

Effecten van organische-stofbeheer in Nutriënten Waterproof op het organische-stofgehalte en de koolstofopslag in de bodem

Willem van Geel en Janjo de Haan

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

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, 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.

Dit is een vertrouwelijk document, uitsluitend bedoeld voor intern gebruik binnen PPO dan wel met toestemming door derden. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermenigvuldigd of verspreid voor extern gebruik.

Projectnummer: 32530133

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector agv

Adres : Edelhertweg 1
: Postbus 430, 8200 AK Wageningen
Tel. : 0320 - 29 11 11
Fax : 0320 - 23 04 79
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

1	AANLEIDING	5
2	MATERIAAL EN METHODEN	7
3	RESULTATEN	9
3.1	Organische stofaanvoer	9
3.2	Berekening opbouw/afbraak van de bodemorganische stof na 25 jaar	9
3.3	Verhoging van de aanvoer van effectieve organische stof	11
3.4	Evenwichtssituatie bodemorganische stof	13
4	DISCUSSIE	15
5	CONCLUSIES	17
	LITERATUUR.....	18
	BIJLAGE 1. AANVOER VAN ORGANISCHE STOF, EFFECTIEVE ORGANISCHE STOF EN KOOLSTOF PER TEELT IN DE BEDRIJFSSYSTEMEN VAN NUTRIËNTEN WATERPROOF	19
	BIJLAGE 2. BEREKENINGSMETHODE OPBOUW/AFBRAAK VAN DE BODEMORGANISCHE STOF	22
	BIJLAGE 3. AFBRAAK VAN ORGANISCHE STOF IN DE BODEM BINNEN BEDRIJFSSYSTEMENONDERZOEK OP VREDEPEEL IN DE PERIODE 1997-2004.....	26
	BIJLAGE 4. TOELICHTING OP EXTRA AANVOER VAN EFFECTIEVE ORGANISCHE STOF IN DE GEÏNTEGREERDE BEDRIJFSSYSTEMEN VAN NUTRIËNTEN WATERPROOF VIA GROENCOMPOST	27

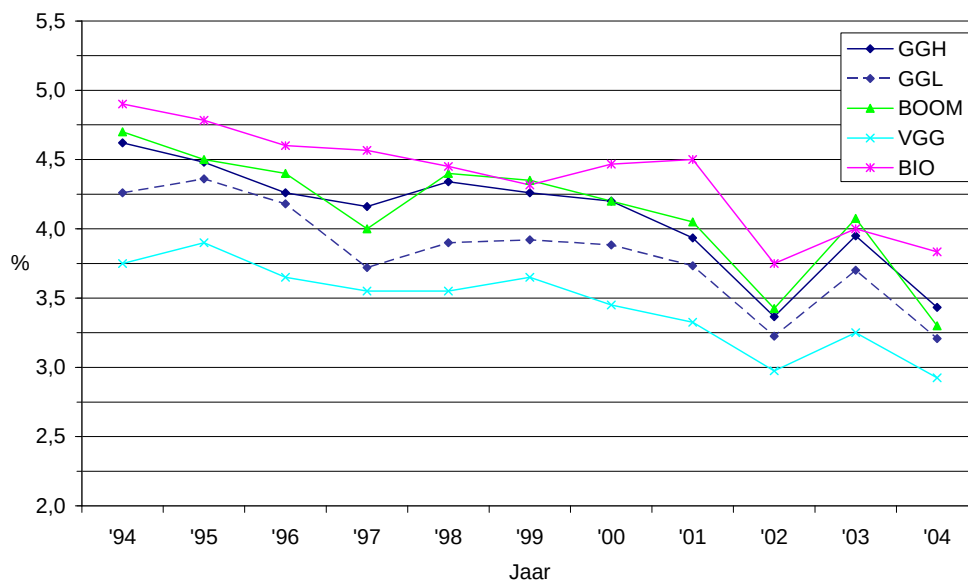
1 Aanleiding

Organisch stofbeheer staat momenteel sterk in de belangstelling. Eén algemene belangrijke reden daarvoor is “duurzaam bodembeheer”. In de concept EU-richtlijn voor duurzaam bodembeheer wordt aangegeven dat de functies die bodems hebben in toenemende mate wordt bedreigd door een scala van menselijke activiteiten die tot bodemverval kunnen leiden. Eén van de bedreigingen die genoemd worden is de afname van organische stofgehalten in bodems. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat organische stof een centrale rol speelt in het in stand houden van een aantal van deze functies en dat het huidige niveau behouden moet worden (EU-commissie, 2002). Wetenschappelijk is er echter geen gefundeerde basis om de huidige organische stofniveaus overal te allen tijde te handhaven. Optimale gehalten hangen af van de doelstellingen waarbij het zowel wenselijk kan zijn om het organische stofgehalte te verhogen als te verlagen (Smit en Kuikman, 2005).

Een meer specifieke reden is de mogelijkheid van koolstofopslag in bodems als maatregel om de emissie van broeikasgassen te reduceren. Een hogere aanvoer van organische stof leidt tot een hoger organisch stofgehalte en dus een grotere hoeveelheid koolstof in de bodem. In een studie naar koolstofopslag op gangbare en biologische bedrijven (Bos et al., 2007) bleek dat met modelberekeningen de afname in koolstof op biologische bedrijven uit het praktijknetwerk BIOM gemiddeld ongeveer 300 kg/ha/jaar is en op gangbare bedrijven uit Telen met toekomst gemiddeld ongeveer 450 kg/ha/jaar over een periode van 25 jaar. Uit de metingen over gemiddeld 5 jaar bleek geen daling van het organische stofgehalte.

Het organische stofgehalte van de bouwvoor van de percelen van het bedrijfssystemenonderzoek op Vredepeel wordt sinds 1988 gemeten. Tot 1994 bleef het gehalte vrij constant, daarna daalde het. In figuur 1 is het verloop van organisch stofgehalte tussen 1994 en 2004 weergegeven als gemiddelde van de huidige systemen van Nutriënten Waterproof. Op basis van een lineaire trend nam het gehalte gemiddelde in alle systemen in 10 jaar tijd met één procentpunt af. Dit betekent dat in het verleden niet aan de intentie van de EU bodemrichtlijn voldaan wordt en er ook geen koolstofopslag plaats vindt. Dit sluit aan bij de bevindingen van de studie van Bos et al. (2007) en Telen met toekomst (Anonymus, 2003).

In Nutriënten Waterproof is organisch stofbeheer een belangrijke maatregel om tot vermindering van uitspoeling te komen. Een belangrijke vraag is hoe hoog de aanvoer van organische stof zou moeten zijn om tot minimale uitspoeling te komen en welke andere effecten dan een rol gaan spelen. Een aantal effecten van organisch stofbeheer op bijvoorbeeld structuur of vermeerdering van schadelijke ziekten en plagen zijn niet of zeer moeizaam te kwantificeren. Effecten als organisch stofbeheer en koolstofopslag in de bodem wel. De vraag is hoe bemestingsstrategieën gericht op een lage uitspoeling in de systemen van Nutriënten Waterproof het organische stofgehalte en de koolstofopslag beïnvloeden, hoe groot deze effecten zijn en welke gevolgen deze effecten kunnen hebben op de inrichting van systemen. Ook worden een aantal onderzoeksvragen geformuleerd om met organisch stofbeheer zowel de uitspoeling te beperken als de potenties voor koolstofopslag te benutten en de bodem duurzaam te beheren.



Figuur 1. Verloop van het organische stofgehalte in de bodem tussen 1994 en 2004 op de percelen van het bedrijfssystemenonderzoek te Vredepeel. GGH: Geïntegreerd Grootschalig Hoog; GGL: Geïntegreerd Grootschalig Laag, streven naar een minimale organische stofaanvoer ofwel maximale afvoer van organische stof; VGG: Geïntegreerd Vollegrondsgroenten; BOOM: geïntegreerd boomteelt-akkerbouw; BIO: biologisch systeem.

2 Materiaal en methoden

Voor de vijf verschillende bedrijfssystemen van het project Nutriënten Waterproof te Vredepeel (dat in 2005 is gestart) is met behulp van een modelberekening geschat wat na 25 jaar het effect is op het organische stofgehalte in de bodem bij de betreffende rotatie en bemesting. Het gaat om de systemen:

- Geïntegreerd Grootschalig Hoog (GGH): zesjarige rotatie;
- Geïntegreerd Grootschalig Laag (GGL): zesjarige rotatie met streven naar een minimale organische stofaanvoer ofwel maximale afvoer van organische stof;
- Geïntegreerd Kleinschalig Intensief Vollegrondsgroenten (VGG): vierjarige rotatie;
- Geïntegreerd Kleinschalig Intensief Boomteelt, afgewisseld met akkerbouwgewassen (BOOM): vierjarige rotatie;
- Biologisch (BIO): twaalfjarige rotatie.

Als eerste zijn de gemiddelde jaarlijkse aanvoer van organische stof, effectieve organische stof en koolstof per gewas en per systeem berekend op basis van de bouwplannen van 2006 met bekende kengetallen (ref). Voor de berekening van de afbraak van organische stof (o.s.) in de bodem zijn de modellen van Janssen (1984) en Yang (Yang & Janssen, 2000) gebruikt en vergeleken. De modellen zijn nader toegelicht in bijlage 2. Ook de gehanteerde waarden voor de parameters van de modellen en de overige uitgangspunten zijn in bijlage 2 weergegeven.

Vervolgens is verandering van de hoeveelheid koolstof in de grond berekend voor elk bedrijfssysteem. Hierbij is onderscheid gemaakt in de jaarlijkse aanvoer van verse organische stof en het afbraakverloop daarvan in de bodem enerzijds en de afbraak van de reeds in de bodem aanwezige organische stof anderzijds. T.a.v. de aanvoer van de verse organische stof is met beide modellen berekend hoeveel koolstof na 25 jaar aan de bodem is toegevoegd bij een jaarlijkse aanvoer van dezelfde hoeveelheid organische stof en effectieve organische stof. Voor de afbraak van de reeds in de bodem aanwezige organische stof is als startpunt het gemeten organische stofgehalte genomen van najaar 2004.

Vervolgens is gekeken naar de mogelijkheden om de organische stofaanvoer in de systemen te verhogen en de effecten van deze maatregelen op de nutriëntenuitspoeling, organisch stofgehalte en koolstofopbouw. Op langere termijn gaat de voorspelling van de modellen van Janssen en Yang sterk uiteenlopen en geeft het model van Yang een veel lagere netto koolstofopslag in de bodem aan dan het model van Janssen (zie figuur B1 in bijlage 2). Het model van Janssen is niet bruikbaar om lange-termijneffecten door te rekenen en voor het model van Yang is dit onduidelijk.

Voor het bepalen van de benodigde aanvoer van effectieve organische stof in een evenwichtssituatie, waarbij de afbraak van bodemorganischestof gelijk is aan de aanvoer van effectieve organische stof, wordt gemakshalve vaak gerekend met de oude vuistregel gebaseerd op Kortleven (1963):

$$\text{aanvoer EOS} = \text{hoeveelheid bodem-o.s.} * \text{afbraakpercentage bodem-o.s.}$$

Voor een periode van 25 jaar is deze benadering minder nauwkeurig dan de berekening m.b.v. de afbraakmodellen van Janssen of Yang.

3 Resultaten

3.1 Organische stofaanvoer

In tabel 1 is per systeem de gemiddelde jaarlijkse aanvoer van (effectieve) organische stof weergegeven alsook de koolstofaanvoer (C) op basis van effectieve organische stof (EOS). In bijlage 1 is voor elk systeem de rotatie en de aanvoer per teelt aangegeven.

Tabel 1. **Gemiddelde jaarlijkse aanvoer van organische stof (OS), effectieve organische stof (EOS) en koolstof (C) in de bedrijfssystemen van Nutriënten Waterproof (kg/ha)**

Systeem	OS	EOS	C
Geïntegreerd Grootchalig Hoog	6220	2005	940
Geïntegreerd Grootchalig Laag	3540	930	420
Kleinschalig Intensief Vollegrondsgroenten	6890	2280	1070
Kleinschalig Intensief Boomteelt/akkerbouw	5085	2205	1040
Biologisch	6290	2670	1280

3.2 Berekening opbouw/afbraak van de bodemorganische stof na 25 jaar

Het resultaat van de berekeningen is weergegeven in tabel 2. In de periode van 25 jaar verloopt de berekende afbraak van de bodemorganische stof volgens het model van Yang langzamer dan m.b.v. het model van Janssen en is de opbouw door toevoer van vers organisch materiaal hoger. Volgens beide modellen echter, neemt de netto hoeveelheid koolstof in de bodem bij alle bedrijfssystemen af. Die afname is volgens het model van Yang kleiner dan volgens het model van Janssen.

Tabel 2. **Berekende opbouw en afbraak van koolstof (C) in de bodem na 25 jaar bij de verschillende bedrijfssystemen van Nutriënten Waterproof**

Systeem	Aanvangssituatie bodem		Jaarlijkse C-aanvoer (kg/ha)	C-opbouw (ton/ha)		C-afbraak (ton/ha)	
	o.s.-gehalte	C (ton/ha)		Janssen	Yang	Janssen	Yang
GGH	3,4%	69,0	940	5,1	5,5	18,9	17,1
GGL	3,2%	65,5	420	2,1	2,2	17,9	16,2
VGG	2,9%	60,0	1070	5,9	6,3	16,4	14,8
BOOM	3,3%	67,0	1040	6,7	7,3	19,0	17,2
BIO	3,8%	76,0	1280	8,1	8,9	20,8	18,8

Systeem	Netto C-opbouw (ton/ha)		Netto C-opbouw per jaar (kg/ha)	
	Janssen	Yang	Janssen	Yang
GGH	-13,8	-11,6	-551	-463
GGL	-15,9	-14,0	-634	-560
VGG	-10,5	-8,5	-422	-341
BOOM ¹	-12,3	-9,9	-492	-396
BIO	-12,7	-9,9	-508	-398

1. Bij systeem BOOM is aangenomen dat bovenop de afbraak van de koolstof in de bodem nog eens 25 kg C/ha per jaar extra verdwijnt door de afvoer van aanhangende grond met de geoogste buxus.

De afname is het grootst bij GGL, omdat daar de minste koolstof wordt aangevoerd. De afname is het laagst bij VGG. Ondanks dat in systeem VGG geen organische mest wordt ingezet, is de aanvoer en opbouw van verse organische stof nog vrij hoog door de aanvoer via kluitplantjes: 40% van de totale aanvoer van effectieve organische stof. Bovendien is de hierin aanwezige organische stof vrij stabiel organische materiaal. Weliswaar is de aanvoer en opbouw van verse organische stof het hoogst bij BIO, maar de afbraak van de bodemorganische stof is hier ook het hoogst door het hogere organische stofgehalte van de bodem. Bij BOOM wordt enige extra bodemorganische stof afgevoerd met de geoogste buxus, maar in het bemestingsplan is erin voorzien om dit te compenseren met een compostgift na de oogst van de buxus en roos c.q. voor de bieten.

In tabel 3 is het effect op het organische stofgehalte van de bodem weergegeven na 25 jaar. De absolute daling van het organische stofgehalte van de bodem is het hoogst bij GGL en het laagst bij VGG.

Tabel 3. **Effect op het organische stofgehalte van de bodem (%) na 25 jaar bij de verschillende bedrijfssystemen van Nutriënten Waterproof**

Systeem	O.s.-gehalte najaar 2004	O.s.-gehalte na 25 jaar		Daling o.s.-gehalte	
		Janssen	Yang	Janssen	Yang
GGL	3,4	2,7	2,8	0,7	0,6
GGL	3,2	2,4	2,5	0,8	0,7
VGG	2,9	2,4	2,5	0,5	0,4
BOOM	3,3	2,6	2,8	0,7	0,5
BIO	3,8	3,1	3,2	0,7	0,6

De parameterwaarden voor de modellen die zijn aangenomen voor de afbraak van de bodemorganische stof (zie bijlage 2) zijn gebaseerd op een eenmalige meting via een incubatieproef. De waarden komen overeen met een afbraakpercentage van de bodemorganische stof in jaar 1 (bij 9,8 °C) van 2,5% (model Janssen) dan wel 2,1% (model Yang).

In figuur 1 is het verloop van organisch stofgehalte in de bodem weergegeven tussen 1994 en 2004 op de percelen van het bedrijfssystemenonderzoek te Vredepeel. Dit zijn de huidige percelen van de systemen van Nutriënten Waterproof. Tussen 1994 en 2004 daalde het gemeten organische stofgehalte van de bodem sterker dan volgens de berekende cijfers in tabel 3. Tussen 1997 en 2004 was de aanvoer van effectieve organische stof op de percelen van het huidige systeem GGL nagenoeg gelijk aan de voorziene aanvoer in Nutriënten Waterproof (zie tabel B6 in bijlage 3). Op de percelen van de huidige systemen VGG en BOOM was de aanvoer lager en op de percelen van het huidige BIO-systeem hoger. Aan de hand van deze daling en de jaarlijkse aanvoer van effectieve organische stof zoals geregistreerd in FARM is een gemiddelde afbraak van de bodemorganische stof berekend van 3,5%.

In tabel 4 is het effect op de opbouw en afbraak van koolstof (C) in de bodem en het organische stofgehalte weergegeven na 25 jaar volgens berekening met het model van Janssen, uitgaande van een afbraaksnelheid van de bodemorganische stof in jaar 1 van 3,5% (bij 9,8 °C). De berekende netto koolstofopbouw na 25 jaar blijkt sterk te worden beïnvloed door de aanname die wordt gedaan voor de afbraaksnelheid van de reeds in de bodem aanwezige organische stof.

Tabel 4. **Berekende opbouw en afbraak van koolstof (C) in de bodem na 25 jaar bij een hogere afbraaksnelheid van de bodemorganische stof**

Systeem	C-opbouw (ton/ha)	C-afbraak bodem-o.s. (ton/ha)	Netto C- opbouw (ton/ha)	Netto C- opbouw per jaar (kg/ha)	O.s.-gehalte	Daling o.s.- gehalte
GGL	5,1	23,7	-18,5	-742	2,4	1,0
GGL	2,1	22,5	-20,4	-815	2,1	1,1
VGG	5,9	20,6	-14,7	-588	2,1	0,8
BOOM	6,7	23,0	-16,3	-652	2,4	0,9
BIO	8,1	26,1	-18,0	-718	2,8	1,0

3.3 Verhoging van de aanvoer van effectieve organische stof

Om de daling van het organische stofgehalte in de bodem te verminderen, zou er meer effectieve organische stof moeten worden aangevoerd. Mogelijkheden om de aanvoer van effectieve organische stof te verhogen zijn:

- op het veld achterlaten van het stro van de graangewassen;
- dierlijke mest vervangen door groencompost;
- dierlijke mest met een laag gehalte effectieve organische stof (per kg fosfaat) vervangen door dierlijke mest met een hoger gehalte: vervanging varkensdrijfmest door runderdrijfmest
- meer (goed ontwikkelde) groenbemesters telen;
- meer gewassen in de rotatie op te nemen die veel effectieve organische stof nalaten via de gewasresten.

De gemiddelde extra aanvoer van effectieve organische stof van de eerste drie maatregelen voor de verschillende systemen is weergegeven in tabel 5. Het betreft de extra aanvoer die mogelijk is binnen de eis van fosfaatevenwicht (aanvoer = afvoer) die in Nutriënten Waterproof gehanteerd wordt (zie bijlage 4).

Tabel 5. **Extra gemiddelde aanvoer van effectieve organische stof (kg per ha per jaar) door diverse maatregelen**

Maatregel	GGH	VGG	BOOM	BIO
Stro achterlaten	190	–	170	85
Maximale inzet van groencompost	2625	1895	340	
Vervanging varkensdrijfmest door runderdrijfmest	650	–	–	–

Achterlaten van stro levert slechts een beperkte bijdrage in de stijging van aanvoer van effectieve organische stof. In plaats van het stro na de graanteelt in te werken, kan het ook van het betreffende perceel worden afgevoerd en in het najaar worden aangebracht en ingewerkt na teelten die veel stikstof in de bodem nalaten. Zo kan de uitspoeling na deze teelten gereduceerd worden. De maatregel is relatief duur door de nog aanzienlijke opbrengsten van stro. Ook andere organische materialen met een hoge C/N-verhouding, bijvoorbeeld zaagsel of cellulose, zouden hiervoor kunnen worden aangewend, dit is niet meegenomen in de berekeningen evenals aanvoer van stro van buiten.

Maximale inzet van groencompost geeft de grootste bijdrage aan het verhogen van de aanvoer van effectieve organische stof. Hierbij is uitgegaan van vervanging van de drijfmesten en kunstmestfosfaat door zeer schone groencompost (waarvoor geen aanvoerbeperking geldt ingevolge BOOM). De aanvoer van compost is geen oplossing voor de open teelten als geheel, omdat hiervoor niet voldoende compost voorhanden is.

In het biologische systeem is vervanging van de potstalmest en/of runderdrijfmest door compost moeilijker. Vervanging van runderdrijfmest door compost heeft tot gevolg dat er, met name in het voorjaar, te weinig minerale stikstof in de bodem aanwezig zal zijn. Vervanging van potstalmest door compost heeft tot gevolg dat er meer runderdrijfmest moet worden aangewend om te zorgen voor voldoende werkzame stikstof. Binnen de SKAL-norm zou het mogelijk zijn om de potstalmest en runderdrijfmest te vervangen door zeer schone groencompost en voor de stikstofvoorziening van de gewassen vinassekali (met een laag fosfaatgehalte) in te zetten. Het gebruik van vinassekali staat echter sterk ter discussie binnen de biologische landbouw en grootschalig gebruik ervan zou slecht zijn voor het imago van het biologische systeem. Deze optie is daarom niet doorgerekend.

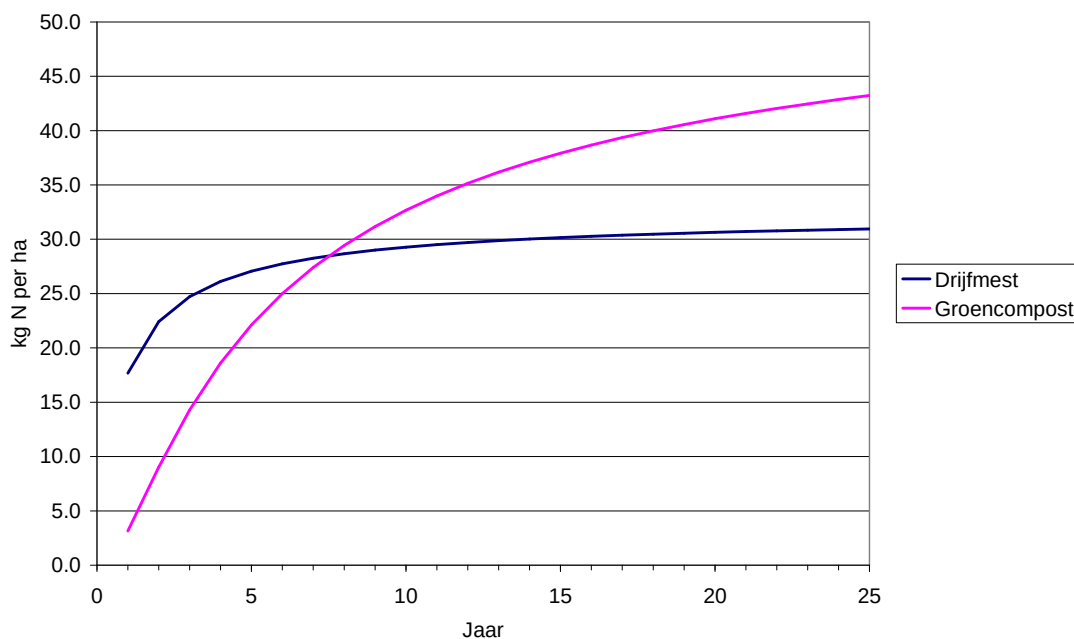
De goedkoopste mogelijkheid om de aanvoer van effectieve organische stof in GGH te verhogen, is om de varkensdrijfmestgift voor aardappelen en bieten te vervangen door runderdrijfmest, maar dit levert minder extra effectieve organische stof op dan vervanging door groencompost (tabel 5). In andere systemen speelt deze optie niet.

De huidige rotaties in Nutriënten Waterproof bieden geen ruimte om meer goed ontwikkelde groenbemesters (vóór 1 september gezaaid) te telen. Daarvoor zouden meer gewassen in de rotatie moeten worden opgenomen die vóór september worden geoogst en die niet worden gevolgd door een tweede teelt. Bedrijfseconomisch is dat echter niet aantrekkelijk.

Granen en grasachtigen laten meer effectieve organische stof na dan rooivruchten. Bovendien kan er na de teelt van graan tijdig een groenbemester worden gezaaid. De opname van meer granen in de rotatie is bedrijfseconomisch echter niet aantrekkelijk vanwege het lage saldo van deze gewassen.

In figuur 2 is de toename van de bodemmineralisatie weergegeven bij systeem GGH bij meerjarige toepassing van varkens- en runderdrijfmest of van (zeer schone) groencompost, volgens berekening met MINIP (Janssen, 1996). De aanvoer van organische gebonden stikstof (Norg) bedraagt bij het drijfmestgebruik gemiddeld 35 kg per jaar en bij compostgebruik gemiddeld 80 kg per jaar. Het gebruik van groencompost leidt aanvankelijk nauwelijks tot een hogere mineralisatie vanwege de langzame afbraak (hoge humificatiecoëfficiënt) en het lage stikstofgehalte c.q. hoge C/N-verhouding. Maar bij meerjarige toediening accumuleert de mineralisatie uit de giften van de afzonderlijke jaren en stijgt het mineralisatieniveau van de bodem. Bij meerjarige toediening van drijfmest stijgt het mineralisatieniveau van de bodem eveneens, maar komt lager uit dan bij gebruik van compost. Dit verschil is het gevolg van het verschil in aanvoer van organisch gebonden stikstof.

Na 25 jaar zou de gemiddelde jaarmineralisatie in de bodem van systeem GGH bij gebruik van groencompost 12 kg N/ha hoger zijn dan bij drijfmestgebruik. Ruwweg mineraliseert hiervan 40% in een periode dat er geen gewas op het veld staat of geen stikstofopname door het gewas plaatsvindt en kan er daarom 5 kg N/ha extra uitspoelen/denitrificeren. Bij VGG zou de jaarmineralisatie bij gebruik van groencompost na 25 jaar met 30 kg N/ha zijn toegenomen, waarvan naar schatting ruwweg 30% niet wordt opgenomen (9 kg N/ha). Bij BOOM zou de jaarmineralisatie met 2 kg N/ha zijn afgenomen.



Figuur 2. **Cumulatieve stikstofmineralisatie bij jaarlijks gebruik van drijfmest of (zeer schone) groencompost in systeem GGH**

In tabel 6 is aangegeven wat na 25 jaar het effect is op de koolstofopbouw in de bodem en het organische stofgehalte bij de geïntegreerde systemen indien het stro wordt achtergelaten en een maximale hoeveelheid groencompost wordt aangevoerd zoals weergegeven in tabel 5. Behalve dat er meer vers organisch materiaal wordt aangevoerd, is het gemiddeld ook stabiel (wordt langzamer afgebroken) door het hogere aandeel groencompost.

Tabel 6. **Berekende opbouw van koolstof (C) in de bodem na 25 jaar bij achterlaten van het stro en maximale aanvoer van groencompost bij twee afbraaksnelheden van de organische stof in de bodem.**

Systeem	C-opbouw (ton/ha)		Netto C-opbouw (ton/ha)			Netto C-opbouw per jaar (kg/ha)		
			Langzamere afbraak		Snellere	Langzamere afbraak		Snellere
	Janssen	Yang	bodem-o.s. ¹		afbraak ²	bodem-o.s.		afbraak
	Janssen	Yang	Janssen	Yang	Janssen	Janssen	Yang	Janssen
GGH	16,0	17,7	-2,9	0,6	-7,7	-117	23	-307
VGG	13,2	14,4	-3,3	-0,4	-7,4	-131	-16	-296
BOOM	8,7	9,5	-10,3	-7,7	-14,3	-412	-309	-572

Systeem	O.s.-gehalte		Daling o.s.-gehalte			
			Langzamere afbraak		Snellere	afbraak
	Janssen	Yang	bodem-o.s.		bodem-o.s.	
	Janssen	Yang	Janssen	Yang	Janssen	Janssen
GGH	3,2	3,4	3,0	0,2	0,0	0,4
VGG	2,7	2,9	2,5	0,2	0,0	0,4
BOOM	2,7	2,9	2,5	0,6	0,4	0,8

1. volgens tabel 2

2. volgens tabel 4

Zelfs bij deze verhoogde aanvoer van effectieve organische stof blijkt de koolstofopslag in de bodem volgens de berekening met het model van Janssen toch nog te dalen. Volgens de berekening met het model van Yang blijft het bij de aanname voor de langzamere afbraaksnelheid van de al aanwezige bodemorganische stof gelijk bij de systemen GGH en VGG.

3.4 Evenwichtssituatie bodemorganische stof

In tabel 7 is aangegeven hoeveel effectieve organische stof er volgens de vuistregel gebaseerd op Kortleven jaarlijks moet worden aangevoerd om de huidige organische stofgehalten in Nutriënten Waterproof te handhaven bij een constante afbraak van 2,1%, 2,5% of 3,5%. Dit geeft een ander beeld dan de resultaten vermeld in tabel 6. Zo zou in systeem GGH bij achtergelaten van het stro en aanvoeren van een maximale hoeveelheid groencompost 4820 kg EOS per ha worden aangevoerd, bij systeem VGG 4175 kg per ha en bij systeem BOOM 2715 kg per ha (zie tabel 1 en tabel 6). Volgens tabel 7 is dat bij GGH en VGG nagenoeg voldoende om het huidige organische stofgehalte van de bodem te handhaven bij een constante afbraak van 3,5%, terwijl het volgens tabel 7 daalt.

Tabel 7. **Benodigde aanvoer van effectieve organische stof (EOS in kg/ha) om de huidige organische stofgehalten in de bodem (najaar 2004) te handhaven bij verschillende constante afbraakpercentages**

Systeem	Benodigde EOS-aanvoer		
	2,1% afbraak	2,5% afbraak	3,5% afbraak
GGH	2900	3450	4830
GGL	2750	3280	4590
VGG	2520	3000	4200
BOOM	2810	3350	4690
BIO	3190	3800	5320

In tabel 8 is aangegeven welk evenwichtsorganische stofgehalte volgens de oude vuistregel wordt bereikt bij de huidige aanvoer van effectieve organische stof (zie tabel 1) en de voornoemde constante afbraakpercentages.

Tabel 8. **Evenwichtsorganische stofgehalten en koolstofopslag in de bodem bij de huidige aanvoer van effectieve organische stof in Nutriënten Waterproof en bij verschillende constante afbraakpercentages**

Systeem	Evenwichtsorganisch stofgehalte (%)			koolstofopslag bodem (ton/ha)		
	2,1% afbraak	2,5% afbraak	3,5% afbraak	2,1% afbraak	2,5% afbraak	3,5% afbraak
GGH	2,3	1,9	1,3	47,7	40,1	28,6
GGL	1,0	0,8	0,6	22,1	18,6	13,3
VGG	2,6	2,2	1,5	54,3	45,6	32,6
BOOM	2,5	2,1	1,5	52,5	44,1	31,5
BIO	3,1	2,6	1,8	63,6	53,4	38,1

In tabel 9 is ter illustratie aangegeven hoeveel effectieve organische stof er in een evenwichtssituatie moet worden aangevoerd om organische stofgehalten van 2,0%, 2,5%, 3,0% of 4,0% te handhaven bij verschillende afbraakpercentages.

Tabel 9. **Benodigde aanvoer van effectieve organische stof (kg/ha) om organische stofgehalten in de bodem te handhaven van 2,0%, 2,5%, 3,0% of 4,0% bij verschillende constante afbraakpercentages**

Organische stof bodem	Benodigde EOS-aanvoer			
	2,0% afbraak	2,5% afbraak	3,0% afbraak	4,0% afbraak
2,0%	1700	2125	2550	3400
2,5%	2100	2625	3150	4200
3,0%	2460	3075	3690	4920
4,0%	3180	3975	4770	6360

4 Discussie

Uit de modelberekeningen met beide organische stofmodellen blijkt dat in alle systemen van Nutriënten Waterproof het organische stofgehalte daalt en de koolstofopslag dus negatief is. Dit spoort met eerdere berekeningen naar koolstofopslag van bedrijven van Telen met toekomst en BIOM (Bos et al., 2007; Postma en van Dijk, 2004). De daling is in dezelfde orde van grootte als berekend in Bos et al. (2007).

Het is onduidelijk of dit ook spoort met metingen van organisch stofgehalte. In Bos et al. 2007 bleek over een relatief korte periode van gemiddeld 5 jaar geen daling. Voor de open teelten zijn geen langjarige analyses van metingen bekend. Voor de melkveehouderij is wel onlangs door NMI en ASG een analyse gedaan waaruit blijkt dat in de periode 1984-2004 gemiddeld geen daling van het organische stofgehalte is opgetreden, zowel op grasland als maïsland. Kanttekeningen bij deze studie zijn dat gras een grote bijdrage heeft aan de organische stofopbouw, in het verleden ruim bemest is en de rundveemest een relatief hoog gehalte effectieve organische stof heeft. De resultaten zijn dus niet te vertalen naar de open teelten, laat staan naar de systemen van Nutriënten Waterproof waar de bemesting zo veel mogelijk gereduceerd wordt en met de gehanteerde randvoorwaarden een hoge aanvoer van organische stof lastig is. Daarnaast liggen de metingen van het organische stofgehalte in lijn met de berekende daling van het organische stofgehalte, de metingen suggereren een hoger afbraakpercentage en een sterkere daling van het organische stofgehalte. Wel is het vreemd dat in de eerste jaren van het bedrijfssysteemonderzoek de daling afwezig was en daarna een sterke daling is ingezet. De precieze aanvoer van organische stof in die periodes is niet berekend maar op het eerste oog lijken de verschillen voor 1994 en na 1994 niet erg groot.

De mogelijkheden om extra effectieve organische stof aan te voeren in Nutriënten Waterproof zijn beperkt. Maximale inzet van groencompost zou de meeste extra effectieve organische stof kunnen opleveren, maar volledige vervanging van drijfmest door groencompost is geen realistisch scenario voor de open teelten als geheel en daarom ook niet voor Nutriënten Waterproof als “voorbeeldbedrijf”. Bovendien is twijfelachtig of met deze maatregel de daling van het organische stofgehalte van de bodem op de percelen van Nutriënten Waterproof kan worden gestopt. Opname van meer vóór 1 september gezaaide groenbemesters en meer granen in de geïntegreerde systemen ofwel extensivering van de rotatie lijkt bedrijfseconomisch vooralsnog niet aantrekkelijk maar zou tevens de nitraatuitspoeling ook verlagen. Bij de huidige opzet van de geïntegreerde vruchtwisselingen lijkt een daling van het organische stofgehalte onvermijdelijk.

Naast het verhogen van het organische stofgehalte kan ook getracht worden om het afbraakpercentage van de organische stof in de bodem te verlagen. Hierbij gaat het naast het zorgen voor optimale groeiomstandigheden voor het gewas met name om het beperken van de grondbewerking.

Gezien de ruimte in de vruchtwisselingen, benodigde organische stofaanvoer en de geschatte afbraakpercentages is het handhaven van de organische stofgehalten ook vrijwel onmogelijk. Het handhaven van een organisch stofgehalte van 2-2,5% lijkt het uiterste haalbaar gezien de huidige vruchtwisselingen en economische omstandigheden. Dan is een organische stofaanvoer van een 2000-3500 kg/ha nodig afhankelijk van het afbraakpercentage van de organische stof in de bodem.

5 Conclusies

- In alle systemen van Nutriënten Waterproof neemt het organische stofgehalte af en is er geen sprake van netto koolstofopbouw in de bodem.
- Het afbraakpercentage van de organische stof in de bodem is geschat op 3,5% en is daarmee ruim boven de gehanteerde vuistregel van 2%.
- Het verhogen van het organische stofgehalte is alleen mogelijk door aanpassing van de vruchtwisseling. Dit heeft over het algemeen negatieve bedrijfseconomische gevolgen.
- Een maximaal haalbaar evenwichtsniveau voor het organische stofgehalte wordt geschat op 2-2,5%.
- Meer onderzoek is nodig naar de precieze situatie. Hierbij gaat het om
 - o Op basis van metingen kijken naar het verloop in organisch stofgehalte op bedrijven in de open teelten over de laatste 10-20 jaar.
 - o Het verbeteren van de kennis over de afbraak van organische stof in de bodem en verbeteren/verfijnen van de afbraakmodellen.
 - o Mogelijkheden om de afbraaksnelheid van organische stof in de bodem te vertragen; o.a. meer inzicht in de effecten van grondbewerking op afbraak van organische stof onder Nederlandse omstandigheden
 - o Ontwikkeling van praktisch uitvoerbare maatregelen voor telers om afbraak van organische stof te verminderen met behoud van opbrengst en kwaliteit.

Literatuur

Anonymus (2003). Jaaroverzicht Telen met toekomst 2002. Plant Research International. Wageningen.

Bos, Jules, Janjo de Haan & Wijnand Sukkel (2007). Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken. Rapport 140. Wageningen UR, Wageningen. 76 p.

EU-commissie (2002). Naar een thematische strategie inzake bodembescherming. Mededeling van de commissie aan de raad, het Europees Parlement, het Economisch en Sociaal comité en het comité van de regio's. Brussel, 16.4.2002, COM(2002) 179 definitief. C5-0328/02.

Janssen, B.H. (1984). A simple method for calculating decomposition and accumulation of "young" soil organic matter. *Plant & Soil* 76, p. 297-304.

Janssen, B.H. (1996). Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil* 181, p. 39-45.

Janssen, B.H. (2002). Organic Matter and Soil Fertility. Collegedictaat J 100-225, editie 2002, Landbouwwuniversiteit Wageningen, 247 p.

Kortleven, J. (1963). Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Proefschrift Landbouwhogeschool. Verslagen van Landbouwkundige onderzoeken nr. 69.1. Centrum voor landbouwpublicaties en landbouwdocumentatie, Wageningen, 109 p.

Postma, R. & T.A. van Dijk (2004). Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; toetsing Minip met resultaten 2002 en 2003. Rapport OV0408, Telen met Toekomst, 36 p.

Postma, R. & T.A. van Dijk (2004). Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; verfijning model Minip. Rapport OV0414, Telen met Toekomst, 32 p.

Annemieke Smit & Peter Kuikman, 2005. Organische stof: onbemind of onbekend? Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1126. 39 blz. 2 fig.; 2 tab.; 49 ref.

Ten Berge, H.F.M., A.M. van Dam, B.H. Janssen & G.L. Velthof (2007). Mestbeleid en bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek. Werkdocument 47. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen UR, 75 p.

Van Dijk, W. (2007). Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Publicatie 307. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 88 p. + bijlagen. *Alleen elektronisch beschikbaar op de web site Kennisakker (www.kennisakker.nl)*

Yang, H.S. (1996). Modelling organic matter mineralization and exploring options for organic matter management in arable farming in northern China. Proefschrift Landbouwwuniversiteit Wageningen, 159 p.

Yang, H.S. & B.H. Janssen (2000). A mono-component model of carbon mineralization with a dynamic rate constant. *European Journal of Soil Science* 51, p. 571-529.

Bijlage 1. Aanvoer van organische stof, effectieve organische stof en koolstof per teelt in de bedrijfssystemen van Nutriënten Waterproof

In de tabellen B1 t/m B4 is aanvoer van organische stof (OS), effectieve organische stof (EOS) en koolstof (C) aangegeven zoals is voorzien in het bemestingsplan van de verschillende bedrijfssystemen. Voor de berekende koolstofaanvoer is uitgegaan van 45% C in de organische stof van gewasresten en 50% C in de organische stof van organische mest. Voor de bodemorganische stof is ook uitgegaan van een koolstofgehalte van 50%.

Tabel B1. **Geïntegreerd grootschalig bedrijfssysteem**

Gewasrotatie	O.s.-bron	GGH			GGL		
		OS	EOS	C	OS	EOS	C
1 Aardappel	varkensdrijfmest	1200	395	198			
	gewasresten	3050	685	308	3050	685	308
2 Triticale	gewasresten	4800	1500	675	4800	1500	675
	groenbemester	2500	550	248	1000	250	113
3 Lelie	gewasresten	1700	340	153	1700	340	153
4 Doperwt	eigen compost	3000	2250	1125			
	gewasresten	5800	1380	621	5800	1380	621
	Prei, winterteelt	2875	665	299	1100	310	140
5 Snijmaïs	runderdrijfmest	2560	1790	895			
	gewasresten	1800	615	277	1800	615	277
	groenbemester	500	120	54	500	120	54
6 Suikerbiet	varkensdrijfmest	1200	395	198			
	gewasresten	6335	1340	603	1500	375	169
Gemiddeld per jaar		6220	2005	940	3540	930	420

Opmerkingen bij tabel B1:

- In systeem GGL wordt de groenbemester na triticale afgemaaid en van het veld afgevoerd. Er is vanuit gegaan dat 75% van de bovengrondse gewasdelen hierdoor wordt verwijderd.
- Ook wordt in GGL het bietenloof afgevoerd. Er is vanuit gegaan dat 80% van de totale oogstresten van biet hierdoor wordt verwijderd.
- In systeem GGL wordt het bladafval van de prei, na schonen en sorteren, niet teruggebracht naar het veld.

Tabel B2. **Intensief vollegrondsgroentensysteem**

Gewasrotatie		Organische stofbron	OS	EOS	C
1	ijssla, 1e teelt	plantkluiten	1520	1215	608
		gewasresten	2040	470	212
	ijssla, 2e teelt	plantkluiten	1520	1215	608
		gewasresten	400	140	63
		groenbemester (winterhard)	3375	775	349
2	prei, late herfstteelt	gewasresten	2580	605	272
3	broccoli, 1e teelt	plantkluiten	760	610	305
		gewasresten	4255	1110	500
	broccoli, 2e teelt	plantkluiten	760	610	305
		gewasresten	865	265	119
		groenbemester (winterhard)	2500	575	259
4	stamslaboon	gewasresten	2975	655	295
		groenbemester	4000	880	396
Gemiddeld per jaar			6890	2280	1070

Opmerkingen bij tabel B2:

- Na de 2^e teelt ijssla worden de bovengrondse gewasresten bij de grond afgesneden (mechanisch) en afgevoerd.
- Na de 2^e teelt broccoli worden de bovengrondse stronken afgemaaid en afgevoerd. Er is vanuit gegaan dat 10% van gewasresten achterblijft in de stoppels.

Tabel B3. **Boomteeltsysteem (kg/ha)**

Gewasrotatie		Organische stofbron	OS	EOS	C
1+2	buxus, tweejarig (ene helft perceel)	geen	0	0	0
1+2	roos, tweejarig (andere helft perceel)	snoeiresten	1835	1100	495
		wortelresten	1530	920	414
3	suikerbiet	compost	3720	2790	1395
		runderdrijfmest	1600	1120	560
		gewasresten	6335	1340	603
4	zomergerst	gewasresten	4200	1310	590
		groenbemester 50%	1125	245	110
Gemiddeld per jaar			5085	2205	1040

Opmerkingen bij tabel B3:

- De buxus wordt kort na de oogst van de zomergerst geplant, waardoor er op deze perceelshelft geen ruimte is voor een groenbemester. De rozen worden pas in het voorjaar geplant, zodat op deze perceelshelft wel een groenbemester kan worden geteeld na de gerst.
- Met de oogst van de buxus wordt aanhangende grond afgevoerd en daarmee ook bodemorganischestof. Hoeveel dit precies is, kan pas met zekerheid worden gezegd als de buxus is geoogst. Naar schatting is het ongeveer ca. 400 kg bodem-o.s. per ha ofwel gemiddeld over de rotatie ca. 50 kg per ha per jaar.

Tabel B4. **Biologisch systeem**

Gewasrotatie		Organische stofbron	OS	EOS	C
1	aardappel	potstalmest	3000	2100	1050
		runderdrijfmest	1600	1120	560
		gewasresten	4200	915	412
1+2+3	tweejarige luzerne	gewasresten	3500	1000	450
3	prei, winterteelt	gewasresten	1100	310	140
4	suikerbiet	potstalmest	3000	2100	1050
		runderdrijfmest	1600	1120	560
		gewasresten	6335	1340	603
		groenbemester	1035	240	108
5	vaste planten, 1-jarig	potstalmest	3000	2100	1050
		gewasresten	1500	300	135
6	zomergerst	runderdrijfmest	1920	1345	673
		gewasresten	4200	1310	590
		groenbemester	2250	520	234
7	aardappel	potstalmest	3000	2100	1050
		runderdrijfmest	1600	1120	560
		gewasresten	4200	915	412
7+8+9	tweejarige luzerne	gewasresten	3500	1000	450
9	broccoli, herfstteelt	plantkluiten	760	610	305
		runderdrijfmest	1600	1120	560
		gewasresten	820	255	115
		groenbemester	1035	240	108
10	zomergerst	runderdrijfmest	1600	1120	560
		gewasresten	4200	1310	590
		groenbemester	2250	520	234
11	bos- en haagplantsoen, 1 ^e jaar	compost	3720	2790	1395
		strodek	7650	2295	1033
12	bos- en haagplantsoen, 2 ^e jaar	snoeiresten	1325	795	358
Gemiddeld per jaar			6290	2670	1280

Opmerkingen bij tabel B4:

- De luzerne wordt na de aardappeloogst gezaaid. Het daaropvolgende jaar is een volledig teeltjaar en in het derde jaar wordt nog één snede gemaaid in het voorjaar. Daarna wordt de luzernestoppel ingefreesd en worden prei en broccoli geplant.
- Het bladafval van de prei, na schonen en sorteren, wordt niet teruggebracht naar het veld.
- Na de herfstteelt broccoli worden de bovengrondse stronken afgemaaid en afgevoerd. Er is vanuit gegaan dat 10% van gewasresten achterblijft in de stoppels.
- Met de oogst van het bos- en haagplantsoen wordt enige aanhangende grond afgevoerd en daarmee ook een geringe hoeveelheid bodemorganische stof. Naar schatting is dit zo weinig, dat het gemiddeld over de rotatie kan worden verwaarloosd.

Bijlage 2. Berekeningsmethode opbouw/afbraak van de bodemorganische stof

Voor de berekening van de afbraak van organische stof (OS) in de bodem zijn de modellen van Janssen (1984) en Yang (Yang & Janssen, 2000) gebruikt en vergeleken. Het model van Janssen beschrijft de afbraak van organische stof c.q. koolstof (C) in de bodem met de volgende formule:

$$Y_t = Y_0 \cdot \text{EXP} (4,7 ((a + t)^{0,6} - a^{0,6}))$$

waarin: Y_t = resterende hoeveelheid OS na t jaar

Y_0 = beginhoeveelheid verse organische stof die aan de bodem wordt toegevoegd

t = aantal jaar na toediening

a = aanvangsleeftijd ofwel initiële leeftijd van het organisch materiaal

De a-waarde verschilt per organische stofbron en hangt af van de snelheid waarmee het materiaal in de bodem wordt afgebroken. Bovengrondse gewasresten van groene planten worden snel afgebroken en hebben een lage a-waarde. Compost wordt langzamer afgebroken en heeft een hogere a-waarde.

De a-waarde kan worden herleid uit de humificatiecoëfficiënt (HC), die voor diverse typen organische materiaal is vastgesteld. De HC is de fractie die een jaar na toediening van de OS nog over is (de effectieve organische stof). In bovenstaande formule is t dan gelijk aan 1, waaruit volgt:

$$HC = Y_1 / Y_0 = \text{EXP} (4,7 ((a + 1)^{0,6} - a^{0,6}))$$

Yang heeft de formule van Janssen als volgt aangepast:

$$Y_t = Y_0 \cdot \text{EXP} (-R \cdot t^S)$$

Hierbij is de a-waarde vervangen door de parameters R en S, die specifiek zijn voor het organische materiaal. Het model van Yang voorspelt de organische stofafbraak beter dan het model van Janssen (Postma & Van Dijk, 2004). Een knelpunt is echter dat de parameters R en S voor veel typen organisch materiaal nog niet (empirisch) zijn vastgesteld. R is de gemiddelde relatieve afbraaksnelheid in het eerste jaar na toediening en kan worden herleid uit de humificatiecoëfficiënt, volgens: $R = -\text{LN} (HC)$ (Yang, 1996). De parameter S geeft de verouderingsnelheid van het organische materiaal aan ofwel hoe snel de afbraaksnelheid afneemt.

De afbraakformules van Janssen en Yang gelden voor een gemiddelde temperatuur van 9 °C. Voor andere temperaturen kan een temperatuurcorrectie (f_{temp}) aan de formules worden toegevoegd:

$$Y_t = Y_0 \cdot \text{EXP} (4,7 ((a + t \cdot f_{\text{temp}})^{0,6} - a^{0,6}))$$

$$Y_t = Y_0 \cdot \text{EXP} (-R \cdot (t \cdot f_{\text{temp}})^S)$$

Berekening van f_{temp} op basis van de temperatuur (T) in °C volgens Janssen (2002):

- $T \leq -1$: $f_{\text{temp}} = 0$
- $-1 < T \leq 9$: $f_{\text{temp}} = 0,1 (T+1)$
- $9 < T \leq 27$: $f_{\text{temp}} = 2^{(T-9)/9}$
- $T > 27$: $f_{\text{temp}} = 4$

Voor deze studie is op basis van de KNMI-gegevens uitgegaan van een gemiddelde jaartemperatuur in het Zuidoosten van 9,8 °C c.q. een f_{temp} van 1,06. Deze gemiddelde temperatuur (ofwel normaaltemperatuur) is gebaseerd op de periode 1971-2000. Als de temperatuur de komende decennia stijgt door het

broeikaseffect, zal de organische stof in de bodem sneller worden afgebroken dan is berekend aan de hand van bovenstaande temperaturen en wordt minder C opgeslagen.

De verandering van de hoeveelheid C in de grond is gemiddeld voor elk bedrijfssysteem berekend. Hierbij is onderscheid gemaakt in: de jaarlijkse aanvoer van verse organische stof en het afbraakverloop daarvan in de bodem enerzijds en de afbraak van de reeds in de bodem aanwezige organische stof op anderzijds. Voor de verse organische stof is per bedrijfssysteem een gemiddelde HC berekend door de gemiddelde aanvoer van effectieve organische stof te delen door de gemiddelde aanvoer van OS. Uit deze HC is de a-waarde afgeleid voor het model van Janssen. Voor het model van Yang is de parameter R berekend volgens: $-LN(HC)$. Tot op zekere hoogte is er een verband tussen de parameters R en S. Uit gegevens van Yang (1996) heeft Janssen (persoonlijke mededeling, 2007) afgeleid dat de parameter S bij benadering is te beschrijven als $S = 0,73 \cdot \exp(-0,5 \cdot HC)$. Deze formule is hier toegepast om S te bepalen. Vervolgens is met beide modellen berekend hoeveel C na 25 jaar aan de bodem is toegevoegd bij een jaarlijkse aanvoer van dezelfde hoeveelheid (E)OS.

Voor de afbraak van de reeds in de bodem aanwezige organische stof is op t_0 uitgegaan van een a-waarde van 19,4 dan wel een R en S van 0,020 en 0,19. Dit betreft het gemiddelde van de waarden voor a, R en S die Postma & Van Dijk (2004) hebben afgeleid voor de percelen 18.2 en 28.2 in het Geïntegreerd Grootschalig systeem uit incubatieproeven door Alterra in najaar 2001. De waarden zijn voor deze studie betrokken op alle andere geïntegreerde percelen. In het biologische systeem is sinds het jaar 2000 meer effectieve organische stof aangevoerd dan in de geïntegreerde systemen, waardoor de bodemorganische stof gemiddeld iets jonger zal zijn. Gemakshalve is echter gerekend met dezelfde waarden als voor de geïntegreerde percelen. Voor het gemiddelde organische stofgehalte in de laag 0-30-cm op t_0 zijn de gemeten organische stofgehalten genomen van najaar 2004. De a-waarde komt overeen met een afbraak tussen t_0 en t_1 van 2,3% en de waarden R en S met een afbraak van 2,0% bij 9 °C dan wel 2,5% respectievelijk 2,1% bij 9,8 °C.

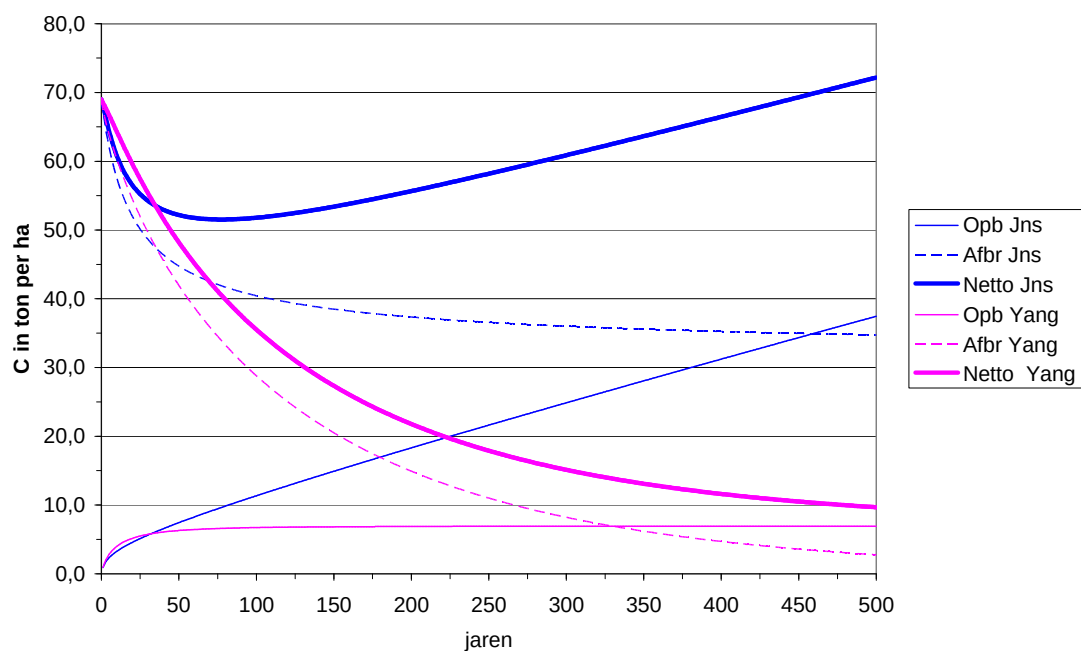
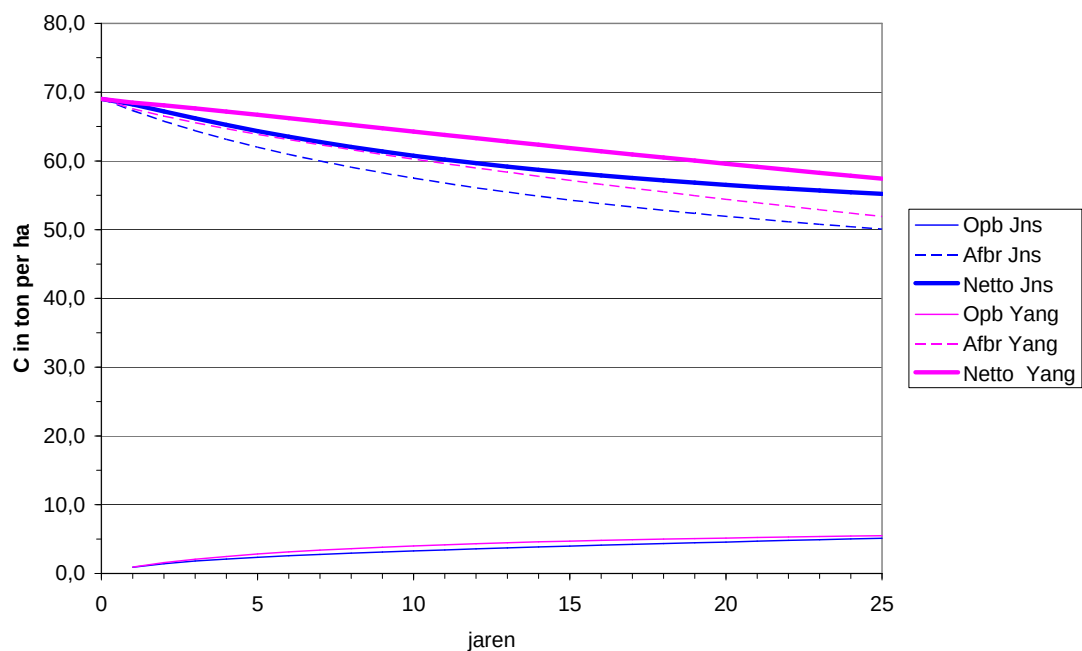
Voor de berekening van het organische stofgehalte naar ton organische stof per ha en vice versa is uitgegaan van de laag 0-30 cm (de laag waarin het gehalte is gemeten) en van de volgende relatie tussen organische stofgehalte en het volumegewicht van de bodem (Van Dijk, 2007):

$$\text{volumegewicht (kg/dm}^3\text{)} = 1 / (0,02525 * O.S. \text{ in procentpunten} + 0,06541)$$

Het model van Janssen is niet bruikbaar om lange-termijneffecten door te rekenen. Volgens het model wordt de aan de bodem toegevoegde organische stof niet volledig afgebroken en blijft een residuele hoeveelheid achter, die gelijk is aan (Janssen, 2002):

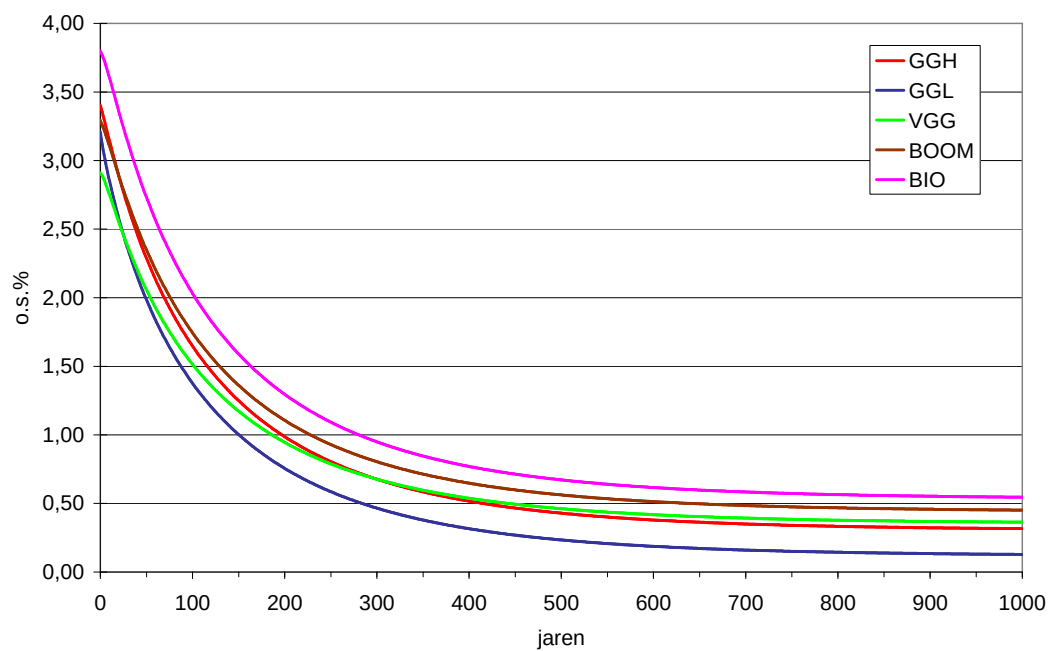
$$Y_{\infty} = Y_0 \cdot \exp(-4,7 \cdot a^{-0,6})$$

Bij een HC van 0,2 c.q. een a-waarde van 1 bedraagt het residu 4,5% van de aangevoerde hoeveelheid effectieve organische stof (bij 9 °C). Bij een HC van 0,25 is dat 5,0% en bij een HC van 0,7 is het 13,6%. Bij jaarlijkse aanvoer van organische stof blijft volgens het model de hoeveelheid organische stof in de bodem op lange termijn alsmaar toenemen (figuur B1), wat niet overeenkomt met de werkelijkheid (Janssen, 2002 en Ten Berge et al., 2007). Er wordt volgens het model nooit een evenwicht bereikt waarbij de afbraak van organische stof in de bodem gelijk is aan de aanvoer van effectieve organische stof. Volgens het model van Yang wordt de aan de bodem toegevoegde organische stof uiteindelijk wel volledig afgebroken en stelt zich op lange termijn nagenoeg een evenwicht in (figuur B1), maar pas bij een zeer laag organische stofgehalte (figuur B2). In tabel B5 zijn deze evenwichtsorganische stofgehalten weergegeven. Na 1000 jaar bedraagt de afbraaksnelheid van de organische stof in de bodem volgens de berekening met het model van Yang 10%-15% (enigszins variërend per bedrijfssysteem). Ten Berge et al (2007) vonden met een berekening met het model van Yang soortgelijke afbraakpercentages. Het is niet duidelijk of deze lange termijnvoorspelling overeenkomt met de werkelijkheid.



Figuur B1. **Voorspelling van de hoeveelheid koolstof in de bodem bij systeem GGH met de modellen van Janssen en Yang bij een jaarlijkse aanvoer van 2005 kg EOS per ha**
(boven over een periode van 25 jaar, onder over 500 jaar)

Opb Jns = opbouw van C in de bodem door jaarlijkse aanvoer van EOS volgens model Janssen
 Opb Yang = idem volgens model Yang
 Abr Jns = C-afbraak van de al in de bodem aanwezige organische stof volgens model Janssen
 Afbr Yang = idem volgens model Yang
 Netto Jns = netto hoeveelheid C in de bodem volgens model Janssen
 Netto Yang = idem volgens model Yang



Figuur B2. **Verloop van het organische stofgehalte in de bodem volgens het model van Yang bij de verschillende bedrijfssystemen van Nutriënten Waterproof**

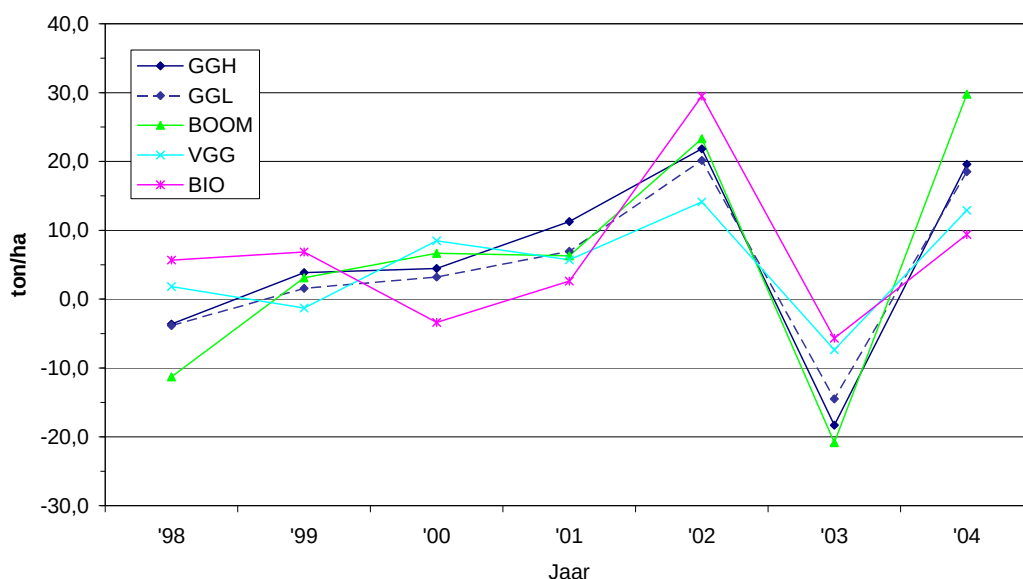
Tabel B5. **Evenwichts-organische stofgehalte en koolstofopslag in de bodem bij de verschillende bedrijfssystemen volgens berekening met model Yang**

Systeem	O.s. (%)	C-opslag bodem (ton/ha)
GGH	0,32	7,0
GGL	0,13	3,0
VGG	0,36	8,0
BOOM	0,45	10,0
BIO	0,55	12,5

Bijlage 3. Afbraak van organische stof in de bodem binnen bedrijfssystemenonderzoek op Vredepeel in de periode 1997-2004

In figuur B3 is de berekende gemiddelde jaarlijkse afbraak van de organische stof in de bodem voor de verschillende bedrijfssystemen weergegeven op basis van de daling van het organisch stofgehalte zoals weergegeven in figuur 1 en de aanvoer van effectieve organische stof in die jaren volgens de teeltregistratie in FARM. Voor de afbraak per jaar is uitgegaan van de afname van de bodemorganische stof plus de aanvoer van effectieve organische stof. Van vóór 1997 waren geen gegevens in FARM beschikbaar. De berekende jaarlijkse afbraak fluctueert sterk als gevolg van de fluctuaties in gemeten organisch stofgehalte van de bodem. Bij geen van de systemen is een duidelijke trend waarneembaar in de berekende jaarlijkse afbraak.

De gemiddelde afbraak in de periode 1997-2004 is daarom berekend op basis van de trendmatige daling van het o.s.-gehalte zoals weergegeven in figuur 1 en de gemiddelde aanvoer van effectieve organische stof in die jaren. In tabel B6 is het resultaat van de berekening weergegeven. Gemiddeld over de jaren en systemen bedroeg die afbraak 3,5%. Dit is het resultaat bij een gemiddelde jaartemperatuur van 9,8 °C (zie bijlage 2). Bij 9,0 °C zou de afbraak 3,3% bedragen. Dat komt overeen met een a-waarde van 15,1.



Figuur B3. Afbraak van organische stof in de bodem op de BSO-percelen te Vredepeel

Tabel B6. Berekende gemiddelde afbraaksnelheid van de organische stof in de bodem tussen 1997 en 2004 op de BSO-percelen te Vredepeel

Systeem	Bodem-o.s. (ton/ha) ¹		Gemiddelde afbraak per jaar (ton/ha)	Gemiddelde EOS-aanvoer per jaar (kg/ha)	Gemiddeld afbraak-percentage
	1997	2004			
GGH	169	144	3,53	2007	3,5%
GGL	160	136	3,40	2009	3,6%
VGG	171	145	3,68	1719	3,4%
BOOM	146	125	3,01	1771	3,5%
BIO	178	155	3,40	2846	3,7%

1. De weergegeven hoeveelheden organische stof in de bodem in 1997 en 2004 zijn de berekende waarden volgens een lineaire trend (zie figuur 1)

Bijlage 4. Toelichting op extra aanvoer van effectieve organische stof in de geïntegreerde bedrijfssystemen van Nutriënten Waterproof via groencompost

In Nutriënten Waterproof wordt gestreefd naar een fosfaatevenwicht (aanvoer = afvoer). Dit beperkt sterk de aanvoer van organische mest.

In systeem GGH wordt nochtans varkensdrijfmest ingezet vóór de aardappelen en bieten en runderdrijfmest voor de maïs. Deze zouden kunnen worden vervangen door een organische mestbron waarbij per kg fosfaat meer effectieve organische stof wordt aangevoerd (zie tabel B7). Er wordt in GGH geen kunstmestfosfaat aangewend, die nog zou kunnen worden vervangen door organische mest. T.a.v. de EOS/fosfaatverhouding zou aanbrengen van extra stro het beste voldoen, gevolgd door groencompost.

Voor de aanvoer van stro gelden geen wettelijke beperkingen. Het is echter geen oplossing voor de open teelten als geheel. Daarvoor is te weinig stro voorhanden. Als bovendien elke graanteler zijn stro zou achterlaten op het veld, zou er zelfs geheel geen stro beschikbaar zijn. Bovendien is het een dure optie.

Extra stro-aanvoer is daarom niet als mogelijkheid opgenomen.

Ook de aanvoer van compost is geen oplossing voor de open teelten als geheel, omdat hiervoor eveneens niet voldoende compost voorhanden is. Voor Nutriënten Waterproof is echter de optie doorgerekend dat de varkens- en runderdrijfmest worden vervangen door groencompost (bij gelijkblijvende fosfaataanvoer).

Voor gebruik van compost is het Besluit Overige Organische Meststoffen beperkend: er mag gemiddeld per jaar niet meer dan 6 ton d.s./ha per jaar aangevoerd. De eigen compost, die voor de erwten wordt aangewend, telt hierin niet mee omdat deze niet van buiten het bedrijf wordt aangevoerd. Voor zeer schone compost geldt geen aanvoerbeperking.

Om in systeem VGG aan de fosfaateis te kunnen voldoen, moet beneden advies worden bemest. Om er voor te zorgen dat het fosfaat zo goed mogelijk wordt benut, wordt het ondiep in het zaai- of plantbed geplaatst met een zaaimachine. Hiervoor wordt kunstmestfosfaat gebruikt. Als dit wordt vervangen door organische mest, is plaatsing niet meer mogelijk en is er kans op een lagere opbrengst en/of slechtere kwaliteit. De eerste jaars fosfaatwerking van compost is lager (60-80%) maar bij langjarige toepassing kan worden uitgegaan van 100% werking (Van Dijk, 2007).

In het boomteeltsysteem kan de runderdrijfmestgift voor de bieten worden vervangen door groencompost. Er wordt in het systeem geen kunstmestfosfaat aangevoerd.

Tabel B7. Kenmerken van een aantal organische mesten (gebaseerd op Van Dijk, 2007) en stro

Mestsoort	HC	EOS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	P ₂ O ₅ (kg/ton)	EOS/P ₂ O ₅	C/N
Mestvarkensdrijfmest	0,33	20	7,2	4,2	4,8	10
Runderdrijfmest	0,70	45	4,4	1,6	28,0	15
Vaste runderstalmest	0,70	105	6,4	4,1	25,6	14
GFT-compost	0,75	143	8,5	3,7	38,5	11
Groencompost	0,75	140	5,1	2,2	63,4	26
Groencompost (zeer schoon)	0,75	134	4,1	1,7	79,0	32
Stro	0,30	230	5,8	1,6	143,4	60