

# Bodembeheer op akkerbouwbedrijven in relatie tot het mineralenbeleid

W. van Dijk  
P.H.M. Dekker  
R. Postma (Nutriënten Management Instituut)  
S.W. Moolenaar (Nutriënten Management Instituut)

© 2007 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Projectnummer: 32 500617 00

#### Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

AGV

Adres : Edelhertweg 1, Lelystad  
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad  
Tel. : 0320 - 29 11 11  
Fax : 0320 - 23 04 79  
E-mail : [wim.vandijk@wur.nl](mailto:wim.vandijk@wur.nl)  
Internet : [www.ppo.wur.nl](http://www.ppo.wur.nl)

# Inhoudsopgave

pagina

WOORD VOORAF .....	5
SAMENVATTING .....	7
1 INLEIDING.....	9
1.1 Aanleiding .....	9
1.2 Doel en afbakening.....	9
1.3 Leeswijzer .....	10
2 BODEMKWALITEIT EN DUURZAAM BODEMGEBRUIK.....	11
2.1 Wat is bodemkwaliteit? .....	11
2.2 Aspecten van bodemkwaliteit .....	11
2.2.1 Selectie bodemfuncties .....	11
2.2.2 Selectie bodemprocessen.....	11
2.2.3 Inventarisatie sleuteleigenschappen .....	12
2.3 Indicatoren van bodemkwaliteit.....	12
2.3.1 Criteria voor indicatoren voor bodemkwaliteit .....	13
2.3.2 Toestands- en gebruiksindicatoren .....	13
2.3.3 Toestandsindicatoren voor fysische, chemische en biologische bodemkwaliteit.....	14
2.3.4 Aanvullende toestandsindicatoren voor een beoordeling van het bodemleven .....	14
2.4 Relatie tussen bodemkwaliteit, bodembeheer en gewasgroei en -opbrengst.....	15
2.4.1 Effecten van bodemkwaliteit op gewasgroei en -opbrengst.....	15
2.4.2 Waarde van organische stof voor bodemkwaliteit.....	15
2.4.3 Effect van N-bemesting op gewasopbrengst en bodemkwaliteit.....	17
2.4.4 Effect van P-bemesting op gewasopbrengst en bodemkwaliteit.....	18
2.5 Relatie tussen bodem- en waterkwaliteit .....	21
3 RESULTATEN WORKSHOPS .....	22
4 MAATREGELEN VOOR HANDHAVING EN/OF VERBETERING VAN BODEMKWALITEIT .....	24
4.1 Algemeen.....	24
4.2 Organische stofbeheer .....	24
4.2.1 Karakterisering van de aanvoer van organische stof.....	24
4.2.2 Opbouw van organische stof en relatie met nutriëntenhuishouding .....	25
4.2.3 Organische stof en bodemleven .....	27
4.2.4 Het belang van organische stof voor structuur, verkruielbaarheid en slempgevoeligheid .....	27
4.2.5 Vochthoudend vermogen .....	29
4.2.6 Samenvatting organische stofbeheer.....	30
4.3 Grondbewerking en organische stof .....	30
4.4 Overige maatregelen .....	32
4.4.1 Bekalking.....	32
4.4.2 Verhoging/verlaging waterpeil.....	32
4.4.3 Gebruik bodemorganismen.....	34
4.4.4 Berijding .....	34

5	SCENARIOBEREKENINGEN .....	36
5.1	Kosten maatregelen (korte termijn effecten).....	36
5.1.1	Aanpak en uitgangspunten .....	36
5.1.2	Resultaten.....	41
5.1.3	Discussie.....	47
5.1.4	Conclusies.....	49
5.2	Langetermijn effecten .....	50
5.2.1	Organische stof en N-mineralisatie .....	50
5.2.2	Fosfaattoestand .....	51
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....	52
6.1	Conclusies .....	52
6.2	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek.....	53
7	LITERATUUR.....	56
	BIJLAGE 1. DEELNEMERS AAN DE WORKSHOPS BODEMBEHEER EN MINERALENBELEID, VOORJAAR 2007 .....	60

## Woord vooraf

Het gebruik van mineralen (stikstof en fosfaat) in de landbouw wordt wettelijk gereguleerd door een stelsel van gebruiksnormen. De komende jaren worden de gebruiksnormen verder aangescherpt. Dit heeft ook gevolgen voor het bodembeheer via o.a. de gebruiksmogelijkheden van organische mest. In opdracht van het Hoofdproductschap Akkerbouw is in onderhavige bureaustudie gekeken naar de gevolgen van het mineralenbeleid voor het bodembeheer op akkerbouwbedrijven. Deze studie is een basis voor verder onderzoek met betrekking tot een duurzaam bodembeheer in de akkerbouw.

De auteurs



# Samenvatting

Het gebruik van mineralen (stikstof en fosfaat) in de landbouw wordt wettelijk gereguleerd door een stelsel van gebruiksnormen. De komende jaren worden de gebruiksnormen verder aangescherpt. Dit heeft ook gevolgen voor het bodembeheer via o.a. de gebruiksmogelijkheden van organische mest. In opdracht van het Hoofdproductschap Akkerbouw is in onderhavige bureaustudie gekeken naar de gevolgen van het mineralenbeleid voor het bodembeheer op akkerbouwbedrijven. Daarbij is eerst een inventarisatie uitgevoerd naar knelpunten en oplossingsrichtingen (maatregelen). Hierbij is tevens gebruik gemaakt van ervaringen uit de praktijk via een tweetal workshops met telers. Vervolgens zijn scenarioberekeningen uitgevoerd om de kosten van diverse maatregelen in kaart te brengen voor verschillende representatieve bouwplannen. Bij dit onderdeel lag de focus op de organische stofaanvoer.

Uit de workshops met telers kwam vooral de zorg naar voren voor handhaving van het organische stofgehalte (en hiermee samenhangend het N-leverend vermogen) en de fosfaattoestand. Voor de kleigrond werden tevens structuurproblemen genoemd door verschuiving van toediening van dierlijke mest van het najaar naar het voorjaar.

Wat betreft organische stofbeheer zijn de belangrijkste maatregelen de keuze en hoeveelheid van organische mest, het telen van groenbemesters en het achterlaten van gewasresten (graanstro). Ook grondbewerking (ploegdiepte) speelt hierbij een rol. Ter verbetering van de fysische bodemvruchtbaarheid komen vooral maatregelen gericht op vermindering van berijdingsschade in beeld (o.a. lichtere machines, aangepaste bandenspanning, vaste rijpaden, vroegere rassen).

Uit de scenarioberekeningen blijkt dat met het huidige organische mestgebruik vooral op intensieve bedrijven met weinig graan en relatief veel (industrie)groenten de aanvoer van organische stof via gewasresten en organische mest laag is (< 1500 kg effectieve organische stof per ha). Verder blijkt dat het voor de meeste akkerbouwbedrijven moeilijk is een aanvoer te realiseren van 2000 kg effectieve stof per ha. Het is echter onduidelijk welke aanvoer voldoende is om daling van het organische stofgehalte te voorkomen. Lange termijn modelberekeningen laten zien dat bij organische stofgehalten hoger dan 2,5-3% er mogelijk een daling gaat optreden bij het huidige en toekomstige mineralenbeleid. Anderzijds bleek uit een analyse van een groot aantal bodemmonsters (uitgevoerd door Blgg) dat er in de periode 1984-2004 op bouwland gemiddeld nog geen sprake was van een daling van het organische stofgehalte.

Uit de berekeningen blijkt verder dat verhoging van de aanvoer van organische stof via organische mest goedkoper is dan via extra groenbemesters of het achterlaten van graanstro. Wat betreft het eerste gaat het dan vooral om organische mestsoorten met een hoger gehalte aan organische stof dan de in de akkerbouw veel gebruikte varkensdrijfmest. Met laatstgenoemde mestsoort wordt weinig organische stof aangevoerd. Als alternatief kan worden gedacht aan runderdrijfmest of eventueel compost. Bij beide mestsoorten is de beschikbaarheid wel een belangrijke randvoorwaarde.

Bij de keuze van de diverse organische stofbronnen speelt de aard van de organische stof mogelijk ook een rol. Er zijn aanwijzingen dat vooral de labiele organische stof een belangrijke rol speelt bij de vorming van stabiele aggregaten in de bodem en de N-levering van de bodem. De stabiele organische stof die onder andere wordt aangevoerd met organische mest en bodemverbeteraars is echter van belang voor de bijdrage aan het adsorptiecomplex (CEC-waarde) en het vochthoudend vermogen. Dat impliceert dat verschillende organische stofbronnen elk op hun eigen wijze bijdragen aan de verschillende functies van organische stof in de bodem.

Bij gemiddelde opbrengstniveaus is de fosfaatafvoer met geoogst product op akkerbouwbedrijven lager dan de gebruiksnorm in 2007 en 2009. Bij een norm van 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (waarschijnlijk in 2015) is het verschil geringer en nemen vooral bij hoge opbrengstniveaus de risico's van negatieve P-overschotten toe, waardoor de P-toestand van de grond kan dalen. Op dit moment is niet duidelijk aan te geven bij welke P<sub>w</sub> zich, gegeven het P-overschot, het nieuwe evenwicht gaat instellen. Onderzoekservaringen geven aan dat een eventuele daling langzaam (1-2 P<sub>w</sub>-punten per jaar) gaat. Gezien de goede fosfaattoestand van een groot deel van de Nederlandse bodems zal dit op die percelen op korte termijn niet tot knelpunten leiden. Op percelen met een lagere toestand en op de langere termijn ook op percelen met een goede toestand, kunnen knelpunten ontstaan op bedrijven met een hoog aandeel fosfaatbehoefte gewassen (o.a. aardappelen en enkele groentegewassen) wanneer het P<sub>w</sub>-getal ligt in het traject 25-35.

Indicatieve modelberekeningen geven aan dat op termijn (tientallen jaren) de fosfaattoestand, afhankelijk van chemische eigenschappen van de bodem, mogelijk daalt naar P<sub>w</sub> 25. Door reparatiebemesting (4 jaar lang een extra gift van 80 kg kunstmestfosfaat per ha als P<sub>w</sub> gezakt is beneden P<sub>w</sub> 25) stijgt de P<sub>w</sub> weer naar 30-32 om vervolgens weer geleidelijk af te nemen naar P<sub>w</sub> 25. Op lange termijn zullen veel akkerbouwpercelen een P<sub>w</sub>-waarde hebben die steeds tussen P<sub>w</sub>25 en P<sub>w</sub>30 schommelt.

Bij een lage fosfaatgebruiksnorm worden ook verschillen in effectiviteit van de fosfaat in meststoffen steeds belangrijker. Het gaat dan vooral om concurrentie tussen goed beschikbare P uit kunstmest en op korte termijn minder goed beschikbare P uit organische meststoffen.





# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Voor een duurzame, optimale teelt van gewassen is een goede bodemkwaliteit van groot belang. De vraag is hoe bij de huidige en toekomstige wetgeving (Nitraatrichtlijn en Kaderrichtlijn Water) door een duurzaam beheer van de bodem een rendabele gewasproductie kan worden gerealiseerd. Ontwikkelingen op het terrein van de wetgeving die door veel telers als bedreigend worden ervaren, zijn:

- verlagen van de N-gebruiksnormen tot beneden het niveau van de Adviesbasis, waardoor de economisch optimale gewasopbrengst niet meer kan worden gerealiseerd en wat op langere termijn mogelijk ten koste gaat van de bodemvruchtbaarheid (N-leverend vermogen);
- verlagen van de fosfaatgebruiksnorm tot het niveau van evenwichtsbemesting (aanvoer = afvoer), waardoor fosfaatbehoefte gewassen niet meer volgens het bemestingsadvies kunnen worden bemest;
- de fosfaattoestand (Pw25) waaronder een reparatiebemesting van fosfaat is toegestaan, is te laag, zodat problemen kunnen ontstaan op fosfaatfixerende gronden;
- de fosfaat in kalkmeststoffen en in champost die volledig meetelt in de fosfaataanvoer;
- verminderde mogelijkheid om mest toe te dienen vanwege de verlaging van de fosfaatgebruiksnorm, waardoor de organische stofvoorziening onder druk komt te staan ;
- verbieden (drijfmest) en ontmoedigen (vaste mest) van gebruik van mest op kleigrond in de periode 16 september tot 1 februari;
- toepassen van dierlijke mest in het voorjaar op kleigrond wat structuurbederf van de grond kan opleveren;
- onzekerheid over de maatregelen die vanuit de Kaderrichtlijn Water op de telers afkomen.

Daarnaast zijn er nog een aantal "autonome" ontwikkelingen die bedreigend zijn voor de bodemkwaliteit en/of die het belang van een goede bodemkwaliteit vergroten:

- Het toenemende gebruik van zwaardere mechanisatie op de bedrijven die resulteert in een grotere aanslag op de bodemstructuur;
- verminderde mogelijkheden om groenbemesters te telen in verband met vermeerdering van polyfage aaltjessoorten en verminderde mogelijkheid tot chemische grondontsmetting;
- verhoging van grondwaterpeil in sommige regio's en daarmee samenhangend grotere gevoeligheid voor structuurbederf van de grond;
- de economische noodzaak tot specialisatie in specifieke gewassen en terugloop in teelt van 'rustgewassen';
- de teelt van energiegewassen waardoor meer biomassa en daarmee organische stof wordt afgevoerd (effecten zijn wel afhankelijk van soort gewassen die voor dit doel worden geteeld) (Hanegraaf et al., 2007; Hanegraaf & Moolenaar, 2007);
- klimaatverandering, die via een temperatuurverhoging kan leiden tot een verhoogde afbraak van organische stof en die door een verhoogde neerslag in kortere perioden hogere eisen stelt aan bodemfysische eigenschappen.

In opdracht van HPA hebben PPO en NMI een studie uitgevoerd naar bodembeheer op akkerbouwbedrijven i.r.t. het mineralenbeleid (huidige en toekomstige gebruiksnormen).

## 1.2 Doel en afbakening

Het project kent de volgende doelstellingen:

- Inventariseren van maatregelen om, binnen de randvoorwaarden van het mineralenbeleid (huidige en toekomstige gebruiksnormen), de bodemkwaliteit op peil te houden en mogelijk zelfs te verbeteren.
- Het in kaart brengen van zowel technische als bedrijfseconomische gevolgen van maatregelen ter verbetering van het bodembeheer op akkerbouwbedrijven op zowel de korte als de lange termijn (scenarioberekeningen).

### *Afbakening*

- De studie wordt uitgevoerd met gebruiksnormen zoals die in de wetgeving zijn vastgelegd en/of in de toekomst waarschijnlijk worden vastgelegd.
- Bij de scenarioberekeningen ligt de focus op de organische stof en de fosfaattoestand van de bodem.

In het kader van het project is eerst een inventarisatie uitgevoerd, die een bureaustudie en een tweetal workshops met telers omvatte. De inventarisatie is uitgevoerd ter voorbereiding op scenarioberekeningen, die zijn uitgevoerd voor bedrijfstypes die representatief zijn voor de verschillende akkerbouwregio's.

## 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is aangegeven wat de huidige stand is van de (onderzoeks)kennis op het terrein van bodemkwaliteit en duurzaam bodemgebruik en -beheer. Vervolgens zijn de resultaten weergegeven van de workshops met twee groepen akkerbouwers, waarin nagegaan is in hoeverre het onderwerp bodemkwaliteit leeft en welke knelpunten men ervaart en welke oplossingsrichtingen men ziet. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op maatregelen die genomen kunnen worden om de bodemkwaliteit te verbeteren. Aansluitend zijn de technisch economische gevolgen beschreven van diverse maatregelen voor een aantal representatieve bedrijfstypen (hoofdstuk 5). Het rapport wordt afgesloten met een slotbeschouwing met de belangrijkste conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek (hoofdstuk 6).

## 2 Bodemkwaliteit en duurzaam bodemgebruik

### 2.1 Wat is bodemkwaliteit?

Een eerste vraag die kan worden gesteld is wat bodemkwaliteit eigenlijk is. Een beknopte definitie van bodemkwaliteit volgens Doran en Parkin (1993) is “de capaciteit van een bodem om nu en in de toekomst goed te functioneren”.

Belangrijke punten met betrekking tot het functioneren van een bodem zijn:

- productiviteit (plantaardig en biologisch);
- omgevingskwaliteit (het beperken van de emissie van verontreinigingen, pathogenen etc. );
- humane en dierlijke gezondheid (de relatie tussen bodemgezondheid en gezondheid van plant, dier en mens).

Een meer uitgebreide definitie van bodemkwaliteit zou dan ook als volgt kunnen luiden:

“de capaciteit van een bodem om binnen de grenzen van het ecosysteem te functioneren waardoor de biologische productiviteit en omgevingskwaliteit behouden blijven en de gezondheid van plant en dier worden bevorderd”.

De functie van de bodem, oftewel de capaciteit van de bodem om bepaalde functies uit te (blijven of gaan) voeren, staat in deze definities centraal (in het Engels: “fitness for use”). Dit sluit aan bij de definitie van duurzaam bodemgebruik die is gegeven in het “Advies uit de praktijk” over duurzaam bodemgebruik in de landbouw (Van Dam et al., 2006). Daarin is duurzaam bodemgebruik als volgt gedefinieerd: “de bodem zo gebruiken en beheren dat die ook op lange termijn van goede kwaliteit blijft voor de teelt”.

Een definitie van duurzamer bodemgebruik volgens de Technische Commissie Bodembescherming (TCB, 2005) luidt: “Het voorkomen van negatieve gevolgen van het bodemgebruik elders en later, het in stand houden van het bodemgebruik op de lange termijn, het rekening houden met de opvolgbaarheid van andere vormen van bodemgebruik en het onderhouden van ecologische diensten die van algemeen belang zijn”.

In definities van bodemkwaliteit wordt vaak een koppeling gelegd met het gebruik. Zo worden aan het gebruik van een bodem voor landbouw andere eisen gesteld dan aan het gebruik voor natuur of voor woningbouw. Aangezien we hier spreken over bodemkwaliteit in het kader van landbouw, meer specifiek akkerbouw, zullen we ons in deze studie beperken tot het gebruik van het begrip bodemkwaliteit voor de teelt van akkerbouwgewassen.

### 2.2 Aspecten van bodemkwaliteit

In het kader van studies naar bodemkwaliteit wordt vaak onderscheid gemaakt naar relevante bodemfuncties, bodemprocessen en de belangrijkste bodemeigenschappen.

#### 2.2.1 Selectie bodemfuncties

De volgende bodemfuncties, die ook wel ecologische diensten worden genoemd, kunnen worden onderscheiden:

- bodemvruchtbaarheid: nutriënten leveren en biomassa produceren;
- filter, buffer en reactor: reguleren van water, gassen, stoffen en energie;
- habitat voor organismen en bewaarplaats genetische reserve (biodiversiteit);
- bodem als landschapsecologisch element / fysieke structuur;
- adaptatie/veerkracht: bij verstoring en omzetting naar ander bodemgebruik;
- ziekte- en plaagwering.

#### 2.2.2 Selectie bodemprocessen

Bodemprocessen zijn van belang om de bodemfuncties goed te kunnen uitvoeren, waarbij een bepaald bodemproces ten dienste kan staan van verschillende bodemfuncties. De volgende bodemprocessen kunnen worden onderscheiden:

- wortelgroei;
- levering en transport van nutriënten;
- energieleverantie bodemleven;
- zuurstoftransport;

- binding en transport van water;
- buffering van pH en nutriënten;-
- opslag vreemde stoffen;
- afbraak verontreinigingen;
- wind- en watererosie;
- infiltratie.

### 2.2.3 Inventarisatie sleuteleigenschappen

Sleuteleigenschappen zijn intrinsieke bodemeigenschappen die van belang zijn voor een optimaal verloop van de bodemprocessen en liggen dus aan de basis van het goed functioneren van de bodem. Voorbeelden zijn:

- structuur;
- gehalte en kwaliteit van organische stof (OS);
- textuur;
- diversiteit bodemleven;
- infiltratiecapaciteit;
- waterbergingscapaciteit.

#### *Samenvattend*

Als het gaat om het bespreken van aspecten van bodemkwaliteit is het zinvol onderscheid te maken naar bodemfuncties, bodemprocessen en bodemeigenschappen. In het kader van dit project is het met name van belang na te gaan in hoeverre de bodemfunctie bodemvruchtbaarheid bij de huidige en toekomstige wetgeving kan worden gehandhaafd. Verder is het gewenst om na te gaan wat de consequenties van gebruiksnormen zijn voor de processen van de nutriëntenlevering, de energieleverantie voor het bodemleven, de binding en het transport van water en zuurstof en de buffering van pH en nutriënten. Een belangrijke bodemeigenschap in dit verband is met name het gehalte en de kwaliteit van organische stof, maar ook het behoud aan fysische (o.a. structuur) en biologische bodemeigenschappen (diversiteit bodemleven) zijn van belang.

## 2.3 Indicatoren van bodemkwaliteit

Het doel van indicatoren voor bodemkwaliteit is door het STEunpunt voor DUurzame LANdbouw (afgekort STEDULA) in België als volgt omschreven:

- “op betrouwbare wijze de grootte van een parameter of probleem bepalen, zonder noodzakelijk die parameter of dat probleem zelf te meten”. De begrippen parameter en probleem zou je hier ook kunnen vervangen door functie, proces of eigenschap van bodemkwaliteit (zie vorige paragraaf);
- “bepalen in welke richting het bodemgebruik zich ontwikkelt” (TCB).

Indicatoren zijn bijvoorbeeld te gebruiken in een beoordelingssystematiek voor bodemkwaliteit.

### 2.3.1 Criteria voor indicatoren voor bodemkwaliteit

Criteria waaraan indicatoren moeten voldoen:

- relevantie en validiteit, representatief en correct (STEDULA en TCB): relatie met hetgeen wordt onderzocht;
- analytische betrouwbaarheid en herhaalbaarheid (STEDULA);
- eenvoud en praktische bruikbaarheid (begrijpelijk, haalbaar, kosteneffectief) (STEDULA);
- effectiviteit (ook: aanzetten tot acties) (STEDULA);
- gevoeligheid (STEDULA): snel en juist veranderingen weergeven;
- stuurbaarheid (TCB): inzicht in de manier waarop de waarde van de indicator te beïnvloeden is;
- kwantificeerbaarheid (TCB): bekend moet zijn welke waarden de indicator kan aannemen;
- normerend (TCB): aan de waarde van de indicator moet een betekenis gehecht kunnen worden, of deze moet grens-/drempelwaarden op kunnen leveren.

Specifieke aanvullende criteria voor bodemkwaliteitsindicatoren:

- indicatorset moet chemische, biologische en fysische bodemeigenschappen integreren;
- indicatoren moeten bruikbaar zijn onder veldcondities (zowel voor boeren als wetenschappers);
- indicatoren moeten gevoelig zijn voor variaties in management (het moeten zogenaamde “early warning indicators” zijn);
- het is nuttig als de indicatoren al onderdeel zijn van bestaande databases;
- de indicatoren moeten geschikt zijn voor het niveau dat men onderzoekt en ze moeten rekening houden met de variabiliteit van de bodemkwaliteit in tijd en ruimte.

### 2.3.2 Toestands- en gebruiksindicatoren

De TCB stelt dat bij de zoektocht naar indicatoren voor duurzamer bodemgebruik aandacht zou moeten zijn voor “integrerende indicatoren”: zo heeft organische stof (OS) een relatie met de bodemfuncties bodemvruchtbaarheid, fysische bodemkwaliteit, vochtleverend vermogen, functionele biodiversiteit en ziekte- en plaagwering.

Verder maakt de TCB onderscheid tussen toestandsindicatoren en gebruiksindicatoren:

- toestandsindicatoren beschrijven de toestand waarin de bodem zich bevindt.
- gebruiksindicatoren houden direct verband met het gebruik van de bodem en zijn in mindere mate gericht op de bodem zelf.

De TCB (2003) heeft suggesties gedaan voor (toestands)indicatoren waarmee op lokale schaal de toestand van ecologische diensten gemeten kan worden, te weten:

OS, het gehalte aan N- en P-fracties, pH, CEC, Cu, Zn, de maturity index (MI) van nematoden (=de verhouding tussen bepaalde groepen nematoden, zoals bacterievoren, fungivoren, herbivoren, omnivoren en predatoren), biomassa en biodiversiteit regenwormen, biomassa micro-organismen, functionele microbiële biodiversiteit, ziekte- en plaagwerend vermogen van de bodem.

Ook heeft de TCB (2003) suggesties gedaan voor (toestands)indicatoren waarmee op deelstroomgebiedschaal (of groter) de toestand van ecologische diensten gemeten kan worden, te weten:

- waterbufferend vermogen;
- vastlegging koolzuurgas;
- methaanoxidatie;
- biodiversiteit in algemene zin;
- landschappelijke waarden;
- aardkundige waarden.

De TCB (2005) geeft voorbeelden van bodem-gebruiksindicatoren op perceels- of bedrijfsniveau:

- de organische stofbalans.
- de nutriëntenbalans.
- de “overige stoffen” balans: metalen, persistente organische verbindingen, geneesmiddelen, gewasbeschermingsmiddelen.

Wat betreft de invulling van gebruiksindicatoren biedt de balansmethode dus een geschikt instrumentarium. Balansen zijn in het algemeen ook redelijk goed te koppelen aan emissies van nutriënten, bestrijdings-middelen en contaminanten naar bodem, grond- en oppervlaktewater, maar een combinatie met toestandsindicatoren geeft de beste informatie hierover.

Opgemerkt moet worden dat bodembiodiversiteit en fysische bodemkwaliteit niet uit te drukken zijn als balans tussen aanvoer en afvoer. Hiervoor is de monitoring van de toestand dan ook het meest geschikt:

- voor bodembiodiversiteit betreft het de aanwezigheid van verschillende groepen organismen in de bodem;
- voor fysische bodemkwaliteit betreft het de doorwortelbaarheid, de mate van wind/watererosie, de aggregaatvorming, infiltratiecapaciteit, plasvorming, spoorvorming, etc..

“Omdat de bodem traag reageert op menselijk handelen en een achteruitgang meestal moeizaam te herstellen is, heeft de TCB de voorkeur voor het hanteren van gebruiksindicatoren waar dat mogelijk is”.

NMI en PPO zijn van mening dat een gebruiksindicator altijd in combinatie met een toestandsindicator moet worden gebruikt, omdat de combinatie van indicatoren de meest optimale informatie oplevert. Zo is een (tijdelijk) tekort op de organische stof- of P-balans niet zo'n probleem voor gewasgroei bij een hoge toestand (organische stofgehalte of P-toestand van de bodem), maar wel bij een lage toestand.

### 2.3.3 Toestandsindicatoren voor fysische, chemische en biologische bodemkwaliteit

Doran en Parkin (1993) geven ook indicatoren die te gebruiken zijn voor een beoordeling van de bodemkwaliteit. Zij hebben een zogenaamde “minimum data set” voor fysische, chemische en biologische parameters benoemd:

Fysisch:

- bodemtextuur;
- bewortelingsdiepte;
- bulkdichtheid;
- infiltratiecapaciteit;
- waterbergend vermogen;
- waterretentiekarakteristieken;
- vochtgehalte;
- bodemtemperatuur.

Chemisch:

- totaal organisch C en N;
- pH;
- EC;
- mineraal N (NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub>), P en K.

Biologisch:

- microbiële biomassa C en N;
- potentieel mineraliseerbaar N (PMN);
- bodemrespiratie (CO<sub>2</sub>-productie);
- ratio biomassaC/totaal org. C;
- ratio respiratie/biomassa.

### 2.3.4 Aanvullende toestandsindicatoren voor een beoordeling van het bodemleven

In aanvulling op de minimum dataset hebben Doran en Parkin (1993) een aantal indicatoren benoemd die aanvullende informatie geven over de omvang, diversiteit en activiteit van het bodemleven. Het betreft:

- bacteriële biomassa (totaal, actief en verhouding);
- schimmel biomassa (totaal, actief en verhouding) + hyphendiameter schimmels;
- verhouding tussen schimmel- en bacterie-biomassa;
- aantal protozoa;

- aantal nematoden (saprofage en plantparasitaire);
- percentage plantenwortels dat is gekoloniseerd door Mycorrhizae;
- aantal regenwormen;
- aantallen nematoden per groep (bacterievoren, fungivoren, herbivoren, omnivoren en predatoren; maturity index [MI]);
- indicatoren voor kwaliteit van organische stof.

Wat betreft indicatoren voor bodemgezondheid en ecologische bodemkwaliteit zijn nog vele andere indicatoren te benoemen, zie bijvoorbeeld Jensen en Mesman (2006).

#### *Samenvattend*

Indicatoren voor bodemkwaliteit zijn bedoeld om bodemfuncties, bodemprocessen of bodemeigenschappen te kwantificeren. Het is daarbij van belang onderscheid te maken naar toestands- en gebruiksindicatoren. Voorbeelden van toestandsindicatoren zijn het organische stofgehalte en het Pw-getal van grond en voorbeelden van gebruiksindicatoren zijn de organische stofbalans en de nutriënten (b.v. P)-balans.

## 2.4 Relatie tussen bodemkwaliteit, bodembeheer en gewasgroei en -opbrengst

### 2.4.1 Effecten van bodemkwaliteit op gewasgroei en -opbrengst

In deze studie gaat het om bodemkwaliteitsaspecten die van belang zijn voor de teelt van akkerbouwgewassen en dan met name om die aspecten die een relatie vertonen met de gebruiksnormen. Zoals in de voorgaande paragrafen reeds is aangegeven betreft het met name:

- De bodemfuncties bodemvruchtbaarheid, maar ook de filter-, buffer- en reactorfunctie, de functie van habitat voor bodemorganismen en de ziekte- en plaagwering zijn van belang;
- De bodemprocessen nutriëntenlevering en -transport, energieleverantie bodemleven, zuurstoftransport, binding en transport van water en buffering van pH en nutriënten;
- De bodemeigenschappen gehalte en kwaliteit organische stof, structuur en diversiteit bodemleven;
- De toestandsindicatoren organische stofgehalte, P-toestand van de bodem en de gebruiksindicatoren organische stofbalans en P-balans.

In het algemeen kan worden gesteld dat een goede bodemkwaliteit kan leiden tot een goede groei, opbrengst en kwaliteit van het gewas doordat de benodigde bodemfuncties voldoende kunnen worden uitgeoefend. Daarbij moet worden gedacht aan de levering en de buffering van nutriënten, een goede vocht- en luchthuishouding en ziekte- en plaagwering. Een voorwaarde daarvoor is dat de daarvoor benodigde bodemprocessen (bijv. N-mineralisatie, adsorptie van nutriënten aan bodemdeeltjes, transport en opslag van water en lucht, etc.) naar wens kunnen verlopen. Vaak zal sprake zijn van interactie met andere factoren (b.v. weer) en het management. Zo zal een verbeterd vochthoudend vermogen alleen voordelen opleveren in een droge periode gedurende het groeiseizoen. Een hogere N-mineralisatie zal alleen leiden tot een verhoogde groei, indien onvoldoende kan worden gecorrigeerd met (tijds) N-bijbemestingen (bijvoorbeeld in situaties met scherpe N-gebruiksnormen).

Omgekeerd kunnen bij een suboptimale bodemkwaliteit bepaalde aspecten tot op zekere hoogte worden gecompenseerd door een adequaat management (bijv. bij een beperkte vochtlevering kan (intensiever) worden beregend, en bij een beperkte N-levering kan meer en/of vaker N worden toegediend via bemesting). Bij andere aspecten is dat moeilijker (bijv. bij een slechte luchthuishouding en bewortelbaarheid).

### 2.4.2 Waarde van organische stof voor bodemkwaliteit

Via het bodembeheer kan aandacht worden besteed aan de bodemkwaliteit. Zo wordt het organische stofgehalte in de bodem en de daarmee samenhangende eigenschappen enerzijds beïnvloed door de afbraak van organische stof en anderzijds door de hoeveelheid en aard van het organisch materiaal dat naar de bodem wordt aangevoerd, maar ook door de N-bemesting (zie hiervoor). In hoofdstuk 4 wordt uitgebreider ingegaan op maatregelen waarmee de organische stofvoorziening op peil kan worden gehouden.

De waarde van organische stof voor de bodemkwaliteit bestaat uit het positieve effect op chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen. De waarde van organische stof voor chemische bodemeigenschappen kan worden onderverdeeld naar de bijdrage aan:

- De nutriëntenlevering, ofwel de levering van plantenvoedende stoffen door organische stof.

- Bufferend vermogen, ofwel de bindingscapaciteit van organische stof voor voedingsstoffen (vooral positief geladen deeltjes, zoals NH<sub>4</sub>, K, Mg, etc.).

De levering van nutriënten stikstof (N), fosfaat (P) en zwavel (S) door mineralisatie is direct gerelateerd aan de afbraak van organische stof. De mate waarin nutriënten vrijkomen uit organische stof is afhankelijk van de eigenschappen van het materiaal, zoals de afbreekbaarheid en de verhouding tussen koolstof (C) en nutriënten (N, P en S). De voorspelbaarheid van de nutriëntenlevering uit organisch materiaal door mineralisatie is beperkt, aangezien dit een biologisch proces is, wat sterk afhankelijk is van omgevingsfactoren, zoals temperatuur en vocht, die sterk kunnen variëren in ruimte en tijd. Er zijn diverse modellen beschikbaar waarmee de mineralisatie kan worden berekend, maar bij een berekening voor de toekomst moeten altijd aannames worden gedaan ten aanzien van het weer. De mate waarin nutriënten vrijkomen uit organische stof is tevens van invloed op de eventuele verliezen ervan naar het milieu.

Door een goede voorziening van de bodem/bouwvoor met organische stof zal een betere buffering plaatsvinden van de positief geladen ionen (kationen) in de bodem. De uitspoeling van nutriënten die aanwezig zijn als kationen (bijvoorbeeld zoals NH<sub>4</sub>, K, Mg) vermindert dus, waardoor de werking van deze nutriënten wordt vergroot. In het geval van toediening van kunstmest betekent dit dat de nutriënten die daarin aanwezig zijn als kationen ook beter geadsorbeerd kunnen worden aan de organische stof. Dit vermindert de uitspoeling en kan de werking van de via kunstmest toegediende nutriënten vergroten (besparing op toediening).

De waarde van organische stof voor bodemfysische eigenschappen kan worden onderverdeeld naar een bijdrage aan:

- Bodemstructuur, waarbij een verhoogde aggregaatstabiliteit ten goede komt aan de bewerkbaarheid, terwijl de gevoeligheid voor verslemping, erosie (wind en water) en afspoeling wordt verminderd;
- Waterhuishouding, waarbij een verhoogde watercapaciteit onder andere kan leiden tot een preventie of reductie van oogstverlies bij droogte en waarbij een verhoogde waterinfiltratie kan leiden tot een verhoging van het waterbergend en/of afvoerend vermogen.

In het algemeen bestaat er een goed verband tussen de gehalten bodem organische stof en de stabiliteit van bodemaggregaten (structuur). Verlies aan bodemstructuur is een van de belangrijkste oorzaken van bodemdegradatie, waarbij erosieverliezen op kunnen treden van bodemdeeltjes inclusief de geassocieerde organische stof. Daarnaast wordt het mechanisme waarmee bodem organische stof beschermd wordt tegen biodegradatie aangetast wanneer de bodemaggregaten uiteen vallen en de bodem haar structuur verliest.

Bij het tegengaan van verlies van organische stof wordt als bijkomend voordeel tevens een verbeterde bodemstructuur en een verhoogde bodemvruchtbaarheid bereikt. Beheersmaatregelen spelen een belangrijke rol bij het handhaven of verhogen van organische stofgehalten in de bodem en dus bij het vastleggen van koolstof in de bodem. Deze maatregelen kunnen betrekking hebben op bodembeheer in het algemeen en op maatregelen gericht op vochtregulatie, bodemvruchtbaarheid en erosiecontrole in het bijzonder (Swift, 2001).

In geval van extreme weercondities (droogte of regen) mag dan ook verwacht worden dat een goede organische stofhuishouding de nadelige effecten beter zal bufferen. In geval van droogte kan een beter vochtvasthoudend vermogen een positief effect hebben op de gewasopbrengst en in het geval van zeer natte omstandigheden kan een verbeterd waterbergend vermogen tot een verminderde uitspoeling van nutriënten en ook een betere vochtafvoer leiden.

Een divers en actief bodemleven is gunstig voor een natuurlijke onderdrukking van plantenpathogene bodemorganismen. Een rijk bodemleven wordt bevorderd door een regelmatige aanvoer van organische stof waaruit middels mineralisatie voortdurend koolstofbronnen beschikbaar komen als voeding voor het bodemvoedselweb. Er is met name veel onderzoek gedaan naar de ziekteverende eigenschappen van compost, aangezien compost goede mogelijkheden biedt om significante hoeveelheden stabiele organische stof aan te voeren. De Clercq et al. (2003) hebben een uitvoerige review geschreven, waarin zij ingaan op de ziekteverende eigenschappen van het gebruik van compost in zowel vollegrondstoepassingen als in potgrondmengsels. Er bestaan zeer veel literatuurverwijzingen naar de onderdrukking door compost van verscheidene grondgebonden plantenpathogenen, zoals bijvoorbeeld *Phytophthora*-, *Pythium*-, en *Fusarium*-soorten en *Rhizoctonia solani* (Hoitink & Boehm, 1999; Blok et al., 2002). Bestrijding van wortelrot met compost kan net zo effectief zijn als bij gebruik van fungiciden. Overigens kunnen de meeste grondgebonden plantenpathogene bodemschimmels niet worden bestreden met fungiciden: compost is dan ook een van de weinige methoden om deze pathogenen te lijf te gaan. Het belangrijkste effect van het gebruik van ziekteverende compost is dan ook niet de reductie van het bestrijdingsmiddelengebruik (die reductie is beperkt), maar een sterk verminderde gewasschade en oogstverlies. De ziekteverende werking van compost is voornamelijk onderzocht in potgrondmengsels. Als uitgerijpte, stabiele compost gebruikt wordt dan is de ziekteverende werking in potgrondmengsels duidelijk aanwezig. Deze ziektevering is werkzaam tegen een heel scala aan diverse ziekteverwekkende



schimmels. Het meest recent (2003) bleek dit uit een groot EU-onderzoek waarin Wageningen Universiteit participeert, waarin de ziekteverendheid van 16 composten tegen 6 plantenpathogenen is onderzocht (Termorshuizen, persoonlijke mededeling). De mate van ziekteverendheid is echter nu nog moeilijk te voorspellen, omdat deze van vele factoren afhangt en het mechanisme van ziektevering niet volledig is opgehelderd. Uit Nederlands onderzoek (Wageningen Universiteit) blijkt dat de mate van ziektevering sterk is gecorreleerd aan de algemene microbiële activiteit in de compost, die op zijn beurt weer is gecorreleerd aan de afbreekbaarheid van de organische stof in de compost. Voor beide parameters zijn betrouwbare en praktische bepalingmethoden ontwikkeld, wat handvatten biedt voor het voorspellen en manipuleren van de ziekteverendheid van GFT-compost.

### 2.4.3 Effect van N-bemesting op gewasopbrengst en bodemkwaliteit

De verwachting is dat de gebruiksnormen voor werkzame N vooral op zandgronden lager worden dan de huidige N-bemestingsadviezen. De vraag is wat hiervan de consequenties zijn. Duidelijk is wel dat naast het effect op opbrengst en kwaliteit van gewassen (effect op de korte termijn), effecten op bodemkwaliteitsaspecten, zoals het organische stofgehalte (effect op de lange termijn), kunnen worden verwacht. Door het effect op de bodemkwaliteit, kan het effect van een verlaagde N-bemesting voor de opbrengst en kwaliteit van gewassen op de langere termijn toenemen.

Dit kwam onder andere naar voren in 7-jarig onderzoek van PPO dat is uitgevoerd op Proefboerderij Wijnandsrade (Dekker et al., 2003), waar het effect van 4 N-trappen die overeenkwamen met niveaus van 0, 50, 75 en 100% van het N-bemestingsadvies op de opbrengst van consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertrawe en snijmaïs zijn onderzocht. De resultaten op de relatieve opbrengst zijn weergegeven in tabel 1, waarbij de resultaten van de 4 gewassen zijn gemiddeld.

Tabel 1. **Relatieve opbrengsten van 4 N-bemestingsvarianten in 7-jarig onderzoek op Proefboerderij Wijnandsrade. Het betreft gemiddelde opbrengstcijfers van consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en snijmaïs (bron: Dekker et al., 2003).**

Object	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
100% N-Advies	100	100	100	100	100	100	100
75% N-Advies	98	99	101	96	94	97	98
50% N-Advies	92	93	96	92	85	85	86
0% N-Advies	60	64	66	58	43	45	44

De resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

- Bij een jaarlijkse N-bemesting ter grootte van 75% van het N-bemestingsadvies is de opbrengst steeds 2% lager dan die bij 100% van het N-bemestingsadvies. Er is geen cumulatief effect waarneembaar.
- Bij een jaarlijkse N-bemesting ter grootte van 50% van het N-bemestingsadvies is de opbrengst de eerste jaren 7% lager dan die bij 100% van het N-bemestingsadvies en de daarop volgende jaren is die 15% lager. Hier is dus wel sprake van een cumulatief effect.
- Door jaarlijks geen N-bemesting te geven is de opbrengst de eerste jaren 37% lager dan die bij 100% van het N-bemestingsadvies en de daarop volgende jaren is die 55% lager. Ook hier is dus sprake van een cumulatief effect.

De situatie van bemesting volgens 75% van het N-bemestingsadvies kan mogelijk voor de praktijk gaan gelden. In het onderzoek op Wijnandsrade leidde een jaarlijkse, suboptimale bemesting op dit niveau tot een geringe opbrengstderving, maar dit leidde niet na enige jaren tot een grotere terugval in opbrengst. De resultaten bij bemesten volgens 50% van N-bemestingsadvies gaven aan dat dit risico op langere termijn wel aanwezig is.

Naast het effect van het N-bemestingsniveau op de opbrengst is ook gekeken naar het effect van drie bemestingsobjecten na 7 jaar op het organische stofgehalte, het C- en het N-totaal-gehalte (tabel 2.).

Tabel 2. **Organische stofgehalte (% os), C- en N-totaalgehalte in 3 objecten op het eind van het 7-jarig onderzoek op Proefboerderij Wijnandsrade (bron: Dekker et al., 2003).**

Object	% os	C	N	C/N	kg N/ha	kg C/ha
Adviesbasis met mest	2.24	1.24	0.111	11.12	4673	51975
Adviesbasis, alleen kunstmest	2.05	1.11	0.104	10.72	4358	46725
geen N-bemesting	1.89	1	0.096	10.39	4043	42000

In het object met bemesting volgens het N-bemestingsadvies met inpassing van dierlijke mest waren het gemiddelde organische stofgehalte en het C- en N-totaalgehalte hoger dan in het object met alleen kunstmest. Dit komt overeen met de verwachting, aangezien met dierlijke mest organische stof wordt aangevoerd, waarbij een deel ervan mineraliseert en een ander deel in de bodem achterblijft. Verder zijn het organische stofgehalte, het C- en N-totaalgehalte in het kunstmestobject hoger dan in het controle-object zonder N-bemesting. Dit kan worden verklaard door de geringere hoeveelheid gewasresten die in het laatstgenoemde object jaarlijks op de bodem achterblijft, waardoor er ook minder organische stof en N in de bodem terecht komt. De verwachting is dat de N-mineralisatie in het object zonder N-bemesting na 7 jaar lager zal zijn geweest dan in de andere twee objecten.

Het is wel opmerkelijk dat de C/N-ratio in het kunstmestobject hoger was dan in het controle-object zonder N en dat die in het object met dierlijke mest hoger was dan in het kunstmest-object. Normaal gesproken zorgt een N-toediening voor een verlaging van de C/N-ratio van gewassen en dus ook van het daaruit gevormde organisch materiaal. Het is onduidelijk waarom dat hier niet het geval is.

#### 2.4.4 Effect van P-bemesting op gewasopbrengst en bodemkwaliteit

Het voornemen is om voor het vaststellen van de hoogte van de gebruiksnorm voor fosfaat uiteindelijk (in 2015) uit te gaan van evenwichtsbemesting, waarbij de aanvoer gelijk is aan de afvoer met het gewas, inclusief een eventueel onvermijdelijk P-verlies. Naar verwachting zal de gebruiksnorm voor fosfaat in 2015 gelijk zijn aan 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Het is de vraag wat dit betekent voor de opbrengst van gewassen en voor de P-toestand van de grond.

Hierna gaan we in op een drietal vragen die hierbij kunnen worden gesteld:

1. Kan bij de voorgenomen gebruiksnorm voor fosfaat in 2015 worden bemest volgens advies?
2. Zo nee, wat betekent dat voor de gewasopbrengst?
3. zo nee, wat betekent dat voor de ontwikkeling van de P-toestand van de bodem?

*Ad 1.*

Het P-bemestingsadvies bestaat uit een bodemgericht en een gewasgericht advies, waarbij het laatste is gebaseerd op de grondsoort, de P-behoefte van het gewas (gewassen zijn op basis van o.a. P-opname en worteleigenschappen ingedeeld in gewasgroepen met een verschillende P-behoefte) en op de P-toestand van de grond (Van Dijk & Van Geel, 2007).

Op basis van het P-advies kan worden geconcludeerd dat in situaties waarbij sprake is van een intensief bouwplan (hoog aandeel met fosfaatbehoefte gewassen) en een gematigde P-toestand van de bodem, het P-bemestingsadvies hoger is dan de voorgenomen gebruiksnorm voor P in 2015. In die situaties kan in 2015 dus niet meer worden bemest volgens het advies.

*Ad 2.*

In veeljarige proeven heeft PPO in samenwerking met andere WUR-instellingen gekeken naar het effect van het P-bemestingsniveau bij verschillende fosfaattoestanden (weergegeven als Pw-getal) op de opbrengst van uiteenlopende akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen (Ehlert et al., 2006).

De opbrengstderiving ten gevolge van een suboptimale P-bemesting is afhankelijk van het geteelde gewas en de P-toestand van de grond (tabel 3).

Tabel 3. **Indicatieve opbrengstreductie (in procenten) bij gereduceerde fosfaatbemesting (PPO-agv en Alterra).**

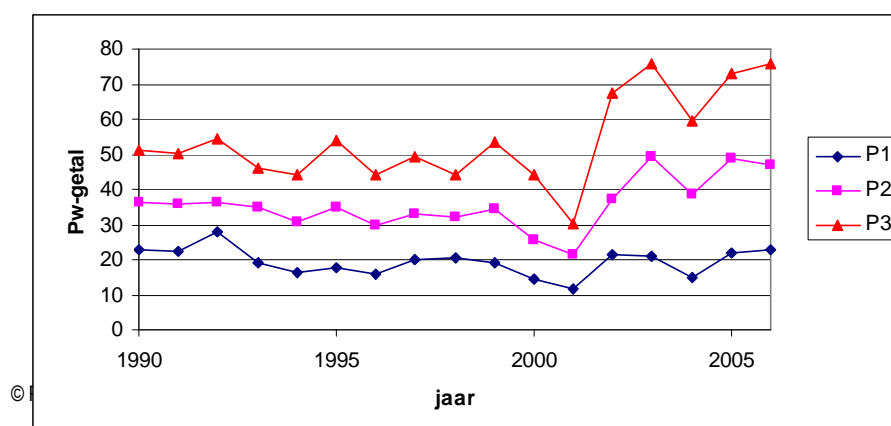
Gewasgroep	P-toestand	Fosfaatbemesting in kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha				
		0	60	90	120	240
0 (o.a. bladgroenten)	Pw-30	4	3	2	2	0
	Pw-45	1	1	1	1	0
1 (o.a. aardappel)	Pw-30	4	1	0	0	0
	Pw-45	2	0	0	0	0
2 (o.a. suikerbiet)	Pw-30	4	1	0	0	0
	Pw-45	2	0	0	0	0
3 (o.a. zomergerst)	Pw-30	0	0	0	0	0
	Pw-45	0	0	0	0	0
4 (o.a. winterarwe)	Pw-30	0	0	0	0	0
	Pw-45	0	0	0	0	0

Hieruit blijkt dat de opbrengstreductie ten gevolge van een suboptimale P-bemesting bij fosfaatbehoefte gewassen beperkt is tot enkele procenten en dat die bij de minder fosfaatbehoefte gewassen in het eerste jaar zelfs niet aantoonbaar is. Opgemerkt moet worden dat een beperkte opbrengstreductie in fysieke opbrengst wel een groot effect kan hebben op het netto bedrijfsinkomen.

Ook in meerjarig onderzoek komt een P-bemesting variërend van 0 tot 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha nauwelijks tot uiting in verschillen in de opbrengst. Het effect van de P-toestand in de bodem op opbrengst bleek groter te zijn dan dat van P-bemesting (Dekker & Ehlert, 2007).

*Ad 3.*

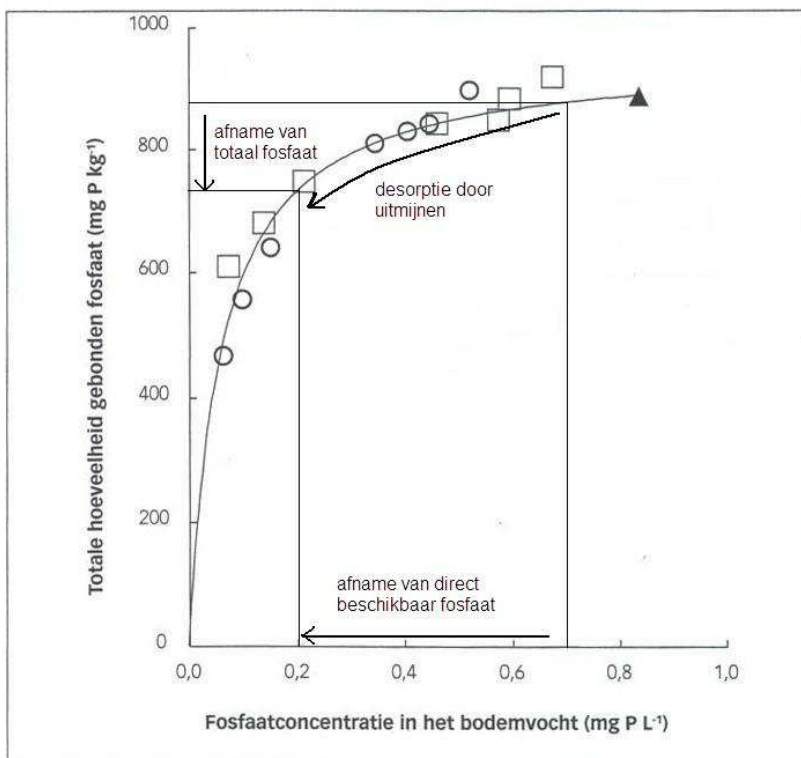
Ook heeft PPO in meerjarig onderzoek (1990-2002) te Lelystad gekeken naar het effect van uiteenlopende P-giften (0, 70 en 140 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar; resulterend in uiteenlopende overschotten op de P-balans) op de ontwikkeling van de P-toestand van de bodem (figuur 1).



Figuur 1. Verloop van het Pw-getal in objecten met een P-gift van circa 0, 70 en 140 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar (respectievelijk de objecten P1, P2 en P3, onderzoek PPO-agv in Lelystad).

De verschillen in het Pw-getal tussen de objecten waren vanaf het begin af aan duidelijk aanwezig, maar het verloop van het Pw-getal vertoont een opmerkelijk verloop. In de periode van 1990 tot 2001 leek sprake te zijn van een dalende tendens, maar die werd in de jaren daarna in alle drie de objecten omgebogen in een stijgende tendens. Voor de plotselinge stijging na 2001 is geen duidelijke verklaring. Mogelijk hebben weersverschillen tussen jaren hier een rol gespeeld. Wel lijkt voorzichtig geconcludeerd te kunnen worden dat het mogelijk lijkt het Pw-getal bij een P-gift van 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha, die evenwel iets hoger is dan "evenwichtsbemesting", op peil te kunnen houden.

Als meerdere jaren achtereen sprake is van een negatief overschot, ofwel een tekort, op de P-balans, zal de P-toestand van de bodem normaalgesproken dalen. Als dit een doelbewuste P-bemestingsstrategie betreft, wordt veelal gesproken van fosfaatuitmijning. Bij uitmijning wordt eerst het gemakkelijk beschikbaar P aan de bodem onttrokken en zal vervolgens het in de bodem vastgelegde (ofwel geadsorbeerde) P langzaam in oplossing gaan. Dit proces wordt P-desorptie genoemd en de verhouding tussen de hoeveelheid P in oplossing en de geadsorbeerde hoeveelheid P is afhankelijk van bodemeigenschappen (vooral het gehalte aan Fe- en Al(hydr)oxiden) en kan worden beschreven met een zogenaamde P-desorptie-isotherm (figuur 2).



Figuur 2. Fosfaatdesorptie-isotherm, die de relatie weergeeft tussen de direct beschikbare P in het bodemvocht en het totaal in de bodem aanwezige hoeveelheid P (naar: Koopmans et al., 2005).

Uit het sterk non-lineaire verloop van de fosfaatdesorptie-isotherm in figuur 2, dat bepaald is met een kalkloze zandgrond, blijkt dat de totale P-onttrekking die nodig is voor het realiseren van een daling van de direct beschikbare P-fractie relatief gering is.

#### Verruiming fosfaatgebruiksnorm bij Pw<25

Uit berekeningen uitgevoerd door Alterra (Ehlert, 2007) blijkt dat zelfs bij een fosfaatoverschot van 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha de

fosfaattoestand van de meeste percelen tendeert naar een toestand van ongeveer Pw25.

Als is aangetoond dat een perceel fosfaatarm of -fixerend is, dan mag op dit perceel een fosfaatgebruiksnorm van 160 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> worden toegepast. Het verschil tussen de gewone en de verhoogde gebruiksnorm mag alleen in de vorm van kunstmest worden toegediend. Door toepassing van de reparatiebemesting zal het Pw-getal stijgen tot ongeveer 30-32 om vervolgens weer af te nemen tot het niveau, waarbij reparatiebemesting weer mogelijk is.

#### *Samenvattend*

De bodemfuncties bodemvruchtbaarheid en de filter-, buffer- en reactorfunctie van de bodem zijn van invloed op gewasgroei, maar deze effecten kunnen deels worden gemaskeerd door het bodembeheer of -management en door omstandigheden (o.a. weer). De waarde van organische stof voor de bodemkwaliteit is groot en kan worden onderverdeeld naar chemische aspecten (nutriëntenlevering en buffering van kationen), fysische aspecten (o.a. bijdrage aan bodemstructuur en vochthoudend vermogen) en biologische aspecten (o.a. onderdrukking plantenpathogene organismen).

Een daling van de N-gebruiksnorm tot 75% van het N-bemestingsadvies zal leiden tot een beperkte opbrengstdaling van gewassen en mogelijk tot een kleine achteruitgang in bodemvruchtbaarheid (organische stofgehalte, N-mineralisatie).

Een verschuiving van het gebruik van dierlijke mest naar kunstmest zal dit effect versterken, tenzij dit wordt gecompenseerd door andere organische stofbronnen als groenbemesters en stro. Een verlaging van de P-gebruiksnorm tot een niveau van 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha betekent dat in bouwplannen met een hoog aandeel P-behoefte gewassen niet meer volgens het P-bemestingsadvies kan worden bemest. Dit zal alleen bij fosfaatbehoefte gewassen kunnen resulteren in een opbrengstdaling van enkele procenten. De P-toestand van de grond kan op korte termijn waarschijnlijk worden gehandhaafd of zal licht kunnen dalen. Op lange termijn zal op veel percelen een fosfaattoestand worden bereikt tussen Pw25 en Pw30. Daling van de toestand beneden Pw25 kan worden voorkomen door toepassing van een reparatiebemesting (verruiming gebruiksnorm).

## 2.5 Relatie tussen bodem- en waterkwaliteit

Er is ook sprake van een relatie tussen bodem- en waterkwaliteit. Enerzijds zal een verbeterd vochthoudend vermogen en een verhoogd vermogen van grond om nutriënten te binden (adsorptie, buffering) minder snel leiden tot uitspoeling van nutriënten. Daarnaast zal een betere bodemstructuur (stabiele aggregaatvorming) het risico van water- en winderosie verminderen. Anderzijds kan een verhoogd organische stofgehalte leiden tot een verhoogd N-leverend vermogen (N-mineralisatie), wat juist kan leiden tot een verhoogde N-uitspoeling. Ook hier is weer sprake van interacties met omstandigheden (o.a. weer/neerslag) en management (hoogte en tijdstip van meststofgift). Een complex van factoren bepaalt dus ook hier de uiteindelijke relatie tussen bodemkwaliteit en milieu.

Het is van belang dat men zich bij het streven naar een betere bodemkwaliteit in relatie tot gewasgroei, realiseert dat dit negatieve effecten voor het milieu (vooral waterkwaliteit) tot gevolg kan hebben. Dit dient zoveel mogelijk te worden voorkomen. Bij het zoeken naar maatregelen die zijn gericht op het verbeteren van de bodemkwaliteit voor gewasgroei (hoofdstuk 4), moet voorkeur worden gegeven aan maatregelen die tevens een positief effect hebben op de waterkwaliteit. De (verhoogde) inzet van groenbemestings- of vanggewassen, waarmee zowel het organische stofgehalte kan worden verhoogd als de N-verliezen naar grond- en oppervlaktewater kan worden verminderd, is hiervan een voorbeeld.

### 3 Resultaten workshops

Als onderdeel van het project zijn in het voorjaar van 2007 twee workshops gehouden met akkerbouwers die deelnemen aan het project Telen met toekomst (bijlage 1) over het onderwerp Bodembeheer & Mineralenbeleid:

1. 12 maart in Bruinisse met akkerbouwers uit het Zuidwestelijk kleigebied;
2. 15 maart in Rolde met akkerbouwers uit het Noordoostelijk zand- en dalgrondgebied.

Het doel van deze beide workshops was om van de deelnemers te horen welke knelpunten zij zien en welke oplossingen volgens hen mogelijk zijn.

Tijdens de workshop in Bruinisse werden de volgende knelpunten genoemd:

De beperking ten aanzien van het gebruik van dierlijke (drijf)mest in het najaar leidt tot een aantal knelpunten:

- Door de verschuiving van het gebruik van dierlijke mest van het najaar naar het voorjaar zullen de problemen op het gebied van de bodemstructuur toenemen. Dit wordt mede veroorzaakt doordat er nog geen goede methode is voor het uitrijden van mest in het voorjaar, o.a. omdat toediening met sleepslangaanvoermachine (ook in wintertarwe) niet wordt gezien als een emissie-arme aanwending;
- Het feit dat in de toekomst geen bemesting met drijfmest na laat gezaaide groenbemesters (na 15 september) kan worden uitgevoerd, wordt gezien als een ontmoedigingsbeleid voor de teelt van groenbemesters. Dit kan resulteren in een verminderd gebruik van groenbemesters en het kan dus ten koste gaan van de organische stofvoorziening;
- De beperkingen t.a.v. het gebruik van organische mest in het najaar maken het ook moeilijker om het organische stofgehalte op zwaardere grond met een hoog percentage organische stof te handhaven. Ook op lichte grond blijkt het soms lastig het percentage organische stof te handhaven. Opgemerkt werd dat op een perceel het percentage organische stof in 25 jaar gedaald is van 4 naar 2,1%. Het ging wel om een perceel dat is omgezet van grasland naar bouwland.
- De toenemende zwaarte van machines, o.a. voor het inwerken van organische mest, heeft een negatief effect op bodemkwaliteit.
- De late oogst van bieten en aardappelen is ook nadelig voor de bodemstructuur. Eigenlijk zou het voor de bodemkwaliteit goed zijn het aandeel granen te vergroten en het aandeel hakvruchten te verkleinen, maar dat is economisch niet aantrekkelijk.
- Er is een gebrek aan kennis van de bodem. Grondonderzoek wordt belangrijker en er wordt opgemerkt dat hogere eisen worden gesteld aan de betrouwbaarheid van het onderzoeksresultaat.
- Hoe kan de combinatie van zorg voor bodemkwaliteit en zorg voor waterkwaliteit worden vormgegeven? Aangegeven wordt dat dit in bepaalde gevallen strijdig kan zijn. Wel dient men zich te realiseren dat de natuurlijke belasting met bepaalde stoffen in bepaalde gebieden hoog kan zijn, waardoor de bijdrage van landbouwkundig handelen beperkt is.
- De kwaliteit van (vooral goedkope) compost is niet altijd voldoende, aangezien daar soms ongewenste verontreinigingen (o.a. plastic en glas) in kunnen zitten.

Verder werden nog de volgende punten genoemd:

- Er is sprake van toenemende aaltjesproblemen op lichte grond.
- De heterogeniteit op percelen maakt een goed bodembeheer lastig.
- Men heeft de indruk dat de bewerkbaarheid slechter werd bij gebruik van varkensmest, omdat de grond vetter wordt.
- De kwaliteit van dierlijke mest wordt steeds belangrijker (vooral homogeniteit).

In Rolde kwamen de volgende knelpunten naar voren:

- Men verwacht het organische stofgehalte en de P-toestand niet op peil te kunnen houden bij verdere aanscherping van de fosfaatgebruiksnorm, waardoor het gebruik van dierlijke mest verder wordt beperkt. Dit wordt mogelijk nog versterkt door een verdere groei van de teelt van energiegewassen waardoor er minder gewasresten en daarmee organische stof op het land achterblijft.
- Ook verwacht men dat de N-mineralisatie gaat teruglopen waardoor er sneller N-tekorten gaan ontstaan bij de gewassen, vooral bij scherpe N-gebruiksnormen. Men verwacht dat de teruggang van de N-mineralisatie een groter knelpunt vormt dan de teruggang van het organische stofgehalte.
- Evenals in Bruinisse wordt het aspect van berijding met zware machines (toediening organische mest en oogst van hakvruchten) genoemd.
- Los van organische stofvoorziening verwacht men door de scherpe N- en P-gebruiksnormen niet meer de gewenste opbrengst en kwaliteit te kunnen halen.

In Bruinisse werden ondermeer de volgende maatregelen/oplossingsrichtingen gesuggereerd:

- Een soepeler beleid t.a.v. de toediening van drijfmest met de sleepslangaanvoermachine.
- Het gebruik van nieuwe meststoffen/bemestingstechnieken, zoals rijenbemesting en geleide bemesting.
- Het gebruik van groenbemesters wordt ontmoedigd, omdat in de toekomst na 15 september geen drijfmest meer mag worden toegediend. Hierdoor wordt de tijdsdruk opgevoerd. Dit zou teruggedraaid moeten worden.
- Stro hakselen + achterlaten.
- Het gebruik van de dikke fractie van dierlijke mest (na mestscheiding).
- Ploegloze akkerbouw. Positief voor organische stof + bodemleven.
- Precisielandbouw – plaatsspecifiek.
- Voorspelling N-mineralisatie – gebruik maken van rekenmodel.

In Rolde werden de volgende (kanttekeningen bij) maatregelen genoemd:

- Het niet afvoeren van stro werd in Rolde gezien als een mogelijke maatregel voor het behouden van de organische stof.
- Gebruik van compost zagen de deelnemers niet als de meest voor de hand liggende oplossing, omdat de bemestingsruimte veelal volledig wordt opgevuld met dierlijke mest.
- Groenbemesters zijn ook niet altijd een oplossing vanwege aaltjesproblemen. Bovendien vindt men het voorgeschreven inwerktijdstip te laat (1 december of minimaal 10 weken tussen zaai en inwerken). Een kortere groeiduur zou het risico van een te sterke aaltjesvermeerdering verminderen.
- Aandacht voor bodemstructuur en het voorkomen van bodemverdichting ziet men wel als een oplossingsrichting om negatieve effecten van een verminderde bemesting zoveel mogelijk te ondervangen.

De groep in Rolde gaf het signaal af dat ze gevraagd worden oplossingen te bedenken voor ontwikkelingen (aanscherping mineralenbeleid) die ze eigenlijk helemaal niet willen en waarvan met het nut ook niet inziet.

Opvallend was het verschil tussen de beide workshops wat betreft het benoemen van knelpunten en oplossingsrichtingen. De akkerbouwers uit het Zuidwestelijk kleigebied zagen de beperking van de uitrijperiode van mest als het grootste knelpunt, terwijl ze niet heel veel moeite hadden met de hoogte van de gebruiksnormen. In het algemeen waren de deelnemende akkerbouwers positief gestemd om met aanvullende maatregelen tot win-win situaties te kunnen komen. De akkerbouwers van de Noordoostelijke zand- en dalgronden hadden wel veel moeite met de voorgenomen verlaging van de gebruiksnormen en men zag weinig mogelijkheden om daar door duurzaam bodemgebruik op te anticiperen.

## 4 Maatregelen voor handhaving en/of verbetering van bodemkwaliteit

### 4.1 Algemeen

Men kan zich afvragen in welke situaties maatregelen nodig zijn voor het handhaven en/of verbeteren van de bodemkwaliteit. Dit zal vooral het geval zijn als de bodemkwaliteit onder druk staat en/of als er sprake is van knelpunten. De belangrijkste (voorziene) problemen en/of knelpunten die voortkomen uit en/of samenhangen met het mineralenbeleid en die ook naar voren kwamen in de workshops, zijn:

- de verlaagde giften aan N en P, waardoor het mogelijk niet meer mogelijk is de economisch optimale opbrengst te realiseren (effect op korte termijn; speelt vooral op zandgronden),
- de verlaagde giften aan N, P en dierlijke mest, waardoor de bodemvruchtbaarheid (organische stofgehalte, N-mineraliserend vermogen, P-gehalte) mogelijk niet meer op peil kan worden gehouden (effect op lange termijn),
- structuurbederf ten gevolge van de beperkingen van de uitrijperiode, waardoor akkerbouwers gedwongen worden de drijfmest meer in het voorjaar toe te dienen (vooral op kleigrond).

Het doel van de maatregelen is in het algemeen gericht op het voorkomen en/of oplossen van problemen en knelpunten, waardoor de functies van de bodem in stand kunnen worden gehouden.

Ten behoeve van het handhaven en/of verbeteren van de bodemkwaliteit kan worden gedacht aan de volgende maatregelen:

- Organische stofbeheer,
  - door keuze en hoeveelheid toe te dienen organische mest;
  - het telen van groenbemesters, inclusief keuze van groenbemesters en aandeel in bouwplan;
  - de behandeling van gewasresten (achterlaten of afvoeren graanstro);
- Grondbewerking, incl. ploegdiepte;
- Bekalking;
- Bouwplan/rotatie;
- Verhoging/verlaging waterpeil;
- Introductie bodemorganismen (N-bindende organismen, mycorrhiza's, etc.);
- Berijding (mest in voor- of najaar, zwaarte machines, bandenspanning, vaste rijpaden).

Het is zinvol om het effect van de hiervoor genoemde maatregelen op bodemkwaliteitsaspecten beter in beeld te brengen en aan te geven (lieft te kwantificeren) wat hierover bekend is en of er behoefte is aan aanvullend onderzoek.

Daarnaast is het zinvol om de praktische en economische aspecten van de voorgestelde maatregelen in beeld te brengen. Daarbij moet worden gedacht aan de wijze waarop een keuze kan worden gemaakt uit beschikbare maatregelen op regio-, bedrijfs- of perceelsniveau, aan de inpasbaarheid van maatregelen op bedrijfsniveau en aan een kosten/baten-analyse. Deels zal dit bij scenarioberekeningen worden meegenomen.

In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op de genoemde maatregelen.

### 4.2 Organische stofbeheer

#### 4.2.1 Karakterisering van de aanvoer van organische stof

Een belangrijk aspect van organische stofbeheer is de aanvoer van organische stof via gewasresten (afhankelijk van i) de gewassen in het bouwplan, ii) of gewasresten worden afgevoerd of achtergelaten en iii) de inzet van groenbemesters) en organische mest of bodemverbeteraars. Daarmee kan de afbraak van de organische stof in de bodem, waardoor het organische stofgehalte geneigd is te dalen, worden gecompenseerd. De balans tussen afbraak van organische stof in de bodem en de aanvoer van organische stof kan worden gekwantificeerd via de organische stofbalans.

De samenstelling van organisch materiaal dat naar de bodem wordt aangevoerd, kan sterk verschillen, waardoor ook de



eigenschappen van dat materiaal sterk uiteen kunnen lopen. Zo kan onderscheid worden gemaakt naar gemakkelijk afbreekbare, labiele verbindingen, zoals suikers, zetmeel en eiwitten en moeilijk afbreekbare, stabiele verbindingen, zoals cellulose, lignine, humuszuren, fulvozuren en huminezuren.

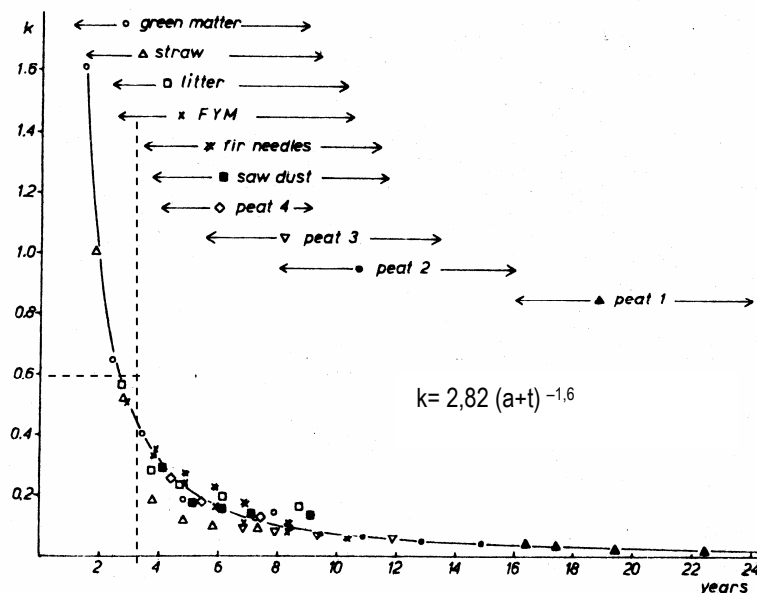
Voor het onderzoeken van effecten van uiteenlopende scenario's van organische stofaanvoer op het organische stofgehalte en andere bodemeigenschappen is veeljarig onderzoek nodig. In Nederland is dat type onderzoek schaars, maar in het verleden is onder andere op de Drie Organische stof Bedrijven te Nagele wel onderzoek gedaan naar het gedrag van uiteenlopende organische materialen na toediening aan de bodem. Op basis daarvan is een rekenmodel ontwikkeld, dat gebruik maakt van het begrip "initiële leeftijd" (Janssen, 1984). Dit model gaat er van uit dat de afbraak van alle organische materialen kan worden beschreven met één afbraakcurve, maar dat de afbraaksnelheid in het begin verschilt per materiaal (figuur 3). De afbraaksnelheid aan het begin is gekoppeld aan het begrip initiële leeftijd, die in het model met de a-waarde is aangeduid: hoe hoger de a-waarde, hoe lager de afbraaksnelheid aan het begin.

Figuur 3. **Verband tussen de relatieve afbraaksnelheid (k) en de tijd in jaren (t), voor uiteenlopende producten met verschillende initiële leeftijden (a) (Bron: Janssen, 1984).**

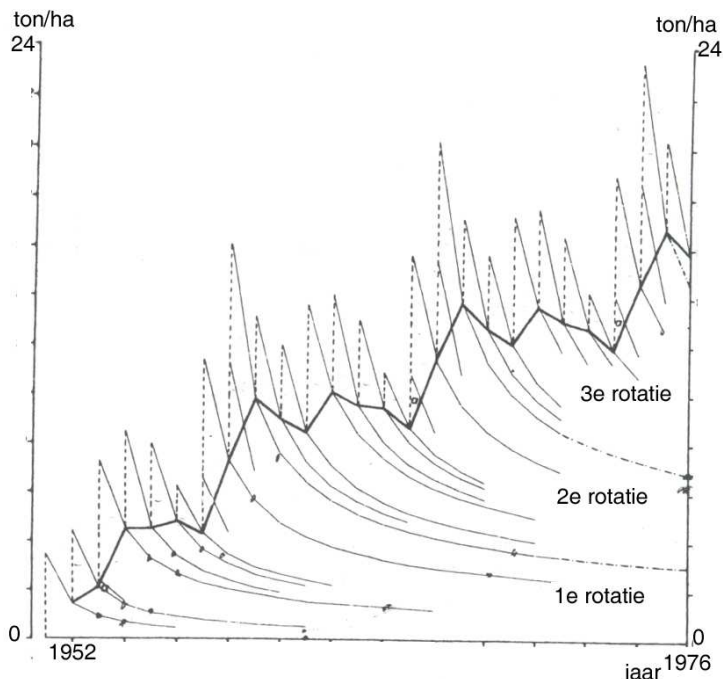
De afbraaksnelheid van de meeste gewasresten is hoog en daarmee is de initiële leeftijd laag (de a-waarde is circa 1 jaar; ofwel ze zijn "jong"). De afbraaksnelheid van houtig materiaal, maar ook die van compost en veen is daarentegen veel lager, waarmee de initiële leeftijd hoog is (de a-waarde bedraagt >3, ofwel ze zijn "oud"). De meeste dierlijke mesten hebben een a-waarde van circa 1,5, en zijn vrij gemakkelijk afbreekbaar. Het moge duidelijk zijn dat de bijdrage van slecht afbreekbaar, stabiel, oud organisch materiaal aan de opbouw van organische stof in het algemeen groter zal zijn dan die van gemakkelijk afbreekbaar, labiel, jong organisch materiaal.

#### 4.2.2 Opbouw van organische stof en relatie met nutriëntenhuishouding

Het verloop van het organische stofgehalte in de grond is het resultaat van de opbouw van organische stof ten gevolge van materiaal dat aan de bodem wordt toegediend en de afbraak van organische stof die al in de bodem aanwezig is. De opbouw van organische stof ten gevolge van jaarlijkse toedieningen van gewasresten en dierlijke mesten is onder andere



bestudeerd in het hiervoor genoemde onderzoek op de Drie Organische stof Bedrijven te Nagele in de periode 1952-1976 (figuur 4).



Figuur 4. **Cumulative ophoping van organische stof ten gevolge van een jaarlijkse toediening van organisch materiaal via gewasresten en dierlijke mesten op de Drie Organische stof Bedrijven te Nagele (Bron: Janssen, 1984).**

In figuur 4 zijn de afbraakcurves van de afzonderlijke toedieningen van organisch materiaal ingetekend en is met de doorgetrokken lijn weergegeven hoeveel daarvan 1 jaar na toediening nog in de bodem aanwezig is. Gedurende de periode van 24 jaar was er duidelijk sprake van een opbouw van organische stof die in diezelfde periode is toegediend. Het is afhankelijk van de afbraak van de organische stof die al in de bodem aanwezig was of dit uiteindelijk resulteert in een stijging of daling van het organische stofgehalte.

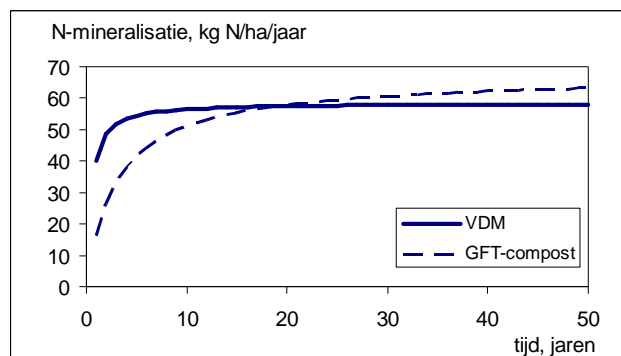
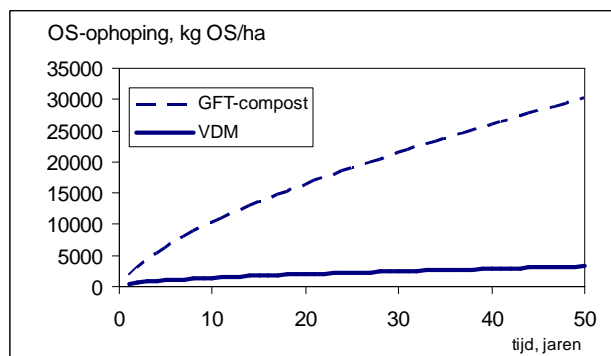
De toediening van organisch materiaal aan grond resulteert in het algemeen in een vrijkomen van stikstof. Bij gewasresten kan het vrijkomen van stikstof door mineralisatie sterk verschillen, doordat de N-inhoud in gewasresten sterk uiteenloopt. Dit komt tot uiting in de C/N-ratio van het materiaal, die bijvoorbeeld voor bieten- en aardappelloof circa 20-25 en voor tarwestro circa 50-60 bedraagt.

In dierlijke mesten is een deel van de N veelal aanwezig in het minerale ammonium ( $\text{NH}_4$ ) en voor een deel in organische verbindingen. De verhouding tussen de hoeveelheid N in dierlijke mest in de minerale en organische fractie verschilt sterk tussen de mestsoorten.

De hoeveelheid N die door mineralisatie vrijkomt uit een (herhaalde) toediening met organische materialen is afhankelijk van:

- de afbreekbaarheid of stabiliteit van de materialen en
- de C/N-ratio van die materialen.

Zo zal een herhaalde toediening van GFT- of groencompost resulteren in een hoge opbouw van organische stof en een betrekkelijk geringe N-mineralisatie, terwijl een herhaalde toediening van dunne varkensmest zal resulteren in relatief gering opbouw van organische stof en een hoge N-mineralisatie (figuur 5).



Figuur 5. **Verloop van de opbouw van organische stof (links) en de jaarlijkse N-mineralisatie (rechts) die het resultaat is van een jaarlijkse toediening van GFT-compost (6 ton drogestof/ha/jaar, met 82 kg N totaal) of varkensdrijfmest (20 ton VDM/ha/jaar, met 60 kg N totaal)).**

Voor de opbouw van organische stof is het zinvol vooral stabiele, "oude" organische stof naar de bodem aan te voeren, aangezien deze organische stof minder snel afbreekt dan "jonge" organische stof. Het is vooral deze "oude" organische stof die een bijdrage kan leveren aan de buffering van kationen (ammonium, kalium, calcium, magnesium) via het kationen adsorptie complex (ofwel CEC). Het vermogen van organische stof om kationen te binden, wordt vooral bepaald door COOH-groepen in organische stof.

Het vermogen van een grond om kationen vast te houden is van invloed op de gewasproductie. Het is de vraag welk gehalte aan organische stof moet worden nagestreefd om de minimaal benodigde/gewenste CEC te realiseren? Door Janssen (persoonlijke mededeling) wordt een vuistregel gehanteerd waarbij de CEC een productielimiterende factor is als de CEC kleiner is dan 30-40 mmol (+) kg<sup>-1</sup> grond bij een pH (H<sub>2</sub>O) van 7. De nalevering van kationen wordt beneden die CEC zo laag dat het beperkend wordt voor de productie. Een CEC groter dan 100 mmol kg<sup>-1</sup> grond bij een pH van 7 is niet meer van invloed op gewasproductie. De door Janssen aangehaalde vuistregels worden niet nader onderbouwd. Wel wordt door Bolt et al. (1978) aangegeven dat bij een CEC < 10 mmol (+) kg<sup>-1</sup> geen sprake meer van buffering is, omdat dan de hoeveelheid geadsorbeerde ionen nauwelijks groter is dan die in de oplossing.

In een zandgrond met 3% organische stof (~15 g C kg<sup>-1</sup>), is de CEC bij een actuele pH van 5, 6 en 7 gelijk aan respectievelijk 10, 14 en 38 mmol (+) kg<sup>-1</sup>. Er is dus in zandgronden sprake van een zeer sterke afhankelijkheid van de CEC van de pH en de CEC kan dan ook effectiever worden beïnvloed door het aanpassen van de pH dan door het verhogen van het organische stofgehalte.

Overigens lijkt een organische stofgehalte van 3% in zandgronden wel een minimaal gewenst niveau om ook bij gangbare actuele pH's van 6 (overeenkomend met pH-KCl van 5) nog een redelijke CEC te hebben. Voor kleigronden ligt het minimaal gewenste niveau aan organische stof ten behoeve van de bijdrage aan de CEC aanmerkelijk lager, omdat de kleideeltjes voor een voldoende CEC zorgen.

#### 4.2.3 Organische stof en bodemleven

De dynamiek van de afbraak van gewasresten en ander organisch materiaal en de daarmee samenhangend N-mineralisatie wordt bepaald door de omvang, activiteit en eigenschappen van de populaties van micro-organismen (zoals schimmels en bacteriën), meso-fauna (nematoden, springstaarten en mijten) en macro-fauna (zoals regenwormen). Achterlaten van gewasresten is in de regel gunstig voor het stimuleren van de activiteit van regenwormen. Wanneer er wordt geploegd, worden de gewasresten ondergewerkt en worden regenwormen verdreven (zie verder). Blanc et al (2006) gaan in op de ruimtelijke verdeling van nematoden over 3 verschillende habitats: verse organische stof, poriën tussen de aggregaten in en de aggregaten zelf. Deze verdeling hangt af van het gedrag van verschillende groepen nematoden: bacterie- en schimmeleeters blijken beide een voorkeur te hebben voor verse organische stof en de poriën tussen de aggregaten.

Fontaine et al. (2003) gaan in op het zogenaamde priming effect: het verschijnsel dat de organische stof in de bodem versneld afbreekt na het toevoegen van verse organische stof aan de bodem. Vaak wordt dit effect toegeschreven aan een algemene toename van microbiële activiteit die het gevolg is van een verhoogde beschikbaarheid van energie door de aanvoer van verse organische stof. De mechanismen achter het priming effect zijn volgens Fontaine et al. (2003) echter veel complexer: in hun review ontwikkelen ze op basis van de tegenstrijdige resultaten uit de literatuur het concept van competitie van energie en nutriënten door verschillende micro-organismen die betrokken zijn bij de afbraak van verschillende vormen van organische stof. Neill & Gignoux (2006) werken het priming effect verder uit in een model voor afbraak van bodem organische stof met speciale aandacht voor microbiële groei.

Verder speelt recent toegediend organisch materiaal en het daaraan gerelateerde bodemleven een belangrijke rol voor de bodemstructuur (met name de aggregaatforming; zie verder).

#### 4.2.4 Het belang van organische stof voor structuur, verkruielbaarheid en slempgevoeligheid

De totale hoeveelheid organisch materiaal heeft een positief effect op de structuur van de bodem via onderstaande aspecten (Shepherd et al., 2000):

- Bulkdichtheid: Door het organisch materiaal wordt de minerale fractie van de bodem (met een hoge dichtheid) verdund, waardoor de minerale dichtheid van de bodem afneemt.
- Meer kleine poriën: Door organische stof wordt de oppervlakte van de bodem vergroot. Het aantal poriën neemt toe

- door de verbeterde aggregatie en door de grotere dichtheid zijn er relatief meer kleinere poriën.
- Doordat organische stof een stimulerende werking op bodemorganismen heeft, kan het aantal gravende bodemorganismen zoals wormen toenemen. Door het graven van gangen verbetert de structuur.
- Transport van vocht en lucht: over het algemeen heeft bodem organische stof een positief effect op het watertransport door de bodem, waardoor er minder anaërobie plaatsvindt.
- Aggregaatstabiliteit: vooral labiel organisch materiaal draagt bij aan de aggregaatstabiliteit, waardoor slempgevoeligheid wordt verminderd. Niettemin spelen ook stabiele humusvormen een rol. Op de aggregaatstabiliteit wordt hieronder dieper ingegaan.

Voor de aggregaatstabiliteit blijkt labiel organisch materiaal een betere voorspeller dan het totale organische stofgehalte. De positieve invloed van organisch stof op de aggregaatstabiliteit is toe te schrijven aan (Sparling et al., 2003):

- binding tussen klei en humusmoleculen;
- myceliumdraden van schimmels en actinomyceten;
- plakkerigheid van uitscheidingsproducten van micro-organismen (polysacchariden);
- stimulering wortelontwikkeling: wortels houden bodemdeeltjes bijeen en microflora neemt toe;
- stimulering regenwormen.

Een vrij recent onderzoeksgebied betreft de rol van glomaline, een glycoproteïne (een eiwit met daaraan gekoppeld een of meerdere suikereenheden (polysacchariden)). Dit onderdeel van bodem organische stof is pas in 1996 ontdekt (door Sara Wright; [www.ars.usda.gov](http://www.ars.usda.gov)) en men neemt aan dat deze eiwitstructuur de "lijm" vormt die bodem-aggregaten vormt en bij elkaar houdt.

Wright & Upadhyaya (1998) vonden een lineaire correlatie tussen aggregaatstabiliteit en glomalinegehalten in de bodemaggregaten. Glomaline bestaat zelf voor 30-40% uit koolstof en doordat het bijdraagt aan de vorming van aggregaten wordt bodem-organische stof goed beschermd/vastgelegd in de bodemdeeltjes. Tot voor kort werd aangenomen dat humuszuren de belangrijkste bijdrage leveren aan de koolstof in de bodem. Nu is echter bekend dat glomaline voor ca. 27% bijdraagt aan de voorraad koolstof in de bodem terwijl deze bijdrage voor humuszuren 8% is.

Mycorrhiza-schimmels leven in directe symbiose met plantenwortels en blijken de enige producenten van glomaline te zijn. De naam glomaline komt van de taxonomische groep *Glomales* waar de mycorrhizaschimmels toe behoren. De schimmels gebruiken koolstof van de plant om te groeien en maken daar glomaline van als een soort coating voor hun hyphen.

Wanneer de plantenwortels groeien worden er nieuwe hyphen gevormd en de oude sterven af. Daarbij komt glomaline vrij in de bodem en hecht het zich aan de andere bodembestanddelen (minerale delen en organische stof).

Activiteiten die de groei van mycorrhiza-schimmels bevorderen, leiden dus ook tot een toename van glomaline in de bodem. Wanneer de schimmels zich niet goed kunnen ontwikkelen, zal ook de productie van glomaline stagneren. Grondbewerking heeft een negatief effect op het voorkomen van mycorrhiza's en dus ook op het glomaline-gehalte (zie verder). Wright bestudeerde de glomaline-gehalten in verschillende landbouwsystemen en vond dat deze gehandhaafd werden of toenamen door het achterwege laten van grondbewerking (no-tillage), door een optimale bodembedekking door de teelt van groenbemesters, door een verminderde P-input en door het beperken van gewassen in de rotatie die slechts weinig of geen mycorrhizaschimmels in symbiose met hun wortelstelsel hebben. Dit zijn bijvoorbeeld gewassen van de familie Brassicaceae (koolsoorten) en van de mosterdsoorten (Wright et al., 1999; Wright & Anderson, 2000; Nichols & Wright, 2004). Het is niet bekend hoe belangrijk het glomaline-gehalte in Nederlandse gronden is. Vermoedelijk is de betekenis hiervan in Nederland lager, omdat mycorrhiza's in de vruchtbare Nederlandse gronden een minder belangrijke rol spelen.

Omdat er veel verschillende methodieken worden toegepast om de aggregaatstabiliteit te bepalen is het moeilijk onderzoeken te vergelijken. Toch blijkt er een aantal wetmatigheden.

- Over het algemeen is het labiele deel van organische stof (met relatief veel mono- en poly-sacchariden) samen met wortels en schimmelhyphen verantwoordelijk voor aggregaatvorming (Loveland & Webb, 2003).
- Organische stof zelf is niet een stof die goed bindt. Niet de hoeveelheid maar de rangschikking van organische stof is belangrijk: de verbindingen van labiel organisch materiaal met de bodemdeeltjes (voornamelijk binnen bodemaggregaten) zijn cruciaal. De rangschikking van organische stof is in sommige gronden belangrijker dan de hoeveelheid organische stof (Loveland & Webb, 2003).
- Boven een bepaalde concentratie aan organische stof neemt de aggregaatvorming niet verder toe (Loveland & Webb, 2003).
- De hydrologische geschiedenis van aggregaten is van groot belang voor hun gedrag (Loveland & Webb, 2003).
- Minimale of geen grondbewerking leidde tot een betere aggregaatstabiliteit, hoewel dat vaak pas na het 5<sup>e</sup> jaar significant was (Loveland & Webb, 2003).
- Naarmate regenwormen beter met organisch materiaal worden voorzien zijn hun uitwerpselen stabiel (Sparling et al., 2003).
- De invloed van weersomstandigheden op de stabiliteit van aggregaten is veel groter dan de invloed van groenbemesters op de stabiliteit (Sparling et al., 2003).

De bijdrage van organische stof aan de aggregaatstabiliteit is afhankelijk van het organische materiaal dat is toegevoegd, het tijdstip van toevoeging en het tijdstip van het meten van de aggregaatstabiliteit:

- Glucose-achtige componenten werken sterk na 2-3 weken, terwijl de werking na 4-6 maanden afneemt.
- Cellulose is het meest effectief na 6-9 maanden maar minder effectief dan glucose.
- Het effect van resten van raaigras neemt toe tot een maximum gedurende 3 maanden. Dit maximum effect wordt gedurende maximaal 4-6 maanden behouden. In de maanden daarna neemt het effect af.

De voor de aggregaatvorming belangrijke componenten hebben dus vooral het eerste jaar effect. Daarom is de aggregaatstabiliteit onder grasland (continue productie van organisch materiaal) het grootst en neemt deze sterk af onder bouwland. Een optimale aggregaatstabiliteit vereist daarom een biologisch actieve bodem met regelmatige aanvoer en afbraak van jong organisch materiaal.

In het algemeen is er een belangrijke rol voor organische stof in de vorming van aggregaten die vervolgens weer bijdragen aan een goede bodemstructuur. Maatregelen die aggregaatvorming verminderen, zijn:

- een intensieve grondbewerking (zie verder);
- het bewerken van de bodem wanneer deze te droog of te nat is;
- een overmatige N-bemesting;
- te hoge Na- en Mg-gehalten in de bodem.

Vanuit traditioneel landbouwkundig oogpunt worden bodemaggregaten vooral in verband gebracht met de verkruielbaarheid en slempgevoeligheid van een grond. Uit Locher en De Bakker (1990) blijkt dat gronden met 3 en 7% lutum vanuit oogpunt van verkruielbaarheid geen organische stof nodig hebben voor de meeste akker- en tuinbouwgewassen. Bij hogere lutumpercentages worden wel eisen gesteld aan het organischestofgehalte. Een grond die goed verkruielbaar is, heeft echter een lage structuurstabiliteit en zal daardoor gevoeliger zijn voor verslemping (het verstopt raken van poriën doordat bodemaggregaten uiteenvallen onder invloed van regen).

Door Loveland & Webb (2003) wordt gewezen op de vuistregel dat gronden met <2% bodem organische koolstof onstabiel zijn, die met 2-2,5% redelijk stabiel en die met >2,5% zeer stabiel. Omdat er een sterke correlatie bestaat tussen klei en organische stofgehalte, moet voor dit minimumniveau onderscheid gemaakt worden tussen bodemtypen. Er is nog te weinig onderzoek naar dit onderwerp gedaan, om die differentiatie te kunnen kwantificeren.

#### 4.2.5 Vochthoudend vermogen

Het effect van organische stof op de hoeveelheid beschikbaar water varieert met het bodemtype. Op zandgronden is het effect het grootst, maar het verzorgt ook hier niet meer dan 15% van de variatie in bodemvocht. In bodems met een fijne textuur zoals klei, zorgt organische stof voor een afname in volumedichtheid, toename in poriegrootte en is een groter deel van de poriën gevuld met lucht, waardoor het vochthoudend vermogen zelfs kan afnemen (Loveland & Webb, 2003).

Macro-aggregaten ter grootte van zand zorgen voor een beter vochtvasthoudend vermogen en gaan compactie tegen, terwijl organische stofaggregaten van invloed zijn op de zuurstofhuishouding en water-infiltratie (Carter, 2002).

Bij een toename in organische stofgehalte neemt niet alleen het vochtgehalte bij veldcapaciteit ( $pF \sim 2,0$ ), maar ook bij het verwelkingspunt ( $pF \sim 4,2$ ) toe. Vooral op zandgronden neemt de hoeveelheid beschikbaar water toe bij een hoger organische stofgehalte. Daarbij verdwijnt de knik uit de  $pF$ -curve. Hierdoor zijn de poriën niet ineens leeg en zijn gronden met een hoger organische stofgehalte minder gevoelig voor droogte. Daarnaast is de infiltratiesnelheid hoger en wordt de beworteling gestimuleerd waardoor er meer water in het bodemprofiel terecht komt en dit beter opgenomen kan worden.

Een groeiend en gesloten gewas onttrekt in 8 dagen ongeveer 40 mm water uit de bouwvoor. Op basis van een  $pF$ -curve van de grond kan worden berekend hoeveel organische stof er nodig is om die hoeveelheid van 40 mm te kunnen leveren. Uit berekeningen (niet gepresenteerd) met een standaard  $pF$ -curve blijkt dat in bovengrond (0-25 cm) met een laag lutumgehalte (3%) minimaal 1% organische stof nodig is om de 40 mm te kunnen leveren. In een grond zonder lutum zal het organische stofgehalte nog wat hoger moeten zijn.

Gewasresten dragen ook bij aan een bedekking van de bodem en daardoor aan een verminderde (wind en water) erosie en aan een verminderde evapotranspiratie. Naast een verhoging van het gehalte (verse) organische stof leidt het achterlaten van gewasresten dus ook direct (via de organische stof) en indirect (via verminderde verdamping) tot meer bodemvocht. Dit leidt vervolgens ook weer tot een verhoogde activiteit van regenwormen in de bodem. De regenwormenactiviteit leidt vervolgens tot verbetering van porositeit en bodemstructuur en daardoor tot een toename van de infiltratiecapaciteit.

#### 4.2.6 Samenvatting organische stofbeheer

In het kader van een goed organische stofbeheer is het van belang om voldoende organische stof aan te voeren via gewasresten, groenbemesters en organische mesten en bodemverbeteraars. Deze materialen kunnen worden gekarakteriseerd op basis van afbreekbaarheid en N-inhoud (C/N-ratio). De organische stof afkomstig van gewasresten, groenbemesters en organische mesten is relatief makkelijk afbreekbaar en dit materiaal vervult een belangrijke rol voor de N-mineralisatie en het onderhouden en verbeteren van de bodemstructuur (aggregaatvorming). Organische stof vervult ook een rol bij de buffering van ammonium, kalium, magnesium en calcium via het adsorptiecomplex en bij het vochthoudend vermogen van gronden. Daarvoor is met name de stabiele, gehumificeerde organische stof van belang, die relatief eenvoudig via bodemverbeteraars met een hoog aandeel aan stabiele organische stof kan worden aangevoerd.

### 4.3 Grondbewerking en organische stof

Nuttige effecten van grondbewerking zijn het verbeteren van de bodemstructuur in bepaalde gronden, het opheffen van bodemverdichtingen en het herstellen van de bewortelbaarheid, het bijdragen aan onkruidbestrijding, het uitputten van de onkruidzaadbank, het vergroten van de zuurstofvoorziening, het beperken van de verdamping en het beperken van ammoniakverliezen na de toediening van dierlijke mest. Daarnaast heeft grondbewerking ook effecten op de hoeveelheid en kwaliteit van de organische stof en het bodemleven. In deze paragraaf gaan we verder in op deze aspecten.

Grondbewerking is een nogal breed begrip en er zijn vele verschillende manieren om de grond te bewerken en te ploegen. Ook het tijdstip waarop dit gebeurt, is van groot belang.

Inmiddels worden er vooral in de Engelstalige, wetenschappelijke literatuur allerlei varianten beschreven die zich bevinden in het spectrum tussen gangbare grondbewerking en het volledig achterwege laten van grondbewerking (gehanteerde termen zijn *conventional tillage* en *no-tillage: zero, reduced, minimum, ridge en zone tillage*). Ze verschillen in de mate en de diepte waarin de grond wordt bewerkt en de impact die dat heeft op de inwerking van gewasresten, de omzetting van organische stof en het stimuleren en/of verstoring van het bodemleven.

Grondbewerking kan zowel positief als negatief uitpakken voor de biologische activiteit in de bodem. Wanneer de gewasresten diep worden ondergewerkt, dan zal de afbraak van deze organische stof nauwelijks op gang komen en dragen de gewasresten niet bij aan de opbouw en mineralisatie van organische stof in de bodem. In plaats daarvan bestaat de kans dat deze verrotten. Het ondiep inwerken van gewasresten zal in het algemeen de omzetting ervan door bodemorganismen bevorderen.

De ploegdiepte is ook van belang voor de ontwikkeling van het organische stofgehalte. Aangezien de ploegdiepte in de afgelopen decennia in Nederland is toegenomen, heeft er een menging plaatsgehouden van de oorspronkelijke bouwvoor met de schralere ondergrond, waarin het organische stofgehalte lager is dan in de bovengrond. In de naar boven geploegde laag is het organisch stofgehalte niet alleen lager, maar die organische stof wordt door het ploegen vervolgens ook nog versneld afgebroken. De bijdrage van achtergelaten gewasresten kan hierbij al snel teniet worden gedaan. Onder andere hierdoor is het organische stofgehalte in de bouwvoor in veel gevallen gedaald.

Het aantal regenwormen neemt in de regel af bij grondbewerking, met name in de herfst. Regenwormen dragen via hun activiteiten bij aan porositeit en structuur van de bodem en zetten verse organische stof om in meer stabiele vormen. Bij het toepassen van *no-tillage* en/of het achterlaten van gewasresten is de bodemtemperatuur aantoonbaar lager dan bij ploegen en/of afvoeren/inwerken van gewasresten. Door deze lagere temperatuur is de microbiële activiteit ook lager en zal de organische stof minder snel afgebroken worden.

Grondbewerking/ploegen verstoort de ontwikkeling van Mycorrhizae en verlaagt de gehalten aan glomaline in de bodem. In niet geploegde percelen werden hogere glomaline-gehalten gemeten en werd meer aggregatie van de bodemdeeltjes aangetoond. In het geval van *no-till* nam het glomaline-gehalte toe van 1,3 mg per gram bodem tot 1,7 mg/g na drie jaar. In het referentieperceel dat jaarlijks werd geploegd was het gehalte na 3 jaar 0,7 mg/g. In de bodem onder een 15 jaar oude bufferstrook (gras) bedroeg het glomalinegehalte 2,7 mg/g. Een beheer dat is gericht op een verbetering van de bodemstructuur en aggregaatvorming, kan bestaan uit de volgende onderdelen:

- een verminderde grondbewerking;
- een continue (jaarrond) bodembedekking;
- een verminderde input van minerale meststoffen;
- landbouwsystemen met meer diverse gewasstypen (verruiming van het bouwplan; de rotatie);
- teelt van waardplanten voor (arbuscular mycorrhizal (AM)) mycorrhiza-schimmels (Wright et al., 1999; Wright & Anderson, 2000; Nichols & Wright, 2004).

In het algemeen geldt dat grondbewerking de omzetting van organische stof in de bodem versnelt (samenhangend met beluchting van de bodem, contact tussen bodem en gewasresten, beschikbaarheid van nutriënten en blootstelling van

bodem-C aan micro-organismen). Door grondbewerking kan de voor mineralisatie op zich noodzakelijke afbraak van organische stof dus ook te snel verlopen.

Koch (2006) vond dat een eenmalige, kerende grondbewerking via ploegen op 30 cm diepte (*mouldboard ploughing*) van een akker die al enige jaren een beperkte oppervlakkige (tot 30 cm), niet kerende grondbewerking had ondergaan (*conservation tillage*; 30 cm deep *non-inverting tillage combined with shallow mixing* (10 cm deep) operations) resulteerde in een substantieel verlies aan organische stof. Binnen de eerste 6 maanden ging 4% van de initieel aanwezige massa in de bovenste laag van 30 cm verloren.

In de laag van 0-45 cm waren deze eerste verliezen een stuk lager (de helft: 2%), mogelijk wegens verdichting van de diepere bodemlaag. Later ging uit de diepere laag echter ook nog een aanzienlijk deel van de organische stof verloren. Na 1,5-2,5 jaar na het eenmalige ploegen was het verlies aan koolstof in de bodemlaag 0-45 cm 6% van de initieel aanwezige hoeveelheid koolstof in de bodem.

In deze proef werd voor een gematigd klimaat, zoals ook in Nederland, aangetoond dat eenmalig ploegen na verschillende jaren van niet kerende grondbewerking tot een substantieel verlies van organische stof leidt binnen een aantal weken na het ploegen.

Slepetiene & Slepetys (2005), bestudeerden de gehalten en samenstelling van de organische stof in bodems die gedurende 40 jaar een grondbewerking hebben ondergaan die verschilt in diepte, wel/niet kerend (*conventional, shallow en minimum tillage*). Zij geven aan dat de jaarlijkse, gangbare, kerende grondbewerking vervangen zou kunnen worden door een ondiepe of minimale grondbewerking, omdat daardoor de organische stofgehalten in de lagen 0-10 cm en 10-20 cm significant toenamen. Zij vonden op basis van fractionering van de organische stof geen verschillen in samenstelling tussen de verschillende wijzen van grondbewerking.

Metay et al. (2007) vonden in het door hen bestudeerde no-tillage systeem een specifieke verrijking van bodem organische stof in de slib- en klei fracties ten gevolge van de activiteit van bodemfauna. Aangezien de verbinding met de fijnere bodemfracties ook een langere opslag van de koolstof impliceert, suggereren zij een positieve bijdrage van een no-tillage systeem aan de C-opslag in de bodem vergeleken met een systeem waarin wel geploegd wordt door een hoger organische stofgehalte in de toplaag en een verbinding met de fijnere fracties in de bodem (klei en slib).

Dit werd ook gevonden door Pulleman et al. (2005). In hun onderzoek naar de verdeling van de bodem organische stof over micro-aggregaten in een Nederlandse zeelei bodem vergeleken ze een permanent grasland, een conventioneel akkerbouwsysteem en een biologisch akkerbouwsysteem. De totale hoeveelheid micro-aggregaten die werd gevonden was identiek voor deze drie systemen. De micro-aggregaten afkomstig van het grasland bevatten echter een grotere fractie van de totale bodem organische stof en waren meer stabiel dan de micro-aggregaten van de twee akkerbouwsystemen. Dit wijst op een grotere mate van stabilisatie/vastlegging van bodem organische stof in de micro-aggregaten onder grasland. Ook bleken de micro-aggregaten verschillend van samenstelling te zijn. Conclusie van Pulleman et al. (2005) was dat de grotere activiteit van regenwormen in grasland resulteerde in zeer stabiele micro-aggregaten die relatief rijk zijn aan organische koolstof en aan de fijnere fractie van minerale delen. Ondanks het feit dat in het biologische akkerbouwsysteem de totale hoeveelheid bodem organische stof en de activiteit van regenwormen groter was dan in het conventionele akkerbouwsysteem waren de verschillen in de eigenschappen van de micro-aggregaten zelf maar klein. Op bouwland is de vorming van dergelijke stabiele en met organische koolstof aangerijkte micro-aggregaten blijkbaar minder effectief dan in grasland. De auteurs zien een mogelijke verklaring hiervoor in de verschillen tussen bouwland en grasland qua soortensamenstelling van de regenwormenpopulatie, organische stof karakteristieken en/of mate van mechanische versterking.

Ook Tan et al. (2007) wijzen op een andere verdeling van lichte en zware fracties van bodem organische stof als gevolg van landgebruik en mate van grondbewerking. Bouwland zonder grondbewerking en bosbodems hadden meer lichte fractie (minder stabiele) C dan bouwland met normale grondbewerking (*conventional tillage*) en bovendien ook meer C in de verschillende aggregaatklassen. Dit suggereert een betere bescherming van bodem organische stof in/door aggregaten in minder verstoorde bodems. De toename in bodem organische stof bij verandering van een systeem met ploegen naar niet-ploegen is met name toe te schrijven aan een toename van de lichte fractie.

Grondbewerking staat dus in direct verband met afbraak van organische stof en de daaraan gerelateerde CO<sub>2</sub> emissies. Vastleggen of juist het verlies van bodem-C speelt een belangrijke rol in de discussies over de positieve of negatieve bijdragen van landbouwsystemen aan het broeikas effect. Al-Kaisi & Yin (2005) tonen aan dat allerlei verschillende methoden en diepten van (niet) ploegen hierbij van belang zijn. De hoeveelheid CO<sub>2</sub> die vrijkomt uit de bodem ten gevolge van bodembewerking is dus direct gerelateerd aan de frequentie en intensiteit (diepte, wel/niet kerend) van grondbewerking. *Conservation tillage* (*no-tillage, strip-tillage, chisel plow*) is hierbij effectief wat betreft voorkomen van afbraak van bodem organische stof en CO<sub>2</sub>-emissie. Een verminderde intensiteit van bodembewerking verhoogde de totale hoeveelheid bodem-C in de laag 0-15 cm.

Reicosky & Archer (2007) vergeleken de CO<sub>2</sub> emissie die samenhangt met verschillende ploegdiepten met een

(mouldboard) ploeg en no-tillage. Vergeleken met niet-ploegen waren de CO<sub>2</sub> emissies respectievelijk 3.8, 6.7, 8.2, en 10.3 keer hoger bij het ploegen op 10.2 cm, 15.2 cm, 20.3 cm en 28 cm diepte. De auteurs raden dan ook aan om de ploegdiepte zoveel mogelijk te beperken en verder om gewasresten zoveel mogelijk terug te brengen naar de bodem.

#### *Samenvattend*

Diepe en intensieve grondbewerking heeft in het algemeen geen positief effect op de hoeveelheid en kwaliteit van de organische stof en op het bodemleven. Het lijkt dan ook zinvol om daar waar mogelijk een minder diepe, niet-kerende grondbewerking toe te passen.

## 4.4 Overige maatregelen

In de voorgaande paragrafen is vooral ingegaan op de mogelijkheden om de organische stofhuishouding en het bodemleven te optimaliseren via het organische stofbeheer, het bouwplan, de grondbewerking en de berijding. In deze paragraaf gaan we in op de andere mogelijke maatregelen die in het begin van dit hoofdstuk zijn genoemd.

### 4.4.1 Bekalking

Bekalking heeft ten doel de pH van de bodem te verhogen, waardoor de beschikbaarheid van de meeste nutriënten wordt verbeterd, het bodemleven wordt gestimuleerd en de bodemstructuur wordt verbeterd. In ons klimaat is dit nodig, omdat natuurlijke processen in de bodem (o.a. mineralisatie van organische stof) in combinatie met het heersende neerslagoverschot leiden tot een verzuring.

De eisen ten aanzien van de pH worden bepaald door:

- De beschikbaarheid van nutriënten en toxische elementen. Daarbij moet de pH niet te laag zijn omdat de beschikbaarheid van een aantal schadelijke elementen dan te hoog wordt (o.a. aluminium, ijzer, mangaan, zink) en de beschikbaarheid van de nutriënten te laag wordt. Ook een te hoge pH is niet gewenst, omdat de beschikbaarheid van molybdeen dan erg hoog wordt, terwijl dit ook niet ten goede komt aan de beschikbaarheid van o.a. fosfaat. Voor de meeste nutriënten is de beschikbaarheid optimaal tussen een pH-H<sub>2</sub>O van 6,0-7,0 (dit komt globaal overeen met een pH-KCl tussen 5,0 en 6,0).
- De biologische activiteit. De pH is van invloed op de mineralisatie van organische stof, de binding van luchtstikstof, nitrificatie en het voorkomen van mycorrhizae en regenwormen.
- De bodemstructuur. Deels wordt het positieve effect van bekalking op de bodemstructuur toegeschreven aan de verhoging van de bezetting van het adsorptiecomplex met calcium-ionen. Daarnaast spelen waarschijnlijk een aantal andere aspecten ook een rol, zoals een stimulering van het bodemleven en de op die manier geproduceerde kitstoffen, een verhoogde plantengroei en worteling en daardoor een verhoogde porositeit en organische stofgehalte, de vorming van CaCO<sub>3</sub>-slingers, het verhogen van de electrolytconcentratie in de bodemoplossing, waardoor de dubbellaag van kleimineralen wordt ingedrukt en plaat-randverbindingen gemakkelijker tot stand komen, de vorming van Ca-bruggen tussen kleimineralen en humusmoleculen (Janssen, 1992). Het positieve effect van bekalking bij het tegengaan van verslemping in slempgevoelige gronden is bekend.
- Gewasspecifieke eisen en de risico's van ziekten en plagen. Zo is het optreden van schurft bij aardappelen bij te hoge pH bekend. In het algemeen hebben bieten en gerst voorkeur voor een neutraal tot zwak basisch milieu, tarwe en maïs voor een neutraal tot zwak zuur milieu en aardappel en rogge voor een zwak zuur milieu.

De optimale pH van gewassen en bouwplannen is een compromis, waarbij rekening moet worden gehouden met de effecten op de beschikbaarheid van nutriënten, het bodemleven, de structuur van de grond en de risico's van ziekten en plagen. In het bemestingsadvies is daartoe per grondsoort een pH-waardering en advies-pH opgenomen voor een aantal uiteenlopende bouwplannen (Van Dijk, 2006).

Het instellen en handhaven van een optimale pH wordt bij de huidige en toekomstige gebruiksnormen belangrijker, aangezien meer op het scherp van de snede moet worden bemest. Met name voor een optimalisering van de P-beschikbaarheid bij de te verwachten verlaging van de P-toestand is een optimale pH van groot belang.

In principe is een optimalisering van de pH binnen het stelsel van gebruiksnormen even gemakkelijk/moeilijk als voorheen, aangezien de regelgeving geen betrekking heeft op kalkmeststoffen. Uitzondering hierop betreft het gebruik van schuimaarde, aangezien daarin fosfaat aanwezig is. Deze fosfaat moet (vanaf 2008 volledig) worden meegenomen voor de fosfaatgebruiksnorm. Dit geldt ook voor champost, die ook een pH-verhogend effect heeft.

### 4.4.2 Verhoging/verlaging waterpeil

Door klimaatveranderingen krijgen wij in de toekomst waarschijnlijk te maken met hogere temperaturen en toename in



(extreme) neerslag, afgewisseld met perioden van extreme droogte. Om tot oplossingen te komen willen waterbeheerders meer ruimte aan water geven. Voor de landbouw betekent dit dat zij vaker met een suboptimale vochtvoorziening te maken zal krijgen.

Om piekafvoeren te voorkomen streven waterbeheerders zoveel mogelijk naar het lokaal vasthouden van neerslagoverschotten. Lukt dit niet dan wordt gezocht naar extra waterbergingsruimte (boven maaiveld bergen) op speciaal daarvoor aangewezen locaties. In de meeste provincies wordt waterbergingsruimte gezocht in de vaak lager gelegen veehouderijgebieden of in stroomdalen van beken en uitwaarden langs de grote rivieren. In de typische akkerbouwprovincies Zeeland en Flevoland wordt zoveel mogelijk getracht water in de haarvaten (sloten en percelen) vast te houden. De kans op het optreden van natschade neemt hierdoor toe.

De overheid verwacht dat in de zomerperiode vaker een tekort aan zoetwater op zal optreden (Droogtestudie Nederland). Dit betekent dat er onvoldoende water zal zijn om in brakke kwelgebieden watergangen door te spoelen en om droogte in zandgebieden te bestrijden. Ook kan dit in gebieden met stuifgevoelige bodems (bijvoorbeeld in de Veenkoloniën) tot bodemerose leiden.

In gebieden met grondwaterafhankelijke natuur (bijvoorbeeld Natura 2000-gebieden) wordt gestreefd naar structurele peilverhoging (vernatting). Dit kan een toename in natschade betekenen voor nabijgelegen landbouwgebieden. Structureel verhogen van grondwaterstanden leidt tot een afname in het waterbergend vermogen van de bodem, waardoor bij hevige regenval de grondwaterstand eerder tot aan de bouwvoor komt.

Verder kan hevige neerslag op lichte zavelgronden tot verslemping en daardoor plasvorming leiden. Hierdoor kan zuurstofgebrek optreden, wat gevolgen heeft voor de gewasgroei en het bodemleven. Ook kan plasvorming tot verhoogde afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater leiden (ongepubliceerde gegevens Waterschap Brabantse Delta). Bij te natte omstandigheden kunnen veldwerkzaamheden tot structuurschade/bodemverdichting leiden.

Mogelijke oplossingen voor de hiervoor genoemde knelpunten ten aanzien van te natte en te droge omstandigheden kunnen door een goede ontwatering van percelen deels worden voorkomen. Belangrijk is dat er geen storende bodemlagen aanwezig zijn en dat adequaat is gedraineerd. Bij de landbouw is momenteel een tendens aanwezig dat er intensiever, en vaak ondieper, wordt gedraineerd. Ondieper draineren heeft als voordeel dat meer grondwater wordt vastgehouden (minder droogteschade). Intensiever draineren zorgt er voor dat natschade niet toeneemt en de opbolling/uitzakking tussen de drains minder is, waardoor de grondwaterstand, en daardoor het vochtgehalte in de wortelzone, uniformer is. Nadeel van ondieper en intensiever draineren is:

- een toename van extreme piekbelasting van het oppervlaktewater (vanwege geringere bergingsruimte in de bodem),
- een verslechtering van de oppervlaktewaterkwaliteit (vanwege een kortere verblijftijd van het water in de bodem).

Waterbeheerders op zandgrond staan in het algemeen positief tegen over het ondieper en intensiever draineren, omdat hierdoor droogteschade afneemt. Sommige waterschappen hebben ook bedenkingen tegen het steeds intensiever (over)draineren van landbouwpercelen (met name op klei) om natschade te voorkomen, omdat dit leidt tot een (te) snelle ontwatering van landbouwpercelen en verslechtering van de waterkwaliteit.

Veel akkerbouwpercelen op klei zijn lang geleden gedraineerd. Vanwege de toentertijd hoge drainagekosten is gekozen voor een grote drooglegging, waardoor de drainafstand groot kan blijven. Op dergelijke percelen kan ondieper en intensiever draineren zeker gunstig uitvallen.

In agrarische stuwbeheerprojecten wordt drainage ook gebruikt om water in percelen te infiltreren, zodat de beregeningsbehoefte afneemt. Dit van 'onderaf' beregenen is waarschijnlijk minder gunstig voor het bodemleven dan van 'bovenaf' beregenen (zie ook Clevering en Alblas, 2005).

Momenteel is er veel belangstelling voor regelbare drainage, hiermee ontstaan er meer mogelijkheden om de grondwaterstand te variëren, waardoor grotendeels aan bovengenoemde bezwaren kan worden tegemoetgekomen (zie van Bakel e.a., 2007).

Regelbare drainage kan bijvoorbeeld door:

- agrarisch stuwbeheer in een sloot,
- het aansluiten van drains aan een verzameldrain met instelbare uitstroomopening,
- knijpduikers,
- het (tijdelijk) omhoog draaien van de drainmond (zie De Louw et al., 2006).

Naast dat met regelbare drainage water kan worden geconserveerd en piekbelasting kan worden opgevangen, zijn waarschijnlijk ook de nutriëntenemissies naar het oppervlaktewater geringer (Van Bakel et al., 2007). Geclaimd wordt dat het aantal werkbare dagen toeneemt, dat de gewasgroei waarschijnlijk uniformer zal zijn vanwege een uniformere grondwaterstand en dat er minder beregend hoeft te worden.

Andere mogelijke maatregelen om negatieve effecten van klimaatverandering te ondervangen hebben betrekking op het verbeteren van de bodemstructuur en het vochthoudend vermogen door een verhoging van het organische stofgehalte, een verbetering van de kwaliteit van de organische stof (zoals verhoging van het glomaline-gehalte) en door een verbetering van de bodemchemische eigenschappen (verhoging van de calciumbezetting van het adsorptiecomplex) waardoor verslemping op lichte zavelgronden, scheurvorming op zware kleigrond en droogteschade op zandgrond zoveel mogelijk wordt beperkt.

Deze maatregelen op het gebied van waterbeheer hebben geen directe relatie met de gebruiksnormen, maar wel een indirecte omdat ze tevens van invloed kunnen zijn op nutriëntenverliezen en bodemleven en omdat er aanvullende eisen aan het organische stofbeheer en/of bekalking kunnen worden gesteld.

#### 4.4.3 Gebruik bodemorganismen

Het is ook mogelijk om bewust gebruik te maken van bodemorganismen die de beschikbaarheid van nutriënten kunnen vergroten of optimaliseren. Hierbij denken we met name aan de stikstofbindende Rhizobium-bacteriën, die in symbiose kunnen leven met vlinderbloemige gewassen, zoals klaver en bonen. De toepassingsmogelijkheden hiervan lijken voor de akkerbouw in Nederland beperkt te zijn, omdat die zijn beperkt tot een klein aantal gewassen met een klein areaal. In de biologische akkerbouw wordt momenteel geëxperimenteerd met een mengteelt van veldbonen en tarwe, waarbij de hypothese is dat de stikstof die door de Rhizobium-bacteriën op de veldbonen wordt gebonden, wordt overgedragen op de tarwe. Op grond van de resultaten lijkt dit ook daadwerkelijk het geval te zijn (Osman et al., 2007). Deze teeltwijze gaat vanzelfsprekend wel gepaard met een daling van de tarwe-opbrengst per ha, waardoor het zeer de vraag is of dit voor de gangbare landbouw interessant kan zijn.

Een andere optie is het gebruik van mycorrhizae die in symbiose met bepaalde gewassen kunnen leven, waardoor het effectieve wortelstelsel van het gewas aanmerkelijk kan worden vergroot en daarmee de capaciteit van het gewas om fosfaat uit de bodem op te nemen. In potproeven die onder gecontroleerde omstandigheden worden uitgevoerd is gebleken dat de mycorrhizae met name onder omstandigheden waarbij de P-toestand in de bodem laag is, tot een positief effect op de opbrengst kunnen leiden (Keltjens, 1999; Van den Broek & Baar, 2005). Onder veldomstandigheden waren de effecten van het toedienen van mycorrhizae aan uien veel minder duidelijk, en werd geen statistisch significante opbrengstverhoging waargenomen (Van den Broek & Baar, 2005).

#### 4.4.4 Berijding

Berijding kan leiden tot bodemverdichting (compactie). Bodemverdichting is negatief voor een goede organische stofhuishouding, omdat verdichting leidt tot het verdwijnen van poriën en dus tot verdwijnen van zuurstof uit de bodem. Hierdoor treedt geen evenwichtige mineralisatie van organische stof op, maar zullen rottingsprocessen de overhand kunnen krijgen. Daarnaast kan bodemverdichting leiden tot een verstoring van het bodemleven en tot verhoogde nutriëntenverliezen. Hamza & Anderson (2005) geven een opsomming van een aantal praktische technieken om bodemverdichting te voorkomen of te vertragen, waaronder:

- verminderen van de druk op de bodem (door reductie gewicht, bandendruk);
- grondbewerking bij optimale bodemvochtigheid (mag niet te hoog zijn);
- verminderen van het aantal machinebewegingen (minder gangen);
- beperken van de plaatsen waar machines rijden (vaste rijpaden);
- verhogen van het gehalte bodem organische stof door gewasresten achter te laten;
- het opnemen van diep wortelende gewassen in de rotatie.

Het moge duidelijk dat het in de praktijk niet altijd mogelijk is deze technieken toe te passen.



## 5 Scenarioberekeningen

In hoofdstuk 4 zijn diverse maatregelen genoemd ter verbetering van het bodembeheer. In dit hoofdstuk wordt middels scenarioberekeningen ingegaan op de gevolgen van een deel van de genoemde maatregelen.

Doel van de berekeningen is:

- de gevolgen van het mineralenbeleid m.b.t. de organische stofvoorziening door te rekenen,
- de knelpunten in kaart te brengen,
- na te gaan met welke aanvullende maatregelen knelpunten kunnen worden opgelost,
- welke kosten en baten hieraan zijn verbonden.

Wat betreft bodembeheer ligt de focus op de organische stofvoorziening en de fosfaattoestand van de bodem.

Bij de scenarioberekeningen wordt onderscheid gemaakt tussen korte en lange termijn effecten. De korte termijn effecten betreffen kosten en baten die direct voortvloeien uit aanpassing van het organische stofbeheer. Het betreft hier economische effecten van bijvoorbeeld vermindering van gebruik van dierlijke mest, organische meststofkeuze, telen van een groenbemester e.d.

Veranderingen in organische stofbeheer hebben ook gevolgen voor de lange termijn. Hierbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan verloop van het organische stofgehalte en de fosfaattoestand van de bodem. Via modelberekeningen zal voor een aantal scenario's de lange termijn effecten in kaart worden gebracht. Het betreft dan aspecten als verloop organische stofgehalte, N-mineralisatieniveau en de fosfaattoestand van de bodem.

### 5.1 Kosten maatregelen (korte termijn effecten)

#### 5.1.1 Aanpak en uitgangspunten

##### Modelbedrijven

Om de bedrijfseconomische effecten van maatregelen te kunnen kwantificeren wordt gebruik gemaakt van modelbedrijven. Voor de akkerbouw zijn zeven modelbedrijven doorgerekend verdeeld over de belangrijkste akkerbouwregio's. De bouwplansamenstelling is weergegeven in tabel 4. Hieronder volgt een korte toelichting.

##### Klei

Voor de akkerbouw op kleigrond zijn vier modelbedrijven gedefinieerd. Het betreft een graanbedrijf op de noordelijke zeeklei (NZK), een pootgoed- en een consumptieaardappelbedrijf op de centrale zeeklei (CZK1, CZK2) en een consumptieaardappelbedrijf op de zuidwestelijke zeeklei (ZWK).

##### Zand/dal

Voor het Noordoostelijk zand –en dalgrondgebied is uitgegaan van een bedrijf met een 1:3 teelt van zetmeelaardappelen (NON). Voor het Zuidoostelijk zandgebied is gekozen voor een intensief akkerbouwbedrijf met consumptieaardappelen, suikerbieten en industriegroenten (ZON).

##### Löss

Het lössbedrijf wordt gekenmerkt door een bouwplan met consumptieaardappelen, suikerbieten en relatief veel graan.

##### Groenbemesters

Op de klei- en lössbedrijven wordt bij het referentiescenario een groenbemester ingezet op 15-20% van het areaal. Op de zandbedrijven wordt, m.u.v. het verplichte vanggewas na maïs, geen groenbemester ingezet, omdat dat uit oogpunt van bodemgezondheid niet altijd past.

Tabel 4. **Bouwplansamenstelling (%) akkerbouwbedrijven.**

Gewas	Klei				Zand		Löss
	NZK	CZK1	CZK2	ZWK	NON	ZON	
<b>Aardappel</b>							
- Consumptieaardappel			25	20		25	25
- Zetmeelaardappel					30		

- Poot aardappel		25			3		
<b>Suikerbiet</b>	14	12,5	25	20	20	20	25
<b>Graan+maïs</b>							
- Wintertarwe	63	17	25	30			23
- Zomertarwe					6		
- Zomergerst				5	27		22
- Wintergerst	14						
- Korrelmaïs					4	5	
<b>Zaadgewassen</b>							
- Graszaad				10			
- Koolzaad	9				3		
<b>Uien</b>							
- Zaaiui		16,5	12,5	3			5
- Plantui				3			
<b>Groenten</b>							
- Waspeen					6	20	
- Winterpeen		16,5					
- Schorseneer						10	
- Doperwt			12,5				
- Erwt+stamslaboon				5			
- Spinazie (dubbelteelt)						20	
<b>Bloembolgewassen</b>							
- Tulp		12,5					
<b>Braak</b>							
- Groene braak				4			
<b>Groenbemester</b>	14	20	20	20	4 <sup>1</sup>	5 <sup>1</sup>	23
<i>Bedrijfsareaal (ha)</i>	110	40	60	60	90	36	40

1 verplicht vanggewas na maïs

### Gehanteerde gebruiksnormen

De organische stofaanvoer wordt doorgerekend bij de mineralenwetgeving in de jaren 2007, 2009 en 2015. In tabel 5 staan de gebruiksnormen die in de berekeningen zijn gehanteerd:

- Voor fosfaat is uitgegaan van de vastgestelde (2007) en indicatieve normen (2009 en 2015) zoals die in het Actieprogramma worden genoemd, respectievelijk 90, 80 en 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha.
- Voor stikstof zijn voor kleigrond voor 2007 en 2009 de vastgestelde wettelijke normen gebruikt. Voor 2015 is uitgegaan van de norm voor 2009.
- Voor zand/löss zijn er alleen voor 2007 wettelijke N-gebruiksnormen vastgesteld. Voor 2009 en 2015 is uitgegaan van dezelfde norm als in 2007. De verwachting is dat de gebruiksnorm verder zal worden aangescherpt. Anderzijds zal de hoogte van de N-gebruiksnorm naar verwachting niet van grote invloed op het gebruik van organische mest zolang de N-werking van de gebruikte mest maar niet lager is dan de wettelijke werking. Dit is bij veel organische mestsoorten niet het geval.

Tabel 5. **Gebruiksnormen in de jaren 2007, 2009 en 2015.**

Jaar	N-gebruiksnorm		P-gebruiksnorm (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per ha)
	Klei	Zand/löss	
2007	GN 2007	GN 2007	90/85 <sup>1</sup>
2009	GN 2009	GN2007	80
2015	GN 2009	GN2007	60

1 respectievelijk totale aanvoer en aanvoer via dierlijke mest

### Scenario's/maatregelen

Per jaar (2007, 2009 en 2015) is een basisbemestingsstrategie vastgesteld die past binnen de gebruiksnormen. Vervolgens

is nagegaan in hoeverre met aanvullende maatregelen de organische stofaanvoer kan worden verhoogd en welke kosten hieruit voortvloeien.

Hieronder worden de basisbemestingsstrategie en de doorgerekende maatregelen verder toegelicht.

#### *Basis bemestingsstrategie*

Het gebruiksniveau van organische mest is een belangrijk onderdeel van de basisbemestings-strategie, met name wanneer het gaat om de organische stofvoorziening. In tabel 6 zijn hoeveelheid, toedieningstijdstip en soort mest weergegeven zoals gebruikt in de drie genoemde jaren. Het weergegeven gebruik van organische mest is ook gehanteerd bij de economische berekeningen in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet en zijn voor de jaren 2007 en 2009 gebaseerd op BIN-registraties van 2005 en de resultaten van de workshops die in het kader van de EMW 2007 zijn georganiseerd (prognose 2009).

In 2009 is voor klei en lössgrond uitgegaan van een daling van het dierlijke mestgebruik van circa 20% als gevolg van het verbod op herfsttoediening. Deze ontwikkeling kwam naar voren in de genoemde workshops. Voor zand zijn de niveaus gelijk gehouden.

Voor 2015 is, als de P-gebruiksnorm het toelaat, het gebruiksniveau van 2009 gehandhaafd. Bij de bedrijven op zandgrond en de zuidwestelijke klei was dat niet mogelijk vanwege de P-gebruiksnorm en is het niveau naar beneden bijgesteld. Hierbij is uitgegaan van een aanvoer die 5-10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha lager is dan de gebruiksnorm om nog enige ruimte te houden voor kunstmest en om variatie in P-gehalte van de aangevoerde dierlijke mest te kunnen opvangen. Er zijn t.o.v. 2009 geen veranderingen doorgevoerd in verhouding tussen mestsoorten en verhouding tussen voorjaars- en najaarstoediening.

Het gebruik van soort mest wisselt tussen de regio's. Voor de noordelijke zeeklei is uitgegaan van 100% vaste kippenmest, terwijl voor de zuidwestelijke klei is gerekend met 100% varkensdrijfmest. Op de centrale zeeklei en de noordoostelijke zand- en dalgronden worden beide mestsoorten gebruikt. Voor de zuidoostelijke zandgronden wordt uitgegaan van een mix van varkens- en runderdrijfmest (respectievelijk 80 en 20% op basis van N-aanvoer. Voor het lössgebied wordt uitgegaan van enkel varkensdrijfmest.

De hierboven genoemde verdeling van mestsoorten is voor alle drie jaren gehanteerd.

Op klei- en lössgrond wordt in 2007 65% van de mest in het najaar toegediend en 35% in het voorjaar. Als gevolg van aanscherping van de wettelijke N-werkingscoëfficiënt bij najaarstoediening verschuift dit in 2009 en 2015 naar 50:50% op kleigrond en 33:67% op lössgrond. Door de relatief sterke verlaging van de N-gebruiksnorm op lössgrond zal in vergelijking met kleigrond daar naar verwachting een sterkere verschuiving plaatsvinden naar het voorjaar. Vanaf 2009 moet najaarstoediening worden gezien als nazomertoediening (vóór 15 september). Daarna is toediening van drijfmest niet meer toegestaan.

Op zandgrond wordt alle mest in het voorjaar toegediend.

Tabel 6. Gebruik organische mest (kg N/ha op bedrijfsniveau) op akkerbouwbedrijven in 2007, 2009 en 2015.

	Hoeveelheid		Soort (% van totaal N)			Tijdstip <sup>1</sup>	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Varkens- drijfmest	Kippen- mest	Runder- drijfmest	Vj	Nj
<b>2007</b>							
Noordelijke zeeklei	70	46		100		35	65
Centrale zeeklei, pootgoed	80	48	75	25		35	65
Centrale zeeklei, cons aard	100	60	75	25		35	65
Zuidwestelijke klei	120	70	100			35	65
Noordoostelijk zand/dal	120	73	67	33		100	
Zuidoostelijk zand	140	76	80		20	100	
Löss	90	53	100			35	65
<b>2009</b>							
Noordelijke zeeklei, graan	50	33		100		50	50
Centrale zeeklei, pootgoed	65	38	75	25		50	50
Centrale zeeklei, cons aard	80	48	75	25		50	50
Zuidwestelijke klei	100	58	100			50	50
Noordoostelijk zand/dal	120	73	67	33		100	
Zuidoostelijk zand	140	76	80		20	100	
Löss	70	41	100			67	33
<b>2015</b>							
Noordelijke zeeklei, graan	50	33		100		50	50
Centrale zeeklei, pootgoed	65	38	75	25		50	50
Centrale zeeklei, cons aard	80	48	75	25		50	50
Zuidwestelijke klei	85	50	100			50	50
Noordoostelijk zand/dal	90	55	67	33		100	
Zuidoostelijk zand	100	55	80		20	100	
Löss	70	41	100			67	33

1 Percentage van de mest die in voor- en najaar wordt toegediend

#### Samenstelling organische mest

In tabel 7 is de samenstelling van de gebruikte organische mestsoorten weergegeven. Benadrukt moet worden dat het hier gemiddelde waarden betreft. In de praktijk is er veelal sprake van een grote variatie in samenstelling.

Tabel 7. Samenstelling dierlijke mest (kg/ton vers) (Bron: Van Dijk & Van Geel, 2007).

Mestsoort	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	EOS
	Nm	Norg	Ntotaal			
Varkensdrijfmest	4,2	3	7,2	4,2	7,2	20
Rundveedrijfmest	2,2	2,2	4,4	1,6	6,2	45
Kippenmest	4,0	23,4	27,3	17,9	17,6	160
GFT-compost	0,8	7,8	8,6	3,7	6,4	150

#### Prijzen organische mest

Voor de prijzen van dierlijke mest is uitgegaan van dezelfde niveaus als gehanteerd de Evaluatie Meststoffenwet 2007 (tabel 8). Benadrukt moet worden dat het om grove indicaties gaat gebaseerd op interviews met de mestdistributeurs (persoonlijke mededeling LEI). Het betreft in de meeste gevallen negatieve prijzen (de teler ontvangt geld). Voor GFT-compost is ook uitgegaan van een regiospecifieke prijs, die afhangt van de prijs van dierlijke mest in de verschillende regio's.

Voor zowel 2007, 2009 als 2015 zijn dezelfde prijzen gehanteerd. De verwachting is dat voor dierlijke mest in 2009 en 2015 de prijzen eerder meer dan minder negatief zullen zijn door een toenemende druk op de mestmarkt.

De prijzen zijn exclusief toediening. Voor drijfmest is hiervoor een tarief gehanteerd van €2,75 per m<sup>3</sup>. Voor vaste mest is onderscheid gemaakt tussen soorten waarbij doorgaans wat hogere giften worden toegediend (vaste rundmest en champost) en soorten waarbij de giften lager zijn (compost en kippenmest). De gehanteerde tarieven zijn respectievelijk 4 en 6,25 € per m<sup>3</sup>.

Tabel 8. Gehanteerde prijzen voor dierlijke mest en GFT-compost (€/ton, levering op kopakker).

Mestsoort	Regio					
	Klei/noord	Klei/centraal	Klei/zuidwest	Zand/noord	Zand/zuid	Löss

<i>Dierlijke mest</i>						
Varkensdrijfmest	-5	-10	-10	-10	-15	-15
Runderdrijfmest	0	-5	-5	-5	-10	-10
Kippenmest	-15	-20	-20	-20	-25	-25
GFT-compost	5	5	3	5	0	3

#### *Overige uitgangspunten basisbemestingsstrategie*

- Bij de N-werking van de organische mest wordt uitgegaan van de huidige adviesrichtlijnen.
- Bij N/P/K-bemesting is uitgegaan van de adviezen zoals vermeld in de Adviesbasis (Van Dijk & Van Geel, 2007). Het P- en K-advies hangt af van de bodemtoestand (Pw en kaligetal). Bij de Pw is uitgegaan van een waarde van 45. Dit is de bovenkant van het landbouwkundig streeftraject. Gekozen is voor een relatief goede Pw omdat de fosfaattoestand op bouwland doorgaans ruim voldoende is (Schoumans, 2007; zie ook tabel 9). Bij het kaligetal is uitgegaan van de landbouwkundige streefwaarde (11 op zand en 18 op klei). Bij P en K is ook het bodemgerichte advies van belang. Dit richt zich vooral op handhaving van de bodemtoestand. Op bouwplanniveau dient de onttrekking te worden gecompenseerd plus het onvermijdbaar verlies. Hierbij is uitgegaan van 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha voor alle grondsoorten en 0, 25 en 50 kg K<sub>2</sub>O per ha voor respectievelijk klei-, löss- en zandgrond. Bij stikstof en fosfaat gelden de gebruiksnormen als maximum.
- Bij de N-nawerking van gewasresten en groenbemesters is uitgegaan van de richtlijnen zoals vermeld in de Adviesbasis. Wat betreft gewasresten is alleen voor bietenblad een nawerking ingerekend (30 kg N per ha). Voor goed ontwikkelde groenbemesters is uitgegaan van een N-nawerking van 30 en 40 kg N per ha voor respectievelijk klei- en zandgrond, voor een matig ontwikkelde groenbemesters van 15 en 20 kg N per ha. De laatste situatie doet zich bijvoorbeeld voor bij de teelt van een onbemeste groenbemester na een gewas dat weinig N in de bodem achterlaat (o.a. graan).

Tabel 9. **Gemiddelde waarden voor fosfaattoestand (Pw) en organische stofgehalte op akkerbouwbedrijven in verschillende regio's (Bron: Blgg).**

Regio	Grondsoort	Pw	Organische stofgehalte (%)
Bouwhoek en Hogeland	Zeeklei	47	2.7
Veenkoloniën en Oldambt	Dekzand	56	5.7
Noordelijk Weidegebied	Dalgrond	51	10.8
IJsselmeerpolders	Zeeklei	43	3.4
Zuidwestelijk akkerbouwgebied	Zeeklei	48	3.0
Zuidelijk veehouderijgebied	Dekzand	73	3.0

#### *Door te rekenen maatregelen*

Hieronder worden de maatregelen toegelicht.

#### Extra groenbemesters

Op de **klei- en lössbedrijven** worden in de basisbemestingsstrategie al op 15-25% van het areaal groenbemesters ingezet, doorgaans na wintertarwe (zie tabel 4). Afhankelijk van het bouwplan kan dit nog wat worden verhoogd. Na de relatief vroeg geogoste gewassen poot aardappel, graszaad, tulp en doperwt (in geval er geen tweede teelt volgt) is een groenbemester mogelijk.

Op de **zandbedrijven** is m.u.v. verplicht vanggewas na maïs geen groenbemester ingezet. Vaak past dit niet uit oogpunt van bodemgezondheid (aaltjes). Met een gerichte groenbemesterkeuze is dit mogelijk deels te ondervangen. In deze studie wordt deze maatregel ook op de zandbedrijven doorgerekend. Zo wordt in ieder geval de potentie in beeld gebracht. Mogelijk dat op termijn door ontwikkelingen op gebied van resistente rassen de perspectieven toenemen. Op de zandbedrijven is een groenbemester mogelijk na graan en koolzaad.

Verdere uitgangspunten bij groenbemesters:

- Wat betreft bemesting van de groenbemester is uitgegaan van het volgende. Op de klei- en lössbedrijven wordt een deel van de dierlijke mest in de nazomer toegediend, deze kan dan worden gecombineerd met de groenbemester. Alleen wanneer er in de herfst in verhouding tot het groenbemesterareaal onvoldoende mest wordt toegediend, is er kunstmest gebruikt. Op de doorgerekende zandbedrijven wordt in de nazomer geen dierlijke mest toegediend. In dat geval is uitgegaan van een kunstmestbemesting indien de groenbemester wordt geteeld na een gewas dat weinig N nalaat (o.a. graan). Bij gewassen die meer N achterlaten is gerekend met een lagere kunstmestgift. Benadrukt moet worden dat insteek steeds was een goed ontwikkelde groenbemester te realiseren. De teelt van een vanggewas (onbemeste groenbemesters) was geen onderwerp van onderzoek in deze studie.



- Een tijdig gezaaide, goed geslaagde groenbemester levert circa 850 kg effectieve organische stof per ha. In de praktijk blijkt een groenbemester niet altijd te slagen als gevolg van droogte of wanneer door omstandigheden niet gelijk na de oogst van het gewas kan worden gezaaid. Voor de berekeningen is er daarom van uitgegaan dat in de helft van groenbemesterareaal sprake is van een geslaagde teelt (850 kg eos per ha) en in de andere helft van een matig geslaagde teelt (425 kg eos per ha). Ook is in slechts de helft van de gevallen uitgegaan van een extra N-gebruiksnorm voor een groenbemester. In de praktijk kan namelijk niet altijd worden voldaan aan de hieraan verbonden eisen (zaai vóór 1 september en pas inwerken na 10 weken).
- De kosten voor een groenbemester bedragen €110 per ha (exclusief arbeid).

#### Onderwerken van stro

In de basisbemestingsstrategie wordt het graanstro en graszaadhooi afgevoerd. Dit kan ook worden ingewerkt zodat er meer organische stof achterblijft. De financiële effecten bestaan uit de gedeelde financiële opbrengst van het stro/hooi (KWIN akkerbouw). Daarnaast kunnen de kunstmestkosten voor fosfaat en kali mogelijk wat dalen. Omdat er minder fosfaat en kali wordt afgevoerd is er ook minder bemesting nodig om te voldoen aan het bodemgericht P/K-advies.

Bij het doorrekenen van deze maatregel is alle stro achtergelaten zodat de potentie van deze maatregel in kaart wordt gebracht. Afhankelijk van de behoefte aan organische stof kan uiteraard ook slechts een deel worden achtergelaten.

#### Vervanging van varkensdrijfmest door runderdrijfmest

Runderdrijfmest bevat meer organische stof dan varkensdrijfmest. De effecten zijn in beeld gebracht door de helft van de aanvoer van fosfaat uit varkensdrijfmest te vervangen door fosfaat uit runderdrijfmest. Het gebruik van meer runderdrijfmest is niet geheel onlogisch omdat er als gevolg van de gebruiksnormenstelsel meer runderdrijfmest op de markt gekomen is. Bovendien kan op termijn bij een eventueel verlaagde derogatie het aanbod nog toenemen. Daarnaast is runderdrijfmest vanwege de hogere N/P-verhouding (in geval van voorjaarstoediening) aantrekkelijker dan varkensdrijfmest. Van eventuele weerstand van akkerbouwers om gebruik te maken van rundveedrijfmest (vanwege het risico op het verspreiden van plantenziekten en onkruiden) is in 2007 niets gebleken.

#### Gebruik van compost

Naast dierlijke mest kan er ook voor worden gekozen om tevens compost te gebruiken. Hoewel compost slechts in beperkte mate beschikbaar is, is deze maatregel toch doorgerekend om de potentie ervan in kaart te brengen. Voor alle bedrijven zijn twee niveaus doorgerekend, namelijk een totale EOS-aanvoer van respectievelijk 2000 en 2500 kg per ha (inclusief gewasresten en dierlijke mest). Indien mogelijk is het gebruiksniveau van dierlijke mest gehandhaafd. Wanneer dit niet mogelijk was is er ruimte voor de compost gecreëerd door het gebruiksniveau van dierlijke mest te verlagen.

#### **Streefwaardes organische stoftoevoer**

Het is lastig een streefwaarde voor een aan te voeren hoeveelheid organische stof vast stellen. Daarom worden de organische stoftoevoer in de verschillende scenario's vergeleken met streefniveaus van respectievelijk 1500, 2000 en 2500 kg effectieve organische stof (EOS) per ha. Deze waarden horen bijvoorbeeld bij een bouwvoor van 25 cm en een organische stofgehalte van respectievelijk 2, 3 en 4% (uitgaande van een afbraak van 2% van de organische stof).

### 5.1.2 Resultaten

#### **EOS-aanvoer via gewasresten**

In tabel 10 is voor de modelbedrijven de aanvoer van effectieve organische stof weergegeven via gewasresten. Dit betreft dus een situatie zonder gebruik van organische mest. De verschillen tussen de bedrijven zijn aanzienlijk (900-1600 kg EOS per ha). Op bedrijven met een hoog aandeel graan (NZK, ZWK en Löss) is de aanvoer het hoogst, op de intensievere bedrijven op klei (CZK1) en zand (ZON) het laagst.

Tabel 10. Aanvoer effectieve organische stof (kg EOS per ha) op bedrijfsniveau via gewasresten voor de doorgerekende modelbedrijven.

	EOS-aanvoer gewasresten (kg/ha)
<b>Klei</b>	
NZK	1610
CZK1	1010
CZK2	1240
ZWK	1435
<b>Zand</b>	
NON	1170
ZON	905

**EOS-aanvoer bij basisbemestingsstrategie**

In tabel 11A is de EOS-aanvoer weergegeven bij de basisbemestingsstrategie. In 2007 loopt deze uiteen van circa 1300 (CZK1) tot ruim 2000 kg per ha (NZK). Wanneer wordt uitgegaan van een minimale aanvoer van 1500 kg per ha wordt alleen op bedrijf CZK1 deze streefwaarde niet gehaald. Een streefwaarde van 2000 kg EOS per ha wordt alleen gehaald op bedrijf NZK, terwijl een streefwaarde van 2500 kg EOS per ha op geen enkel bedrijf wordt gerealiseerd.

Aanscherping van de gebruiksnormen in 2009 leidt t.o.v. 2007 op de kleibedrijven en het lössbedrijf tot een geringe daling van de EOS-aanvoer (50-100 kg per ha). Dit is het gevolg van een aangenomen verlaging van het mestgebruik als gevolg van het verbod op herfsttoediening. In 2015 moet op een drietal bedrijven (ZWK, NON en ZON) het gebruik van dierlijke mest worden verlaagd als gevolg van verlaging van de P-gebruiksnorm tot 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha, waardoor de EOS-aanvoer t.o.v. 2009 met 100-150 kg per ha daalt. Dit heeft tot gevolg dat nu ook op bedrijf ZON niet meer de minimale streefwaarde van 1500 kg EOS per ha wordt gerealiseerd.

**Aanvullende maatregelen**

In tabel 11A zijn de effecten van aanvullende maatregelen op de EOS-aanvoer weergegeven. Tevens zijn de extra kosten weergegeven (t.o.v. basis 2007). Tabel 11B geeft de resultaten weer t.o.v. de basisbemestingsstrategie 2007, 2009 en 2015. Uit deze tabel kan dus rechtstreeks het effect van een maatregel worden afgelezen in een bepaald jaar en is er dus geen sprake meer van verstrengeling met aanpassing van mineralenbeleid. Ter illustratie het volgende voorbeeld voor bedrijf ZWK. Wanneer op dit bedrijf een extra groenbemester wordt gezaaid bedragen de kosten t.o.v. basis 2007 volgens tabel 11A 18, 36 en 55 € per ha in respectievelijk 2007, 2009 en 2015. Deze kosten zijn een optelsom van kosten van de groenbemester en verlaging van het gebruik van dierlijke mest (in 2009 en 2015). In tabel 11B kunnen voor de drie jaren de kosten van enkel het zaaien van een groenbemester worden afgelezen (€18 in alle drie jaren).

#### *Extra groenbemesters*

Het telen van extra groenbemesters verhoogt de EOS-aanvoer met 100-200 kg per ha. De kosten lopen uiteen van 20-45 € per ha. Op bedrijf NZK en ZON is er geen ruimte voor een extra groenbemester.

#### *Achterlaten stro*

Door het graanstro en het graszaadhooi niet af te voeren maar in te werken kan de EOS-aanvoer, afhankelijk van het aandeel graan en graszaad, worden verhoogd met 150-800 kg per ha. De hieruit voortvloeiende kosten lopen uiteen van 25-135 € per ha. Op bedrijf ZON wordt geen graan geteeld waardoor deze maatregel daar geen effect heeft.

#### *Gedeeltelijke vervanging van varkensdrijfmest door runderdrijfmest*

Runderdrijfmest bevat meer organische stof dan varkensdrijfmest. Door de helft van de P-aanvoer uit varkensdrijfmest te vervangen door P uit runderdrijfmest wordt in 2007 op alle bedrijven m.u.v. bedrijf CZK1 meer dan 2000 kg EOS per ha aangevoerd. Op de meeste bedrijven levert dit geld op (5-75 € per ha in 2007 en 2009, 5-50 € per ha in 2015) doordat de vergoeding voor mestgebruik toeneemt en de kunstmestkosten dalen. Benadrukt moet worden dat de financiële effecten sterk afhangen van de gehanteerde mestprijzen.

#### *Gebruik van compost*

Met compost kan binnen de regelgeving (gebruiksnormenstelsel en BOOM) een EOS-aanvoer van zowel 2000 als 2500 kg per ha worden gerealiseerd. In 2007 lopen de kosten uiteen van 15-45 € per ha (2000 EOS) en 25-80 € per ha (2500 EOS). In 2007 gaat dat nog vrijwel niet ten koste van het gebruik van dierlijke mest en wordt het financiële effect vooral bepaald door de benodigde hoeveelheid organische stof. In 2009 moet op bedrijven die relatief veel dierlijke mest gebruiken (NON en ZON) de inzet ervan worden verlaagd om binnen de P-gebruiksnorm de benodigde hoeveelheid compost te kunnen toedienen. Hierdoor nemen de kosten toe omdat tevens de vergoeding voor gebruik voor dierlijke mest daalt.

Om de kosten van de maatregelen wat beter te kunnen vergelijken zijn in tabel 12 de kosten uitgedrukt per 100 kg aangevoerde EOS. Hieruit blijkt bijvoorbeeld dat de aanvoer van EOS via compost goedkoper is dan via groenbemesters en inwerken van stro. Gebruik van runderdrijfmest is in het algemeen gunstig. Alleen wanneer betaald moet worden voor de mest (bedrijf NZK) zijn de kosten per 100 kg EOS per ha vergelijkbaar met die van compost.

Tabel 11A. Aanvoer van effectieve organische stof (kg per ha) en kosten van extra maatregelen (beide op bedrijfsniveau) ter verhoging van de aanvoer van organische stof.

Scenario	EOS-aanvoer (kg/ha)							Extra kosten (€/ha) t.o.v. 2007						
	NZK	CZK1	CZK2	ZWK	NON	ZON	Löss	NZK	CZK1	CZK2	ZWK	NON	ZON	Löss
<i>Basis 2007</i>	2018	1297	1592	1766	1629	1505	1600							
Basis 2007 + (extra) groenbemester	2018	1438	1703	1894	1842	1569	1753	0	19	19	18	45	22	20
Basis 2007 + inwerken stro	2811	1465	1839	2169	1880		1959	135	27	39	72	61		72
Basis 2007 + rdm ipv vdm	2455	1714	2102	2578	2183	2141	2190	26	-12	-3	-4	-18	-74	-73
Basis 2007 + gft 2000 eos		2000	2004	2006	2004	2000	2002		36	21	9	18	7	9
Basis 2007 + gft 2500 eos	2511	2501	2510	2501	2499	2501	2500	20	62	45	30	43	13	19
<i>Basis 2009</i>	1904	1236	1521	1701	1629	1505	1555	18	30	35	36	0	0	43
Basis 2009 + (extra) groenbemester	1904	1376	1633	1838	1842	1569	1698	18	49	53	54	45	22	74
Basis 2009 + inwerken stro	2697	1404	1768	2099	1880		1919	156	56	73	101	61		114
Basis 2009 + rdm ipv vdm	2198	1561	1929	2337	2183	2141	2022	45	18	28	26	-18	-74	-9
Basis 2009 + gft 2000 eos		2005	2008	2001	2004	2000	2005		64	52	47	18	7	53
Basis 2009 + gft 2500 eos	2504	2502	2515	2512	2500	2505	2504	46	90	77	63	66	65	63
<i>Basis 2015</i>	1904	1236	1521	1664	1520	1343	1555	7	27	25	55	51	106	33
Basis 2015 + (extra) groenbemester	1904	1376	1633	1800	1733	1406	1698	7	46	43	73	95	127	64
Basis 2015 + inwerken stro	2697	1404	1768	2063	1771		1919	145	54	64	124	112		106
Basis 2015 + rdm ipv vdm	2198	1561	1929	2211	1933	1811	2022	33	15	18	40	38	54	-19
Basis 2015 + gft 2000 eos		2004	2008	2006	2000	1999	2005		72	45	84	97	157	45
Basis 2015 + gft 2500 eos	2504	2508	2498	2508	2500	2502	2504	35	118	87	120	147	198	59

Tabel 12B. **Aanvoer van effectieve organische stof (kg per ha) en kosten van extra maatregelen (beide op bedrijfsniveau) ter verhoging van de aanvoer van organische stof t.o.v. basisbemestingsstrategie 2007, 2009 en 2015.**

Scenario	EOS-aanvoer (kg/ha) t.o.v. 2007/2009/2015							Extra kosten (€/ha) t.o.v. 2007/2009/2015						
	NZK	CZK1	CZK2	ZWK	NON	ZON	Löss	NZK	CZK1	CZK2	ZWK	NON	ZON	Löss
Basis 2007														
Basis 2007 + (extra) groenbemester	0	140	112	128	213	64	153	0	19	19	18	45	22	20
Basis 2007 + inwerken stro	793	168	248	404	251		359	135	27	39	72	61		72
Basis 2007 + rdm ipv vdm	437	417	510	812	554	636	590	26	-12	-3	-4	-18	-74	-73
Basis 2007 + gft 2000 eos		703	413	240	375	495	401		36	21	9	18	7	9
Basis 2007 + gft 2500 eos	493	1204	919	735	870	996	900	20	62	45	30	43	13	19
Basis 2009														
Basis 2009 + (extra) groenbemester	0	140	112	137	213	64	144	0	20	19	18	45	22	31
Basis 2009 + inwerken stro	793	168	248	398	251		365	138	26	38	65	61		71
Basis 2009 + rdm ipv vdm	294	325	408	636	554	636	468	26	-11	-7	-10	-18	-74	-52
Basis 2009 + gft 2000 eos		769	488	300	375	495	450		34	18	11	18	7	10
Basis 2009 + gft 2500 eos	600	1266	994	811	871	1000	949	27	60	42	27	66	65	20
Basis 2015														
Basis 2015 + (extra) groenbemester	0	140	112	136	213	64	144	0	20	19	18	44	22	31
Basis 2015 + inwerken stro	793	168	248	399	251		365	138	27	39	69	61		73
Basis 2015 + rdm ipv vdm	294	325	408	546	413	468	468	26	-11	-7	-16	-13	-52	-52
Basis 2015 + gft 2000 eos		768	488	342	480	657	450		46	21	29	46	51	12
Basis 2015 + gft 2500 eos	600	1272	977	844	980	1160	949	28	91	62	65	96	92	26

Tabel 12. **Kosten per 100 kg aangevoerde EOS bij de diverse maatregelen.**

Scenario	Kosten per 100 kg aangevoerde EOS (€) t.o.v. 2007, 2009 en 2015						
	NZK	CZK1	CZK2	ZWK	NON	ZON	Löss
<b>Basis 2007</b>							
Basis 2007 + (extra) groenbemester		13.8	16.6	13.8	20.9	33.9	13.0
Basis 2007 + inwerken stro	17.0	15.8	15.9	17.9	24.4		19.9
Basis 2007 + rdm ipv vdm	6.1	-2.8	-0.6	-0.5	-3.3	-11.6	-12.4
Basis 2007 + gft 2000 eos		5.2	5.0	3.7	4.9	1.3	2.2
Basis 2007 + gft 2500 eos	4.0	5.2	4.9	4.1	4.9	1.3	2.1
<b>Basis 2009</b>							
Basis 2009 + (extra) groenbemester		14.0	16.6	12.9	20.9	33.9	21.6
Basis 2009 + inwerken stro	17.4	15.6	15.5	16.3	24.4		19.5
Basis 2009 + rdm ipv vdm	8.9	-3.5	-1.6	-1.5	-3.3	-11.6	-11.2
Basis 2009 + gft 2000 eos		4.4	3.6	3.7	4.9	1.3	2.2
Basis 2009 + gft 2500 eos	4.6	4.7	4.3	3.3	7.6	6.5	2.1
<b>Basis 2015</b>							
Basis 2015 + (extra) groenbemester		14.0	16.6	13.0	20.8	33.9	21.6
Basis 2015 + inwerken stro	17.4	15.9	15.9	17.2	24.4		19.9
Basis 2015 + rdm ipv vdm	8.9	-3.5	-1.7	-2.8	-3.2	-11.0	-11.2
Basis 2015 + gft 2000 eos		5.9	4.3	8.5	9.6	7.8	2.7
Basis 2015 + gft 2500 eos	4.7	7.2	6.4	7.7	9.8	7.9	2.7

### **P-afvoer met geoogst product**

Uitgaande van gemiddelde opbrengstniveaus loopt de P-afvoer met geoogst product op bouwplanniveau uiteen van 50-70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (tabel 10). Bij een P-gebruiksnorm van 90 (2007) en 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (2009) zal de P-toestand van de bodem naar verwachting niet gaan dalen. Wel moet worden benadrukt dat bij bedrijven met hoge opbrengstniveaus (in tabel 13 is ter illustratie uitgegaan van een 30% hogere opbrengst) met name bij een hoog aandeel winterarwe en consumptieaardappelen in het bouwplan, de afvoer hoger kan zijn dan de gebruiksnorm. Bij de berekening van de afvoer in tabel 8 is wel uitgegaan van een vast P-gehalte in geoogst product. In werkelijkheid zal het P-gehalte vaak wat dalen bij stijgende opbrengstniveaus (Ehlert et al., 2006) waardoor de P-afvoer lager zal zijn dan nu berekend.

Bij een P-gebruiksnorm van 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (2015) is het verschil met de gemiddelde P-afvoer geringer. Met name op bedrijven met hoge opbrengstniveaus is de afvoer hoger.

In hoofdstuk 5.2 wordt ingegaan op lange termijn effecten van een verlaagde P-gebruiksnorm op de fosfaattoestand.

Tabel 13. **P-afvoer (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha) bouwplan op de akkerbouwbedrijven bij gemiddelde en boven-gemiddelde opbrengstniveaus.**

Bedrijf	Opbrengstniveau	
	Gemiddeld	Gemiddeld+30%
<b>Klei</b>		
NZK	70	90
CZK1	50	65
CZK2	60	80
ZWK	55	75
<b>Zand</b>		
NON1	55	70
ZON1	50	65
<b>Löss</b>	60	80

### Fosfaatbehoefte

Zoals reeds aangegeven ligt de gemiddelde fosfaattoestand in veel regio's rond of boven een Pw van 40-45 (zie tabel 9). In dat geval levert aanscherping van de P-gebruiksnorm naar 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha bemestingstechnisch geen grote problemen op. Op bouwplanniveau kan dan op vrijwel alle doorgerkende bedrijven worden voldaan aan de P-behoefte (tabel 14). Bij lagere Pw's is dat niet meer het geval. Zo kan bij een Pw van 30 bij een gebruiksnorm van 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha op twee van de zeven modelbedrijven niet meer worden voldaan aan de P-behoefte. Bij een gebruiksnorm van 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha is dat op vijf van de zeven modelbedrijven het geval. Dit knelpunt doet zich voor bij een Pw tussen 25 en 40. Bij een toestand lager dan een Pw van 25 is een reparatiebemesting toegestaan en is voor de betreffende percelen een fosfaatgebruiksnorm van 160 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha toegestaan. De extra toegestane hoeveelheid fosfaat moet wel in de vorm van kunstmestfosfaat worden gegeven.

In tabel 14 is alleen gekeken naar de bouwplanbehoefte, los van de verdeling van de P over de gewassen. Op bedrijven met lagere Pw's waarbij de organische mest wordt toegediend aan gewassen die weinig P-behoefte kan, ook wanneer op bouwplanniveau wordt voldaan aan de behoefte, tekorten ontstaan bij P-behoefte gewassen. Deze situatie doet zich o.a. voor bij toediening van dierlijke mest in wintertarwe op kleigrond.

Tabel 14. **Fosfaatbehoefte bouwplan (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha) i.r.t. fosfaattoestand bodem (Pw).**

Bedrijf	Pw			
	30	35	40	45
NZK	14	8	6	3
CZK1	65	50	40	32
CZK2	79	66	53	40
ZWK	57	47	37	28
NON	93	74	53	38
ZON	148	109	75	57
Löss	75	59	44	31

### 5.1.3 Discussie

In deze studie is gerekend met een representatief gebruik van dierlijke mest. Voor de klei- en lössbedrijven betekende dit dat niet maximaal dierlijke mest is gebruikt. Ter informatie is in tabel 15 ter oriëntatie voor een aantal organische mestsoorten aangegeven hoeveel effectieve organische stof maximaal kan worden aangevoerd binnen de regelgeving (N/P-aanvoernormen en BOOM-regeling) in zowel 2007, 2009 als 2015. In vergelijking met 2007 zijn vooral voor dierlijke mest de verschuivingen gering vanwege de relatief geringe aanscherping van de P-gebruiksnorm (5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha). Bij runderdrijfmest verandert er niets, omdat de N-gebruiksnorm van 170 kg N per ha in beide jaren beperkend is voor de maximale aanvoer. Bij compost is de BOOM-regelgeving bepalend voor de maximale aanvoer (6 ton drogestof per ha per jaar).

Met varkensdrijfmest, de meest gebruikte mestsoort op akkerbouwbedrijven, wordt relatief weinig organische stof aangevoerd. Runderdrijfmest bevat veel meer organische stof en is uit oogpunt van organische stofvoorziening aantrekkelijker. Het gebruik van compost wordt beperkt door de aanvoernorm volgens BOOM (6 ton drogestof per ha per jaar). Met zeer schone compost kan binnen de regelgeving zeer veel organische stof worden aangevoerd.

Tabel 15. **Maximale aanvoer effectieve organische stof (kg/ha) op bedrijfsniveau met organische mest binnen N/P-gebruiksnormen en BOOM-regelgeving.**

Mestsoort	Eos-aanvoer (kg/ha)		
	2007	2009	2015
Runderdrijfmest	1735	1735	1690
Varkendrijfmest	405	380	285
Vaste rundermest	2165	2050	1535
Kippenmest	715	670	505
Champost	2005	1890	1420
Compost			
- normal (BOOM)	1385	1385	1385
- zeer schoon (P-gebruiksnorm)	7705	6485	4865

In het algemeen kan worden gesteld, dat om de organische stofaanvoer bij lagere gebruiksnormen op peil te houden, organische mestsoorten met een lage NP/EOS-verhouding de voorkeur verdienen. Rundermest en GFT-compost zijn wat dat betreft gunstiger dan varkendrijfmest en kippenmest. Randvoorwaarde is wel dat er voldoende aanbod moet zijn van een bepaalde organische mestsoort. Zo is er voor compost slechts een beperkt aanbod. Het biedt derhalve geen oplossing voor het organische stofknelpunten voor een grote sector als de akkerbouw.

Ook ontwikkelingen op gebied van mestbewerking kunnen van belang zijn. Zo kan toepassing van de vaste fractie na mestscheiding in de nazomer met het oog op de N-gebruiksnorm een optie zijn. Weliswaar moet ook dan wettelijk nog steeds een hoge N-werkingscoëfficiënt worden gehanteerd, maar door de veel lagere N/P-verhouding wordt hiermee veel minder N aangevoerd dan met onbewerkte drijfmest. Nadeel in vergelijking met onbewerkte mest is dat het kaligehalte in de vaste fractie veel lager is waardoor er meer kunstmestkali moet worden aangekocht. Verder leren ervaringen uit veldproeven dat wanneer de vaste fractie wordt gecombineerd met een groenbemester de N-beschikbaarheid onvoldoende is voor een goede ontwikkeling van de groenbemester. Ook is de P/EOS-verhouding in vaste fracties nog steeds relatief hoog in vergelijking met onbewerkte runderdrijfmest of GFT-compost. Mogelijk dat technologische ontwikkelingen op gebied van verwijderen van fosfaat perspectief kunnen bieden.

Zoals hierboven aangegeven is het gebruik van runderdrijfmest in plaats van varkendrijfmest gunstig voor de organische stofvoorziening. In vergelijking met varkendrijfmest is de landbouwkundige N-werking echter lager dan van varkendrijfmest en ook lager dan de wettelijke werkingscoëfficiënt van 60%. In situaties met scherpe gebruiksnormen geeft dit mogelijk meer kans op opbrengstderving. Anderzijds heeft runderdrijfmest een hoger N-nawerking dan varkendrijfmest. Bij langjarig gebruik compenseert dit de lagere eerstejaarswerking.

Hoewel akkerbouwers altijd gereserveerd stonden tegenover het gebruik van runderdrijfmest vanwege de aanwezigheid van onkruidzaden, blijkt dat het verhoogde aanbod van deze mestsoort bij de introductie van het gebruiksnormenstelsel, relatief eenvoudig zijn weg heeft gevonden in o.a. de akkerbouw. In vergelijking met varkendrijfmest kunnen grotere hoeveelheden worden aangevoerd waardoor de vergoeding voor het gebruik ervan vaak hoger is. Bovendien wordt in geval van runderdrijfmest per kg aangevoerde fosfaat meer stikstof en kali aangevoerd waardoor er meer bespaard kan worden op kunstmestkosten.

Op een aantal bedrijven (NZK, CZK en NON) is (deels) uitgegaan van gebruik van vaste kippenmest. Het is echte niet ondenkbaar dat kippenmest voor een belangrijk deel zal worden verwerkt buiten de Nederlandse landbouw (o.a. export naar buitenland, verbranding). In dat geval zal moeten worden overgeschakeld op andere mestsoorten. In geval van varkendrijfmest betekent dit dat de organische stofaanvoer krappert wordt dan nu berekend.



In de berekening is uitgegaan van een gelijkblijvend bouwplan. Door ontwikkelingen op gebied van energiegewassen kan dit mogelijk veranderen. Wanneer hierdoor bijvoorbeeld meer graan zal worden geteeld is dit gunstig voor het organische stofgehalte. Als het echter leidt tot meer snijmaïsteelt, kan zelfs het omgekeerde het geval zijn.

In deze studie is vooral gekeken naar de kosten voor aanvoer van voldoende organische stof. Zoals reeds eerder opgemerkt zijn de baten moeilijk te kwantificeren. Wel is het zo dat bij een onvoldoende aanvoer van organische stof de risico's toenemen van extra kosten om negatieve invloed van een te lage aanvoer te compenseren. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een extra uitgevoerde beregening, een extra grondbewerking, een iets hogere N-bijbemesting, een extra uitgevoerde bespuiting tegen ziekten en plagen e.d. De gesommeerde kosten van deze extra maatregelen zullen waarschijnlijk lager zijn dan de extra kosten voor organische stofaanvoer.

Een hoge organische stofaanvoer zal in het algemeen leiden tot meer uitspoeling, met name wanneer dit wordt gerealiseerd door organische mestsoorten met een lage N-werking. Hierdoor neemt het N-overschot toe en stijgt op termijn de uitspoeling. Deels kan dit worden voorkomen door bij langjarig gebruik rekening te houden met de hogere nawerking en de aanvullende kunstmestgif hierop aan te passen.

Als een hogere organische stofaanvoer wordt gerealiseerd via groenbemesters en/of het onderwerken van stro zullen de effecten op de uitspoeling naar verwachting gering zijn. Indien de groenbemester wordt gebruikt als vanggewas (onbemeste groenbemester) kan de uitspoeling zelfs dalen (indien de N-nalevering uit de ondergewerkte groenbemester wordt verdisconteerd in de N-bemesting). Van deze situatie is alleen sprake wanneer de groenbemester wordt gezaaid na een gewas dat voldoende N in de bodem achterlaat. Anders is een extra N-bemesting vereist en is van een positief op de uitspoeling geen sprake meer.

#### 5.1.4 Conclusies

- Bij een gemiddeld gebruik van dierlijke mest wordt met uitzondering van intensieve bedrijven (hoog aandeel hakvruchten en groenten) meestal wel voldaan aan een minimale aanvoer van 1500 kg EOS per ha uit gewasresten en organische mest. Een streefwaarde van 2000 kg EOS per ha wordt alleen gehaald op bedrijven met een hoog aandeel graan. Een streefwaarde van 2500 kg EOS per ha werd op geen enkel bedrijf gerealiseerd.
- Door de teelt van extra groenbemesters of het inwerken van graanstro kan de gemiddelde EOS-aanvoer op bedrijfsniveau worden verhoogd met respectievelijk 100-200 en 150-800 kg per ha. De hieruit voortvloeiende kosten bedragen 20-45 (groenbemesters) en 25-135 € per ha (inwerken stro).
- Door de helft van de P-aanvoer uit varkensdrijfmest te vervangen door P uit runderdrijfmest kan op de meeste bedrijven een EOS-aanvoer worden gerealiseerd van minimaal 2000 kg EOS per ha.
- Met compost kan binnen de regelgeving (gebruiksnormenstelsel en BOOM) een EOS-aanvoer van zowel 2000 als 2500 kg per ha worden gerealiseerd. In 2007 lopen de kosten uiteen van 15-45 € per ha (2000 EOS) en 25-80 € per ha (2500 EOS). In 2009 en 2015 nemen de kosten toe (20-85 € per ha bij 2000 EOS en 35-150 € per ha voor 2500 EOS). Dit komt omdat bij een strengere P-norm een deel van de goedkope dierlijke mest moet worden vervangen door duurdere compost.
- De kosten per eenheid aangevoerde EOS zijn bij compost lager dan bij de teelt van groenbemesters en inwerken van stro.
- Bij gemiddelde opbrengstniveaus is de P-afvoer met geoogst product lager dan de gebruiksnorm in 2007 en 2009. Bij een norm van 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> is het verschil gering en nemen de risico's van negatieve P-overschotten toe.

## 5.2 Langetermijn effecten

Bij bodembeheer zijn vooral de langetermijn effecten van belang. Daarom zijn aanvullend op de berekeningen uit hoofdstuk 5.1 ook indicatieve berekeningen uitgevoerd naar de effecten op verloop van het organische stofgehalte, N-mineralisatie en fosfaattoestand van de bodem.

### 5.2.1 Organische stof en N-mineralisatie

In de scenarioberekeningen van hoofdstuk 5.1 is de aanvoer van organische stof steeds gekarakteriseerd met de hoeveelheid effectieve organische stof (EOS). In aanvulling daarop zijn voor een beperkt aantal scenario's lange termijn berekeningen uitgevoerd om de effecten op het verloop van het organische stofgehalte en de N-mineralisatie in beeld te brengen. Daarvoor is gebruik gemaakt van het model Minip (Janssen, 1984).

#### Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- De berekeningen zijn uitgevoerd voor een beperkt aantal modelbedrijven op kleigrond (CZK1, CZK2 en ZWK).
- Per bedrijf is een selectie gemaakt uit de mogelijke maatregelen om extra organische stof aan te voeren:
  - Gedeeltelijke vervanging van varkensdrijfmest door rundveedrijfmest. De helft van de aanvoer van fosfaat uit varkensdrijfmest is vervangen door fosfaat uit rundveedrijfmest.
  - Gebruik van compost. Er zijn 2 niveaus van aanvoer van EOS doorgerekend, namelijk 2000 en 2500 kg EOS (beide inclusief gewasresten).
- Er is uitgegaan van het mineralenbeleid uit 2007 en het voorziene beleid uit 2015.
- Voor de berekeningen is uitgegaan van een bouwvoor met een dikte van 20 cm en een organische stofgehalte van 3.4 (CZK1/2) en 3% (ZWK) (gebaseerd op gemiddelde gemeten gehalten volgens tabel 9). De gehanteerde afbraaksnelheid van de organische stof in de bodem komt in het eerste jaar ongeveer overeen met 2% (A-waarde van 20).
- De Minip-berekeningen zijn uitgevoerd voor een periode van 50 jaar. Voor deze relatief lange periode is gekozen, omdat gedurende de eerste jaren na de start van de berekeningen relatief grote schommelingen (vooral in de N-mineralisatie) optreden, en zich pas na verloop van tijd een nieuw evenwicht instelt.

#### Resultaten

De berekende ontwikkeling van het organische stofgehalte en de N-mineralisatie zijn weergegeven in onderstaande tabel. In vrijwel alle situaties, met uitzondering van het scenario waarin 2500 kg EOS wordt aangevoerd, is er sprake van een dalend organische stofgehalte. Dit komt niet overeen met de veronderstelling dat een aanvoer van 1500, 2000 en 2500 EOS voldoende is voor het op peil houden van organische stofgehalten van resp. 2, 3 en 4%.

De berekende daling hangt wel af van het uitgangorganische stofgehalte. Wanneer deze 2,5% bedraagt, is op basis van deze berekeningen geen afname te verwachten, ook niet in situaties waarin hoofdzakelijk varkensdrijfmest wordt gebruikt. De aanscherping van de P-gebruiksnorm van 90 (2007) tot 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (mogelijk in 2015) leidde niet verschillen in daling van het organische stofgehalte op de lange termijn.

De N-mineralisatie laat een wisselend beeld zien. Bij bedrijf CZK1 daalt deze op de lange termijn, bij de andere twee bedrijven stijgt deze, terwijl het organische stofgehalte daalt. Dit impliceert dat het op peil houden van de N-mineralisatie gemakkelijker lijkt dan het op peil houden van het organische stofgehalte.

Tabel 16. Verloop organische stofgehalte en N-mineralisatie in de bouwvoor in relatie tot soort en hoeveelheid organische mest op de modelbedrijven CZK1, CZK2 en ZWK.

Bouw- plan <sup>1</sup>	Scenario <sup>2</sup>	Wetgeving 2007				Wetgeving 2015			
		OS%		N-mineralisatie, kg N/ha/jaar		OS%		N-mineralisatie, kg N/ha/jaar	
		in jaar 1	na 50 jaar	in jaar 1	na 50 jaar	in jaar 1	na 50 jaar	in jaar 1	na 50 jaar
CZK1	basis	3,4	2,6	154	133	3,4	2,6	149	125
	+rdm ipv vdm	3,4	2,8	152	132	3,4	2,7	147	133
	+gft 2000 eos	3,4	3,0	162	151	3,4	3,1	157	156
	+gft 2500 eos	3,4	3,3	168	171	3,4	3,4	163	176
CZK2	basis	3,4	2,7	171	175	3,4	2,7	164	165
	+rdm ipv vdm	3,4	2,9	168	187	3,4	2,9	161	174
	+gft 2000 eos	3,4	3,0	173	185	3,4	3,0	169	184
	+gft 2500 eos	3,4	3,3	181	212	3,4	3,3	174	204
ZWK	basis	3,0	2,5	143	154	3,0	2,4	136	144
	+rdm ipv vdm	3,0	2,8	139	173	3,0	2,7	132	158
	+gft 2000 eos	3,0	2,6	146	163	3,0	2,6	140	156
	+gft 2500 eos	3,0	2,9	151	183	3,0	2,9	145	176

1 Voor beschrijving bouwplannen zie tabel xxx

2 Rdm = runderdrijfmest, vdm = varkensdrijfmest, gft = gft-compost, eos = effectieve organische stof

## 5.2.2 Fosfaattoestand

In hoofdstuk 5.1 is vastgesteld dat in bepaalde situaties (bouwplannen met hoog aandeel graan en aardappelen; hoge opbrengstniveaus) de P-afvoer met geoogst product hoger is dan de toegestane P-aanvoer in het kader van de gebruiksnormen. Dit is vooral het geval bij een eventuele P-gebruiksnorm van 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (indicatieve norm voor 2015). De vraag is wat dit betekent voor de P-toestand van de bodem.

Wanneer het P-overschot door aanscherping van de P-gebruiksnorm bij een bepaald bouwplan daalt, zal zich op termijn een nieuw evenwicht gaan instellen bij een lagere fosfaattoestand. De mogelijkheid tot reparatiebemesting bij een P<sub>w</sub> lager dan 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter vormt daarbij het laagste niveau. Vermoedelijk zullen op lange termijn (tientallen jaren) veel akkerbouwpercelen een fosfaattoestand van ongeveer P<sub>w</sub>30 hebben. Onderzoekservaringen geven aan dat een eventuele daling langzaam (1-2 P<sub>w</sub>-punten per jaar) gaat. Een lagere fosfaattoestand wordt het eerst zichtbaar in de fosfaatfractie die is opgelost in het bodemvocht en minder snel in de fractie die voor het gewas direct beschikbaar is (P<sub>w</sub>). Gezien de goede fosfaattoestand van een groot deel van de Nederlandse bodems zal dit op die percelen op korte termijn niet tot knelpunten leiden.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

In onderhavige bureaustudie is gekeken naar de gevolgen van het mineralenbeleid voor het bodembeheer op akkerbouwbedrijven. Daarbij is eerst een inventarisatie uitgevoerd naar knelpunten en oplossingsrichtingen (maatregelen). Bij de inventarisatie is tevens gebruik gemaakt van ervaringen uit de praktijk via een tweetal workshops met telers. Vervolgens zijn scenarioberekeningen uitgevoerd om de kosten van diverse maatregelen in kaart te brengen voor verschillende representatieve bouwplannen. Bij dit onderdeel lag de focus op de organische stofaanvoer.

Uit de workshops met telers kwam vooral de zorg naar voren voor handhaving van het organische stofgehalte (en hiermee samenhangend het N-leverend vermogen) en de fosfaattoestand. Voor de kleigrond werden tevens structuurproblemen genoemd door verschuiving van toediening van drijfmest van het najaar naar het voorjaar.

Wat betreft organische stofbeheer zijn de belangrijkste maatregelen de keuze en hoeveelheid van organische mest, het telen van groenbemesters en het achterlaten van gewasresten (graanstro). Ook grondbewerking (ploegdiepte) speelt hierbij een rol. Ter verbetering van de fysische bodemvruchtbaarheid komen vooral maatregelen gericht op vermindering van berijdingschade in beeld (o.a. lichtere machines, aangepaste bandenspanning, vaste rijpaden, vroegere rassen).

Uit de scenarioberekeningen blijkt dat met het huidige organische mestgebruik vooral op intensieve bedrijven met weinig graan en relatief veel (industrie)groenten de aanvoer van organische stof via gewasresten en organische mest laag is (< 1500 kg effectieve organische stof per ha). Verder blijkt dat het voor de meeste akkerbouwbedrijven moeilijk is een aanvoer te realiseren van 2000 kg effectieve stof per ha. Het is echter onduidelijk welke aanvoer voldoende is om daling van het organische stofgehalte te voorkomen. Lange termijn modelberekeningen laten zien dat bij organische stofgehalten hoger dan 2,5-3% er mogelijk een daling gaat optreden bij het huidige mineralenbeleid. Anderzijds bleek uit een analyse van een groot aantal bodemonsters, uitgevoerd door Blgg, dat er in de periode 1984-2004 op bouwland gemiddeld nog geen sprake is van een daling van het organische stofgehalte (Reijneveld et al., 2007). Waarschijnlijk kunnen de monsters worden gegroepeerd in percelen waar het organische stof gehalte daalt, gelijk blijft en stijgt, maar daar is niet naar gekeken.

Uit de berekeningen blijkt verder dat verhoging van de aanvoer van organische stof via organische mest goedkoper is dan via extra groenbemesters of het achterlaten van graanstro. Wat betreft het eerste gaat het dan vooral om organische mestsoorten met een hoger gehalte aan organische stof dan de veel gebruikte varkensdrijfmest. Met laatstgenoemde mestsoort wordt weinig organische stof aangevoerd. Als alternatief kan worden gedacht aan runderdrijfmest of eventueel compost. Bij beide mestsoorten is uiteraard de beschikbaarheid wel een belangrijke randvoorwaarde.

Bij de keuze van de diverse organische stofbronnen speelt de aard van de organische stof mogelijk ook een rol. Er zijn aanwijzingen dat vooral de labele organische stof een belangrijke rol speelt bij de vorming van stabiele aggregaten in de bodem en de N-levering van de bodem. De stabiele organische stof die onder andere wordt aangevoerd met organische mest is echter van belang voor de bijdrage aan het adsorptiecomplex en het vochthoudend vermogen. Dat impliceert dat verschillende organische stofbronnen elk op hun eigen wijze bijdragen aan de verschillende functies van organische stof in de bodem.

Bij gemiddelde opbrengstniveaus is de fosfaatafvoer met geoogst product lager dan de gebruiksnorm in 2007 en 2009. Bij een norm van 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (waarschijnlijk in 2015) is het verschil geringer en nemen vooral bij hoge opbrengstniveaus de risico's van negatieve P-overschotten toe, waardoor de P-toestand van de grond kan dalen. Op dit moment is niet duidelijk aan te geven bij welke Pw zich, gegeven het P-overschot, het nieuwe evenwicht gaat instellen. Rekening houdend met het feit dat bij een toestand lager dan Pw25 gedurende 4 jaar een reparatiebemesting is toegestaan, zal de Pw-toestand op lange termijn zich vermoedelijk stabiliseren rond Pw30. Onderzoekservaringen geven aan dat een eventuele daling langzaam (1-2 Pw-punten per jaar) gaat. Gezien de goede fosfaattoestand van een groot deel van de Nederlandse bodems zal dit op die percelen op korte termijn niet tot knelpunten leiden. Wanneer het Pw-getal ligt in het traject 25-35 kunnen knelpunten ontstaan op bedrijven met een hoog aandeel fosfaatbehoefte gewassen (o.a. aardappelen en enkele groentegewassen).

Bij een lage fosfaatgebruiksnorm worden ook verschillen in effectiviteit van de fosfaat in meststoffen steeds belangrijker. Het gaat dan vooral om concurrentie tussen goed beschikbare P uit kunstmest en op korte termijn minder goed beschikbare P uit organische meststoffen.

## 6.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Voor het vervolg van deze studie wordt een combinatie voorgesteld van verdiepend onderzoek (veldexperimenten) en het toetsen en monitoren van maatregelen m.b.t. bodembeheer op praktijkbedrijven. Deze twee sporen worden hieronder toegelicht

### **Verdiepend onderzoek**

Belangrijke onderzoeksvragen hierbij zijn i) welk type organische stof het meest effectief is om de chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit op peil te houden en ii) welke indicatoren het meest geschikt zijn om de bodemkwaliteit te karakteriseren. Voorgesteld wordt om veldproeven aan te leggen waarin verschillende systemen van organische stofbeheer met elkaar worden vergeleken:

- Accent op organische stofaanvoer via gewasresten (waarbij eventueel nog minimale en maximale aanvoer met gewasresten en groenbemesters wordt vergeleken)
- Accent op organische stofaanvoer via organische mest (eventueel nog onderscheid maken tussen dierlijke mest en compost)

Deze verschillende organische stofscenario's worden gecombineerd met scenario's met een verschillende N-bemesting. Zo kan worden nagegaan of een eventueel negatief effect van een verlaagde N-gift kan worden opgevangen door een goed organische stofbeheer.

De voorkeur gaat uit naar een veldproef op zowel zand- als kleigrond. Vanwege de scherpere gebruiksnormen op zandgrond heeft een proef op deze grondsoort de hoogste prioriteit. De verschillende systemen van organische stofbeheer worden getoetst bij een representatieve rotatie voor de regio waarin de proef worden aangelegd. Omdat het lange termijn onderzoek betreft, is het van belang dat de proeven voor een langere periode (minimaal één volledige rotatie plus een jaar) kunnen worden uitgevoerd.

Gedurende de onderzoeksperiode zal de chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit worden gevolgd via een aantal indicatoren. Daartoe zal een selectie worden gemaakt uit de toestands- en gebruiksindicatoren uit paragraaf 2.3 van de inventarisatie. Ook het glomaline-gehalte lijkt een interessante indicator voor bodemkwaliteit te zijn. Ten behoeve van dit onderdeel zal zoveel mogelijk aansluiting bij andere projecten op het gebied van bodembeheer worden gezocht.

### **Onderzoek op praktijkbedrijven**

Om het belang van een duurzaam bodembeheer onder de aandacht te brengen bij telers en bewustwording en kennisoverdracht van praktijkrijpe maatregelen te stimuleren, wordt voorgesteld om ook onderzoek/demonstraties op praktijkbedrijven uit te voeren. Hierbij wordt in eerste instantie gedacht aan één bedrijf per akkerbouwregio (totaal zes bedrijven), maar ook twee bedrijven per regio is een optie.

Voorgesteld wordt om bij de start (seizoen 2007/2008) op de deelnemende bedrijven een monitoring uit te voeren om het actuele bodembeheer (o.a. aanvoer organische stof) op de deelnemende bedrijven vast te leggen. Daarnaast zal van een beperkt aantal percelen de bodemkwaliteit worden beoordeeld (chemische bodemkwaliteit, fysische bodemkwaliteit door profielkuilbeoordeling) en er wordt een relatie gelegd met o.a. de bemestingshistorie, bouwplan en machinegebruik. Op basis van gesignaleerde knelpunten worden maatregelen geadviseerd. Hierbij kan worden gedacht aan:

- Andere organische mestsoort
- Optimalisering inzet van groenbemesters
- Ondiep ploegen
- Optimalisering voorjaarstoediening van dierlijke mest (kleigrond)

De uitvoering van de genoemde maatregelen (2008 en 2009) zal worden gemonitord. Hierbij wordt gekeken naar effecten op bodemkwaliteit maar ook naar de praktische inpassing in de bedrijfsvoering.

Via demonstraties excursies, artikelen e.d. wordt de sector op de hoogte gehouden van het resultaat van de getroffen maatregelen.

### **Verloop organische stofgehalte**

Naast de hierboven genoemde sporen kan een nadere analyse van beschikbare databestanden (met name van Blgg) informatie geven over het verloop van het organische stofgehalte op akkerbouwbedrijven. Zoals reeds eerder aangegeven bleek uit een analyse van praktijkmonsters dat er in de periode 1984-2004 geen afname van het gemiddelde organische stofgehalte is waargenomen, maar mag worden aangenomen dat hierbinnen sprake is van een grote spreiding. Zo zullen de bemonsterde percelen, die voor deze analyse zijn gebruikt, verschillen in aanvangstoestand van organische stofgehalte,

bouwplan en organische mestgebruik. De analyse kan worden verbeterd door, gebruikmakend van genoemd databestand, (een zo groot mogelijk aantal) vaste percelen te volgen in de tijd (periode van 20 jaar) en een koppeling te maken met de bemestingshistorie en het bouwplan. Zo kan informatie worden verkregen over het effect van een bepaald organische stofbeheer in een bepaalde situatie (gekaracteriseerd door grondsoort, organische stofgehalte, etc.) op de ontwikkeling van het organische stofgehalte. Een dergelijke analyse is ook uitgevoerd voor gras- en maïspancelen.

Voorgesteld wordt deze analyse uit te voeren voor een selectie van modelbedrijven op basis van akkerbouwregio, bouwplan en grondsoort.



## 7 Literatuur

Al-Kaisi, M.M. & X. Yin (2005). Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 34, March-April.

Bakel, J. van, J. Peerboom & L. Stuyt (2007). Draineren tegen verdroging en voor een beter milieu: paradox of werkelijkheid. *H<sub>2</sub>O* (1): 25-29.

Blanc, C., M. Sy, D. Djigal, A. Brauman, P. Normand & C. Villenave (2006). Nutrition on bacteria by bacterial-feeding nematodes and consequences on the structure of soil bacterial community. *European Journal of Soil Biology*, Vol. 42, No. Suppl.1, pp. S70-S78.

Blok, W.J., G.C.M. Coenen, A.S. Pijl & A.J. Termorshuizen (2002). Disease suppression and microbial communities in potting mixes amended with composted biowastes. Pp. 630-644 in: Michel FJ, Rynk RF & Hoitink HAJ (eds.). *Proceedings of the Int. Symposium 'Composting and Compost Utilization'*, Columbus, Ohio, 6-8 May 2002, disc format, JG Press, Emmaus, USA.

Bolt, G.H., M.G.M. Bruggenwert & A. Kamphorst (1978). Adsorption of cations by soil. Hoofdstuk 4 in : Bolt G.H. & M.G.M. Bruggenwert (eds.), *Soil Chemistry. A. Basic elements. Developments in soil science 5A*, Elsevier, Amsterdam, ISBN 0-444-41435-5, 54-90.

Broek R. van den & J. Baar (2005). Meer uienwortels door mycorrhiza-schimmels. *Boerderij/Akkerbouw*, 91, No. 25. pp. 14.

Carter, M.R. (2002). Soil Quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal* 94, 38-47.

Clevering, O.A. & J. Alblas (2005). Agronomische gevolgen van waterpeilverhoging: Resultaten van vijfjaar onderzoek naar de gevolgen van peilverhoging voor beregenen, gewasopbrengsten en nutriëntenbeschikbaarheid in de akkerbouw. PPO rapport 510183.

Clercq, D. de, L. Vandesteene, J. Coosemans & J. Ryckeboer (2003). Use of compost as suppressor of plant diseases. Paper presented at the Euro Summer School on Biotechnology in Solid Waste Management, Wageningen, June 29 – July 4.

Dam, A.M., H.C. de Boer, M. de Beuze, A. van der Klooster, L.J.M. Kater, W. van Geel & P. van der Steeg (2006). Duurzaam bodemgebruik in de landbouw. Advies uit de praktijk. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, PPO rapport 340101, 90 p.

Dekker, P.H.M., S. Radersma, J.R. van der Schoot & M. de Wolf (2003). Scenariostudie 'maatregelen voor de akkerbouw op lössgrond om met de inzet van dierlijke mest aan Minas- en nitraatnormen te voldoen'. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, PPO publicatie 318, 51 pp.

Dekker, P.H.M. & P.A.I Ehlert (2007). Landbouwkundige gevolgen van evenwichtsbemesting voor de opbrengst op bouwland. *Informatieblad Mineralen en Milieukwaliteit*, mei 2007, [www.kennisonline.wur.nl/BO/BO-05](http://www.kennisonline.wur.nl/BO/BO-05).

Borie, F., R. Rubio, J.L. Rouanet, A. Morales, G. Borie & C. Rojas (2006). Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. *Soil & Tillage Research*, Vol. 88, No. 1/2 , pp. 253-261.



- Doran, J.W. & T.B. Parkin (1994). Defining and Assessing Soil Quality, pp. 3-21 In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F. en Stewart B.A. (eds.) Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America Inc., Madison.
- Doran, J.W. en Parkin, T.B. (1996) Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J.W. en Jones, A.J. (eds.) Methods for assessing soil quality, SSSA Special Publication 49. Soil Science Society of America, Madison.
- Dijk, W. van & W.C.A. van Geel (2007). Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen, [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl).
- Ehlert, P.A.I., J.C. van Middelkoop & P.H.M. Dekker (2006). Actualisatie fosfaatgehalten en fosfaatvoer van landbouwgewassen; Alterra-rapport 1348.
- Ehlert, P. & N. van der Bok (2005). Mest- en mineralenkennis voor de praktijk, zorg voor de fosfaattoestand op lange termijn, blad 12 van de serie Plantaardige Programma's DWK 398, december 2005.
- Erp, P.J. van (2002). The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0,01 M CaCl<sub>2</sub> in nutrient management. Proefschrift, Wageningen Universiteit, 237 pp.
- Fontaine, S., A. Mariotti & L. Abbadie (2003). The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? Soil Biology & Biochemistry, Vol. 35, no. 6, pp. 837-843.
- Hamza, M.A. & W.K. Anderson (2005). Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. Soil & Tillage Research, Vol. 82, No. 2, pp. 121-145.
- Hanegraaf, M.C., S.W. Moolenaar, H.W. Elbersen & E. Annevelink (2007). Effecten van biomassaketens op landgebruik en bodemkwaliteit in Nederland. Ontwikkeling en toepassing van een toetsingskader. NMI rapport 1183, 56 p.
- Hanegraaf, M.C. & S.W. Moolenaar (2007). Bio-energie en bodemkwaliteit. Bodem, 2, april 2007, pp. 75-79.
- Hoitink, H.A.J. & M.J. Boehm (1999) Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent phenomenon. Ann. Rev. Phytopathol. 37:427-446.
- Janssen, B.H. (1984). A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic carbon. Plant and Soil 76, 297-304.
- Janssen, B.H. (1996). Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. Plant and Soil 181, 39-45.
- Jensen, J. & M. Mesman (2006). Ecological risk assessment of contaminated land. RIVM rapport 711701047.
- Keltjens, W.G. (1999). Verhoogde fosfaatvoeding van planten op P-arme gronden als gevolg van Mycorrhiza. NMI, Meststoffen, pp. 49-56.
- Koch, H.J. & N. Stockfisch. (2006). Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage. Soil & Tillage Research, Vol. 86, No. 1, pp. 73-83.
- Koopmans, G., W. Chardon C. van der Salm & O. Oenema (2005) Uitmijnen van fosfaatrijke landbouwgronden: een realistische oplossing? Bodem, 5: 171-174.

Locher WP en H de Bakker (1990) (eds.) Bodemkunde van Nederland; Deel 1. Algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch, ISBN 90 208 3545 9, 439 pp.

Louw, P. de, J. van Bakel, J. Buma, H. Hakvoort & A. Veldhuizen (2006). Vergroting Retentiewerking, Rapport 2006-U-R-122/A.

Loveland, P. & J. Webb (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil & Tillage Research* 70, 1-18.

Metay, A., J.A.A. Moreira, M. Bernoux, T. Boyer, J.M. Douzet, B. Feigi, C. Feller, F. Maraux, R. Oliver & E. Scopel (2007). Storage and forms of organic carbon in a no-tillage under cover crops system on clayey Osixol in dryland rice production (Cerrados, Brazil). *Soil & Tillage Research*, Vol. 94, No. 1, pp. 122-132.

Neill, C. & J. Gignoux (2006). Soil organic matter decomposition driven by microbial growth: A simple model for a complex network of interactions. *Soil Biology & Biochemistry* 38, pp. 803-811.

Nichols, K.A. & S.F. Wright (2004). Contributions of fungi to soil organic matter in agroecosystems. *Soil organic matter in sustainable agriculture*, pp. 179-198.

Osman, A., M. Zanen, U. Prins & G.J. van der Burgt (2007). Bakkwaliteit van biologische zomertarwe. Relatie tussen bemesting, eiwitgehalte en broodvolume voor het ras Lavett. Louis Bolk Instituut, publicatie, 23 pp.

Pulleman, M.M., J. Six, N. van Breemen & A.G. Jongmans (2005). Soil organic matter distribution and microaggregate characteristics as effected by agriculture management and earthworm activity. *European Journal of Soil Science*, August 2005, 56, pp. 453-467.

Reicosky, D.C. Conservation tillage and carbon cycling: soil as a source or sink for carbon. University of California, Davis, Vegetable Research and Information Center, 18 pp.

Reicosky, D.C. & D.W. Archer (2007). Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil & Tillage Research*, Vol. 94, No. 1, pp. 109-121.

Reijneveld, A., J. van Wensem & O. Oenema (2007) Trends in soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. Submitted to *Geoderma*.

Shepherd, M.A., R. Harrison, S. Cuttle, B. Johnson, D. Shannon, P. Gosling & F. Rayns (2000). Understanding soil fertility in organically farmed soils. ADAS. UK. Mansfield.

Slepetiene, A. & J. Slepetys (2005). Status of humus in soil under various long-term tillage systems. *Geoderma*, Vol. 127, No. 3/4, pp. 207-215.

Sparling, G., R.L. Parfitt, A.E. Hewitt & L.A. Schipper (2003). Ecological Risk Assessment. Three approaches to define soil organic matter contents. *Journal of Environmental Quality* 32, 760-766.

STEDULA (2005). Indicatoren voor bodemkwaliteit: ontwikkeling van een raamwerk en verkenning van mogelijkheden voor monitoring op beleids- en bedrijfsniveau. Publicatie 16, juni 2005.

Swift, R.S. (2001). Sequestration of carbon by soil. *Soil Science* 166: 858-871.

Tan, Z., R. Lal, L. Owens & R.C. Izaurralde (2007). Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil & Tillage Research*, Vol. 92, No. 1/2, pp. 53-59.

TCB (2003). Advies Duurzamer bodemgebruik in de landbouw. TCB A33(2003). Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.

TCB (2005). Advies Duurzamer bodemgebruik in de landbouw. TCB A36(2005). Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.

Termorshuizen, A.J. & W.J. Blok (2000). Compost en ziekteverendheid. Uit: Ziekteverendheid en biologische activiteit in de bodem. Verslag van de workshop van 4 april 2000. Wageningen. LBI / NMI.

Wright, S.F. & A. Upadhyaya (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, Vol. 1, pp. 97-107.

Wright, S.F., J.L. Starr & I.C. Paltineanu (1999). Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 63, No. 6, pp. 1825-1829.

Wright, S.F. & R.L. Anderson (2000). Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 31, No. 3/4, pp. 249-253.

## Bijlage 1. Deelnemers aan de workshops Bodembeheer en mineralenbeleid, voorjaar 2007

Bruinisse, 12 maart 2007

Naam	woonplaats
H. Simmelink	Bruinisse
K. den Boer	Kerkwerve
J.J. op 't Hof	Sirjansland
H. Machielse	Made
A. Claassen	Stampersgat
P. Romme	Standaardbuiten
C. Stols	Zierikzee
K. Maris	Zierikzee
P. Hanse	Kerkwerve

Rolde, 15 maart 2007

Naam	woonplaats
T. Boersma	Vries
A. Prins	Meeden
H.C. in 't Hout	Veendam
J. Jalving	Papenvoort
J. Reinders	Klijndijk
D. Geerts	Assen
H. de Boer	Bovensmilde
H.G. Maathuis	Wildervank
F. Wigchering	Borgercompagnie