

Duurzaamheid organische stof



bioKennis



WAGENINGENUR
For quality of life

Duurzaamheid organische stof

Methoden om de kwaliteit van organische meststoffen te meten en
beoordeling kwaliteit van organische stof van digestaat

Tussenrapportage 2009

P.H.M. Dekker, W.C.A. van Geel en W. van den Berg (PPO-AGV)
G.J.H.M. van der Burgt, J.G. Bokhorst (LBI)

© 2010 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

In Nederland vindt het meeste onderzoek voor biologische landbouw en voeding plaats in de, voornamelijk door het ministerie van LNV gefinancierde, cluster Biologische Landbouw. Aansturing hiervan gebeurt door Bioconnect, het innovatienetwerk voor biologische agroketens (www.bioconnect.nl). Hoofduitvoerders van het onderzoek zijn de instituten van Wageningen UR en het Louis Bolk Instituut. Dit rapport is binnen deze context tot stand gekomen. De resultaten van de verschillende kennisprojecten vindt u op de website www.biokennis.nl. Voor vragen en/of opmerkingen over dit onderzoek aan biologische landbouw en voeding kunt u mailen naar: info@biokennis.nl. Heeft u suggesties voor onderzoek dan kunt u ook terecht bij de loketten van Bioconnect op www.bioconnect.nl of een mail naar info@bioconnect.nl. Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het LNV-programma Beleidsondersteunend Onderzoek cluster Biologische Landbouw, Bodemvruchtbaarheid (BO-04-010)



Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

PPO-projectnummer: 3250142109
LBI-projectnummer BB078

Foto omslag: een mestvergister

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving

Businessunit Akkerbouw, Groente Ruimte en Vollegrondsgroente

Adres : Edelhertweg 1, Lelystad
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 - 291111
Fax : 0320 - 230479
E-mail : infoagv.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Samenvatting

Organische meststoffen hebben een directe bemestende waarde voor het gewas en ze leveren via de organische stof een bijdrage aan de bodemvruchtbaarheid op langere termijn. Agrariërs kunnen sturen in kwaliteit en kwantiteit van de bodemorganische stof door o.a. hun gewassenkeuze, het achterlaten van stro en de teelt van groenbemesters, door intensiteit van de grondbewerkingen en door aanvoer van organische stof van buiten het bedrijf.

In deze tussenrapportage gaat het om de laatst genoemde maatregel: de aanvoer van organische meststoffen van buiten het eigen bedrijf. Bij het beoordelen van de bodemkwaliteit is hierbij vooral gekeken naar de chemische en biologische bodemkwaliteit en niet naar de fysische bodemkwaliteit.

Door de opgang van mestvergisting en mestbewerkings- en mestverwerkingsmethoden komen er nieuwe mestproducten in de handel. Dit roept vragen op over de waarde van deze nieuwe producten en hoe deze waarde vooraf vastgesteld kan worden. In dit onderzoek zijn digestaat en de dikke fractie van gescheiden digestaat vergeleken met enkele vanouds bekende mestsoorten (vaste mest, drijfmest, compost) die daarbij als referentie dienden.

Er is gestart met een literatuuronderzoek naar de meest perspectiefvolle analysemethoden om de kwaliteit van organische meststoffen en van bodemeigenschappen te kunnen meten. Op basis van de literatuurstudie zijn de analysemethoden vastgesteld. Het resultaat van de respiratiemeting is vervolgens op basis van de literatuurstudie als meest betrouwbare parameter beschouwd om de kwaliteit van een organische meststof te beoordelen. Aan de meststoffen zijn behalve de respiratiemeting de volgende analyses aan de meststoffen uitgevoerd: droge stofgehalte, organische stofgehalte, chemisch zuurstofgebruik, N-totaal, N-mineraal, DON (Dissolved Organic Nitrogen), DOC (Dissolved Organic Carbon), C-totaal en HWC (Hot water Carbon).

In het onderzoek zijn negen verschillende organische meststoffen beoordeeld: natuurcompost, GFT-compost, potstalmest, rundveedrijfmest, digestaat van rundveedrijfmest, de gescheiden dikke fractie van rundveedrijfmestdigestaat, varkensdrijfmest, digestaat van varkensdrijfmest en de gescheiden dikke fractie van varkensdrijfmestdigestaat. De drijfmest, het digestaat en de dikke fractie van gescheiden digestaat waren afkomstig van twee biologische bedrijven die respectievelijk rundermest en varkensmest vergisten.

De respiratiemeting aan de meststoffen (CO_2 meting) is uitgevoerd in een laboratoriumopstelling aan mestmonsters toegediend aan een serie met grond van het LBI-proefveld MAK (Mest als kans) in Lelystad (een kleigrond) en aan een serie met grond van het PPO-proefveld NWP (Nutriënten Waterproof) in Vredepeel (een zandgrond). De afbraaksnelheid van meststoffen toegediend aan grond van het proefveld NWP was veel hoger dan die toegediend aan grond van het proefveld MAK. Tussen de mestsoorten kwamen zeer grote verschillen in afbraaksnelheid naar voren. De rangvolgorde van de meetresultaten van beide series grond kwam goed met elkaar overeen, maar het afbraakniveau was laag. Er kan op basis van dit eenjarig onderzoek nog geen duidelijke conclusie getrokken worden hoe de afbraaksnelheid van digestaat en die van de dikke fractie van gescheiden digestaat verschilt van die van drijfmest.

Bij alle analysemethoden komen de beide compostsoorten duidelijk naar voren als zijnde meststoffen met de laagste afbraaksnelheid van de organische stof. In de Oxitop-meting hebben de beide drijfmestsoorten een opvallend hoog zuurstofverbruik, terwijl dat in de respiratiemeting (CO_2 -productie) niet naar voren komt. Geconcludeerd kan worden dat blijkbaar met elk van de analysemethoden een bepaald kwaliteitsaspect van de organische stof wordt bepaald, dat geen voorspellende waarde heeft voor de uitslagen van de andere meetmethoden. Op basis van één analysemethode kan de waarde van de meststof dus onvoldoende gekarakteriseerd worden.

Belangrijke parameters om de bodemkwaliteit te beoordelen zijn: organische-stofgehalte van de bodem, POM-waarde, chemisch zuurstofgebruik (Oxito-meting), chemische analyses van C-totaal, HWC, DOC, N-totaal, Nmin, Norg en DON, de hoeveelheid en verhouding tussen schimmel- en bacteriemassa, chroma's. De beide proefvelden verschillen ten aanzien van deze parameters heel duidelijk van elkaar. Op het proefveld van NWP heeft het bedrijfssysteem met een verlaagde aanvoer van organische stof een duidelijk lager organisch stofgehalte van de grond, is de waarde van de Oxito-meting lager en is ook het koolstof- en stikstofgehalte van de grond lager. Bij het biologisch bedrijfssysteem van NWP daarentegen zijn de waardes juist hoger dan die bij het gangbare bedrijfssysteem. In het biologisch systeem is ook de totale hoeveelheid schimmel en bacterie hoger dan die bij de gangbare bedrijfssystemen. Verschillen in bedrijfsvoering worden zichtbaar in de analyse-uitslagen van de grondmonsters.

Bij de beoordeling van de meetresultaten van het proefveld MAK moet nog wel rekening worden gehouden met de hoeveelheid meststof die in de bemestingsstrategieën is toegepast. De dosering is veelal afgestemd op de bemestende waarde en niet op basis van levering van duurzame organische stof. Wel valt op dat het object bemest met natuurcompost het hoogste organisch stofgehalte en het hoogste gehalte aan C-totaal heeft. Dit komt overeen met de resultaten van de meststofanalyses, waarbij in de respiratieproef bij natuurcompost de laagste afbraaksnelheid gevonden werd.

Op basis van het onderzoek van 2009 is het niet mogelijk om een directe relatie te leggen tussen kwaliteitsmeting van meststoffen, meting van de bodemkwaliteit en opbrengstniveau van de gewassen. De gegevens van één onderzoeksjaar vormen daarvoor een te zwakke basis en de beoordeling zal altijd afblijven hangen van de vraag welke bodemeigenschap in het minimum verkeert en wat de meest beperkende groeifactor voor het gewas is. Het is een utopie te denken dat met de meting van één parameter de kwaliteit van een meststof of die van een bodem beoordeeld kan worden. Iedere meting geeft een antwoord op een detailvraag. Daarbij is het nog niet geheel duidelijk welke detailvraag door welke meting wordt beantwoord.

Het onderzoek wordt in 2010 voortgezet en afgerond met een verslag over 2009 en 2010 gezamenlijk.

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	3
1 INLEIDING	7
2 LITERATUURONDERZOEK	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Organische stofeigenschappen mest en compost.....	9
2.2.1 Inleiding	9
2.2.2 Afbraaksnelheid organische stof; respiratiemetingen	9
2.2.3 Oplosbare organische koolstof en stikstof	10
2.3 Organische stofeigenschappen bodem	11
2.3.1 Analysemethoden organische-stofgehalte	12
2.3.2 Streefwaarde voor het organische-stofgehalte.....	13
2.3.3 Afbraaksnelheid organische stof: respiratie.....	13
2.3.4 Koolstof- en stikstofgehalte organische stof	14
2.3.5 Dissolved Organic Carbon	14
2.3.6 Dissolved Organic Nitrogen (DON).....	14
2.3.7 Hot Water Carbon (HWC)	14
2.3.8 Bacteriële- en schimmelbiomassa.....	15
2.3.9 Particulate organic matter POM	16
2.4 Resultaten proefveld 'Mest Als Kans'	16
2.5 Resultaten proefveld 'Nutriënten Waterproof'	17
3 METINGEN 2009	19
3.1 Materiaal en methoden.....	19
3.1.1 Meststoffen	19
3.1.2 Grondmonsters veldobjecten	19
3.1.3 Uitgevoerde analyses	20
3.1.4 Kwaliteitsbepaling organische stof met de NIRS	22
3.2 Analyseresultaten meststoffen: samenstelling	22
3.3 Analyseresultaten meststoffen: respiratiemeting.....	23
3.4 Analyseresultaten grond	24
3.5 Vergelijking analyseresultaten organische-stofgehalte	26
4 BESPREKING RESULTATEN	29
4.1 Beoordeling kwaliteit meststoffen.....	29
4.1.1 Resultaat respiratiemeting	29
4.1.2 Vergelijking analysemethoden	30
4.2 Beoordeling bodemkwaliteit.....	31
4.2.1 Twee proeflocaties	31
4.2.2 Proefveld MAK.....	32
4.2.3 Proefveld NWP.....	33
4.3 Toetsing analyseresultaten meststoffen aan resultaten veldonderzoek	34
5 CONCLUSIES	35
LITERATUUR.....	37

Bijlage 1. Analysemethoden	39
Bijlage 2. Cijfers uit de respiratiemeting	41
Bijlage 3. Modelmatige beschrijving van de respiratie.....	43

1 Inleiding

Biologische landbouw is intrinsiek gerelateerd aan duurzame productiemethoden. De bodem, en met name organische stof in de bodem, is hierbij een belangrijk sleutelement. Bodemorganische stof heeft een belangrijke rol in een duurzame productiemethode door onder andere de volgende functies:

- Tijdelijk vastleggen en bufferen van mineralen, waardoor de efficiëntie in het gebruik van mineralen (mest) verbetert.
- Voedingsbodem voor het bodemleven dat meer of minder kan bijdragen aan de ziekteverendheid van de grond.
- Verbetering van de bodemstructuur (direct, en indirect via het bodemleven) waardoor beworteling en mineralenopname verbetert.
- Verbetering van de waterhuishouding waardoor bij gelijkblijvende input de opbrengst kan stijgen of bij een lagere input een gelijke opbrengst gehaald kan worden.

Door aanpassingen in de bedrijfsvoering kunnen agrariërs op wezenlijke punten sturen in kwaliteit en kwantiteit van de bodem organische stof. Het palet van maatregelen daarvoor is heel breed en kan samengevat worden in de volgende drie hoofdlijnen:

- Verhoging van de eigen productie van organische stof door introductie van groenbemesters en door andere keuzes en inrichting van de vruchtwisseling en het bouwplan (met granen en grasklaver/luzerne als organische stof motoren).
- Behoud van de bodemorganische stof door met name minder, minder intensieve en minder diepe grondbewerking en door periodes van bodemrust (maaiweides, (winter)graan met onderzaai van groenbemester).
- Gerichte aanvoer van organische stof van de gewenste kwantiteit, kwaliteit en herkomst van buiten het bedrijf.

Het is met name dit laatste punt waarop dit rapport zich richt. Naast de aanvoer van bekende meststoffen zoals dierlijke dunne mest, dierlijke vaste mest en diverse compostsoorten zijn er 'nieuwe' mestsoorten op de markt verschenen waarvan het aandeel in de toekomst zou kunnen stijgen. Het gaat dan om digestaat als restproduct van vergistingsinstallaties. Onder de verzamelnaam digestaat valt een range aan meststoffen. Een belangrijk onderscheid daarbinnen is van welke mestsoort het digestaat afkomstig is (rundermest of varkensmest) en of het wordt gescheiden in een dunne en een dikke fractie of ongescheiden wordt gebruikt. Verschillen in input van dierlijke-mestsoort zullen leiden tot verschillen in eigenschappen van het digestaat en dat geldt ook voor de grondstoffen die als co-product in de vergister worden gedaan.

De onderwerpen die in dit rapport aan de orde komen zijn:

- Beoordeling van een aantal analysemethoden om de stabiliteit/afbraaksnelheid van de organische stof van meststoffen te meten (respiratiemeting, chemische en fysische methoden);
- Vaststellen van de afbraaksnelheid van een aantal 'nieuwe' organische mestsoorten samen met enkele vanouds bekende mestsoorten (vaste mest, drijfmest, compost).
- In beeld brengen van de consequenties voor de bodemvruchtbaarheid (organische stof gehalte, nutriëntenlevering) van het gebruik van verschillende typen organische meststoffen waaronder de 'nieuwe'.
- Toetsing van het resultaat van de verschillende analysemethoden aan de resultaten van veeljarige veldproeven 'Mest als Kans' (MAK) in Lelystad en 'Nutriënten Waterproof' (NWP) in Vredepeel.

Om de uitslag van de analyses van digestaten te kunnen plaatsen in de range van momenteel gebruikte meststoffen is een aantal gebruikelijke meststoffen in de analyses meegenomen.

Organische mest heeft een directe bemestende waarde (mineralen voor plantenvoeding) en een langdurige bodemverbeterende werking via de organische stof. Deze laatste waarde is lastig te bepalen, omdat het om een effect op lange termijn gaat en omdat het verweven zit met de bodemeigenschappen en het landgebruik. De afbraaksnelheid is in een laboratoriumtest gemeten. Om zicht te krijgen op de langere-

termijneffecten in interactie met de bodem, zijn bodemanalyses uitgevoerd op genoemde twee proefvelden. Er is gekeken naar bodemchemische en bodembioologische parameters. Beide proefvelden hebben meerjarige verschillen in toediening van organische mest en lenen zich dus voor een vergelijking. Daarbij moeten wel twee kanttekeningen worden geplaatst. Ten eerste wordt op deze wijze strikt genomen niet het effect gemeten van de huidige meststof X op de bodem op lange termijn, maar er wordt gekeken naar het effect van vergelijkbare mestsoorten die in het verleden zijn toegediend. Voor het MAK-proefveld is 'mestsoort en -hoeveelheid' het enige verschil, voor het NWP-proefveld zijn er ook verschillen in landgebruik. Ten tweede kon het effect op de bodem van de 'nieuwe' meststoffen niet gemeten worden, omdat digestaat niet in deze twee proefvelden als factor opgenomen was.

In dit rapport wordt eerst de beschikbare literatuur over de meststoffen en over de gebruikte analysemethoden besproken (hoofdstuk 2). De uitgevoerde metingen staan samengevat in hoofdstuk 3 en worden besproken en gespiegeld aan de literatuur in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de voorlopige conclusies getrokken. Voorlopig, omdat in 2010 het project wordt voortgezet en er een tweede meetreeks wordt toegevoegd. Eind 2010 zal een volledig verslag verschijnen.

2 Literatuuronderzoek

2.1 Inleiding

In vele publicaties rond bodemvruchtbaarheid is de centrale of achterliggende vraag: hoe komen we tot een optimaal organische-stofmanagement in de landbouw? Deze vraag wordt actueler omdat nieuwe ontwikkelingen zich aandienen. Een hoge mineralenefficiëntie, een geringe uitspoeling van voedingsstoffen, een hoge ziekteverendheid van de bodem en vastlegging van koolstof in verband met de klimaatadaptatie en -mitigatie zijn thema's die steeds meer aandacht krijgen. Daarnaast wordt de aanvoer van organische stof in de landbouw steeds meer beperkt doordat steeds minder gewassen geteeld worden die substantieel organische stof voor de bodem achterlaten en externe aanvoer van organische stof onder druk staat omdat deze organische stof ook voor energiewinning gebruikt kan worden. Wat zijn nu de eigenschappen van de verschillende soorten organische stof, hoe beïnvloeden die de eigenschappen van de bodemorganische stof en wat is de relatie tussen de eigenschappen van bodemorganische stof met de genoemde maatschappelijke en landbouwkundige vragen? Dit zijn ingewikkelde vragen mede ook omdat op ieder bodemtype en bij ieder bedrijfssysteem het antwoord weer anders zal zijn. De literatuur richt zich dan ook steeds op kleine onderdelen en zelden worden de resultaten in een wat grotere samenhang geplaatst. In dit kader is de opzet van dit project redelijk uniek te noemen. Het beperkt zich weliswaar tot meststoffen, maar de eigenschappen van deze meststoffen worden onderzocht, de eigenschappen van de organische stof van de bodems worden onderzocht en van de bodems van het MAK-proefveld en het NWP-proefveld is enigszins bekend hoe het staat met mineralenefficiëntie, uitspoeling, ziekteverendheid en koolstofvastlegging. Een eerste stap in de richting van meer inzicht krijgen in de koppeling van mesteigenschappen, bodemeigenschappen en ecosysteemdiensten is het doel van deze literatuurstudie.

2.2 Organische stofeigenschappen mest en compost

2.2.1 Inleiding

Belangrijke eigenschappen van mest en compost zijn de stikstoflevering en de bijdrage aan de opbouw van organische stof in de grond. Naar beide is in het verleden onderzoek gedaan en hier wordt in het volgende op ingegaan. Mest en compost hebben ook invloed op andere bodemeigenschappen. Of de uitgevoerde analyses zoals DON, DOC, HWC en respiratie hier iets over kunnen zeggen, is minder duidelijk. Bij compost en digestaat is de vraag rond de verschillende effecten op de bodem nog het duidelijkst dankzij een literatuurstudie van het FIBL in Zwitserland (Fuchs, 2005). De in deze studie gebruikte analysemethoden worden daarin echter beperkt behandeld.

2.2.2 Afbraaksnelheid organische stof; respiratiemetingen

Met betrekking tot de duurzaamheid van de organische stof in mest of compost is de afbraaksnelheid een belangrijke eigenschap. Bij een trage afbraak blijft de organische stof lang in de bodem aanwezig en draagt lang bij aan een aantal bodemeigenschappen, maar is het vrijkomen van mineralen beperkt. Bij een snellere afbraak is de organische stof voedsel voor het bodemleven en draagt weer bij aan andere bodemeigenschappen, zoals het vrijkomen van mineralen. Onder meer de stikstofwerkingscoëfficiënt van een meststof kan met behulp van bijvoorbeeld een respiratiemeting worden geschat (van Dijk et al. 2005). Het schatten van de afbraaksnelheid is dus van belang.

De respiratiemeting is de meest gebruikte methode om de afbraaksnelheid te meten. Het principe berust op het meten van mest of compost met grond en vervolgens meten van de koolzuurproductie of het zuurstofverbruik. Met een modelberekening wordt vervolgens de humificatiecoëfficiënt uitgerekend. De humificatiecoëfficiënt is het percentage organische stof dat één jaar na toediening in de grond nog aanwezig is. De modelberekeningen (NDICEA, MINIP) zijn gebaseerd op de afbraakcurves van organische-

stofvormen (Janssen, 1984). Door van Dijk et al. (2005) is een adviesprotocol opgesteld. In het kort komen de methodes koolzuurproductie en zuurstofconsumptie op het volgende neer:

Koolzuurproductie

Het vochtgehalte van een mengsel van grond met mest of compost wordt op 60% van de vloeigrens gebracht en bij bijvoorbeeld 20 °C ca. 7 weken geïncubeerd. Periodiek wordt de koolzuurproductie gemeten. Dit kan door het koolzuur in te vangen in natronloog en de overmaat middels een titratie te meten (Zibilske, 1994). Ook kan het koolzuurgas gemeten worden met een gaschromatograaf of een gasmonitor. Er bestaat een ISO protocol: ISO 16072:2002.

Zuurstofgebruik

Ook hierbij wordt een mengsel geïncubeerd. Het koolzuur kan worden ingevangen in een basische oplossing en het drukverval van de zuurstofproductie kan worden gemeten. De "Oxitop" werkt volgens dit principe. De Oxitop wordt vooral gebruikt om de biologische afbraak van verontreinigingen in vervuilde grond te volgen. Voor gebruik in compost heeft Veeken et al. (2003, 2005) een methode ontwikkeld. Ook kan de verandering in zuurstofconcentratie gemeten worden (Kehres, 1998).

De bepaling van de koolzuurproductie is in het algemeen nauwkeuriger dan de bepaling van de zuurstofconsumptie. Geadviseerd wordt om de koolzuurproductie bij incubatie als maat te nemen. De methode staat beschreven in bijlage 1.

Streefwaarden respiratiemetingen met de Oxitop

Veeken (2003, 2005) stelde de volgende waarden voor om de stabiliteit van een compost te beoordelen bij gebruik van de Oxitop:

Zeer onstabiele compost	> 30	mmol O ₂ /kg OS/uur
Onstabiele compost	15-30	mmol O ₂ /kg OS/uur
Stabiele compost	5-15	mmol O ₂ /kg OS/uur
Zeer stabiele compost	< 5	mmol O ₂ /kg OS/uur

2.2.3 Oplosbare organische koolstof en stikstof

DOC (opgeloste hoeveelheid organische koolstof) en DON (opgeloste hoeveelheid organische stikstof) kunnen worden bepaald in het 0,01 M CaCl₂-extract. Dit extract wordt kan ook worden gebruikt voor de meting van voedingsstoffen en de zuurgraad. De mogelijkheid om in een extract dat al gemaakt is voor andere analyses de eigenschappen van de organische stof te meten, maakt de analyse van DON en DOC aantrekkelijk.

DOC

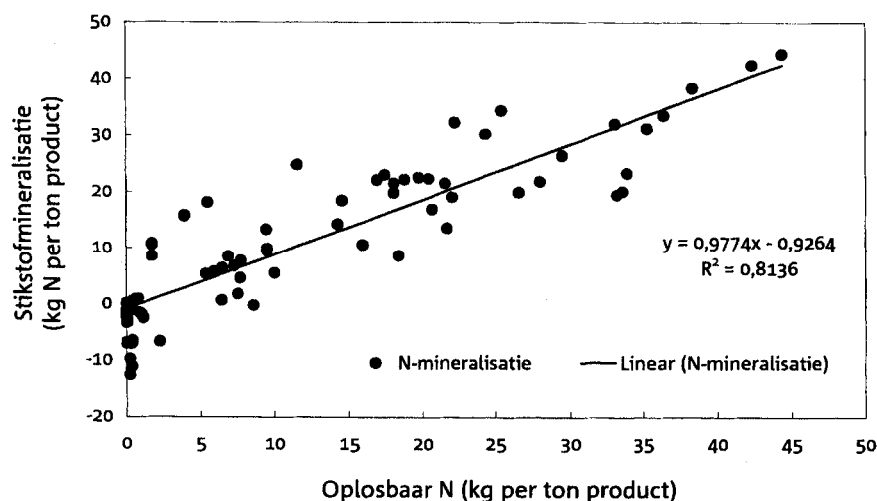
DOC wordt bepaald door in een 0,01 M CaCl₂-extract de organische koolstof te meten.

Streefwaarden DOC

Volgens Zmora-Nahum et al. (2005) is de DOC een goede parameter om de rijpheid van een gecomposteerd product te meten. Voor GFT-compost, groencompost en stalmest vonden zij dat onafhankelijk van de uitgangs-DOC (5,5-35 g/kg) de waarde tot ca. 2 daalde na compostering. Zij adviseerden een waarde van 4 g/kg aan te houden voor rijpe compost.

DON

DON wordt bepaald door in een 0,01 M CaCl₂-extract de organische stikstof te meten. DON samen met de minerale N, dus totaal N in dit extract bleek, indien gebruik wordt gemaakt van vers materiaal, bij 30 meststoffen en gewasresten een goede correlatie te geven met de stikstof die vrijkomt bij een incubatie van 26 weken (figuur 2-1, Zwart et al., 1999).



Figuur 2-1. Relatie tussen totaal oplosbaar N (DON + minerale N) en stikstofmineralisatie bij diverse meststoffen en oogstresten

Streefwaarden DON

Een streefwaarde voor de DON is eigenlijk niet te geven. Een hoge DON en daarmee een hoog stikstofleverend vermogen gaat vaak samen met een laag organische-stofopbouwend vermogen van de mest en compost. De waardering hangt dus sterk af van wat gewenst is.

Bij het project Mest als Kans (Bokhorst en Ter Berg ed., 2001) werden willekeurige mest- en compostmonsters onderzocht op DON. De gevonden waarden staan in tabel 2-1. Van digestaat zijn in de literatuur geen DON-metingen bekend.

Tabel 2-1. DON in mg N per kg organische stof van verschillende mestsoorten

Mestsoort	mg N per kg organische stof
Storrijke kippenmest vers	3029
Storrijke geitenmest vers	2397
Runderpotstalmest vers	1099
GFT 1	1387
GFT 2	872
Groencompost	119
Boomschorscompost	36

HWC

Literatuur rond de meting van in heet water oplosbare koolstof bij mest of compost is niet gevonden. Gezien de interessante informatie die meting van de HWC bij grond geeft, is het niet onmogelijk dat ook bij mest en compost de HWC een plaats kan hebben. Bij grond geeft de HWC een indicatie van de actieve fractie van de organische stof (zie hoofdstuk 2.3.7). Ook bij mest en compost is dit een belangrijke eigenschap.

2.3 Organische stofeigenschappen bodem

De in de bodem aanwezige organische stof is het resultaat van vele jaren toevoegingen van vele soorten organische stof en de verwerking en omzetting ervan onder wisselende omstandigheden. Gegeven dit feit hoeft het geen verbazing te wekken dat tot nu toe nog geen eenduidige analysemethode boven is komen drijven die de verschillende functies en eigenschappen waarin we geïnteresseerd zijn eenduidig kwantificeert. Verschillende methoden worden hieronder behandeld.

2.3.1 Analysemethoden organische-stofgehalte

Het organische-stofgehalte is een belangrijke eigenschap van de bodem. Ontwikkelingen in de landbouw, zoals meststofefficiëntie en algemeen maatschappelijke thema's zoals uitspoeling van voedingsstoffen naar het oppervlaktewater en vastlegging van koolstof hangen er mee samen. Omdat organische stof van belang is, worden analyses van het organische stofgehalte al heel lang uitgevoerd. Toch is de wijze van organische stofbepaling nog steeds in discussie. Bij meerjarige proeven waarbij het verloop van het organische-stofgehalte wordt gevolgd, zijn er vaak problemen. Een voorbeeld is het onderzoek op de OBS te Nagele. Hier lukte het niet om een goed beeld van de ontwikkeling van het organische stofgehalte te krijgen. Er zijn verschillende redenen waarom er problemen zijn rond de bepaling van het organische stofgehalte:

- De monsternamen zelf. Iedere monsternemer heeft een eigen methode om een monster te nemen. Ook verschillen in de dikte van de bemonsterde laag, bijvoorbeeld door losse of vastere ligging van de grond, kunnen invloed hebben op de uitslag.
- De voorbehandeling van het gestoken monster, zoals het breken, zeven en/of malen.
- De nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid op het laboratorium. Er wordt een kleine hoeveelheid grond afgewogen. Deze moet het organische stofgehalte van vaak meerdere hectares aangeven.
- Laboratoria veranderen de analysemethode. Streven naar lagere kosten per analyse speelt hierbij een rol.
- Bij meerjarige vergelijkingen zijn er weer nieuwe variabelen. Eén keer dieper ploegen kan tot gevolg hebben dat het organische-stofgehalte voor langere tijd verlaagd is.
- Om het organische-stofgehalte van een grond te bepalen, zijn er meerdere methoden in gebruik. De reden dat er meerdere methoden zijn, heeft te maken met het feit dat de kosten per analyse sterk verschillen en methodes vaak niet voor alle bodemsoorten geschikt zijn.

Methoden van organische stofbepaling

De principes van organische-stofbepalingen verschillen. Bij de C-elementairanalyse wordt de koolstof geanalyseerd. Bij de gloeiverliesmethode wordt de organische stof verbrand en het gewichtsverlies bepaald. De natte oxidatiemethode maakt gebruik van de mogelijkheid dat organische stof chemisch geoxideerd kan worden.

De elementairanalyse

Hierbij wordt alle organische koolstof in de grond geanalyseerd na verhitting tot 525-550 °C. Belangrijk is dat de minerale koolstof in carbonaten van te voren verwijderd is door behandeling met een zuur. De methode meet niet het gehalte aan organische stof. Middels een factor wordt het organische-stofgehalte berekend. Gebruikt worden verschillende factoren, bijvoorbeeld 1,72 en 2. De factor 2 wordt door het Blgg gebruikt. Bij de omrekening wordt zeker een fout gemaakt, omdat het koolstofgehalte van de organische stof niet uniform is.

Vanwege de nauwkeurigheid van het gemeten koolstofgehalte is deze methode voor veel doeleinden de meest betrouwbare zolang koolstofgehalte met koolstofgehalte vergeleken wordt en de omrekening naar het organische stofgehalte achterwege wordt gelaten.

De gloeiverliesmethode

De organische stof kan verbrand worden en vervolgens kan het gewichtverlies bepaald worden. Een nadeel van deze op zich betrouwbare en eenvoudige methode is dat bij de hoge gebruikte temperatuur ook water verloren gaat dat gebonden is aan oxiden en lutum en dat een deel van de kalk ook omgezet kan worden. Voor gronden die arm zijn aan oxiden, lutum en klei, is de methode geschikt. Er zijn wel correcties mogelijk voor overige gronden, maar die kunnen alleen een benadering zijn, omdat verschillende kleimineralen verschillende gehalten aan water hebben. Gebruikelijk is om het gewichtsverlies te corrigeren met 7% van het lutumpercentage. De optimale temperatuur is 550 °C (Dean, 1974).

De natte oxidatie

De methode berust op het principe dat organische stof met chroomzuur geoxideerd kan worden. Via een titratie en soms colorimetrisch wordt de mate van omzetting van chroom gemeten. Nadelen van deze methode is dat de oxidatie nooit compleet is, dat het stikstofgehalte ook de oxidatie beïnvloedt en dat ook andere stoffen dan organische stof meedoen aan het oxidatieproces. Omdat de methode geschikt is voor

toepassing op grote schaal in routinelaboratoria en met eenvoudige apparatuur uit te voeren is, heeft deze veel opgang gemaakt. Het wordt ook wel de Walkley Black-methode genoemd (Walkley et. al., 1934).

Bodenbestimmungen 1931.					
		pH	% CaCO ₃	% Humus	% Phosphat
Ter Linde	1 A	6.5	2.11	1.87	0.006
"	1 B	6.4	0.86	1.27	0.010
"	2	6.4	5.68	2.31	0.012
"	3	6.0	0	2.25	0.008
"	5	6.3	0.64	1.23	0.008
"	6	6.3	0	1.19	0.003
"	7	6.4	0	0.50	0.008
"	8	6.4	4.83	1.94	0.012
"	9	6.2	0	3.02	0.016
"	10	6.3	0.49	2.64	0.016

Loverendale, ter Linde, 1931

Waarschijnlijk de eerste bepalingen van het organische-stofgehalte op een biologisch bedrijf ooit. Helaas is er geen informatie over de analysemethode en kunnen deze percelen niet opnieuw volgens deze methode geanalyseerd worden. Metingen uitgevoerd in het laboratorium bij de villa Loverendale te Domburg.

Figuur 2-2. **Organische-stofgehalte van percelen van "Loverendale", 1931**

Keuze van de methode

Gebruikelijk is om de elementaire analyse toe te passen bij:

- zee- en duinzandgronden
- zee- en rivierafzettingen tot 10% organische stof
- lössgronden tot 10% organische stof

De gloeiverliesmethode wordt toegepast bij:

- zee- en rivierafzettingen boven 10% organische stof
- lössgronden boven 10% organische stof
- grasland alle grondsoorten
- akkerbouw op zand- en veengronden

2.3.2 Streefwaarde voor het organische-stofgehalte

Het is eigenlijk niet mogelijk om een streefwaarde voor het organische stofgehalte te geven. Het wenselijke gehalte hangt af van het bodemgebruik, van overige eisen die men aan een bodem stelt (bijvoorbeeld beperking emissies en koolstofvastlegging) en van de soort organische stof. Dit laatste wordt in het hiernavolgende belicht. Toch wordt in de praktijk wel een globale streefwaarde aangehouden. Deze ligt bij akkerbouw en groenteteelt rond de 3% organische stof op zand- en zavelgronden en één tot meerdere procenten hoger op zandgronden met inerte zwarte organische stof (zoals op Vredepeel) en op kleigronden, vooral bij hoge lutumgehalten.

2.3.3 Afbraaksnelheid organische stof: respiratie

Respiratiemetingen kunnen in het veld gedaan worden en in het laboratorium in incubatievaten. Metingen in het laboratorium kunnen berusten op meting van de koolzuurproductie of de zuurstofconsumptie. De meting van de koolzuurproductie wordt in het algemeen als de meest nauwkeurige gezien. Door Veecken et. al. (2003, 2005) is een gestandaardiseerde methode ontwikkeld om met de Oxitop de zuurstofproductie te meten. Deze methode is ook bij het in dit rapport behandelde onderzoek toegepast.

Tejada et. al. (2008) composteerden gras (*Trifolium pratense*) met en zonder bietvinasse. Zij dienden dit gedurende 5 jaar aan grond toe. Beide varianten verhoogden de respiratie met 46 %. Ook andere bodemlevenparameters werden verhoogd: microbiële biomassa, dehydrogenase, urease, β -glucosidase, fosfatase en ariylsulfatase.

De meting van de respiratie van de bodem middels een laboratoriumtest wordt ook gebruikt om de vrijmaking van voedingsstoffen te voorspellen. Haney (2008) vond een sterke correlatie tussen de koolzuurproductie in 24 uur en de mineralisatie van stikstof en fosfor en de waterextraheerbare stikstof en koolstof bij gronden waaraan stalmest was toegevoegd. De mineralisatiemeting middels een titratie werden vergeleken met de Solvitatest (www.woodsend.org). Er bleek een goede correlatie tussen beide testen. Dit is opmerkelijk omdat vaak wordt gezegd dat de Solvitatest voor wetenschappelijke doeleinden niet nauwkeurig genoeg is (o.a. Fuchs, ed., 2003b).

Zhijian (2009) concludeerde aan de hand van een groot aantal voorbeelden over de wereld dat de lachgasemissie gecorreleerd is met de laboratoriumrespiratie en de C/N verhouding van de grond. Bonanomi et al. (2009 in press) analyseerden 2423 studies over de relatie tussen toevoegingen van organische stof aan de bodem en ziekteveredheid. Op het moment is alleen nog de samenvatting van het artikel beschikbaar. Hierin concluderen ze dat beïnvloeding van ziekteveredheid van de bodem een zeer complex thema is, maar dat de respiratiemetingen tot de meest informatieve behoren om ziekteveredheid te voorspellen.

2.3.4 Koolstof- en stikstofgehalte organische stof

Het koolstof- en het stikstofgehalte van de bulk aan bodemorganische stof zijn moeilijk te beïnvloeden en worden bepaald door processen die vaak lang geleden speelden. Ze zijn dus niet te gebruiken om recente landbouwkundige maatregelen te verklaren. Hiervoor is de labiele organische stof veel belangrijker. Een grote hoeveelheid oude bodemorganische stof die bovendien extreem arm is aan stikstof, zoals in de Veenkoloniën, kan de bodemstructuur eenzijdig beïnvloeden en de bodem bijvoorbeeld stuifgevoelig maken. Jongere organische stof met een lagere C/N-verhouding maakt de bodem ruller en stimuleert binding van organische stof aan de minerale delen. Dat gebeurt vooral door het proces van vertering door het bodemleven, niet door de eigenschappen van die organische stof zelf. Jongere bodemorganische stof of vers toegediende organische stof met een lagere C/N-verhouding wordt meestal makkelijker afgebroken dan die met een hoge C/N-verhouding en heeft daarmee via het bodemleven een grotere invloed op bodemstructuur en mineralisatie van stikstof.

2.3.5 Dissolved Organic Carbon

De makkelijk oplosbare organisch gebonden koolstof is direct beschikbaar voor het bodemleven. Deze organische stof is een belangrijke bron van koolstof, stikstof en zwavel die gemineraliseerd wordt. Deze fractie spoelt ook makkelijk uit. De helft van de koolstof die uitspoelt kan uit deze fractie komen (Haynes, 2005).

Het karakter van de DOC komt misschien goed tot uiting in het experiment uitgevoerd door Conclin et al., 2002. Bij een vergelijking van compost en gewasresten werd bij wilde mosterd de *Pythium*-aantasting bestudeerd. Bij een hogere waarde van de DOC was er een sterkere aantasting. Een dergelijk experiment geeft aan dat een hogere DOC niet zonder meer als positief mag worden gezien. Soms is het misschien een indicator voor een minder evenwichtig bodemleven.

2.3.6 Dissolved Organic Nitrogen (DON)

DON (dissolved organic nitrogen) geeft de hoeveelheid organische stikstof aan die in een 0,01M CaCl₂-extractie in oplossing komt. Voor de bepaling van de waarde van DON wordt de hoeveelheid minerale stikstof afgetrokken van de N-totaal in de oplossing. In sommige publicaties wordt de waarde van de DON naar voren geschoven als parameter om de stikstofmineralisatie te voorspellen. Er zijn echter ook publicaties waaruit blijkt dat de voorspellende waarde tegenvalt (Dijk T.A. van, 2009; Velthof, 2008).

2.3.7 Hot Water Carbon (HWC)

HWC (Hot Water Carbon) geeft de hoeveelheid koolstof aan die in een extract met een temperatuur van 80 °C oplost. Veel onderzoek is gedaan naar de betekenis van deze methode. Meerdere malen wordt de HWC als beste methode aangewezen om de bodemkwaliteit te beoordelen, maar er zijn ook kritische geluiden. Wat betreft positieve geluiden wordt door Ghani et al. (2003) de HWC de meest gevoelige methode genoemd om de bodemkwaliteit te beoordelen. Dit op grond van onderzoek naar de langjarige effecten van bemesting en begrazing van grasland na vergelijking met andere bodemindicatoren. De naleveringsmogelijkheid van voedingsstoffen zou gecorreleerd zijn met de HWC. Ook Simon (2008) ziet de

HWC als een belangrijke en gevoelige indicator. Bij een negenjarige proef in een akkerbouwvruchtwisseling waarbij minerale mest en stalmest werden vergeleken, nam bij beide varianten het organisch koolstofgehalte toe, maar alleen bij de stalmestvariant nam ook de HWC-waarde toe. Een vergelijkbaar resultaat laat ook een ander meerjarige experiment rond de vergelijking van minerale mest en stalmest zien. In de periode tussen 41 en 43 jaar na aanvang van het experiment is de HWC-waarde bij de stalmestvariant 29% hoger dan die bij de minerale mest variant (Bankó et al., 2007). Zij concluderen dat de HWC te gebruiken is als indicator voor de ontwikkeling van de bodemkwaliteit.

Ook bij de inschatting van het stikstofleverend vermogen van een grond wordt de HWC regelmatig genoemd. Curtin et al., 2006 deden onderzoek bij 30 Nieuw-Zeelandse gronden. Hier bleek de HWC de door de plant vanuit mineralisatie opgenomen stikstof voor 50% te verklaren. Totaal stikstof deed dit voor 16%. Anaeroob mineraliseerbare stikstof deed dit voor 32% en NH-N opgelost in heet 2M KCL voor 24%. Een 28 dagen durende incubatie met meting van de stikstofmineralisatie was de beste: 79% werd verklaard.

De HWC wordt ook beschouwd als een indicator voor de microbiële koolstof (Sparling, 1992).

Streefwaarde voor de HWC

Volgens Bankó et.al., (2007) neemt bij een HWC beneden 200 mg/kg de bodemvruchtbaarheid af en een waarde boven 400 mg/kg geeft aan dat er een grote hoeveelheid makkelijk omzetbare organische stof is.

2.3.8 Bacteriële- en schimmelbiomassa

Bacteriën en schimmels hebben uiteenlopende functies in de bodem. Bacteriën breken materiaal af met een relatief laag C/N-quotiënt, schimmels juist materiaal met een hoog C/N-quotiënt. Bloem (2004) stelt dat een lage S/B-verhouding hoort bij een intensief en productief landbouwsysteem.

Tabel 2-2. **Referentiewaarden bacteriële en schimmelbiomassa**

Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)

Teelt/gewas	Referentie	gemiddelde	perciël 5%	perciël 95%
Akkerbouw op klei	51	66	7,5	162
Melkveehouderij op klei	634	322	38	844
Melkveehouderij op löss	620	476	410	593
Melkveehouderij op veen	215	208	124	271
Akkerbouw op zand	81	88	25	145
Melkveehouderij op zand	132	146	40	293
Half natuurlijk grasland op zand	142	297		
Heide op zand	79	73	48	94
Gemengd bos op zand	28	51	11	162
Stadsparken op zand	107	90	52	144

Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)

Teelt/gewas	Referentie	gemiddelde	perciël 5%	perciël 95%
Akkerbouw op klei				
Melkveehouderij op klei				
Melkveehouderij op löss				
Melkveehouderij op veen	38	38	35	42
Akkerbouw op zand				
Melkveehouderij op zand				
Half natuurlijk grasland op zand	23	25		
Heide op zand	54	53	41	71
Gemengd bos op zand				
Stadsparken op zand	26	28	16	35

Streefwaarden bacteriële en schimmelbiomassa

Onder redactie van het RIVM zijn in 2007 (Rutgers et. al., 2007) referenties opgesteld voor de bacteriële en schimmelbiomassa. Deze referenties zijn gebaseerd op criteria voor een 'gezonde' bodem op basis van zeer veel meetgegevens uit het LMB en BoBi-project. De waarde van deze referenties is nog in discussie, maar geven toch richting aan de beoordeling van in de praktijk gevonden waarden. De hoogte van de referenties inclusief gemiddelden en bandbreedte staan in tabel 2-2.

2.3.9 Particulate organic matter POM

Aan de meting van de hoeveelheid Particulate organic matter (POM) ligt de gedachte ten grondslag dat de grovere fractie van de organische stof de meest actieve is. De uitgangsmaterialen waaruit organische stof wordt gemaakt, voornamelijk plantenresten, zijn in eerste instantie vrij grof. Onder invloed van het bodemleven worden ze verkleind. Uiteindelijk zijn ze zeer klein en geen voedingsbron meer voor het bodemleven. De fractie met een grootte tussen 53-2000 µm wordt als de actieve fractie beschouwd. De methode is in de 80- en 90-er jaren van de vorige eeuw veel toegepast. Door de bewerkelijkheid en daarmee de hoge kosten wordt deze nu minder toegepast en gaat de aandacht meer uit naar in het voorgaande genoemde methoden.

2.4 Resultaten proefveld 'Mest Als Kans'

Het proefveld MAK is in 2006 uitgebreid bemonsterd. Zanen et. al. (2008) doen er verslag van. Een populaire versie in brochurevorm van de tussentijdse evaluatie is te vinden in Bokhost et al. (2008). Een van de aan bodem organische stof gerelateerde conclusies is in die brochure als volgt geformuleerd: "De opbrengsten van kool in 1999 bij het begin van de proef en die van aardappel in 2007 laten interessante verschillen zien. In 1999 heeft minerale mest de hoogste opbrengst. In 2007 zijn het potstalmest en natuurcompost. De opbouw van oude kracht bij de laatste kan dat verklaren." In 2008 heeft het gewas schorseneer op het veld gestaan en in 2009 pastinaak. Deze jaren zijn, behalve de metingen in 2009 voor dit rapport, alleen de opbrengsten bepaald. De bruto opbrengst is weergegeven in Tabel 2-3 in volgorde van afnemende opbrengst in 2009. Voor de exacte betekenis en hoeveelheid van de mestsoorten wordt verwezen naar Zanen et al. (2008).

Tabel 2-3. **Opbrengst in ton per hectare van schorseneer 2008 en pastinaak in 2009 op de 13 behandelingen van proefveld MAK. Volgorde volgens opbrengst 2009, aflopend. Verschillende letters geven per jaar verschillen in opbrengst aan (ANOVA, $p < 0.05$)**

Mestsoort	2008	2009
	Schorseneer	Pastinaak
Potstalmest, vers	42 bc	48 d
Potstalmestcompost	46 c	44 cd
Kippenmest (vast)	46 c	43 cd
Varkensmest (vast)	43 bc	42 c
Kippenmest + rundveedrijfmest	44 bc	41 c
GFT-compost + rundveedrijfmest	43 bc	41 c
VAM Natuurcompost	44 bc	39 bc
Rundveedrijfmest	46 c	37 bc
GFT-compost	40 b	36 bc
Ex-potstalmest, intensief gecomposteerd ¹	46 c	35 b
Groencompost	37 ab	30 ab
NPK-kunstmest	44 bc	29 ab
CMC-groencompost	34 a	28 a

¹ wordt niet meer bemest

De opbrengsten van 2008 lagen dicht bij elkaar dan die van 2009 met uitzondering van de groencomposten. De opbrengsten van 2009 bevestigen voor een groot deel de tendensen die beschreven zijn in de evaluatie van Bokhorst et al. (2008):

- De potstalmest komt wederom goed uit de bus.
- Uitsluitend NPK (dus zonder toevoeging van organische stof) scoort slecht.
- Kippenmest doet het goed, waarbij het vermoeden bestaat dat dit naast de stikstof deels komt door de fosfaatwerking (mondelinge mededeling J. Bokhorst).
- De plantaardige composten doen het na een aantal jaren nog niet goed wat betreft opbrengst, ook niet de VAM Natuurcompost die de grootste hoeveelheid organische stof krijgt toegediend.

Bij de uiteindelijke beoordeling van de werking van mest op bodem en gewas spelen de hoeveelheid toegediende meststof en de hoeveelheid toegediende mineralen een belangrijke rol. In de opzet van de MAK-proef liggen drie (deels wettelijke) uitgangspunten:

- Hoeveelheid werkzame stikstof: 67 kg ha⁻¹ jaar⁻¹. Dit geldt voor postalmest, kunstmest en rundveedrijfmest.
 - Hoeveelheid P2O5: 80 kg ha⁻¹ jaar⁻¹. Dit geldt voor natuurcompost.
 - Hoeveelheid droge stof: 6000 kg ha⁻¹ jaar⁻¹. Dit geldt voor groencompost en GFT-compost.
- In tabel 2-4 zijn de gemiddelde organische-stof- en de gemiddelde N-totaalgift per hectare per jaar gegeven voor de periode 1999-2006. Er zijn grote verschillen in hoeveelheden toegediende organische stof en N-totaal.

Tabel 2-4. **Gemiddelde gift aan organische stof en N-totaal in 1999 - 2006**

	Org. stof uit mest, kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹	N-totaal, kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹
Potstalmest	4382	149
Kunstmest	0	67
Groencompost	1574	56
GFT-compost	1330	53
Rundveedrijfmest	1362	97
VAM Natuurcompost	6992	182

De in Zanen et. al. (2008) en Bokhorst et al (2008) beschreven effecten kunnen voor een deel toegeschreven worden aan verschillen in hoeveelheden toegediende mest. Er blijven echter nog steeds interessante verschillen over. Potstalmest doet het in 2006 wat opbrengst betreft beter dan natuurcompost, terwijl de laatste meer organische stof en stikstof toegediend krijgt. Dit zou een resultaat kunnen zijn van de veel grotere aanwezigheid van regenwormen in de potstalmestveldjes en de daardoor veroorzaakte verschillen in macroporiën. De veldjes met natuurcompost hebben de hoogste aanvoer van organische stof en in 2006 in de grond ook het hoogste gehalte aan organische stof, gevolgd door potstalmest en GFT-compost. De aanzienlijk geringere aanvoer van organische stof bij GFT-compost geeft dus een vergelijkbare opbouw van bodemorganische stof als potstalmest. Dat is goed te snappen: tijdens de compostering wordt vooral snel verteerbaar materiaal omgezet, dus materiaal met een hogere humificatiecoëfficiënt blijft over. Ook HWC en POM zijn in 2006 bij natuurcompost significant hoger dan potstalmest en GFT-compost. Er is echter verder geen eenduidig verband tussen hoeveelheid toegediende organische stof en het organische-stofgehalte van de grond.

2.5 Resultaten proefveld 'Nutriënten Waterproof'

Van 2005 t/m 2008 is op PPO-proefboerderij Vredepeel (zuidoostelijke zandgrond) het project Nutriënten Waterproof uitgevoerd. Doel van dit project was het vergelijken en verder ontwikkelen van bedrijfssystemen met een minimale emissie van nutriënten naar het grond- en oppervlaktewater (de Haan et al., 2009 en de Haan & van Geel, 2010). Er zijn twee geïntegreerde (gangbare) systemen en een biologisch systeem vergeleken:

G-H: Handhaving van de bodemmineralisatie en fosfaatevenwichtsbemesting. Gebruik van organische mest (varkens- en runderdrijfmest en compost) en kunstmest.

G-L: Verlaging van het mineralisatieniveau van de bodem en beoogde versnelde daling van de fosfaattoestand van de bodem. Geen toediening van organische mest, 100% kunstmest. Fosfaataanvoer < 50% van de fosfaatafvoer.

BIO: Biologisch bedrijfssysteem. Gebruik van potstalmest en runderdrijfmest, inzet van vlinderbloemigen in de rotatie en in sommige teelten bijbemesting met vinassekali.

De gemiddeld aanvoer van effectieve organische stof (EOS) in de vier onderzoeksjaren bedroeg:

G-H: 1500 kg EOS per ha

G-L: 900 kg EOS per ha

BIO: 3250 kg EOS per ha

In de periode vóór 2005 was de EOS-aanvoer op de percelen van G-H en G-L vrijwel gelijk (rond de 2000 kg per ha). In het biologisch systeem (dat in 2000 is gestart) bedroeg deze 3450 kg per ha.

Het is niet mogelijk om de gewasopbrengsten van de geïntegreerde systemen en het biologisch systeem met elkaar te vergelijken door verschillen in de rotatie (meer en voor een groot deel andere gewassen in de biologische rotatie) en in de uitvoering van de teelt. Bij de twee geïntegreerde systemen (G-H en G-L) is wel dezelfde rotatie gehanteerd, was de uitvoering van de teelt gelijk en was ook de aanvoer van werkzame stikstof per gewas nagenoeg gelijk.

In de eerste twee jaren jaar (2005 en 2006) traden geen zichtbare verschillen op in gewasontwikkeling tussen de beide systemen. Na het tweede jaar ontstonden wel duidelijke verschillen: in systeem G-L bleef de gewasgroei bij aardappelen, prei en bieten zichtbaar achter bij die in systeem G-H. Ook de opbrengsten bleven achter. De gemiddelde opbrengstderving in 2007 en 2008 in G-L ten opzichte van G-H bedroeg:

- aardappel: 7%
- suikerbiet: 7% (suikeropbrengst)
- triticale: 6%
- doperwt: 6%
- prei: 13% (totaal veilbaar product)

De kwaliteit van de geoogste producten verschildte niet tussen de beide systemen.

Bij snijmaïs trad geen opbrengstderving op. De kunstmeststikstof was hier in systeem G-L volledig als rijenbemesting toegediend.

De resultaten duiden erop dat het weglaten van organische mest tot een afname heeft geleid van het productievermogen van de grond. Het verschil in fosfaatbemesting heeft waarschijnlijk geen grote rol gespeeld. De fosfaattoestand was op de percelen van beide systemen goed: gemiddelde Pw van rond de 50 bij G-H en rond de 40 bij G-L. Bij geen of suboptimale fosfaatbemesting treedt bij een Pw van 40 geen tot een geringe opbrengstderving op.

3 Metingen 2009

3.1 Materiaal en methoden

In 2009 zijn 9 organische meststoffen van biologische herkomst beoordeeld, die sterk van elkaar in samenstelling verschilden. De meststoffen zijn beoordeeld op chemische kenmerken en op de afbreekbaarheid van de organische stof. De meststoffen potstalmest, compost en drijfmest fungeren in dit onderzoek als een referentie voor digestaat en de dikke fractie van gescheiden digestaat. Tevens zijn 9 veldobjecten bemonsterd van twee veeljarige veldproeven: het LBI-proefveld 'Mest als Kans' (MAK) in Lelystad (zavelgrond) en het PPO-proefveld 'Nutriënten Waterproof' (NWP) in Vredepeel (zandgrond). Het betreft objecten waar al vele jaren vaste bemestingsstrategieën met elkaar worden vergeleken. De beoordelingen van de kwaliteit van de monsters van deze veldobjecten wordt als een validatie beschouwd van de resultaten van de meststofanalyses.

3.1.1 Meststoffen

In tabel 3-1 staan de meststoffen vermeld die in de analyse betrokken zijn. Tevens is de bemonsteringsdatum en de herkomst van de meststof aangegeven. Voor de potstalmest, de natuurcompost en de GFT-compost is de meststof bemonsterd die voorjaar 2009 is uitgereden op het proefveld 'Mest als kans'. Op het biologisch bedrijf in Groenlo is op 24 april op één moment runderdrijfmest, digestaat van covergiste runderdrijfmest en de dikke fractie van gescheiden digestaat bemonsterd. Op 28 april is op het biologische bedrijf in Biddinghuizen op één moment varkensdrijfmest, digestaat van covergiste varkensdrijfmest en de dikke fractie van gescheiden digestaat bemonsterd. De meststofmonsters zijn geanalyseerd door Bgg en WUR-CBLB. De beide compostsoorten zijn ook door Hortinova beoordeeld.

Bij WUR-CBLB is bij de voorbehandeling van het monster van de potstalmest de mest eerst in stukjes van 1 cm geknipt en bij de beide compostsoorten en de dikke fractie van gescheiden digestaat van covergiste runderdrijfmest is er eerst op 5 mm gezeefd.

Tabel 3-1. **Meststoffen**

Meststof	Datum	Herkomst	Code
Potstalmest	28-04-09	L. Kruit, Lelystad	P
Natuurcompost	28-04-09	Essent Milieu, Wijster	NC
GFT-compost	28-04-09	Essent Milieu, Wijster	GC
Rundveedrijfmest digestaat	24-04-09	Groenlo	RD
Rundveedrijfmest	24-04-09	Groenlo	R
Rundveedrijfmest digestaat dikke fractie	24-04-09	Groenlo	RDV
Varkensdrijfmest digestaat	28-04-09	Biddinghuizen	VD
Varkensdrijfmest	28-04-09	Biddinghuizen	V
Varkensdrijfmest digestaat dikke fractie	28-04-09	Biddinghuizen	VDD

3.1.2 Grondmonsters veldobjecten

In tabel 3-2 staan de grondmonsters van de veldobjecten vermeld die in de analyse betrokken zijn. Het betreft grondmonsters van het proefveld Mest als Kans in Lelystad en grondmonsters van het proefveld Nutriënten Waterproof in Vredepeel. De objecten van het proefveld MAK zijn op 17 april 2009 bemonsterd. Voor de beschrijving van het proefveld MAK wordt verwezen naar Zanen et al. (2008). De grond was najaar 2008 geploegd en sindsdien onbewerkt. Er is bemonsterd tot 20 cm -mv om zeker geen onbewerkte grond mee te bemonsteren. Van de vier herhalingen van de behandelingen zijn mengmonsters gemaakt. De objecten van het proefveld NWP zijn op 31 maart 2009 bemonsterd. Voor de beschrijving van het proefveld wordt verwezen naar de Haan et al. (2009) en de Haan & van Geel (2010).

Van beide proefvelden is per object 10-15 liter grond verzameld. Grof organisch materiaal is daarbij verwijderd. Deze grond is goed gemengd in een cementmolen en vervolgens in meerdere identieke porties verdeeld voor analyses door Blgg, WUR-CBLB, LBI en Hortinova. Er is veel zorg besteed om identieke submonsters te verkrijgen. De voorbehandelingen van de grondmonsters voor analyses (drogen, zeven, homogeniseren, subbemonsteren) zijn door de betreffende laboratoria zelf uitgevoerd.

Tabel 3-2. **Grondmonsters veldobjecten**

Object	Proefveld	Plaats	Code
Potstalmest	Mest als Kans	Lelystad	MAK-P
Kunstmest	Mest als Kans	Lelystad	MAK-K
Groencompost	Mest als Kans	Lelystad	MAK-GRC
GFT-compost	Mest als Kans	Lelystad	MAK-GC
Rundveedrijfmest	Mest als Kans	Lelystad	MAK-R
VAM Natuurcompost	Mest als Kans	Lelystad	MAK-NC
Geïntegreerd hogere aanvoer organische stof	Nutriënten Waterproof	Vredepeel	NWP-H
Geïntegreerd lage aanvoer organische stof	Nutriënten Waterproof	Vredepeel	NWP-L
Biologisch teeltsysteem	Nutriënten Waterproof	Vredepeel	NWP-B
Mengsel 50% NWP-H+ 50% NWP-L	Nutriënten Waterproof	Vredepeel	NWP-H/L

3.1.3 Uitgevoerde analyses

In tabel 3-3 is een overzicht gegeven van de analyses van de meststoffen en door welk laboratorium deze zijn uitgevoerd en in tabel 3-4 een overzicht van de analyses van de grondmonsters van de veldobjecten. De analyses van C-totaal, N totaal, NO₃, NH₄, Nts en DOC zijn uitgevoerd in een 0,01 M CaCl₂-extract.

Tabel 3-3. **Overzicht uitgevoerde meststofanalyses**

Parameter	Eenheid	Blgg- Oosterbeek	WUR-CBLB Wageningen
Gehalte drogestof	gram per kg vers	+	+
Gehalte organische stof in drogestof	gram per 100 gram drogestof	+	
Oxitop (zuurstofgebruik)	mmol O ₂ /kg org. stof/uur	+	
Respiratie (koolzuurproductie)	µl CO ₂ /l per 4 uur		+
N-totaal	gram N/kg droge stof		+
N-mineraal	gram N/kg droge stof		+
N-organisch	gram N/kg droge stof		+
DON (Dissolved Organic Nitrogen)	gram N/kg droge stof		+
C-totaal	gram C/kg droge stof		+
HWC (Hot water Carbon)	gram C/kg droge stof		+ *
DOC (Dissolved Organic Carbon)	gram C/kg droge stof		+

* De HWC-bepaling is uitgevoerd door WUR-Alterra.

Tabel 3-4. **Overzicht uitgevoerde grondanalyses van de veldobjecten (gehalten in droge grond)**

Parameter	Eenheid	Blgg-Oosterbeek	WUR-CBLB Wageningen	Louis Bolk Instituut	Hortinova
Organisch stofgehalte	gram per 100 gram	+	+	+	
Oxitop, zuurstofgebruik	mmol O ₂ /kg o.s./uur	+			
Schimmel, bacteriegehalte	microg/g	+			
N-totaal	gram N/kg		+		
N-mineraal	mg N/kg		+		
DON (Dissolved Organic Nitrogen)	mg N/kg		+		
C-totaal	gram C/kg		+		
HWC (Hot water C)	mg C/kg		+		
DOC (Dissolved Organic Carbon)	mg C/kg		+		
POM (particulate organic matter)	gram 53-2000 µm/100 gram organische stof			+	
Chroma's *	rapportcijfer 1-10				+

* Door Hortinova zijn ook de monsters van GFT-compost en natuurcompost beoordeeld

Respiratiemeting

De respiratiemetingen door WUR-CBLB zijn uitgevoerd in flessen van ongeveer 0,6 liter inhoud gevuld met 200 gram grond waaraan de meststof is toegediend. De respiratiemeting is uitgevoerd in een serie met zandgrond van proefveld Nutriënten Waterproof (object NWP-H/L) en een serie met zavelgrond van het proefveld Mest als Kans van het kunstmestobject (object MAK-K). In beide series is het onderzoek uitgevoerd in enkelvoud (één fles per meststof).

Van de vaste meststoffen is 6,7 gram meststof aan de flessen toegevoegd en van de verpompbare meststoffen 20 gram meststof. Op deze wijze is de respiratiemeting steeds met ongeveer eenzelfde hoeveelheid organische stof per fles uitgevoerd (omgerekend naar koolstof varieerde dit van 0,6 tot 1,3 gram C-totaal per fles). Uitgaande van een bouwvoorgewicht van 4000 ton komt de dosering van 20 gram verpompbare mest per 200 gram grond overeen met een dosering van 400 ton/ha en een dosering van 6,7 gram vaste mestsoort per 200 gram grond overeen met een dosering van 133 ton/ha. Er is bewust een hoge dosering aangehouden om de afbraaksnelheid goed te kunnen vaststellen.

De proef is op 28 mei 2009 ingezet. De eerste meting was op 11 juni en de laatste meting is uitgevoerd op 28 oktober. Het onderzoek is uitgevoerd bij 20 °C en bij een constant vochtgehalte van de grond. Per fles is in de serie grond van NWP-H/L 32 ml vocht toegediend per 200 gram droge grond en in de serie met grond MAK-K 33 ml. Het vochtgehalte van de flessen met verpompbare meststoffen is gecorrigeerd op de hoeveelheid vocht die met deze meststoffen meer is gegeven dan bij de vaste mestsoorten, zodat het vochtgehalte van de grond van alle flessen aan elkaar gelijk was (60% van de vloeigrens). Voor de zandgrond van NWP kwam dit overeen met 17 volumepercent vocht en voor de kleigrond van MAK met 17 volumepercent vocht en met een pF-waarde van naar schatting 2,3 voor de zandgrond en 3,2 voor de kleigrond. De schatting is gemaakt aan de hand van gemiddelde pF-curven voor humeus zand en lichte zavel die zijn weergegeven in Bosch en de Jonge (1989). De flessen zijn afgesloten met een wattenprop en regelmatig op gewicht gecontroleerd en zo nodig met water aangevuld tot een constant gewicht.

De eerste respiratiemeting is uitgevoerd twee weken na het inzetten van de proef. Een meting direct na inzetten van de proef is minder zinvol, omdat er dan een explosieve bacteriegroei plaatsvindt en de meetwaarden onbetrouwbaar zijn.

In beide series is ook een fles opgenomen waaraan aan de 200 mg grond geen meststof is toegediend en tevens een fles waaraan geen grond en meststof is toegediend en waarvan wel het CO₂-gehalte in de fles is gemeten. Het totaal aantal flessen voor de metingen is 21. Het verschil in CO₂-productie gemeten in de fles met grond met die van de lege fles geeft de CO₂-productie van de betreffende grond weer. Het betreft de CO₂ die vrijkomt uit afgebroken bodem organische stof. Het verschil in CO₂-productie tussen de flessen waaraan meststof aan de grond is toegediend en de fles met grond waaraan geen meststof is toegediend, geeft de CO₂-productie weer van de betreffende meststof.

De eerste metingen zijn uitgevoerd met een interval van twee weken en vervolgens met een interval van vier weken. De tijdsduur van de meting was bij de eerste meting 2 uur, latere metingen 4 uur en bij de laatste metingen 6 uur.

3.1.4 Kwaliteitsbepaling organische stof met de NIRS

Door prof. Lechner (University of Natural Resources and Applied Life Sciences in Wenen, Oostenrijk) is een test ontwikkeld om de kwaliteit van organische stof in meststoffen te meten met de NIRS (near infrared spectroscopy). Hierover is contact geweest met mw. Dr. Schmidt van dit instituut. Met de NIRS wordt op een indirecte manier het gehalte aan huminezuur gemeten. Het is ontwikkeld en geijkt om het huminzuurgehalte van GFT-compost te meten. Het is niet geschikt voor andere meststoffen, bovendien kon de chemische analyse van huminezuur in compost niet bij Nederlandse laboratoria uitgevoerd worden. Ook was de apparatuur in Wenen in 2009 niet operationeel. Deze analysetechniek kon daardoor niet in het onderzoek worden betrokken.

3.2 Analyseresultaten meststoffen: samenstelling

In tabel 3-5 zijn de resultaten weergegeven van de door Blgg uitgevoerde analyses. Bepaald zijn het drogestofgehalte van de meststof, het organische-stofgehalte van de droge stof en het zuurstofgebruik in de Oxitop-meting.

Potstalmest, natuurcompost, GFT-compost en de dikke fracties van gescheiden digestaat zijn vaste mestsoorten en drijfmest en digestaat zijn verpompbare mestsoorten. Het drogestofgehalte van de varkensdrijfmest (V) is opvallend hoog voor deze mestsoort. Uitgedrukt per kg organische stof hebben de runder- en varkensdrijfmest verreweg het hoogste zuurstofgebruik. Ook het digestaat van covergiste varkensdrijfmest heeft een relatief hoog zuurstofgebruik. De natuurcompost heeft een zeer laag zuurstofgebruik.

Tabel 3-5. **Resultaten Blgg-analyses**

Code	Mestsoort	Droge stof g/kg	Organische stof % in droge stof	Organische stof g/kg product	mmol O ₂ kg o.s./uur
P	Potstalmest	313	69.2	217	47
NC	Natuurcompost	566	25.9	147	3
GC	GFT-compost	626	39.6	248	13
RD	Rundveedrijfmest digestaat	132	67.9	90	40
R	Rundveedrijfmest	93	74.1	69	1304
RDV	Rundveedrijfmest digestaat dikke fractie	278	77.0	214	11
VD	Varkensdrijfmest digestaat	162	48.8	79	333
V	Varkensdrijfmest	140	78.7	110	1052
VDD	Varkensdrijfmest digestaat dikke fractie	314	54.8	172	40

In tabel 3-6 zijn de resultaten van de chemische analyses van het lab van WUR-CBLB weergegeven. De codering van de meststoffen komt overeen met die in tabel 3-5. De analyses zijn uitgevoerd in de droge stof, waarbij de beide compostobjecten gedroogd zijn bij 40 °C en de overige meststofobjecten bij 70 °C. Om de meststoffen ook onderling te kunnen vergelijken, is in tabel 3-6 ook het drogestofgehalte bij gelijke droogtemperatuur weergegeven (105 °C). De DON (dissolved organic nitrogen) is berekend door de totale opgeloste hoeveelheid N(N-total soluble) te verminderen met de hoeveelheid N-NH₄ + N-NO₃ in de meststof. Het gehalte aan N-NO₃ was overigens verwaarloosbaar klein.

Tabel 3-6. Resultaten analyses CBLB van de meststofmonsters

Code	Drogestofgehalte (%)			Stikstof (gram N/kg d.s.)				Koolstof (gram C/kg d.s.)		
	105°C	70°C	40°C	N-totaal	N-mineraal	N-org	DON	C-totaal	HWC	DOC
P	33.4	36.0		22.0	2.70	19.30	1.59	369	69	33
NC	58.6		60.1	8.3	0.05	8.25	0.09	152	4	1
GC	67.0		69.5	12.7	0.18	12.52	0.38	206	15	5
RD	13.1	14.6		36.0	12.95	23.05	2.85	403	35	22
R	9.7	10.9		37.2	16.43	20.77	2.26	420	32	31
RDV	28.5	31.6		20.0	6.28	13.72	2.47	431	29	45
VD	17.1	18.6		42.8	24.08	18.72	2.84	269	34	33
V	14.4	17.3		52.2	32.75	19.45	3.48	386	27	27
VDD	30.8	32.9		23.2	10.90	12.30	1.04	297	47	15

3.3 Analyseresultaten meststoffen: respiratiemeting

Door het CBLB is van de meststoffen de respiratie gemeten. Het onderzoek is uitgevoerd met twee series flessen. Eén serie waarin de meststoffen zijn toegediend aan grond afkomstig van het proefveld Mest als Kans in Lelystad en een tweede serie waarin de meststoffen zijn toegediend aan grond afkomstig van het proefveld Nutriënten Waterproof in Vredepeel. De eerste meting is uitgevoerd twee weken na inzet van de proef en de laatste meting 22 weken na inzet van de proef. In totaal zijn 9 metingen uitgevoerd.

De meetuitslagen zijn uitgedrukt in mg CO₂-productie gedurende vier uur uitgedrukt per gram C-totaal van de meststof dan wel in geval van de grond per gram C-totaal van het grondmonster. Ze zijn weergegeven in tabel 3-7. De gedetailleerde meetuitslagen zijn weergegeven in bijlage 2. De meststoffen toegediend aan grond van het proefveld Nutriënten Waterproof hebben een duidelijk hogere CO₂-productie en worden dus duidelijk sneller afgebroken dan die toegevoegd aan de grond van het proefveld Mest als Kans. Gemiddeld over alle 9 meststoffen is de CO₂-productie van de meststoffen toegediend aan de grond van het proefveld MAK 60% van het niveau van die van de grond van NWP.

Tussen de meststoffen onderling zijn ook grote verschillen in CO₂-productie; die van natuurcompost (NC) is het laagst en die van varkensdrijfmest (V) het hoogst.

Op basis van de respiratiemetingen is per object (meststof-grondcombinatie) via lineaire interpolatie tussen de meetmomenten de gecumuleerde hoeveelheid vrijgekomen CO₂ berekend op elke meetmoment. Deze is vervolgens beschreven met het model van Yang (zie bijlage 3) en hiermee is een schatting gemaakt van de afgebroken hoeveelheid C uitgedrukt per gram toegediende hoeveelheid koolstof na één jaar bij een gemiddelde jaartemperatuur van 9 °C. Dit is weergegeven in tabel 3-8.

De afbraak van organische stof van meststoffen toegediend aan grond van proefveld Nutriënten Waterproof is veel hoger dan die toegediend aan grond van proefveld Mest als kans. Dit is een opvallend verschil. Het is niet duidelijk waardoor dit verschil wordt veroorzaakt.

Gemiddeld over beide meetseries is de afbraak van organische stof in natuurcompost het laagst gevolgd door die van GFT-compost. Dit sluit aan bij de verwachting. Tegen de verwachting in wordt bij rundveedrijfmest digestaat dikke fractie de nagenoeg hoogste afbraak gevonden.

Tabel 3-7. **Respiratiemeting meststoffen door CBLB. CO₂-productie in mg CO₂ in 4 uur uitgedrukt per gram C-totaal in meststof in de periode 2 t/m 22 weken na inzet van de proef**

Grond	Mestsoortcode	Weken na inzet								
		2	4	6	8	10	12	14	18	22
MAK-K	P	1.89	0.94	0.59	0.53	0.46	0.46	0.39	0.22	0.16
MAK-K	NC	0.12	0.02	0.08	0.12	0.10	0.12	0.10	0.09	0.07
MAK-K	GC	0.52	0.24	0.21	0.21	0.21	0.25	0.19	0.13	0.14
MAK-K	RD	1.36	0.76	0.59	0.36	0.25	0.23	0.17	0.13	0.11
MAK-K	R	1.55	0.74	0.55	0.40	0.33	0.32	0.23	0.19	0.19
MAK-K	RDV	1.47	0.79	0.45	0.40	0.38	0.35	0.25	0.13	0.15
MAK-K	VD	2.54	1.11	0.76	0.77	0.49	0.30	0.15	0.08	0.10
MAK-K	V	2.84	1.13	2.50	0.98	0.79	0.50	0.34	0.19	0.20
MAK-K	VDD	1.84	0.78	0.46	0.40	0.36	0.32	0.29	0.12	0.12
NWP-H/L	P	4.38	2.02	1.12	0.77	0.61	0.56	0.49	0.39	0.33
NWP-H/L	NC	0.34	0.35	0.27	0.27	0.25	0.26	0.19	0.16	0.11
NWP-H/L	GC	1.31	0.64	0.47	0.44	0.46	0.41	0.38	0.29	0.24
NWP-H/L	RD	1.69	1.94	1.06	0.75	0.46	0.33	0.26	0.17	0.10
NWP-H/L	R	3.35	1.16	1.22	0.97	0.71	0.64	0.49	0.28	0.21
NWP-H/L	RDV	2.82	1.93	1.16	0.78	0.73	0.82	0.77	0.58	0.38
NWP-H/L	VD	3.52	1.79	1.14	0.94	0.73	0.58	0.42	0.24	0.13
NWP-H/L	V	2.91	2.71	0.84	0.71	0.52	0.44	0.40	0.21	0.13
NWP-H/L	VDD	3.13	1.73	1.03	0.79	0.62	0.60	0.52	0.37	0.22

Tabel 3-8. **Berekende, cumulatieve hoeveelheid afgebroken C na één jaar in de respiratieproef bij een gemiddelde jaartemperatuur van 9 °C, uitgedrukt per gram C van de toegediende meststof in de serie toegediend aan grond van proefveld Mest als Kans en toegediend aan grond van het proefveld Nutriënten Waterproof.**

Code	Mestsoort	MAK-K	NWP-H/L	gemiddeld
P	Potstalmest	126	219	172
NC	Natuurcompost	25	56	41
GC	GFT-compost	52	112	82
RD	Rundveedrijfmest digestaat	83	132	107
R	Rundveedrijfmest	97	191	144
RDV	Rundveedrijfmest digestaat dikke fractie	95	236	165
VD	Varkendrijfmest digestaat	123	195	159
V	Varkendrijfmest	166	167	167
VDD	Varkendrijfmest digestaat dikke fractie	99	195	147
Gemiddelde van 9 meststoffen		96	167	132

3.4 Analyseresultaten grond

Van het MAK-proefveld zijn grondmonsters genomen van 6 objecten. Tevens zijn monsters genomen van het NWP-proefveld. Omdat bij de respiratiemeting gebruik is gemaakt van een 50/50-mengsel van twee van de objecten uit Vredepeel is ook in de analyses dit gemengde grondmonster meegenomen. De grondmonsters zijn zorgvuldig gesplitst in een aantal identieke submonsters.

Deze submonsters zijn geanalyseerd door WUR-CBLB (tabel 3-9), Blgg (tabellen 3-10 en 3-11), LBI

(tabel 3-12) en Hortinova (tabel 3-13). In tabel 3-14 worden de analyse-uitslagen van het organische stofgehalte van de grond van WUR-CBLB, Blgg en LBI met elkaar vergeleken.

Tabel 3-9. **Analyse-uitslagen grondmonsters WUR-CBLB**

Grond	Stikstof			Org. stof % gloeiverlies	Koolstof		
	N-totaal g/kg	Nmin mg/kg	DON mg/kg		C-totaal g/kg	HWC mg/kg	DOC mg/kg
MAK-P	0.90	13.2	2.8	2.70	14.9	314	50.5
MAK-K	0.78	10.6	2.4	2.51	12.9	240	37.2
MAK-GRC	0.86	9.6	2.4	2.46	13.7	240	35.3
MAK-GC	0.83	10.6	2.4	2.47	14.6	250	35.1
MAK-R	0.80	10.5	2.5	2.44	17.6	269	36.1
MAK-NC	0.91	11.1	2.9	2.80	15.5	293	40.3
NWP-H	1.06	14.3	1.7	4.51	30.5	598	31.3
NWP-L	0.78	12.0	1.0	3.52	24.8	581	26.7
NWP-B	1.12	12.2	3.8	4.40	29.7	676	52.5

Het C-gehalte van de objecten van MAK was gemiddeld 58% en dat van de monsters van NWP 68%. Het C-gehalte in de organische stof van het proefveld NWP is opvallend hoog.

Tabel 3-10. **Analyse-uitslagen grondmonsters Blgg: org.-stofgehalte en zuurstofgebruik (Oxitop-meting)**

Grond	Object	Organische stof % in droge grond bepaald met Leco	mmol O ₂ /kg organische stof/uur
MAK-P	MAK Potstalmest	2.3	3.8
MAK-K	MAK kunstmest	2.1	5.5
MAK-GRC	MAK Groencompost	2.1	2.5
MAK-GC	MAK GFT-compost	2.4	2.4
MAK-R	MAK Runderdrijfmest	2.0	2.8
MAK-NC	MAK VAM Natuurcompost	2.6	3.3
NWP-H	VP GG-H	3.1	2.9
NWP-L	VP GG-L	3.1	1.9
NWP-B	VP BIO	3.2	2.7

Tabel 3-11. **Analyse-uitslagen grondmonsters Blgg: schimmels en bacteriën**

Grond	Object	Totale bacteriële biomassa microg/g	Totale schimmel biomassa microg/g	Hyfediameter microm	Totale schimmel- t.o.v. totale bacteriëlebiomassa
MAK-P	MAK Potstalmest	758	199	2.2	0.26
MAK-K	MAK kunstmest	542	127	2.3	0.23
MAK-GRC	MAK Groencompost	414	147	2.35	0.35
MAK-GC	MAK GFT-compost	325	158	2.35	0.49
MAK-R	MAK RDM	416	239	2.3	0.57
MAK-NC	MAK VAM Natuurcompost	343	154	2.3	0.45
NWP-H	NWP GG-H	1430	78	2.4	0.05
NWP-L	NWP GG-L	2509	96	2.3	0.04
NWP-B	NWP BIO	2428	114	2.4	0.05
streefwaarden		175-300	175-300		0.8 - 1.2

Tabel 3-12. **Analyse-uitslagen bodemonsters LBI. Bepaling organisch stofpercentage en POM-waarde van de organische stof (fractie 53-2000µm)**

Grond	Organische stof %	% 53-2000µm van totaal o.s.
MAK-P	1.79	23
MAK-K	1.67	20
MAK-GRC	1.65	24
MAK-GC	1.89	25
MAK-R	1.77	26
MAK-NC	2.20	29
NWP-H	4.15	15
NWP-L	2.87	17
NWP-B	4.84	12

Tabel 3-13. **Analyse-uitslagen grondmonsters Hortinova**

Rapportcijfers per beoordelingscriterium (1 = slecht, 10 is uitmuntend)

Grond	A	B	C	D	E	F	G	H	I
MAK-P	1	1	3	3	0	3	1	1	5
MAK-K	1	1	1	1	0	1	1	1	5
MAK-GRC	1	1	3	3	0	3	1	1	5
MAK-GC	1	1	1	1	0	1	1	1	5
MAK-R	1	1	1	1	0	1	1	1	5
MAK-NC	1	1	3	3	6	3	1	1	5
NWP-H	7	7	6	6	4	3	2	6	6
NWP-L	7	7	5	6	4	3	2	6	6
NWP-B	7	5	6	6	4	3	2	6	6

Betekenis van de kolommen:

- A Kleur centrale zone, witte kleur is goede bodemgesteldheid.
- B Grootte centrale zone, te klein of te grote centrale zone wijst op slechte bodemgesteldheid.
- C Doorluchting binnenste zone, radiaallijnen wijzen op goede doorluchting en goed vasthoudendvermogen.
- D Tand en middelste zone, de tanden dienen spits en gelijk verdeeld te zijn voor een goed bodemleven.
- E Leeftijd organische stof buitenste zone, verse of verbrande organische stof uit zich in donkere rand.
- F Humuswolkjes buitenste zone, aanwezigheid wijst op goede humustoestand.
- G Kleur buitenste zone, geeft beeld van humustoestand.
- H Onderlinge verhouding zones, geeft aan of de bodem in balans is.
- I Overgang tussen de zones, bij een bodem die in balans is, lopen de zones vloeiend in elkaar over.

3.5 Vergelijking analyseresultaten organische-stofgehalte

Het organische-stofgehalte in de grondmonsters is door drie laboratoria bepaald. De gebruikte analysemethode verschilt echter. De resultaten zijn weergegeven in tabel 3-14.

Door BLGG AgroXpertus is het organische-stofgehalte van de grondmonsters met de Leco bepaald. Er is tevens geëxperimenteerd om met de Leco informatie te verkrijgen over de samenstelling van de organische stof. Met de Leco wordt bij oplopende temperatuur continu de vrijkomende CO₂ bepaald. De analyse-uitslag betreft dus niet de uitslag van de standaard bepaling die door BLGG wordt uitgevoerd en de gebruikte methode wijkt ook af van die van de bepaling door CBLB en LBI.

De weergave in dit rapport van het gewichtsverlies uitgezet tegen de oplopende temperatuur heeft nog geen waarde, omdat het onderzoek nog in een experimentele fase verkeert en de resultaten nog niet bruikbaar zijn.

Tabel 3-14. **Vergelijking bepaling organische-stofgehalte door drie laboratoria. Tussen haakjes de gebruikte methodiek**

Grond	BLGG AgroXpertus (Leco)	LBi (gloeiverlies + correctie)	CBLB (gloeiverlies + correctie)
MAK-P	2.3	1.8	2.1
MAK-K	2.1	1.7	1.9
MAK-GRC	2.1	1.7	1.9
MAK-GC	2.4	1.9	1.9
MAK-R	2.0	1.8	1.8
MAK-NC	2.6	2.2	2.2
NWP-H	3.1	4.6	4.4
NWP-L	3.1	3.4	3.4
NWP-B	3.2	5.3	4.3

De waarden van LBi en CBLB (gloeiverlies + correctie) zijn een gecorrigeerde berekening van de gloeiverliesbepaling. De correctie bedraagt $-0.07 \cdot \text{lutum\%}$. Voor het proefveld MAK is 9% lutum aangehouden, voor het proefveld NWP 2% lutum. De resultaten van de drie analyses zouden onderling vergelijkbare waarden op moeten leveren. Voor LBi en CBLB met de gloeiverliesmethode gecorrigeerd voor lutumgehalte is dat grotendeels het geval, voor BLGG AgroXpertus met de Leco is dat niet het geval (maar is correctie op lutumgehalte ook niet nodig).

4 Bespreking resultaten

4.1 Beoordeling kwaliteit meststoffen

4.1.1 Resultaat respiratiemeting

Het resultaat van de respiratiemeting is in dit onderzoek als referentie genomen om de kwaliteitsparameters van de meststoffen met elkaar te kunnen vergelijken. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de volgens het model Yang berekende afgebroken hoeveelheid koolstof (uitgedrukt in mg C/gram C in meststof) na 1 jaar onder veldomstandigheden (jaargemiddelde 9 °C). Dit is weergegeven in tabel 4-1.

De afbraaksnelheid van de organische stof in de meststoffen toegediend aan grond van proefveld 'Nutriënten waterproof' (NWP) is opvallend hoger dan die toegediend aan grond van 'Mest als kans' (MAK). Dit geldt voor alle meststoffen. Een verklaring hiervoor is niet bekend. Mogelijk speelt de activiteit van bodemleven hierbij een rol. In tabel 3-11 is te zien dat grond van proefveld NWP opvallend veel schimmelmassa bevat en bij de beoordeling van de chroma's door Hortinova wordt grond van proefveld NWP hoger gewaardeerd dan grond van proefveld MAK.

Ook is opvallend dat het niveau van de afbraak veel lager is dan verwacht werd. Voor varkensdrijfmest bijvoorbeeld wordt algemeen met een humificatiecoëfficiënt gerekend van 0,33. Dit betekent dat onder veldomstandigheden na 1 jaar 67% van de organische stof is afgebroken. Dit is nu maar 17%. De vertaling van resultaten van laboratoriumproeven naar die onder veldomstandigheden is blijkbaar nog niet zo gemakkelijk. Het absolute niveau van de afbraak van organische stof onder laboratoriumcondities is daarom van minder belang. Het gaat om de onderlinge vergelijking tussen de meststoffen.

De beide compostsoorten hebben de laagste berekende waarde van afbraak van organische stof, waarbij de afbraak van natuurcompost duidelijk langzamer verloopt dan die van de GFT-compost. Bij vergelijking van de objecten gebaseerd op runderdrijfmest en die gebaseerd op varkensdrijfmest valt op dat de afbraak van de objecten met runderdrijfmest duidelijk hoger is dan die van de varkensdrijfmest. Dit is tegengesteld aan wat verwacht werd. Beide mestsoorten zijn van een biologisch bedrijf. Het kan zijn dat dit ook een rol speelt. Ook de samenstelling van de varkensmest kan een rol hebben gespeeld: het droge-stofgehalte lag aanzienlijk hoger dan gemiddeld voor deze mestsoort wordt aangehouden (tabel 3-6). De resultaten zeggen iets over de betreffende mestpartijen. De conclusies mogen niet meteen veralgemeniseerd worden naar de mestsoort (varkens- en rundermest).

Een nieuw element is de beoordeling van de afbraak van organische stof van digestaat en van de dikke fractie van gescheiden digestaat. Wel geldt dat de resultaten met enige voorzichtigheid gehanteerd moeten worden. De monsters van drijfmest, digestaat en dikke fractie van gescheiden digestaat zijn op één datum genomen, terwijl de vergistingsduur ongeveer een maand is. Feitelijk moet de kwaliteit van digestaat vergeleken worden met die van de partij drijfmest die een maand daarvoor de vergisting is ingegaan. Ook het type en de hoeveelheid coproducten beïnvloeden de kwaliteit van de digestaat en bemoeilijken de vergelijking tussen drijfmest en digestaat.

Er lijkt sprake te zijn van een interactie tussen mestsoort en grond waaraan de meststof is toegediend. De afbraak van organische stof van potstalmest en van de dikke fractie van gescheiden digestaat toegediend aan grond van NWP is relatief veel groter dan die toegediend aan grond van MAK en bij varkensdrijfmest is dit juist veel kleiner.

Bij de beoordeling van de drie varkensmestsoorten valt op dat er geen duidelijk verschil in afbraak van organische stof gevonden wordt tussen drijfmest, digestaat en dikke fractie van gescheiden digestaat. De drie rundermestsoorten daarentegen zijn onderling veel moeilijker te vergelijken. Er spelen blijkbaar allerlei interacties die het niet mogelijk maken om een conclusie te trekken.

Vastgesteld moet worden dat op basis van de resultaten van deze respiratieproef geen conclusies getrokken kunnen worden over de afbreekbaarheid van organische stof van digestaat en die van de dikke fractie van gescheiden digestaat.

Tabel 4-1. **Berekende afbraak van organische stof uit meststoffen in 1 jaar onder veldomstandigheden (jaargemiddelde 9 °C) na toediening van meststoffen toegediend aan grond van proefveld 'Nutriënten Waterproof' en van proefveld 'Mest als kans'. Afbraak in mg C/gram C in de meststof**

Code	Mestsoort	NWP	MAK	gemiddeld
NC	Natuurcompost	56	25	41
GC	GFT-compost	112	52	82
P	Potstalmest	219	126	172
RD	Rundveedrijfmest digestaat	132	83	107
R	Rundveedrijfmest	191	97	144
RDV	Rundveedrijfmest digestaat dikke fractie	236	95	165
VD	Varkendrijfmest digestaat	195	123	159
V	Varkendrijfmest	167	166	167
VDD	Varkendrijfmest digestaat dikke fractie	195	99	147
	Gemiddelde van 9 meststoffen	167	96	132

4.1.2 Vergelijking analysemethoden

De uitslag van de respiratiemeting is als basis gebruikt om de resultaten van de andere analysemethoden te beoordelen. Vanwege de grote verschillen in afbraaksnelheid tussen meststoffen toegediend aan grond van de twee proefvelden wordt in tabel 4-2 een vergelijking gemaakt met het resultaat van de respiratiemeting toegediend aan grond van proefveld MAK en in tabel 4-3 met die toegediend aan grond van proefveld NWP.

In de Oxitopmeting wordt een zeer hoog zuurstofgebruik vastgesteld bij runderdrijfmest (R) en varkendrijfmest (V). Dit wijst op een hoge afbraaksnelheid van deze beide mestsoorten. Dit correleert in het geheel niet met de uitslagen van de beide series respiratiemetingen. Het is wel opvallend dat het juist de beide drijfmestsoorten zijn die dit hoge zuurstofgebruik laten zien.

Het zuurstofgebruik bij natuurcompost is het laagst en dit correleert wel met de uitslagen van de respiratiemetingen. Op basis van de Oxitopmeting (Veeken 2003, 2005) kan de onderzochte partij natuurcompost als zeer stabiele compost aangemerkt worden en de GFT-compost als stabiele compost. Bij zowel varkensmest als bij rundermest is het zuurstofgebruik van de dikke fractie van gescheiden digestaat lager dan dat van digestaat. De Oxitopmeting van de dikke fractie van gescheiden digestaat van runderdrijfmest is opvallend laag. Dit wijst op een lagere afbraaksnelheid, maar dit correleert niet met de resultaten van de respiratiemetingen.

Het zuurstofgebruik bij potstalmest is relatief hoog en dit komt wel overeen met de resultaten van de respiratiemetingen.

Bij de beoordeling van de analyseresultaten van de HWC (hot water carbon) valt op dat zowel uitgedrukt in gram C per kg drogestof als uitgedrukt in percentage van de totale hoeveelheid C bij de beide compostsoorten de laagste waarden gevonden worden. Dit komt overeen met de resultaten van de respiratiemetingen. Bij de andere mestsoorten is deze correlatie met de respiratiemetingen niet aanwezig.

Bij de beoordeling van de analyseresultaten van de DOC (dissolved organic carbon) worden zowel bij de beoordeling van de hoeveelheid DOC per kg drogestof als bij de beoordeling van het percentage DOC van C-totaal de laagste waarden gevonden bij de beide compostsoorten. Dit komt overeen met de resultaten van de beide respiratiemetingen. Bij de andere mestsoorten is deze correlatie met de respiratiemeting niet aanwezig.

Ook bij de beoordeling van de DON (dissolved organic nitrogen) wordt zowel bij de beoordeling van de hoeveelheid DON per kg drogestof als uitgedrukt in percentage van de hoeveelheid organisch gebonden N bij de beide compostsoorten de laagste waarde gevonden. Dit komt overeen met de resultaten van de

beide respiratiemetingen. Bij de andere mestsoorten is deze correlatie met de respiratiemeting niet aanwezig.

Tussen de meststoffen zijn duidelijke verschillen in C/N-quotiënt. Dit is in tabel 4-2 weergegeven als C ten opzichte van N-organisch en als C ten opzichte van N-totaal. Beide correleren slecht met de respiratie.

Geconcludeerd kan worden dat blijkaar met elk van de analysemethoden een bepaald kwaliteitsaspect van de organische stof wordt bepaald, die geen voorspellende waarde heeft voor de uitslagen van de andere meetmethoden. Op basis van één analysemethode kan de waarde van de meststof dus onvoldoende gekarakteriseerd worden.

Tabel 4-2. **Vergelijking resultaten respiratiemeting volgens model Yang 1 jaar na toediening van meststoffen onder veldomstandigheden (jaargemiddelde 9 °C) toegediend aan grond van proefveld 'Mest als kans' (object MAK-K) met die van de overige meetmethoden**

Grond van MAK-K	Respiratiemeting Afbraak org. stof na 1 jaar mg C/gramC	Oxitol mmol O ₂ /kg o.s./uur	C/N (organisch gebonden N)	C/N (N- totaal)	HWC gram C/kg d.s.	% HWC van C- totaal	DOC gram C/kg d.s.	% DOC van C- totaal	DON gram N/kg d.s.	% DON van N-org
NC	25	3	18	18	4	3	1	1	0,1	1
GC	52	13	16	16	15	7	5	2	0,4	3
RD	83	40	17	11	35	9	22	5	2,9	12
RDV	95	11	31	22	29	7	45	10	2,5	18
R	97	1304	20	11	32	8	31	7	2,3	11
VDD	99	40	24	13	47	16	15	5	1,0	8
VD	123	333	14	6	34	13	33	12	2,8	15
P	126	47	19	17	69	19	33	9	1,6	8
V	166	1052	20	7	27	7	27	7	3,5	18

Tabel 4-3. **Vergelijking resultaten respiratiemeting volgens model Yang 1 jaar na toediening van meststoffen onder veldomstandigheden (jaargemiddelde 9 °C) toegediend aan grond van proefveld 'Nutriënten Waterproof (NWP-H/L) met die van de overige meetmethoden**

Grond van NWP-H/L	Respiratiemeting Afbraak org. stof na 1 jaar mg C/gram C	Oxitol mmol O ₂ /kg o.s./uur	C/N (organisch gebonden N)	C/N (N- totaal)	HWC gram C/kg d.s.	% HWC van C- totaal	DOC gram C/kg d.s.	% DOC van C- totaal	DON gram N/kg d.s.	% DON van N-org
NC	56	3	18	18	4	3	1	1	0,1	1
GC	112	13	16	16	15	7	5	2	0,4	3
RD	132	40	17	11	35	9	22	5	2,9	12
V	167	1052	20	7	27	7	27	7	1,0	18
R	191	1304	20	11	32	8	31	7	2,3	11
VD	195	333	14	6	34	13	33	12	2,8	15
VDD	195	40	24	13	47	16	15	5	1,0	8
P	219	47	19	17	69	19	33	9	1,6	8
RDV	236	11	31	22	29	7	45	10	2,5	18

4.2 Beoordeling bodemkwaliteit

4.2.1 Twee proeflocaties

Belangrijke parameters om de bodemkwaliteit te beoordelen zijn: organische-stofgehalte van de bodem, POM-waarde, chemisch zuurstofgebruik (Oxitolmeting), chemische analyses van C-totaal, HWC en DOC, N-totaal, Nmin, Norg en DON, de bepaling van de hoeveelheid schimmel- en bacteriemassa en de chroma's. De beide proefvelden verschillen ten aanzien van deze parameters heel duidelijk van elkaar. Daarbij is het

opvallend dat de verschillen tussen de objecten binnen dezelfde locatie veel geringer zijn dan die tussen de beide locaties. In tabel 4-4 zijn de gemiddelde resultaten per locatie weergegeven. Van proefveld MAK betreft het een middeling van de resultaten van 6 bemestingsstrategieën en van proefveld NWP een middeling van de resultaten van 3 bedrijfssystemen.

Enkele eigenschappen waarin de beide locaties duidelijk van elkaar verschillen zijn:

- organisch stofgehalte (NWP > MAK)
- POM, % 53-2000 µm van o.s. (NWP < MAK)
- C, % van o.s. (NWP > MAK)
- C-totaal (NWP > MAK)
- C/Norg verhouding (NWP > MAK)
- beoordeling chroma's (NWP > MAK)
- hoeveelheid bacteriemassa (NWP > MAK)

Tabel 4-4. **Karakterisering van de bodemkwaliteit van de onderzoekslocaties MAK (gemiddelde van 6 bemestingsstrategieën) en NWP (gemiddelde van 3 bedrijfssystemen)**

Parameter	Eenheid	Lab	MAK	NWP
organische stof	% grond	CBLB	2.0	4.4
organische stof	% grond	LBI	1.9	4
POM	% 53-2000µm van o.s.	LBI	25	15
POM	53-2000µm van o.s. in % grond	LBI	0.5	0.6
C	% van o.s.	CBLB	58	69
C/Norg	verhouding	CBLB	18	29
Oximetring	mmol O ₂ /kg o.s./uur	Blgg	3.4	2.5
chroma's	rapportcijfer	Hortinova	2	5
Schimmelbiomassa	microg/g	Blgg	171	96
Bacteriëlebiomassa	microg/g	Blgg	466	2122
schimmel/bacterie	verhouding	Blgg	0.4	0.1
C-totaal	g/kg	CBLB	15	28
HWC	g/kg	CBLB	0.3	0.6
HWC	% van C-totaal	CBLB	1.8	2.2
DOC	g/kg	CBLB	0.04	0.04
DOC	% van C-totaal	CBLB	0.3	0.1
N-totaal	g/kg	CBLB	0.8	1.1
DON	g/kg	CBLB	0.003	0.004
DON	% van Norg	CBLB	0.3	0.2

4.2.2 Proefveld MAK

In 2006 zijn van het proefveld MAK bemonsteringen en analyses uitgevoerd. In hoofdstuk 2 zijn de meest relevante resultaten van dit onderzoeksproject weergegeven.

Voorjaar 2009 zijn van 6 bemestingsstrategieën grondmonsters van de laag 0-20 cm –mv genomen. De analyseresultaten zijn weergegeven in hoofdstuk 3. In tabel 4-5 zijn enkele opvallende verschillen tussen deze bemestingsstrategieën weergegeven. Bij de beoordeling van de meetresultaten moet nog wel rekening worden gehouden met de hoeveelheid meststof die in de bemestingsstrategieën is toegepast. De dosering is veelal afgestemd op de bemestende waarde en niet op basis van levering van duurzame organische stof. Hiervoor wordt verwezen naar Zanen (2008).

Tabel 4-5. **Karakterisering van de bodemkwaliteit van de bemestingsstrategieën van de onderzoekslocatie MAK in Lelystad**

Parameter	Kunstmest	Runder- drijfmest	Potstal- mest	GFT- compost	Groen- compost	Natuur- compost
organische stof CBLB	1.9	1.8	2.1	1.9	1.9	2.2
organische stof LBI	1.7	1.8	1.8	1.9	1.7	2.2
POM % van o.s.	20	26	23	25	24	29
POM % van grond	0.3	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6
C % in o.s.	51	72	55	59	56	55
C/Norg	17	22	17	18	16	17
Oxitopmeting	5.5	2.8	3.8	2.4	2.5	3.3
chroma's	1.3	1.3	2.0	1.3	2.0	2.7
Schimmel biomassa µg/g	127	239	199	158	147	154
Bacterie biomassa µg/g	542	416	758	325	414	343
schimmel/bacterie	0.23	0.57	0.26	0.49	0.35	0.45
C-totaal g/kg	12.9	17.6	14.9	14.6	13.7	15.5
HWC mg/kg	240	269	314	250	240	293
HWC %C	1.9	1.5	2.1	1.7	1.8	1.9
DOC mg/kg	37	36	51	35	35	40
DOC %C	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0,3
N-totaal g/kg	0.78	0.80	0.90	0.83	0.86	0.91
DON mg/kg	2.4	2.5	2.8	2.4	2.4	2.9
DON %Norg	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

4.2.3 Proefveld NWP

In 2009 zijn van het proefveld NWP bemonsteringen en analyses uitgevoerd. De meest relevante resultaten van dit onderzoeksproject zijn weergegeven in hoofdstuk 2.

Voorjaar 2009 zijn van de drie bedrijfssystemen grondmonsters van de bouwvoor genomen. De analyseresultaten zijn weergegeven in hoofdstuk 3. In tabel 4-6 zijn enkele opvallende verschillen tussen deze bemestingsstrategieën weergegeven. De systemen 'hoger eos' (NWP-H) en 'laag eos' (NWO-L) hebben hetzelfde bouwplan en verschillen van elkaar in aanvoer van organische stof. Het systeem 'bio' (NWO-B) heeft een extensief bouwplan en een hoge aanvoer van organische stof.

Zowel door WUR-CBLB als door LBI wordt een beduidend lager organische-stofgehalte gemeten bij het bedrijfssysteem 'laag-eos'. Overigens komt uit langjarige metingen die zijn uitgevoerd in het project Nutriënten Waterproof, geen duidelijk verschil in organische-stofgehalte tussen beide bedrijfssystemen naar voren. Het organische-stofgehalte van bedrijfssysteem 'bio' komt in de analyse van WUR-CBLB overeen met dat van systeem 'hoger-eos' en is in de analyse van LBI hoger dan dat van systeem 'hoger-eos'.

Bij systeem 'laag-eos' is niet alleen het organische-stofgehalte van de grond lager, ook de Oxitopmeting is lager en hetzelfde geldt voor het koolstof- en stikstofgehalte van de grond.

Tabel 4-6. **Karakterisering van de bodemkwaliteit van de bedrijfssystemen van de onderzoekslocatie Vredepeel (Nutriënten Waterproof)**

Parameter	Hoger eos	Laag eos	Bio
Organische stof CBLB	4.4	3.4	4.3
Organische stof LBI	4.6	3.4	5.3
POM % van o.s.	15	17	12
POM % van grond	0.6	0.5	0.6
C % in o.s.	68	70	68
C/Norg	29	32	27
Oxitopmeting	2.9	1.9	2.7
Chroma's	5.2	5.1	5.0
Schimmel biomassa µg/g	78	96	114
Bacterie biomassa µg/g	1430	2509	2428
Schimmel/bacterie	0.05	0.04	0.05
C-totaal g/kg	30.5	24.8	29.7
HWC mg/kg	598	581	676
HWC %C	2.0	2.3	2.3
DOC mg/kg	31	27	53
DOC %C	0.1	0.1	0.2
N-totaal g/kg	1.06	0.78	1.12
DON mg/kg	1.7	1.0	3.5
DON %Norg	0.2	0.1	0.3

4.3 Toetsing analyseresultaten meststoffen aan resultaten veldonderzoek

Van het proefveld MAK zijn voorjaar 2009 zes veldobjecten bemonsterd en geanalyseerd. Bij drie van deze objecten is ook de in 2009 toegediende meststof geanalyseerd, te weten: potstalmest, natuurcompost en GFT-compost. In 2009 is ook runderdrijfmest geanalyseerd, maar deze was van een andere herkomst dan de drijfmest die op het proefveld MAK is gebruikt.

Uit de resultaten weergegeven in paragraaf 3.4 (tabel 3.9) blijkt dat de objecten bemest met potstalmest en natuurcompost de hoogste waarden hebben wat betreft organisch stofgehalte van de grond, HWC en DOC en ook wat betreft N-totaal en DON. Dit zou erop kunnen wijzen dat beide mestsoorten een vergelijkbaar gedrag hebben. Dit blijkt echter op geen enkele manier uit de resultaten van de meststofanalyses weergegeven in paragraaf 3.2 en 3.3. Dat we voorzichtig moeten zijn met het trekken van conclusies werd ook in paragraaf 3.4 al aangegeven.

Los van de analyse-uitslagen speelt ook de dosering van de meststoffen nog een rol. Ook dat moet in de beoordeling worden meegenomen. In paragraaf 2.4 is al aangegeven dat een deel van de resultaten in 2006 zeer waarschijnlijk toegeschreven kan worden aan de hoeveelheid organische stof die met de mest is gegeven. In de resultaten van de analyses van 2009 is dat niet anders. Niettemin blijven er veel verschillen optreden die niet rechtstreeks gekoppeld kunnen worden aan hoeveelheden toegediende organische stof. Dit wijst dus op verschillen in eigenschappen (kwaliteit) van de toegediende meststoffen.

Van het proefveld NWP zijn voorjaar 2009 drie objecten bemonsterd en geanalyseerd. Van het gangbare teeltsysteem verschillen de objecten NWP-H en NWP-L van elkaar in de hoeveelheid organische stof die jaarlijks wordt toegediend. Het bouwplan van beide objecten is wel identiek. Het object NWP-B kent een ander bouwplan en heeft een aanvoer van organische stof die iets hoger is dan die bij NWP-H.

Op basis van de bouwplannen en bemestingsstrategieën mag verwacht worden dat het organische-stofgehalte van de objecten NWP-H en NWP-B hoger is dan dat van NWP-L en dat er ook verschillen naar voren komen in de uitslagen van HWC, DOC en DON. Dit blijkt ook het geval te zijn. De meting van het organische stof gehalte door LBI van NWP-B valt onverwacht hoog uit.

5 Conclusies

De conclusies betreffen tussentijdse conclusies gebaseerd op één onderzoeksjaar.

- In de respiratieproef kwamen tussen de mestsoorten zeer grote verschillen in afbraaksnelheid van de organische stof naar voren. De afbraaksnelheid van meststoffen toegediend aan grond van het proefveld NWP was veel hoger dan die toegediend aan grond van het proefveld MAK. De rangvolgorde van de meetresultaten van beide series grond kwamen goed met elkaar overeen, maar het afbraakniveau was laag, ook indien er redelijkerwijs rekening wordt gehouden met de niet-gemeten C-verliezen in de eerste twee weken van de respiratietest.
- Er kan nog geen duidelijke conclusie getrokken worden hoe de afbraaksnelheid van digestaat en die van de dikke fractie van gescheiden digestaat verschilt van die van drijfmest. Wel is duidelijk dat per kilo organische stof de afbraak van organische stof in digestaat (niet-gescheiden) hoger ligt dan in de dikke fractie van digestaat. Dit versterkt waarschijnlijk het verschil in stikstoflevering tussen deze twee meststoffen.
- Bij alle analysemethoden komen de beide compostsoorten duidelijk naar voren als zijnde meststoffen met de laagste afbraaksnelheid van de organische stof.
- In de Oxitopmeting (chemisch zuurstofgebruik) hebben de beide drijfmestsoorten een opvallend hoog zuurstofverbruik, terwijl dat in de respiratiemeting (CO₂-productie) niet naar voren komt.
- Met elk van de analysemethoden wordt een bepaald kwaliteitsaspect van de organische stof bepaald, die echter geen voorspellende waarde heeft voor de uitslagen van de andere analysemethoden. Op basis van één analysemethode kan de waarde van de meststof onvoldoende gekarakteriseerd worden.
- Op basis van het onderzoek van 2009 is het niet mogelijk om een directe relatie te leggen tussen kwaliteitsmeting van meststoffen, meting van de bodemkwaliteit en opbrengstniveau van de gewassen. De gegevens van één onderzoeksjaar vormen daarvoor een te zwakke basis en de beoordeling zal altijd afhangen van de vraag welke bodemeigenschap in het minimum verkeert en wat de meest beperkende groeifactor voor het gewas is. Het is een utopie te denken dat met de meting van één parameter een meststof of een bodem beoordeeld kan worden. Iedere meting geeft een antwoord op een detailvraag. Daarbij is het nog niet geheel duidelijk welke detailvraag door welke meting wordt beantwoord.
- Voortzetting van het onderzoek is gewenst.

Literatuur

- Bankó, L., S. Hoffmann, K. Debreczeni, 2007. Studies on the hot-water-soluble C fraction of the soil in a long-term fertilization experiment. *Agrokemia es Talajtan*, 56 (2), pp. 271-284.
- Bloem, J., T. Schouten, W. Didden, G. Jager op Akkerhuis, H. Keidel, M. Rutgers en T. Breure, 2004. Measuring soil biodiversity experiences, impediments and research needs. In: R. Francaviglia (Ed.). OECD expert meeting on soil erosion and soil biodiversity indicators, Rome, Italy.
- Bokhorst, J.G. en C. ter Berg, 2001. Handboek Mest en Compost. Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- Bokhorst, J.G., C. ter Berg, M. Zanen en C. Koopmans (2008). Mest, compost en bodemvruchtbaarheid. 8 jaar proefveld Mest Als Kans. Louis Bolk Instituut, Driebergen, bestelnummer LD10, 26 pp.
- Bonanomi, G., V. Antignani, M. Capodilupo and F. Scala, 2009. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biology and Biochemistry*, in press.
- Bosch, H. & P. de Jonge (1989). Handboek voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond 1989. Publikatie nr. 47. PAGV, Lelystad, 252 p.
- Conklin, A.E., M.S. Erich, M. Liebman, D. Lambert, A.R. Galland and W.A. Halteman, 2002. Plant and Soil, 238, pp 245-256.
- Curtin, D., C.E. Wright, M.H Beare and F.M. McCallum, 2006. Hot water-extractable nitrogen as an indicator of soil nitrogen availability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70 pp 1512-1521.
- Dean, W.E., 1974. Determination of Carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 44, No 1, p 242-248.
- Dijk T.A. van, L. van Schöll en R. Postma. N-leverendvermogen van de bodem als grondslag voor differentiatie N-gebruiksnormen. NMI rapport 1303.08, mei 2009.
- Dijk, W. van, A.M. van Dam, J.C. van Middelkoop, F.J. de Ruiter en K.B. Zwart, 2005, Advies voor protocol voor het vaststellen van N-werkingscoëfficiënten van organische meststoffen. PPO-Publicatie nr. 349, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad, 26 pp.
- Fuchs, J.G. Ed., 2003a. Auswirkungen von Kompost und Gärgut auf die Umwelt, Bodenfruchtbarkeit, sowie die Pflanzengesundheit. Organic Eprints, FIBL CH-Frick.
- Fuchs, J.G. Ed., 2003b. Auswirkungen von Kompost und Gärgut auf die Umwelt, Bodenfruchtbarkeit, sowie die Pflanzengesundheit. Bericht zum workshop Charakterisierung der Nutzenaspekte von Komposten und Gärgut. Organic Eprints, FIBL CH-Frick.
- Ghani, A., M. Dexter and K.W. Perrott, 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry* 35, pp. 1231-1243.
- Groeningen, J.W. van, Zwart, K.B., 2007. Koolstof en stikstof mineralisatie van verschillende soorten compost in de bodem. Alterra rapport 1503, ISSN 1566-7197.
- Haan, J. de & W. van Geel (2010). Nutriënten Waterproof. Nitraatnorm op zand verdraagt geen intensieve landbouw. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 23 p.
- Haan, J. de, W. van Geel, H. Verstegen & B. Kroonen-Backbier (2009). Nutriënten Waterproof. Slotbijeenkomst Vredepeel, 1 september 2009. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 19 p.
- Haney, R.L., 2008. Estimating soil carbon, nitrogen and phosphorus mineralization from short-term carbon dioxide respiration. *Communications in Soil Science and Plant Analyses*, 39, pp. 2706-2720.
- Haynes, R.J., 2005. Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview. *Advances in Agronomy* 85, pp. 221-268.
- Janssen, B., 1984. A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. *Plant and Soil*. 76, 297-304.
- Janssen, B.H. (2002). Organic Matter and Soil Fertility. Collegedictaat J 100-225, editie 2002, Landbouwwuniversiteit Wageningen, 247 p.
- Kehres, B., 1998. Methodenbuch zur Analyse von Kompost. Kompost-Information Nr. 222. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln.

- Payne, R.W., Harding, S.A., Murray, D.A., Soutar, D.M., Baird, D.B., Glaser, A.I., Channing, I.C., Welham, S.J., Gilmour, A.R., Thompson, R., Webster, R. (2009). The Guide to GenStat Release 12, Part 2: Statistics. VSN International, Hemel Hempstead.
- Simon, T., 2008. The influence of long-term organic and mineral fertilization on soil organic matter. *Soil and Water Res.* 3, pp 41-51.
- Sparling, G.P., 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil res.* 1992, 30, pp 195-207.
- Tejada, M., J.L. Gonzalez, A.M. Garcia-Martinez and J. Parrado, 2008. Application of an green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: Effects on soil properties. *Bioresource Technology* 99, pp 4949-4957.
- Veeken, A.H.M., V. de Wilde en S.W. Moolenaar, 2005. Het OxiTop®; meetsysteem ten behoeve van gestandaardiseerde bepaling van de respiratiesnelheid (stabiliteit) en N-mineralisatiesnelheid van organische stof in reststoffen, composten en bodem. *Gewasbescherming*, 36 pp. 53.
- Veeken, A.H.M., V. de Wilde, H.V.M. Hamelers, S.W. Molenaar en R. Postma, 2003. Oxitop measuring system for standardised determination of the respiration rate and N-mineralisation rate of organic matter in waste material, compost and soil. In: www.nmi-agro.nl. Nutrienten management Instituut, Wageningen.
- Velthof G.L. et al.. Indicator voor stikstofmineralisatie in gescheurd grasland; synthese. *Alterra rapport* 1768, 2008.
- Walkley, A. en I. Black, 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37 (1) pp. 29-38.
- Yang, H.S., 1996. Modelling organic matter mineralization and exploring options for organic matter management in arable farming in China. Phd Wageningen University.
- Zanen, M., J.G. Bokhorst, C. ter Berg en C.J. Koopmans (2008). Investeren tot in de bodem. Evaluatie van het proefveld Mest Als Kans. Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- Zanen, M., J.G. Bokhorst, C. ter Berg en C.J. Koopmans (2008). Investeren tot in de bodem. Evaluatie van het proefveld Mest Als Kans. Louis Bolk Instituut, Driebergen, bestelnummer LD11, 39 pp.
- Zhijian, Mu, A. Huang, S.D. Kimura, T. Jin, S. Wei and R. Hatano. Linking N₂O emission to soil mineral N as estimated by CO₂ emission and soil C/N ratio. *Soil Biology and Chemistry*, 41, pp. 2593-2597.
- Zibilske, L.M., 1994. Carbon mineralization. In R.W. Weaver, Editor, *Methods in soil analyses. Part 2. Microbiological and biochemical properties*, SSSA Book Ser vol. 5. SSSA, Madison, WI (1994), pp. 835-863.
- Zmora-Nahum, S., O. Markovitch, J. Tarchitzky and Y. Chen., 2005. Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity. *Soil Biology and Biochemistry* 37 (11), pp. 2109-2116.
- Zwart, K.B., A.P. Whitmore en J.G. Bokhorst, 1999. Beheer van organische stof in open biologische, ecologische en geïntegreerde teeltsystemen. DLO Instituut voor Agrobiologisch en bodemvruchtbaarheidsonderzoek, Rapport 102, Wageningen.

Bijlage 1. Analysemethoden

1. Humificatiecoëfficiënt

Advies bepaling humificatiecoëfficiënt van een meststof (van Dijk et.al. 2005). De humificatiecoëfficiënt van een meststof wordt berekend uit de afbraaksnelheid van de organische stof in deze meststof tijdens incubatie van de meststof gemengd met vochtige grond, gedurende 12 weken. De afbraaksnelheid wordt afgeleid uit de CO₂-productie tijdens de incubatie. Hieronder staat het principe beschreven.

De grond wordt op een vochtgehalte gebracht dat 60% is van het vochtgehalte van de vloeigrens. De meststof wordt gemengd met de grond in een verhouding die overeenkomt met de meststof/grond-verhouding bij een normale mestgift gemengd door de bouwvoor. Het mengsel van meststof en grond wordt in een container (b.v. Erlenmeijer-kolf) gebracht zodat er gasuitwisseling plaatsvindt, maar niet of nauwelijks vocht verloren gaat. Deze container wordt gedurende 12 weken bewaard bij 20°C. Er wordt ook een container met alleen vochtige grond geïncubeerd om onderscheid te maken tussen C vrijgekomen uit de meststof en uit de grond.

Metingen en analyse

C-totaal (C₀) wordt in de meststof gemeten.

De CO₂ productie gedurende een dag wordt op een aantal tijdstippen (bijv. na 2, 5, 8 en 12 weken) tijdens de incubatie gemeten. Door integratie over de hele incubatieperiode (t, in jaar) wordt berekend hoeveel C uit de organische stof is vrijgekomen tijdens de incubatie (C_t). Met C_t en C₀ kan vervolgens de humificatiecoëfficiënt (h) berekend worden, waarbij volgens Janssen (1994) gecorrigeerd wordt voor het temperatuurverschil tussen de proef (20°C) en de gemiddelde jaartemperatuur (9°C).

2. Analysemethode DOC

2 gram droge stof wordt 60 minuten in 100 ml 0,01 M CaCl₂ geschud.

Geëxtraheerd wordt bij 20°C. Alleen de makkelijk oplosbare koolstof lost op.

3. Analysemethode DON

2 gram droge stof wordt 60 minuten in 100 ml 0,01 M CaCl₂ geschud. Totaal en mineraal stikstof wordt bepaald in de oplossing. Totaal minus mineraal stikstof wordt DON genoemd.

4. Oxitop

De Oxitop-methode voor gebruik bij compost is beschreven in Veecken et al., 2003. De methode waarbij in afgesloten vaten de koolzuur opgevangen in loog gevolgd door een titratie is beschreven in Zibilske, 1994.

5. Analysemethode bacteriële- en schimmelbiomassa

De bacteriële biomassa wordt berekend uit metingen aan de aantallen en afmetingen van bacteriecellen onder de microscoop. De eenheid is µg C per gram droge grond.

De schimmelbiomassa wordt berekend op basis van metingen aan de lengte van hyfen met de microscoop. De eenheid is µg C per gram droge grond.

Bijlage 2. Cijfers uit de respiratiemeting

Tabel B2-1. **Proefopzet respiratiemeting. Aanduiding van de meststoffen, volume van de fles en dat van het meetsysteem en de hoeveelheid C-totaal per fles (uitgedrukt in mg) in grond dan wel in meststof**

fles	grond	code	meststof	luchtinhoud fles liter	volume meetsysteem liter	totaal volume liter	mg C grond meststof
1	bl		lege fles	0.570	0.071	0.641	0
2	bl klei	G2	grond	0.453	0.071	0.524	2580
3	klei	M1	Potstalmest	0.451	0.071	0.522	890
4	klei	M2	Natuurcompost	0.458	0.071	0.529	612
5	klei	M3	GFT-compost	0.455	0.071	0.526	959
6	klei	M4	Rundveedrijfmest digestaat	0.455	0.071	0.526	1177
7	klei	M5	Rundveedrijfmest	0.459	0.071	0.530	916
8	klei	M6	Rundveedrijfmest digestaat dikke fractie	0.455	0.071	0.526	913
9	klei	M7	Varkensdrijfmest digestaat	0.456	0.071	0.527	1001
10	klei	M8	Varkensdrijfmest	0.459	0.071	0.530	1336
11	klei	M9	Varkensdrijfmest digestaat dikke fractie	0.449	0.071	0.520	655
12	bl zand	G10	grond	0.460	0.071	0.531	5540
13	zand	M1	Potstalmest	0.458	0.071	0.529	890
14	zand	M2	Natuurcompost	0.456	0.071	0.527	612
15	zand	M3	GFT-compost	0.458	0.071	0.529	959
16	zand	M4	Rundveedrijfmest digestaat	0.459	0.071	0.530	1177
17	zand	M5	Rundveedrijfmest	0.461	0.071	0.532	916
18	zand	M6	Rundveedrijfmest digestaat dikke fractie	0.459	0.071	0.530	913
19	zand	M7	Varkensdrijfmest digestaat	0.460	0.071	0.531	1001
20	zand	M8	Varkensdrijfmest	0.455	0.071	0.526	1336
21	zand	M9	Varkensdrijfmest digestaat dikke fractie	0.458	0.071	0.529	655

Tabel B2-2. **Gemeten hoeveelheid CO₂-productie in ml per fles gedurende een meting van 4 uur gedurende de periode 2 weken tot 22 weken na inzet van de proef**

fles	grond	code	2	4	6	8	10	12	14	18	22
1	blanco	leeg	0.56	0.47	0.25	0.26	0.26	0.27	0.25	0.21	0.22
2	bl klei	G2	0.62	0.56	0.29	0.27	0.28	0.28	0.27	0.19	0.20
3	klei	M1	1.48	0.98	0.55	0.51	0.49	0.49	0.45	0.29	0.28
4	klei	M2	0.66	0.56	0.31	0.31	0.31	0.32	0.30	0.22	0.23
5	klei	M3	0.88	0.67	0.39	0.37	0.38	0.40	0.36	0.26	0.27
6	klei	M4	1.44	1.01	0.64	0.49	0.43	0.42	0.37	0.27	0.27
7	klei	M5	1.35	0.90	0.54	0.46	0.43	0.43	0.37	0.28	0.29
8	klei	M6	1.30	0.92	0.49	0.46	0.46	0.44	0.39	0.25	0.28
9	klei	M7	1.92	1.12	0.68	0.66	0.53	0.43	0.34	0.23	0.26
10	klei	M8	2.55	1.33	1.99	0.94	0.82	0.62	0.50	0.32	0.34
11	klei	M9	1.24	0.82	0.44	0.41	0.40	0.39	0.37	0.23	0.25
12	bl zand	G10	0.69	0.57	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.25	0.27
13	zand	M1	2.68	1.48	0.85	0.68	0.61	0.58	0.53	0.43	0.42
14	zand	M2	0.80	0.67	0.42	0.42	0.41	0.40	0.37	0.30	0.30
15	zand	M3	1.34	0.88	0.57	0.55	0.55	0.52	0.49	0.40	0.39
16	zand	M4	1.71	1.73	0.98	0.79	0.61	0.52	0.47	0.36	0.33
17	zand	M5	2.25	1.11	0.91	0.79	0.66	0.62	0.54	0.39	0.37
18	zand	M6	2.00	1.46	0.88	0.70	0.67	0.70	0.67	0.53	0.44
19	zand	M7	2.48	1.48	0.92	0.81	0.70	0.62	0.52	0.38	0.34
20	zand	M8	2.67	2.41	0.91	0.82	0.69	0.63	0.58	0.40	0.36
21	zand	M9	1.74	1.14	0.68	0.60	0.54	0.52	0.48	0.38	0.34

Bijlage 3. Modelmatige beschrijving van de respiratie

In dit onderzoek is op een aantal tijdstippen gedurende een periode van bijna een half jaar gemeten hoeveel CO₂ in 4 uur ontwijkt uit grondmonsters waaraan verschillende organische meststoffen zijn toegevoegd. Het betreft een serie meststoffen toegediend aan grond van het proefveld 'Mest als kans' en een serie toegevoegd aan grond van het proefveld 'Nutriënten Waterproof'. Bij beide series is ook een controleobject meegenomen waaraan geen meststof is toegediend. De meetuitslagen van de objecten waaraan meststof is toegevoegd zijn gecorrigeerd op die van de controle en geven de respiratie van de meststof zelf weer. Hier volgen een aantal vergelijkingen waarmee de hoeveelheid C die per tijdseenheid vrijkomt, C_t , kan worden gemodelleerd ofwel de hoeveelheid C die tot tijdstip τ is vrijgekomen, H_τ , ofwel de hoeveelheid C die op tijdstip τ nog in de grond aanwezig is (Y_τ). Als $t = 0$ is het eerste meetmoment genomen, twee weken na inzet van de monsters.

Er worden vier modellen gebruikt en met elkaar vergeleken.

1. Bij het exponentiële model is de relatieve afbraak snelheid constant.
2. Bij het dubbel exponentiële model zijn er 2 fracties ieder met een eigen relatieve afbraaksnelheid. De relatieve afbraaksnelheid van de organische stof neemt af in de tijd doordat de fractie met de hoogste afbraaksnelheid sneller afneemt dan de fractie met de lage relatieve afbraaksnelheid.
3. Bij het model van Janssen is er een parameter a , die staat voor de leeftijd van de organische stof op tijdstip $t = 0$.
4. Bij het model van Yang zijn er twee niet lineaire parameters: e^R is de fractie organische stof die na 1 jaar nog over is. En S is de snelheid waarmee de organische stof veroudert.

In figuur B3-3 en B3-4 zijn de data met en zonder uitbijter uitgezet tegen aantal dagen na de eerste meting. In dit schrijven worden verder alle berekeningen uitgevoerd op basis van de hoeveelheid C en de tijd wordt uitgedrukt in jaren na de eerste meting vermenigvuldigd met 2.33 om van 20 °C (proefuitvoering) over te gaan op 9 °C (veldsituatie). De laatste meting, 140 dagen na $t = 0$ komt dan overeen met 0.89 jaar.

1. Exponentiële curve

De hoeveel vrijkomende (C_t) uit de grond kan worden beschreven met een exponentiële curve. Hierbij is de relatieve afbraaksnelheid constant. De parameters zijn geschat met de directives FITCURVE en RFUNCTION binnen Genstat 12 (Payne et al. 2009).

$$C_t = C_0 e^{-kt} \quad (1)$$

De totale hoeveelheid C die vrijkomt uit het grondmonster tot tijdstip τ (H_τ), kan worden berekend door C_t te integreren over t . Dit geeft

$$H_\tau = \int_0^\tau C_t dt = \left[-\frac{C_0 e^{-kt}}{k} \right]_0^\tau = \frac{C_0}{k} - \frac{C_0 e^{-k\tau}}{k} = \frac{C_0}{k} (1 - e^{-k\tau}) = Y_0 (1 - e^{-k\tau}) \quad (2)$$

waarbij Y_0 de hoeveelheid C is die op tijdstip 0 in de grond aanwezig is. Uiteraard geldt

$$H_\infty = Y_0 \quad (3)$$

De relatieve afbraaksnelheid op tijdstip t (ra_t) is gelijk aan

$$ra_t = \frac{1}{Y_t} \frac{dY_t}{dt} = k \quad (4)$$

Waarbij dY_t/dt gelijk is aan C_t uit (1).

2. Dubbel exponentiële curve

De hoeveel vrijkomende C uit de grond kan ook worden beschreven met een dubbel exponentiële curve. De relatieve afbraak van C in de tijd wordt lager doordat het gemakkelijk afbreekbare gedeelte in het begin snel wordt afgebroken en de stabielere fractie daarna met een lagere relatieve afbraaksnelheid. Daarom is de dubbel exponentiële curve realistischer. Deze curve veronderstelt dat er twee fracties organische stof zijn. De één is snel afbreekbaar en de ander langzaam afbreekbaar.

$$C_t = fC_0e^{-k_1t} + (1-f)C_0e^{-k_2t} \quad (5)$$

De totale hoeveelheid C die vrijkomt uit het grondmonster tot tijdstip τ (H_τ), kan worden berekend door C_t te integreren over t . Dit geeft

$$\begin{aligned} H_\tau &= \int_0^\tau C_t dt = \left[-\frac{fC_0e^{-k_1t}}{k_1} - \frac{(1-f)C_0e^{-k_2t}}{k_2} \right]_0^\tau \\ &= \frac{fC_0}{k_1} + \frac{(1-f)C_0}{k_2} - \frac{fC_0e^{-k_1\tau}}{k_1} - \frac{(1-f)C_0e^{-k_2\tau}}{k_2} \end{aligned} \quad (6)$$

De parameters uit (5) en (6) zijn geschat door deze curven aan te passen aan de op dag t vrijkomende C en de tot dag τ vrijgekomen C met behulp van directive FITCURVE binnen Genstat en omrekening van de parameters naar die in (5) en (6).

Voor τ is 0 is H_τ gelijk is aan 0 en voor τ naar ∞

$$H_\infty = \frac{fC_0}{k_1} + \frac{(1-f)C_0}{k_2} \quad (7)$$

Beschouwen we de hoeveelheid C in de meststof op tijdstip t , gelijk aan Y_t dan geldt dat

$$Y_t = H_\infty - H_t = \frac{fC_0e^{-k_1\tau}}{k_1} + \frac{(1-f)C_0e^{-k_2\tau}}{k_2}, \quad (8)$$

De relatieve afbraaksnelheid op tijdstip t (ra_t) is gelijk aan

$$ra_t = \frac{1}{Y_t} \frac{dY_t}{dt} = \frac{\frac{fC_0e^{-k_1t}}{k_1} + \frac{(1-f)C_0e^{-k_2t}}{k_2}}{\frac{fC_0e^{-k_1\tau}}{k_1} + \frac{(1-f)C_0e^{-k_2\tau}}{k_2}} \quad (9)$$

Waarbij dY_t/dt gelijk is aan C_t uit (9).

3. Model Janssen

Het model van Janssen uit Janssen (1984) beschrijft de afbraak van de organische stof als de hoeveelheid koolstof in de grond op tijdstip t , Y_t , als

$$Y_t = Y_0 e^{4.7((a+t)^{-0.6} - a^{-0.6})} \quad (10)$$

Y_0 = de beginhoeveelheid koolstof in de grond
 a = de initiële leeftijd van het organisch materiaal op tijdstip $t = 0$.

Differentiëren van Vergelijking (10) naar t geeft

$$\frac{dY_t}{dt} = C_t = \frac{4.7 * 0.6}{(a+t)^{1.6}} Y_0 e^{4.7((a+t)^{-0.6} - a^{-0.6})} \quad (11)$$

De relatieve afbraaksnelheid op tijdstip t is nu gelijk aan

$$ra_t = \frac{1}{Y_t} \frac{dY_t}{dt} = \frac{2.82}{(a+t)^{1.6}} \quad (12)$$

De hoeveelheid vrijgekomen koolstof H_t is nu te schrijven als

$$H_t = Y_0 \left(1 - e^{4.7((a+t)^{-0.6} - a^{-0.6})} \right) \quad (13)$$

en de parameters uit (13) kunnen worden geschat door (13) te fitten aan de gecumuleerde C metingen.

4. Model Yang

Bij het model van Yang (Yang, 1996) is

$$Y_t = Y_0 e^{-Rt^{1-S}} \quad (14)$$

Y_0 = de beginhoeveelheid koolstof in de grond

e^{-R} = de fractie die na 1 jaar nog over is. De eenheid van R is t^{-1}

S = snelheid waarmee de organische stof veroudert.

Differentiëren van vergelijking (14) naar t geeft

$$\frac{dY_t}{dt} = C_t = R(1-S)t^{-S} Y_0 e^{-Rt^{1-S}} \quad (15)$$

Met relatieve afbraaksnelheid ra_t gelijk aan

$$ra_t = \frac{1}{Y_t} \frac{dY_t}{dt} = -R(1-S)t^{-S} \quad (16)$$

De hoeveelheid vrijgekomen C tot op tijdstip t , H_t , is nu te schrijven als

$$H_t = Y_0 \left(1 - e^{-Rt^{1.5}} \right), \quad (17)$$

en (17) kan aan de gecumuleerde C metingen worden gefit om de parameters te schatten.

Effect Temperatuur

Janssen (2002) geeft aan dat wanneer de parameters geschat zijn bij 9 °C de functies hier besproken temperatuur afhankelijk gemaakt kunnen worden door t te vervangen door $f_{temp} * t$ waarbij f_{temp} gelijk is aan

$$T \leq -1 \quad f_{temp} = 0$$

$$-1 \leq T \leq 9 \quad f_{temp} = 0.1(T + 1)$$

$$9 < T \leq 27 \quad f_{temp} = 2^{\frac{T-9}{9}}$$

$$T > 27 \quad f_{temp} = 4$$

Omdat de data hier verkregen zijn bij 20 °C en f_{20} gelijk is aan 2.333 gaat f_{over} in F

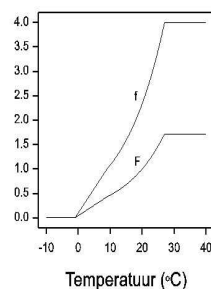
$$T \leq -1 \quad F_{temp} = 0$$

$$-1 \leq T \leq 9 \quad F_{temp} = \frac{0.1(T + 1)}{2.333}$$

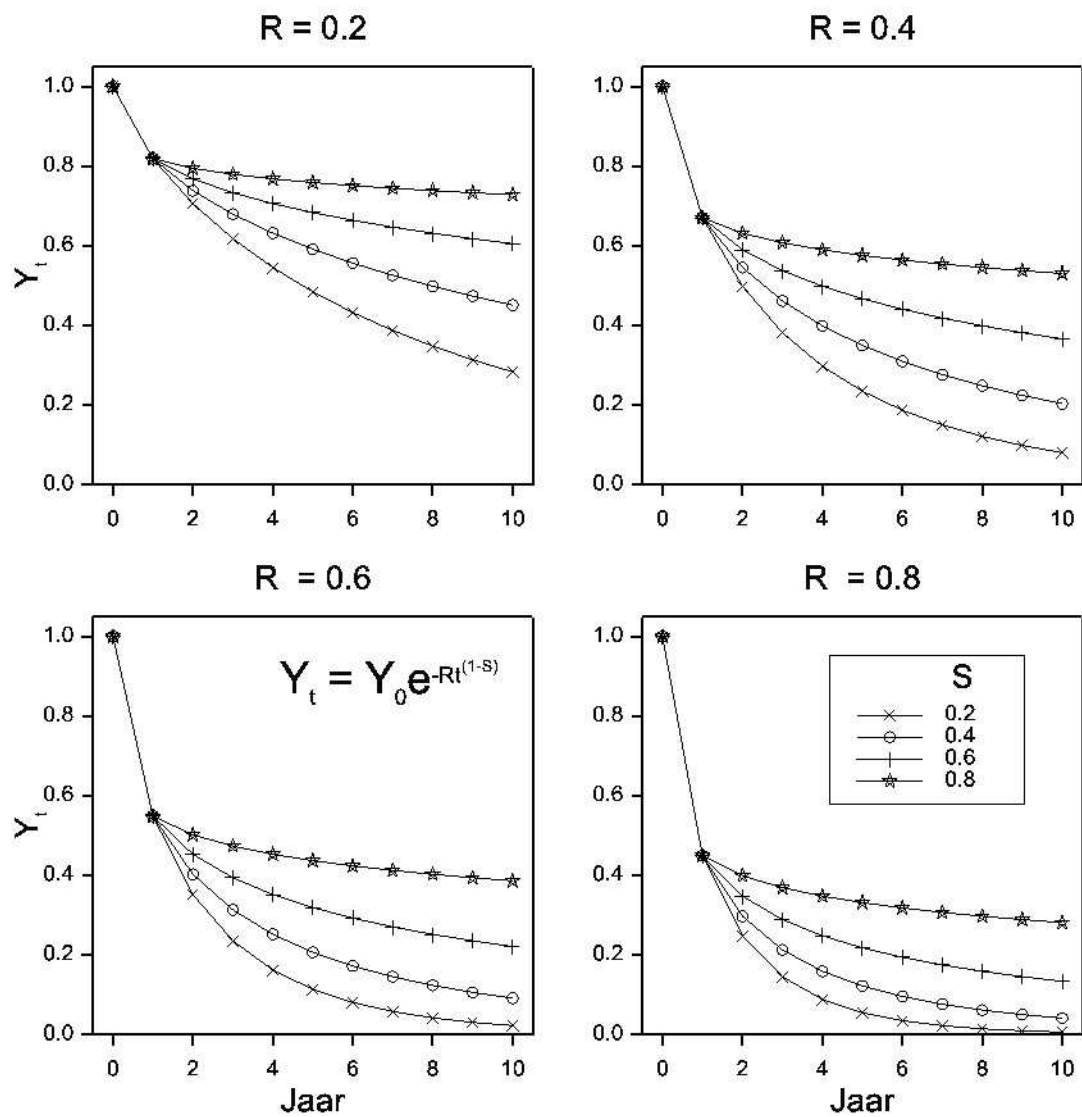
$$9 < T \leq 27 \quad F_{temp} = \frac{2^{\frac{T-9}{9}}}{2.333}$$

$$T > 27 \quad F_{temp} = \frac{4}{2.333}$$

Bij de statistische verwerking wordt de tijd met 2.333 vermenigvuldigd waardoor de parameterschattingen overeenkomen met de afbraak van C bij 9 °C.

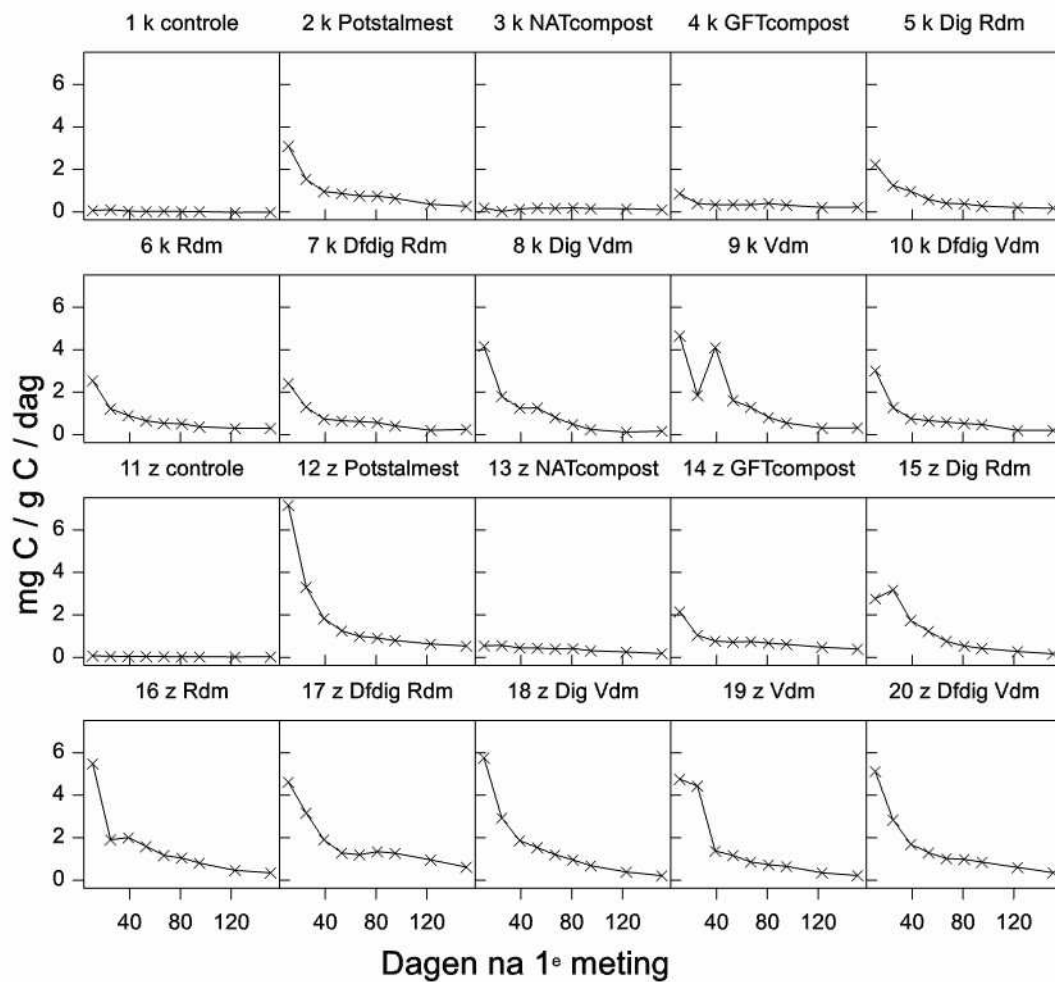


Figuur B3-1. **F en f als functie van temperatuur (°C)**



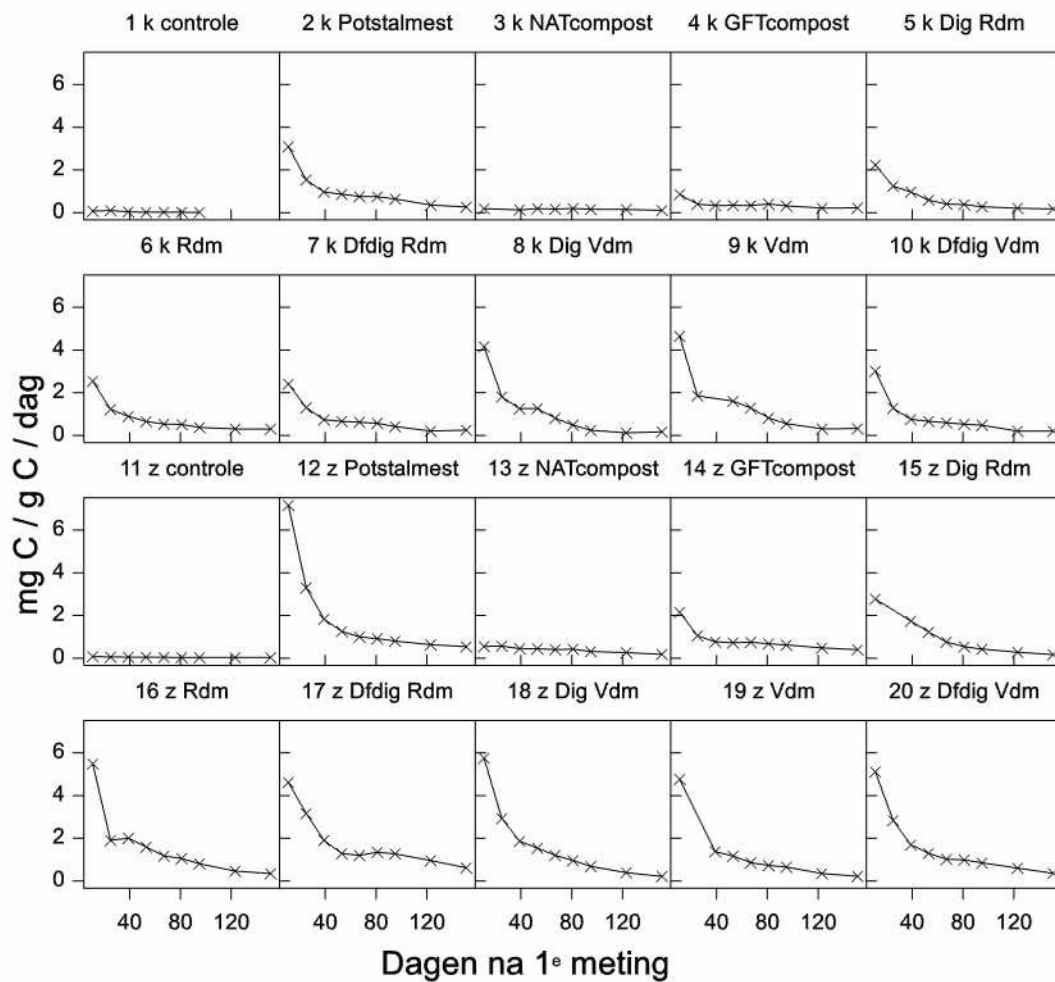
Figuur B3-2. Illustratie van model van Yang bij verschillende waarden van R en S

Met uitbijters; k = klei; z = zand



Figuur B3-3. Data per object en meetdag met uitbijters

Zonder uitbijters; k = klei; z = zand



Figuur B3-4. Data per object en meetdag zonder uitbijters

Tabel B3-1. **Parameterschatting van exponentiële curve (1) met behulp van de hoeveelheden vrijgekomen C in mg C/g C/dag**

Object	Y0	seY0	C0	seC0	k	sek	R2adj	Aic
1 k controle	0.03	0.01	0.09	0.02	3.33	1.25	61.8	-39.0
2 k Potstalmest	0.69	0.10	2.75	0.28	4.00	0.71	86.6	0.7
3 k NATcompost	0.52	0.29	0.19	0.02	0.36	0.23	19.0	-38.6
4 k GFTcompost	0.40	0.10	0.64	0.09	1.59	0.51	54.9	-15.6
5 k Dig Rdm	0.48	0.03	2.12	0.11	4.46	0.39	96.9	-17.0
6 k Rdm	0.52	0.07	2.31	0.21	4.44	0.70	89.6	-4.9
7 k Dfdig Rdm	0.53	0.07	2.19	0.19	4.15	0.65	89.7	-5.8
8 k Dig Vdm	0.71	0.08	3.88	0.29	5.48	0.75	93.9	0.7
9 k Vdm	1.04	0.18	4.11	0.45	3.96	0.80	87.5	7.4
10 k Dfdig Vdm	0.49	0.07	2.78	0.27	5.70	1.02	88.6	-0.5
11 z controle	0.05	0.01	0.07	0.00	1.25	0.19	85.4	-71.3
12 z Potstalmest	1.05	0.12	6.88	0.48	6.55	0.86	94.3	9.3
13 z NATcompost	0.54	0.05	0.58	0.02	1.09	0.13	92.0	-38.2
14 z GFTcompost	0.70	0.13	1.72	0.23	2.46	0.61	71.1	-1.3
15 z Dig Rdm	0.85	0.04	2.83	0.10	3.32	0.19	98.6	-17.8
16 z Rdm	1.05	0.18	4.78	0.56	4.56	0.95	84.0	13.0
17 z Dfdig Rdm	1.35	0.17	4.24	0.38	3.13	0.51	87.3	7.3
18 z Dig Vdm	1.10	0.10	5.39	0.34	4.91	0.55	95.5	3.5
19 z Vdm	0.91	0.09	4.63	0.29	5.09	0.55	95.9	-1.0
20 z Dfdig Vdm	1.05	0.11	4.79	0.34	4.57	0.58	93.6	4.0

Tabel B3-2. **Parameterschatting van dubbel exponentiële curve (5) met behulp van de hoeveelheden vrijgekomen C in mg C/g C/dag**

Object	Y0	C0	f	k1	k2	R2adj	Aic
1 k controle	0.03	0.07	-1.49	96779.31	2480.03	78.4	-42.5
2 k Potstalmest	0.94	3.10	0.58	6469.30	564.35	99.1	-22.2
3 k NATcompost	0.27	0.17	278999.53	531.71	531.72		-35.7
4 k GFTcompost	0.66	0.86	0.51	96779.31	232.98	93.2	-31.7
5 k Dig Rdm	0.59	2.22	0.68	3067.56	635.60	99.0	-25.8
6 k Rdm	0.74	2.54	0.62	5491.82	548.35	99.5	-31.5
7 k Dfdig Rdm	0.71	2.41	0.59	5312.79	593.79	98.4	-21.6
8 k Dig Vdm	0.74	4.16	0.40	96779.31	1243.39	98.4	-10.7
9 k Vdm	1.10	4.65	0.47	39480.10	840.60	97.5	-4.9
10 k Dfdig Vdm	0.70	3.02	0.65	7014.00	642.05	99.4	-25.4
11 z controle	178.48	0.07	0.62	1463.21	0.06	93.6	-77.8
12 z Potstalmest	1.85	7.16	0.82	4185.15	354.14	100.0	-44.3
13 z NATcompost	0.45	0.56	-8813.36	821.70	821.63	91.8	-37.1
14 z GFTcompost	1.13	2.15	0.56	8276.44	319.33	99.1	-31.8
15 z Dig Rdm	0.88	2.77	-0.28	96779.31	1470.20	99.3	-22.6
16 z Rdm	1.24	5.48	0.53	96779.31	760.32	98.8	-9.5
17 z Dfdig Rdm	2.52	4.68	0.69	3024.41	248.31	96.4	-3.1
18 z Dig Vdm	1.26	5.76	0.47	6965.93	1004.09	99.8	-25.0
19 z Vdm	0.91	4.76	0.55	34197.42	886.51	99.9	-28.3
20 z Dfdig Vdm	1.45	5.13	0.67	4042.62	544.76	99.7	-21.5

Tabel B3-3. **Parameterschatting van model Janssen (11) met behulp van de hoeveelheden vrijgekomen C in mg C/g C/dag**

Object	Y0	seY0	a	sea	R2adj	Aic
1 k controle	0.00	0.00	2.99	1.04	59.2	-38.5
2 k Potstalmest	0.01	0.01	2.40	0.22	92.2	-4.2
3 k NATcompost	0.42	0.52	751.24	2910.28	17.9	-38.5
4 k GFTcompost	0.04	0.03	5.48	2.23	60.3	-16.7
5 k Dig Rdm	0.01	0.00	2.30	0.08	98.9	-26.5
6 k Rdm	0.01	0.00	2.28	0.16	94.7	-11.0
7 k Dfdig Rdm	0.01	0.00	2.36	0.18	94.4	-11.3
8 k Dig Vdm	0.01	0.00	2.03	0.11	96.3	-3.8
9 k Vdm	0.02	0.01	2.36	0.28	90.7	5.0
10 k Dfdig Vdm	0.01	0.00	2.01	0.14	93.7	-5.9
11 z controle	0.01	0.00	8.86	2.12	89.1	-73.9
12 z Potstalmest	0.01	0.00	1.91	0.08	97.6	1.6
13 z NATcompost	0.11	0.03	12.82	3.70	89.9	-36.2
14 z GFTcompost	0.03	0.02	3.33	0.66	78.6	-4.0
15 z Dig Rdm	0.03	0.01	2.85	0.21	96.8	-11.1
16 z Rdm	0.02	0.01	2.20	0.23	89.0	9.5
17 z Dfdig Rdm	0.05	0.02	2.87	0.30	92.5	2.5
18 z Dig Vdm	0.02	0.00	2.16	0.09	98.2	-5.0
19 z Vdm	0.01	0.00	2.12	0.08	98.4	-8.6
20 z Dfdig Vdm	0.02	0.00	2.26	0.11	97.4	-4.1

Tabel B3-4. **Parameter schatting van model Yang (15) met behulp van de hoeveelheden vrijgekomen C in mg C/g C/dag**

Object	Y0	seY0	R	seR	S	seS	R2adj	Aic
1 k controle								
2 k Potstalmest	1.13	0.40	1.16	0.62	0.26	0.17	93.0	-17.4
3 k NATcompost	0.53	0.43	0.35	0.34	0.00			-31.3
4 k GFTcompost	0.66	0.04	0.64	0.05	0.00	0.04	49.8	-29.3
5 k Dig Rdm	0.57	0.08	2.51	0.68	0.17	0.13	96.9	-24.3
6 k Rdm	0.99	0.25	1.01	0.35	0.35	0.10	98.5	-32.8
7 k Dfdig Rdm	1.04	0.60	0.97	0.75	0.40	0.22	92.4	-18.9
8 k Dig Vdm	0.73	0.06	3.41	0.45	0.00		93.5	-10.6
9 k Vdm	1.08	0.11	2.30	0.40	0.00		87.2	-5.3
10 k Dfdig Vdm	0.84	0.31	1.28	0.69	0.31	0.19	93.5	-20.2
11 z controle	0.09	0.04	0.55	0.31	0.13	0.09	86.5	-70.7
12 z Potstalmest	7356.70	6354.42	0.00	0.00	0.82	0.00	99.6	-26.6
13 z NATcompost	0.51	0.02	1.20	0.07	0.00	0.02	90.5	-33.6
14 z GFTcompost	1.35	0.54	0.68	0.36	0.13	0.11	89.7	-25.2
15 z Dig Rdm	1.18	0.24	3.17	0.41	0.27	0.15	99.1	-25.3
16 z Rdm	1.23	0.09	2.08	0.26	0.00		92.7	-9.6
17 z Dfdig Rdm	713602837217156	3894022770910960	0.00	0.00	0.62	0.04	92.1	-5.5
18 z Dig Vdm	1.29	0.10	2.54	0.37	0.15	0.08	98.9	-19.0
19 z Vdm	0.89	0.03	2.43	0.15	0.00		98.4	-25.7
20 z Dfdig Vdm	2.45	0.99	0.90	0.44	0.52	0.12	98.6	-19.3

Tabel B3-5. **Parameterschatting exponentiële curve (2) aangepast aan de cumulatieve data.**
De tijd is uitgedrukt in jaren

Object	Y0	seY0	k	sek	R2adj	Aic
1 k controle	3.90	0.12	4.71	0.36	99.6	-19.4
2 k Potstalmest	128.16	5.76	2.69	0.26	98.9	45.6
3 k NATcompost	127.35	40.46	0.22	0.08	99.9	-1.1
4 k GFTcompost	74.84	6.30	1.14	0.14	99.6	22.0
5 k Dig Rdm	81.53	1.97	3.78	0.24	99.4	34.1
6 k Rdm	96.25	3.92	3.04	0.29	98.9	41.7
7 k Dfdig Rdm	95.01	3.53	3.02	0.26	99.1	39.7
8 k Dig Vdm	122.31	2.06	4.49	0.22	99.6	38.2
9 k Vdm	170.29	3.49	3.27	0.16	99.7	41.3
10 k Dfdig Vdm	96.85	4.07	3.36	0.35	98.5	44.7
11 z controle	8.31	0.37	1.25	0.08	99.8	-26.0
12 z Potstalmest	205.79	8.74	4.09	0.48	97.7	62.5
13 z NATcompost	80.87	2.05	1.18	0.04	100.0	3.0
14 z GFTcompost	132.16	9.24	1.65	0.19	99.2	40.6
15 z Dig Rdm	135.12	1.34	3.69	0.10	99.9	26.7
16 z Rdm	193.53	5.42	3.08	0.20	99.5	47.9
17 z Dfdig Rdm	245.65	15.13	2.31	0.28	98.6	59.1
18 z Dig Vdm	192.86	4.56	3.85	0.24	99.4	49.6
19 z Vdm	161.51	4.70	4.16	0.34	98.9	51.6
20 z Dfdig Vdm	191.44	7.55	3.28	0.31	98.7	55.3

Tabel B3-6. **Parameterschattingen dubbel exponentiële curve (6) aangepast aan de cumulatieve data**
De tijd is uitgedrukt in jaren.

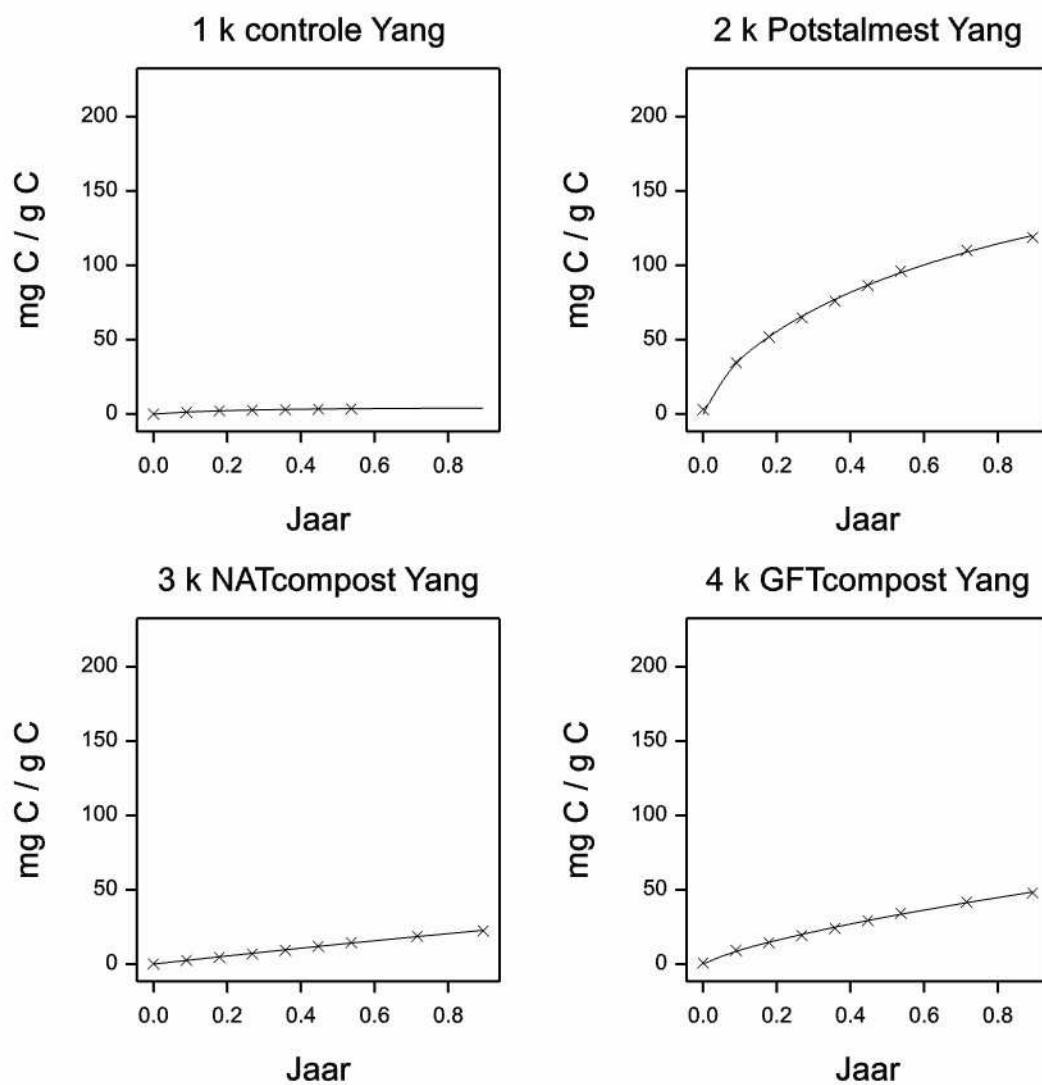
Object	Y0	f	k1	k2	R2adj	Aic
1 k controle	2396.84	0.02	7.15	0.00	99.5	-18.7
2 k Potstalmest	148.07	0.32	35.97	1.71	99.8	30.6
3 k NATcompost	39.92	1.18	1.69	1.69	99.9	-3.8
4 k GFTcompost	99.46	0.47	265.15	0.71	99.8	15.4
5 k Dig Rdm	102.84	0.46	7.50	1.20	99.8	22.7
6 k Rdm	118.84	0.40	14.20	1.47	99.8	25.4
7 k Dfdig Rdm	105.56	0.45	38.60	2.06	99.8	26.1
8 k Dig Vdm	124.57	0.38	265.15	3.97	99.6	38.6
9 k Vdm	174.80	0.27	138.64	2.91	99.7	41.5
10 k Dfdig Vdm	110.24	0.43	37.34	2.03	99.7	29.3
11 z controle	25694.46	0.00	3.62	0.00	99.9	-34.2
12 z Potstalmest	285.74	0.17	13.36	1.12	99.7	43.4
13 z NATcompost	-19871.98	0.00	0.54	0.00	100.0	5.0
14 z GFTcompost	174.20	0.27	63.23	0.95	99.9	23.3
15 z Dig Rdm	6260.97	0.01	4.02	0.00	99.9	29.3
16 z Rdm	206.11	0.23	265.15	2.41	99.8	39.4
17 z Dfdig Rdm	386.70	0.12	13.78	0.80	99.8	40.6
18 z Dig Vdm	203.07	0.23	41.03	2.96	99.8	39.7
19 z Vdm	181.84	0.26	14.61	2.21	99.8	36.7
20 z Dfdig Vdm	231.63	0.20	15.16	1.61	99.8	37.9

Tabel B3-7. **Parameterschattingen model Janssen (13) aangepast aan de cumulatieve data**
De tijd is uitgedrukt in jaren.

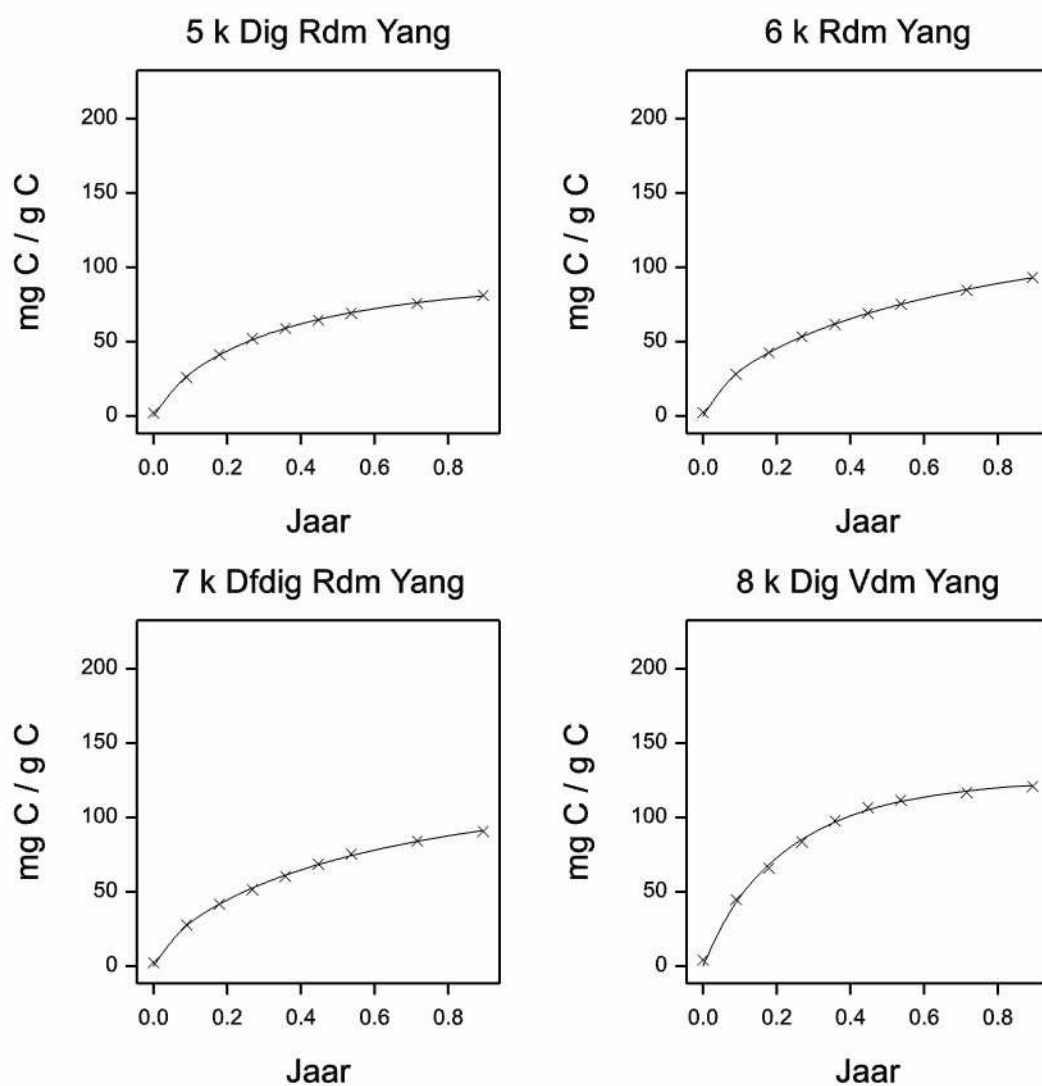
Object	Y0	seY0	a	sea	R2adj	Aic
1 k controle	4.66	0.20	0.77	0.04	99.7	-21.4
2 k Potstalmest	161.54	9.39	1.12	0.08	99.3	41.8
3 k NATcompost	402.38	81.25	10.12	1.35	99.9	-1.0
4 k GFTcompost	124.08	15.04	2.38	0.24	99.6	21.1
5 k Dig Rdm	95.57	2.19	0.85	0.03	99.8	25.1
6 k Rdm	117.68	5.74	1.01	0.06	99.4	36.5
7 k Dfdig Rdm	116.52	5.34	1.02	0.06	99.4	35.1
8 k Dig Vdm	139.02	3.56	0.74	0.03	99.6	38.4
9 k Vdm	206.44	6.48	0.96	0.04	99.7	41.0
10 k Dfdig Vdm	115.60	6.07	0.93	0.07	99.1	40.3
11 z controle	13.34	0.76	2.19	0.11	99.9	-29.2
12 z Potstalmest	236.16	11.83	0.79	0.06	98.7	57.1
13 z NATcompost	133.73	5.96	2.32	0.09	99.9	5.8
14 z GFTcompost	191.92	18.77	1.71	0.16	99.4	38.6
15 z Dig Rdm	160.01	3.20	0.88	0.02	99.8	31.6
16 z Rdm	237.06	8.03	1.01	0.04	99.7	43.0
17 z Dfdig Rdm	320.85	26.64	1.27	0.12	99.0	56.0
18 z Dig Vdm	224.98	5.67	0.84	0.03	99.7	42.8
19 z Vdm	185.40	5.50	0.78	0.04	99.5	44.0
20 z Dfdig Vdm	229.94	10.69	0.95	0.06	99.3	49.8

Tabel B3-8. **Parameterschattingen model Yang (17) aangepast aan de cumulatieve data**
De tijd is uitgedrukt in jaren.

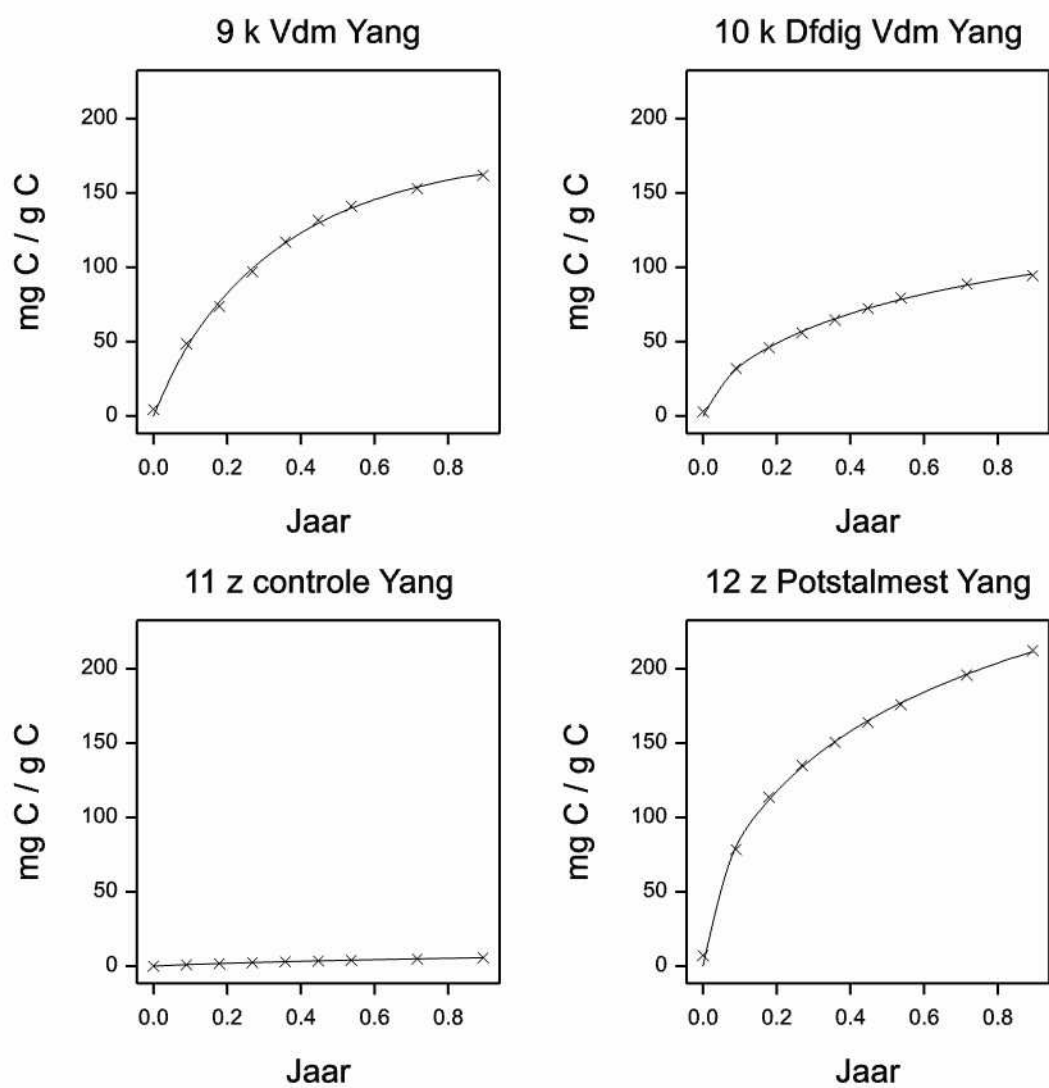
Object	Y0	seY0	R	seR	S	seS	R2adj	Aic
1 k controle	4.18	0.45	3.52	1.30	0.11	0.12	99.54	-18.64
2 k Potstalmest	196.97	35.34	1.02	0.30	0.30	0.05	99.80	31.46
3 k NATcompost	127.35	0.00	0.22	0.00	0.00	0.01	99.83	0.89
4 k GFTcompost	255.44	85.85	0.23	0.08	0.21	0.01	99.75	17.19
5 k Dig Rdm	91.24	4.11	2.36	0.32	0.20	0.05	99.83	23.22
6 k Rdm	139.74	17.79	1.18	0.27	0.32	0.05	99.86	23.27
7 k Dfdig Rdm	124.29	14.16	1.43	0.32	0.27	0.06	99.79	26.72
8 k Dig Vdm	125.45	3.73	3.78	0.56	0.09	0.07	99.61	38.09
9 k Vdm	177.71		2.74		0.08		99.69	41.26
10 k Dfdig Vdm	139.82	23.02	1.24	0.37	0.35	0.06	99.72	29.83
11 z controle	12.34	1.93	0.67	0.14	0.13	0.03	99.94	-34.54
12 z Potstalmest	323.13	59.61	1.13	0.36	0.43	0.06	99.74	43.36
13 z NATcompost	80.87	0.00	1.18	0.01	0.00	0.00	99.95	5.04
14 z GFTcompost	762.88	265.60	0.16	0.06	0.32	0.00	99.86	25.58
15 z Dig Rdm	135.77	2.23	3.59	0.26	0.01	0.03	99.89	28.52
16 z Rdm	222.20	15.08	1.95	0.33	0.19	0.05	99.79	39.92
17 z Dfdig Rdm	902.61	222.74	0.30	0.08	0.39	0.01	99.83	40.73
18 z Dig Vdm	212.67		2.50		0.19		99.81	39.32
19 z Vdm	190.01	10.44	2.12	0.32	0.28	0.05	99.83	35.58
20 z Dfdig Vdm	268.71	32.03	1.30	0.29	0.32	0.05	99.85	36.73



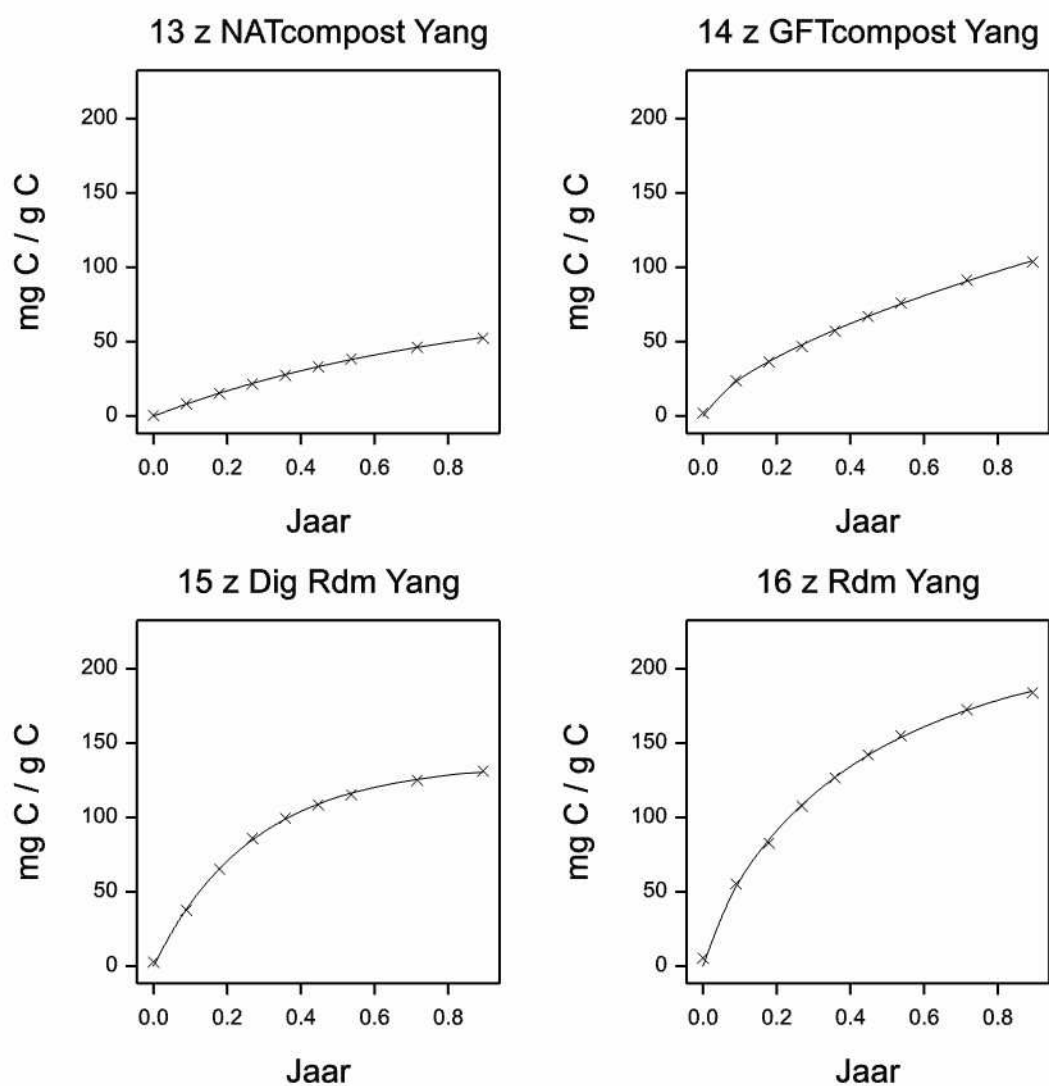
Figuur B3-4. Gecumuleerde data aangepast aan de vergelijking van Yang, object 1 t/m 4 (mg C/g C)



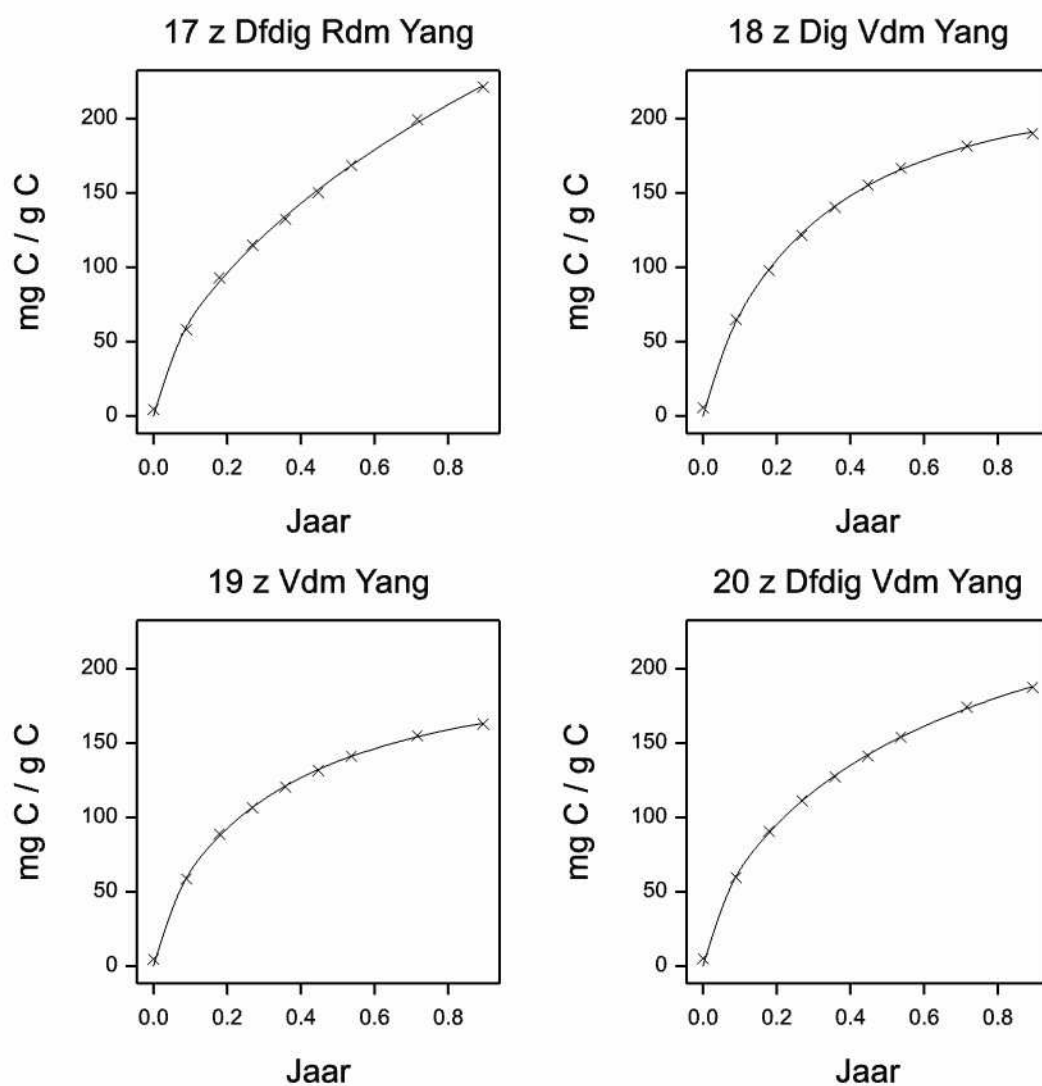
Figuur B3-5. Gecumuleerde data aangepast aan de vergelijking van Yang object 5 tm 8 (mg C/ g C)



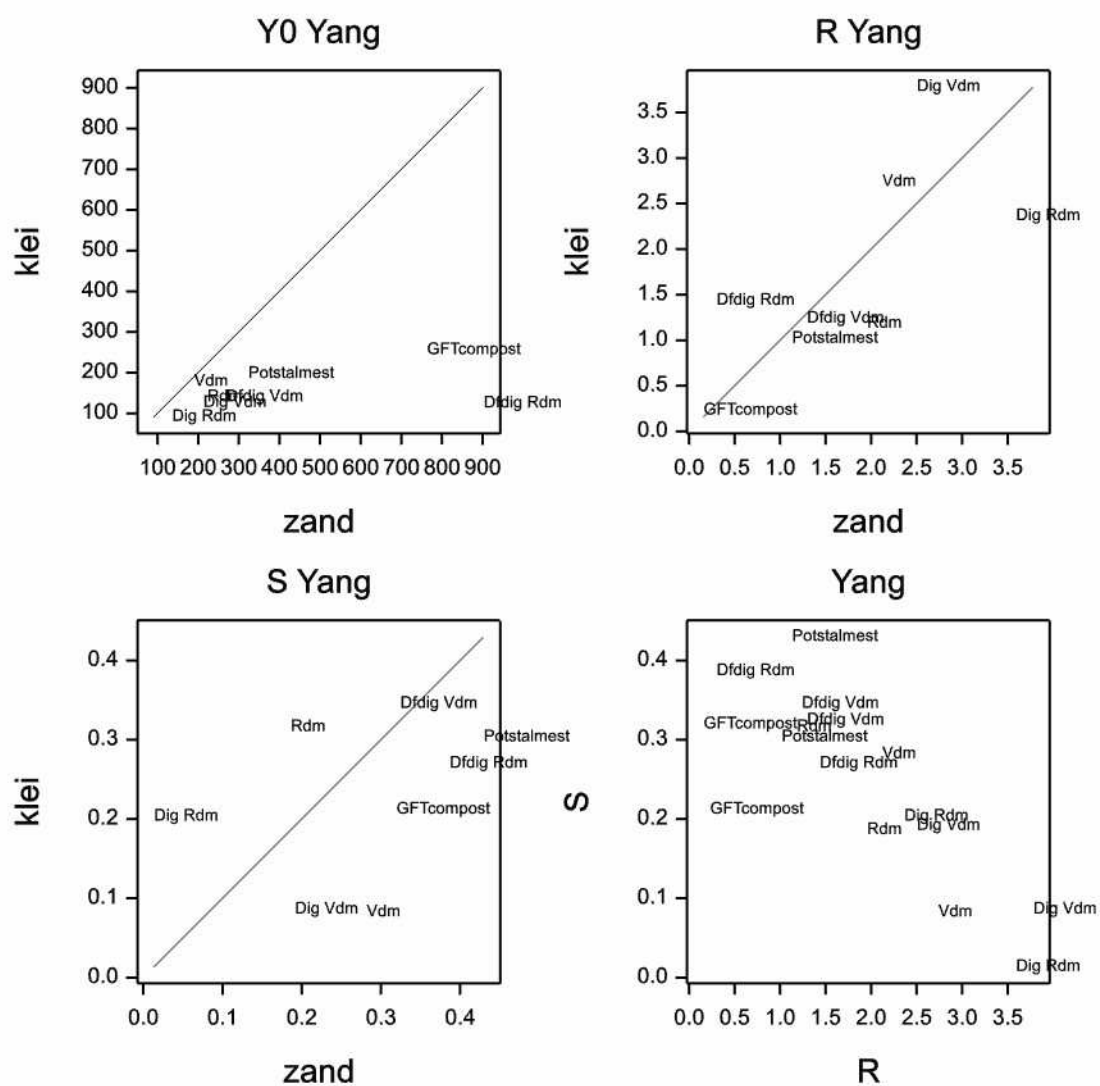
Figuur B3-6. Gecumuleerde data aangepast aan de vergelijking van Yang, object 9 tm 12 (mg C/ g C)



Figuur B3-7. Gecumuleerde data aangepast aan de vergelijking van Yang, object 13 t/m 16 (mg C/g C)



Figuur B3-8. Gecumuleerde data aangepast aan de vergelijking van Yang, object 17 tm 20 (mg C / g C)



Figuur B3-9. Parameterschatting van Y_0 , R en S op klei uitgezet tegen de schattingen op zand van 16 objecten

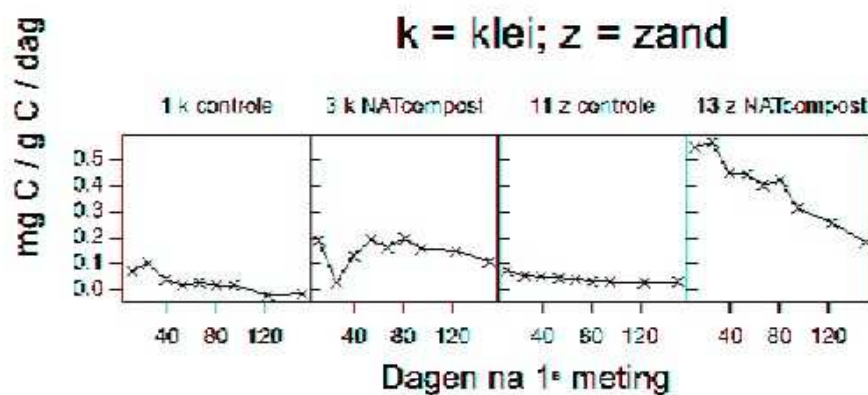
Resultaten

Het aanpassen van de curven aan de gecumuleerde hoeveelheden vrijgekomen hoeveelheid C levert schattingen van Y_0 op met kleinere standard errors dan wanneer de parameters worden geschat met behulp van de per dag vrijgekomen hoeveelheden C.

De modellen kunnen worden vergeleken met de Aic waarden. Dat is de deviance + 2 * maal het aantal parameters. Bij de gecumuleerde data heeft het dubbel exponentiële model de laagste Aic waarde gemiddelde over de 20 objecten, maar voor het model van Yang is deze waarde maar weinig hoger. Echter de parameterschattingen en de voorspellingen bij het dubbel exponentiële zijn nogal wisselend waardoor het model van Yang de voorkeur verdient (Tabel 9).

Model	Aic
exponentieel	656.9
dubbel exponentieel	468.4
Janssen	596.4
Yang	473.5

Parameter Y_0 zou gelijk aan 1000 gesteld kunnen worden wanneer er vanuit wordt gegaan dat alle C uit de meststoffen vrijkomt. De 4 objecten controle en Natuurcompost op zand en klei geven nu redelijk zinnige parameterschattingen nadat bij 1 k controle de laatste 2 negatieve metingen zijn verwijderd en bij 3 k Natuurcompost de tweede meting is verwijderd.



Figuur B3-11. Mg C/g C/dag als in figuur B3-3 maar met de Y-as meer uitgerekt

Tabel B3-9. **Voorspellingen afgebroken hoeveelheid C in mg C/gram C per model bij einde proef (0,89 jaar) en na 1 en 3 jaar**

Jaar	0.89	0.89	0.89	0.89	1	1	1	1	3	3	3	3
curve	exp	dexp	Jns	Yang	exp	dexp	Jns	Yang	exp	dexp	Jns	Yang
1 k controle	3.8	49.0	3.7	4.0	3.9	49.3	3.8	4.1	3.9	53.5	4.4	4.2
2 k Potstalmest	116.6	126.2	128.8	120.1	119.4	129.8	132.1	125.7	128.1	147.5	151.6	174.9
3 k NATcompost	22.7	31.1	320.7	22.7	25.1	32.6	329.0	25.1	61.4	39.7	377.7	61.4
4 k GFTcompost	47.8	71.8	98.9	48.5	50.8	73.8	101.5	52.4	72.4	93.2	116.5	107.5
5 k Dig Rdm	78.7	83.7	76.2	80.7	79.7	86.0	78.1	82.6	81.5	101.3	89.7	90.9
6 k Rdm	89.9	99.7	93.8	93.1	91.7	102.4	96.2	96.9	96.2	118.0	110.4	128.4
7 k Dfdig Rdm	88.6	96.3	92.9	91.2	90.4	98.1	95.3	94.7	95.0	105.4	109.4	119.2
8 k Dig Vdm	120.1	122.4	110.8	121.3	120.9	123.1	113.7	122.6	122.3	124.6	130.5	125.4
9 k Vdm	161.2	165.4	164.6	162.7	163.8	167.9	168.8	166.2	170.3	174.8	193.8	177.6
10 k Dfdig Vdm	92.1	100.0	92.1	95.6	93.5	101.9	94.5	99.3	96.9	110.1	108.5	128.8
11 z controle	5.6	49.0	10.6	5.7	5.9	50.0	10.9	6.1	8.1	59.3	12.5	10.2
12 z Potstalmest	200.5	198.4	188.2	211.3	202.3	208.1	193.1	218.8	205.8	277.5	221.6	284.2
13 z NATcompost	52.9	-46.8	106.6	52.9	56.1	-52.8	109.3	56.1	78.6	-178.6	125.5	78.6
14 z GFTcompost	102.0	119.8	153.0	104.5	106.8	124.9	156.9	112.1	131.2	166.8	180.1	217.6
15 z Dig Rdm	130.1	56.1	127.5	130.3	131.7	57.8	130.8	132.0	135.1	81.4	150.2	135.8
16 z Rdm	181.2	187.7	189.0	184.9	184.6	191.8	193.8	190.7	193.5	206.0	222.5	220.3
17 z Dfdig Rdm	214.7	220.7	255.8	222.3	221.4	234.1	262.3	235.7	245.4	355.9	301.1	404.2
18 z Dig Vdm	186.7	192.0	179.3	191.1	188.8	195.0	184.0	195.2	192.9	203.0	211.2	212.2
19 z Vdm	157.6	163.2	147.8	163.2	159.0	167.1	151.6	167.2	161.5	181.7	174.0	188.2
20 z Dfdig Vdm	181.3	188.0	183.3	188.0	184.2	194.8	188.0	195.2	191.4	230.2	215.8	251.1

N.B.:

De gecumuleerde, berekende C-afbraak betreft de hoeveelheid die vanaf twee weken na inzet van de monsters ($t = 0$) is vrijgekomen. Die hoeveelheid is uitgedrukt in mg C per g C en daartoe gedeeld door de hoeveelheid C bij aanvang ($t = -2$ weken). Strikt genomen zou het moeten worden gedeeld door de hoeveelheid C die twee weken na inzet nog aanwezig was. Er is echter niet bekend hoeveel C er in de eerste twee weken na inzet is verdwenen door afbraak. Gezien de korte periode gaat het naar verwachting om een kleine hoeveelheid en voor de onderlinge vergelijking van de meststoffen maakt het waarschijnlijk niets uit. Uit eerdere respiratieonderzoek is bekend dat er kort na inzet een explosieve microbiële activiteit plaatsvindt en er ergens in de eerste twee weken een hoge piek in CO_2 -productie optreedt. Vervolgens neemt de CO_2 -productie weer snel af en na twee weken ontwikkelt het CO_2 -productiepatroon zich redelijk stabiel. Om de C-afbraak in de eerste twee weken te bepalen zou er intensief moeten worden gemeten (bijvoorbeeld dagelijks) en dat is zeer kostbaar. Dit wordt daarom niet uitgevoerd.

