 à 2 cm dikte van de bouwvoor t.g.v. de regen gemakkelijk verspoelt, zodat de bodemdeeltjes bij opdrogen een harde korst op de grond vormen. Vooral bij lichte zavelgronden en leemgronden kan verslemping optreden. De slempgevoeligheid is te koppelen aan de bodemeenheden van BOFEK-2012 (pers. meded. M.J.D. Hack-ten Broeke). Een gezonde grasmat biedt voldoende weerstand tegen verslemping. Bij grasland speelt verslemping alleen een rol als wordt ingezaaid.

De vraag is of verslemping is te koppelen aan de waterhuishoudkundige toestand van de bodem. In principe wordt de verslemping verergerd door natte beginomstandigheden (aan het begin van de verslemping veroorzakende neerslagebeurtenis) maar de relatie wordt verondersteld zwak te zijn.

4.4 NATTE GROND IS KOUDE GROND

Het begin van de grasgroei is te relateren aan het aantal graaddagen (de som van de overschrijding van een bepaalde waarde van de gemiddelde temperatuur, van dagen vanaf een bepaalde datum vroeg in het voorjaar). Bij natte grond treedt echter uitstel van de grasgroei op in vergelijking met niet-natte gronden omdat natte grond in het voorjaar langzamer opwarmt. Van Wijk et al. (1988) pasten daarom een correctie op de temperatuursom toe, zie Figuur 20.

FIGUUR 20 (ONTLEEND AAN VAN WIJK ET AL., 1988)

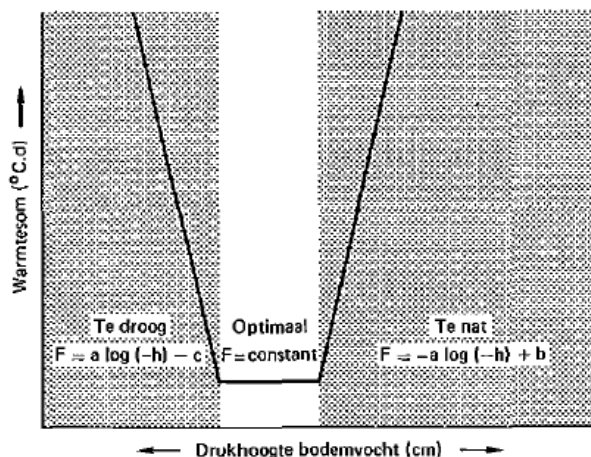


Fig. 16. Algemeen verband tussen warmtesom (F) vereist voor kieming en opkomst gebaseerd op de dagelijks gemiddelde luchttemperatuur en de drukhoogte h in het kiembed

Opmerkelijk is dat de hellingshoek gelijk is voor de natte en droge kant.

Een dergelijke relatie is ook denkbaar voor de start van de groei van grasland in het voorjaar, althans voor het natte deel. Er is echter geen literatuur gevonden om deze relatie te kwantificeren.

Op de workshop van 2 juli 2015 werd het uitstel geschat op maximaal twee weken (gemiddeld één week) en werd de suggestie gedaan de proeven met hoog en laag peil op Zegveld en de proeven bij CGO-proefvelden bij Venray (Henk Schilder/Jan Visscher) hierop te analyseren. Ook werd gesteld dat de bepaling van de temperatuursom achterhaald is. Na een warme winter begint het gras al in januari te groeien. Dit duidt op de noodzaak van het klimaatbestendig maken van de temperatuursom.

In het najaar is een omgekeerde reactie te verwachten: natte grond koelt wellicht minder snel af dan droge grond vanwege de grote warmtecapaciteit van water. Het is niet bekend of dit opweegt tegen de betere geleidbaarheid van natte grond. Het effect op graslandproductie zal minder zijn dan aan de start van het groeiseizoen in het voorjaar omdat grasland in het najaar niet meer zo productief is.

4.5 DENITRIFICATIE

Zuurstofgebrek in de bodem bevordert de afbraak van nitraat, met wellicht verminderde beschikbaarheid van stikstof tot gevolg en gevolgen voor de grasopbrengst. In de praktijk kan dit worden gecompenseerd met een extra stikstoftoediening maar de mogelijkheid hiervoor is vanwege de mestwetgeving beperkt.

Omdat de kans op zuurstofgebrek is te relateren aan de vochttoestand van de bodem is er een relatie tussen waterhuishoudkundige toestand van de het perceel en de opbrengstreductie door stikstofgebrek.

4.6 INUNDATIE

Als er water op het land komt te staan kan het gewas niet meer worden gebruikt als veevoer, zeker als dat perceelsvreemd water is, afkomstig van inundatie vanuit waterlopen. Onderscheid is dus nodig tussen water op het land door hoge grondwaterstanden en water

op het land door inundatie vanuit waterlopen. Water op het land door overschrijding van de infiltratiecapaciteit wordt verondersteld zo kortstondig te zijn dat dit geen indirecte schade tot gevolg heeft.

Door water op het land raakt de wortelzone verzadigd met water met gevolgen voor de opname van vocht en voedingsstoffen. Vooral bij akkerbouwgewassen zoals aardappel kan al na één dag verrotting van oogstbare producten optreden. Ook bij grasland kan de snede verrotten als deze langere tijd onder water ligt.

Daarnaast kan gedurende een bepaalde periode het bouwland niet worden bereiden of bewerkt, of kan het grasland niet worden bereiden of beweid. Door WUR-ASG is de Inundatiewijzer ontwikkeld waarmee voor een te specificeren graslandbedrijf de schade door inundatie kan worden berekend (Hoving et al., 2013).

4.7 ZIEKTEN EN PLAGEN

Talrijke ziekten en plagen gedijen beter onder natte omstandigheden. Leverbot bij koeien en schapen is bekend, maar ook de structuur- en vraatschade van ganzen is te relateren aan natheid. Natheid kan echter ook schade van bijvoorbeeld mollen en veldmuizen beperken. Door klimaatverandering stijgt de temperatuur waardoor sommige ziekten en plagen meer of minder kans op voorkomen hebben (Blom et al., 2008). De relatie tussen kans op ziekten en plagen en waterhuishoudkundige toestand is op basis van de literatuur nog niet voldoende te kwantificeren.

4.8 VERSCHUIVING IN BOTANISCHE SAMENSTELLING VAN DE GRASMAT

De samenstelling van de grasmat is voor een deel het resultaat van onderlinge concurrentiekracht tussen grassoorten. Deze krachtsverhoudingen hangen af van het hydrologisch regime. Onder natte omstandigheden nemen de aan natte omstandigheden geadapteerde, landbouwkundig minder gewaardeerde, grassoorten de overhand waardoor de grasproductie minder kan worden.

Wanneer aan natte omstandigheden geadapteerde, landbouwkundig minder gewaardeerde, grassoorten de overhand krijgen kan ook de voederwaarde van het gras, met name in een ouder stadium, sterk dalen. De verteerbaarheid en smakelijkheid van de mindere grassoorten is duidelijk lager dan die van Engels raaigras (Korevaar, 1986). De productie van de mindere grassoorten wijkt in het algemeen (bij gelijke N bemesting) niet af van Engels raaigras (Holshof en Van den Pol, 2014).

Op basis van kennis is binnen BBPR een correctie aan te brengen op de netto kVEM-opbrengst, door vermindering van de voederwaarde (energie inhoud) ten opzichte van Engels raaigras. Dit is daarmee ook opgenomen in Waterwijzer. In werkelijkheid verlaagt de verteerbaarheid (VC-os) van de organische stof. De VC-os zit als parameter echter niet in het groeiemodel. Een daarvan afgeleide parameter is de VEM inhoud van het gras. In BBPR wordt een relatie verondersteld tussen grondwatertrap-grondsoort en botanische samenstelling, die vertaald wordt naar een lagere VEM inhoud van het gras (-50 tot -300 VEM). De hoogste reductie wordt verkregen wanneer wordt aangegeven dat het natuurbeheer grasland is. Bij 'normaal' productiegrasland bedraagt de correctie maximaal 150 VEM.

5

RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK INDIRECTE NATSCHADE BIJ MAÏS

5.1 INLEIDING

De teelt van maïs voor de melkveehouderij is niet te vergelijken met het produceren van gras, maar met een eenjarig akkerbouwgewas. Van Wijk en Feddes (1975) beschreven methodisch hoe de relatie tussen waterhuishouding en opbrengst gelegd kan worden.

5.2 LITERATUUROVERZICHT

BEWERKBAARHEID/BERIJDBAARHEID

Figuur 21 geeft de kalender van de teelt van maïs op zandgrond.

FIGUUR 21 KALENDER VAN DE TEELT VAN MAÏS OP ZANDGROND

	Maand									
	maart	April	mei	juni	juli	aug	sept	okt	nov	
Groenbemester onderwerken/doodspuiten										
Drijfmest injecteren										
Bewerken										
Ploegen										
Zaaibedbereiding										
Zaaien										
Spuiten tegen onkruid										
Oogsten										
Nabewerken en groenbemester zaaien										

Voor elke bewerking of berijding dienen volgende grenzen voor de indringingsweerstand te worden vastgesteld:

- grens voor optimale omstandigheden;
- grens voor onmogelijke omstandigheden (dus geen berijding of bewerking mogelijk);
- in tussentraject: relatie tussen hydrologische variabele en structuurschade.

Uitstel van de zaaidatum geeft opbrengstverlies.

Abblas et al. (1987) stellen dat de bouwvoor bij het zaaien niet te dicht mag zijn en dat bij zandgrond het poriënvolume tussen 45 en 55% ligt, zie Figuur 22.

FIGUUR 22

(ONTLEEND AAN ALBLAS ET AL., 1987)

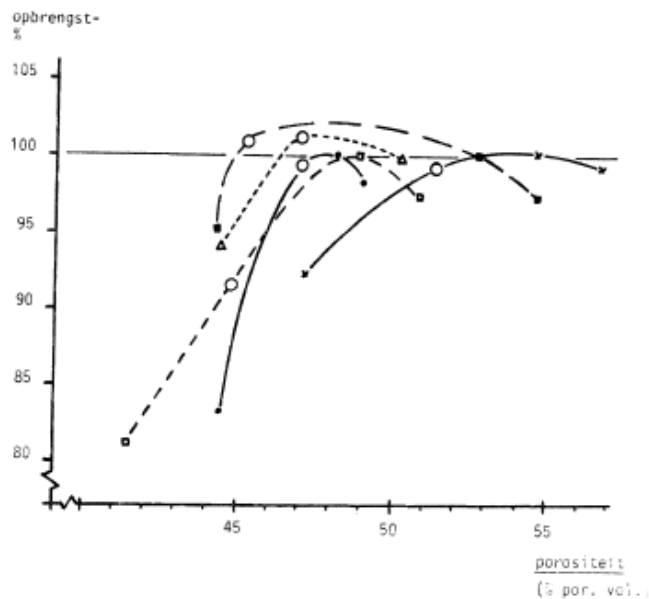


Fig. 6. De invloed van de porositeit op de opbrengst van snijmaïs. De maïsoopbrengst (drogestof) in verhoudingsgetallen. De opbrengst van de lichte verdichting is op 100 gesteld. Omcirkeld is de opbrengst van de matige verdichting die verkregen is door berijding met dubbellucht vóór het zaaien (Boone e.a., 1986).

Bij losse grond is de opkomst gedurende een droge periode te traag. Bij matige en vooral bij sterk verdichte gronden is de wortelgroei in de bouwvoor soms beperkt door zuurstofgebrek. Onder de bouwvoor treedt dit wat vaker op. Ook kan de indringingsweerstand te hoog zijn, vooral onder droge omstandigheden.

Wopereis (1991) kwam tot een drempelwaarde voor de drukhoogte, voor berijding op zandgrond waarbij de insporing onacceptabel (meer dan 6 cm) werd, van -70 cm. Omdat berijding onder nog iets nattere omstandigheden kan worden uitgevoerd werd de kritieke drukhoogtegrens bepaald op -50 tot -70 cm, zie de uitsnede uit dit rapport in Figuur 23.

FIGUUR 23

UITSNEDE UIT WOPEREIS (1991)

De volumefractie vocht in de laag 2-7 cm waarbij 11 cm insporing werd gemeten was 0,25. Pelgrum (1977) stelt een gewichtsvochtgehalte van 23% voor als grens voor bewerkbaarheid. Boekel kwam in (1979) tot een vergelijkbare of iets lagere waarde. Afgaande op de praktijk zoals die op het ROC wordt gehanteerd ligt de acceptabele insporingsdiepte voor een lemige zandgrond dus tussen 6 en 10 cm. Beuving (1982) en Koolen et al. (1990) leggen de bewerkbaarheid van humeuze zwak en sterk lemige veldpodzolgronden bij een drukhoogte van $h = -70$ cm. Omdat berijdbaarheid onder nog iets nattere omstandigheden kan worden uitgevoerd (er volgt immers meestal nog een grondbewerking/zaaibedbereiding) zal de drempelwaarde voor berijdbaarheid dus liggen tussen -50 en -70 cm.

Als richtgetal voor de drempelwaarde voor berijdbaarheid lijkt -60 cm voor dit soort gronden daarom een acceptabel compromis.

Voor de grenzen van bewerkbaarheid en berijdbaarheid voor maïs in het voorjaar kan wellicht kennis worden benut die voor akkerbouwgewassen beschikbaar is. Indien de drempelwaarden voor de indringingsweerstand bekend zijn is per type grond een drempelwaarde voor de drukhoogte op 5 cm diepte (in het voorjaar) of 15 cm diepte (in het najaar).

Een koppeling van gemeten drukhoogte en bewerkbaarheid/berijdbaarheid is ook mogelijk. Hokke en Tanis (1978) komen uit op een drempelwaarde van -110 cm voor kleigronden, voor zowel voor- als najaar. Drempelwaarden voor overige bodems kunnen worden ontleend aan Van Wijk et al. (1988), zie Figuur 14.

Abblas et al. (1987) onderzochten de invloed van de oogstdatum, zie Figuur 24.

FIGUUR 24

(ONTLEEND AAN ALBLAS ET AL., 1987)

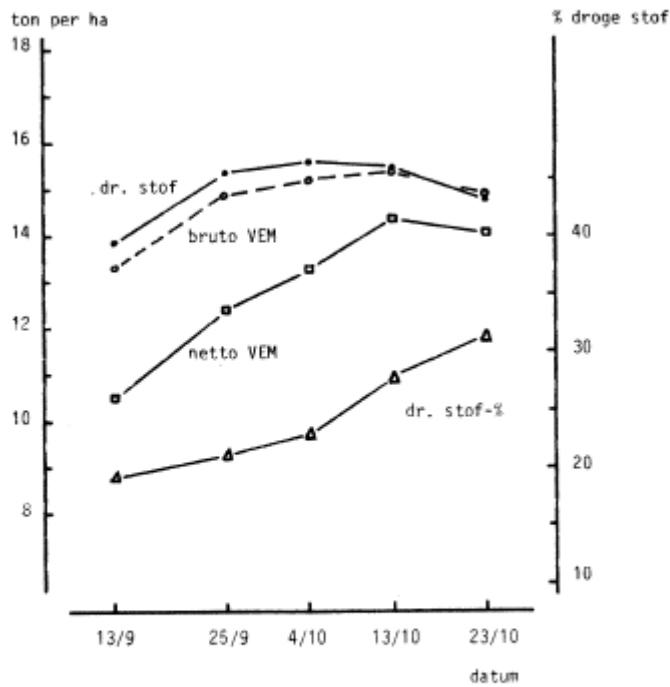


Fig. 8. Invloed van de oogstdatum op drogestofgehalte en -opbrengst en bruto en netto VEM-(voedereenheid melk)opbrengst. Heino 1978, ras Libon (Ten Hag e.a., 1984).

Boekel (1979) onderzocht welke factoren van invloed zijn op de grenswaarde van het vochtgehalte waarbij de bewerkbaarheid als goed is beoordeeld, op het oog en het gevoel volgens een door Boekel ontwikkelde en veelvuldig toegepaste test, zie Figuur 25.

FIGUUR 25

(ONTLEEND AAN BOEKEL, 1979)

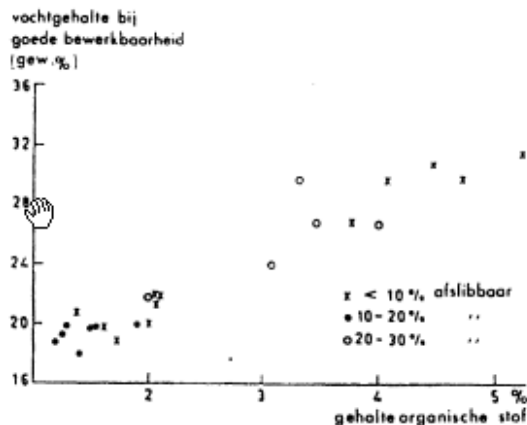


Fig. 46. Invloed van de gehalten aan organische stof en afslibbare delen op de grenswaarde van het vochtgehalte bij goede bewerking (Boekel, 1979).

In de praktijk wordt rekening gehouden met de kans op natte omstandigheden in het najaar door de keuze van vroegheid van maïsrassen. Hoe groter de kans op niet-oogstbare dagen, hoe eerder voor een vroeg ras dat minder opbrengt zal worden gekozen.

De Aanbevelende rassenlijst (CSAR, 2015) maakt onderscheid tussen twee vroegheidsgroepen, namelijk zeer vroeg/vroeg en middenvroeg/middenlaat. Bij gelijke omstandigheden bereikt een ras uit de groep zeer vroeg – vroeg een drogestofgehalte van 35% gemiddeld twee tot drie weken eerder dan een ras uit de groep middenvroeg – middenlaat. De gemiddelde drogestofopbrengst van een ras uit de groep zeer vroeg – vroeg is 5-7% lager dan van een ras uit de groep middenvroeg – middenlaat.

SLEMPGEVOELIGHEID

Bij sommige bodems treedt bij zware neerslag na het zaaien korstvorming op waardoor de kieming van maïs kan worden belemmerd (Kiestra, pers. meded.). De relatie met de ontwateringstoestand is zwak. Maar het vervloeien van de bodem bij hoge vochtgehalten (interne slemp), waardoor de bouwvoor in elkaar zakt, is wel afhankelijk van de ontwateringstoestand.

NATTE GROND IS KOUDE GROND

Maïs is gevoelig voor koude na het zaaien. In de literatuur is geen bruikbare relatie voor Nederlandse omstandigheden gevonden.

Maïszaad kiemt bij een minimum bodemtemperatuur van 8-10 °C. Gemiddeld bereikt de bodem op zaaidiepte (5-6 cm) deze temperatuur tussen 20 en 30 april. De kieming verloopt het snelst bij 30-32 °C.

VERKRUIMELBAARHEID

Verkruijmelbaarheid is in het WIB-systeem een aanduiding van het gemak waarmee de bouwvoor zich laat verkruijmel en van de breedte van het vochtgehalte waarbinnen dit mogelijk is. Voor maïs is verkruijmelbaarheid (weinig geteeld op kleigronden) van minder belang en vooralsnog wordt er geen relatie gelegd met het actuele vochtgehalte van de bouwvoor. Naar schatting wordt 15% van de maïs op kleigrond geteeld.

6

RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK ZOUTSCHADE BIJ GRAS EN MAÏS

Van Bakel en Stuyt (2011) classificeren gras als tolerant en maïs als matig gevoelig voor zout in de wortelzone. Uit de literatuur zijn geen cijfers te ontleen van zoutschade door beregening met brak water in Nederlandse omstandigheden. In de onderzoeksprogrammering en in de praktijk werd deze vorm van zoutschade niet als een probleem gezien omdat het niet of nauwelijks voorkomt. De redenen hiervoor kunnen zijn:

- gras is zodanig zouttolerant dat de zoutschadedrempel in het beregeningswater zelden of nooit wordt overschreden. Vooralsnog is dit een hypothese.
- Maïs wordt niet of zelden beregend in gebieden met brak grond- of oppervlaktewater. Vooralsnog is dit een hypothese.

Met het oog op mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor de landbouwwaterhuishouding zijn door Visscher (2012) ervaringen met verzilting op 15 melkveebedrijven verzameld. Figuur 26 geeft een uitsnede uit de samenvatting van dit rapport. Beregening wordt door de bedrijven in het onderzoek niet toegepast.

FIGUUR 26 UITSNEDE UIT VISSCHER (2012)

In Nederland is de laatste jaren veel aandacht voor verzilting, mede vanwege mogelijke gevolgen voor landbouw en natuur. Verzilting komt vooral voor in de kustgebieden en laag gelegen polders en wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door brakke kwel. Zeespiegelstijging, (regionale) bodemdaling en klimaatveranderingen kunnen verzilting verder doen toenemen.

Om meer inzicht te krijgen in de effecten van verzilting in de praktijk, met name in de melkveehouderij, is in het najaar van 2010 een onderzoek en inventarisatie uitgevoerd bij 15 melkveehouders met bedrijven gelegen in gebieden waar verzilting in meer of mindere mate aanwezig is. De bedrijven zijn gesitueerd in de kustgebieden van Friesland en Groningen, in Zeeland en in de polders De Schermer (Noord Holland) en Groot Mijdrecht (Utrecht).

Middels een bedrijfsbezoek en invullen van een vragenlijst zijn gegevens verzameld over melkproductie, gezondheid vee, drinkwatervoorziening, ruwvoerproductie en zodekwaliteit grasland, snijmaïsteelt, voerrantsoen, bodemomstandigheden en enkele algemene zaken. Dit rapport omvat de uitwerking van de verkregen informatie aan de hand van voornoemde bedrijfsaspecten die mogelijk nadelen ondervinden van verzilting.

Drinkwatervoorziening vee

Op de meeste veebedrijven bestaat het drinkwater voor het melkvee uit leidingwater. Dit geldt voor alle bedrijven met stalvoeren/summerfeeding en voor het merendeel van de bedrijven die weiden. De kwaliteit en het zoutgehalte van het slootwater, als drinkwater voor melkvee, zijn in dit geval niet van belang. Bij enkele bedrijven in Friesland en de droogmakerijen krijgt het melkvee tijdens het weiden wel slootwater te drinken. Dit betreft vrijwel altijd doorgespoeld water. Tijdig doorspoelen vinden de veehouders zeer belangrijk. Overschakelen op leidingwater brengt extra kosten met zich mee. In Zeeland worden kavelsloten niet doorgespoeld en is het drinkwater voor melkvee altijd leidingwater. Jongvee en droogstaand vee staan deels op stal en krijgen dan leidingwater. Bij weiden bestaat het drinkwater uit aangevoerd leidingwater of water uit brakke kavelsloten die wel of niet worden doorgespoeld. De kwaliteit van het slootwater in natuurgebieden is vaak onbekend.

Ruwvoerproductie, zodekwaliteit en groeiomstandigheden grasland

De graslandproductie op de bezochte bedrijven ligt op een gemiddeld tot goed niveau. Een exacte graslandproductie is moeilijk te kwantificeren. Een kleine opbrengstdaling door meer verzilting is door de veehouder nauwelijks vast te stellen. Uit kuilanalyses komen soms relatief wat hoge chloor- en natriumgehalten naar voren. In combinatie met ander voer vormt dit geen probleem. Deze hoge gehalten zijn wellicht een aanwijzing voor zilte groeiomstandigheden. De kwaliteit van de graszode varieert van goed tot matig. Grasland met een lage grondwaterstand en jong grasland, bijvoorbeeld in roulatie met akkerbouw, hebben overwegend een goede grasmant met veel Engels raaigras. Lager gelegen, nattere percelen hebben landbouwkundig gezien veelal een matige botanische samenstelling met veel ruwbeemdgras en soms veel fioringras. Bodemdaling in Friesland zorgt voor toename van zoute kwel en vernatting. De kwaliteit van de graszode gaat hierdoor achteruit. Ook peilverhoging kan meer vernatting geven. Bij de beoordeling van grasland is het niet altijd duidelijk of een matige zodekwaliteit en een mindere productie het gevolg zijn van vernatting dan wel van verzilting. Een aantal bedrijven heeft last van zoute kwelplekken in het grasland. Deze plekken zijn soms enkele are groot, met een sterk afwijkende vegetatie met veel fioringras. Kwelplekken zijn lastig voor goed graslandmanagement. Aanwezige slootwellen veroorzaken inzakkende slootkanten en zijn gevaarlijk voor machines en vee. Blijvend herstel is zeer lastig. Vrijwel alle bedrijven hebben drainage, soms zijn er alleen greppels vanwege een slappe ondergrond. Bij enkele bedrijven heeft de drainage last van ijzeroxidatie. Incidenteel is een kwelsloot aanwezig om (zoute) kwel op te vangen.

Mogelijkheden snijmaïsteelt

Snijmaïs is voor 13 van de 15 bedrijven een belangrijk ruwvoergewas. Maïs wordt vooral geteeld op de betere percelen met een goede drooglegging. De veehouders die geen maïs telen vinden hun grond hiervoor minder geschikt vanwege nattere groeiomstandigheden of onvoldoende draagkracht. De bedrijven kunnen met maïsteelt goede opbrengsten halen van 15-18 ton drogestof per ha (in 2010). Op de huidige percelen waar maïs wordt geteeld, zien de veehouders nog geen negatieve gevolgen van verzilting. Een toenemende vernatting door meer (zoute) kwel, of hogere peilen ziet men wel als bedreiging voor een goede maïsteelt.

7

RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK

INDIRECTE DROOGTESCHADE BIJ GRAS EN MAÏS

Hoofdstuk 2 somde de mogelijke vormen van indirecte droogteschade op. Voor gras en maïs zijn de volgende vormen mogelijk van belang:

- **Achteruitgang in botanische samenstelling van de graszode**, als gevolg van regelmatig optredende droogtestress;
- (Gedeeltelijk) **afsterven van de zode**, na een aanhoudende lange periode van (extreme) droogtestress;
- **Remming van de kieming** na (her)inzaai grasland c.q. na zaaien van maïs;
- **Vertraagde herbevochtiging** als gevolg van (gedeeltelijk) irreversibel indrogen van (klei) grond;
- **(Versnelde) afbraak van veen**.

Hierna volgt een beschrijving van de kennis die aan de literatuur is ontleend.

7.1 ACHTERUITGANG IN BOTANISCHE SAMENSTELLING VAN DE GRASZODE

Door structurele droogteschade kan de samenstelling van de grasmat verschuiven naar minder productieve soorten en dus mindere kwaliteit van het gras. Dit kan leiden tot vaker herinzaaien van gras. In het algemeen besluiten boeren grasland te vernieuwen wanneer de productiviteit van de zode lager is dan zou kunnen. Het is echter moeilijk om het productieverschil objectief vast te stellen. In het algemeen wordt geadviseerd grasland opnieuw in te zaaien wanneer het aandeel Engels raaigras lager is dan 50% en/of wanneer het aandeel kweek hoger is dan 10%. Met een inschatting van het aandeel goede grassen en klaver en onder andere aanvullende informatie over bodem en hydrologie kan een economische kosten-baten analyse uitgevoerd worden met de Herinzaaiwijzer van Livestock Research van Wageningen-UR (<http://webapplicaties.wur.nl/software/herinzaaiwijzerfe/>).

Een lagere productie wordt vaak veroorzaakt door een enkel incident of een reeks incidenten. Graszoden die voornamelijk bestaan uit Engels raaigras zijn relatief gevoelig voor periodes van droogte of vorst. Vooral op zandgronden met een dunne humeuze bovengrond en een compacte ondergrond wordt grasland frequent opnieuw ingezaaid, omdat het moeilijk is om de gewenste botanische samenstelling te handhaven na één of meerdere lange droge perioden. Op dergelijke gronden is een snelle invasie van ongewenste grassoorten als straatgras (*Poa annua*) en kweek (*Elymus Repens*) na droogte vaak een probleem. Deze grassoorten worden slecht opgenomen en hebben een slechte voederwaarde. De productiviteit gaat hierdoor aanzienlijk achteruit.

7.2 (GEDEELTELIJK) AFSTERVEN VAN DE ZODE

Bij lang aanhoudende extreme droogte treedt 'verbranding' van de zode op. Verbranding staat voor al dan niet irreversibele 2^e orde effecten van droogtestress op het assimilatievermogen van gras. Door verbranding is het gewas na herbevochtiging niet meer in staat tot normale drogestofproductie, althans gedurende een bepaalde periode. Bij ernstige verbranding is herinzaai nodig. De mate van verbranding is te koppelen aan temperatuur en berekende verdampingsreductie per snede.

7.3 REMMING VAN DE KIEMING EN OPKOMST

De kieming van graszaad in het voorjaar (bij huidige wetgeving alleen maar in het voorjaar) kan bij sterk drogend weer en vooral bij een losse bovengrond worden geremd en het opgekomen gras kan afsterven. Schilder (pers. meded.) vermoedt dat dit proces geen relatie met de grondwaterstand vertoont maar wel met de bodemsamenstelling. Door berekening kan remming of afsterving van het pas opgekomen gras worden voorkomen.

Bij maïs werd in het extreme droge voorjaar van 2007 remming van de kieming waargenomen. Ook hierbij wordt vermoed dat dit proces geen relatie met de grondwaterstand vertoont maar wel met de bodemsamenstelling.

7.4 VERTRAAGDE HERBEVOCHTING

Zwellende en krimpende gronden kunnen na overschrijding van een bepaalde uitdrogingsgrens (tijdelijk) moeilijker worden herbevochtigd. Hetzelfde geldt voor waterafstotende gronden (Ritsema, 1998; Dekker, 1998). Het gevolg is dat deze gronden meestal droogtevoeliger zijn dan op grond van de 'normale' bodemeigenschappen wordt berekend.

Berekening van dit type gronden kan er voor zorgen dat dit proces niet of in mindere mate optreedt en bij berekening van de effecten ervan dient men hiermee rekening te houden.

7.5 VERZURING

Volgens Stoffelsen (pers. meded.) wordt bij verlaging van de grondwaterstand door grondwaterwinning de pH verlaagd doordat kalkrijke kwel wegvalt. Hierdoor verzuurt de wortelzone, waardoor de samenstelling van het bodemleven kan veranderen. Verder kan de groei/kwaliteit van het gewas eronder lijden als de wortelzone te zuur wordt (CBGV, 2002; Puijsselaar, 2012; Vroon, 2012). Bij de waterwinning Mander is dit effect opgenomen in de schaderegeling (Vroon, pers. meded.). Verzuring kan worden opgeheven door (extra) bekalking en is dus een kostenpost.

7.6 AFBRAAK VAN VEEN

Mineralisatie van veen wordt versneld indien zuurstof kan toetreden als gevolg van het boven de grondwaterstand komen liggen van veenlagen. Dit heeft een aantal ongewenste effecten zoals meer productie van CO₂, meer uitspoeling van N en P en (extra) maaiveldsdaling.

Voor ontwaterde veengronden is de relatie tussen waterhuishouding en veenafbraak/daling van het maaiveld uitermate van belang. Door voortdurende maaiveldsdaling door veenoxidatie in de orde van 5-15 mm per jaar worden veenweiden in de loop der tijd steeds natter. Dit

noopt tot herstel van de oorspronkelijke drooglegging om de ontwatering weer op het oude niveau te brengen. Dit herstel vindt in de Westelijke veenweiden in de praktijk één keer per 10-15 jaar plaats door peilverlaging. Maaiveldsdaling leidt meestal tot een holle maaiveldligging binnen het perceel. De middendelen van de percelen zijn daardoor in natte tijden (bolle grondwaterspiegel) extra nat en extra kwetsbaar voor plasvorming. In sommige gevallen is egalisering van het maaiveld noodzakelijk. Vaak wordt dan het perceel 'bol gezet' om de afwatering door afstroming over het maaiveld naar sloten en greppels te bevorderen.

Er is dus een duidelijke relatie met de grondwaterstand en daarmee met het waterbeheer (in veenweidegebieden te vertalen in drooglegging). Inmiddels is er uitgebreide kennis over deze relatie die is samengevat in o.a. Hardeveld et al. (2006) en Hendriks et al. (2014). Uit deze onderzoeken is de expertregel af te leiden dat een verlaging van de drooglegging van 30 naar 60 cm op veengronden leidt tot een verdubbeling van de maaiveldsdaling: van 0,5 tot 1,0 cm/jaar. Bij klei-op-veengronden is de daling en dus het effect wat minder.

In de voortdurend dalende veenweiden neemt wegzijging af of kwel toe (Hendriks et al., 2014). Percelen worden daardoor steeds natter of minder droog. Dit is wel afhankelijk van de ontwikkeling in de tijd van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket.

Een maatregel om maaiveldsdaling te remmen die in het recente verleden al veel is onderzocht en momenteel steeds vaker wordt toegepast is onderwaterdrainage (<http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Onderwaterdrains?subject=10>). De drains liggen daarbij permanent onder slootpeil en op relatief korte (4-6 m) afstand van elkaar. Het doel hiervan is het bevorderen van de infiltratie van slootwater tot in het midden van het perceel in droge tijden waardoor de veenoxidatie vermindert en de maaiveldsdaling wordt geremd. Maaiveldsdaling vindt vooral eind zomer plaats bij diepe grondwaterstanden en hoge bodemtemperaturen. Met deze maatregel is het mogelijk de maaiveldsdaling te halveren (Van den Akker et al., 2013).

Onderwaterdrains hebben als bijkomende voordelen voor het landbouwkundig gebruik de extra wateraanvoer in droge tijden en extra waterafvoer door de drainerende werking van de drains in natte tijden, zoals het voorjaar. Zowel droogteschade als natschade kunnen met deze drains worden verminderd. Daarbovenop kunnen onderwaterdrains nadelige indirecte effecten in de vorm van ongeschiktheid voor berijding en matige beschikbaarheid voor de plant van meststoffen verminderen. De betere benutting van meststoffen bij onderwaterdrains is in de praktijk aangetoond door Hoving et al. (2011) en in modelberekeningen door Hendriks en Van den Akker (2012) en Hendriks et al. (2014). Omdat de stikstofmineralisatie ook afneemt bij vermindering van de veenoxidatie door onderwaterdrains blijkt in de praktijk de stikstofopname door het gewas gelijk te blijven.

7.7 STUIFGEVOELIGHEID

Stuifgevoeligheid heeft betrekking op de weerstand die de grond heeft tegen verstuiving. De stuifgevoeligheid is afhankelijk van vooral lutum- en leemgehalte, het organischestofgehalte en het vochtgehalte van de bouwvoor (Van Soesbergen et al., 1986; Ten Cate et al., 1995). De koppeling tussen gradatie van stuifgevoeligheid en deze factoren is in genoemde publicaties alleen gelegd voor het lutum- en leemgehalte.

Bij scherp drogend weer en harde wind kunnen vooral leemarme en zwaklemige gronden ernstig verstuiven, waarbij vooral de plekken met laag organischestofgehalte het meest

verstuiven. In de regel zijn dat ook de hoogste plekken in het perceel. De relatie met de grondwaterstand is zwak, waardoor vooralsnog geen relatie is te leggen met de waterhuishoudkundige variabelen zoals grondwaterstand of drukhoogte op een bepaalde diepte in de wortelzone.

7.8 OVERIGE ASPECTEN

Er zijn overstromingsgronden die een betonstructuur hebben (Vroon, pers. meded.). Door verdroging kunnen zelfs kiemplantjes afbreken.

8

VOORSTELLEN VOOR OPERATIONALISERING IN WATERWIJZER

Dit hoofdstuk presenteert voorstellen om de kennis over indirecte nat- en droogteschade wel of niet te operationaliseren, op basis van het belang van het beschouwde aspect en de mogelijkheden voor operationalisering.

Algemeen geldt dat bij gras de indirecte natschade belangrijker is (meer schade oplevert) dan de directe natschade door zuurstofstress. Voor de indirecte droogteschade geldt dat die minder belangrijk is dan de directe droogteschade. Voor maïs zijn dergelijke uitspraken pas te doen als rekenresultaten beschikbaar zijn.

Als kennis wordt geoperationaliseerd wordt zo concreet mogelijk aangegeven hoe dat binnen Waterwijzer moet gebeuren. Het gaat nadrukkelijk om voorstellen. Uit de rekenresultaten zal moeten blijken hoe belangrijk de meegenomen aspecten zijn en hoe plausibel de daarvoor berekende schade. Toetsing aan expertkennis en de landbouwpraktijk is daarbij heel belangrijk. Ook is niet uitgesloten dat al werkende de voorstellen zullen worden geamendeerd. Indirecte zoutschade voor gras en maïs is voornamelijk als niet relevant aangemerkt.

8.1 GRASLAND

8.1.1 INLEIDING

Bij bepaling van de indirecte nat-en droogteschade van aspecten die wel zullen worden meegenomen is het van belang onderscheid te maken in aspecten die invloed hebben op de bedrijfsvoering (en dus in SWAP-WOFOST 'meelopen') en aspecten die dat niet of in mindere mate hebben en daarom als nabewerking in rekening kunnen worden gebracht.

8.1.2 KOPPELING BEDRIJFSVOERING AAN BEPERKING VAN DE BEWEIDBAARHEID/ BERIJDBAARHEID

De draagkracht van de grond is bepalend voor de beweidbaarheid en de berijdbaarheid en daarmee voor de bedrijfsvoering. Het belang van operationalisering van deze relatie in Waterwijzer is daarom als zeer groot ingeschat.

De volgende ondergrenzen zijn gehanteerd voor een draagkracht waarbij geen extra verliezen optreden (WIB-gradatie zeer groot voor stevigheid van de bovengrond):

- voor de draagkracht: 0,6 MPa
- voor de beweiding (geen vertrappingsverliezen): 0,7 MPa

In het traject 0,7 MPa – 0,4 MPa wordt met vertrapingsverliezen gerekend, afhankelijk van de draagkracht. Indien de draagkracht kleiner wordt dan 0,6 MPa dan treden ook verliezen op wanneer het land wordt bereiden (voor maaien of mest toedienen). Dit moet zoveel mogelijk worden voorkomen. Het model grenst deze handelingen af bij een draagkracht < 0,6 MPa. Dit betekent dus uitstel van maaien of bemesten bij een te geringe draagkracht en niet het veroorzaken van rijschade.

Het voorstel is de beweidbaarheid en de berijdbaarheid momentaan (per dag) te koppelen aan de gesimuleerde **drukhoogte** en niet aan de gesimuleerde grondwaterstand omdat dit fysisch gezien correcter is.

De indringingsweerstand moet worden gekoppeld aan de **drukhoogte** op een bepaalde diepte beneden maaiveld. Voorgesteld wordt voor beweiding een diepte van **10 cm** en voor berijding de diepte van **15 cm** aan te houden.

In BOFEK2012 (Wösten et al., 2013) zijn 18 bovengrondbouwstenen uit de Staringreeks (Wösten et al., 2001) toegekend aan de 72 onderscheiden bodemeenheden. Voor elke bovengrond wordt de drempelwaarde voor berijdbaarheid en beweidbaarheid vastgesteld. Bij drukhoogtes hoger dan de drempelwaarde is de grond berijdbaar of beweidbaar.

Aangenomen is dat berijding een aan-uitproces is. Voor beweidbaarheid geldt dat er een hogere waarde is voor de drukhoogte waarbij wel kan worden beweid, maar dat dan vertrapingsverliezen optreden die toenemen naarmate de drukhoogte de drempelwaarde voor beweiding nadert. De vertrapingsverliezen zijn nul als de drukhoogte hoger is dan de drempelwaarde voor vertrapingsverliezen.

In het overleg van 5 oktober 2015 is besloten de droogleggingssituatie **niet** te karakteriseren met een ontwateringsintensiteit (zoals bij Van Wijk et al. 1988; zie ook onderstaand kader) resp. met een drooglegging (voor veenweidegebieden), maar door de met SWAP berekende GHG.

KOPPELING DRAAGKRACHT AAN ONTWATERINGSTOESTAND

Zoals uit de literatuur is afgeleid is de relatie tussen drukhoogte en draagkracht per bodemtype verschillend en afhankelijk van de dichtheid; bij veengrond en kleigrond is de draagkrachrelatie tevens afhankelijk van de drooglegging resp. ontwateringssituatie (zie Figuur 12). Ontwateringssituatie is in dit verband gedefinieerd als de mate waarin is voldaan aan het drainagecriterium (grondwaterstand midden tussen de drainagemiddelen 30 cm -mv bij een afvoer van 7 mm/d; stationair berekend). De fractie waarin daaraan is voldaan wordt gedefinieerd als de werkelijke afvoer bij een grondwaterstand van 30 cm -mv gedeeld door 7 (in mm/d). Bij elke toepassing van Waterwijzer kan die vooraf worden berekend uit de opgelegde peilen, de draandiepte en de weerstanden van de onderscheiden drainagemiddelen. Daarbij is voor buisdrainage toepassing van de formules van Hooghoudt noodzakelijk, vanwege de soms sterke afhankelijkheid van de weerstand met de opbolling, zie Van Bakel (2013).

Er worden drie klassen onderscheiden met bijbehorende karakterisering voor de ontwateringstoestand, zie Tabel K.1.

TABEL K.1 KARAKTERISERING VAN DE ONTWATERINGSTOESTAND VAN

KLEI- EN ZAVELGRONDEN

	Fractie waarin is voldaan aan drainagecriterium (-)
Goed ontwaterd	$\geq 0,9$
Matig ontwaterd	$0,5 < x < 0,9$
Slecht ontwaterd	$\leq 0,5$

Over ontwateringstoestanden is uiteraard veel meer op te merken en in de literatuur te vinden. Henk Vroon droeg de volgende literatuur aan (zie ook Vroon, 2001):

Bouwman, L.H., 1953. Drainage van landbouwgronden. Meppel, Ceres land- en tuinbouwreeks.

CoGroWa, 1984. Landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking. Werkgroep Landbouwkundige Aspecten, Utrecht.

Consulentschap in algemene dienst voor bodemaangelegenheden in de Landbouw, 1984. Vlugschrift voor de landbouw. Nr. 361. Wageningen, Ministerie van Landbouw en Visserij

Horst, H., 1988. Aanleg en onderhoud van drainage. De landbode/Groninger Maatschappij van landbouw. Deel 43, nummer 34, blz. 17 en 18.

Houben, J.M.M.Th., 1981. Bodemdichtheid en gewasgroei. Cultuurtechnisch tijdschrift, okt/nov, jaargang 21 nr. 3.

Kooistra, K., 1989. Drainage en andere wijzen van ontwatering. Praktijkreeks Veehouderij. Doetinchem.

Ministerie van landbouw, Visserij en Voedselvoorziening, 1954. Cultuurtechniek. Den Haag, Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf.

Knaap, W.C.A van der. en F.A. Wopereis, 1987. De inventarisatie van bodemkundige gegevens voor diverse takken van tuinbouw en recreatieve bodemgebruiksvormen. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Interne Mededeling nr. 83.

Peerboom, J.M.P.M., 1990. Waterhuishoudkundige schadefuncties op grasland. Staring Centrum, Wageningen. Rapport nr. 43.

Reuling, T.H.M., 1988. Achtergronden vlugschrift aanleg en onderhoud van drainage. Deel 34, nummer 2, blz. 155-166.

Vroon, H.R.J., 2001. Startnotitie. Inventarisatie van bodemkundige factoren die van invloed zijn op de wateroverlast voor grasland. Alterra, Afdeling Bodem en Landgebruik.

Werkgroep HELP-tabel, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Landinrichtingsdienst. Utrecht, Landinrichtingsdienst nr. 176.

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. Cultuurtechnisch Vademecum. Utrecht, Cultuurtechnische Vereniging.

Wesseling, J., 1957. Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. Verslag landbouwkundig onderzoek 63.5.

Op basis van alle beschikbare informatie is Tabel 6 gevuld, waarbij de uit de waarden uit de literatuur vet zijn gedrukt, om ze te onderscheiden van geïnterpoleerde waarden die via expertise zijn verkregen. Om uitdrukking te geven aan de mate van exactheid zijn de waarden op decimeters afgerond.

TABEL 6 DREMPELWAARDEN PER BOUWSTEEN VAN DE STARINGREEKS VAN DE DRUKHOOGTE OP 15 EN 10 CM -MV VOOR BERIJDBAARHEID RESP. BEWEIDBAARHEID EN VERTRAPPINGSVERLIEZEN

Boven- grond nr.	Benaming	Drooglegging/ ontwaterings- situatie	Drempelwaarde voor berijdbaar- heid (cm)	Drempelwaarde voor beweidbaar- heid (cm)	Drempelwaarde voor vertrap- pingsverliezen (cm)	Bron
B1	Leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand		-30	-20	-40	Peerboom, 1988 (sec. bron)
B2	Zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand		-40	-30	-50	
B3	sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand		-40	-30	-50	Peerboom, 1988 (sec. bron)
B4	Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand		-40	-30	-60	
B5	Grof zand		-20	-20	-30	
B6	Keileem		-50	-40	-70	
B7	Zeer lichte zavel		-60	-50	-80	
B8	Matig lichte zavel		-60	-50	-80	
B9	Zware zavel		-60	-50	-80	
B10	Lichte klei	GHG<20 cm	-70	-60	-90	Van Wijk, 1984, (lit. overzicht)
		20<GHG<40	-60	-50	-80	
		GHG>40 cm	-50	-40	-70	
B11	Matig zware klei	GHG<20 cm	-70	-60	-90	
		20<GHG<40	-60	-50	-80	
		GHG>40 cm	-50	-40	-70	
B12	Zeer zware klei	GHG<20 cm	-80	-70	-90	Van Wijk, 1984 (lit. overzicht)
		20<GHG<40	-70	-60	-90	
		GHG>40 cm	-60	-50	-80	
B13	Zandige leem		-50	-40	-70	
B14	Siltige leem		-60	-50	-80	
B15	Venig zand		-60	-50	-80	
B16	Zandig veen en veen	GHG<20 cm	-50	-40	-80	De Vos en Holshof (bijlage 3; sec. bron)
		20<GHG<40	-40	-30	-70	
		GHG>40 cm	-30	-20	-60	
B17	Venige klei	GHG<20 cm	-60	-50	-80	Van Wijk, 1984 (lit. overzicht)
		20<GHG<40	-50	-40	-70	
		GHG>40 cm	-40	-30	-60	
B18	Kleiig veen	GHG<20 cm	-70	-50	-80	Van Wijk, 1984 (lit. overzicht)
		20<GHG<40	-50	-40	-70	
		GHG>40 cm	-30	-30	-70	

Waterwijzer berekent per tijdstap (en dus op een bepaald vast tijdstip op elke dag) per perceel de drukhoogte en via de opzoektabel volgt het wel of niet kunnen laten doorgaan van een berijding of beweiding c.q. de vertrappingsverliezen, mits dat aan de orde is.

8.1.3 KOPPELING GRASGROEI AAN BODEMTEMPERATUUR (NATTE GROND IS KOUDE GROND)

Op natte grond komt de grasgroei later op gang dan op droge grond en dus is het van groot belang geacht om dit aspect adequaat te operationaliseren.

Met SWAP is het mogelijk een relatie te leggen tussen temperatuurverloop van de atmosfeer en het temperatuurverloop op verschillende dieptes in de bodem. De warmtecapaciteit en warmtegeleiding van de grond is naast de bodemeigenschappen vooral afhankelijk van het vochtgehalte en daarmee kan de berekening van de temperatuur van de bodem 'meelopen' met de simulatie van o.a. de drukhoogte.

Punt van aandacht is de koppeling met de mesttoediening. Indien het zo nat is dat de grasgroei later op gang komt is de kans dat er geen mest kan worden uitgereden groot. Maar in Waterwijzer is er geen expliciete regel die de grasgroei koppelt aan wel of niet kunnen mest uitrijden.

Volgens Jan van Bakel (pers. meded.) wordt op De Marke de eerste keer mest uitgereden als de bodemtemperatuur 8 graden is (op basis van informatie van Zwier van de Vegte). Verwacht wordt dat het bemesten op bodemtemperatuur beter aansluit bij het optimale bemestingstijdstip dan het bemesten op T-som. Hoewel dit nog niet wetenschappelijk is onderzocht, wordt hier in de praktijk al wel mee geëxperimenteerd en wordt het in adviezen meegenomen (Agrifirm, 2014).

Het voorstel is het begin van de gewasgroei te laten starten op de dag dat op 10 cm diepte de door SWAP gesimuleerde bodemtemperatuur 8 graden of hoger is. Daarmee is ook een impliciet de koppeling gelegd met het tijdstip van de eerste keer mest uitrijden.

8.1.4 OVERIGE VORMEN VAN INDIRECTE NATSCHADE

De andere vormen van indirecte natschade uit hoofdstuk 4 zullen worden beoordeeld op het belang en, indien relevant en mogelijk, als nabewerking in rekening worden gebracht.

BLIJVENDE STRUCTUURSCHADE

Het berijden van grasland onder te natte omstandigheden kan leiden tot extra schade aan de zode en extra bodemverdichting. De schade aan de zode kan worden hersteld en de operationalisering van deze schade is opgenomen in de koppeling tussen bedrijfsvoering en draagkracht (zie vorige paragraaf). De extra bodemverdichting heeft blijvende gevolgen voor de geschiktheid van de grond voor grasland. Het is daarom van groot belang na te gaan of de relatie tussen waterhuishoudkundige toestand en blijvende structuurschade is te operationaliseren

Met SWAP is het mogelijk de gevolgen van verdichting van de ondergrond te kwantificeren mits we weten a) in welke mate de bodemlagen verdicht zijn en b) wat daarvan de gevolgen zijn voor de pF-curves, de k(h)-relaties, de zuurstofdiffusiviteit, de indringingsweerstand en de beworteling (diepte en intensiteit). Uit verkennende berekeningen met SWAP, in het kader van 'Goede grond voor een duurzaam waterbeheer' (Schipper et al., 2015) kan de conclusie worden getrokken dat de invloed van verdichting van de ondergrond aanzienlijk is.

Bij nadere analyse van de metingen die ten grondslag hebben gelegen van de bepaling van de bodemvocht karakteristieken van de Staringreeksbouwstenen blijkt dat zowel monsters van verdichte als van niet-verdichte grond zijn gebruikt. In principe zijn ze te ont mengen waar-

door per bouwsteen twee verschillende bodemvochtcharacteristieken beschikbaar komen. Daardoor is het mogelijk twee verschillende Waterwijzer-'tabellen' te produceren.

De kennis om voor alle BOFEK-eenheden aan te geven wat de actuele situatie is met betrekking tot de verandering in bodemfysische eigenschappen, is echter onvoldoende of nog niet geoperationaliseerd. Omdat dit project een kennismontageproject is wordt vooralsnog gerekend met de aan de Staringreeksbouwstenen gekoppelde bodemfysische eigenschappen en relaties.

Zodra de kennis en de operationalisering ervan met betrekking tot dit onderwerp voldoende is kan een herberekening plaats vinden.

VERSLEMPING

Verslemping treedt niet op blijvend grasland op. Bij herinzaai kan op slempgevoelige gronden (sommige zavelgronden) verslemping optreden maar de omvang van het probleem en het belang voor operationalisering wordt als gering ingeschat. Bovendien is de relatie met de waterhuishoudkundige situatie zwak.

DENITRIFICATIE

De relatie tussen waterhuishouding en nutriëntenvoorziening is van groot belang voor de grasgroei. In de huidige praktijk is de grasproductie bij een optimale vochttoestand gelimiteerd door de N-voorziening. Deze limitatie wordt in Waterwijzer meegenomen door aanpassing van de groeicurves in het WOFOST-gedeelte. De verminderde beschikbaarheid van stikstof door denitrificatie onder natte omstandigheden wordt niet meegenomen.

Met SWAP-ANIMO kan het proces van **denitrificatie** worden gemodelleerd. Koppeling van het ANIMO-deel aan SWAP-WOFOST vereist echter een grote inspanning. Daarom wordt dit aspect niet meegenomen.

INUNDATIE

De directe effecten van **inundatie** worden door de zuurstofstressmodule in SWAP meegenomen.

Inundatie door hoge grondwaterstanden wordt 'van nature' meegenomen door SWAP-WOFOST. Vooralsnog wordt verondersteld dat gras niet afsterft door inundatie en 'ongeschonden' doorgroeit als de grondwaterstand weer daalt.

Voor Waterwijzer betekent dit dat alleen als er inundatie is van gebiedsvreemd water er schade ontstaat die niet expliciet door Waterwijzer wordt berekend. Het belang om dit mee te nemen in Waterwijzer wordt als gering ingeschat. Voor dergelijke gevallen is er de onder auspiciën van STOWA door Nelen en Schuurmans ontwikkelde schadetool WaterSchadeSchatter (WSS; Hoes et al. , 2013). Deze vorm van schade door inundatie wordt daarom niet in Waterwijzer meegenomen.

Als inundatie optreedt kan water over het maaiveld naar lage plekken in het perceel stromen. Daar kan dan slib worden afgezet met gevolgen voor de bodemfysische eigenschappen. Ook hydrologisch gezien heeft maaiveldstroming de nodige consequenties voor de waterbalans die niet of primitief met SWAP in rekening kunnen worden gebracht. Daarom wordt het proces van maaiveldstroming niet meegenomen.

ZIEKTEN EN PLAGEN

Dit aspect wordt van gering belang geacht. Vooral nog wordt de schade door ziekten en plagen daarom niet meegenomen.

ACHTERUITGANG IN BOTANISCHE SAMENSTELLING

Het belang om dit aspect in Waterwijzer mee te nemen is als groot ingeschat.

Structureel natte omstandigheden leiden tot verschuiving naar minder productieve grassoorten zoals Fiorin. Voor inbouw van deze kennis in Waterwijzer werd in eerste instantie voorgesteld een experttabel op te stellen waarin de reductie van de netto opbrengst (fractie), ten opzichte van de gesimuleerde netto productie, is gekoppeld aan de GHG. Deze relatie wordt verondersteld ook afhankelijk te zijn van de bodem.

In het reeds genoemde overleg van 5 oktober 2015 is besloten tot een andere aanpak, op basis van de volgende redenering. Natte percelen worden later bemest en in een relatief laag opbrengstniveau ingeschaard/gemaaid. Dit laatste ter compensatie van de slechtere voederwaarde van het gras. De latere bemesting wordt door het model meegenomen via de koppeling van berijdbaarheid aan drukhoogte. Het eerdere maaien moet als veranderde beslisregel voor tijdstip van inscharen/maaien aan model worden meegegeven.

De volgende beslisregels zijn van toepassing:

- Minimum ds-opbrengst normaal maaien 1e snede (kg ds/ha) 3000
- Minimum ds-opbrengst licht maaien 1e snede (kg ds/ha) 2000
- Minimum ds-opbrengst zwaar maaien 1e snede (kg ds/ha) 4000
- Minimum ds-opbrengst alleen maaien 1e snede (kg ds/ha) 3500
- Minimum ds-opbrengst maaien 2e snede (kg ds/ha) 3000
- Minimum ds-opbrengst maaien overig mei (kg ds/ha) 3000
- Minimum ds-opbrengst maaien overig juni (kg ds/ha) 3000
- Minimum ds-opbrengst maaien overig juli (kg ds/ha) 2500
- Minimum ds-opbrengst maaien overig augustus (kg ds/ha) 2000
- Minimum ds-opbrengst maaien overig september (kg ds/ha) 2000

8.1.5 INDIRECTE DROOGTESCHADE

De directe droogteschade wordt gesimuleerd met SWAP-WOFOST. De hieronder beschreven aspecten van indirecte droogteschade worden, voor zover relevant en mogelijk, alle als nabewerking in rekening gebracht.

Achteruitgang in botanische samenstelling van de grasmat en (gedeeltelijk) afsterven ervan door aanhoudend droge periode

Regelmatig optredende droogteschade kan leiden tot verschuiving in botanische samenstelling van de grasmat naar minder productieve soorten. Dit aspect wordt als matig belangrijk ingeschat.

De fractionele verlaging in netto opbrengst is te koppelen aan de gesimuleerde veeljarig gemiddelde reductie in grasopbrengst door droogte. In de praktijk reageert men echter hierop door vaker te herinzaaien en soms ook door door te zaaien.

Bij extreem droge perioden kan de grasmat gedeeltelijk afsterven waarna moet worden heringezaaid. Dit is te koppelen aan de vertraging van de groei per snede door droogtestress. Als die vertraging meer is dan een factor 2(?) is dat een indicatie van een extreme situatie. Een analyse van de rekenresultaten geeft inzicht in de relatie tussen veeljarig gemiddelde opbrengstreductie door droogte en de kans dat een snede een ernstige groeivertraging oploopt.

Bij het produceren van de tabellen voor directe schade wordt de veeljarig gemiddelde opbrengstreductie berekend. Aangenomen is dat bij een gemiddelde reductie van meer dan 20 % of vaker moet worden heringezaaid en dat de frequentie progressief oploopt met de berekende opbrengstreductie, Zie Tabel 7.

TABEL 7

KOPPELING VAN FREQUENTIE VAN HERINZAAI AAN DE VEELJARIG BEREKENDE OPBRENGSTREDUCTIE DOOR DROOGTE

Veeljarige gemiddelde opbrengstreductie (%)	Frequentie van herinzaai (1/a)
<20	10
>20	5

De kosten van herinzaai worden ontleend aan de ACSG (anno 2015: € 1000,= per inzaai; bron Melkvee.nl).

Voor veengronden en zware kleigronden geldt Tabel 8 **niet** omdat herinzaai te veel negatieve consequenties heeft.

VERTRAAGDE HERBEVOCHTING

Het proces van vertraagde herbevochtiging is, ondanks de hiervoor reeds aangehaalde studies van Ritsema en Dekker, in de toepaste agrohydrologie buiten beeld gebleven. Daarom is de (aanvechtbare) conclusie getrokken dat dit aspect van gering belang is om te operationaliseren. Ook de mogelijkheden om dit conceptueel en parametrisch voor alle gronden in Nederland goed (met SWAP) in model te brengen zijn als ontoereikend beoordeeld. Dit aspect wordt dus vooralsnog niet meegenomen.

VERZURING

Het in hoofdstuk 7 geopperde effect van verlaging van de grondwaterstand op de zuurgraad van de grond is zeker nog geen *proven knowledge* en wordt daarom niet meegenomen.

AFBRAAK VAN VEEN/MAAIVELSDALING

Voor ontwaterde veengronden is de relatie tussen waterhuishouding en veenafbraak/daling van het maaiveld van zeer groot belang.

Het is daarom noodzakelijk om bij veenweiden de maaiveld daling mee te nemen bij vaststelling van indirecte natschade. Op basis van de resultaten van een opdracht van de provincie Utrecht aan Alterra, Wageningen UR, zal worden besloten in welke vorm de daarvan afgeleide metarelaties vorm krijgen. De volgende keuzes zijn daarbij op zijn minst aan de orde:

- karakterisering van de waterhuishoudkundige situatie met een droogleggingskarakteristiek en wel of niet onderwaterdrainage of met een grondwaterstandskarakteristiek;
- per type veengrond relatie tussen deze karakterisering en de maaiveld daling;
- waardering van de veranderde maaiveld daling voor de landbouw en het waterbeheer;
- de (verminderde) noodzaak tot egalisering en de kosten en hydrologische effecten ervan.

8.2 MAÏS

8.2.1 INLEIDING

De teelt van maïs is opgenomen in Waterwijzer. Daarbij wordt geen onderscheid gemaakt in vroege of late rassen. Simulatie van de hydrologie en gewasgroei biedt mogelijkheden de effecten van de waterhuishouding op de bewerkbaarheid en berijdbaarheid en de bodemtemperatuur en daarmee op het tijdstip van zaaien, de temperatuurgerelateerde groei en het tijdstip oogsten te simuleren. De overige relevante en te operationaliseren aspecten van indirecte nat- en droogteschade zullen als nabewerking in rekening worden gebracht.

Zoutschade wordt vooralsnog niet meegenomen.

8.2.2 KOPPELING ZAAIEN EN OOGSTEN AAN BEWERKBAARHEID EN BERIJDBAARHEID

De geschiktheid van een grond voor de teelt van maïs wordt voor een belangrijk deel bepaald door de mogelijkheden en het gewas in het najaar te kunnen oogsten. De operationalisering van de relatie tussen waterhuishouding en berijdbaarheid (met zware oogstmachines) is daarom van groot belang. Het tijdstip van zaaien wordt op natte grond en in natte voorjaren bepaald door de bewerkbaarheid en berijdbaarheid en de temperatuur van de grond. Ook de snelheid van opkomst en de groei in de eerste zes weken na opkomst kan mede worden bepaald door de bodemtemperatuur. Het opnemen van deze afhankelijkheden in Waterwijzer wordt van groot belang geacht.

De de drukhoogte op 20 cm -mv die SWAP-WOFOST gesimuleert bepaalt of er bewerkt of bereiden kan worden. Kritieke waarden voor berijdbaarheid voor ploegen in het voorjaar en oogsten in het najaar worden in navolging van Wopereis (1991) voor zandgronden gesteld op 60 cm -mv. Voor kleigronden en veengronden wordt vooralsnog uitgegaan van 100 resp. 80 cm -mv.

De kritieke waarden voor zaaibedbereiding en berijding voor zaaien worden hoogst zelden overschreden omdat die in de regel deze werkzaamheden direct worden uitgevoerd na het ploegen. De kritieke waarden voor berijding door spuitmachines wordt in de praktijk zelden overschreden en worden vooralsnog niet meegenomen.

8.2.3 KOPPELING TIJDSTIP VAN ZAAIEN EN GEWASGROEI AAN BODEMTEMPERatuur

Het belang om dit aspect in Waterwijzer mee te nemen wordt als matig ingeschat.

Het verloop van de bodemtemperatuur op verschillende dieptes wordt met SWAP berekend. Er wordt pas gezaaid als de bodemtemperatuur op 6 cm -mv hoger is dan 9 graden Celsius. De opkomst wordt vertraagd als de bodemtemperatuur op 6 cm -mv lager is dan 20 graden. Elke graad lager betekent een dag later opkomst. Na opkomst wordt vertraagde groei als gevolg van te lage temperaturen met WOFOST in rekening gebracht.

8.2.4 OVERIGE VORMEN VAN INDIRECTE NAT- EN DROOGTESCHADE

De hierna beschreven aspecten worden beoordeeld op hun belang en, indien relevant, zal worden aangegeven hoe ze als nabewerking in rekening kunnen worden gebracht.

BLIJVENDE STRUCTUURSCHADE

Door het berijden van grond onder natte omstandigheden treedt structuurbederf op. Het extra structuurbederf door berijden of bewerken onder natte omstandigheden wordt veron-

dersteld meegenomen te worden in de eisen aan de berijdbaarheid/bewerkbaarheid. Dit geldt niet voor de daardoor veroorzaakte extra bodemverdichting. Het belang om dit aspect mee te nemen wordt als groot ingeschat. De mogelijkheden voor operationalisering zijn echter, evenals bij bodemverdichting op grasland, te beperkt vanwege ontbreken van kennis over de actuele situatie met betrekking tot bodemverdichting.

VERSLEMPING

Bij maïs kan verslemping van de grond optreden in de periode na het zaaien tot het gewas voldoende hoog. De kans is groter bij slempgevoelige gronden en bij hoge grondwaterstanden. De kennis hierover is summier.

Omdat er onvoldoende kennis is over de relatie met de waterhuishoudkundige toestand van het perceel wordt hiermee vooralsnog geen rekening gehouden.

VERSTOORDE KOLFZETTING EN VERVROEGDE AFSTERVING

Dit aspect wordt vooral bij droogtegevoelige gronden van matig belang geacht en wordt als volgt geoperationaliseerd. De schade veroorzaakte door verstoorde kolfzetting en vervroegde afsterving door extreme droogte wordt gekoppeld aan de berekende veeljarig gemiddelde directe (met SWAP-WOFOST berekend) opbrengstreductie door droogte. Zie hiervoor tabel 8.

TABEL 8

KOPPELING VAN DE INDIRECTE DROOGTESCHADE DOOR VERSTOORDE KOLFZETTING EN VROEGTIJDIG AFSTERVEN AAN DE BEREKENDE OPBRENGSTREDUCTIE

Veeljarige gemiddelde opbrengstreductie (%)	Reductie van de opbrengst (-)
<10	1,0
10 <x<15	0,95
15<x<20	0,9
>20	0,8

In het overleg van 5 oktober 2015 is vastgesteld dat

- a ook door aanhoudend extreem natte omstandigheden maïs vervroegd kan afsterven en
- b SWAP-WOFOST geen afsterving van gewassen als gevolg van aanhoudend extreme stress kan simuleren.

Deze omissie kan als volgt worden 'opgevangen'. SWAP-WOFOST simuleert wel als de groei door extreme stress aanhoudend (vrijwel) tot stilstand is gekomen, zowel door droogtestress als zuurstofstress. De maïsteler besluit dan het gewas te oogsten (redden wat er te redden valt). Uiteraard kan hij alleen maar oogsten als de drukhoogte dat toelaat.

Bovenstaande voorstellen zijn zeer voorlopig van aard. Toetsing van de hiermee berekende nat- en droogteschade aan de praktijk is hierbij van groot belang.

8.2.5 SAMENVATTENDE TABELLEN INDIRECTE EFFECTEN

Tabel 9, 10 en 11 geven een overzicht van de wijze waarop de indirecte effecten in Waterwijzer zullen worden geoperationaliseerd, opgesplitst naar gras en maïs. Tevens is een motivatie gegeven waarom een bepaald aspect wel of niet wordt opgenomen in Waterwijzer.

TABEL 9 INDIRECTE NATSCHADE BIJ GRAS

Aspect	Inschatting van belang	Wel/niet in WWL	Hoe resp. motivatie voor niet meenemen
Berijdbaarheid/betreedbaarheid	Zeer groot	Wel	Gekoppeld aan kritieke waarden voor drukhoogte op 15 resp. 10 cm -mv
Natte grond is koude grond	Groot	Wel	Begin grasgroei gekoppeld aan gesimuleerde bodemtemp. op 10 cm -mv (8 graden)
Blijvende structuurschade	Groot	Niet	Onvoldoende kennis om voor alle bodems aan te geven wat de actuele situatie is
Verslemping	Klein	Niet	Lang niet alle gronden zijn slempgevoelig Is voor grasland nauwelijks aan de orde
Denitrificatie/N-mineralisatie	Groot	Niet	In SWAP-WOFOST geen koppeling gewasgroei aan gesimuleerde N-huishouding van de wortelzone
Inundatie door hoge grondwaterstanden	Gering	Niet	Via zuurstofstressmodule in SWAP wel de daardoor veroorzaakte directe natschade
Inundatie door 'gebiedsvreemd' water	Gering	Niet	Wordt meegenomen in de WSS (STOWA-rapport 2013-11)
Ziekten en plagen	Gering	Niet	Beschikbare kennis niet generiek toepasbaar
'Achteruitgang' botanische samenstelling	Groot	Wel	Andere beslisregels in BBPR

TABEL 10 INDIRECTE DROOGTESCHADE BIJ GRAS

Aspect	Inschatting van belang	Wel/niet in WWL	Hoe resp. motivatie voor niet meenemen
'Achteruitgang' botanische samenstelling c.q. afsterven zode	Matig	Wel	Als nabewerking. Frequentie herinzaai gekoppeld aan opbrengstreductie door droogte
Vertraagde herbevochtiging	Gering	Niet	Beschikbare kennis niet generiek toepasbaar
Verzuring	Gering	Niet	Geen <i>proven knowledge</i> (wel praktijk bij winning Mander)
Afbraak van veen	Zeer groot	Wel	Nabewerking. In kader aparte opdracht van provincie Utrecht

TABEL 11 INDIRECTE NAT- EN DROOGTESCHADE BIJ MAÏS

Aspect	Inschatting van belang	Wel/niet in WWL	Hoe resp. motivatie voor niet meenemen
Bewerkbaarheid/berijdbaarheid	Groot	Wel	Gekoppeld aan drukhoogte op 20 cm -mv
Natte grond is koude grond	Matig	Wel	Verlating zaaidatum c.q. opkomst gekoppeld aan gesimuleerde bodemtemp op 6 cm -mv
Blijvende structuurschade	Groot	Niet	Onvoldoende kennis om voor alle bodems aan te geven wat de actuele situatie is
Verslemping	Gering	Niet	Beschikbare kennis niet generiek toepasbaar Periode dat het aan de orde is, is kort
Verstoorde kolfzetting en vervroegde afsterving	Matig	Wel	Als nabewerking. Eerder oogsten als groei voor langere tijd (vrijwel) tot stilstand is gekomen
Inundatie door hoge grondwaterstanden	Gering	Wel	Via zuurstofstressmodule in SWAP en daardoor veroorzaakte directe natschade
Inundatie door 'gebiedsvreemd' water	Gering	Niet	Wordt meegenomen in de WSS (STOWA-rapport 2013-11)
Ziekten en plagen	Matig	Niet	Beschikbare kennis niet generiek toepasbaar

LITERATUUR

Agrifirm, 2014. <http://www.agrifirm.com/agrifirm-feed/melkvee/nieuws/detail/listitemid/4738#.VfKc7E3skcM>

Alblas, J., P. Boekel en M.A. van der Beek, 1987. Gewaseisen. In: Themadag “Werkbaarheid en tijdigheid” georganiseerd door de Werkgroep Grondbewerking, Technische Aspecten. Verslag nr. 64.

Akker, J.J.H. van den, 2004. SOCOMO: a soil compaction model to calculate soil stresses and the subsoil carrying capacity. *Soil & Tillage Research* 79: 113-127.

Akker, J.J.H. van den en W.J.M. de Groot, 2008. Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdwijning van zandgronden en lichte zavelen. *Alterra-rapport 1450*.

Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving, B. Meerkerk, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Risico op bodemverdwijning in het landelijke gebied in kaart gebracht. *Alterra-rapport 2409*.

Arts, W.B.M., B.R. Verwijs en J. van Maanen, 1994. De invloed van berijding op de fysische bodemconditie van zandgrond en de gevolgen daarvan voor de grasproductie. *IMAG-DLO rapport 94-5*.

Bakel, P.J.T. van, 2002. Help-tabellen landbouw. Aanpassingen en operationalisering van de doelrealisatie landbouw. *Waterlood-deelrapport 04*. Stowa, Utrecht.

Bakel, P.J.T. van, J. Huinink, H. Prak en F. van der Bolt, 2005. HELP-2005. Uitbreiding en actualisering van de HELP-tabellen ten behoeve van het Waterlood-instrumentarium. *Stowa/DLG/Alterra/LNV*. Stowa-rapport 2005-16.

Bakel, P.J.T. van, B. van der Waal, M. de Haan, J. Spruyt en A. Evers, 2007. HELP-2006. Uitbreiding en actualisering van de HELP-2005-tabellen ten behoeve van het Waterlood-instrumentarium. *Stowa-rapport 2007-13*.

Bakel, P.J.T. van en L.C.P.M. Stuyt, 2011. Actualisering van de kennis van zouttolerantie van landbouwgewassen. Op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaring. *Alterra/De Bakelse Stroom*. *Alterra-rapport 2201*.

Bakel, P.J.T. van, 2013. Betekenis van Hooghoudt nog lang niet ‘uitgehouden’. *Stromingen* 19 (2013), nr. 2.

Bartholomeus, R., J. Kroes, J. van Bakel, M. Hack-ten Broeke, D. Walvoort en F. Witte, 2013. Actualisatie Schadefuncties Landbouw; fase 1. *STOWA-rapport 2013-22*.

Beuving, J., K. Oostindie en Th. Vellinga, 1989. Vertrappingsverliezen door onvoldoende draagkracht van veengrasland. Wageningen, *Staring Centrum rapport 6*.

Blom, G., M. Paulissen, C. Vos en H. Agricola, 2008. Effecten van klimaatverandering op Landbouw en Natuur. Nationale Knelpuntenkaart en Adaptatiestrategieën. PRI-rapport 182.

Boekel, P., 1979. De bewerkbaarheid van de grond in het voorjaar. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 18 (4): 211-219.

Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van landgebruik. SC-DLO Technisch Document 19D.

Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, 2002. Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Lelystad, Animal Sciences Group Divisie Veehouderij.

Commissie Samenstelling Aanbevelende Rassenlijst (CSAR), 2015. Rassenlijst 2015, Veehouderij voedergewassen, 90^e jaargang. Stichting CSAR.

Conijn, J.G., G.L. Velthof & F. Taube (eds), 2002. Grassland resowing and grass-arable crop rotations. International Workshop on Agricultural and Environmental Issues Wageningen, the Netherlands, 18 & 19 April 2002. Plant Research International B.V., Wageningen. Report 47.

Dekker, L.W., 1998. Moisture variability resulting from water repellency in Dutch soils. Thesis WUR.

Dijk, M. van en S. van Miltenburg, 2013. De invloed van bodemstructuur op het watersysteem. Een verkenning. Stowa-rapport 2013-13A.

Hardeveld, H. van, R. Hendriks, C. Kwakernaak en J. van den Akker, 2006. Toepassing van onderwaterdrainage in veenweiden; een overzicht van kennis.

Hendriks, R.F.A. en J.J.H. van den Akker, 2012. Effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in veenweiden. Alterra-rapport 2354.

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, P.C. Jansen en H.Th.L. Massop, 2014. Effecten van onderwaterdrains in peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen. Modelstudie naar de effecten van onderwaterdrains op maaiveldvaling, waterbeheer, wateroverlast en waterkwaliteit in peilvak 9. Alterra-rapport 2480.

Hielkema, J.U., 1974. Literatuurstudie en onderzoek naar de indringingsweerstand van klei- en zavelgronden. Stiboka-rapport 1200.

Hoes, O., F. Nelen en E. van Leeuwen, 2013. Waterschadeschatter (WSS). Gebruikershandleiding. STOWA-rapport 2013-11.

Hokke, G. en T. Tanis, 1978. Onderzoek naar werkbare dagen voor veldwerkzaamheden op akkerbouwbedrijven; IMAG-publicatie 109.

Holshof G., A. van den Pol-van Dasselaar, 2014. Modelling DM growth of multi-species grassland plots in the Netherlands, EGF 2014.

Houben, J.M.M.Th., 1979. Bodemgesteldheid en diepte van beworteling. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Rapport nr. 1459.

Houben, J.M.M.Th., 1981. Bodemdichtheid en gewasgroei. Cultuurtechnisch tijdschrift, okt/nov, jaargang 21, nr. 3.

Hoving, I.E., J.J.H. van den Akker, M. Pleijter en K. van Houwelingen, 2011. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang. WUR-LiveStock Research. Rapport 449.

Hoving, I.E., J.A. de Boer en J. Kanis, 2013. Schadeberekening door graslandinundatie op melkveebedrijven. WUR-LiveStock Research. Rapport 700.

Hoving, I.E., J.A. de Boer en J. Kanis, 2013. Schadeberekening graslandinundatie op melkveebedrijven. Achtergrondrapport SchadeWijzer Inundatie. Wageningen, WUR-Livestock Research. Rapport 700.

Jansen. P.C., E.P. Querner en J.J.H. van den Akker, 2009. Onderwaterdrains in het veenweidegebied. De gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maai-veldddaling. Alterra-rapport 1872.

Kamp A. van der, J.A. de Boer, A.G. Evers, G. Holshof en R. Zom, 2003. Voederveorziening in BBPR. Intern rapport 496. Animal Sciences Group, Lelystad, 35 pp.

Korevaar, H., 1986. Production and feeding value of grass from grassland with restrictions in use and in fertilization for nature conservation. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij (PR), Lelystad, Thesis. PR rapport 117?

Mandersloot, F., A.T.J. van Scheppingen en J.M.A. Nijssen, 1991. Modellen rundveehouderij: overzicht en samenhang modellen voor simulatie van melkveebedrijven. Publicatie nr. 72. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad.

Peerboom, J.M.P.M., 1990. Waterhuishoudkundige schadefuncties op grasland. Staring Centrum-rapport 43.

Puijsselaar A.A., 2012. Informatiebulletin. Kennisoverdracht invulling begrip duurzame landbouw. De pH. Agriton, Noordwolde.

Ritsema, C.J., 1998. Flow and transport in water repellent soils. Thesis WUR.

Schils, R. L. M., M. H. A. de Haan, J. G. A. Hemmer, A. van den Pol-van Dasselaar, J. A. de Boer, A. G. Evers, G. Holshof, J. C. van Middelkoop and R. L. G. Zom, 2007. DairyWise, A Whole-Farm Dairy Model. Journal of Dairy Science 90, 5334-5346.

Schipper, P., P. Groenendijk, N. van Eekeren, M. van Zanen, J. Rozemeijer, G. Jansen en B. Swart, 2015. Goede grond voor een duurzaam watersysteem. Verdere verkenning in de relatie tussen agrarisch bodembeheer, bodemkwaliteit en waterhuishouding. Stowa-rapport 2015-19.

Sluijs, P. en J.M.M.Th. Houben, 1978. Bewortelbaarheid van de grond. Landbouwkundig tijdschrift nr. 90, 9:340-344.

Schothorst, C.J., 1982. Drainage and behaviour of peat soils. Institute for Land and Water Management Research, report 3. Wageningen.

Soesbergen, G.A. van, C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. De interpretatie van bodemkundige gegevens. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Rapport nr. 1967.

Schooten, H. van, J. Groten en B. Philipsen. Handboek snijmais 2014/2015. Wageningen UR Livestock Research. www.handboeksnijmais.nl. Vermeulen, G.D., B.R. Verwijs en J.J.H. van den Akker, 2013. Vergelijking van de bodembelasting bij agrarisch veldwerk in 1980 en 2010. WUR-PRI rapport 501.

Vermeulen, G.D., B.R. Verwijs en J.J.H. van den Akker, 2013. Vergelijking van de bodembelasting bij agrarisch veldwerk in 1980 en 2010. WUR-PRI rapport 501.

Visscher, J., 2012. Verziltiging in de veehouderij: ervaringen op melkveebedrijven: WUR-Livestock Research. Rapport 639.

Vos J.A. de, P.J.T. van Bakel, I.E. Hoving, and J.G. Conijn, 2006. Waterpas-model: a predictive tool for water management, agriculture, and environment. *Agric. Wat. Man.* 86(1-2): 187-195.

Vos J.A. de, I.E. Hoving, P.J.T. van Bakel en R.A. Smidt, 2007. Regionale opschaling van nat- en droogteschade in de landbouw in Utrechtse veenweidegebieden. *Alterra-rapport 1505*, ISSN 1566-7197.

Vos J.A. de, P.J.T. van Bakel en I.E. Hoving, 2008. Waterpas nat- en droogteschadeberekeningen ten behoeve van landbouwkundige doelrealisatie. *Alterra-rapport 1653*.

Vos, J.A. de, P.J.T. van Bakel, I.E. Hoving en R.A. Smidt, 2010. Raising surface water levels in peat areas with dairy farming . Upscaling hydrological, agronomical and economic effects from farm-scale to local scale. *Agr. Water Manag.* 97 (2010): 1887-1897.

Vroon, H.R.J., 2012. Notitie: Onderzoek naar de freatische grondwaterstandverlaging en verzuring van de bovengrond als gevolg van grondwateronttrekking in het waterwingebied Mander

Wallenburg, C. van en J.J. Vleeshouwer, 1987. Resultaten van een landelijke inventarisatie van de stevigheid van de bovengrond van grasland. Stichting voor bodemkartering, Wageningen. Rapportnr. 1915.

Walvoort, D.J.J., P.J.T. van Bakel, L.M.W. Akkermans en J.G. Kroes, 2004. Metamodellen: doe meer met minder; in: *H₂O*, vol 37(16), pag. 20-22.

Werkgroep HELP-tabel, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Mededeling 176. Landinrichtingsdienst, Utrecht.

Werkgroep Normen Voor de Voederveorziening, 1991. Normen Voor de Voederveorziening. PR-publicatie nr. 70.

Wit, N.M.M. de, 1988. De invloed van verschillende bodemparameters op de indringingsweerstand van zandgrond. ICW-nota 1834.

Wijk, A.L.M. van en R.A. Feddes, 1975. Invloed van de waterhuishouding op de opbrengst van landbouwgewassen. ICW-nota 867.

Wijk, A.L.M. van, 1984. Landbouwkundige aspecten van ontwatering in veenweidegebieden: commentaar op een literatuuranalyse. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, rapport nr. 9.

Wijk, A.L.M. van, 1988. Drainage, bearing capacity and yield (losses) on low moor peat pasture soils in the Netherlands. ICW-report 20.

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. ICW-rapport 31.

Wösten, J.J. H., et al., 2001. De Staringreeks. Hernieuwde uitgave.

Wösten, J.J.H., F. de Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2013. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra-rapport 2387.

Wopereis, F.A., 1991. Bepaling van de drempelwaarde voor de landhoedanigheid "berijdbaarheid" op zandbouwland. Rapport 196. DLO-Staring Centrum.

Zwart, K.B., et al., 2011. Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt. Alterra-rapport 2177.

BIJLAGE 1

BESCHOUWINGEN OVER KOPPELING HYDROLOGISCHE KARAKTERISTIEKEN AAN DROOGTE- EN NATSCHADE

B1.1 INLEIDING

In de klassieke HELP-tabel (en ook Waternoodvarianten) worden de droogte- en natschade gekoppeld de GHG en GLG. Dat is de grote kracht van de HELP-tabel maar tevens ook de zwakte. Voor Waterwijzer moeten we opnieuw nadenken over de vorm waarin (veranderingen in) de hydrologie wordt gekoppeld aan de onderscheiden vorm van schade:

- droogteschade;
- directe natschade (zuurstofstress);
- indirecte droogteschade;
- indirecte natschade;
- zoutschade.

B1.2 HYDROLOGISCHE INGREPEN EN MAATREGELEN

Het ultieme doel is een methodiek waarin de effecten van hydrologische maatregelen op de gewasopbrengst en bedrijfsinkomsten kunnen worden bepaald. Hydrologische maatregelen leiden tot hydrologische ingrepen, gedefinieerd als a) verandering in hydrologische eigenschappen van het hydrologisch systeem onder beschouwing (Denk aan: dempen van sloten leidt tot een hogere drainageweerstand) en b) verandering in randvoorwaarden (denk aan: wateraanvoer als fluxrandvoorwaarde). Ook door autonome ontwikkelingen (van buiten af komend) kunnen hydrologische eigenschappen of randvoorwaarden veranderen. Denk aan: gewasveredeling en betere gewasverpleging leidt tot langer groeiseizoen en daardoor hogere gewasverdamping maar ook aan klimaatverandering.

Een belangrijk vertrekpunt is: Waterwijzer is een nabewerking op een hydrologische effectberekening. Waarin worden deze effectberekeningen uitgedrukt? Daarbij is het nuttig een onderscheid te maken in de regionale waterbeheerder en de agrariër.

- 1 **De regionale waterbeheerder.** De nieuwste generatie regionale modellen levert zowel de uitgangssituatie als de veranderingen in de tijdsverlopen van stijghoogtes, grondwaterstanden (inclusief grondwaterstanden op het maaiveld en schijngrondwaterstanden), verdamping en gewasproductie (kg per ha). Omdat de zuurstofstress daarin vooralsnog niet wordt meegevoerd is de berekende gewasverdamping en gewasproductie niet bruikbaar voor ons doel. Ook de verandering in stijghoogtes is voor de landbouw niet van direct belang. We zetten dus de kaarten op de gemeten en/of berekende grondwaterstand. Daarbij zijn nog meerdere opties open:
 - a Opleggen gemeten of berekend grondwaterstandsverloop aan methodiek (SWAP-WOFOST).

- b Gebruik van grondwaterstandskarakteristieken zoals GXG, SOW-x of statistische maten zoals 1^e, 2^e en eventueel hogere momenten. De vraag die nu al gesteld moet worden is welke karakteristieken de beste correlatie vertonen met droogteschade, natschade en zoutschade. In de volgende secties zal per schadetype een voorstel worden gedaan hier modelmatig onderzoek naar te doen.
- 2 **De agrariër als waterbeheerder.** De maatregelen die de agrariër kan nemen zijn: aanleggen drainage, beregening en verandering bodemfysische eigenschappen door profielverbetering, verhogen organischestofgehalte, et cetera. Deze laatste maatregel wordt vooralsnog buiten beschouwing gelaten. De andere twee maatregelen worden aan een nadere analyse onderworpen.
- **Aanleggen van drainage** kan worden vertaald in verandering in het grondwaterstandsverloop en dus zijn hierbij de grondwaterstandskarakteristieken genoemd bij de regionale toepassing van toepassing. De kans bestaat echter dat zeker bij peilgestuurde drainage met wateraanvoer het grondwaterstandsverloop niet is te vangen met een q(h)-relatie zoals die nu wordt gebruikt. Dat dient nader te worden onderzocht. Voor onderwaterdrains volgens mij in ieder geval niet, vandaar de aparte benadering.

Bij drainage van gronden met tijdelijke schijngrondwaterstanden en de drainbuizen boven de slecht doorlatende bodemlaag die een schijngrondwaterstand veroorzaakt moet SWAP zodanig worden aangepast dat de drainage via de drainbuizen een functie is van de schijngrondwaterstand. De vraag is vervolgens of we de nat- en droogteschade moeten koppelen aan een grondwaterstandskarakteristiek of een schijngrondwaterstandskarakteristiek. Modelexperimenten moeten dit uitwijzen maar mijn verwachting is dat schijngrondwaterstandskarakteristieken beter scoren. Maar omdat het met regionale modellen berekenen van schijngrondwaterstanden vooralsnog niet tot de standaard behoort is dit vooralsnog niet haalbaar.

- Bij **beregening** treedt een compleet andere situatie in werking met betrekking tot droogteschade. Vooralsnog kunnen we door middel van modelberekeningen bijvoorbeeld afleiden dat de droogteschade wordt gereduceerd met 80%, maar de relatie tussen droogteschade en grondwaterstand gaat min of meer verloren. Voor natschade blijven bij beregening de relaties met de grondwaterstandskarakteristieken intact. Voor alle duidelijkheid: het grondwaterstandsverloop verandert door beregening, wat een omkering van de oorzaak-gevolg-relatie betekent.

B1.3 DROOGTESCHADE

Droogteschade kan worden uitgedrukt als gewasverdampingsreductie c.q. fysieke-opbrengstreductie c.q. geldelijke bedrijfsinkomstenreductie (in geval van graslandbedrijven), uitgedrukt als percentage of in euro's. Voorgesteld wordt via statistische technieken te onderzoeken welke karakteristieken de beste verklarende werking hebben. De hypothese is dat de relatie tussen de grondwaterstand op een bepaalde dag en de reductie van de gewasverdamping op die dag bijzonder zwak is. Op basis van SWAP-resultaten is dat te falsifiëren. Als karakteristieken zijn denkbaar:

- de VG3 en LG3 voor de droogteschade per jaar;
- de GVG en GLG voor de langjarig gemiddelde droogteschade;
- het 10%-, 50%- en 90%-percentiel gedurende het groeiseizoen van een bepaald jaar;
- het 10%-, 50%- en 90%-percentiel van de grondwaterstanden gedurende het groeiseizoen van alle jaren uit de klimaatreeks;
- et cetera.

De verwachting is dat de relatie tussen te kiezen karakteristieken en de droogteschade zeer zwak zal zijn voor diepe grondwaterstanden en gronden met bijna-schijngrondwaterstanden of echte schijngrondwaterstanden. Wellicht zal dit ook het geval zijn bij ondiepe grondwaterstanden en een hoog vochtleverend vermogen van de wortelzone, omdat de gewasverdamping tot een bepaalde grens van de grondwaterstand potentieel blijft. De vraag is of een niet-significant verband net zo bruikbaar is als een duidelijk significant verband.

Indirecte droogteschade wordt niet direct gesimuleerd en zal dus als nabewerking in rekening moeten worden gebracht. Daarbij is een koppeling aan een of andere hydrologische karakteristiek nog onderwerp van studie.

B1.4 DIRECTE NATSCHADE

De veronderstelling is dat directe natschade sterk niet-lineair afhankelijk is van de grondwaterstand en een of andere SOW-waarde gedurende het groeiseizoen (dus niet teeltseizoen) een te onderzoeken karakteristiek is, naast VG3 en LG3.

B1.5 INDIRECTE NATSCHADE

BEWERKBAARHEID, BERIJDBAARHEID, BETREEDBAARHEID

De relatie tussen reductie van aantal werkbare dagen voor graslandbedrijven aan opbrengstreductie c.q. bedrijfsvoering c.q. bedrijfsinkomsten loopt via een Waterpas-achtige nabewerking. Daarbij wordt geen karakteristiek gebruikt maar de gesimuleerde drukhoogte.

Sommige vormen van indirecte natschade zullen als nabewerking in rekening worden gebracht. Daarbij is wel een koppeling aan een of andere karakteristiek noodzakelijk.

B1.6 DISCUSSIE

GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEK

In het bekende onderzoek van Van Wijk et al. (1988) is de fysieke opbrengst gekoppeld aan een maat voor de drainageïntensiteit. In retrospectief is dat overigens een betwistbare keuze. Drainageweerstand en drainagebasis zijn immers niet volledig uitwisselbaar, zie ook Van Bakel en Schaap (2010). Ook bij de toepassingen van Waterpas voor het veenweidegebied (De Vos et al., 2006; 2007; 2008) is de opbrengst gekoppeld aan drooglegging.

Voor kleigronden en graslandpercelen in diepe veenweidegebieden lijkt een koppeling aan drainageïntensiteit en drooglegging een logische keuze omdat deze onderscheidend (niet bepalend) zijn voor verschillen in ontwateringssituatie. Het veronderstelt echter dat de overige kenmerken van een ontwateringstoestand, zoals peil in de sloten bij kleigebieden en de afstand tussen de sloten bij veenweidegebieden, er weinig toe doen. Inmiddels is uit onderzoek op de Rusthoeve (Schipper en Van der Schans, 2012) en uit onderzoek naar onderwaterdrains (Van Hardeveld et al., 2006) wel gebleken dat deze veronderstelling geen stand houdt.

RISICO-UITSPRAKEN

Op basis van 30 jaar simulatieresultaten kunnen we per grondwaterstandskarakteristiek de kansen op droogteschade bepalen. Vervolgens stellen we: risico is kans maal schade. Daarmee sluiten we aan op de berekeningen ten behoeve van WB21-wateroverlast.

B1.7 LITERATUUR

Bakel, P.J.T. van J. Schaap en E. van Essen, 2013. Is peilverhoging in een kleipolder agrohydrologisch neutraal te realiseren? Toepassing van klassieke agrohydrologische kennis op een modern vraagstuk. *Stromingen* 19(1): 19-34.

Schipper, P.N.M., M. Heinen, P. Jansen, L. Stuyt en P. Dik 2015. Praktijkproef Regelbare Drainage proefbedrijf Rusthoeve 2010-2014. Eindverslag praktijkproef naar de effecten van regelbare en verdiept aangelegde drains op klei in Zeeland. *Alterra-rapport* 2015.

Hardeveld, H. van, R. Hendriks, C. Kwakernaak en J. van den Akker, 2006. Toepassing van onderwaterdrainage in veenweiden; een overzicht van kennis.

Vos J.A., P.J.T. van Bakel, I.E. Hoving, and J.G. Conijn, 2006. Waterpas-model: a predictive tool for water management, agriculture, and environment. *Agric. Wat. Man.*

Vos J.A., I.E. Hoving, P.J.T. van Bakel en R.A. Smidt, 2007. Regionale opschaling van nat- en droogteschade in de landbouw in Utrechtse veenweidegebieden. *Alterra-rapport* 1505, ISSN 1566-7197.

Vos J.A., P.J.T. van Bakel en I.E. Hoving, 2008. Waterpas nat- en droogteschadeberekeringen ten behoeve van landbouwkundige doelrealisatie. *Alterra-rapport* 1653.

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. *Rapport* 31. ICW, Wageningen.

BIJLAGE 2

NADERE UITWERKING 2^E ORDE EFFECTEN

Een hydrologische ingreep (verandering hydrologische eigenschappen (door maatregelen) of een verandering in hydrologische randvoorwaarden) heeft gevolgen voor het hydrologisch systeem. Deze gevolgen zijn meetbaar of berekenbaar door de structurele veranderingen in nader te kiezen hydrologische variabelen te bepalen.

Als voorbeeld: een verlaging van de stuwkruin (de maatregel) leidt tot een structurele verlaging van de openwaterstand bovenstrooms van de stuw waardoor de drainagebasis voor het freatisch systeem wordt verlaagd, met als resultaat dat de grondwaterstand structureel wordt verlaagd. In deze redenering veranderen de hydrologische eigenschappen van het freatisch systeem niet. Het aldus bepaalde effect op de grondwaterstand is het primaire of 1^e orde (hydrologisch) effect.

Een structureel lagere grondwaterstand kan echter leiden tot een verandering van de eigenschappen van het freatisch systeem. Deze verandering kan omkeerbaar zijn (als de oorzaak van de grondwaterstandsverandering wordt opgeheven worden de oorspronkelijke eigenschappen weer hersteld) of onomkeerbaar (irreversibel) zijn. Een tussenvorm is dat tot een tot een bepaald punt de verandering reversibel is en voorbij dat punt irreversibel (zie M. Scheffer: *Critical Transitions in Nature and Society*).

De door een 1^e orde effect veroorzaakte veranderingen van het hydrologisch systeem noemen we 2^e orde effecten.

Voorbeelden van reversibele 2^e orde effecten zijn:

- zwel en krimp van klei- en veengrond onder invloed van verandering in vochtgehalte;
- waterafstotendheid. Bij uitdroging voorbij een bepaald vochtgehalte zijn sommige gronden moeilijk te herbevochtigen maar het kost alleen (veel) tijd. Veengrond kent een punt waarop het niet meer terugkomt, niet meer water opneemt. Dan is het echter extreem droog (turf voor het haardvuur);
- Ontwatering van veengronden leidt er toe dat de relatie tussen vochtspanning en draagkracht verschuift (meer draagkracht bij dezelfde vochtspanning).

Voorbeelden van irreversibele 2^e orde effecten zijn:

- rijping van kleigronden onder invloed van ontwatering. Dit is een irreversibel proces waarbij de bodemfysische eigenschappen van de kleigrond veranderen en het maaiveld irreversibel daalt;
- veraarding en afbraak van veen onder invloed van ontwatering.

In het biologische domein zijn veel meer voorbeelden van tipping point-gedrag en irreversibele 2^e orde effecten te geven. Denk aan het aanpassen van het aantal huidmondjes bij aanhoudende droogte (adaptie tot een zeker punt) maar voorbij een zeker punt het afsterven van het gewas. Een biologisch systeem bestaat bij de gratie van adaptatie maar er zijn grenzen.

In het maatschappelijk en (bedrijfs)economisch domein is ook sprake van 2^e orde effecten, zoals ook beschreven door Van der Ploeg (2001): 'Het weigevool'. Verandering van de grondwaterstand kan leiden tot een ander 'bedrijfsmodel' omdat de agrariër adaptief gedrag vertoont. Dit is een strategisch 2^e orde effect. Maar ook het niet kunnen maaien bij natte omstandigheden is te beschouwen als een (operationeel) 2^e orde effect.

Een aantal fysieke (en biologisch) omkeerbare 2^e orde effecten kunnen met geavanceerde hydrologische modellen als SWAP(-WOFOST) worden meegenomen. Irreversibele processen worden echter veelal pas als nabewerking in rekening gebracht of blijven buiten beeld. Ook in WOFOST kan het gemodelleerde gewas zich niet adapteren aan stress, dat wil zeggen dat er geen *tipping points* zijn die bij over- of onderschrijding tot gevolg hebben dat het gewas er gewasfysiologisch 'de brui aan geeft'.

BIJLAGE 3

DRAAGKRACHT VAN DE BODEM IN HET WATERPAS-MODEL

Bram de Vos en Gertjan Holshof

Versie 3 maart 2005

B3.1 INLEIDING

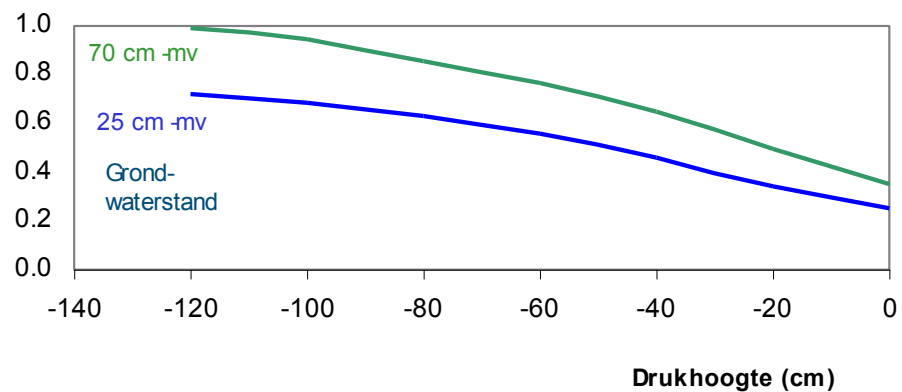
De draagkracht van de bodem speelt een belangrijke rol in de bedrijfsvoering van melkveebedrijven. Deze draagkracht bepaalt wanneer machines of vee op het land kunnen en of er onder deze omstandigheden schade kan optreden. Machines worden gebruikt om in het voorjaar (drijfmest toe te dienen en tijdens het groeiseizoen het gras te maaien en op te halen. We zullen nu bespreken hoe in de VoederVoorzieningsWijzer, die in het Waterpas-model wordt gebruikt, met deze draagkracht wordt omgegaan. We beperken ons nu tot de situatie zoals die is doorgerekend voor het voorbeeldbedrijf in het veenweidegebied Zegveld-Oud Kamerik (De Vos *et al.*, 2004; GGP, 2000; Zom *et al.*, 2002).

In onze hydrologische berekeningen maken we gebruik van het SWAP-model dat de drukhoogten op verschillende dieptes op dagbasis berekent. Voor de bouwvoor van graslandpercelen veronderstellen wij dat de drukhoogte h op een diepte van 14 cm -mv gerelateerd kan worden aan de draagkracht D . Deze keuze is gebaseerd op de veronderstelling dat bij de huidige hoge belastingen met zware machines niet alleen de bodemfysische condities van de zodelaag van belang zijn, maar dat de bodemfysische toestand van de gehele bouwvoor van belang is. Daarom is een diepte van 14 cm -mv, midden in de bewortelbare zone, als representatief gekozen. Een validatie van de juistheid van deze keuze is niet gebaseerd op een vergelijking met gemeten drukhoogten en indringingsweerstand, maar op basis van de globale overeenstemming van het gesimuleerde graslandgebruik met de praktijkervaringen op Zegveld.

Het is bekend dat de draagkrachtgrenzen van veengronden veranderen bij verschillen in grondwatertrappen ten gevolge van een verandering in de volumieke massa van de bovengrond (Van Wijk, 1984). Bij een hoger slootwaterpeil neemt door de lagere volumieke dichtheid de draagkracht af ten opzichte van een lager slootpeil (Fig. B3.1).

FIGUUR B3.1 RELATIE TUSSEN DE DRAAGKRACHT EN DE DRUKHOOGTE IN DE ZODELAAG (5 CM -MV) VOOR EEN GRASLANDGROND OP HET ROC-ZEGVELD BIJ EEN HOOG (CA. 25 CM -MV) EN EEN LAAG SLOOTPEIL (CA. 70 CM -MV) (AFGELEID UIT: VAN WIJK, 1984).

Draagkracht (MPa)



B3.2 DRAAGKRACHTGRENZEN

B3.2.1 MESTTOEDIENING

Bij het toedienen van drijfmest wordt er vanuit gegaan dat er voldoende werkbare dagen in het voorjaar beschikbaar zijn en dat de rest van de bemesting d.m.v. een kunstmestgift wordt uitgevoerd. Draagkracht speelt in de huidige versie van Waterpas hierbij nog geen rol.

B3.2.2 BEWEIDING

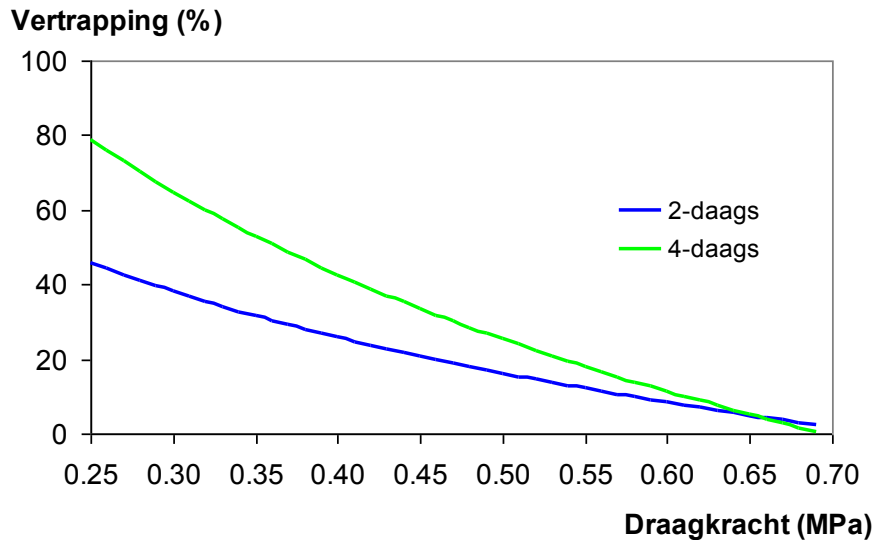
Het vee kan ingeschaard worden op een perceel als de draagkracht groter is dan 0,25 MPa ($h < -30$ cm (op 14 cm -mv)). Als het vee eenmaal is ingeschaard dan blijft het vee gedurende een vast aantal velddagen in het perceel staan, waarbij dan wel schade kan ontstaan.

In het draagkracht traject $0,25 < D < 0,7$ MPa (-70 cm $< h < -30$ cm (op 14 cm -mv)) kan extra schade aan het gras optreden door vertrapping en betreding. De beweidingsverliezen worden verdeeld over het aantal dagen beweiding, waarbij in de eerste dagen meer verliezen optreden dan in de laatste dagen (VVW, 2004).

In VVW wordt er standaard een grasverlies van 55 kg ds/ha per weidedag aangenomen voor de verliezen door lopen en liggen. Er wordt een onderscheid gemaakt voor het percentage van het totale grasaanbod dat wordt vertrapt tussen 2- en 4-daagse beweiding bij een verminderde draagkracht (0,3 tot 0,7 MPa) (Figuur B3.2).

FIGUUR B3.2

VERTRAPPINGSPERCENTAGE BIJ VERSCHILLENDE DRAAGKRACHT VOOR 2- EN 4-DAAGSE BEWEIDING, ZOALS IN GGW WORDT GEBRUIKT.



B3.2.3 MAAIEN

Het gras kan gemaaid worden als $D > 0,7$ MPa. Dit correspondeert in onze Waterpas-berekeningen met een drukhoogte $h < -70$ cm (op 14 cm -mv).

B3.3 DISCUSSIE

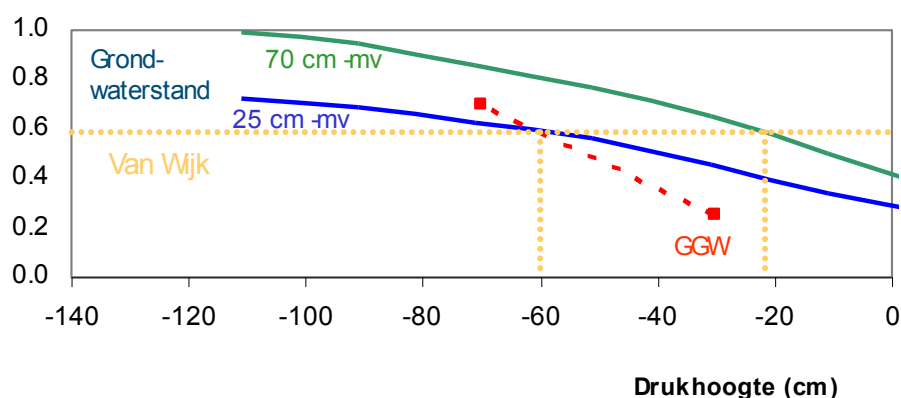
De diepte waarop de drukhoogte van de bouwvoor als karakteristiek wordt beschouwd zal erg bepalend zijn voor de berekende draagkracht. Bij hoge grondwaterstanden zal een grote diepte (bijv. 30 cm -mv) eerder aanleiding geven tot te natte toestanden en te lage draagkracht omdat de drukhoogten sterk gekoppeld zijn aan de grondwaterstand, aangezien er haast altijd een hydrostatisch evenwicht heerst. Bij een kleine diepte (bijv. 5 cm -mv) kunnen grote variaties in drukhoogte optreden ten gevolge van regenbuien of verdamping en is het maar de vraag op de drukhoogte op deze diepte de draagkracht van de gehele zode bepaald? Een diepte van 14 cm -mv leek ons een goed en praktisch compromis, omdat dit ongeveer het midden van de bouwvoor en bewortelbare zone is en in de schematisatie van SWAP goed uitkwam. Het lijkt echter wel nodig om verder uit te zoeken hoe deze keuze aansluit bij de draagkracht-drukhoogterelaties zoals die in het verleden bepaald zijn en wat de gevoeligheid van de Waterpas-resultaten zijn voor deze keuzes. In onze berekeningen hebben we niet het effect van een constante verhoging van het oppervlaktewaterpeil op de volumieke massa meegenomen; we zijn uitgegaan van een vaste relatie tussen drukhoogte en draagkracht.

In de onderstaande figuur zijn de gegevens van Figuur B1.1 vertaald naar een drukhoogte op een diepte van 14 cm -mv, waarbij hydrostatisch evenwicht is aangenomen. Dit houdt dus in dat de drukhoogte op 5 cm -mv verhoogd werd met 9 cm om de drukhoogte op 14 cm -mv te berekenen, wat er dus op neer komt dat de lijnen uit Figuur 1 opgeschoven zijn. Uit de vergelijking tussen de gebruikte gegevens uit GGW en de gegevens van van Wijk lijkt het er op dat de draagkracht bij een drukhoogte van 70 cm -mv goed overeenkomt met een soort gemiddelde waarde tussen de twee door van Wijk gebruikte grondwaterstanden. Dit zou dan overeenkomen met een volumieke dichtheid van een licht vernatte bodem. Het GGW-punt bij een drukhoogte van -30 cm heeft te lage draagkracht ten opzichte van de gegevens van Van Wijk (1984). Dit betekent dat in onze berekeningen met de GGW-data, dat we eerder gebruiksbependingen hebben dan bij de data van Van Wijk, zeker bij een diepere grondwaterstand van 70 cm -mv.

In Van den Akker *et al.* (1993) wordt echter beschreven dat de draagkracht in de experimenten gekarakteriseerd is door de indringingsweerstand te meten in de bovenste centimeters van de zodelaag met een penetrometer. De gegevens zijn afkomstig uit Van Wijk (1994) die de zodelaag definieert als de bovenste 10 cm van de bodem. Dit zou inhouden dat de karakteristieke drukhoogte in relatie tot draagkracht op een diepte van 5 cm -mv zou zijn vastgesteld? Van Wijk (1984) geeft een kritische draagkrachtgrens van 0,6 MPa voor de zodelaag waarbij net geen schade zal optreden (Fig. B3.3).

FIGUUR B3.3 AANGEPASTE RELATIE TUSSEN DE DRAAGKRACHT EN DE DRUKHOOGTE MIDDEN IN DE ZODE (14 CM -MV) VOOR EEN GRASLANDGROND OP HET ROC-ZEGVELD BIJ EEN HOOG (CA. 25 CM -MV) EN EEN LAAGG SLOOTPEIL (CA. 70 CM -MV) (AFGELEID UIT: VAN WIJK, 1984). OOK ZIJN DE GRENSWAARDEN ZOALS DIE IN GGW WORDEN GEBRUIKT AANGEGEVEN (IN ROOD) EN DE GRENS VAN VAN WIJK WAARBIJ SCHADE OPTREEDT (0.6 MPa).

Draagkracht (MPa)



B3.4 LITERATUUR

Akker, J.J.H. van den, J. Beuving en K. Oostindie: Berijdingsmogelijkheden veengrasland I: draagkracht en uitrijmogelijkheden in het voorjaar. In: H. Snoek (Ed.), *Grasland en berijding; inleidingen van de themadag op donderdag 17 juni 1993*. Lelystad, PR, 1993, blz. 19-26.

BBPR, 2001. *Bedrijfs Begrotings Programma Rundvee (BBPR)*. Praktijkonderzoek Veehouderij, Handleiding BBPR versie 8. Lelystad.

Beuving, J., K. Oostindie en Th. V. Vellinga, 1989. *Vertrappingsverliezen door onvoldoende draagkracht van veengrasland*. Staring-centrum-rapport 6, Wageningen.

GGP, 2000. *Graslandgebruiksplanner (GGP)*. Praktijkonderzoek Veehouderij, Handleiding GGP versie 2. Lelystad.

Holshof, G., Th. V. Vellinga en J. Beuving, 1994. *Vertrapping en grasaanbod op veengrasland met een slechte draagkracht*. Proefstation voor de Rundveehouderij (PR) Lelystad, Rapport nr. 153.

Schothorst, C.J., 1982a. *Drainage and behaviour of peat soils*. Institute for Land and Water Management Research, report 3. Wageningen.

Schothorst, C.J., 1982b. *De gevolgen van waterwinning en ontwatering bij veengronden in de Groeve*. Nota 1325, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Vos, J.A. de, I.E. Hoving, P.J.T. van Bakel, J. Wolf, J.G. Conijn en G. Holshof, 2004. Effecten van peilbeheer in de polders Zegveld en Oud-Kamerik op de nat- en droogteschade in de landbouw. Alterra-rapport 987.

VVW, 2004. VoedingsVoorzieningsWijzer, versie 2004. Interne notitie P-ASG.

Wallenburg, C. van en J.J. Vleeshouwer, 1987. Resultaten van een landelijke inventarisatie van de stevigheid van de bovengrond van grasland. Stichting voor bodemkartering, Wageningen. Rapportnr. 1915.

Wijk, A.L.M. van, 1984. Physical soil degradation: analysis, modeling and effects of soil compaction due to field traffic in modern agriculture. Nota 1524, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

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. Een evaluatie over 30 jaren van de opbrengst van aardappelen en zomergraan op acht bodemprofielen bij vijftien combinaties van ontwateringsdiepte en -intensiteit. Rapport 31, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Zom, R.L.G, J.W. van Riel, G. André, G. van Duinkerken, 2002. Voorspelling voeropname met Koemodel 2002. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad. Praktijkrapport Rundvee 11, Lelystad.