

november 2008

rapport 0 1150

Beter waterbeheer en - kwaliteitsmanagement begint op de akker



Dr.ir. D. W. Bussink

Dr. ir. L. van Schöll

Ing. H. van der Draai

Prof. dr. ir. W.H. van Riemsdijk (WUR)

nutriënten management instituut nmi bv
postbus 250
6700 ag wageningen
mariëndaal 8
6700 wn oosterbeek
tel. (0317) 46 77 00
fax (0317) 46 77 01
e-mail nmi@nmi-agro.nl
internet www.nmi-agro.nl

© 2009 Oosterbeek, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

| | |
|--|---|
| B.J. Santema, LTO Noord | 3 |
| Ir. J.P.T. Caris, Hoogheemraadschap van Rijnland | 3 |
| H. Groen, Waterschap Noorderzijlvest | 3 |
| Ir. K. Sloots, Waterschap Hollandse Delta | 3 |

| Inhoud | pagina |
|--|---------------|
| Managementsamenvatting | 3 |
| 1 Samenvatting en conclusies | 5 |
| 2 Inleiding | 10 |
| 2.1 Aanleiding | 10 |
| 2.2 Doel oriënterend onderzoek | 10 |
| 2.3 Verwacht resultaat praktijkonderzoek | 10 |
| 3 Uitvoering en opzet | 11 |
| 3.1 Opzet en afbakening | 11 |
| 3.2 Bedrijven en activiteiten | 11 |
| 3.3 Bureaustudie en telershandleiding | 11 |
| 3.4 Terugkoppeling naar de praktijk | 12 |
| 4 Bodemchemische en bodembiologische aspecten van bodemstructuur | 13 |
| 4.1 Samenvatting | 13 |
| 4.2 Wat is goede bodemstructuur? | 14 |
| 4.3 De bodem is de basis: Meer aandacht voor de bodemchemie | 17 |
| 4.4 De bodem is de basis: Meer aandacht voor de biochemie | 21 |
| 4.5 Effect structuur op infiltratie | 22 |
| 5 Maatregelen ter verbetering van de bodemstructuur kleigronden: Naar een Teelthandleiding | 24 |
| 5.1 Samenvatting | 24 |
| 5.2 Meststofkeuze | 25 |
| 5.3 Groenbemester, gewasresten en gewasrotatie | 30 |
| 5.4 Grondbewerking | 34 |
| 6 Voorbeeld van uitwerking van maatregelen | 35 |
| 6.1 Ca- en organischestofbalansen | 35 |
| 6.2 Effect groenbemesters | 35 |
| 6.3 Effect van afvoer of achterlaten gewasresten | 36 |
| 7 Monitoring op praktijkbedrijven | 38 |
| 7.1 Belangrijkste bevindingen van de enquête omtrent perceelshistorie | 38 |
| 7.2 Uitslagen grondonderzoek | 39 |
| 7.3 Gedetailleerd grondonderzoek | 43 |
| 8 Terugkoppeling met deelnemers | 46 |
| 8.1 Bijeenkomst met de deelnemers op 14 mei 2008 | 46 |
| 8.2 Respons op maatregelen | 46 |
| 8.3 Discussie | 48 |
| 9 Concluderende opmerkingen en aanbevelingen | 50 |
| 10 Literatuur | 53 |
| Bijlagen | |

Managementsamenvatting

De bodemstructuur van zeeleigronden is veelal slecht door een geringe stabiliteit van bodemaggregaten. De kans op verdichting en het dichtslaan van de grond neemt toe terwijl de sponswerking en het watertransport naar diepere lagen afneemt. Hogere (piek)afvoeren van water zijn het gevolg en er is een verhoogd risico van oppervlakkige afspoeling van nutriënten en gronddeeltjes. Dit beïnvloedt de kwaliteit van oppervlaktewater negatief. Verder is een slechte structuur ongunstig voor de gewasproductie, de mineralenbenutting en de bewerkbaarheid.

Vanuit het chemisch en biologisch gedrag van de bodem zijn er gerichte aangrijpingspunten om te sturen op een verbetering van de bodemstructuur. Deze benadering is nieuw. NMI heeft in samenwerking met de Sectie Bodemkwaliteit van Wageningen Universiteit daartoe een oriënterend onderzoek uitgevoerd gericht op:

- nieuwe oplossingsrichtingen om de bodemstructuur blijvend te verbeteren;
- verkenning van mogelijkheden om de waardering van de boer voor de bodemstructuur te relateren aan bodemparameters, perceelshistorie en bedrijfsvoering (enquête en grondonderzoek); en
- uitwerking van praktisch uitvoerbare maatregelen op de akker om de bodemstructuur te verbeteren.

In het werkgebied van de opdrachtgevers, Waterschap Hollandse Delta, Hoogheemraadschap van Rijnland, LTO-Noord en Waterschap Noorderzijlvest, zijn op 23 bedrijven een goed en een slecht perceel geselecteerd qua bodemstructuur. Op deze percelen is chemisch en biologisch grondonderzoek uitgevoerd. Ook is de perceelshistorie gedocumenteerd. Op enkele percelen zijn aanvullende bodemfysische metingen en nitraatmetingen uitgevoerd. Deze gegevens zijn bewerkt en aangevuld met literatuurgegevens en aansluitend met deelnemende akkerbouwers besproken. De eerste maatregelen die op korte termijn kunnen bijdragen aan een betere bodemstructuur en waterhuishouding zijn geïdentificeerd. Via gerichte voorlichting en aanvullend onderzoek kan dit worden uitgerold in de praktijk.

De belangrijkste conclusies zijn:

- op basis van bodemchemische en -biologische eigenschappen is de bodemstructuur op kleigronden gericht te sturen door o.a.:
 - aandacht voor voldoende aanvoer van kalk en kalkhoudende meststoffen;
 - op maat bemesten met Mg, K en Na;
 - de te gebruiken groenbemester en organische meststoffen voor voldoende organische stof;
 - de inrichting van het bouwplan; en
 - te sturen op specifieke gewassen die gunstig zijn voor mycorrhizaschimmels.
- boeren erkennen dit en willen graag aan de slag met teelt- en managementmaatregelen, mits inpasbaar in het bedrijfsmanagement en mits financieel haalbaar;
- kleinschalige monitoring van nitraat leverde geen eenduidige verschillen tussen een goed en een slecht perceel op; en
- verdiepend onderzoek is nodig om effecten van bodemchemische en -biologische beïnvloeding op de structuur, waterhuishouding en oppervlakkige afspoeling van nutriënten te kwantificeren.

1 Samenvatting en conclusies

De bodemstructuur van zeeleigronde is veelal slecht als gevolg van een geringe aggregaatstabiliteit. Bodemaggregaten vallen snel uiteen onder natte omstandigheden en bij hoge waterpeilen. De kans op verdichting en verslemping (het dichtslaan) van de grond neemt toe. De bodem kan dan minder water opnemen (als spons fungeren) en er vindt minder watertransport naar diepere lagen plaats. Hogere (piek)afvoeren zijn het gevolg in sommige regio's en er is een verhoogd risico van oppervlakkige afspoeling van nutriënten en gronddeeltjes. Dit beïnvloedt de oppervlaktewaterkwaliteit negatief. Een slechte structuur is ongunstig voor de gewasproductie en leidt tot een slechtere mineralenbenutting. De grond is ook minder goed bewerkbaar en gevoeliger voor berijding met zware machines. Daarentegen wordt een goede bodemstructuur gekenmerkt door een kruimelstructuur en gevormd door stabiele bodemaggregaten.

Vanuit het chemisch en biologisch gedrag van de bodem zijn er gerichte aangrijpingspunten om te sturen op een verbetering van de bodemstructuur. Deze benadering is nieuw; tot nu toe is er vooral veel aandacht gegeven aan maatregelen die ingrijpen op de bodemfysische eigenschappen (bewerking, berijding). NMI heeft in samenwerking met de Sectie Bodemkwaliteit van Wageningen Universiteit een oriënterend onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden om recente bodemchemische en -biologische kennis in te zetten in het bedrijfsmanagement om zo de bodemstructuur op zeeleigronde te verbeteren. Het oriënterende onderzoek is gesponsord door Waterschap Hollandse Delta, Hoogheemraadschap van Rijnland, LTO-Noord en Waterschap Noorderzijlvest. Het onderzoek bestond uit drie onderdelen:

- Vaststellen van nieuwe oplossingsrichtingen vanuit bodemchemie en -biologie om de bodemstructuur blijvend te verbeteren (bureaustudie).
- Verkenning van mogelijkheden om de waardering van de boer voor de bodemstructuur te relateren aan bodemparameters, perceelshistorie en bedrijfsvoering (enquête en grondonderzoek). Hiertoe zijn op 23 bedrijven op zeeleide de bodemchemische en bodembiologische eigenschappen van een perceel met een goede en een perceel met een slechte bodemstructuur vergeleken (enquête en grondonderzoek).
- Uitwerking van praktisch uitvoerbare maatregelen op de akker om de bodemstructuur te verbeteren (telershandleiding).

Bodemchemische aspecten

De vorming en stabiliteit van de bodemaggregaten wordt bepaald door de onderlinge binding tussen de bodemdeeltjes. Kleideeltjes en humus (verteerde os) hebben een negatieve lading, en kunnen door de positief geladen kationen aaneengebonden worden tot micro-aggregaten. De bindingscapaciteit van kleideeltjes is daarbij afhankelijk van de concentratie en onderlinge verhouding tussen de kationen (vnl. Ca, Mg, K en Na) in de bodemoplossing en aan het adsorptiecomplex (CEC). Calcium (en in mindere mate Mg) is in staat de kleideeltjes (en humus) onderling te binden tot micro-aggregaten die de basis vormen voor een stabiele kruimelstructuur. Na en K hebben maar een beperkte bindingscapaciteit, waardoor er weinig aggregaatvorming plaatsheeft en er een dichte compacte structuur ontstaat, die bij regenval snel vervloeit. Kleideeltjes trekken naast kationen ook water aan. Deze plaatsen zich zowel in als tussen de kleideeltjes, waardoor er zwel optreedt. Ook hier geldt weer dat Ca minder zwel geeft, en dus minder structuurverval. Dit wordt schematisch weergegeven in Tabel 1.1.

Voor goede structuur is het dus belangrijk dat het aandeel Ca aan de CEC hoog is. Het aandeel Ca wordt enerzijds bepaald door de concentratie van Ca in de bodemoplossing.

Tabel 1.1. Het effect van kationen en humusdeeltjes op bepalende factoren voor bodemstructuur.

| Kation | verkruielbaarheid | stabiliteit | verslemping en verdichting |
|--------|-------------------|-------------|----------------------------|
| Ca | ++ | ++ | - |
| Mg | -/+ | -/+ | -/+ |
| K | - | - | ++ |
| Na | - | - | ++ |
| humus | ++ | ++ | - |

Voor goede stabiele bodemstructuur van zeekleigronden is voldoende Ca dus een onderliggende voorwaarde. Kleigronden bevatten vaak zeeschelpresten waaruit Ca vrij komt. In de loop der tijd neemt de hoeveelheid en oplosbaarheid van schelpresten echter af. Ook gaat er Ca verloren door uitspoeling en afvoer met gewas. Tevens kan Ca aan de CEC verdrongen worden door de kationen Mg, K en Na. Daardoor is naast de concentratie Ca ook de verhouding van Ca tot K, Mg en Na van belang.

De rol van Ca in het leveren van een stabiele goed bewerkbare structuur kwam duidelijk naar voren in het praktijkonderzoek. Bij een KZK (koolzure kalk, maat voor zeeschelpresten) lager dan 3% daalde de Ca-bezetting aan de CEC, en werden de percelen beoordeeld als slecht. De plaats van Ca wordt dan ingenomen door Mg en in mindere mate K. Voor een goede structuur lijkt een Ca-bezetting van >90% gewenst.

Aanknopingspunten voor het verbeteren van de bodemstructuur zijn daarom maatregelen die zich richten op een verhoging van het gehalte aan Ca aan de CEC. Deze bestaan uit:

- toedienen van Ca met kalkmeststoffen, Ca-houdende meststoffen en organische meststoffen;
- vermijden van verdringing van Ca aan de CEC door op maat bemesten met Mg, K en Na;
- verminderen van de Ca-verliezen bij uitspoeling en afvoer door de teelt van groenbemester en achterlaten oogstresten; en
- mogelijk ook verzurende maatregelen om de nalevering van Ca uit schelpresten te verhogen.

Op een bijeenkomst met deelnemende akkerbouwers bleek dat deze het belang van de problematiek onderkenden en onderzoek hiernaar steunden. Ook gaf men aan daadwerkelijk aan de slag te willen met de voorgestelde maatregelen. De voorgestelde oplossingsrichtingen werden grotendeels onderschreven. Van een aantal maatregelen werd aangegeven dat men deze op het bedrijf wilde implementeren, terwijl men daar voorheen niet aan dacht. Met name bekalken en het terughoudend zijn met Mg bemesting zijn goed te realiseren.

Bodembioologische aspecten

Organische stof beïnvloedt daarnaast de bodemstructuur via de aggregaatvorming en -stabiliteit. Daarnaast stimuleert os de activiteit van het bodemleven. Bij de afbraak os door het bodemleven (vooral schimmels en bacteriën) worden er stoffen uitgescheiden die bodemdeeltjes en micro-aggregaten aan elkaar kitten tot macro-aggregaten. Recentelijk is er veel aandacht geweest voor glomaline, een bodemeiwit dat werkt als een soort supergom, en dat wordt uitgescheiden door mycorrhizaschimmels. Schimmeldraden en fijne wortels houden de kluitjes bijeen. Wortels hebben daarnaast een positief effect op de bodemstructuur door het uitscheiden van stoffen waar het bodemleven zich op voedt, en doordat de wortels zelf na afsterven als voedsel dienen voor het bodemleven. Diepe penwortels kunnen de ondergrond goed indringen en zo de porositeit bevorderen. Kleine bodemdieren bevorderen de structuur

door het graven van gangen en holletjes en het mengen van os met de minerale bodemdeeltjes. In het vergelijkend grondonderzoek werd geen duidelijke relatie gevonden tussen het gehalte aan os en de waardering van de bodemstructuur. De verschillen tussen het goede en slechte perceel waren over het algemeen klein. Ook op die bedrijven waar er wel duidelijke verschillen waren kon zowel het goede als het slechte perceel het hoogste gehalte aan os hebben. Dit onderstreept dat niet enkel de hoeveelheid maar ook de kwaliteit van de os en de jaarlijkse aanvoer van verse os van belang is. Recente wetenschappelijke inzichten wijzen erop dat niet alleen het gehalte maar ook de kwaliteit van os belangrijk is voor opbouw van de bodemstructuur. Met name het bodemeiwit glomaline, een product van mycorrhizaschimmels, zou een zeer sterke invloed hebben op de vorming en stabiliteit van de aggregaten. Metingen aan glomaline bleken nog niet robuust genoeg voor betrouwbare metingen. De relatie tussen glomaline en bodemstructuur kon in dit onderzoek derhalve niet worden gevalideerd. Het vergelijkend grondonderzoek laat geen duidelijk waarneembaar verschil in os-gehalten zien tussen bedrijven die organische mest opbrengen of groenbemesters verbouwen en bedrijven die dat niet doen. Dit is waarschijnlijk te wijten aan het lage os-gehalte van de gebruikte mestsoorten en groenbemesters. Aanknopingspunten voor het verbeteren van de bodemstructuur zijn:

- verhoging van het os-gehalte door gebruik van organische meststoffen, achterlaten gewasresten en telen groenbemesters;
- grondbewerking minimaliseren om bodemleven zo min mogelijk te verstoren;
- bouwplan aanpassen met hoger aandeel gewassen die veel os leveren en intensief en/of diep wortelen), minder gewassen waarbij de bodem verstoord wordt bij oogsten; en
- eventueel: in bouwplan sturen op gewassen die verbinding aangaan met mycorrhizaschimmels om zo het gehalte glomaline omhoog te brengen.

Bij terugkoppeling naar de deelnemende akkerbouwers gaven dezen aan het belang van os voor een goede bodemstructuur en bodemkwaliteit in te zien. Maatregelen die gericht zijn op de aanvoer van os en het in stand houden van het gehalte os-gehalte zijn echter vaak moeilijk in te passen op het bedrijf. Problemen zijn gelegen op financieel gebied (binnen gewasrotatie wordt de keuze voor gewassen sterk bepaald door financieel saldo en inkomen), de inpassing in bedrijfsvoering (groenbemesters zijn niet altijd mogelijk na late oogst, kunnen problemen veroorzaken door opslag en aaltjes), regelgeving (aanvoer van organische mest is vaak gebonden aan de gebruiksnormen N en P), hogere kosten en kwaliteit compost en rundermest in vergelijking met dunne varkensmest.

Effecten van maatregelen

Door het opstellen van CaO- en eos-balansen kan op eenvoudige wijze inzichtelijk worden gemaakt dat een aangepaste bedrijfsvoering leidt tot een sterk verminderde afvoer van CaO en een verhoogde aanvoer van eos. Het blijkt dus goed mogelijk om te sturen op de bodemchemische en bodembioologische aspecten die van direct belang zijn voor een daadwerkelijke verbetering en behoud van de bodemstructuur.

Door teeltmaatregelen te optimaliseren op CaO kan de totale afvoer van CaO sterk verminderen, van -390 kg CaO ha⁻¹ bij standaard bedrijfsvoering tot -2 kg CaO ha⁻¹ bij aangepaste teeltmaatregelen. Tegelijk wordt de aanvoer van eos verhoogd met ongeveer 1.750 kg eos ha⁻¹, van 8.67 kg eos bij standaard bedrijfsvoering tot 2.623 kg eos bij aangepaste teeltmaatregelen.

Door bij bemesting rekening te houden met het CaO-gehalte van de NP(K) meststoffen en organische meststoffen kan de CaO-aanvoer worden verhoogd van 70 kg CaO bij standaard bedrijfsvoering tot 273

kg CaO, ofwel een verhoging van ruim 200 kg CaO ha⁻¹. De aanvoer van eos gaat hierbij omhoog van 217 tot 830 kg eos ha⁻¹, een verhoging van ruim 630 kg eos. De keuze van de organische meststoffen werd hierbij bepaald door het CaO-gehalte. Bij de keuze voor andere meststoffen zoals bijvoorbeeld vaste rundermest of compost zou de aanvoer van eos (bij vergelijkbare aanvoer N en P) nog hoger kunnen zijn.

De teelt van een groenbemester vermindert het neerslagoverschot via gewasverdamping, waardoor de uitspoeling met maximaal 150 kg CaO kan verminderen, van 420 kg CaO bij herfstbraak tot 250 kg CaO ha⁻¹ bij de geslaagde teelt van een groenbemester. Hierbij moet worden aangemerkt dat de uitkomsten beïnvloed worden door de aannames die bij gebrek aan gegevens wellicht te simpel zijn. Zo wordt er vanuit gegaan dat CaO enkel uit de bouwvoor verdwijnt door uitspoeling bij een neerslagoverschot in het najaar. Daarnaast wordt er vanuit gegaan dat de concentratie van CaO in het neerslagoverschot altijd gelijk is. In werkelijkheid zal de concentratie afhangen van de buffering en nalevering van CaO door de grond. Voor een eerste schatting van de mogelijke effecten volstaat deze aanpak echter. De geslaagde teelt van een groenbemester kan daarnaast 850 kg eos ha⁻¹ leveren.

Achterlaten van gewasresten reduceert de afvoer van CaO met het gewas van 40 kg CaO tot 25 kg CaO, ofwel netto 15 kg CaO ha⁻¹. De bijdrage aan de CaO balans is dus klein. Achterlaten van gewasresten verhoogd wel de eos aanvoer met 455 kg eos ha⁻¹, van 665 tot 1.120 kg eos ha⁻¹.

Fysisch grondonderzoek

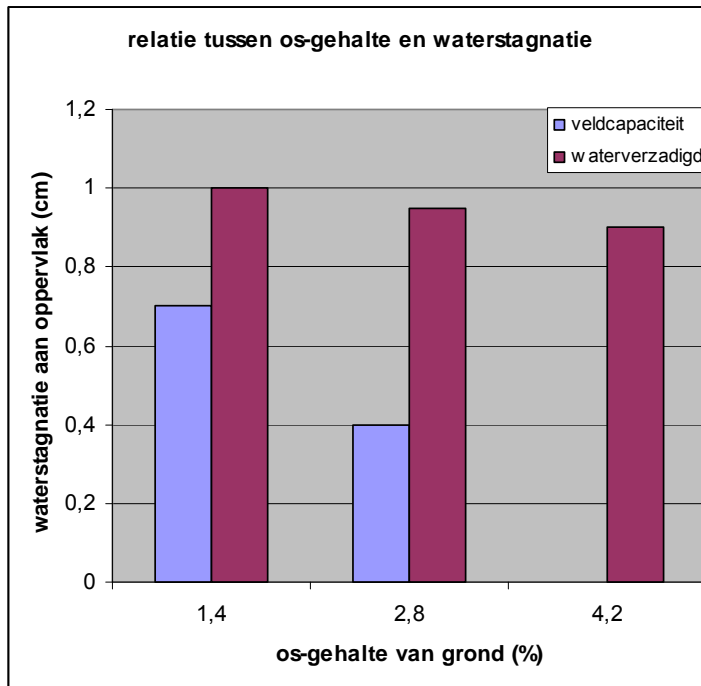
Het vergelijkend grondonderzoek laat zien dat bodemchemische eigenschappen een goede voorspelling geven van de kwaliteit van de bodemstructuur zoals gewaardeerd door de boeren. De resultaten van het grondonderzoek bevestigen daarmee grotendeels de uitkomsten van de bureaustudie. Op twee bedrijven is aanvullend fysisch grondonderzoek uitgevoerd. Fysische kenmerken van bodemstructuur zoals indringingsweerstand en porievolume kwamen niet overeen met de waardering zoals gegeven door de akkerbouwer zelf. Fysische kenmerken geven een momentopname van de actuele bodemstructuur, die beïnvloedt is door voorgaande bodembewerking en weersomstandigheden. Chemische kenmerken bepalen het vermogen van de bodem tot het vormen en in stand houden van goede structuur, en geven derhalve een indruk van de bewerkbaarheid en de moeite die genomen moet worden om de grond klaar te maken voor het gewas.

Infiltratie en nitraatuitspoeling

Organische stof en de kationenbezetting hebben een positieve invloed op de bodemstructuur en het watervasthoudend vermogen van een bodem. Een globale modelberekening laat zien dat de infiltratiecapaciteit verbetert bij meer organische stof (Figuur 1.1).

Een snelle infiltratie van regenwater in de bodem is gewenst om de oppervlakkige afstroming te verminderen. In tegenstelling tot wat vaak nog wordt aangenomen is oppervlakkige afstroming ook in Nederland van grote invloed op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Piekafoeren tijdens regenbuien lijken voor fosfaat en zware metalen een belangrijke transportroute.

Op twee bedrijven zijn grondwatermonsters genomen van een goed en slecht perceel. De hoeveelheid nitraat was lager dan de norm, maar leverde geen eenduidig beeld met betrekking tot verschillen tussen een goed en slecht perceel. Daarvoor zijn veel meer percelen nodig.



Figuur 1.1 Het effect van het os-gehalte op de hoeveelheid water die er na een regenbui (1 cm in een half uur) blijft staan op kleigrond met begintoestand veldcapaciteit (blauw) of waterverzadigd (rood) (afgeleid uit Van den Bosch et al. 2008). Bij een os-gehalte van 4,2 en grond op veldcapaciteit treedt geen waterstagnatie op.

Conclusies:

- op basis van bodemchemische en -biologische eigenschappen is bodemstructuur op kleigronden gericht te sturen:
 - door aandacht voor voldoende Ca-aanvoer met kalkmeststoffen, Ca-houdende meststoffen en/of organische meststoffen;
 - op maat bemesten met Mg, Na en K;
 - teelt van groenbemesters en het achterlaten van oogstresten;
 - gebruik van verzurende meststoffen om de Ca uit schelpresten beter beschikbaar te maken;
 - verhogen organische stofgehalte door gebruik van organische meststoffen, achterlaten gewasresten en telen groenbemesters;
 - minimale grondbewerking om bodemleven zo min mogelijk te verstoren;
 - bouwplan met een hoger aandeel gewassen die veel organische stof achterlaten; en
 - sturen op specifieke gewassen die gunstig zijn voor mycorrhizaschimmels.
- boeren erkennen dit en willen graag aan de slag met teelt- en managementmaatregelen; maar maatregelen moeten inpasbaar zijn in het bedrijfsmanagement, financieel haalbaar zijn en de lange termijn effecten dienen bekend te zijn. Via gerichte voorlichting en aanvullend praktijkonderzoek op praktische inpasbaarheid kunnen deze maatregelen worden uitgerold in de praktijk;
- de beperkte omvang van de nitraatmonitoring leverde geen eenduidige verschillen tussen een goed en slecht perceel op; en
- verdiepend onderzoek is nodig om effecten van bodemchemische en biologische beïnvloeding op de structuur, waterhuishouding en oppervlakkige afspoeling van nutriënten te kwantificeren.

2 Inleiding

2.1 Aanleiding

De kans op vernatting en piekneerslagen door klimaatsveranderingen neemt toe (KNMI, 2006). Het oplossen van daarbij optredende problemen vergt veel inspanning (Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000). Technische oplossingen als het vergroten van de afvoercapaciteit of het creëren van additionele waterberging zijn goed mogelijk, maar duur. De Commissie Waterbeheer 21^e eeuw pleit ervoor eerst optimaal gebruik te maken van het vasthouden van water in de bodem en van flexibel peilbeheer, voordat grootschalige technische middelen worden ingezet. Daarnaast zal de Kaderrichtlijn Water (KRW) extra inspanningen vergen om aan doelstellingen voor de waterkwaliteit te voldoen. Dit vereist aandacht voor het beheer van gronden en het verbeteren van de bodemstructuur. De bodemstructuur is een bepalende factor voor de afvoercharacteristiek en het watervasthoudend vermogen van de bodem. Vooral in akkerbouwgebieden met zeeklei is de bodemstructuur veelal slecht. Vanuit het bodemchemisch en bodembiologisch gedrag van de bodem zijn er gerichte aangrijpingspunten om te sturen op een verbetering van de bodemstructuur (tot nu toe is er vooral veel aandacht gegeven aan maatregelen die ingrijpen op de bodemfysische eigenschappen zoals de grondbewerking en berijding).

De benadering van sturen op het bodemchemisch en -biologisch gedrag van de bodem is nieuw. NMI heeft daarom samen met de Sectie Bodemkwaliteit van Wageningen Universiteit in eerste instantie een oriënterend onderzoek opgezet. Op basis van de huidige kennis wordt verkend wat de mogelijkheden zijn om recente bodemchemische en -biologische kennis in te zetten in het bedrijfsmanagement om de bodemstructuur op zeekleigrond te verbeteren. Op basis van deze bevindingen kan gericht verdiepend vervolgonderzoek worden opgepakt.

Het oriënterende onderzoek is gesponsord door Waterschap Hollandse Delta, Hoogheemraadschap van Rijnland, LTO-Noord en Waterschap Noorderzijlvest.

2.2 Doel oriënterend onderzoek

Het identificeren van kennislacunes en oplossingsrichtingen voor het structuurprobleem op zeeklei. Dit bepaalt de aanpak voor de korte en de langere termijn en levert eerste bruikbare sturingsinstrumenten voor de praktijk die bijdragen aan een blijvend betere bodemstructuur met als resultaat:

- een doelmatig en kosteneffectief water(kwaliteits)beheer (betere sponswerking, minder piekafvoeren door voorkoming van verslamping, meer mogelijkheden tot peilvariatie) en
- kosteneffectieve en hoogwaardige productie van akkerbouwgewassen.

2.3 Verwacht resultaat praktijkonderzoek

- Verkenning bodemstructuurverschillen binnen en tussen bedrijven en in hoeverre deze te relateren zijn aan bodemparameters gemeten via grondonderzoek, perceelshistorie en bedrijfsvoering.
- Vaststellen van nieuwe oplossingsrichtingen vanuit bodemchemie en -biologie om de bodemstructuur blijvend te verbeteren (verslag literatuurstudie).
- Eerste praktisch uitvoerbare maatregelen op de akker om de bodemstructuur te verbeteren (telershandleiding) en de mate van acceptatie hiervan door de praktijk.
- Een globale indicatie van de effecten op waterkwaliteit en waterkwantiteitsbeheer
- Vaststelling van knelpunten in kennis, op regionaal schaalniveau, van de relatie tussen bodemstructuur en water(kwaliteits)beheer. Daarmee wordt inzichtelijk in welke mate verdiepend onderzoek nodig is om maatwerk te leveren en effecten beter te kunnen kwantificeren.

3 Uitvoering en opzet

3.1 Opzet en afbakening

Via monitoring op praktijkpercelen plus het vastleggen van de perceelshistorie, een beknopte deskstudie en eenvoudige modelberekeningen wordt de problematiek omtrent bodemstructuur en mogelijk eerste oplossingsrichtingen vanuit de bodemchemie en -biologie voor de praktijk in kaart gebracht.

Effecten van grondbewerking op bodemstructuur zijn in dit project buiten beschouwing gelaten. Verdiepend onderzoek vindt niet plaats binnen dit project. Wel zullen aanbevelingen voor verder onderzoek worden aangegeven.

3.2 Bedrijven en activiteiten

Via LTO Noord en IRS zijn 23 akkerbouwers op zeeleiggronden langs de Nederlandse kust geworven voor deelname aan het vergelijkend grondonderzoek en enquête. Er zijn regio's gekozen waarvan nu al bekend is dat de wateropgave- en waterkwaliteitsdoelstellingen moeilijk te realiseren zullen zijn. Rekening is gehouden met de voorkeursregio van de "regionale opdrachtgever" (provincies en waterschappen die geïnteresseerd zijn in de studie). Waar mogelijk is aangesloten bij bestaande projecten.

Van elk bedrijf is in overleg met de boer het beste en het slechtste perceel met betrekking tot structuur geselecteerd. Via enquêtes (Bijlage 3) is nagegaan of verschillen in waardering gekoppeld zijn aan verschillen in historie van landgebruik en management. Via gericht grondonderzoek wordt onderzocht of de waardering van de boer ook tot uiting komt in chemische en fysische eigenschappen. In de enquêtes zijn de waardering van de boer voor de percelen, enkele bepalende structureigenschappen (drainage, periode van bewerking, verkruielbaarheid), het management en het bouwplan van de afgelopen jaren en de bemesting (globaal) van deze percelen gedocumenteerd.

In de winter 2006/2007 is gericht grondonderzoek uitgevoerd op het "beste" en "slechtste" perceel. De analyses hebben onder andere betrekking op kationenuitwisselingscapaciteit (CEC), de CEC-bezetting, gehalte aan koolzure kalk (zeeschelpresten) en algemene bodemvruchtbaarheid (zoals P-toestand), het os-gehalte, het glomalinegehalte en enkele bodemfysische bepalingen. De verkregen gegevens zijn geanalyseerd en waar mogelijk gekoppeld aan de gegevens uit de enquête. Hiermee ontstaat een beeld over welke metingen de beste voorspelling geven van de waardering van de bodemstructuur.

Uitgaande van eenzelfde uitgangssituatie ten aanzien van bodem binnen een bedrijf kunnen verschillen tussen de percelen ten aanzien van de bodemstructuur gerelateerd worden aan bodemparameters, perceelshistorie en bedrijfsvoering.

Op een beperkt aantal locaties is de oppervlaktewaterkwaliteit gemeten en is een kort bodemfysisch onderzoek gedaan.

3.3 Bureaustudie en telershandleiding

Middels een korte bureaustudie is ingegaan op de opbouw van een goede bodemstructuur en in hoeverre bepalende bodemchemische en bodembiologische eigenschappen te beïnvloeden zijn. Dit

leidt tot eerste oplossingsrichtingen en praktische aanbevelingen voor de praktijk die direct toepasbaar zijn. De bevindingen zijn vastgelegd in het rapport.

Aan de hand van de uitkomsten van de literatuurstudie, een enquête en het grondonderzoek is een telershandleiding opgesteld waarin kort beschreven is hoe de bodemchemie en –biologie ingrijpt op de structuur van kleigronden en welke maatregelen de boer op de akker kan nemen om de structuur daadwerkelijk te verbeteren. De telershandleiding is in Hoofdstuk 5 opgenomen en kan ingedikt worden uitgebracht in de vorm van een handzaam voorlichtingsinstrument.

3.4 *Terugkoppeling naar de praktijk*

In een bijeenkomst met deelnemende boeren in Reeuwijk op 14 mei 2008 zijn de resultaten van de enquête en het grondonderzoek gepresenteerd. Aansluitend zijn aan de hand van een vragenlijst in kleine groepjes de uitvoerbaarheid en toepasbaarheid van de aanbevelingen voor praktijkmaatregelen bediscussieerd. Ook werd de bereidheid om bepaalde teeltmaatregelen toe te passen op het eigen bedrijf gepeild. De uitkomsten zijn verwerkt in de eindversie van het rapport.

4 Bodemchemische en bodembioologische aspecten van bodemstructuur

4.1 Samenvatting

Een goede bodemstructuur wordt gekenmerkt door een kruimelstructuur gevormd door stabiele bodemaggregaten. De stabiliteit van de bodemaggregaten wordt bepaald door de onderlinge binding tussen de bodemdeeltjes waaruit de aggregaten zijn opgebouwd. Deze binding wordt bepaald door bodemchemische en bodembioologische kenmerken en is deels te sturen.

Het bodemchemische gedrag van klei wordt bepaald door verschillende aspecten:

- afstoting- en aantrekkingskrachten tussen de deeltjes;
- concentraties en onderlinge verhouding van de kationen (vooral Ca, Mg, K en Na);
- het type klei; en
- aanwezigheid van kalk.

Aantrekkings- en afstotingskrachten tussen de kleideeltjes zijn een bepalende factor voor de opbouw en stabiliteit van de bodemstructuur. Kleideeltjes zijn negatief geladen en stoten elkaar in principe af. Bij bevochtigen zorgt dit ervoor dat de deeltjes vervloeien of in oplossing gaan, wat leidt tot structuurverval, met verslumping en verdichting tot gevolg. In de bodemoplossing zijn echter ook altijd kationen (positief geladen deeltjes, met name Ca, Mg, K en Na) aanwezig. De kationen binden zich aan de kleideeltjes en heffen zo de afstotende krachten tussen de kleideeltjes op. Ca (en in mindere mate Mg) is in staat de kleideeltjes (en humus) onderling te binden, wat leidt tot de vorming van de micro-aggregaten die de basis vormen voor een stabiele kruimelstructuur. Na en K hebben maar een beperkte bindingscapaciteit, waardoor er weinig aggregaatvorming plaatsheeft en er een dichte compacte structuur ontstaat. De concentraties waarbij de kationen de afstotende krachten tussen de kleideeltjes overwinnen is per kation verschillend en neemt toe in de volgorde $Ca > Mg > K > Na$.

Kleideeltjes trekken naast kationen ook water aan. Het water zal grotendeels tussen de kleideeltjes in de aggregaten gaan zitten waardoor het samenbindend effect van de kationen kleiner wordt. Dit heeft zwel tot gevolg. Hierbij worden de aggregaten uit elkaar gedrukt. De mate van zwel wordt beïnvloed door het type kleimineraal en door het type kation wat aan oppervlakte gebonden is. Ook hier geldt weer dat een hoge bezetting van de klei met Ca minder zwel geeft, en dus minder structuurverval.

De capaciteit van kleideeltjes (en humusdeeltjes, tezamen het klei-humus-complex) om kationen te binden is de CEC. Voor goede stabiele structuur is het belangrijk dat het aandeel van Ca aan de CEC hoog is. Het aandeel Ca wordt enerzijds bepaald door de concentratie van Ca in de bodemoplossing. Anderzijds kan Ca aan de CEC verdrongen worden door de kationen Mg, K en Na. Daardoor is ook de verhouding van de concentratie Ca tot de concentratie K, Mg en Na van belang.

Kleigronden bevatten vaak zeeschelpresten waaruit Ca vrij komt. In de loop der tijd lijkt de oplosbaarheid van schelpresten echter af te nemen. Ook gaat er Ca verloren door uitspoeling en afvoer met het gewas. Aanknopingspunten voor het verbeteren van de bodemstructuur zijn daarom maatregelen die zich richten op een verhoging van het gehalte aan Ca en de verhoging van het aandeel Ca in verhouding tot het aandeel K, Mg en Na, zoals:

- toedienen van Ca met kalkmeststoffen, Ca-houdende meststoffen en organische meststoffen;
- vermijden van verdringing van Ca aan de CEC door gericht toedienen van Mg, K en Na;
- verminderen van de Ca verliezen door uitspoeling en afvoer; en
- verzurende maatregelen kunnen de nalevering van Ca uit schelpresten verhogen.

Bij de invloed van de bodembioïologie op de bodemstructuur spelen er drie aspecten een rol:

- de os;
- het bodemleven; en
- de wortels.

Organische stof (os) kan water opnemen en zo de sponswerking van de grond verhogen. Organische stof beïnvloedt daarnaast de bodemstructuur via de aggregaatvorming en -stabiliteit. De werking van de os en de verschillen in kwaliteit (type) os zijn ook belangrijke aspecten. De kennis over de binding van os aan de minerale delen van de bodem is de laatste jaren sterk toegenomen. Verteerde os (humus) heeft een negatieve lading en een lage afbraaksnelheid. Samen met de eveneens negatief geladen kleideeltjes wordt het door de kationen aaneengebonden tot micro-aggregaten. Relatief jonge os afkomstig van plantenresten of organische meststoffen wordt grotendeels makkelijk afgebroken en dient als voedsel voor het bodemleven. Het stimuleert daardoor de activiteit van het bodemleven. Bij de afbraak van os door het bodemleven (vooral schimmels en bacteriën) worden er stoffen uitgescheiden die bodemdeeltjes en micro-aggregaten aan elkaar katten tot macro-aggregaten. Recentelijk is er veel aandacht geweest voor glomaline, een bodemeiwit dat werkt als een soort supergom en dat wordt uitgescheiden door mycorrhizaschimmels. Schimmeldraden en fijne wortels houden de kluitjes bijeen. Wortels hebben daarnaast een positief effect op de bodemstructuur door het uitscheiden van stoffen waar het bodemleven zich op voedt en doordat de wortels zelf na afsterven als voedsel dienen voor het bodemleven. Diepe penwortels kunnen de ondergrond goed indringen en zo de porositeit bevorderen. Kleine bodemdieren bevorderen de structuur door het graven van gangen en holletjes en het mengen van os met de minerale bodemdeeltjes.

Aanknopingspunten voor het verbeteren van de bodemstructuur zijn:

- verhoging van het os-gehalte door gebruik van organische meststoffen, achterlaten gewasresten en telen groenbemesters;
- grondbewerking minimaliseren om bodemleven zo min mogelijk te verstoren;
- bouwplan aanpassen met hoger aandeel gewassen die veel os leveren en intensief en diep wortelen), minder gewassen waarbij de bodem verstoord wordt bij oogsten; en
- in bouwplan sturen op gewassen die verbinding aangaan met mycorrhizaschimmels en zo het gehalte glomaline omhoog brengen.

4.2 Wat is goede bodemstructuur?

Het vasthouden van water in de bodem en de afvoercharacteristiek wordt voor een belangrijk deel bepaald door de bodemstructuur. Een goede bodemstructuur kenmerkt zich door een kruimelstructuur gevormd door stabiele bodemaggregaten (Figuur 4.1). Stabiele bodemaggregaten (zie onder) zijn opgebouwd uit een combinatie van minerale bodemdeeltjes en os. Tussen en in de bodemaggregaten zijn kleine en grote poriën aanwezig. De grote poriën zorgen voor een snelle toetreding van water en lucht in de bodem en voor drainage naar diepere bodemlagen. Een goed gedraineerde grond warmt sneller op, waardoor het groeiseizoen eerder begint. De kleine poriën houden het water vast en zorgen zo voor een goede vochtvoorziening van het gewas. Bij een goede bodemstructuur kunnen de wortels de hele bodemlaag intensief en homogeen bewortelen, waardoor een betere benutting van nutriënten zoals fosfaat en water mogelijk is. Een goede bodemstructuur is dus van belang voor een goede en vroege groei van het gewas. Daarnaast is een goede structuur essentieel voor de draagkracht en bewerkbaarheid van de bodem.



Figuur 4.1. Grond met kruimelstructuur.



Figuur 4.2. Bodemoppervlak met slemkorst.

Problematiek

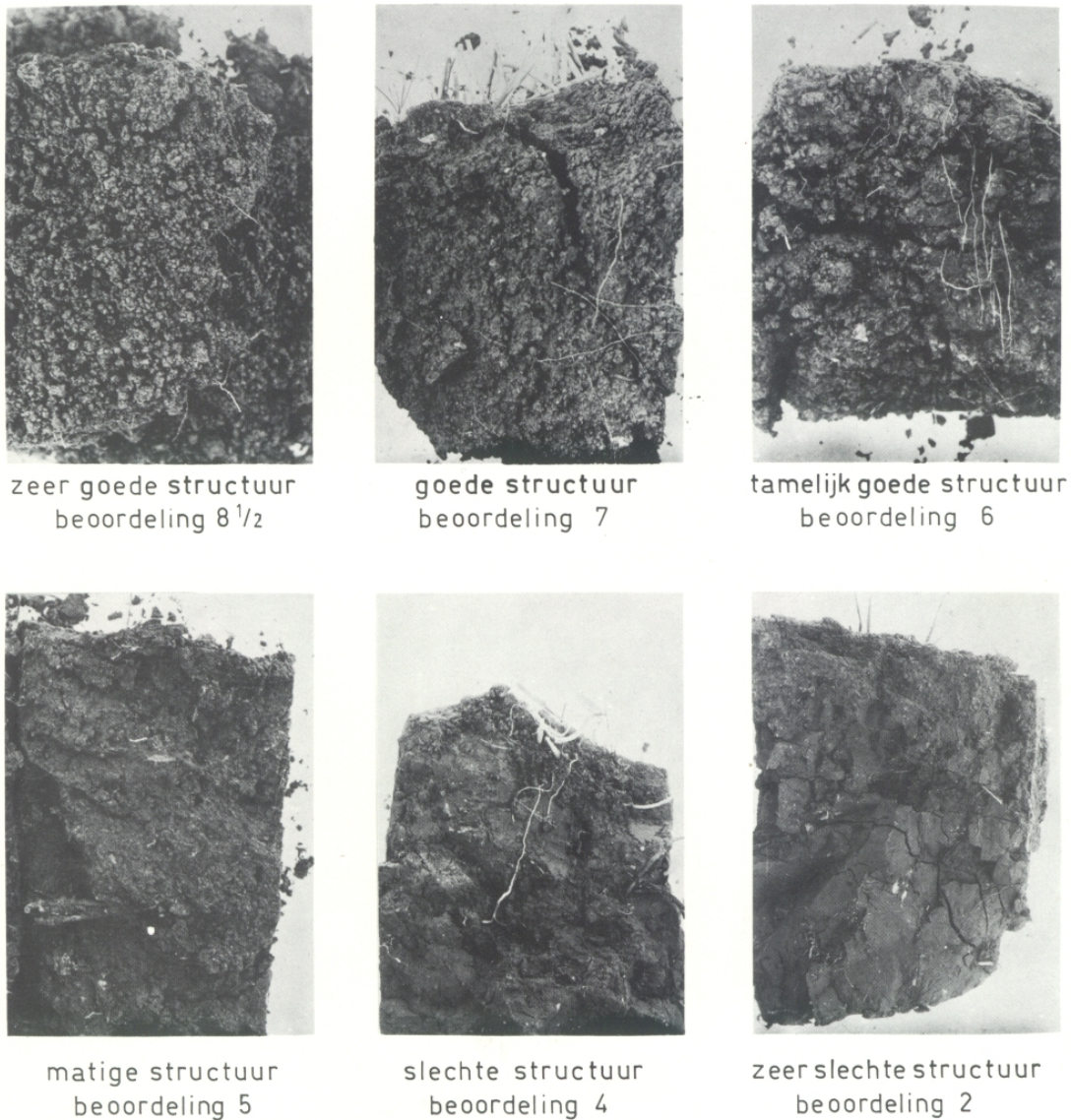
In lage gebieden langs de Nederlandse kust zijn overwegend zeeleigronde aanwezig. De structuur van zeelei is vooral bij akkerbouwgebruik veelal slecht. Voor een groot deel is dit terug te voeren op een slechte aggregaatstabiliteit. Daardoor vallen bodemaggregaten snel uiteen onder natte omstandigheden en bij hoge waterpeilen. De kans op verdichting en verslemping (het dichtslaan aan het oppervlak: Figuur 4.2) van de grond neemt daarmee toe. Bij een dichte pakking zijn er weinig poriën waarin het water de grond in kan zakken. Daardoor kan de bodem minder water opnemen (als spons fungeren) en vindt er minder watertransport naar diepere lagen plaats. Dit werkt negatief op de drainage en beïnvloedt de gebiedsafvoerfactor. Hogere (piek) afvoeren zijn het gevolg in sommige regio's en er is een verhoogd risico van oppervlakkige afvoer van nutriënten en gronddeeltjes, waardoor de oppervlaktewaterkwaliteit negatief wordt beïnvloed. Bij een dichte pakking hebben de wortels ook meer moeite om het hele profiel goed te doorwortelen. Dit leidt tot een slechtere mineralenbenutting door het gewas en een lagere gewasproductie. Een goede vochttoestand is verder belangrijk voor de grondbewerking. Onder natte omstandigheden gaat klei niet verkrumelen maar versmeren; onder droge omstandigheden kunnen er harde kluiten ontstaan die moeilijk te verkrumelen zijn (Figuur 4.3). Hierdoor is de bewerkbaarheid slecht en zwaar, waardoor er veel trekvermogen nodig is. Bij een slechte structuur is de grond gevoeliger voor berijding met zware machines. Daardoor kan de structuur verder verslechteren en het risico van meer nutriëntentransport naar het oppervlaktewater neemt toe.

Bodemaggregaten

Bodemaggregaten zijn kluitjes van aaneengekitte vaste bodemdeeltjes (klei of zandkorrels) en os. De kleinste aggregaten, de micro-aggregaten (< 0,002 mm), zijn opgebouwd uit kleideeltjes, humus (sterk verteerde os) en kationen (positief geladen deeltjes). Deze micro-aggregaten kitten door de activiteit van het bodemleven en wortels weer aaneen tot grotere macro-aggregaten (0,25 mm) en kluitjes (Tabel 4.1).

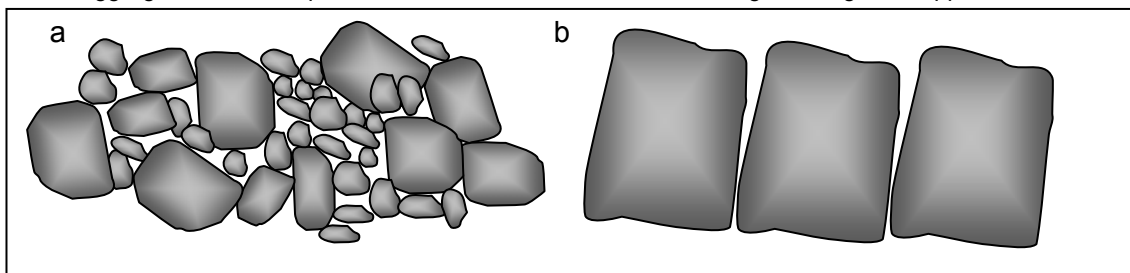
Tabel 4.1 Aggregaten, samenstelling en ontstaanswijze.

| Grootte | omvang, mm | bestaan uit | ontstaan door |
|------------------|------------|---|---|
| micro-aggregaten | < 0,002 | kleideeltjes, os en (meerwaardig positief geladen) kationen | aantrekkingskrachten tussen kleideeltjes, humusdeeltjes en kationen |
| micro-aggregaten | 0,002-0,25 | micro-aggregaten < 0,002 mm | aangekit door uitscheidingsproducten van micro-organismen, vnl. bacteriën |
| macro-aggregaten | > 0,25 | micro-aggregaten | aangekit door uitscheidingsproducten vnl. schimmels en bacteriën |
| kluitjes | > 2 | macroaggregaten | samengehouden door schimmeldraden en fijne wortels |



Figuur 4.3. Structuurbeoordeling van klei (Uit Boekel, 1986).

Door de verschillende groottes van de bodemaggregaten ontstaan er poriën in verschillende groottes tussen en in de aggregaten. Bij een goede structuur zijn de bodemdeeltjes met elkaar verbonden tot stabiele aggregaten (Figuur 4.4). Deze aggregaten blijven intact als de grond bevochtigd wordt. Bij een slechte structuur is er onvoldoende binding tussen de bodemdeeltjes. Door grondbewerking of vorst kunnen er wel kluitjes ontstaan zijn, maar deze vallen uit elkaar als de grond bevochtigd wordt, waarna de klei één dik pak vormt. De binding tussen de bodemdeeltjes, en daarmee dus de stabiliteit van de bodemaggregaten, wordt bepaald door de bodemchemische en -biologische eigenschappen van de bodem.



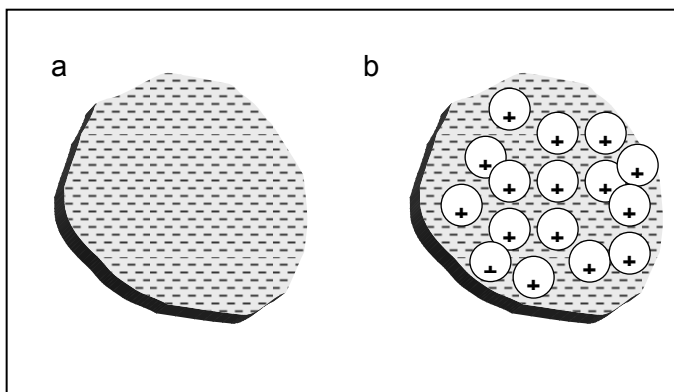
Figuur 4.4. Schematische weergave van het effect van variatie in grootte op de stapeling van bodemaggregaten (a) kruimelige aggregaten met verschillende groottes met poriën van verschillende grootte (b) grofblokkige aggregaten van een één grootte met poriën van constante grootte.

4.3 De bodem is de basis: Meer aandacht voor de bodemchemie

De structuur van de bodem en de aggregaatstabiliteit wordt in belangrijke mate bepaald door de bodemchemische en bodembiochemische eigenschappen van de bodem. Deze eigenschappen beïnvloeden de binding en het kitgedrag van bodemdeeltjes en zijn voor een deel te sturen. Dit geeft aangrijpingspunten voor beheersopties om de bodemstructuur te verbeteren. Deze benadering is nieuw. Tot nu toe is er vooral veel aandacht geweest voor de bodemfysische eigenschappen van de bodem, en het effect van grondbewerking en berijding op de structuur. Dat levert echter geen bijdrage aan een daadwerkelijke meer duurzame verbetering van de bodemstructuur. In de navolgende hoofdstukken worden de bodemchemische en bodembiochemische aspecten die de structuur van de bodem bepalen verder verklaard. Hieruit volgen een aantal beheersmaatregelen die op de percelen zelf genomen kunnen worden om de structuur te verbeteren.

Bodemchemisch gedrag van kleideeltjes

De bodemstructuur wordt in sterke mate bepaald door het bodemchemische gedrag. Hierbij spelen vooral de onderlinge aantrekkings- en afstotingskrachten een rol. Kleideeltjes zijn opgebouwd uit dunne platte plaatjes, en zijn aan de buitenste plaatkant negatief geladen. Door hun negatieve lading stoten de kleideeltjes elkaar in principe af. Als klei bevochtigd wordt glijden de deeltjes daardoor langs elkaar. Als er nog meer vocht toegevoegd wordt lossen de kleiplaatjes als het ware op en gaan zweven in het water (vervloeien of dispersie), dit geeft structuurverval: er ontstaat blubber. In de bodemoplossing zijn echter altijd opgeloste deeltjes aanwezig. De negatieve lading van kleideeltjes trekt positief geladen deeltjes (kationen, met name Ca, Mg, K, Na) uit de bodemoplossing aan. Door de binding van de kationen aan de kleideeltjes wordt de negatieve lading afgeschermd (Figuur 4.5). Bij voldoende afscherming stoten de kleideeltjes elkaar niet meer af en zullen zich gaan verenigen ("uitvlokken") en neerslaan. De kationen verlenen klei dus samenhang onder vochtige omstandigheden. Bij hoge concentraties kationen behoudt klei onder natte omstandigheden langer samenhang dan bij lage concentraties.



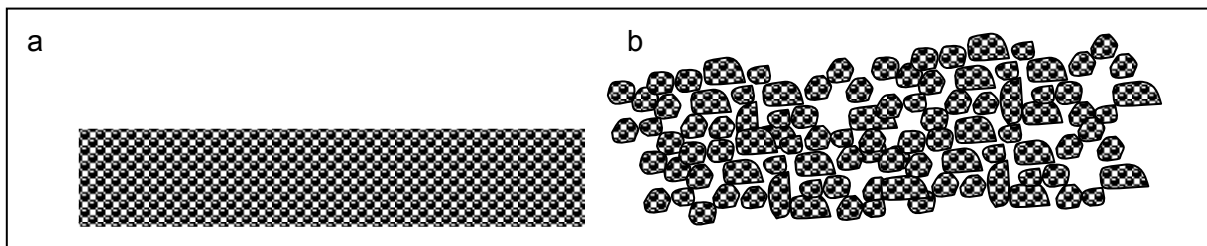
Figuur 4.5. Schematische weergave van kleideeltjes met negatieve lading aan plaatkant (a) en afscherming met positief geladen kationen (b).

Rol van kationen (Ca, Mg, K en Na)

Kationen zijn verschillend effectief in het afschermen van de negatieve ladingen en in het aan elkaar binden van de kleideeltjes. Hoe dichter kationen de kleideeltjes kunnen naderen, hoe beter zij de negatieve lading af kunnen schermen (zie ook uitleg CEC op pag. 19). Kationen met een meervoudige lading (zoals Ca^{2+} en Mg^{2+}) worden sterker aangetrokken en zullen de kleideeltjes beter afschermen dan kationen met een enkele lading (zoals Na^+ en K^+). Naast de lading is ook de omvang van de kationen belangrijk. Calcium (in water) is een kleiner kation dan Mg, waardoor het dichterbij de oppervlakte van de kleideeltjes kan komen en de negatieve lading beter afschermt. De volgorde van naderen en

afschermen van de kleideeltjes is $Ca > Mg > K > Na$. Dat betekent dat er van Ca lagere hoeveelheden nodig zijn om klei uit te laten vlokken dan van Mg, en dat K en Na pas bij zeer hoge concentraties uitvloeking geven. Bij een flinke regenbui gaan de concentraties in de bodemoplossing (tijdelijk) omlaag. In het geval er vooral Na gebonden is wordt de concentratie dan al snel te laag om de kleideeltjes afdoende af te schermen, waardoor de kleideeltjes weer in oplossing gaan (vervloeien). In geval er vooral Ca aan de CEC gebonden is behoudt de klei ook bij hoge vochtigheid haar samenhang.

Het type kation is daarnaast belangrijk voor de wijze waarop de kleideeltjes met elkaar samenhangen en daarmee voor de structuur. Kleibodems met veel Ca hebben een stabiele kruimelige structuur, terwijl bodems met veel Na en K een dichte structuur hebben die gemakkelijk vervloeit (structuurverval). Kationen met een meervoudige lading (zoals Ca en in mindere mate Mg) kunnen als brug tussen meerdere klei- en humus deeltjes fungeren, die zij zo met elkaar verbinden tot micro-aggregaten. (Ook os (humus) kan een negatieve lading hebben.) Deze micro-aggregaten vormen de bouwstenen voor de grotere micro –en macro-aggregaten en kruimels, waardoor er een lichte pakking ontstaat die een goede structuur oplevert. Na en K hebben niet zo'n stabiele brugfunctie, en geven dus geen aggregaatvorming. Hierdoor ontstaat een dichte pakking van deeltjes, met een slechte dichte structuur (zie Figuur 4.6).



Figuur 4.6. Schematische weergave van (a) stapeling kleideeltjes zonder aggregaatvorming en (b) stapeling kleideeltjes met aggregaatvorming.

Zwel

Kleideeltjes zullen ook water aantrekken, wat zwel kan veroorzaken. De zwel kan daarbij optreden *in* de kleideeltjes of *tussen* de kleideeltjes. Kleideeltjes bestaan zelf uit meerdere hele dunne laagjes, waar water tussen kan gaan zitten. De kleideeltjes zwellen dan op (intrakristallijne zwel). Daarnaast wordt water geabsorbeerd aan de buitenkant van de kleideeltjes, waardoor de afstand *tussen* de kleideeltjes groter wordt (osmotische zwel). Alle kleimineralen vertonen in meer of mindere mate zwelgedrag onder natte omstandigheden. Bij sterke zwel vormt de klei een dik pak, waarbij de aggregaten uiteengedrukt worden en de poriën verdwijnen. Regenwater zal daardoor snel over de oppervlakte afstromen. Bij opdrogen krimpt de klei weer, waarbij er scheuren en poriën kunnen ontstaan.

De mate van zwel en krimp wordt bepaald door het type klei. Kleibodems met een hoog gehalte aan smectiet (montmorilloniet) kunnen veel water absorberen en extreem zwellen. Kaoliniet en illiet absorberen minder water en vertonen minder extreem zwelgedrag. In Nederland speelt zwel en krimp een belangrijke rol. Zeeklei bestaat voor een groot deel uit illiet.

Het zwelgedrag van klei wordt daarbij ook weer sterk beïnvloedt door het type kation waarmee de CEC bezet is. Klei met veel Na-ionen vertoont veel zwel- en krimpgedrag. Klei met veel Ca-ionen en hoge aggregaatstabiliteit vertoont dit veel minder. Bij veel Ca en goede aggregaatstabiliteit worden de kluitjes dus minder snel uit elkaar gedrukt en zal de waterdoorlatendheid veel minder afnemen. Ook organische

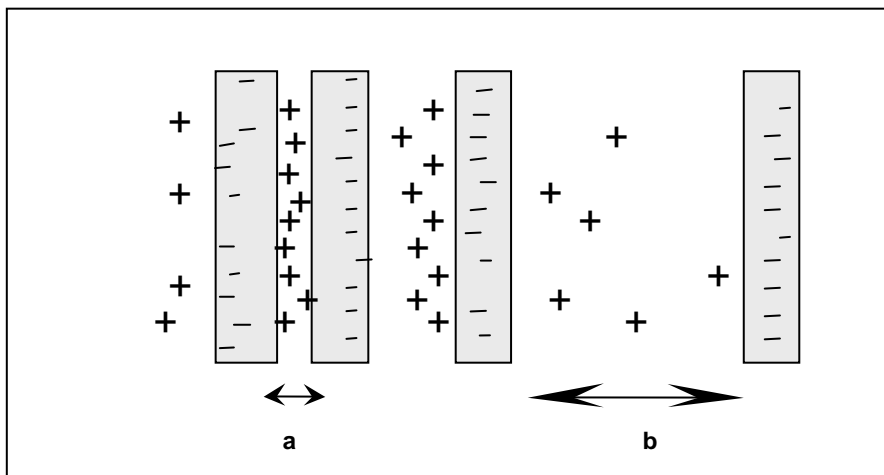
stof kan zweelgedrag vertonen, wat afhangt van soortgelijke factoren als bij klei.

De CEC van klei: verdieping

De capaciteit van bodemdeeltjes (het klei-humus-complex) om kationen te binden wordt de kationen uitwissel capaciteit of CEC (Cation Exchange Capacity) genoemd. "Uitwisselcapaciteit" omdat de kationen niet alleen gebonden maar ook weer uitgewisseld kunnen worden met een ander kationen. De negatieve lading van de klei moet daarbij altijd gecompenseerd worden door een overschot aan kationen. Er is altijd een evenwicht tussen de kationen aan de CEC en de kationen in oplossing. Dit evenwicht bepaald hoe dik de afschermingszone ("diffuse dubbellaag") is die de kationen om de kleiplaatjes vormen. Dit evenwicht wordt bepaald door:

- de negatieve lading van het kleideeltje;
- de concentratie van kationen in de oplossing; en
- de lading en de omvang van de kationen in de oplossing.

De negatieve lading van het kleideeltjes veroorzaakt een sterke of minder sterke trek aan de kationen naar de kleideeltjes toe. Bij de oppervlakte van het kleiplaatje ontstaat zo een hoge concentratie aan kationen, aangetrokken door de negatieve lading van het kleideeltje. De kationen schermen de kleideeltjes af en zorgen ervoor dat het hele systeem elektrisch neutraal is. Een sterk negatieve lading leidt tot een smalle afschermingszone. Anderzijds hebben de kationen de neiging zich zo evenwichtig mogelijk over de hele bodemoplossing te verspreiden ("maximale entropie"). Dit geeft een trek aan de kationen van het kleiplaatje af. Deze trek is sterker als de kationconcentratie van kation in de bodemoplossing laag is. Bij een lage concentratie kationen in de bodemoplossing is de afschermingszone (ook wel "diffuse dubbellaag" genoemd) dan ook uitgestrekter dan bij een hoge concentratie (Figuur 4.7).



Figuur 4.7. Het effect van een hoge (a) of lage (b) concentratie kationen in de bodemoplossing op de dikte van de afschermingszone en de afstand tussen de kleideeltjes.

Kationen met een meervoudige lading (Ca^{2+} , Mg^{2+}) worden sterker aangetrokken dan kationen met een enkele lading (K^+ , Na^+), waardoor zij het kleioppervlakte dichter naderen. Ca is daarnaast kleiner dan Mg, waardoor dit ion het kleioppervlak dichter kan naderen. Kationen met een hogere positieve lading en een kleine omvang resulteren in een smallere afschermingszone dan kationen met een enkele lading en een grotere omvang. Een smalle afschermingszone ("weinig uitgestrekte diffuse dubbellaag") is belangrijk voor een goede structuur. Bij een smalle afschermingszone gaan de kleideeltjes onder natte omstandigheden eerder uitvlokken en neerslaan. Daarnaast zijn de verbindingen tussen kleiplaatjes,

kationen en humus(os) stabiel als de afschermingszone smal is.

De kationen kunnen elkaar ook verdringen aan de CEC. Het aandeel van een type kation aan de CEC wordt enerzijds bepaald door de relatieve concentraties van elk kation in de bodemoplossing en anderzijds door de lading en omvang van het kation. Hoe hoger het aandeel van een kation in de bodemoplossing ten opzichte van het aandeel van andere kationen, hoe hoger ook het aandeel aan de CEC. Ca en Mg zijn tweewaardig positief, en worden daardoor sterker aangetrokken dan eenwaardige Na en K. Bij gelijke concentraties in de bodemoplossing zullen er dus hogere concentraties Ca en Mg aan het CEC zijn dan van K en Na. Ca heeft daarbij een kleinere omvang dan Mg, waardoor het sterker aangetrokken wordt. Bij gelijke concentraties in de bodemoplossing is de concentratie Ca aan de CEC dus hoger dan van Mg.

De Ca-balans en de rol van kalk

De uitwisseling van kationen tussen kleiplaatje en bodemoplossing en de onderlinge verdringing van kationen geeft aangrijpingspunten voor een gerichte verbetering van de structuur. Door de concentratie Ca in de bodemoplossing te verhogen wordt het aandeel Ca aan het CEC verhoogd en daarmee de structuur verbeterd. Hoge concentraties van Mg, K en Na daarentegen zullen Ca van de CEC verdringen, wat een negatieve invloed op de structuur heeft.

Ook natuurlijke processen beïnvloeden de bezetting aan de CEC. Bij een neerslagoverschot worden kationen, waaronder Ca, met het water afgevoerd ofwel uitgespoeld, waardoor de totale concentratie van de opgeloste ionen wordt verlaagd. De afscherming van de kleiplaatjes vermindert hierdoor. Ook een groeiend gewas onttrekt kationen uit de bodemoplossing. De wortels nemen daarbij selectief bepaalde kationen op, en veranderen zo de onderlinge concentraties in de bodemoplossing en aan de CEC. Bij de oogst wordt ook een deel van de Ca die het gewas heeft opgenomen afgevoerd. Deze calcium moet ook weer worden aangevuld (zie voorbeeld).

Voorbeeld van de calciumbalans (op jaarbasis) bij een akkerbouwbedrijf op zeelei.

Gewasrotatie met poot aardappelen (25%), suikerbieten (19%), winter tarwe (19%), zaaieuwen (19%), en winterpeen (19%).

Bemesting met dunne varkensmest, dunne kippenmest, KAS, chilisalpeteer en K-60.

Afvoer met gewas: $40 \text{ kg CaO ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$

Uitspoeling: $170 \text{ tot } 1000^* \text{ kg CaO ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ (* gebaseerd op daling KZK in Flevoland)

Aanvoer met bemesting: $75 \text{ kg CaO ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$

Duidelijk is dat het verlies aan Ca door uitspoeling en afvoer met gewas hoger is dan de aanvoer door bemesting. Als deze verliezen niet worden aangevuld door verwerking van zeeschelpresten of Ca-aanvoer met meststoffen daalt de Ca-bezetting aan de CEC en verslechtert de structuur.

Een deel van de zeeleigronde is kalkrijk door de aanwezigheid van schelpresten. Deze kalk lost langzaam op. Door deze nalevering blijft de bezetting met Ca aan het klei-humus complex (CEC) op peil. De oplosbaarheid van de Ca in schelpresten lijkt in de loop der tijd sterk afgenomen te zijn, waardoor onvoldoende aanvulling optreedt voor de Ca die uitspoelt en de Ca-bezetting aan het complex daalt. Een optie om deze nalevering te verhogen is het gebruik van zuurwerkende meststoffen of gewassen waardoor meer Ca uit de kalk oplost. Vlinderbloemigen verzuren de bodem eveneens en kunnen daardoor ook meer Ca vrijmaken. Dit zal pas na enkele seizoenen optreden. Ook meststoffen met goed oplosbaar Ca kunnen een bijdrage leveren aan het op peil houden van Ca. Op oude zeelei is geen kalk meer aanwezig. Op deze gronden kan door bekalking en gerichte meststoffenkeuze de Ca-

bezetting op peil worden gehouden.

4.4 De bodem is de basis: Meer aandacht voor de biochemie

Humus, verteerde stabiele os

Humus, de verteerde stabiele os, is onderdeel van de kleinste micro-aggregaten. Humus heeft evenals klei een negatieve lading, waaraan de kationen en andere positief geladen deeltjes gebonden kunnen worden. Het speelt daarmee een belangrijke rol in de onderlinge binding van de bodemdeeltjes en de *aggregaatstabiliteit*. Humus vormt ongeveer 0,5-10% van de bouwvoor. Humus wordt langzaam afgebroken (volgens een grove vuistregel zo'n 2% per jaar). Voor het op peil houden van de humusvoorraad in de bodem moet er dus regelmatig os worden toegevoegd.

Verse labiele os

Verse os speelt een belangrijke rol bij het aaneenkitten van micro-aggregaten tot macro-aggregaten en kluitjes. Het is dus belangrijk voor *aggregaatvorming* en, via het in stand houden van de humusvoorraad, ook voor de *aggregaatstabiliteit*. Het is maar een klein deel van de verse os zelf die bind. Belangrijker zijn de plakkerige uitscheidingsproducten die vrijkomen bij de afbraak van de verse os door het bodemleven. De micro-organismen, met name bacteriën en schimmels, voeden zich op os, dat zij daarbij geleidelijk omzetten. Daarbij worden -naast nutriënten- slijmstoffen uitgescheiden. Deze slijmstoffen (met name de poly-sacchariden) kitten micro-aggregaten en overige bodemdeeltjes aaneen tot macro-aggregaten en kluitjes.

De bijdrage van de verse os op de aggregaatstabiliteit en aggregaatvorming is afhankelijk van de samenstelling of kwaliteit en het tijdstip van toediening.

Makkelijk afbreekbare os wordt snel omgezet. Er is daardoor een vrij snel effect waarneembaar op de aggregaatvorming. Er komen in totaal echter minder uitscheidingsproducten vrij en er wordt minder humus gevormd. Het heeft vooral effect op aggregaatvorming, minder op aggregaatstabiliteit. Makkelijk afbreekbare stof wordt gekenmerkt door een lage C:N ratio, hoog gehalte aan poly-sacchariden en laag gehalte aan lignine en fenolen.

Slecht afbreekbare of recalcitrante verse os wordt langzaam omgezet. Hierbij komen echter in totaal wel meer uitscheidingsproducten vrij. Ook wordt er meer humus gevormd. Het heeft dus een geleidelijk effect op zowel aggregaatvorming als aggregaatstabiliteit. Slecht afbreekbare os wordt gekenmerkt door een hoge C:N ratio, laag gehalte aan poly-sacchariden en hoog gehalte aan lignine en fenolen. Vers organisch materiaal vergroot tevens het poriënvolume. Na afbraak van de os blijft er een porie over. Dit verhoogde poriënvolume zorgt ervoor dat een kluit meer water kan bergen voor hij uit elkaar valt. Voor een goede bodemstructuur is dus zowel een voldoende hoog os-gehalte als een continue aanvoer van vers organisch materiaal van belang.

Glomaline

De laatste jaren is er een toenemende aandacht voor glomaline, een bodemeiwit dat werkt als "supergom" in de bodem en een zeer sterk effect heeft op aggregaatstabiliteit en bodemstructuur. Glomaline wordt gemaakt door mycorrhizaschimmels in hun schimmeldraden. Mycorrhizaschimmels zijn bodemschimmels die een verbinding aangaan met plantenwortels. Niet alle planten vormen een verbinding met mycorrhizaschimmels. Kruisbloemigen (waaronder kool, bladrammenas en mosterd) en de ganzenvoetfamilie (waaronder bieten, boekweit en spinazie) vormen geen verbinding. Door hier in

het bouwplan voor zoveel mogelijk rekening mee te houden kan naar verwachting dus gestuurd worden op een hoger glomaline gehalte en betere bodemstructuur. De schimmels wisselen nutriënten (vooral P) uit tegen suikers van de plant. Als planten ruim voorzien worden van P zullen zij minder verbindingen aangaan met mycorrhizaschimmels. De schimmels hebben de plantenwortels nodig voor hun groei. Als zij geen verbinding aan kunnen gaan zijn er dus geen schimmeldraden en geen glomaline aanmaak.

De rol van het bodemleven

Het bodemleven heeft een zeer grote invloed op de bodemstructuur. De micro-organismen produceren de kitstoffen waarmee de bodemaggregaten bijeengehouden worden. De kleine bodemdierpjes beïnvloeden de porositeit van de bodem direct door het graven van gangen en het mengen van os met de vaste bodemdeeltjes.

Bacteriën zijn vooral actief bij het omzetten van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal. Ook in de nabijheid van wortels komen bacteriën in grote getale voor. Hier voeden zij zich op wortelresten en uitscheidingsproducten. Door hun kleine omvang zijn zij ook aanwezig in de bodemaggregaten, waar zij de poly-sacchariden (kittende os) omzetten in stabielere os, waardoor de aggregaatstabiliteit verbetert. Bacteriën spelen vooral een rol bij de vorming en stabilisatie van micro-aggregaten.

Schimmels domineren in bodems met veel moeilijk afbreekbare os (bijvoorbeeld na stro inwerken). Schimmels spelen een belangrijke rol bij de vorming en stabilisatie van micro- én macro-aggregaten. Schimmeldraden houden daarnaast de bodemdeeltjes en de kleinste bodemaggregaten bijeen tot grotere bodemaggregaten en kluitjes.

Wormen, larven van insecten en andere bodemdierpjes kunnen een positief effect hebben op de aggregaatvorming en -stabiliteit doordat zij grond en os mengen en aaneenkitten in hun spijsverteringskanaal om het vervolgens uit te scheiden. Wormen graven gangen waardoor bodemlagen gemengd worden en os van het oppervlak wordt ingewerkt in diepere lagen. Wormgangen bevorderen infiltratie, beluchting en groei van wortels. Andere bodemdierpjes zoals nematoden, mieren, spinnen en larven kunnen ook poriën creëren welke een vergelijkbaar effect kunnen hebben. Voor een goede bodemstructuur zijn de micro-organismen en de bodemfauna dus onmisbaar. De omvang en de activiteit van het bodemleven kan bevorderd worden door de aanvoer van verse organisch stof en door een minimale verstoring door grondbewerking.

De rol van wortels

Wortels kunnen de bodemstructuur ook sterk beïnvloeden. Fijne wortels houden de macro-aggregaten en kluiten aaneen en leveren daarmee een directe bijdrage aan de kruimeligheid van de bodem. Een intensief en fijnmazig wortelstelsel kan de bodemstructuur verbeteren. Tijdens het groeiseizoen stimuleren wortels het bodemleven door hun worteluitscheidingsproducten en wortelresten. Na de oogst sterven de wortels af en vormen zo direct een voedingsbodem voor afbraak door micro-organismen. Na vertering blijven de wortelgangen als poriën bestaan. Gewassen met diepe penwortels bevorderen zo de infiltratie naar de diepere bodemlagen.

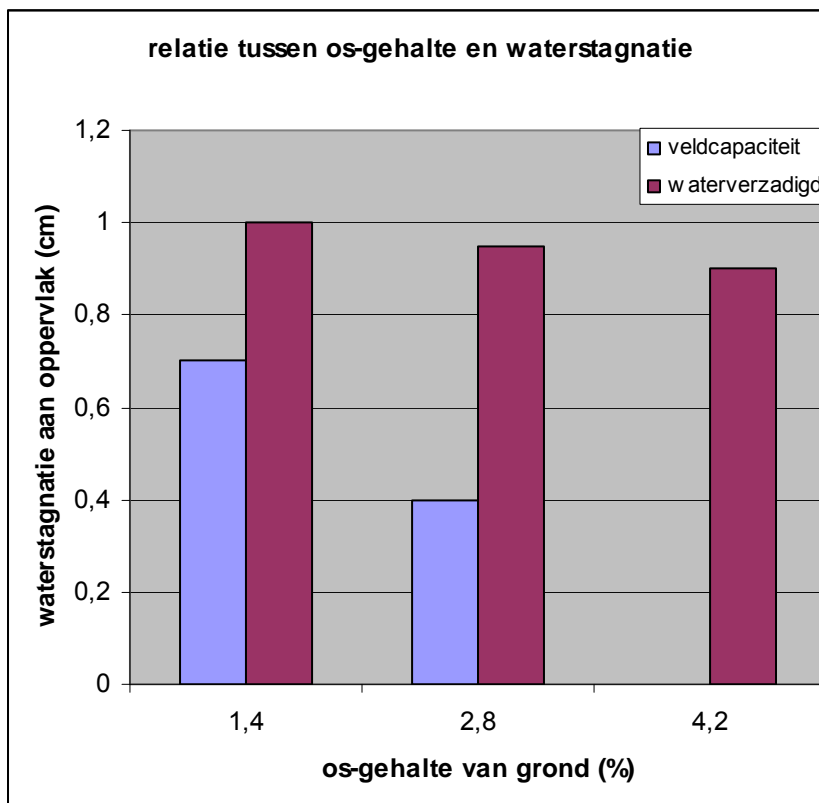
Door bij het bouwplan en groenbemesters rekening te houden met zowel de hoeveelheid wortelmasse als de vorm van de wortels kan een bijdrage aan de bodemstructuur geleverd worden.

4.5 Effect structuur op infiltratie

De rol van os

Organische stof heeft een positieve invloed op de bodemstructuur en het watervasthoudend vermogen van een bodem. Organische stof kan zelf water opnemen. Het vergroot de sponswerking. Hierdoor zal de bodem minder snel vervloeien en zwellen. Daarnaast is os belangrijk voor de aggregaatforming en aggregaatstabiliteit. Bij hoge os-gehalten is de porositeit en de verkruielbaarheid beter, waardoor water en lucht beter de bodem in kunnen dringen. Er is vaak een direct verband tussen het percentage os of organisch koolstof en de aggregaatstabiliteit van een bodem. Een algemeen geldende onder- en bovengrens voor het os-gehalte zijn moeilijk te geven, omdat deze ook afhangen van de specifieke bodem (o.a. kleigehalte en type klei) en de kwaliteit van de os.

Het effect van os-gehalte in op het watervasthoudend vermogen en de infiltratie van regenwater in een kleibodem is schematisch uitgezet in Figuur 4.8. Een verhoging van het os-gehalte van 1,4% tot 4,2% kan de infiltratiecapaciteit van de bodem zo verhogen dat er (afhankelijk van de vochttoestand aan het begin) na een korte heftige regenbui geen water aan de oppervlakte (plassen) blijft staan (achterliggende berekeningen en aannames in Bijlage 5). Een snelle infiltratie van regenwater in de bodem is gewenst om de oppervlakkige afstroming te verminderen. In tegenstelling tot wat vaak nog wordt aangenomen is oppervlakkige afstroming ook in Nederland van grote invloed op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Piekafvoeren tijdens regenbuien lijken voor fosfaat en zware metalen een belangrijke transportroute (Rozemeijer en Van der Velde, 2008).



Figuur 4.8. Het effect van een verhoging van het os-gehalte op de hoeveelheid water die er na een regenbui van 1 cm in een half uur blijft staan op een kleigrond op veldcapaciteit (afgeleid uit Van den Bosch et al., 2008). Bij een os-gehalte van 4,2 en grond op veldcapaciteit treedt geen waterstagnatie op.

5 Maatregelen ter verbetering van de bodemstructuur kleigronden: Naar een Teelthandleiding

5.1 *Samenvatting*

Maatregelen gericht op het verbeteren van de bodemstructuur van klei zullen zich moeten richten op het verbeteren van de binding tussen de kleideeltjes en op de vorming van stabiele bodemaggregaten en poriën. Dit wordt bereikt door

- een verhoging van Ca in de bodemoplossing en daarmee aan het adsorptiecomplex (CEC);
- het verhogen van het os-gehalte;
- het stimuleren van het bodemleven, met name mycorrhizaschimmels; en
- verhoging van aandeel intensief en/of diep wortelende gewassen.

Het bodemchemisch gedrag van de kleideeltjes is de basis voor een stabiele aggregaatvorming. Hierbij speelt vooral het aandeel Ca aan de CEC een rol. Door te zorgen voor voldoende Ca-bezetting aan de kleideeltjes kan er optimaal gebruik worden gemaakt van de onderlinge binding van de kleideeltjes, wat de aggregaatstabiliteit en aggregaatvorming bevordert. Daarnaast vermindert het zwel en krimpgedrag bij een hoge Ca bezetting aan de CEC, waardoor de aggregaten minder snel uiteengedrukt worden. Voor een voldoende hoge Ca bezetting is het enerzijds van belang de concentratie Ca in de bodemoplossing voldoende hoog is. Anderzijds is het belangrijk dat de concentratie van de K, Mg en Na niet te hoog worden; K, Mg en Na verdringen Ca van de bodemdeeltjes, waardoor de structuur snel kan verslechteren. Daarbij kan Mg de kleideeltjes ook wel enigszins verbinden tot aggregaten maar deze verbinding is minder stabiel dan met Ca. K en vooral Na geven echter een dichte pakking van de kleideeltjes en daardoor een slechte structuur. Het opstellen van een Ca-balans is een goed hulpmiddel om inzicht te krijgen in de jaarlijkse afvoer en gewenste aanvoer van Ca.

Os is essentieel voor een goede bodemstructuur. Os is de voedingsstof voor het bodemleven. De activiteit van het bodemleven en de stoffen die uitgescheiden worden bij de afbraak van os zorgen voor een aggregaatvorming en aggregaatstabiliteit en daarmee voor een stabiele kruimelstructuur. Daarnaast kan os zelf water opnemen, waardoor de sponswerking en daarmee het waterbergend vermogen van de grond toeneemt. Bij een hoog percentage os zullen kleigronden zullen minder snel gaan zwellen en vervloeien. Voor een goede bodemstructuur is het dus belangrijk het os niveau in de bodem op peil te houden of zelfs te verhogen. Van de stabiele os in de bodem, de humus, wordt jaarlijks 1,5 tot 4% door de micro-organismen afgebroken. Verse os wordt na toevoegen aan de bodem grotendeels afgebroken. De fractie van de verse os die na één jaar nog aanwezig is in de bodem wordt de effectieve os (eos) genoemd. Door veel effectieve os aan te voeren kan het os niveau van een perceel worden gehandhaafd of verhoogd. De hoeveelheid effectieve os die hiervoor noodzakelijk is kan worden bepaald door het opstellen van een os balans.

Ook verse os met een laag eos-gehalte draagt bij aan een verbetering van de bodemstructuur. Bij de afbraak van de verse os en omzetting tot humus scheiden de micro-organismen veel stoffen uit de bodemdeeltjes aan elkaar kitten en zo aggregaatvorming stimuleren. Makkelijk afbreekbare os met een laag C:N gehalte (veel poly-sacchariden) heeft een snel maar relatief kortdurend effect (enige maanden). Moeilijk afbreekbare os met een hoog C:N gehalte (hoog gehalte aan cellulose, lignine en fenolen) werkt langzamer maar heeft een duurzaam effect. In het algemeen geldt: een slechte

afbreekbaarheid en hoge C:N ratio gaat samen met een hoge effectieve os-gehalte. Er zijn dus verschillende mogelijkheden om te sturen op structuur. Deze worden hieronder toegelicht.

5.2 Meststofkeuze

Bekalken

Doel

1. Het op peil brengen van de Ca bezetting aan het klei-humus complex (CEC).
2. Er zijn aanwijzingen dat bekalken helpt tegen slechte rooibaarheid, tarra en verkitting van de grond bij een overmaat aan wormen. Vaak wordt er een verband gelegd met de verkittende werking van wormuitwerpselen, maar de oorzaak is waarschijnlijk een slechte bodemstructuur door een Ca tekort.

Achtergrond

Bij kalkarme zeeleigonden (<3% KZK) is de hoeveelheid Ca die vrijkomt uit zeeschelpresten onvoldoende om de bezetting aan het klei-humus complex (CEC) op te peil te houden. Hier kan een verhoging van de Ca-voorraad door bekalking een structuurverbetering geven.

Kalkmeststoffen hebben vooral een positief effect op de bodemstructuur door de toevoeging van Ca. De *nw* (neutraliserende waarde) is hierbij niet van belang omdat zeeleigonden veelal een hoge pH hebben. Door de hoge pH is zullen de kalkmeststoffen echter niet makkelijk oplossen. Daardoor zijn vooral zeer fijn gemalen of vloeibare kalkmeststoffen die homogeen verdeeld worden effectief. Tegelijk is het goed er op te letten dat er niet eveneens veel Mg wordt toegevoegd. Veel kalkmeststoffen bevatten naast Ca ook Mg. Mg kan Ca verdringen aan de CEC. Uit vergelijkend grondonderzoek blijkt duidelijk dat gronden waar Mg een deel van de Ca aan het CEC verdrongen heeft een minder goede structuur hebben. Een overzicht van kalkmeststoffen en de hoeveelheden CaO en MgO die daarbij geleverd worden wordt gegeven in Tabel 5.1.

Een absolute maat voor de gewenste Ca-bezetting aan het CEC is moeilijk te geven, omdat dit van meerdere factoren afhankelijk lijkt te zijn. Een grove vuistregel luidde dat de Ca-bezetting van de CEC minimaal 80% zou moeten zijn. Uit vergelijkend grondonderzoek op zware kleigonden blijkt echter een Ca-bezetting van minimaal 90% wenselijk.

Voorbeeld

Een verhoging van de Ca-bezetting met 10% in een bouwvoor van 30 cm komt overeen met een hoeveelheid CaO van 5 ton ha⁻¹ (uitgaande van een CEC van 300). Daarmee is echter niet gezegd dat een dusdanige verhoging bereikt wordt met een eenmalige gift van 5 ton CaO ha⁻¹. Hierbij spelen onder andere ook de snelheid waarmee de kalkmeststof oplost en de concentraties van andere kationen in de bodemoplossing en aan de CEC een rol, alsook het vermogen van de grond om veranderingen te bufferen (zoals bijvoorbeeld een tijdelijke pH-verhoging bij bekalking). De CEC wordt (naast het percentage klei en os) bepaald door de pH van de grond.

Tabel 5.1. Kalkmeststoffen, de percentages aan CaO en MgO en de waardering vanuit oogpunt van bodemstructuurverbetering. Ook is de hoeveelheid gegeven die toegediend zou moeten worden om 1 ton CaO toe te dienen en de hoeveelheid die daarbij aan MgO gegeven wordt.

| Omschrijving | CaO | MgO | waardering | gift voor 1 ton CaO | bevat MgO |
|--|-------|---------|------------|---------------------|-----------|
| | % | % | | ton | ton |
| Schuimaarde van suikerfabrieken (1) (Betacal) | 20-29 | 0,8-1,1 | ++ | 3,4-5 | 0-0,1 |
| Koolzure landbouwkalk (Emkal) | 53 | 0 | ++ | 1,9 | |
| Landbouwpoederkalk (Gebluste poederkalk) | 72 | 1 | | | |
| Gemalen kluitkalk (Branntkalk) | 80 | n.o. | ++ | 1,3 | |
| Gemalen eierschalen (2) (GE kalk) | 53 | 0,5 | ++ | 1,9 | |
| Calciumcarbonaat (Ankal wit) | 50 | 0 | ++ | 2,0 | |
| Lithotamium (Zeewierkalk) | 45 | 5,3 | + | 2,2 | 0,1 |
| Kalkmergel (Limkal, Vitakal, Borgakal, Dolokal) | 47 | 5 | + | 2,1 | 0,1 |
| Natte kalkslib uit melkzuurbereiding (Fercal) | 23 | 1,6 | + | 4,3 | 0,1 |
| Gips (3) | 32 | | - | 3,1 | |
| Koolzure magnesiakalk (dolomiet) (o.a. Dolokal supra en Duwa, kleidolomiet) | 31 | 19 | - | 3,2 | 0,6 |
| Zeewierkalk (Natte kalkslib) | 28 | 18 | - | 3,6 | 0,6 |
| Zeefbandkalk/afvalkalk (Lithomagnesium) | 28 | 7 | - | 3,6 | 0,3 |
| Kalkmergel met dolomiet (Borgakal plus, Fkal) | 28 | 19 | - | 3,6 | 0,7 |

(1) Schuimaarde bevat tevens 11,5 kg P₂O₅ en 3,25 kg N_{tot} per ton product. Het heeft een goede werking door snelle oplosbaarheid en is relatief goedkoop.

(2) Gemalen eierschalen (GE-kalk) bevat tevens 2 kg P₂O₅ en 9,5 kg N_{tot} per ton product. Zie ook de databank meststoffen op www.nmi-agro.nl.

(3) Gips bevat hoge hoeveelheid SO₃⁻. Bekalken met gips geeft een zeer hoge SO₃ toevoeging, wat negatief werkt op opname spoorelementen. Daarnaast zal een deel uitspoelen wat mogelijk een overschrijding van de drinkwaternormen geeft.

Aanwending van meststoffen met Ca-toevoegingen

Doel

Het op peil houden van de Ca-bezetting aan het klei-humuscomplex (CEC).

Achtergrond

Door afvoer met het gewas en uitspoeling verdwijnt jaarlijks een hoeveelheid Ca uit de bouwvoor. Voor een blijvend hoge Ca bezetting aan het klei-humuscomplex (CEC) is het belangrijk dat deze hoeveelheid ook weer aangevuld wordt uit verwerking of door aanvoer met meststoffen. Calcium is een nevenbestanddeel van veel N en P meststoffen zoals KAS, N:P, kalksalpeter en superfosfaat. Bij de

keuze van meststoffen is het belangrijk niet alleen te kijken naar Ca maar ook naar het gehalte aan Mg, K en Na, omdat deze Ca van de kleideeltjes verdringen. Vermijdt zo mogelijk meststoffen met hoge toevoegingen van Na, K of Mg zoals in stikstof-magnesia en chili- of kalisalpeter. Bemest alleen met K, Mg en Na volgens bemestingsadvies. Voor klei is er geen algemeen Mg-bemestingsadvies. Bij Mg-tekorten is vooral een bladbemesting door spuiten effectief, omdat Mg die aan de bodem toegevoegd wordt voor een groot deel wordt vastgelegd aan het kleioppervlak en daardoor niet direct beschikbaar is voor opname door het gewas. Bemesting met Na is alleen voor bieten op zand en dalgronden aanbevolen. Indien er toch Na wordt toegediend, is het beter de Na-meststof goed en direct in te werken. Let daarbij op de weersvoorspelling: bemest niet met Na als er op korte termijn neerslag voorspeld wordt. Een overzicht van het Ca-gehalte in enkele veelgebruikte meststoffen is gegeven in Tabel 5.2. Bedenk dat Ca uit meststoffen met een verzurende werking komt beter beschikbaar dan Ca uit meststoffen met een neutraliserende werking.

Tabel 5.2. De aanvoer van CaO in N en K meststoffen en de waardering ten aanzien van bodemstructuur. De hoeveelheid CaO is gegeven voor de hoeveelheid kunstmest waarbij er 100 kg N of P₂O₅ wordt toegediend.

| Naam meststof | samenstelling | waardering | gift voor 100 kg N _{tot} of P ₂ O ₅ | kg CaO per 100 kg N _{tot} of P ₂ O ₅ | opmerkingen |
|--------------------------|--|------------|--|---|-------------|
| NP(K) meststoffen | wisselende samenstelling: Met Ca Met Mg | + 0 | | | |
| Kalkammonsalpeter KAS | met vochtig CaCO ₃ | ++ | 370 | 44 | |
| | met dolomiet CaCO ₃ .MgCO ₃ | 0/- | 370 | 22 | 15 kg MgO |
| Stikstofmagnesia | NH ₄ NO ₃ en MgCO ₃ | - | 454 | 47 | 32 kg MgO |
| Kalksalpeter | CaNO ₃ | + | 645 | 170 | |
| Chilisalpeter | NaNO ₃ | - | 625 | | 218 Kg Na |
| Kalisalpeter | K ₂ NO ₃ | - | 770 | | 346 kg K |
| Tripelsuperfosfaat | Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O | + | 220 | 42 | |

Gebruik van verzurende meststoffen en gewassen

Doel

Het op peil houden van de Ca-bezetting aan het kleihumus complex (CEC) door het vrijmaken van Ca uit zeeschelpresten.

Achtergrond

Bij kalkrijke zeekleigronden (> 3 KZK koolzure kalk) is er veel Ca aanwezig in zeeschelpresten. In de loop der jaren is de oplosbaarheid van deze zeeschelpresten afgenomen. Hierdoor kan de hoeveelheid Ca die vrijkomt onvoldoende worden om de Ca-verliezen door afvoer en uitspoeling te compenseren. Door verzurende meststoffen te gebruiken kan de verwerking versneld worden. De verzurende werking

wordt in de bodem namelijk gebufferd door het in oplossing gaan van kalkresten. Daarbij komt Ca vrij. De buffering zorgt ervoor dat de pH van de bodem niet omlaag gaat.

Meststoffen met ammonium hebben een verzurende werking. NP- en NPK-meststoffen kunnen uiteenlopende verzurende eigenschappen hebben. Organische meststoffen en kalimeststoffen werken pH neutraal. Een overzicht van het verzurend effect van veelgebruikte meststoffen is gegeven in Tabel 5.3.

Vlinderbloemigen (klavers, luzerne, peulvruchten) hebben ook een verzurende werking. Door een aantal seizoenen achtereen vlinderbloemigen te telen wordt de verwerking van zeeschelpresten naar verwachting ook versterkt.

Tabel 5.3. De verzurende werking van N en P meststoffen en de waardering ten aanzien van bodemstructuur.

| Naam meststof | samestelling | Nw | waardering | opmerkingen (nw) |
|---------------------------------|--|-------------|------------|---|
| Zwavelzure ammoniak | $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | -60 | ++ * | goed inwerken i.v.m. ammoniakvervluchting |
| Ammoniumsulfaatsalpeter ASS | $\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | -51 | + | goed inwerken i.v.m. ammoniakvervluchting |
| Ureum | $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ | -40 | ++* | goed inwerken i.v.m. ammoniakvervluchting |
| NP(K) meststoffen | wisselende samestelling: | -13 tot -34 | | |
| | Met Ca | | + | |
| | Met Mg | | 0 | Mg verdringt Ca, nadelig |
| Kalkammonsalpeter KAS zonder Mg | $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$ | -13 | ++ | Ca toevoegend |
| met Mg | $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ | -13 | 0/- | Mg verdringt Ca, nadelig |

Gericht toedienen van organische meststoffen

Doel

1. Op peil houden van de os balans.
2. Stimuleren aggregaatvorming door het bodemleven.
3. Op peil houden van Ca-balans.

Achtergrond

Jaarlijks wordt tussen de 1,5 en 4% van de os in de bodem afgebroken. Voor het op peil houden of verhogen van het os-gehalte is het dus belangrijk dat deze afbraak gecompenseerd wordt door aanvoer. Organische meststoffen bevatten een wisselende hoeveelheid os. Voor het op peil houden van de os-balans is het aandeel effectieve os (dat wat na een jaar nog in de bouwvoor aanwezig is) relevant. De makkelijk afbreekbare os kan snel worden omgezet door het bodemleven. Het zijn de afbraakproducten die daarbij vrijkomen die zorgen voor aggregaatvorming.

Daarnaast bevatten organische meststoffen een wisselende hoeveelheid CaO. Door afvoer met het gewas en uitspoeling verdwijnt er jaarlijks een hoeveelheid Ca uit de bouwvoor. Voor een blijvend hoge Ca-bezetting aan het klei-humuscomplex (CEC) is het belangrijk dat deze hoeveelheid ook weer

aangevuld wordt uit verwerking of door aanvoer met meststoffen.

De hoeveelheden eos, CaO en enige andere relevante nutriënten die aangevoerd worden met organische meststoffen zijn gegeven in Tabel 5.4 (hoeveelheid per ton meststof) en Tabel 5.5 (hoeveelheid bij een gift die 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ levert).

Tabel 5.4. Waardering ten aanzien van bodemstructuur van organische meststoffen, en de hoeveelheden os, eos, CaO en nutriënten per ton mest.

| | Waardering | OS kg ton ⁻¹ | Eff. OS kg ton ⁻¹ | CaO kg ton ⁻¹ | Na ₂ O kg ton ⁻¹ | K ₂ O kg ton ⁻¹ | N _{tot} kg ton ⁻¹ | P ₂ O ₅ kg ton ⁻¹ |
|-----------------------------|------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---|--|--|---|
| vaste mest rund | ++ | 150 | 77 | 4,0 | 1,0 | 3,5 | 6,4 | 4,1 |
| vaste mest varkens stro | ++ | 160 | 55 | 9,0 | 1,0 | 3,5 | 7,5 | 9,0 |
| vaste mest kippen strooisel | ++ | 423 | 143 | 28,8 | 3,5 | 11,0 | 19,1 | 24,2 |
| vaste mest vleeskuikens | + | 508 | 183 | 20,5 | 4,0 | 21,5 | 30,5 | 17,0 |
| compost | + | 244 | 183 | 6,7 | 0,0 | 6,3 | 8,5 | 3,7 |
| champost | + | 177 | 89 | 50,0 | 2,7 | 9,7 | 5,8 | 3,6 |
| dunne mest rundvee | - | 66 | 33 | 2,1 | 1,0 | 5,5 | 4,4 | 1,6 |
| dunne mest vleesvarkens | - | 60 | 20 | 3,5 | 1,0 | 6,8 | 7,2 | 4,2 |
| dunne mest zeugen | - | 35 | 12 | 4,6 | 0,6 | 3,6 | 4,2 | 3,0 |
| dunne mest kippen | - | 93 | 31 | 17,2 | 1,1 | 6,1 | 10,2 | 7,8 |

Uitgaande van gegevens in Handboek voor Akkerbouw en groenteteelt in de volle grond 1989 en Praktijkgids Bemesting 2000 en Handboek meststoffen 2000.

Tabel 5.5. Waardering ten aanzien van bodemstructuur van organische meststoffen, en de hoeveelheden os, eos, CaO en nutriënten bij toevoeging van 60 kg P₂O₅ ha⁻¹.

| | Waardering | Gift ton ha ⁻¹ | OS kg ha ⁻¹ | Eff. OS kg ha ⁻¹ | CaO kg ha ⁻¹ | Na ₂ O kg ha ⁻¹ | K ₂ O kg ha ⁻¹ | N _{tot} kg ha ⁻¹ | P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹ |
|-------------------------|------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|--|---|---|--|
| vaste mest rund | ++ | 15 | 2195 | 1127 | 59 | 15 | 51 | 94 | 60 |
| vaste mest varkens | ++ | 7 | 1067 | 367 | 60 | 7 | 23 | 50 | 60 |
| vaste mest kippen | ++ | 2 | 1049 | 355 | 71 | 9 | 27 | 47 | 60 |
| vaste mest vleeskuikens | + | 4 | 1793 | 646 | 72 | 14 | 76 | 108 | 60 |
| compost | + | 16 | 3957 | 2968 | 108 | 0 | 103 | 138 | 60 |
| champost | + | 17 | 2950 | 1483 | 833 | 44 | 161 | 97 | 60 |
| dunne mest rundvee | - | 38 | 2475 | 1238 | 79 | 38 | 206 | 165 | 60 |
| dunne mest vleesvarkens | - | 14 | 857 | 286 | 50 | 14 | 97 | 103 | 60 |
| dunne mest zeugen | - | 20 | 700 | 240 | 92 | 12 | 72 | 84 | 60 |
| dunne mest kippen | - | 8 | 715 | 238 | 132 | 8 | 47 | 78 | 60 |

5.3 Groenbemester, gewasresten en gewasrotatie

Verbouw van groenbemesters

Doel

1. Op peil houden van de os balans door toevoeging eos.
2. Verhoogde aggregaatvorming door stimuleren bodemleven.
3. Vormen en bijhouden van macroaggregaten en kluiten door fijne wortels.
4. Verminderen van de Ca uitspoeling door verminderen neerslagoverschot.
5. Verminderen verslemping door beschermen van de bodem tegen regeninslag.

Achtergrond

1. Groenbemesters kunnen veel os leveren. Omdat er in het algemeen geen afvoer is komt dit geheel ten goede aan de bodem. Voor het op peil houden van het os-gehalte is vooral de hoeveelheid eos van belang. Vooral grasgroenbemesters produceren veel eos. En overzicht van de eos van groenbemesters is gegeven in Tabel 5.6.
2. 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 de micro-organismen uitscheiden bij het afbreken van os die de aggregaatvorming stimuleren. Het bodemleven wordt daarnaast ook gestimuleerd door de stoffen die wortels uitscheiden.
3. Ook de (fijne) wortels zijn belangrijk voor het bijhouden en vormen van macro-aggregaten en kluitjes. Ook na (ondiep) inwerken houden de wortels de bodemdeeltjes nog enige tijd bij elkaar.
4. Doordat de groenbemesters in het najaar geteeld worden zullen zij de uitspoeling van Ca verminderen. Doordat de groenbemesters in het najaar nog water opnemen en verdampen blijft de bodem langer onverzadigd met water. Het neerslagoverschot (de hoeveelheid water die uitspoelt) en daarmee de uitspoeling van Ca en andere nutriënten kan daardoor verminderen. Een gewas met veel bovengrondse biomassa verdampt in het algemeen meer dan een gewas met weinig bovengrondse productie.
5. Groenbemesters houden de grond bedekt. Hierdoor is de oppervlakte beschermd tegen regeninslag en daarmee samenhangende verslemping. Regendruppels kunnen kluitjes uiteen slaan. De fijne kleideeltjes gaan dan vervloeien, en vullen de poriën tussen de grovere deeltjes op. Hierdoor ontstaat een verdichte harde korstlaag, waardoor water en lucht slechter de bodem in kunnen dringen. De slempkorst bemoeilijkt ook de opkomst van kiemplantjes. Groenbemesters die winterhard zijn of die na doodvriezen een mulchlaag vormen bieden ook gedurende de winter en in het voorjaar bescherming.

De waardering van groenbemesters ten aanzien van bodemstructuur is gegeven in Tabel 5.6.

Bij de keus van een groenbemester is het belangrijk om de gevoeligheid en overdracht van ziekten en plagen goed in de gaten te houden. Voor aaltjes is er een aaltjes waardplantschema van PPO op www.kennisakker.nl en het programma DigiAal.

Tabel 5.6. Waardering van groenbemesters ten aanzien van bodemstructuur en de hoeveelheid eos ha⁻¹ bij geslaagde teelt.

| Groenbemester | waardering | Eff. OS* | opmerkingen |
|--|------------|-----------|--|
| grassen | ++ | 1000-1100 | <ul style="list-style-type: none"> • heeft goede en intensieve wortelontwikkeling • hoge wortelmassa • kan onder dekvrucht gezaaid worden en geeft dan meer os opbrengst en daardoor meer effect op structuur dan gezaaid in stoppel • Engels raagrass geeft iets meer effect op samenhang bodem dan Italiaans en Westerwolds raigrass • kunnen optreden voetziekte bevorderen bij hoog aandeel graan in bouwplan |
| Tagetes (afrikaantjes) | ++ | 850-1250 | <ul style="list-style-type: none"> • heeft goede en intensieve wortelontwikkeling • kunnen wortelstempels tegenaan • moeilijk en duur gewas • vorstgevoelig |
| klavers | ++/+ | 800-1200 | <ul style="list-style-type: none"> • bevorderen aggregaatstabiliteit door stimuleren schimmelgroei • matige wortelmassa • vorstgevoelig • os toevoeging bij rode en witte klaver hoger dan bij hoerupsklaver en Alexandr. klaver • stimuleren mycorrhizaschimmels en daardoor glomaline aanmaak |
| bladkool, bladrammenas, koolzaad, gele mosterd, stoppelknollen | + | 850 | <ul style="list-style-type: none"> • koolachtige, niet bevorderlijk voor glomaline • penwortels bevorderen de doorlaatbaarheid • matige wortelmassa • let op resistentie tegen bietencysteeltje • gele mosterd vorstgevoelig |
| facelia | + | 650 | <ul style="list-style-type: none"> • matige wortelmassa • gevoelig voor slechte structuur • vorstgevoelig, vormt na bevroering goede mulchlaag |
| winterrogge (bij teelt als groenbemester) | + | 850 | <ul style="list-style-type: none"> • heeft goede en intensieve wortelontwikkeling |
| voederwikke | + | 650 | <ul style="list-style-type: none"> • weinig wortelmassa • let op erwterncysteeltje bij erwten |
| spurrie | 0/+ | 625 | <ul style="list-style-type: none"> • weinig wortelmassa |

Gegevens volgens de 78 Rassenlijst Landbouwgewassen 2003; waaier groenbemesting NMI; Kennisakker.nl\Teelthandleiding groenbemesters; BLGG tabel effectieve oslevering.

Achterlaten of terugbrengen van gewasresten

Doel

1. Op peil houden van het organisch stof gehalte.
2. Verhoogde aggregaatvorming door stimuleren bodemleven.
3. Op peil houden van Ca-balans.

Achtergrond

Jaarlijks wordt tussen de 1,5 en 4% van de os in de bodem afgebroken. Voor het op peil houden of verhogen van het os-gehalte is het dus belangrijk dat deze afbraak gecompenseerd wordt door aanvoer. Gewasresten kunnen een aanzienlijke aanvoerpost van os zijn. Het gehalte effectieve os (dat wat na een jaar nog in de bouwvoor aanwezig is) bepaald de bijdrage aan os in de bodem. Makkelijk afbreekbare os kan snel worden omgezet door het bodemleven. Het zijn de afbraakproducten die daarbij vrijkomen die zorgen voor aggregaatvorming.

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 de micro-organismen uitscheiden bij het afbreken van os die de aggregaatvorming stimuleren. Het bodemleven wordt daarnaast ook gestimuleerd door de stoffen die wortels uitscheiden. Door afvoer met het gewas en uitspoeling verdwijnt er jaarlijks een hoeveelheid Ca uit de bouwvoor. Voor een blijvend hoge Ca-bezetting aan het klei-humuscomplex is het van belang dat de Ca-balans op een voldoende hoog peil blijft. Door de gewasresten achter te laten of terug te brengen wordt de CaO-afvoer verminderd.

Verruimen van gewasrotatie

Doel

1. Op peil houden van de os balans door gewassen op te nemen die veel eos toevoegen.
2. Verhoogde aggregaatvormingen -stabiliteit door stimuleren bodemleven.
3. Vormen en bijeenhouden van macroaggregaten en kluiten door fijne wortels.
4. Verhogen infiltratie ondergrond door gewassen met diepe (pen)wortels.
5. Verhoging gehalte glomaline door stimuleren mycorrhizaschimmels.

Achtergrond

Jaarlijks wordt tussen de 1,5 en 4% van de organische stof (os) in de bodem afgebroken. Voor het op peil houden of verhogen van het os-gehalte is het dus belangrijk dat deze afbraak gecompenseerd wordt door aanvoer. Gewasresten kunnen een aanzienlijk aanvoerpost van os zijn. Het gehalte effectieve os (dat wat na een jaar nog in de bouwvoor aanwezig is) bepaald de bijdrage aan os in de bodem. Makkelijk afbreekbare os kan snel worden omgezet door het bodemleven. Het zijn de afbraakproducten die daarbij vrijkomen die zorgen voor aggregaatvorming.

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 de micro-organismen uitscheiden bij het afbreken van os die de aggregaatvorming stimuleren. Het bodemleven wordt daarnaast ook gestimuleerd door de stoffen die wortels uitscheiden. Naast het aanvoeren van os in de vorm van organische meststoffen, groenbemesters en gewasresten kan het os-gehalte ook worden verhoogd door het verruimen van het bouwplan met gewassen die veel eos leveren (zie Tabel 5.7).

Daarnaast hebben gewassen invloed op de bodemstructuur door de ontwikkeling van het wortelstelsel. Fijne wortels houden de bodemaggregaten aaneen. Een intensief en fijnwortelend gewas bevordert zo de aggregaatvorming en 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 heeft een zeer sterke invloed op de vorming en stabiliteit van bodemaggregaten. De mycorrhizaschimmels die glomaline produceren zijn voor hun activiteit en overleving afhankelijk van de wortels van gastplanten.

Het advies is om in het bouwplan plaats te maken voor:

- Gewassen met intensieve beworteling, zoals granen, grassen, andijvie. Wortels scheiden organische stoffen uit en leveren os, waardoor de aggregaatvorming door het bodemleven wordt gestimuleerd. Daarnaast houden wortels kleine aggregaten bijeen tot grotere aggregaten en kluitjes.
- Gewassen met diepe penwortels zoals luzerne en bieten verbeteren de infiltratie naar de diepere bodemlagen.
- Gewassen met veel gewasresten en daardoor veel os toevoeging, zoals grassen, granen, groenbemesters.
- Gewassen met hoog fenolgehalte, zoals grassen en granen.
- Vroe-gruimende gewassen die gelegenheid bieden voor de teelt van groenbemesters, zoals: erwten, plantuien, vroege aardappelen en vroege groentegewassen.
- Vermijd zwarte braak. Zwarte braak is een gemiste kans om door middel van een groenbemester os toe te voegen. Bovendien neemt het glomalinegehalte af doordat er geen geschikte wortels aanwezig zijn voor de mycorrhizaschimmel om op te groeien. Doordat de grond onbeschermd ligt kunnen regendruppels de bodemaggregaten aan het oppervlakte kapotslaan, waardoor er een slompkorstje ontstaat.
- Planten van de ganzenvoetfamilie en kruisbloemigen bieten, koolachtigen, bladrammenas, mosterd en spinazie zijn voor mycorrhizaschimmels vergelijkbaar met zwarte braak en verlagen dus het glomaline gehalte. Houd het aandeel van deze gewassen daarom laag en wissel ze af met gewassen die mycorrhizaschimmels stimuleren (met name klaver, grassen, granen, vlas).
- Wees terughoudend met P-bemesting: bij een ruime P-voorziening zullen de wortels geen verbinding aangaan met de mycorrhizaschimmels, waardoor er ook minder schimmeldraden gemaakt worden.
- Vlinderbloemigen (luzerne, klaver, peulvruchten) hebben minder wortelgroei, maar stimuleren schimmelgroei, wat aggregaatstabiliteit ten goede komt. Daarnaast kunnen zij over meerdere seizoenen de pH verlagen, waardoor Ca beschikbaar kan komen uit zeeschelresten (bij KZK>2%).

Tabel 5.7. De waardering van gewassen ten aanzien van bodemstructuur en de hoeveelheid eos die geleverd wordt bij een geslaagd gewas.

| Gewas | waarde- ring | eos wortel en gewasresten (kg ha ⁻¹) | opmerkingen |
|--------------------------------------|-----------------|--|--|
| granen | ++ | 1350-1650 (+1000 stro) | <ul style="list-style-type: none"> • intensieve beworteling • hoge C:N waarde en hoog fenolgehalte • positief effect op glomaline |
| graszaad | ++ | 2300 | <ul style="list-style-type: none"> • intensieve beworteling • hoge C:N waarde |
| luzerne | ++ | 1350 (jaar 1-2) 2050 (in derde jaar) | <ul style="list-style-type: none"> • diepe en intensieve beworteling |
| snijmaïs | + | 700 | <ul style="list-style-type: none"> • hoge C:N waarde en hoog fenolgehalte |
| bieten | -/+ | 400 (+1000 bij suikerbietenloof en - koppen) | <ul style="list-style-type: none"> • intensieve beworteling • nadelig effect op glomaline • bodemverstoring bij rooien |
| aardappelen | | 800 | <ul style="list-style-type: none"> • bodemverstoring bij rooien |
| kool | -/+ | 1000 (+150-450 gewasresten) | <ul style="list-style-type: none"> • penwortels bevorderen de doorlaatbaarheid • nadelig effect op glomaline |
| winterkoolzaad | -/+ | 975 | <ul style="list-style-type: none"> • penwortels bevorderen de doorlaatbaarheid • nadelig effect op glomaline |
| witlof | 0 | 400 | <ul style="list-style-type: none"> • intensieve beworteling |
| vlas | 0 | 100 | <ul style="list-style-type: none"> • positief effect op glomaline |
| uien | 0 | 300 (+200 gewasresten) | <ul style="list-style-type: none"> • positief effect op glomaline |
| winterwortelen | 0 | 300 | |
| peulvruchten (erwten en bonen) | 0 | 170 (+ 500-850 gewasresten) | |

Uitgaande van Waaier Bodemleven mineralen management, www.Blgg.nl en Teelthandleiding groenbemesters Kennisakker PPO 2004.

5.4 Grondbewerking

Door minder of niet te ploegen wordt het bodemleven minder verstoord. Grondbewerking heeft vooral nadelig effect op regenwormen en (mycorrhiza)schimmels. Daarnaast wordt bij ploegen de toegevoegde os en de gewasresten over het bodemprofiel uitverdund.

Ook na bieten kan er zonder ploegen gezaaid worden met speciaal aangepaste machines. Grondbewerking heeft ook een nadelige invloed op de bodemstructuur door verdichting en versmering. Daar wordt hier verder niet op ingegaan.

6 Voorbeeld van uitwerking van maatregelen

6.1 Ca- en organischestofbalansen

Het opstellen van Ca- en os-stofbalansen is een goed hulpmiddel om inzicht te krijgen in de aan- en afvoer en in het effect van teeltmaatregelen. In Tabel 6.1 is de Ca- en os-stofbalans opgesteld voor een "standaard" akkerbouwbedrijf met een bouwplan met aandelen pootaardappelen (25%), suikerbieten (19%), wintertarwe (19%), zaaiuien (19%), en winterpeen (19%). Gemiddelde jaarlijkse mestgiftten zijn 9 ton ha⁻¹ dunne varkensmest, 1,2 ton ha⁻¹ dunne kippemest, 300 kg ha⁻¹ KAS, 100 kg ha⁻¹ Chilisalpeter en 300 kg ha⁻¹ K60. In Tabel 6.2 is vervolgens een Ca- en os-stofbalans opgesteld voor hetzelfde bedrijf, maar nu met een aangepaste bedrijfsvoering. Bij de mestgift is gekozen voor meststoffen met maximale CaO-aanvoer. Daarnaast wordt er een groenbemester geteeld en worden de gewasresten achtergelaten. In paragraaf 6.2 en 6.3 zijn de achterliggende berekeningen weergegeven.

Tabel 6.1. Balans van CaO en eos bij standaardbedrijfsvoering.

| Meststof | CaO- gehalte % | eos % | gift ton ha ⁻¹ | CaO- aanvoer kg ha ⁻¹ | eos- aanvoer kg ha ⁻¹ | N- gehalte % | N- aanvoer kg ha ⁻¹ | P- gehalte % | P- aanvoer kg ha ⁻¹ |
|-----------------------------|----------------------|----------|---------------------------------|--|--|--------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| kunstmest | | | | | | | | | |
| KAS | 5,6 | | 300 | 17 | | 27 | 81 | | |
| ChiliSalpeter | 0 | | 100 | 0 | | 16 | 16 | | |
| K-60 | 0 | | 300 | 0 | | 0 | 0 | | |
| aanvoer | | | | 17 | | | 97 | | |
| organische mest | | | | | | | | | |
| DVM | 0,35 | 2 | 9 | 32,2 | 180 | 0,72 | 65 | 0,42 | 38 |
| DKM | 1,72 | 3,1 | 1,2 | 20,6 | 37 | 1,02 | 12 | 0,78 | 9 |
| aanvoer | | | | 52,8 | 217 | | 77 | | 47 |
| uitspoeling | | | | -420 | 0 | | | | |
| (geen groenbemester) | | | | | | | | | |
| afvoer gewasresten | | | | -40 | 650 | | | | |
| totaal | | | | 390 | 867 | | | | |

6.2 Effect groenbemesters

Het effect van groenbemesters op de uitspoeling van CaO door verminderd neerslagoverschot door verdamping van gewas kan als volgt worden berekend.

Situatie herfstbraak

Het neerslagoverschot in Nederland bij braakliggend land tussen 1 oktober en 1 april bedraagt 300 mm. Per mm neerslagoverschot spoelt er 10.000 l ha⁻¹ uit. Bij een gehalte van 100 mg CaO in het drainwater van kalkrijke zeeklei spoelt er dan 300 kg Ca ofwel 419 kg CaO jaar⁻¹ ha⁻¹ uit.

Situatie groenbemester

Bij de geslaagde teelt van een groenbemester wordt er tussen 1 oktober en 1 april zo'n 50 mm water opgenomen, ofwel het neerslagoverschot vermindert met 50 mm. Bij gelijkblijvend gehalte aan CaO in het drainwater kan de uitspoeling afnemen tot 250 kg Ca ofwel 350 kg CaO jaar⁻¹ ha⁻¹.

Tabel 6.2. Balans van CaO en eos bij geoptimaliseerde bedrijfsvoering.

| Meststof | CaO gehalte % | eos % | gift ton ha ⁻¹ | CaO aanvoer kg ha ⁻¹ | eos aanvoer kg ha ⁻¹ | N- gehalte % | N- aanvoer kg ha ⁻¹ | P- gehalte | P- aanvoer |
|----------------------------------|---------------------|----------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|
| kunstmest | | | | | | | | | |
| KAS vochting Ca | 12 | | 300 | 36 | | 27 | 81 | | |
| KalkSalpeter | 26,3 | | 100 | 26 | | 15,5 | 16 | | |
| K-60 | 0 | | 300 | 0 | | 0 | 0 | | |
| aanvoer | | | | 62 | | | 97 | | |
| organische mest | | | | | | | | | |
| Vaste kippenmest | 2,88 | 14,3 | 3 | 86 | 429 | 1,91 | 57 | 2,42 | 73 |
| champost | 5,0 | 8,9 | 2,5 | 125 | 223 | 0,5 | 15 | | 9 |
| aanvoer | | | | 211 | 652 | | 72 | | 82 |
| uitspoeling groenbemester | | | | -250 | 850 | | | | |
| uitspoeling groenbemester | | | | -25 | 1121 | | | | |
| totaal | | | | -2 | 2623 | | | | |

6.3 Effect van afvoer of achterlaten gewasresten

Met de oogst wordt een hoeveelheid CaO en os afgevoerd. Door het niet-buikbare gedeelte achter te laten kan de afvoer worden verminderd. Bij de berekeningen worden de verschillen tussen de gewassen in het bouwplan gemiddeld. Aardappelen worden een keer per 4 jaar geteeld, de andere gewassen gemiddeld eens per 5 jaar. Aardappelen tellen daarom iets zwaarder mee in de berekeningen.

Het verschil tussen afvoer en achterlaten van gewasresten wordt berekend in Tabellen 6.3 en 6.4. Het verschil in CaO afvoer is slechts 15 kg CaO. Het verschil in eos afvoer is wel aanzienlijk 556 kg eos ha⁻¹.

Tabel 6.3. Afvoer van Ca met gewas en eos aanvoer, bij afvoer van gewasresten.

| gewas | % in bouwplan | opbrengst kg ha ⁻¹ | CaO-gehalte kg/vers | CaO-afvoer kg ha ⁻¹ | eos-aanvoer kg ha ⁻¹ |
|-----------------|---------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| pootaardappelen | 25 | 40.000 | 0,2 | 2,0 | 200 |
| suikerbieten | knol | 19 | 65.000 | 0,7 | 8,6 |
| | blad | 19 | 30.000 | 2,3 | 13,1 |
| wintertarwe | korrel | 19 | 9.000 | 0,6 | 1,0 |
| | stro | 19 | 4.500 | 2,2 | 1,9 |
| zaaiuien | | 19 | 60.000 | 0,5 | 5,7 |
| winterpeen | | 19 | 85.000 | 0,5 | 8,1 |
| balans | | | | 40,4 | 665 |

Tabel 6.4. Afvoer van Ca met gewas en eos aanvoer, bij achterlaten van gewasresten.

| gewas | | % in bouwplan | opbrengst kg ha ⁻¹ | CaO gehalte kg/vers | CaO-afvoer kg ha ⁻¹ | eos-aanvoer kg ha ⁻¹ |
|-----------------|--------|---------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| pootaardappelen | | 25 | 40.000 | 0,2 | | 200 |
| suikerbieten | knol | 19 | 65.000 | 0,7 | 8,6 | 76 |
| | blad | 19 | 30.000 | 2,3 | | 190 |
| wintertarwe | korrel | 19 | 9.000 | 0,6 | 1,0 | 275 |
| | stro | 19 | 4.500 | 2,2 | | 190 |
| zaaiuien | | 19 | 60.000 | 0,5 | 5,7 | 95 |
| winterpeen | | 19 | 85.000 | 0,5 | 8,1 | 95 |
| Balans | | | | | 25,4 | 1121 |

Concluderende opmerkingen

Door het opstellen van CaO- en eos-balansen is op eenvoudige wijze inzichtelijke te maken dat een aangepaste bedrijfsvoering leidt tot een sterk verminderde afvoer van CaO en een verhoogde aanvoer van eos. Het blijkt dus goed mogelijk om te sturen op de bodemchemische en -biologische aspecten die van direct belang zijn voor een daadwerkelijke verbetering en behoud van de bodemstructuur.

Door teeltmaatregelen te optimaliseren op CaO kan de totale afvoer van CaO sterk verminderen van -390 kg CaO ha⁻¹ bij standaard bedrijfsvoering tot -2 kg CaO ha⁻¹ bij aangepaste teeltmaatregelen. Tegelijk wordt de aanvoer van eos verhoogd met ongeveer 1.750 kg eos ha⁻¹ van 867 kg tot 2.623 kg eos ha⁻¹.

Door bij de mestgift rekening te houden met het CaO-gehalte kan de CaO-aanvoer worden verhoogd van 70 kg CaO ha⁻¹ bij standaard bedrijfsvoering tot 273 kg CaO ha⁻¹, ofwel een verhoging van ruim 200 kg CaO ha⁻¹. De aanvoer van eos gaat hierbij omhoog van 217 tot 830 kg eos ha⁻¹, een verhoging van ruim 630 kg eos ha⁻¹. De keuze van de organische meststoffen werd bepaald door het CaO-gehalte. Bij de keuze voor andere meststoffen zoals bijvoorbeeld vaste rundermest of compost zou de aanvoer van eos (bij vergelijkbare aanvoer N en P) nog hoger kunnen zijn.

De teelt van een groenbemester vermindert via gewasverdamping het neerslagoverschot, waardoor de uitspoeling met maximaal 150 kg CaO kan verminderen, van 420 kg CaO bij herfstbraak tot 250 kg CaO ha⁻¹ bij een geslaagde teelt van een groenbemester. Hierbij moet worden aangemerkt dat de uitkomsten beïnvloed worden door de aannames die bij gebrek aan gegevens wellicht te simpel zijn. Zo wordt er vanuit gegaan dat CaO enkel uit de bouwvoor verdwijnt door uitspoeling bij een neerslagoverschot in het najaar. Daarnaast wordt er vanuit gegaan dat de concentratie van CaO in het neerslagoverschot altijd gelijk is. In werkelijkheid zal de concentratie afhangen van de buffering en nalevering van CaO door de grond. Voor een eerste schatting van de mogelijke effecten volstaat deze aanpak echter. Een geslaagde teelt van een groenbemester kan daarnaast 850 kg eos ha⁻¹ leveren.

Achterlaten van gewasresten reduceert de afvoer van CaO met het gewas van 40 kg CaO tot 25 kg CaO, ofwel 15 kg CaO ha⁻¹. De bijdrage aan de CaO-balans is dus klein. Achterlaten van gewasresten verhoogt wel de eos aanvoer met 455 kg eos ha⁻¹, van 665 tot 1.120 kg eos ha⁻¹.

7 Monitoring op praktijkbedrijven

7.1 Belangrijkste bevindingen van de enquête omtrent perceelshistorie

In Bijlage 3 is de vragenlijst weergegeven. In het navolgende zijn in het kort de belangrijkste bevindingen weergegeven.

Waardering

In het algemeen is de waardering van de twee geselecteerde percelen op de bedrijven het goede perceel "goed", in een enkel geval "perfect", voor het slechte perceel meestal "matig", maar ook "slecht" tot "niets mee te doen", en in een enkel geval "goed". Uit aanvullende informatie blijkt dat de opbrengsten van beide percelen veelal gelijk zijn, maar dat het slechte perceel tot de opkomst meer aandacht vraagt. Dit hangt grotendeels samen met de bewerkbaarheid.

Bewerkbaarheid

Verschillen met betrekking tot bewerkbaarheid die gemeld worden zijn:

- grond op slechte perceel wordt vaker omschreven als nat en slompgevoelig;
- verkruiembaarheid is op goede perceel bijna altijd goed, op slechte perceel vaak matig/slecht;
- bewerkbaarheid op slechte perceel is vaker matig of slecht en zwaarder dan op goede perceel;
- tijdstip van bewerking van slechte perceel is later.

Drainage

Op het slechte perceel blijft vaker of meer water staan in het voorjaar en na een regenbui. Bij een aantal bedrijven is er ook een verschil in de diepte van de drainagebuizen. Opvallend daarbij is dat het goede perceel altijd dieper ontwaterd wordt dan het slechte (verschil van 30-50 cm, in een enkel geval een verschil van 1 m). Dit effect is verklaarbaar, immers een goed gedraineerd perceel is eerder ontwaterd en dus minder lang nat, waardoor het eerder en daardoor langer bewerkt kan worden.

Bouwplan

De bewerking en het bouwplan zijn binnen de meeste bedrijven niet erg verschillend voor beide percelen. Er zijn wel grote verschillen tussen bedrijven onderling. Een groot aantal bedrijven heeft een klassiek bouwplan: $\frac{1}{4}$ aardappelen, $\frac{1}{4}$ bieten en $\frac{1}{2}$ tarwe. Dit bouwplan is op een aantal bedrijven uitgebreid met gerst, gras(zaad), bonen, uien, luzerne, vlas, erwten, bloemen (tulpen, natuurmengsel, pioenen, 'bloemen') of witlof, enkele keer met maïs, blauwmaanzaad, groenten (knolselderij, peen, spruiten). Er is één bedrijf met een hoog aandeel granen, maar zonder bieten in het bouwplan. Op één bedrijf is er een bouwplan met bijna uitsluitend groente. Indien een groenbemester wordt gebruikt (op de helft van de bedrijven) is dat bijna altijd gele mosterd of bladrammenas en een enkele keer gras, haver of wikke. De groenbemester wordt gebruikt na aardappelen en/of bieten, of juist na tarwe.

Er lijkt geen duidelijk waarneembaar verband tussen het verbouwen van groenbemesters enerzijds en os-gehalte anderzijds. Bedrijven die groenbemesters verbouwen hebben niet een duidelijk waarneembaar hoger os-gehalte dan bedrijven zonder groenbemesters in het bouwplan. Dit komt waarschijnlijk door het lage gehalte aan effectieve os in de gebruikte groenbemesters (gele mosterd en bladrammenas). Effectieve os is dat gedeelte van de os dat na een jaar nog aanwezig is.

Meststoffen

Bij de toediening van mest zijn er grote verschillen tussen de bedrijven. Verschillen in bemesting tussen beide percelen zijn vaak gekoppeld aan het gewas, maar komen op bouwplan niveau wel vaak overeen.

Kunstmest

Als meststof is vaak KAS, NP26:14 en in mindere mate Kali60 gegeven. Ook genoemd zijn: Tripelsuper, NaKali, vinasseK, magnesammon, urean. Vaak is alleen aangegeven dat N, P₂O₅, MgO en K₂O is gegeven.

Organische mest

Van de organische meststoffen wordt VDM het meest aangewend, gevolgd door kippenmest en kuikenmest. Een enkele keer wordt ook koeienstalmest, organische mengmest, bandenmest, vaste rundermest, zeugenmest of compost opgebracht. Er lijkt geen duidelijk verband tussen organische mestgift enerzijds en os-gehalte anderzijds. Ook dit komt waarschijnlijk door het lage gehalte aan effectieve os in VDM.

Op één bedrijf is eenmalig gift van 30 ton eierschalen per ha gegeven. Dit had een positief effect op de bodemstructuur.

Concluderende opmerkingen

Het verschil tussen een goed en slecht perceel is gelegen in de bewerkbaarheid. Hierbij is er weinig of geen verschil in opbrengst, maar wel in de moeite die de boer moet doen met betrekking tot grondbewerking tot aan de opkomst van het gewas. Het verschil tussen een goed en slecht perceel kan niet gerelateerd worden aan verschillen in historie of management: veelal hebben beide percelen hetzelfde bouwplan en bemesting.

Waar er tussen de percelen een duidelijk verschil is in drainagediepte leidt dit altijd tot een betere waardering van het dieper gedraineerde perceel.

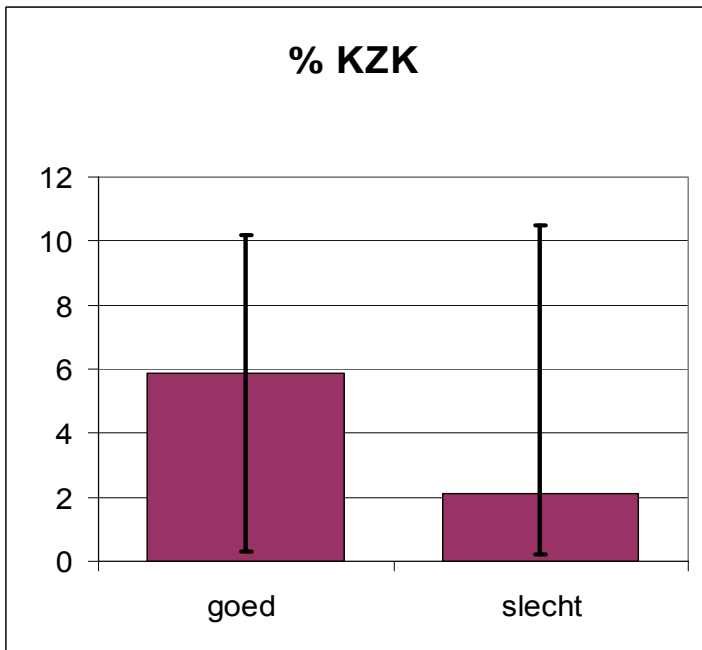
Bedrijfsvergelijking laat zien dat er geen duidelijk waarneembaar verschil in os-gehaltes is tussen bedrijven die organische mest opbrengen of groenbemesters verbouwen en bedrijven die dat niet doen. Dit is waarschijnlijk te wijten aan het lage eos-gehalte van de gebruikte mestsoorten en groenbemesters.

7.2 Uitslagen grondonderzoek

Koolzure kalk KZK (CaCO₃)

De KZK is bepalend voor de calciumvoorziening. Voldoende Ca is noodzakelijk voor de opbouw van een goede en stabiele kruimelstructuur. Bij veel percelen in dit vergelijkend onderzoek is de KZK >4%. Bij de percelen in de Haarlemmermeer is de KZK echter veel lager; op een aantal percelen zelfs <1%.

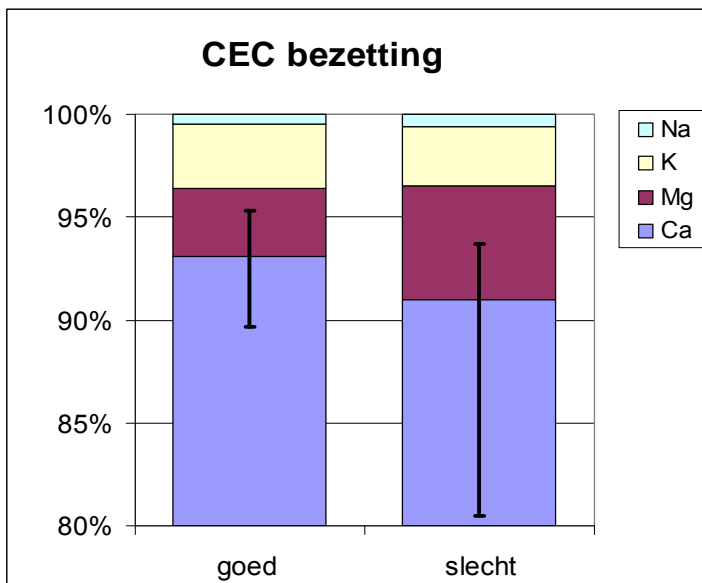
Op die bedrijven waar er wel duidelijke verschillen zijn in het gehalte KZK tussen percelen lijkt dit de belangrijkste factor te zijn voor de waardering "goed" of "slecht". Bij een gehalte aan KZK lager dan 4 (van één of beide percelen) geeft een verschil in KZK van 2 of meer altijd een verschil in beoordeling tussen "goed" of "slecht", onafhankelijk van de andere bodemchemische factoren. Indien het gehalte KZK op beide percelen boven de 4 ligt speelt het gehalte aan KZK geen rol voor de indeling in goed of slecht. Aangenomen kan worden dat de Ca voorziening in dat geval op beide percelen voldoende is. Gemiddeld genomen is het gehalte KZK op de slechte percelen bijna 4% lager dan op de goede percelen (Figuur 7.1).



Figuur 7.1. Het gemiddelde KZK-gehalte op het goede en slechte perceel inclusief de spreiding.

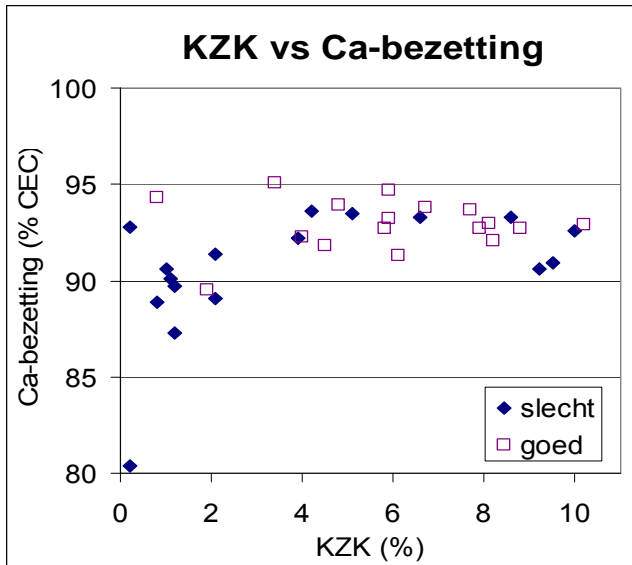
CEC-bezetting

De kationen bezetting aan de CEC (Figuur 7.2) geeft duidelijk de belangrijke rol van Ca weer. Over de gehele groep gezien is het percentage Ca op de goede percelen 2% hoger dan op de slechte percelen. Op de afzonderlijke slechte percelen kan de Ca-bezetting wel zo laag zijn als 80%, terwijl op de goede percelen de Ca-bezetting niet onder de 88% komt. De Ca wordt in belangrijke mate verdrongen door Mg. Het percentage Mg is op de slechte percelen bijna dubbel zo hoog ten opzichte van de goede percelen, terwijl de gemiddelde percentages K en Na gelijk zijn. Op individuele bedrijven is er echter ook een verdringing van Ca door K waar te nemen.



Figuur 7.2. De gemiddelde CEC-bezetting op het goede en slechte perceel inclusief de spreiding in de Ca-bezetting.

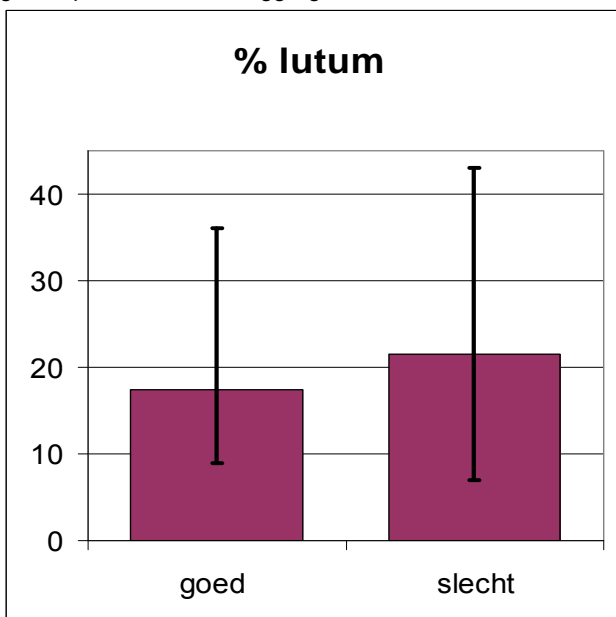
Een vergelijking tussen het gehalte aan KZK- en Ca-bezetting aan de CEC geeft aan dat bij een KZK lager dan 3 zowel de Ca-bezetting als de waardering van de bodemstructuur daalt. Van de slechte percelen had de helft (9 percelen) een KZK onder 3, terwijl dit bij slechts 2 van de goede percelen het geval was. Vijf van deze percelen hadden daarbij tevens een Ca-bezetting onder de 90% van de CEC.



Figuur 7.3. De relatie tussen KZK en Ca-bezetting.

Lutumgehalte

Na het KZK-gehalte en de Ca-bezetting lijkt het lutumgehalte van belang voor de beoordeling in “goed” of “slecht”. In het algemeen schommelt het lutumgehalte van de percelen tussen de 7 en 38 (Figuur 7.4). Bij bedrijven waarbij er een sterk verschil is in lutumgehalte tussen percelen is het lutumgehalte voor de slechte percelen (20-38) (veel) hoger dan bij de goede percelen (10-15). Ook dit valt te verklaren vanuit het bodemchemisch gedrag van de kleideeltjes. Bij een lutumgehalte tot 10-15% zorgen de kleideeltjes voor voldoende samenhang tussen de vaste bodemdeeltjes om een stabiele kruimelstructuur te geven. Omdat er daarnaast nog veel andere vaste deeltjes zijn is het negatieve effect van zwel en krimpen gedempt, waardoor de aggregaten niet zo snel uiteenvallen.

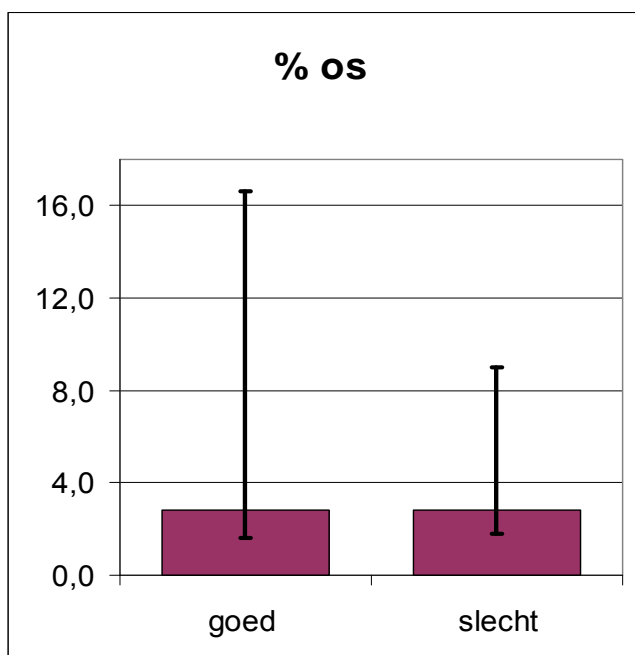


Figuur 7.4. Het gemiddelde lutumgehalte op het goede en slechte perceel, inclusief de spreiding.

Bij een hoog aandeel lutum is er wel een sterk effect van zwel en krimp, waardoor de aggregaten uiteengedrukt worden en de grond kan verslempen en verdichten, en de bewerkbaarheid zwaar wordt.

Os-gehalte

Op de meeste bedrijven ligt het organisch stof gehalte (os) van beide percelen onder de 4 (Figuur 7.5). Verschillen in os-gehalte tussen de percelen geven geen verklaring voor de waardering goed of slecht: ook het slechte perceel kan een hoger os-gehalte hebben. Waarschijnlijk is de kwaliteit (samenstelling) van de os belangrijker dan de hoeveelheid. Daarbij moet opgemerkt worden dat het verschil in os% tussen beide percelen veelal klein is (minder dan 1% verschil). De verwachting is dat het os-gehalte bij kleibodems hoog zal moeten zijn om een verandering van het bodemchemisch gedrag te realiseren. De kleine verschillen tussen de beide percelen zijn in overeenstemming met het gegeven dat op de meeste bedrijven beide percelen ook een vergelijkbare aanvoer van os hebben: gelijk bouwplan en een vergelijkbare bemesting.



Figuur 7.5. Het gemiddelde os-gehalte op het goede en slechte perceel, inclusief de spreiding.

Glomaline

Naast de hoeveelheid os is ook getracht het gehalte glomaline te meten. Vergelijking van de data liet zien dat het percentage glomaline overeenkomt met het percentage os. De gebruikte meetmethode voor glomaline is nog onvoldoende ontwikkeld voor een betrouwbaar onderscheid tussen glomaline en andere os-fractionen. (zie meetresultaten in Bijlage 1).

Concluderende opmerkingen

Bodemchemische eigenschappen lijken een goede voorspelling te leveren van de kwaliteit van de bodemstructuur zoals gewaardeerd door de boeren. De resultaten van het grondonderzoek bevestigen daarmee grotendeels de uitkomsten van de bureaustudie.

Harde grenzen zijn er op basis van dit vergelijkende grondonderzoek niet te stellen. Dit komt doordat gekeken is naar verschillen binnen bedrijven. De verschillen tussen de bedrijven zijn beduidend groter. Een vergelijking tussen bedrijven valt daardoor niet te maken. Het slechte perceel op het ene bedrijf kan

nog steeds een aanzienlijk betere bodemstructuur hebben dan het goede perceel op een ander bedrijf met een andere uitgangssituatie.

De rol van Ca in het leveren van een stabiele goed bewerkbare structuur komt duidelijk naar voren in de gehalten aan KZK en Ca-bezetting aan de CEC. Bij een KZK lager dan 4 is de Ca-nalevering onvoldoende, waarbij verschillen van 2 of meer in gehalte KZK duidelijk tot uiting komen in de waardering van de bodemstructuur. Verschillen in KZK gaan vaak samen met verschillen in Ca-bezetting aan de CEC, waarbij de plaats van Ca wordt ingenomen door Mg en in mindere mate K. Naast de KZK speelt ook het lutumgehalte een belangrijke rol bij de waardering van de bodemstructuur. Het lutumgehalte op de slechte percelen lag gemiddeld bijna 5% hoger dan het lutumgehalte op het goede perceel. Echter bij een voldoende hoog KZK-gehalte kon op individuele bedrijven ook het perceel met het hoogste lutumgehalte de beste bodemstructuur hebben.

Het gehalte aan os was geen goede voorspeller van de waardering van de bodemstructuur. De verschillen tussen de percelen waren over het algemeen klein. Ook op die bedrijven waar er wel grote verschillen waren kon zowel het goede als het slechte perceel het hoogste gehalte aan os hebben. Hoge os-gehalten (>6%) waren het gevolg van veenlagen. Waarschijnlijk is niet enkel de hoeveelheid, maar ook de kwaliteit van de os en de jaarlijkse aanvoer van verse os van belang.

7.3 Gedetailleerd grondonderzoek

Aanvullend grondonderzoek

In mei 2008 heeft aanvullend bodemfysisch onderzoek plaatsgevonden op de goede en slechte percelen bij twee bedrijven. In de regio Hoekse Waard was dat op het bedrijf Visser in Oud Beijerland, in de regio Haarlemmermeerpolder was dat op bedrijf Buitenhuis in Lisserbroek. Hierbij zijn de volgende metingen gedaan:

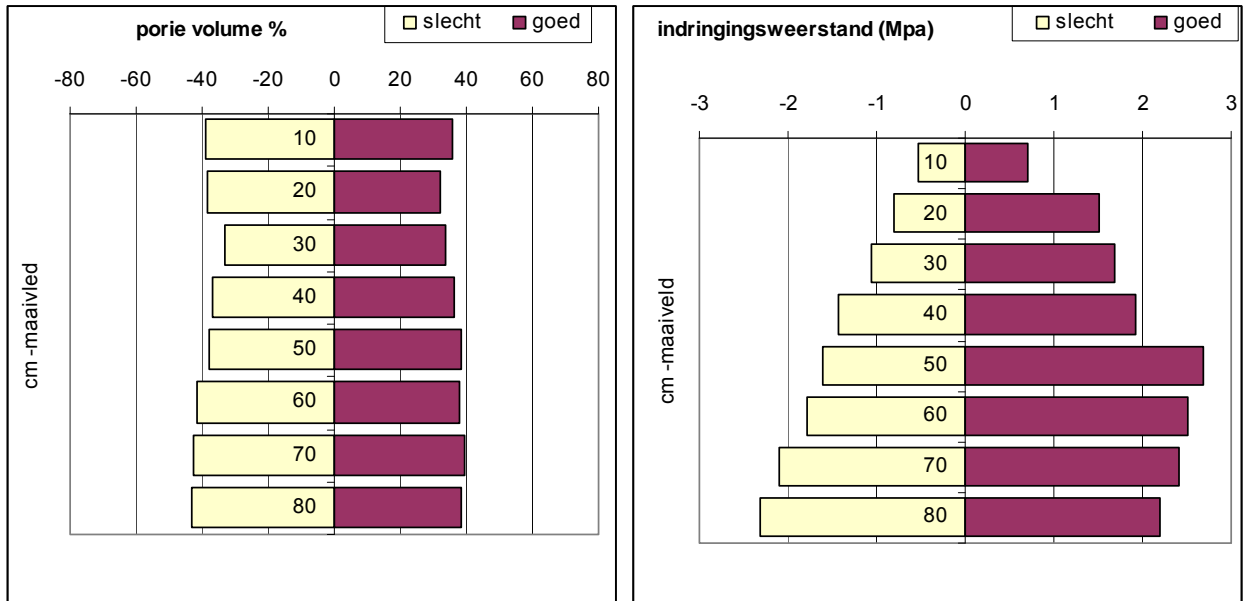
1. poriënvolume;
2. indringingsweerstand;
3. profielkenmerken; en
4. nitraatgehalte in het grondwater.

Poriënvolume en indringingsweerstand

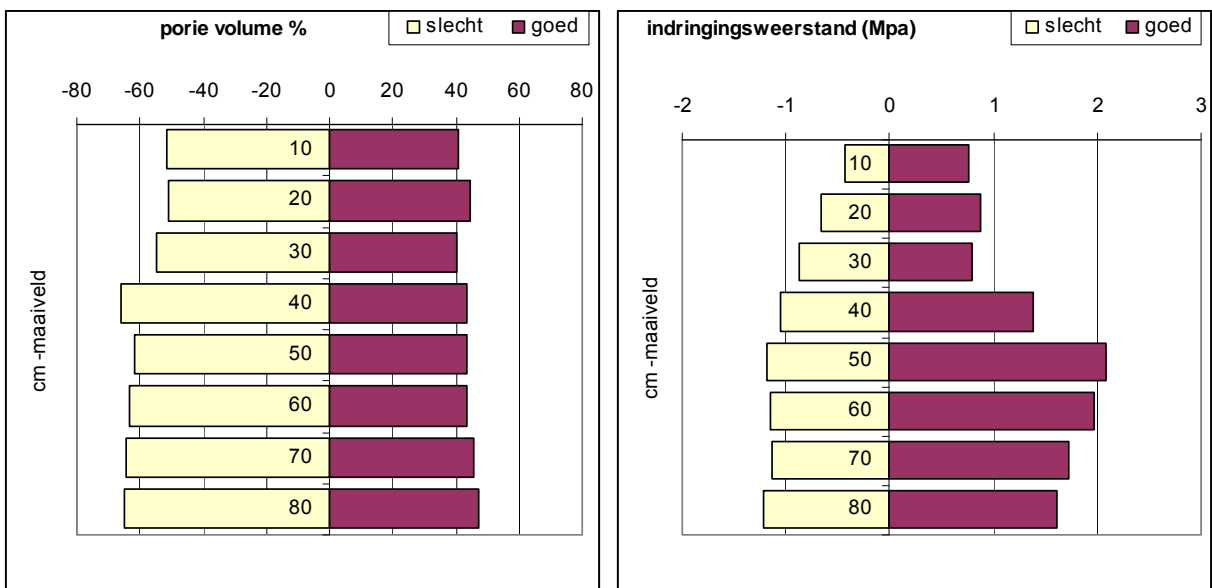
Opvallend is dat het poriënvolume op het slechte perceel hoger en de indringingsweerstand (vooral in de ondergrond) lager is dan op het goede perceel (Figuur 7.6 en 7.7). Dit is tegengesteld aan wat verwacht zou mogen worden vanuit de waardering van de boer. Een goede structuur wordt gekenmerkt door een kruimelstructuur, terwijl bij een slechte structuur verdichting optreedt, met daarbij een verminderd poriënvolume en een verhoogde indringingsweerstand. Het grondonderzoek heeft half mei plaatsgevonden, dus na zaaibedbereiding en maken van ruggen. De actuele bodemstructuur is het resultaat van zowel de eigenschappen van de bodem als voorgaande grondbewerkingen en weersomstandigheden.

Profielkenmerken

De textuur in de bovengrond (0-30 cm) van de goede percelen was lichte zavel en van de slechte percelen klei bij zowel bedrijf Visser als Buitenhuis. Dit illustreert het effect van lutumgehalte op de structuur. Op de percelen van Visser waren de structurelementen van de bovengrond fijnblokkig met grofblokkige ondergrond. Bij de percelen van Buitenhuis was de bovengrond grofblokkig met een fijnblokkige ondergrond. In Bijlage 4 is deze informatie in detail weergegeven.



Figuur 7.6. Poriëvolume en indringingsweerstand op het goede en slechte perceel bij Visser.



Figuur 7.7. Poriëvolume en indringingsweerstand op het goede en slechte perceel bij Buitenhuis.

Nitraatgehalte

In april/mei 2008 zijn van 4 percelen grondwatermonsters genomen door per perceel op 3 plekken het bovenste grondwater te bemonsteren en dit op te mengen tot 1 monster per perceel. De nitraatgehaltes waren op alle vier de percelen lager dan of gelijk aan $50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ (Tabel 7.1). Vanuit deze twee vergelijkingen is tussen goed en slecht perceel geen eenduidige trend waarneembaar. Op de percelen bij Visser was het nitraatgehalte op goede perceel ($25 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$) iets hoger dan op het slechte perceel ($19 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$), terwijl op de percelen van Buitenhuis het nitraatgehalte op het slechte perceel aanzienlijk hoger was ($50 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$) dan op het goede perceel ($25 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$). Er zijn meer waarnemingen nodig om een eenduidig beeld te krijgen.

Tabel 7.1. De nitraatgehaltes op 4 percelen (mei 2008).

| Perceel | | datum | grondwaterstand, cm | mg NO ₃ l ⁻¹ |
|--------------------|------------------|----------|---------------------|------------------------------------|
| Visser, goed | (Hoekse Waard) | 25 mei | 95 | 24,8 |
| Visser, slecht | (Hoekse Waard) | 25 mei | >130 | 18,6 |
| Buitenhuis, goed | (Haarlemmermeer) | 17 april | 120 | 24,8 |
| Buitenhuis, slecht | (Haarlemmermeer) | 17 april | 75 | 49,6 |

Concluderende opmerkingen

Fysische kenmerken lijken minder betrouwbaar om de waardering van de bodemstructuur te voorspellen dan bodemchemische kenmerken. Fysische kenmerken geven een momentopname van de actuele bodemstructuur, die beïnvloed is door voorgaande bodembewerkingen en weersomstandigheden.

Chemische kenmerken geven meer een beeld van het vermogen van de bodem tot het vormen van goede structuur en kunnen zo beter aangeven hoe de bewerkbaarheid is en de moeite die genomen moet worden om de grond te bewerken (bijvoorbeeld zaaibedbereiding).

8 Terugkoppeling met deelnemers

8.1 *Bijeenkomst met de deelnemers op 14 mei 2008*

De resultaten van de literatuurstudie, het grondonderzoek en de enquête zijn teruggekoppeld naar de deelnemende boeren op een bijeenkomst op 14 mei 2008. Na een korte inleiding zijn de resultaten van de enquête en het grondonderzoek gepresenteerd. Aansluitend zijn er een aantal maatregelen voorgesteld en toegelicht. De deelnemers is gevraagd deze in groepjes middels een invulschema te bespreken en te beoordelen. De avond werd afgesloten met een korte nabespreking, waarin gepeild werd in hoeverre de deelnemers het probleem onderkenden en de gekozen benadering ondersteunden. Tevens is de interesse in vervolgonderzoek gevraagd.

8.2 *Respons op maatregelen*

In groepjes zijn voorgestelde maatregelen bediscussieerd. Belangrijke vragen aan de boeren waren of ze de maatregelen uitvoerbaar achten, of ze de maatregelen als effectief inschatten en of ze zelf zouden overwegen de maatregelen op hun bedrijf toe te passen. De uitkomsten staan hieronder weergegeven en zijn verder beknopt weergegeven in Tabel 8.1.

Bekalken

Voor: Werd zeker gezien als structuurverbeterende maatregel.

Schuimaarde werd genoemd als goedkoop en goedwerkend, waarbij opgemerkt werd dat het wel belangrijk is om naar de P-aanvoer te kijken in verband met gebruiksnormen.

Tegen: zwaar materiaal nodig om dit op te brengen, wat weer zeer slecht is voor de structuur. Andere deelnemers merkten op dat je het materiaal hier op aan kunt passen.

Toepassen op eigen bedrijf: bij meerderheid van de deelnemers.

Overige opmerkingen bij dit punt: vroeger werd er meer schuimaarde opgebracht als standaardmaatregel. Dat is nu niet meer zo gebruikelijk bij hoger gebruik van de gronden.

Meststoffen met hoger aandeel Ca

Voor: op zich prima, maar nog niet duidelijk wat.

Tegen: hogere prijs (kalksalpeter), zet weinig zoden aan de dijk.

Toepassen op eigen bedrijf: ja, bijvoorbeeld bij NP26:14. Bij organische mest niet.

Meststoffen met lager aandeel Mg,K, Na, PO₂ en SO₄(niet meer dan bemestingsadvies)

Voor: voor magnesium zeker, bij zwavel ook geen probleem.

Tegen: zwavel bij granen ook in voldoende mate nodig voor gewas, geldt ook voor fosfaat. Bij fosfaat is ook de vergoeding voor mest een belangrijk punt.

Toepassen op eigen bedrijf: Zowel wel als niet. Op een aantal bedrijven wordt nu maximaal aangevoerd, wordt niet minder. Mg wel, maar afhankelijk van kleur en gezondheid gewas. Bij natrium wordt opgemerkt dat dit niet gebruikt wordt.

Overige opmerkingen bij dit punt: voorheen werd magnesiumbemesting wel aangeraden vanuit voedingsoogpunt, ook voor mangaan.

Tabel 8.1. Samenvatting van de bereidheid van de deelnemende akkerbouwers om de voorgestelde maatregelen daadwerkelijk toe te gaan passen op het eigen bedrijf.

| Type | maatregel | acceptatiegraad (toepassen op bedrijf) |
|----------------------------------|--|---|
| sturen op optimale CEC bezetting | • bekalken | hoog |
| | • meststoffenkeuze met hoger aandeel kalk | hoog |
| | • verzurende meststoffen | hoog/beperkt |
| | • Mg, K en Na niet meer dan bemestingsadvies | hoog/beperkt |
| | • inwerken van Na bij gebruik in bieten | hoog |
| organische stof | • inwerken meststoffen algemeen | hoog/beperkt |
| | • compost | beperkt/laag |
| | • champost | beperkt |
| keuze groenbemester | • dunne rundermest ipv dunne varkensmest | laag |
| | • meer grassen | hoog/beperkt |
| | • minder koolachtigen (ivm glomaline) | beperkt |
| aanpassingen bouwplan | • Faecelia | beperkt/laag |
| | • meer granen | beperkt |
| | • minder aardappelen | laag |
| | • meer luzerne | laag |
| | • minder bieten | beperkt/laag |
| | • meer graszaad | laag |
| | • meer uien | laag |
| | • meer diep wortellende gewassen | laag |

Inwerken van Na en meststoffen algemeen

Voor: prima, maar geen Na toegediend.

Tegen: -

Toepassen op eigen bedrijf: wordt al standaard of soms gedaan, Fosfaat werkt beter na inwerken.

Verzurende meststoffen

Voor: makkelijk toe te passen.

Tegen: prijzig.

Toepassen op eigen bedrijf: zowel ja als nee.

Os (compost, Champost, dunne rundermest)

Voor: enkeling positief over compost, champost wordt beter gewaardeerd, evenals dunne rundermest.

Tegen: compost bevat veel troep, en wordt door meerderheid als te duur tegenover mest gezien. Ook bij champost twijfels over prijs. Dunne rundermest bevat eveneens verkeerde stoffen (onkruidzaden)

Toepassen op eigen bedrijf: Compost niet of beperkt. Champost eventueel wel indien beschikbaar, in elk geval liever dan compost.

Overige opmerkingen: niet helemaal duidelijk wat champost voor product is, ook twijfels over beschikbaarheid.

Groenbemesters

Voor: in algemeen prima, bladrammenas goed tegen bietencysteeltjes.

Tegen: grassen geven schurft in aardappelen, veel opslag, past niet bij tarwe of na aardappelen, bovendien vraagt het meer grondbewerking; faecelia is te duur en groeiperiode past het maar bij beperkt aantal gewassen.

Toepassen op eigen bedrijf: bladrammenas, gele mosterd en grassen wel, faecelia enkeling.

Overige opmerkingen: groenbemester zo lang mogelijk laten staan, later ploegen (lichtere gronden).

Aanpassen bouwplan (minder aardappelen en bieten, meer granen, graszaad uien, luzerne en diep wortelende gewassen)

Voor: goed voor structuur (met uitzondering van uien: slecht voor structuur), vooral minder bieten betekent minder zware berijding.

Tegen: gemis aan financiële opbrengst bij minder aardappelen en bieten, graszaad geeft kans op schurft en vretelij, luzerne past niet in bedrijfsvoering en er is geen afnemer voor, uien juist slecht voor structuur.

Toepassen op eigen bedrijf: meer granen wel, enkeling geeft aan dat dat wel afhankelijk is van saldo ten opzichte van bieten/uien, minder aardappelen in meerderheid niet, minder bieten meerderheid niet of afhankelijk van saldo, enkeling wel, meer graszaad zowel wel als niet, meer luzerne niet, diep wortelende gewassen afhankelijk van saldo.

8.3 Discussie

Boeren zagen in de gepresenteerde maatregelen duidelijk kansen om structuurprobleem aan te pakken. Hierbij werd een directe link gelegd tussen structuur / bewerkbaarheid / opbrengst. Naast het financiële voordeel door hogere opbrengst werd ook besparing op diesel en bewerkingen genoemd. Daarnaast hopen de boeren met een betere structuur ook beter bestand te zijn tegen wateroverlast en beter in staat te zijn overtollig water op te vangen in piekperiodes. Boeren gaven aan het onderzoek erg nuttig te vinden en graag mee te willen werken aan vervolgonderzoek. Daarbij zijn er vanuit de akkerbouwers nog een aantal vragen aangegeven die beantwoord moeten worden.

- Op welke termijn kunnen de maatregelen tot een gewenst effect leiden?
- Hoe groot zijn de effecten?
- Wat is het financiële saldo van de maatregelen (kosten voor implementeren versus besparing op diesel en bewerking en hogere opbrengst)?

Maatregelen die aangrijpen op de bodemchemie (rol van Ca) werden daarbij aangemerkt als makkelijker in te passen in de bedrijfsvoering dan maatregelen die aangrijpen op de bodembioïologie (rol van os, bodemleven). Belang van bekalken kon rekenen op veel bijval. Boeren gaven aan dit op te pakken waar ze dit voorheen niet toepasten. Maatregelen mogen niet ten koste gaan van het financiële saldo. Hier wringt het korte termijn belang (jaarinkomen) met het lange termijn belang (in stand houden van bodemkwaliteit en –structuur), en het directe belang van de boer (bestaanszekerheid) met het algemeen belang (waterkwaliteit en waterberging). Het (recente) inzicht dat Mg een nadelig effect heeft op de structuur was nieuw. Ook hierbij werd aangegeven dat hier met keuze van meststoffen rekening zou worden gehouden. Zowel bij gehalte in NP-meststoffen als bij Mg meststoffen zelf: minder bemesten en bladbespuiting overwegen. Monitoring van effecten van een aangepaste bedrijfsvoering is gewenst.

Van een aantal maatregelen valt lastig in te schatten wat het uiteindelijk oplevert. Zo kan bij een verbeterde bodemstructuur “minimal tillage” overwogen worden (= achterwege laten van ploegen). Zelfs bij een geringere opbrengst kan dit financieel voordelig zijn door een besparing op dieselkosten.

Maatregelen die aangrijpen op de bodembiologie (rol van os en bodemleven) zijn lastiger te implementeren. Het belang van os voor de bodemkwaliteit wordt volledig onderschreven. Maatregelen om het gehalte aan os omhoog te brengen zijn echter lastig in te plannen in bedrijfsmanagement. Knelpunt bij de aanvoer van os zijn de beperkingen aan de aanvoer van organische mest (dierlijke mest en compost) en van N en P binnen de gebruiksnormen vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW). Ook de kwaliteit van organische meststoffen werd niet altijd als goed ervaren, dit speelt vooral bij compost (veel troep en plastic) en rundermest (onkruidzaden).

Veranderingen in het bouwplan ten gunste van gewassen die gunstig zijn voor de structuur worden vaak alleen overwogen als ook het financiële saldo gunstig is. Groenbemesters zijn niet altijd makkelijk in te passen vanwege oogsttijd van gewas, tijdstip van onderwerken, opslag, en ziekten en plagen (aaltjes).

Duidelijk is dat het niet alleen gaat om het overdragen van kennis. Het vakmanschap van de boer is belangrijk bij succesvolle implementatie en uitwisselen van ervaringen met betrekking tot de toepassing en uitvoering is een belangrijk aspect. Al tijdens de bijeenkomst was er veel uitwisseling van ervaringen, zoals welke kalkmeststof, hoe uit te rijden, wanneer beste tijdstip, welke groenbemester, wanneer en hoe onder te werken, ploegen of de wormen het werk laten doen etc.

Bij de nabespreking kwam verder naar voren dat de boeren bij de waterschappen aandacht misten voor deze benadering van sturen op een betere bodemstructuur en voor het aandeel van de boeren hierin. Er is een duidelijke wens om het waterprobleem gezamenlijk te benaderen, waarbij het waterschap de rol van boeren als stakeholder duidelijker zou moeten wegen. Bij enkele boeren heerst nu het gevoel dat het probleem van afwatering wordt afgewenteld op de akkers van de boeren. Er is daarbij te weinig oog voor het feit dat wateropvang en waterafvoer -ook gedurende korte periodes- de gewasproductie sterk beïnvloedt. Watermanagement kan zo de winst en in extreme gevallen zelfs het voortbestaan van het bedrijf ondermijnen.

9 Concluderende opmerkingen en aanbevelingen

Algemeen

De studie laat zien dat de koppeling tussen recente bodemchemische en bodembioologische kennis, praktijkonderzoek en -monitoring en teeltmaatregelen op perceelsniveau aangrijpingspunten biedt voor een verbetering van de bodemstructuur op zeeleigonden. Een verbetering van de bodemstructuur is gewenst voor een:

- doelmatig en kosteneffectief water(kwaliteits)beheer; en
- kosteneffectieve hoogwaardige productie van akkerbouwgewassengewenst.

Op kleibodems zijn de bodemchemische eigenschappen doorslaggevend voor structuuropbouw en structuurverval. Onderlinge krachten tussen kleideeltjes geven aggregaatforming, maar kunnen ook leiden tot vervloeiing en slomp. Voorwaarde voor het ontstaan van een goede stabiele structuur is een voldoende Ca-bezetting aan de CEC. Dit gegeven werd bevestigd in het vergelijkend grondonderzoek. Aangrijpingspunten voor sturen op een betere bodemstructuur zijn gelegen in het verhogen van de Ca-bezetting en het terugdringen van Mg en K.

Uit de bijeenkomst met deelnemers blijkt dat boeren dit inzicht ondersteunen en er ook er daadwerkelijk op de akker mee aan de slag willen gaan. Met name bekalken en het terughoudend zijn met Mg-bemesting zijn goed te realiseren.

De bodembioologische eigenschappen zijn belangrijk bij het versterken van de bodemstructuur. Organische stof kan de vorming en stabiliteit van de aggregaten stimuleren, de sponswerking van de bodem beïnvloeden en de activiteit van het bodemleven stimuleren. Relaties tussen hoeveelheid os en bodemstructuur zijn echter niet teruggevonden in de grondanalyseresultaten. Waarschijnlijk is de os-samenstelling en –kwaliteit veel belangrijker dan de hoeveelheid is, zoals ook blijkt uit recent onderzoek. Bijvoorbeeld het bodemeiwit glomaline, een product van micorrhizaschimmels, zou een zeer sterke invloed hebben op de vorming en stabiliteit van de aggregaten. Metingen aan glomaline zijn nog niet robuust gebleken om de relatie tussen glomaline en bodemstructuur in dit onderzoek te valideren. In het algemeen zijn er nauwelijks methodieken beschikbaar om de os-kwaliteit te duiden, laat staan om te sturen op kwaliteit. Ook de aanvoer van verse os is belangrijk, maar dit komt niet tot uitdrukking in het gehalte aan os in de bodem.

Uit de bijeenkomst met de deelnemers blijkt dat men het belang van os inziet. Echter maatregelen die gericht zijn op os-aanvoer en in stand houden van os-gehalte zijn moeilijk in te passen in de bedrijfsvoering. Problemen zijn gelegen op financieel gebied (keuze gewas bepaald financieel saldo en inkomen), inpassing in bedrijfsvoering (groenbemesters na late oogst, opslag en aaltjes), regelgeving (gebruiksnormen N en P), kwaliteit compost en rundermest.

Dit oriënterende onderzoek geeft dat op basis van bodemchemische en –bodembioologische inzichten gestuurd kan worden op structuur. Dit kan bijdragen aan het beter vasthouden van water en een betere infiltratie van water leidend tot minder piekafvoeren en een geringer risico van nutriëntenafspoeling. Het onderzoek is echter te beperkt van opzet om dit kwantitatief te maken. Aanvullend onderzoek is nodig om vast te stellen in hoeverre de gebiedsafvoerfactor wordt beïnvloed door een betere structuur. Op deze manier wordt duidelijk wat dit kan betekenen voor de beperking van de kosten voor de gebiedsinrichting qua waterbeheersende en eventuele waterkwaliteitsverbeterende maatregelen. Tegelijk dient daarbij aandacht te zijn voor organische stof kwaliteit en het gedrag van klei. Op dit moment ontbreekt de detailkennis om te kunnen sturen op organischestofkwaliteit en het goed kunnen

bepalen van de optimale organische stof kwaliteit. Meer Ca geadsorbeerd aan klei is veelal gunstig voor de structuur, maar hangt op zijn beurt ook weer samen met organische stof. Het samenspel van organisch stof en klei in de structuur opbouw tegelijk met het gedrag van klei en de optimale gewenste bezetting van het adsorptiecomplex is uiterst ingewikkeld en slechts op hoofdlijnen bekend. Tegelijk biedt de ontrafeling van dit samenspel voorwaarden om op een innovatieve wijze te kunnen sturen op structuur voor een beter watermanagement en betere teeltvoorwaarden. Dat laat onverlet dat op basis van de huidige kennis eerste stappen kunnen worden gezet die in de praktijk uitvoerbaar zijn, maar tegelijk verdere monitoring behoeven. Uiteraard dient bij een brede aanpak dan ook het effect van grondbewerking meegenomen te worden.

Conclusies

- bodemstructuur op kleigronden is te sturen vanuit bodemchemische en bodembiochemische eigenschappen;
- boeren erkennen dit en willen graag aan de slag met teeltmaatregelen, maar maatregelen moeten inpasbaar zijn in bedrijfsmanagement en financieel haalbaar;
- via gerichte voorlichting en aanvullend praktijkonderzoek kan dit worden uitgerold in de praktijk;
- nog niet duidelijk is wat de kwantitatieve voordelen zijn van een betere structuur voor het waterkwantiteit- en kwaliteitsbeheer en waterkwaliteit. Dit vergt aanvullend onderzoek; en
- aanvullend onderzoek is nodig om het samenspel tussen organische stof en klei te ontrafelen om zo kwantitatief te kunnen sturen op een bepaalde structuurkwaliteit via management.

Onderzoeksaanbevelingen

Duidelijk is dat er nog een aantal vragen liggen die op dit moment vanuit de theorie noch de praktijk te beantwoorden zijn:

1) Vanuit het directe belang van de boeren:

- Op welke termijn kunnen de maatregelen tot een gewenst effect leiden?
- Hoe groot zijn de effecten, vooral ten aanzien van bewerkbaarheid, tijdstip van bewerkbaarheid, opbrengstverhoging?
- Wat is het financieel saldo van de maatregelen (kosten voor implementeren versus besparing op diesel en bewerking en hogere opbrengst)?
- Zijn er nog andere mogelijke maatregelen die bijdragen aan verbeteren en in stand houden van bodemstructuur?
- Hoe kan nieuwe kennis zo snel mogelijk worden uitgedragen?

2) Vanuit het belang van de waterschappen en hoogheemraadschappen:

- Wat is kwantitatief de bijdrage van een verhoogde sponswerking van de bodem aan een verhoging van het waterbergend vermogen en vermindering van de piekafvoer?
- In hoeverre wordt de oppervlakkige afstroming van agro-chemicaliën en nutriënten verminderd door een betere infiltratie en verminderde oppervlakkige afstroming?
- Hoe kan nieuwe kennis zo snel mogelijk worden uitgedragen?

3) Vanuit het onderzoek dat oplossingsrichtingen aangeeft:

- inzicht in het samenspel tussen organischestofkwaliteit en gedrag van de klei op de bodemstructuur en sponswerking en hoe hier op te sturen. In detail:
 - wat betekent de kwaliteit van organische stof en hoe is deze in positieve zin te beïnvloeden door de gewaskeuze (bij hoofddeelt en groenbemester) en het gebruik van mest. Meer specifiek vergt

dit o.a. kwantitatief inzicht in vóórkomen van glomaline in de bodem, de relatie met mycorrhiza en bedrijfsmanagement en het effect op bodemstructuur?;

- meer inzicht in een gewenste optimale Ca-bezetting en van de processen die de Ca-balans in de bodem beïnvloeden: kwantificatie van Ca-nalevering uit zeeschelpen, buffering, uitspoeling en interacties; en
- effecten van andere bodemparameters op de bodemstructuur, zoals de fosfaattoestand van de grond en de bemesting met fosfaat (PO_4^{3-}) en sulfaat (SO_4^{2-}).

Voor een verdere invulling van het antwoord op deze vragen is zowel fundamenteel onderzoek als praktijkmonitoring gewenst. De deelnemende akkerbouwers hebben aangegeven het onderzoek erg nuttig te vinden en graag mee te willen werken aan vervolgonderzoek. Er is een duidelijke wens om het waterprobleem gezamenlijk te benaderen, waarbij zowel het belang van het waterschap als de rol van de boeren als stakeholders meegenomen wordt. Voor een praktijkbrede acceptatie en implementatie is het daarnaast gewenst deze in de praktijk te demonstreren.

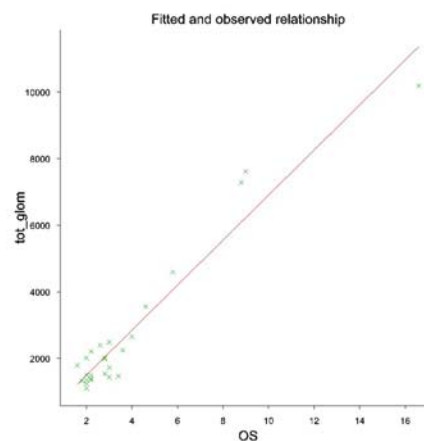
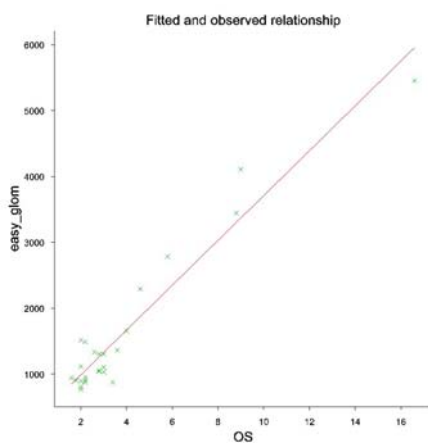
10 Literatuur

- Van den Bosch VK, Van Iterbeeck J, Nijp JJ, Rakovec O & Spies WC (2008) Effects of changing physical properties on water infiltration in marine clay soils and the contribution of earthworm activity to those changes. Dep. Soil Quality. Wageningen University.
- Rozemeijer J & Van der Velde Y 2008 Oppervlakkige afstroming ook van belang in het vlakke Nederland. H2O 19, pp. 92-94.
- Krull JE, Skjemstad JO & Baldock JA Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. CSIRO land & Water and CRC for Greenhouse accounting. <http://www.greenhouse.crc.org.au>. ISBN 0-9579597-4-5.
- Boekel P (1986) De kalktoestand vereist voor een goede structuur en gewasopbrengst. IB-Haren. Rapport 8-86.
- Amezketta E (1999) Soil Aggregate Stability: a review. Journal of sustainable agriculture 14(2/3) 83-151.
- Bronick CJ & Lal R (2005) Soil structure and management: a review. Geoderma 124, p3-22.
- Treseder KK & Turner KM Glomalin in ecosystems. Soils Science Society America Journal 71(4) 1257-1266.
- Locher WP & De Bakker H (Red.) 1992 Bodemkunde van Nederland. Deel 1. Malmberg Den Bosch.

Bijlage 1. Analyse uitslagen van glomaline metingen

| Sample number | Soil Structure | Easily Extractable (mg / kg) | Total Extractable (mg / kg) | Organic Matter (g / kg) |
|---------------|----------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 190872 | Bad | 1307 | 2483 | 30 |
| 190873 | Good | 950 | 1497 | 22 |
| 190874 | Bad | 811 | 1239 | 20 |
| 190875 | Good | 1044 | 1541 | 28 |
| 190876 | Bad | 1104 | 1726 | 30 |
| 190877 | Good | 896 | 1349 | 20 |
| 192176 | Good | 876 | 1354 | 22 |
| 192177 | Bad | 1659 | 2661 | 40 |
| 192843 | Bad | 1490 | 2211 | 22 |
| 192844 | Good | 2293 | 3558 | 46 |
| 192851 | Good | 1307 | 2023 | 28 |
| 192852 | Bad | 1337 | 2400 | 26 |
| 192853 | Bad | 3446 | 7281 | 88 |
| 192854 | Good | 5458 | 10195 | 166 |
| 192855 | Bad | 4110 | 7618 | 90 |
| 192856 | Good | 2788 | 4598 | 58 |
| 193156 | Good | 1366 | 2245 | 36 |
| 193157 | Bad | 1119 | 1513 | 20 |
| 199826 | Good | 1029 | 1433 | 30 |
| 199827 | Bad | 876 | 1468 | 34 |
| 199833 | Good | 906 | 1399 | 22 |
| 199837 | Bad | 1054 | 1992 | 28 |
| 200050 | Bad | 1515 | 2013 | 20 |
| 200051 | Good | 767 | 1096 | 20 |
| 204762 | Bad | 906 | 1319 | 18 |
| 204763 | Good | 945 | 1795 | 16 |

1. Correlation between easily extractable (1st extraction) and total extractable (sum of 5 extractions) is very high ($r = 0.99$).
2. Both measurements also show a very high correlation with Organic Matter.



Bijlage 2. Lijst van deelnemers aan vergelijkend grondonderzoek

| naam bedrijf | regio | plaats |
|---------------------|----------------|-----------------|
| Blom | Haarlemmermeer | Hoofddorp |
| Koeckhoven | Haarlemmermeer | Hoofddorp |
| Petrie Gzn | Haarlemmermeer | Zwaanshoek |
| vof Kamper | Haarlemmermeer | Vijfhuizen |
| Mts Parlevliet | Haarlemmermeer | Beinsdorp |
| Bijlsma | Haarlemmermeer | Nieuw Vennepe |
| Gebr. Steenwijk | Haarlemmermeer | Abennes |
| Roos | Haarlemmermeer | Abennes |
| vof Buitenhuis | Haarlemmermeer | Lisserbroek |
| Klompe | | |
| Landbouwbedrijf BV | Hoekse waard | Oud Beijerland |
| Blok | Hoekse waard | Oud Beijerland |
| Visser | Hoekse waard | Zuid Beijerland |
| Breure | Hoekse waard | Klaaswaal |
| Reedijk | Hoekse waard | s Gravendeel |
| Mts Scheele Bruin | Hoekse waard | s Gravendeel |
| Luykx | Hoekse waard | Langeweg |
| Gebr. Hopmans | Hoekse waard | Klundert |
| Wiersma | Groningen | Pieterzijl |
| Dijksterhuis | Groningen | Uithuizermeeden |
| Sloots | Groningen | Eenrum |
| Spriensma | Groningen | Zuurdijk |
| Boer | Groningen | Houwerzijl |

Bijlage 3. Enquêteformulieren

Historie en extra informatie over percelen op:

Bedrijf:

Adres:

| Gegevens | Goede structuur Perceel | Slechte structuur Perceel |
|--|----------------------------|------------------------------|
| Perceelsnaam zoals die op het bedrijf gebruikt wordt | | |
| Klantnummer BLGG | | |
| Oppervlakte (ha) | | |
| Grondsoort | zeeklei | zeeklei |
| Grondwatertrap (bijv. V of VI of VII) indien bekend | - | - |
| GHG ¹⁾ | - | - |
| GLG ²⁾ | - | - |
| Of waterpeil in sloot (t.o.v. maaiveld) | | |
| Grond sterk ijzerhoudend | Ja / Nee | Ja / Nee |
| | | |
| Diepe grondbewerking? | Ja / Nee | Ja / Nee |
| Wanneer | | |
| Wat voor bewerking | | |
| Overige grondbewerking | | |
| Wat voor bewerking | | |
| Bewerkingsdiepte | | |
| Wanneer | | |
| | | |
| Wordt er bij bewerkingen speciaal aandacht besteed aan bodemstructuur, bijv. via gebruik lage drukbanden, lichtere machines, gebruik sleepslangaanvoermachines, etc. | | |
| Veranderingen in verkaveling (bijv. percelen samengevoegd)? | | |
| Wanneer | | |
| Zijn er veranderingen in de ontwatering toegepast? | Ja / Nee | Ja / Nee |
| Wanneer (jaartal)? | | |
| Wat voor verandering? | | |
| Zijn er nog andere structurele / cultuurtechnische ingrepen verricht? | Ja / Nee | Ja / Nee |
| Welke? | | |
| Wanneer? | | |
| | | |

Historie en extra informatie over de proefvelden op het bedrijf

| Gegevens | Goede structuur Perceel | Slechte structuur Perceel |
|--|----------------------------|------------------------------|
| Gewas (tarwe, suikerbieten, aardappelen, gras etc.) | | |
| 2007 (voor en in seizoen 2007) | | |
| 2006 (voor en in seizoen 2006) | | |
| 2005 etc | | |
| 2004 etc | | |
| 2003 etc | | |
| 2002 etc | | |
| 2001 etc | | |
| 2000 etc | | |
| 1999 etc | | |
| 1998 etc | | |
| 1997 etc | | |
| 1996 etc | | |
| 1995 etc | | |
| Bemesting algemeen (kunstmest =1, dierlijke mest=2 Groenbemester= 3, bekalking=4, compost =5) | | |
| 2007 (voor en in seizoen 2007) | | |
| 2006 (voor en in seizoen 2006) | | |
| 2005 | | |
| 2004 | | |
| 2003 | | |
| 2002 | | |
| 2001 | | |
| 2000 | | |
| 1999 | | |
| 1998 | | |
| 1997 | | |
| 1996 | | |
| 1995 | | |
| Opm. indien er een groenbemester is gebruikt dan ook graag wat voor groenbemester | | |
| Bemesting detail in 2007 | | |
| N, K ₂ O, P ₂ O ₅ en MgO uit kunstmest (kg/ha) | | |
| Hoeveelheid dierlijke mest (m ³ /ha) en mestsoort | | |
| Bemesting detail in 2006 | | |
| N, K ₂ O, P ₂ O ₅ en MgO uit kunstmest (kg/ha) | | |
| Hoeveelheid dierlijke mest (m ³ /ha) en mestsoort | | |
| Bemesting in detail 2005 | | |
| N, K ₂ O, P ₂ O ₅ en MgO uit kunstmest (kg/ha) | | |
| Hoeveelheid dierlijke mest (m ³ /ha) en mestsoort | | |

| | | |
|---|---|---|
| Bemesting in detail 2004 | | |
| N, K ₂ O, P ₂ O ₅ en MgO uit kunstmest (kg/ha) | | |
| Hoeveelheid dierlijke mest (m ³ /ha) en mestsoort | | |
| Methode mest uitrijden op bouwland ¹⁾ | B | B |

Visuele beoordeling op (datum):

Bedrijfsnaam:

Adres:

| | | Goede structuur Perceel | Slechte structuur Perceel |
|--|---|----------------------------|------------------------------|
| Is de grond droog of nat? | droog/nat | | |
| Staat er wel eens water op het perceel? | Ja/nee | | |
| zomer | | | |
| herfst | | | |
| winter | | | |
| voorjaar | | | |
| Zijn er (rij)sporen zichtbaar? | Geen/enkele/veel | | |
| Slempgevoeligheid volgens u? | niet/licht/zwaar | | |
| Verkruimelbaarheid? | Goed/slecht/matig | | |
| Versmeert de grond? | Ja/nee/weet niet | | |
| Welk van de twee percelen geeft meer tarra? | Aankruisen of indien geen verschil "0" | | |
| Is de grond volgens u verdicht? | Ja/nee/ weet niet | | |
| Bewerkbaarheid?* | goed/matig/slecht | | |
| Welke van de twee percelen is eerder berijdbaar en bewerkbaar? | Aankruisen of indien geen verschil "0" | | |
| Hoeveel dagen (indien van toepassing) | | | |
| Wat is uw algehele visuele beoordeling van de structuur (de totaal indruk)? | goed/matig/slecht | | |
| Zijn er opvallende kenmerken? | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Welk van de volgende situaties treft u wel eens aan op uw percelen (zie foto's)** | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

* op het moment dat men een monster neemt met bijv. de schop dan krijgt men daar mogelijk wel een indruk van.

** de bedrijfsbezoeker heeft deze foto's in zwart-wit bij zich.

Bijlage 4. Detailinfo aanvullende bemonstering 2008 op 4 percelen

| bedrijf a | cm - maaiveld | por. vol % | vol. gew. | indring./ 10cm | Bodem-horizont | Kleur | structuur | | textuur | |
|----------------|---------------|------------|-----------------|----------------|----------------|-----------|-----------|-----------------------|------------------------------------|--|
| goed | 10 | 35,67 | 1,52 | 0,70 | Ap | 10 YR 4/3 | fb-af | | matig lichte zavel matig humus arm | |
| | 20 | 32,00 | 1,70 | 1,51 | | | | | | |
| | 30 | 33,67 | 1,62 | 1,69 | | | | | | |
| | 40 | 36,33 | 1,53 | 1,92 | | | | | | |
| | 50 | 38,33 | 1,52 | 2,68 | C1 | 10 YR 7/4 | gbl-sc | grbl-sc | kleiarm zand humusarm | |
| | 60 | 37,67 | 1,54 | 2,50 | | | mfb-sc | | | |
| | 70 | 39,33 | 1,53 | 2,42 | | | | | | |
| | 80 | 38,67 | 1,53 | 2,19 | | | | | | |
| NO3 grondwater | | 0,4 | mmol/l filtraat | gws | | 95 | | | | |
| NO3 grondwater | | 24,8 | mg/l filtraat | | | | | | | |
| bedrijf a | cm - maaiveld | por. vol % | vol. gew. | indring./ 10cm | Bodem-horizont | Kleur | structuur | | textuur | |
| slecht | 10 | 39,00 | 1,43 | 0,52 | Ap | 10 YR 5/2 | fbl-sc | | matig zware klei matig humus arm | |
| | 20 | 38,67 | 1,48 | 0,80 | | | | | | |
| | 30 | 33,00 | 1,92 | 1,05 | | | | | | |
| | 40 | 37,00 | 1,48 | 1,44 | | | | | | |
| | 50 | 37,67 | 1,45 | 1,60 | C1 | 10 YR 6/3 | grbl-sc | grbl-sc | lichte klei, humus arm | |
| | 60 | 41,67 | 1,34 | 1,79 | | | bl-af | | | |
| | 70 | 42,67 | 1,37 | 2,10 | | | | | | |
| | 80 | 43,00 | 1,35 | 2,32 | | | | | | |
| NO3 grondwater | | 0,3 | mmol/l filtraat | gws | | >130 | | | | |
| NO3 grondwater | | 18,6 | mg/l filtraat | | | | | | | |
| bedrijf b | cm - maaiveld | por. vol % | vol. gew. | indring./ 10cm | Bodem-horizont | Kleur | structuur | | textuur | |
| goed | 10 | 40,67 | 1,36 | 0,76 | Ap | 10 YR 2/1 | grbl-af | | matig lichte zavel matig humus arm | |
| | 20 | 44,33 | 1,29 | 0,87 | | | | | | |
| | 30 | 40,33 | 1,38 | 0,80 | | | | | | |
| | 40 | 43,67 | 1,34 | 1,38 | | | | | | |
| | 50 | 43,33 | 1,30 | 2,09 | C1 | 10YR 3/2 | grbl-sc | kleiarm zand humusarm | | |
| | 60 | 43,67 | 1,33 | 1,97 | | 10YR 7/2 | fbl-af | | | |
| | 70 | 45,67 | 1,27 | 1,73 | | | | | | |
| | 80 | 47,00 | 1,23 | 1,62 | | | | | | |
| NO3 grondwater | | 0,4 | mmol/l filtraat | gws | | 120 | | | | |
| NO3 grondwater | | 24,8 | mg/l filtraat | | | | | | | |
| bedrijf b | cm - maaiveld | por. Vol % | vol. Gew. | indring./ 10cm | Bodem-horizont | Kleur | structuur | | textuur | |
| slecht | 10 | 51,50 | 1,07 | 0,43 | Ap | 10 YR 3/2 | grbl-af | | matig zware klei humusrijk | |
| | 20 | 51,00 | 1,06 | 0,66 | | | | | | |
| | 30 | 54,50 | 0,97 | 0,87 | B1 g/C1 | 10YR 4/6 | grbl-kr | | venige klei | |
| | 40 | 66,00 | 0,75 | 1,05 | | | | | | |
| | 50 | 62,00 | 0,73 | 1,18 | C1 | 10YR 5/8 | fbl-kr | | | |
| | 60 | 63,50 | 0,83 | 1,15 | | | | | | |
| | 70 | 64,50 | 0,72 | 1,14 | C2 | 10YR 5/8 | | | | |
| | 80 | 65,00 | 0,75 | 1,22 | | | | | | |
| NO3 grondwater | | 0,8 | mmol/l filtraat | gws | | 75 | | | | |
| NO3 grondwater | | 49,6 | mg/l filtraat | | | | | | | |

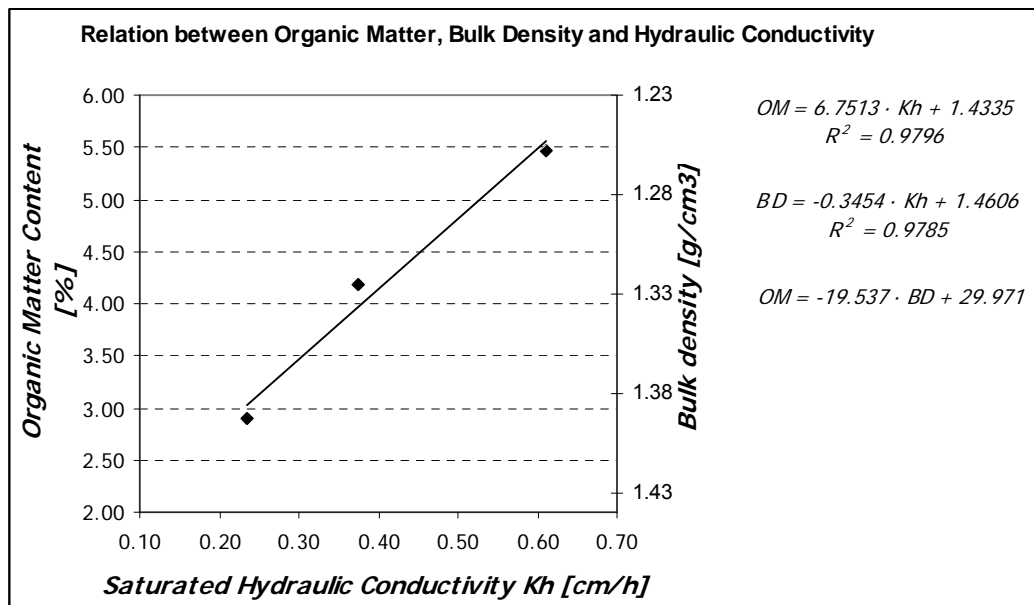
1. poriënvolume; op 3 plots per perceel (met uitzondering van het slechte perceel Visser waar maar 2 plots zijn gestoken, vanwege kleine omvang van perceel en de zeer slechte omstandigheden) is per 10 cm diepte een ringmonster van ongestoorde grond gestoken tot 80 cm onder maaiveldniveau. Hiervan is het poriënvolume en de dichtheid bepaald. Het gemiddelde van de 3 ringen is in de tabel aangegeven.
2. indringingsweerstand; eveneens 3 plots per perceel ter plaatse waar ook de ringmonsters c.q. profielkuil is gegraven. Per plot is 3 maal gemeten. In de tabel is het gemiddelde van de 3 plots (9 penetraties) per 10 cm geven. De waarden zijn uitgedrukt in Mpa. De waardes liggen op een vrij laag niveau. Hierbij is het van belang dat de metingen in relatief natte grond hebben plaats gevonden.
3. profielkenmerken; naast de te onderscheiden bodemhorizonten zijn de kleurkenmerken aangegeven op basis van de Munsel kleurkaart. Structuurkenmerken zijn op basis van de volgende codes omschreven: fb = fijn blokkig, mfb = matig fijnblokkig, gbl = grofblokkig, bl = blokkig,

De textuurbenaming is op basis van schatten en weergegeven volgens Stiboka standaard.

Bijlage 5. Achterliggende berekeningen en aannames

In opdracht van NMI is door Wageningen Universiteit een literatuur en modelstudie uitgevoerd naar het effect van organische stof op de infiltratiecapaciteit van de bodem (Van den Bosch et al., 2007).

Met gebruikmaking van pedotransferfuncties is de relatie tussen organische stof, bulkdichtheid en waterdoorlatendheid van een referentiegrond (22% lutum, 40% silt en 38% zand) berekend.



Figuur 1. De relatie tussen organische stof, bulkdichtheid van de bodem en de waterdoorlatendheid.

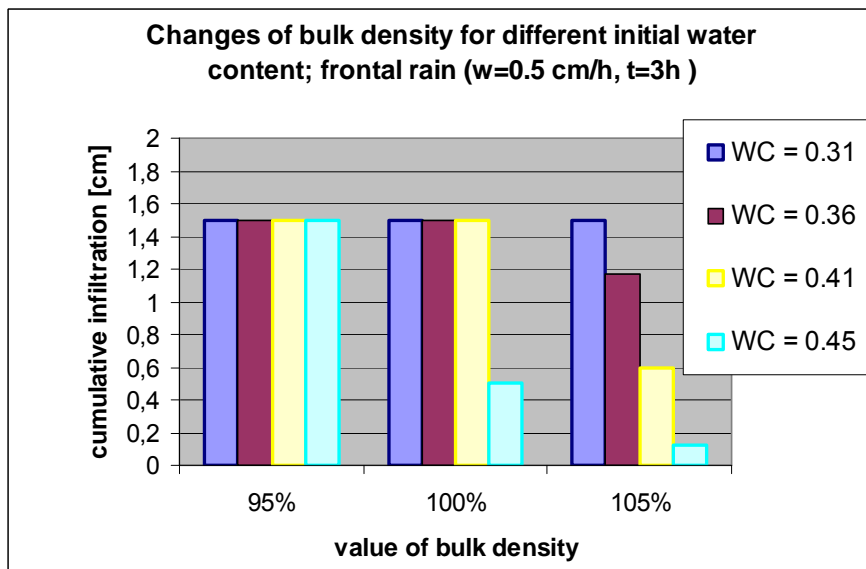
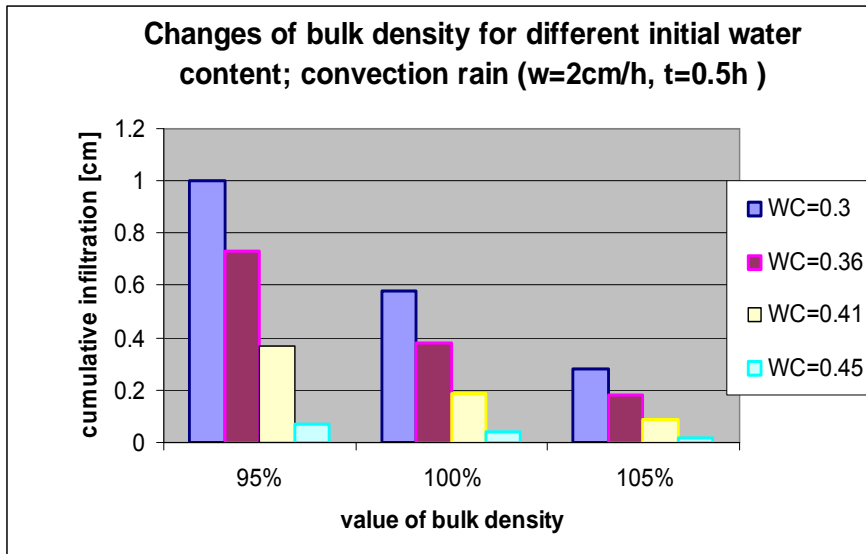
Met deze relatie is vervolgens met het eenvoudige ééndimensionale infiltratiemodel van Green & Ampt de infiltratie van regenwater berekend na ofwel een korte heftige regenbui (1 cm in half uur) ofwel een gelijkmatige langdurige regenbui (1,5 cm in 3 uur). Hierbij zijn verschillende situaties met elkaar vergeleken.

- Het aanvankelijke vochtgehalte van de bodem varieert tussen veldcapaciteit ($WC=0,3$) en waterverzadiging ($WC=0,45$).
- De bulkdichtheid van de bodem varieert tussen $1,32 \text{ g cm}^3$ (95%), $1,39 \text{ g cm}^3$ (100%) en $1,46 \text{ g cm}^3$ (105%). Dit komt overeen met een os gehalten van respectievelijk 4,2%, 2,8% en 1,4% (bij referentiegrond met 22% lutum, 40% silt en 38% zand).

Onderstaande Figuren 2 en 3 laten duidelijk zien dat het organisch stof gehalte van grote invloed kan zijn op de hoeveelheid water die tijdens een regenbui in de grond kan infiltreren. Bij een korte heftige bui (Figuur 2) is de infiltratie in bijna alle gevallen minder dan de hoeveelheid regen. Enkel bij de laagste bulkdichtheid (hoogste os gehalte) is de infiltratie bij veldcapaciteit van de bodem gelijk aan de hoeveelheid regen. De infiltratiecapaciteit neemt sterk toe bij afname van de bulkdichtheid of toename van het os gehalte. Bij een langdurige zwakke regenbui (Figuur 3) houdt de infiltratie in veel situaties gelijke tred met de hoeveelheid regen. Ook hier is een afname van de infiltratiecapaciteit met een toename van de bulkdichtheid of afname van os gehalte te zien.

De hoeveelheid die niet infiltreert zal op de oppervlakte stagneren (plassen), gevolgd door oppervlakkige

afstroming, verdamping en/of, na drainage van het reeds geïnfiltreerde water, infiltratie in de bodem. In tegenstelling tot wat vaak nog wordt aangenomen is oppervlakkige afstroming ook in Nederland van grote invloed op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Piekafvoeren tijdens regenbuien lijken voor fosfaat en zware metalen een belangrijke transportroute (Rozemeijer en Van der Velde 2008).

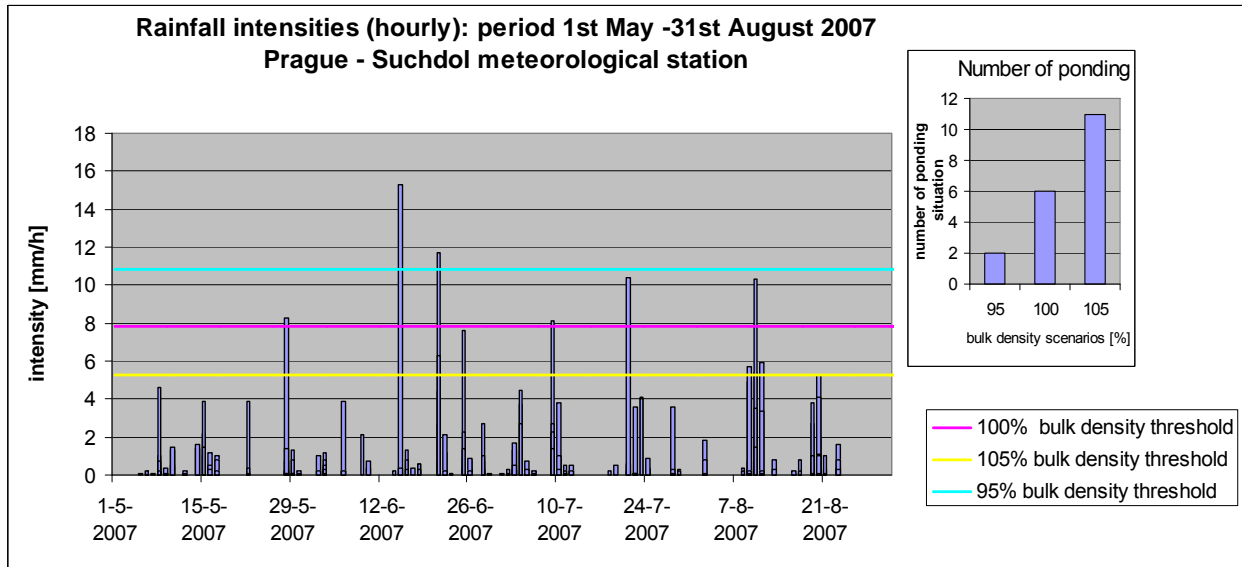


Figuur 2 en 3. Het effect van veranderingen in watergehalte (WC) en bulkdichtheid (bulk density) op de infiltratiecapaciteit van een bodem (22% lutum, 40% silt en 38% zand). WC varieert tussen veldcapaciteit (0,31) en verzadigd (0,45). Toename in bulk dichtheid komt overeen met een afname in os van 4,2% tot 2,8% en 1,5%.

Bij de hier gemodelleerde processen is uitgegaan van een homogene grond en gelijkmatige waterstroom naar beneden. Infiltratie door macroporiën (scheuren en gangen) en capillaire opstijging zijn buiten beschouwing gelaten. Het belang van de uitkomsten ligt erin dat aangetoond wordt dat een verandering in os gehalte een duidelijke aantoonbare verandering in infiltratiecapaciteit veroorzaakt.

In Figuur 4 valt vervolgens te zien wat een verandering in os-gehalte en bulkdichtheid betekent voor het aantal malen dat er waterstagnatie optreedt (number of ponding). Met het model Green & Ampt is met

uurlijkse regenvaldata voor enkele maanden doorgerekend hoe vaak de regenintensiteit hoger is dan de infiltratiecapaciteit (bij referentiegrond en aannames als boven beschreven). Bij een bulkdichtheid van $1,46 \text{ g cm}^3$ (blauwe lijn) treedt er 11 maal een overschrijding van de infiltratiecapaciteit op, met plassen op de oppervlakte tot gevolg. Een afname van de bulkdichtheid tot $1,39 \text{ g cm}^3$ (roze lijn) of $1,32 \text{ g cm}^3$ (gele lijn) geeft een afname van het aantal malen dat water stagneert tot respectievelijk 6 en 2 maal.



Figuur 4. Het aantal keren dat er waterstagnatie op kan treden bij een verschillende bulkdichtheid. Als voorbeeld is een weerssituatie in 2007 gekozen.

Bijlage 6. De chemische bodemeigenschappen per bedrijf

| Bedrijf | Perceel | pH | KZK | OS | Lutum | CEC (mmol/kg) | Ca-bezetting | Mg-bezetting | K-bezetting | Na-bezetting |
|---------|---------|-----|------|------|-------|---------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| 1 | goed | 7,4 | 5,9 | 6 | 19 | 290 | 94,7 | 3,0 | 1,9 | 0,4 |
| 1 | slecht | 6,8 | 1,2 | 5,4 | 43 | 326 | 87,3 | 9,2 | 2,9 | 0,6 |
| 2 | goed | 7,5 | 7,7 | 2,8 | 12 | 132 | 93,7 | 2,9 | 3,0 | 0,4 |
| 2 | slecht | 7,4 | 8,6 | 2 | 20 | 175 | 93,3 | 4,1 | 2,3 | 0,3 |
| 3 | goed | 7,4 | 4,5 | 3,2 | 18 | 189 | 91,8 | 4,4 | 3,4 | 0,4 |
| 3 | slecht | 7 | 0,8 | 4,2 | 21 | 229 | 88,9 | 6,9 | 2,1 | 0,3 |
| 4 | goed | 7,1 | 6,1 | 1,6 | 9 | 83 | | | | |
| 4 | slecht | 7,2 | 6,5 | 1,8 | 10 | 96 | | | | |
| 5 | goed | 7,3 | 4,6 | 2 | 10 | 134 | | | | |
| 5 | slecht | 7,6 | 10,5 | 2 | 19 | 167 | | | | |
| 6 | goed | 7,2 | 0,8 | 16,6 | 36 | 527 | 94,3 | 3,5 | 1,7 | 0,5 |
| 6 | slecht | 7,2 | 2,1 | 8,8 | 32 | 404 | 89,1 | 7,0 | 3,6 | 0,4 |
| 7 | goed | 7,3 | 4 | 3,4 | 26 | 219 | 92,3 | 4,6 | 2,7 | 0,4 |
| 7 | slecht | 7 | 2,1 | 4 | 34 | 296 | 91,4 | 6,3 | 2,0 | 0,3 |
| 8 | goed | 7,3 | 8,1 | 2,2 | 18 | 165 | 93,0 | 3,3 | 3,2 | 0,5 |
| 8 | slecht | 7,4 | 5,1 | 4 | 24 | 261 | 93,5 | 4,0 | 2,0 | 0,5 |
| 9 | goed | 7,6 | 5,8 | 1,8 | 11 | 107 | 92,7 | 3,0 | 3,7 | 0,6 |
| 9 | slecht | 6,1 | 0,2 | 1,8 | 8 | 72 | 80,4 | 12,1 | 6,4 | 0,8 |
| 10 | goed | 7,1 | 6,1 | 3,6 | 24 | 217 | 91,3 | 4,7 | 3,5 | 0,5 |
| 10 | slecht | 7,2 | 6,6 | 2 | 17 | 162 | 93,3 | 3,5 | 2,8 | 0,4 |
| 11 | goed | 7,7 | 10,2 | 2,2 | 18 | 172 | 92,9 | 3,4 | 3,2 | 0,5 |
| 11 | slecht | 7,6 | 9,2 | 3 | 23 | 199 | 90,6 | 5,5 | 3,3 | 0,6 |
| 12 | goed | 7 | 1,9 | 2,8 | 16 | 138 | 89,5 | 4,7 | 5,2 | 0,6 |
| 12 | slecht | 7,2 | 0,2 | 2,8 | 19 | 150 | 92,8 | 3,9 | 2,6 | 0,7 |
| 13 | goed | 7,3 | 7,9 | 3,6 | 18 | 199 | 92,7 | 3,8 | 3,1 | 0,4 |
| 13 | slecht | 7,3 | 10 | 2,8 | 18 | 174 | 92,6 | 4,0 | 3,0 | 0,4 |
| 14 | goed | 7,7 | 8,2 | 1,6 | 12 | 91 | 92,1 | 3,2 | 4,2 | 0,5 |
| 14 | slecht | 7,2 | 3,9 | 2,2 | 21 | 150 | 92,2 | 3,7 | 3,6 | 0,5 |
| 15 | goed | 7,4 | 5,9 | 6 | 19 | 290 | 94,7 | 3,0 | 1,9 | 0,4 |
| 15 | slecht | 6,8 | 1,2 | 5,4 | 43 | 326 | 87,3 | 9,2 | 2,9 | 0,6 |
| 16 | goed | 7,5 | 5,9 | 2,8 | 24 | 175 | 93,2 | 3,1 | 3,1 | 0,6 |
| 16 | slecht | 7,1 | 1,2 | 2,6 | 13 | 118 | 89,7 | 6,3 | 3,2 | 0,8 |
| 17 | goed | 7,1 | 4,8 | 4,6 | 18 | 198 | 93,9 | 3,5 | 1,9 | 0,7 |
| 17 | slecht | 7,1 | 1,1 | 2,2 | 7 | 85 | 90,1 | 6,4 | 2,9 | 0,6 |
| 18 | goed | 7,6 | 8,8 | 2 | 14 | 132 | 92,7 | 3,0 | 3,8 | 0,5 |
| 18 | slecht | 7,5 | 9,5 | 3 | 26 | 187 | 90,9 | 4,6 | 3,9 | 0,6 |
| 19 | goed | 6,7 | 0,3 | 2,2 | 14 | 174 | | | | |
| 19 | slecht | 7,2 | 1,6 | 2,2 | 22 | 219 | | | | |
| 20 | goed | 7,2 | 0,6 | 2,2 | 16 | 234 | | | | |
| 20 | slecht | 7,1 | 0,5 | 2,8 | 28 | 250 | | | | |
| 21 | goed | 7,4 | 6,7 | 3,8 | 17 | 180 | 93,8 | 2,5 | 3,1 | 0,6 |
| 21 | slecht | 7,3 | 4,2 | 4,8 | 24 | 255 | 93,6 | 3,2 | 2,6 | 0,6 |
| 22 | goed | 7,4 | 3,4 | 5,8 | 15 | 235 | 95,1 | 2,8 | 1,5 | 0,6 |
| 22 | slecht | 7 | 1 | 9 | 38 | 399 | 90,6 | 6,0 | 2,7 | 0,7 |
| 23 | goed | 7,3 | 1 | 3 | 23 | | | | | |
| 23 | slecht | 7,5 | 1,9 | 3,4 | 28 | | | | | |