

30 vragen en antwoorden

over bodemvruchtbaarheid



ALTERRA
WAGENINGEN **UR**

30 vragen en antwoorden

over bodemvruchtbaarheid

René Schils
2012



WAGENINGEN UR
For quality of life

Voorwoord

Bodemvruchtbaarheid is een klassiek thema in de landbouw. De hoge producties die we in Nederland realiseren, danken we onder andere aan de voortdurende aandacht voor de bodem. Toch zijn er zorgen over de bodemvruchtbaarheid. Ze komen voort uit onzekerheid over het effect van verschillende actuele ontwikkelingen zoals de vraag naar bio-energie, intensivering en specialisatie, mestbeleid en klimaatverandering. Daarom blijft bodemvruchtbaarheid hoog op de publieke agenda staan.

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) is de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) gevraagd de belangrijkste vragen en antwoorden rondom bodemvruchtbaarheid op toegankelijke wijze te beschrijven. Deze publicatie moet daarmee bijdragen aan een gezamenlijk kader om het complexe onderwerp, dat bodemvruchtbaarheid is, met elkaar te bespreken.

Inleiding

Een vruchtbare bodem is één van de pijlers onder onze voedselvoorziening, nu en in de toekomst. De vraag naar voedsel, en andere biomassa, blijft deze eeuw toenemen. De omgeving waarin de productie tot stand komt, verandert echter continu. De maatschappij vraagt om schone productie met oog op biodiversiteit, de afzetmarkt verandert, grondstoffen worden schaarser en het klimaat verandert. Dat heeft ook gevolgen voor de bodemvruchtbaarheid. Het is dus niet verwonderlijk dat bodemvruchtbaarheid steeds nadrukkelijker op de agenda staat van politiek, overheid, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties. Deze publicatie is vooral geschreven voor medewerkers van deze organisaties, van rijksoverheid tot waterschap, en van productschap tot mestverwerker. Uiteindelijk draait het om de boeren die het land en de bodem bewerken. Ook zij vinden in deze publicatie achtergronden over alle belangrijke aspecten van bodemvruchtbaarheid. De dertig vragen en antwoorden zijn grofweg in drie groepen ingedeeld. Eerst komen de klassiekers aan bod waarin de basiskennis wordt uitgelegd. De volgende groep vragen behandelt de actuele thema's zoals mestbeleid, energieproductie en klimaatverandering. Tot slot komen in de laatste vragen de kennisagenda en nieuwe ontwikkelingen aan bod.

Inhoud

- 1** **Wat is bodemvruchtbaarheid?** **12**

Bodemvruchtbaarheid is de bijdrage van de bodem aan de productiviteit. Het omvat alle chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen die nodig zijn voor de groei van planten.
- 2** **Waarom is bodemvruchtbaarheid belangrijk?** **16**

Een vruchtbare bodem is belangrijk voor onze voedselvoorziening. De vraag naar voedsel en andere biomassa blijft toenemen. Daarnaast is bodemvruchtbaarheid belangrijk voor alle andere levende organismen die op of in de bodem leven.
- 3** **Hoe vruchtbaar zijn onze oorspronkelijke bodems?** **20**

Klei- en lössgronden zijn vruchtbare gronden die vocht en voedingsstoffen goed vasthouden. Zandgronden zijn van oorsprong onze armste gronden, die in de loop van de eeuwen zijn verbeterd. Veengronden zijn vruchtbare, maar natte, gronden die vooral geschikt zijn als grasland.
- 4** **Hoe meet je bodemvruchtbaarheid?** **24**

Grondonderzoek richt zich meestal op het gehalte aan organische stof, de zuurgraad en de beschikbaarheid van stikstof, fosfaat en kalium. Het klassieke, chemisch gerichte, onderzoek wordt steeds meer uitgebreid met biologische en fysische indicatoren.

-
- 5** **Kun je bodemvruchtbaarheid met het blote oog beoordelen?** **28**
Een uitgegraven kluit grond geeft informatie over de structuur, de beworteling, de aanwezigheid van regenwormen, en de gehalten aan organische stof en kalk. Daarnaast kunnen verkleuringen of vervormingen van het gewas wijzen op een tekort van specifieke voedingsstoffen.
- 6** **Wat is de zuurgraad?** **32**
De zuurgraad (pH) is een maat voor de concentratie aan vrije waterstofionen in het bodemvocht. De zuurgraad is van belang voor de beschikbaarheid van voedingsstoffen, de activiteit van het bodemleven en de bodemstructuur. Kalkmeststoffen helpen om de verzuring van de bodem tegen te gaan.
- 7** **Wat is organische stof?** **36**
Organische stof is afkomstig van dood plantaardig of dierlijk materiaal, zoals bladeren, wortels of mest. Het heeft een positieve invloed op de beschikbaarheid van voedingsstoffen, bodemstructuur, waterregulering en bodemleven. Het landgebruik is zeer belangrijk voor het gehalte aan organische stof. Grasland bevat meer organische stof dan bouwland.
- 8** **Is alle organische stof gelijk?** **40**
De leeftijd en afbraaksnelheid van organische stof zijn belangrijke onderscheidende eigenschappen. Jonge organische stof levert vooral voedingsstoffen. Oude organische stof is belangrijk voor de structuur en vochtregulering. De vuistregel voor de gemiddelde afbraak van organische stof is twee procent per jaar.
- 9** **Wat is een groenbemester?** **44**
Een groenbemester is een gewas dat de bodemvruchtbaarheid op peil houdt of verbetert. Ze onderdrukken onkruid, voorkomen structuurbederf en kunnen stikstof vastleggen die anders uit zou spoelen. Groenbemers leveren meestal geen verkoopbaar product, maar worden aan het eind van de teelt ondergeploegd. Daarbij leveren ze organische stof aan de bodem.
- 10** **Wat is een organische stof balans?** **48**
De aanvoer van organische stof bestaat uit gewasresten en organische meststoffen. De aanvoer wordt uitgedrukt in effectieve organische stof. Dat is de organische stof die na een jaar nog aanwezig is. Tegenover de aanvoer staat de afbraak van organische stof, gemiddeld zo'n twee procent per jaar. De balans tussen aanvoer en afbraak bepaalt of het organische stofgehalte op peil blijft of verandert.

11	Hoeveel organische stof wordt aangevoerd?	52
	De aanvoer van organische stof per hectare neemt toe in de volgorde akkerbouw, vollegrondsgroenten, grasland en bloembollen. Het aandeel mest in de aanvoer van organische stof loopt uiteen van 5 tot 15 procent op de noordelijke en centrale klei tot ongeveer 50 procent op het zuidelijk zand en duinzand.	
12	Hoe beïnvloedt het mestbeleid de aanvoer van organische stof?	56
	Het effect van lagere gebruiksnormen op de aanvoer van organische stof is vrij beperkt. De invloed is niet zo groot omdat dierlijke mest meestal niet de belangrijkste aanvoerbron van organische stof is. Bovendien wordt de fosfaatgebruiksruimte niet altijd volledig ingevuld met dierlijke mest. Landelijk zijn de organische stofgehalten in de bodem stabiel of licht stijgend.	
13	Wat leeft er in de bodem?	60
	De bodemorganismen zorgen ervoor dat plantenresten, uitwerpselen en kadavers in vele kleine stapjes omgezet worden in nieuwe voedingsstoffen voor planten. Miljoenpoten, pissebedden en regenwormen verkruiden het grove materiaal en verdelen het naar diepere bodemlagen. Aaltjes, schimmels en bacteriën eten het kleinere organische materiaal en breken het verder af tot anorganische voedingsstoffen voor planten	
14	Hoe staat het bodemleven ervoor?	64
	Het landgebruik en de grondsoort hebben een grote invloed op de samenstelling van het bodemleven. In de melkveehouderij, met grasland als belangrijkste landgebruik, is het bodemleven uitbundiger dan in de akkerbouw, vollegrondsgroententeelt en bloembollenteelt.	
15	Wat is het belang van bodemvruchtbaarheid in de biologische landbouw?	68
	Een goede bodemvruchtbaarheid is één van de fundamenten onder de biologische bedrijfsvoering. De voedingsstoffen voor planten worden geleverd door vlinderbloemigen, dierlijke mest en andere organische stoffen. Er is veel aandacht voor de inzet van organische meststoffen en het gebruik van granen en groenbemesters in een vruchtwisseling.	
16	Wat is het effect van grondbewerking op de bodemvruchtbaarheid?	72
	Grondbewerkingen zorgen voor een homogene bouwvoor waarin wortels gemakkelijk door kunnen dringen. Een goed ontwikkeld wortelstelsel zorgt ervoor dat het gewas voldoende water en voedingsstoffen op kan nemen. Toch kleven er ook nadelen aan grondbewerking. Vooral de fysische en biologische bodemvruchtbaarheid kunnen eronder lijden.	

-
- 17** **Houden bemestingsadviezen rekening met bodemvruchtbaarheid?** **76**
- Bemestingsadviezen helpen boeren de beschikbare meststoffen zo efficiënt mogelijk in te zetten om optimale opbrengsten te behalen. Bodemvruchtbaarheid is één van de sturende factoren. Daarnaast spelen de grondsoort, het gewas en het beoogde beheer een belangrijke rol.
- 18** **Wat zijn bodemverbeteraars?** **80**
- Bodemverbeteraars zijn stoffen die worden ingezet om de bodemvruchtbaarheid te verbeteren. De grens met meststoffen is niet helemaal scherp te trekken. Het gaat om zeer uiteenlopende producten zoals composten, kleimineralen, biochars, kalkmeststoffen, steenmelen en diverse preparaten van micro-organismen of andere bestanddelen.
- 19** **Kan bodemvruchtbaarheid te hoog zijn?** **84**
- In Nederland overtreft de aanvoer van voedingsstoffen in veel gevallen de behoefte van het gewas. Het overschot hoopt op in de bodem, en kan verloren gaan naar water en lucht. Vooral de overmaat aan stikstof en fosfaat kunnen het milieu schaden.
- 20** **Wat zijn de bedreigingen voor bodemvruchtbaarheid?** **88**
- Nederlands heeft een intensieve landbouw. De bedrijfsvoering is gericht op het behalen van een hoge productie per hectare met een grote inzet van grondstoffen. Dat staat op gespannen voet met het behoud van organische stof, bodembiodiversiteit en een goede bodemstructuur.
- 21** **Hoe ziet de praktijk het belang van bodemvruchtbaarheid?** **92**
- De kwaliteit van de bodem meten boeren vooral af aan het organische stofgehalte, de ontwatering, het vochtleverend vermogen, de bewortelbaarheid, de draagkracht, de levering van voedingsstoffen en de onkruiddruk. De meest gesignaleerde knelpunten zijn een laag organische stofgehalte, slechte ontwatering en slecht vochtleverend vermogen.
- 22** **Wat is het Nederlandse beleid over bodemvruchtbaarheid?** **96**
- Nederland heeft geen specifiek beleid over bodemvruchtbaarheid. Echter, diverse wetten en verordeningen hebben zeker invloed op onderdelen van bodemvruchtbaarheid. De belangrijkste is de Meststoffenwet, maar ook de Wet milieubeheer en de Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden spelen een rol.
- 23** **Heeft het mestbeleid effect op de fosfaattoestand van de bodem?** **100**
- De toegestane aanvoer van fosfaat uit dierlijke mest en kunstmest is de afgelopen 25 jaar flink verlaagd. Desondanks is er nog steeds sprake van een overschot en dus ophoping in de bodem. De gegevens van landelijke metingen laten geen dalende fosfaattoestanden zien.

24	Wat is het effect van mestverwerking en mestbewerking op bodemvruchtbaarheid?	104
	Het doel van mestverwerking is het onttrekken van voedingsstoffen, vooral fosfaat, aan de Nederlandse landbouw. Daarmee verdwijnt ook organische stof. Het effect van mestbewerking is onzeker. Het is afhankelijk van de mate waarin in gebieden met een mestoverschot onbewerkte mest wordt vervangen door de dunne fractie of een mineralenconcentraat.	
25	Wat is de invloed van energieproductie uit biomassa op de bodemvruchtbaarheid?	108
	De biomassaketens zijn zeer divers. Daarom is het niet zeker hoe het uitpakt voor de bodemvruchtbaarheid. Als eenjarige akkerbouwteelten worden vervangen door meerjarige teelten van grassen en houtachtige gewassen, heeft dat positieve gevolgen voor de opbouw van organische stof in de bodem. Anderzijds bestaat er een risico op verschraling van de bodem bij een toename van het gebruik van primaire bijproducten uit de landbouw.	
26	Wat is het effect van klimaatverandering op bodemvruchtbaarheid?	112
	Zowel de aanvoer en de afbraak van organische stof reageren op klimaatverandering, maar het is onduidelijk wat het netto-effect is. Vaker optredende hevige buien verhogen de kans op erosie en verslemping. Het uitblijven van vorstperioden heeft mogelijk negatieve gevolgen voor de bodemstructuur.	
27	Hoe leg je koolstof vast in de bodem ?	116
	De opbouw van organische stof is te beïnvloeden door aanpassing in het landgebruik, verhoging van de aanvoer of verlaging van de afbraak. Mogelijke maatregelen zijn het in stand houden van blijvend grasland of peilverhoging op veengronden. Op bouwland helpt het achterlaten van gewasresten, het gebruik van groenbemesters en het gebruik van vaste mest of compost.	
28	Welke rol speelt bodemvruchtbaarheid in de natuur?	120
	Bodemvruchtbaarheid is één van de factoren die bepalen welke vegetaties zich op een bepaalde locatie kunnen ontwikkelen. De belangrijkste omgevingsfactoren zijn voedingsstoffen, zuurgraad, zoutgehalte, vocht en bodemtype. Zij bepalen voor een deel welke natuur op welke locatie mogelijk is.	
29	Wat zijn de belangrijkste kennisvragen?	124
	De kennisleemten over bodemvruchtbaarheid komen voort uit de knelpunten die boeren ervaren, rekening houdend met de duurzaamheidsdoelen die de overheid stelt. De belangrijkste kennisvragen hebben betrekking op organische stof en chemische bodemvruchtbaarheid, bodemstructuur, bodembiodiversiteit en bodemweerbaarheid.	

De vraag naar voedsel zal wereldwijd blijven stijgen. Voedselproductie in Nederland blijft dus een belangrijk maatschappelijk doel dienen. Tegelijkertijd moet de landbouw economisch duurzaam blijven, en aan steeds meer andere maatschappelijke randvoorwaarden moeten voldoen. De belangrijkste duurzaamheidsthema's zijn natuur en landschap, biodiversiteit, water, klimaat en milieu.





Wat is
bodemvruchtbaarheid?

1

De meeste mensen hebben wel een beeld van wat een onvruchtbare of vruchtbare bodem is. Bij een onvruchtbare bodem of grond denk je al snel aan geel of wit zand waarmee je normaal gesproken de zandbak vult. Daar zal niet veel op groeien. Potgrond is het andere uiterste. Het is rijk aan organische stof, houdt water goed vast en bevat veel voedingsstoffen voor planten. Hoe vruchtbaarder de bodem, hoe beter we gewassen kunnen laten groeien als voedsel voor mensen en dieren.

De opbrengst en kwaliteit van landbouwgewassen wordt bepaald door veel verschillende factoren zoals gewassoort, daglengte, temperatuur, neerslag, nutriëntenvoorziening en management. Het vermogen van een bepaalde locatie om gewasopbrengst en -kwaliteit te realiseren, noemen we de productiviteit. Bodemvruchtbaarheid is de bijdrage van de bodem aan die productiviteit. Het omvat alle chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen die nodig zijn voor de groei van planten. In de landbouw gaat het erom dat planten zo efficiënt mogelijk de benodigde voedingsstoffen en water kunnen vinden en opnemen. Tegelijkertijd mogen zo weinig mogelijk voedingsstoffen verloren gaan naar lucht, grondwater of diepere bodemlagen, waar ze onbereikbaar worden voor de plantenwortels. Naast de beschikbaarheid van voedingsstoffen zijn ook andere bodemeigenschappen van belang zoals de bodemstructuur en het vermogen om plantenziekten te weren.

Chemische bodemvruchtbaarheid heeft vooral betrekking op de beschikbaarheid van voedingsstoffen voor planten. Planten nemen relatief grote hoeveelheden op van de zogenaamde macro-elementen stikstof, fosfor, kalium, calcium, magnesium en zwavel. Daarnaast zijn er nog tal van voedingsstoffen nodig in relatief kleinere hoeveelheden, de zogenaamde sporenelementen of micro-

elementen. De belangrijkste sporenelementen zijn borium, koper, mangaan, kobalt, silicium, zink, ijzer en molybdeen.

Alle individuele elementen komen in de bodem voor in verschillende vormen. Planten kunnen alleen die voedingsstoffen opnemen die in de juiste vorm zijn opgelost in het bodemvocht. Fosfor bijvoorbeeld, komt in organische en anorganische vorm voor. In Nederlandse zand- en kleigronden is ongeveer 70 tot 90 procent van de totale bodemvoorraad anorganisch fosfor. Maar slechts een zeer kleine fractie daarvan is, als orthofosfaat, opgelost in het bodemvocht. De meest voorkomende vormen van orthofosfaat zijn H_2PO_4^- en HPO_4^{2-} . Planten kunnen makkelijker eenwaardig geladen ionen opnemen dan meerwaardig geladen ionen. Dus fosfor nemen ze het liefst op als H_2PO_4^- . Bij fosfor, maar ook bij andere elementen, bepaalt de zuurgraad de onderlinge verhouding waarin de verschillende opgeloste vormen voorkomen.

De biologische bodemvruchtbaarheid heeft betrekking op de rol van de levende organismen in de bodem. Het bodemleven is zeer divers; het omvat microflora zoals bacteriën, schimmels en protozoën, mesofauna zoals aaltjes, mijten en springstaarten en macrofauna zoals wormen, spinnen en duizendpoten. Al deze organismen zijn betrokken bij de nutriëntenkringloop, structuurvorming en ziektevering van de bodem. Het is eten en gegeten worden. Ze voeden zich met plantenresten, met mest en meststoffen, maar ook met elkaar. Een deel van het verwerkte voedsel komt weer beschikbaar als voedingsstoffen voor de plant. Een ander deel wordt vastgelegd in het weefsel van de organismen zelf, of in andere vormen van organische stof. De activiteit van allerlei wormachtige organismen zorgt bovendien voor een goed doorwoelde en luchtige bodem. Een stabiel bodemleven voorkomt dat ziekteverwekkende organismen de kop opsteken.

Fysische bodemvruchtbaarheid omvat de structurele eigenschappen. De bodem moet een structuur bieden waarin plantenwortels vocht en voedingsstoffen kunnen opnemen. Ook moet de grond blijven liggen waar die ligt. Dus niet bij de eerste de beste regenbui wegspoelen of met de wind wegwaaien. De eigenschappen van een bodem zijn onder andere afhankelijk van de textuur, dus de korrelgrootteverdeling van een bodem. Kleigronden bevatten relatief veel deeltjes die kleiner zijn dan twee micrometer. Zandgronden bevatten vooral deeltjes groter

dan 64 micrometer. De textuur is, samen met het gehalte aan organische stof, belangrijk voor het vochthoudend vermogen, maar ook voor de kans op verdichting, erosie, verslemping en uitspoeling van nutriënten.

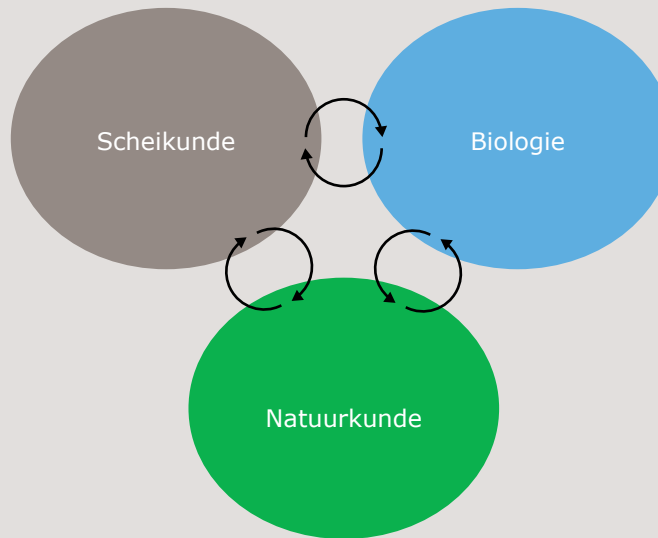
De scheikunde, biologie en natuurkunde van de bodem staan niet los van elkaar. De structuur van de bodem heeft bijvoorbeeld invloed op de verschillende typen organismen die in de bodem actief zijn. Op haar beurt bepaalt dat weer hoeveel stikstof wordt vrijgemaakt of vastgelegd.

Bodemvruchtbaarheid

Het vermogen van de bodem om te voldoen aan de chemische, fysische en biologische eisen voor de groei en voortplanting van planten met de gewenste kwaliteit voor de voeding van mensen en dieren.

Chemische bodemvruchtbaarheid

Het vermogen van de bodem om een geschikte chemische omgeving te creëren voor planten, en ook bij te dragen aan de biologische en fysische processen van de nutriëntenkringloop.

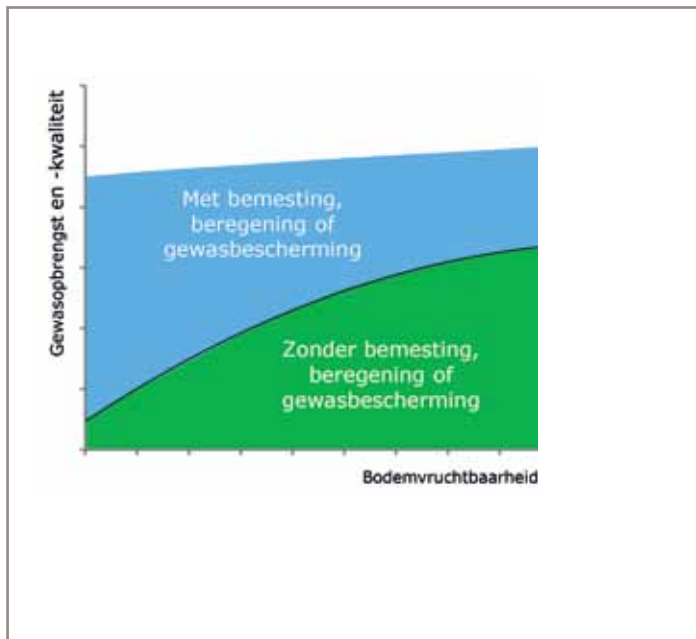


Biologische bodemvruchtbaarheid

Het vermogen van bodemorganismen om bij te dragen aan de voeding van planten. Tegelijkertijd dienen biologische processen bij te dragen aan de gewenste chemische en fysische toestand van de bodem.

Fysische bodemvruchtbaarheid

Het vermogen van de bodem om de fysische voorwaarden te scheppen voor planten zonder erosie en verlies van bodemstructuur. Tegelijkertijd dienen fysische processen de juiste omstandigheden te creëren voor het verloop van de gewenste chemische en biologische processen.



Bodemvruchtbaarheid is de bijdrage van de bodem aan de gewasproductie- en kwaliteit. De invloed van bodemvruchtbaarheid komt vooral tot uiting als er geen gebruik wordt gemaakt van meststoffen, beregening of gewasbeschermingsmiddelen. Als deze grond- en hulpstoffen wel worden toegepast, dan wordt de positieve invloed van een goede bodemvruchtbaarheid gemaskeerd. Dan is het mogelijk om bij een lage bodemvruchtbaarheid vergelijkbare opbrengsten te halen als bij een hoge bodemvruchtbaarheid.

Bodemvruchtbaarheid, bodemkwaliteit of bodemgezondheid?

Wie in boeken graaft naar definities van bodemvruchtbaarheid stuit automatisch ook op verwante begrippen zoals bodemkwaliteit en bodemgezondheid. De begrippen worden soms als synoniem gebruikt, maar meestal hebben ze net een iets andere betekenis. Om het nog moeilijker te maken verschillen de interpretaties ook per taalgebied.

De meest eenvoudige definitie van bodemkwaliteit is het vermogen van een bodem om te functioneren. Meestal gaat dit verder dan alleen de functies voor de landbouw. Het gaat dan ook om het functioneren van natuurlijke ecosystemen, het behoud van een goede water- en luchtkwaliteit of de geschiktheid voor menselijke bewoning. Daarnaast heeft de bodem ook een intrinsieke kwaliteit. Het biedt leefruimte voor planten, mensen en dieren, en draagt bij aan de biodiversiteit.

Bodemgezondheid kent ook veel verschillende interpretaties. Vaak wordt het gebruikt als synoniem voor bodemkwaliteit. In engere zin wordt bodemgezondheid gebruikt in verband met ziekten en plagen. Een gezonde bodem heeft weinig of geen last van bodemgebonden ziekten en heeft veerkracht als er tijdelijk een verhoogde ziektedruk is. Andere definities spreken van een gezonde bodem als die zijn ecologische rol ongestoord kan uitvoeren.



Waarom is
bodemvruchtbaarheid
belangrijk?

2

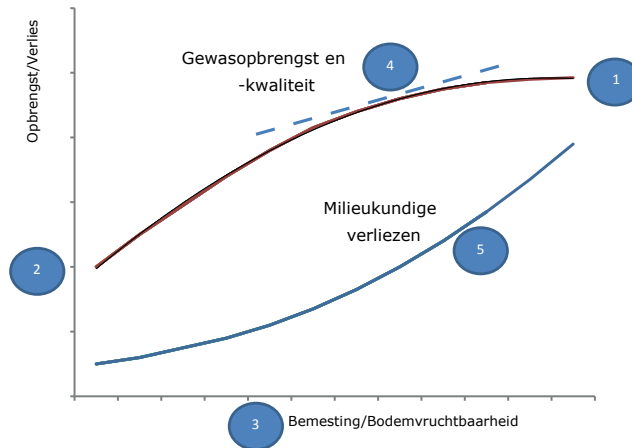
De bodem heeft vele functies. Wij leven, werken en wonen op onze bodem. Voor de landbouw is de bodem een belangrijke factor voor de productie van voedsel, voedergewassen en grondstoffen voor energiewinning. De bodem fungeert als opslagplaats voor water, koolstof en andere stoffen. De bodem biedt leefruimte aan andere levende organismen en ondersteunt daarmee de ontwikkeling van biodiversiteit. Ook bevat de bodem veel van ons geologische en archeologische erfgoed.

Bodemvruchtbaarheid ondersteunt vooral die functies die betrekking hebben op het leven in en op de bodem. Voor de mens is bodemvruchtbaarheid in eerste instantie van belang voor de landbouwkundige productiefunctie van de bodem. Zonder vruchtbare bodem is het onmogelijk om voldoende voedsel te produceren voor de wereldbevolking, nu en in de toekomst. De levering van voedingsstoffen en het vasthouden van water, maar ook het creëren van een lage ziektedruk staan daarbij voorop. Naast de landbouwkundige productiefunctie is bodemvruchtbaarheid belangrijk voor levende organismen die op of in de bodem leven. Het gaat daarbij om het bieden van een geschikte leefomgeving voor een diverse groep van organismen.

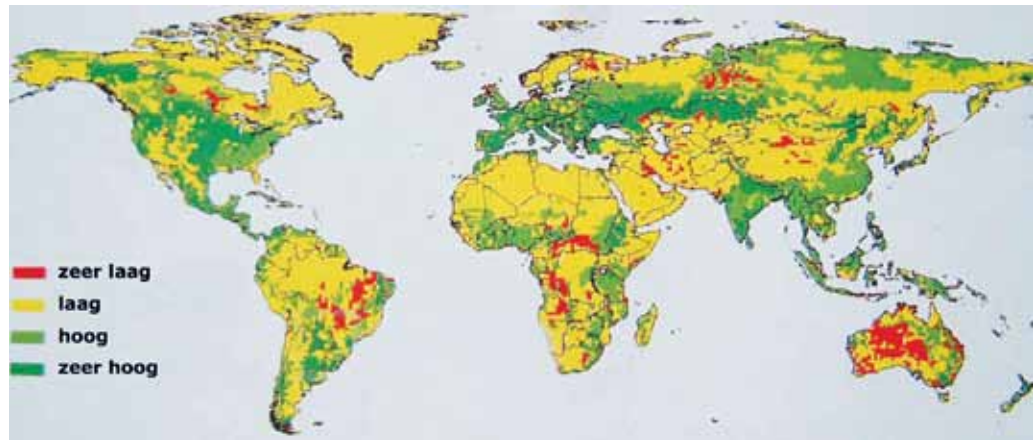
Een goede bodemvruchtbaarheid is niet vanzelfsprekend, maar het resultaat van het samenspel tussen geologie, klimaat, vegetatie, hydrologie en menselijk handelen. In Nederland is de bodemvruchtbaarheid vooral het resultaat van bemesting en beheer in de voorbije tientallen jaren. Echter het feit dat we nu op een bepaalde plek met succes aardappelen, granen of bieten verbouwen is geen garantie dat de volgende generaties dat ook kunnen blijven doen. Bodems zijn geen oneindige bron van voedingsstoffen voor de te oogsten planten. Het huidige beheer is dus ook belangrijk om in de toekomst te kunnen blijven oogsten.

Het fundamentele belang van een goede bodemvruchtbaarheid zien we wellicht beter als we wat afstand nemen van Nederland. Eén van de speerpunten van de Food and Agriculture Organization (FAO) is het verschaffen van voedselzekerheid voor de gehele wereldbevolking. Dat wil zeggen dat alle mensen altijd moeten kunnen beschikken over voldoende, veilig en voedzaam voedsel dat voldoet aan de eisen voor een actief en gezond leven. Tussen 2006 en 2008 leed 13 procent van de wereldbevolking aan ondervoeding. Onvoldoende voedselproductie en een slechte verdeling van het geproduceerde voedsel zijn een paar van de vele oorzaken van honger. De grenzen aan productie worden op haar beurt in belangrijke mate bepaald door bodem, klimaat en beheer. In ontwikkelingslanden zijn een lage bodemvruchtbaarheid en bodemdegradatie belangrijke beperkende factoren voor de gewenste toename van de gewasproductie. In 1982 heeft de FAO het zogenaamde World Soil Charter gelanceerd. Het beschrijft de principes voor een optimaal beheer van bodems, zowel voor de huidige productie, als voor het behoud voor toekomstige generaties. Recentelijk, in 2011, heeft de FAO nogmaals de noodzaak benadrukt van bodemvruchtbaarheid in het zogenaamde Global Soil Partnership for Food Security. Dit richt zich op een gezamenlijke internationale strategie voor duurzaam bodemgebruik.

Klassieke vragen over bodemvruchtbaarheid



- 1 Welke voedingsstoffen limiteren de opbrengt?
- 2 Hoe meet je de Bodemvruchtbaarheid?
- 3 Hoe effectief zijn toegediende meststoffen, en bodemvruchtbaarheid, in het leveren van voedingsstoffen?
- 4 Wat is het optimale bemestingsniveau?
- 5 Wat zijn de milieukundige gevolgen?



Een goede bodemvruchtbaarheid is niet vanzelfsprekend. In Nederland en de meeste Europese landen is de bodemvruchtbaarheid goed tot zeer goed. Maar in grote delen van de wereld is de bodemvruchtbaarheid laag of zelfs zeer laag.

Watercultuur en substraatteelt


Waarom zou je een bodem gebruiken als het ook zonder kan? Strikt genomen heb je helemaal geen bodem nodig om gewassen te laten groeien. De efficiëntie in het gebruik van water en voedingsstoffen gaat zonder bodem zelfs met sprongen omhoog, vooral in systemen met hergebruik van water. Onder ideale omstandigheden kunnen bij tomaten maximale opbrengsten worden gehaald van wel 50.000 kg droge stof per ha. Daar kunnen we buiten in de koude grond alleen maar van dromen.

Strikte watercultures, waarin de wortels bloot in het water hangen, vertegenwoordigen met enkele tientallen hectaren minder dan een procent van het tuinbouwareaal. De teelt in substraten waarbij de wortels groeien in steenwol, veen of perliet heeft inmiddels wel een grote vlucht genomen, en bedraagt 6.000 tot 7.000 ha in Nederland. Tussenvormen bestaan ook, waarin bijvoorbeeld kruiden of sla eerst in hele kleine blokjes substraat worden opgekweekt. Daarna worden ze verder geteeld in stromend water.

Deze intensieve tuinbouwteelten vinden we vooral in concentratiegebieden met een goede infrastructuur. Ze vereisen een hoog kennisniveau van de teler. De keerzijde is namelijk dat deze teelten in beginsel kwetsbaarder zijn. Als de techniek het laat afweten is er meteen een groot probleem en moet snel worden gehandeld. De kwetsbaarheid komt ook voort uit het ontbreken van een bufferende bodem. Het aantal soorten micro-organismen is in een water- of substraatteelt kleiner dan in een bodemteelt. Daardoor is de kans groter dat een schadelijke ziekteverwekker zich snel kan verspreiden. Dat risico vereist een goede beveiliging met regelmatige controles.



Chrysant op water.



Hoe vruchtbaar zijn
onze oorspronkelijke
bodems?

3

In Nederland liggen zand, klei, löss en veen aan het oppervlak. Onze bodems zijn nog relatief jong. In de afgelopen tientallen tot duizenden jaren hebben ze zich ontwikkeld onder invloed van klimaat, bemesting en ontwatering.

Zandgronden zijn van oorsprong onze armste gronden. Ze kunnen weinig voedingsstoffen vast houden. Podzolgronden zijn de meest voorkomende zandgronden. Ze bestaan meestal uit dekzand waarin infiltrerend water de bovenste laag heeft leeggespoeld. De voedingsstoffen en organische stof, afkomstig van oeroude bossen, zijn door het water meegevoerd naar diepere lagen. De uitgespoelde stoffen hopen zich op in de zogenoemde inspoelingslaag, een harde donkergekleurde laag. Om de arme podzolgronden te verbeteren, hebben boeren vanaf de Middeleeuwen mengsels van heideplaggen en schapenmest opgebracht. Zo werden gronden rondom de dorpen door de eeuwen heen steeds vruchtbaarder. Bovendien kwamen ze steeds hoger te liggen, tot meer dan een meter. Deze zogenaamde enkeerdgronden of esgronden worden nu veel gebruikt voor gras, snijmaïs en groententeelt. Achter de duinen liggen de duinvaaggronden. Het zijn jonge, nog niet ontwikkelde, bodems. Een humushoudende bovenlaag ontbreekt, waardoor ze minder geschikt zijn voor akkerbouw. Desondanks vinden we hier nu vooral bollenteelt.

Kleigronden zijn ontstaan door afzettingen van minerale deeltjes uit rivieren en de zee. Het zijn vruchtbare gronden die voedingsstoffen goed vasthouden. De rivieren in Nederland hebben door de eeuwen heen grote hoeveelheden sediment van de Alpen en omliggende gebieden aangevoerd. Tijdens overstromingen zonken kleideeltjes naar de bodem. Planten kregen slechts weinig tijd om te groeien. Voordat de grond goed en wel was opgedroogd, stond de volgende overstroming weer voor de deur. Door

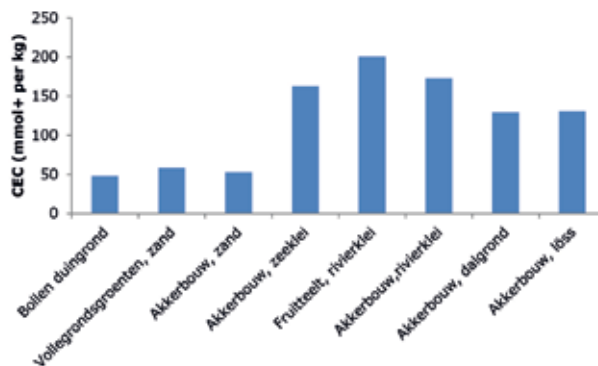
de geringe bodemvorming missen ze een gelaagdheid. Pas als ze langere tijd niet meer overstromen krijgen planten een kans om organische stof aan te voeren. Op rivierklei vinden we veel grasland, maar ook fruitteelt. Zeeklei is ontstaan in gebieden die vroeger door de zee zijn ingenomen. De organische stofgehalten van zeeklei zijn doorgaans lager dan bij rivierklei, maar ze bevatten meer kalk. Zeeklei is bijzonder geschikt voor akkerbouw. De zeer zware kleigronden zijn minder goed bewerkbaar, en zijn daarom beter geschikt voor grasland.

Veengronden zijn natte gronden die vooral bestaan uit onverteerde en deels verteerde plantenresten. In het westen van Nederland liggen de laagveengebieden waar het grondwater op of boven het niveau van het maaiveld stond. In het noordoosten van Nederland liggen de hoogveengebieden waar veenmos zich kon ontwikkelen omdat het regenwater niet weg kon zakken. In grote delen is het veen afgegraven voor de turfwinning. Hierdoor zijn de zogenaamde dalgronden ontstaan, waar veel aardappels worden geteeld. De veengronden die voor landbouw worden gebruikt, zijn ontwaterd. Daardoor oxideert de organische stof en komen veel voedingsstoffen vrij. Ze worden vooral gebruikt als grasland.

Lössgronden bevatten veel leemdeeltjes, grover dan klei, maar fijner dan zand. De deeltjes zijn tijdens de laatste ijstijd door de wind afgezet. Löss combineert de goede eigenschappen van klei en zand. Het houdt vocht en voedingsstoffen vast en is goed bewerkbaar. Deze grond is daarom bijzonder geschikt voor akkerbouw. Op de wat steilere hellingen is het risico op erosie hoog en is grasland beter geschikt.

Kationenuitwisselingscapaciteit

Veel belangrijke voedingsstoffen zijn positief geladen deeltjes (kationen), zoals ammonium, calcium, natrium, kalium en magnesium. Kleideeltjes en organische stof zijn negatief geladen. Daarom zijn ze in staat om positief geladen deeltjes aan het oppervlak te binden, en weer af te geven aan plantenwortels. Het vermogen van een bodem om kationen te binden noemen we de kationenuitwisselingscapaciteit (CEC: Cation Exchange Capacity). De uitwisselcapaciteit is afhankelijk van het organische stofgehalte, het kleigehalte en de zuurgraad. Zandgronden met weinig organische stof hebben relatief lage waarden, terwijl kleigronden relatief hoge waarden hebben.



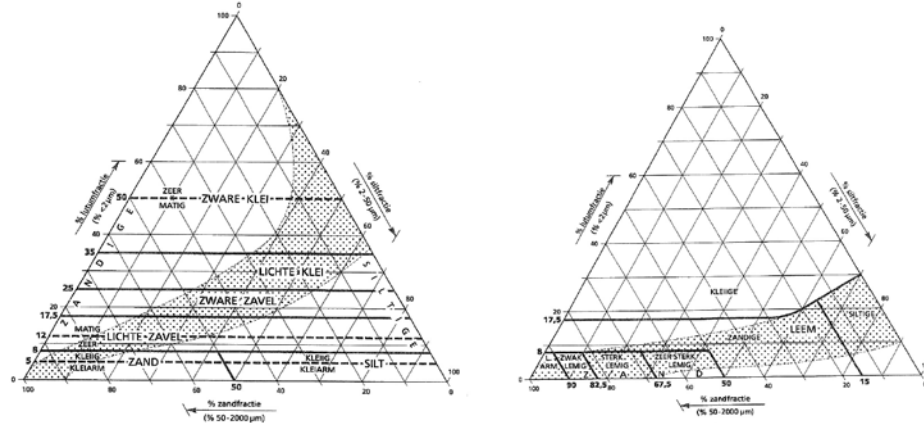
Kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) bij verschillende combinaties van gebruik en grondsoort.

Bodemvorming

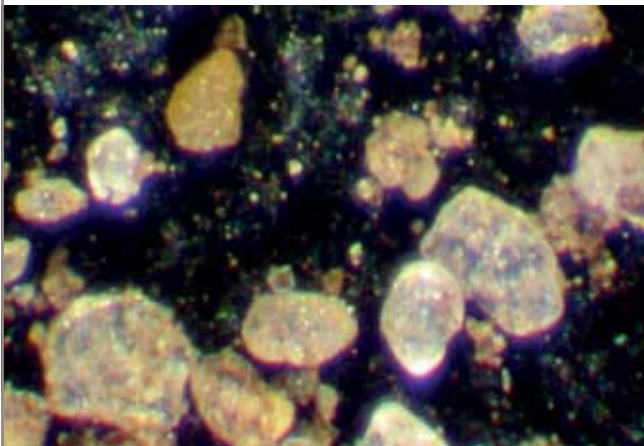
De bodem is de bovenste laag van onze aarde. In de loop van miljoenen jaren zijn bodems gevormd uit gesteenten en afzettingen. De oorspronkelijke gesteenten en afzettingen veranderen van vorm en samenstelling, onder andere door de inwerking van water, zuurstof en koolzuur. Maar ook vorst, plantenwortels en microbiële activiteit dragen bij aan de natuurlijke afbraak van gesteenten. De uiteindelijke samenstelling van een bodem is afhankelijk van bodemvormende factoren. De aard van het oorspronkelijke moedermateriaal is natuurlijk heel belangrijk. Maar ook het klimaat, de ligging en de verstreken tijd spelen een grote rol. Bodemvorming gaat sneller onder warme en natte omstandigheden. In de recente geschiedenis is de menselijke invloed steeds belangrijker geworden. Denk bijvoorbeeld aan het ontstaan van enkeerdgronden door eeuwenlange opeenstapeling van stalstrooisel, gemengd met dierlijke mest. Door het kappen van bossen en bewerken van bodems op hellingen hebben mensen ook sterk bijgedragen aan erosie en bodemdegradatie.

Textuur

De textuur is de korrelgrootteverdeling van de bodem. Van klein naar groot onderscheiden we klei (<0,002 mm), leem (tussen 0,002 en 0,05 mm), en zand (0,05 tot 2 mm). De korrelgrootteverdeling bepaalt de naamgeving van de minerale grondsoorten. Alle grondsoorten met meer dan 8 procent kleideeltjes noemen we kleigronden, uiteenlopend van lichte zavel tot zeer zware klei. De zandafzettingen worden verder onderverdeeld van leemarm tot zeer sterk lemig. Lössgronden hebben een hoog leemgehalte.



Textuurdriehoek, met links de windafzettingen en rechts de waterafzettingen.



Vaste bodembestanden:
minerale korrels (wit, geel)
en organische stof (zwart).

Hoe meet je bodemvruchtbaarheid?

4



Een allesomvattende indicator voor bodemvruchtbaarheid bestaat niet. Dat heeft twee belangrijke redenen. Ten eerste heeft bodemvruchtbaarheid zowel chemische, biologische als fysische aspecten. Die zijn in de meeste gevallen niet met een en dezelfde indicator te beschrijven. Bovendien zijn binnen iedere afzonderlijke discipline tal van indicatoren beschikbaar die iets zeggen over een specifiek onderdeel van de chemische, biologische of fysische bodemvruchtbaarheid. Ten tweede is de te gebruiken indicator afhankelijk van het doel. In veel gevallen gaat het om de gewenste bodemvruchtbaarheid voor landbouwkundige productie. Dat betekent dat de bodemindicatoren een goede schatting moeten geven van de voor de plant beschikbare voedingsstoffen.

Ondanks de inmiddels enorme verscheidenheid aan indicatoren, zijn er toch wel enkele klassiekers uit te lichten. Organische stof hoort daar zeker bij omdat het centraal staat in de bodemvruchtbaarheid. Het draagt bij aan de structuur van de bodem, houdt vocht vast en is voedsel voor het bodemleven. In zandgronden is organische stof van belang voor de uitwisseling van kationen zoals natrium, kalium, calcium en magnesium. Bij de afbraak van organische stof komen veel verschillende voedingsstoffen vrij. De zuurgraad (pH) is ook van groot belang in de bodemvruchtbaarheid. Het bepaalt de beschikbaarheid van voedingsstoffen en toxische stoffen. De zuurgraad is ook mede bepalend voor de activiteit van micro-organismen. In zure bodems is geen of weinig kalk aanwezig en dit heeft een negatief effect op de bodemstructuur.

Naast organische stof en zuurgraad behoort de beschikbaarheid van de belangrijkste voedingsstoffen meestal bij een standaard beoordeling van de bodemvruchtbaarheid. De voorraad en de beschikbaarheid van de macro-elemen-

ten stikstof, fosfor, kalium en zwavel zijn van groot belang want gewassen nemen hiervan grote hoeveelheden op. In de landbouw streeft men naar een bodemvruchtbaarheid die optimaal bijdraagt aan de productie van gewassen met een goede kwaliteit. Grondonderzoek helpt om de bodemvruchtbaarheid waar nodig in de juiste richting bij te sturen. Hoe dat moet staat in de adviesbasis voor de bemesting. Voor de meeste indicatoren zijn streefwaarden bekend, afhankelijk van grondsoort en gewas. De adviesbasis vertaalt de afwijking van de streefwaarde naar een bemestingsadvies. Bij een hoge bodemvruchtbaarheid hoort een relatief lage adviesgift, en andersom bij een lage bodemvruchtbaarheid een relatief hoge adviesgift.

Het vakgebied van de bodemvruchtbaarheid verandert door nieuwe inzichten. In het klassieke onderzoek heeft de chemische bodemvruchtbaarheid de toon gevoerd. Recentelijk is dat meer en meer uitgebreid naar de biologische bodemvruchtbaarheid, zonder overigens de samenhang met de chemische bodemvruchtbaarheid uit het oog te verliezen. Hierdoor komen steeds meer bodembiologische indicatoren beschikbaar. Dat kunnen rechtstreekse metingen zijn van het aantal of het gewicht van bepaalde bodemorganismen, of afgeleide indicatoren die de activiteit van bepaalde groepen beschrijven. Langzamerhand verschijnen ook steeds meer adviezen over bodembiologische streefwaarden, al dan niet voorzien van een bemestings- of handelingsadvies.

Bodemonderzoek

Analyse van de bodem is de meest directe methode om inzicht te krijgen in de bodemvruchtbaarheid. Sommige boeren laten hun percelen met een vaste regelmaat analyseren, bijvoorbeeld eens in de vier jaar. Veehouderijbedrijven die gebruik maken van een hogere gebruiksnorm voor dierlijke mest (derogatie) zijn verplicht om van ieder perceel een bodemanalyse te hebben die niet ouder is dan vier jaar. Een regelmatige analyse geeft een goed inzicht in het verloop van de bodemvruchtbaarheid. Het helpt terugkijkend, om het effect van beheer op de bodemvruchtbaarheid te verklaren en vooruitkijkend, om het beheer aan te passen aan de actuele bodemvruchtbaarheid.

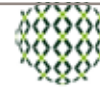
In andere gevallen is bodemonderzoek meer van incidentele aard. Bijvoorbeeld bij de herinzaai van grasland wordt de grond geploegd. Het is dan verstandig om de vruchtbaarheid van de nieuwe bovengrond te meten. In gevallen van een slechte gewasgroei kan bodemonderzoek ook helpen om de oorzaak te achterhalen. Op percelen met een lage fosfaattoestand is het mogelijk om een hogere gebruiksnorm voor fosfaat toe te passen of om een eenmalige reparatiebemesting uit te voeren. De lage fosfaattoestand wordt met grondonderzoek aangetoond.

Bij bouwland wordt de bovenste 20 tot 25 centimeter bemonsterd, terwijl bij grasland de bovenste tien centimeter wordt bemonsterd. In Nederland kan men voor bodemonderzoek terecht bij verschillende laboratoria zoals het Agrarisch Laboratorium Noord Nederland (www.alnn.nl), Altic (www.altic.nl), Bggg AgroXpertus (www.blgg.nl), Koch Bodemtechniek (www.eurolab.nl) en Laboratorium Zeeuws-Vlaanderen (www.labzvl.nl). Deze laboratoria bieden in ieder geval analyses van de belangrijkste voedingsstoffen, organische stof en zuurgraad. Daarnaast bieden sommige laboratoria ook meer specifieke chemische en biologische analyses aan. Sommige laboratoria bieden uitsluitend specifieke analyses aan. Het HLB (www.hilbrandslaboratorium.nl) bijvoorbeeld, richt zich op de detectie van bodemorganismen die nadelig kunnen zijn voor de ontwikkeling van het gewas. Nederlandse onderzoeksinstituten beschikken eveneens over laboratoria voor grondonderzoek, zoals het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (www.cblb.wur.nl/nl) van Wageningen UR (University & Research centre).

Fosfaatanalyse

Bodemanalyses zijn er te kust en te keur. Neem fosfaat als voorbeeld; in West-Europa zijn negentien verschillende analysemethoden in gebruik voor de vaststelling van de fosfaattoestand van landbouwgronden.

Alleen in Nederland zijn dat al negen verschillende methoden, waarvan P-Al-getal, Pw-getal en P-CaCl₂ (P-PPAE) de meest gangbare zijn. Zij vormen de grondslag voor de huidige fosfaatbemestingsadviezen. Iedere methode meet een bepaalde fractie van de totale hoeveelheid fosfaat in de bodem. Grofweg wordt met het P-AL-getal enkele tientallen procenten (10-70 procent), het Pw-getal enkele procenten (1-5 procent), en P-CaCl₂ enkele tienden van procenten (0,1-1,0 procent) van de totale fosfaatvoorraad in de bodem bepaald. Het P-AL-getal is een capaciteitsparameter die wat zegt over de beschikbaarheid op langere termijn. P-CaCl₂ is daarentegen een intensiteitsparameter, dus een maat voor de directe beschikbaarheid van fosfaat.



Uw klantnummer: 5001382

Voorbeeldverslag
 Postbus 170
 6700 AD WAGENINGEN

Onderzoek	Onderzoek-/ordernr:	Datum monstername:	Datum verslag:	Monster genomen bij:					
	110016/001748203	10-11-2011	25-11-2011	A. Bouwboer 8300 XX EMMELOORD					
Resultaat	Eenheid	Resultaat	Gem.*	Streeftraject	laag	vrij laag	goed	vrij hoog	hoog
hoofdelement									
Stikstof-totaal	mg N/kg	1730							
C/N-ratio		10	12	13 - 17					
N-leverend vermogen	kg N/ha	85	72	93 - 147					
Zwavel-totaal	mg S/kg	690							
C/S-ratio		24		50 - 75					
S-leverend vermogen	kg S/ha	45	44	20 - 30					
P-beschikbaar (P-PAE)	mg P/kg	1,3	1,7	1,0 - 2,4					
P-voorraad (P-AI)	mg P ₂ O ₅ /100 g	46	54	27 - 47					
P-nalevering/buffering		35		17 - 27					
Pw	mg P ₂ O ₅ /l	37							
K-beschikbaar (K-PAE)	mg K/kg	86		70 - 110					
K-getal		21	22						
K-voorraad	mmol+/kg	4,4		3,2 - 4,8					
Ca-beschikbaar	kg Ca/ha	594		1110 - 1680					
Ca-voorraad	kg Ca/ha	8918		7983 - 11975					
Mg-beschikbaar	mg Mg/kg	81	65	49 - 82					
Na-beschikbaar	mg Na/kg	14	20	37 - 60					
sporenelement									
Mn-beschikbaar	µg Mn/kg	1600		1000 - 1300					
Cu-beschikbaar	µg Cu/kg	47		53 - 118					
B-beschikbaar	µg B/kg	65		77 - 123					
Zn-beschikbaar	µg Zn/kg	160							
Zn-getal		34		35 - 45					
fysisch									
Zuurgraad (pH)		6,9	7,4	> 6,4					
C-organisch	%	1,7							
Organische stof	%	3,3	3,4						
Lutum	%	23	17						
Afslibbaar (berekend)	%	31 - 38							
C-anorganisch	%	0,71							
Koolzure kalk	% CaCO ₃	5,2	6,1						
Klei-humus (CEC)	mmol+/kg	171	165	> 153					
CEC-bezetting	%	100	89	> 95					
biologisch									
Bodemleven	mg N/kg	74		60 - 80					

* Dit zijn regiogemiddelden. Meer informatie staat bij onderdeel Gemiddelde.

Voorbeeld van een analyseverslag van grondonderzoek.



Kun je bodemvruchtbaarheid met het blote oog beoordelen?

5

Voor de beoordeling van de bodemvruchtbaarheid is een uitgebreid pakket aan chemische, biologische en fysische metingen beschikbaar. Door gewoon te graven en te kijken is het ook mogelijk een indruk te krijgen van de bodemvruchtbaarheid. Beworteling, structuur en kleur zijn daarbij belangrijke aanknopingspunten.

De intensiteit en diepte van beworteling zegt veel over de bodemvruchtbaarheid. Eenvoudig gesteld: als de beworteling goed is, hoef je eigenlijk niet verder te kijken. Aan de andere kant vraagt een slechte beworteling om verder onderzoek. Licht het aan de structuur? Of is er iets anders mis? De beworteling kun je beoordelen door een kuil te graven of een grote kluit uit te steken. Hoe dieper de wortels de bodem in gaan, hoe meer water en voedingsstoffen beschikbaar zijn voor de plant. Suikerbieten en wintertarwe wortelen relatief diep, tot 70 à 100 cm. Aardappelen komen vaak niet dieper dan 50 cm. De meeste groenten en bloembollen wortelen ook relatief ondiep. Op grasland neemt de bewortelingsdiepte vaak af naarmate de zode ouder wordt. Na enkele jaren treffen we de meeste wortels aan in de bovenste 10 cm, maar onder goede omstandigheden kan oud grasland ook tot 30 cm bewortelen. Storingen of andere factoren kunnen de bewortelbare diepte beperken. Zware mechanisatie en oogsten onder natte omstandigheden kunnen de bodem verdichten. De daarbij horende lage luchtgehalten of hoge indringingsweerstand kunnen de beworteling beperken. Maar ook een te lage pH kan een barrière vormen. Bij een pH-KCl die lager is dan 3,5 à 4 groeien vrijwel geen wortels. Knikken in wortels verraden soms de aanwezigheid van storende lagen.

De intensiteit van de beworteling wordt vaak uitgedrukt in de wortellengte per liter grond. Een dergelijke meting vergt echter specialistisch onderzoek. Het is ook mogelijk om een indicatie te krijgen door het aantal wortels te tellen in een kluit van 25 bij 25 vierkante centimeter. Op een diepte van 20 centimeter loopt het aantal wortels uiteen van grofweg 50 tot 300. Daarbij gaat het wel om de levende, witte sappige, wortels. De dode, bruine verkurkte, wortels doen niet meer mee.

In de bodem zijn verschillende structuurelementen aanwezig. Je kunt ze beoordelen in een kuil of een uitgegraven kluit grond. Nog makkelijker is om na het ploegen een kijkje te nemen. Kruiden zijn ongeveer tot een centimeter groot. De afgerond-blokkige elementen zijn 1 tot 10 cm groot. In een bodem met veel kruiden en afgerond-blokkige elementen kunnen wortels gemakkelijk groeien. De luchtige structuur bevordert ook de uitwisseling van gassen. De aanwezigheid van scherp-blokkige elementen duidt op een slechte structuur. Het zijn compacte hoekige blokken grond waar wortels en lucht maar moeilijk doorheen kunnen.

De kleur van de grond kan ook helpen bij de beoordeling. Organische stof bijvoorbeeld kleurt de grond bruin tot zwart. Een blauwe kleur duidt op een dichte bodem met luchtgebrek. Vaak gaat een blauwe kleur gepaard met een onaangename geur.



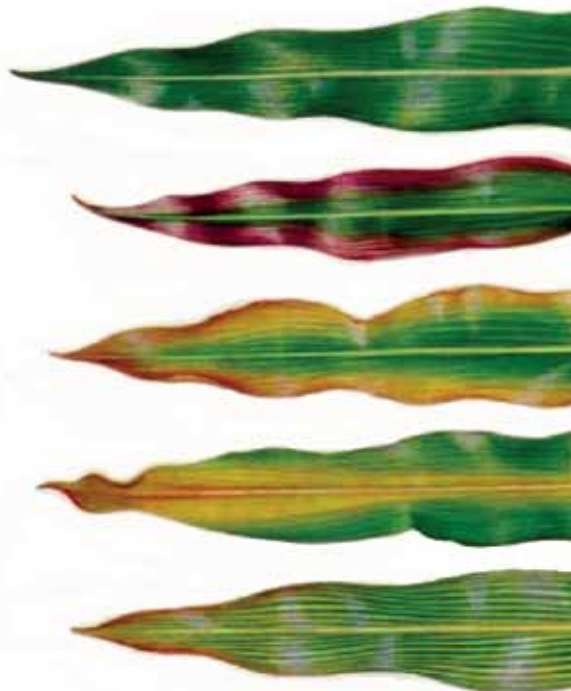
Struicturelementen (kruimels, afgerond-blokkig en scherp-blokkig) in de bodem.

Bodemleven

Het grootste deel van het bodemleven is niet zichtbaar met het blote oog. Toch levert een visuele beoordeling wel enige informatie over de activiteit van het bodemleven. De organismen in de bodem zijn verantwoordelijk voor de verplaatsing en afbraak van vers organisch materiaal. Een overmatige aanwezigheid van plantenresten of mest duidt daarom op een slechter ontwikkeld bodemleven. De aanwezigheid van gangen en een mooie kruimelstructuur duiden op een actief bodemleven. De regenwormen of hun gangen zijn eenvoudig te tellen in een kluit grond. In grasland tref je tot een diepte van 25 cm ongeveer 50 tot 150 wormen per m² aan. In bouwland is dat ongeveer de helft.

Gebreksverschijnselen

Soms is aan het gewas te zien dat het bepaalde voedingsstoffen tekort komt. Stikstofgebrek uit zich meestal in een licht groene tot gele kleur in oudere bladeren. Fosforgebrek leidt tot donkere rode of paarse bladeren. Bij kaliumgebrek verkleuren de randen. Zo zijn er voor de meeste voedingsstoffen, inclusief de sporenelementen, karakteristieke verkleuringen of vervormingen van bladeren of stengels. De gebreksverschijnselen kunnen echter per gewas verschillen.



Gezond

Fosfor

Kalium

Stikstof

Magnesium

Wat is de zuurgraad?

6



De zuurgraad (pH) is van belang voor de beschikbaarheid van voedingsstoffen, de activiteit van het bodemleven en de bodemstructuur. Zand- en veengronden hebben vaak een lage pH. De jonge zeeleiggronden zijn doorgaans neutraal en kalkrijk, terwijl op de oudere, kalkloze, zeeleiggronden ook relatief lage pH's kunnen voorkomen.

De aanwezigheid van een bepaald element in de bodem vertelt niet alles over de beschikbaarheid voor de plant. De zuurgraad speelt hierin een belangrijke rol. Ze bepaalt de hoeveelheid en de vorm waarin voedingsstoffen voor de plant beschikbaar zijn. De belangrijkste voedingsstoffen zijn optimaal beschikbaar binnen het licht zure tot basische traject. Sporenelementen zijn meestal wat beter beschikbaar in neutrale tot zure milieus.

Bacteriën zijn zeer gevoelig voor veranderingen in de zuurgraad. In zure milieus is de bacteriële activiteit lager. Daardoor neemt de afbraak van organische stof af, en daarmee het vrijkomen van voedingsstoffen.

De invloed van de zuurgraad op de bodemstructuur is een combinatie van directe en indirecte effecten. In een lichtzure omgeving is weinig calcium beschikbaar en weinig aluminium actief, waardoor kleimineralen min of meer uit elkaar vallen. Bij overdadige regenval kan dat tot verslemping leiden. Daarnaast speelt de zuurgraad via het effect op het bodemleven een rol. Verschillende micro-organismen produceren een soort kitstof waarmee bodemdeeltjes aan elkaar verbonden worden. Wormen bevorderen de porositeit van de grond.

Bij landbouwkundig gebruik verzuurt de bodem in de loop van de tijd, onder invloed van neerslag, meststoffen en de planten zelf. Neerslag leidt tot uitspoeling van positief geladen deeltjes zoals calcium en kalium. Deze worden vervangen door waterstofionen. Het gebruik van bepaalde

meststoffen leidt ook tot verzuring van de bodem, zoals ammoniumhoudende stikstofmeststoffen. Plantenwortels scheiden zuren af waardoor sommige voedingsstoffen beter opneembaar worden. Op kalkrijke gronden wordt de verzurende werking van deze processen gebufferd door de omzetting van kalk in koolstofdioxide. Bodems hebben echter een eindige kalkvoorraad, waardoor op een gegeven moment de pH wel daalt. Voor dergelijke kalkloze gronden daalt de zuurgraad ongeveer met 0,05 tot 0,1 eenheden per jaar.

De daling van de zuurgraad van de bodem kan worden vertraagd door een bewuste keuze voor minder verzurende meststoffen. Een andere ingreep is onderhoudsbekalking of reparatiebekalking met kalkmeststoffen. Deze bestaan uit verschillende combinaties van magnesium carbonaten en calciumcarbonaten. De onderhoudsbekalking heeft als doel om de jaarlijkse verzuring te compenseren, en daarmee de zuurgraad op hetzelfde peil te houden. Als de pH te ver is gedaald, wordt een reparatiebekalking toegepast. De gewenste kalkgift is uiteraard afhankelijk van de gewenste verhoging van de pH. Maar daarnaast neemt de benodigde kalkgift toe naarmate het organische stofgehalte en het lutumgehalte van de bodem hoger zijn. De werking van kalkmeststoffen wordt uitgedrukt in neutraliserende waarde (nw), en is afhankelijk van de gehalten aan calciumcarbonaat en magnesiumcarbonaat.

De zuurgraad

De zuurgraad (pH) is een maat voor de concentratie aan vrije waterstofionen (H^+) in het bodemvocht. Hoe hoger de concentratie, hoe zuurder, en hoe lager de pH. De pH varieert tussen 0 en 14. In een neutrale oplossing, zoals zuiver water, heeft de pH een waarde van zeven. Als de pH lager is dan zeven, is de oplossing zuur. Andersom, als de pH hoger is dan zeven, is de oplossing basisch. Als de concentratie waterstofionen met een factor 10 daalt of stijgt, dan verandert de pH in de omgekeerde richting met één eenheid. Dus bij een pH van vijf is de concentratie waterstofionen tien keer zo hoog als bij een pH zes, en honderd keer zo hoog als bij een pH zeven.

Streefwaarde

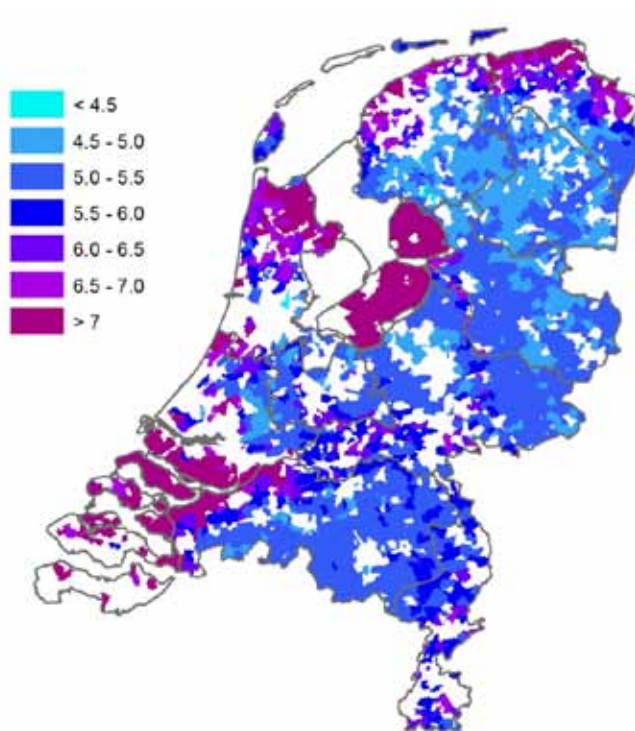
De streefwaarde voor de zuurgraad (pH-KCl) ligt grofweg tussen de vijf en zeven. De optimale zuurgraad is afhankelijk van het gewas, de grondsoort en het organische stof-gehalte. Sommige gewassen, zoals suikerbieten en luzerne, gedijen beter bij een wat hogere pH. Bij andere gewassen zoals gras en aardappelen mag de pH wat lager zijn. In een bouwplan hangt de streefwaarde dan ook af van het aandeel suikerbieten en aardappelen in het bouwplan. Op zandgronden kan met een lagere pH worden volstaan dan op kleigronden. Naarmate het organische stofgehalte hoger is, ligt de streefwaarde voor de pH lager. De streefwaarden voor de zuurgraad zijn afgeleid van de chemische beschikbaarheid van plantenvoedende stoffen. Het bodemleven gedijt echter beter bij een iets hogere pH.

Gewas	Grondsoort	Specifieke situatie	Streefwaarde
Gras	Zand, klei en löss		5,0
	Veen		4,8
Gras/klaver	Zand, klei en löss		5,5
Snijmaïs	Zand	< 5% organische stof	5,3
	Rivierklei	>12% lutum	6,4
	Löss	>10% lutum	6,6
	Zeeklei	> 35% lutum 3-5% organische stof	7,1
Bouwplan 50% aardappelen	Zand	< 5% organische stof	5,1
Bouwplan 33% bieten	Zand	< 5% organische stof	5,7

Voorbeelden van pH-streefwaarden (pH-KCl) voor enkele combinaties van gewas, grondsoort en organische stof.

Grondsoort	Sector	pH-KCl
Zand	Akkerbouw	5,0
	Extensieve melkveehouderij	5,1
	Intensieve melkveehouderij	5,3
	Veehouderij met intensieve tak	5,1
	Bos	3,2
Zeeklei	Akkerbouw	7,5
	Melkveehouderij	6,8
Veen	Melkveehouderij	5,0
Rivierklei	Melkveehouderij	6,1
Löss	Diverse landbouw	5,8

De gemiddelde zuurgraad in de bovengrond (0-10 cm) in verschillende sectoren op verschillende grondsoorten. De data zijn afkomstig van de tweede meetronde (1999-2003) van het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB).



De Gemiddelde zuurgraad (pH-KCl) in de bovengrond per postcodegebied, in 2005. De data zijn afkomstig van Blgg AgroXpertus. Alleen postcodes met minimaal twintig waarnemingen zijn weergegeven. Bouwland 0-25 cm; grasland 0-10 cm.



Wat is organische stof?

7

Organische stof is één van de belangrijkste indicatoren van bodemvruchtbaarheid. Het is essentieel voor zowel de chemische, de biologische, als de fysische bodemvruchtbaarheid. Organische stof in de bodem is afkomstig van dood plantenmateriaal. De diversiteit aan bronnen is enorm. Het kan gaan om bladeren, wortels, stoppels of stro. Maar het plantenmateriaal kan ook eerst door dieren gegeten zijn, en vervolgens gedeeltelijk verteerd in de mest uitgescheiden worden.

Planten en plantenresten bestaan voor een zeer groot deel uit lignocellulose. Dat is een verzamelnaam voor cellulose en verschillende vormen van hemicellulose en lignine. Al deze organische stoffen bestaan uit een aaneenschakeling van honderden tot duizenden ringvormige moleculen van koolstof, zuurstof en waterstof. Daarnaast bevatten planten relatief geringere hoeveelheden van andere organische stoffen zoals eiwitten, aminozuren, peptiden, fenolen en suikers. Verschillende bodemorganismen gebruiken de verse organische stof als voedsel. In ons gematigde klimaat zetten bodemorganismen grofweg 70 procent van de koolstof in verse organische stof om tot koolstofdioxide. Bij de vertering komen echter ook verschillende plantenvoedingsstoffen vrij, zoals ammonium, fosfaat en sulfaat. Het overige deel van de aangevoerde organische stof wordt langzaam tot zeer langzaam omgezet tot stabielere vormen van organische stof. Dit proces wordt ook wel humificatie genoemd, met als eindproduct humus.

Organische stof heeft een positieve invloed op alle belangrijke aspecten van bodemvruchtbaarheid. Het is niet voor niets dat sommigen organische stof het zwarte goud van de bodem noemen.

Bodemleven. Vers aangevoerde organische stof is de motor van het bodemvoedselweb. Het bodemleven, van bacteriën en schimmels tot regenwormen en mollen, is continu bezig met de verbouwing van organische stof. Het helpt bij de afbraak, maar het helpt ook bij de opbouw van stabiele vormen van organische stof.

Voedingsstoffen. Organische stof bevat een breed palet aan elementen die bij afbraak vrijkomen als voedingsstof voor de plant. Stikstof, fosfor en zwavel worden daarbij omgezet van organische vorm in anorganische vorm, ook wel minerale vorm genoemd. Vandaar dat het begrip mineralisatie synoniem staat voor de afbraak van organische stof. En organische stoffen kunnen ook weer vastgelegd worden in organische vorm. Dit omgekeerde proces heet immobilisatie.

Bodemstructuur. Organische stof verbindt bodemdeeltjes zodat ze samenklitten tot aggregaten. Zo krijgt de bodem een kruimelstructuur waardoor het risico op verdichting, korstvorming en erosie afneemt. Bovendien verbetert de bewerkbaarheid van de bodem en de doorlatendheid voor water en lucht.

Waterregulering. Organische stof houdt water vast in de bodem. Vooral voor zandgronden is dat een belangrijke eigenschap die helpt om perioden van droogte te overbruggen. Tegelijkertijd verbetert organische stof de waterdoorlatendheid waardoor overdadige neerslag niet bovengronds wegstroomt, maar juist de bodem indringt.

Uitwisseling van kationen. Organische stof is in staat om positief geladen deeltjes (kationen) aan het oppervlak te binden. Veel belangrijke voedingsstoffen spoelen daarom minder snel uit en zijn beschikbaar voor planten.

Chelatie. De uiteinden van organische moleculen bevatten soms negatief geladen groepen zoals carbonzuren. Hieraan kunnen positief geladen metaalionen zoals koper, zink en mangaan binden. Hierdoor kunnen deze metalen die normaal slecht oplosbaar zijn, toch door planten worden opgenomen.

Warmte. De donkere kleur van veel bodems wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van organische stof. Hoe donkerder de bodem, hoe beter ze warmte vasthoudt.

Streefwaarde

Eenduidige, wetenschappelijk onderbouwde, streefwaarden voor organische stof in bodems zijn niet voorhanden. Een complicerende factor is dat elke functie van organische stof zijn eigen streefwaarde heeft, die bovendien ook nog eens afhankelijk is van grondsoort en gebruik. Bij gebrek aan streefwaarden is de belangrijkste vraag waar de ondergrens ligt. Hoewel te hoge organische stofgehalten ook risicovol kunnen zijn in verband met draagkracht van de bodem, de uitspoeling van stikstof of de bewerkbaarheid van de bodem.

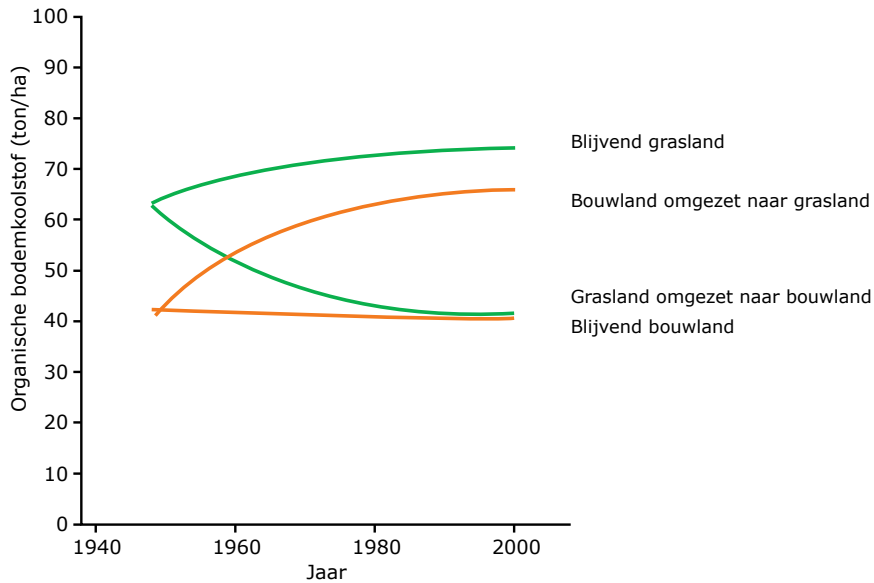
Ondanks het gebrek aan goed onderbouwde streefwaarden, zijn er wel enige expert schattingen van minimaal gewenste gehalten. Voor Nederland ligt dat bijvoorbeeld rond de 1 procent voor duinzand, 2 procent voor dekzand, 2,5 procent voor löss, 2 procent voor jonge zeeklei en 3 procent voor rivierklei.

Net over de grens, in Vlaanderen wordt voor leem, zand en klei een kritische ondergrens aangehouden van respectievelijk 1,5, 1,7 en 2,0 procent.

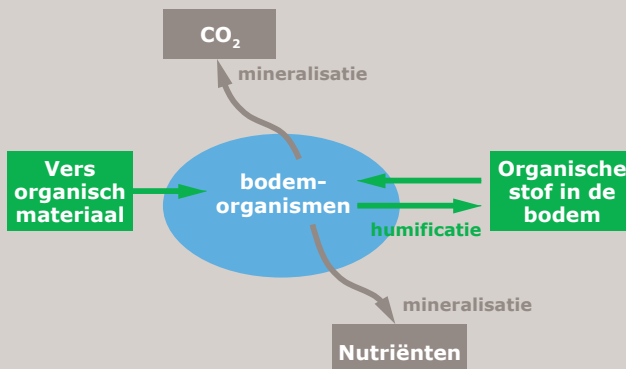
In de praktijk is het overigens niet verstandig om je alleen maar blind te staren op het gehalte aan organische stof. Verhoging van organische stof in de bodem is een zaak van lange adem, en veranderingen van het ene op het andere jaar zijn nauwelijks meetbaar. Dat is echter geen reden voor ontmoediging want toediening van verse organische stof heeft al in het jaar van toediening positieve effecten, die wel merkbaar zijn. Bijvoorbeeld de levering van stikstof en de stimulering van het bodemleven.

Grasland of bouwland

Onder grasland vinden we hogere hoeveelheden aan organische stof dan onder bouwland. Dat komt omdat blijvend grasland niet wordt geploegd en een gras-gewas meer gewasresten achterlaat dan een gemiddeld akkerbouwgewas.



Organische koolstof (ton per ha) op een kleiig leem locatie in Engeland. Op permanent grasland blijft de hoeveelheid organische stof op een hoog niveau, terwijl permanent bouwland op een laag niveau blijft. Na omzetting van permanent grasland naar permanent bouwland daalt de hoeveelheid organische stof geleidelijk tot aan het zelfde niveau als het oorspronkelijke permanente bouwland. Na omzetting van bouwland in grasland neemt de hoeveelheid organische stof toe, maar na 50 jaar heeft het nog niet het niveau van het oorspronkelijke permanente grasland bereikt.



Eenvoudige weergave van de belangrijkste processen bij de aanvoer, omzettingen en afbraak van organische stof.



Is alle
organische stof gelijk?

8

Het totale gehalte aan organische stof zegt niet alles want organische stof is een zeer gevarieerde verzameling van stoffen van verschillende oorsprong en verschillende samenstelling. Daardoor zijn er grote verschillen in de waarde van organische stof voor de verschillende functies zoals levering van voedingsstoffen, vochthoudend vermogen of structuurverbetering. De 'leeftijd' en afbraaksnelheid van organische stof zijn daarbij belangrijke onderscheidende eigenschappen.

De chemische samenstelling van plantenresten of mest heeft grote invloed op de afbraak. Eiwitten, suikers en zetmeel breken snel en vrijwel volledig af. Suikers zijn na een week al grotendeels afgebroken. De meer resistente componenten zoals cellulose en lignine breken langzaam af. Na een jaar is ongeveer 75 procent van de cellulose afgebroken en 50 procent van de lignine. Door het verschil in afbraaksnelheid neemt in de loop van de tijd het ligninegehalte van de resterende organische stof toe. De beschikbaarheid van stikstof speelt ook een belangrijke rol. De micro-organismen die de afbraak voor hun rekening nemen hebben zelf stikstof nodig. Jong groen plantenmateriaal heeft doorgaans een relatief hoog stikstofgehalte. De gemakkelijke afbreekbaarheid en de hoge stikstofvoorziening zijn dus aan elkaar gekoppeld. Oudere houtachtige plantendelen hebben een relatief laag stikstofgehalte. Bij gebrek aan stikstof zullen de micro-organismen een andere gemakkelijk beschikbare stikstofbron aanboren zoals anorganische stikstof uit kunstmest of dierlijke mest. In plaats van mineralisatie vindt er dan immobilisatie van stikstof plaats.

De vuistregel voor de gemiddelde afbraak van bodemorganische stof is twee procent per jaar, maar dit kan variëren van een half tot 10 procent. Onder natte en zure bodemomstandigheden zoals we die aantreffen op moerige gronden en veengronden is de afbraak van organische

stof laag. Op kleigronden is de afbraak vaak lager dan op zandgronden omdat klei- en siltdeeltjes organische stof fysisch beschermen tegen afbraak. Onder de zandgronden hebben de duinzanden de hoogste afbraak van organische stof.

Om de grote verscheidenheid in de kwaliteit van organische stof enigszins hanteerbaar te houden worden voor het gemak vaak drie groepen onderscheiden. De eerste groep is de jonge verse organische stof met een hoge afbraaksnelheid. Deze fractie levert snel voedingsstoffen voor het gewas. Het stimuleert de activiteit van micro-organismen en ander bodemleven. De tweede groep bestaat uit matig stabiele organische stof. De afbraaksnelheid ligt wat lager waardoor voedingsstoffen meer geleidelijk vrijkomen. Deze fractie verbetert de bodemstructuur door vorming van aggregaten van organische stof en bodemdeeltjes. Tot slot is er de oude stabiele organische stof die slechts zeer langzaam verder afbreekt. Net als de matig stabiele organische stof, is deze fractie belangrijk voor een goede structuur. Ze draagt ook bij aan het vochtvasthoudend vermogen van de bodem. De oude organische stof heeft een groot uitwisselend vermogen van positieve deeltjes zoals kalium, natrium en magnesium. Bovendien maakt het sporenelementen beter beschikbaar voor opname door het gewas.

Humificatiecoëfficiënt

Gewasresten, vaste mest, dunne mest of compost; de samenstelling en de afbraaksnelheid van organisch materiaal is zeer verschillend. De humificatiecoëfficiënt geeft de fractie aan die na een jaar nog niet is afgebroken. Hoe hoger de coëfficiënt, hoe beter het materiaal bijdraagt aan de opbouw van organische stof.

Organisch materiaal	Humificatiecoëfficiënt
Bladgroen	0,20
Vlinderbloemigen	0,25
Gras	0,25
Dunne varkensmest	0,30
Stro	0,30
Plantenwortels	0,35
Dunne rundermest	0,45
Champost	0,50
Loofboomblad	0,60
Zaagsel	0,85
Groencompost	0,90

Ziektewering

Ziektewering is van groot belang om gewassen gezond te houden. Iedere bodem is in zekere mate ziekteverwend. Want aanwezige ziekteverwekkers leiden niet altijd tot zieke planten. Maar waarom krijgt een ziekteverwekker in sommige situaties geen kans? Dat kan als de omstandigheden in bodem, zoals zuurgraad of vochthuishouding, zodanig zijn dat de ziekteverwekker de concurrentie verliest met het overige bodemleven. Organische stof kan daarbij ook helpen. Plantenwortels scheiden geurstoffen uit, die schadelijke aaltjes op weg helpen naar de wortels. Sommige geurstoffen worden gebonden aan organische stof waardoor de aaltjes de weg kwijt raken. Naast deze vormen van algemene ziekteverweering, kan een pathogeen ook onderdrukt worden door specifieke ziekteverweering. Bijvoorbeeld doordat een ziekteverwekkende schimmel geen kans krijgt door een specifieke bacterie, een zogenaamde antagonist.

De toevoeging van organische stoffen aan de bodem kan de ziekteverweering stimuleren. Maar tot nu toe zijn de resultaten wisselend en onvoorspelbaar. Het succes is onder andere afhankelijk van het soort ziekteverwekker, de soort organische stof en de bodemomstandigheden. Uit een uitgebreide studie naar het effect van organische stof op schimmelziekten bleek dat in ongeveer 45 procent van de gevallen een verbetering optrad. Daartegenover verslechterde de situatie in 20 procent van de gevallen. Bovendien werd de ziekteverweering vaak gevonden bij zeer hoge giften, die in de praktijk niet altijd mogelijk zijn.

	Afbraak (%)		
	Na 1 week	Na 12 weken	Na 40 weken
Glucose	73	89	91
Zetmeel	48	81	88
Cellulose	27	77	86
Tarwestro	20	59	66
Droge koeienmest	18	43	51
Zaagsel	12	33	47
Droog veen	<1	8	18

Afbraak van verschillende componenten van organische stof, gemeten in emig zand onder laboratorium condities





Wat is een
groenbemester?

9

Een groenbemester is een gewas dat de bodemvruchtbaarheid op peil houdt of verbetert. Groenbemers worden om uiteenlopende redenen verbouwd. Tijdens de groei beschermen ze de bodem tegen erosie of verslemping, en onderdrukken ze de groei van onkruiden. Gedurende de herfst en winter kunnen ze stikstof vastleggen die anders uit zou spoelen. Groenbemers leveren meestal geen verkoopbaar product, maar worden aan het eind van de teelt ondergeploegd. Daarbij leveren ze organische stof aan de bodem. Bovendien kan het volggewas profiteren van stikstof en andere voedingsstoffen die vrijkomen bij de afbraak van de groenbemester. Groenbemers worden ook ingezet om specifieke aaltjes te bestrijden.

In Nederland worden naar schatting op 100.000 ha groenbemers ingezaaid. Groenbemers worden vooral gebruikt in de akkerbouw, op ongeveer tien procent van de oppervlakte. In de bollenteelt wordt zelfs op een kwart van de oppervlakte groenbemers ingezet. Bladrammenas, gele mosterd en Italiaans raigras zijn verreweg de meest gebruikte groenbemers. Samen zijn deze drie goed voor zo'n 70 procent van het totaal. Daarnaast worden andere raigrassen en granen ook regelmatig ingezet. Op kleinere schaal worden klavers, wikkels, phacelia en afrikaantjes gebruikt. Grassen en klavers kunnen ingezaaid worden tijdens de teelt van het hoofdgewas. De andere groenbemers worden gezaaid in de stoppel van het geoogste hoofdgewas.

De keuze voor de groenbemester is afhankelijk van het doel. Als het om bescherming tegen erosie of slomp gaat, zijn de groenbemers met een hoge bodembedekking de beste keuze. Een goed verspreid wortelstelsel, zoals bij grassen, helpt om de gronddeeltjes bij elkaar te houden. Ook na het onderploegen van zo'n groenbemester geven de wortelresten nog steeds een goede bescherming. Als

het om de aanvoer van organische stof draait, zijn de grassen ook een goede keuze. Zij leveren vaak meer dan 1.000 kg effectieve organische stof per ha. Groenbemers verschillen ook in het vermogen om stikstof op te nemen. Een hoge stikstofopname voorkomt dat de reststikstof van het hoofdgewas uitspoelt naar het grondwater en oppervlaktewater. Als de groenbemester in staat is om de opgenomen stikstof vast te houden tot het voorjaar, dan kan het volggewas daar weer van profiteren. Ook andere uitspoelingsgevoelige voedingsstoffen zoals kalium kunnen op die manier veilig gesteld worden. Vliederbloemige groenbemestingsgewassen zoals klavers en wikkels zijn rijk aan stikstof en kunnen een belangrijke stikstofbron zijn voor volgteelten.

Een belangrijke overweging bij de keuze van een groenbemester is de invloed op de ziektedruk door aaltjes. Hiervoor zijn geen eenvoudige regels. Een geschikte groenbemester zorgt ervoor dat de populatie aaltjes niet toeneemt, of nog liever, juist afneemt. Behalve de soort groenbemester, blijkt ook het ras binnen de soort van belang te zijn.

Het verhaal van de groenbemester bestaat niet louter uit voordelen. Uiteraard kost de teelt tijd en geld. Normaal worden de kosten op termijn goedgemaakt door hogere opbrengsten. Maar in sommige gevallen kan het net verkeerd uitpakken. Bijvoorbeeld slecht ondergewerkte resten van groenbemers kunnen later weer gaan uitlopen. Deze zogenaamde opslag kan de groei van het volggewas verstoren. Ook kunnen sommige combinaties van groenbemester en hoofdgewas niet in hetzelfde jaar geteeld worden. Daardoor kan met de teelt van een groenbemester een teeltjaar van een hoofdgewas verloren gaan.

Vanggewassen

Een vanggewas is een groenbemester die specifiek wordt ingezet om de uitspoeling van stikstof tegen te gaan. In de maisteelt op zand- en lössgrond is de teelt van een vanggewas verplicht voor wie gebruik wil maken van de derogatie. Toegestane vang-gewassen zijn gras, winterrogge, bladkool, bladrammenas, wintertarwe, wintergerst en triticale. Het vanggewas mag niet vernietigd worden voor 1 februari van het daaropvolgende jaar.

Eigenschappen van groenbemers

Gewassen met een hoge bodembedekking bieden de beste bescherming tegen erosie en slemp. Een hoge vorstbestendigheid is nodig als het gewas groen de winter door moet komen. In sommige gevallen is het juist handig als een gewas in de winter afsterft, want dan kan het in het voorjaar gemakkelijk ondergewerkt worden. De stikstofopname van de groenbemester is van belang voor de hoeveelheid stikstof die over de winter heen getild kan worden voor het volggewas. Als de groenbemester in het najaar wordt ondergewerkt, is ongeveer 25 procent van de opgenomen stikstof beschikbaar voor het volggewas. Bij onderwerken in het voorjaar verdubbelt die hoeveelheid. De hoeveelheid effectieve organische stof geeft de bijdrage weer van een gewas aan de bodemvoorraad organische stof.

Gewas	Bodem- bedekking (score 1-9)	Vorst- bestendigheid (score 1-9)	Stikstof- opname (kg per ha)	Effectieve organische stof (kg per ha)
Bladrammenas	9	3	50	850
Gele mosterd	9	1	40	850
Italiaans raaigras	9	5	45	1100
Winterrogge	6	9	100	400
Rode klaver	7	3	100	1100
Wikke	7	3	120	650
Afrikaantjes	5	1	140	850

Afrikaantjes

In de vollegrondsgroenteteelt en boomkwekerij wordt steeds meer gebruik gemaakt van Afrikaantjes (*Tagetes*). Ze worden vooral ingezet tegen de bestrijding van wortel-lesieaaltjes. Ze worden gezaaid tussen het midden van mei en het midden van juli. Voor een goede bestrijding van aaltjes moet de groeiduur minimaal drie maanden zijn.



A large, cylindrical haystack made of golden-brown straw dominates the foreground. In the background, another smaller haystack is visible in a field of harvested crops under a bright blue sky with scattered white clouds. Two white circles are overlaid on the image: a large one framing the text and a smaller one framing the number 10.

Wat is een
organische stof balans?

10

Het beheer van organische stof heeft twee tegenovergestelde kanten. Aan de ene kant wil je organische stof in de bodem opbouwen om te profiteren van een betere structuur en vochthuishouding. Aan de andere kant ben je gebaat bij afbraak van organische stof om de daarbij vrijkomende voedingsstoffen te benutten. Blijvend profijt van organische stof kan alleen als de afbraak in balans is met de aanvoer. De organische stof-balans is een handig hulpmiddel om het organische stofgehalte in de bodem op het gewenste niveau te krijgen, of te houden.

Bij de berekening van de aanvoer gaat het niet om de totale hoeveelheid organische stof, maar om de hoeveelheid effectieve organische stof. Dat is de organische stof die na een jaar nog aanwezig is. Voor elk gewas en elke meststof is bekend welke fractie na een jaar nog niet is afgebroken, de zogenaamde humificatiecoëfficiënt. De effectieve organische stof is het product van de humificatiecoëfficiënt en de totale organische stof.

*effectieve organische stof (kg/ha) =
humificatiecoëfficiënt x organische stof aanvoer (kg/ha)*

Een gewas produceert zowel biomassa boven de grond, zoals stengels en bladeren, als onder de grond, zoals wortels of wortelknollen. Bij de oogst wordt slechts een deel van de biomassa afgevoerd. De rest van de plant blijft achter op het land. Zo levert elk gewas een bijdrage aan de aanvoer van verse organische stof naar de bodem. Naast het hoofdgewas kunnen zogenaamde groenbemesters worden geteeld. Deze worden meestal na de oogst van het hoofdgewas gezaaid, in nazomer of najaar. In het voorjaar wordt de hele plant ondergewerkt in de bodem. Alle biomassa van de groenbemester komt ten goede aan de bodem.

Een deel van de geoogste planten komt later via mest of compost weer terug op het land. De diversiteit aan meststoffen is enorm. De maximale aanvoer van meststoffen wordt bepaald door de gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat. De maximale aanvoer van organische stof uit meststoffen is dus afhankelijk van het gehalte aan organische stof per kg stikstof of per kg fosfaat. Dunne rundermest bevat bijvoorbeeld 20 kg effectieve organische stof per kg fosfaat, terwijl dat bij dunne varkensmest slechts 5 kg is. Bij een fosfaatgebruiksnorm van 60 kg per ha, kun je met dunne rundermest 1200 kg effectieve organische stof per ha aanvoeren. Met dunne varkensmest is de aanvoer beduidend lager, namelijk 300 kg per ha. Bij compost ligt de verhouding tussen fosfaat en organische stof nog gunstiger. Bovendien geldt voor compost een fosfaatvrijstelling van 50 procent. Met gebruik van de fosfaatvrijstelling is het met compost mogelijk om wel 4000 kg effectieve organische stof aan te voeren binnen de gebruiksnorm.

Tegenover de jaarlijkse aanvoer staat de jaarlijkse afbraak van organische stof. Een veel gehanteerde vuistregel voor de gemiddelde afbraak van organische stof is twee procent per jaar. De werkelijke afbraak kan beduidend lager of hoger zijn, afhankelijk van de grondsoort en bemestingsgeschiedenis. Dat betekent dat de jaarlijkse afbraak uiteen kan lopen van minder dan 500 kg per ha tot meer dan 5.000 kg per ha.

De balans tussen aanvoer en afbraak bepaalt of het organische stofgehalte op peil blijft of verandert. Een negatieve balans vraagt om aanpassingen in het beheer zoals het gebruik van groenbemesters, aanvoer van compost in plaats van dunne mest, of veranderingen in het bouwplan.

Gewassen

Er zijn grote verschillen in de hoeveelheid effectieve organische stof die een gewas jaarlijks aan de bodem levert. Grasland en graangewassen, waarbij het stro achterblijft, staan met stip bovenaan, met een aanvoer van meer dan 2000 kg effectieve organische stof per ha. Helemaal aan de andere kant staan suikerbieten en snijmaïs met minder dan 500 kg effectieve organische stof per ha. Het telen en onderwerken van een groenbemester kan zo'n 400 tot 900 kg effectieve organische stof per ha toevoegen aan de aanvoerszijde van de balans.

Effectieve organische stof (kg/ha)		
Groenbemers	Raaigras	612
	Winterrogge	432
	Rode klaver	783
	Witte klaver	900
	Gele mosterd	850
Gewasresten	Snijmaïs	525
	Korrelmaïs	700
	Aardappelen	875
	Zomertarwe (met stro)	2550
	Suikerbieten	375
	Luzerne	1050
	Grasland	Eenjarige zode
Tweejarige zode		2275
Driejarige zode		3675

Meststoffen

De diversiteit aan meststoffen, van het eigen bedrijf of van buiten, is eveneens groot. De dunne mesten, ook wel drijfmesten genoemd, hebben per ton product de laagste hoeveelheid effectieve organische stof; zo'n 10 tot 30 kg. Vaste mesten zijn veel rijker aan organische stof. Ze bevatten vaak resten van stro of ander strooisel, of het gaat om gedroogde mest. Bij compost ligt het organische stof gehalte in dezelfde orde van grootte als bij de vaste mesten. Binnen het stelsel van gebruiksnormen is de hoeveelheid effectieve organische stof per kg stikstof of fosfaat van belang voor de toegestane aanvoer.

Effectieve organische stof per:				
		Ton product	Kg N	Kg P ₂ O ₅
Dunne mest	Rundvee	33	7,5	20,5
	Vleesvarkens	20	2,8	4,8
	Kippen	31	3,0	3,9
Vaste mest	Rundvee	105	16,4	26,5
	Kippen	140	7,3	5,8
	Vleeskuikens	183	6,0	10,8
Compost	Champost	110	19,0	30,6
	GFT	143	16,8	38,5

Afbraak

De bouwvoor bevat naar schatting 3.500.000 kg grond per ha. Een procent organische stof komt dus overeen met 35.000 kg organische stof. De vuistregel voor de gemiddelde afbraak van organische stof is twee procent per jaar. De werkelijke afbraak is op zandgronden vaak hoger dan op kleigronden. Op duinzand bijvoorbeeld ligt de afbraak eerder in de buurt van de vier procent. Daarnaast speelt de bemestingsgeschiedenis een rol. Hoge bemestingen in de voorgaande jaren betekent een hogere afbraak. Andersom leidt een spaarzame bemestingsgeschiedenis tot een lagere afbraak. Veengronden bevatten veel hogere organische stofgehalten, in de orde van 30 procent. Dus zelfs bij een lage afbraaksnelheid gaan er op veengrond grote hoeveelheden organische stof verloren.

Organische stof (%)	Organische stof in bouwvoor (kg)	Afbraak bij 2% (kg)	Afbraak bij 1% (kg)	Afbraak bij 4% (kg)
1	35.000	700	350	1.400
2	70.000	1.400	700	2.800
3	105.000	2.100	1.050	4.200
4	140.000	2.800	1.400	5.600

Afbraaksnelheid

Grondsoort	Jaarlijkse afbraak (%)
Zand, dalgrond en löss (< 2% organische stof) met hoge mestgiften in verleden	3 - 4
Zand, dalgrond en löss (< 2% organische stof) met lage mestgiften in verleden	1,5 - 2,5
Zand, dalgrond en löss (> 2% organische stof)	0,5 - 0
Duinzand	3 - 10
Oude klei	1,5 - 2,5
Jonge klei	2 - 4
Veengrond (pH < 4,5)	0,5 - 1
Veengrond (pH > 4,5)	1 - 3



Hoeveel organische stof
wordt aangevoerd?

11

De aanvoer van organische stof bestaat hoofdzakelijk uit gewasresten en dierlijke meststoffen. De bijdrage van gewasresten is afhankelijk van de gewassen die deel uit maken van het bouwplan. De bijdrage uit mest is afhankelijk van de mestsoort. Door de eisen die de gebruiksnormen stellen aan de aanvoer van fosfaat is de verhouding tussen effectieve organische stof en fosfaat in de mest bepalend voor de organische stof aanvoer.

In de akkerbouw loopt de aanvoer van effectieve organische stof uiteen van ongeveer 1.200 tot 1.800 kg per ha. Bedrijven op de noordelijke zeeklei verbouwen ongeveer 75 procent granen, met een hoge aanvoer uit gewasresten. Zij voeren slechts acht procent van de organische stof aan uit dierlijke mest. Op de centrale en zuidwestelijke zeeklei worden meer aardappelen en bieten geteeld, maar ook vaak peen, uiten, erwten en tulpen. De hoeveelheid gewasresten is daarom relatief laag. Aardappelen en suikerbieten vormen ook een belangrijk onderdeel van het bouwplan bij de akkerbouw op zand. Op het noordelijk zand wordt daarnaast ook zomergerst geteeld, terwijl op het zuidelijk zand het bouwplan wordt aangevuld met peen, schorseneer en spinazie. In het zuidelijk zandgebied is 33 procent van de organische stof afkomstig van dierlijke mest. Op de löss bestaat het bouwplan uit vrijwel gelijke delen consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zomergerst, soms ook met een klein deel uien.

Bij de teelt van vollegrondsgroenten is er een groot verschil tussen de bedrijven op klei en zand. Op de klei worden vooral diverse koolsoorten geteeld, terwijl op zand prei de belangrijkste teelt is. Op de klei varieert de aanvoer van effectieve organische stof van 1.600 tot 2.100 kg per ha. Op de centrale zeeklei ligt het mest-gebruik heel laag, terwijl in het zuidwesten 20 procent van de aanvoer uit mest komt. Op de zandgrond is de totale aanvoer beduidend hoger, met zo'n 3.000 kg effectieve organische stof

per ha. Hiervan komt 40 tot 50 procent uit mest. Daarnaast gebruiken deze bedrijven compost als aanvullende bron voor organische stof.

In de bollenteelt op duinzand worden grote hoeveelheden vaste mest en compost gebruikt. Samen wordt hiermee zo'n 5.000 kg effectieve organische stof aangevoerd.

De jaarlijkse afbraak van organische stof is afhankelijk van de grondsoort en de historie van de bemesting. De jaarlijkse afbraak kan wel uiteenlopen van minder dan 500 kg per ha tot meer dan 5.000 kg per ha. Daarom is het niet goed mogelijk om te beoordelen of de berekende aanvoer voldoende is om de afbraak te compenseren. Er zijn grove vuistregels dat de jaarlijkse aanvoer minimaal 1.500 kg per ha dient te zijn, maar liefst 2.000 kg per ha. Binnen de akkerbouw ligt de aanvoer in de buurt van deze ondergrenzen. Van duinzand is bekend dat de afbraak zeer hoog is. De bedrijven in deze regio compenseren de hoge afbraak met aanvoer van vaste mest en compost.

Op melkveebedrijven worden gras en snijmaïs geteeld. Op grasland is organische stof zelden een probleem. Resten van bladeren, stoppels en wortels leveren jaarlijks al snel zo'n 2.500 tot 3.500 kg effectieve organische stof. Met een gift van 30 ton rundermest per ha komt daar ongeveer 1.000 kg effectieve organische stof bij. Ook de weidende koeien dragen nog eens 500 tot 1.000 kg bij via mestflatten, zij het slecht verdeeld. Bij snijmaïs ligt het verhaal heel anders. De plant wordt in zijn geheel geoogst waardoor slechts 500 kg effectieve organische stof overblijft. Met 40 ton dunne rundermest komt daar ongeveer 1.200 kg effectieve organische stof. De totale aanvoer blijft dan steken bij 1.700 kg per ha. Met een geslaagde groenbemester kan daar nog zo'n 500 kg bijkomen. Door snijmaïs in vruchtwisseling te telen met grasland kan gemiddeld een hoge aanvoer van organische stof worden gerealiseerd.

Jaarlijkse aanvoer aan effectieve organische stof (eos) voor verschillende bedrijfstypen in akkerbouw, vollegrondsgroenten en bloembollen. De aanvoer is berekend voor een fosfaatgebruiksnorm van 60 kg per ha.

Regio en grondsoort	Kernactiviteit	Mestsoort	Aandeel mest in aanvoer fosfaat (%)	Aandeel mest in aanvoer eos (%)	Aanvoer eos (kg/ha)
<i>Akkerbouw</i>					
Noordelijke zeeklei	Graan	Varken, kip	48	8	1.750
Centrale zeeklei	Pootaardappel	Varken, kip	63	15	1.185
Centrale zeeklei	Consumptieaardappel	Varken, kip	78	15	1.450
Zuidwestelijke zeeklei	Graan en consumptieaardappel	Varken	83	14	1.660
Noordoostelijk zand	Zetmeelaardappel (1 op 3)	Varken, kip	92	18	1.435
Zuidoostelijk zand	Consumptieaardappel en groenten	Varken, rund	92	33	1.325
Löss	Graan en consumptieaardappel	Varken	68	13	1.555
<i>Vollegrondsgroenten</i>					
Centrale zeeklei	Bloemkool en broccoli	Varken, kip	28	4	2.105
Centrale zeeklei	Sluitkool	Varken, kip	28	5	1.610
Zuidwestelijke zeeklei	Spruitkool	Varken	87	21	2.095
Zuidelijke zand	Prei en ijssla	Varken, compost	92	38	3.225
Zuidelijke zand	Prei	Varken, compost	88	51	3.020
Zuidelijke zand	Prei en aardbei	Varken, compost	100	48	2.945
<i>Bloembollen</i>					
Duinzand	Hyacint (1 op 2)	Rund (vast), compost	100	44	6.500
Duinzand	Gemengd met hyacint (1 op 4)	Rund (vast), compost	100	54	6.500

Landelijke balans

In Nederland is ongeveer twee miljoen ha land in gebruik door de landbouw. De totale aanvoer aan effectieve organische stof lag in afgelopen vijftien jaar rond de 5.200 miljoen kg. De aanvoer is tussen 1995 en 2009 iets afgenomen, gemiddeld met 0,44 procent per jaar.

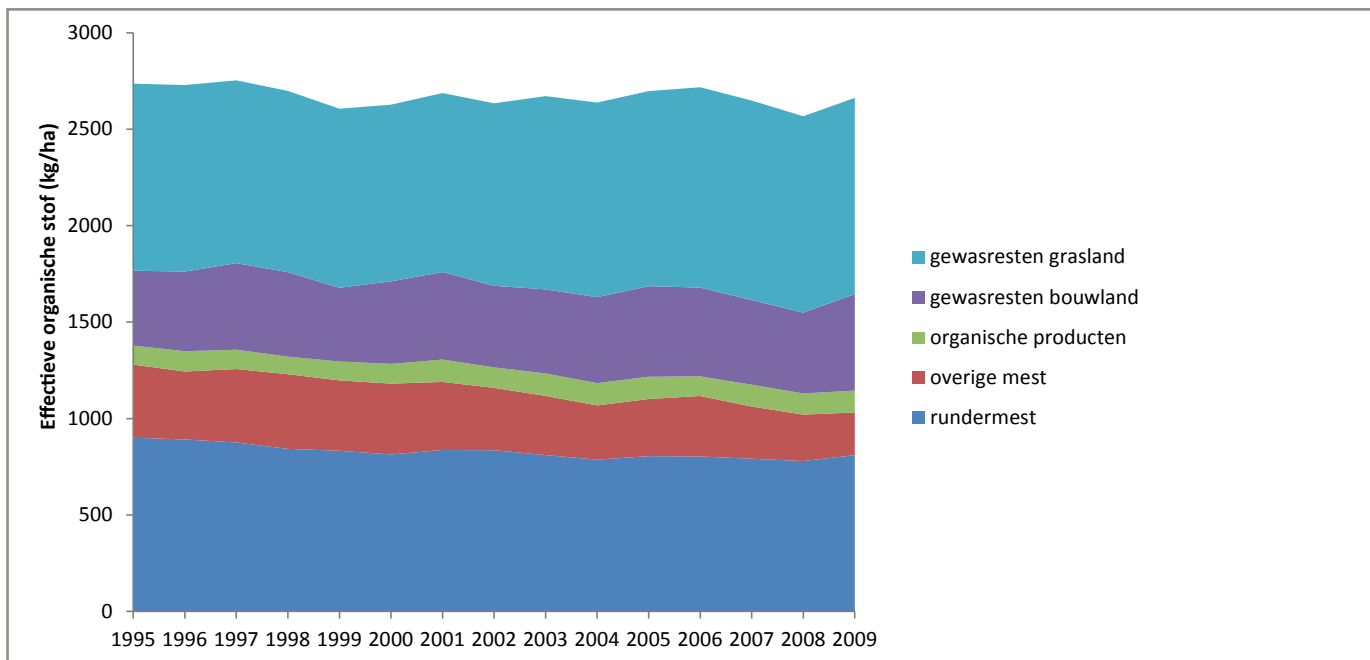
De exacte oppervlakte cultuurgrond is in diezelfde periode echter ook gedaald. Daarom is aanvoer van effectieve organische stof per ha slechts afgenomen met 0,19 procent per jaar. In 2009 was de gemiddelde aanvoer 2.662 kg effectieve organische stof per ha. Als we ervan uitgaan dat alle rundermest naar grasland en snijmais gaat en de overige mest naar overig bouwland, dan is de aanvoer voor de melkveehouderij gemiddeld 2.750 kg per ha en voor de akkerbouw 2.464 kg per ha.

Bijna 60 procent van de aanvoer van effectieve organische stof is afkomstig van de gewasresten. Grasland

neemt hiervan ongeveer twee derde deel voor haar rekening en bouwland een derde deel. Tussen 1995 en 2009 is de aanvoer uit gewasresten jaarlijks met 0,6 procent toege-nomen, vooral vanwege de stijgende gewasopbrengsten.

De tweede belangrijke bron van organische stof is dierlijke mest, met bijna 40 procent van de aanvoer. Binnen de categorie dierlijke mest was rundermest verreweg de grootste aanvoerbron. Het grote aandeel van rundermest wordt veroorzaakt door de hogere productie, maar ook door het hogere gehalte aan effectieve organische stof. Tussen 1995 en 2009 is de aanvoer uit dierlijke mest jaarlijks met 1,6 procent afgenomen.

De overige bronnen van organische stof spelen nog steeds een bescheiden rol in de aanvoer, ondanks een jaarlijkse stijging van 0,9 procent. De belangrijkste producten in deze categorie zijn champost, groencompost en GFT-compost.



Aanvoer van effectieve organische stof (kg per ha) naar Nederlandse landbouwgrond.

A close-up photograph of a red tractor's rear section, showing a large black wheel with a red rim and a white corrugated hose. The tractor is covered in mud and straw. A white circle is overlaid on the image, containing the text.

Hoe beïnvloedt het
mestbeleid de aanvoer
van organische stof?

12

De aanvoer van organische stof is afhankelijk van de geteelde gewassen, het beheer van gewasresten, het gebruik van groenbemesters, dierlijke meststoffen en andere organische stof houdende materialen. Het mestbeleid beperkt de aanvoer van dierlijke mest en daarmee dus de aanvoer van organische stof uit deze bron. Tussen 1995 en 2009 is de gemiddelde aanvoer van effectieve organische stof uit dierlijke mest landelijk gedaald met ongeveer 20 procent. Dierlijke mest vertegenwoordigt gemiddeld bijna 40 procent van de totale aanvoer van organische stof. Gewasresten zijn echter de grootste bron van organische stof. De toename van de aanvoer door gewasresten, als gevolg van stijgende gewasopbrengsten, compenseerde grotendeels de afname uit mest. De totale aanvoer daalde tussen 1995 en 2009 daardoor slechts met drie procent.

De geringe afname van de aanvoer van organische stof vertaalt zich niet naar lagere organische stofgehalten in de bodem. Sterker nog, gemiddeld nemen de gehalten langzaam toe. Duidelijke dalingen van het organische stofgehalten worden alleen gesignaleerd in veenweidegebieden en op de noordelijke zeeklei. Deze veranderingen staan los van het mestbeleid. In de veenweidegebieden zorgt de ontwatering voor een hoge afbraak van organische stof. In de noordelijke kleigebieden is mogelijk het scheuren van grasland ten behoeve van snijmaïs, bouwland en bloembollen de oorzaak.

De landelijk stabiele of licht stijgende trend sluit natuurlijk niet uit dat er bedrijven zijn die wel moeite hebben om het organische stofgehalten op peil te houden. Op zandgronden in Drenthe, Overijssel, Gelderland en Noord-Brabant kon bijvoorbeeld geen uniforme trend worden vastgesteld in de ontwikkeling van het organische stofgehalte van blijvend grasland, blijvend snijmaïs of grassnij-

maïs vruchtwisseling. Maar de variatie was groot. Op grasland nam het organische stofgehalte in ongeveer de helft van de gevallen toe, en in kwart van de gevallen nam het gehalte af. Bij continue teelt van snijmaïs kon in de meeste gevallen geen verandering worden vastgesteld, terwijl op 10 tot 25 procent van de percelen een daling werd waargenomen.

Berekeningen voor gemiddelde modelbedrijven laten zien dat het effect van een verlaging van de fosfaatgebruiksnorm van 85 naar 60 kg per ha op de aanvoer van effectieve organische stof vrij beperkt is. De invloed is niet zo groot omdat de normen vaak niet volledig ingevuld worden met organische mest. Een deel van de fosfaatbemestingsruimte wordt met kunstmest opgevuld. Daarnaast is dierlijke mest voor veel bedrijven niet de belangrijkste aanvoerbron van organische stof. Meer dan de helft van de aanvoer vindt plaats door gewasresten. De afname van de aanvoer van effectieve organische stof door aanscherping van de fosfaatgebruiksnorm tot 60 kg P_2O_5 per ha loopt op de akkerbouwbedrijven uiteen van 50 tot 300 kg per ha. Op de kleibedrijven is de verlaging vooral een gevolg van een lager mestgebruik door de aanscherping van de stikstofwerkingscoëfficiënt van de dierlijke mest bij toediening in de nazomer en herfst. Daarnaast wordt naar verwachting op de bedrijven in het noorden en oosten van het land de kippenmest vervangen door varkensmest, omdat een groot deel van de kippenmest buiten de landbouw wordt verwerkt. Bij eenzelfde fosfaataanvoer wordt er dan minder organische stof aangevoerd. Bij de teelt van vollegrondsgroenten op zand blijft de aanvoer van effectieve organische stof vrijwel gelijk. Dat komt omdat deze bedrijven de fosfaataanvoer met organische mest al rond de 60 kg P_2O_5 per ha, of lager, lag. Op bloembolbedrijven op duinzand kan de hoge aanvoer van 6.500 kg per ha alleen worden gehandhaafd door de veel gebruikte vaste rundermest deels te vervangen door compost.

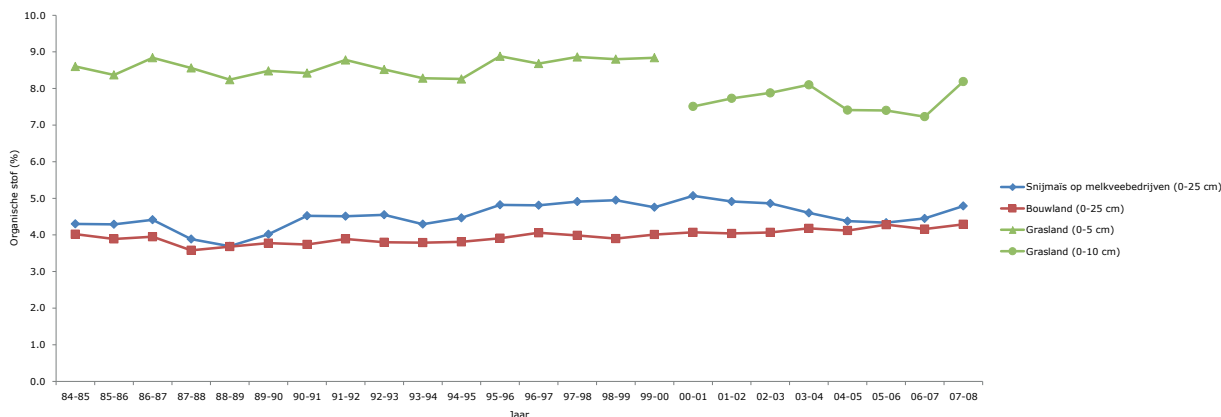
Effect van een fosfaatgebruiksnorm van 85 en 60 kg P₂O₅ per ha op de aanvoer van effectieve organische stof (eos), berekend voor gemiddelde modelbedrijven.

Regio en grondsoort	Kernactiviteit	Mestsoort	Aandeel mest in aanvoer eos (%)		Aanvoer eos (kg/ha)	
			P85	P60	P85	P60
<i>Akkerbouw</i>						
Noordelijke zeeklei	Graan	Varken, kip	20	8	2.020	1.750
Centrale zeeklei	Pootaardappel	Varken, kip	22	15	1.300	1.185
Centrale zeeklei	Consumptieaardappel	Varken, kip	22	15	1.590	1.450
Zuidwestelijke zeeklei	Graan en consumptieaardappel	Varken	19	14	1.765	1.660
Noordoostelijk zand	Zetmeelaardappel (1 op 3)	Varken, kip	28	18	1.630	1.435
Zuidoostelijk zand	Consumptieaardappel en groenten	Varken, rund	40	33	1.505	1.325
Löss	Graan en consumptieaardappel	Varken	16	13	1.610	1.555
<i>Vollegrondsgroenten</i>						
Centrale zeeklei	Bloemkool en broccoli	Varken, kip	8	4	2.200	2.105
Centrale zeeklei	Sluitkool	Varken, kip	10	5	1.700	1.610
Zuidwestelijke zeeklei	Spruitkool	Varken	25	21	2.240	2.095
Zuidelijke zand	Prei en ijssla	Varken, compost	38	38	3.225	3.225
Zuidelijke zand	Prei	Varken, compost	51	51	3.040	3.020
Zuidelijke zand	Prei en aardbei	Varken, compost	48	48	2.970	2.945
<i>Bloembollen</i>						
Duinzand	Hyacint (1 op 2)	Rund (vast), compost	44	44	6.500	6.500
Duinzand	Gemengd met hyacint (1 op 4)	Rund (vast), compost	54	54	6.500	6.500

Organische stofgehalte in de bodem

Ontwikkeling van het gemiddelde organische stofgehalte van grasland, snijmaïs en bouwland op zand en klei. De gegevens zijn afkomstig van analyses die door boeren zijn ingestuurd naar Blgg AgroXpertus. De monsters zijn afkomstig van verschillende plekken in verschillende

percelen in verschillende jaren. Het landgebruik was alleen bekend op het moment van de monstername, maar de geschiedenis is onbekend. Het aantal monsters nam af in de loop der tijd. In 2001 is de bemonsteringsdiepte van grasland veranderd van vijf naar tien centimeter.



Effectieve organische stof per:

		Ton product	Kg N	Kg P ₂ O ₅	60 kg P ₂ O ₅	170 kg N
Dunne mest	Rundvee	33	7,5	20,5	1.233	1.269
	Vleesvarkens	20	2,8	4,8	286	472
	Kippen	31	3,0	3,9	236	512
Vaste mest	Rundvee	105	16,4	26,5	1.537	2.789
	Kippen	140	7,3	5,8	346	1.242
	Vleeskuikens	183	6,0	10,8	645	1.019
Compost	Champost	110	19,0	30,6	1.833	3.224
	GFT	143	16,8	38,5	2.311	-

Aanvoer van effectieve organische stof in verschillende producten. Dunne mest van vleesvarkens en kippen bevatten de laagste hoeveelheid effectieve organische stof per kg stikstof of fosfaat. Als de fosfaatgebruiksnorm volledig met mest wordt opgevuld, wordt met deze producten slechts 200 tot 300 kg effectieve organische

stof per ha aangevoerd. Compost bevat beduidend meer organische stof. Hiermee kan binnen de fosfaatgebruiksnorm zo'n 2.000 kg effectieve organische stof worden aangevoerd. Met gebruik van de 50 procent-fosfaatvrijstelling voor compost is dat zelfs ruim 4.000 kg



Wat leeft
er in de bodem?

13

Het bodemleven is voor de landbouwpraktijk lange tijd een ondergeschoven kindje geweest. Op zichzelf is dat wel begrijpelijk want het leven onder de grond onttrekt zich grotendeels aan het oog van de bovengrondse waarnemer. Studies naar het leven onder de grond zijn daarom ook lastiger dan studies naar bovengronds levende planten en dieren.

Een enorme diversiteit aan microben en dieren vormen samen het voedselweb in de bodem. Het ondergrondse voedselweb zorgt vooral voor de verwerking en gebruik van organische stof afkomstig van het bovengrondse ecosysteem. In het kort betekent het dat resten van bladeren, wortels en stoppels in stappen worden afgebroken. Het dient als voedsel voor het bodemleven en wordt uiteindelijk zover afgebroken dat het weer geschikt is als voedingsstoffen voor de bovengrondse planten.

Als we naar lichaamsgrootte kijken, kan het bodemleven grofweg in drie groepen worden ingedeeld.

- De microfauna en -flora (< 100 µm) bestaan voornamelijk uit bacteriën, schimmels en protozoën.
- De mesofauna (100 µm tot 2 mm) bestaat onder andere uit aaltjes, mijten, springstaarten, protura, diplura, wortelduizendpoten en potwormen.
- De macro- en megafauna (>2 mm) bestaan vooral uit pissebedden, duizendpoten, miljoenpoten, kevers en regenwormen. De echte reuzen in deze groep zijn de mollen, muizen en slakken.

Bacteriën en schimmels zijn weliswaar de kleinsten onder de bodembewoners, maar ze zijn met heel veel. Met een totaal gewicht van enkele duizenden kg per ha vertegenwoordigen bacteriën en schimmels verreweg de grootste hoeveelheid biomassa in de bodem. De hoeveelheid regenwormen ligt in een grasland nog in de orde van

duizend kg per ha. Maar bij de overige groepen gaat het slechts om tientallen tot honderden kg per ha.

De bodemorganismen zorgen ervoor dat plantenresten, uitwerpselen en kadavers in vele kleine stapjes omgezet worden in nieuwe voedingsstoffen voor planten. Miljoenpoten, pissebedden en regenwormen en, in mindere mate, potwormen verkruiden het grove materiaal en verdelen het naar diepere bodemlagen. Schimmels en bacteriën breken het met behulp van enzymen verder af tot anorganische voedingsstoffen voor planten. Springstaarten en mijten 'grazen' vooral op schimmels. De organismen in het bodemvoedselweb kunnen ingedeeld worden naar de plaats die ze innemen in de voedselketen, het zogenaamde trofische niveau. Net als in het bovengrondse ecosysteem heeft het bodem-ecosysteem vier groepen dieren, verdeeld over de drie trofische niveaus: producenten, consumenten en reducenten.

- Producenten maken met behulp van zonlicht organisch materiaal uit kooldioxide en voedingsstoffen uit de bodem. Hiertoe behoren alle planten, algen en korstmossen.
- Herbivoren zijn consumenten die levend plantaardig materiaal eten. In de bodem gaat het om specifieke planteneterende aaltjes en larven van insecten en enkele specifieke springstaarten. Plantpathogene bacteriën en schimmels zijn in zekere zin ook herbivoren. De meeste plantenbiomassa wordt boven de grond gegeten door runderen, konijnen, hazen en ganzen, maar ook door plaaginsecten.
- Reducenten eten dood materiaal, en zetten dat om in nieuwe voedingsstoffen. Zij zijn dus essentieel voor het sluiten van de kringloop in de bodem. De meeste bacteriën en schimmels behoren tot deze groep, maar ook bepaalde soorten springstaarten, insectenlarven en slakken.

- Carnivoren zijn ook consumenten, maar zij eten andere dieren. In de bodem zijn dat bepaalde soorten roofaaltjes, mijten en mieren. Maar ook de mol hoort daarbij. Op de bodem lopen nog andere carnivoren zoals spinnen en slakken.
- Ten slotte is er nog een buitencategorie: de mutualisten. Dat zijn bacteriën en schimmels die in symbiose met planten leven. Het gaat bijvoorbeeld om stikstofbindende bacteriën die te vinden zijn in de wortelknol-

letjes van vlinderbloemigen, zoals klaver. In ruil voor koolhydraten leggen ze stikstof uit de lucht vast als ammonium, waar de plant van profiteert. Een ander voorbeeld zijn mycorrhizavormende schimmels. Dat zijn schimmels die de wortel ingroeien en in ruil voor koolhydraten voedingsstoffen, vooral fosfor, aan de plant leveren, die ze weghalen van plekken waar de plant anders niet bij zou kunnen.

Regenwormen

Het grootste deel van de organismen in de bodem zijn onzichtbaar voor de menselijke waarnemer. Regenwormen zijn echter groot genoeg om met het blote oog te kunnen zien. Onder een hectare grond leven zo'n half miljoen tot vijf miljoen regenwormen. Ze leven van gedeeltelijk verteerde plantenresten, bacteriën en schimmels. De gangen die ze graven zijn belangrijk voor de bodemstructuur. Ze bevorderen de uitwisseling van gassen en de waterdoorlatendheid. In Nederland komen ongeveer vijftien soorten voor.

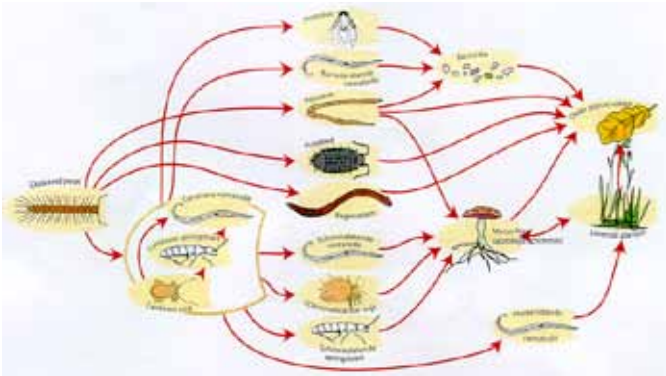
In het bovenste, organische stof rijke, deel van de bodem leven de strooiselbewoners. Ze zijn vaak roodbruin gekleurd en zo'n vijf tot tien centimeter lang. Dieper in de bodem, tot ongeveer 40 centimeter, leven de bodembewoners. Ze komen zelden boven de grond. Ze zijn wat grauer van kleur dan de strooiselbewoners. Tot slot zijn er de pendelaars, de grootste wormen die tot 35 cm lang kunnen worden. Als het nat is kun je ze boven de grond aantreffen, maar bij droogte duiken ze tot een meter diep de grond in. Daarbij brengen ze organisch materiaal diep in de bodem.



Van links naar rechts een strooiselbewoner, een bodembewoner en een pendelaar.

Ziekteverwekkers

Bepaalde aaltjes, schimmels of bacteriën kunnen planten ziek maken. In Nederland komen ongeveer 1.200 soorten aaltjes voor, waarvan zo'n 100 schadelijk kunnen zijn. Bij schimmels gaat het om nog veel grotere aantallen, met nog grotere onzekerheden. Grofweg zijn 100.000 soorten beschreven, waarvan naar schatting 8.000 soorten schadelijk zijn. Vrijwel alle planten zijn wel gevoelig voor de een of andere bodemgerelateerde ziekte, maar de schade is zeer wisselend. Bodempathogenen tasten vooral wortels aan, waardoor de aantasting zich in eerste instantie uit het zicht ontwikkelt. De ziekteverwekkers kunnen vaak lange tijd in de bodem overleven, vrijlevend of gebruikmakend van verschillende waardplanten. Het bekendste voorbeeld is wellicht aardappelmoeheid, een aantasting door cysteaaltjes. Andere gewassen zoals suikerbieten, uien, erwten en bloembollen zijn eveneens gevoelig voor aaltjes



In de kringloop van voedingsstoffen neemt het bodemleven een centrale plaats in. Organisch restmateriaal wordt afgebroken tot mineralen die weer kunnen worden opgenomen door planten.



Hoe staat het
bodemleven ervoor?

14

Het landgebruik en de grondsoort hebben een grote invloed op de samenstelling van het bodemleven. In de melkveehouderij, met grasland als de dominante gebruiksvorm, is het bodemleven uitbundiger dan in de akkerbouw, vollegrondsgroententeelt en bloembollenteelt. De regelmatige verstoringen door grondbewerking en verdichting spelen daarbij een belangrijke rol. De 'hoeveelheid' bodemleven vertoont een grote samenhang met het organische stofgehalte in de bodem. Immers, de verse aanvoer van organische stof is het voedsel voor het bodemleven.

Potwormen en regenwormen komen naar verhouding meer voor in de grasland op klei, löss en veen dan op zand. Dit is voor een deel een grondsoort-effect, maar ook het aandeel blijvend grasland speelt een rol. Onder blijvend grasland komen meer regenwormen voor dan onder grasland dat regelmatig gescheurd wordt of in een rotatie met snijmaïs wordt geteeld. Regenwormen komen in heidevelden en bossen nauwelijks voor. Waarschijnlijk spelen de lage pH, de slechte voedselkwaliteit en het lage kleigehalte van de bodem hierbij een rol.

De totale biomassa aan bacteriën is het hoogste in grasland op klei en löss. De metingen van de hoeveelheid schimmels worden nog niet zo lang uitgevoerd. Daarom zijn de resultaten over schimmels nog niet compleet. De hoogste aantallen aaltjes worden in grasland op veen gevonden.

Bij halfnatuurlijke graslanden, heide en bos zijn hogere aantallen mijten en springstaarten aanwezig dan in landbouwgrond. Deze bodemorganismen zijn eveneens gevoelig voor de verstoringen die het landbouwkundig gebruik met zich meebrengt. De zuurgraad van de bodem speelt ook een rol: bij een lage pH is hun voedsel, dat vooral uit schimmels bestaat, talrijker.

Voor boeren en terreinbeheerders is het meten en beschrijven van het bodemleven slechts een eerste stap. Voor hen wordt het pas echt interessant als er streefwaarden zijn en maatregelen om het bodemleven te sturen. Daarom zijn zogenaamde Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB) opgesteld. De referenties beschrijven hoe een gezonde bodem er uit kan zien, rekening houdend met gebruik en grondsoort. Voor de landbouw zijn referenties opgesteld voor melkveehouderij op zand, klei, löss en veen, en voor akkerbouw op zand en klei. Ze beschrijven niet alleen de hoeveelheden van de verschillende bodemorganismen, maar ook de diversiteit. Algemene maatregelen die het bodemleven bevorderen zijn vooral gericht op het verbeteren van de organische stofvoorziening, het beperken van grondbewerkingen, een optimale zuurgraad, het voorkomen van verdichting of andere structuurproblemen, het vermijden van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en een goede waterhuishouding.

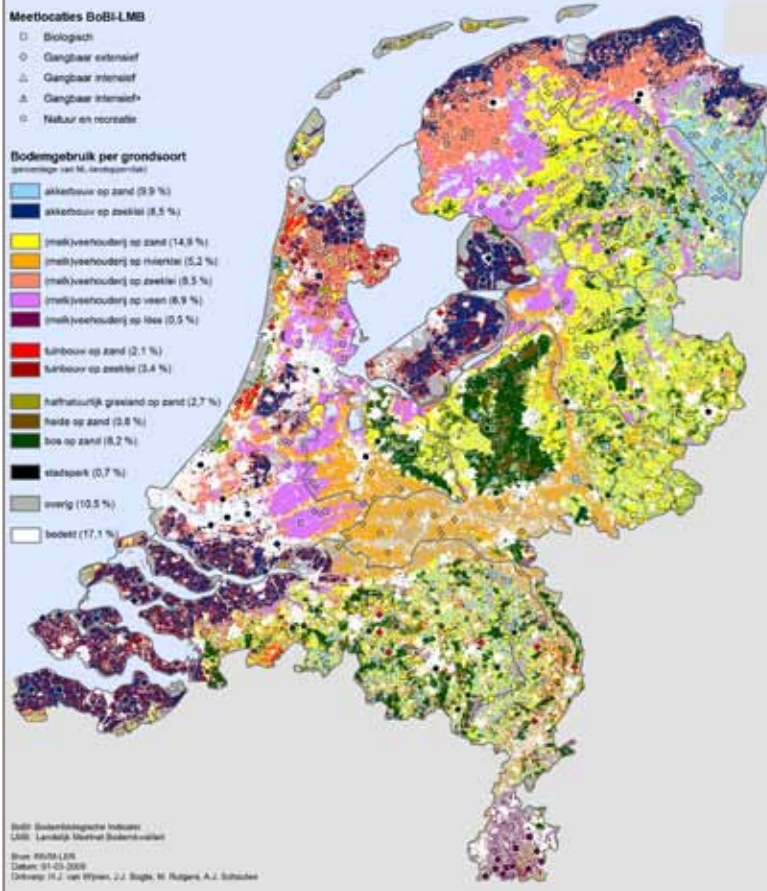
Specifieke maatregelen, echt gericht op het sturen van de verschillende typen bodemorganismen, zijn nog minder goed uitgewerkt. Bacteriën gedijen bijvoorbeeld goed in een stikstofrijke en niet al te zure omgeving. Het gebruik van bladrijke groenbemesters helpt dan om de bacteriepopulatie, in ieder geval tijdelijk, te verhogen. Schimmels daarentegen profiteren meer van koolstofrijke gewasresten en een lage pH. Als de bouwvoor weinig strooisel-bewonende regenwormen bevat, helpt de toediening van storrijke stalmest.

Bodembiologische Indicator

De biologische bodemvruchtbaarheid wordt in Nederland sinds 1997 systematisch gevolgd. Op zo'n 380 locaties wordt eens in de zes à zeven jaar een grondmonster genomen. De locaties zijn zo gekozen dat de meeste combinaties van bodemgebruik en bodemtype zijn vertegenwoordigd. Momenteel zijn van elke locatie gegevens beschikbaar van tenminste één meetronde.

De grondmonsters worden in april en mei genomen omdat dan de omstandigheden relatief stabiel zijn en het bodemleven actief is. De monsters worden geanalyseerd op belangrijke onderdelen van het bodemleven en de koolstof- en stikstofkringloop. De gemeten bodemorganismen zijn bacteriën, schimmels, aaltjes, potwormen, regenwormen, mijten en springstaarten.

Bodemgebruik per grondsoort en meetlocaties BoBI-LMB



Referentie biologische bodemkwaliteit

Voor de belangrijkste vormen van bodemgebruik en bodemtypen zijn zogenaamde Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB) opgesteld. Uit de grote verzameling van locaties hebben verschillende deskundigen die locaties

uitgezocht waarvan men vindt dat ze een relatief goede bodemkwaliteit hebben. De referenties duiden hoe een gezonde bodem er uit kan zien, rekening houdend met gebruik en grondsoort.

Selectie van enkele bodembioologische referentiewaarden voor tien combinaties van landgebruik en grondsoort

Gebruik Grondsoort	Bacteriën (ug C/g grond)	Schimmels (ug C/g grond)	Aaltjes (aantal/m ²)	Pot Wormen (aantal/m ²)	Regen Wormen (aantal/m ²)	Springstaarten en mijten (aantal/m ²)	Organische stof (%)
Akkerbouw							
- Klei	51	-	1.290	17.500	200	11.070	2,2
- Zand	81		4.420	32.505	77	20.660	6,9
Melkveehouderij							
- Klei	634	-	6.137	78.500	743	22.330	9,1
- Löss/klei	620	-	4.817	46.850	336	16.590	5,3
- Veen	215	38	9.363	31.700	336	70.735	35,5
- Zand	132	-	5.990	20.700	64	43.500	6,8
Halfnatuurlijk grasland							
- Zand	142	23	4.960	14.200	150	87.900	7,9
Heide							
- Zand	79	54	1.840	8.310	0	190.500	6,8
Gemengd bos							
- Zand	28	-	1.420	15.050	6	157.700	4,5
Stadspark							
- Divers	107	26	2.770	11.100	367	56.640	5,0

Wat is het belang van
bodemvruchtbaarheid
voor de
biologische landbouw?

15



In de biologische landbouw is een goede bodemvruchtbaarheid één van de fundamenteën onder de bedrijfsvoering. De achterliggende gedachte is dat de bodem het gewas van voldoende voedingsstoffen moet voorzien. Daarom is het bereiken van een zeker vruchtbaarheidsniveau een belangrijk doel. Net als in de gangbare landbouw, hanteert men daarvoor streefwaarden voor stikstof, fosfaat, kalium en organische stof. Maar, meer dan in de gangbare landbouw, heeft de biologische sector aandacht voor de biologische aspecten van bodemvruchtbaarheid.

De opbouw en het beheer van organische stof heeft een belangrijke plaats in de biologische landbouw. Het wordt gezien als de basis onder de bodemvruchtbaarheid. Daarom is er relatief veel aandacht voor de inzet van organische meststoffen en een ruim bouwplan met klavers, granen en groenbemesters. Voedingsstoffen voor de plant moeten vrijkomen uit de afbraak van deze organische bestanddelen, in plaats van uit snelwerkende kunstmeststoffen. De keuze voor gewassen is niet uitsluitend gebaseerd op het rendement in het jaar van de teelt, maar ook op levering van organische stof voor de langere termijn, en onderdrukken van ziekten en plagen.

Uit gegevens van praktijknetwerken blijkt dat de biologische akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt meer organische stof toevoegt aan de bodem dan de gangbare varianten. In de bodem zijn echter nog geen verschillen meetbaar in organische stofgehalte. Vergelijkingen tussen biologische en gangbare melkveebedrijven wijzen ook niet op grote verschillen.

De kwaliteit en kwantiteit van het bodemleven is een oud thema in de biologische landbouw. Het beheer is erop gericht om het bodemleven en de diversiteit ervan zoveel mogelijk te stimuleren. De achterliggende gedachte is dat een actief bodemleven een indicator is van een goede

bodemvruchtbaarheid die uiteindelijk leidt tot een goede gewasopbrengst en -kwaliteit. Immers, het bodemleven is essentieel bij de afbraak en opbouw van organische stof. Ook kan een divers bodemleven duiden op een stabiel systeem, waar ziekten minder kans krijgen doordat ook ziekteonderdrukkers actief zijn.

De bodembioologische metingen in het landelijk meetnet bodemkwaliteit laten wel verschillen zien in bodemleven tussen biologische en gangbare bedrijven. Vooral het aantal regenwormen is op biologische melkveebedrijven op zandgrond hoger dan bij hun gangbare collega's. Daartegenover staan lagere aantallen mijten en springstaarten. Bij biologische melkveebedrijven op zeeklei is juist het aantal potwormen hoger.

Biologische landbouw

Biologische landbouw is gericht op het behoud van milieu, natuur en landschap, en het welzijn van dieren. De biologische landbouw werkt zonder chemische bestrijdingsmiddelen en kunstmest. De natuurlijke kringlopen zijn van groot belang. De voedingsstoffen voor planten worden geleverd door vlinderbloemigen, dierlijke mest en andere organische stoffen.

Nederland telt ongeveer 1.600 biologische bedrijven, die gezamenlijk bijna 60.000 ha in beheer hebben. Een landbouwproduct of voedingsmiddel mag alleen biologisch heten als het productieproces aan wettelijke voorschriften voldoet. De stichting Skal houdt in opdracht van het ministerie van EL&I toezicht op de biologische keten.



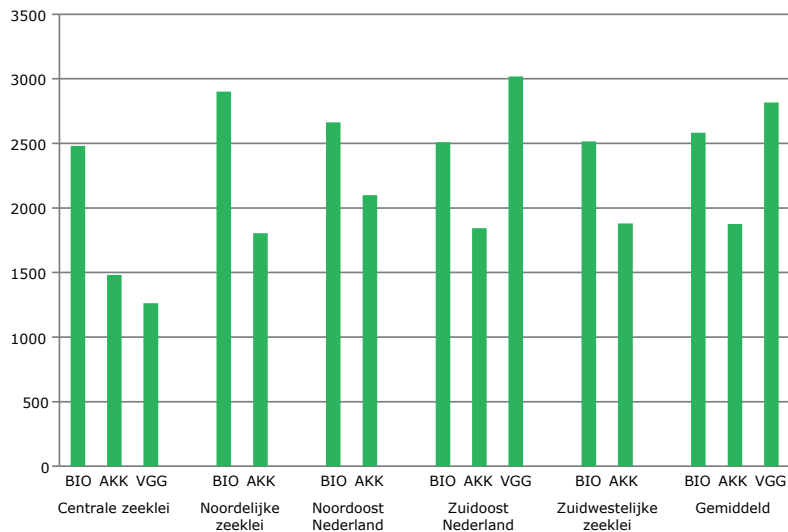
Systeemvergelijking in Zwitserland

In Zwitserland vindt sinds 1978 een uitgebreid vergelijkend onderzoek plaats tussen twee biologische en twee gangbare vruchtwisselingen. In 2004 zijn de resultaten tot op dat moment op een rijtje gezet. De biologische systemen maakten gebruik van dunne mest, gecomposteerde en verteerde vaste mest. In de gangbare systemen werden kunstmest, dunne mest en vaste mest gebruikt. In de gangbare systemen was de aanvoer van anorganische stikstof, fosfaat en kali uit kunstmest en dierlijke mest grofweg twee keer zo hoog als in de biologische systemen. De gewasopbrengsten lagen in de biologische systemen op 60 tot 90 procent van de opbrengsten in de gangbare systemen. Voedingsstoffen werden dus efficiënter gebruikt in de biologische systemen.

In de biologische percelen vond men een hogere activiteit van bodemorganismen en ook een grotere diversiteit aan micro-organismen. Volgens de onderzoekers zorgde de diverse gemeenschap van micro-organismen voor een efficiëntere koolstofomzetting in de bodem. Zij zien een verband tussen de efficiëntere omzettingen in de bodem en de efficiëntere bovengrondse productie.

Organische stof

Tussen 1998 en 2005 is de aanvoer van organische stof vergeleken voor biologische en gangbare akkerbouw- en vollegrondsgroentenbedrijven in een aantal praktijknetwerken. De gemiddelde aanvoer van effectieve organische stof was op biologische bedrijven gemiddeld 400 kg/ha hoger dan op gangbare bedrijven. De hogere aanvoer van effectieve organische stof op biologische bedrijven kwam vooral door een hogere aanvoer van dierlijke mest. Naar schatting was 70 procent van de mest in de biologische landbouw van gangbare herkomst is. De biologische sector streeft ernaar om in de toekomst alleen nog maar biologische mest te gebruiken. Het organische stofgehalte in de bodem was echter niet verschillend voor de biologische en gangbare bedrijven.



Aanvoer van effectieve organische stof (kg/ha) op biologische (BIO) en gangbare akkerbouw- en vollegrondsgroentenbedrijven (AKK en VGG) in praktijknetwerken tussen 1998 en 2005

A photograph of a tractor pulling a blue moldboard plow in a field. The tractor is black and yellow, and the plow is blue. The field is brown and appears to be a harvested crop field. The sky is overcast. A large white circle is overlaid on the image, containing the text.

Wat is het effect van
grondbewerking op de
bodemvruchtbaarheid?

16

Zo ergens rond het jaar duizend verscheen een nieuw type ploeg met twee belangrijke kenmerken. Deze bevatte een kouter en een rister. De kouter kon zware grond doorsnijden inclusief de wortels en stoppels van het staande gewas. Het rister keerde de toplaag met wortels en stoppels om. Samen met andere factoren zoals de inzet van dierlijke trekkracht zorgde de verbeterde ploeg na de middel-eeuwen voor een verdubbeling van de graan-opbrengsten.

De ploeg werkt gewasresten en onkruidzaden onder de grond. Ploegen is een essentieel onderdeel in een serie grondbewerkingen. Zandgronden worden doorgaans in het voorjaar geploegd, terwijl kleigronden al in het najaar worden geploegd. Vaak wordt het ploegen voorafgegaan door een stoppelploeging. In het voorjaar wordt het geploegde land zaai- of pootklaar gemaakt. Geploegde grond heeft een lager vochtgehalte en warmt sneller op, waardoor het vroeger bewerkt kan worden. Dankzij de verschillende grondbewerkingen komt het nieuwe gewas in een schone grond terecht en heeft het meteen een voorsprong op onkruid.

Herhaaldelijke grondbewerkingen zorgen voor een homogene bouwvoor waarin wortels gemakkelijk door kunnen dringen. Een goed ontwikkeld wortelstelsel zorgt ervoor dat het gewas voldoende water en voedingsstoffen op kan nemen. Toch kleven er ook nadelen aan grondbewerking. Vooral de fysische en biologische bodemvruchtbaarheid lijden onder elke ingreep. Bovendien bestaat soms de neiging om dieper te gaan ploegen. De bouwvoor wordt dan weliswaar dikker, maar er treedt ook verdunning op van organische stof en voedingsstoffen.

Een kerende grondbewerking vernielt bestaande poriën en bodemaggregaten. Daardoor wordt de bodem instabieler en neemt de draagkracht af. De aansluiting tussen de ondergrond en de bovengrond wordt verbroken en dit

verstoort de vochthuishouding. Tijdens bewerking onder natte omstandigheden kunnen bodemdeeltjes versmeren, waardoor de doorlatendheid afneemt.

Bodemverdichting van de ondergrond, net onder de bouwvoor, is een toenemend probleem. Het is een lastig probleem omdat het optreedt onder, op het oog, goede omstandigheden. Als de bodem niet te nat, maar ook niet te droog is, kunnen de met lucht gevulde poriën gemakkelijk ingedrukt worden onder de last van een trekker of werktuig. Een lage bandendruk is een belangrijke maatregel om de kans op verdichting te verkleinen. Het onderwerken van gewasresten verhoogt de kans op wind- en watererosie omdat de grond dan onbedekt is. De inzaai van een groenbemester kan dit echter weer verhelpen.

Geploegde grond bevat een hoger aandeel lucht en minder water dan niet geploegde grond. Dat wordt voornamelijk veroorzaakt door het grotere aandeel van macro-poriën. Deze grote poriën zijn instabieler en kunnen makkelijker in elkaar gedrukt worden bij belasting. Bovendien dragen grote poriën minder bij aan de capillaire werking. De afbraak van bestaande bodemstructuren werkt ook negatief door op onderdelen van het bodemleven. Vooral regenwormen verdwijnen, maar ook de sterk vertakte schimmelnetswerken worden beschadigd.

Minimale grondbewerking

Ongeveer vijftig jaar geleden ontstonden in de Verenigde Staten systemen zonder grondbewerking. De belangrijkste drijfveer was destijds erosiebestrijding. Andere argumenten kwamen er later bij, zoals kostenbesparing, behoud van bodemstructuur, organische stofgehalte en bodemleven.

Gewasresten blijven op het veld en zaaien en bemesten gebeurt met minimale bodemverstoring. Systemen zonder grondbewerking vergen een geheel ander beheer dan conventionele systemen met grondbewerking. Het is niet alleen de grondbewerking die verschilt. Gewasresten, onkruid- en ziektebestrijding, bemesten en zaaien vereisen ook een andere aanpak. In de overgangsfase is het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen beslist hoger. Na enkele jaren is er voldoende bodembedekking waardoor het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen niet hoger hoeft te zijn dan in conventionele systemen. Maar als het mis gaat is het noodzakelijk om te spuiten, want alternatieven zijn er niet of nauwelijks. Het zaaien vergt speciale machines die door de gewasresten heen kunnen snijden om het zaad in de grond te brengen of machines die de gewasresten aan de kant schuiven en in een schoon strookje zaaien. De voordelen van het weglaten van de grondbewerking komen pas na enkele jaren bovendien. Als tussentijds toch wordt geploegd, gaat de winst weer verloren.

In Nederland hebben systemen zonder grondbewerking nog geen opgang gemaakt. De bouwplannen bevatten relatief veel rooivruchten die het onmogelijk maken om de grond niet te verstoren tijdens de oogst. Niet-kerende grondbewerking is wel een mogelijkheid in Nederland. In een combinatie werktuig wordt de bouwvoor met tanden of woelers los gemaakt. De bovenste vijf centimeter wordt daarbij met een roterende eg of schijven verkruid, waarbij een groot deel van de gewasresten aan de oppervlakte blijft liggen. In Zuid-Limburg worden verschillende systemen van niet-kerende grondbewerking toegepast op ongeveer 2.000 ha, om erosie tegen te gaan. In 2013 wordt dit verplicht op hellingen steiler dan twee procent.

De belangstelling voor niet-kerende grondbewerking neemt ook in andere regio's toe. Een aantal biologische ondernemers experimenteert met dit systeem en er is een praktijknetwerk niet-kerende grondbewerking actief, waaraan gangbare bedrijven meenemen. De belangrijkste drijfveren voor deze ondernemers zijn een op termijn betere bodemvruchtbaarheid, een betere structuur en lagere brandstofkosten.

Effect grondbewerking op bodemleven

Grondbewerking heeft over het algemeen een negatief effect op het bodemleven. Minder intensieve grondbewerking kan het bodemleven ten goede komen. Vooral het aantal en de diversiteit aan regenwormen profiteren van niet-kerende grondbewerking. Dieplevende regenwormen en pendelaars profiteren het meest. De pendelaars kunnen

zich waarschijnlijk herstellen omdat de permanente verticale gangen waarin ze wonen niet of minder vernield worden. Bovendien blijft een strooisellaag aanwezig aan de oppervlakte, waarmee ze zich kunnen voeden. Ook voor schimmels wordt vaak een positief effect gevonden van verminderde grondbewerking. De draadachtige structuren van schimmels worden minder verstoord of beschadigd.

Direct zaaien van snijmaïs

Bij de teelt van snijmaïs komen vaak problemen voor met de structuur van de bodem. Het gebruik van zware machines, soms onder natte omstandigheden, zorgt voor verdichting van de ondergrond. Op veengronden is de teelt van maïs moeilijk vanwege de geringe draagkracht van de grond. Daarom zijn twee systemen ontwikkeld om snijmaïs in te zaaien zonder grondbewerking. Momenteel wordt naar schatting 400 hectare snijmaïs op deze manier gezaaid. Ook op andere grondsoorten wordt direct zaaien momenteel beproefd.



De Polfrees, een rijenfrees die snijmaïs in een bestaande graszode zaait.



De Hunter woelpoot laat de zode intact.



Houden bemestings-
adviezen rekening met
bodemvruchtbaarheid?

17

Bemestingsadviezen helpen boeren de beschikbare meststoffen zo efficiënt mogelijk in te zetten om optimale gewasopbrengsten te behalen met de gewenste kwaliteit. Bodemvruchtbaarheid is daarin één van de belangrijke sturende factoren, maar zeker niet de enige. Over het algemeen spelen grondsoort, gewas, en het beoogde beheer een aanvullende rol. Voor specifieke situaties kunnen daarnaast factoren als vruchtopvolging, rassenkeuze, het gebruik van groenbemesters, de soort en de plaatsing van meststoffen, oogsttijdstip of diergezondheid het advies beïnvloeden.

Bemestingsadviezen bestaan voor vrijwel elk gewas. Zowel voor de bijna een miljoen hectare grasland, als voor de 100 hectare radijsjes. Het grootste deel van de adviezen heeft betrekking op de macro-elementen stikstof, fosfor, kalium, zwavel, calcium, magnesium en natrium. Daarnaast zijn er adviezen voor de sporenelementen borium, koper, kobalt, mangaan, selenium, ijzer, zink en molybdeen. In de laatste gevallen bestaat een advies soms alleen uit de vaststelling dat er geen goede grondslag is voor een onderbouwd advies.

De verscheidenheid in adviezen voor de verschillende combinaties van gewassen en voedingsstoffen is groot. Toch zijn de onderliggende principes redelijk vergelijkbaar. In veel gevallen bestaat het advies uit een gewasgericht deel, soms aangevuld met een bodemgericht deel.

Een gewasgericht bemestingsadvies is gebaseerd op de respons van de gewasopbrengst en kwaliteit op het toedienen van de voedingsstof. Het bemestingsadvies voor stikstof is een typisch voorbeeld van een advies op basis van een gewasrespons. De optimale stikstofgift is die gift waar een extra kilogram stikstof nog net een financiële meeropbrengst geeft. Al doet de naam het niet vermoeden, het gewasgerichte advies houdt wel degelijk rekening

met de bodemvoorraad. In grasland bijvoorbeeld is de geadviseerde stikstofbemesting lager naarmate het stikstofleverend vermogen (NLV) hoger is. In veel akkerbouwteelten wordt de stikstofgift gecorrigeerd voor de bodemvoorraad minerale stikstof in het voorjaar.

Een bodemgericht bemestingsadvies is gericht op het vasthouden of bereiken van een bepaalde streefwaarde van de bodemvoorraad. De adviesgift houdt rekening met:

- de afwijking van actuele bodemvoorraad en de streefwaarde,
- de compensatie van de voedingsstoffen die een gewas aan de bodem onttrekt, en
- de eventuele onvermijdbare verliezen door uitspoeling of vastlegging.

De bemestingsadviezen voor fosfaat en kali bestaan zowel uit een bodemgericht als een gewasgericht onderdeel. De rechtvaardiging van een aanvullend bodemgericht advies komt uit de waarneming dat bij gewassen als aardappelen en bieten een lage fosfaatvoorraad in de bodem niet volledig gecompenseerd kan worden met een hoge 'verse' fosfaatbemesting.

Het advies voor bekalking is een voorbeeld van een advies dat louter uit een bodemgericht deel bestaat. De geadviseerde kalkgift stuurt, of behoudt, de zuurgraad in het gewenste streeftraject.

Commissies bemesting

In Nederland worden de landbouwkundige bemestingsadviezen opgesteld door vier verschillende bemestingsadviescommissies. Elke commissie heeft een voorzitter uit de betreffende landbouwsector. De andere leden komen uit onderzoek, voorlichting en landbouwbedrijfsleven. In het verleden werden de commissies betaald met geld van de overheid en de landbouwsector. Inmiddels heeft de overheid zich teruggetrokken en worden de commissies betaald via de productschappen.

Het meest actief is de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen. Zij komen vier tot vijf keer per jaar bijeen en brengen bemestingsadviezen uit voor grasland, grasland met klaver, snijmaïs, granen voor gehele plant silage (GPS), voederbieten en luzerne.

De Commissie Bemesting Akkerbouw en Vollegrondsgroenten komt ongeveer één keer per jaar bijeen. Zij adviseren hoofdzakelijk over de bemesting van alle grote teelten zoals granen, aardappelen, suikerbieten, uien en graszaad. Maar ook de kleinere akkerbouwmatige teelten zoals blauwmaanzaad, bruine bonen, chicorei, erwten, karwij, koolzaad, teunisbloem, veldbonen, vlas en aromatische kruiden komen in de adviesbasis aan bod. De adviesbasis behandelt bovendien ruim 30 vollegrondsgroenten, van aardbei en andijvie tot suikermais en witlof.

De Commissie Bemesting Boomteelt stelt de adviezen op voor boomkwekerijgewassen en fruitbomen. De boomkwekerij omvat niet alleen bomen voor bossen, parken en lanen, maar ook buxus, rozenstruiken, vaste planten, sierheesters en coniferen. De Commissie voor de Bemesting van Bloembolgewassen stelt de adviezen samen voor tulpen, lelies, narcissen, gladiolen, hyacinten, lelies, irissen, dahlia en zantedeschia. De commissies voor de boomteelt en bloembollenteelt zijn de afgelopen jaren niet meer bij elkaar geweest. Dat betekent echter niet dat adviezen niet meer worden vernieuwd. Eventuele aanpassingen worden op ad-hoc basis doorgevoerd buiten de commissies om.



Geleide bemesting

Het doel van bemestingsadviezen is om het aanbod van voedingsstoffen zo goed mogelijk af te stemmen op de behoefte van de plant. De adviezen proberen daarbij zo goed mogelijk rekening te houden met verschillen in grondsoorten, bodemvruchtbaarheid, landgebruik, gewassen, rassen, oogstmoment en mestsoort. Toch is dat soms nog onvoldoende voor de variatie die in de praktijk voorkomt. Om te voorkomen dat de bemesting te laag of te hoog uitpakt, zijn onder andere voor aardappelen en prei, systemen met geleide stikstofbemesting ontwikkeld.

Geleide bemesting houdt rekening met variatie in de tijd en in de ruimte. De systemen die aanbod en behoefte in de loop van de tijd zo goed mogelijk op elkaar afstemmen maken gebruik van tussentijdse metingen van de stikstofvoorraad in de bodem of het stikstofgehalte in het gewas. Sommige systemen kijken alleen achteruit en beoordelen of het gewas een stikstoftekort of -overschot heeft gehad. Bij een geconstateerd tekort wordt een herstelbemesting uitgevoerd. Andere systemen kijken vooruit. Ze combineren de resultaten van de meting met een berekening van de toekomstige stikstofbehoefte. Naast metingen aan bodem of gewas is het ook mogelijk om zogenaamde gewasvensters van enkele vierkante meters aan te leggen waarin de bemesting een lagere of juist hogere bemesting krijgt. Als het gewas in het venster zichtbaar anders groeit dan op de rest van het perceel, is dat een teken dat de bemesting te hoog of te laag is geweest. In het laatste geval kan dan een herstelbemesting worden uitgevoerd.

Diverse systemen voor geleide bemesting op basis van sensor- en satelliettechnieken zijn in ontwikkeling, maar ze zijn nog niet of nauwelijks gevalideerd.

Fosfaatadvies snijmaïs

De Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen heeft een geheel nieuw fosfaatadvies voor snijmaïs opgesteld. Het advies is niet meer gebaseerd op het Pw-getal, maar op een combinatie van P-AL-getal en P-CaCl₂. Het advies is gesplitst in een directe gewasbehoefte (P-CaCl₂) en een langere termijn bodembehoefte (P-AL-getal). Bij het nieuwe advies is een beperkte gift van fosfaat in de rij van belang voor een goede opbrengst en kwaliteit. Breedwerpig bemesten is vooral van belang voor de bodemvruchtbaarheid op langere termijn.



Wat zijn
bodemverbeteraars?

18

Bodemverbeterende middelen worden ingezet om de organische stof toestand, de structuur of het bodemleven te verbeteren. De grens met meststoffen is niet helemaal scherp te trekken. Meststoffen zijn in eerste instantie gericht op de aanvoer van voedingsstoffen, maar hebben ook invloed op organische stof, structuur en bodemleven. Andersom leveren sommige bodemverbeterende middelen ook plantenvoedingsstoffen.

De groep bodemverbeteraars is zeer divers. Een grote groep bestaat uit organische stofrijke producten zoals compost, turf en veen. Een andere groep bestaat uit de meer op de structuur gerichte stoffen zoals kleimineralen en biochars. Ook kalkmeststoffen worden tot de bodemverbeteraars gerekend. Specifiek op de activiteit van het bodemleven gericht zijn de toevoegmiddelen die bestaan uit micro-organismen en de preparaten die in de biologisch-dynamische landbouw worden gebruikt. Vrij recent is de aandacht voor de steenmelen. Het zijn gemalen onverweerde gesteenten, die na toediening aan de bodem langzaam verwerken.

Met name de vraag naar compost is de laatste tijd flink gestegen. In vergelijking met dierlijke mest bevatten ze meer organische stof per eenheid fosfaat. Naast de fosfaatgebruiksnormen, wordt de aanvoer beperkt door de grenzen die gesteld zijn aan de aanvoer van zware metalen.

In Nederland staan iets meer dan 20 installaties die GFT-afval verwerken. De gescheiden inzameling van GFT-afval heeft in het midden van de jaren 1990 tot een enorme stijging van het aanbod geleid. Jaarlijks wordt nu ongeveer 600 tot 700 miljoen kg GFT-compost afgezet. Hiervan wordt ongeveer twee derde deel afgezet in de akkerbouw.

In Nederland wordt jaarlijks naar schatting twee miljoen ton groenafval ingezameld en verwerkt door een honderdtal composteerbedrijven. Het groenafval is afkomstig van de openbare of publieke ruimte. Het bestaat uit plantsoen-, berm- en slootmaaisel, snoeihout en stobben, bladafval en heidemaaisel en -plagsel. De composteerbedrijven maken compostproducten en grondstoffen voor energieproductie. Jaarlijks zetten ze ongeveer 900 miljoen kg groencompost af. Daarvan gaat ongeveer een vijfde deel naar de akkerbouw en een vijfde deel naar de tuinbouw. Andere grote afnemers zijn de potgrondsector en de tussenhandel.

De werking van kleimineralen, steenmelen, biochars, toevoegmiddelen en preparaten is omgeven door de nodige onzekerheid. Dat wil niet zeggen dat ze niet werkzaam kunnen zijn. In veel gevallen ontbreekt het nog aan wetenschappelijk, herhaalbaar, onderzoek. Er zijn echter genoeg landbouwers die positieve ervaringen hebben met dit soort bodemverbeteraars. De inzet van deze middelen is doorgaans verstrengeld met andere factoren, zodat een eenduidige relatie tussen middel en effect vaak ontbreekt.

Biochar

Biochar is een stabiele organische verbinding die hoofdzakelijk uit koolstof bestaat. Het ontstaat bij verhitting van biomassa onder zuurstofloze omstandigheden. Houtskool is een bekend voorbeeld. Maar behalve hout, zijn er tal van andere organische stoffen geschikt als grondstof: bermgras, snoeiafval, energiegewassen en reststromen van verwerkende industrieën. Bij de verhitting ontstaan gasvormige en vloeibare brandstofmengsels van koolstofmonoxide, koolstofdioxide en waterstof. Daarnaast blijft biochar over.

Biochar staat nu onder andere in de belangstelling omdat het een positief effect op de bodemvruchtbaarheid kan hebben, vooral op de structuur, en op het vermogen om vocht en voedingsstoffen vast te houden. Deze bodemverbeterende eigenschappen zijn grotendeels gebaseerd op de vruchtbare terra preta gronden in het Amazone gebied. Deze zijn duizenden jaren geleden ontstaan door houtskool te maken en in de bodem te mengen.



Preparaten

In de biologisch-dynamische landbouw wordt gebruik gemaakt van preparaten voor bodem en gewassen, of voor mest en compost. De preparaten zijn geen vervanging voor landbouwkundige maatregelen, maar ze dienen processen in bodem, mest en gewas te reguleren. De spuitpreparaten bestaan uit koemest of kiezel die een half jaar in een koehoorn in de bouwvoor zijn ingegraven. Daarna worden ze met water geprepareerd. Het koemestpreparaat wordt in het voorjaar over de bodem gespoten om het bodemleven te activeren. Het kiezelpreparaat wordt over het gewas gespoten om de rijping te stimuleren. Compostpreparaten worden bereid uit duizendblad, kamille, brandnetel, eikenschors of paardenbloem. Ze worden eveneens in verschillende dierlijke organen ingegraven, en daarna toegediend aan de mest- of composthoop.

Vergelijkend onderzoek

In het voorjaar van 2010 is een zesjarig onderzoek gestart naar het effect van verschillende bodemverbeteraars op de bodemstructuur en gewasopbrengst. Het onderzoek wordt uitgevoerd op bouwland op zand- en kleigrond. De onderzochte bodemverbeteraars en meststoffen zijn kalkmeststoffen, micro-organismen, steenmeel, biochar, groencompost, dunne varkensmest en kunstmest. In het eerste jaar zijn weinig verschillen in opbrengst vastgesteld. Bij enkele combinaties van grondsoort en gewas hadden enkele bodemverbeteraars een positief of negatief effect op de opbrengst. Harde conclusies kunnen pas na meerdere jaren worden getrokken.



Proefveld te Zegveld voor vergelijking steenmeel, kalk en olivijn

An aerial photograph of a pond or lake. The water is a deep, dark green color. Scattered throughout the water are numerous bright, lime-green, circular or irregular mats of algae or duckweed. The mats vary in size and are densely packed in some areas, while other areas have fewer, more isolated mats. The overall scene suggests a healthy, productive aquatic ecosystem.

Kan bodemvrucht-
baarheid te hoog zijn?

19

In Nederland overtreft de aanvoer van voedingsstoffen in veel gevallen de behoefte van het gewas. Het overschot hoopt op in de bodem, en kan verloren gaan naar water en lucht. Vooral de overmaat aan stikstof en fosfaat kunnen het milieu schaden. Maar ook te hoge gehalten aan organische stof kunnen een optimale bedrijfsvoering in de weg staan.

Bodemvruchtbaarheid wordt meestal benaderd vanuit de situatie van tekorten: te weinig voedingsstoffen, te weinig organische stof of een slechte bodemstructuur. Allemaal factoren die een optimale productie in de weg staan. Het landbouwkundig beheer is gericht op het opheffen van deze belemmerende factoren. De inzet van voedingsstoffen of andere hulpstoffen wordt afgemeten aan de stijging van de hoeveelheid of kwaliteit van de productie. De landbouwkundig optimale dosering ligt op het niveau waarbij de extra aanvoer nog net een financiële meer opbrengst geeft.

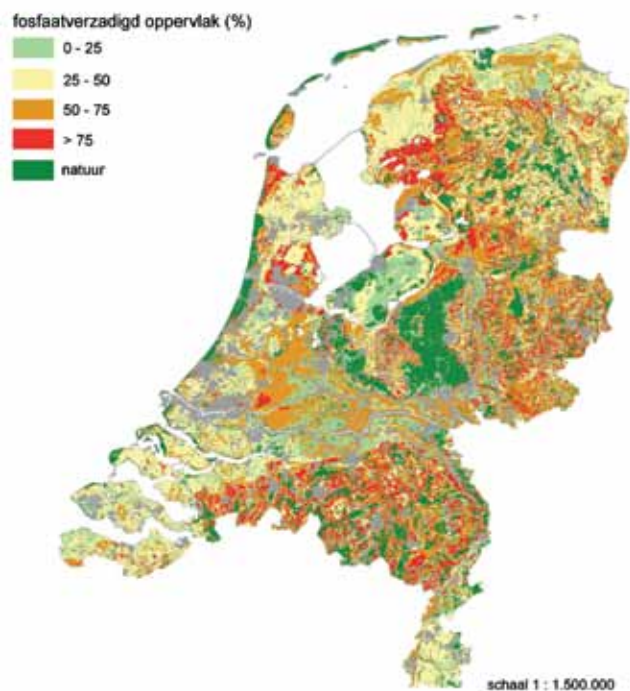
De landbouwkundig optimale aanvoer komt echter niet altijd overeen met wat milieukundig acceptabel is. Het is de keerzijde van de medaille. Bij een toenemende bemesting wordt een steeds kleinere fractie opgenomen door het gewas. Een steeds grotere fractie blijft onbenut achter in de bodem, of gaat verloren. Dus zelfs bij een landbouwkundig optimaal beheer ontstaan ongewenste verliezen. Daarbovenop komen verliezen die het gevolg zijn van niet optimaal handelen. Bemesten op het verkeerde moment, het weer dat verkeerd uitpakt, variatie binnen een perceel; het draagt allemaal bij aan de potentiële verliezen. Het lukt nooit om elke plant gedurende elk moment van het seizoen precies op de juiste manier te bemesten. Vaak kiest een boer er voor om het risico op opbrengstderving te minimaliseren. Liever iets meer bemesten, in plaats van het risico op een mislukte oogst.

In Nederland is de bemesting met stikstof en fosfaat, zowel uit kunstmest als uit dierlijke mest, opgelopen tot het midden van de jaren 80 van de vorige eeuw. Daarna hebben het mestbeleid en de invoering van melkquotering voor een ommekeer gezorgd. De overmatige bemesting heeft bijgedragen aan de ongewenste verrijking van het grond- en oppervlaktewater met stikstof en fosfaat. Emissies van ammoniak vanuit de veehouderij leiden elders tot te hoge stikstofdepositie. Daarnaast dragen de gasvormige verliezen uit kunstmest en dierlijke mest, in de vorm van lachgas, bij aan de opwarming van het klimaat.

In de veen-weidegebieden zijn de gehalten aan organische stof zo hoog dat ze de bedrijfsvoering bemoeilijken. Stikstof komt vrij door microbiële afbraak van organische stof. De afbraak is echter moeilijk te sturen waardoor het stikstofaanbod tijdelijk de behoefte van het gewas kan overtreffen. Daarnaast kan de draagkracht van veengronden lager zijn dan die van minerale gronden. Dat betekent dat bewerkingen in het voorjaar vaak pas later kunnen worden uitgevoerd. Ook beweiding leidt sneller tot schade door vertrapping. Door diepere ontwatering zijn de veengronden geschikter gemaakt voor landbouwkundig gebruik. Maar de keerzijde is dat organische stof sneller afbreekt zodat de uitstoot van lachgas en koolstofdioxide is toegenomen.

Fosfaatverzadiging

In kalkarme zand-, klei- en veengronden is fosfaat hoofdzakelijk gebonden aan aluminium- en ijzerverbindingen. In kalkrijke zandgronden in het kustgebied bindt fosfaat hoofdzakelijk aan de aanwezige kalk. Naarmate meer fosfaat in de bodem is opgeslagen, neemt het risico van uitspoeling van fosfaat naar grotere diepte toe. Onder natte omstandigheden kan fosfaat zelfs direct afspoelen naar aanliggende greppels en sloten.

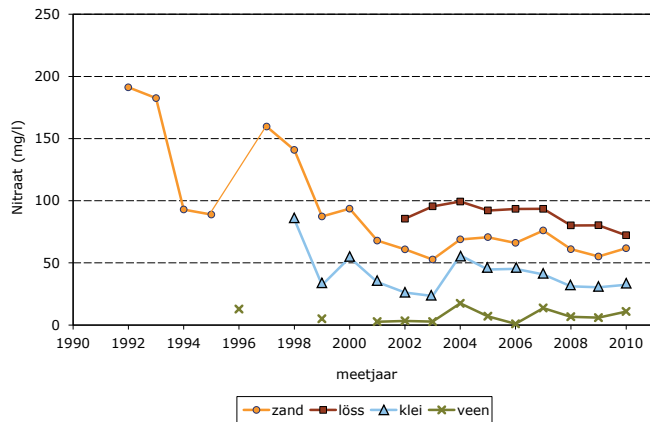


De fosfaatverzadigingsgraad geeft aan hoeveel procent van de totale bindingscapaciteit is benut. Als meer dan 25 procent van de capaciteit is benut, noemen we een bodem fosfaatverzadigd. Een fosfaatverzadigde grond bevat zoveel fosfaat dat op termijn het bovenste grondwater meer dan 0,15 mg fosfor per liter bevat. Fosfaatverzadigde gronden vormen daarom een risico voor eutrofiëring van oppervlaktewater. Iets meer dan de helft van de Nederlandse landbouwgrond is verzadigd met fosfaat.

Nitraatuitspoeling

Stikstofuitspoeling naar het grondwater bedreigt de kwaliteit van het drinkwater.

Conform de Europese nitraatrichtlijn, streeft Nederland er naar om de nitraatconcentraties in het grondwater te verlagen tot minder dan 50 mg/l.



De gemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater van minerale gronden is in afgelopen twintig jaar duidelijk gedaald. In de kleiregio is de doelstelling gemiddeld gehaald, en in de zandregio is het dichtbij. In de lössregio zijn de nitraatgehalten nog te hoog. In de veenregio was de waarde vanaf het begin van de metingen al veel lager dan 25 mg/l. Gemiddeld zijn de nitraatgehalten onder akker- en tuinbouwbedrijven hoger dan onder melkveebedrijven.



Wat zijn de
bedreigingen voor
bodemvruchtbaarheid?

20

Behoud van organische stof, een goede bodemstructuur, en een goede bodembiodiversiteit en bodemweerbaarheid staan hoog op de wensenlijst van landbouw en maatschappij. De manier waarop we de bodem behandelen heeft grote invloed op deze kwaliteiten. In die zin komt de grootste bedreiging voor de bodemvruchtbaarheid, ongewild, voort uit het landbouwkundig handelen van boeren zelf.

Nederland heeft een intensieve landbouw. De kosten voor grond en arbeid zijn hoog, maar de prijzen van producten zijn laag. Met een grote inzet van grondstoffen en mechanisatie worden hoge producties per hectare gerealiseerd. De manier waarop de bodem wordt gebruikt, en de daaruit resulterende bodemvruchtbaarheid, wordt bepaald door de bedrijfsvoering van de boer. Op haar beurt wordt de bedrijfsvoering in belangrijke mate beïnvloed door de markt. Bijvoorbeeld bij de keuzen die een boer maakt over de inzet van kunstmest, dierlijke mest of compost zijn de prijs en de directe werking leidend. Het effect van deze producten op de langere termijn bodemvruchtbaarheid is echter verschillend. Hetzelfde geldt voor de vruchtwisseling. Het assortiment gewassen met een hoog financieel saldo is krap, waardoor ook de vruchtwisseling noodgedwongen krappere wordt. Terwijl de boer weet dat dit nadelig uit kan pakken voor de organische stofvoorziening en ziektedruk van zijn grond. En bij de oogst spelen ook dit soort conflicten. Vooral voor verse producten bepaalt het vooraf opgelegde afnemersschema in belangrijke mate het tijdstip van de oogst. Ook al zijn de weers- en bodemomstandigheden ongunstig, de oogst moet dan toch plaatsvinden.

Andere omgevingsfactoren die het handelen van boeren beïnvloeden zijn bijvoorbeeld de vraag naar biomassa voor energieproductie. Dergelijke ontwikkelingen brengen een risico voor bodemvruchtbaarheid met zich mee door de onttrekking van organische stof, al hoeft het niet per sé nadelig uit te pakken. Hetzelfde geldt voor klimaatverandering. Het effect op organische stof is nog onduidelijk, maar risico's voor erosie en verlies aan structuur lijken toe te nemen.

Afname van organisch stofgehalte, verslechtering van de structuur en verlies aan biodiversiteit leiden vroeg of laat tot ongewenste effecten voor landbouw en maatschappij. De productiecapaciteit van de bodem vermindert, evenals de efficiëntie van ingezette meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Verliezen van deze stoffen naar water en lucht verslechteren de kwaliteit van de omgeving.

Kaderrichtlijn bodem

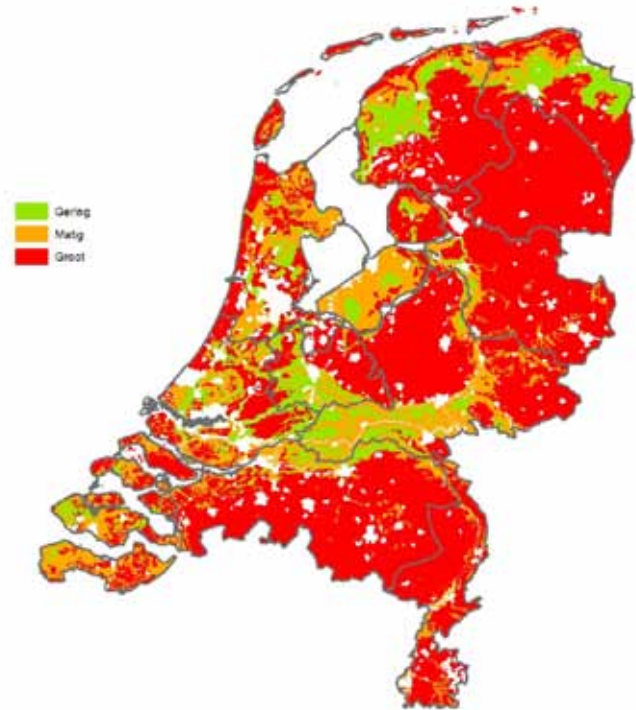
De Kaderrichtlijn bodem benoemt vijf bodembedreigingen: erosie, afname van organische stofgehalte, verdichting, landverschuivingen en verzilting. Voor Nederland zijn de eerste drie bedreigingen in 2007 in kaart gebracht.

Op hellingen van meer dan 2 procent kan watererosie tot verlies van grond leiden. In Nederland zijn veel van deze gebieden in gebruik als grasland of als natuur. Watererosie speelt alleen waar het land in gebruik is als bouwland, zoals in Zuid-Limburg.

Bouwland met minder dan 3 procent klei en minder dan 10 procent leem is stuifgevoelig. Deze gronden liggen in de veenkoloniën, maar ook in het oostelijk deel van Noord-Brabant en het noordelijk deel van Limburg. Kleinere oppervlakten komen voor op de bloembollengronden achter de duinen.

Afname van organische stof is evident in de veengronden van Nederland. Veengronden worden moerige gronden en moerige gronden worden minerale gronden. De exacte omvang is echter niet bekend. In het oosten van Nederland is de oppervlakte veengrond tussen begin jaren 1980 en 2004 afgenomen met 47 procent. De zorg die bestaat over de afname van organische stof op minerale gronden wordt nog niet bevestigd door waarnemingen.

Over verdichting weten we relatief weinig. De gevoeligheid voor verdichting kan worden geschat op basis van de bulkdichtheid, het organische stofgehalte, het kleigehalte en de textuur. Toepassing van deze methode laat zien dat vooral de zand- en lössgronden zeer gevoelig zijn voor verdichting, terwijl klei- en veengronden minder gevoelig zijn.



Gevoeligheid voor bodemverdichting op basis van de Nederlandse bodemkaart.

Duurzaam bodemgebruik

De Technische commissie bodem (TCB) heeft op verzoek van de toenmalige minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit geadviseerd over de vraag wat duurzaam bodemgebruik in de landbouw is. De commissie constateert dat de bodem in Nederland op tal van punten niet duurzaam wordt gebruikt. In het advies heeft de commissie voor een duurzaam bodembeheer doelen geformuleerd op basis van de ecologische functie van de bodem.

- Voor organische stof een minimum niveau in de bovengrond, afhankelijk van in ieder geval het bodemtype. In sommige situaties is wellicht verhoging van het organische stofgehalte in de bovengrond nodig voor algemene bodembiodiversiteit, vermindering van het uitspoelrisico, verbetering van de bodemstructuur en vochtvoorziening in de bodem.
- Lekverliezen van voedingsstoffen naar grond- en oppervlaktewater, en lucht tot een minimum terug brengen. Import en export in balans brengen, rekening houdend met hergebruikstromen en onvermijdbare verliezen binnen Nederland.
- Voor overige stoffen zoals metalen, geneesmiddelen en bestrijdingsmiddelen streven naar 'stand still' op niveaus die overeenkomen met een goede bodemkwaliteit in de bovengrond.
- Voor functionele biodiversiteit in de bovengrond behouden of verhogen van het organische stofgehalte, invoeren van bewerkingsvrije akkerranden, in de omgeving behoud of verhogen van blauwgroene dooradering en diversiteit in landschapselementen.
- Voor fysieke bodemkwaliteit de bodemdaling, plasvorming, verslemping, wind- en watererosie verminderen of stopzetten en voor zover mogelijk herstellen. Aardkundige waarden in landbouwgronden behouden. Blauwgroene dooradering in stand houden en uitbreiden. Karakteristiek agrarisch landschap beschermen.

Huurland

Bij de teelt van bloembollen, poot aardappelen, bomen en sommige vollegrondsgroenten wordt steeds meer gebruik gemaakt van huurland. De telers zijn zeer gespecialiseerd, en zoeken door schaalvergroting steeds meer grond buiten het eigen bedrijf. Sommige verhuurders zijn zelf landbouwers, maar de grond kan ook in bezit zijn van partijen die zelf niet actief zijn in primaire productie. Vanuit het perspectief van die groep eigenaren is een landbouwkundig duurzame bedrijfsvoering niet een vanzelfsprekend doel. De vraag is of huurders daarvoor in de plaats die verantwoordelijkheid overnemen? Grondhuur voor een enkel jaar betekent dat het langetermijn belang van organische stof, bodemgezondheid en bodemstructuur ondergeschikt raakt. Om te voorkomen dat de kwaliteit van het huurland achteruitgaat moet het kwaliteitsverlies op de een of andere manier een rol spelen in de overeengekomen huurprijs.

Hoe ziet de praktijk
het belang van
bodemvruchtbaarheid?

21



De boeren zijn de gebruikers en vaak ook eigenaren van de landbouwgrond. Zij ondervinden zelf hoe het beheer de bodemvruchtbaarheid beïnvloedt. De kwaliteit van de bodem meten zij vooral af aan het organische stofgehalte, de ontwatering, het vochtleverend vermogen, bewortelbaarheid, de draagkracht, de levering van voedingsstoffen en de onkruiddruk.

Organische stofgehalte, ontwatering en vochtleverend vermogen zijn ook de meest gesignaleerde knelpunten in de praktijk. In de melkveehouderij zijn ontwatering, draagkracht en bewortelbaarheid relatief belangrijke knelpunten. Typische knelpunten in de akkerbouw zijn slempgevoeligheid en verkruielbaarheid. Ondernemers op kleigrond zien vaker problemen met de bodemstructuur. Op zandgrond draait het vaker om ontwatering, vochtleverend vermogen en levering van voedingsstoffen. Bovenaan de lijst van middelen die ze voor ogen hebben om de kwaliteit in stand te houden staat de bemesting, en in het bijzonder de organische bemesting. Ook bekaliking hoort daarbij. Ten tweede vinden boeren het belangrijk om het land niet onder slechte, vooral natte, omstandigheden te berijden en te bewerken. Zij realiseren zich echter dat tijdens de oogstperiode hier niet altijd aan voldaan kan worden. Verder zien ze dat een ruime vruchtwisseling de bodemkwaliteit ten goede komt. Maar ook daar is de praktijk vaak weerbarstig omdat een krappe vruchtwisseling met specialisatie richting hoog-salderende gewassen financieel aantrekkelijker is. Ook acht men een goede ontwatering belangrijk, in combinatie met een geschikt waterpeil.

Op bouwland leveren gewasresten, van het hoofdgewas en de eventuele groenbemester, vaak onvoldoende effectieve organische stof om het organische stofgehalte in de bodem op peil te houden. De meeste boeren gebruiken dunne varkens- of rundermest als aanvullende bron voor

organische stof. Het is goedkoop en bevat bovendien stikstof, fosfaat en kali. De aanvoer is echter beperkt door de gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat. Uit het oogpunt van aanvoer van organische stof is compost een beter alternatief. Het bevat meer organische stof per kilogram stikstof of fosfaat. Compost is echter duurder, en wordt daarom meer gebruikt in intensievere groenten- en bloembollenteelt dan in de akkerbouw. Vooral de vraag naar groencompost is nu zo ver gestegen dat er tijdelijke tekorten zijn gesignaleerd. In de akkerbouw bieden groenbemesters en stro onderwerken goede mogelijkheden om de aanvoer van organische stof te verhogen.

Ondernemers ervaren dat het ingestelde waterpeil steeds meer wordt afgestemd op andere belangen zoals natuurbeheer en waterberging. Een ondiepe grondwaterstand kan de teelt van gewassen hinderen door een lagere draagkracht, een verminderde beworteling en een hogere ziektedruk. Drainage is in het verleden op grote schaal toegepast, maar is een dure ingreep. Andere mogelijkheden die men zoekt om met de lagere draagkracht om te gaan zijn de ontwikkeling van bodemvriendelijke machines, en een meer flexibele planning van de werkzaamheden.

Ondernemers beseffen dat ze verantwoordelijk zijn voor het handhaven van de bodemvruchtbaarheid. Dat is immers in hun eigen belang. Regels acht men daarvoor niet nodig. Van de overheid verwacht men ondersteuning bij waterbeheersing, ruimte in de regelgeving zodat de hoeveelheid en het tijdstip van organische bemesting niet in de knel komt. Daarnaast zien zij een rol voor de overheid bij het stimuleren van duurzame praktijken, deels door innovaties. Daarbij hoort ook een goede kennisontwikkeling en -verspreiding.

Mesttoediening op kleigrond

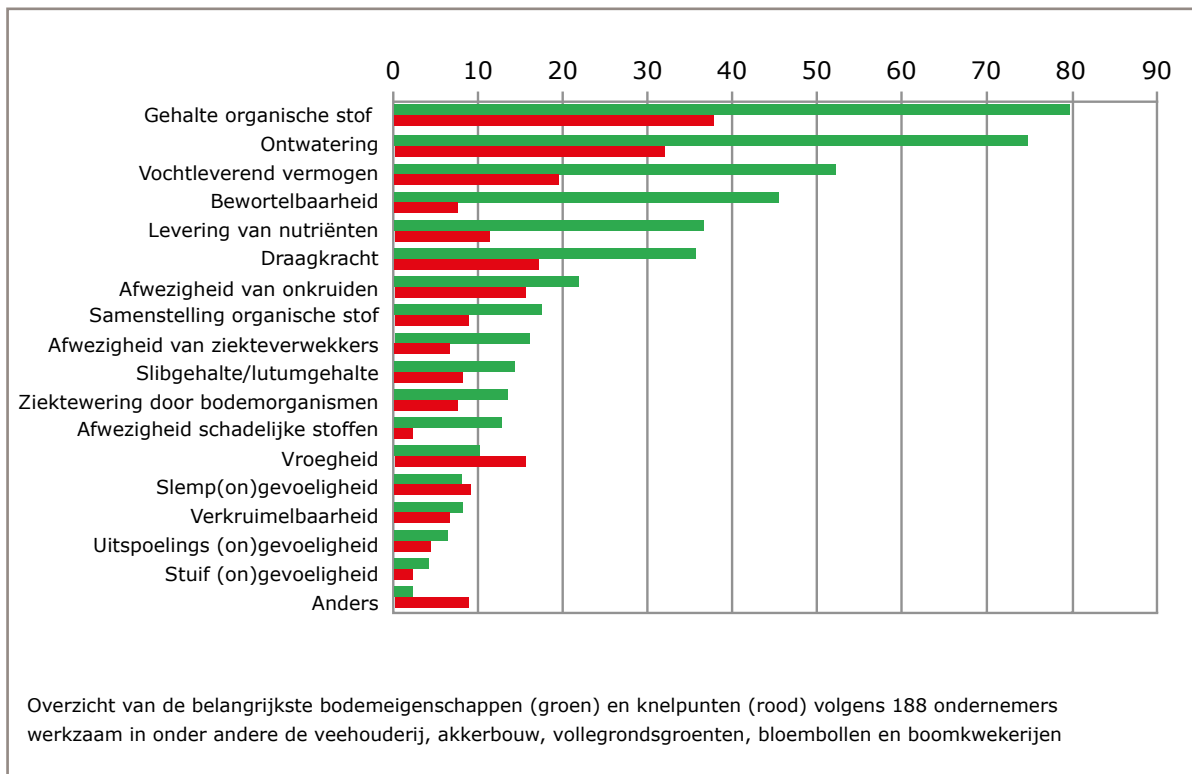
Op bouwland op kleigrond was het gebruikelijk drijfmest in de nazomer en herfst toe te dienen in plaats van in het voorjaar door de risico's van structuurschade bij voorjaars-toediening. In het mestbeleid is toediening van drijfmest na 1 september echter niet meer toegestaan.

In wintertarwe treedt bij emissiearme mesttoediening in het voorjaar geen opbrengstderving op door rijsporen mits de bodemdruk lager is dan 1 bar. Bij hogere bodemdrukken is de opbrengstderving 1,5 procent of meer. Snijschade door de elementen van de bemester treedt niet op als de mest aan het begin van de

uitstoelingsfase wordt toegediend. Bij toepassing vanaf de strekkingsfase treedt wel opbrengstverlies op: tot 3 procent als de eerste knoop zichtbaar is, en tot 5 procent als er twee knopen zichtbaar zijn.

In snijmaïs zijn redelijke ervaringen opgedaan met drijfmest in het voorjaar via een sleepslangensysteem. Voor emissiearme voorjaars-toediening in aardappelen is nog geen uitsluitsel te geven over mogelijk structuurschade. Momenteel ontbreken voor aardappelen goede breed geaccepteerde toedieningsmethoden voor de mest in het voorjaar op kleibouwland.





Topsoil+

In Lisse staan bodemgezondheid en -structuur centraal in een sierteelt-bedrijfssysteem op zand in een stedelijke omgeving. In de Duin- en Bollenstreek worden veel bloembollen en vaste planten geteeld in een krappe vruchtwisseling. In Topsoil+ is gezocht naar nieuwe gewassen die de vruchtwisseling kunnen verruimen en die passen in het exportpakket. Een ruimere vruchtwisseling vermindert bodemproblemen of zorgt dat ziekten zelfs verdwijnen. In totaal zijn 25 verschillende soorten heesters getest. De opbrengsten van de sierheesters waren wisselend. Sommige soorten zoals pruikenboom deden het uitstekend. Blauwe

regen groeide totaal echter helemaal niet op duinzand. De algemene trend in de regio is echter dat bedrijven zich verder specialiseren waardoor verruiming van de vruchtwisseling op hetzelfde bedrijf niet voor de hand ligt. Uitrui van land met collega-telers biedt meer perspectief. Een dergelijke uitruil vindt al plaats en kan worden opgeschaald. Het op grote schaal opnemen van sierheesters in de vruchtwisseling lijkt geen optie. Er is slechts een beperkt assortiment dat op duinzand een goede kwaliteitsproductie geeft. Het risico op verzadiging van de markt is hierdoor te groot.



Wat is het Nederlandse
beleid over
bodemvruchtbaarheid?

22

Bodemvruchtbaarheid komt voor in verschillende beleidskaders, wetten en verordeningen. De belangrijkste is de meststoffenwet, maar ook de Wet milieubeheer en de Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden spelen een rol. Daarnaast hebben peilbesluiten van waterschappen en provinciale erosieverordeningen invloed op de bodemvruchtbaarheid. De Europese bodemstrategie benoemt wel concrete bedreigingen voor de bodemvruchtbaarheid, maar deze leiden momenteel nog niet tot nieuwe normen.

De overheid streeft naar een duurzaam gebruik van de bodem. De Beleidsbrief bodem uit 2003 stelt dat de gebruiker van de bodem het recht heeft de bodem te benutten maar ook de plicht heeft zorgvuldig met de bodem om te gaan en met belangen van derden. De bodem moet nu zo worden gebruikt dat ook volgende generaties de bodem kunnen gebruiken voor landbouw, natuur, drinkwaterwinning en woningbouw. Dit is vooral uitgewerkt in regels voor preventie en sanering van bodemverontreiniging en via het mestbeleid.

De Meststoffenwet regelt met het systeem van gebruiksnormen de aanvoer van stikstof en fosfaat naar de bodem. De wet heeft dus een directe invloed op bodemvoorraden van stikstof en fosfaat. De regels die specifiek betrekking hebben op de maximale aanvoer uit dierlijke mest beïnvloeden ook de aanvoer van andere voedingsstoffen en organische stof. Daarnaast kunnen de regels over het tijdstip van mesttoediening invloed hebben op de bodemstructuur. Deze zijn vastgelegd in het Besluit gebruik meststoffen, onder de wet bodembescherming. Dat kan positief uitwerken op de bodemstructuur omdat toediening in het doorgaans nattere najaar wordt voorkomen. Maar het kan net zo goed andersom uitpakken. De druk van volle mestopslagen in het voorjaar kan ertoe leiden dat mest wordt toegediend zonder rekening te houden met de

bodemomstandigheden. Ook voor bouwland op kleigrond is toediening in het voorjaar risicovoller voor de bodemstructuur. Naast dierlijke mest worden ook producten als compost en zuiveringsslib als organische stof bron gebruikt. Als ze goedgekeurd zijn als meststof, valt het gebruik ook onder de regels van de gebruiksnormen. Daarnaast zijn de gehalten aan zware metalen bepalend voor de hoeveelheid die toegediend mag worden aan landbouwgrond.

Via de peilbesluiten hebben de waterschappen invloed op de afbraak van organische stof. Dit speelt vooral in de veenweidegebieden waar de bodem zeer grote hoeveelheden organische stof bevat.

In de veenkoloniën is in 2001 beleid ingevoerd om winderosie te beperken. Boeren waren verplicht om een groenbemester te telen, een ruw oppervlak te creëren, of de bodem te bedekken met cellulose, stro of compost. In 2003 is de verplichting weer ingetrokken door deregulatie en problemen met de handhaafbaarheid. In Limburg gelden verordeningen van de productschappen voor akkerbouw en tuinbouw om watererosie tegen te gaan. De maatregelen zijn een randvoorwaarde voor het ontvangen van directe betalingen vanuit het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid van de Europese Unie.

De Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden regelt de toelating, het op de markt brengen en het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en biociden. Deze middelen grijpen direct in op de bovengrondse of ondergrondse biodiversiteit.

Kaderrichtlijn bodem

In 2006 heeft de Europese Commissie een voorstel voor de Kaderrichtlijn Bodem gepubliceerd. De richtlijn benoemt vijf bodemproblemen: erosie, afname van organisch stofgehalte, verdichting, landverschuivingen en verzilting. Nationale overheden dienen de gebieden in kaart te brengen waar deze bedreigingen optreden. Momenteel is er in Europa een blokkerende minderheid, waaronder Nederland, die van mening is dat bodembeleid een nationale zaak is. De behandeling van het voorstel is in 2011 doorgeschoven naar een volgend voorzitterschap.

De Kaderrichtlijn bodem maakt onderdeel uit van de Europese Bodemstrategie. De richtlijn beoogt de bescherming van bodemfuncties, het voorkomen van achteruitgang van bodems, het herstel van verontreinigde bodems en de integratie van bodembescherming in andere beleidsvelden. Naast de vijf bedreigingen uit de kaderrichtlijn, noemt de bodemstrategie ook verharding, verlies aan biodiversiteit en bodemverontreiniging als bedreiging.

Commissie van Deskundigen Meststoffenwet

De Meststoffenwet regelt het gebruik van meststoffen. De wet bevat onder andere regels over de toelating van meststoffen. Als een bepaald product geen meststof is, valt het in de categorie afval. Een belangrijk doel van de Meststoffenwet is het regelen van de stikstof- en fosfaatstromen in de Nederlandse landbouw om de milieubelasting te beperken. De Meststoffenwet is de nationale uitwerking van de Europese Nitraatrichtlijn.

Voor het onderhoud en de aanpassing van de Meststoffenwet laat de verantwoordelijke minister zich onder meer adviseren door de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM). De commissie beoordeelt de juistheid en consistentie van gebruiksnormen, bemestingsadviezen en forfaits.

Gemeenschappelijk Landbouwbeleid

In 2003 is het Europese gemeenschappelijk landbouwbeleid (GLB) ingrijpend hervormd. Directe betalingen aan landbouwers zijn niet langer gekoppeld aan productie. In plaats daarvan ontvangen landbouwers een bedrijfstoeslag die afhankelijk is van het voldoen aan maatschappelijke randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden bestaan uit drie onderdelen:

- Wettelijke eisen op het gebied van milieu, volksgezondheid, diergezondheid, plantgezondheid en dierenwelzijn. De eisen komen voort uit diverse Europese richtlijnen of verordeningen.
- Normen om landbouwgrond in een goede landbouw- en milieuconditie te houden.
- Instandhouding van blijvend grasland.

Het beschermen van bodemvruchtbaarheid is een belangrijk onderdeel van de tweede en derde set randvoorwaarden. De exacte invulling van de regelgeving is deels een zaak van de nationale overheden.

De normen om landbouwgrond in goede conditie te houden, hebben betrekking op erosie, organische stof en bodemstructuur. Tot nu toe zijn niet alle eisen verplicht, maar na 2014 verdwijnen de vrijwillige eisen. Momenteel heeft Nederland de normen vastgelegd in voorschriften die betrekking hebben op erosiebestrijding in akkerbouw en tuinbouw, en op een teeltverplichting van groenbemesters op braakland.

De instandhouding van blijvend grasland geldt ten opzichte van het referentiejaar 2003. De ontwikkeling van het aandeel blijvend grasland wordt landelijk gevolgd. De eis geldt niet voor individuele bedrijven, maar op nationaal niveau.





Heeft het mestbeleid
effect op de fosfaat-
toestand van de bodem?

23

De aanvoer van fosfaat uit dierlijke mest en kunstmest is de afgelopen 25 jaar flink verlaagd. Het bodemoverschot, de balans tussen aanvoer uit mest en afvoer met het gewas, is daarmee ook verlaagd. In alle sectoren, en op alle grondsoorten, is het fosfaatbodemoverschot afgenomen. In 2009 bedroeg het overschot voor de melkveebedrijven 10 tot 15 kg P₂O₅ per ha, met weinig verschil tussen de grondsoorten. In de akkerbouw zijn de fosfaatoverschotten ook gedaald, maar op klei (15 kg P₂O₅ per ha) waren ze in 2009 lager dan op zand (40 kg P₂O₅ per ha). Ondanks de lagere overschotten, is er nog steeds sprake van een overschot, en dus ophoping in de bodem.

De gegevens van landelijke metingen laten inderdaad geen dalende fosfaattoestanden zien. Op grasland is sprake van gelijkblijvende fosfaattoestanden op een landbouwkundige ruim voldoende niveau. Op bouwland is zelfs sprake van stijgende fosfaattoestanden. Alleen bij de continue teelt van maïs op zandgronden is een daling vastgesteld. Het Pw-cijfer nam op deze percelen tussen 1988 en 2004 af met één eenheid per jaar. Landbouwkundig heeft dat echter geen enkele betekenis omdat de waardering nog steeds hoog is.

Het lijkt er dus niet op dat het gevoerde mestbeleid de fosfaatvoorziening van landbouwgewassen wezenlijk heeft beperkt. In de komende jaren worden de fosfaatgebruiksnormen verder aangescherpt, mogelijk tot een niveau rond evenwichtsbemesting. De resultaten van bedrijfssystemen en veldproeven waarin evenwichtsbemesting is ingesteld laten dalende of stabiele fosfaattoestanden zien. Dalingen komen vooral voor als de uitgangssituatie relatief hoog is, terwijl stabilisatie vooral voorkomt bij relatief lage uitgangssituaties.

In veldonderzoek leidt evenwichtsbemesting in veel gevallen tot lagere gewasopbrengsten, vooral op zandgrond. De opbrengstdervingen liggen maximaal in de orde van grootte van vijf procent. In de akkerbouw en vollegrondsgroententeelt is de opbrengstderving afhankelijk van het aandeel fosfaatbehoefte gewassen in het bouwplan. Een gebruiksnorm van 60 kg P₂O₅ per ha zal waarschijnlijk alleen tot opbrengstderving leiden op bedrijven die meer dan de helft fosfaatbehoefte gewassen telen, zoals bijvoorbeeld andijvie, spinazie, consumptieaardappelen en erwten, en tegelijkertijd een relatief lage fosfaattoestand hebben. Deze combinatie is op dit moment zeldzaam.

Ook bij aanscherping van de gebruiksnormen, zoals voorzien in 2013, wordt doorgaans nog meer fosfaat aangevoerd dan afgevoerd.

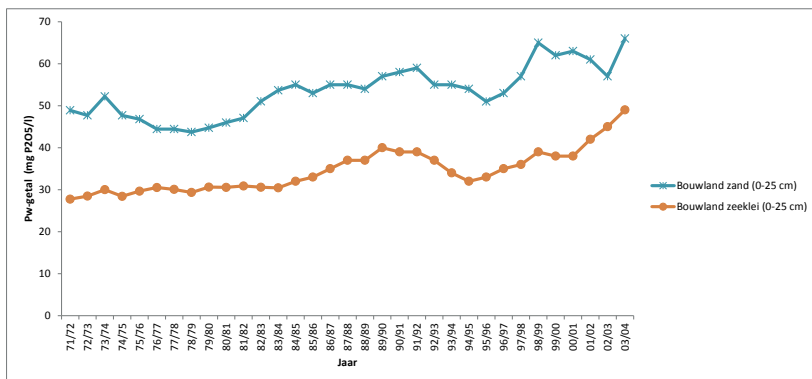
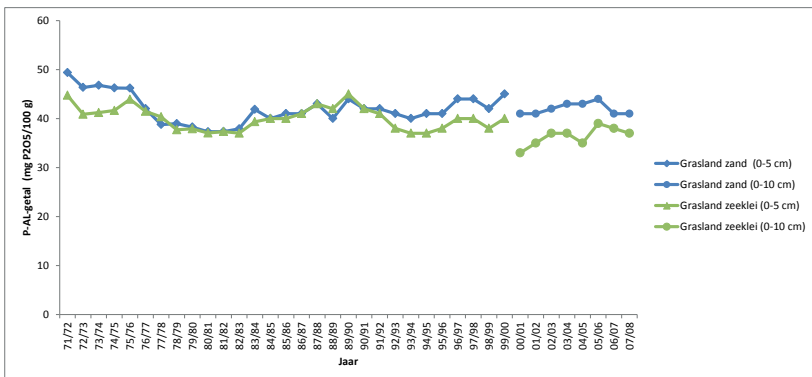
- Bij toestand hoog bedraagt de gebruiksnorm op bouwland 55 kg P₂O₅ per ha en op grasland 85 kg P₂O₅ per ha. Hierbij zal wel op een deel van de bedrijven sprake zijn van evenwichtsbemesting of zelfs van negatieve overschotten. Maar vanwege de hoge fosfaattoestand heeft dit geen consequenties voor de gewasopbrengsten, want de bemestingsadviezen zijn dan in veel gevallen relatief laag of er hoeft zelfs geen fosfaat gegeven te worden. De fosfaattoestand zal gaandeweg dalen naar de toestand neutraal.
- Bij de toestand neutraal bedraagt de gebruiksnorm 65 kg P₂O₅ per ha op bouwland en 95 kg P₂O₅ per ha op grasland. Situaties met negatieve overschotten komen door de hogere gebruiksnorm minder voor, met uitzondering van bedrijven met hoge opbrengsten, waardoor verwacht mag worden dat de fosfaattoestand niet of slechts gering zal dalen. Vooral op bedrijven met veel fosfaatbehoefte groenten is er een risico van opbrengstderving, vooral bij Pw-cijfers aan de onderkant van de klasse neutraal (35-40).

- Bij de toestand laag is de gebruiksnorm 85 kg P₂O₅ per ha op bouwland en 100 kg P₂O₅/ha op grasland, en is in de meeste gevallen hoger dan de gewasafvoer, waardoor verdere daling van de fosfaattoestand niet te verwachten is.

De differentiatie van de gebruiksnormen naar fosfaattoestand biedt dus de mogelijkheid om een dalende fosfaattoestand op te vangen. Echter, op zo'n 55.000 ha wordt de lage fosfaattoestand veroorzaakt door hoge gehalten aan ijzer en aluminium. Op aantoonbare fosfaatfixerende gronden mag een zogenaamde reparatiebemesting worden uitgevoerd. In dat geval geldt voor vier jaar een ruimere gebruiksnorm van 120 kg P₂O₅ per ha.

Fosfaatevenwichtsbemesting

In strikte zin betekent evenwichtsbemesting dat de aanvoer via mest gelijk is aan de afvoer via het gewas. Toch zal de fosfaattoestand op termijn dalen door de zogenaamde onvermijdelijke verliezen. Die verliezen bestaan uit de omzetting van gemakkelijk naar moeilijk beschikbaar fosfaat en uit- en afspoelings-verliezen naar diepere lagen of naar grondwater of oppervlaktewater. De omvang van de onvermijdelijke verliezen is niet exact bekend, maar de schattingen liggen in een orde van grootte van 1 tot 20 kg P₂O₅ per ha. De ondergrens komt waarschijnlijk voor op akkerbouwpercelen met lage fosfaattoestanden. De bovengrens wordt aangetroffen op beweid grasland met ruim voldoende fosfaattoestand.

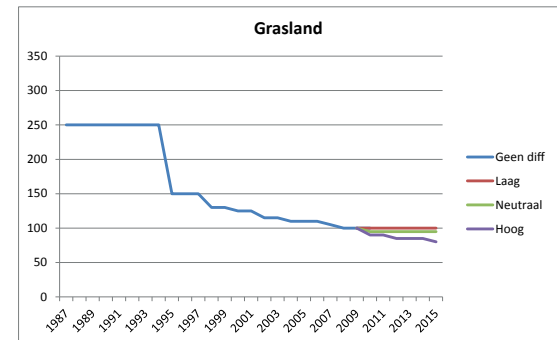
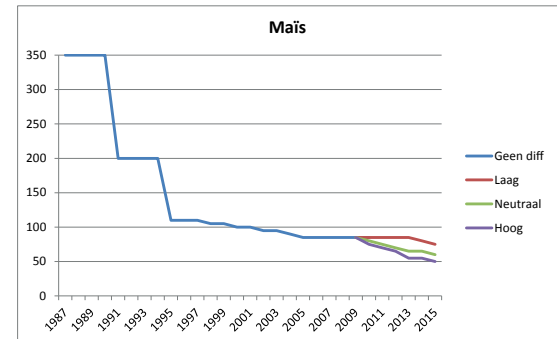
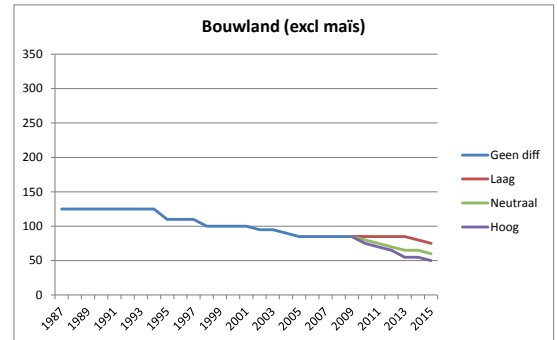


Ontwikkeling van de mediane fosfaattoestand van grasland en bouwland op zand en zeeklei. De gegevens zijn afkomstig van analyses die door boeren zijn ingestuurd naar Blgg AgroXpertus. De monsters zijn afkomstig van verschillende plekken in verschillende percelen in verschillende jaren. Het landgebruik was alleen bekend op het moment van de monsternamen, maar de geschiedenis is onbekend. Het aantal monsters nam af in de loop der tijd. In 2001 is de bemonsteringsdiepte van grasland veranderd van vijf naar tien centimeter. Voor bouwland is in 2005 een nieuwe analyse-methode ontwikkeld en eindigt de reeks met P-w-cijfers.

Toegestaan fosfaatgebruik

Op bouwland is de fosfaatgebruiksruimte uit dierlijke mest tussen 1987 en 2005 gedaald van 125 naar 85 kg P_2O_5 per ha. Tot en met 2005 golden de normen alleen voor dierlijke mest. Bij de introductie van het gebruiksnormenstelsel in 2006 viel ook kunstmestfosfaat onder de wetgeving. Vanaf de invoering van het gebruiksnormenstelsel in 2006 tot en met 2009 is de maximale hoeveelheid fosfaat uit dierlijke mest (85 kg P_2O_5 per ha) niet veranderd. Wel was de totale fosfaatruimte in 2006 en 2007 hoger, namelijk respectievelijk 95 en 90 kg P_2O_5 per ha. Deze extra ruimte mocht alleen worden gebruikt voor kunstmestfosfaat. Gedurende het vierde nitraatactieprogramma (2010-2013) is een verdere aanscherping voorzien voor gronden met een fosfaattoestand neutraal (65 kg P_2O_5 per ha) en laag (55 kg P_2O_5 per ha). Voor 2015 is een indicatieve norm genoemd van 75, 60 en 50 kg P_2O_5 per ha voor respectievelijk de fosfaatklassen Laag, Neutraal en Hoog. Op dit moment is de ontwikkeling van de gebruiksnormen na 2013 echter niet duidelijk. In een recente brief van staatssecretaris Bleker aan de Tweede kamer is gemeld dat de inzet is gericht op het generiek niet verder verlagen van de gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat na 2013.

In de melkveehouderij zijn gras en maïs de voornaamste gewassen. In de periode tot 1998, voorafgaand aan het Mineralen Aangifte Systeem (Minas), was de maximaal toegestane hoeveelheid fosfaat uit dierlijke mest afgenomen van 250 naar 150 kg P_2O_5 per ha voor gras, en van 350 naar 110 kg P_2O_5 per ha voor maïs. De fosfaatgebruiksruimte voor dierlijke mest daalde in de periode van Minas (1998 - 2005) van 130 naar 110 kg P_2O_5 per ha op grasland en van 105 naar 85 kg P_2O_5 per ha op maïsland. Voor grasland is in het gebruiksnormenstelsel vanaf 2006 tot en met 2009 de gebruiksnorm verlaagd van 110 naar 100 kg P_2O_5 per ha, voor maïsland is deze voor dierlijke mest gelijk gebleven. In 2006 en 2007 was op maïsland de totale plaatsingsruimte inclusief kunstmest respectievelijk 95 en 90 kg P_2O_5 per ha. Er mocht dus minimaal 10 en 5 kg P_2O_5 per ha bijgegeven worden met kunstmest. Vanaf 2008 was de gebruiksnorm voor totaal fosfaat gelijk aan die voor dierlijke mest. Gedurende het nu lopende vierde nitraatactieprogramma (2010-2013) is een verdere aanscherping voorzien. Voor snijmaïs is die gelijk aan die van bouwland. Voor grasland wordt in de periode 2010-2013 de fosfaatgebruiksnorm voor Laag, Neutraal en Hoog aangescherpt tot respectievelijk 100, 95 en 85 kg P_2O_5 per ha. Dit zijn ook de indicatieve normen voor 2015, behalve voor de fosfaatklasse Hoog, daarvan wordt de norm verder aangescherpt tot 80 kg P_2O_5 per ha.



Ontwikkeling van het toegestane fosfaatgebruik (kg P_2O_5 per ha per jaar) op landbouwgrond tussen 1987 en 2015



Wat is het effect van
mestverwerking en
mestbewerking op
bodemvruchtbaarheid?

24

Mestverwerking is één van de mogelijkheden om de druk op de mestmarkt te verlichten. Mestverwerking zorgt voor een afvoer van stikstof en fosfaat uit de Nederlandse landbouw, door export, verbranding of afzet naar tuincentra. Tegelijkertijd neemt ook de toepassing van mestbewerking toe. Het scheiden van onbewerkte mest tot meerdere mestproducten moet bijdragen aan een verhoging van de benutting van voedingsstoffen.

Het doel van mestverwerking is het onttrekken van voedingsstoffen, vooral fosfaat, aan de Nederlandse landbouw. In 2010 is 18 miljoen kg fosfaat verwerkt. Ongeveer de helft hiervan is verbranding van vooral pluimveemest. Bijna een kwart wordt verwerkt tot substraat voor de champignonteelt. Na de teelt van champignons komt het op de markt als champost, waarvan dan weer driekwart wordt geëxporteerd. Een ander kwart wordt verwerkt tot mestkorrels voor de export. Kleinere hoeveelheden worden verwerkt tot compost of slib. De compost wordt ook vrijwel volledig geëxporteerd, terwijl het slib in de landbouw wordt afgezet. Naast deze producten zijn ook nog andere mest en mestproducten in het buitenland afgezet. De totale mestexport bedroeg in 2010 ongeveer twee miljard kg met daarin bijna 26 miljoen kg fosfaat. De afzet naar natuur, hobbybedrijven en particulieren bedroeg ruim twee miljoen kg fosfaat.

Het is duidelijk dat met verbranding, export en afzet buiten de landbouw ook organische stof verloren gaat voor de landbouw. In strikte zin kan worden beargumenteerd dat mestverwerking nadelig is voor de bodemvruchtbaarheid. Echter, de mestverwerking heeft tot doel om de ophoping van stikstof en fosfaat in de bodem te voorkomen. De plaatsingsruimte voor fosfaat is voor meer dan 90 procent gevuld. Dus de ruimte voor afzet van fosfaat terug naar de landbouw, met de daaraan gekoppelde organische stof, is zeer beperkt.

Momenteel wordt ook veel energie gestopt in de ontwikkeling en toepassing van bewerking van dierlijke mest. Mestvergisting en mestscheiding, eventueel in combinatie met verdere bewerking van de dunne fractie tot zogenaamde mineralenconcentraten, vormen daarin een belangrijk onderdeel. Na mestscheiding ontstaat een vaste fractie met een hogere fosfaat-stikstof verhouding en meer organische stof, en een vloeibare fractie met meer anorganische stikstof en minder fosfaat. Dunne fracties kunnen bijvoorbeeld via omgekeerde osmose verder worden bewerkt tot mineralenconcentraten. De dunne fractie en mineralenconcentraten bevatten veel water en worden dus hoofdzakelijk in de omgeving van veehouderij op gras, snijmaïs of ander akkerbouwland afgezet. De dikke fractie leent zich beter voor transport en dus voor afzet in de verder gelegen akkerbouwgebieden, of voor export.

Mestscheiding leidt mogelijk tot een andere verdeling van organische stof uit dierlijke mest over veehouderij en akkerbouw. Dit is alleen het geval als in de gebieden met een mestoverschot onbewerkte mest voor een belangrijk deel wordt vervangen door de dunne fractie of een mineralenconcentraat. Door de afvoer van de organische stofrijke dikke fractie uit de veehouderij kunnen de organische stofgehalten op het snijmaïsland op veehouderijbedrijven nadelig worden beïnvloed. Het uiteindelijke effect hangt af van de aanvoer uit andere bronnen zoals gewasresten of groenbemesters.

Het effect van de aanvoer van de dikke fractie op organische stofgehalten van bouwland is onzeker. Het is nog niet duidelijk of de dikke fractie beter wordt geaccepteerd dan onbewerkte drijfmest tot nu toe. Bij een betere of gelijke acceptatie dan onbewerkte dunne mest wordt met dikke fractie wel duidelijk meer organische stof aangevoerd door de veel hogere verhouding tussen organische stof en fosfaat.

Tot slot kan mestscheiding op het eigen bedrijf, zonder afvoer, tot een betere benutting van voedingsstoffen leiden. Binnen een melkveebedrijf zou de vloeibare fractie met veel stikstof en weinig organische stof aan grasland

toegediend kunnen worden. De vaste fractie, met meer organische stof, kan dan aan snijmaïsgland worden toegediend.

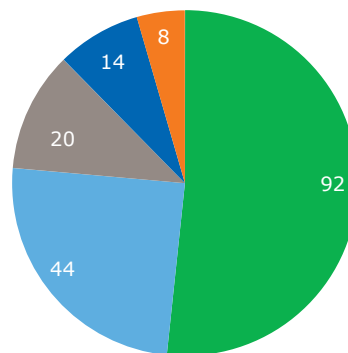
Mestbewerking of mestverwerking?

Mestbewerking en mestverwerking spelen in Nederland een steeds grotere rol. Beide begrippen worden nogal eens door elkaar gebruikt. Het onderscheid wordt bepaald door de bestemming van de producten na behandeling van de mest. Mestbewerking omvat alle technische handelingen met dierlijke mest, waaruit mestproducten voortkomen die in de Nederlandse landbouw worden afgezet met een hogere acceptatiegraad dan onbewerkte dierlijke mest. Mestverwerking omvat alle technische handelingen met dierlijke mest waaruit mestproducten voortkomen die buiten de Nederlandse landbouw worden afgezet. Dat kan export zijn, maar ook verbranding of afzet naar tuincentra.

In Nederland bestaan diverse technieken om mest te behandelen: scheiden, vergisten, composteren, drogen of verbranden. Elke techniek kent weer verschillende vormen. Mestscheiding bijvoorbeeld kan door het afvangen van urine direct na uitscheiding door de koe of het varken. Maar de meeste scheidingstechnieken worden op de mengmest toegepast: vijzelpers, zeefband, flotatie of centrifuge. Al deze technieken verdelen de bestanddelen in mest over twee of meer mestproducten. Er ontstaat in ieder geval altijd een vaste fractie met een hoog gehalte aan droge stof, organische stof, fosfaat en organische stikstof, en een vloeibare fractie met een hoog gehalte aan water en anorganische stikstof en kalium.

Mestbestemming

In 2010 is 178 miljoen kg fosfaat uitgescheiden in dierlijke mest. Ongeveer de helft daarvan is op het eigen bedrijf gebruikt. Een kwart is op andere landbouwbedrijven afgezet. Bijna 20 procent van de productie is buiten de landbouw afgezet, via verwerking of export.

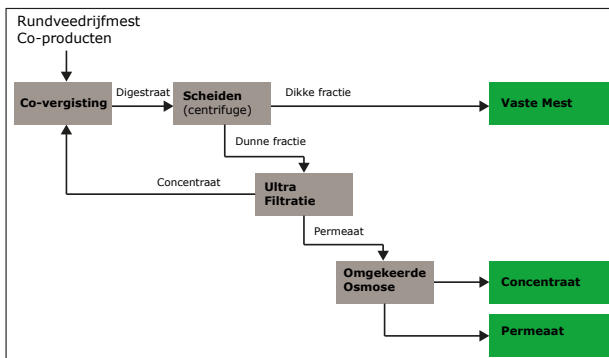


■ Eigen bedrijf ■ Ander bedrijf ■ Export ■ Verwerking ■ Niet geplaatst

Bestemming van de fosfaatproductie (miljoen kg) van de in 2010 in Nederland geproduceerde mest.

Mineralenconcentraten

De toepassing van mineralenconcentraten als kunstmestvervanger is van 2009 tot 2011 onderzocht. In zeven installaties is varkensmest gebruikt en in één installatie rundermest. De mest is in alle gevallen eerst gescheiden in een dikke en een dunne fractie. Het mineralenconcentraat ontstaat na schoning en omgekeerde osmose van de dunne fractie. De dikke fractie en het mineralenconcentraat worden als meststof gebruikt. Het overblijvende permeaat wordt soms op het eigen bedrijf gebruikt, of wordt geloosd. Het mineralenconcentraat is een stikstof-kalium meststof. Het organische stofgehalte is laag. In de pilotstudie is het concentraat vooral ingezet op grasland, snijmaïs en consumptieaardappelen. De gemiddelde stikstofwerking varieerde van ongeveer 60 tot 90 procent, en nam af in de volgorde aardappelen, snijmaïs, grasland. De dikke fractie bevatte meer dan 70 procent van de oorspronkelijk aanwezige organische stof. De dikke fractie wordt vooral afgezet naar akkerbouwgebieden in Flevoland en Zeeland. Een deel gaat naar compostverwerkers of vergisters.



Voorbeeld van een processchema voor de productie van mineralenconcentraat. In dit voorbeeld wordt het digestaat van co-vergiste rundermest bewerkt.



Wat is de invloed van
energieproductie uit
biomassa op de
bodemvruchtbaarheid?

25

Energieproductie uit biomassa is één van de mogelijkheden om het gebruik van fossiele brandstoffen te verlagen. De toepassing van biomassa als brandstof wordt al langere tijd door nationale en Europese overheden gestimuleerd. Energie uit biomassa moet bijdragen aan een lagere uitstoot van broeikasgassen en minder afhankelijkheid van fossiele brandstoffen.

Energie uit biomassa is niet per definitie duurzaam. Productie van energiegewassen legt beslag op land en bovendien concurreert energieproductie met voedselproductie. Deze problemen spelen vooral op mondiale schaal, maar ook op de kleine schaal van Nederland speelt de vraag wat het effect is van de onttrekking van organische reststromen op de bodemvruchtbaarheid.

De biomassaketens zijn zeer divers. De bronnen bestaan uit geteelde gewassen en primaire en secundaire bijproducten. Specifiek geteelde biomassa kunnen eenjarige akkerbouwgewassen zijn zoals hennep, suikerbiet, koolzaad en granen. Maar ook meerjarige teelten van grasachtigen, zoals *Miscanthus*, of houtachtigen zoals populier en wilg. De primaire bijproducten ontstaan dicht bij de teelt, zoals stro of bietenloof. Maar ook bermgras, tuinafval en snoeihout horen hierbij. Secundaire bijproducten ontstaan later in de productieketen. Het omvat de reststromen uit voedingsmiddelenindustrie, doorgedraaide producten van veilingen of GFT-afval.

Het gebruik van biomassa van specifiek geteelde gewassen en van primaire bijproducten hebben naar verwachting de grootste invloed op bodemvruchtbaarheid. Een gesloten koolstofkringloop lijkt daarbij de sleutelfactor te zijn. In principe is de teelt van gewassen voor voedsel of energie niet wezenlijk anders. Echter indien eenjarige akkerbouwteelten worden vervangen door meerjarige teelten van grassen en houtachtige gewassen, heeft dat

positieve gevolgen voor de opbouw van organische stof in de bodem. De organische stofaanvoer naar de bodem neemt toe in de volgorde mais, granen met stroafvoer, granen zonder stroafvoer, meerjarig gras en meerjarig hout.

Een risico op verschraling van de bodem ontstaat bij een toename van het gebruik van primaire bijproducten uit de landbouw. Als gewasresten als stro of bietenloof worden afgevoerd zonder compensatie, komt de organische stofvoorziening van de bodem in de knel. Compensatie kan plaatsvinden met dierlijke mest, extra teelt van groenbemesters of de aanvoer van compost.

Het uiteindelijke effect hangt ook af van de mate waarin de organische stof wordt afgebroken tijdens de verwerking. Bij verbranding verdwijnt in ieder geval alle organische stof. Echter, bij vergisting wordt vooral de snel afbreekbare fractie van de organische stof omgezet naar methaan en koolstofdioxide. De langzaam afbreekbare fractie blijft achter in het digestaat. Als het digestaat weer teruggebracht wordt naar de landbouw, is in ieder geval de opbouw van stabiele organische stof minder in gevaar. Echter, er zijn aanwijzingen dat verse organische stof het ziektevermogen van een bodem ondersteunt. In dat geval gaat ook de afvoer van snel afbreekbare organische stof ten koste van de bodemkwaliteit.

Mestvergisting

Tijdens vergisting zetten bacteriën organische stof om in biogas, dat ongeveer 60 procent methaan bevat. In opgeslagen mest treedt vergisting spontaan op. De daarbij vrijkomende methaan draagt bij aan de uitstoot van broeikasgassen. In een vergistingsinstallatie vindt de omzetting onder geconditioneerde omstandigheden plaats. Het biogas komt sneller en in grotere hoeveelheden vrij. Het gevormde biogas wordt opgevangen en dient als brandstof voor een warmtekrachtkoppeling waarmee elektriciteit en warmte wordt opgewekt. De opgewekte warmte en elektriciteit kunnen op het eigen bedrijf worden gebruikt. Het overschot aan elektriciteit kan aan het openbare net worden geleverd. Biogas kan ook worden gezuiverd tot aardgaskwaliteit. Het is dan geschikt voor de afzet naar het aardgasnet of voor afzet als transportbrandstof.

De biogasopbrengst is afhankelijk van de soort mest. Hoe meer organische stof de mest bevat, hoe hoger de gasopbrengst. De hoeveelheid organische stof in de vergister is te verhogen door andere organische producten aan de mest toe te voegen en dit mengsel te laten vergisten. Deze zogenaamde co-vergisting zorgt voor toename van de gasopbrengst. Vergisting van alleen mest gebeurt steeds minder. Co-vergisting van mest gebeurt nog steeds vooral op landbouwbedrijven. Echter, steeds meer installaties worden gebouwd door een samenwerkingsverband van landbouwbedrijven, eventueel met andere partners zoals energiebedrijven. Sommige van deze installaties staan niet op een landbouwbedrijf, maar op een industrieterrein.

In een biogasinstallatie wordt de uitstoot van methaan voorkomen. Bovendien leidt het gebruik van biogas tot een besparing op het gebruik van fossiele energie. Daarom is sprake van duurzame energiewinning.

Bietenloof

In Nederland worden ruim 70.000 ha suikerbieten geteeld. Na de oogst van de biet, blijft het loof achter op het land. Het loof zou ook afgevoerd kunnen worden naar een vergister voor energieproductie. Met de afvoer van het bietenloof wordt ongeveer 900 kg effectieve organische stof afgevoerd, die anders aan de bodem zou worden toegevoegd. Op bouwplanniveau levert het bietenloof een gemiddelde bijdrage van 120 tot 340 kg effectieve organische stof per ha. Dat is 10 tot 20 procent van de totale aanvoer van effectieve organische stof. Omdat de totale aanvoer al vrij krap is, kan de afvoer van het bietenloof op termijn tot lagere organische stofgehalten leiden.

Compensatie binnen de bestaande gebruiksnormen is mogelijk door dunne varkensmest deels te vervangen door dunne of vaste rundermest, of compost. Deze producten zijn echter beperkt beschikbaar. Andere opties zijn het inwerken van stro na graanteelt en het telen van extra groenbemesters. Globaal moet voor elke ha afgevoerd bietenloof één ha tarwestro worden ingewerkt of één ha groenbemester worden geteeld. Het is ook mogelijk om het digestaat terug te laten keren naar het bedrijf. De voedingsstoffen gaan dan in de vorm van bietenloof naar de vergister en komen weer terug als digestaat. Een deel van de organische stof is echter omgezet in energie en komt dus niet meer terug.

Biomassa voor energie

	Inzet biomassa (PJ)
Afvalverbrandingsinstallaties	32.927
Bij- en meestoken biomassa in centrales	28.357
Houtketels voor warmte bij bedrijven	2.766
Houtkachels huishoudens	12.232
Overige biomassaverbranding	14.675
Biogas uit stortplaatsen	1.447
Biogas rioolwaterzuiveringsinstallaties	2.101
Biogas, co-vergisting van mest	6.028
Biogas, overig	2.493
Biobenzine en biodiesel	9.575

De inzet van biomassa voor de productie van energie in 2010. Verreweg het grootste deel van biomassa wordt verwerkt bij de verbranding van afval, hout en andere organische reststromen. De inzet van biomassa voor biogas is kleiner van omvang. Bij verbranding en biogasproductie wordt elektriciteit en warmte geproduceerd. Bij biobenzine en biodiesel wordt de biomassa ingezet voor transport-brandstoffen.



A vibrant green field under a dramatic, cloudy sky with a large white circle overlaid.

Wat is het effect van
klimaatverandering op
bodemvruchtbaarheid?

26

In Nederland is het de afgelopen eeuw warmer en natter geworden. Sinds 1900 is de temperatuur gemiddeld 1,2 graden Celsius gestegen. Vooral sinds 1987 was het opmerkelijk warm. Daarnaast is de jaarlijkse neerslag in de 20^e eeuw toegenomen. Vanaf 1906 viel 18 procent meer regen. De zeespiegel is in de 20^e eeuw met ongeveer 18 centimeter gestegen. Het KNMI verwacht dat deze trends zich verder voortzetten. Klimaatverandering kan invloed hebben op verschillende aspecten van bodemvruchtbaarheid, zoals het organische stofgehalte, erosie, structuur en het zoutgehalte.

Effecten van klimaatverandering op organische stof in de bodem zijn niet eenvoudig te becijferen door de complexiteit van de ecosystemen en de beperkte mogelijkheden om veranderingen op relatief korte tijdschalen voldoende nauwkeurig te meten. Binnen bodemmonitoringprogramma's blijkt het lastig te zijn om eventuele waargenomen veranderingen toe te wijzen aan specifieke klimaatparameters, omdat tegelijkertijd veranderingen optreden in temperatuur, neerslag en het gehalte aan koolstofdioxide in de atmosfeer. Bovendien spelen andere variabelen zoals landgebruik of nutriëntenvoorziening een belangrijke rol.

De hoeveelheid organische stof in de bodem is de resultante van de aanvoer door plantenresten en de afbraak van organische stof. Beide processen reageren op klimaatverandering, maar het is onduidelijk wat het netto-effect is. Over het algemeen geldt dat stijgende temperaturen de afbraak van organische stof verhogen, maar dat wordt geheel of gedeeltelijk gecompenseerd door een verhoogde plantaardige productie. Net als de temperatuur, heeft droogte tegelijkertijd effect op de afbraak en aanvoer van organische stof. Bovendien komen droogte en hoge temperaturen vaak samen voor, waardoor beide effecten

verstrengeld zijn. Over het algemeen is de afbraak van organische stof minder droogtegevoelig dan de plantaardige productie, maar dat kan verschillen per situatie. Daarnaast stimuleert het hogere gehalte aan atmosferisch koolstofdioxide de plantaardige productie, en dus de aanvoer van organische stof. Vanwege de grote voorraden organische stof zijn de veengebieden potentieel het meest kwetsbaar voor klimaatverandering. De combinatie van hogere temperaturen en droogte kan tot een significante toename van de afbraak leiden.

Op de Limburgse lössgronden is watererosie een serieuze bedreiging voor de bodemvruchtbaarheid in de akkerbouw. Het vaker voorkomen van hevige buien aan het einde van de zomer en in de winter, kan bij niet-beteelde oppervlakten de kans op erosie vergroten. Het gevolg is verlies van grond, inclusief organische stof en plantenvoedingsstoffen. Ook op andere grondsoorten kunnen hevige buien leiden tot oppervlakkige afspoeling van voedingsstoffen uit dierlijke mest en kunstmest.

Winderosie is een regionaal probleem bij zandgronden die in de winter en voorjaar onbegroeid zijn. Het speelt vooral op de dalgronden in het noorden, maar kan elders ook voorkomen. Voor zover nu bekend zullen de windpatronen niet of nauwelijks veranderen, waardoor het gevaar voor winderosie niet wezenlijk verandert.

Een onbekende hoeveelheid zand en lemige gronden heeft min of meer last van verdichting van de ondergrond. Bij klei wordt verondersteld dat zwel en krimp, in combinatie met vorst, eventuele structuurschade repareert. Klimaatverandering heeft door hevigere buien en het uitblijven van vorstperioden mogelijk negatieve gevolgen voor de bodemstructuur. Vooral natte omstandigheden tijdens werkzaamheden op het land verhogen het risico op structuurbederf. Bovendien kan op gevoelige bodems

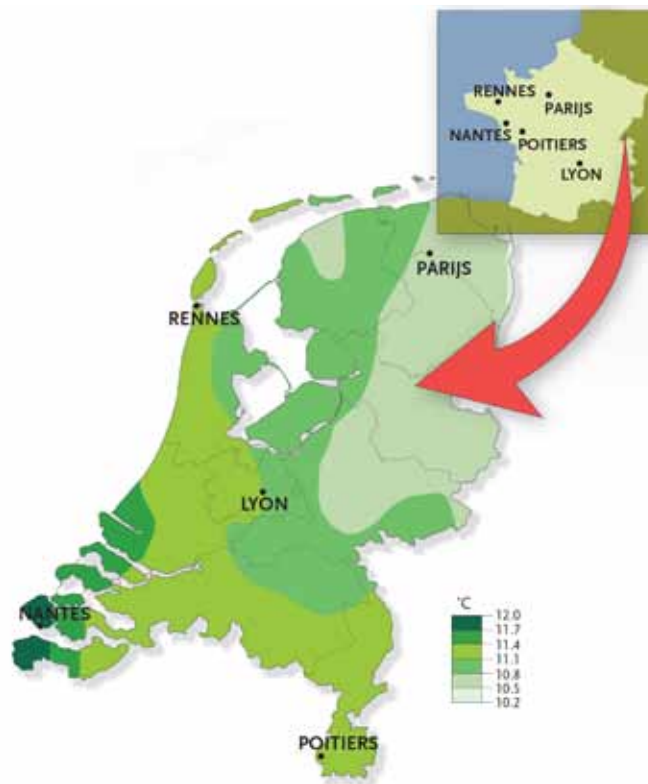
meer verslemping optreden. Op kleigronden is het mogelijk dat de bodemstructuur in het voorjaar verslechtert doordat de vorstperiode te kort is of geheel afwezig blijft.

Boomteelt, glastuinbouw en fruitteelt zijn zeer gevoelig voor een toenemend zoutgehalte en ondervinden daardoor schade in droge zomers. Door een toename van de zeespiegel kan de zoute kwel toenemen in de diepe polders in West-Nederland en de veenweidegebieden.

Klimaatverandering door het versterkte broeikaseffect

Het klimaat op aarde verandert continu onder invloed van natuurlijke factoren. Sinds het midden van de 20^e eeuw verandert het klimaat ook door de mens. Met allerlei activiteiten zoals industrie, verkeer, landbouw en ontbossing brengt de mens extra broeikasgassen in de atmosfeer. De belangrijkste broeikasgassen zijn koolstofdioxide, methaan en lachgas. Het versterkte broeikaseffect leidt tot een warmer klimaat en andere neerslagpatronen.

Zonder maatregelen verwacht het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) voor de komende eeuw dat de gemiddelde temperatuur op de wereld stijgt met 1 tot 6 °C . Daarnaast verwacht men een toename van de hevigheid van neerslag, en een zeespiegelstijging van 18 tot 59 cm. Voor Nederland verwacht het KNMI dat zachte winters en warme zomers vaker voor zullen komen. De winters worden bovendien gemiddeld natter, maar in de zomer neemt het aantal regendagen juist af. De hevigheid van de neerslag neemt echter zowel in de zomer als de winter toe. De zeespiegel zal verder stijgen. Grote veranderingen in het windklimaat zijn niet te verwachten.



De gemiddelde temperaturen in Nederland in 2006 en 2007 waren vergelijkbaar met het klimaat in midden-Frankrijk tegen het eind van de vorige eeuw (KNMI, 2008).

Gewasopbrengsten.

De toename in de uitstoot van koolstofdioxide en de temperatuurstijging leiden naar verwachting tot een hogere gewasproductie in Nederland.

Modelberekeningen laten voor granen, aardappelen, bieten en gras een toename zien tot bijna 50 procent voor het meest extreme scenario met een temperatuurstijging van 3,5 °C. Alleen bij snijmaïs daalt de verwachte opbrengst. Dat komt onder andere omdat snijmaïs een andere stofwisseling heeft voor de vastlegging van koolstofdioxide. Dergelijke planten reageren minder sterk op een stijging van de concentratie koolstofdioxide. Bovendien veranderde in de modelberekening het groeipatroon van snijmaïs zodanig dat watertekorten optraden tijdens de gevoelige bloeifase.

Koolstofdioxide (vpm)	512	566
Temperatuur (°C)	10,9	12,8
Wintertarwe	+ 5	+ 8
Pootaardappel	+22	+29
Consumptieaardappel	+16	+22
Fabrieksaardappel	+25	+32
Suikerbiet	+29	+35
Snijmaïs	- 16	- 16
Gras	+40	+49

Relatieve opbrengstverandering (%), berekend voor twee scenario's met toegenomen temperatuur en atmosferische koolstofdioxide-concentratie, ten opzichte van een referentie van 9,3 °C en 354 ppm-volume (vpm) koolstofdioxide.



Hoe leg je koolstof
vast in de bodem?

27

De bodem speelt een belangrijke rol in de globale koolstofkringloop. Wereldwijd bevat de bodem naar schatting 1.500 miljard ton koolstof. Dat is ongeveer twee keer zoveel als de hoeveelheid koolstof in de atmosfeer, en drie keer zoveel koolstof als in de levende biomassa op aarde. Anderzijds is het slechts vier procent van de hoeveelheid koolstof in de oceanen. Het Kyoto Protocol biedt de mogelijkheid om koolstof die wordt vastgelegd in de bodem mee te tellen in de broeikasgasbalans. De vastgelegde koolstof wordt dan in mindering gebracht op de emissies van broeikasgassen. Nederland maakt op dit moment geen gebruik van deze optie.

Vastlegging van koolstof in de bodem van landbouwgrond is zeker niet het 'ei van Columbus' in de oplossing van het klimaatprobleem. In vergelijking met andere maatregelen in de landbouw die de emissie van lachgas of methaan jaarlijks blijvend verlagen, is het effect van de vastlegging eindig. De opbouw van koolstof vertraagt in de loop van de tijd, om uiteindelijk tot stilstand te komen. Als de maatregel daarna niet wordt voortgezet bestaat zelfs de kans dat de vastgelegde koolstof weer vrijkomt. Eigenlijk kopen we met koolstofvastlegging vooral tijd. Dit neemt niet weg dat het belangrijk is om bestaande koolstofvoorraden in de bodem te beschermen tegen afbraak. Het voorkomen van deze bodememissies draagt bij aan een lagere broeikasgasemissies.

De balans tussen opbouw en afbraak van organische stof is op drie manieren te beïnvloeden:

- Aanpassing in het landgebruik.
- Verhoging van de aanvoer van organische stof.
- Verlaging van de afbraak van organische stof.

De hoeveelheid koolstof die een hectare grond bevat neemt af in de volgorde grasland, bos, bouwland. Vanuit het oogpunt van koolstofvastlegging is de omzetting van bouwland in grasland of bos een effectieve maatregel. In Nederland ligt deze optie niet zo voor de hand. Kansrijker is het vermijden van de verdere afbraak van organische stof onder blijvend grasland. Dat betekent dat blijvend grasland in stand moet worden gehouden, en niet omgezet moet worden in tijdelijk grasland of bouwland.

Verhoging van de aanvoer van organische stof kan op veel manieren. Veel van de maatregelen zijn goed toepasbaar in de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. Het achterlaten van gewasresten, het gebruik van groenbemesters en het gebruik van vaste mest of compost kunnen de koolstofvoorraad in de bodem verhogen. Hoewel deze maatregelen goed inpasbaar zijn in de praktijk, is het twijfelachtig of ze werkelijk een grote bijdrage kunnen leveren aan de hoeveelheid vastgelegde koolstof.

Ten slotte is verlaging van de afbraak van organische stof een maatregel om koolstof in de bodem vast te houden. Vanuit landbouwkundig oogpunt botst dit principe met de wens om voedingsstoffen vrij te maken uit de organische stof. Beperking van de grondbewerking is een effectieve maatregel om de afbraak te verlagen. In de Nederlandse landbouw worden naar verhouding echter veel hakvruchten en weinig granen geteeld. Dat maakt de mogelijkheden voor minder intensieve grondbewerking wat kleiner. Ook verzuring en vernatting verlagen de afbraak. Vooral op veengronden is peilverhoging een belangrijke maatregel om de afbraak tegen te gaan.



Veengronden kunnen veel koolstof opslaan. Maar in Nederland en andere delen van de wereld wordt veengrond momenteel juist afgebroken. Daarom is veengrond bij ons een bron van koolstofdioxide en lachgas. De broeikasgasmisaties van de veenweidegebieden bedragen ongeveer vier procent van de totale Nederlandse emissies. De emissies van koolstofdioxide en lachgas kunnen worden verlaagd

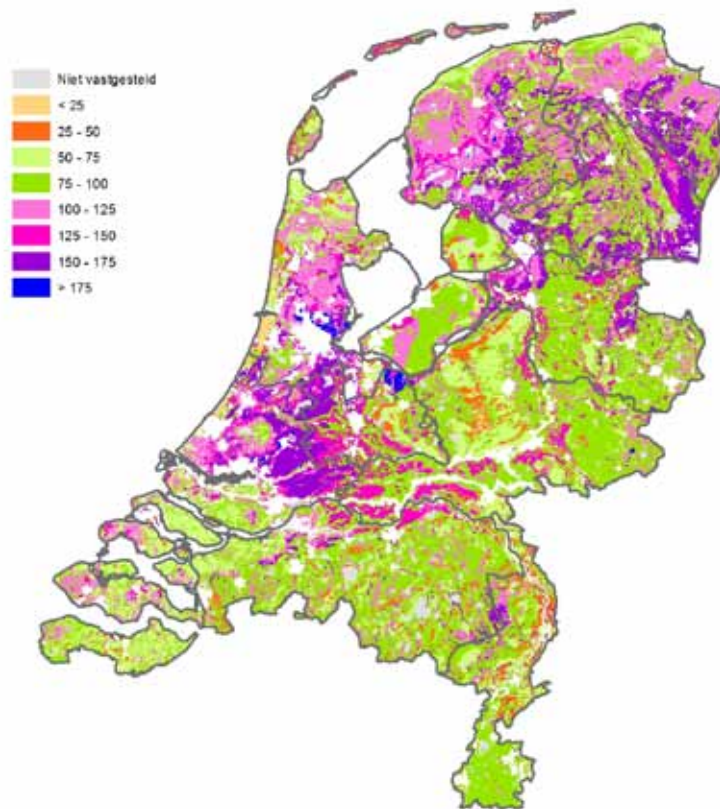
door het grondwaterpeil te verhogen. De keerzijde van peilverhoging is dat de emissies van methaan gaan toenemen. Als het waterpeil wordt verhoogd tot vlak onder maaiveld en bemesting achterwege blijft, kunnen veenweidegebieden weer netto broeikasgassen vastleggen. Landbouw is dan echter niet of nauwelijks meer mogelijk.

Aanpassen en beperken

Klimaatverandering vraagt om actie. Enerzijds is het nodig om tijdig aangepast te zijn aan de verwachte veranderingen in het klimaat. Een bodem met goede structuur en voldoende organische stof is beter bestand tegen de uitwassen van het klimaat. Anderzijds is het noodzakelijk om de emissies van broeikasgassen te verlagen. In 1997 zijn in het Kyoto-protocol afspraken vastgelegd die de aangesloten geïndustrialiseerde landen verplicht de uitstoot van broeikasgassen te verlagen. Nederland hanteert hierbij het voorzorgsprin-

cipe: ook al zijn er onzekerheden, de mogelijke gevolgen zijn zo ingrijpend dat we wel maatregelen moeten nemen. Voor Nederland is vermindering van het energiegebruik een belangrijke maatregel. Ook in de landbouw zijn diverse maatregelen mogelijk die de emissie van methaan en lachgas verlagen. In feite heeft de landbouwsector de emissies van deze broeikasgassen in de afgelopen twintig jaar al fors verlaagd, onder andere door een efficiëntere stikstofbemesting en diervoeding.

Nederlandse bodems bevatten grofweg tussen de 25 en 200 ton koolstof per ha. Graslanden vormen het grootste koolstofreservoir. Zij bevatten naar schatting 148 miljoen ton koolstof. In bouwland ligt ongeveer 85 miljoen ton koolstof opgeslagen. De bodems onder bossen en natuur bevatten samen 31 miljoen ton koolstof.



Verdeling van de koolstofvoorraad (ton/ha) in de bodem (0-30 cm) van Nederland



Welke rol speelt
bodemvruchtbaarheid
in de natuur?

28

Bodemvruchtbaarheid is één van de factoren die bepalen welke vegetaties zich op een bepaalde locatie kunnen ontwikkelen. Natuurbeheerders onderscheiden meestal vijf relevante omgevingsvoorwaarden: voedselrijkdom, zuurgraad, voedingsstoffen, zoutgehalte, vocht en bodemtype.

In natuurbeheer wordt voedselrijkdom op verschillende manieren gebruikt. Meestal duidt voedselrijkdom op de beschikbaarheid van voedingsstoffen in de wortelzone, analoog aan het gebruik in de landbouw. Een andere benadering gebruikt de hoeveelheid opgenomen voedingsstoffen als maat. In deze visie is voedselrijkdom ook afhankelijk van het successiestadium van de vegetatie. In een pioniersvegetatie is de biomassa-productie immers lager dan in latere stadia.

De voedselrijkdom is ingedeeld in klassen van zeer voedselarm tot zeer voedselrijk. De belangrijkste indicatoren voor voedselrijkdom zijn het nitraat- en fosfaatgehalte in bodemvocht, en de onderlinge verhoudingen tussen koolstof, stikstof en fosfaat in de bodem. Daarnaast bestaan indicatoren die gebruik maken van het voorkomen van indicatorsoorten of de bovengrondse productie.

De zuurgraad is van belang voor de beschikbaarheid van voedingsstoffen. Dit effect komt tot uiting in de waarde van de voedselrijkdom. Daarnaast heeft de zuurgraad invloed op de oplosbaarheid van metalen, die giftig zijn of juist nodig zijn als sporenelement. Bij een pH-H₂O van minder dan 4,5 gaat het voor de meeste planten giftige aluminium in oplossing. Alleen aangepaste soorten kunnen hier overleven. In basische milieus vormt juist de geringere oplosbaarheid van ijzer een probleem.

De aanwezigheid, of juist het ontbreken van water, heeft een grote invloed op de ontwikkeling van vegetaties. Water heeft een direct effect op de plantengroei via de vochtvoorziening en de beluchting van de bodem. Daarnaast beïnvloedt de beluchting de afbraak van organische stof, en daarmee de beschikbaarheid van voedingsstoffen. De vochttoestand wordt meestal beschreven met de gemiddelde grondwaterstand in het voorjaar, in combinatie met het aantal dagen droogtestress. Daarnaast spelen wisselingen in de grondwaterstand een rol. In getijdengebieden en het rivierengebied is ook de frequentie waarmee overstroming plaatsvindt een belangrijke factor.

Het zoutgehalte wordt uitgedrukt in de chlorideconcentratie van het grondwater. Bij middelhoge zoutgehalten is vooral de giftigheid van chloride en natrium belangrijk. In het nog hogere bereik, in watersystemen, speelt ook de osmotische waarde van het grond- en oppervlaktewater een belangrijke rol in het overleven van en de concurrentie tussen plantensoorten.

In Nederland bepalen provincies in belangrijke mate waar natuurontwikkeling plaatsvindt. De omgevingsfactoren bepalen voor een deel welke natuur op welke locatie mogelijk is. Voor alle zogenaamde natuurdoeltypen gelden eisen aan voedselrijkdom en waterbeheer. Heide bijvoorbeeld gedijt het beste op zure tot matig zure voedselarme standplaatsen. Dotterbloemgraslanden in beekdalen of bloemrijke graslanden hebben behoefte aan zwak zure tot neutraal-basische standplaatsen met een matige voedselrijkdom. Moerassen zijn juist voorbeelden van zeer voedselrijke systemen.

Omgevingsfactoren

	Voedselrijkdom			Zuurgraad			
	voedselarm	matig voedselrijk	zeer voedselrijk	zuur	matig zuur	zwak zuur	neutraal-basisch
Moeras		2	2			1	2
Natte duinvallei	2	1				1	2
Trilveen	2	1			1	2	1
Nat schraalgrasland	2	1			2	2	
Dotterbloemgrasland van beekdalen		2	1		1	2	1
Droog kalkarm duingrasland	2	1			1	2	1
Droog kalkrijk duingrasland	1	1				1	2
Bloemrijk grasland van het heuvelland		2	1		1	1	2
Natte heide	2			2	2	1	
Droge heide	2			2	1		
Eikenhakhout en -middenbos	2	1		2	1	1	
Ooibos		1	2			1	2
Bos van arme zandgronden	2			2	1		
Eiken- en beukenbos van lemige zandgronden	2	1		2	1		

Voorbeeld van de abiotische randvoorwaarden voedselrijkdom en zuurgraad voor een selectie van enkele natuurdoeltypen. Oranje (2) is optimaal, Blauw (1) is suboptimaal. De klassenindeling voor voedselrijkdom kan gebaseerd zijn op stikstof-, fosfaat- en koolstofgehalten in bodemvocht, oppervlaktewater of in de bodem. Daarnaast kan de indeling gebaseerd zijn op de Ellenberg soortenindicator of de bovengrondse biomassa-productie.



Fosfaaterfenis

Voor de aanleg van de Ecologische Hoofd Structuur wordt landbouwgrond omgezet in natuur. De voormalige landbouwgronden hebben echter vaak een hoog gehalte aan fosfaat. Daarom is het lastig om bepaalde natuurdoeltypen te realiseren. In plaats van een soortenrijk grasland zien we pitrus en water bedekt met algen. Verschralen is dan het sleutelwoord. Maar hoe? Een beheer met begrazing levert nauwelijks enige fosfaatafvoer op. Voor een hoge fosfaatafvoer is regelmatig maaien en afvoeren onvermijdelijk. Om de droge-stofproductie, en dus de fosfaatonttrekking, te verhogen helpt het als andere belangrijke voedingsstoffen zoals stikstof en kalium niet beperkend zijn voor de groei van het gewas. Dit zogenoemde 'fosfaat uitmijnen' kan met kunstmest, maar vlinderbloemigen zijn hiervoor ook een zeer geschikte stikstofbron. Maar zelfs dan kan het op zwaar bemeste gronden tientallen jaren duren voordat de voedselrijkdom voldoende is gedaald. Meestal hebben we dat geduld niet. Daarom wordt in natuurbeheer vaak gekozen om de fosfaatrijke bovenste bodemlaag af te graven. Dit is echter een dure maatregel die bovendien sterk ingrijpt in de bodemopbouw en het functioneren van het bodemsysteem. Mogelijk leiden de actuele bezuinigingen op natuuruitgaven weer tot meer aandacht voor een geleidelijke verschraling.





Wat zijn de belangrijkste
kennisvragen?

29

De kennisleemten over bodemvruchtbaarheid hangen grotendeels samen met de knelpunten die boeren ervaren. Daarnaast spelen de duurzaamheidsdoelen die de overheid stelt een belangrijke rol.

Ondernemers in de landbouw hebben vooral zorgen over de opbouw en handhaving van de productiviteit van de bodem, het omgaan met minder meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen, inzet van zware machines door schaalvergroting en de aanpassing aan veranderend waterbeheer. Relevante duurzaamheidsdoelen die een raakvlak hebben met bodemvruchtbaarheid zijn verlaging van het energieverbruik, verlaging van emissies van voedingsstoffen, broeikasgassen en gewasbeschermingsmiddelen en het verhogen van biodiversiteit.

In een recente analyse zijn de gesignaleerde knelpunten vertaald in zes speerpunten voor de kennisagenda.

Drie speerpunten zijn zeer direct verbonden met het traditionele bodemdomein, namelijk organische stof en chemische bodemvruchtbaarheid, bodemstructuur, en bodembiodiversiteit en bodemweerbaarheid. Daarnaast zijn er drie speerpunten die overlappen met andere kennisdomeinen, namelijk bovengrondse biodiversiteit, waterhuishouding en kosten en baten van duurzaam bodembeheer.

De kennisagenda vraagt om een gezamenlijke aanpak van experimenten en innovaties in bedrijfsleven en institutioneel onderzoek. Daarin dient ruimte te zijn voor alle typen onderzoek, van fundamenteel tot praktijkgericht. Voor onderzoek naar bodemvruchtbaarheid geldt wellicht nog meer dan voor andere thema's, dat regionale proeflocaties van groot belang zijn om de verscheidenheid aan grondsoorten te kunnen omvatten.



Organische stof en chemische bodemvruchtbaarheid.

Hoewel er geen aanwijzingen zijn voor grootschalige daling van het organische stofgehalte, blijft het in balans houden van aanvoer en afvoer de aandacht behouden. Methoden om de aanvoer van effectieve organische stof te verhogen binnen de gebruiksnormen zijn belangrijk uit het oogpunt van de ondernemer. Onderzoek en kennisoverdracht zouden zich moeten richten op nieuwe mestproducten met een hoog gehalte aan effectieve organische stof per kg fosfaat. Ook teeltmethoden zoals groenbemesters en wisselbouw met grasland, die meer organische stof aanvoeren horen daarbij.

Mogelijk is de jaarlijkse aanvoer van organische stof en de aard van het materiaal belangrijker dan de bodemvoorraad organische stof. Het is bijvoorbeeld niet duidelijk in hoeverre de verse aanvoer bijdraagt aan ziektevering en de benutting van voedingsstoffen.

Vanuit het oogpunt van klimaatverandering liggen er vragen over hoeveel koolstof opgeslagen kan worden. Daarbij is het belangrijk om methoden te ontwikkelen die voorkomen dat eenmaal opgeslagen koolstof weer verloren gaat. Een specifieke vraag is bijvoorbeeld welke rol char-producten hierin kunnen spelen.

Op de lichtere gronden is een verdere verlaging van het stikstofoverschot nodig om de gewenste waterkwaliteit te bereiken. De vraag is hoe opbrengstderving voorkomen kan worden bij een verlaagde aanvoer van stikstof. Inmiddels zijn verschillende technieken ontwikkeld die op de een of andere manier rekening houden met de stikstofstatus van het gewas of de bodem. De toepassing in de praktijk vraagt om automatisering van deze technieken door ondersteuning van sensoren, precisie-strooiers en goede beslisregels.

Vanggewassen op zandgrond zijn nog niet zo succesvol vanwege het late oogsttijdstip van het hoofdgewas. Systemen met onderzaai kunnen de toepassing uitbreiden, maar dit vergt meer communicatie. Ook bestaat de angst voor aaltjesvermeerdering in wintergewassen. Hiervoor is onderzoek nodig naar groenbemesters die geen aaltjes vermeerderen.

Bodembiodiversiteit en bodemweerbaarheid.

De levenswijze van belangrijke ziekten en plagen is vaak grondig bestudeerd. Regelmatig worden echter nieuwe soorten beschreven. Het blijft belangrijk om daarvoor de schade-relaties vast te stellen.

Er zijn veel soorten bekend die ziekteverwekkers kunnen bestrijden, maar waarschijnlijk zijn nog veel meer organismen nog niet beschreven. De onderlinge beïnvloeding van soorten, ook in relatie tot omgevingsfactoren, is nog grotendeels onbekend. Daarom weten we eigenlijk nog niet goed hoe bodemweerbaarheid tot stand komt.

Ondanks een gebrek aan onderliggende kennis, wordt vermoed dat bepaalde maatregelen de bodemweerbaarheid verhogen. Stimulerende maatregelen zijn bijvoorbeeld organische stof aanvoer en minimaliseren van grondbewerking. De toepassing van deze maatregelen moet getoetst worden, evenals het vermijden van maatregelen met een negatieve invloed.

Meetmethoden, en bijbehorende drempelwaarden, zijn vooral beschikbaar voor de opsporing van schadelijke organismen. De ontwikkeling van kwantitatieve methoden voor bodemweerbaarheid ontbreken nog.

Bodemstructuur

In onderzoek en praktijk zijn verschillende systemen ontwikkeld die de bodembelasting gedurende een deel van het seizoen beduidend verminderen. Het gebruik van vaste rijpaden, of het afzien van grondbewerking voor de teelt van granen zijn voorbeelden daarvan. Een blijvend knelpunt is echter structuurschade bij de oogst. Daarom is onderzoek gewenst naar bodemvriendelijke oogstmethoden zoals de oogst vanaf vaste rijpaden, systemen met lage bodemdruk of het gebruik van zelfstandig opererende lichte oogstmachines. Een andere aanpak zoekt alternatieven voor laat te oogsten gewassen. Wat kost vroeger oogsten aan opbrengst en wat levert het op aan betere bodemstructuur?

In Nederland bestaan voor systemen met minimale grondbewerking de grootste knelpunten bij aardappelen, bieten, peen en witlof. Hiervoor is onderzoek nodig naar hoeveel grondbewerking minimaal nodig is om een goede kwaliteit en opbrengst te behouden.

De gebruikelijke najaarstoediening van dierlijke mest is niet langer toegestaan. Door de angst voor structuurbederf bij voorjaarstoediening op kleigrond, komt de organische stofvoorziening in gevaar. Voor wintertarwe zijn goede voorjaarstechnieken beschikbaar, maar voor aardappelen is verdere innovatie noodzakelijk.

Onderzoek naar bodembelasting door mechanisatie is vooral gericht geweest op bouwland op klei. Het verdient aanbeveling om dit uit te breiden naar zand en naar grasland.

Hoewel er geen compleet beeld is van ondergrondverdichting op basis van metingen, zijn er wel aanwijzingen dat verdichting van de ondergrond toeneemt. Er is behoefte aan het vaststellen van meetbare grenswaarden, eventueel gevolgd door onderzoek naar het oorzakelijk verband tussen ondergrondverdichting en de hieraan toegeschreven effecten.





Wat brengt
de toekomst?

30

De vraag naar voedsel blijft wereldwijd stijgen. Voedselproductie in Nederland blijft dus een belangrijk maatschappelijk doel dienen. Tegelijkertijd moet de landbouw economisch duurzaam blijven, en aan steeds meer andere maatschappelijke randvoorwaarden voldoen. De belangrijkste duurzaamheidsthema's zijn natuur en landschap, biodiversiteit, water, klimaat en milieu. Wat betekent dit voor de manier waarop we tegen bodemvruchtbaarheid aankijken, en hoe we daarmee omgaan?

Winters worden naar verwachting milder, en neerslag en temperatuur zullen grotere extremen vertonen. De perioden waarin het land begaanbaar en bewerkbaar is gaan verschuiven. Niet-beteelde grond wordt gevoeliger voor erosie en slemp. Dat stelt hogere eisen aan de bodemstructuur. Nieuwe ziekten en plagen kunnen Nederland bereiken, ook door de toegenomen internationale handel. Duurzame ziektebeheersing en -bestrijding wordt nog belangrijker. Het ziektevermogen van de bodem wordt daardoor belangrijker.

Schaalvergroting gaat vaak hand in hand met zwaardere machines. De zorg voor verdichting neemt daardoor toe. Ontwikkeling van systemen met lage bodemdruk en robotsystemen kunnen verlichting brengen. Verdergaande specialisatie zal tot verdere vernauwing van vruchtwisseling kunnen leiden. De druk van ziekten en plagen kan daardoor verder toenemen.

De vraag naar hergebruik van grondstoffen zal toenemen. Voor de landbouw is dat ook belangrijk omdat de voorraad van sommige grondstoffen, zoals fosfaat, eindig is. De kwaliteit van retourstromen dient in orde te zijn zodat ze geen schade kunnen toebrengen aan de bodemvruchtbaarheid.

Het gebruik van biomassa voor energieproductie en andere toepassingen onttrekt organische stof aan de landbouw. Deze komt niet, of ontdaan van de makkelijk afbreekbare componenten, terug naar de landbouw. Om de organische stofbalans weer kloppend te krijgen, is extra aandacht nodig voor compenserende organische stofbronnen.

Het intensieve beheer van graslanden, krappe vruchtwisselingen en effectief onkruidbeheer zorgen ervoor dat de biodiversiteit in de landbouw steeds verder afneemt. Maatschappelijk zal de druk toenemen om ook in landbouwkundige productiesystemen verlies aan biodiversiteit tegen te gaan.

Wettelijke beperkingen kunnen het gebruik van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen verder inperken. De kaderrichtlijn water kan lokaal tot verdergaande eisen leiden dan nu het geval is. De steeds strengere toelatingseisen voor gewasbeschermingsmiddelen leiden tot een afnemende bereidheid van de industrie om nieuwe middelen te ontwikkelen. De overgebleven middelen zullen vaker ingezet worden, met een hogere kans op ontwikkeling van resistentie. Vooral bij de kleinere teelten zoals bloembollen, fruit en boomkwekers kan dit nadelig uitpakken.

Klimaat, natuur en water bepalen in toenemende mate de ruimtelijke ordening. Het landgebruik, en de specifieke mogelijkheden voor bepaalde gewassen, zullen veranderen. Anderzijds biedt het nieuwe kansen in het gebruik van biomassa uit natuurgebieden.

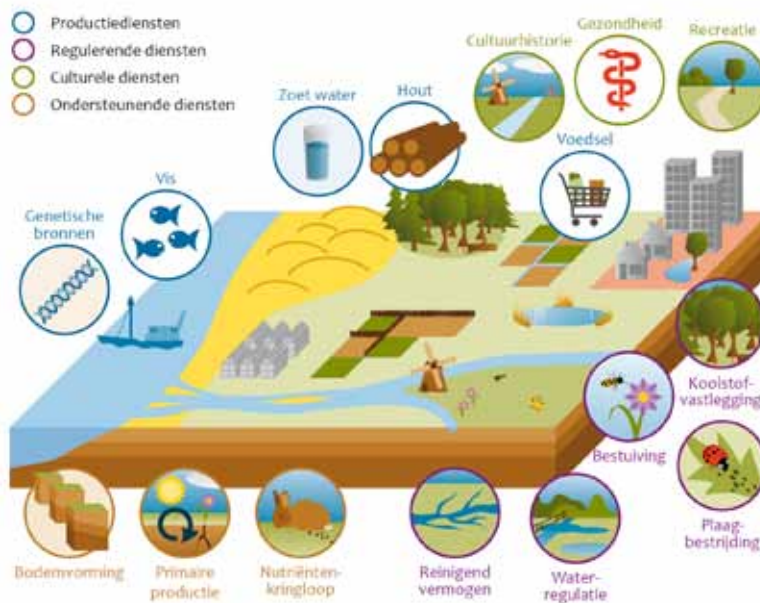
Bodemvruchtbaarheid als ecosysteemdienst

Ecosysteemdiensten zijn de voordelen die mensen ontlenen aan het functioneren van natuurlijke systemen. De voordelen kunnen bestaan uit goederen, zoals voedselgewassen en delfstoffen, of diensten, zoals waterzuivering en natuur. Bodemvruchtbaarheid hoort daar zeker bij. Hierin zijn voedingsstoffen, organische stof en bodembiodiversiteit de sleutelfactoren.

Het concept van ecosysteemdiensten helpt om bewustwording te scheppen over het belang van duurzaam bodemgebruik. Bovendien kan het gebruikt worden als een gemeenschappelijke taal bij de formulering van doelstellingen. Vergoedingen voor ecosysteemdiensten kunnen helpen om de lasten en baten van bijvoorbeeld bodemvruchtbaarheid beter te verdelen over beheerders en gebruikers.

ECOSYSTEEMDIENSTEN OVERAL IN NEDERLAND

Het Nederlandse landschap levert vele, meer of minder zichtbare ecosysteemdiensten



Lit. Wat natuur de mens biedt, ecosysteemdiensten in Nederland. Planbureau voor de leefomgeving (PBL), 2010

Meer doen met bodemleven

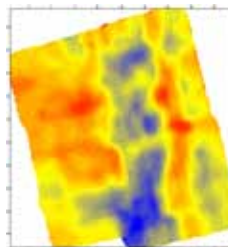
We krijgen steeds meer inzicht in het functioneren van het bodemvoedselweb, en het belang voor bodemvruchtbaarheid. Voor een zinvolle toepassing in de praktijk ontbreekt het nog aan duidelijk omschreven, door de boer stuurbare, indicatoren. De werking van het bodemvoedselweb kan op directe wijze worden gemeten door de aantallen of biomassa van de verschillende soorten te meten. Daarmee is het mogelijk om verschillende trofische niveau's te beschrijven van de ondergrondse voedselketen. Het is ook mogelijk om de activiteit van het bodemleven als geheel te meten door bijvoorbeeld de bodemademhaling of stikstofmineralisatie te meten.

Metingen van specifieke soorten of groepen kunnen eveneens van betekenis zijn. De verhouding tussen schimmels en bacteriën wordt gezien als een indicator voor efficiënt gebruik van voedingsstoffen. Roofaaltjes staan aan de top van de keten in het bodemvoedselweb. Wellicht zijn ze een goede indicator voor de kwaliteit van het gehele bodemvoedselweb. Recentelijk heeft Blgg AgroXpertus de analyse van twee groepen roofaaltjes toegevoegd aan het bodemonderzoek.



Nieuwe sensoren

Technologische vernieuwingen bieden kansen om bodemvruchtbaarheid in te zetten en bij te sturen. Nieuwe bemonsterings- en analysemethoden geven een beter inzicht in de status van de bodemvruchtbaarheid. Traditionele methoden van grondmonsters nemen, gevolgd door chemische analyse in een laboratorium, worden in de toekomst aangevuld, of zelfs vervangen door nieuwe sensoren. Dat biedt ook de mogelijkheid om perceelvariatie in beeld te brengen en vervolgens plaats specifiek te bemesten, water toe te dienen of te spuiten.



De Mol registreert de gammastraling van vier elementen in de bouwvoor van de bodem. De gemeten waarden worden omgerekend naar gehalten aan organische stof, klei, en voedingsstoffen.

Geraadpleegde deskundigen

Henry van den Akker,	Adviseur akkerbouw en vollegrondsgroenten, DLV Plant
Jaap Bloem	Onderzoeker bodembioogie Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Chris Blok	Onderzoeker plantenvoeding en wortelmedia. Glastuinbouw, onderdeel van Wageningen UR
Sandra Boekhold	Adviseur duurzaam bodemgebruik Technische commissie bodem (TCB)
Nelis van der Bok	Adviseur akkerbouw en vollegrondsgroenten DLV Plant
Harm Brinks	Project- en Accountmanager, Kenniscoördinator bodem en bemesting DLV Plant
Lijbert Brussaard	Hoogleraar bodembioogie en biologische bodemkwaliteit Wageningen University, onderdeel van Wageningen UR
Bas van Delft	Onderzoeker ecopedologie Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wim Dijkman	Adviseur watermanagement, natuur en landschap Centrum Landbouw en Milieu (CLM)
Nick van Eekeren	Onderzoeker agrobiodiversiteit en duurzame veehouderij Louis Bolk Instituut (LBI)
Cor Eldering	Adviseur akkerbouw en vollegrondsgroenten DLV Plant

Klaas Froma	Adviseur akkerbouw en vollegrondsgroenten DLV Plant
Marjoleine Hanegraaf	Projectmanager bodemkwaliteit en agrobiodiversiteit Nutriënten Management Instituut (NMI)
Mark Heijmans	Coördinator landbouw en milieu LTO-Nederland
Wim Hilkens	Adviseur vollegrondsgroenten DLV Plant
Willem Hoogmoed	Universitair docent agrarische bedrijfstechnologie Wageningen University, onderdeel van Wageningen UR
Simon Moolenaar	Programma manager SKB
Oene Oenema	Hoogleraar nutriëntenmanagement en bodemvruchtbaarheid Wageningen University, onderdeel van Wageningen UR
Laurens Persoon	Adviseur akkerbouw en vollegrondsgroenten DLV Plant
Bert Philipsen	Projectleider melkveehouderij Livestock Research, onderdeel van Wageningen UR
Martin van Rietschoten	Beleidsmedewerker mest en milieu Ministerie van Economie, Landbouw en Innovatie
Arjan Reijneveld	Product manager landbouw Blgg AgroXpertus
Henk van Reuler	Onderzoeker bedrijfssystemen en bodemvruchtbaarheid PPO-Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit, onderdeel van Wageningen UR
Harm Jan Russchen	Projectleider onderzoek akkerbouw en vollegrondsgroenten DLV Plant
Michiel Rutgers	Projectleider laboratorium voor ecologische risicobeoordeling Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
Kaj Sanders	Beleidsmedewerker mestbeleid Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Wijnand Sukkel	Coördinator onderzoek biologische en duurzame landbouw PPO Akkerbouw, groene ruimte en vollegrondsgroenten, onderdeel van Wageningen UR
Gerard Velthof	Onderzoeker bodemkwaliteit en nutriënten Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Jaap Willems	Sectordeskundige water, landbouw en voedsel Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)

Schriftelijke bronnen

1

Abbott, L.K. en D.V. Murphy, 2007. Soil Biological Fertility: A Key to Sustainable Land Use in Agriculture. Springer, Dordrecht.

Haider, K. en A. Schäffer, 2009. Soil biochemistry. Enfield, N.H: Science.

Oertli, J.J. en W. Chesworth, 2008. Soil Fertility. In: Encyclopedia of Soil Science, pp. 656-668. Springer, the Netherlands.

Patzel, N., H. Sticher en D.L. Karlen, 2000. Soil fertility - Phenomenon and concept. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163(2), 129-142.

2

Mueller, L., U. Schindler, W. Mirschel, T. Graham Shepherd, B.C. Ball, K. Helming, J. Rogasik, F. Eulenstein en H. Wiggering, 2010. Assessing the productivity function of soils. A review. Agronomy for Sustainable Development 30(3), 601-614.

Smaling, E.M.A., O. Oenema en L.O. Fresco, 1999. Nutrient disequilibria in agroecosystems: concepts and case studies. CABI Publishing, Wallingford.

3

Locher, W.P., H. de Bakker en G.G.L. Steur, 1987. Bodemkunde van Nederland: leer- en handboek op hoger onderwijsniveau. Malmberg, Den Bosch.

4

Neyroud, J.A. en P. Lischer, 2003. Do different methods used to estimate soil phosphorus availability across Europe give comparable results? Journal of Plant Nutrition and Soil Science 166(4), 422-431.

5

Koopmans, C., M. Zanen en C. ter Berg, 2005. De kuil: bodembeoordeling aan de hand van een kuil. Louis Bolk Instituut, Driebergen.

Koopmans, C., J. Bokhorst, C. ter Berg en N. van Eekeren, 2007. Bodemsignalen: praktijkgids voor een vruchtbare bodem. Roodbont Uitgeverij, Zutphen.

Van Eekeren, N., J. Deru, H. de Boer en B. Philipsen, 2011. Terug naar de graswortel: een betere nutriëntenbenutting door een intensievere en diepere beworteling. Louis Bolk Instituut, Driebergen.

6

Bronswijk, J.J.B., M.S.M. Groot, P.J.M. Fest en T.C. van Leeuwen, 2003. Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit, resultaten eerste meetronde, 1993-1997. RIVM, Bilthoven.

De Jong, C.J. en K.W. van der Hoek, 2009. Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit : resultaten tweede meetronde, 1999-2003. RIVM, Bilthoven.

7

Dienst Landbouw en Bodembescherming, 2009. Organische stof in de bodem. Vlaamse Overheid, Brussel.

Johnston, A.E., P.R. Poulton en K. Coleman, 2009. Chapter 1 Soil Organic Matter. Its Importance in Sustainable Agriculture and Carbon Dioxide Fluxes. In: Advances in Agronomy pp. 1-57.

8

Hendriks, C.M.A., 2011. Quick scan organische stof: kwaliteit, afbraak en trends. Alterra, Wageningen.

Janssen, B.H., 1984. A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. Plant and Soil 76(1-3), 297-304.

Postma, R., G.W. Korstel, A.J. Termorshuizen, P. Dekker en T. Thoden, 2010. Effecten van verse organische stof. Nutriënten Management Instituut, Wageningen.

9

Kroonen, B. 2006. Wordt het gras, rogge, bladrammenas of bladkool? Keuze groenbemester na mais. Praktijknetwerk Telen met Toekomst.

Timmer, R.D., G.W. Korhals en L.P.G. Molendijk, 2003. Groenbemesters: van teelttechniek tot ziekten en plagen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad.

Timmer, R.D., G.W. Korhals en L.P.G. Molendijk, 2003. Teelthandleiding groenbemesters. Productschap Akkerbouw.

10

Anonymus, 2008. Werkblad Organische Stofbalans uit 'Zorg voor Zand'. NMI, ASG en LBI, Wageningen.

11

Schils, R.L.M., W. van Dijk, J.C. van Middelkoop, J. Oenema, K. Verloop, J. Huijsmans, P.A.I. Ehlert, C. van der Salm, H. Reuler, P. Vreeburg, A.J.G. Dekking, W. van Geel en J.R. van der Schoot, 2012. Effect van mestbeleid op bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst; evaluatie meststoffenwet 2012: deelrapport ex-post. p. 122. Alterra, Wageningen.

Van Dijk, W., P.H.M. Dekker, H.F.M. ten Berge, A.L. Smit en J.R. van der Schoot, 2007. Aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op bouwland bij akker- en tuinbouwgewassen: verkenning van noodzaak en mogelijkheden tot differentiatie. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. AGV, Lelystad.

12

Hanegraaf, M.C., E. Hoffland, P.J. Kuikman en L. Brussaard, 2009. Trends in soil organic matter contents in Dutch grasslands and maize fields on sandy soils. *European Journal of Soil Science* 60(2), 213-222.

Reijneveld, A., P.J. Kuikman en O. Oenema, 2010b. Changes in soil organic matter content of grassland and maize land in the Netherlands between 1970 and 2009. In: *Grassland in a changing world* (Ed. H. Schnyder), European Grassland Federation, Kiel.

Reijneveld, A., J. van Wensem en O. Oenema, 2009. Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma* 152(3-4), 231-238.

Van Dijk, W., P.H.M. Dekker, R. Postma en S.W. Moolenaars, 2007. Bodembeheer op akkerbouwbedrijven in relatie tot het mineralenbeleid. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad.

13

Bardgett, R.D., 2005. *The biology of soil : a community and ecosystem approach*. Oxford University Press., Oxford.

Brussaard, L., P. Caron, B. Cambell, L. Lipper, S. Mainka, R. Rabbinge, D. Babin en M. Pulleman, 2010. Reconciling biodiversity conservation and food security: Scientific challenges for a new agriculture. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2(1-2), 34-42.

Fliessbach, A., H.R. Oberholzer, L. Gunst en P. Mäder, 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118(1-4), 273-284.

14

Koopmans, C.J., F.W. Smeding, M. Rutgers, J. Bloem en N. van Eekeren, (2006). *Biodiversiteit en bodembeheer in de landbouw*. Louis Bolk Instituut, Driebergen.

Rutgers, M. en L. Dirven-van Breemen, 2012. *Een gezonde bodem onder een duurzame samenleving*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

Rutgers, M., C. Mulder, A.J. Schouten, J. Bloem, J.J. Bogte, A.M. Breure, L. Brussaard, R.G.M. de Goede, J.H. Faber, G.A. Jagers op Akkerhuis, M. Keidel, G.W. Korthals, F.W. Smeding, C. ter Berg en N. van Eekeren, 2007. *Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit*. RIVM, Bilthoven.

15

Bokhorst, J.G. en C.J. Koopmans, 2001. Bemesting en bodemgebruik in de biologische landbouw: stand van zaken en knelpuntenanalyse. Louis Bolk Instituut, Driebergen.

Bos, J., J. de Haan en W. Sukkel, 2007. Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken. Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR, Wageningen.

Maäder, P., A. Fliessbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried en U. Niggli, 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science 296(5573), 1694-1697.

16

Bernaerts, S., S. Muijtjens en C. van Iperen, 2008. Niet kerende grondbewerking (NKG). Wageningen UR, Wageningen. PPO, 2003. Effecten van grondbewerking en organische stof op de structuur van de bouwvoor.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen.

Van der Weide, R., F. van Alebeek en R. van den Broek, 2008. En de boer, hij ploegde niet meer?: literatuurstudie naar effecten van niet kerende grondbewerking versus ploegen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenteteelt, Lelystad.

17

Commissie bemesting grasland en voedergrassen, 2011. Adviesbasis voor de bemesting van grasland en voedergrassen. Wageningen.

Van Dijk, W. en W. van Geel, 2010. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen.

18

De Haan, J. en J. Paauw, 2010. Overzicht demonstraties 'Meer waarde voor groencompost': eindrapportage.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business-unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroente, Lelystad.

Van der Burgt, G.J.H.M., P.H.M. Dekker, W.C.A. van Geel, J.G. Bokhorst en W. van der Berg, 2011. Duurzaamheid organische stof in mest: analysemethoden om de stabiliteit van organische stof van verschillende organische meststoffen inclusief digestaat te beoordelen: eindrapportage 2010. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Businessunit Akkerbouw, Groente Ruimte en Vollegrondsgroente, Lelystad.

19

Boumans, L.J.M. en B. Fraters, 2011. Nitraatconcentraties in het bovenste grondwater van de zandregio en de invloed van het mestbeleid: visualisatie afname in de periode 1992 tot 2009. RIVM, Bilthoven.

Schoumans, O.F., 2004. Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland.

Alterra, Wageningen.

Swen, H.M., G.J. Doornwaard, T.C. van Leeuwen en J.W. Reijs, 2010. Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid: LMM-jaarrapport 2005. RIVM, Bilthoven.

20

Hack-ten Broeke, M.J.D., C.L. van Beek, T. Hoogland, M. Knotters, J.P. Mol-Dijkstra, R.L.M. Schils, A. Smit en F. de Vries, 2009. Kaderrichtlijn bodem: basismateriaal voor eventuele prioritair gebieden. Alterra, Wageningen.

Smit, A., C. van Beek, en T. Hoogland, 2007. Risicogebieden voor organische stof: ontwerp van een methodologie voor het aanwijzen van 'risk areas' voor de EU Kaderrichtlijn bodem. Alterra, Wageningen.

Smit, M.I.T. en K. Zwart, 2008. Duurzaam bodemgebruik: inzichten en aanbevelingen. Alterra, Wageningen.

TCB., 2005. Advies duurzamer bodemgebruik in de landbouw. Technische Commissie Bodem, Den Haag.

21

Dekking, A.J.G., 2003. Organische stof verdient meer aandacht. *Ekoland* 12, 18-19.

Hanegraaf, M., M. de Vosser, H.J. van Dooren, D. Durksz, M. de Haan, I. Kok, B. Philipsen, D. ter Veer, V. Hensgens, L. Mokveld en L. van der Weijden, 2004. Naar een betere bodemkwaliteit op zandgrond. *Praktijkonderzoek, Animal Sciences Group, Lelystad*.

Van Dam, H.M., H.C. de Boer, M. de Beuze, A. van der Klooster, L.J.M. van Geel en P. van der Steeg, 2006. Duurzaam bodemgebruik in de landbouw: advies uit de praktijk. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen*.

Van Eekeren, N., J. Bokhorst, H de Boer en M. Hanegraaf 2008. Van schraal naar rijk zand: beoordeling van en maatregelen voor verbetering van zandgrond op melkveebedrijven. *Louis Bolk Instituut, Driebergen*.

22

Römkens, P.F.A.M. en M. Knotters, 2007. Nederland en de Europese Kaderrichtlijn Bodem: kansen en uitdagingen: overzicht van de thematiek en impact voor het landbouwbeleid in Nederland. Alterra, Wageningen.

23

Reijneveld, A., P.A.I. Ehlert, O. Schouwman, A.J. Termorshuizen en O. Huizen en O. Oenema, 2010. Changes in soil P status of grassland in the Netherlands between 1971 and 2009. In: *Grassland in a changing world* (ed. H. Schnyder), European Grassland Federation, Kiel.

Reijneveld, J.A., P.A.I. Ehlert, A.J. Termorshuizen en O. Oenema, 2010. Changes in the soil phosphorus status of agricultural land in the Netherlands during the 20th century. *Soil Use and Management* 26(4), 399-411.

Van Dijk, W., P.H.M. Dekker, H.F.M. Ten Berge, A.L. SMIT en J.R. van der Schoot, 2007. Aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op bouwland bij akker- en tuinbouwgewassen: verkenning van noodzaak en mogelijkheden tot differentiatie. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. AGV, Lelystad*.

24

Luessink, H.H., P.W. Blokland en J.N. Bosma, 2011. Monitoring mestmarkt 2010: achtergronddocumentatie. *LEI Wageningen UR, Den Haag*.

Velthof, G.L., 2011. Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. *Alterra Wageningen UR, Wageningen*.

25

AGENTSCHAPNL, 2010. Statusdocument bio-energie. Agentschap NL, Utrecht.

Hanegraaf, M.C., 2007. Effecten van biomassaketens op landgebruik en bodemkwaliteit in Nederland: ontwikkeling en toepassing van een toetsingskader. NMI, Wageningen.

26

Kattenberg, A. 2008. De toestand van het klimaat in Nederland 2008. KNMI, De Bilt.

Van Eekeren en J. Bokhorst, 2010. Bodemkwaliteit en klimaatadaptatie onder grasland op het Utrechtse zand. Instituut, Driebergen.

27

Chardon, W.J., H. Heesmans en P.J. Kuikman, 2009. Trends in carbon stocks in Dutch soils: datasets and modeling results. Alterra, Wageningen.

Kuikman, P., 2002. Stocks of C in Soils and emissions of CO₂ from agricultural soils in the Netherlands. Alterra, Wageningen.

Vellinga, T.V., A. van der Pol-van Dasselaar en P.J. Kuikman, 2004. The impact of grassland ploughing on CO₂ and N₂O emissions in the Netherlands. In: Nutrient Cycling in Agroecosystems 70(1), 33-45.

28

Chardon, W.J., 2009. Mogelijkheden voor immobiliseren van bodemfosfaat in het kader van natuurontwikkeling. Alterra, Wageningen.

Kemmers, R.H., J. Bloem, J.H. Faber en G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, 2007. Bodemkwaliteit en bodembiodiversiteit bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden. Alterra, Wageningen.

29

De Haan, J., W. Sukkel, L. Molendijk en B. Meijer, 2011. Vruchtbare gronden. Lelystad: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten (AGV), Lelystad.

Ten Berge, H. en J. Postma, 2010. Duurzaam bodembeheer in de Nederlandse landbouw: visie en bouwstenen voor een kennisagenda. Plant Research International, Wageningen.

30

Keuning, S. en A. Smit, 2010. Ecosysteemdiensten in de praktijk van duurzaam bodembeheer: spoor, taal en beeld. Bioclear, Groningen.

Van Eekeren, N., 2010. Grassland management, soil biota and ecosystem services in sandy soils. Proefschrift Wageningen University.

Index

A

aaltjes	1, 8, 9, 13, 29, 30
aardappelen	2, 5, 6, 10, 11, 17, 20, 21, 23, 24, 26, 29
adviesbasis	4, 17

B

bacteriën	1, 6, 7, 13, 14, 25, 30
beleid	12, 19, 21, 22, 23
bemestingsadvies	4, 17
beworteling	5, 21
biodiversiteit	1, 2, 20, 22, 28, 29, 30
biologische	
bodemvruchtbaarheid	1, 4, 14, 16
biologische landbouw	15
bloembollen	4, 11, 12, 13, 14, 17, 20, 21, 30
bodembiodiversiteit	20, 29, 30
Bodembiologische Indicator	14, 30
bodemgezondheid	1, 12, 20, 21
bodemkwaliteit	1, 6, 14, 15, 20, 21, 25, 30
bodemleven	1, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16, 18, 30

bodemstructuur	1, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 29, 30
bodemverdichting	16, 20
bodemweerbaarheid	7, 20, 29
boomteelt	11, 17, 26
broeikasgassen	25, 26, 27, 29

C

chelatie	7
chemische	
bodemvruchtbaarheid	1, 4, 29
Commissie van Deskundigen	
Meststoffenwet	22
Commissie bemesting	17
compost	8, 10, 11, 12, 15, 18, 20, 21, 22, 24, 25, 27

D

dekzand	3, 7, 12
direct zaaien	16
draagkracht	16, 19, 21
duinvaaggronden	3

E

ecosysteemdiensten	30
energieproductie	18, 20, 25, 30

enkeerd	3	I	
erosie	1, 3, 7, 9, 16, 20, 22, 26, 30	inspoelingslaag	3
Europese bodemstrategie	22	K	
F		Kaderrichtlijn bodem	20, 22
Food and Agriculture Organization	2	kalkmeststoffen	17, 18, 19, 21, 28
fosfaat	1, 4, 7, 10, 11, 12, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 28, 29, 30	kationenuitwisselingscapaciteit	3, 4, 7
Fosfaatevenwichtsbemesting	23	klei	1, 3, 6, 8, 10, 16, 18, 21, 22, 26, 29
fosfaatfixerende grond	23	klimaatverandering	20, 26, 27, 29
fosfaatverzadiging	19	koolstof	2, 6, 7, 14, 15, 18, 19, 25, 26, 27, 28, 29
fysische		korrelgrootteverdeling	1, 3
bodemvruchtbaarheid	1, 4, 7, 20	Kyotoprotocol	27
G		L	
gebreksverschijnselen	5	Landelijk Meetnet Bodem	6, 15, 30
gebruiksnorm	80, 144	löss	3, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 19, 20, 26
gebruiksnormen	4, 10, 11, 12, 17, 18, 21, 22, 23, 25, 29	M	
geleide bemesting	17	macro-elementen	1, 4, 17
Gemeenschappelijk Landbouwbeleid	22	mestbeleid	7, 12, 19, 21, 22, 23
gewasbescherming	1, 9, 14, 16, 20, 22, 29, 30	mestbewerking	24
gewasresten	7, 8, 10, 11, 12, 14, 16, 21, 24, 25, 27	meststoffenwet	22
grasland	3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 20, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30	mesttoediening	21, 22
grasland scheuren	24	milieu	2, 6, 15, 19, 22, 28, 30
groenbemester	9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 21, 22, 24, 25, 27, 29	mineralenconcentraten	24
grondbewerking	14, 16, 27, 29	minimale grondbewerking	16, 29
grondhuur	20	N	
grondonderzoek	4, 30	natuur	1, 3, 12, 14, 15, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 30
H		niet kerende grondbewerking	16
humificatiecoëfficiënt	7, 8, 10	nitraatuitspoeling	19
		O	
		organische stof	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30

P		Z	
ploegen	5, 9, 16	zandgrond	3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 15, 16, 19, 21, 23, 26, 28, 29
podzol	3	zeeklei	3, 6, 7, 11, 12, 15, 23
R		ziektewering	1, 8, 19
referentie biologische bodempkwaliteit	14	zoutgehalte	26, 28
regenwormen	5, 7, 13, 14, 15, 16	zuurgraad	1, 3, 4, 6, 8, 14, 17, 28
rivierklei	3, 6, 7	zwavel	1, 4, 7, 17
S			
schaalvergroting	20, 29, 30		
schimmels	1, 7, 8, 13, 14, 16, 30		
snijmaïs	3, 6, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 21, 23, 24, 26		
specialisatie	21, 30		
sporenelementen	1, 5, 6, 8, 17, 28		
substraatteelt	2		
suikerbieten	5, 6, 10, 11, 13, 17, 25, 26		
T			
textuur	1, 3, 20		
V			
veengrond	3, 6, 8, 10, 16, 19, 20, 27		
verdichting	1, 7, 14, 16, 20, 22, 26, 29, 30		
vergisting	20		
vochtleverend vermogen	21		
vochtvoorziening	20, 28		
voedselrijkdom	28		
voedselweb	7, 13, 30		
vruchtwisseling	11, 12, 15, 20, 21, 30		
W			
waterbeheer	21, 28, 29		
watercultuur	2		
Wet bodembescherming	22		
wintertarwe	5, 9, 11, 21, 26, 29		
World Soil Charter	2		

Colofon

Illustratieverantwoording

(11) BIS Nederland, Alterra (14) ABBOTT, L. K. & MURPHY, D. V. (2007). Soil Biological Fertility : A Key to Sustainable Land Use in Agriculture. Dordrecht: Springer. (18-1) SMALING, E. M. A. OENEMA, O. & FRESCO, L. O. (1999). Nutrient disequilibria in agroecosystems : concepts and case studies. Wallingford: CABI Publishing. (19) Chris Blok (20) Gerard Velthof (22-1) Blgg AgroXpertus (23-1) DE BAKKER, H. & SCHELLING, J. (1966). Systeem van bodemclassificatie voor Nederland : de hogere niveaus. Wageningen: Pudoc. (23-2) Marjoleine Hanegraaf (24) Kees Koenders (27) Blgg AgroXpertus (30) Louis Bolk Instituut (31-2) Maynard Reece (34) Adviesbasis voor de bemesting van grasland en voedergewassen & akkerbouw- en vollegroendsgroentengewassen (35-1) Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (35-2) Blgg AgroXpertus (39-1) JOHNSTON, A. E. (1997). The Value of Long-Term Field Experiments in Agricultural, Ecological, and Environmental Research. In *Advances in Agronomy* pp. 291-333. (39-2) DIENST LANDBOUW EN BODEMBESCHERMING (2009). Organische stof in de bodem. Brussel: Vlaamse Overheid. (42-1) NMI (2000). Praktijkgids Bemesting. Wageningen: Nutrienten Management Instituut (43) HAIDER, K. & SCHÄFFER, A. (2009). Soil biochemistry. Enfield, N.H.: Science. (44) http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bladrammenas_groenbemesting_Raphanus_sativus_subsp._oleiferus.jpg (46) www.kennisakker.nl (50-1) ANONYMOUS (2008). Werkblad Organische Stofbalans uit "Zorg voor Zand". Wageningen: NMI, ASG en LBI. (50-2) www.kennisakker.nl (51-2) WUR, A.O.C. (2010). Kennis van Wageningen UR bestemd voor AOC-onderwijs : lespakket gezond in de grond. Wageningen: Wageningen UR. (54) VAN DIJK, W. DEKKER, P. H. M. TEN BERGE, H. F. M. SMIT, A. L. & VAN DER SCHOOT, J. R. (2007). Aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op bouwland bij akker- en tuinbouwgewassen : verkennig van noodzaak en mogelijkheden tot differentiatie. Lelystad: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. AGV. (55) SCHILS, R. L. M. VAN DIJK, W. VAN MIDDELKOOP, J. C. OENEMA, J. VERLOOP, K. HUIJSMANS, J. EHLERT, P. A. I. VAN DER SALM, C. VAN REULER, H. VREEBURG, P. DEKKING, A. J. G. VAN GEEL, W. & VAN DER SCHOOT, J. R. (2012). Effect van mestbeleid op bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst; evaluatie meststoffenwet 2012: deelrapport ex-post. p. 122. Wageningen: Alterra. (58) VAN DIJK, W. DEKKER, P. H. M. TEN BERGE, H. F. M. SMIT, A. L. & VAN DER SCHOOT, J. R. (2007). Aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op bouwland bij akker- en tuinbouwgewassen : verkennig van noodzaak en mogelijkheden tot differentiatie. Lelystad: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. AGV. (59-1) Blgg AgroXpertus (59-2) www.kennisakker.nl (62) Ron de Goede (63) Ron de Goede (64) An Vos (66) Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (67) RUTGERS, M. MULDER, C. SCHOUTEN, A. J. BLOEM, J. BOGTE, J. J. BREURE, A. M. BRUSSAARD, L. DE GOEDE, R. G. M. FABER, J. H. JAGERS OP AKKERHUIS, G. A. J. M. KEIDEL, H. KORTHALS, G. W. SMEDING, F. W. TER BERG, C. & VAN EEKEREN, N. (2007). Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. Bilthoven: RIVM. (71) BOS, J. DE HAAN, J. & SUKKELE, W. (2007). Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken. Wageningen: Wageningen UR, Plant Research International. (75) Louis Bolk Instituut (83) René Rietra (86) SCHOUMANS, O. F. (2004). Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Wageningen: Alterra. (87) BOUMANS, L. J. M. & FRATERS, B. (2011). Nitraatconcentraties in het bovenste grondwater van de zandregio en de invloed van het mestbeleid : visualisatie afname in de periode 1992 tot 2009. Bilthoven: RIVM. (90) VAN DEN AKKER, J.H. & HOOGLAND, T. (2011) Comparison of risk assessment methods to determine the subsoil compaction risk of agricultural soils in The Netherlands. *Soil & Tillage Research* 114, 146-154. (95) VAN DAM, H. M. DE BOER, H. C. DE BEUZE, M. VAN DER KLOOSTER, A. KATER, L. J. M. VAN GEEL, W. & VAN DER STEEG, P. (2006). Duurzaam bodemgebruik in de landbouw: advies uit de praktijk. Wageningen: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. (102) Blgg AgroXpertus (103) SCHILS, R. L. M. VAN DIJK, W. VAN MIDDELKOOP, J. C. OENEMA, J. VERLOOP, K. HUIJSMANS, J. EHLERT, P. A. I. VAN DER SALM, C. VAN REULER, H. VREEBURG, P. DEKKING, A. J. G. VAN GEEL, W. & VAN DER SCHOOT, J. R. (2012). Effect van mestbeleid op bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst; evaluatie meststoffenwet 2012: deelrapport ex-post. p. 122. Wageningen: Alterra. (104) Handelsonderneming K.A. van Spijker (106) LUESINK, H. H. BLOKLAND, P. W. & BOSMA, J. N. (2011). Monitoring mestmarkt 2010 : achtergronddocumentatie. Den Haag: LEI Wageningen UR. (107) VELTHOF, G. L. (2011). Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentratie. Wageningen: Alterra Wageningen UR. (108) Kor Zwart (111) AGENTSCHAP NL (2010). Statusdocument bio-energie. Utrecht: Agentschap NL. (114) SCHAPENDONK, A. H. C. M. STOL, W. & WIJNANDS, J. H. M. (1998). Effecten van klimaatverandering op fysieke en economische opbrengst van een aantal landbouwgewassen. Wageningen: Alterra. (115) KATTENBERG, A. (2008). De toestand van het klimaat in Nederland 2008. De Bilt: KNMI. (119) KUIKMAN, P. (2002). Stocks of C in Soils and emissions of CO₂ from agricultural soils in the Netherlands. Wageningen: Alterra. (120) Bas van Delft (122) WAMELINK, W. RUNHAAR, H. & VAN DOBBEN, H. (2000). Abiotische randvoorwaarden voor natuurdoeltypen. Wageningen: Alterra. (123) Wim Dijkman (125) Gerard Velthof (127) Gerard Velthof (130) VAN OOSTENBRUGGE, R. WOESTENBURG, M. ALKEMADE, J. R. M. VAN EGMOND, P. M. VAN DER HEIDE, C. M. DE KNEGT, B. & MELMAN, T. C. P. (2010). Wat natuur de mens biedt : ecosysteemdiensten in Nederland. Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving. (131-1) Ron de Goede (131-2) The Soil Company

Vormgeving

Wageningen UR, Communication Services

Druk

De Swart, Den Haag

