



Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt

Alterra-rapport 2177
ISSN 1566-7197

K.B. Zwart, J.J.H. van den Akker, D.W. Bussink, M.J.O.M. de Haas, R.Y. van der Weide,
J.G.M. Paauw, W. Saathoff, D. Goense en A.J. Doornbos

Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt

Dit project is in opdracht van de provincie Drenthe

Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt

K.B. Zwart¹, J.J.H. van den Akker¹, D.W. Bussink², M.J.O.M. de Haas², R.Y. van der Weide³,
J.G.M. Paauw³, W. Saathoff⁴, D. Goense^{4,5} en A.J. Doornbos⁶

- 1 Alterra
- 2 NMI
- 3 PPO
- 4 HLB
- 5 ASG
- 6 LTO-Noord projecten

Alterra-rapport 2177

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2011



Referaat

K.B. Zwart, J.J.H. van den Akker, D.W. Bussink, M.J.O.M. de Haas, R.Y. van der Weide, J.G.M. Paauw, W. Saathoff, D. Goense en A.J. Doornbos, 2011. *Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2177, 92 blz.; 16 fig.; 4 tab.; 59 ref.

De ecologische waterkwaliteit van veel oppervlaktewateren voldoet niet aan de norm door een hoge belasting met nutriënten. De grondwaterkwaliteit wordt op sommige plaatsen bedreigd door residuen van gewasbeschermingsmiddelen.

Bodemverdichting van landbouwgronden, van zowel de bouwvoor als van de laag daaronder, is de mogelijke oorzaak van deze problematiek. Bodemverdichting is de directe oorzaak van verhoogde afspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen. Indirect is bodemverdichting de oorzaak van verhoogd gebruik van gewasbeschermingsmiddelen, voor het bestrijden van ziektes die aan natte omstandigheden zijn gerelateerd.

Dit rapport beschrijft de bodemverdichting in de provincie Drenthe, de omvang, de oorzaken en de gevolgen daarvan voor zowel de landbouw als de waterkwaliteit en een aantal technieken om de problematiek op te lossen of, beter nog, te voorkomen.

Trefwoorden: bodem, bodemverdichting, landbouw en waterkwaliteit

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2011 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

Alterra-rapport 2177

Wageningen, april 2011

Inhoud

Voorwoord	7
Samenvatting	9
1 Aanleiding en doel	13
2 Aard en omvang van de slechte bodemstructuur en bodemverdichting en de oorzaken ervan	15
2.1 Bodemverdichting in Drenthe	15
3 Oorzaken van verdichting	19
4 Gevolgen van verdichting voor processen in de bodem, de landbouw en de waterkwaliteit	21
4.1 Water- en gashuishouding	21
4.2 Nutriëntenhuishouding	22
4.3 Voorbeelden van effecten van verdichting op processen in de bodem	22
4.4 Bodemleven	23
4.5 Verdichting en bewerkbaarheid	23
4.6 Verdichting en gewasontwikkeling en -opbrengst	23
4.7 Verdichting en ziektedruk	25
4.8 Verdichting en gewasopbrengst	26
5 Gevolgen voor de waterkwaliteit	27
5.1 Oppervlaktewater	27
5.2 Grondwater	29
6 Bodemverdichting meten	31
6.1 Bodemstructuur	31
6.2 Meten van bodemstructuur	31
6.3 Eigenschappen met een voorspellende waarde voor bodemstructuur	32
6.4 Bodemstructuur beschrijvende eigenschappen	32
6.5 Overige technieken	33
7 Herstelmaatregelen bij verdichting	35
7.1 Algemene opmerkingen	35
7.2 Technieken om verdichting op te heffen	35
7.3 Effecten van opheffen van verdichting	38
8 Voorkomen van bodemverdichting	41
8.1 Maatregelen	41
8.2 Bandenkeuze en bandenspanning	41
8.3 Bovenoverploegen	42
8.4 Grondbewerkings- en teeltmaatregelen	42
8.5 Teelt met vaste rijpaden	43
8.6 Spitten	44

8.7	Bouwplan en gewaskeuze	44
8.8	Bemesting	45
8.9	pH van de bouwvoor en ondergrond	45
8.10	Inrichting van de percelen	46
8.11	Kennishiaten van maatregelen om verdichtingen te voorkomen	46
9	Kosten en baten van oplossen en voorkomen	47
9.1	Kosten en baten bodemverbetering	48
10	Reacties van de praktijk op de bevindingen van het rapport	49
11	Conclusies en aanbevelingen voor een demoproject	51
	Literatuur	53
Bijlage 1	Methodieken om bodemstructuur en bodemverdichting te meten	57
Bijlage 2	Onderzoek naar niet-kerende grondbewerking tot bouwvoordiepte	69
Bijlage 3	Verslag van de workshop met stakeholders op vrijdag 17-12-2010 op het HLB te Wijster	73

Voorwoord

Voedselproductie (-zekerheid), goede waterkwaliteit en bodemkwaliteit zijn belangrijke thema's in de provincie Drenthe. Verdichting van de landbouwbodem heeft een negatief effect op al deze elementen.

Om die reden heeft de provincie Drenthe een consortium van Alterra, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO) (beide onderdeel van Wageningen UR), Nutriënten Management Instituut (NMI), Hilbrands Laboratorium voor Bodemziekten (HLB) en LTO-Noord projecten de opdracht gegeven een bureaustudie te verrichten naar de bodemverdichting in Drenthe, de omvang daarvan, de oorzaken en gevolgen, methodieken om de problematiek vast te stellen, op te heffen en te voorkomen en de kosten en baten daarvan. De bevindingen van de studie zijn voorgelegd en besproken met een vertegenwoordiging uit de landbouw en waterpraktijk.

De resultaten moeten bovendien uitmonden in conclusies en aanbevelingen voor een praktijkproject, waarin de meest veelbelovende technieken om verdichting op te heffen en te voorkomen worden gedemonstreerd en het effect op waterkwaliteit voor zover mogelijk wordt gemonitord. Een aanvraag ter subsidiëring zou worden ingediend bij SKB.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de studie en de reacties daarop van de landbouwpraktijk. De conclusies en aanbevelingen uit het rapport zijn verwerkt in een subsidieaanvraag voor een praktijkdemonstratieproject, dat inmiddels is ingediend bij SKB. De uitslag daarvan is op dit moment nog niet bekend.

Samenvatting

Dit rapport gaat in op de problematiek van bodemverdichting. Het project is gericht op de verdichting in de provincie Drenthe, maar door het ontbreken van veel specifieke gegevens voor Drenthe is ook veel gebruik gemaakt van gegevens van elders.

Het rapport beschrijft de omvang van bodemverdichting en de oorzaken ervan (hoofdstuk 1). Het gaat in op de gevolgen voor allerlei processen in de bodem en de daarvan afgeleide gevolgen voor de landbouw, de waterkwaliteit en de atmosfeer (hoofdstuk 2). Vervolgens worden verschillende technieken om bodemverdichting te meten besproken (hoofdstuk 3).

Dan gaat het rapport over op de beschrijving van technieken om verdichting op te heffen (hoofdstuk 4) of, wellicht beter, te voorkomen (hoofdstuk 5). Hoofdstuk 6 beschrijft de kosten en baten van het opheffen en voorkomen van verdichting voor de landbouw.

In hoofdstuk 7 worden de reacties van Drentse landbouwers op de resultaten in het rapport weergegeven. De conclusies van het rapport staan in hoofdstuk 8. Daarin worden ook aanbevelingen gedaan voor het uitvoeren van demonstratieprojecten waarin met behulp van een aantal veelbelovende technieken verdichting wordt aangepakt en de resultaten worden gemonitord.

Probleem van bodemverdichting

Bodemverdichting is een serieus probleem, waarvan de exacte omvang en de werkelijke impact echter moeilijk is aan te geven. Dat geldt ook voor de bodemverdichtingsproblematiek in Drenthe.

Op basis van gecombineerde gegevens van metingen, berekeningen en verschillende vormen van landgebruik wordt geschat dat de helft van de Drentse gronden een kans van meer dan 25% heeft dat ze zwaar verdicht zijn. Het gebied met risico van verdichting breidt zich uit.

Oorzaak van verdichting

De belangrijkste oorzaak van verdichting is het (intensieve)gebruik van zware machines. Daarnaast speelt berijden van het land op momenten dat de bodem daar eigenlijk niet geschikt voor is, maar de noodzaak van oogsten daartoe noopt, een grote rol. Verdichting is dan ook een groter probleem in de akkerbouw dan bij grasland, maar komt zeker ook voor in grasland.

In de Veenkoloniën is bovendien de zandgrond onder het oorspronkelijke veen van nature verdicht. Door (dieper) ploegen en diepere ontwatering verdwijnt het erboven liggende veenlaagje steeds verder door oxidatie, waardoor deze dichte ondergrond relatief steeds hoger komt te liggen.

Gevolgen van verdichting

Verdichting van de bouwvoor en de ondergrond heeft verschillende nadelige gevolgen voor zowel de landbouw, de waterafvoer en de waterkwaliteit als voor de atmosfeer.

De bewortelingsdiepte van gewassen is geringer in een verdichte bodem waardoor dieper liggend water en nutriënten niet meer beschikbaar zijn voor het gewas. De gevolgen zijn een risico van:

1. Lagere opbrengsten die deels door beregening en/of een hogere bemestingsgift kan worden opgelost;
2. Uitspoeling van nutriënten die onder de bewortelbare zone liggen.

Daarnaast is de infiltratiecapaciteit in een verdichte bodem verlaagd met als gevolg:

1. Een verhoogde oppervlakkige afspoeling van water met de daarin opgeloste stoffen en een verlaagde waterbergingscapaciteit van de bodem;
2. Het achterblijven van grote waterplassen op het land die met geultjes worden ontwaterd, met ook een vergrote oppervlakkige afspoeling;
3. Een hogere ziektedruk in de verdichte en vernatte delen, met als gevolg een hoger gebruik van gewasbeschermingsmiddelen, waarvan een deel eveneens kan uitspoelen naar het grondwater en afspoelen naar het oppervlaktewater.

Ook levert een verdichte bodem een verhoogd risico van broeikasemissies op door:

1. Een verhoogde denitrificatie in de natte delen van percelen met als gevolg stikstofverliezen voor de landbouw en het risico van lachgasemissie naar de atmosfeer;
2. Een verhoogd energieverbruik bij de bodembewerking, als gevolg van een hoger dieselverbruik van landbouwmachines.

Vaststellen van verdichting

Er zijn diverse technieken om bodemverdichting vast te stellen. Een aantal daarvan bestaat uit klassieke methoden voor het vaststellen van de bodemstructuur en indirecte waarnemingen als plasvorming, achterblijvende gewasontwikkeling. Het voordeel van deze technieken is dat ze bewezen hebben effectief te zijn. Het nadeel is dat het vaak gaat om puntmetingen, waardoor de kosten om een groot oppervlak te inventariseren vaak erg hoog zijn.

Inventarisatie van grote arealen kan opgelost worden met moderne technieken die gebruik maken van remote sensing vanuit de ruimte, de lucht of vanaf de trekker. Remote sensing technieken vanuit de ruimte en de lucht maken gebruik van indirecte waarnemingen zoals bodemvocht en bodemtemperatuur. Natte plekken in de bodem kunnen wijzen op verzakkingen door veenoxidatie of op verdichting van de ondergrond. Remote sensing technieken vanaf de trekker maken bijvoorbeeld gebruik van de trekkracht die nodig is om de bodem te bewerken.

Opheffen van verdichting

Er bestaan diverse mechanische woel-, spit- en freestechieken om bodemverdichting op te heffen die over het algemeen bestaan uit het openbeken van de verdichte lagen. Het voordeel daarvan is het snelle directe effect ervan. Het nadeel is dat de oplossing vaak van tijdelijke aard is en het probleem terugkeert.

Voorkomen van verdichting

Er zijn vier aanpakrichtingen om verdichting te voorkomen: *Grondbewerkings- en teeltmaatregelen*, bijvoorbeeld niet-kerende grondbewerking of vaste rijpaden. Een ruimer *Bouwplan*, inclusief het jaarrond bedekt houden met een gewas. *Bemesting* met meer organische stof en de juiste minerale bemesting en *Inrichting van percelen* met een goede drainage.

Het voordeel van deze technieken is dat het verdichting voorkomt en het effect langdurig is. Het nadeel is dat ze bij toepassing in verdichte gronden vaak geen effect op korte termijn hebben. Een combinatie met technieken die de verdichting opheffen kan dan uitkomst bieden.

Kosten en baten van het opheffen en voorkomen van verdichting

Onder een aantal aannames is een schatting gemaakt van de kosten en baten van het opheffen en voorkomen van verdichting voor de aardappel- en suikerbietenteelt in Drenthe. De totale jaarlijkse financiële schade voor de landbouw is geschat op 4.4 miljoen € per jaar. De jaarlijkse kosten van het opheffen van de problematiek worden geschat op 1.1 miljoen €. Als 65% van de problematiek door maatregelen wordt opgeheven bedragen de totale jaarlijkse baten 2.9 miljoen €.

Reacties van de landbouwpraktijk op de bevindingen

De reacties van de landbouwpraktijk op de bevindingen van het rapport zijn verzameld tijdens een workshop waarbij Drentse landbouwers en vertegenwoordigers van de provincie, waterschappen en drinkwaterbedrijven aanwezig waren.

De praktijk onderkent de problematiek van bodemverdichting en is het ook eens met de geconstateerde oorzaken en gevolgen ervan. Alle landbouwers zijn ervan overtuigd dat het beter is om schade te voorkomen dan om te genezen, maar soms nopen omstandigheden ertoe om toch het land te berijden, ook als dat eigenlijk niet kan. Zowel voor wat betreft de gevolgen voor henzelf als die voor de waterkwaliteit. Meerdere landbouwers passen dan ook wel eens technieken toe om verdichting op te heffen, zonder er altijd zeker van te zijn dat die ook effect hebben. Het ontbreekt eigenlijk aan voldoende vergelijkingsmateriaal.

Initiatieven om in demonstratie- en monitoringprojecten de gevolgen van verdichting, methodieken om verdichting op te heffen en de effecten daarvan op gewasopbrengst, bodemkwaliteit en waterkwaliteit te registreren worden door allen ondersteund.

1 Aanleiding en doel

De directe aanleiding van dit project is drieledig:

- De ecologische waterkwaliteit van veel oppervlaktewater voldoet niet aan de norm door een hoge belasting met nutriënten;
- De grondwaterkwaliteit en de oppervlaktewaterkwaliteit wordt op sommige plaatsen bedreigd door residuen van gewasbeschermingsmiddelen (kortweg residuen);
- De bodemverdichting als gedeeltelijke oorzaak van deze problematiek.

Belasting van het oppervlaktewater met nutriënten en bestrijdingsmiddelen uit de landbouw is een van de grootste belemmeringen om de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) te halen. De totale belasting van het Nederlandse oppervlaktewater met stikstof is ruim 48 duizend ton per jaar en ruim 50% daarvan is afkomstig uit de landbouw (Zwart et al.; 2008), vooral door diffuse belasting.

De (gedeeltelijke) oorzaak van deze problematiek is de slechte bodemstructuur van een deel van de landbouwgronden die zich uit in verdichting van de bouwvoor en van de laag daaronder.

Bodemverdichting heeft verschillende gevolgen:

- Een slechte waterdoorlatendheid;
- Een verhoogde oppervlakkige afspoeling naar het oppervlaktewater van nutriënten en residuen;
- Een verhoogd risico op gewasziekten als gevolg van langdurig natte delen van percelen, gevolgd door een verhoogd gebruik van gewasbeschermingsmiddelen;
- Een suboptimale gewasontwikkeling;
- Een suboptimale opbrengst;
- Een lage efficiëntie van gebruik van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen.

Specifiek voor Drenthe zijn er niet veel gegevens beschikbaar om deze beweringen te staven, maar er is geen aanleiding om te veronderstellen dat de situatie in Drenthe sterk verschilt van de landelijke situatie. Op landelijk niveau zijn er wel gegevens beschikbaar.

Doel van het project is om aan te tonen en te demonstreren dat verbetering van de bodemstructuur leidt tot een betere kwaliteit van oppervlaktewater en grondwater, tot een hoger landbouwkundig saldo, een hogere efficiëntie van gebruik van nutriënten en een lagere druk van gewasbeschermingsmiddelen.

Het project is zowel technisch en beleidsmatig van karakter als op de praktijk gericht en is opgesplitst in twee fasen. In Fase 1 is een deskstudie uitgevoerd om de problematiek en de oplossingsrichtingen scherp te kunnen definiëren. Dit rapport is het resultaat van die deskstudie.

Naar aanleiding van de resultaten van Fase 1 wordt besloten of en hoe in Fase 2 een demonstratieproject kan worden aangelegd waarin de gevolgen van bodemverdichting plus de effecten van mogelijke oplossingen zichtbaar worden gemaakt en waarin ook verschillende waarnemingen worden verricht om de resultaten te kwantificeren.

2 Aard en omvang van de slechte bodemstructuur en bodemverdichting en de oorzaken ervan

2.1 Bodemverdichting in Drenthe

Door Bakker et al. (2010) is een inventarisatie gemaakt van beschikbare gegevens over bodemverdichting in Drenthe. Deze gegevens zijn vrij beperkt.

Voor Nederland zijn er wel algemene gegevens over de verdichtingsgevoeligheid van bodems voor ondergrondverdichting en, net als voor Drenthe, een beperkte hoeveelheid data met gemeten dichtheden. De gevoeligheid voor verdichting van Nederlandse ondergronden is met twee methoden bepaald. Ten eerste met een methode waarbij de draagkracht van de ondergrond is *berekend* (Van den Akker, 2004; Hack-ten Broecke et al., 2009) en waarbij gegeven een bepaalde band de maximale wiellast waarbij nog net geen onderverdichting optreedt wordt bepaald. Uit de berekeningen blijkt dat de draagkracht van zand- en lichte zavelondergronden, zoals deze veel voorkomen in Drenthe, te laag is om de huidige wiellasten te dragen zonder bijkomende verdichting.

Deze methode is niet geschikt voor veengronden en doet dan ook geen uitspraak over de veenkoloniale gronden.

De tweede methode is *gebaseerd op ervaring* (Jones et al., 2003; Hack-ten Broecke et al., 2009) en geeft aan of de ondergrond een lage, gemiddelde of hoge kwetsbaarheid heeft voor verdichting. Ook uit deze methode volgt dat de Drentse ondergronden verdichtingsgevoelig zijn.

Gebaseerd op *gemeten* dichtheden van ondergronden die in het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) zijn verzameld is een kaart van Nederland gemaakt, waarop is aangegeven wat de kans is dat bij een bemonstering van de ondergrond dit monster **zwaar verdicht** is (Hack-ten Broecke et al., 2009; Van den Akker et al., 2011). Een zandgrond wordt daarbij als 'zwaar verdicht' beschouwd als deze een hogere dichtheid heeft dan $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$. Bij deze dichtheid blijkt namelijk dat de bewortelingsmogelijkheden zeer sterk afnemen (Hidding and Van den Berg, 1961).

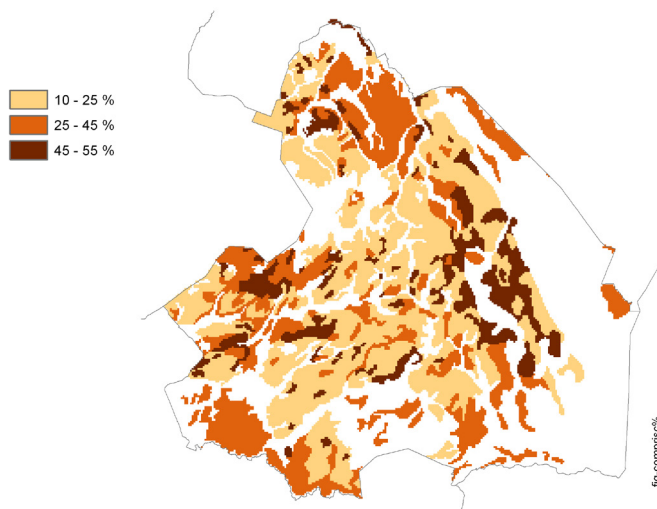
Door Bakker et al. (2009) is de provincie Drenthe uit deze kaart gelicht (figuur 1) en gecombineerd met de landgebruikkaart van Drenthe (figuren 2 en 3).

Dan blijkt dat ongeveer de helft van de Drentse gronden een kans van meer dan 25% heeft dat ze zwaar verdicht zijn. Veen- en veenkoloniale ondergronden zijn buiten beschouwing gelaten, omdat het moeilijk te bepalen is wanneer een veenondergrond te dicht is. Na combinatie met het landgebruik (figuur 2) komen Bakker et al. (2009) tot een kaart met drie verdichtingsrisicoklassen: laag, middel en hoog (figuur 3).

Bij de constructie van de kaart met het verdichtingsrisico wordt er vanuit gegaan dat zwaar verdichte gronden ook erg gevoelig zijn voor verdichting. Daardoor zal door gebruik van zware landbouwmechanisatie het oppervlakte aan verdichte ondergrond bij deze gronden waarschijnlijk verder toenemen. Door Bakker et al. (2009) wordt aangenomen dat de zwaarste wiellasten optreden in de akkerbouw. Bovendien wordt in de akkerbouw

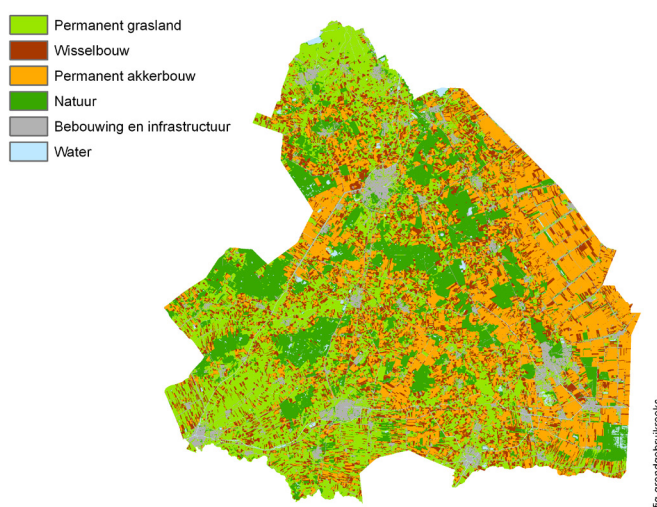
elk jaar geploegd, waarbij de trekker met een voor- en een achterwiel door de open voor direct op de ondergrond rijdt. Daarom wordt gesteld dat de kans op verdere verdichting van de ondergrond bij akkerbouw groter is dan bij grasland.

Daar moet bovendien de kanttekening bij worden gemaakt dat sinds de invoering van emissie-arme mestaanwending de wiellasten van de bemestingsapparatuur fors is gestegen en er bovendien vaak al vroeg in het jaar wordt bereiden. Op dat moment is de grond nog erg vochtig en kwetsbaar voor verdichting. Bovendien is de werkbreedte bij emissiearm berijden beperkt, zodat na de bemesting een groot deel van het perceel is bereiden. De traditionele inschatting dat grasland bodemvriendelijker wordt bereiden dan in de akkerbouw is daarom in ieder geval deels verleden tijd.



Figuur 1

Verwachte percentage oppervlakte waar in 2010 de drempelwaarde voor ondergrondverdichting is overschreden (bron: Hack-ten Broeke et al., 2009). De witte vlekken zijn vooral veengebieden die niet in het onderzoek waren betrokken. Een donkerbruine vlek betekent bijvoorbeeld dat er verwacht wordt dat op ongeveer 50% van de oppervlakte de drempelwaarde van 1.6 g.cm^{-3} is overschreden (uit: Bakker et al., 2009).



Figuur 2

Landgebruik in Drenthe. Wisselbouw is hier gedefinieerd als akkerbouw tijdelijk afgewisseld met grasland (uit: Bakker et al., 2009).



Figuur 3

Indicatie van de gebieden met de relatief hoogste verdichtingrisico's door combinatie van de figuren 1 en 2.

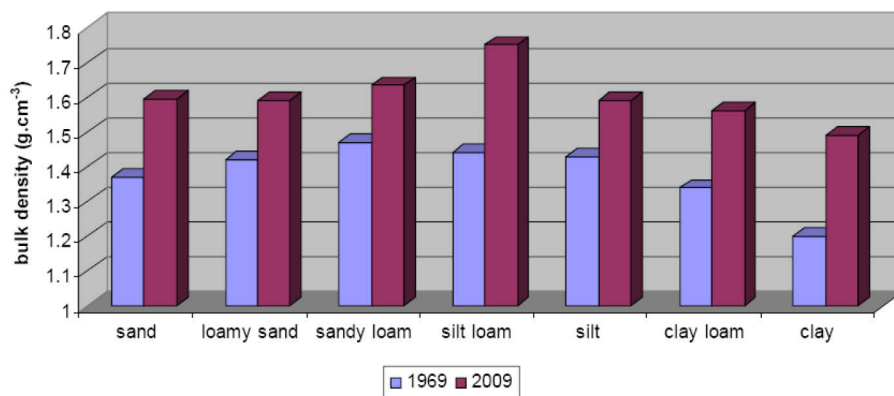
Een belangrijke tekortkoming van figuur 1 is dat de gemeten dichtheden in BIS, waarop deze kaart is gebaseerd, verouderd zijn. Nadat midden tachtiger jaren de bodemkaart 1 : 50 000 voltooid werd, is de invoer van gemeten dichtheden in de BIS database zeer beperkt geweest. In de tachtiger jaren zette de zware mechanisatie steeds meer door en werd ook de emissie-arme mestaanwending geïntroduceerd. De grootste belasting van de landbouwgrond door hoge wiellasten heeft dus vooral in de laatste 20 jaar plaatsgevonden (Van den Akker et al., 2006).

Daarbij moet ook nog worden bedacht dat zeker bij zandgronden en lichte zavelen de bodemverdichting cumulatief is omdat er geen of nauwelijks natuurlijk herstel van deze gronden is. Door Van den Akker en de Groot (2008) is in een inventariserend onderzoek de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavelen onderzocht. Van de vier onderzochte zandgronden bleken er drie een 'zwaar verdichte' ondergrond direct onder de bouwvoor te hebben. Bovendien bleek dat de dichtheden waren toegenomen tussen de jaren 80-90 en 2006.

In een Vlaams onderzoek naar ondergrondverdichting op 40 cm diepte (Van de Vreken et al., 2010) bleek dat alle onderzochte ondergronden in 2009 systematisch dichter waren dan werd verwacht op basis van berekeningen met pedotransferfuncties gebaseerd op dichtheden in 1969 (figuur 4).

De conclusie is dat de kaarten in de figuren 1 en 3 zeer waarschijnlijk een te optimistisch beeld geven en dat een veel groter deel van de Drentse ondergronden zwaar verdicht zijn.

De oorzaak kan worden gezocht in de zware landbouwmechanisatie met hoge wiellasten. Daarnaast speelt nog steeds het rijden in de open voor tijdens het ploegen (met steeds zwaardere tractoren). Voor grasland is een belangrijke factor de invoering van emissie-arme mesttoediening, waarbij zware loonwerkmachines in het vroege voorjaar het grasland intensief berijden.



Figuur 4

Vergelijking van dichtheden op 40 cm diepte gemeten in 2009 met dichtheden berekend met pedotransferfuncties voor textuurklassen in 1969 (uit: Van de Vreken et al., 2010).

Veenkoloniale gronden

De kaarten in de figuren 1 en 3 geven geen informatie over de veenkoloniale gronden. Daarom wordt daar nu specifiek op ingegaan.

Veenkoloniale gronden bestaan uit een laag restveen met daarop een bouwvoor bestaande uit organische stofrijk zand. Onder het veen zit zand dat van nature erg dicht is. Door inspoeling van organische stof kan een sterk ondoorlatende laag zijn ontstaan. Bij het ploegen wordt een laagje veen van 0,5 tot 1 centimeter van het veen aangesneden en door het zand geploegd. Door oxidatie (biologische afbraak) verdwijnt organische stof, zowel in de bouwvoor als in het veen daaronder (voor zover het niet onder het grondwater ligt of zo diep ligt dat de zuurstoftoevoer een beperkende factor wordt voor de afbraak).

Op deze manier verdwijnt 0,5 - 1 cm veen per jaar als CO₂ in de lucht (Wind, 1979) en is al een groot deel van de veenkoloniale veengronden langzamerhand verdwenen en veranderd in organischestof-rijke zandgronden.

Veel van de veenkoloniale gronden zijn door de ondergrond gemengd. In de meeste gevallen is daarbij het restveen gemengd met het daaronder liggende zand. Soms is het veen echt begraven onder het zand. Het mengen heeft het voordeel dat de zandondergrond door de menging met veenbrokjes minder verdichtingsgevoelig wordt. De zandondergrond onder het veen is vaak van nature erg dicht. Losmaken van deze ondergrond nadat het veen door oxidatie is verdwenen is vaak slechts een tijdelijke oplossing. De zandondergrond is na losmaken namelijk zeer gevoelig voor herverdichting, waarbij gemakkelijk hoge dichtheden kunnen worden bereikt.

Momenteel wordt de bodemkaart 1 : 50.000 en het daarbij bijbehorende Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) waar nodig en financieel mogelijk geactualiseerd. Het veldwerk daarvoor is deels klaar en dit maakt het mogelijk om een eerste schatting te maken. Daaruit blijkt dat ongeveer de helft van de veenkoloniale gronden is verdwenen. Voor de helft daarvan is dat gekomen doordat het restveen is geoxideerd en voor de andere helft door mengwoelen (F. de Vries, 2010, pers. comm.). Het deel waar het veen is verdwenen beslaat dus een kwart van het oppervlak van de Veenkoloniën en zal van nature dichte of een herverdichte ondergrond hebben. Hoe het precies zit met de gemengwoelde ondergronden, waar brokken/brokjes veen door de ondergrond zijn gemengd, is niet bekend. In de loop van de tijd zal in ieder geval een deel van die veenbrokken verdwijnen, waardoor de ondergrond weer verdichtingsgevoeliger wordt.

3 Oorzaken van verdichting

De voornaamste oorzaak van bodemverdichting van landbouwgrond is het gebruik van steeds zwaardere machines. De schaalvergroting leidt tot een aanpassing van de mechanisatiegraad. Grotere, zwaardere machines met een grotere capaciteit worden ingezet om de bewerkingen uit te voeren. De machines zijn tegenwoordig ook in staat om onder nattere omstandigheden de aardappel- en suikerbietenooft uit te voeren. Onder nattere omstandigheden treedt er gemakkelijker structuurschade op zodat er bij neerslag sneller water op het land blijft staan. Deze structuurschade was niet ontstaan als er onder droge omstandigheden was geoogst. Oogsten met kleinere machines beperkt wel de structuurschade, maar dan is de capaciteit te beperkt om de gewassen op tijd te oogsten. Daarnaast kunnen storende lagen in de ondergrond, waardoor de waterhuishouding niet optimaal is, er toe leiden dat er in de bovengrond sneller structuurschade optreedt.

De mate van verdichting is afhankelijk van het aantal werkgangen, het type machine en de toegepaste belasting, waarbij de wiellast en de grootte van het contactoppervlak tussen band en bodem de belangrijkste machinekarakteristieken zijn.

De gewaskeuze en de teeltmaatregelen en perioden waarin deze uitgevoerd worden, zijn daarbij ook sterk bepalend voor het voorkomen van verdichting.

De manier waarop de grond bewerkt wordt is ook van belang voor het verdichtingspotentieel van een bodem. Eén van de redenen om te ploegen is het opheffen van storende, verdichte lagen. Hoewel dit op korte termijn een efficiënte oplossing biedt, maakt het ploegen zelf vaak een aanzienlijk deel uit van het probleem.

Bij conventioneel ploegen wordt vaak met één rij wielen 'in de voor' gereden, waardoor de druk lokaal sterk toeneemt en het risico op verdichting dus sterk stijgt. Naast de invloed van de tractorwielen heeft ook het zoolijzer van de ploeg zelf een versmerend en daardoor compacterend effect, waarbij de bodemaggregaten in de ondergrond worden samengedrukt. Dit effect is meest uitgesproken wanneer jaar na jaar op dezelfde diepte wordt geploegd. Op die manier ontstaat immers een ploegzool die een echte barrière kan vormen voor wortelgroei en watertransport.

Toch kan men dit probleem sterk beperken door het monteren van ondergronders op de ploeg. Deze mes- of pinvormige werktuigen, regelmatig toegepast in Nederlands Limburg, breken de grond los tot ongeveer 10-20 cm onder het zoolijzer. Ondergronders worden vooral op zandgronden gebruikt bij diepwortelende gewassen. Hoe vochtiger de grond is, hoe minder effect een ondergronder heeft.

De werkwijze bepaalt ook de mate van structuurschade. Tegenwoordig worden de suikerbieten voornamelijk met bunkerrooiers geoogst. De bunkers zijn zo groot dat er één omgang gerooid kan worden. Op de kopakker wordt de bunker dan geleegd. Deze rooiers rijden op brede banden zodat de bodem overal op eenzelfde manier is aangedrukt. Bij neerslag blijft er dan geen water op het land staan.

Soms wordt de bunker rijdend gelost. Een trekker en kiepwagen rijden dan naast de bietenrooier. Deze combinatie veroorzaakt dan vaak een spoor waarin water blijft staan bij neerslag. Door alleen op de kopakker te lossen, is dit te voorkomen.

Daarnaast geldt dat hoe lossere een bodem is, hoe dieper deze verdicht kan worden. Vandaar ook dat een bodem na een intensieve bewerking vaak erg gevoelig is voor nieuwe verdichting.

4 Gevolgen van verdichting voor processen in de bodem, de landbouw en de waterkwaliteit

4.1 Water- en gashuishouding

Verdichting van de ondergrond heeft een aantal gevolgen voor de water- en gashuishouding die doorwerken op de gewasgroei en op de waterafvoer van de percelen.

De waterhuishouding in de bodem wordt sterk beïnvloed door de poriegrootte-verdeling:

- Poriën < 0,2 µm: houden water zo sterk vast dat wortels dit niet of nauwelijks kunnen opnemen. Deze kleinste ruimten kunnen niet door wortels direct worden benut;
- Poriën tussen 0,2- 30 µm zijn belangrijk voor de opslag van bodemvocht en nalevering aan planten;
- Poriën tussen 30 - 300 µm zijn belangrijk voor de infiltratie van water, maar zijn niet zo belangrijk voor het vochtbergend vermogen van de grond. De meeste plantenwortels kunnen poriën vanaf 200 µm ingroeien;
- Poriën >300 µm kunnen grotere hoeveelheden water snel naar beneden afvoeren.

Bodemverdichting gaat gepaard met een afname van het aandeel macroporiën en een toename van het aandeel microporiën. Een groter aandeel microporiën betekent dat de bodem zich meer zal gedragen als een zware grond dan als een meer kleiige grond (Van de Vreken et al., 2009).

Tot op zekere hoogte kan dit gunstige effecten hebben (zie figuur 7 voor suikerbieten), maar bij sterke verdichting ontstaat een slechte waterdoorlatendheid. Uiteindelijk kan langdurige plasvorming het gevolg zijn.

Verdichting heeft gevolgen voor watertransport in zowel verticale (uitspoeling) als horizontale (afspoeling) richting. Doorlatendheid, watertransport en vochtbergend vermogen hebben gevolgen voor de uitspoeling van nutriënten. Snel watertransport van nutriënten beneden de wortelzone (verticale richting) en naar oppervlaktewater (horizontale richting) betekent een hoger verlies van nutriënten. Verdichting kan de snelle uitspoeling beperken omdat de grote poriën worden dichtgedrukt. Gelijktijdig zal verdichting het horizontale transport en daarmee de kans op afspoeling stimuleren. Dit geldt uiteraard ook voor alle nutriënten (inclusief nitraat en fosfaat) en andere stoffen die met het water worden meegevoerd.

De verandering in waterhuishouding heeft ook effect op de gashuishouding. Transport van gassen in de bodem vindt ook plaats door de poriën en de transportsnelheid van zuurstof en kooldioxide wordt sterk beïnvloed door het vochtgehalte. In poriën die met water zijn gevuld is de transportsnelheid ongeveer tienduizend keer langzamer dan in met lucht gevulde poriën. Plantenwortels hebben zuurstof nodig en geven kooldioxide af, en het zal dus duidelijk zijn dat een lager gastransport gevolgen kan hebben voor het functioneren van plantenwortels. Langdurige sterke vernatting kan leiden tot zuurstofloze condities rondom de wortels, die daardoor kunnen afsterven. Een goed gestructureerde grond kent vele doorgaande macroporiën, die ook in natte omstandigheden nog met lucht zijn gevuld en voor een goede aeratie zorg kunnen dragen. Een goed gestructureerde grond kan daardoor met veel lagere luchtgehalten toe dan een slecht gestructureerde grond (Van den Akker en De Groot, 2008).

Het transport van de gassen wordt niet alleen beperkt door een kleiner porievolume en -grootteverdeling maar door een verdichting wordt ook de doorlopende verbinding van de poriën van de bovengrond naar de ondergrond meer verstoord en verbroken. Poriën worden kapot gemaakt, maar worden vaak ook kronkeliger van aard waardoor de diffusieweg langer wordt en de diffusie daardoor afneemt (Van der Vreken et al., 2009).

4.2 Nutriëntenhuishouding

Het effect van verdichting op de nutriëntentransport is al even aangestipt bij de waterhuishouding. Verdichting heeft nog meer effecten op nutriënten, bijvoorbeeld op de stikstofhuishouding in de bodem (Van der Vreken et al., 2009). De snelheid van organischestof-afbraak en N-mineralisatie neemt af bij een toenemende verdichting. Het negatieve effect is groter naarmate het vochtgehalte stijgt. Door de vernatting stijgt het risico van denitrificatie met als gevolg gasvormige N-verliezen door emissie naar de atmosfeer (Reubens et al., 2010). Een deel van de gasvormige N-verliezen gaat in de vorm van het broeikasgas lachgas (N_2O). Een afname van de N-mineralisatie samen met de verliezen van gemineraliseerde stikstof naar de atmosfeer veroorzaken een lagere N-beschikbaarheid voor de plant die alleen kan worden gecompenseerd door extra bemesting.

Veenoxidatie ondergrond

In Drenthe speelt nog een specifiek probleem van veenoxidatie in de ondergrond. Een slechte bodemstructuur en verdichte lagen leiden er toe dat er vanuit de agrarische sector een vraag is naar relatief diepe grondwaterpeilen. Daardoor kan in Noord- en Oost-Drenthe (veenkoloniën) niet alleen veen in de boven- maar ook in de ondergrond oxideren, waardoor de bodem geleidelijk daalt. Veenoxidatie is, door menselijk ingrijpen, een zichzelf instandhoudend proces. Op de bodemdaling volgt vaak een peilaanpassing naar beneden, waardoor weer veen wordt blootgesteld aan de lucht, oxideert en de bodem weer verder zal dalen. Het areaal dat mede door veenoxidatie zal inunderen bij een norm van 1/75 jaar gaat de komende decennia sterk toenemen (bron: waterschap Hunze en Aa's, watersysteemplan veenkoloniën). Vooral langs de Hondsrug speelt veenoxidatie sterk. Naar verwachting worden daar grote arealen met een maaiveld daling van ca. 30-40 cm in 2050 geconfronteerd. Op sommige plaatsen zal deze zelfs meer dan 40 cm bedragen. In het algemeen gesproken maakt een goede bodemstructuur en weinig verdichting hogere peilen mogelijk waardoor de bodemdaling minder snel gaat. Wel moet opgemerkt worden dat er geen duidelijk beeld is van het voorkomen van en gevoeligheid voor verdichting in veenkoloniale gronden in relatie tot de oxidatie van veen.

4.3 Voorbeelden van effecten van verdichting op processen in de bodem

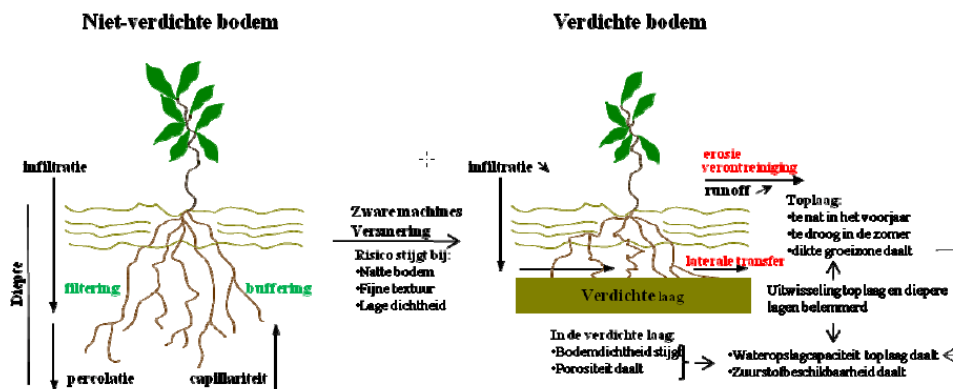
In 1987 and 1988 werd in Duitsland (Roggenstein, Beieren) de dynamiek van stikstof onder wintertarwe bestudeerd. Bodemverdichting veroorzaakte in het eerste jaar een verlies van 34 kg N/ha. In het tweede jaar werd geen extra verlies van de verdichting gevonden (Dieckmann, 2008). Het jaar 1987 was nat waardoor er veel N verloren ging door denitrificatie (20% van de N-gift), dit in tegenstelling tot 1988 waarbij alle kunstmest-N bij de oogst werd teruggevonden. Op de niet-verdichte veldjes was de denitrificatie verwaarloosbaar in beide jaren. De resultaten toonden aan dat verdichting, naast een zwakker ontwikkeld wortelstelsel, resulteerde in een lagere N-mineralisatie en hogere denitrificatie verliezen. Deze drie factoren dragen er toe bij dat gewassen in verdichte gronden een stikstofgebrek kunnen laten zien.

Lipiec en Hatano (2003) rapporteren de effecten van verdichting bij bonen, maïs, gerst en rijst. Door verdichting ontstond er een groter wortel-grond contact waardoor er sprake is van een hogere water- en nutriëntenopname door een groter watertransport naar de wortels. Dat lijkt tegenstrijdig met wat hierboven staat. Maar er wordt ook opgemerkt dat deze verhoogde opname van water en nutriënten de algehele afname in de grootte van het wortelstelsel en de daardoor kleinere opnamecapaciteit van nutriënten niet kan compenseren. Daarvoor was extra bemesting nodig.

4.4 Bodemleven

De meeste bodemorganismen, inclusief plantenwortels, zijn in staat om korte perioden zonder zuurstof wel te overleven, maar langdurig zuurstoftekort is schadelijk voor heel veel organismen. Veel eencellige organismen als bacteriën, schimmels en protozoën zijn zelfs in staat om hun metabolisme aan te passen, afhankelijk van het zuurstofgehalte. Zij gaan over op een anaeroob metabolisme als dat nodig is. Dat heeft wel gevolgen. De mineralisatiesnelheid neemt af (zie boven) maar de denitrificatie neemt toe, met als gevolg ook meer denitrificatie en lachgasproductie. Voor het effect van verdichting op plant-pathogene organismen, zie verderop).

De effecten van verdichting op een aantal processen en factoren in de bodem is schematisch samengevat in figuur 5.



Figuur 5

Schematische voorstelling van gevolgen van verdichting (Reubens et al., 2010).

4.5 Verdichting en bewerkbaarheid

Verdichting leidt tot minder werkbare dagen en hoger brandstofverbruik (Tijink, 2008). Verdichting verhoogt de trekkracht en de energiebehoefte bij grondbewerking in het najaar (IRS, 2007). Een verdichte grond die uitdroogt neemt nog verder in sterkte toe. Een losmakende grondbewerking vraagt daarom meer trekkracht.

Als een grond zover wordt verdicht dat lokaal alle lucht uit de grond wordt geperst, treedt er op microniveau structuurbederf op. Daardoor ontstaan er bij droging scherpe, harde en sterke kluiten. Bij dergelijke gronden is de ruwheid van de grond na een losmakende bewerking door de scherpe harde kluiten groter dan bij een bewerking van een niet-verdichte grond. Het gevolg is dat er ook een intensievere grondbewerking moet worden uitgevoerd om de grond alsnog in de juiste staat te krijgen voor een goed zaai- of een goed bewortelbare bouwvoor.

4.6 Verdichting en gewasontwikkeling en -opbrengst

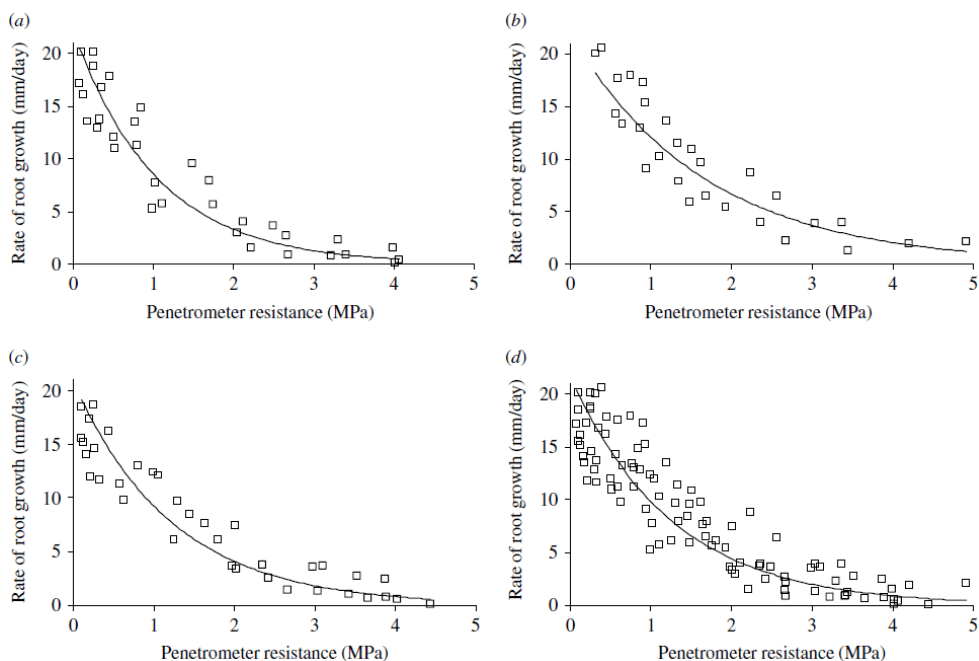
Bodemverdichting heeft effecten op de wortelontwikkeling en daarmee op de water- en nutriëntenopname.

Beneden een indringingsweerstand van 1,5 MPa wordt wortelontwikkeling niet of nauwelijks beïnvloed. Bij een indringingsweerstand boven de 3 MPa is wortelgroei bijna onmogelijk (Boone en Veen, 1994, geciteerd door Perdok et al., 2002). Deze grenzen zijn respectievelijk de lower en upper critical mechanical limit.

Van de Vreken et al. (2009) merken echter op dat de 'upper' grens van 3 MPa sterk gewasafhankelijk is. De dikte van het wortelstelsel speelt een rol, maar ook de omstandigheden waarin het gewas groeit. Bij een goede bodemstructuur en een gezond gewas kan de bovengrens hoger zijn dan 3 MPa. In goed gestructureerde gronden kunnen wortels via scheuren en grote poriën hun weg door verdichte lagen vinden. In dergelijke omstandigheden kan wel een indringingsweerstand van 5 MPa worden overwonnen (Lipiec en Hatano, 2003). Bij zandgronden en lichte zavel, die over het algemeen een geringe structurering kennen (Van den Akker en De Groot, 2008), is 3 MPa wel de bovengrens.

Een penetrometer is relatief ongevoelig voor dergelijke poriegrootte en heterogeniteit van de bodem.

Bodemverdichting vertraagt de opkomst, bladontwikkeling en lichtinterceptie en de duur van bodembedekking (vertraagd het sluiten van het gewas) bij **aardappelen** (Stalham et al., 2007). De oorzaak was voor een groot deel het gevolg van een slechte wortelontwikkeling. Zowel de worteldichtheid als de bewortelingsdiepte werd door verdichting beperkt (figuur 6). Vooral bij oppervlakkige verdichting was sprake van een beperkte wortelgroei.



Figuur 6

Relatie tussen indringingsweerstand en wortelgroei op een aantal zandgronden in het Verenigd Koninkrijk (Stalham et al., 2007).

Figuur 6 laat zien dat de wortelgroei tot stilstand komt als de indringingsweerstand boven de 3 MPa komt. Beneden de 1 MPa kunnen de wortels zich onbeperkt ontwikkelen. In praktijkvelden werd op wisselende diepten in de wortelzone al een weerstand van meer dan 2 MPa gemeten. In die velden zal de wortelgroei beperkt zijn (*NB. De auteurs merken op dat vooral het gebruik van rotoeggen (powered cultivators) in het vroege voorjaar kan leiden tot verdichting omdat er fijne aggregaten worden gemaakt*).

Bij **suikerbieten** veroorzaakt een verdichte laag direct onder het zaai bed vertakte suikerbieten. Een verdichte bouwvoor remt de wortelgroei naar diepere lagen. De hoge indringingsweerstand werkt belemmerend op de wortelgroei onder droge omstandigheden. Een minder diepe doorworteling heeft tot gevolg dat de ondergrond minder benut wordt voor de voorziening van vocht en voedingsstoffen. Als het dan lang droog blijft, blijven de

bieten stil staan in groei. Als de wortels pas begin september de diepere lagen doorwortelen, is de kans groot dat de interne kwaliteit achteruitgaat door een late stikstofopname (IRS, 2007). Onder natte omstandigheden worden de vertakte wortels mede veroorzaakt door zuurstofgebrek.

4.7 Verdichting en ziektedruk

Gewassen die te maken hebben met een stress die samenhangt met verdichting (trage opkomst, verminderde wortelgroei, risico op tekort of overschot aan water, tekort aan nutriënten), zijn vaak extra vatbaar en schadegevoelig voor plantpathogene schimmels, bacteriën, aaltjes en onkruiden. Tegelijkertijd zijn de milieuomstandigheden die horen bij een verdichte bodem vaak gunstig voor plantpathogene organismen om snel tot ontwikkeling te komen, zodat het verzwakte gewas nog meer schadedruk ondervindt. Ook kunnen die milieuomstandigheden (slechte berijd- en bewerkbaarheid) bestrijdingsmogelijkheden zoals het mechanisch bestrijden van onkruid bemoeilijken.

Tabel 1

Lijst met pathogenen die bij slechte bodemstructuur/bodemverdichting goed gedijen en/of meer schade veroorzaken in het gewas.

Pathogeen	Gewassen				
	Aardappelen	Suikerbieten	Granen	Bloembollen	Koolgewassen
Virussen	TRV (via <i>Trichodorus</i>)	Rhizomanie (via <i>P. betae</i>)		ArMV	
Bacteriën	Erwinia	Gordelschurft (<i>Actinomyces</i> spp.)		Erwinia	
Schimmels	Phytophthora Rhizoctonia Pythium Roodrot Bruinrot Fusarium Cylindrocarpon Verticillium Alternaria	<i>Polymixa betae</i> (vector Rhizomanie) Aphanomyces Rhizoctonia Verticillium, Violetwortelrot	Fusarium	Botrytis Pythium Cylindrocarpon Sclerotinia Rhizoctonia	
Protozoa					<i>Plasmodiophora brassicae</i> (knolvoet)
Nematoden	<i>Trichodorus</i> spp. (zowel meer schade als meer kans op TRV) <i>Ditylenchus</i> spp.	<i>Trichodorus</i> spp.	.	<i>Trichodorus</i> spp. <i>Ditylenchus</i> spp. <i>Aphelenchus</i> spp.	

Die nadelige gevolgen kunnen in elk stadium van de gewasontwikkeling optreden, bijvoorbeeld:

- **Beginontwikkeling:** schimmelinfecties bij aardappelen door o.a. *Rhizoctonia* en *Pythium* en schade door het vrijlevende aaltje *Trichodorus* spp.;

- **Vervolg groeiseizoen:** Erwinia, Roodrot en Cylindrocarpon in aardappelen, diverse schimmelziektes bij granen, bieten en bloembollen);
- **Afrijping en oogst:** Verticillium en Alternaria in aardappelen.

Plantpathogene organismen

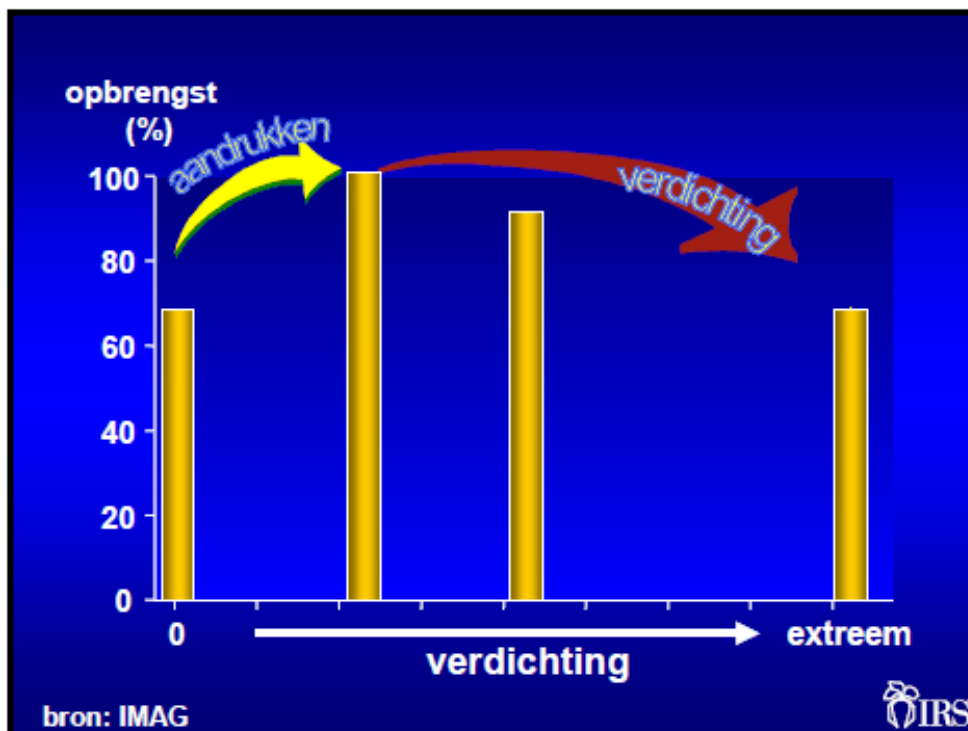
Plantpathogene organismen die optreden in verdichte bodems of bodems met een slechte structuur kunnen zeer uiteenlopend van aard zijn (tabel 1). Daarnaast zijn er ook diverse schadelijke insecten (waaronder Trips, Ritnaalden en engerlingen) die een deel van hun levenscyclus in de bodem doorbrengen. Maar het effect van verdichting op de ontwikkeling van deze insecten is niet bekend.

4.8 Verdichting en gewasopbrengst

Voor **grasland** heeft bodemverdichting tegengestelde effecten op de opbrengst. De lagere opbrengsten in natte jaren worden gecompenseerd door hogere opbrengsten in droge jaren, waardoor het netto effect gering is (Snijders et al., 1994).

Bij **suikerbieten** en **aardappelen** kan verdichting forse opbrengstreducties geven, die kan oplopen tot tientallen procenten. Een bodem met een goede structuur zonder verdichting is voor deze teelten van groot belang.

Overigens laten Tijink et al. (2006) in een grafiek zien dat de opbrengst bij enige verdichting juist een positief effect op de opbrengst kan hebben (figuur 7).



Figuur 7
Effect van verdichting op opbrengst van suikerbieten (Tijink et al., 2006).

5 Gevolgen voor de waterkwaliteit

5.1 Oppervlaktewater

Verdichting van de bodem, zowel van de bouwvoor als van de laag daaronder heeft gevolgen voor de waterhuishouding van de bodem, die zich vooral uit in een lagere infiltratiecapaciteit.

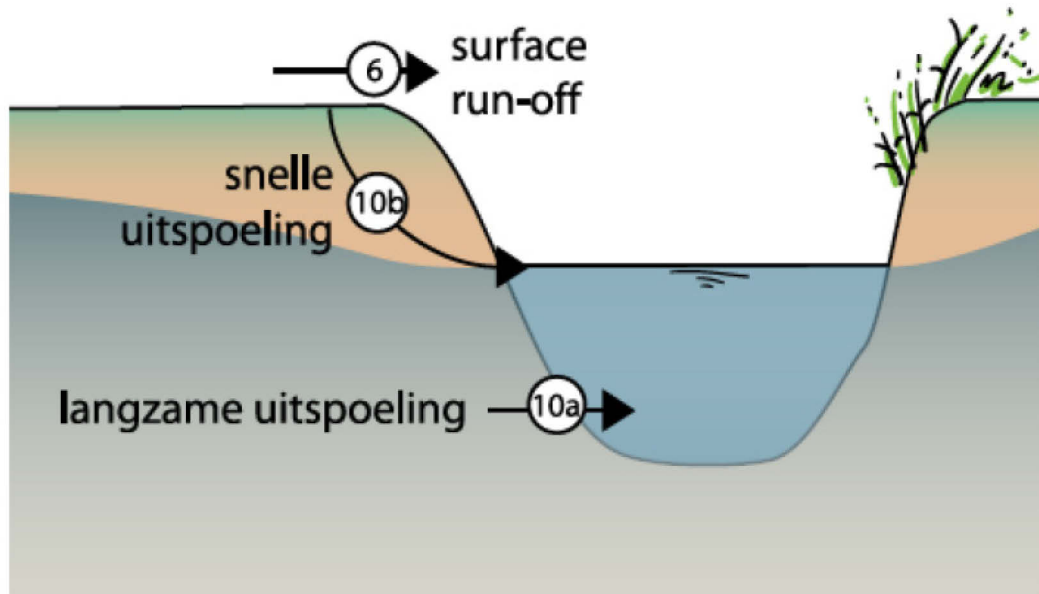
Als gevolg daarvan er een verhoogd risico van een toename van de oppervlakkige afspoeling, niet alleen in heuvelachtige gebieden, maar ook in de vlakke delen van Drenthe. Deels is die oppervlakkige afspoeling ook zichtbaar, waar landbouwers geultjes graven om het overtollige water versneld kwijt te raken (figuur 8).



Figuur 8.

Oppervlakkige afspoeling als gevolg van slechte infiltratie in de bodem.

Voor een ander deel blijft die oppervlakkige afspoeling onzichtbaar, namelijk waar verdichting van de ondergrond optreedt en afspoeling via de bovenste bodemlaag verloopt (figuur 9).



Figuur 9

Transportroutes van water en opgeloste stoffen naar het oppervlaktewater. Bron: DOVE project (Diffuse belasting van Oppervlaktewater door de Veehouderij).

Men kan gemakkelijk inzien dat met de afspoeling niet alleen water, maar ook de daarin opgeloste stoffen als nutriënten en resten van gewasbeschermingsmiddelen kunnen worden meegevoerd naar het oppervlaktewater.

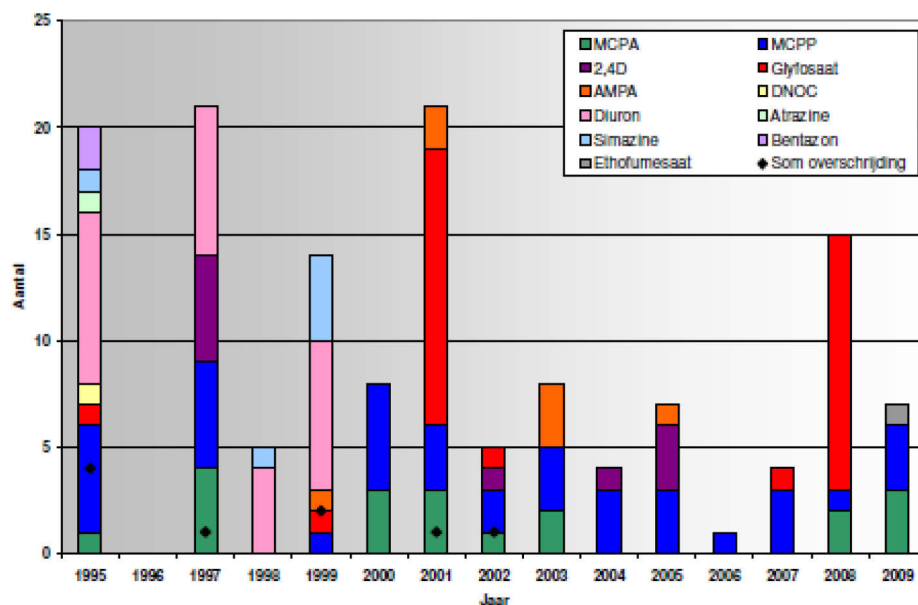
Meetgegevens over de gevolgen daarvan voor de waterkwaliteit zijn schaars, maar Van der Salm et al. (2010) beschrijven de snelle afvoer van stikstof en fosfaat via oppervlakkige afspoeling op een zware kleigrond in de Betuwe.

Rozemeijer (2010) geeft aan dat de afspoeling van bijvoorbeeld fosfaat hoger is dan tot voor kort werd gedacht. Van belang is hoe er gemeten wordt. Het maandelijks nemen van watermonsters leidt tot een onderschatting van de problematiek gezien de grote schommelingen in de waterkwaliteit. De gemeten waterkwaliteit is erg afhankelijk van de toevallige weersomstandigheden op het moment van bemonsteren. Continue metingen of metingen van gemiddelde concentraties leveren veel betere informatie op.

Uit metingen van het waterbedrijf Groningen blijkt dat er ook piekafvoer van (resten van) gewasbeschermingsmiddelen plaats vindt in het water van de Drentsche Aa. Dit is ook een sterke aanwijzing voor het optreden van oppervlakkige afspoeling. Dit effect kan nog versterkt worden als door vernatting en door een slechte structuur, de mechanische bestrijdingsmogelijkheden beperkt worden, de onkruid- en ziektedruk toeneemt en daarmee het gebruik aan bestrijdingsmiddelen.

Ook elders in de wereld wordt de problematiek van belasting van het oppervlaktewater door afspoeling onderkend. In Europa speelt afspoeling van nutriënten een belangrijke rol bij de belasting van oppervlaktewater (Schoumans en Chardon, 2010), waarbij wordt gesteld dat bodembeheersmaatregelen een belangrijke rol kunnen spelen in het voorkomen van afspoeling.

Silburn en Hunter (2008) beschrijven de verhoogde afspoeling van nutriënten in Australische landbouwbodems die verdicht waren als gevolg van gebruik van zware machines. Ook klei- en siltdeeltjes werden met het water meegevoerd.



Figuur 10

Overzicht aantal individuele normoverschrijdingen GBM bij inlaatwerk in De Punt (individuele norm per middel - 0,10 µg/l en de somnorm van 0,50 µg/l). N.B. de afwijkingen tussen de jaren zijn voornamelijk niet logisch te verklaren. Ongetwijfeld spelen hierbij klimatologische omstandigheden een rol: intensieve neerslag in bepaalde perioden (met sterke runoff). Bron: Waterbedrijf Groningen.

5.2 Grondwater

De effecten van bodemverdichting en slechte structuur en de daarmee samenhangende vernatting op de grondwaterkwaliteit is moeilijker aan te geven dan bij oppervlaktewater. Immers, een lage infiltratiecapaciteit gaat waarschijnlijk ook gepaard met een lage uitspoeling. Hier kunnen indirecte effecten er echter ook toe bijdragen dat er uiteindelijk toch meer uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen optreedt dan in een bodem met een goede structuur. Doordat de gewasgroei vaak achterblijft bij een slechte bodemstructuur, ontstaat er een natuurlijke neiging om die te compenseren met een hogere bemesting. Als gevolg daarvan stijgt het nutriëntenoverschot op het betreffende perceel en het is aannemelijk dat een deel daarvan toch uitspoelt.

Ook de ziektedruk kan toenemen bij vernatting, met een hoger bestrijdingsmiddelen gebruik als gevolg en uiteindelijk ook een hogere uitspoeling daarvan. Maar in kwantitatieve zin zijn deze beweringen niet goed te staven.

6 Bodemverdichting meten

Voor het vaststellen van bodemverdichting worden technieken gebruikt die ook worden gebruikt voor het bepalen van de bodemstructuur. Bodemverdichting betekent eigenlijk dat de bodem een slechte structuur heeft. Om die reden wordt hieronder eerst een korte beschrijving van de bodemstructuur gegeven plus de methodieken om die te bepalen. Daarna wordt nog een aantal andere technieken beschreven waarmee bodemverdichting kan worden bepaald, zoals:

- Plasvorming
- Remote sensing
 - Plasvorming
 - Van gewasontwikkeling
 - Vochtgehalte
 - Temperatuur
- Opbrengstniveaus
- Doorworteling

6.1 Bodemstructuur

De bodemstructuur wordt bepaald door de onderlinge rangschikking van de deeltjes waaruit de bodem is opgebouwd. Deeltjes klei, leem, zand en organisch materiaal vormen samen aggregaten. De grootte en vorm van deze aggregaten is van grote invloed op het poriënvolume en de onderlinge verbinding tussen de poriën en bepalen daarmee in grote mate de lucht en waterhuishouding. Het biologisch leven in de bodem speelt een actieve rol bij de opbouw van aggregaten en de stabiliteit.

Er is geen eenduidig kengetal waarmee de bodemstructuur kan worden aangeduid. Het begrip bodemstructuur is kwalitatief van aard. Dit maakt het ook lastig om de kwaliteit van de bodemstructuur te meten.

Een bodem met een goede structuur moet een aantal eigenschappen hebben zoals:

- Het aanwezig zijn van (stabiele) bodemaggregaten (Marshall en Holmes, 1979);
 - Grote aggregaten moeten onder een zekere krachtoefening uit elkaar vallen
 - Aggregaten van gewenste grootte moeten stabiel zijn onder wisselende omstandigheden (droog-nat)
 - Aggregaten van gewenste grootte moeten stabiel zijn als er druk op wordt uitgeoefend (berijden)
- Het aanwezig zijn van voldoende poriënvolume (Charman en Murphy, 1998);
- Water goed doorlaten bij neerslag en water vasthouden als buffer voor een droge periode;
- Nutriënten vasthouden;
- Voldoende oppervlak bieden aan plantenwortels om water en nutriënten op te nemen.

6.2 Meten van bodemstructuur

Door het ontbreken van een eenduidig kengetal voor de kwaliteit van bodemstructuur is het noodzakelijk meerdere kenmerken te meten om tot een gewogen uitspraak te komen.

Voor het meten van de bodemstructuur zijn er twee invalshoeken:

- Eigenschappen met een voorspellende waarde voor de bodemstructuur; en
- Eigenschappen die aspecten van een goede structuur beschrijven.

Hieronder volgt een korte beschrijving van deze invalshoeken. Een meer uitgebreide beschrijving plus de manier waarop ze kunnen worden gemeten is opgenomen in bijlage 1.

6.3 Eigenschappen met een voorspellende waarde voor bodemstructuur

Bodemtextuur

De grootteverdeling van de minerale deeltjes waaruit de bodem is opgebouwd bepaalt de bodemtextuur. In Nederland hanteren we de volgende indeling:

- Klei (<0,002 mm);
- Leem (0,002-0,016);
- Zand (>= 0,016).

Bij zand wordt daarnaast het aandeel aangegeven dat boven de 0,050 mm diameter komt. Behalve de textuur is het soort kleimineraal en de hoeveelheid en kwaliteit van organische van invloed op de bodemstructuur.

Organische stof

De hoeveelheid organische stof in de bodem is een indicatie voor de structuur. Organische stof wordt omgezet in humus. Deze humus is de cement die zorgt dat aggregaten kunnen worden gevormd en ook zorgt voor stabiliteit van de aggregaten. Wortels en schimmelsporen dragen ook bij aan die stabiliteit.

Op zandgronden is organisch stof naast textuur de belangrijkste structuurbepalende factor.

Op basis van de bodemtextuur en het organische stof gehalte kan met behulp van pedotransfer functies (Wösten et al., 2001) een aantal bodemkarakteristieken als de gemiddelde bulkdichtheid, een gemiddelde pF curve en de doorlatendheid voor water worden berekend.

Klei

In Drenthe zijn geen 'echte' kleigronden aanwezig. Wel komt er veel keileem (meer dan 8% lutum) voor die soms tot vrijwel aan de oppervlakte reikt. Het is bekend dat het kleimineraal grote invloed heeft op het krimp- en zwelgedrag van klei. In Nederland is illiet het meest voorkomende kleimineraal. Het krimp- en zwelgedrag wordt sterk beïnvloed door de kationenbezetting van het adsorptie complex. Veel calcium is gunstig om het zwelgedrag en daarmee het risico van uitéenvallen van bodemaggregaten te beperken. Veel magnesium of éénwaardige kationen is ongunstig. Uit een oriënterende studie (Bussink et al., 2008) bleken duidelijke verschillen in bezetting in relatie te staan met de waardering van de bodemstructuur. Met bijvoorbeeld bemesting is de bezetting van het adsorptiecomplex te beïnvloeden. Of de calcium- en magnesiumbezetting een duidelijk invloed heeft op de bodemstructuur van de zand- en of leemgronden in Drenthe is niet duidelijk.

6.4 Bodemstructuur beschrijvende eigenschappen

De bodem kent een aantal eigenschappen op basis waarvan de structuur kan worden beschreven:

- **Aggregaat grootteverdeling**
 - De grootteverdeling van de aggregaten is een belangrijke eigenschap voor de structuur van de bodem. Ze bepalen o.a. de grootte van de poriën en daarmee de watervasthoudend eigenschappen van de bodem en het oppervlak waaraan nutriënten zich kunnen hechten.
- **Stabiliteit**
 - Verslumping is een duidelijk voorbeeld van een gebrek aan stabiliteit.
 - Daarnaast is de stabiliteit belangrijk om weerstand te bieden tegen de druk die op de bodem wordt uitgeoefend door het bereiden met trekkers, transporteenheden en landbouwwerktuigen.

- De stabiliteit van een bodem is mede afhankelijk van het vochtgehalte van de bodem. Aggregaten vallen in een natte toestand veel makkelijker uit elkaar dan in een droge toestand.
- **Poriënvolume**
 - Het poriënvolume is het volumeaandeel dat wordt ingenomen door water en lucht.
- **pF-curve**
 - De pF-curve is een maat voor de wijze waarop een bodem vocht vasthoudt en afgeeft. De pF-curve is een indirecte maat voor de grootteverdeling van de poriën.
 - Het poriënvolume dat door lucht wordt ingenomen bij pF_{2,0} wordt wel gezien als een criterium voor een goede bodemstructuur (Tijink, 2008).
- **Verzadigde doorlatendheid**
 - De verzadigde doorlatendheid geeft aan hoe gemakkelijk een overmaat aan water door het bodemprofiel naar lagere lagen kan stromen. Dit wordt bepaald door de hoeveelheid grove poriën, maar ook de onderlinge, verticale, verbinding van die poriën.
 - Een verzadigde doorlatendheid van meer dan 100 mm / dag wordt wel gezien als een criterium voor een goede bodemstructuur (Tijink, 2008).
- **Indringweerstand**
 - De weerstand die een conus ondervindt bij het indringen in de bodem is een relatieve maat voor de dichtheid van de bodem. Deze wordt bepaald door het poriënvolume, maar ook door de manier waarop aggregaten ten opzichte van elkaar gerangschikt zijn. De mate waarin aggregaten zich laten opbreken is ook van invloed op de indringweerstand (een grote bak grind kan een redelijk poriënvolume hebben en een goede doorlatendheid, maar een conus zal er niet doorheen willen).
- **Verkruimelbaarheid**
 - De verkruimelbaarheid van de bodem geeft aan met welk gemak grove aggregaten uiteenvallen in kleinere aggregaten.

6.5 Overige technieken

Plasvorming

Plasvorming (als het grondwater niet boven maaiveldniveau uitkomt) is een aanwijzing voor een slechte structuur.

Remote sensing

Met remote sensing uit satellieten of vliegtuigen kan een aantal perceelseigenschappen worden gevolgd die een indicatie voor verdichting zijn:

- Gewasontwikkeling
- Vochtgehalte
 - De mogelijkheid om plassen in kaart te brengen aan de hand van remote sensing opnamen lijkt realistisch, maar moet worden getoetst.
- Temperatuur

Opbrengstniveaus

Lagere opbrengsten binnen een perceel kunnen een indicatie voor verdichting zijn. Het meten en in kaart brengen van de opbrengst op maaidorsers een standaard instrument geworden. In principe is dit ook mogelijk op aardappel- en bietenrooiers.

Doorworteling van de bodem

Doorworteling van de bodem kan op verschillende manieren worden vastgesteld:

- In een profielkuil. Op deze manier is het over het algemeen goed mogelijk storende lagen op te sporen;
- In ongestoorde bodemmonsters;

- Met een camera in een glazen kijkbuis die onder een hoek in het bodemprofiel aangebracht;
- Indirect met vochtsensoren. Als in een droge periode op een bepaalde diepte het bodemvochtgehalte lager is dan op grond van het hydrologische verloop in het profiel zou mogen worden verwacht, duidt dat op vochtonttrekking door wortels.

Er is dus geen eenduidige vertaling van te meten bodemeigenschappen naar een waardering voor de kwaliteit van structuur. Een groot aantal van de in de praktijk haalbare meetsystemen zijn of worden ontwikkeld voor precisielandbouw, waar het vooral om de verschillen binnen een perceel gaat. Zodra er vergelijkingen tussen percelen gemaakt moeten worden, is het belang van de absolute waarde van de metingen veel belangrijker. Die moeten dan wel op het zelfde tijdstip worden uitgevoerd, zodat andere factoren die de meting beïnvloeden een rol gaan spelen. Denk aan de invloed van het bodemvochtgehalte op de meting van de indringweerstand.

In alle gevallen zullen andere metingen om de bodemstructuur te bepalen moeten worden gebruikt om deze aanwijzingen te bevestigen.

7 Herstelmaatregelen bij verdichting

7.1 Algemene opmerkingen

Gebrek aan bodemkundige kennis

Vaak worden bewerkingen uitgevoerd zonder goede bodemkundige kennis en zonder kennis van het profiel waarin gewerkt wordt. Deze kennis is nodig om problemen te voorkomen of te beperken.

Lange termijn effect

In de praktijk vindt de beoordeling van de effecten vaak op te korte termijn plaats en zijn de conclusies niet correct.

Effect groenbemester

Er zijn geen proef- en praktijkresultaten bekend waaruit blijkt dat de diepe grondbewerking, in combinatie met het zaaien van een groenbemester, een blijvend positief effect heeft op de bodemstructuur. Zonder groenbemester zijn die resultaten veelal niet blijvend positief.

Diepte van bewerking op kleigrond

Op de kleigrond is het niet duidelijk tot welke diepte een verdichte laag opgebroken moet worden. Er zijn deskundigen die beweren dat de bewerkingsdiepte minimaal 10 cm onder de verdichte laag moet zitten voor een voldoende opbrekend effect. Als dit zo zou zijn, is het niet duidelijk of dat dan ook geldt voor de bewerking op zand-, dal- en veengronden.

Te diep bewerken

Er wordt te vaak te diep losgemaakt. Hierdoor verdwijnt de goede macroporositeit van de ondergrond en treedt vervolgens weer verdichting op in een laag met grotere dikte dan de primaire ploegzool.

Risico's bij minder gunstige weersomstandigheden

De praktijk weet niet in welke mate er structuurbederf optreedt als er onder minder gunstige omstandigheden werkzaamheden worden uitgevoerd. Er is behoefte aan eenvoudige metingen of waarnemingen om onder natte omstandigheden het risico van verdichting op een bepaald perceel snel te kunnen beoordelen.

7.2 Technieken om verdichting op te heffen

Er bestaan naast het ploegen nog drie vormen van grondbewerking om verdichting van de bodem op te heffen die zowel bij primaire (natuurlijke) als secundaire (door landbouwkundige ingrepen veroorzaakte) verdichting kunnen worden toegepast:

- verschillende vormen van woelen;
- spitzfrozen en mengroteren;
- omwerken met een dragline.

Echter, de duur van het effect van losmaken is eindig. Na losmaken kunnen opnieuw verdichtingen ontstaan (de secundaire verdichtingen). Deze ontstaan enerzijds door natuurlijke zetting, anderzijds door grondbewerkingen en berijding. Daardoor moeten zandgronden periodiek worden losgemaakt om verdichting van de ondergrond of het vormen van ploegzolen weer op te heffen. Hoe vaak het opnieuw losmaken moet gebeuren

is afhankelijk van de bodemeigenschappen, de belasting en de vochttoestand tijdens de belasting. (Themadag Effecten van diepe grondbewerking in de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt, verslag nr. 42, Ministerie van Landbouw en Visserij, 1984; Van Wijk en Willet, 1992).

Deze maatregelen zijn alleen effectief als ze op de goede manier en op het juiste moment worden uitgevoerd. Zo moeten diepe bewerkingen altijd onder droge omstandigheden worden uitgevoerd. Versmering wordt dan voorkomen en het resultaat van de bewerking is beter. Een droge grond breekt namelijk gemakkelijker dan een natte grond.

Voor alle woelers geldt: nooit dieper bewerken dan strikt noodzakelijk is. Hoe dieper een bewerking wordt uitgevoerd, hoe hoger het energieverbruik en des te intensiever de verstoring die hierdoor wordt veroorzaakt. Wanneer men de grond dieper losmaakt dan waar de verdichting aanwezig is, komen toekomstige verdichtingen alleen maar dieper te zitten (Bodembreed, 2010).

Woelers

Er zijn verschillende werktuigen beschikbaar om de bodem mee te woelen:

- Woelpoten (figuur 11) met als speciale machines
 - Agrisem Combiplow (figuren 12 en 13)
 - Kongskilde Paragrubber (figuur 14)
- Tweetraps woelers (figuur 15)
- Ploegwoelers

Een **woelpoot** breekt de grond alleen op tot een diepte van 55 centimeter. Na het opbreken van kleigrond treedt snel herverdichting op (Van Geel et al., 2009, Themadag effecten van diepe grondbewerking in de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt, verslag nr. 42), maar dat geldt waarschijnlijk ook voor de zandgrond.



Figuur 11
Gewone woelpoot.



Figuur 12
Agrisem Combiplow.

De Agrisem Combiplow beschikt over woelers met een afwijkende, asymmetrische vorm van de beitels (figuur 10), evenals de Kongskilde Paragrubber (figuur 11). De beitels zijn 30 cm breed en de woelpoten zijn in het onderste deel iets gebogen. Hierdoor ontstaan er meer breukvlakken in de verdichte laag.

Een **tweetrapswoeler** bestaat uit twee woelpoten die in verstek achter elkaar door de grond gaan. De voorste poot is 70 centimeter lang en de achterste poot heeft een lengte van 1 meter. Er is een zware (380 pk) trekker voor nodig.

Ploegwoelers zijn aan één of meerdere ploegscharen of achter het trekkerwiel bevestigd. Het effect is langdurig als er daarna met lichte werktuigen gereden wordt. Bij gebruik van zware machines is de losse opbouw van het sleufmateriaal snel helemaal verdwenen en ontstaat er opnieuw een secundaire ploegzool.



Figuur 13

Gedraaide woelpoot met asymmetrische beitel van Agrisem Combiplow.

Spitfrees machines

Het principe van spitfreen (figuur 16) is het volledig losmaken van het bodemmateriaal tot op werkdiepte. Deze diepere grondbewerking wordt vaak toegepast in gronden met een weinig poreuze ondergrond, waarin al of niet een ploegzool voorkomt. In een dergelijk profiel is de bewortelingsdiepte voor de plant onvoldoende om droge weercondities op te vangen. Door de ondergrond los te maken, kan de bewortelingsdiepte vergroot worden.

Het grootste verschil tussen woelen en spitfreen is dat in het laatste geval de grond niet alleen wordt opengebroken, maar ook volledig wordt gemengd, wat bij woelen niet gebeurt.



Figuur 14

Kongskilde Paragrubber.



Figuur 15

Kongskilde tweetrapswoeler.



Figuur 16

Spitfreen.

Ook voor spitzfreen geldt dat het effect vaak maar van korte duur is (ca. 3 jaar; Jager en Boersma, 1983 en 1984) en dat het dan herhaald moet worden.

Omwerken met een dragline

Bij omwerken met een **dragline** wordt de bouwvoor eerst verwijderd, waarna de laag daaronder tot op vrij grote diepte (1 m) kan worden losgemaakt. Daarna wordt de bouwvoor weer teruggebracht.

Gebruik op zandgrond

Tijdens een demonstratiedag in de Veenkoloniën zijn een aantal van deze werktuigen gedemonstreerd. Enkele ervaringen daarvan zijn hieronder weergegeven (Bron: Nieuwe Oogst, september 2010):

- *Driepoot woeler*
 - Zware trekker nodig (200 pk met 1000 kilo extra gewicht voorop en zelfs dan nog is er sprake van enige wielslip)
- *Éénpoot woeler*
 - Diepere bewerking mogelijk bij hetzelfde vermogen, maar een beperkte werkbreedte, waardoor het nodig is voor een optimale en egale bewerking vaak op en neer te rijden
- *KONGSKILDE Paragrubber*
 - Bewerkingsdiepte van 45 centimeter
 - Ideaal voor bodems met vrij oppervlakkig liggende storende lagen
 - Om de drie of vier jaar een bewerking herhalen
 - Kan in combinatie met het zaaien van een groenbemester in één werkgang (langetermijn effect daarvan is onbekend)
- *Tweetrapswoeler*
 - Bewerkingsdiepte tot 70 cm
 - Kan worden gebruikt in samenhang met grote cultivator met een werkdiepte van 55 centimeter, waarvoor ook een zware trekker nodig is
 - Na bewerking is de ondergrond goed losgetrokken, de schrale zandlaag blijft daadwerkelijk onderin
- *Grote diepspittende spitzfrees machine*
 - Werkdiepte van 1 - 1,30 meter
 - Enige verschraling van de bouwvoor mogelijk
 - Ideaal voor percelen met een dun laagje veen met daaronder zand
 - Ook volledige menging bouwvoor en onderlaag mogelijk

Gebruik op kleigrond

In de praktijk wordt de typen woelpoot Agrisem Combiplow en Kongskilde Paragrubber al gebruikt, ook na de oogst. Soms een zeer oppervlakkige bewerking (10-15 cm diep), maar ook tot 30 cm diep. Men kan zich afvragen of deze werkdiepte voor zandgronden ook niet beter zou zijn.

7.3 Effecten van opheffen van verdichting

In het verleden zijn diverse meerjarige proeven uitgevoerd waarin de effecten van het opheffen van verstorende en verdichte lagen is bestudeerd. De resultaten worden hieronder kort samengevat.

Vredepeel (1974, dalgrond, woeler en spitzfrees; doel grotere bewortelingsdiepte)

Suikerbieten en tarwe gaven een hogere opbrengst na de behandeling. De voedingswaarde van snijmais was echter lager dan in het onbehandelde perceel.

Heino (1981, zandgrond, woeler en spitfrees; beide op 90 cm)

De opbrengst van snijmaïs na spitfreen waren hoger in 1982. De toename van de opbrengst door het spitfreen was onvoldoende om de kosten te dekken.

De opbrengst na woelen was in 1983 duidelijk lager.

Beringen (1971, veldpodzol met bewortelingsdiepte van 40-60 cm; mengrotor, 70 - 90 cm diep; verschraling gecompenseerd met een grote stalmestgift en woeler, 90 cm diep; doel grotere bewortelingsdiepte).

Na het woelen is de relatieve vermeerdering gedurende 7 jaar (1971 - 1978) constant geweest.

Bij de beide mengrotorbehandelingen zijn de opbrengsten in de loop van de proef toegenomen ten opzichte van onbehandeld.

In het achtste jaar was het poriënvolume in de diepst gemengde grond onder de bedden hoger dan 45%. In de paden was weer een ernstige verdichting aanwezig.

8 Voorkomen van bodemverdichting

8.1 Maatregelen

Uit paragraaf 5.1 komt naar voren dat het oplossen van bodemverdichtingen niet gemakkelijk is. Er zijn verschillende kennishiaten die vraagtekens zetten bij de effectiviteit van een diepe grondbewerking. Algemeen kan gesteld worden dat 'Voorkomen beter is dan genezen'.

Er zijn verschillende maatregelen/methoden denkbaar om bodemverdichtingen te beperken of te vermijden.

Deze zijn in te delen in vier categorieën:

- **Grondbewerkings- en teeltmaatregelen** zoals:
 - Bandenkeuze en bandenspanning
 - Bovenover ploegen
 - Niet-kerende grondbewerking
 - Teelt met vaste rijpaden
 - Spitten in plaats van ploegen
- **Bouwplan ofwel gewaskeuze**
 - Verruiming
 - Altijd groen houden
- **Bemesting**
 - Aanvoer organische stof
 - Minerale bemesting
 - Goede pH van de bouwvoor en ondergrond
- **Inrichting van de percelen**
 - Goede drainage
 - De percelen inrichten op bodem- en structuurkenmerken

De verschillende maatregelen worden hieronder besproken.

8.2 Bandenkeuze en bandenspanning

De eerste en belangrijke maatregel om verdichting tegen te gaan is te zorgen voor een niet al te hoge bandenspanning. Een lage druk betekent een groter contactoppervlak en daardoor minder insporing. Concreet wordt aanbevolen om de druk rond de 0,8 à 1 bar te houden tijdens het seizoen en onder de 0,4 bar tijdens het natte voorjaar (Vermeulen et al., 1994).

Daarnaast is ook het type band belangrijk: doorgaans is een radiaalband een betere optie dan een stuggere diagonaalband voor een minimale bodemdruk (Bodembreed, 2010).

Trekkers kunnen ook uitgerust worden met rupsbanden. Metingen door Baumann et al. (1990) laten zien dat bij rupsbanden terdege rekening moet worden gehouden dat onder de rollers en keerwielen piekspanningen optreden. Toch zijn deze piekspanningen vergelijkbaar met of lager dan onder lagedrukbanden met een band-

spanning van 0,8 bar. Door Erbach (1994) is een overzicht gegeven van de effecten van rupsvoertuigen in de landbouw. Zijn conclusie is dat rupsbanden een effectief middel zijn om bodemverdichting te beperken. Hetzelfde volgt uit metingen onder banden en rupsbanden in een laboratoriumomgeving schaal 1:1 in een proefbak onder goed gedefinieerde omstandigheden en dezelfde initiële dichtheden (Ansoerge en Godwin, 2006). De metingen van Ansoerge en Godwin (2006) laten ook zien dat verlaging van bandspanningen een effectief middel is om bodemverdichting te beperken.

8.3 Bovenoverploegen

Het rijden in de open voor bij het ploegen is een belangrijke oorzaak van ondergrondverdichting (Van den Akker et al., 2006). Direct onder de bouwvoor wordt op deze wijze de zogenaamde ploegzool gevormd, die door natuurlijke herstelprocessen zoals krimp maar gedeeltelijk wordt hersteld. Bij zandgronden en lichte zavelstreeklagen treedt bij uitdrogen geen of zeer weinig krimp op, zodat de verdichting cumulatief is en zich steeds dieper en algemener over het veld verspreidt. Losmaken van een ploegzool helpt slechts tijdelijk en een herverdichte ploegzool heeft vaak een zeer slechte structuur en bodemeigenschappen (Kooistra et al., 1984; Kooistra en Boersma, 1994). De huidige generatie tractoren en rupsvoertuigen maken het goed mogelijk om bovenover te ploegen, dus niet over de ondergrond te rijden, waardoor het ontstaan van een schadelijke ploegzool wordt voorkomen.

8.4 Grondbewerkings- en teeltmaatregelen

Niet-kerende grondbewerking

Bij niet-kerende grondbewerking wordt verondersteld dat op termijn het organische stofgehalte van de bodem nabij het oppervlak toeneemt en het bodemleven zich uitbreidt naarmate de bodem meer met rust gelaten wordt. Hierdoor stijgt de aggregaatstabiliteit en worden veel nieuwe poriën en gangenstelsels van wortels gevormd, die veel sterker en stabiel zijn dan de mechanisch gevormde poriën bij intensievere bodembewerking. Dit alles lijkt te wijzen in de richting van een lager risico op versmering en verdichting.

Bij niet-kerende grondbewerking vindt geen of bijna geen herverdeling van organische stof plaats en is de verstoring ook gering, waardoor in de toplaag de aggregaatstabiliteit hoger is en de bodemstructuur stabiel is dan na ploegen.

Hoewel een bodem onder niet-kerende grondbewerking niet echt 'los' aanvoelt, is de porositeit doorgaans een stuk beter. In de literatuur werd dit effect beschreven voor alle bodemtypes, zodoende wordt aangenomen dat het onafhankelijk is van de beschouwde textuur (Bodembreed, 2010).

Nog belangrijker is de rol van voldoende bodembedekking. Wanneer het gewasresidu dicht aan het oppervlak blijft, wordt de bodem beschermd tegen de rechtstreekse inslag van regendruppels bij overvloedige neerslag. Regendruppels kunnen bodemaggregaten aan het oppervlak kapotslaan, waardoor er een slempkorstje ontstaat.

Toch is een kleine nuancering hier op z'n plaats: wanneer niet-kerende grondbewerking onder natte omstandigheden plaatsvindt en de bodem nadien onvoldoende snel opdroogt, kan het bodemoppervlak verslepen.

Bij niet-kerende grondbewerking zijn verschillende systemen te onderscheiden:

- **Niet-kerende grondbewerking tot bouwvoordiepte.** Bij dit systeem wordt de grond tot bouwvoordiepte niet gekeerd maar wel losgemaakt.

- **Mulch-bewerking**, gereduceerde of minimum grondbewerking (hierbij worden gewasresten e.a. wel ingewerkt voordat er gezaaid wordt en wordt de grond enigszins losgemaakt, maar er wordt niet geploegd (meestal mulch tillage of minimum tillage genoemd).
- **Ruggenteelt (ridgetill)**, geen hoofdgrondbewerking naast mestinjectie, zaaien op top van de rug met beperkte verwijdering van aarde, aanaardende schoffelbewerking gedurende de teelt (veel tussen gewasresten e.a. tussen de rijen).
- **Directe zaai**, geen grondbewerking op mestinjectie na (stoppel e.a. resten blijven staan, worden beheerst), veelal no-tillage genoemd.

Veelal worden deze systemen gecombineerd met ‘Cover crops’ spontane dan wel ingezaaide vegetatie, volvelds of tussen gewasrijen of in bepaalde perioden die weer op verschillende manieren kunnen worden beheerd. Soms wordt dan alleen een strookje bewerkt waarin het gewas komt (strip tillage).

Vooralsnog is in Nederland en België vooral onderzoek gedaan naar niet-kerende grondbewerking tot bouwvoor diepte. De resultaten hiervan zijn samengevat in tabel 2. Over het algemeen zijn de opbrengsten vergelijkbaar met die van een conventionele bewerking. En financieel is de niet-kerende bewerking dan toch aantrekkelijk door de lagere bewerkingskosten (Masscheleyn, 2006).

In bijlage 2 wordt dat onderzoek verder beschreven.

Onderzoek naar de andere vormen van minder intensieve en niet-kerende grondbewerking wordt vooral op andere continenten vaak in de praktijk uitgevoerd. Voor deze andere systemen wordt verwezen naar de literatuurstudie van Van der Weide et al. (2008). Onderzoek op de klei en praktijkdemo's naar andere niet-kerende systemen in Nederland is recent opgestart in o.a. het gewas maïs (Prins et al., 2008; Van der Weide en Hogenkamp, 2010; Van der Weide et al., 2010).

Tabel 2

Resultaten van niet-kerende grondbewerking op de opbrengst.

Effect op opbrengst	Teelt	Grondsoort	Referentie
Geen	koolzaad, granen, erwten en maïs	Zand, zware klei, venige klei (Wageningen)	Bakermans e.a. (1970)
	aardappelen en suikerbieten	Löss (Wijnandsrade)	Paauw, 2003 en 2006
	zomergerst, winterarwe, aardappelen, suikerbieten en snijmaïs	Leem, België	Masscheleyn, 2006
Lager	suikerbieten, maïs, winterarwe aardappel (9%), suikerbiet (14-17%) Granen (5%)	Zavel (Westmaas)	Lumkes e.a. (1983)
Hoger	Suikerbiet, na slemp in conventionele bewerking	Zavel (Westmaas)	Lumkes e.a. (1983)
	Snijmaïs, continueelt	Löss (Wijnandsrade)	(Paauw, 2006; Geelen, 2006)

8.5 Teelt met vaste rijpaden

De verdichting van de grond kan ook beperkt worden tot voornamelijk de rijpaden als het mogelijk is om alle bewerkingen vanaf vaste rijpaden uit te voeren. De mogelijkheden om dit te doen zijn verruimd met de komst van diverse precisietechnieken en GPS. Eerste ervaringen met werken vanaf rijpaden zijn ook positief. Echter

dit vraagt wel grote aanpassingen en investeringen in het machinepark en vooral de oogst is op dit moment nog een knelpunt.

8.6 Spitten

In een vergelijkend onderzoek tussen ploegen en roterend spitten kwamen o.a. de volgende voordelen (voor klei en zand) van spitten tot uiting (Bodembreed, 2010):

- De beperking van het aantal werkgangen door combinatiemogelijkheden met zaaien of kunstmeststrooien;
- De lagere trekkrachtbehoefte met als gevolg een lager brandstofverbruik en minder risico op versmering;
- De mogelijkheid om onder zeer zware omstandigheden te werken;
- De mogelijkheid om grote hoeveelheden organisch materiaal gelijkmatig in te werken, met als gevolg een betere verdeling van en hoger gehalte aanorganische stof, een betere vertering, een grotere bodemvruchtbaarheid, een betere waterhuishouding en diepere beworteling;
- De afwezigheid van een ploegzool;
- De mogelijkheid om tot op de kant te werken, zonder extra werk aan de kopakkers.

Toch blijkt de toepassing in de praktijk niet steeds vanzelfsprekend te zijn en zijn de ervaringen binnen het projectgebied erg variabel. Spitmachines zijn relatief zwaar en duur, vergen redelijk wat aandrijfvermogen, vragen veel onderhoud en kennen een snelle slijtage.

Tot slot moet worden opgemerkt dat spitten een intensieve vorm van bodembewerking is, die toch wel een groot risico van structuurbederf en verstoring van het bodemleven inhoudt. Voorlopig wordt aangenomen dat de kracht van spitten vooral ligt op het gebied van een betrouwbaar lager brandstofverbruik en hogere capaciteit dan bij ploegen, eerder dan op het gebied van verbeterde bodemkwaliteit. Bovendien ontbreekt bij spitten de typische stratificatie kenmerkend voor niet-kerende grondbewerking en vallen de voordelen naar erosiebestrijding toe weg. Met uitzondering van zware kleigronden, zijn de toepassingsmogelijkheden voor spitten in onze contreien vooral te zoeken bij de roterende spitmachine en dit eerder in combinaties met een cultivator dan op zichzelf. Een goede techniek, correcte afstelling van de spitmachine en aangepaste rijnsnelheid zijn doorslaggevend voor een goed eindresultaat.

8.7 Bouwplan en gewaskeuze

Gewassen beïnvloeden de bodemstructuur door de ontwikkeling van het wortelstelsel. Fijne wortels houden de bodemaggregaten aaneen en bevorderen hun stabiliteit. Gewassen met diepe penwortels bevorderen de infiltratie naar de diepere bodemlagen. Na de oogst worden de wortelresten afgebroken tot humus, waarna de wortelgangen als poriën achterblijven.

Glomaline (een kitstof) bevordert de vorming en stabiliteit van bodemaggregaten. Mycorrhizaschimmels die glomaline produceren komen in het Nederlandse bouwplan nauwelijks voor (rotaties met veel granen of andere diep wortelende gewassen als luzerne en of lupine) dergelijke rotaties zijn goed voor de bodemstructuur, maar kosten de ondernemer op de korte termijn geld. De recente belangstelling voor de teelt van meer eiwithoudende gewassen in Nederland zou er toe bij kunnen dragen dat lupine en luzerne meer opgang gaan maken.

Vanuit bodemstructuur geredeneerd is het advies om in het bouwplan plaats te maken voor:

- Gewassen met intensieve beworteling, zoals granen, grassen, andijvie;
- Gewassen met diepe penwortels zoals luzerne en bieten;
- Gewassen die met gewasresten veel organische stof toevoegen, zoals grassen, granen, groenbemesters;

- Gewassen met een hoog fenolgehalte, zoals grassen en granen;
- Groenbemesters¹;

Verder dient zwarte braak te worden vermeden in verband met kans op verslemping. Ook kunnen meer gewassen geteeld worden die mycorrhizaschimmels stimuleren (vooral klaver, grassen, granen, vlas). Daarbij is het van belang om terughoudend te zijn met P-bemesting (veel P is nadelig voor ontwikkeling van mycorrhizaschimmels).

In de rundveehouderij zijn mogelijkheden voor een ander gewas dan maïs beperkt. De beste gewassen qua bodemstructuur hebben een (veel) lager saldo dan snijmaïs. Alleen de teelt van triticale komt nog enigszins in de buurt van het maïssaldo.

8.8 Bemesting

Aanvoer organische stof

Jaarlijks wordt tussen de 1,5 en 4% van de organische stof in de bodem afgebroken. Voor het op peil houden van de organische stof-balans is het aandeel effectieve organische stof (eos) dat na een jaar nog in de bouwvoor aanwezig is) relevant.

Voor een verhoogde aggregaatvorming en stabiliteit is niet alleen de eos maar ook de totale hoeveelheid os van belang. Verse os stimuleert het bodemleven. Het zijn vooral de producten die micro-organismen uitscheiden bij het afbreken van os die de aggregaatvorming stimuleren. Het bodemleven wordt daarnaast ook gestimuleerd door de stoffen die wortels uitscheiden. Voor het op peil houden of verhogen van het os-gehalte is het dus belangrijk dat deze afbraak gecompenseerd wordt door aanvoer. Belangrijke bronnen voor de aanvoer van organische stof aanvoer zijn:

- **Organische meststoffen:** rundveemest, compost en champost voeren de grootste hoeveelheid eos aangevoerd. Vaste mest heeft vanuit oogpunt van bodemstructuur de voorkeur boven dunne mest.
- **Groenbemesters:** vooral grasgroenbemesters produceren veel eos.
- **Gewasresten:** met stro kunnen hoeveelheden van ruim 2 ton eos achterblijven; bij hakvruchten is dit beduidend minder.

Minerale bemesting

Kalk is goed voor de bodemstructuur. Door het neerslagoverschot spoelt er in de winter veel Ca uit. Deze moet weer aangevuld worden. Dat kan door bekalking maar mede ook door de inzet van N-meststoffen. Per 100 kg N wordt via kas en stikstofmagnesia ongeveer 45 kg CaO aangevoerd, met kalksalpeter zelfs 170 kg CaO, terwijl met zwavelzure ammoniak of ureum geen CaO wordt aangevoerd. Ook met tripelsuperfosfaat wordt per 100 kg fosfaat ruim 40 kg CaO aangevoerd.

8.9 pH van de bouwvoor en ondergrond

In 1976 en 1977 is door het toenmalige PAGV op ruim 50 bedrijven in de Veenkoloniën onderzoek uitgevoerd naar de factoren die de grote opbrengstverschillen van suikerbieten veroorzaakten (*Themadag effecten van diepe grondbewerking in de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt*, verslag nr. 42). Eén van de oorzaken

¹ diep wortelende groenbemesters kunnen ook ingezet worden om een bestaande verdichting op te heffen (Bodembreed, 2010).

van opbrengstverlaging was de lage pH (3,5) in de veenlaag onder de bouwvoor (20-40 cm –mv), waardoor de wortelgroei tot stilstand kwam.

In 1980 en 1982 zijn er proeven met suikerbieten gedaan na bekalking van de ondergrond met vloeibare schuimaarde, toegediend met een aangepaste injecteur. De pH van de ondergrond werd verhoogd tot 4. Bij die pH komt de wortelgroei weer op gang, maar blijft de vertering van het veen laag doordat de mineralisatie door bacteriën dan heel laag is.

Beide jaren gaven respectievelijk een 12% en 37% hogere opbrengst.

8.10 Inrichting van de percelen

Goede drainage

Structuurschade ontstaat het snelst onder natte omstandigheden. Werken onder droge omstandigheden is dan belangrijk om deze schade te voorkomen of te beperken. Voor een droge grond is een goede drainage belangrijk.

Inrichting percelen en afstemming op gewas

In de akkerbouw kan verkend worden in hoeverre het bouwplan is in te richten dat de nattere percelen zoveel mogelijk het hele jaar groen blijven, waardoor de bewerkbaarheid in het voorjaar beter is en er minder risico is van structuurschade. Op melkveehouderij-bedrijven zou de perceelsinrichting zodanig kunnen zijn dat de maïs-percelen niet op de nattere percelen en/of niet langs waterlopen liggen, maar dat daar vooral de graspercelen liggen.

8.11 Kennishiaten van maatregelen om verdichtingen te voorkomen

Bij de verschillende maatregelen om verdichtingen te voorkomen zijn verschillende zaken nog niet duidelijk:

1. Nieuwe ontwikkelingen in systemen van niet-kerende en minder bewerkte grond, in combinatie met groenbemesters, zijn nog niet of nauwelijks onderzocht of uitgetoet.
2. De teelt op rijpaden ligt in onderzoek. Er zijn te weinig resultaten bekend om uitspraken te doen over opbrengsteffecten en mate van bodemverdichting.
3. In welke mate verdichten rupsen de bouwvoor en de ondergrond in vergelijking met banden in Nederlandse omstandigheden.
4. Is de calcium/magnesiumverhouding ook op zand- en of leemgrond belangrijk voor de bodemstructuur?
5. Wat is de rol van peilbeheer? De relatie tussen peilbeheer en het optreden van structuurschade is niet eenduidig. Door een slechte bodemstructuur en de aanwezigheid van verdichtingen is er een roep vanuit de praktijk om lagere waterpeilen. Bij het op orde zijn van de structuur is waarschijnlijk een hoger waterpeil mogelijk hetgeen gunstig is voor beheerskosten en het verminderen van veenoxidatie.

9 Kosten en baten van oplossen en voorkomen

De kosten van bodemverdichting hangen samen met:

- Lagere opbrengst en kwaliteit;
- Extra energie voor het loswerken;
- Extra gebruik gewasbeschermingsmiddelen.

De exacte hoogte van deze kosten is moeilijk in te schatten omdat precieze cijfers ontbreken. De resultaten van proeven waarbij aan structuurverbetering is gedaan laten wisselende resultaten over de effecten op opbrengsten zien en over de andere kostenposten is erg weinig informatie bekend.

Er is wel een redelijk goede inschatting te maken van de kosten van bodemverbetering, ten minste daar waar het de klassieke methodieken als woelen en dergelijke betreft.

Daarom is hier een kosten/baten analyse gemaakt van het opheffen van de verdichting voor de teelt van zetmeelaardappelen en suikerbieten in de provincie Drenthe, op basis van een vrij groot aantal aannames. Hierdoor zijn de uitkomsten nogal onzeker.

De volgende gegevens (tabel 3) en aannames zijn gemaakt (tabel 4) voor Drenthe

Tabel 3

Gebruikte gegevens voor Drenthe voor het berekenen van kosten en baten van het opheffen van bodemverdichting.

Gegevens

Areaal zetmeelaardappelen	A	24892	ha (CBS 2008)
Saldo zetmeelaardappelen	B	€ 2500	Per ha per jaar
Areaal suikerbieten	C	10267	(CBS 2008)
Saldo suikerbieten	D	€ 1800	Per ha per jaar

Tabel 4

Aannames voor het berekenen van kosten en baten van het opheffen van bodemverdichting.

Aannames			
Perceelsgrootte	E	7	ha
Percelen met verdichting	F	35	%
waarvan	G	10	% zichtbaar, eenmalige verbetering
en	H	25	% verborgen
waar	I	100	% komt in aanmerking voor onderhoud
Kostenverbetering	J	€ 4000	per ha, eenmalig herstel
	K	€ 100	per ha, onderhoud
Levensduur-verbetering	L	30	jaar, eenmalig
	M	4	jaar, onderhoud
Opbrengstderving	N	25	% bij zichtbare verdichting
	O	15	% bij verborgen verdichting

Schade

De geleden schade als gevolg van de opbrengstderving is dan als volgt berekend:

$$\text{Schade} = (A \cdot B + C \cdot D) \cdot (G \cdot N + H \cdot O) / 100$$

De totale schade voor aardappelen in Drenthe is dan € 3,4 miljoen en voor suikerbieten € 1,0 miljoen per jaar. Samen bedraagt de schade € 4,4 miljoen per jaar. Dit komt overeen met € 237,= per ha.

9.1 Kosten en baten bodemverbetering

De kosten per jaar voor bodemverbetering zijn als volgt berekend.

$$\text{Kosten} = (A+C) \cdot E \cdot G \cdot (J/L \cdot F/100 + K/M)$$

De kosten (per jaar) voor aardappelen in Drenthe zijn dan € 1,2 miljoen voor aardappelen en € 0,5 miljoen voor suikerbieten, samen € 1,8 miljoen of € 100,= per ha

Bij de berekening van de baten is er vanuit gegaan dat de geleden dervingschade niet volledig kan worden hersteld, maar slechts 65% daarvan.

De baten per jaar zijn dan 65% van €4,4 miljoen = €2,9 miljoen, ofwel €154,= per ha

Het netto resultaat is dus € 1,1 miljoen per jaaren dit komt overeenmet € 53,= per ha

Effecten die niet zijn meegenomen in deze berekening:

- Verbetering kwaliteit product door optimale groeiomstandigheden (denk aan tarra, winbaarheid en suikerpercentage bij suikerbiet en tarra, owg, eiwit bij zetmeelaardappelen).
- Verbeterde efficiëntie input van nutriënten (en gwb) door optimale groei en productie (betere benutting NPK en sporenelementen, minder uitspoeling tijdens herfst/winter).
- Verlaagde kosten gewasbescherming.

9.2 Reacties van de praktijk op de bevindingen van het rapport

De informatie uit dit rapport is in een interactieve sessie besproken met agrarisch ondernemers, de provincie Drenthe en waterbedrijven (zie bijlage 3). De problematiek van verdichting en de oorzaken daarvan worden breed onderkend.

Eén van de zaken die opviel is dat de agrarische sector aangaf dat het probleem van bodemverdichting vaak onderschat werd en dat het verminderen van emissies naar oppervlaktewater een gezamenlijk belang is. Tegelijkertijd werd vanuit de agrarische sector opgemerkt dat als er prioriteiten gesteld moeten worden het binnenhalen van de oogst op dat moment belangrijker is dan zorgen over de effecten daarvan op de bodemstructuur.

Dit geeft gelijk de spagaat aan om het probleem aan te pakken. Het korte-termijn belang (inkomen) gaat boven het langere-termijn belang van duurzaam bodembeheer.

Er werd een duidelijke behoefte gevoeld om snel met de problematiek aan de slag te gaan, vooral vanuit de agrarische sector maar ook vanuit de overige stakeholders. De centrale vraag daarbij is welke mogelijkheden er zijn om op de korte termijn de problematiek van verdichting en een slechte bodemstructuur aan te pakken om de waterkwaliteit en het waterbeheer te verbeteren bij gelijktijdig behoud of verbetering van het inkomen.

10 Conclusies en aanbevelingen voor een demoproject

Conclusies

- Bodemverdichting is een probleem, maar de omvang van het probleem is slecht gekwantificeerd.
- Oorzaken van verdichting zijn vooral terug te voeren op het gebruik van zware machines, die deels op het verkeerde moment (ongunstige omstandigheden) worden ingezet, intensieve rotaties met veel hakvruchten, intensieve berijding en soms de aanwezigheid van storende lagen in de ondergrond. Het peilbeheer is ook van invloed.
- Bodemverdichting kost gewasopbrengst, brengt hogere bewerkingskosten met zich mee, leidt tot een slechtere nutriëntenbenutting met een verhoogd risico van afspoeling van stikstof, fosfaat en bestrijdingsmiddelen.
- Genezen is gemakkelijker dan voorkomen. Oplossingsrichtingen om het probleem aan te pakken zijn deels bekend maar nieuwe oplossingsrichtingen dienen zich ook aan. Het voorkomen van verdichting is een uitdaging omdat dit forse aanpassingen in de bedrijfsvoering met zich me kan brengen die ten koste gaan van het bedrijfseconomisch resultaat.
- Voorkomen is beter dan genezen. De uitdaging is om die maatregelen en aanpassing in de bedrijfsvoering te testen die het ondernemersinkomen op peil houden of verbeteren en de waterkwaliteit positief beïnvloeden.

Aanbevelingen voor een demoproject

- Korte termijn. Beproof en inventariseer samen met de agrarische praktijk oplossingsrichtingen op het gebied van grondbewerking, berijding van percelen en teeltmaatregelen. Probeer dat zo in te richten dat effecten op bodem- en waterkwaliteit gemeten kunnen worden. Besteed daarbij ook aandacht aan de rol van verschillende partijen in het proces zodat een gezamenlijk verantwoordelijkheids beleving ontstaat. Dit kan uitgevoerd worden in een demoproject gedurende een periode van ongeveer twee jaar.
- Effecten van maatregelen hebben soms een korte werkingsduur en soms een lange werkingsduur. Daarnaast wordt het effect van sommige maatregelen met het verstrijken van de jaren sterker. Dit vraagt om een lange termijn aanpak waarin percelen en watersystemen gedurende langere tijd gemonitord worden op effect.
- Slecht bekend is wat de relatie is tussen bodemstructuur/ verdichting en peilbeheer. Daarvoor is verdiepend onderzoek nodig.

De verwachte maatschappelijke voordelen van het project zijn:

- Afname nutriënten- en bestrijdingsmiddelen belasting oppervlaktewater;
- Beter waterbergend vermogen van de bodem;
- Minder behoefte aan nutriënten en gewasbeschermingsstoffen;
- Minder uitstoot van broeikasgassen, vooral van stikstofgassen;
- Minder grondbewerkingskosten;
- Minder beregening.

Literatuur

Akker, J.J.H. van den, G.D. Vermeulen, P.H.M. Dekker en A.P. Phillipsen, 2006. *Bodemverdichting. Leidraad Bodembescherming, onderdeel 5720*. SDU, Den Haag, 51 pp.

Akker J.J.H. van den en W.J.M. de Groot, 2008. *Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavel*s. Wageningen, Alterra. Rapport 1450, 77 pp.

Akker, J.J.H. van den en T. Hoogland, 2011. Comparison of risk assessment methods to determine the subsoil compaction risk of agricultural soils in The Netherlands. *Soil & Tillage Research* (ingediend)

Ansorge, D. en R. Godwin, 2006. High Axle Load - Track - Tire Comparison. In: R. Horn, H. Fleige, S. Peth en X. Peng, (eds.), *Soil Management for Sustainability. Advances in GeoEcology 38*, Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, pp. 9-14.

Bakker, G., M.J.D. Hack-ten Broeke, F. de Vries en J.H.H. van den Akker, 2010. *Basismateriaal voor eventuele prioritaire gebieden - Quick Scan voor Drenthe*. Wageningen, Alterra. Rapport 1964. 87 pp.

Baumann, D.T., J.J.H. van den Akker en D.A.G. Kurstjens, 1990. De rupstrekker, perspectieven voor een bodemvriendelijke mechanisatie. *Landbouwmechanisatie*, nr. 4, april 1990, pp 19-20.

Bussink D.W., Schöll, L., van der Draai en W.H., Riemsdijk, 2008. *Beter waterbeheer- en kwaliteitsmanagement begint op de akker*. NMI-rapport 1150. pp. 64

Hack-ten Broeke, M.J.D, C.L. van Beek, T. Hoogland, M. Knotters, J.P. Mol-Dijkstra, R.L.M. Schils, A. Smit en F. de Vries, 2009. *Kaderrichtlijn Bodem; basismateriaal voor eventuele prioritaire gebieden*. Wageningen, Alterra. Rapport 2007.

Erbach, D.C., 1994. Benefits of tracked vehicles in crop production. In: B.D. Soane and C. van Ouwerkerk (editors): *Developments in Agricultural Engineering 11. Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier, Amsterdam, pp. 501-520.

Hidding, A.P. en C. van den Berg, 1961. The relation between pore volume and the formation of root systems in soils with sandy layers. *ICW technical bulletin 24*, Wageningen.

Jones, R.J.A., G. Spoor en A.J. Thomasson, 2003. Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis. *Soil & Tillage Research* 73, 131-141.

Kooistra, M.J. en O.H. Boersma, 1994. Subsoil compaction in Dutch marine sandy loams: loosening practices and effects. *Soil Tillage Res.* 29: 237-247.

Rutgers, M., G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, J. Bloem, A.J. Schouten en A.M. Breure, 2009. *Prioritaire gebieden in de Kaderrichtlijn Bodem. Belang van bodembiodiversiteit en ecosysteemdiensten*. Bilthoven, RIVM. Rapport 607370001.

- Rozemeijer, J., 2010. *Dynamics in groundwater and surface water quality: from field-scale processes to catchment-scale monitoring*. PhD thesis, Utrecht
- Vermeulen, G.D. en U.D. Perdok, 1994. Chapter 19. Benefits of Low Ground Pressure Tyre Equipment. In: Soane, B.D. en C. van Ouwerkerk, (editors). *Soil Compaction in Crop Production. Developments in Agricultural Engineering*. Elsevier, Amsterdam: 447-478.
- Vreken, P., L. van De. Holm, J van, Diels en J. van Orshoven, 2010. *Verkennde studie betreffende bodemverdichting in Vlaanderen en afbakening van risicogebieden voor bodemverdichting*. Eindrapport. K.U. Leuven, Leuven, België.
- Wind, G.P., 1979. Grondverbetering, conservering van veen en winderosie in de Veenkoloniën. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Wageningen. Verspreide overdrukken 234, uit Landbouwkundig Tijdschrift 91, 3, 1979.
- Bakermans, W.A.P., H. Kuipers en C.Y. de Wit, 1968. Ervaringen met akkerbouw zonder grondbewerking. *Landbouwkundig Tijdschrift* 80-12, pp. 440-449.
- Bakermans, W.A.P. C.T. Wit, 1970. Crop husbandry on naturally compacted soil. Institute for Biological and Chemical Research on Field Crops and Herbage (IBS), Wageningen, the Netherlands. *Neth. J. Agric. Sci.* 18, pp. 225-246.
- Boer, H. 2003. *Alternatieve voedergewassen hebben in specifieke situaties perspectief*. PraktijkKompas Rundvee. Feb 3, 2003
- Geel, W.C.A. van, P.H.M. Dekker en W.J.M. de Groot, 2009. *Verslag van veldonderzoek op een zavelgrond te Lelystad 2006-2009*. Projectrapport 3250055100
- Geel, W.C.A. van et al., 2006. *Structuurherstellend vermogen van groenbemesters*. Projectrapport 510492
- Geelen, 2006. *Handboek Erosiebestrijding*. Hasselt, mei 2006, pp. 1-100.
- Kooistra, M.J., J. Bouma, O.H. Boersma and A. Jager, 1984. Physical and morphological characterization of undisturbed and disturbed ploughpans in a sandy loam soil. *Soil & Tillage Research* 4: pp. 405-417.
- Lumkes, L.M., Ovaa, I. en Preuter, H. 1983. *Acht jaar grondbewerkingsonderzoek te Westmaas*. PAGV verslag nr. 9, Lelystad, 72 p.
- Masscheleyn, P., 2006a. Regenwormen zijn goede bodemingenieurs. *Landbouw & Techniek; akkerbouw* 13-14 juli 2006, pp. 9-11
- Masscheleyn, P., 2006b. Meerjarige niet-kerende bodembewerking toont positieve effecten. *Landbouw & Techniek; akkerbouw* 18 - 20 oktober 2006, pp. 26-27.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, 1984. Van Wijk en Willet, 1992.
- Paauw, J., 2003. *Erosie en niet-kerende grondbewerking; Blokkenproeven 2003*. Intern verslag Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, pp. 1-37.

Paauw, J., 2006. *Aan de slag met erosie; Ploegloze grondbewerking in beweging 2004-2006*. Intern verslag Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, pp. 1-23.

Prins, U., G. Oomen, N.J.M. van Eekeren en A. de Vries, 2008. Direct zaaien van snijmaïs: Een alternatief voor ploegen met behoud van een vruchtbare en productieve bodem. Incl. 'Boerensamenvatting'. Louis Bolk Instituut, Driebergen.

Salm, C. van der, W.J. Chardon en G.F. Koopmans, 2010. Phosphorus and Nitrogen losses from a grassland site on a heavy clay soil in a fluvial plain in the Netherlands. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 12, 5145.

Schoumans, O.F. en W.J. Chardon (eds), 2010. *Overview and evaluation of mitigation options for reducing nutrient emissions from agriculture to groundwater and surface water. A study amongst European member states of Cost action 869*. Alterra report number 2141.

Snijders, P.J.M., A. Wopereis, H. Everts en A.P. Wouters, 1994. *Effect bodemverdichting op opbrengst en stikstofopname van Engels raaigras op zandgrond*. PR-rapport 152.

Storende lagen wegwerken Veenkoloniën. Nieuwe Oogst, september 2010.

Telen zonder ploeg. PA-artikel Boerderij, 2009.

Themadag effecten van diepe grondbewerking in de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt. Verslag nr. 42.

Weide, R.Y. van der, F.A.N. van Alebeek, R.C.F.M. van den Broek, 2008. *En de boer, hij ploegde niet meer? Literatuurstudie naar effecten van niet-kerende grondbewerking versus ploegen*.

Lelystad : Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenteteelt.

Weide, R.Y. van der en W. Hogenkamp, 2010. *Maisteelt in beweging: Landschapsmaïs in plaats van 'gewone' maïs?* Boerderij 2010 (26), p. 44-47.

Weide, R.Y. van der, D. van Balen en G. Meuffels, 2010. *Telen zonder ploeg*. Artikel op www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/telen-zonder-ploeg, 4 p.

Zwart, M.H., A.E.J. Hooijboer, B. Fraters, M. Kotte en R.N.M. Duin, C.H.G. Daatselaar, C.S.M. Olsthoorn en J.N. Bosma, 2008. *Agricultural practice and water quality in The Netherlands in the 1992-2006 period*. RIVM Report 680716003

Bijlage 1 Methodieken om bodemstructuur en bodemverdichting te meten

Bodemstructuur

De structuur wordt bepaald door de onderlinge rangschikking van de deeltjes waaruit de bodem is opgebouwd. Elementaire deeltjes als klei, leem, zand en organisch materiaal vormen samen aggregaten. De grootte en vorm van deze aggregaten is van grote invloed op het poriënvolume en de onderlinge verbinding tussen de poriën en bepalen daarmee in grote mate de lucht en waterhuishouding. Het biologische leven in de bodem is ook van invloed op de opbouw van aggregaten en de stabiliteit.

Het lastige bij het begrip bodemstructuur is dat er geen eenduidig kengetal is waarmee de kwaliteit kan worden aangeduid. Het begrip bodemstructuur is kwalitatief van aard. Dit maakt het ook lastig om de kwaliteit van de bodemstructuur te meten.

Er zijn een aantal kwaliteiten waaraan een bodem moet voldoen wil er sprake zijn van een goede structuur. Deze zijn o.a.:

- Er moeten bodem-aggregaten zijn (Marshall en Holmes, 1979)
- Voldoende poriënvolume (Charman en Murphy (1998)
- Goed water doorlaten bij neerslag
- Water vasthouden als buffer voor een droge periode
- Nutriënten vast houden
- Voldoende oppervlak bieden aan plantenwortels om water en nutriënten op te nemen
- (Te) grote aggregaten moeten met redelijke krachtoefening uit elkaar vallen
- Aggregaten van gewenste grootte moeten stabiel zijn onder wisselende omstandigheden (droog-nat)
- Aggregaten van gewenste grootte moeten stabiel zijn als er druk op wordt uitgeoefend (berijden)

Het meten van bodemstructuur

Door het ontbreken van een enkelvoudige eigenschap voor de kwaliteit van bodemstructuur is het noodzakelijk meerdere kenmerken te meten om tot een gewogen uitspraak te komen.

Voor het meten van bodemstructuur zijn er drie invalshoeken:

1. Eigenschappen die een voorspellende waarde hebben voor de bodemstructuur;
2. Eigenschappen die aspecten van een goede structuur beschrijven;
3. Als afgeleide het meten van de gevolgen die duiden op een slechte bodemstructuur.

Eigenschappen met een voorspellende waarde voor bodemstructuur

Bodemtextuur

De bodemtextuur geeft de grootteverdeling van de minerale deeltjes aan waaruit de bodem is opgebouwd. In Nederland hanteren we de indeling in klei (<0.002 mm), leem (0.002-0.016) en zand (>= 0.016). Bij zand wordt daarnaast het aandeel aangegeven dat boven de 0.050 mm diameter komt.

PedoTransfer functies van Wösten et al. (2001) berekenen de gemiddelde bulkdichtheid op basis van de bodemtextuur en het organische stofgehalte. Met andere functies is het mogelijk een gemiddelde pF curve en de doorlatendheid voor water in te schatten.

Organische stof

Organische stof wordt omgezet in humus. Deze humus is de cement die zorgt dat aggregaten kunnen worden gevormd en ook zorgt voor stabiliteit van de aggregaten. Wortels en schimmelsporen dragen ook bij aan die stabiliteit. De hoeveelheid organische stof is een indicatie voor de structuur.

Bodemleven

Het bodemleven speelt een belangrijke rol in de humusvorming uit organisch materiaal. Daarnaast worden er door sommige organismen gangen gegraven die de waterhuishouding positief beïnvloeden.

Werkmethode en omstandigheden waaronder die zijn uitgevoerd

Mechanische bewerkingen die onder ongunstige omstandigheden worden uitgevoerd hebben een negatieve invloed op de structuur. Beroeden onder (te) natte omstandigheden zal de bodem verdichten, zeker als de bandenspanning hoog is. Ook intensieve grondbewerkingen zoals rotorkoepgen of frezen onder natte omstandigheden kan de grond behoorlijk versmeren.

Bodemstructuur beschrijvende eigenschappen

Aggregaat grootteverdeling

De grootteverdeling van de aggregaten is een belangrijke eigenschap voor de structuur van de bodem. Grove aggregaten leveren veel grove poriën waarin veel water geborgen kan worden en die water ook makkelijk doorlaten. Er zijn relatief weinig kleine poriën, waardoor water moeilijk wordt vast gehouden. Ook is het oppervlak waaraan nutriënten zich kunnen hechten en waar plaats is voor wortels om die op te nemen afhankelijk van de aggregaat grootte-verdeling.

Poriënvolume

Het poriënvolume is het volumeaandeel dat wordt ingenomen door water en lucht. Naast het poriënvolume zelf is de grootte-verdeling van de poriën van belang. Grove poriën kunnen makkelijk water bergen, maar bij opdrogen lopen ze ook makkelijk leeg. De kleine poriën zijn van belang om het water vast te houden.

pF-curve

De pF-curve geeft aan in hoeverre de poriën in een volume grond in staat zijn om water vast te houden als er een negatieve druk op het water wordt uitgeoefend. Hiertoe wordt het nog aanwezig volume vocht uitgezet tegen de onderdruk die wordt uitgeoefend. De pF-curve is een indirecte maat voor de verdeling van de poriëngrootte.

Het poriënvolume dat door lucht wordt ingenomen bij pF 2.0 wordt wel gezien als een criterium voor een goede bodemstructuur (Tijink, 2008),

Verzadigde doorlatendheid

De verzadigde doorlatendheid geeft aan hoe gemakkelijk een overmaat aan water door het bodemprofiel naar lagere lagen kan stromen. Dit wordt bepaald door de hoeveelheid grove poriën, maar ook de onderlinge, verticale, verbinding van die poriën.

Een verzadigde doorlatendheid van meer dan 100 mm / dag wordt wel gezien als een criterium voor een goede bodemstructuur (Tijink, 2008)

Indringweerstand

De weerstand die een conus ondervindt bij het indringen in de bodem is een relatieve maat voor de dichtheid van de bodem. Deze wordt bepaald door het poriënvolume, maar ook door de manier waarop aggregaten ten opzichte van elkaar gerangschikt zijn. De mate waarin aggregaten zich laten opbreken is ook van invloed op de indringweerstand (een grote bak grind kan een redelijk poriënvolume hebben en een goede doorlatendheid, maar een conus zal er niet doorheen willen).

Verkruimelbaarheid

De verkruimelbaarheid van de bodem geeft aan met welk gemak grove aggregaten uiteenvallen in kleinere aggregaten.

Stabiliteit

Het is niet gewenst dat kleinere aggregaten uiteenvallen tot de textuur-elementen waaruit de bodem is opgebouwd. Die kleine delen zullen dan de poriën opvullen en op die manier een soort natuurlijke verdichting gaan vormen. Verslemping is een duidelijk voorbeeld van een gebrek aan stabiliteit.

Daarnaast is de stabiliteit belangrijk om weerstand te bieden tegen de druk die op de bodem wordt uitgeoefend door het bereiden met trekkers, transporteenheden en landbouwwerktuigen.

De stabiliteit van een bodem is mede afhankelijk van het vochtgehalte van de bodem. Aggregaten zullen in een natte toestand veel makkelijker uit elkaar vallen dan in een droge.

Effecten van een goede/slechte bodemstructuur

Plasvorming

Een slechte verzadigde doorlatendheid komt duidelijk aan het licht als er na zware neerslag plasvorming optreedt.

Gewasontwikkeling

Een slechte structuur heeft een negatieve invloed op de gewasontwikkeling. Het gewas kan 'natte voeten' krijgen waardoor de ontwikkeling stopt. Bij een slechte structuur zal er ook sneller een vochttekort optreden. Het 'contactoppervlak' voor wortelaanhechting en het vasthouden van nutriënten zal bij een slechte structuur ook minder zijn. Een slechte structuur op iets grotere diepte zal ook de bewortelingsdiepte beperken, waardoor minder vocht en minder nutriënten beschikbaar zijn.

In het hoofdstuk over Gevolgen van verdichting voor processen in de bodem, de landbouw en de waterkwaliteit is al uitgebreid aandacht besteed aan de invloed van bodemstructuur op het optreden van ziekten en plagen. In een aantal gevallen zal dit ook een negatief effect op de gewasontwikkeling hebben. Een achterblijvende gewasontwikkeling kan daarom een indicatie voor een slechte structuur zijn.

Opbrengstniveaus

De onder gewasontwikkeling genoemde factoren werken uiteindelijk door in de eindopbrengst. Een lage opbrengst kan dus duiden op een structuurprobleem.

Doorworteling

Een goede doorworteling tot op een diepte die 'normaal' is voor het betreffende gewas wordt gezien als een teken van een goede bodemstructuur.

Metten van structuur bepalende bodemeigenschappen

Textuur

Officiële bepaling

Voor een textuurbepaling worden eerst de stoffen zoals humus, die de textuurdelen tot aggregaten verbinden, opgelost. De grovere delen, boven de 50 µm, worden afgezeefd en kleinere fracties worden in een suspensie gebracht. Door op verschillende tijdstippen monsters op een bepaalde diepte in de suspensie te nemen kan de verdeling van deze kleinere fracties bepaald worden.

Dit is een laboratorium methode.

Metten van de natuurlijke radioactieve achtergrondstraling

Bodems geven een straling af van langlevende isotopen zoals kalium, uranium, thorium en cesium. Er blijkt een verband te bestaan tussen textuur-eigenschappen van de bodem en de mate van straling van de verschillende isotopen. The Soil Company gebruikt een kristal die in staat is de straling van de vier genoemde elementen vast te leggen om er mee over de percelen te rijden. Aan de hand van calibratie-curven kan de textuur van die percelen in kaart worden gebracht. Voor het opstellen van die calibratie-curven zijn nog wel een aantal klassieke bemonsteringen en analyses noodzakelijk.

Dit is een methode die in het kader van precisielandbouw wordt toegepast.

Bodemkaarten

In het kader van de vele ruilverkavelingen in Nederland zijn er relatief gedetailleerde bodemkaarten tot stand gekomen. Kaarten met een schaal van 1 op 50.000 zijn digitaal beschikbaar.

Organische stof

Officiële methode

Het organische stofgehalte wordt bepaald door grondmonsters zodanig te verhitten dat alle organische stof verbrandt. Uit de gewichtsafname is de hoeveelheid organische stof af te leiden.

Dit is een laboratorium methode.

Metten van de natuurlijke radioactieve achtergrondstraling

Deze onder textuur omschreven methode wordt ook gebruikt om het organische stofgehalte te schatten. Met name de cesium-straling is nauw gecorreleerd aan het organische stof gehalte. Voor het opstellen van calibratie-tabellen tussen cesium-straling en organische stofgehalte is nog wel een aantal klassieke bemonsteringen en analyses noodzakelijk.

Dit is een methode die in het kader van precisielandbouw wordt toegepast.

Metten van spectrale reflectie

Organische stof reflecteert bepaalde frequenties uit het lichtspectrum anders dan de bodemdeeltjes zelf. Wisselende hoeveelheden organische stof geven een wisselend beeld in de spectrale reflectie. Verschillen in

organische stofgehaltenes kunnen hiermee goed in kaart worden gebracht, maar zeker voor het vaststellen van de absolute waarde zijn ook voor deze methode kalibratie curves aan de hand van klassieke bemonstering en analyse noodzakelijk.

Dit is een methode die in ontwikkeling is ten behoeve van precisielandbouw. Er is een begin van toepassing in de VS.

Bodemleven

Een manier om bodemleven te kwantificeren is het meten van de koolzuurproductie. Een nadeel van deze methode is dat het ook de mineralisatie van organisch materiaal meet.

Dit is een laboratoriummethode, maar er is een veldkit beschikbaar (Koopmans en Brands, 2003).

Een tweede manier is de biolog-methode. De hoeveelheid grond die nodig is om bepaalde substraten om te zetten is een maat voor bodemactiviteit. Door het gebruik van een groot aantal verschillende substraten wordt ook een indruk verkregen over de diversiteit van het bodemleven.

Dit is een laboratorium methode.

Vastleggen van werkmethode en omstandigheden waaronder bewerkingen zijn uitgevoerd

Met de moderne elektronica op trekkers en werktuigen is het mogelijk automatisch vast te leggen wanneer en hoe bewerkingen zijn uitgevoerd. Als tegelijkertijd op basis van de weersomstandigheden een schatting van bodemvocht wordt gemaakt, kan worden ingeschat of er kans op structuurbederf optreedt.

De vochtgehaltenes waarbij er risico op structuurbederf optreedt heeft aandacht gekregen bij werkbaarheids-onderzoek uit de jaren 70 en 80. (Van Elderen, 1977; Hokke en Tanis, 1978; Goense, 1987; Perdok en Hendrikse, 1982). Textuur is een belangrijke factor bij het vaststellen van een bodemvochtgehalte criterium, maar de complicatie is dat de structuur van de bodem op zich ook een belangrijke rol speelt.

Metten van bodemstructuur beschrijvende eigenschappen

Aggregaat grootteverdeling

Zeven

Het bepalen van de aggregaat grootteverdeling van een bodem wordt gedaan door de grond te zeven over een groot aantal zeven.

Dit is een redelijk arbeidsintensieve laboratoriummethode.

Beeldverwerking

Door opnamen te maken van een bodemoppervlak zullen schaduwen en delen waar licht op valt elkaar afwisselen. Hiervan kan een opname worden gemaakt. Na beeldverwerking kunnen die delen van de opname worden omgezet in zwarte en witte vlakken die elkaar afwisselen. De gemiddelde grootte van deze vlakken is een goede maat voor de mate van verkruiemeling van de bodem. In de tijd dat Campbell (1979) deze methode ontwikkelde was processing power de limiterende factor om dit real time toe te passen.

Processing power mag nu geen beperkende factor meer zijn, zoals Stafford en Ambler in 1990 al aantoonde. Dit is mogelijk een techniek die weer opgepakt kan worden.

Laserscanning

Door het bodemoppervlak met een laser profielmeter af te scannen wordt er een goede indruk verkregen van de aggregaat grootteverdeling van het bodemoppervlak (Sandri et al., 1998).

Laserscanning wordt voor onderzoek toegepast met een stationaire opstelling.

Ultrasoon

Bently (2000) is tot de conclusie gekomen dat het mogelijk is met een ultrasone afstandsmeter een goede indruk te krijgen over de aggregaat grote verdeling zoals die in het veld voorkomt na de zaaibedbereiding.

Signaal verwerking aan een triltand.

Bogrekci en Godwin (2007) hebben aangetoond dat analyse van het trillen van een triltand kengetallen kan opleveren die een nauwe relatie hebben met de verdeling van de grootte van aggregaten zoals die zijn verkregen uit de klassieke zeefmethode.

Poriënvolume of bulkdichtheid

Ringmonsters

De meest gangbare methode om het poriënvolume te meten is door het nemen van een ongestoord ringmonster van een bekend volume. Na volledig drogen van het monster is bekend hoeveel gewicht de bodem zelf inneemt. Dit is de bulkdichtheid. Uitgaande van het soortelijk gewicht (meestal 2.64) kan het volume van de grond bepaald worden. Met kennis van het volume van de ring volgt hieruit het poriënvolume.

Dit is een redelijk arbeidsintensieve methode door het nemen van ongestoorde monsters en het daarop bepalen van het droog gewicht.

Demping van gammastraling

Een gamma stralingsbron wordt tot op een diepte van maximaal 30 cm in de grond gestoken. Boven de grond zit een ontvanger die het aantal gammadeeltjes telt. Het aantal gammadeeltjes in een bepaalde tijdsperiode is proportioneel met de hoeveelheid grond tussen bron en ontvanger. Als de afstand van het meetapparaat constant wordt gehouden zijn de verschillen terug te voeren tot verschil in bulkdichtheid.

Een nadeel van deze methode is dat er een lange meettijd nodig is om een voldoende nauwkeurige telling te verkrijgen. Deze is 5-10 minuten.

pF-curve

Het bepalen van de pF-curve gebeurt aan de hand van ongestoorde ringmonsters. Voor lagere onderdrukken van pF 0 t/m pF 2 worden zandbakken gebruikt. De ringmonsters worden op de zandbak geplaatst en het water in de zandbak is op een met de pF overeenstemmende hoogte gebracht (pF is Log10 van de waterhoogte). Voor drukken van 2.0 t/m 2.7 wordt een kaolien-zandbak gebruikt. Voor hogere onderdrukken wordt een membraampers gebruikt.

Dit is een arbeidsintensieve methode die bestaat uit het nemen van ongestoorde ringmonsters en metingen in een gespecialiseerd laboratorium.

Verzadigde doorlatendheid

De verzadigde doorlatendheid kan gemeten worden met de dubbele ring infiltrometer methode. Er worden twee concentrische ringen gebruikt, zodat de buitenste ring er voor zorgt dat er geen of nauwelijks horizontale doorlatendheid gemeten wordt. De aanname is dat het water uit de binnenste ring alleen verticaal doorstroomt. Na enige tijd treed er verzadiging van het profiel op en kan aan de hand van het volume water dat nodig is om de ring gevuld te houden worden vastgesteld wat de verzadigde doorlatendheid is.

Indringingsweerstand

De indringingsweerstand kan gemeten worden met een verticale penetrometer, een horizontale hand penetrometer en een continue metende horizontale penetrometer.

Verticale penetrometer

Een verticale penetrometer bestaat uit een staaf van meestal 80 cm lengte waarop een conus is gemonteerd. Er zijn verschillende conussen wat betreft doorsnee en tophoek. De drempelwaarden zoals deze zijn genoemd in dit rapport (bv. 3 MPa) gelden voor een conus met een tophoek van 60° en basisoppervlakte van 1 cm². De conus wordt verticaal met een constante snelheid de grond in gedreven. Tegenwoordig wordt de weerstand gemeten met een elektronische kracht-opnemer en wordt de ondervonden weerstand per cm vastgelegd in een computersysteem. Omdat naast dichtheid van de bodem ook het vochtgehalte van belang is wordt vaak tegelijkertijd een vochtgehalte meting uitgevoerd. Een probleem hierbij is dat met beschikbare bodemvochtsensoren zoals die van DELTA_T alleen het vochtgehalte van de bovenste 10 cm wordt gemeten.

Het meten van de verticale indringweerstand is vaak nog handwerk. Een zwak punt daarbij is dat het voor een persoon moeilijk is een constante indringingsnelheid aan te houden bij wisselende weerstanden. Een verticale penetrometer die gedreven wordt door een hydraulische cilinder of via een spindel en een elektromotor.

Zowel in handwerk als mechanisch aangedreven blijft het meten van de verticale weerstand een vrij tijdrovende meting.

Horizontale hand penetrometer

Er zijn kleine penetrometers, meestal met een stomp uiteinde van een bepaalde diameter, die gebruikt worden om in een profielkuil de indringweerstand in een verticale wand van de kuil te meten.

Continue metende horizontale penetrometers

Door verschillende onderzoekers zijn horizontale penetrometers ontwikkeld die meestal door een trekker op een bepaalde ingestelde diepte door de grond worden getrokken. Door elektronische krachtopnemers wordt de horizontale weerstand gemeten. Deze wordt tegelijk met de rijnsnelheid en de met een GPS ontvanger bepaalde positie vastgelegd (Topakci et al., 2010). Op basis van kennis van het effect van de rijnsnelheid kan het signaal worden genormaliseerd. Ook hier speelt de invloed van het bodemvochtgehalte. Zeng et al. (2008) hebben een dergelijke horizontale penetrometer gecombineerd met een bodemvochtsensor zodat ook voor variaties in het vochtgehalte kan worden genormaliseerd.

Verkruimelbaarheid

De verkruimelbaarheid kan op dezelfde manier worden bepaald als hierna onder stabiliteit is beschreven.

Stabiliteit

Er worden sinds de jaren dertig nog continue methoden ontwikkeld om de stabiliteit van bodem aggregaten te meten. Dat geeft aan dat er grote belangstelling is om de stabiliteit vast te stellen, maar ook dat er eigenlijk nog steeds geen ideale methodiek is gevonden (Le Bissonnais, 1996) Een aantal van die methoden zijn:

Nat zeven

Een aantal zeven (acht stuks) van verschillende zeefgrootte wordt gevuld met gelijke hoeveelheden grond. De hele set van zeven wordt in water ondergedompeld en gedurende een bepaalde tijd geschud. De hoeveelheid grond die in de zeven achterblijft, dus niet in kleinere aggregaten opbreekt, is een maat voor de bodemstabiliteit.

Combinatie van procedures

Le Bissonnais (1996) beschrijft vier mechanismen die aggregaten uiteen kunnen laten vallen; a) “slaking” door toenemende druk uit luchtholtes gedurende een proces van nat maken, b) scheurtjes door verschil in zwelling bij het nat worden, c) uiteenvallen door mechanische impact van regendruppels en d) fysisch chemische dispersie als gevolg van verschil in osmotische druk.

Op basis hiervan geeft hij een procedure om op drie manieren de aggregaatstabiliteit te meten nl.: snel nat maken, langzaam nat maken en roeren na initieel nat maken. Na iedere behandeling wordt de aggregaat verdeling gemeten.

Akoestisch

Door de hoeveelheid akoestische energie te meten die nodig is om bodemaggregaten uit elkaar te laten vallen, kan een indruk worden verkregen over de stabiliteit van bodemaggregaten (Zhu et al. 2009).

Alle genoemde methoden zijn laboratoriummethoden aan de hand van monsters.

Meten van effecten van (slechte) bodemstructuur

Plasvorming

Plasvorming is duidelijk zichtbaar vanaf de rand van een perceel, maar om de locatie exact aan te wijzen is het toch nodig de randen van een plas in kaart te brengen. Dit kan door met een GPS ontvanger die randen vast te leggen, maar de natte omstandigheden maken dit een weinig aantrekkelijke activiteit.

De mogelijkheid om plassen in kaart te brengen aan de hand van remote sensing opnamen lijkt realistisch, maar zal moeten worden getoetst.

Plasvorming kan ook optreden als het grondwaterniveau dicht bij of boven het bodemoppervlak komt. Bij interpreteren van kaarten met plasvorming moet dus informatie over de grondwaterstand beschikbaar zijn.

Gewasontwikkeling

Remote sensing is een zich in de praktijk ontwikkelende technologie voor precisielandbouw. Er zijn verschillende firma's die satelliet opnamen beschikbaar stellen en er zijn ook meerdere sensorsystemen op de markt die in combinatie met landbouwwerktuigen door de boer zelf kunnen worden ingezet. Uit de reflectie-signalen kunnen vegetatie indexen worden berekend die een goede relatie hebben met de ontwikkeling van het gewas. Percelen, of delen van percelen die zich in vergelijking met andere percelen, of wat op basis van zaai- of poottijdstip en het weer vanaf dat tijdstip mag worden verwacht, kunnen een indicatie zijn van een slechte structuur. Uiteraard kunnen ook andere factoren zoals optredende gewasziekten en nutriëntengebrek een oorzaak zijn. Dus die oorzaken moeten worden uitgesloten om van structuurproblemen te kunnen spreken.

Opbrengstniveaus

In het kader van precisielandbouw is het meten en in kaart brengen van de opbrengst op maaidorsers een standaard-instrument geworden. In principe is dit ook mogelijk op aardappel- en bietenrooiers, al wordt dit nog niet veel toegepast omdat tarra niet is te meten en de opbrengstschatting van deze gewassen beïnvloedt. Net zoals onder gewasontwikkeling is vermeld, met de daar genoemde randvoorwaarden, kunnen achterblijvende opbrengsten structuurbederf als oorzaak hebben.

Doorworteling

Profielkuil

De doorworteling van een gewas is vast te stellen door een profielkuil te graven en één van de wanden glad af te steken. De waarneming van de doorworteling kan visueel kwalitatief worden vastgesteld, maar blijft een kwalitatieve waarneming. Op deze manier is het over het algemeen goed mogelijk storende lagen op te sporen die de beworteling belemmeren.

Ongestoorde monsters

Een alternatieve methode is door ongestoorde monsters te nemen van een vrij grote diameter (10-20 cm) tot op een diepte die men wil bestuderen. Dit vraagt zware apparatuur om dergelijke buizen in de grond in te brengen. Als een dergelijke buis overlangs uit twee helften is opgebouwd, kan die buis geopend worden. Door het wegspoelen van de bodemdeeltjes blijft de wortel over en is het in principe mogelijk de doorworteling te kwantificeren.

Het spreekt voor zich dat dit een arbeidsintensieve en kostbare methode is.

Kijkbuis

Ook wordt wel eens aan het begin van het groeiseizoen een glazen buis onder een hoek in het bodemprofiel aangebracht. Door regelmatig met een camera in die buis te kijken kan worden vastgesteld wanneer hoeveel wortels tot op een bepaalde diepte zijn gegroeid.

Vochtsensoren

Er zijn vochtsensoren in gebruik die op meerdere dieptes in het veld het vochtgehalte meten. (Dacom heeft ze op een groot aantal plaatsen in Nederland staan). Als in een droge periode op een bepaalde diepte het bodemvochtgehalte lager is dan op grond van het hydrologische verloop in het profiel zou mogen worden verwacht, duidt dat op vocht-onttrekking door wortels.

Dit is een meetmethode die bij het gebruik van bodemvochtsensoren voor irrigatie doeleinden kan worden meegenomen. Over het algemeen zal de diepte tot waar door de sensoren gemeten wordt beperkt zijn in relatie tot bewortelingsdiepte van diepwortelende gewassen.

Conclusies over mogelijke meetmethoden

Zoals eerder aangegeven is er niet één grootheid aan te wijzen als indicatie voor structuur., maar is het een combinatie van variabelen. Daarnaast is een criterium afhankelijk van andere eigenschappen. Zo is bijvoorbeeld het criterium poriënvolume gevuld met lucht bij pF 2 afhankelijk van de textuur van de bodem.

De beoordeling van de mogelijke meetmethoden moet plaatsvinden vanuit het doel dat daarbij voor ogen staat. Dit kan zijn een grootschalige inventarisatie van het optreden van structuurproblemen en het op operationeel niveau vast stellen van structuurproblemen binnen een perceel om daarop in te grijpen.

Voor alle relevante variabelen zijn er laboratoriummethoden die voor onderzoek ontwikkeld zijn. Voor zowel inventarisatie als operationeel gebruik zijn deze methoden op grond van kosten uitgesloten. We zullen ons moeten richten op die methoden die via automatisering en ICT-technologie beschikbaar komen.

Textuur

In alle gevallen is textuur een belangrijke variabele die moet worden meegenomen bij het interpreteren van andere te meten grootheden.

Het gebruik van de digitale bodemkaarten is bruikbaar voor regionale inventarisatie, bodemscans van The Soil Company zijn bruikbaar voor operationeel niveau.

Organische stof

De methode van The Soil Company lijkt op dit moment de enige realistische methode. Mogelijk dat spectrale reflectie beschikbaar komt.

Bodemleven

Bodemleven is alleen tegen aanzienlijke kosten te kwantificeren.

Werkmethode en omstandigheden waaronder die zijn uitgevoerd

Met ICT-technologie zijn de tijdstippen van bewerkingen en ingezette werktuigen goed vast te leggen. Schattingen van bodemvocht, al of niet ondersteund met bodemvochtsensoren, zijn met modellen goed in te schatten. Dit vraagt wel een 100% dekkende registratie. De ervaringen met precisielandbouw laten zien dat dit in de praktijk een lange weg is.

Aggregaat grootteverdeling

Beeldverwerking, ultrasone sensoren en signaal verwerking aan een triltand lijken methoden die op termijn in de praktijk inzetbaar zijn, maar doorontwikkeling naar concrete producten moet nog steeds plaats vinden.

Poriënvolume of bulkdichtheid

Routinematige bepaling van bulkdichtheid en poriënvolume is niet haalbaar. Het meten van indringingsweerstand moet een aanwijzing geven, al zal de klassiek bepaling noodzakelijk blijven om de relaties te kunnen leggen. De techniek van gamma straling is nu te tijdrovend.

pF-curve

Het bepalen van de pF-curves op routineschaal is niet haalbaar.

Verzadigde doorlatendheid

Het bepalen van de verzadigde doorlatendheid op routineschaal is niet haalbaar.

Indringingsweerstand

De continue horizontaal metende penetrometer leent zich voor routinematige schattingen van bodemverdichting. Combinatie met grondbewerkingswerktuigen biedt mogelijkheden om dit kosteneffectief te doen.

Verkruijmelbaarheid en stabiliteit

Het bepalen van de verkruijmelbaarheid en stabiliteit op routineschaal is niet haalbaar.

Plasvorming

De mogelijkheid om plassen in kaart te brengen aan de hand van remote sensing opnamen lijkt realistisch, maar moet worden getoetst. Schattingen van grondwatervluchtheid op basis van beschikbare databases moet wel worden meegenomen.

Gewasontwikkeling

Remote sensing-technieken zijn een realistische mogelijkheid om achterblijvende gewas-ontwikkeling in kaart te brengen. Voor een goede duiding is andere teeltinformatie noodzakelijk.

Opbrengstniveaus

In het kader van precisielandbouw is het meten en in kaart brengen van de opbrengst op maaidorsers een standaard instrument geworden.

Doorworteling

Het is niet realistisch doorworteling tegen acceptabele kosten te kwantificeren. Inzetten van bodemvocht sensoren die op meerdere dieptes meten is wel een optie om een schatting van de bewortelingsdiepte te krijgen.

Algemene conclusie

Een generiek probleem is dat er geen absolute vertaling is van te meten bodemeigenschappen naar een waardering voor de kwaliteit van structuur. Een groot aantal van de in de praktijk haalbare meetsystemen zijn of worden ontwikkeld voor precisielandbouw, waar het vooral om de verschillen binnen een perceel gaat. Zodra er vergelijkingen tussen percelen gemaakt moeten worden, is het belang van de absolute waarde van de meting veel belangrijker. Bovendien worden in dit laatste geval de metingen vaak niet op het zelfde tijdstip uitgevoerd, zodat andere factoren die de meting beïnvloeden een rol gaan spelen. Als voorbeeld geldt de invloed van het bodemvochtgehalte op de meting van de indringweerstand.

De effecten van een slechte structuur moeten daarom gezien worden als een eerste aanwijzing. Plasvorming, mits niet door te hoog grondwater veroorzaakt, is een eerste duidelijke aanwijzing. Achterblijvende gewasontwikkeling en opbrengst zijn een volgende, maar dat kan andere oorzaken hebben. De meting aan structuur-bepalende en beschrijvende eigenschappen moeten gezien worden als een bevestiging van een vermoeden en als een aanwijzing voor de maatregelen die het meest effectief zijn om het probleem op te heffen.

Literatuur

Bentley, D., 2001. Intelligent control of complex soil tillage machinery. Unpublished PhD thesis, Cranfield University at Silsoe, Silsoe, Bedford, United Kingdom.

Bogrekci, I. en R.J. Godwin, 2007. Development of a mechanical transducer for real-time soil tillth sensing. Research Paper: AE-Automation and Emerging Technologies.

Campbell, D. J., 1979. Clod size distribution measurement of field samples by image analysing computer. Unpublished paper SIN/274. Scottish Institute of Agricultural Engineering, UK.

Frissel and Koster, 1990. Radium in Soil. In: The Environmental Behavior of Radium, Volume I. pp. 323-334, Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency, 1990.

Le Bissonnais, Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: Theory and methodology. Eur. J. Soil Sci., 47: pp. 425-437.

Stafford, J.V. en B. Ambler, 1990. Computer vision as a sensing system for soil cultivator control. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers C419/041: pp. 123-129.

Tijink, F., 2008. Management Bodemstructuur. Een lezing gehouden voor Spade. www.irs.nl/ccmsupload/ccmspres/Spade%20Ens%20230908%20FransTijink.pdf

Topakci, M., I. Unal, M. Canakci, H.K. Celik en D. Karayel, 2010. Design of a Horizontal Penetrometer for Measuring On the Go Soil Resistance. Sensors 2010, 10(10), pp. 9337-9348.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. Waterretentie- en doorlatende karakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Alterra rapport 153.

Zhu, Z., B. Minasny en D.J. Field, 2009. Adapting technology for measuring soil aggregate dispersive energy using ultrasonic dispersion. Biosystems Engineering, Volume 104, Issue 2, October 2009, pp. 258-265.

Zeng Q., Y. Sun, P. Schulze Lammers, D. Ma, J. Lin en H. Hueging, 2008. Improvement of a dual-sensor horizontal penetrometer by incorporating an EC sensor. Computers and Electronics in Agriculture Volume 64, Issue 2, December 2008, pp.333-337.

Bijlage 2 Onderzoek naar niet-kerende grondbewerking tot bouwvoordiepte

De oudste goed gedocumenteerde Nederlandse proeven werden beschreven door Bakermans et al (1970) en Bakermans en De Wit (1970). Van 1964 tot 1968 lagen er permanente proefvelden op zand, zware klei en venige klei in de buurt van Wageningen. Uitgangspunt was permanent grasland waarop vanaf 1964 conventionele landbouw met ploegen werd beoefend en vergeleken met een systeem van minimum tillage (veel mulch en tussengewassen, voor zaai doodgespoten en oppervlakkig ingewerkt). In de proeven lagen ook nog vier stikstoftrappen. Verder doen ze verslag van een grondbewerkingsproef op de Mariënhof bij Westmaas en een proef bij Randwijk die ze wel bij hun conclusies betrekken maar die op moment van publicatie nog te jong waren voor goede resultaten.

Van 1972 tot 1979 heeft er onderzoek gelegen op de zavelgrond bij proefboerderij Westmaas (Lumkes et al., 1983). In dit onderzoek werd een vergelijk gemaakt tussen een systeem met alle jaren ploegen (conventioneel), ploegen voor suikerbiet en aardappel en cultivatoren voor wintertarwe en zomergerst (rationeel) en minimale grondbewerking met cultivator 6 cm diep voor granen en ondiep frezen voor aardappel en suikerbiet. In de proeven ligt een variant met respectievelijk 20 kg/ha meer of minder N. Uitgangspunt was waarschijnlijk een geploegd systeem.

Op Proefboerderij Wijnandsrade is van 2000 t/m 2003 onderzoek uitgevoerd naar de invloed van grondbewerking op de mate van erosie. De grondsoort is löss en de percelen hebben een diepe grondwaterstand. Om een vruchtwisseling met 50% graan, 25% bieten en 25% aardappelen rond te zetten zijn minimaal vier percelen nodig. Onderzoek is uitgevoerd op vijf percelen waarop acht verschillende grondbewerkingen (ploegen (2), spitten (1), niet-kerend (pennenfrees (5)) in drie herhalingen zijn uitgevoerd.

Vanaf 2004 is dit onderzoek omgebouwd naar een demonstratie vruchtwisseling. Op vier percelen is een vruchtwisseling aangehouden met graan, suikerbieten, aardappelen en snijmaïs. Op een ander perceel is snijmaïs als continueelt verbouwd. Het effect van elf verschillende grondbewerkingen op de opbrengst en kwaliteit van de verschillende gewassen is gemeten en vergeleken. De grondbewerkingen verschilden van elkaar in machine (ploeg, ecoploeg, rotoeg met en zonder ganzenvoet, pennenfrees, cultivator, vaste tand, woeler en schijveneg), bewerkingsdiepte en frequentie van toepassen (Pauw, 2003, 2006). Ook Geelen (2006) rapporteert over dit onderzoek, waarbij de focus ligt op de mate waarin de verschillende teeltsystemen kunnen bijdragen aan het tegengaan van erosie.

Effect op opbrengst	Teelt	Grondsoort	Referentie
Geen	Koolzaad, granen, erwten en maïs aardappelen en suikerbieten	Zand, zware klei, venige klei (Wageningen)	Bakermans e.a. (1970)
	Zomergerst, wintertarwe, aardappelen, suikerbieten en snijmaïs	Löss (Wijnandsrade)	Paauw (2003 en 2006)
	Suikerbieten, maïs, wintertarwe	Leem, België	Masscheleyn (2006)
Lager	Aardappel (9%), suikerbiet (14-17%) granen (5%)	Zavel (Westmaas)	Lumkes e.a. (1983)
Hoger	Suikerbiet, na slemp in conventionele bewerking	Zavel (Westmaas)	Lumkes e.a. (1983)
	Snijmaïs, continueelt	Löss (Wijnandsrade)	Paauw (2006), Geelen (2006)

Bakermans e.a. (1970) vinden vergelijkbare opbrengsten na wel- dan niet-kerende grondbewerking wanneer voldoende stikstof was gegeven en de teelt geslaagd was bij de gewassen koolzaad, granen, erwten en maïs. Ook bij aardappelen en suikerbieten worden vergelijkbare kg opbrengsten vermeld maar zijn er wel kwaliteitsproblemen. De oogstzekerheid van akkerbouw zonder ploegen was echter minder. De nieuwe techniek moet met vallen en opstaan geleerd worden. De mislukkingen, waarvan de opbrengsten niet bepaald werden, waren meestal duidelijk toe te schrijven aan bv. onvoldoende onkruidbestrijding of de toen nog gebrekkige zaai-techniek. Sommige gewassen zoals erwten en wortelen zijn bijzonder gevoelig voor ongunstige omstandigheden of raken door hun langzame beginontwikkeling in het jeugd stadium gemakkelijk onder het onkruid. Naar de mening van de auteurs in 1970 dienen dergelijke mislukkingen voor een op de toekomst gerichte beschouwing niet meegeteld te worden.

Lumkes e.a. (1983) nemen de opbrengsten van de tegenvallende teelten wel mee in hun beschouwing en komen op deze manier op gemiddeld tegenvallende resultaten voor aardappel en suikerbiet na minimale grondbewerking. Tegenvallers waren bijvoorbeeld het veel later de grond op kunnen nadat de grond bij minimale grondbewerking gefreesd was t.o.v. direct poten in de ploegsnede. In de eerste rotatie had aardappel gemiddeld 9% minder opbrengst (variatie 0 tot 22% minder opbrengst), in de tweede rotatie was het gemiddelde resultaat nog slechter. Ook bij suikerbieten waren de gemiddelde opbrengsten veel lager (gemiddeld 17% en 14%). Een jaar waarop de conventionele en rationele teelt mislukt t.g.v. slemp en de minimale grondbewerking daar geen last van had en veel hogere opbrengsten gaf werd wel buiten beschouwing gelaten. Men had vooral problemen met de opkomst van de bieten (eerste jaren flinke strolaag op veld niet weggehaald). Bovendien was het N-niveau suboptimaal want de extra N gift van 20 kg gaf een flinke compensatie bij met name minimale grondbewerking. In de granen waren de opbrengsten ook wisselend en gemiddeld ca. 5% lager. Slemp en problemen met zaaien worden als de oorzaken genoemd. Bij een wat ruimere N-gift waren de resultaten beter.

Uit het onderzoek op Proefboerderij Wijnandsrade (lössgrond) kwam naar voren dat zomergerst, wintertarwe, aardappelen, suikerbieten en snijmaïs in vruchtwisselingsverband weinig tot niet reageerden in opbrengst en kwaliteit door de wijze van grondbewerking. De opbrengst en kwaliteit van niet-kerende grondbewerkingen waren vergelijkbaar met die van ploegen (Paauw, 2003 en 2006). Bij de continueelt van snijmaïs op lössgrond gaf ploegen een betrouwbaar hogere opbrengst dan bij niet-kerende grondbewerking (Paauw, 2006). Deze tendens kwam ook naar voren in het onderzoek van Geelen (2006). Aardappelen en suikerbieten reageerden beter op een systeem van niet-kerende grondbewerking waarbij de grond intensiever bewerkt werd (Paauw, 2006).

In België werden de afgelopen zes jaar gewasopbrengsten verzameld van 35 akkers in de Leemstreek (zeventien met suikerbieten, twaalf met maïs en zes met wintertarwe) die alle opgesplitst zijn in een niet-kerend bewerkt deel en een geploegd deel. Vastgesteld werd dat de gewasopbrengsten bij ploegen en een niet-kerende bewerking van eenzelfde grootteorde zijn; bij suikerbieten is er gemiddeld genomen een meeropbrengst van 4%, terwijl er bij maïs en wintertarwe gemiddeld een minderopbrengst van 5% is. De eerste resultaten geven aan dat de kans op een minderopbrengst toeneemt bij afnemende bewerkingsintensiteit. De minderopbrengst bij maïs en wintertarwe wordt in veel gevallen wel gecompenseerd door het feit dat er minder bewerkingsgangen nodig zijn. De hogere opbrengsten bij consumptieaardappelen en bieten zijn vermoedelijk te wijten aan een efficiënter watergebruik door de planten, omdat het water gemakkelijker vanuit de diepere bodemhorizonten naar de bouwlaag kan opstijgen. Dat moet echter verder onderzocht worden. Globaal kunnen we dus stellen dat niet-kerende grondbewerking zeker economisch haalbaar is (Masscheleyn, 2006).

Literatuur

Bakermans, W.A.P., H. Kuipers en C.T. de Wit, 1970. Ervaringen met akkerbouw zonder grondbewerking. *Landbouwkundig Tijdschrift* 80-12, pp. 440-449.

Bakermans, W.A.P. en C.T. Wit, 1970. Crop husbandry on naturally compacted soil. Institute for Biological and Chemical Research on Field Crops and Herbage (IBS), Wageningen, The Netherlands. *Neth. J. agric. Sci.* 18, pp. 225-246.

Geelen, 2006. *Handboek Erosiebestrijding*. Hasselt, mei 2006, pp. 1-100.

Lumkes, L.M., I. Ovaa en H. Preuter, 1983. *Acht jaar grondbewerkingsonderzoek te Westmaas*. PAGV verslag nr. 9, Lelystad, 72 p.

Masscheleyn, P., 2006. Meerjarige niet-kerende bodembewerking toont positieve effecten. *Landbouw & Techniek; akkerbouw* 18 - 20 oktober 2006, pp. 26-27.

Paauw, J., 2003. *Erosie en niet-kerende grondbewerking; Blokkenproeven 2003*. Intern verslag Praktijkonderzoek Plant & Omgeving 1-37.

Paauw, J. 2006. *Aan de slag met erosie; Ploegloze grondbewerking in beweging 2004-2006*. Intern verslag Praktijkonderzoek Plant & Omgeving 1-23.

Bijlage 3 Verslag van de workshop met stakeholders op vrijdag 17-12-2010 op het HLB te Wijster

Lijst met deelnemers

Voornaam	Achternaam	Woonplaats
Dirk Jan	Beuling	Akkerbouwer
Jan Reinier	de Jong	Akkerbouwer
Bertus	de Ruiter	Akkerbouwer
Feije	Dijksterhuis	Akkerbouwer
Bernier	Homan-Free	Akkerbouwer
Henderikus	Houwing	Akkerbouwer
Harry	Hoving	Akkerbouwer
Willem	Huijig	Akkerbouwer
Jan	Katerberg	Akkerbouwer
Gerard	Lanting	Akkerbouwer
Joost	Lubberman	Akkerbouwer
Henk	Pol	Akkerbouwer
Roel Jan	Scheper	Akkerbouwer
Jacob	Speelman	Akkerbouwer
Jan	Mantingh	Akkerbouwer
J.H.	Adams	Akkerbouwer
Klaas	Wichering	Akkerbouwer
Coenraad	Dijkstra	Akkerbouwer
J	Engels	Akkerbouwer
Kor	Zwart	Onderzoeker Alterra
Jan	van den Akker	Onderzoeker Alterra
Weijnand	Saathof	Onderzoeker HLB Wijster
Klaas	Wijnholds	Onderzoeker PPO
Arja	Doornbos	LTO-Noord projecten
Andre	Smits	Provincie drenthe
Theo	Vlaar	Groningen
Jan	Paauw	Onderzoeker PPO
Rommie	vd Weide	Onderzoeker PPO
Wim	Bussink	Onderzoeker NMI
A	Wolfs	Onderzoeker HLB Wijster
Theo	Vlaar	Waterbedrijf Groningen

Presentatie

De presentatie die is gegeven, gevolgd door een discussie met de deelnemers, is aan het eind van deze bijlage opgenomen.

Stellingen

In vier groepen is vervolgens gediscussieerd over de volgende stellingen, de belangrijkste reacties zijn samengevat:

1. Bodemverdichting is geen enkel probleem, geen aandacht aan besteden
 - a. Onzin, het is een reëel probleem, maar de variatie is groot
2. Landbouwers moeten zich richten op productie en kwaliteit van gewassen, waterkwaliteit is bijzaak
 - a. Onzin, een goed milieu is een uiterst belangrijke randvoorwaarde tegenwoordig
 - b. Misschien niet de hoofdzaak, maar wel een belangrijke bijzaak
3. Ik doe graag mee aan een demonstratieobject om de effecten van het opheffen van verdichting te laten zien
 - a. Ja, maar er is ook een wens voor nader onderzoek
 - b. Verschillende vormen van grondbewerking
 - c. OS aanvoer
 - d. Oogstmethoden
4. Het is zinvol om een demonstratieproject te starten om de mogelijkheden/effecten van het opheffen van verdichting te laten zien
 - a. Zie reacties bij 3
5. Bodemstructuur, daar kun je niets aan doen. Een winter van 1963 dat helpt
 - a. Nee, men kan er best wel wat aan doen
 - b. Voor kleigrond geldt het zeker wel
 - c. Droog voorjaar helpt ook, maar ook dat heb je niet in de hand
6. Diepe grondbewerking geeft op termijn alleen maar ellende
 - a. Wisselende meningen, goed machinegebruik is essentieel
 - b. Andere maatregelen moeten ondersteunen
 - c. Velen zitten met de vraag: Hoe, Waar en Wanneer?
7. In het voorjaar pas beginnen als de buurman klaar is
 - a. Onzin
 - b. Goede planning is belangrijk
 - c. Lang wachten in het voorjaar vertaalt zich niet altijd naar goede resultaten in het najaar
8. Eén keer goed lostrekken en het probleem is over
 - a. Onzin, was het maar zo
 - b. Maar in enkele gevallen is het misschien mogelijk
9. Aardappelen en bieten voor 1 oktober de grond uit
 - a. Niet realistisch, maar zeker zinvol daar waar het mogelijk is
 - b. Verwerkende industrie speelt ook een rol
 - c. Nadeel van late oogst is dat een groenbemester zaaien niet meer mogelijk is
 - d. Kies voor lage druk banden en eventueel voor loonwerkers met machines met rupsbanden
10. Een bewerking dieper dan de bouwvoor is niet schadelijk
 - a. Wisselende meningen, is grondafhankelijk, maar het gevaar van het steeds dieper komen te liggen van de verdichting wordt onderkend
 - b. Probeer in elk geval zo weinig mogelijk diepe bewerking uit te voeren
11. Een beetje (kunst)mest strooien in de sloot is geen probleem voor de waterkwaliteit
 - a. Onzin, is natuurlijk een probleem, maar bij goede afstelling gebeurt het nauwelijks nog.
 - b. Bufferstroken kunnen helpen, maar kosten en baten afweging is dan belangrijk
12. In waterplassen zitten geen vervuilende stoffen en dat water kun je laten afstromen naar de sloot
 - a. Onzin, het is bekend dat er allerlei stoffen in kunnen zitten maar soms is er geen andere oplossing dan een geul te graven om het water snel af te voeren
 - b. Zal ook afhankelijk zijn van het moment in het jaar
 - c. Verzamelen van meetgegevens ontbreekt

13. Ik ken mijn bodemprofiel en weet of een diepe grondbewerking goed of slecht is
- a. Het zou goed zijn indien boeren wat meer belangstelling voor het bodemprofiel van hun percelen zouden krijgen
 - b. Kennen ja, maar ook begrijpen?
14. Ik weet toch wel dat het dichtslaat, dus trek ik het standaard elke twee jaar open
- a. Onzin, maar de meningen zijn ook wat verdeeld, elke vier jaar pentrekken komt voor

provincie Drenthe

Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt

projecten 



Aanleiding

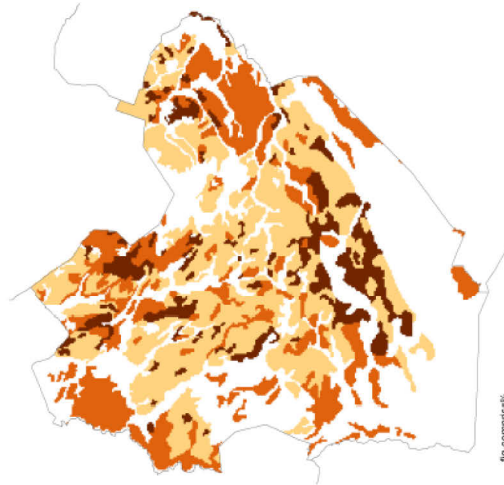
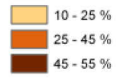




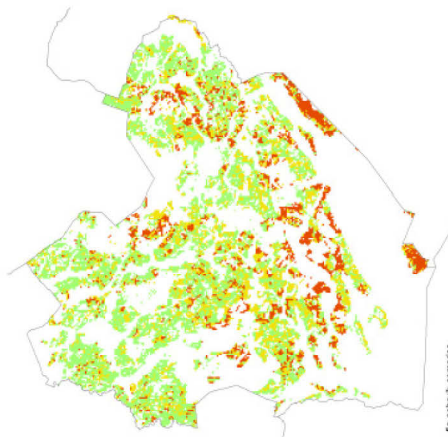
Boodschappen

- Bodemverdichting is een probleem, maar hoe groot is dat probleem?

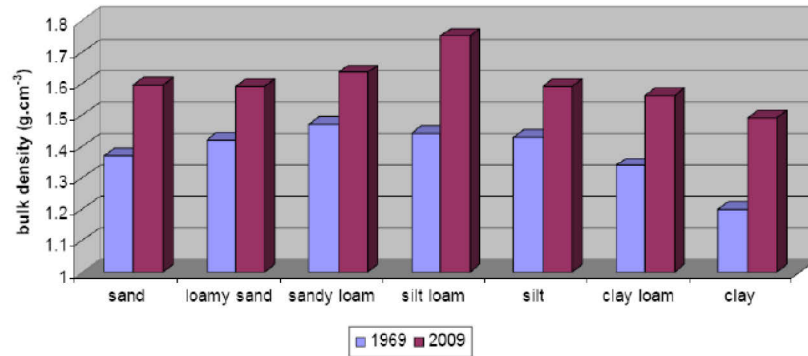
Kans op Verdichting-1



Kans op Verdichting-2

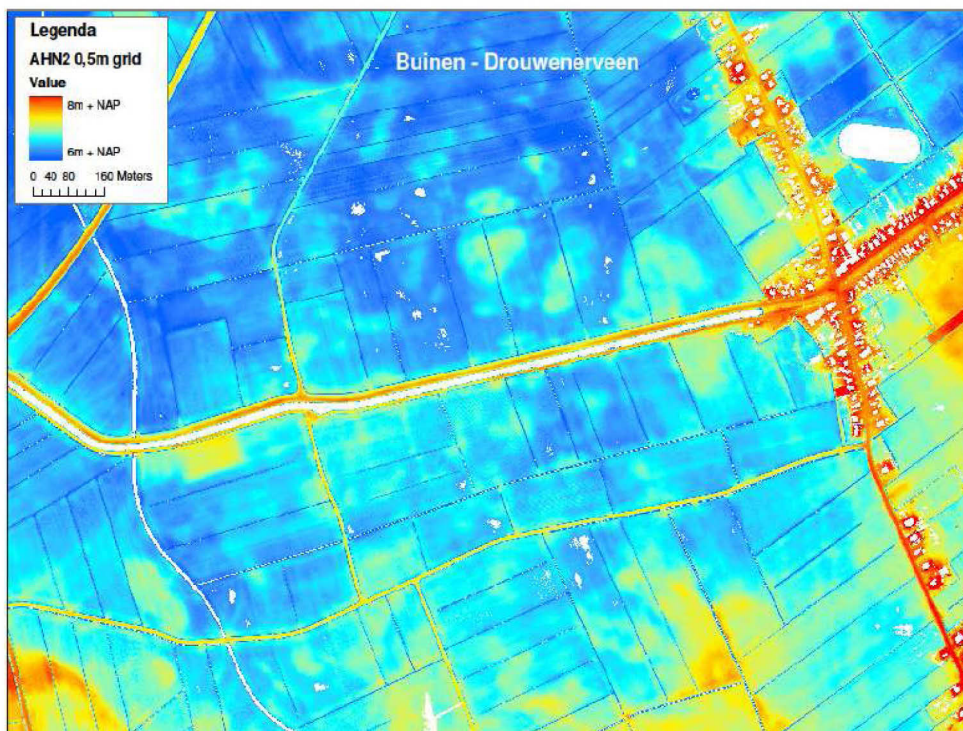
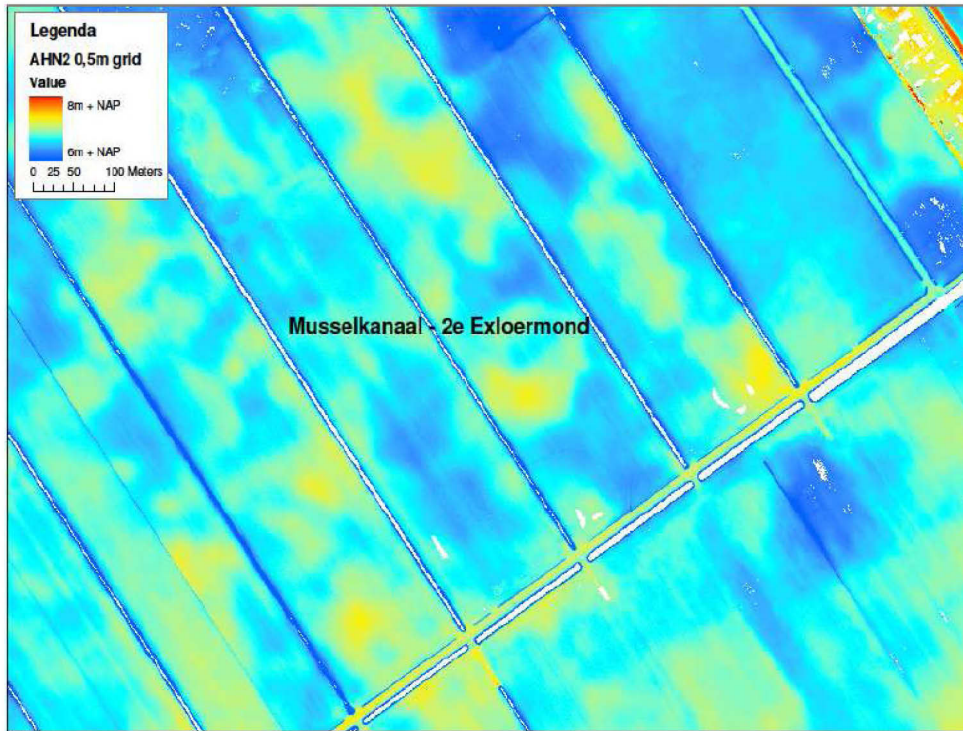


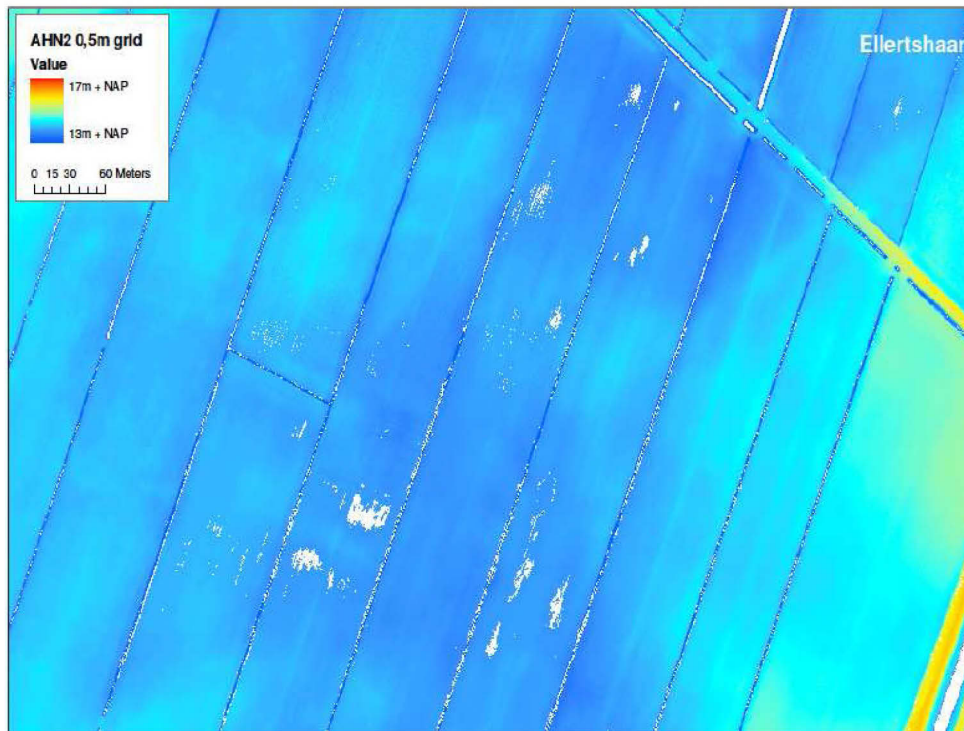
Kans op verdichting-3



Werkelijke verdichting?

- Onzeker, metingen ontbreken en zijn duur
- Zoeken naar alternatieve methoden
 - Remote sensing (satelliet, vliegtuig, ballon)
 - Proximate sensing (grondradar, trekkracht)
 - Bevestigen (of niet) door metingen





Oorzaken verdichting

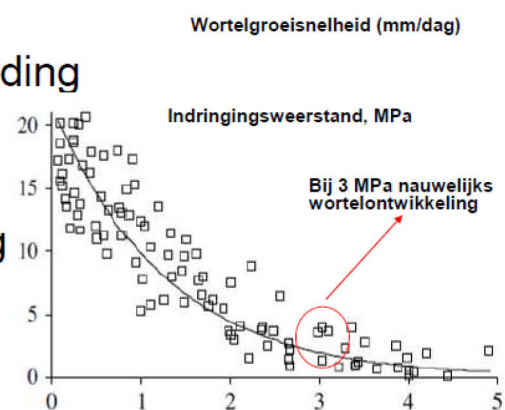
- Zware machines, te hoge bandenspanning
- Intensieve berijding
- 'Foute' timing
- Structuurverlies
- Intensieve rotatie
- Storende laag
- ...





Gevolgen Bodemverdichting

- Waterhuishouding
- Gashuishouding
- Nutrienten huishouding
- Bodemleven
- Beworteling
- Gewasontwikkeling
- Ziekte druk
- Gewasopbrengst



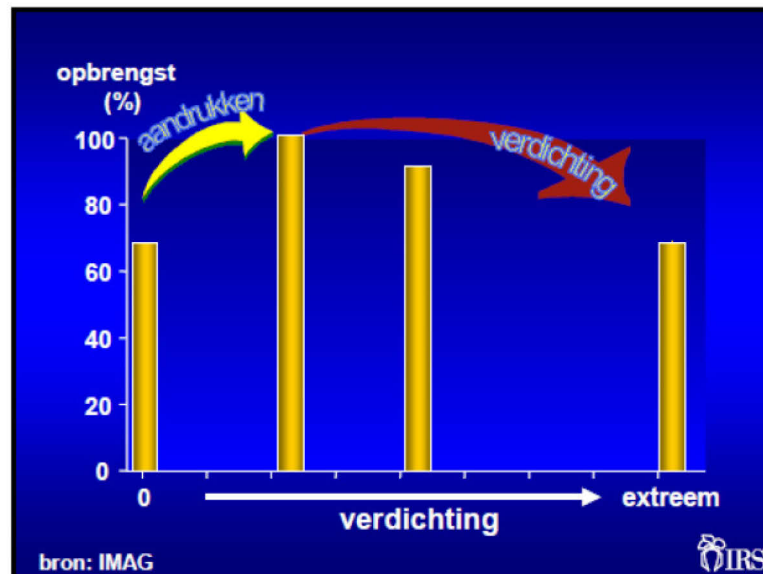
Boodschappen

- Bodemverdichting is een probleem. Maar hoe groot is het probleem?
- Oorzaken van verdichting zijn simpel
- Gevolgen van bodemverdichting zijn legio

Ziektedruk

Groep	Pathogeen
Virussen	TRV, Rhizomanie
Bacteriën	Erwinia, Gordelschurft (Actinomyces spp.)
Schimmels	Phytophthora, Rhizoctonia, Pythium Roodrot, Bruinrot, Fusarium
Protozoa	Plasmodiophora brassicae (knolvoet)
Nematoden	Trichodorus spp., Ditylenchus spp. Aphelenchus spp

Gewasopbrengst



Gevolgen Bodemverdichting

- Kwaliteit grondwater
- Kwaliteit oppervlaktewater
- Lachgas emissie



NITRATES DI
REPORTING PERIOD 4 (

THE NETHER

GROUNDWATER
AVERAGE NITRATE C

- avg NO3 mg/l
- < 25
 - 25 - 40
 - 40 - 50
 - >=50



NITRATES I
REPORTING PERIOD

THE NETH

GROUNDWATER
TREND NITRATE CON
RP3 - RP4

- Trend NO3 mg/l
- ▼ < -5 strc
 - ▼ -5 to -1 wez
 - ▼ -1 to +1 stal
 - ▲ +1 to +5 wez
 - ▲ > +5 strc



Boodschappen

- Bodemverdichting is een probleem. Maar hoe groot is het probleem?
- Oorzaken van verdichting zijn simpel
- Gevolgen van bodemverdichting zijn legio
- Genezen is gemakkelijker dan voorkomen?

Technieken om te 'genezen'

- Woelen
- Spitzfreen en meng-roteren
- Drag line
- Voor- en nadelen
- Beperkingen
- Effecten
- Vragen





Voor- en nadelen, vragen

- Bewezen techniek
- Verschillende grondsoorten en dieptes
- Combinatie met andere maatregelen
- **Werkingsduur beperkt**
- **Steeds dieper liggend probleem**
- **'Gebrek' aan bodemkundige kennis**
- **Combinatie diep wortelende gewassen**
- **Optimale diepte**

Technieken om te 'voorkomen'

- Grondbewerking en teelt
- Bouwplan en gewaskeuze
- Bemesting
- Perceelsinrichting

- Voor- en nadelen
- Beperkingen
- Effecten
- Vragen

Technieken om te 'voorkomen'

Bemesting

- Aanvoer organische stof
- Minerale bemesting
- Goede pH van de bouwvoor en ondergrond

Perceelsinrichting

- Goede drainage
- Percelen inrichten op bodem en structuurkenmerken

Voor- en Nadelen, Vragen

- Lage kosten
- Positieve effecten(?)
- Hoger OS in de bovenlaag; betere structuur
- Relatief nieuw, onbekend, onzeker
- Lange termijn
- Combinatie met diepe beworteling
- Rijpaden teelt
- Effect rupsbanden
- Effect Ca / Mg –bemesting op zandgrond

Boodschappen

- Bodemverdichting is een probleem. Maar hoe groot is het probleem?
- Oorzaken van verdichting zijn simpel
- Gevolgen van bodemverdichting zijn legio
- Genezen is gemakkelijker dan voorkomen?
- Voorkomen is beter dan genezen
- Maar wat levert het op???

Wat levert het op

- Betere vochtvoorziening bij droogte
- Minder wateroverlast bij zware buien
- Betere doorworteling
- Gezonder gewas, hogere opbrengsten
- Gevarieerder bodemleven
- Minder afspoeling

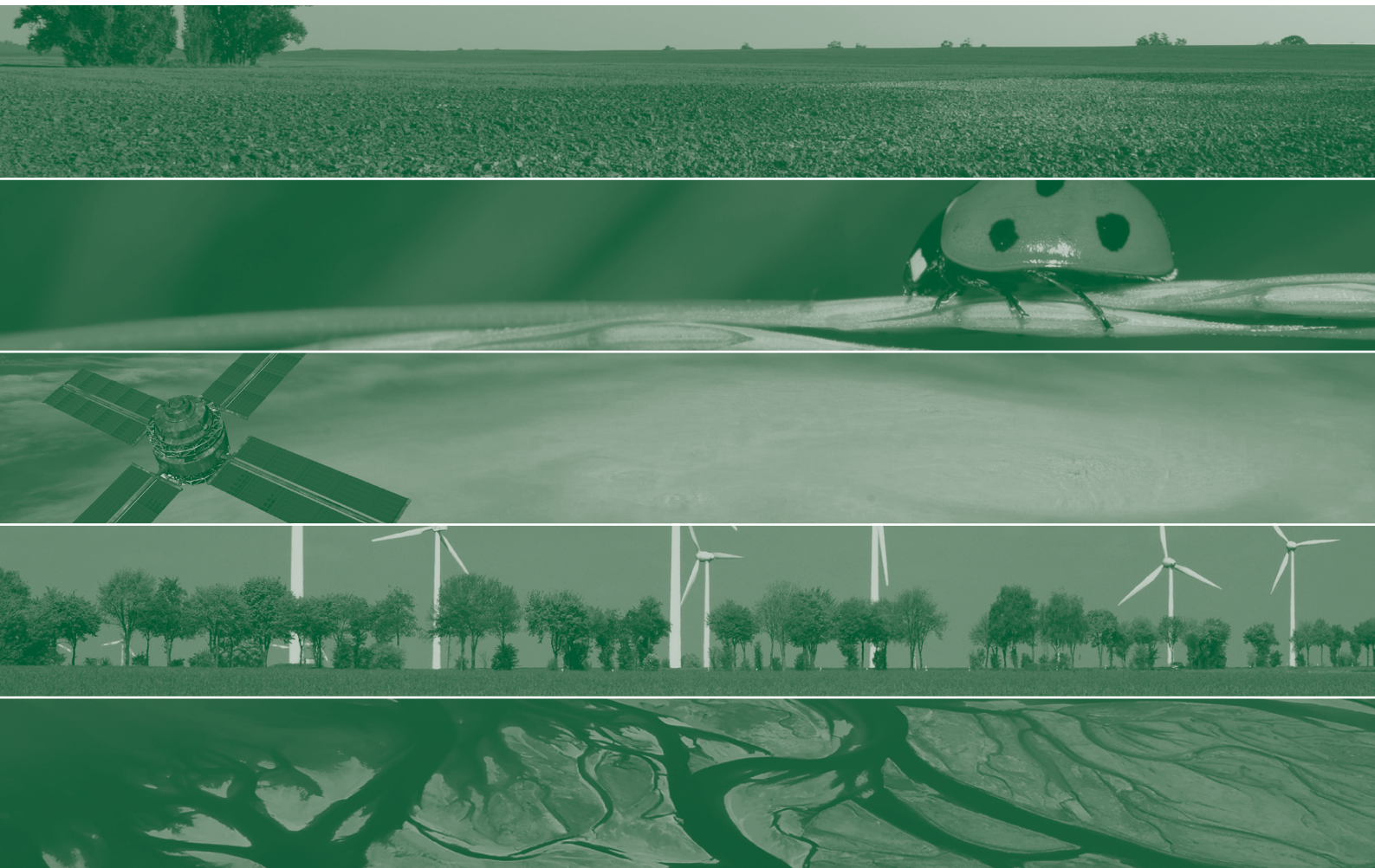
Wat levert het op

- Stel op alle percelen in Drenthe
 - 10% zichtbare verdichting, derving 25%
 - 25% verborgen verdichting, derving 10%
- Totale schade aa en sb € 4.4 miljoen/jaar

Wat levert het op

Stel verder

- 35% eenmalig (levensduur 30 jaar)
- 100% jaarlijks onderhoud (levensduur 4 jaar)
- Totale kosten €1.8 miljoen per jaar



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.alterra.wur.nl