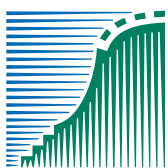




# Lange termijn bodemvruchtbaarheid

-modelverkenningen voor open teeltbedrijven-

Jules Bos



landbouw, natuur en  
voedselkwaliteit

Rapport 237





# Lange termijn bodemvruchtbaarheid

-modelverkenningen voor open teeltbedrijven-

Jules Bos

© 2009 Wageningen, Plant Research International 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 Plant Research International B.V.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

## **Plant Research International B.V.**

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 – 48 60 01  
Fax : 0317 – 41 80 94  
E-mail : [info.pri@wur.nl](mailto:info.pri@wur.nl)  
Internet : [www.pri.wur.nl](http://www.pri.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
1. Inleiding	1
1.1 Eerdere bevindingen	1
2. Verkennende modelberekeningen: Yang	5
2.1 Opzet van de berekeningen	5
2.2 Resultaten	6
3. Doelgericht aanpassen van bemestingsplannen: Nutmatch en Yang	13
3.1 Opzet van de berekeningen	14
3.2 Modelbedrijf vgg4	15
3.3 Modelbedrijf vgg5	18
3.4 Modelbedrijf ZON1	19
3.5 Modelbedrijf NON1	21
4. Synthese	25
5. Conclusies	29
Referenties	31
Bijlage I. Modelbedrijven en organische mestgiften bij eindnorm fosfaat (Scenario 2015) volgens van Dijk <i>et al.</i> (2007)	3 pp.
Bijlage II. Yang parameters van organische materialen (meststoffen, gewasresten en stro, bodemorganische stof)	3 pp.



# 1. Inleiding

Bij sommigen bestaat de zorg dat aanscherpingen van het Gebruiksnormenstelsel op termijn zullen resulteren in een terugloop van de bodemvruchtbaarheid. Om hier mee inzicht in te krijgen is in 2006 het project 'Lange termijn bodemvruchtbaarheid in gangbare en biologische landbouw' gestart. In het kader van dit project zijn verschillende deelprojecten uitgevoerd. Het gaat dan om de volgende deelprojecten:

- Inventarisatie van huidige bemestingsstrategieën in praktijknetwerken Telen met Toekomst en BIOM (Pronk, 2008);
- Beschrijving van de dynamiek van fosfaat, organische stof en stikstof in de bodem, inclusief een kwalitatieve inschatting van de gevolgen van een verminderde aanvoer van nutriënten voor de lange termijn bodemvruchtbaarheid (Rietra *et al.*, 2008);
- Berekenen van consequenties van voorgenomen fosfaatsnormen in 2015 (vooralsnog 60 kg per ha) op gebruik van meststoffen en ontwikkeling van bodemvruchtbaarheid (bodem organische stof %, N-leverend vermogen).

Dit rapport doet verslag van laatstgenoemd deelproject. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op enkele resultaten van ander relevant onderzoek aangaande de effecten van invoering van het Gebruiksnormenstelsel op ontwikkeling van bodemvruchtbaarheid. In Hoofdstuk 2 worden voor een aantal concrete bedrijfssituaties modelberekeningen uitgevoerd om meer zicht te krijgen op de ontwikkeling van bodemvruchtbaarheid in de toekomst en de invloed van bemestingshistorie en historisch landgebruik daarop. In Hoofdstuk 3 worden de mogelijkheden onderzocht voor het verhogen van de aanvoer van organische stof op open teelt bedrijven binnen de voor 2015 voorziene normstelling van het Gebruiksnormenstelsel. In Hoofdstuk 4 wordt een synthese gegeven en in Hoofdstuk 5 volgen conclusies.

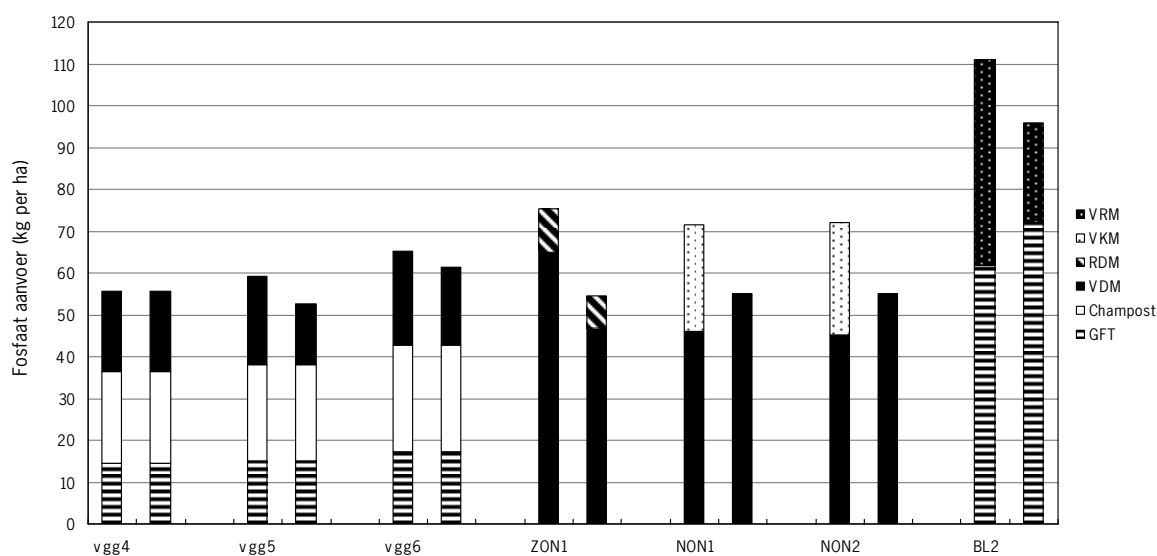
## 1.1 Eerdere bevindingen

Over organische stof, verder afgekort tot OS, is al veel gezegd en geschreven, en dat wordt hier niet herhaald. Hieronder ter introductie wel nog enkele belangrijke constatering gedaan door Rietra *et al.* (2008). Het gebruikelijke wetenschappelijke concept waarmee het gedrag van OS wordt beschreven is de evenwichtsinstelling tussen de aanvoer van OS behorend bij een bepaald landgebruik en het OS-gehalte in de bodem. Een dergelijk evenwicht stelt zich zeer traag in (halfwaardetijd >25 jaar). Bij landbouwkundig verantwoorde organische en anorganische bemesting kan op de lange termijn slechts een toename van maximaal 1% OS in de bodem gerealiseerd worden ten opzichte van een onbemeste controle. Dierlijke mest vormt een belangrijk deel van de aanvoer van OS op open teeltbedrijven in Nederland. De aanvoer van dierlijke mest zal dalen door de aanscherping van de fosfaatgebruiksnorm. De mate waarin deze afname zich zal voordoen is onder meer afhankelijk van de door de overheid toegestane fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw op termijn, en daaraan gekoppeld mogelijkheden om het gebruik van kunstmestfosfaat terug te dringen. Als gevolg van de lagere fosfaatgebruiksnorm zal de aanvoer aan OS naar de bodem naar verwachting met maximaal 10% dalen. Hierdoor ontstaan op lange termijn lagere OS-gehalten in de bodem. Het nieuwe bodemorganische evenwicht zal zich instellen in afhankelijkheid van de lagere aanvoer van OS. Het nieuwe evenwicht zal zich echter veel trager instellen dan eventuele veranderingen in het toekomstige landgebruik. Bovendien zijn de OS-gehalten in Nederlandse landbouwgronden om verschillende redenen (veen, veenresten, plaggen, overmaat mest, etc.) vaak beduidend hoger dan de te verwachten OS-gehalten op basis van normale landbouwkundige aanvoer van organische stof. Hierdoor zijn de huidige OS-gehalten in Nederlandse landbouwgronden vaak hoger dan de gehalten in lange termijn veldproeven die zijn uitgevoerd in omliggende landen. Het voorspellen van (deels oude) OS in Nederlandse landbouwgronden is daarom nauwelijks mogelijk. Op dit moment is het wel mogelijk om de (lange termijn) aanvoer en afvoer van OS te beschrijven. De afbraak van oude bodemorganische stof is waarschijnlijk te locatiespecifiek om op een generieke manier te kunnen beschrijven.

Van Dijk *et al.* (2007) rekenden door wat de gevolgen zijn van het aanscherpen van het Gebruiksnormenstelsel voor de aanvoer van OS op 24 modelbedrijven. Hun berekeningen betrof onder meer een tweetal scenario's:

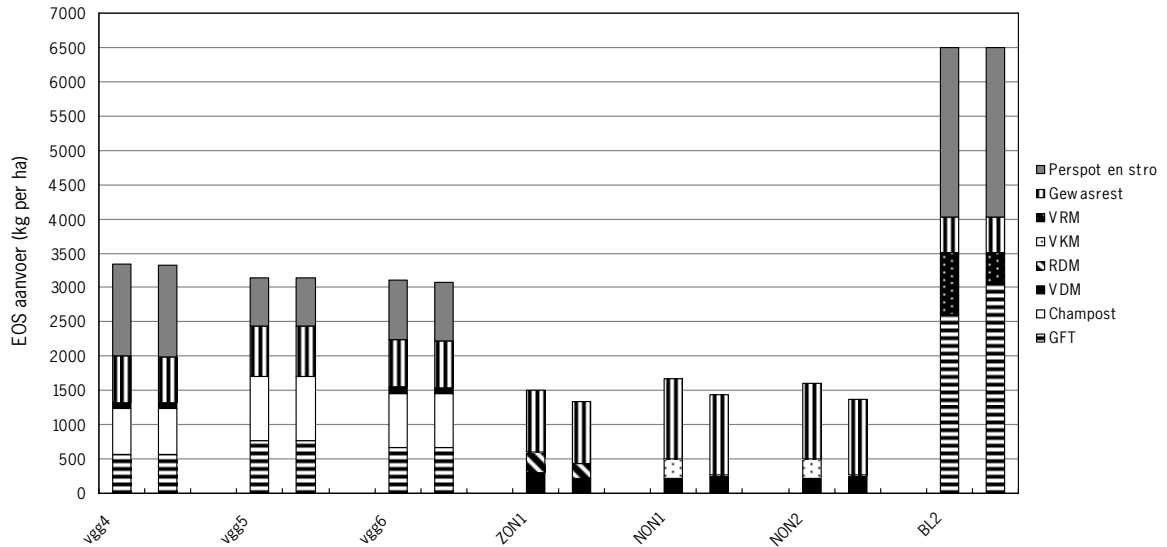
- Referentiescenario: fosfaatgebruiksnorm 95 kg per ha, stikstofgebruiksnormen van 2006;
- Scenario 2015: fosfaatgebruiksnorm 60 kg per ha (momenteel vigerende eindwaarde voorzien voor 2015) gecombineerd met een korting van de stikstofgebruiksnormen van 2006 met 20%.

Van Dijk *et al.* (2007) baseerden het gebruik van dierlijke en andere organische meststoffen in het Referentiescenario op BIN registraties, resultaten van workshops die in het kader van EMW 2007 zijn georganiseerd en ervaringen uit bedrijfsnetwerken zoals Telen met Toekomst. Voor Scenario 2015 werd het gebruik van organische meststoffen ingeschat op basis van voorzienbare ontwikkelingen. In Figuren 1 en 2 is voor een zevental modelbedrijven op zandgrond de landbouwkundige fosfaataanvoer en aanvoer van zgn. effectieve organische stof (EOS) via organische meststoffen, stro, perspotten en gewasresten (inclusief wortels) in beide scenario's weergegeven. Het gaat om 3 vollegrondsgroentenbedrijven (vgg4 t/m 6), 3 akkerbouwbedrijven (ZON1, NON1, NON2) en een bloembolbedrijf (BL2). Bouwplansamenstelling van deze modelbedrijven alsmede bemestingsgegevens zijn weergegeven in Bijlage I.



Figuur 1. Landbouwkundige fosfaataanvoer op zeven modelbedrijven in het Referentiescenario en het Scenario 2015 middels organische meststoffen. Bron: van Dijk *et al.* (2007).





*Figuur 2. EOS input op zeven modelbedrijven in het Referentiescenario en het Scenario 2015 middels organische meststoffen, stro, perspotten en gewasresten. Bron: van Dijk et al. (2007). Gehuurd land op bedrijf vgg5 is buiten beschouwing gelaten. Het tijdelijk gehuurde land draagt immers niet bij aan de organische stof voorziening van het bedrijf.*

In het Referentiescenario worden op de vollegrondsgroentenbedrijven GFT, champost en varkensdrijfmest aangevoerd (Figuren 1 en 2; zie ook Bijlage I). Op twee van de drie bedrijven is de landbouwkundige fosfaataanvoer via organische meststoffen in het Referentiescenario al lager dan 60 kg per ha. In de regelgeving wordt slechts de helft van de middels GFT aangevoerde fosfaat meegeteld. Als daar rekening mee wordt gehouden en met de aanvoer van geringe hoeveelheden kunstmestfosfaat, dan is al in het Referentiescenario op geen enkel groentebedrijf overschrijding van de voor 2015 voorziene aanvoernorm aan de orde. De consequenties van Scenario 2015 voor de inzet van organische meststoffen op de vollegrondsgroentenbedrijven zijn dan ook relatief gering (Figuren 1 en 2). Dat op 2 modelbedrijven de inzet van varkensdrijfmest toch iets is verlaagd, hangt samen met het voldoen aan de stikstofgebruiksnormen. Voor de EOS aanvoer heeft deze verlaging overigens geen noemenswaardige betekenis (Figuur 2). Op de groentebedrijven vormt de aanvoer van perspotten (vgg4 en vgg5) en stro (vgg6) een aanzienlijke bijdrage aan de EOS-voorziening.

Op de akkerbouwbedrijven wordt in het Referentiescenario varkensdrijfmest ingezet, in combinatie met vleeskuikenmest of runderdrijfmest (Figuren 1 en 2). De fosfaataanvoer middels deze meststoffen belooft op elk modelbedrijf ca. 75 kg per ha per jaar (Figuur 1). Onder Scenario 2015 is door van Dijk *et al.* (2007) de inzet van organische meststoffen op de akkerbouwbedrijven teruggebracht tot 55 kg fosfaat per ha per jaar. Kippenmest is daarbij vervangen door varkensdrijfmest, onder de veronderstelling dat kippenmest in de toekomst voor een belangrijk deel zal worden afgezet buiten de Nederlandse landbouw. Als gevolg van de verminderde inzet van dierlijke mest op de akkerbouwbedrijven, neemt de jaarlijkse EOS aanvoer af met 10-15% (Figuur 2). De EOS aanvoer op de akkerbouwbedrijven bevindt zich op een fors lager niveau dan op de groentebedrijven. Dit hangt samen met de veel lagere aanvoer van OS via meststoffen en het ontbreken van teelten waarbij perspotten en/of stro wordt aangevoerd.

Op het bloembolbedrijf BL2 wordt een combinatie van vaste rundermest en GFT-compost ingezet (Figuren 1 en 2). In het Referentiescenario leidt dat tot een landbouwkundige fosfaataanvoer van 110 kg per ha (Figuur 1). Als de helft van het fosfaat in GFT-compost wordt meegeteld (cf. berekening van de wettelijke fosfaataanvoer), dan bedraagt de aanvoer 80 kg per ha. Dit is hoger dan de per 2015 toegestane wettelijke fosfaataanvoer. Om te kunnen voldoen aan de eindnorm is door Van Dijk *et al.* (2007) de aanvoer van vaste rundermest teruggebracht en de aanvoer van GFT compost verhoogd, zodanig dat de wettelijke fosfaataanvoer precies 60 kg per ha bedraagt. Dit heeft geen consequenties voor de EOS-aanvoer (Figuur 2).



## 2. Verkennende modelberekeningen: Yang

Bovenvermelde berekeningen door van Dijk *et al.* (2007) suggereren dat de consequenties van invoering van een aanvoernorm van 60 kg P2O5 per ha per jaar niet heel drastische consequenties zullen hebben voor de jaarlijkse EOS aanvoer, althans ten opzichte van het Referentiescenario. Dat neemt niet weg dat niet duidelijk is hoe de bodemvruchtbaarheid (OS, N-mineralisatie) zich op termijn zal ontwikkelen. Deze ontwikkeling wordt immers niet alleen bepaald door de jaarlijkse aanvoer van OS in recente verleden en nabije toekomst, maar ook door landgebruik en bemestingspraktijken in een wat verder verleden. Om enig inzicht te verkrijgen in het samenspel tussen recente bemesting, historische bemesting en historisch landgebruik enerzijds en ontwikkeling van bodemvruchtbaarheid anderzijds, zijn verkennende berekeningen gedaan met het model Yang, toegepast op een aantal modelbedrijven. In deze verkennende berekeningen wordt rekening gehouden met een aangenomen historie. Daarbij moet bedacht worden dat het maar beperkt mogelijk is de voorgeschiedenis van de modelbedrijven te reconstrueren. Dit geldt zowel ten aanzien van landgebruik in recente en verdere verleden, als voor bemesting.

### 2.1 Opzet van de berekeningen

Aangenomen is dat alle modelbedrijven al decennialang bestaan en dat het bouwplan al die tijd ongewijzigd is geweest. Voor elk bedrijf is gerekend voor twee afzonderlijke perioden, die onderling verschillen voor wat betreft het aangenomen bemestingsregime.

1. Periode\_1 beslaat 20 jaar en betreft 1965 tot en met 1984. Deze periode staat model voor een tijdsgewricht waarin geen beperkingen werden gesteld aan de bemesting van gewassen. Het aangenomen bemestingsregime in deze periode voor alle modelbedrijven is in beginsel gebaseerd op Pieters (1969; zie Kader I). Er is gerekend met vier varianten: 20, 40, 80 en 100 ton vaste rundmest per ha per jaar. Aangenomen is dat het percentage oorspronkelijke bodemorganische stof (dwz., het initiële bodemorganische stof gehalte in 1965), hierna aangeduid als OBOS, 2.5% bedroeg.
2. Periode\_2 beslaat 1985 en daarna en wordt gekenmerkt door regels die in toenemende mate beperkingen stellen aan het gebruik van meststoffen op landbouwbedrijven. Voor de *gehele* periode na 1985 wordt gerekend met de bemestingsplannen die Van Dijk *et al.* (2007) uitrekenden onder Scenario 2015, dwz. bij een maximale aanvoernorm van 60 kg P2O5 per ha per jaar. Deze bemestingsplannen zijn in detail weergegeven in Bijlage I. Periode\_2 is doorgerekend voor een periode van 50 jaar en bestrijkt dus de jaren 1985-2035.

Uiteraard vormen deze aannamen een grove versimpeling van de werkelijkheid, die geen recht doen aan de wellicht zeer grote jaarlijkse variatie in bouwplannen en bemesting in de afgelopen decennia. Omdat het hier echter gaat om modelmatige verkenningen van mogelijke ontwikkelingen op middellange en lange termijn, met daardoor per definitie onzekere uitkomsten, is een dergelijke schematisering niettemin geoorloofd. Oogmerk van de berekeningen is dan ook 'slechts' enig inzicht te verschaffen in ordegroottes van veranderingen in de tijd zoals die zich in de toekomst eventueel kunnen gaan voordoen.

Het Yang model is beschreven in talrijke publicaties (o.a. Yang, 1996; De Willigen *et al.*, 2008; Postma *et al.*, 2004). Input van het model bestaat uit diverse parameters die de (afbraak)eigenschappen van organische materialen mathematisch beschrijven. Een overzicht van de Yang parameters zoals gebruikt in deze studie voor de diverse organische materialen is vermeld in Bijlage II. Yang parameters R (initiële relatieve mineralisatiesnelheid tussen  $t=0$  en  $t=1$ ; dimensie  $t^{S-1}$ ) en S ('verouderingssnelheid' dimensieloos,  $0 \leq S \leq 1$ ) werden berekend uit vergelijkingen en parameters van het verwante model Minip volgens een procedure beschreven door Ten Berge (2007). Yang coëfficiënten werden als volgt vastgesteld:

$$R = -\ln(\text{hum.coëff.})$$

S werd berekend als

$$S = -(\ln K - \ln R) / \ln t, \text{ met}$$

$$K = \frac{-1}{t} \ln\left(\frac{Y_t}{Y_0}\right) \text{ waarin } Y_t \text{ berekend werd met behulp van uitdrukking Janssen.}$$

S werd voor zes tijdstippen (5, 10, 15, 20, 25, 50 jaar) uitgerekend en vervolgens gemiddeld. Via de afbraak van OS volgens Yang, wordt tevens het vrijkomen van N (stikstofmineralisatie) berekend. Daarvoor wordt een stelsel vergelijkingen gehanteerd dat is beschreven door Bos *et al.* (2007a).

## 2.2 Resultaten

De jaarlijkse input van EOS en organische N op alle modelbedrijven in Periode\_1 en Periode\_2 is samengevat in Tabel 1. Inputs van EOS en organische N via gewasresten zijn over de gehele periode constant, omdat is verondersteld dat bouwplannen in de gehele periode aanwezig zijn geweest. In de meeste gevallen is de toediening van vaste rundermest in Periode\_1 de grootste bron van EOS en organische N. Afhankelijk van de aangenomen variant bedraagt deze 100 tot 500 kg organische N per ha per jaar. De aanvoer van organische N via meststoffen in Periode\_2 is in bijna alle gevallen aanzienlijk lager dan in Periode\_1. Met name op de groentebedrijven vgg4 en vgg5 vormen ook gewasresten, perspotten en/of stro een belangrijke bron van OS.

In Figuur 3 a t/m d is het op Tabel 1 gebaseerde en aan de hand van Yang berekende verloop van het OS-gehalte op alle modelbedrijven weergegeven. Figuur 4 a t/m d geeft de bijbehorende ontwikkeling van de jaarlijkse N-levering door de bodem weer. Deze N-levering ('achtergrondmineralisatie') is daarbij gedefinieerd als de N-mineralisatie uit organische bronnen na het eerste jaar na toediening van organische materialen plus de N-mineralisatie uit OBOS.

*Kader 1. Groentegewassen in de vollegrond. (Bron: Pieters, J.H., ongedateerd. Groentegewassen in de volle grond. Cursus Bemestingsleer 1969-'70. Rijkslandbouwconsulentenschap voor bodem en bemesting.)*

*ir. J.H. Pieters*

### *Organische bemesting*

In de tuinbouw, zo wordt algemeen gezegd, is men gewend veel meer organische bemesting toe te passen dan in de landbouw op overigens soortgelijke grond. Wanneer we tuinbouw met akkerbouw vergelijken, valt op dat op een normaal akkerbouwbedrijf een vruchtopvolging van granen en hakvruchten bestaat. Onder normale groeiomstandigheden blijft hier, zonder groenbemesting, ca. 1800 kg/jaar aan droge stof in de grond achter. [...] Kijken we nu naar de tuinbouw, dan blijkt hier over het algemeen veel minder achter te blijven. Vaak wordt de hele plant geoogst, zoals bij kool en bovendien wordt hetgene dat nog achterblijft dikwijls zorgvuldig verzameld en daarna vernietigd of afgevoerd om een eventuele besmetting van het volgende gewas met ziektekiemen te voorkomen.

Om dit verschil in productie van organische stof tussen land- en tuinbouw weg te werken, zou op tuinbouwgronden ca. 15 ton stalmest per ha per jaar nodig zijn. Wanneer men tevens nog wil streven naar een, volgens Kortleven voor een optimale productie wenselijk organisch stofgehalte van 8%, dan kan dat, weer volgens Kortleven, bereikt worden met een jaarlijkse toediening van organische stof ten bedrage van 1/20 van die 8%, hetgeen neerkomt op een jaarlijkse stalmestgift van 80 ton. 50-100 Ton stalmest per ha per jaar wil in de tuinbouw dus niets anders zeggen dan dat men streeft naar een optimaal productieniveau. Er wordt wel gesteld dat in de tuinbouw 100-150 ton stalmest per jaar per ha wordt verstrekt, maar uit LEI-rapporten blijkt – via de bedrijfsboekhoudingen – dat in de meeste streken 40 ton stalmest normaal is. Er zijn echter wel uitzonderingen en wel vooral daar waar men gemakkelijk over meer stalmest kan beschikken.

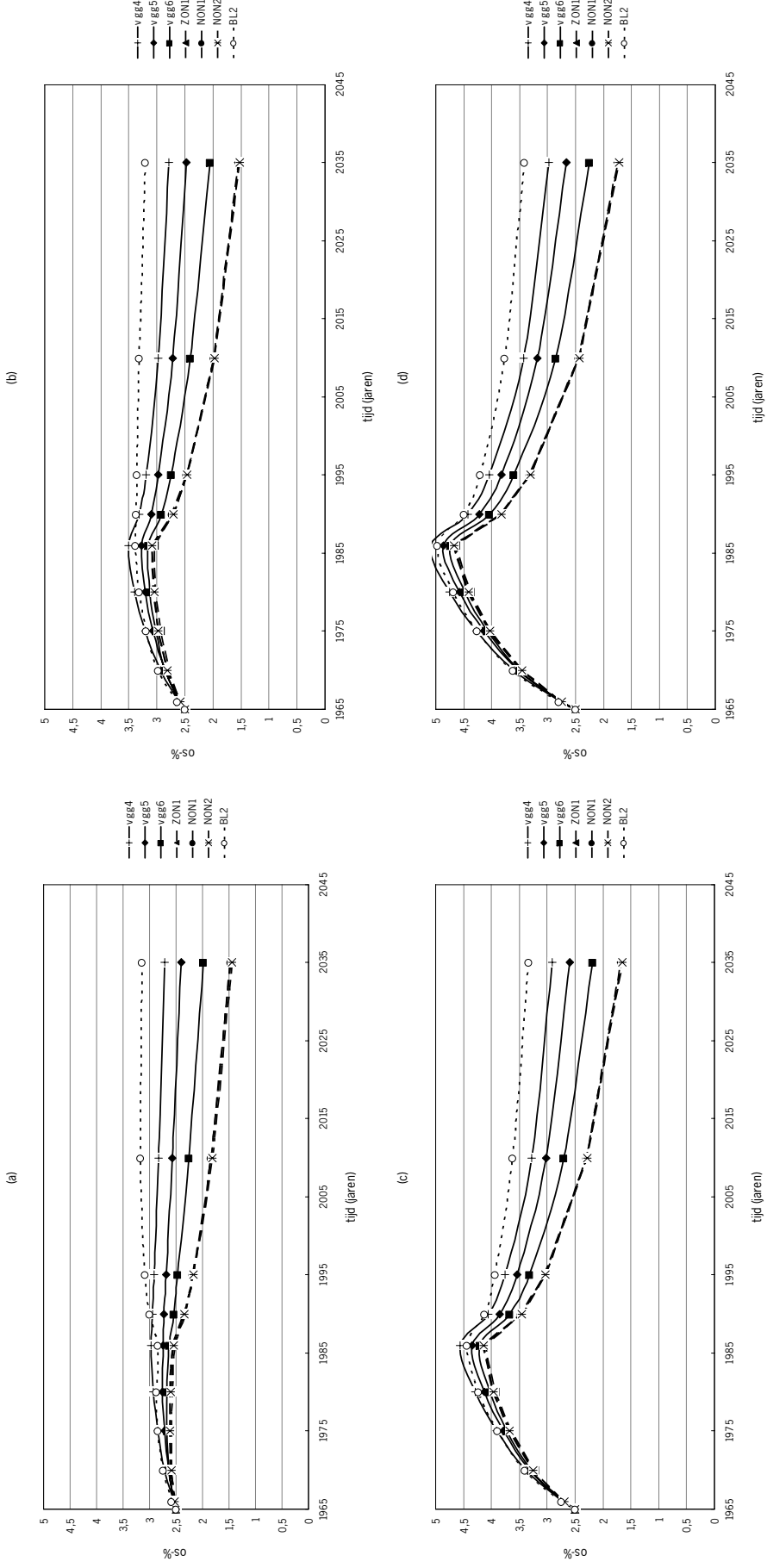
Tabel 1. *Jaarlijkse inputs van EOS / organische N in kg per ha middels organische meststoffen en gewasresten, perspotten en stro op de modelbedrijven in Periode\_1 (vier varianten) en Periode\_2.*

	Organische meststoffen				Periode_2	Gewasresten etc.
	Periode_1					Gehele periode
	20 ton	40 ton	80 ton	100 ton		
vgg4	2100/104	4190/208	8390/416	10480/520	1320/77	2015/169
vgg5	2100/104	4190/208	8390/416	10480/520	1710/89	1440/158
vgg6	2100/104	4190/208	8390/416	10480/520	1540/88	1550/70
ZON1	2100/104	4190/208	8390/416	10480/520	440/44	900/84
NON1	2100/104	4190/208	8390/416	10480/520	260/39	1170/57
NON2	2100/104	4190/208	8390/416	10480/520	260/39	1100/59
BL2	2100/104	4190/208	8390/416	10480/520	3510/180	2990/81

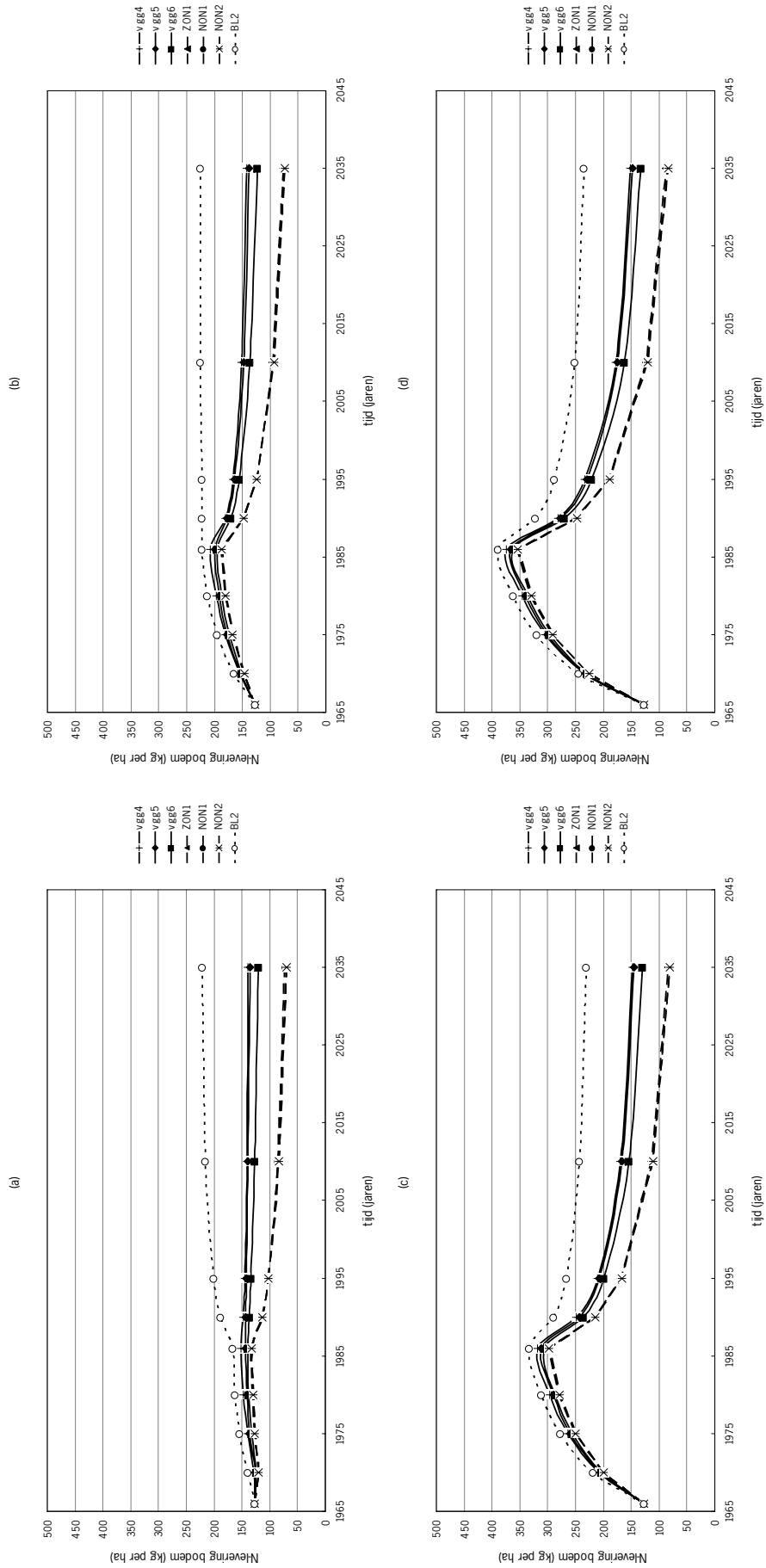
Volgens de berekeningen nemen in Periode\_1 op alle modelbedrijven OS-gehalte en bodem-N-levering toe, tot aan het aflopen van die periode in 1985. De toename is afhankelijk van de variant waarvan wordt uitgegaan en vlakker bij lage doses vaste mest en steiler bij de hoge doses. Bij relatief lage doses vaste mest in Periode\_1 worden op het 'hoogtepunt' in 1985 OS-percentages gehaald van 2.5 – 3.0% (Figuur 3a) en een bodem-N-levering van 130 – 170 kg per ha jaar (Figuur 4a). Bij de hoge doses stalmest worden OS-percentages gehaald van 4.5 – 5.0% (Figuur 3d) en een bodem-N-levering van 350 – 400 kg N per ha per jaar (Figuur 4d).

Na invoering van de veel gematigder bemesting behorend bij Periode\_2 (zie Tabel 1), nemen OS-percentages en bodem-N-levering weer af. Het verloop van de afname is gerelateerd aan de dosis stalmest in Periode\_1 en verloopt vlakker bij de lage doses en steiler bij de hoge doses. Tabel 2 vermeldt de voor het 25e jaar van Periode\_2 (2010) berekende OS-percentages als functie van de dosis vaste rundermest in Periode\_1. Berekende OS-percentages per 2010 op de groentebedrijven bedragen ca. 2.3 – 3.5 %, in afhankelijkheid van de dosis vaste mest in Periode\_1. Op de akkerbouwbedrijven is dit ca. 1.8 – 2.4%. De berekende bodem-N-levering per 2010 varieert tussen de 130 à 180 kg N per ha op de groentebedrijven en 85 à 120 kg N per ha op de akkerbouwbedrijven.

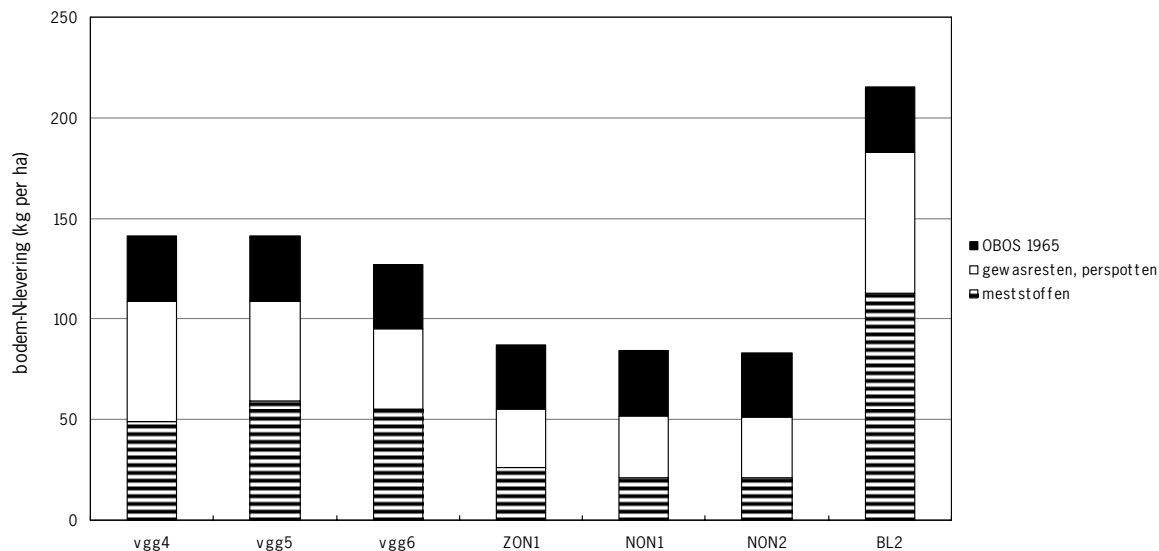
De 'samenstelling' van de bodem-N-levering in 2010, in termen van bijdragen van in 1965 aanwezig veronderstelde OBOS en sindsdien toegediende meststoffen en gewasresten, is weergegeven in Figuur 5. De bijdrage van OBOS aan de bodem-N-levering is voor elk modelbedrijf uiteraard gelijk (30 kg N per ha). Dat geldt ook voor de bijdrage van de in Periode\_1 toegediende vaste mest (10 kg N per ha). Het grootste deel van de N-levering wordt dus verzorgd door bijdragen van gewasresten en sinds 1985 toegediende meststoffen. Logischerwijs zijn deze bijdragen groter naarmate de inputs van deze organische materialen groter zijn (zie daarvoor Tabel 1).



Figuur 3a t/m d. Berekend verloop van het organische stofgehalte op zandgrond in Periode\_1 (1965 t/m 1984) en Periode\_2 (1985 t/m 2035). Voor Periode\_1 is gerekend met een viertal varianten: 20 (a), 40 (b), 80 (c) en 100 (d) ton vaste rundermest per ha per jaar.



Figuur 4a t/m d. Berekend verloop van de bodem-Nlevering op acht modelbedrijven op zandgrond in Periode\_1 (1965 t/m 1984) en Periode\_2 (1985 t/m 2035). Voor Periode\_1 is gerekend met een viertal varianten: 20 (a), 40 (b), 80 (c) en 100 (d) ton vaste rundermest per ha per jaar.



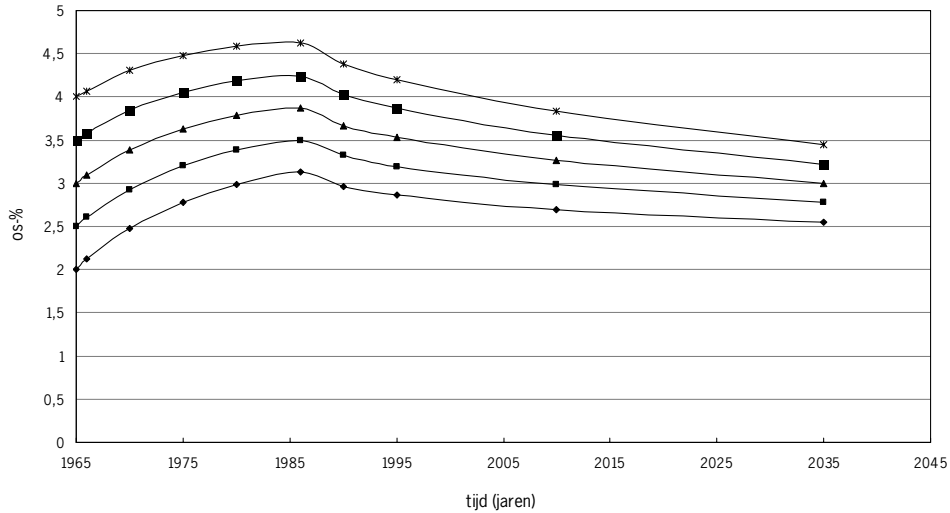
Figuur 5. Berekende 'samenstelling' van de bodem-N-levering per 2010, uitgaande van een initieel OBOS-gehalte in 1965 van 2.5%. Voor Periode\_1 is gerekend met 20 ton vaste rundmest per ha per jaar.

Tabel 2. Berekende OS-percentages per 2010 voor acht modelbedrijven als functie van de dosis vaste rundmest in Periode\_1.

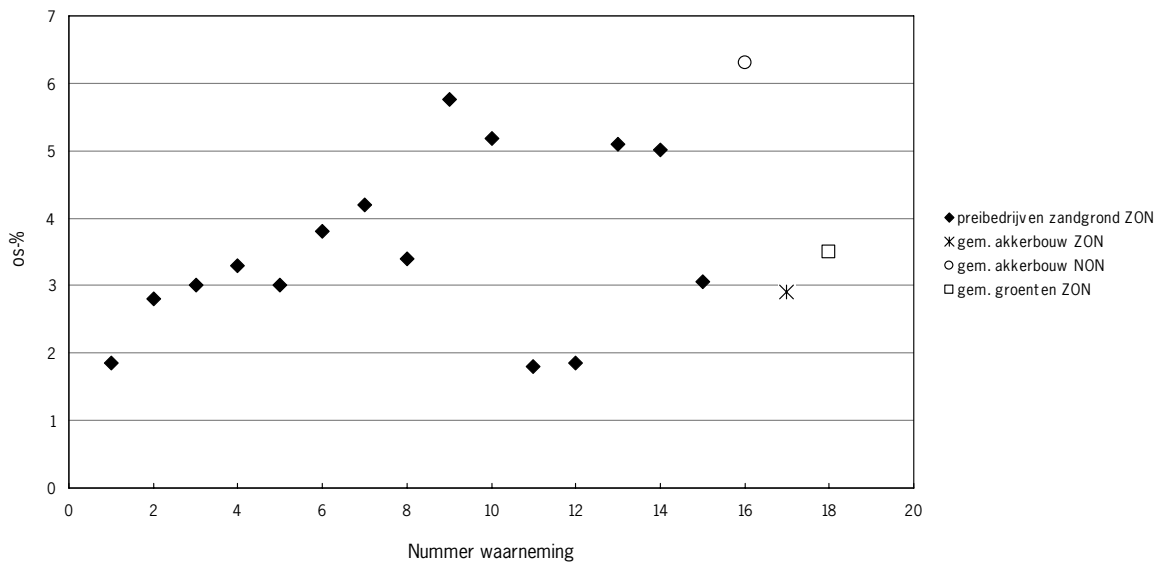
Dosis in Periode_1	vgg4	vgg5	vgg6	ZON1	NON1	NON2	BL2
20 ton	2.8	2.6	2.3	1.8	1.8	1.8	3.2
40 ton	3.0	2.7	2.4	2.0	2.0	2.0	3.3
80 ton	3.3	3.0	2.7	2.3	2.3	2.3	3.6
100 ton	3.4	3.2	2.9	2.4	2.4	2.4	3.8

Tabel 2 vermeldt de voor het 25e jaar van Periode\_2 (2010) berekende OS-percentages als functie van de dosis vaste rundmest in Periode\_1. Over alle modelbedrijven heen bedraagt het verschil in berekend OS-percentage bij de laagste en hoogste dosis ca. 0.6 procentpunt. Dit suggereert dat de bemestingshistorie tot op zekere hoogte verschillen in momenteel op praktijkbedrijven gemeten OS-gehalten kan verklaren. Het is echter onwaarschijnlijk dat bemestingshistorie de enige verklarende variabele is. Integendeel, andere factoren zijn waarschijnlijk in sterkere mate bepalend voor huidige gemeten OS-percentages dan bemestingshistorie (Rietra *et al.*, 2008). Daarbij gaat het met name om de landgebruiksvorm vóór ontginning ten behoeve van landbouw plaatsvond, en daarmee ook om het initiële OBOS percentage aan het begin van Periode\_1 ( $t=0=1965$ ). In alle voorgaande berekeningen is uitgegaan van een initieel percentage OBOS van 2.5%. De invloed van andere initiële percentages OBOS op het verloop van het organische stof gehalte in Periode\_1 en Periode\_2 is voor modelbedrijf vgg4 weergegeven in Figuur 6. Bij een initieel percentage OBOS van 2%, bedraagt het voor 2010 berekende OS-percentage 2.7%. Als wordt uitgegaan van een initieel percentage OBOS van 4%, is dit 3.8%. Dit suggereert dat reeds in een verder verleden bestaande verschillen in OS-percentages nog steeds een doorwerking kunnen hebben in OS-percentages zoals ze vandaag de dag gemeten kunnen worden op praktijkbedrijven.





*Figuur 6. Berekend verloop van het OS-gehalte op modelbedrijf vgg4 op zandgrond in Periode\_1 (1965 t/m 1984) en Periode\_2 (1985 t/m 2035) bij verschillende initiële percentages OBOS. Voor Periode\_1 is gerekend met 40 ton vaste rundermest per ha per jaar.*



*Figuur 7. Gemeten OS-percentages op 15 percelen op preibedrijven in zuidoost Nederland (ZON) (Ten Berge et al., 2008) en geaggregeerde metingen op akkerbouwbedrijven en groentebedrijven in zuidoostelijk en noordoostelijk Nederland (ZON en NON) (Bos et al., 2007b).*

Enkele recente metingen van OS-percentages op gangbare groenten- en akkerbouwbedrijven op zandgronden in zuidoostelijk (ZON) en noordoostelijk Nederland (NON) zijn weergegeven in Figuur 7. Het betreft metingen op 15 percelen op verschillende preibedrijven in ZON (Ten Berge *et al.*, 2008) en door Bos *et al.* (2007b) geaggregeerde metingen op akkerbouwbedrijven (ZON en NON) en groentebedrijven (alleen ZON) op basis van een dataset met gegevens van ca. 500 percelen van 124 bedrijven. De metingen op de preibedrijven (range: 1.9 – 5.8%) geven aan hoe groot de variatie in OS-percentages is, zelfs binnen een relatief homogene groep bedrijven in eenzelfde regio. De geaggregeerde gegevens geven een indicatie van gangbare OS-percentages zoals ze momenteel in de praktijk gevonden kunnen worden. Daarnaast geven de geaggregeerde gegevens inzicht in structurele verschillen tussen regio's. Zo laten de metingen in Figuur 7 zien dat OS-percentages op akkerbouwbedrijven in noordoostelijk

Nederland aanzienlijk hoger zijn dan in zuidoostelijk Nederland. Vermoedelijk houdt dit verband met het bestaan van een oude en inerte pool veenachtig materiaal in bodems op noordelijke dalgronden. Zolang die inerte pool niet goed onderscheiden kan worden van actievere OS, heeft het eigenlijk niet zoveel zin om modelbedrijven op veenkoloniale bodems (NON1 en NON2) door te rekenen.

Vergelijking van de modelmatig en schematisch *berekende* cijfers in Tabel 2 met de *gemeten* cijfers in Figuur 7 leert dat de berekende OS-percentages structureel aan de lage kant zijn. Wellicht kan dit voor een deel verklaard worden door een in werkelijkheid ruimere bemesting in Periode\_2 dan in de berekeningen is aangenomen (zie Tabel 1).

Daarnaast kunnen onjuiste aannames in berekeningen een rol spelen (zoals gehanteerde initiële percentage OBOS en Yang-parameters ter beschrijving van afbraak van organische inputs) of modelartefacten (inadequate mathematische beschrijving van de afbraak van OS).

Voor de periode na 2010 wordt een verdere afname van OS-percentages en bodem-N-levering berekend, zij het dat de snelheid van de afname geleidelijk minder wordt. Op de akkerbouwbedrijven tenderen OS-percentages en bodem-N-levering naar een lager niveau dan op de groentebedrijven. Rekentechnisch is dit te verklaren op grond van aanzienlijk lagere jaarlijkse inputs van OS en organische N op de akkerbouwbedrijven (Tabel 1). Kanttekening bij de berekende voortgezette afname van OS en bodem-N-levering na 2010 is dat de onzekerheid van de modeluitkomsten toeneemt naarmate verder in de toekomst wordt gekeken.

### 3. Doelgericht aanpassen van bemestingsplannen: Nutmatch en Yang

Figuren 3 en 4 suggereren dat OS-gehalten en bodem-N-levering na 2010 verder zullen dalen, indien de voor Periode\_2 aangenomen bemestingsplannen (zoals vastgesteld door van Dijk *et al.* (2007) bij een fosfaat-aanvoernorm van 60 kg per ha per jaar) worden gehandhaafd. Dit roept de vraag op in hoeverre deze bemestingsplannen binnen de normstelling van het Gebruiksnormenstelsel aangepast kunnen worden (andere doses, andere organische meststoffen), zodanig dat de voorspelde afname zoveel mogelijk wordt voorkomen of zelfs geheel teniet wordt gedaan, los van de vraag of dit nodig en/of wenselijk is. Ter beantwoording van deze vraag is het model Nutmatch ingezet.

Nutmatch is een wiskundige rekenmodule waarmee, gegeven een doelstellingsfunctie, optimale bemestingsplannen berekend kunnen worden voor rotaties van open teelt bedrijven, rekening houdend met effecten op de bodemvruchtbaarheid op korte en lange termijn, het Gebruiksnormenstelsel en bedrijfseconomie (Bos *et al.*, 2007a). De belangrijkste in Nutmatch opgenomen doelstellingsfunctie maximaliseert de financiële opbrengsten van gewassen (ha-opbrengsten maal prijs) minus de kosten van bemesting. Kosten van bemesting bestaan uit kosten voor aankoop van kunstmest, kosten van organische meststoffen en loonwerkkosten voor toediening daarvan. Gegeven deze doelstelling heeft Nutmatch op zich geen principiële bezwaren tegen teruglopende OS-gehalten cq. bodem-N-levering. Wel is het zo dat bij een lagere bodem-N-levering dan een aangenomen referentiewaarde, Nutmatch deze lagere N-levering moet compenseren via extra kunstmest-N, teneinde de hoogste gedefinieerde gewasopbrengsten (zijnde standaard KWIN-opbrengsten behorend bij standaard bemestingsadvies) te behalen. Welke strategie Nutmatch kiest (inzet van OS-arme meststoffen versus inzet van OS-rijke meststoffen) wordt bepaald door een subtiel evenwicht tussen diverse bedrijfseconomische factoren, zoals negatieve kosten van de meeste drijfmestsoorten (m.a.w., toeslagen die de teler ontvangt bij afname daarvan), kosten van de meeste andere mestsoorten, kostprijs van kunstmest-NPK, opbrengsten van gewasproducten en ruimte voor aanvoer van organische - en kunstmeststoffen binnen het Gebruiksnormenstelsel.

In Nutmatch moet voldaan worden aan de behoefte aan werkzame N van alle afzonderlijke gewasteelten. Het officiële Bemestingsadvies (van Dijk & van Geel, 2008) specificceert wat de economisch optimale behoefte aan werkzame N is van gewasteelten, meestal in afhankelijkheid van de Nmin-voorraad in de bodem. Deze stikstofbehoefte volgens het Bemestingsadvies wordt hier verder aangeduid als de referentie-N-behoefte. Op basis van deze referentie-N-behoefte zijn per gewas de N-behoeften bij elf gedefinieerde N-niveaus gedefinieerd, inclusief de daarbij horende gewasopbrengsten.

Aan de referentie-N-behoefte van gewassen ligt impliciet een bepaalde bodem-N-levering ten grondslag, namelijk de achtergrondmineralisatie zoals die gemiddeld aanwezig was in de veldproeven waarop het advies voor elk gewas is gebaseerd. De bodem-N-levering is de resultante van mineralisatie van organische bronnen die langer dan een jaar geleden werden toegediend. Helaas is de bodem-N-levering in de veldproeven waarop de referentie-N-behoefte is gebaseerd veelal onbekend. Dat neemt niet weg dat het wel nodig is deze te kennen, teneinde het effect van bemestingsstrategieën op termijn te kunnen evalueren. Daarom wordt in Nutmatch voor deze bodem-N-levering een waarde aangenomen: 100 kg N per ha. Deze aangenomen bodem-N-levering wordt hier verder aangeduid als de referentie bodem-N-levering. Dat is dus de bodem-N-levering waarvan verondersteld wordt dat die aanwezig was in de veldproeven waarop het Bemestingsadvies is gebaseerd en waarbij opvolgen van het Bemestingsadvies resulteert in economisch optimale giften.

Zoals bekend is de jaarlijkse bodem-N-levering de resultante van een jarenlang bodembeheer, dus mede van de gevolgde bemestingsstrategie. Omdat in Nutmatch deze bemestingsstrategie door het model zelf moet worden vastgesteld, is ook de jaarlijkse bodem-N-levering een uitkomst van de modelberekeningen, en niet een van tevoren aan te nemen grootheid. Het staat immers niet bij voorbaat vast dat een met Nutmatch berekend bemestingsplan 'past' bij zo'n aangenomen niveau, zoals bijvoorbeeld de referentie bodem-N-levering. Het kan zijn dat inputs van organische N – als onderdeel van het bemestingsplan – op termijn leiden tot een jaarlijkse bodem-N-levering die hoger is dan de referentie-achtergrondmineralisatie. In dat geval zou bespaard kunnen worden op het gebruik van

kunstmest-N zonder dat dat ten koste gaat van de opbrengst, omdat er meer N via de bodem geleverd wordt. Omgekeerd kunnen relatief lage inputs van organische N op termijn leiden tot een verlaagde jaarlijkse bodem-N-levering. In dat geval zijn de N-giften volgens het Bemestingsadvies onvoldoende voor economisch optimale opbrengsten en zal er meer N via kunstmest en/of dierlijke mest moeten worden gegeven dan het Bemestingsadvies voorschrijft.

De bodem-N-levering wordt in Nutmatch berekend in afhankelijkheid van wat er jaarlijks aan organische meststoffen en gewasresten wordt toegediend, volgens het berekende optimale bemestingsplan. Om dit mogelijk te maken moet de gebruiker specificeren op welke looptijd de berekeningen betrekking hebben. Wordt deze bijvoorbeeld op 25 jaar gesteld, dan 'past' het door Nutmatch geoptimaliseerde bemestingsplan bij de bodem-N-levering welke ontstaat nadat de rotatie met het als optimaal vastgestelde bemestingsplan gedurende 25 jaar is volgehouden. Het lange termijn effect van een bemestingsstrategie op de bodemvruchtbaarheid wordt op deze wijze in rekening gebracht. De bedoelde 'looptijd' wordt overigens niet dynamisch doorlopen, zoals in dynamische simulatiemodellen gebeurt, maar wordt in de technische coëfficiënten verdisconteerd die als invoer dienen voor Nutmatch.

### 3.1 Opzet van de berekeningen

Gebruikmakend van Nutmatch zijn eerst de door Van Dijk *et al.* (2007) opgestelde bemestingsplannen (Scenario 2015; Bijlage I) doorgerekend, door deze op te leggen aan Nutmatch. Het met Nutmatch doorgerekende Scenario 2015 vormt een referentie. Vervolgens zijn per bedrijf twee alternatieven doorgerekend.

1. Het eerste alternatief (ALT\_1) neemt Scenario 2015 als uitgangspunt en zoekt op basis van eigen denkwerk naar alternatieven gericht op het verhogen van de aanvoer van OS-rijke meststoffen, althans voor zover mogelijk binnen het Gebruiksnormstelsel. Indien zinvol, wordt ook gekeken naar mogelijkheden voor het verhogen van de OS-input via teelt van groenbemesters en/of het onderwerken van stro in plaats van verkoop daarvan. In aanmerking komende aanpassingen van bemestingsplan en/of bouwplan worden vervolgens opgelegd aan Nutmatch en doorgerekend. Doelstellingsfunctie blijft maximalisatie van de financiële opbrengsten van gewasteelten minus de kosten van bemesting.
2. In het tweede alternatief (ALT\_2) wordt de doelstellingsfunctie gewijzigd. In plaats van optimalisatie van economisch resultaat wordt gekozen voor maximalisatie van de bodem-N-levering. Eerste, hier niet gerapporteerde berekeningen lieten zien dat het Gebruiksnormstelsel ruimte laat voor de aanvoer van grote hoeveelheden compost, gepaard gaande met een forse toename van de bemestingskosten. Omdat jaarlijkse aanvoer van grote hoeveelheden compost om diverse redenen niet reëel is, zijn enkele extra beperkingen opgenomen. Deze houden in dat gewasteelten niet gekort mogen worden op N indien dat in Scenario 2015 ook niet nodig was. Een tweede extra beperking is dat bemestingskosten hooguit met 15% mogen toenemen. Tenslotte is een maximum gesteld aan de dosering van organische meststoffen per teelt. Voor de meeste gewassen is dit maximum gesteld op 50 ton per ha. Binnen deze randvoorwaarden zal Nutmatch bij maximalisatie van de bodem-N-levering zoveel mogelijk meststoffen aanvoeren die rijk zijn aan organische stof en organische N per kg fosfaat (Figuur 8). In de eerste plaats zijn dit de composten. Binnen de categorie drijfmesten wordt rundveedrijfmest veel 'aantrekkelijker' dan varkensdrijfmest, omdat eerstgenoemde veel meer organische N per kg fosfaat bevat (1.4 vs. 0.7 kg organische N per kg fosfaat).

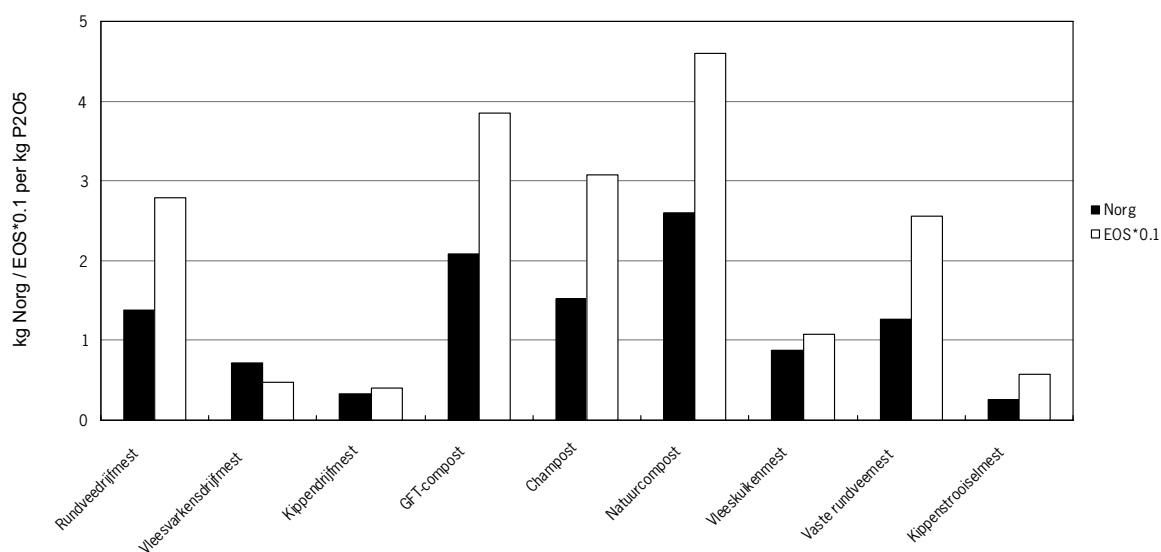
Nutmatch rekent in alle gevallen voor een periode van 25 jaar, met 1985 als startjaar en 2010 als eindjaar. Deze periode valt samen met Periode\_2 in Hoofdstuk 2. Er wordt geen rekening gehouden met een bemestingshistorie. Het initiële percentage OBOS (dus OBOS aanwezig in 1985) is gesteld op 2.5%. In alle berekeningen gelden gewasspecifieke stikstofgebruiksnormen voor 2009 en de fosfaatgebruiksnorm voor 2015. Aangenomen Pw-toestand is 45.

Regiospecifieke prijzen van organische meststoffen zijn vermeld in Tabel 3. Voor de diverse drijfmestsoorten worden dezelfde prijzen aangenomen als Van Dijk *et al.* (2007) deden. Dit zijn negatieve prijzen, inhoudende dat de teler geld ontvangt indien zij/hij deze mest afneemt. Aan de overige meststoffen hangen positieve prijskaartjes. Prijzen zijn exclusief toediening. Voor toediening van drijfmestsoorten is een tarief gehanteerd van € 2.75 per m<sup>3</sup>. Voor toediening van vaste mestsoorten wordt gerekend met € 5.15 per m<sup>3</sup>. Voor toepassing in Nutmatch zijn tarieven per kuub omgerekend naar tarieven per ton. Voor NPK kunstmeststoffen zijn prijzen uit KWIN (2006) aangehouden.

Tabel 3. Gehanteerde prijzen voor organische meststoffen (€ per ton, levering op kopakker, exclusief toediening).

	Regio	
	Zand, zuid	Zand, noord
Varkensdrijfmest	-15	-10
Runderdrijfmest	-10	-5
Kippenmest	-25	-20
GFT-compost	6	6
Champost	6	6
Vaste rundermest	30	30

Aldus worden met Nutmatch twee alternatieve bemestingsplannen ALT\_1 en ALT\_2 gegenereerd, met als gemeenschappelijk kenmerk een hogere aanvoer van OS en organische N dan bij Scenario 2015 en passend binnen het Gebruiksnormenstelsel. Laatste stap in de berekeningen is het doorrekenen van de met Nutmatch gegenereerde alternatieve bemestingsplannen met het Yang model. Deze laatste stap komt erop neer dat Figuren 3 en 4 worden herberekend met de met Nutmatch berekende alternatieve bemestingsplannen als input voor het Yang model, daarbij rekening houdend met een bemestingshistorie als in Hoofdstuk 2.



Figuur 8. Norg en EOS gehalte per kg P2O5 van in Nutmatch ter keuze staande organische meststoffen.

## 3.2 Modelbedrijf vgg4

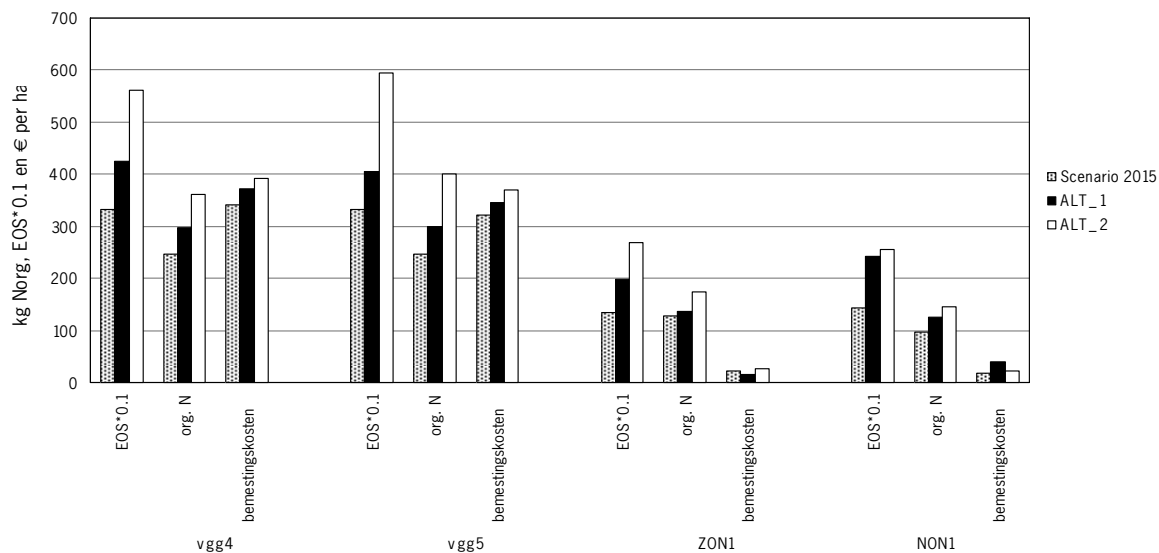
### Scenario 2105

In Scenario 2015 wordt op modelbedrijf vgg4 in twee teelten champost resp. varkensdrijfmest ingezet en in een teelt GFT-compost (Bijlage I). Bedrijfsgemiddeld bedraagt de aanvoer 6.07 ton champost, 3.93 ton GFT-compost en 4.55 ton varkensdrijfmest. De jaarlijkse input van organische N bedraagt bijna 250 kg per ha (zie Tabel 1: ca. 80 kg via meststoffen en 170 kg via gewasresten). Als gevolg van deze hoge input is ook de door Nutmatch voor 2010 berekende bodem-N-levering relatief hoog (ca. 140 kg N per ha). Mede als gevolg van de hoge bodem-N-levering,

zijn N-kortingen niet nodig. De landbouwkundige fosfaataanvoer bedraagt 55 kg per ha (Figuur 1). De wettelijke aanvoer is 'slechts' 48 kg, omdat in de regelgeving maar de helft van het fosfaat in GFT-compost als zodanig meetelt. Dit betekent dat er nog enige ruimte zou zijn voor aanvoer van extra organische meststoffen, tot aan het plafond van 60 kg per ha. Gerichte opvulling van de norm is hier echter niet verder onderzocht. Bemestingskosten bedragen € 340,- per ha.

### ALT\_1

In ALT\_1 wordt Nutmatch 'gedwongen' de inzet van champost in te vervangen door GFT-compost. Tevens wordt opgelegd dat Nutmatch de dosis GFT-compost per teelt moet verhogen van 20 naar 30 ton. Vanuit het perspectief van vergroting van OS-aanvoer is een voordeel van GFT-compost dat de aangevoerde fosfaat maar voor de helft meetelt. In de berekening is geen kostenverschil verondersteld tussen kopakkerprijzen van champost en GFT-compost (Tabel 3). De inzet van varkensdrijfmest wordt gehandhaafd op het niveau van Scenario 2015. Als gevolg van de vervanging van champost door GFT-compost nemen bemestingskosten toe van € 340,- tot € 370,- per ha (Figuur 9). De jaarlijkse EOS-aanvoer neemt toe van 3330 tot 4240 kg per ha en de input van organische N van 245 tot 300 kg N per ha per jaar (Figuur 9). Bijgevolg neemt ook de bodem-N-levering toe tot ca. 170 kg N per ha per jaar.



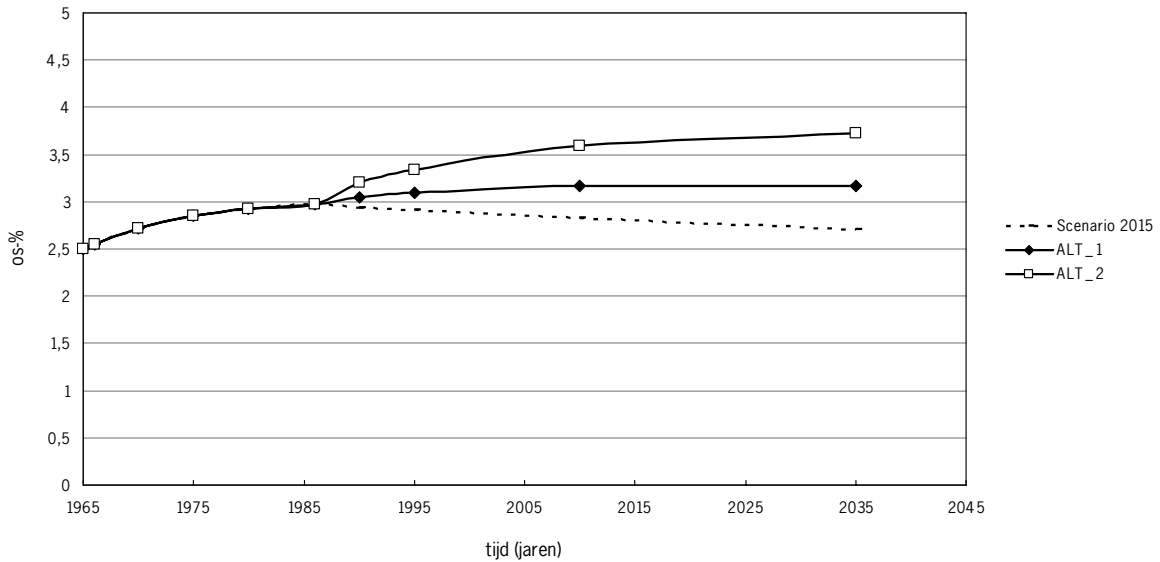
Figuur 9. Kosten van bemesting en EOS- en Norg aanvoer onder scenario's 2015, ALT\_1 en ALT\_2.

### ALT\_2

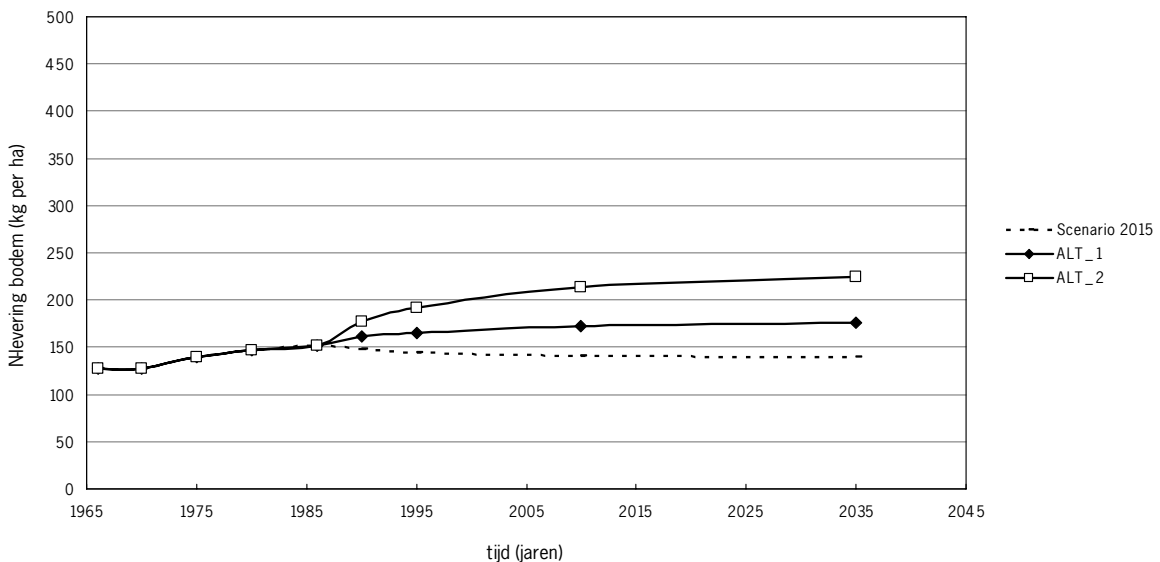
Bij maximalisatie van de bodem-N-levering (binnen grenzen; zie par. 3.1) wordt de aanvoer van GFT-compost verder opgevoerd tot een bedrijfsgemiddelde van 22 ton per ha. Varkensdrijfmest wordt volledig vervangen door rundveedrijfmest (bedrijfsgemiddeld 11 ton per ha). Kosten van bemesting lopen op tot het gestelde maximum (15% hoger dan bemestingskosten in Scenario 2015; Figuur 9). EOS, organische N aanvoer en bodem-N-levering nemen eveneens verder toe (5620, 360 resp. 205 kg per ha; Figuur 9).

Laatste stap in de berekeningen vormt het invoeren van bovenstaande bemestingsplannen in het Yang model voor het berekenen van verloop van OS-percentage en bodem-N-levering, rekening houdend met historie. In Figuren 10 en 11 is deze ontwikkeling weergegeven voor Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2 weergegeven. Vanzelfsprekend is het verloop van Scenario 2015 gelijk aan het verloop in Figuren 3a en 4a. Verder vallen Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2 tot 1985 geheel samen, omdat de bemesting tot dan (d.w.z. in Periode\_1) identiek is. Pas na 1985, dat is bij

aanvang van Periode\_2, treden verschillen op, vanwege verschillen in bemestingsregime. De in ALT\_1 gerealiseerde forse verhoging van de input van EOS en organische N resulteert in een voortdurende, maar zeer geringe toename van OS-percentage en bodem-N-levering na 1985 (Figuren 10 en 11). De nog hogere inputs in ALT\_2 resulteren zelfs in een aanzienlijke toename van OS-percentage en bodem-N-levering na 1985. Overigens was in Scenario 2015 de afname van OS-percentage en bodem-N-levering al zeer gering.



Figuur 10. Berekend verloop van het OS-percentage op modelbedrijf vgg4 op zandgrond in Periode\_1 (1965 t/m 1984) en Periode\_2 (1985 t/m 2035). Voor Periode\_1 is gerekend met 20 ton vaste rundermest per ha per jaar. Voor Periode\_2 is gerekend met drie varianten: Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2.



Figuur 11. Berekend verloop van de bodem-N-levering op modelbedrijf vgg4 op zandgrond in Periode\_1 (1965 t/m 1984) en Periode\_2 (1985 t/m 2035). Voor Periode\_1 is gerekend met 20 ton vaste rundermest per ha per jaar. Voor Periode\_2 is gerekend met drie varianten: Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2.

### 3.3 Modelbedrijf vgg5

In Scenario 2015 wordt op modelbedrijf vgg5 in drie teelten champost en in zes teelten GFT compost ingezet. Daarnaast wordt op 5.5 ha huurland varkensdrijfmest toegepast (Bijlage I). Omdat dit huurland geen deel uitmaakt van de rotatie van het bedrijf, wordt het in het navolgende verder buiten beschouwing gelaten voor zover het de OS-voorziening van de rotatie betreft. Het huurland doet wel volwaardig mee bij het vaststellen van aanvoernormen voor stikstof en fosfaat op grond van het Gebruiksnormenstelsel. Bedrijfsgemiddelde aanvoer (excl. huurland) van champost en GFT compost bedraagt 5.4 en 8.5 ton per ha. De jaarlijkse input van organische N bedraagt 250 kg per ha (zie Tabel 1: ca. 90 kg via meststoffen en 160 kg via gewasresten). De voor 2010 berekende bodem-N-levering bedraagt 130 kg N per ha. Als gevolg van deze hoge bodem-N-levering, zijn N-kortingen zijn niet nodig. De landbouwkundige fosfaataanvoer bedraagt 58 kg per ha, waarvan 53 kg in de vorm van organische meststoffen (Figuur 1). Doordat GFT-compost wordt gebruikt, is de wettelijke fosfaataanvoer lager dan de landbouwkundige: 45 kg per ha. Bemestingskosten bedragen € 320,- per ha.

#### *ALT\_1*

In ALT\_1 wordt de inzet van champost vervangen door GFT-compost. Tevens wordt opgelegd dat de dosis GFT-compost per teelt wordt verhoogd van 13 ton naar 20 ton (bedrijfsgemiddeld van 8.5 naar 18.3). De inzet van varkensdrijfmest op huurland blijft gehandhaafd.

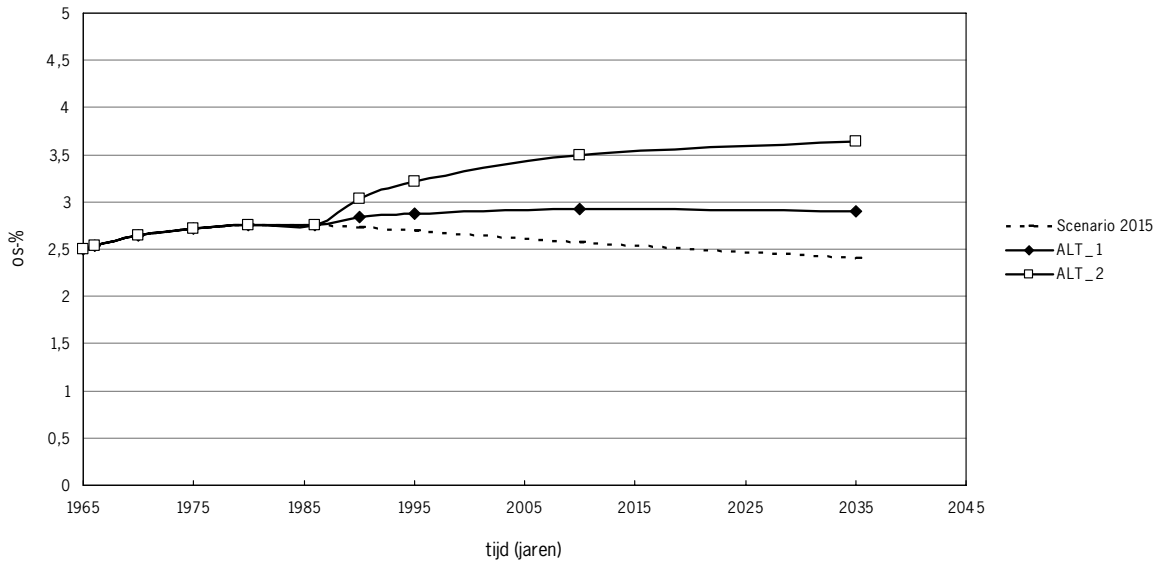
Als gevolg van de vervanging van champost door GFT-compost nemen bemestingskosten toe tot € 345,- per ha (Figuur 9). De jaarlijkse EOS-aanvoer neemt toe tot 4050 kg per ha en de input van organische N van 250 tot 300 kg N per ha per jaar (Figuur 9). Bijbehorende bodem-N-levering loopt op tot 165 kg N per ha per jaar.

#### *ALT\_2*

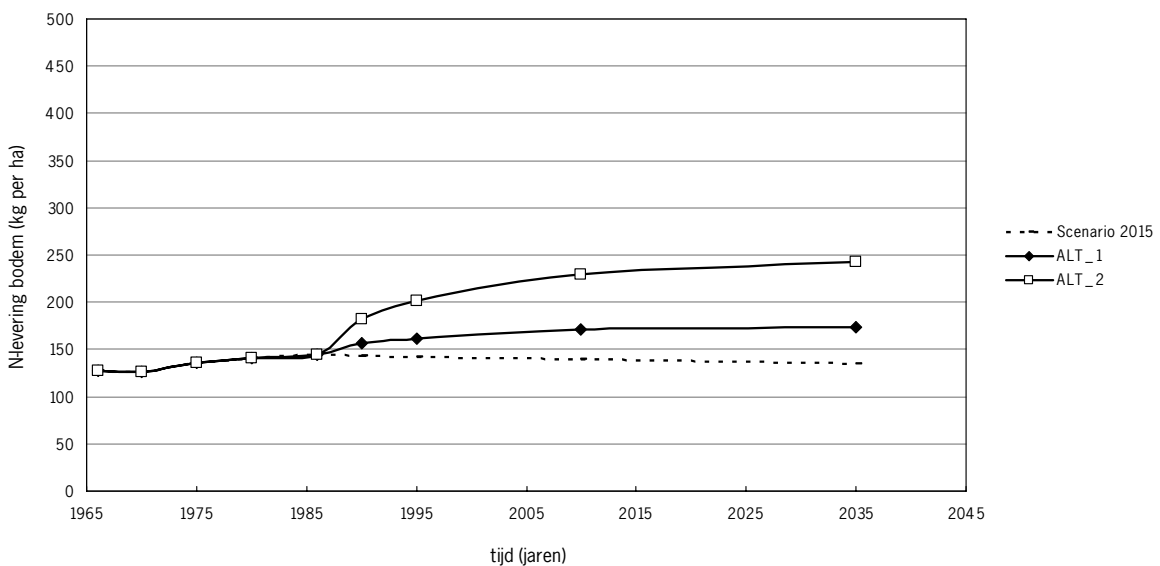
Bij maximalisatie van de bodem-N-levering kiest Nutmatch voor de inzet van 3 verschillende OS-rijke organische meststoffen. Bedrijfsgemiddeld betreft dit 17.6 ton rundveedrijfmest, 18.3 ton GFT-compost en 9.7 ton natuurcompost. De inzet van varkensdrijfmest op het huurland wordt achterwege gelaten. Kosten van bemesting lopen op tot het gestelde maximum van € 370,- per ha (Figuur 8). Aanvoer van EOS en organische N en bodem-N-levering nemen fors toe, tot 5940, 400 resp. 230 kg per ha (Figuur 9).

Figuren 12 en 13 geven de ontwikkeling van OS-percentages en bodem-N-levering voor Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2 weer voor bedrijf vgg5, rekening houdend met bemestingshistorie. Bemestingsplan ALT\_1 blijkt dan te resulteren in een geringe toename van OS-percentages en bodem-N-levering. ALT\_2 resulteert zelfs in een aanzienlijke toename van beiden.





Figuur 12. Berekend verloop van het OS-percentage op modelbedrijf vgg5 op zandgrond in Periode\_1 (1965 t/m 1984) en Periode\_2 (1985 t/m 2035). Voor Periode\_1 is gerekend met 20 ton vaste rundermest per ha per jaar. Voor Periode\_2 is gerekend met drie varianten: Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2.



Figuur 13. Berekend verloop van de bodem-N-levering op modelbedrijf vgg5 op zandgrond in Periode\_1 (1965 t/m 1984) en Periode\_2 (1985 t/m 2035). Voor Periode\_1 is gerekend met 20 ton vaste rundermest per ha per jaar. Voor Periode\_2 is gerekend met drie varianten: Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2.

### 3.4 Modelbedrijf ZON1

#### Scenario 2015

In Scenario 2015 wordt op modelbedrijf ZON1 in twee teelten varkensdrijfmest ingezet en in twee teelten runderdrijfmest (Bijlage I). Bedrijfsgemiddeld bedraagt de aanvoer 11.15 ton varkensdrijfmest en 4.85 ton runderdrijfmest. De jaarlijkse input van organische N bedraagt 130 kg per ha (zie Tabel 1). Bijbehorende bodem-N-

levering per 2010 bedraagt 86 kg N per ha (vgl. met Figuur 4a). N-kortingen zijn niet nodig. De landbouwkundige fosfaataanvoer bedraagt 59 kg per ha, waarvan 55 kg via organische meststoffen (Figuur 1). De wettelijke aanvoer is eveneens 59 kg. Bemestingskosten bedragen € 22,- per ha. Dat deze kosten veel lager zijn dan voor de groentebedrijven is een gevolg van de afname van varkens- en rundveedrijfmest, waarbij de akkerbouwer geld toe krijgt. Overigens zouden korrelmaïs en waspeen formeel (d.w.z. volgens het Bemestingsadvies) meer kunstmestfosfaat moeten krijgen dan waarmee gerekend is. De aanvoernorm laat dit echter niet toe. Om dezelfde reden kan niet worden voldaan aan het bodemgerichte fosfaatadvies (aanvoer = afvoer + 'onvermijdbaar' verlies). Met de eventuele effecten hiervan op gewasopbrengsten is geen rekening gehouden.

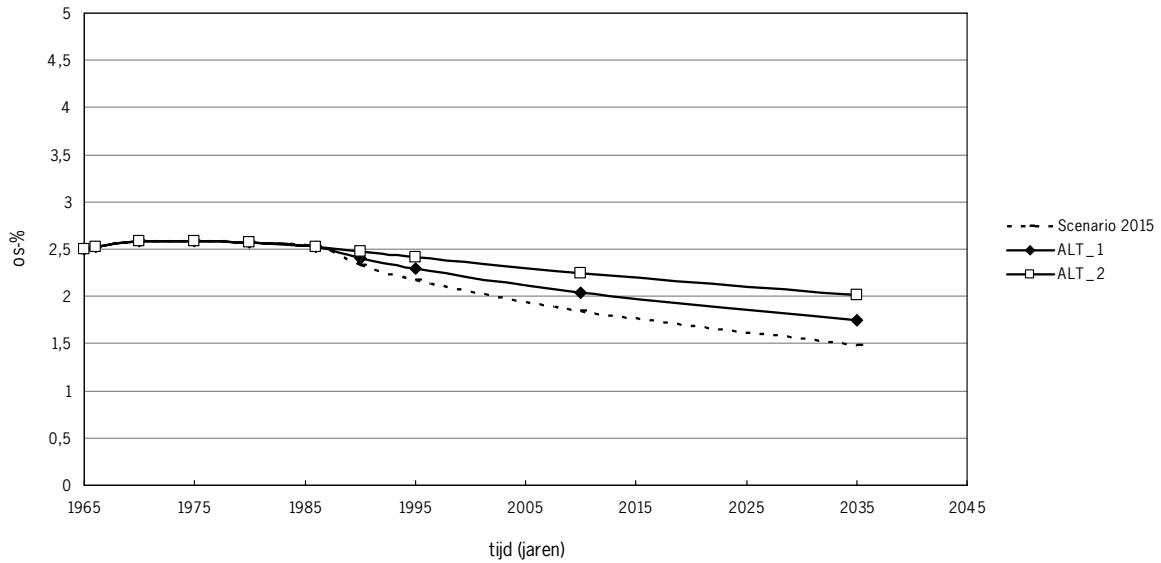
#### *ALT\_1*

In ALT\_1 wordt de inzet van varkensdrijfmest vervangen door rundveedrijfmest. Vanwege het veel lagere fosfaatgehalte in laatstgenoemde wordt het Nutmatch bovendien toegestaan doseringen per ha te verhogen (tot 30, 40, 30 en 40 ton per ha in resp. spinazie, consumptieaardappel, suikerbiet en korrelmaïs). Als gevolg van de vervanging van varkensdrijfmest door rundveemest nemen bemestingskosten af van € 22,- tot € 15,- per ha (Figuur 9). De lagere prijs die de akkerbouwer ontvangt voor rundveedrijfmest (Tabel 3) wordt dus meer dan gecompenseerd door het grotere aantal tonnen dat op bedrijfsniveau kan worden aangevoerd (16 ton per ha in Scenario 2015 versus 24 ton per ha in ALT\_1). Als gevolg van de hogere kali-aanvoer via rundveedrijfmest, wordt tevens bespaard op de aankoop daarvan via kunstmest. De jaarlijkse EOS-aanvoer neemt toe van 1340 tot 1980 kg per ha en de input van organische N van 128 tot 137 kg N per ha per jaar (Figuur 9). De bijbehorende bodem-N-levering bedraagt 100 kg N per ha per jaar. De landbouwkundige fosfaataanvoer bedraagt 48 kg per ha. Het Gebruiksnormstelsel laat dus nog ruimte voor verdere verhoging van de aanvoer van rundveedrijfmest.

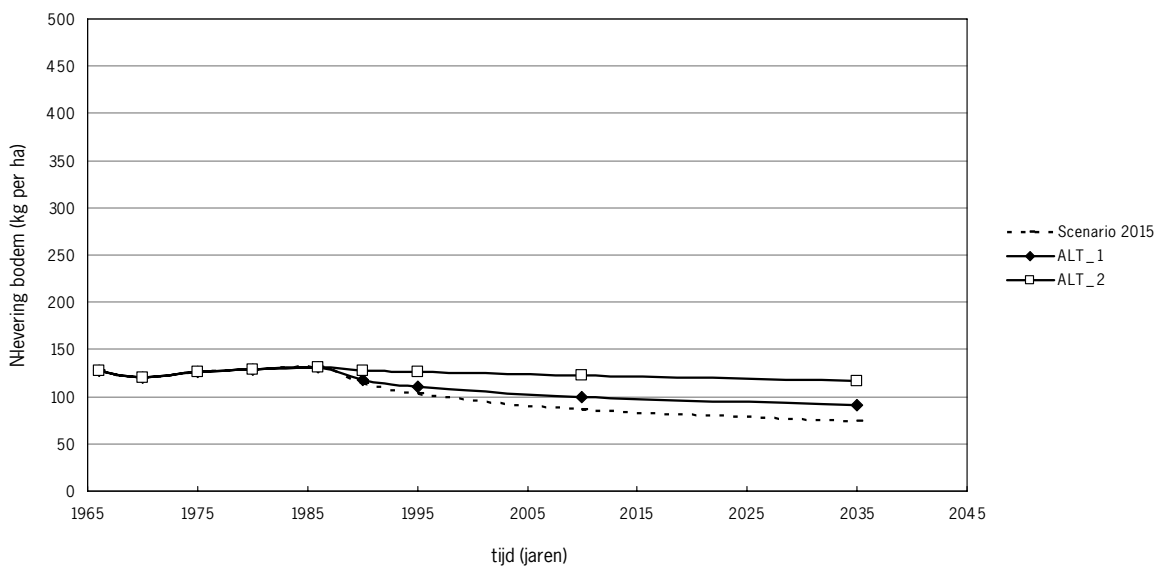
#### *ALT\_2*

Bij maximalisatie van de bodem-N-levering wordt de aanvoer van rundveedrijfmest verder opgevoerd tot een bedrijfsgemiddelde van 32 ton per ha. Daarnaast wordt in een teelt GFT-compost ingezet (bedrijfsgemiddeld 2.5 ton per ha). De inzet van meer compost wordt gelimiteerd door de beperking die is gesteld aan de toegestane toename van de bemestingskosten ten opzichte van het Scenario 2015. EOS, organische N aanvoer en bodem-N-levering nemen opnieuw aanzienlijk toe en bedragen 2700, 175 en 120 kg per ha (Figuur 9). Kosten van bemesting bedragen € 26,- per ha

Figuren 14 en 15 geven de ontwikkeling van OS-percentages en bodem-N-levering voor Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2 weergegeven, rekening houdend met bemestingshistorie. Het blijkt dat de via ALT\_1 en ALT\_2 gerealiseerde toename van de aanvoer van organische stof nog onvoldoende is om dalende trends in Scenario 2015 om te buigen in een stabiele situatie of toename. De oorzaak daarvan is terug te vinden in Figuur 9: de aanvoer van EOS en organische N op bedrijf ZON1 is op een veel lager niveau dan de beide hiervoor besproken groentebedrijven. Deze aanvoer kan in principe ook op bedrijf ZON1 veel verder worden opgevoerd dan nu berekend in ALT\_1 en ALT\_2, maar dan moet geaccepteerd worden dat bemestingskosten oplopen. Overigens blijft de bodem-N-levering in ALT\_2 nagenoeg op peil.



Figuur 14. Berekend verloop van het OS-percentage op modelbedrijf ZON1 op zandgrond in Periode\_1 (1965 t/m 1984) en Periode\_2 (1985 t/m 2035). Voor Periode\_1 is gerekend met 20 ton vaste rundmest per ha per jaar. Voor Periode\_2 is gerekend met drie varianten: Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2.



Figuur 15. Berekend verloop van de bodem-N-levering op modelbedrijf ZON1 op zandgrond in Periode\_1 (1965 t/m 1984) en Periode\_2 (1985 t/m 2035). Voor Periode\_1 is gerekend met 20 ton vaste rundmest per ha per jaar. Voor Periode\_2 is gerekend met drie varianten: Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2.

### 3.5 Modelbedrijf NON1

In Scenario 2015 wordt op modelbedrijf NON1 in zes teelten varkensdrijfmest ingezet (Bijlage I; bedrijfsgemiddeld 13.1 ton per ha). De jaarlijkse input van organische N bedraagt 100 kg per ha (zie Tabel 1: ca. 40 kg via meststoffen en 60 kg via gewasresten). De voor 2010 berekende bodem-N-levering bedraagt 80 kg N per ha. Mede als gevolg van de relatief lage bodem-N-levering zijn in enkele teelten (zetmeelaardappelen en maïs) N-kortingen nodig. Zowel de landbouwkundige als de wettelijke fosfaatanvoer bedragen 58 kg per ha, waarvan 55 kg in de vorm van

varkensdrijfmest (Figuur 1). Als gevolg van de ontvangen vergoedingen voor afname van varkensdrijfmest, bedragen bemestingskosten slechts € 18,- per ha. Overigens kan bij een aanvoernorm van 60 kg fosfaat per ha per jaar niet worden voldaan aan het bodemgerichte fosfaatbemestingsadvies. De totale fosfaatafvoer via gewassen (53 kg per ha) overschrijdt de aanvoer weliswaar niet, maar het 'onvermijdbaar' geachte verlies (20 kg per ha) kan niet worden gecompenseerd.

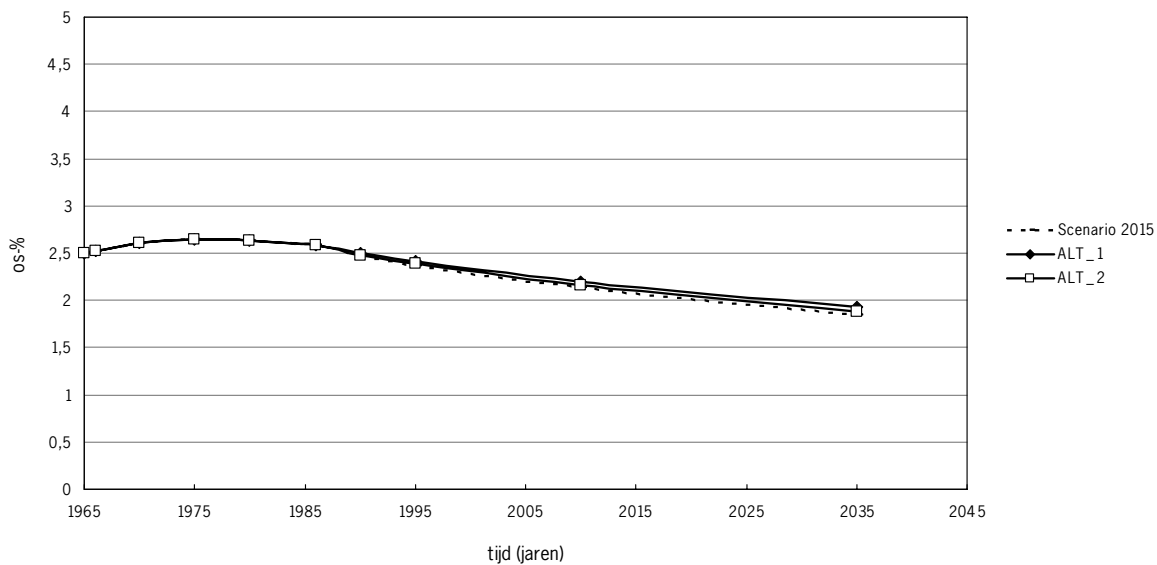
#### *ALT\_1*

In ALT\_1 wordt de inzet van varkensdrijfmest volledig vervangen door OS-rijkere rundveedrijfmest. Door het veel lagere fosfaatgehalte daarin, kan het aantal tonnen rundveemest dat op bedrijfsniveau wordt aangevoerd sterk worden opgevoerd. Hier zijn giften doorgerekend van 50 ton per ha aan alle drie de zetmeelaardappelteelten en aan maïs. Aan suikerbiet en waspeen worden giften van 30 ton toegediend. Het bouwplan van bedrijf NON1 biedt ook aanzienlijke ruimte voor de teelt van groenbemesters. Hier is de teelt van groenbemesters na zomergerst en zomertarwe doorgerekend. Daarbij is er vanuit gegaan dat de groenbemesters niet bemest worden en is daarom gerekend met de helft van de EOS-input via bemeste groenbemesters. Als gevolg van de vervanging van varkensdrijfmest door rundveedrijfmest en de teelt van groenbemesters nemen aanvoer van EOS en organische N toe met 1000 resp. 30 kg per ha. Bijbehorende bodem-N-levering bedraagt 100 kg N per ha. Totale bemestingskosten nemen toe met € 20,- per ha. Kosten van de teelt van groenbemesters komen daar nog bij, maar zijn hier niet gekwantificeerd.

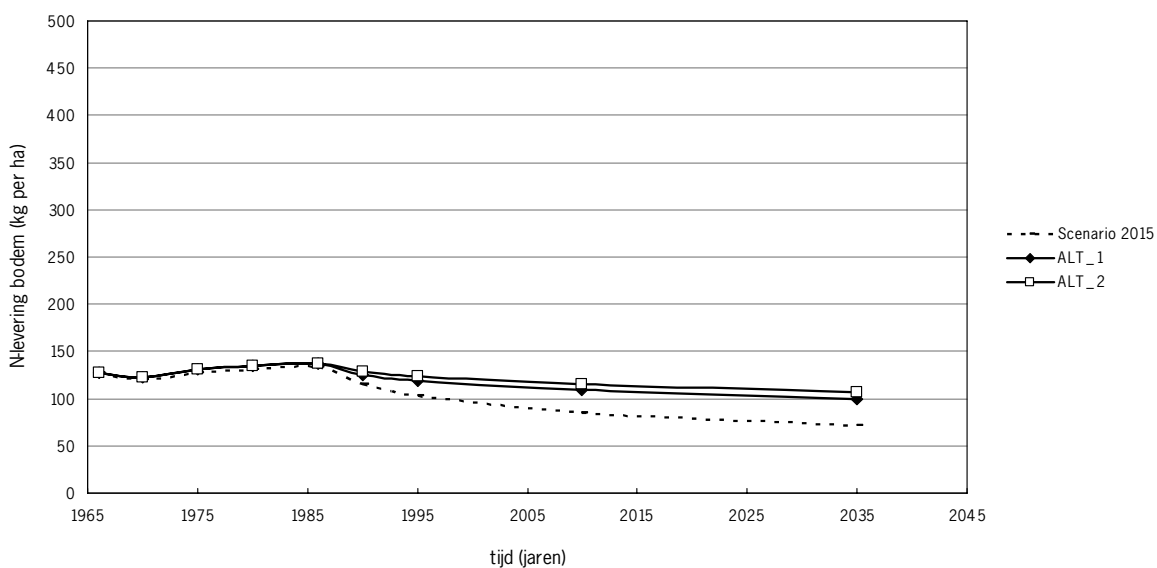
#### *ALT\_2*

Bij maximalisatie van de bodem-N-levering wordt een combinatie van 3 organische meststoffen ingezet. Bedrijfsgemiddeld is dit 18 ton rundveedrijfmest, 6 ton varkensdrijfmest en 2 ton GFT-compost. Kosten van bemesting lopen op tot het gestelde maximum (€ 21,- per ha; Figuur 9). EOS, organische N aanvoer en bodem-N-levering nemen toe tot resp. 2540, 145 en 110 kg per ha.

Figuren 16 en 17 geven de ontwikkeling van OS-percentages en bodem-N-levering voor Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2 weer voor bedrijf NON1 rekening houdend met bemestingshistorie. Een forse verhoging van de aanvoer van EOS in ALT\_1 en ALT\_2 resulteert niet in een noemenswaardige verandering van het verloop van het OS-percentage. De bodem-N-levering neemt wel toe ten opzichte van Scenario 2015. Voor dit bedrijf geldt hetzelfde als voor het hiervoor doorgerekende akkerbouwbedrijf ZON1: de berekende terugloop van het OS-percentage wordt veroorzaakt door de relatief lage aanvoer van EOS via organische meststoffen en gewasresten (Figuur 9). De aanvoer kan binnen het Gebruiksnormenstelsel fors worden verhoogd, maar dan moet geaccepteerd worden dat bemestingskosten oplopen.



*Figuur 16. Berekend verloop van het OS-percentage op modelbedrijf NON1 op zandgrond in Periode\_1 (1965 t/m 1984) en Periode\_2 (1985 t/m 2035). Voor Periode\_1 is gerekend met 20 ton vaste rundmest per ha per jaar. Voor Periode\_2 is gerekend met drie varianten: Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2.*



*Figuur 17. Berekend verloop van de bodem-N-levering op modelbedrijf NON1 op zandgrond in Periode\_1 (1965 t/m 1984) en Periode\_2 (1985 t/m 2035). Voor Periode\_1 is gerekend met 20 ton vaste rundmest per ha per jaar. Voor Periode\_2 is gerekend met drie varianten: Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2.*



## 4. Synthese

### *Verloop OS-percentage en bodem-N-levering in de tijd onder Scenario 2015*

Over de lange termijn ontwikkeling van OS-percentage in recent verleden en toekomst lopen de meningen uiteen. Een analyse van Blgg-meetgegevens uit de periode 1984-2004 laat zien dat er in de Nederlandse akkergebieden als geheel vooralsnog geen sprake is van een daling van het OS-percentage (Reijneveld *et al.*, 2008). Herhaalde metingen van OS-gehalten op een 50-tal percelen van biologische bedrijven uit het praktijknetwerk BIOM laten eveneens geen duidelijke trend zien (Bos *et al.*, 2007b). Uit meetreeksen op proeflocatie Vredepeel, met wellicht een van de praktijk afwijkend management, blijkt dat OS-percentages tussen 1988 en 2004 constant waren, maar daarna een dalende trend laten zien (Van Geel & De Haan, 2007). In diverse modelstudies, voor overigens zeer uiteenlopende situaties, wordt eveneens een daling van het OS-percentage voorspeld (Vleeshouwers en Verhagen, 2002; Van Geel & De Haan, 2007; Postma *et al.*, 2004).

Net als eerdere modelstudies wijzen de ook in deze studie uitgevoerde modelberekeningen op dalende trends van OS-percentages en bodem-N-levering onder Scenario 2015 (Figuren 3 en 4). De absolute omvang van de berekende daling van OS-percentages en bodem-N-levering tussen 1985 (begin Periode\_2) en 2010 resp. 2035 is groter naarmate de bemesting in Periode\_1 ruimer is geweest. Een ruimere bemesting in Periode\_1 gaat immers gepaard met fors hogere pieken in 1985, en daardoor grotere absolute verschillen tussen 1985 en 2010 resp. 2035, wanneer na-ijleffecten uit Periode\_1 goeddeels zijn uitgedoofd (Figuren 3 en 4). Tabel 4 vermeldt de absolute dalingen van OS-percentage en bodem-N-levering bij een gematigde bemesting in Periode\_1 (20 ton vaste rundermest per ha per jaar; overigens voor huidige begrippen een ruime bemesting) zoals ze afgelezen kunnen worden uit Figuren 3a en 4a. Absolute dalingen van zowel OS-percentage als bodem-N-levering blijken het grootst op de akkerbouwbedrijven en bedragen maximaal ca. 1 procentpunt resp. 60 kg N. Dalingen op de groentebedrijven blijven beperkt tot ca. 0.5 procentpunt (OS) en 20 kg N per ha (bodemlevering). De relatief geringe dalingen op de groentebedrijven worden veroorzaakt door de veel hogere aanvoer van organische stof op deze bedrijven in Periode\_2 (Figuur 9). Benadrukt wordt dat de cijfers in Tabel 4 het meest gunstige scenario weergeven, nl. bij een 'gematigde' bemesting in Periode\_1. Indien de bemesting in Periode\_1 ruimer is, met andere woorden, indien het contrast dat in de berekeningen is aangebracht tussen Periode\_1 en Periode\_2 groter is, zijn de berekende absolute afnamen eveneens groter. De mogelijkheid dat de bemesting in het verleden inderdaad ruimer is geweest dan in Tabel 4 aangenomen, is aannemelijker voor de groentebedrijven dan voor de akkerbouwbedrijven.

*Tabel 4. Verandering van OS-percentage en bodem-N-levering (in kg N per ha per jaar) in de periode tussen aanvang van Periode\_2 (1985) en 2010 resp. 2035, onder Scenario 2015. Voor Periode\_1 is gerekend met 20 ton vaste rundermest per ha per jaar. Cijfers in de tabel zijn herleidbaar uit Figuren 3a en 4a.*

	1985-2010		1985-2035	
	OS-%	bodem-N-levering	OS-%	bodem-N-levering
vgg4	-0.14	-11	-0.26	-13
vgg5	-0.18	-5	-0.35	-9
vgg6	-0.37	-13	-0.65	-20
ZON1	-0.68	-45	-1.04	-57
NON1	-0.72	-48	-1.09	-62
NON2	-0.73	-48	-1.10	-62
BL2	+0.32	+49	+0.29	+54

Het onzekerheidsgehalte van de voorspelde dalingen is groot. Dit wordt niet alleen veroorzaakt door onzekerheden over historisch landgebruik en historische bemesting, maar ook door onzekerheden over de talrijke benodigde input parameters voor het Yang model, zoals hoeveelheden organische stof die via gewasresten worden toegevoegd en parameters ter karakterisering van de (afbraak)eigenschappen van organische materialen. Met name de karakterisering van OBOS-afbraak is lastig, terwijl dit een grote invloed heeft op het berekeningsresultaat. Het vermoeden bestaat dat een deel van de OBOS bestaat uit zeer oud, inert veenmateriaal. In deze studie is met een dergelijke inerte fractie geen rekening gehouden en is aangenomen dat alle OBOS aan afbraak onderhevig is. Als een inerte fractie inderdaad deel uitmaakt van de OBOS, dan zal het OS-percentage nooit beneden een bepaalde minimum waarde komen. Bij gebrek aan kwantitatieve gegevens over de omvang van een eventueel aanwezige inerte pool, is het niet mogelijk aan te geven hoe groot deze minimum waarde is.

Een andere belangrijke onzekerheidsfactor is het ontbreken van inzicht in de bodem-N-levering die besloten ligt in de bepaling van het economisch optimale N-advies per gewas (Van Dijk & Van Geel, 2008). Hiermee wordt de bodem-N-levering bedoeld zoals die gemiddeld aanwezig was in de veldproeven waarop het advies voor elk gewas is gebaseerd. Doordat deze levering niet bekend is, is het strikt genomen ook niet mogelijk om in te schatten in hoeverre een dalende trend van de bodem-N-levering problematisch is.

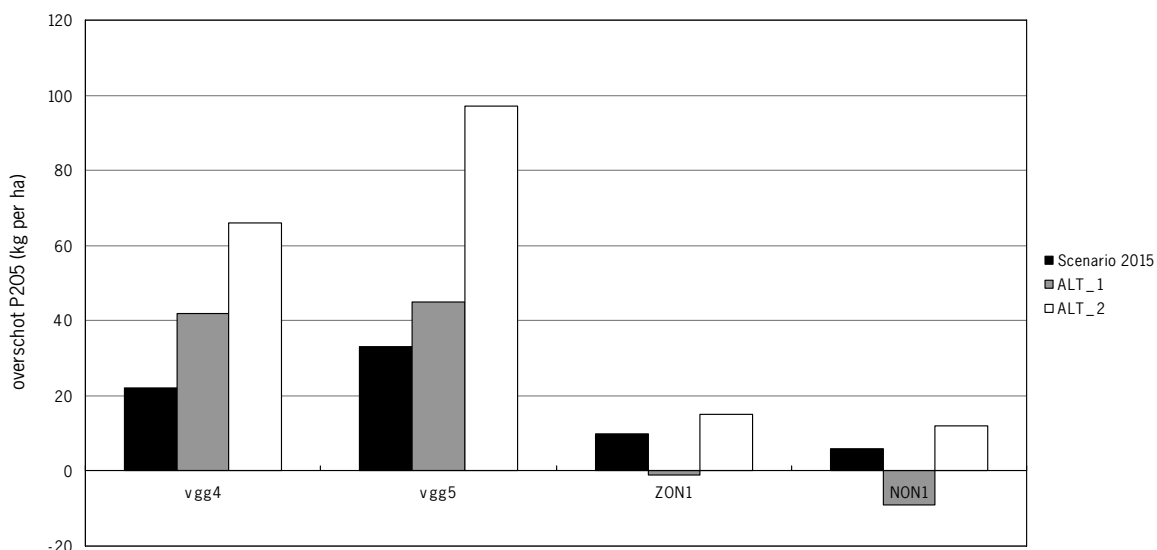
#### *Ruimte voor verhoging van de aanvoer van organische meststoffen binnen het Gebruiksnormenstelsel: ALT\_1 en ALT\_2*

Volgend uit het bovenstaande is de toegevoegde waarde van deze studie niet zozeer de zoveelste onzekere, want modelmatige voorspelling van OS-percentage en bodem-N-levering, als wel de verkenning van mogelijkheden voor het verhogen van de aanvoer van organische meststoffen binnen de normstelling van het Gebruiksnormenstelsel en bedrijfseconomische randvoorwaarden. Overigens zijn dit soort verkenningen ook uitgevoerd door Postma *et al.* (2004) en Van Geel & De Haan (2007).

Deze studie laat zien dat er potentieel veel ruimte is voor verhoging van de aanvoer van OS, zowel op de akkerbouwbedrijven als op de groentebedrijven. Op de doorgerekende groentebedrijven was de absolute toename veel hoger dan op de akkerbouwbedrijven (Figuur 9) en konden OS-percentages en bodem-N-levering gehandhaafd worden of zelfs verder toenemen. De toename van de aanvoer van organische stof op de akkerbouwbedrijven was niet groot genoeg om dalende trends te keren. Dit is een gevolg van de tamelijk conservatieve berekeningswijze in Hoofdstuk 3, waarbij als randvoorwaarde gold dat bemestingskosten met maximaal 15% mochten toenemen ten opzichte van Scenario 2015. Vanwege zeer lage bemestingskosten op de akkerbouwbedrijven in de uitgangssituatie, was de bedrijfseconomische ruimte voor aanvoer van OS-rijkere, maar duurere meststoffen beperkt. Als daling van OS-percentages een reëel probleem is binnen de akkerbouw, dan kunnen akkerbouwers daar wat aan doen door het vergroten van de aanvoer van GFT-compost of soortgelijke meststoffen: letterlijk investeren in de bodem. Het vervangen van varkensdrijfmest door rundveedrijfmest is een goedkopere zinvolle maatregel. De beschikbaarheid van de diverse compostsoorten is overigens niet van dien aard dat akkerbouwers op grote schaal ertoe kunnen overgaan de aanvoer van compost drastisch te verhogen. Volgens De Wolf (2005) zou in 2003 in totaal 1.15 miljoen ton GFT- en groencompost zijn afgezet. Uitgedrukt per ha akkerbouwgrond is dit slechts 1.2 ton compost. In werkelijkheid is de beschikbaarheid van compost voor de akkerbouw nog lager, omdat afzet deels buiten de akkerbouw plaatsvindt (De Wolf, 2005). Vanwege de toegenomen populariteit van GFT-compost onder akkerbouwers, schijnt schaarste van deze meststof aan de orde te zijn.

De stabiele of zelfs toenemende OS-percentages en bodem-N-levering op de groentebedrijven is met name toe te schrijven aan het uitbundige gebruik van GFT-compost. Deze meststof geniet in het Gebruiksnormenstelsel vrijstellingen. Dit betreft met name het fosfaat, waarvan slechts de helft als zodanig meegeteld hoeft te worden in de boekhouding. Dit uit zich in fors hoge fosfaatoverschotten op de groentebedrijven (Figuur 18).





Figuur 18. Fosfaatoverschotten in Scenario 2015, ALT\_1 en ALT\_2 op de doorgerekende modelbedrijven.

#### *Mestscheiding: dikke fractie aantrekkelijk voor akkerbouw?*

Melkveehouders die veel mest produceren vinden het moeilijk te accepteren dat zij op grond van het Gebruiksnormenstelsel verplicht worden om (extra) kunstmest aan te kopen en tegelijkertijd drijfmest af te moeten zetten. Door mestscheiding is hier mogelijk wat aan te doen. Bij mestscheiding komen de snelwerkende N en K<sub>2</sub>O vooral in de dunne fractie terecht en de organische gebonden N en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> vooral in de dikke fractie (Schröder *et al.*, 2007). De dunne fractie kan dan op het melkveebedrijf blijven en de dikke fractie zou in de akkerbouw afgezet kunnen worden. Schröder *et al.* (2007) denken daarbij vooral aan akkerbouw op kleigronden, alwaar mestinzet in nazomer niet zozeer dient voor de stikstofvoorziening van gewassen, maar als bron van fosfaat en organische stof. In deze studie zijn alleen akkerbouwbedrijven op zandgrond vertegenwoordigd. Voor een van deze bedrijven is het gebruik van de dikke fractie van rundermest doorgerekend. De samenstelling van deze dikke fractie (NPK en OS-gehalten) werd gebaseerd op Schröder *et al.* (2007). Er is gerekend met dezelfde financiële vergoeding voor de akkerbouwer als bij de afname van runderdrijfmest (Tabel 3). De resultaten van deze berekening lieten zien dat bemestingskosten fors toenemen indien de akkerbouwer runderdrijfmest vervangt door de dikke fractie. Dit wordt veroorzaakt door het geringere aantal tonnen dat van de dikke fractie op bedrijfsniveau kan worden aangewend, vanwege het veel hogere fosfaatgehalte daarin. Daardoor is de ontvangen vergoeding voor mestafname lager en moet meer kali- en stikstofkunstmest worden aangevoerd.



## 5. Conclusies

Aanscherping van de fosfaatgebruiksnorm tot 60 kg per ha in 2015 heeft geen invloed op de OS-voorziening van vollegrondsgroentenbedrijven op zandgrond. Het gebruik van organische meststoffen op deze bedrijven was in 2006 al op een dusdanig niveau, dat voldaan wordt aan de voorziene eindnorm. De OS-voorziening geschiedt middels een mix van meststoffen, gewasresten en perspotten.

Aanscherping van de fosfaatgebruiksnorm tot 60 kg per ha in 2015 heeft daarentegen wel een beperkende invloed op de aanvoer van dierlijke mest, en daarmee ook van OS, op akkerbouwbedrijven op zandgronden, ten opzichte van 2006. Vanwege deze aanscherping zullen akkerbouwbedrijven de aanvoer van dierlijke mest in geringe mate terug moeten dringen. Als gevolg daarvan neemt de jaarlijkse EOS aanvoer af met 10-15% ten opzichte van 2006.

Of in de toekomst OS-percentages en bodem-N-levering dalende trends zullen laten zien is niet met zekerheid te zeggen. Deze onzekerheid vloeit voort uit een groot aantal onzekere factoren die bepalend zijn voor het verloop van OS en bodem-N-levering in de toekomst. Allereerst gaat het daarbij om onzekerheden over de 'ontstaansgeschiedenis' van huidig gemeten OS-percentages, met name de invloed van historisch landgebruik en historische bemesting. Daarnaast bestaat onzekerheid over de nauwkeurigheid van de parameterisatie van het Yang model op basis waarvan de toekomstige ontwikkeling van OS en bodem-N-levering in deze studie is berekend. Het is gewenst deze nauwkeurigheid voor Nederlandse omstandigheden in vervolgonderzoek te toetsen, onder meer door het Yang-model te calibreren en valideren gebruikmakend van in Nederland uitgevoerde lange termijn experimenten. Een derde belangrijke onzekerheidsfactor is gelegen in het ontbreken van inzicht in de bodem-N-levering die besloten ligt in het economisch optimale N-advies per gewas. Doordat deze levering niet bekend is, is het strikt genomen ook niet mogelijk om in te schatten in hoeverre een dalende trend van de bodem-N-levering problematisch is.

Net als eerdere modelstudies suggereren ook de in deze studie uitgevoerde modelberekeningen op dalende trends van OS-percentages en bodem-N-levering. De absolute omvang van de berekende daling is groter naarmate de bemesting in het verleden ruimer is geweest, met andere woorden indien het contrast tussen bemestingshoeveelheden in het verleden en vandaag de dag groter is. Door de relatief gering aanvoer van organische stof op akkerbouwbedrijven, zijn absolute dalingen van zowel OS-percentage als bodem-N-levering op deze bedrijven het grootst.

Potentieel is er binnen de normstelling van het Gebruiksnormenstelsel veel ruimte voor verhoging van de aanvoer van OS, zowel op de akkerbouwbedrijven als op de groentebedrijven. Dit kan wel gepaard gaan met een toename van de kosten van bemesting en/of met derving van aan bemesting gerelateerde inkomsten. Als in verband met OS-management grote veranderingen gaan optreden in het gebruik van meststoffen op open teelt bedrijven, dan zal dat gevolgen hebben voor de beschikbaarheid daarvan. Indien het niet mogelijk is om via meststoffenkeuze het door de boer gewenste OS-management te realiseren, dan heeft zij/hij nog de mogelijkheid aanpassingen in de rotatie te plegen (teelt van gewassen met OS-rijke gewasresten, teelt van groenbemesters).



## Referenties

- Berge, H.F.M. ten, S. Radersma & S.L.G.E. Burgers, 2008.  
Feed the Crop or Feed the Soil? A case study in Leek (*Allium porrum*). Proceedings International Society for Horticultural Science.
- Berge, H.F.M. ten, 2007.  
Over MINIP en Yang. Interne notitie, 3 p.
- Bos, J.F.F.P., H.F.M. ten Berge & P. de Willigen, 2007a.  
Nutmatch: een mixed integer LP-model voor het berekenen van integrale bemestingsplannen voor de open teelt sectoren. Rapport 145, Plant Research International, Wageningen, 60 p.
- Bos, J.F.F.P., J.J. de Haan & W. Sukkel, 2007b.  
Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken. Rapport 140, Plant Research International, Wageningen, 76 p.
- Dijk, W. van & W. van Geel, 2008.  
Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Publicatie 307, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 109 p.
- Dijk, W. van, P.H.M. Dekker, H.F.M. ten Berge, A.L. Smit & J.R. van der Schoot, 2007.  
Aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op bouwland bij akker- en tuinbouwgewassen; verkenning van noodzaak en mogelijkheden tot differentiatie. Rapport 367, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 79 p.
- Geel, W. van & J.J. de Haan, 2007.  
Effecten van organische stofbeheer in Nutriënten Waterproof op het organische stofgehalte en de koolstofopslag in de bodem. Rapport Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 18 p.
- Postma, R., T.A. van Dijk & A.G.G. van der Weijden, 2004.  
Organische stofopbouw en N-mineralisatie; praktijktoepassing van een verbeterd model. Rapport Telen met Toekomst, 28 p.
- Pronk, A.A., 2008.  
Inventarisatie naar de effecten van bemestingsstrategieën op de bodemvruchtbaarheid van de Nederlandse land- en tuinbouw. Rapport Plant Research International, in voorbereiding.
- Reijneveld, J., J. van Wensum & O. Oenema, 2008.  
Trends in soil organic carbon content of agricultural land in the Netherlands between 1983 and 2004. Submitted to Geoderma.
- Rietra, R.P.J.J., G.F. Koopmans, I. Lubbers, C. van der Salm, P. Kuikman & P.A. Ehlert, 2008.  
Gevolgen van een verminderde aanvoer van nutriënten voor de lange termijn bodemvruchtbaarheid. Rapport Alterra, in voorbereiding.
- Schröder, J.J., D. Uenk & J.C. van Middelkoop, 2007.  
Bemestingswaarde van mestscheidingsproducten: theorie en praktijk. Rapport 137, Plant Research International, 32 p.

Vleeshouwers, L.M. & A. Verhagen, 2002.

Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology* 8, 519-530.

Willigen, P., B.H. Janssen, H.I.M. Heesmans, J.G. Conijn, G.J. Velthof & W.J. Chardon, 2008.

Decomposition and accumulation of organic matter in soil. Comparison of some models. Rapport 1726, Alterra, 63 p.

Wolf, P. de (Red.), 2005.

Intersectorale samenwerking in de biologische landbouw: compost voor de biologische kringloop. Rapport Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 22 p.

Yang, H.S., 1996.

Modelling organic matter mineralisation and exploring options for organic matter management in arable farming in northern China. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen, 159 p.

## Bijlage I.

### Modelbedrijven en organische mestgiften bij eindnorm fosfaat (Scenario 2015) volgens van Dijk *et al.* (2007)<sup>1</sup>

VGG4, intensief kleinschalig bedrijf, prei + ijsbergsla, zuidelijk zandgebied.

Teeltjaar	Gewas	Teeltwijze	Oppervlak		Mestgiften
			1e teelt	2e teelt	
1	Ijsbergsla	Vroeg, bedekt	5.9		20 ton champost
		Zomer		5.9	
		Vroeg, bedekt	3.2		20 ton champost
		Herfst		3.2	
		Zomer	5.9		20 ton GFT
		Herfst		5.9	
2	Prei	Herfst, vroeg	2.28		20 ton VDM
		Herfst, laat	4.54		
		Winter, vroeg	4.54		20 ton VDM
		Winter, laat	3.64		

VGG5, grootschalig bedrijf, prei, zuidoostelijk zandgebied.

Teeltjaar	Gewas	Teeltwijze	Oppervlak		Mestgiften
			1e teelt	2e teelt	
1	Prei	Zomer	1.65		17 ton champost
		Herfst, vroeg	2.2 <sup>1</sup>		20 ton VDM
		Herfst, laat	3.3 <sup>1</sup>		20 ton VDM
		Winter, vroeg	3.85		17 ton champost
		Winter, laat	2.75		17 ton champost
		2	Broccoli	Vroeg	0.83
Herfst				0.83	
Zomer	1.48				13 ton GFT
Herfst	0.44				13 ton GFT
Knolvenkel	Zomer		1.375		13 ton GFT
	Herfst		1.375		13 ton GFT
Chinese kool	Vroeg		1.375		
	Zomer			1.375	
	Zomer		1.375		13 ton GFT

<sup>1</sup> *Gehuurd land.*

<sup>1</sup> Groenbemesterteelten worden aangegeven, maar zijn optioneel en worden in Scenario 2105 niet geteeld, met uitzondering van groenbemesters op bedrijf BL2 en verplichte groenbemesterteelt na maïs.

*VGG6, aardbeien-preibedrijf, zuidoostelijk zandgebied.*

Teeltjaar	Gewas	Teeltwijze	Oppervlak		Mestgiften
			1e teelt	2e teelt	
1	Tagetes		1		
	Aardbeien	Wachtbed		1	
		Gekoeld, vroeg	1		13 ton GFT
		Gekoeld, midden	2		13 ton GFT
		Gekoeld, laat	2		13 ton GFT
2	Prei	Zomer	0.5		25 ton champost
		Herfst, vroeg	1		30 ton VDM
		Herfst, laat	1.5		30 ton VDM
		Winter, vroeg	2		25 ton champost
		Winter, laat	1		25 ton champost
3	Asperge	Bedekt (1 t/m 10)	0.5		
		Onbedekt (nieuw)	0.2		60 ton champost
		Onbedekt, 2 t/m10	1.3		

*NON1, Akkerbouw, zetmeelaardappelbedrijf 1:3, noordoostelijk zandgebied.*

Teeltjaar	Gewas	Teeltwijze	Oppervlak		Mestgiften
			1e teelt	2e teelt	
1	Zomergerst		25		
	(Groenbemester)			(25)	
	Zomertarwe		5		
	(Groenbemester)			(5)	
2	Zetmeelaardappel		15		25 ton VDM
	Zetmeelaardappel		10		20 ton VDM
	Zetmeelaardappel		2		25 ton VDM
	Pootaardappel		3		
	(Groenbemester)			(3)	
3	Suikerbiet		18		20 ton VDM
	Waspeen		5		20 ton VDM
	Mais		4		25 ton VDM
	Groenbemester			4	
	Winterkoolzaad		3		
	(Groenbemester)			(3)	



*NON2, Akkerbouw, zetmeelaardappelbedrijf 1:2, noordoostelijk zandgebied.*

Teeltjaar	Gewas	Teeltwijze	Oppervlak		Mestgiften
			1e teelt	2e teelt	
1	Zetmeelaardappel		16		20 ton VDM
	Pootaardappel (Groenbemester)		4	(4)	
2	Suikerbiet		16		20 ton VDM
	Wintertarwe		4		
3	Zetmeelaardappel		11		20 ton VDM
	Zetmeelaardappel		9		20 ton VDM
4	Zomergerst		20		
	(Groenbemester)			(20)	

*ZON1, Akkerbouw, consumptieaardappel met groenten, zuidoostelijk zandgebied.*

Teeltjaar	Gewas	Teeltwijze	Oppervlak		Mestgiften
			1e teelt	2e teelt	
1	Spinazie		7.2		25 ton VDM
	Spinazie			7.2	
	Schorseneren		1.8		
2	Consumptieaardappel		9		25 ton VDM
3	Suikerbiet		7.2		20 ton RDM
	Korrelmais		1.8		17 ton RDM
	Groenbemester			1.8	
4	Waspeen		7.2		
	Schorseneren		1.8		

*BL2, Bloembolbedrijf, westelijk zandgebied.*

Teeltjaar	Gewas	Teeltwijze	Oppervlak		Mestgiften
			1e teelt	2e teelt	
1	Tulp		3		
2	Narcis		3		
	Groenbemester			3	
3	Hyacint		3		
4	Krokus		3		
	Groenbemester			3	



## **Bijlage II.**

**Yang parameters van organische  
materialen (meststoffen, gewasresten en  
stro, bodemorganische stof)**

*Organische meststoffen.*

	Rundveedrijf- mest	Vleesvarkens- drijfmest	Kippendrijf- mest	GFT-compost	Champost	Natuurcom- post	Vleeskuiken- mest	Vaste rundveemest	Kippenstrooi- selmest
Nm gehalte (kg per ton)	2.2	4.2	7.6	0.8	0.3	0	15.5	1.2	12.8
Norg gehalte (kg per ton)	2.2	3	2.6	7.7	5.5	6.5	15	5.2	6.3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gehalte (kg per ton)	1.6	4.2	7.8	3.7	3.6	2.5	17	4.1	24.2
org. stof (kg per ton)	64	60	93	190	220	153	508	150	423
EOS (kg per ton)	45	20	31	142	111	115	184	105	141
Initiële leeftijd (jr)	3.16	1.36	1.36	3.68	1.96	3.68	1.45	3.16	1.36
R9 (jr <sup>-1</sup> )	0.36	1.1	1.1	0.29	0.69	0.29	1.02	0.36	1.1
S (-)	0.47	0.63	0.63	0.44	0.56	0.44	0.62	0.47	0.63
C-gehalte (kg per ton)	32	30	46	85	99	69	254	75	211
C/Norg ratio (-)	14	10	18	11	20	11	17	14	34

*Gewasresten.*

	Ijsbergsla	Prei	Broccoli	Knolvenkel	Chinese kool	Spinazie	Aardbei	Asperge	Zomergerst
org. stof (kg per ha)	2250	2250	4000	3725	2225	1500	2500	2700	4200
Norg (kg per ha)	78	78	150	186	100	84	38	20	25
EOS (kg per ha)	455	455	1107	753	534	303	746	796	1297
Initiële leeftijd (jr)	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	1.3
R9 (jr <sup>-1</sup> )	1.6	1.6	1.3	1.6	1.4	1.6	1.2	1.2	1.2
S (-)	0.68	0.68	0.65	0.68	0.64	0.68	0.64	0.64	0.64
C/Norg ratio (-)	13	13	12	9	10	8	30	60	75

*Gewasresten (vervolg).*

	Zomertarwe	Wintertarwe	Winterkool- zaad	Consumptie- aardappel	Zetmeel- aardappel	Pootaardappel	Suikerbiet	Waspeen	Mais
org. stof (kg per ha)	5200	5200	3000	3400	3400	4300	6000	1500	1800
Norg (kg per ha)	31	31	68	42	42	95	117	24	16
EOS (kg per ha)	1606	1606	957	752	752	951	1258	447	593
Initiële leef tijd (jr)	1.3	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1	1.0	1.3	1.4
R9 (jr <sup>-1</sup> )	1.2	1.2	1.1	1.5	1.5	1.5	1.6	1.2	1.1
S (-)	0.64	0.64	0.63	0.67	0.67	0.67	0.68	0.64	0.63
C/Norg ratio (-)	75	75	20	36	36	20	23	28	50

*Gewasresten (vervolg).*

	Schorseneren	Tagetes	Bladrammenas (groenbem.)	Sitro
org. stof (kg per ha)	2400	4000	3800	3000
Norg (kg per ha)	43	90	86	20
EOS (kg per ha)	603	884	840	840
Initiële leef tijd (jr)	1.1	1.1	1.1	1.3
R9 (jr <sup>-1</sup> )	1.4	1.5	1.5	1.2
S (-)	0.66	0.67	0.67	0.64
C/Norg ratio (-)	25	20	20	75

*Oorspronkelijke bodemorganische stof (OBOS).*

Initiële leef tijd (jr)	19.4
R9 (jr <sup>-1</sup> )	0.024
S (-)	0.17
C/N ratio (-)	10

