



# Organische stofopbouw en N-mineralisatie; op kernbedrijven; verfijning model MINIP



**Telen met toekomst**

R. Postma & T.A. van Dijk



# Organische stofopbouw en N-mineralisatie; op kernbedrijven; verfijning model MINIP

R. Postma & T.A. van Dijk



Telen met toekomst  
augustus 2004  
OV0414



## Telen met toekomst

### Colofon

*Uitgever:*

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

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 - 47 70 00  
Fax : 0317 - 41 80 94  
E-mail : [post@plant.wag-ur.nl](mailto:post@plant.wag-ur.nl)  
Internet : <http://www.plant.wageningen-ur.nl>

© 2004 Wageningen, Plant Research International B.V.

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

Telen met toekomst is een van de landelijke onderzoeksprojecten die uitgevoerd worden in het kader van het Actieplan Nitraatprojecten (2000-2003). Het project wordt gefinancierd door de Ministeries van LNV en van VROM.

In 'Telen met toekomst' werken agrarische ondernemers samen met Wageningen UR (Praktijkonderzoek Plant & Omgeving en Plant Research International B.V.) en DLV Adviesgroep nv aan duurzame bedrijfssystemen voor akkerbouw, vollegrondsgroenteteelt, bloembollen en boomteelt.

#### **Informatie over Telen met toekomst**

DLV Adviesgroep nv  
Telefoon: (0317) 49 16 12  
Fax: (0317) 46 04 00  
Postbus 7001, 6700 CA WAGENINGEN  
E-mail: [info@telenmettoekomst.nl](mailto:info@telenmettoekomst.nl)  
Internet: [www.telenmettoekomst.nl](http://www.telenmettoekomst.nl)

# Inhoudsopgave

	Pagina
Samenvatting en conclusies	1
1. Inleiding	3
2. Modelleren van organische stof en N-mineralisatie	5
3. Kwaliteit van organische stof in de bodem	7
3.1 Het belang van karakterisering van de kwaliteit van organische stof	7
3.2 Methoden om de kwaliteit van de organische stof in de bodem te karakteriseren	7
3.2.1 Chemische scheidingsmethoden	8
3.2.2 Fysische scheidingsmethoden	8
3.2.3 Extractie van oplosbaar C en N	9
4. Beschrijven van de C- en N-mineralisatie van gewasresten	11
5. Aanpassingen van Minip voorgesteld door Yang	13
5.1 Principe van het aangepaste model	13
5.2 Vergelijking Janssen vs. Yang voor beschrijving organische stofafbraak	14
5.3 Vergelijking Janssen vs. Yang bij het gebruik van vaste parameterwaarden	17
5.4 Gegevens Telen met toekomst	19
6. Evaluatie	23
6.1 Algemeen	23
6.2 Aanpassingen voorgesteld door Yang	23
6.3 Aanpassing van bodemtemperatuur op basis van de luchttemperatuur	24
6.4 Opnemen van een correctie voor het vochtgehalte	24
6.5 Andere correctiefactoren: pH, fysische bescherming	25
6.6 Invoeren van meerdere organische stofpools	25
6.7 Berekeningswijze N-mineralisatie uit organische stofdynamiek	25
6.8 Uitbreiding van het model met andere modules	26
Literatuur	27
Bijlage I. Basisresultaten van de incubatieproeven uitgevoerd door Alterra (Smit & Zwart, 2003)	2 pp.



## Samenvatting en conclusies

In dit rapport zijn de mogelijkheden verkend om het model Minip voor het beschrijven van de organische stofdynamiek en de N-mineralisatie te verbeteren. In de voorgaande studies, die in het kader van Telen met toekomst met Minip zijn verricht, is gebleken dat het model onvoldoende in staat is:

- onderscheid te maken naar de kwaliteit van oude organische stof in de bodem; en
- het verloop van de C- en N-mineralisatie van gewasresten en bodem organische stof te beschrijven.

In deze studie wordt gezocht naar mogelijkheden om Minip te verbeteren op basis van literatuurgegevens en meetgegevens die zijn verzameld in Telen met toekomst. Daartoe wordt eerst een overzicht gegeven van modellen voor organische stofafbraak, vervolgens wordt ingegaan op de fractiëring van bodem organische stof en de afbraak van gewasresten. Tenslotte wordt ingegaan op aanpassingen van Minip die zijn voorgesteld door Yang.

Er kunnen verschillende groepen modellen worden onderscheiden voor het beschrijven van de organische stofdynamiek in het bodem-plant systeem. De meest eenvoudige modellen beschouwen de organische stof in de bodem als één pool. De grootste beperking van deze modellen is dat ze veronderstellen dat de organische stof bestaat uit een type verbinding, waarvan de afbreekbaarheid constant is. Dit laatste bezwaar werd ondervangen in Minip (model Janssen) door de k-waarde te laten veranderen in de tijd. De meeste andere modellen onderscheiden organische stof in meerdere pools met hun specifieke afbraaksnelheden. Daarnaast wordt in deze modellen gewasmateriaal in gemakkelijk afbreekbare en resistente fracties onderscheiden en is het concept van fysische bescherming door bodemdeeltjes geïntroduceerd.

Behalve modellen voor organische stof zijn er modellen die de nutriëntenkringlopen in de bodem, inclusief de organismen die daarbij betrokken zijn, zeer gedetailleerd beschrijven.

Een bezwaar van veel van de modelbenaderingen is dat er geen koppeling mogelijk is tussen de conceptuele pools in de modellen en de fracties die experimenteel bepaald kunnen worden met chemische of fysische methoden. Dit betekent dat de modellen alleen kunnen worden gevalideerd door toetsing op basis van het totale organische stofgehalte ofwel de C- en/of de N-mineralisatie. Er wordt momenteel vrij veel aandacht besteed aan de modellering van meetbare fracties.

Tenslotte wordt opgemerkt dat de prestaties van de huidige modellen voor de N-mineralisatie vrijwel steeds afhankelijk zijn van een locatiespecifieke calibratie. Het is een uitdaging voor de toekomst om een dergelijke calibratie te kunnen vervangen door een meting waarmee het model wordt geïnitieerd.

Er zijn verschillende fractioneringsmethoden voor bodem organische stof beschikbaar, die alle ten doel hebben de kwaliteit van de organische stof te karakteriseren. Daarbij wordt algemeen uitgegaan van een onderscheid naar actieve en passieve organische stof, waarbij de actieve fractie (niet-humus) relatief gemakkelijk wordt afgebroken door micro-organismen, terwijl de passieve fractie (humus) vrijwel niet meer onderhevig is aan microbiële omzettingen. Chemische fractioneringsmethoden zijn vooral gericht op het onderscheiden van fracties binnen de (relatief grote) humus-fractie. Deze indeling is van beperkte waarde, omdat bekend is dat de drie onderscheiden humusfracties chemisch vergelijkbaar zijn en alle relatief resistent zijn tegen afbraak door micro-organismen.

Fysische fractionering is gebaseerd op het verschijnsel dat organisch materiaal dat aan de grond wordt toegediend steeds verder wordt verkleind en dat het soortelijk gewicht toeneemt door een toenemende binding aan bodemdeeltjes. Vastgesteld is dat de afbraaksnelheid en C/N-ratio afnam van de lichte naar de zware fractie. Gebleken is dat de lichte fractie organische stof veel sterker reageert op veranderingen in het organische stofbeheer dan het totale gehalte, dat het in het algemeen aangeeft dat er sprake is van

een toename in het gehalte aan labiele organische stof, maar dat de voorspellende waarde ervan voor het totale gehalte niet duidelijk is en dat het ook niet altijd een toename van de N-mineralisatie betekent.

Een vergelijkbare betekenis als aan de lichte fractie van organische stof wordt soms toegekend aan oplosbaar C en/of N (bijvoorbeeld in 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ ). Vaak wordt er een goede relatie gevonden tussen deze fractie en de C- en/of N-mineralisatie, maar het mechanisme erachter is nog niet goed bekend.

Aangezien uit de toetsing bleek dat de N-mineralisatie uit gewasresten door het model onvoldoende nauwkeurig werd beschreven, is verkend welke verbeteringen mogelijk zijn. Geconcludeerd werd dat de totale hoeveelheid C-aanvoer in combinatie met de C/N-ratio voor een voorspelling van de totale N-mineralisatie uit gewasresten in toepassingsgerichte modellen voldoende nauwkeurig is. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van het verloop van de C- en N-mineralisatie is echter gebleken dat een verfijning gewenst is. Het gehalte aan lignine of polyfenolen biedt hiervoor de beste perspectieven.

Tenslotte zijn de aanpassingen van Minip, zoals voorgesteld door Yang, in beschouwing genomen. De door Yang voorgestelde verandering houdt in dat de initiële  $k$  (relatieve afbraaksnelheid) niet meer wordt bepaald door één parameter, zoals in Minip (a), maar door twee parameters die specifiek zijn voor het organische materiaal, te weten  $R$  en  $S$ . De prestaties van Minip en het model van Yang zijn vergeleken aan de hand van literatuurgegevens en meetgegevens verzameld in Telen met toekomst. Uit de resultaten kwam naar voren dat:

- de resultaten van afbraak van bodem organische stof en gewasresten uit individuele datasets in de literatuur beter werden beschreven door model Yang dan door Minip. De benodigde modelparameters werden daarbij afgeleid door niet-lineaire regressie;
- bij het gebruik van vaste waarden voor modelparameters voor uiteenlopende materialen zijn de prestaties van model Yang niet veel beter dan die van Minip. Mogelijk is dit het gevolg van een te globale klassenindeling van typen organisch materiaal, waardoor het onderscheidend vermogen van de methode, die in principe in staat is tot een betere beschrijving van de afbraak van organische stof, niet duidelijk naar voren komt. Een differentiatie binnen de categorieën gewasresten, organische mesten en bodem organische stof lijkt hier gewenst.
- Uit gegevens over de afbraak van gewasresten, die in het kader van Telen met toekomst door metingen zijn verzameld, blijkt dat de afbraakcurves van sla en Chinese kool nogal afwijken van die van stro en bietenblad. De curves van sla en Chinese kool werden veel beter beschreven door model Yang dan door Minip. Verder was de afbraaksnelheid van bodem organische stof van de percelen van Meterik hoger dan die van Vredepeel. In alle gevallen beschreef model Yang de afbraak beter dan Minip.

Concluderend, worden de volgende verbeteringen voor Minip voorgesteld:

- Opnemen van de aanpassingen voorgesteld door Yang. Bij voorkeur dienen coëfficiënten voor diverse organische materialen onder Nederlandse omstandigheden te worden vastgesteld.
- Opnemen van een omrekeningsfactor voor lucht- naar bodemtemperatuur.
- Opnemen van een correctiefactor voor het vochtgehalte.
- Uitbreiding van het model met een module voor de vochthuishouding.

Daarnaast is het gewenst dat in de toekomst een methode voor fractionering van bodem organische stof beschikbaar wordt gemaakt om het model voor uiteenlopende omstandigheden te initialiseren. De beste mogelijkheden lijken er te zijn voor het schatten van de initiële afbraaksnelheid ( $R$  in model Yang) op basis van de lichte fractie (fysische fractionering) of het oplosbaar C-gehalte in 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  (DOC).



# 1. Inleiding

In het kader van Telen met toekomst (Tmt) werkt het Nutriënten Management Instituut NMI aan de ontwikkeling en introductie van duurzame productiesystemen door middel van onderzoek naar en advies over het beheer van organische stof. Het centrale element in de NMI-bijdrage wordt gevormd door het model Janssen, ofwel Minip, dat de opbouw van organische stof en de N-mineralisatie voor uiteenlopende omstandigheden kan berekenen (Janssen, 1984 en 1996). Daartoe zijn voorafgaand aan de huidige studie reeds twee rapporten verschenen, waarin de toetsing van Minip op basis van gegevens van de kernbedrijven Vredepeel (akkerbouw), Meterik (groenteteelt), De Noord (bollenteelt) en Horst (boomteelt) is beschreven (Postma, 2002; Postma & van Dijk, 2004).

In aanvulling op de toetsing van het model, verricht NMI studie naar de mogelijkheden om het model te verbeteren. Een dergelijke verfijning mag niet (te veel) ten koste gaan van de eenvoud, wat de kracht is van het model. De afbraaksnelheid van organisch materiaal in Minip wordt gekarakteriseerd door één parameter, namelijk de *a*-waarde. De *a*-waarde is specifiek voor het betreffende product en dient dus ook voor ieder materiaal afzonderlijk te worden afgeleid. Dit kan op experimentele wijze, door het bepalen van de afbraak in een incubatie-, pot- of veldproef. Voor een beperkt aantal producten is dit gedaan (Janssen, 2002) en voor een groot aantal andere materialen is de *a*-waarde door schatting en/of door een koppeling met de humificatiecoëfficiënt vastgesteld (Velthof *et al.*, 1998; Bosch & De Jonge, 1989). Voor de N-mineralisatie wordt in aanvulling daarop gebruik gemaakt van de C/N-ratio van het product.

De voorwaarden die aan de verfijning kunnen worden gesteld, kunnen dan ook als volgt worden samengevat: i) het dient tot een verbetering van de beschrijving van de organische stofafbraak en de N-mineralisatie te leiden en ii) de eenvoud van het model dient behouden te blijven.

De verfijning zal worden gebaseerd op de resultaten van de toetsing en op basis van literatuurgegevens. Uit de toetsing (Postma & Van Dijk, 2004) kwam het volgende naar voren:

- Het model houdt onvoldoende rekening met de kwaliteit van de oude organische stof in de bodem, waardoor verschillen in N-mineralisatie uit de oude organische stof tussen percelen niet naar voren komen. Dit bleek uit de studie met plotjes die meerdere jaren achtereen braak lagen. De resulterende N-mineralisatie is volgens het model hoofdzakelijk het gevolg van mineralisatie uit oude organische stof. Die wordt voor de percelen op Vredepeel wel goed voorspeld, maar voor Meterik wordt die onderschat. Mogelijk kan dit worden verbeterd door een combinatie met grondonderzoek gericht op fractionering van de organische stof.
- Het verloop van de C- en N-mineralisatie uit gewasresten en bodem organische stof wordt onvoldoende nauwkeurig beschreven. Dit blijkt vooral uit het beperkte verschil in N-mineralisatie tussen plotjes die al een aantal jaren braak liggen en plotjes met een bemeste voorvrucht op Meterik en uit laboratoriumproeven die zijn verricht door Alterra (Smit & Zwart, 2003). Hier bieden de aanpassingen voorgesteld door Yang de beste aanknopingspunten (Yang, 1996).

Bij de studie naar de mogelijkheden om Minip te verfijnen, wordt ook gebruik gemaakt van literatuurgegevens. Een van de belangrijkste bronnen daarbij is de studie verricht door Yang (1996), die voorstellen heeft gedaan voor aanpassingen van het Minip voor het beschrijven van de afbraak van diverse organische materialen. In Minip wordt onderscheid gemaakt in de afbraaksnelheid tussen organische materialen door gebruik van de parameter *a*, die de initiële afbraaksnelheid definieert. In model Yang wordt daartoe gebruik gemaakt van twee parameters, te weten *R*, die de initiële afbraaksnelheid karakteriseert en *S*, die de verouderingssnelheid weergeeft. Er zijn aanwijzingen dat het verloop van de afbraak van organische producten in de tijd met het aangepaste model van Yang beter kan worden beschreven dan met het oorspronkelijke model van Janssen (Yang, 1996).

In het rapport worden de volgende zaken achtereenvolgens beschreven:

- Een kort overzicht van bestaande modellen voor het beschrijven van de organische stofdynamiek en N-mineralisatie (hoofdstuk 2).
- Mogelijkheden om de kwaliteit en de daaraan gekoppelde afbraaksnelheid van (oude) organische stof in de bodem beter in te schatten (hoofdstuk 3).
- Mogelijkheden om de afbraaksnelheid en de daaraan gekoppelde N-mineralisatie van gewasresten beter te kwantificeren (hoofdstuk 4).
- De achtergronden van de veranderingen voorgesteld door Yang (hoofdstuk 5).
- Evaluatie met mogelijke verbeterpunten voor Minip, knelpunten die daarbij een rol spelen en consequenties van aanpassingen in het model voor de N-mineralisatie (hoofdstuk 6).

## 2. Modelling van organische stof en N-mineralisatie

Er kunnen verschillende groepen modellen worden onderscheiden die de organische stofdynamiek in bodem-plant systemen beschrijven (Janssen, 2002; Parton *et al.*, 1996; Bouwman, 1990).

De modellen die het eerst zijn ontwikkeld zijn eerste-orde vergelijkingen die de organische stof in de bodem beschouwen als één pool. Deze modellen waren vooral goed te gebruiken om de snelle afbraak van bladmateriaal en van gemakkelijk afbreekbare verbindingen, zoals koolhydraten, te beschrijven. Er zijn veel auteurs die deze benadering hebben gebruikt. De grootste beperking van deze modellen is dat ze veronderstellen dat organisch materiaal is opgebouwd uit één type verbinding en dat dit het onmogelijk maakt dat resistenter verbindingen worden gevormd en/of achterblijven (Sorensen, 1981). De benadering kan worden verfijnd door de k-waarde te laten veranderen in de tijd (Janssen, 1984; Yang, 1996). Parton *et al.* (1996) noemen als beperking van deze methode dat die k-waarde voor verschillende materialen moet worden afgeleid. Yang (1996) geeft een opsomming van een aantal processen die bijdragen aan het resistenter worden van organisch materiaal gedurende het afbraakproces:

- Biochemische transformaties; in veel experimenten is gebleken dat chemische componenten die snel en makkelijk mineraliseren zeer snel assimileren (met uitzondering van de fractie die als CO<sub>2</sub> vrijkomt) in de microbiële biomassa. De aldus microbiologisch getransformeerde producten zijn veel resistenter tegen afbraak dan de originele componenten (o.a. Martin *et al.*, 1974).
- Concentratie van relatief resistente componenten; substraten die bestaan uit meerdere componenten, met uiteenlopende resistentie tegen afbraak, verliezen in eerste instantie de makkelijk afbreekbare componenten, waardoor het overblijvende substraat een steeds grotere proportie resistente componenten zal bevatten (o.a. Berg *et al.*, 1987).
- Bescherming of immobilisatie veroorzaakt door andere mechanismen dan biochemische transformaties; alle aan mineralisatie en transformatie onderhevige, organische componenten worden, waarschijnlijk, in uiteenlopende mate, beschermd danwel afgeschermd. Dit kan op verschillende wijzen gebeuren: chemisch, fysisch-chemisch of biochemisch door associatie met inorganische of organische bestanddelen in de bodem, of door fysische danwel fysisch-chemische adsorptie aan bodemdeeltjes (o.a. Hassink, 1995).

In het model van Yang worden de hiervoor beschreven processen niet gemodelleerd, maar wordt de verouderingssnelheid per organisch materiaal gekarakteriseerd door de parameter S (zie verder).

De meeste overige modellen onderscheiden organische stof in verschillende pools met verschillende afbraaksnelheden. Zo onderscheidten Jenkinson & Rayner (1977) de organische stof in een actieve, een langzaam afbrekende en een passieve pool, die volledig worden afgebroken in respectievelijk 2, 50 en 1980 jaar. Paul & Van Veen (1978) en Van Veen & Paul (1981) verbeterden die organische stofmodellen door gewasmateriaal in gemakkelijk afbreekbare en resistente fracties te onderscheiden en het concept van fysische bescherming door bodemdeeltjes te introduceren. Ook Parton *et al.* (1987, 1993) hebben voortgebouwd op deze groep van multi-component modellen. Hassink & Whitmore (1997) hebben het concept van de fysische bescherming van organische stof verder uitgewerkt voor graslandgronden door aan te nemen dat elke grond een maximum capaciteit heeft om organische stof te beschermen en dat de mate van verzadiging van de beschermende capaciteit bepaalt in welke mate gewasresten fysiek worden beschermd tegen afbraak. Matus (1994) stelde echter vast dat textuur en structuur van de bodem in akkerbouwsystemen geen invloed heeft op de afbraaksnelheid van gewasresten, terwijl dat wel het geval was voor bodem organische stof.

Parton *et al.* (1996) onderscheidten nog een groep modellen die er vanuit gaan dat organisch materiaal dat wordt toegediend aan de bodem een continu substraat vormt (Ågren & Bossatta, 1987). Een bepaald type substraat wordt beschreven door een vast afbraakpatroon, wat voor allerlei typen substraat is vastgelegd in het model (Bossatta & Ågren, 1991 en Pastor & Post (1988)). Deze modellen

lijken veel op het model van Janssen (1984), waarbij de afbraakpatronen van de verschillende substraten door Janssen zijn samengevoegd in een afbraakcurve, door het toekennen van verschillende initiële leeftijden aan ieder substraat.

Daarnaast zijn er modellen die gericht zijn op een gedetailleerde beschrijving van nutriëntenkringlopen binnen het groeiseizoen (Hunt, 1977; McGill *et al.*, 1981; Molina *et al.*, 1983; Li *et al.*, 1992 en Sharpley & Williams, 1990a&b). In het algemeen zijn ze gebaseerd op de organische stofmodellen, maar ze zijn in bepaalde opzichten gedetailleerder. Zo beschrijven ze het bodemsysteem (actieve deel) soms heel gedetailleerd, zoals McGill *et al.* (1981) een gedetailleerde beschrijving geven van de C- en N-dynamiek van bacteriën, schimmels en actinomyceten. Ook de bodemvoedselweb-modellen vallen in deze categorie (De Ruiter *et al.*, 1993). Daarentegen wordt de grote pool aan bodem organische stof in deze modellen heel globaal beschreven als een resistente fractie. In de organische stofmodellen wordt die laatste pool onderverdeeld in een moeilijk afbreekbare fractie en een passieve pool, die op hun beurt verder worden onderverdeeld in fracties die al dan niet beschermd worden door bodemdeeltjes. De gedetailleerde microbiële dynamiek wordt in de organische stofmodellen vereenvoudigd weergegeven door een actieve pool van de bodem organische stof.

Door verschillende auteurs wordt de noodzaak aangegeven om de gedetailleerde nutriëntenmodellen, inclusief gewasgroeimodules, te integreren met de organische stofmodellen, in verband met het effect van de nutriëntenvoorziening op de gewasgroei en de massa en karakteristieken van verschillende gewasonderdelen (wortels, bovengrondse gewasresten, oogstproduct) die vervolgens weer van invloed is op de opbouw van organische stof (Parton *et al.*, 1996).

Het belangrijkste bezwaar van veel van de modelbenaderingen is dat er geen koppeling mogelijk is tussen de fracties die experimenteel worden bepaald met chemische dan wel fysische methoden, en de conceptuele pools die in de modellen worden onderscheiden! Het is in die gevallen dus niet mogelijk om de organische stof pools die in de modellen worden onderscheiden door een meting te bepalen. De consequentie hiervan is dat de organische stofmodellen alleen kunnen worden gevalideerd door een toetsing op basis van totale organische stofgehalten (Parton *et al.*, 1996).

In veel studies wordt er nogal wat energie besteed aan een betere afstemming tussen meetbare fracties en de fracties die in modellen worden onderscheiden (bijvoorbeeld Christensen, 1996; Elliott *et al.*, 1996). De indeling in fracties kan gebeuren op basis van biochemische karakteristieken (Sanger *et al.*, 1994), fracties die verschillen in soortelijk gewicht (Magid *et al.*, 1997) en/of deeltjesgrootte (Sohi *et al.*, 2001). Gaunt *et al.* (2000) stelden vast dat de chemische samenstelling van verschillende fracties die zijn bepaald met een fysische scheidingsmethode sterk verschilden. De verschillen in samenstelling waren vergelijkbaar voor een groot aantal gronden, wat er op wijst dat de methode algemeen toepasbaar is en kan dienen als basis voor modellering.

Een ander bezwaar van modellen die de N-mineralisatie beschrijven is dat de prestaties van de modellen vrijwel steeds afhankelijk zijn van een locatiespecifieke calibratie. Benbi & Richter (2002) zien het als een uitdaging voor de toekomst om modellen te ontwikkelen die ook goede prestaties leveren zonder zo'n locatiespecifieke calibratie en ze geven aan dat er behoefte is aan experimentele methoden om initiële waarden te leveren die kunnen worden gebruikt als input voor de modellen.

## **3. Kwaliteit van organische stof in de bodem**

### **3.1 Het belang van karakterisering van de kwaliteit van organische stof**

In het rapport over de toetsing van Minip kwam naar voren dat de mineralisatie uit de organische stof die al langer (langer dan 10 jaar) in de bodem zit onvoldoende nauwkeurig wordt beschreven (Postma & Van Dijk, 2004). Dit bleek uit een vergelijking van de gemeten en berekende N-mineralisatie in braakplotjes van Meterik. Het gebrek aan nauwkeurigheid kan worden toegeschreven aan het feit dat Minip vooral gericht is op de beschrijving van de opbouw en afbraak van jonge organische stof. De gebrekkige mogelijkheid van het model om de organische stof die op een bepaald moment aanwezig is in de grond te karakteriseren, wordt ondervangen door de effecten van het organische stofbeheer in een periode van 10 jaar voorafgaand aan het beschouwde moment door te rekenen, waarmee het model als het ware wordt geïnitieerd.

Het zou aantrekkelijk zijn als de kwaliteit van de organische stof die al langer in de bodem zit kan worden gekarakteriseerd door een meting, die als input kan dienen voor het model. Het probleem is dat met een 'normale' meting alleen het totale organische stofgehalte in de bodem of de totale C- en/of N-mineralisatie door die bodem wordt bepaald. Bij de meting van het totale gehalte kan geen onderscheid worden gemaakt tussen jonge en oude organische stof en ook bij een mineralisatiemeting zal het niet direct duidelijk zijn welk deel van de mineralisatie wordt veroorzaakt door jonge dan wel oude organische stof.

### **3.2 Methoden om de kwaliteit van de organische stof in de bodem te karakteriseren**

Er zijn in de literatuur diverse methoden beschreven om de organische stof te karakteriseren. De methoden hebben alle als doel onderscheid te maken naar actieve en passieve organische stof, waarbij de actieve fractie relatief makkelijk wordt afgebroken door micro-organismen, terwijl de passieve fractie vrijwel niet meer onderhevig is aan microbiële omzettingen. Binnen de actieve en de passieve pool kunnen weer allerlei gradaties en/of sub-pools worden onderscheiden.

De organische stof in de bodem bestaat uit een mengsel van plantaardig en dierlijk materiaal in verschillende afbraakstadia, uit bestanddelen die daaruit door chemische of biologische processen zijn gevormd, en uit levende of afgestorven micro-organismen en kleine dieren. Voor de eenvoud wordt organische stof in de bodem vaak onderverdeeld in humus en niet-humus. Niet-humus bestaat uit bestanddelen die nog herkenbare chemische en fysische eigenschappen hebben zoals koolhydraten, eiwitten, peptiden, aminozuren, vetten, wassen, alkanen en laag-moleculaire organische zuren. De meeste van deze bestanddelen worden relatief gemakkelijk door micro-organismen in de bodem afgebroken en hebben een korte levensduur.

Het grootste deel van de organische stof in de bodem bestaat echter uit humusbestanddelen. Dit zijn amorfe, donkergekleurde, hydrofiele, zure, deels aromatische, chemisch complexe organische bestanddelen, waarvan het moleculair gewicht fluctueert van enkele honderden tot enkele duizenden gram per mol (Schnitzer, 1982).

Als het gaat om de kwaliteit van de organische stof, is het van belang die kwaliteit te relateren aan een bepaalde eigenschap van de organische stof. Dit kan bijvoorbeeld het mineraliserend vermogen zijn of het vermogen van de organische stof om een bijdrage te leveren aan de kationen uitwisselingscapaciteit

(CEC) of de structuur van de bodem. Voor de mineralisatie is vooral de actieve organische stof van belang, voor de CEC vooral de passieve organische stof en voor de structuur kan zowel de actieve als de passieve pool een rol spelen.

De meeste methoden om de organische stof te karakteriseren zijn gebaseerd op chemische dan wel fysische scheidingsmethoden. De insteek kan zijn om de gehele voorraad aan organische stof in de bodem in te delen in fracties die bijvoorbeeld verschillen in de afbreekbaarheid, maar het doel kan ook zijn om alleen de actieve of gemakkelijk afbreekbare fractie te kwantificeren. Een voorbeeld van de laatste categorie is de extractie van (gemakkelijk) oplosbaar C en N (DOC en DON).

### 3.2.1 Chemische scheidingsmethoden

De chemische methoden voor de karakterisering van organische stof bestaan uit het gebruik van meerdere extractiemiddelen met uiteenlopende eigenschappen (Schnitzer, 1982). Op basis van hun oplosbaarheid in basische of zure oplosmiddelen worden humusbestanddelen onderverdeeld in drie fracties, te weten: i) HA, die oplosbaar is in een verdunde basische oplossing, maar die neerslaat door het aanzuren van de basische oplossing, ii) FA, die de humusfractie vertegenwoordigt die in oplossing blijft als het basische oplosmiddel wordt aangezuurd en dus zowel oplosbaar is in een verdunde basische als in een verdunde zure oplossing en iii) humine, wat de humusfractie is die niet wordt geëxtraheerd met een verdunde basische of zure oplossing. Vanuit de literatuur is bekend dat de drie humusfracties chemisch vergelijkbaar zijn, maar dat ze verschillen in het moleculair gewicht, de precieze samenstelling en het gehalte aan functionele groepen, waarbij FA een lager moleculair gewicht en een hoger gehalte aan O-houdende functionele groepen per gewichtseenheid bevat dan de andere twee humusfracties. Alle humusfracties zijn relatief resistent tegen microbiële afbraak en kunnen stabiele water-oplosbare en water-onoplosbare complexen vormen met metaal-ionen en hydroxiden en alle humusfracties kunnen zich binden aan kleiplaatjes (Schnitzer, 1982). Er kan dan ook worden geconcludeerd dat de chemische scheidingsmethoden van beperkte waarde lijken te zijn voor het karakteriseren van het mineraliserend vermogen van de organische stof.

### 3.2.2 Fysische scheidingsmethoden

Fysische scheidingsmethoden maken onderscheid tussen fracties in organische stof op basis van het soortelijk gewicht en/of de deeltjesgrootte. Het principe is gebaseerd op de veranderingen die optreden bij de omzetting van organisch materiaal, nadat het op of in de grond terechtkomt. Het meeste organisch materiaal is aanwezig in plantenresten in de vorm van bovengrondse massa, wortels, wortel-exudaten, etc. De koolstof in die resten komt voor in uiteenlopende verbindingen, van zeer makkelijk afbreekbaar cytoplasma-materiaal tot resistenter celwand-materiaal. Nadat het materiaal op of in de grond terechtkomt ondergaat het chemische en fysische veranderingen en wordt de organische C omgezet in CO<sub>2</sub> of wordt het gestabiliseerd door humificatie en kan het verbindingen vormen met minerale bestanddelen.

Een conceptueel model voor de afbraak van vers organisch materiaal beschrijft de omzetting in gestabiliseerde organische stof via de lichte fractie en macro-organische stof (Hassink, 1995; Gregorich & Janzen, 1996). De fractionering is gebaseerd op het fenomeen dat organisch materiaal dat aan de grond wordt toegevoerd steeds verder wordt verkleind door bodemorganismen en dat het soortelijk gewicht van de organische stof die overblijft in de grond toeneemt doordat het in steeds grotere mate wordt gebonden aan minerale delen (voornamelijk klei- en siltdeeltjes).

De vrije of niet-gecomplexeerde organische stof in grond is organische stof die geen vergaande omzettingen heeft ondergaan en die kan worden gescheiden via dichtheid, waarbij gebruik wordt gemaakt van vloeistoffen met een hoge dichtheid (1,5-2,0 g cm<sup>-3</sup>) of via deeltjesgrootte (50 – 2000 μm) met behulp van een zeef. De laatste fractie wordt ook wel particulate organic matter (POM) genoemd (bijvoorbeeld

Wilson *et al.*, 2001). Hassink (1995) onderscheidde twee grootte-fracties en drie dichtheidsfracties van de macro-organische stof (>150  $\mu\text{m}$ ). De afbraaksnelheid van de fracties nam af van de lichte fractie naar de zware fractie en hetzelfde gold voor de C/N-ratio. De lichte fractie bestond uit gedeeltelijk afgebroken gewasresten met een hoge C/N-ratio. De afbraaksnelheden van de fracties die werden vastgesteld werden niet beïnvloed door de bodemtextuur (die is er al in verwerkt) (Hassink, 1995). Zwart *et al.* (1999) vonden geen duidelijke relatie tussen de lichte fractie en de N-mineralisatie in tuinbouwgronden.

Vrije organische stof kan dienen als energiebron voor heterotrofe organismen en als een reservoir van relatief labiele C en nutriënten. Daarbij zijn er verschillen tussen de lichte fractie en de macro-organische stof, waarbij de macro-organische stof deels kan bestaan uit organische stof die als coatings op zandkorrels aanwezig is. Omdat de lichte fractie homogener van samenstelling is, lijkt die fractie geschikter om onderscheid te maken tussen labiele en stabiele organische stoffracties. De lichte fractie geeft waarschijnlijk een beter beeld van de veranderingen die optreden tijdens de afbraak en de humificatie van organisch materiaal (Gregorich & Janzen, 1996). Door verschillende auteurs is dan ook voorgesteld dat de lichte fractie kan worden gebruikt als indicator voor de bodemkwaliteit en dat het een indruk geeft van de mineralisatiesnelheid (Alvarez & Alvarez, 2000) en van veranderingen die optreden in de organische stofhuishouding. Zo is gebleken dat de lichte fractie veel sterker reageert op veranderingen in het organische stofbeheer dan het totale organische stofgehalte.

Het is niet duidelijk of een verandering in de lichte fractie een voorspellende waarde heeft ten aanzien van de verandering in het totale gehalte aan organische stof. Een toename in het gehalte van de lichte fractie geeft in het algemeen aan dat er sprake is van verhoogde niveaus van labiele organische stof, maar de eventuele omzetting van de labiele C in stabiele organische stof is niet nauwkeurig beschreven (Gregorich & Janzen, 1996).

### 3.2.3 Extractie van oplosbaar C en N

Er wordt de laatste tijd door diverse onderzoekers vrij veel aandacht besteed aan de relatie tussen oplosbaar organisch C en/of N enerzijds en de C- en/of N-mineralisatie anderzijds (Nunan *et al.*, 2001; Wang-Weijin *et al.*, 2001; Velthof, 2003; Zwart, 2003). Evenals bij de lichte fractie bij de fysische scheidingsmethoden wordt in het algemeen een goede relatie gevonden met de C- en N-mineralisatie, maar is nog onvoldoende bekend hoe het mechanisme werkt. Zo gaf Velthof (2003) aan dat de hoeveelheid N die wordt geëxtraheerd met een 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ -extract kleiner is dan de totale hoeveelheid N die vrij komt door N-mineralisatie en dat het er op lijkt dat de opgeloste organische N-fractie een evenwicht vormt met de totale organische N-pool in de grond.

In het vorige hoofdstuk is reeds aangegeven dat de fracties die met de diverse methoden kunnen worden onderscheiden in het algemeen niet terugkomen in de modellen. Toch zou het interessant zijn als er op een of andere manier een koppeling tot stand kan worden gebracht tussen de fractionering van organische stof in de bodem en de pools in modellen, of met de mineralisatie die wordt berekend met modellen. Dit zou kunnen worden gerealiseerd middels regressie-analyse, waarmee het verband tussen een bepaalde fractionering en de N-mineralisatie wordt beschreven. Die kan dan dienen als input voor het model.





## 4. Beschrijven van de C- en N-mineralisatie van gewasresten

De N-mineralisatie uit gewasresten is een belangrijk thema in het kader van de N-verliezen die na het eind van het groeiseizoen optreden in de vorm van uitspoeling naar het grondwater en/of in de vorm van gasvormige N-verliezen via het proces van denitrificatie en/of ammoniakvervluchtiging (bijvoorbeeld Van Erp *et al.*, 1993; Whitmore, 1996). Ook in Tmt krijgt dit onderwerp de nodige aandacht (Smit & Zwart, 2003; De Ruijter & Postma, 2004; Postma & Van Dijk, 2004).

In het rapport over de toetsing van het model Minip (Postma & Van Dijk, 2004) kwam naar voren dat het model het verloop van de C- en N-mineralisatie uit gewasresten, zoals die door Alterra is bepaald in incubatiestudies (Smit & Zwart, 2003), niet erg nauwkeurig beschreef. Het C-mineralisatiepatroon van ijssla en Chinese kool werd niet goed beschreven en de N-mineralisatie uit de resten van deze gewassen werd onderschat: in werkelijkheid verliep die veel sneller dan werd voorgesteld volgens de modelberekeningen.

Verschillende auteurs rapporteren de prestaties van modellen voor het beschrijven van de N-mineralisatie (Whitmore, 1996; Greenwood *et al.*, 1996; De Neve & Hofman, 1996; Nicolardot *et al.*, 2001). In het algemeen wordt de C/N-ratio genoemd als de belangrijkste parameter voor de hoogte en de dynamiek van de N-mineralisatie (Nicolardot *et al.*, 2001). Sommigen geven aan dat de beschrijving verbeterd als naast de C/N-ratio ook rekening wordt gehouden met het lignine-gehalte en het gehalte aan polyfenolen (bijvoorbeeld Kumar & Goh, 2003; Whitmore & Groot, 1997). Zo hebben Whitmore & Groot (1997) de N-mineralisatie uit een aantal gewasresten met uiteenlopende eigenschappen bestudeerd. Ze onderscheidden bietenkop, bietenblad, kool en spinazie, waarbij de totale N-toediening met het materiaal varieerde van 37 (bietenkop) tot 133 (spinazie) mg N per kg grond, het NO<sub>3</sub>-gehalte van 3 (bietenblad) tot 7% van het totale N-gehalte (bietenkop), de C/N-ratio van 6 (spinazie) tot 69 (bietenkop) en het drogestofgehalte van 6 (spinazie) tot 21,5% (bietenkop). Ze stelden vast dat de hoeveelheid N die met de gewasresten werd toegediend de belangrijkste voorspeller was van de vrijgekomen hoeveelheid N (67,6% verklaarde variantie), en dat opname van de C/N-ratio (verhoging van percentage verklaarde variantie tot 95,4) en het lignine-gehalte (verhoging tot 99,7%) de beschrijving van de N-mineralisatie door het model verbeterden. Verder stelden ze vast dat het voor de N-mineralisatie vrijwel niet uitmaakte of de gewasresten al dan niet werden fijngemaakt, voordat ze aan de grond werden toegediend. Ze concludeerden dat meer aandacht voor resistente fracties in gewasresten (bijvoorbeeld Verberne *et al.*, 1990) het simulatiemodel zou kunnen verbeteren.

Recous *et al.* (1995) hebben aangetoond dat de afbraak van veel gewasresten in de praktijk wordt bepaald door de beschikbaarheid van N-mineraal in de grond, aangezien die N in veel gevallen van invloed is op de omzettingssnelheid van vers organisch materiaal. Trindsoutrot *et al.* (2000) stelden vast dat er bij C/N-ratio's groter dan 10, in ieder geval tijdens de beginfase van de omzetting, N-immobilisatie plaatsheeft, terwijl in de literatuur meestal wordt beschreven dat al netto N-mineralisatie optreedt als C/N-ratio's lager zijn dan 25.

Trindsoutrot *et al.* (2000) concludeerden verder dat het nodig is om informatie over de biochemische kwaliteit van gewasresten op te nemen in mechanistische modellen die de C- en N-omzettingen beschrijven. Zo stelden ze vast dat de C-mineralisatie gedurende de eerste 7 dagen in een incubatiestudie gerelateerd was aan het gehalte aan gemakkelijk oplosbaar C in de materialen. Naarmate de incubatie vorderde werd dit verband echter minder duidelijk, wat ze toeschreven aan het feit dat de gemakkelijk oplosbare C reeds was gemineraliseerd.

Ze stelden dat het voor toepassingsgerichte modellen voor landbouwkundige doeleinden voldoende is om het N-gehalte of de C/N-ratio van het gewasmateriaal te weten voor een adequate beschrijving van de verwachte netto N-mineralisatie. Ze stellen dan ook voor dat de beschrijving van de kwaliteit van gewasresten in veel modellen kan worden versimpeld tot het opnemen van de C/N-ratio. Dezelfde conclusie zou je ook kunnen trekken op basis van de studie van Whitmore & Groot (1997), aangezien in die studie reeds 95,4% van de variantie werd verklaard door de N-aanvoer en de C/N-ratio van gewasresten en dat de additionele term voor de aanwezigheid van resistente verbindingen leidde tot 'slechts' 4% extra verklaring van de variantie.

De Neve & Hofman (2002) hebben de N-mineralisatie uit bodem organische stof en gewasresten bestudeerd bij verschillende vochtgehalten. Ze stelden vast dat het effect van vochtgehalte voor de N-mineralisatie uit bodem organische stof groter was dan voor de N-mineralisatie uit gewasresten, wat ze toeschreven aan het feit dat ze met verse gewasresten werkten, die al een zekere hoeveelheid vocht in zich hadden, waardoor de effecten van vochttoediening enigszins werden genivelleerd.

### **Concluderend**

Voor een voorspelling van de totale N-mineralisatie uit gewasresten in toepassingsgerichte modellen geeft de totale hoeveelheid C die met de gewasresten wordt aangevoerd, in combinatie met de C/N-ratio voldoende informatie. Hierin voorziet het model Minip.

Voor een meer gedetailleerde beschrijving van het verloop van de C- en N-mineralisatie is echter gebleken dat Minip niet erg nauwkeurig is. Hiervoor is een verfijning gewenst. Het gehalte aan lignine of polyfenolen lijkt hiervoor de beste perspectieven te bieden.

## 5. Aanpassingen van Minip voorgesteld door Yang

### 5.1 Principe van het aangepaste model

Yang (1996) heeft verder gewerkt met het concept van Minip, het model van Janssen (1984), om het verloop van de afbraaksnelheid te beschrijven met een eerste orde model met variabele  $k$ .

$$dY / dt = -kY \quad (1)$$

waarbij  $dY/dt$  staat voor de verandering van de hoeveelheid  $C$  ( $Y$ ) in de tijd ( $t$ ), waarbij  $k$  gelijk is aan de relatieve mineralisatiesnelheid. Integratie van deze vergelijking leidt tot:

$$Y_t = Y_0 \cdot e^{(-k \cdot t)} \quad (2)$$

De relatieve mineralisatiesnelheid  $k$  wordt in Minip als volgt beschreven:

$$k = 2,82 (a + t)^{-1,6} \quad (3)$$

waarbij 'a' de initiële leeftijd is, die specifiek is voor het type organisch materiaal.

Substitutie van  $k$  uit (3) in (2) leidt (volgens afleiding beschreven in Janssen (2002)) tot:

$$Y_t = Y_0 \cdot e^{(4,7[(a+t)^{-0,6} - a^{-0,6}])} \quad (4)$$

De beginwaarde van  $k$  bij de afbraak van een bepaald type organisch materiaal wordt in Minip dus bepaald door de waarde van 'a'.

De door Yang voorgestelde verandering houdt in dat de  $k$ -waarde niet meer wordt bepaald door 'a', maar door twee parameters die specifiek zijn voor het organisch materiaal, te weten  $R$  en  $S$ .

In het model van Yang wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen  $k$  en  $K$ , waarbij  $K$  staat voor de gemiddelde relatieve mineralisatiesnelheid tussen een tweetal tijdstappen  $t-1$  en  $t$ , terwijl  $k$  staat voor de actuele relatieve mineralisatiesnelheid op tijdstip  $t$ .

Uitgangspunt van het model van Yang is de relatie

$$\log(K) = \log(R) - S \cdot \log(t) \quad (5)$$

of

$$K = R \cdot t^{-S} \quad (6)$$

waarin  $R$  (initiële  $K$  voor  $0 < t < 1$ , dimensie  $t^{S-1}$ ) en  $S$  ('verouderingssnelheid' ofwel helling, dimensieloos,  $0 \leq S \leq 1$ ) regressieconstanten zijn. Substitutie van  $K$  uit (6) in (2) leidt weer tot de formule voor het berekenen van de overgebleven hoeveelheid organisch materiaal:

$$Y_t = Y_0 \cdot e^{(-R \cdot t^{1-S})} \quad (7)$$

De  $k$  kan worden afgeleid uit  $K$  volgens

$$k = (1 - S) \cdot K \quad (8)$$

Aangezien de relatieve mineralisatiesnelheid afneemt ( $0 < S \leq 1$ ) of constant is ( $S = 0$ ) met de tijd, geldt automatisch altijd dat  $k \leq K$ .

Eventuele temperatuurseffecten kunnen in het model worden opgenomen. Hiertoe dient eerst  $R_9$ , de gemiddelde relatieve mineralisatiesnelheid tussen twee tijdstippen  $t-1$  en  $t$  bij een temperatuur van  $9^\circ\text{C}$ , bepaald te worden volgens

$$R_9 = R \cdot f^{S-1} \quad (9)$$

ofwel

$$R = R_9 \cdot f^{1-S} \quad (10)$$

waarbij  $f$  de temperatuurscorrectiefactor is. Deze is door Yang (1996) als volgt gedefinieerd:

$$f = 0 \quad \text{voor} \quad T \leq -1^\circ\text{C}$$

$$f = 0.1 \cdot (T+1) \quad \text{voor} \quad -1 < T \leq 9^\circ\text{C}$$

$$f = 2^{(T-9)/9} \quad \text{voor} \quad 9 < T \leq 27^\circ\text{C}$$

$$f = 4 \quad \text{voor} \quad T > 27^\circ\text{C}$$

Vervolgens kunnen voor elke willekeurige temperatuur de waarden van  $K$ ,  $k$  en  $Y_t$  berekend worden door substitutie van  $R$  uit (10) in (6), (8) en respectievelijk (7):

$$K = R_9 \cdot f \cdot (f \cdot t)^{-S} \quad (11)$$

$$k = (1 - S) \cdot R_9 \cdot f \cdot (f \cdot t)^{-S} \quad (12)$$

$$Y_t = Y_0 \cdot e^{(-R_9 \cdot (f \cdot t)^{-S})} \quad (13)$$

Voor een meer uitvoerige beschrijving van het (afleiden van het) model van Yang, zie Yang (1996).

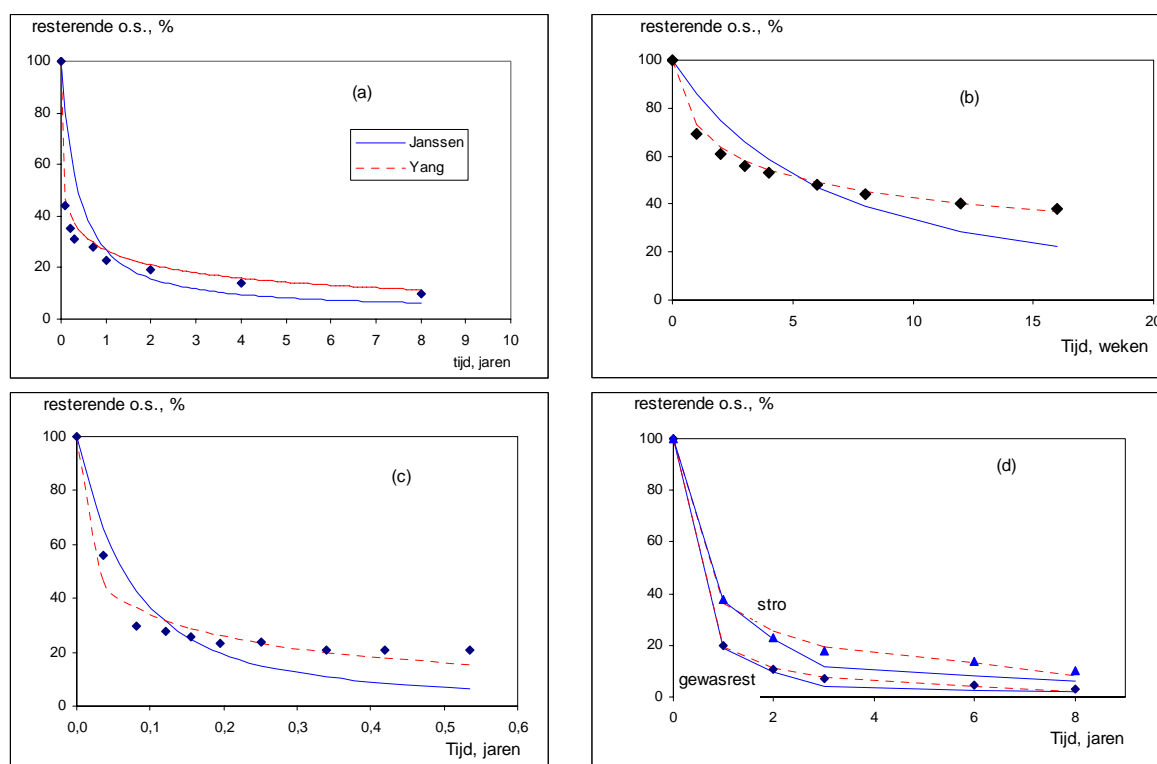
## 5.2 Vergelijking Janssen vs. Yang voor beschrijving organische stofafbraak

De prestaties van de modellen van Janssen en Yang zijn vergeleken door voor een aantal uiteenlopende materialen (gewasresten, stro en bodem organische stof) te kijken naar de wijze waarop de organische stofafbraak wordt beschreven. Hierbij is gebruik gemaakt van informatie uit een afstudeerverslag voor de sectie Bodemkwaliteit, waarvoor het praktische werk bij NMI is uitgevoerd (Van Schaik, 2003). De datasets die zijn gebruikt voor de vergelijking van de modellen zijn beschreven in de literatuur. Enkele karakteristieken van de gebruikte datasets zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Beschrijving van enkele karakteristieken van de gebruikte datasets.

Dataset	Locatie	Materiaal	Type proef	Duur proef	T (°C)
Berg <i>et al.</i> , 1987	Zweden	wortelresten rode klaver	incubatie/potproef	195 dagen	22
Kolenbrander, 1969	Duitsland	diverse gewasresten, stro	veldproef	8 jaar	-
Ladd <i>et al.</i> , 1985	Australië	gewasresten	veldproef	8 jaar	-
Martin <i>et al.</i> , 1974	Greenfield, VS	haverstro	incubatie/potproef	16 weken	22
Dam Kofoed, 1982	Denemarken	bodem organische stof	veldproef	65 jaar	-
Jenkinson & Rayner, 1977	Rothamsted, UK	bodem organische stof	veldproef	10 jaar	-
Kortleven, 1963	Nederland	bodem organische stof	veldproef	22 jaar	-

De coëfficiënten in de modellen (a voor Minip; R en S voor model Yang) zijn afgeleid uit de datasets op basis van niet-lineaire regressie, met behulp van het statistische rekenprogramma Genstat (Genstat 5 Committee, 1994). De resultaten van de afbraak van organische stof uit gewasresten uit de vier relevante datasets uit Tabel 1 en de beschrijving door Minip en Yang (gefite curves) zijn weergegeven in Figuur 1.



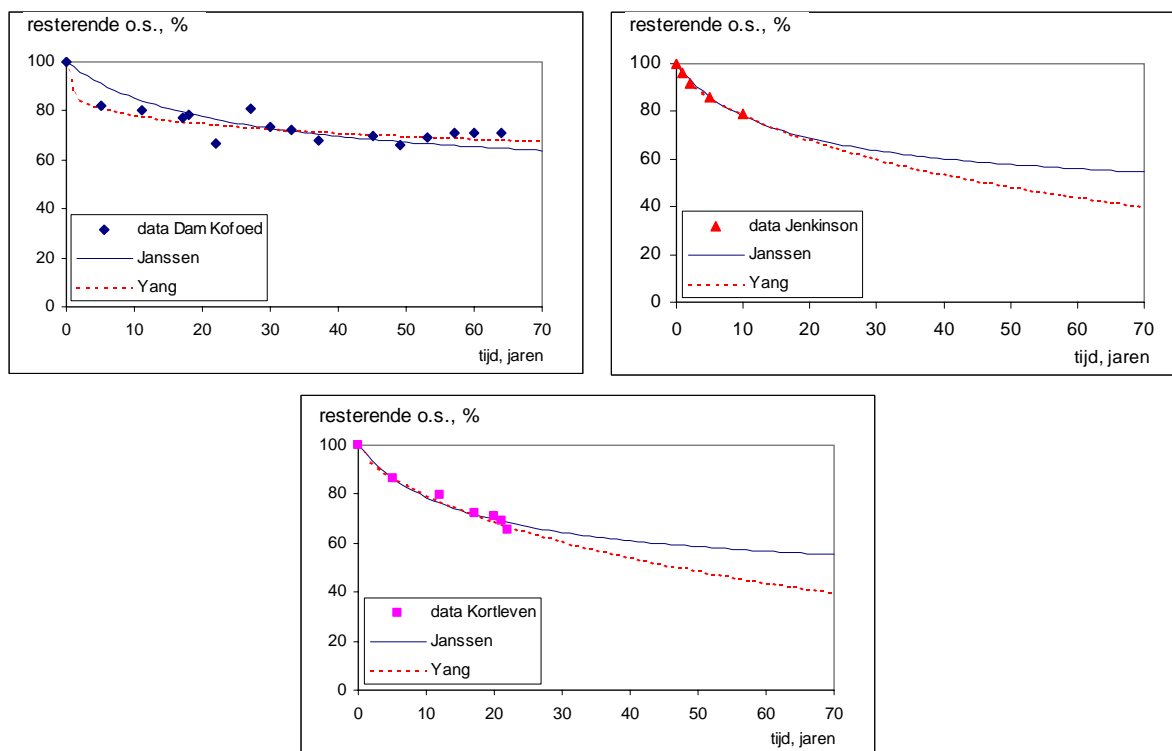
Figuur 1. Vergelijking van meetpunten met berekeningen uitgevoerd met de modellen van Janssen (—) en Yang (---) voor vijf datasets met gewasresten (*Medicago littoralis* (a) uit Ladd *et al.* (1985), haverstro (b) uit Martin *et al.* (1974), wortelresten klaver (c) uit Berg *et al.* (1987) en gewasresten en stro (d), Kolenbrander (1969).

Op basis van de niet-lineaire regressie die is uitgevoerd in Genstat zijn voor de vier datasets met gewasresten coëfficiënten afgeleid voor 'a' in Minip en voor 'R<sub>9</sub>' en 'S' in model Yang (Tabel 2).

Tabel 2. Resultaten van de niet-lineaire regressie: afgeleide waarden voor 'a' uit Minip en voor 'R' en 'S' uit model Yang en het percentage verklaarde variantie (R<sup>2</sup>) voor uiteenlopende materialen.

Dataset	Materiaal	a	R <sup>2</sup>	R <sub>9</sub>	S	R <sup>2</sup>
Kolenbrander, 1969	stro	1,54	99,9	1,02	0,57	99,7
Martin <i>et al.</i> , 1974	haverstro	0,96	65,2	1,07	0,66	99,8
Berg <i>et al.</i> , 1987	wortelresten van rode klaver	0,72	85,3	1,65	0,67	95,9
Kolenbrander, 1969	gewasresten	1,00	100,0	1,64	0,58	100,0
Ladd <i>et al.</i> , 1985	Medicago littoralis ('luzerne')	1,48	97,5	1,18	0,76	99,9
Dam Kofoed, 1982	bodem organische stof	20,7	60,7	0,14	0,76	81,4
Jenkinson & Rayner, 1977	bodem organische stof	14,8	98,5	0,049	0,31	99,6
Kortleven, 1963	bodem organische stof	15,2	97,8	0,042	0,28	98,5

Uit Tabel 2 blijkt dat het percentage verklaarde variantie bij model Yang voor de hier gepresenteerde datasets en materialen (gewasresten, stro en bodem organische stof) vrijwel steeds hoger was dan bij Minip. De resultaten van de beschrijving van de afbraak van bodem organische stof zijn weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2. Beschrijving van de afbraak van bodem organische stof met de modellen van Janssen en Yang voor 3 datasets: a) uit Dam Kofoed (1982), b) uit Jenkinson & Rayner (1977) en c) uit Kortleven (1963). De modellen zijn gefit op de data.

Uit het voorgaande kan worden geconcludeerd dat model Yang voor het beschrijven van de organische stofafbraak in individuele datasets betere prestaties levert dan Minip (de  $R^2$  in Tabel 2 is hoger). Er kan echter niet worden geconcludeerd dat model Yang betere prestaties levert voor het voorspellen van de organische stofafbraak in andere datasets. Daartoe dient een andere toets te worden uitgevoerd.

### 5.3 Vergelijking Janssen vs. Yang bij het gebruik van vaste parameterwaarden

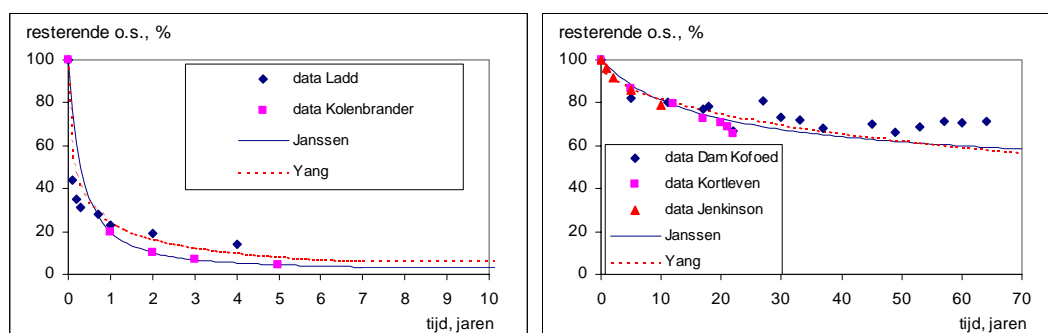
Yang (1996) en Janssen (2002) hebben voor het uitvoeren van de hiervoor genoemde toets een voorstel gedaan voor het gebruik van vaste waarden voor de coëfficiënten voor een aantal categorieën van organische materialen (Tabel 3).

Tabel 3. Voorgestelde waarden voor de coëfficiënten 'a', 'R' en 'S' bij het gebruik van de modellen voor het voorspellen van de afbraak van organisch materiaal.

Categorie	Janssen (Minip)	Yang	
	A	$R_0$	S
Stro	1,41	1,11	0,66
Gewasmateriaal	0,99	1,39 <sup>1)</sup>	0,64
Bodem organische stof	17,00	0,057	0,46
Stalmest	2,45	0,82	0,49

<sup>1)</sup> groenbemester

Door het vergelijken van de op deze wijze gesimuleerde organische stofafbraak met meetgegevens van afwijkende datasets kan een indicatie worden verkregen van de prestaties van de modellen. We hebben ons hier beperkt tot een vergelijking met de eerder genoemde datasets (Figuur 3).



Figuur 3. Verloop van de afbraak van organische stof uit gewasresten (links) en bodem organische stof (rechts). Vergelijking van meetresultaten (samengevoegd uit meerdere datasets) en berekeningen met de modellen van Janssen en Yang, uitgaande van vaste waarden voor de parameters a, R en S.

Voor een kwantitatieve beoordeling van de prestaties van de modellen voor het beschrijven van de afbraak van organische stof bij het gebruik van vaste waarden voor de parameters is hierna gebruik gemaakt van de volgende statistische kengetallen (Smith *et al.*, 1996):

- The Sample correlation coefficient ( $r$ ), die als volgt wordt berekend:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{O_i} - \bar{Y}_O)(Y_{P_i} - \bar{Y}_P)}{\left[ \sum_{i=1}^n (Y_{O_i} - \bar{Y}_O)^2 \right]^{1/2} \left[ \sum_{i=1}^n (Y_{P_i} - \bar{Y}_P)^2 \right]^{1/2}}$$

waarbij:  $\bar{Y}_O$  = waargenomen resultaat  
 $\bar{Y}_P$  = voorspelde resultaat  
 $\bar{Y}_O$  = gemiddelde waargenomen resultaat  
 $\bar{Y}_P$  = gemiddelde voorspelde resultaat.

- Root Mean Square Error (RMSE), die wordt berekend als:

$$RMSE = \frac{100}{\bar{Y}_O} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{P_i} - Y_{O_i})^2 / n}$$

- Modelling efficiency (EF), die wordt berekend als:

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{O_i} - \bar{Y}_O)^2 - \sum_{i=1}^n (Y_{P_i} - Y_{O_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{O_i} - \bar{Y}_O)^2}$$

Voor een uitgebreide beschrijving van de kengetallen en de betekenis ervan verwijzen we naar (Smith *et al.*, 1996). Optimaal is een  $r$  van 1, een zo laag mogelijke RMSE en een EF van 1.

De resultaten van de verschillende kengetallen zijn voor de modellen Minip en Yang voor de drie datasets met de afbraak van bodem organische stof weergegeven in Tabel 4 en voor twee datasets met de afbraak van gewasresten in Tabel 5.

Tabel 4. Kengetallen voor de prestaties van de modellen Minip en Yang met gebruik van vaste parameters voor het beschrijven van de afbraak van bodem organische stof uit drie datasets.

Kengetal	Dam Kofoed, 1982		Jenkinson & Rayner, 1977		Kortleven, 1963	
	Minip	Yang	Minip	Yang	Minip	Yang
R	0,75	0,74	1,00	1,00	0,97	0,98
RMSE	15,9	14,9	1,99	1,70	4,27	6,66
EF	-1,03	-0,78	0,89	0,92	0,80	0,51



Tabel 5. Kengetallen voor de prestaties van de modellen van Janssen en Yang met gebruik van vaste parameters voor het beschrijven van de afbraak van gewasresten uit 2 datasets.

Kengetal	Ladd <i>et al.</i> , 1985		Kolenbrander, 1969	
	Minip	Yang	Minip	Yang
r	0,95	0,99	1,00	0,99
RMSE	66,9	26,8	2,38	53,68
EF	0,57	0,93	1,00	0,88

Op basis van de gepresenteerde kengetallen in Tabel 4 en 5 blijkt dat de modellen van Janssen (Minip) en Yang vergelijkbare prestaties leveren voor de voorspelling van de afbraak van organische stof in de bodem en van gewasresten. Zo werden de volgende effecten vastgesteld bij de beschrijving van de afbraak van bodem organische stof:

- voor de dataset van Dam Kofoed (1982) was er vrijwel geen verschil tussen Minip en Yang;
- de resultaten van Jenkinson & Rayner (1977) werden met Yang iets beter beschreven dan met Minip;
- de resultaten van Kortleven (1963) werden met Minip wat beter beschreven dan met Yang.

Bij de afbraak van gewasresten was de situatie als volgt:

- de dataset van Ladd *et al.* (1985) werd wat beter beschreven met Yang dan met Minip;
- de dataset van Kolenbrander (1969) werd met Minip beter beschreven dan met Yang.

## 5.4 Gegevens Telen met toekomst

Alterra heeft metingen verricht aan de C-mineralisatie van bodem organische stof in braakplotjes van Vredepeel en Meterik en aan gewasresten. De metingen zijn in 2 sessies uitgevoerd, namelijk in najaar 2001 en in voorjaar 2002 (Smit & Zwart, 2003). De gemiddelden van de overgebleven hoeveelheden organische stof, uitgedrukt als percentage van de oorspronkelijk aanwezige hoeveelheden, zijn per beschouwd object weergegeven in Bijlage I.

Deze resultaten zijn gebruikt om a-waarden en R- en S-waarden voor bodem organische stof en gewasresten af te leiden door niet-lineaire regressie met behulp van Genstat. De resultaten die zijn gebaseerd op de meetgegevens van 2001 zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6. Resultaten van de niet-lineaire regressie: afgeleide waarden voor 'a' uit Minip en voor 'R' en 'S' uit model Yang en het percentage verklaarde variantie ( $R^2$ ) voor bodem organische stof en gewasresten; op basis van metingen door Alterra in najaar 2001 (Smit & Zwart, 2003).

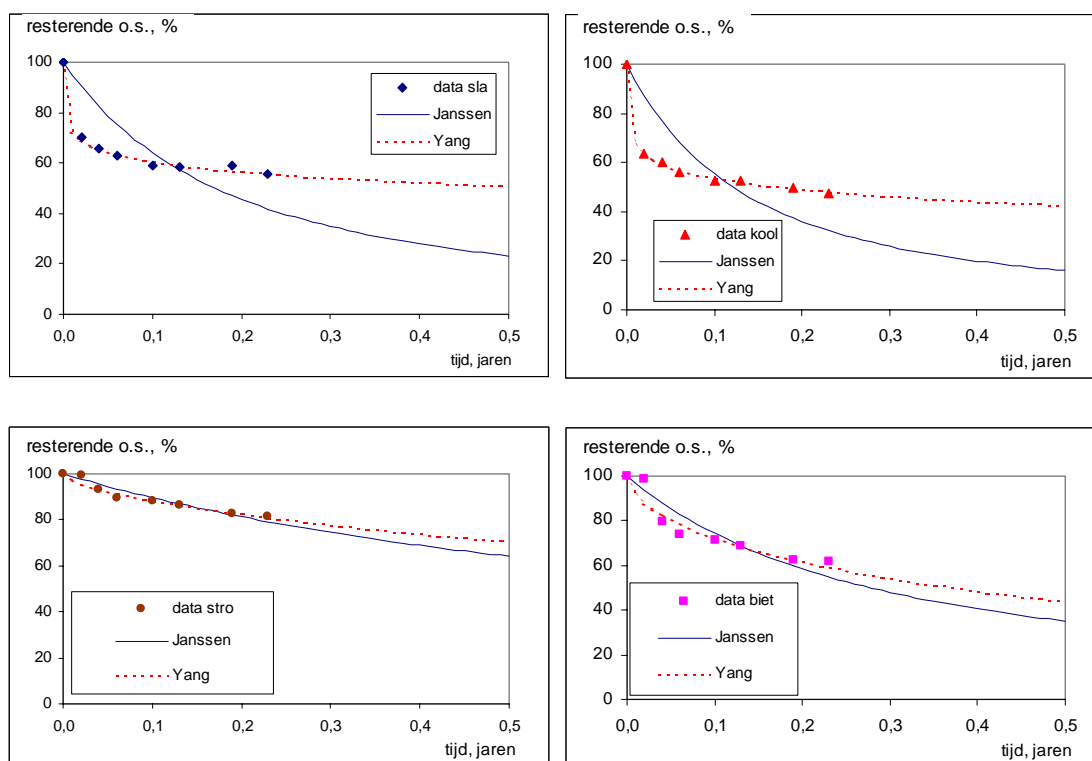
Materiaal	Specificatie	a	$R^2$	$R_9$	S	$R^2$
Bodem organische stof	Vredepeel 18.2	19,1	96,8	0,0204	0,211	98,8
Bodem organische stof	Vredepeel 28.2	19,7	97,8	0,0200	0,178	99,2
Bodem organische stof	Meterik 22	16,8	98,2	0,0262	0,162	99,2
Bodem organische stof	Meterik 26	15,7	84,4	0,02278	0,4271	98,9
Gewasrest	sla	1,165	12,6	0,6569	0,8126	99,1
Gewasrest	Chinese kool	0,958	24,7	0,8273	0,8056	99,7
Gewasrest	stro	2,956	89,1	0,3170	0,3518	94,2
Gewasrest	suikerbietenblad	1,531	82,5	0,752	0,418	88,5

Uit Tabel 6 blijkt dat zowel Minip als model Yang een vrij goede beschrijving van de meetdata van bodem organische stof geeft ( $R^2 > 0,80$ ). Voor Yang is de beschrijving steeds iets beter dan voor Minip, wat blijkt uit de hogere waarden voor  $R^2$ . De a-waarden voor de organische stof van percelen van Meterik zijn lager dan van Vredepeel en de  $R_9$ -waarden van Meterik zijn hoger dan van Vredepeel, wat erop wijst dat de organische stof op Meterik sneller afbreekt dan op Vredepeel. De a-waarden liggen op Meterik op een vergelijkbaar niveau dan die voorgesteld door Minip, maar ze liggen op Vredepeel wat hoger dan de door Minip voorgestelde waarde van 17.

Voor gewasresten is de situatie met name voor sla en Chinese kool voor de modellen van Yang en Minip nogal verschillend. Minip beschrijft de afbraak van deze gewasresten slecht, met waarden voor  $R^2 < 0,25$ . Gebruik van het model Yang leidt echter tot een zeer goede beschrijving ( $R^2 > 0,99$ ). Voor de beschrijving van de afbraak van stro en suikerbietenblad waren de verschillen tussen de modellen minder groot. Wel leidde het model Yang steeds tot een wat hogere  $R^2$  dan Janssen. De resultaten van de metingen voor de vier gewasresten en die van de berekeningen met Minip en het model Yang, met parameters die zijn afgeleid met niet-lineaire regressie, zijn weergegeven in Figuur 4.

De resultaten van de C-mineralisatie die zijn bepaald in het voorjaar van 2002 zijn op een andere manier bepaald dan die uit het najaar van 2001 (Smit & Zwart, 2003). In plaats van vastlegging van de  $CO_2$  in verdund natronloog (0,5 M), zoals dat in het najaar van 2001 is gedaan, werd de C-mineralisatie in het voorjaar van 2002 gemeten met een gasmonitor. Daarbij werden de potten tijdens de incubatie steeds gedurende 1 dag afgesloten en werd de  $CO_2$ -productie gedurende die dag gemeten. Smit & Zwart (2003) gaven aan dat de op deze wijze verkregen meetwaarden minder betrouwbaar waren en weten dat aan de wisselende vochttoestanden gedurende de incubatieperiode.

De meetwaarden waren compleet verschillend van die uit najaar 2001 (Bijlage I). De op deze wijze bepaalde C-mineralisatie in de gronden was veel hoger dan die bepaald met de natronloog-methode in najaar 2001. Merkwaardig genoeg kwam er uit gewasresten door respiratie (veel) meer  $CO_2$  vrij dan er als organisch C met de gewasresten was toegediend. Daarom was een betrouwbare afleiding van de parameters a, R en S op basis van de gegevens uit het voorjaar 2002 niet mogelijk. Deze resultaten zullen dan ook niet verder in beschouwing worden genomen.



Figuur 4. Beschrijving van de gemeten afbraak van sla, Chinese kool, stro en suikerbietenblad (Smit & Zwart, 2003) door de modellen van Minip en Yang. De waarden voor de parameters  $a$ ,  $R$  en  $S$ , zoals afgeleid met niet-lineaire regressie (Tabel 6), zijn gebruikt in de modellen.

### Samenvattend

- De afbraak van bodem organische stof en gewasresten in individuele datasets die zijn beschreven in de literatuur, worden beter beschreven door model Yang dan door Minip. De benodigde modelparameters zijn daarbij afgeleid door niet-lineaire regressie.
- Bij het gebruik van vaste waarden voor modelparameters voor uiteenlopende materialen zijn de prestaties van model Yang niet meer zoveel beter dan die van Minip. Mogelijk is dit het gevolg van een te globale klassenindeling van typen organisch materiaal, waardoor het onderscheidend vermogen van de methode, die in principe in staat is tot een betere beschrijving van de afbraak van organische stof, niet duidelijk naar voren komt. Een differentiatie binnen de categorieën gewasresten, organische mesten en bodem organische stof lijkt hier gewenst.
- Uit gegevens over de afbraak van gewasresten die in het kader van Telen met toekomst door metingen zijn verzameld, blijkt dat de afbraakcurves van sla en Chinese kool nogal afweken van die van stro en bietenblad. De curves van sla en Chinese kool werden veel beter beschreven door model Yang dan door Minip. Verder was de afbraaksnelheid van bodem organische stof van de percelen van Meterik hoger dan die van Vredepeel. In alle gevallen beschreef model Yang de afbraak beter dan Minip.



## 6. Evaluatie

### 6.1 Algemeen

In de voorgaande hoofdstukken is achtereenvolgens beschreven

- welke typen organische stofmodellen er worden onderscheiden;
- welke methoden er in omloop zijn voor het beschrijven van de kwaliteit van organische stof in grond;
- welke aspecten van belang zijn bij het beschrijven van de C- en N-mineralisatie van gewasresten; en
- wat de aanpassingen van Minip zijn die zijn voorgesteld door Yang.

In dit hoofdstuk willen we een keuze maken uit de informatie die hiervoor is beschreven om het model aan te passen. De volgende aspecten worden hierna achtereenvolgens besproken:

- aanpassingen voorgesteld door Yang;
- opnemen van een vochtcorrectie;
- opnemen van andere correctiefactoren; en
- uitbreiding van het model met modules voor een waterbalans en gewasgroei.

### 6.2 Aanpassingen voorgesteld door Yang

In hoofdstuk 5 is beschreven dat het model met aanpassingen van Yang (1996) beter in staat is de afbraakcurves van diverse organische materialen te beschrijven dan het model Minip. Dit zou ervoor pleiten Minip te vervangen door model Yang, ware het niet dat het daarbij gaat om een beschrijving van de optredende afbraak van organisch materiaal in individuele datasets. Aangegeven is dat bij het gebruik van vaste parameters voor uiteenlopende materialen het voordeel van model Yang ten opzichte van Minip niet meer zo duidelijk is. Het is onduidelijk of model Yang ook leidt tot een betere voorspelling van de afbraak van dezelfde organische materialen in een ander jaar/seizoen of bij anderszins afwijkende omstandigheden.

Onze conclusie is dan ook dat model Yang in principe beter in staat is afbraakcurves te beschrijven, maar dat gebruik van vaste parameters voor uiteenlopende materialen nog tot onduidelijke resultaten met betrekking tot de voorspelling van de organische stofafbraak van die materialen leidt en dat het dus ook nog onduidelijk is of model Yang tot betere resultaten leidt dan Minip. Waarschijnlijk is dat onder andere het gevolg van het feit dat de onderscheiden materialen zijn ingedeeld in een aantal categorieën, die vrij ruim zijn gedefinieerd. Zo wordt in de huidige categorie-indeling vrijwel geen differentiatie aangebracht binnen de categorieën gewasresten, organische mesten en bodem organische stof. Als een dergelijke differentiatie wel zou worden aangebracht (bijvoorbeeld op basis van lignine-gehalte in gewasresten en/of mesten) en er zou een nauwkeurige beschrijving met model Yang mogelijk zijn, dan is het waarschijnlijk dat model Yang eveneens in staat is tot een betere voorspelling van de afbraak van verschillende organische materialen dan Minip. Een aanzet tot een verfijning binnen de categorie gewasresten kan worden afgeleid uit de data die door Alterra in incubatieproeven zijn verzameld voor de gewasresten van sla, Chinese kool, stro en suikerbietenblad. Daaruit bleek dat model Yang de afbraak van sla en Chinese kool veel beter beschreef dan Minip en dat de afbraakcurve van sla en Chinese kool een heel ander patroon vertoonde dan die van stro en suikerbietenblad.

### 6.3 Aanpassing van bodemtemperatuur op basis van de luchttemperatuur

In Minip is een correctiefactor voor de temperatuur opgenomen. Dit betreft de wijze waarop de temperatuur van invloed is op de mineralisatie. Daartoe dient de temperatuur te worden gehanteerd in de bodemlaag waarin de mineralisatie zich afspeelt. Wij hebben tot nu toe echter gebruik gemaakt van de luchttemperatuur. Het is bekend dat het effect op temperatuur bij toenemende diepte in de grond tweeledig is. Er treedt namelijk een demping en een vertraging op. Feddes & Huinink (1990) hebben een methode beschreven om dit te berekenen. Een vereenvoudigde methode om de bodemtemperatuur te berekenen uit de luchttemperatuur is beschreven door Geiger *et al.* (1965) geciteerd door Ros (2004).

$$T_b = 0,7 * T_a + 3,5$$

waarin  $T_b$  de temperatuur in laag b met een dikte van 10 cm is en  $T_a$  de temperatuur in bodemlaag a, waarbij laag a direct boven laag b is gelegen.

### 6.4 Opnemen van een correctie voor het vochtgehalte

Ros (2004) heeft berekeningen met het model Yang vergeleken met de gemeten N-mineralisatie onder veldomstandigheden. Hij concludeert dat het model niet steeds een goede beschrijving geeft van de meetwaarden en wijt dat aan de weersomstandigheden (droogte) in de zomer van 2003. Hij pleit dan ook voor het opnemen van een vochtcorrectie in het model.

Vleeshouwers & Verhagen (2001) hebben ook gebruik gemaakt van het model Yang en daarbij wel rekening gehouden met een vochtcorrectie.

Paul *et al.* (2003) hebben een vrij uitgebreide studie uitgevoerd naar de wijze waarop het vochtgehalte het best kan worden uitgedrukt voor het beschrijven van de relatie met de N-mineralisatiesnelheid. Daartoe hebben ze data van 12 incubatiestudies verzameld, waarin in totaal 33 gronden in beschouwing werden genomen. Ze kwamen tot de conclusie dat het gewichtsvochtgehalte als zodanig geen goede relatie met de N-mineralisatie voor de data van alle gronden gaf. Er werd een duidelijke verbetering gerealiseerd door dit vochtgehalte uit te drukken als percentage van het optimale vochtgehalte voor N-mineralisatie. De beste relatie werd echter verkregen door het vochtgehalte te relateren aan het hoogste en laagste vochtgehalte dat voor een bepaalde grond in het veld voorkomt. Deze vochtgehalten zullen normaalgesproken overeenkomen met respectievelijk veldcapaciteit (pF 2) en verwelkingspunt (pF 4,2), maar zijn afhankelijk van de omstandigheden. De correctiefactor,  $f_{vocht}$ , die varieert tussen waarden van 0 en 1, komt overeen met die gehanteerd door Vleeshouwers & Verhagen (2001) en wordt als volgt beschreven:

$$f_{vocht} = 1 / (1 + 6,63 \exp(-5,69 f_w))$$

waarbij:

$$f_w = \frac{\theta - \theta_{vp}}{\theta_{vc} - \theta_{vp}}$$

waarbij:  $\theta$ : actuele (gewichts)vochtgehalte;  
 $\theta_{vp}$ : (gewichts)vochtgehalte bij verwelkingspunt (pF 4,2); en  
 $\theta_{vc}$ : (gewichts)vochtgehalte bij veldcapaciteit (pF 2,0).

## 6.5 Andere correctiefactoren: pH, fysische bescherming

In de literatuur wordt veelvuldig melding gemaakt van het effect van bodemomstandigheden, zoals textuur, structuur en pH op de mineralisatie van C en N uit organische stof (onder andere Hassink, 1995). In 2004 wordt door het NMI een studie uitgevoerd waarin wordt geprobeerd correctiefactoren af te leiden voor pH en de fysische bescherming van organische stof door klei (Hanegraaf, persoonlijke mededeling). Globaal komt uit de studie een optimum pH van circa 7 naar voren. De gronden met een pH-CaCl<sub>2</sub> van 5 hadden een duidelijk lagere relatieve mineralisatiesnelheid. Voor gronden met pH's boven de pH 7 was het effect minder duidelijk. Opnemen van een correctiefactor voor pH in het model lijkt nog niet goed mogelijk.

In de meeste organische stofmodellen is een correctiefactor opgenomen voor het lutumgehalte: een hoger lutumgehalte zorgt voor een grotere bescherming van organische stof en daardoor een lagere C- en N-mineralisatie. Volgens Hassink & Whitmore (1997) is het echter niet zozeer het lutumgehalte als zodanig, dan wel de verzadigingsgraad van de beschermingscapaciteit die de afbraaksnelheid van recent toegediend materiaal bepaalt. De beschermingscapaciteit wordt wel grotendeels bepaald door het lutumgehalte. Door bevindingen van Matus (1994) en Zwart *et al.* (1999) is de relevantie daarvan voor gronden in akker- en tuinbouw enigszins gerelativeerd. Opnemen van een correctiefactor voor textuur in het organische stofmodel voor akker- en tuinbouwgronden lijkt dus ook niet goed mogelijk.

## 6.6 Invoeren van meerdere organische stofpools

De waarnemingen op Meterik wijzen erop dat de N-mineralisatie mogelijk beter zou zijn beschreven als de organische stof in de bodem zou worden beschreven met een aantal pools. Aangezien dit ook de werkwijze is in de meeste andere organische stofmodellen, is het de vraag of de benadering via Minip en model Yang niet vervangen zou kunnen worden door een benadering waarbij meerdere pools worden onderscheiden. Aangezien dan sprake zou zijn van een fundamentele verandering van het concept van Minip, wordt daar in het kader van deze studie niet verder aan gewerkt.

## 6.7 Berekeningswijze N-mineralisatie uit organische stofdynamiek

De berekening van de N-mineralisatie uit de organische stofafbraak wordt in het model op een nogal eenvoudige manier beschreven via de C/N-ratio van het organische materiaal en de C/N-ratio van schimmels en bacteriën. Afgezien van het aandeel van schimmels en/of bacteriën in grond van de totale microbiële populatie, is het de vraag of deze werkwijze voldoende nauwkeurig is. Alternatieven zijn dat nadrukkelijker onderscheid wordt gemaakt naar bruto en netto mineralisatie en dat het bodemvoedselweb zo volledig mogelijk in beeld wordt gebracht (bijvoorbeeld De Ruiter *et al.*, 1993). Dit laatste is echter vanuit praktisch oogpunt niet aantrekkelijk, omdat er dan zeer veel groepen bodemorganismen moeten worden gekarakteriseerd, waarvan het verzamelen van de vele noodzakelijke data zeer arbeidsintensief is. Het rekening houden met het aandeel van schimmels en bacteriën en hun karakteristieken (dissimilatie/assimilatie-ratio en C/N-ratio) is wel een optie en is op dit moment onderwerp van studie bij de sectie Bodemkwaliteit van Wageningen Universiteit en bij Alterra. Aangezien ook dit nog een vrij kostbare bepaling is, is het de vraag of het wenselijk is de verhouding van schimmels en bacteriën op te nemen in routine-analyses van percelen die in opdracht van telers worden verricht.

## 6.8 Uitbreiding van het model met andere modules

Zoals in hoofdstuk 2 reeds is aangegeven wordt door verschillende onderzoekers benadrukt dat het van belang is om koppelingen te leggen tussen modules die opbouw en afbraak van organische stof beschrijven en andere modules, zoals een vochtbalans en een gewasgroeimodule. Dit is van belang omdat de vochthuishouding in een grond en de gewasgroei op die grond van invloed zijn op de organische stofhuishouding. De vochtbalans is i) direct van invloed op de afbraak van organische stof via een effect op de microbiële activiteit, ii) op neerwaarts transport van oplosbaar C en N en iii) indirect via het effect op gewasgroei.

Aangezien het actuele vochtgehalte in de grond vrijwel nooit wordt gemeten, maar het wel van belang is voor organische stofafbraak en N-mineralisatie, ligt het voor de hand dit in het model te berekenen. Hetzelfde geldt voor neerwaarts watertransport. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door het opnemen van het relatief eenvoudige cascade-model of tipping-bucket model, zoals beschreven door Burns (1974). In het organische stof model CESAR (Vleeshouwers & Verhagen, 2001) en in het N-stromenmodel van Greenwood *et al.* (1996) wordt ook gebruik gemaakt van een dergelijk model voor de vochthuishouding.

Gewasgroei is ook van belang voor de organische stofdynamiek en de N-mineralisatie, vooral door het effect op de hoeveelheid en de karakteristieken van de gewasresten die na de oogst op het veld achterblijven. Aangezien uit experimentele gegevens, die onder andere op de kernbedrijven van Tmt zijn verzameld, blijkt dat er forse variaties voorkomen in de hoeveelheid en de karakteristieken van de gewasresten, lijkt het gewenst deze verschillen in beeld te brengen. We denken echter dat de gewasgroei modellen zoveel onzekerheden bevatten dat het niet zinvol is om deze gegevens door het model te laten genereren. We geven er de voorkeur aan schattingen van de aanvoer van organische stof met gewasresten en karakteristieken te gebruiken als invoer van het model. De schattingen dienen zo goed mogelijk tot stand te komen door vergelijking met gegevens afkomstig van proefbedrijven en metingen verricht op praktijkpercelen. Er zijn ook andere hulpmiddelen beschikbaar om de massa en nutriëntinhoud van groenbemesters te schatten, zoals de groenbemesterswaaier (Van der Horst, 2003).

### Concluderend

Er zijn meerdere mogelijkheden om het Minip-model voor het beschrijven van de organische stof- en N-dynamiek te verfijnen. De meest voor de hand liggende verfijningen zijn:

1. opnemen van de aanpassingen voorgesteld door Yang. Bij voorkeur dienen coëfficiënten voor diverse organische materialen onder Nederlandse omstandigheden te worden vastgesteld en getoetst;
2. opnemen van een omrekeningsfactor voor lucht- naar bodemtemperatuur;
3. opnemen van een correctiefactor voor het vochtgehalte; en
4. uitbreiding van het model met een module voor de vochthuishouding.

In de in dit rapport beschreven studie hebben we ons beperkt tot aanpassing 1, die is beschreven in hoofdstuk 5.

Voor de toekomst is het gewenst dat een methode voor fractionering van bodem organische stof beschikbaar wordt gemaakt om het model voor uiteenlopende omstandigheden te initialiseren. Aangezien op dit moment echter nog onvoldoende duidelijk hoe dit het best kan gebeuren, dient dit nog verder te worden uitgezocht. De beste mogelijkheden lijken er te zijn voor het schatten van de initiële afbraaksnelheid (R in model Yang) op basis van de lichte fractie (fysische fractionering) of het oplosbaar C-gehalte in 0,01 M CaCl<sub>2</sub> (DOC).



## Literatuur

- Ågren, G.I. & E. Bosatta, 1987.  
Theoretical analysis of the long-term dynamics of carbon and nitrogen in soils. *Ecology* 68, 1181-1189.
- Alvarez, R. & C.R. Alvarez, 2000.  
Soil organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics. *Soil Science Society of America Journal* 64, 1, 184-189.
- Benbi, D.K. & J. Richter, 2002.  
A critical review of some approaches to modelling nitrogen mineralization. *Biology and Fertility of Soils* 35, 3, 168 -183.
- Berg, B., M. Müller & B. Wessén, 1987.  
Decomposition of red clover (*trifolium Pratense*) roots. *Soil Biology and Biochemistry*, 19 (5), 589-593.
- Bosatta, E. & G.I. Ågren, 1991.  
Dynamics of carbon and nitrogen in the organic matter of the soil: a generic theory. *Am. Nat.* 138, 227-245.
- Bosch, H. & P. de Jonge, 1989.  
Handboek voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond 1989. PAGV, Lelystad, 251 pp.
- Bouwman, A.F., 1990.  
Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere.  
In: Bouwman, A.F. (ed.) *Soils and the greenhouse effect*. John Wiley & Sons, New York, 61-127.
- Burns, I.G., 1974.  
A model for predicting the redistribution of salts applied to fallow soils after excess rainfall or evapotranspiration. *Journal of Soil Science* 25, 165-178.
- Christensen, B.T., 1996.  
Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: Revision of model structure. In: Powlson, D.S., Smith, P. & Smith, J.U. (eds.) *Evaluation of soil organic matter models*, 143-160.
- Dam Kofoed, A., 1982.  
Humus in long term experiments in Denmark. In: D. Boels, A.E. Johnston (eds.) *Soil degradation. Proceedings of the Land Use Seminar on Soil Degradation, Wageningen, 13-15 October 1980*, Rotterdam, A.A. Balkema, 241-258.
- De Neve, S. & G. Hofman, 1996.  
Modelling N mineralization of vegetable crop residues during laboratory incubations. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 10-11, 1451-1457.
- De Neve, S. & G. Hofman, 2002.  
Quantifying soil water effect on nitrogen mineralization from soil organic matter and from fresh crop residues. *Biology and Fertility of Soils* 35, 5, 379-386.
- De Ruiter, P.C., J.A. van Veen, J.C. Moore, L. Brussaard & H.W. Hunt, 1993.  
Calculation of nitrogen mineralization in soil food webs. *Plant and Soil* 157, 263-273.
- De Ruijter, F.J. & R. Postma, 2004.  
Afvoer van gewasresten ter beperking van stikstofuitspoeling; bureaustudie naar de effecten op de stikstofbalans, mineralisatie en organische stof. Telen met toekomst rapport.
- Elliott, E.T., K. Paustian & S.D. Frey, 1996.  
Modeling the measurable of measuring the modelable: a hierarchical approach to isolating meaningful soil organic matter fractionations In: Powlson, D.S., Smith, P. & Smith, J.U. (eds.) *Evaluation of soil organic matter models*, 161-180.
- Feddes, R.A. & J.T. Huinink, 1990.  
Warmtehuishouding. In: Locher, W.P. & H. de Bakker (eds.) *Bodemkunde van Nederland; Deel 1. Algemene Bodemkunde*. Malmberg, Den Bosch, 189-196.

- Gaunt, J.L., S.P. Sohi, J.R.M. Arah, N. Mahieu, H. Yang & D.S. Powlson, 2002.  
A physical soil fractionation scheme to obtain organic matter fractions suitable for modeling.  
In: Kirk, G.J.D (ed) & Olk, D.C. Proceedings of the workshop on carbon and nitrogen dynamics in flooded soils, Los Banos, Philippines, 19-22 April 1999, 89-99.
- Genstat 5 Committee, 1994.  
Reference Manual. Clarendon Press, Oxford, 794 pp.
- Greenwood, D.J., C. Rahn, A. Draycott, L.V. Vaidyanathan & C. Paterson, 1996.  
Modelling and measurement of the effects of fertilizer-N and crop residue incorporation on N-dynamics in vegetable cropping. *Soil Use and Management* 12, 13-24.
- Gregorich, E.G. & H.H. Janzen, 1996.  
Storage of soil carbon in the light fraction and macro organic matter. In: Carter, M.R. and Stewart, B.A. (eds.) *Structure and organic matter storage in agricultural soils*; Series: *Advances in Soil Science*. CRC press, 167-192.
- Hassink, J., 1995.  
Organic matter dynamics and N mineralization in grassland soils. Proefschrift, 250 pp.
- Hassink, J. & A.P.M. Whitmore, 1997.  
A model of the physical protection of organic matter in soils. *Soil Science Society of America Journal* 61, 131-139.
- Hunt, H.W., 1977.  
A simulation model for decomposition in grasslands. *Ecology* 58, 469-484.
- Janssen, B.H., 1984.  
A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic carbon. *Plant and Soil* 76, 297-304.
- Janssen, B.H., 1996.  
Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil* 181, 39-45.
- Janssen, B.H., 2002.  
Organic matter and soil fertility. Syllabus Sectie Bodemkwaliteit, Wageningen Universiteit, 248 pp.
- Jenkinson, D.S. & J.H. Rayner, 1977.  
The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted Classical Experiments. *Soil Science* 123, 298-305.
- Kolenbrander, G.J., 1969.  
De bepaling van de waarde van verschillende soorten organische stof ten aanzien van hun effect op het humusgehalte bij bouwland. Instituut voor bodemvruchtbaarheid, Haren.
- Kortleven, J., 1963.  
Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Proefschrift, Wageningen Universiteit.
- Kumar, K. & K.M. Goh, 2003.  
Nitrogen release from crop residues and organic amendments as affected by biochemical composition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34, 17-18, 2441-2460.
- Ladd, J.N., M. Amato & J.M. Oades, 1985.  
Decomposition of Plant Material in Australian Soils. III. Residual Organic and Microbial Biomass C and N from Isotope-labelled Legume Material and Soil Organic Matter, Decomposing under Field Conditions. *Australian Journal of Soil Research* 23, 603-611.
- Li, C., S. Frolking & T.A. Frolking, 1992.  
A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: Model structure and sensitivity. *Journal Geophys. Res. (Atmospheres)* 97, 9759-9776.
- Magid, J., T. Mueller, L.S. Jensen & N.E. Nielsen, 1997.  
Modelling the measurable: interpretation of field-scale CO<sub>2</sub> and N-mineralization, soil microbial biomass and light fractions as indicators of oilseed rape, maize and barley straw decomposition. In: Cadisch, G.(ed.) & Giller, K.E. *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*, 349-362.

- Martin, J.P., K. Haider, W.J. Farmer & E. Fustec-Mathon, 1974.  
Decomposition and distribution of residual activity of some  $^{14}\text{C}$ -microbial polysaccharides and cells, glucose, cellulose and wheat straw in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 6, 221-230.
- Matus, F.J., 1994.  
Crop residue decomposition, residual soil organic matter and nitrogen mineralization in arable soils with contrasting textures. Proefschrift, 141 pp.
- McGill, W.H., H.W. Hunt, R.G. Woodmansee & J.O. Reuss, 1981.  
PHOENIX, a model of the dynamics of carbon and nitrogen in grassland soils. *Ecol. Bull. NFR* 33, 49-115.
- Molina, J.A.E., C.E. Clapp, M.J. Shaffer, F.W. Chichester & W.E. Larson, 1983.  
NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformations in soil: description, calibration, and behavior. *Soil Science Society of America Journal* 47, 85-91.
- Nicolardot, B., S. Recous, B. Mary, E.S. Jensen (ed.) & S. Recous, 2001.  
Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: a simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. The 10th International Nitrogen Workshop, Copenhagen, Denmark, 23-26 August 1999. *Plant and Soil* 228, 1, 83-103.
- Nunan, N., M.A. Morgan, D. Brennan & M. Herlihy, 2001.  
Organic matter extracted with 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  or with 0.01 M  $\text{NaHCO}_3$  as indices of N mineralization and microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils*, 34, 6, 433-440.
- Parton, W.J., D.S. Schimel, C.V. Cole & D.S. Ojima, 1987.  
Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains Grasslands. *Soil Science Society of America Journal* 51, 1171-1179.
- Parton, W.J., J.M.O. Scurlock, D.S. Ojima, T.G. Gilmanov, R.J. Scholes, D.S. Schimel, T. Kirchner, J.C. Menaut, T. Seastedt, E. Garcia Moya, A. Kamnalrut & J.L. Kinyamario, 1993.  
Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grasslands biome world wide. *Global Biochemistry Cycles* 7, 785-809.
- Parton, W.J., D.S. Ojima & D.S. Schimel, 1996.  
Models to evaluate soil organic matter storage and dynamics. In: Carter, M.R. & Stewart, B.A. (eds.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*, Advances in Soil Science, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA., 421-448.
- Pastor, J. & W.M. Post, 1988.  
Response of northern forests to induced climate change. *Nature* 334, 55-58.
- Paul, E.A. & J.A. van Veen, 1978.  
The use of tracers to determine the dynamic nature of organic matter. *Transitions of the International Congress of Soil Science* 11th 3, 61-102.
- Paul, K.I., P.J. Polglase, A.M. O'Connell, J.C. Carlyle, P.J. Smethurst & P.K. Khanna, 2003.  
Defining the relation between soil water content and net nitrogen mineralization. *European Journal of Soil Science*, 54, 39-47.
- Postma, R., 2002.  
Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; toetsing model Janssen. Telen met toekomst rapport OV 0203, 40 pp.
- Postma, R. & T.A. van Dijk, 2004.  
Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; toetsing Minip met resultaten 2002 en 2003. Telen met toekomst rapport.
- Recous, S., D. Robin, D. Darwis & B. Mary, 1995.  
Soil inorganic N availability: effect on maize residue decomposition. *Soil Biology and Biochemistry* 27, 1529-1538.
- Recous, S., 2001.  
Dynamics of soil and fertiliser nitrogen in arable systems. Proceedings no. 463 of the Fertiliser Society, The International Fertiliser Society, UK, 16 pp.

- Ros, G., 2004.  
Mineralization of nitrogen in arable farming. Three predictors validated against field measurements. Thesis Soil Fertility and Plant Nutrition. Sub-department of Soil Quality, Wageningen University, The Netherlands, 42 pp.
- Sanger, L.J., M.J. Whelan, P. Cox & J.M. Anderson, 1996.  
Measurement and modelling of soil organic matter decomposition using biochemical indicators. In: Van Cleemput, O., Hofman, G. (eds.) & Vermoesen, A. Progress in nitrogen cycling studies: Proceedings of the 8th Nitrogen Workshop held at the University of Ghent, 5-8 September, 1994, 445-450.
- Schnitzer, M., 1982.  
Organic matter characterization. In: Page, A.L. (ed.) Methods of soil analysis, Part 2; Chemical and microbiological properties, Series of Agronomy nr. 9, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 581-594.
- Sharpley, A.N. & J.R. Williams (eds.), 1990a.  
EPIC--Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin no. 1768, Washington DC, 235 pp.
- Sharpley, A.N. & J.R. Williams (eds.), 1990b.  
EPIC--Erosion/Productivity Impact Calculator: 2. User Manual. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin no. 1768, Washington DC, 127 pp.
- Smit, A. & K. Zwart, 2003.  
Stikstofstromen op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel; Mineralisatie van bodem en gewasresten. Telen met toekomst rapport OV0304, 26 pp.
- Smith, J., P. Smith & T. Addiscott, 1996.  
Quantitative methods tot evaluate and compare Soil Organic Matter (SOM) models. In: Powlson, D.S., Smith, P. & Smith, J.O. (eds.) Evaluation of soil organic matter models, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, 181-200.
- Sohi, S.P., N. Mahieu, J.R.M. Arah, D.D. Powlson, B. Madari & J.L. Gaunt, 2001.  
A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. Soil Science Society of America Journal 65, 4, 1121-1128.
- Sørensen, L.H., 1981.  
Carbon-nitrogen relationships during the humification of cellulose in soils containing different amounts of clay. Soil Biology and Biochemistry 13, 313-321.
- Trindsoutrot, I., S. Recous, B. Bentz, M. Lineres, D. Cheneby & B. Nicolardot, 2000.  
Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. Soil Science Society of America Journal 64, 3, 918-926.
- Van der Horst, A., 2003.  
Oude vuistregels achterhaald; onderzoeksgegevens over organische stof rijp voor praktijk. Oogst landbouw, 7 maart 2003.
- Van Erp, P.J., A.P. Whitmore & P. Wilting, 1993.  
Mineralisatie van stikstof uit gewasresten van suikerbieten na de oogst. Meststoffen 1993, 64-70.
- Van Schaik, J., 2003.  
Vergelijking van twee mineralisatiemodellen voor organische stof. Verslag van een afstudeervak Bodemvruchtbaarheid en plantenvoeding, sectie Bodemkwaliteit, Wageningen Universiteit, 43 pp.
- Van Veen, J.A. & E.A. Paul, 1981.  
Organic carbon dynamics in grassland soils. I. Background information and computer simulation. Canadian Journal of Soil Science 61, 185 – 201.
- Veeken, A.H.M., S.W. Moolenaar, V. de Wilde, R. Postma & H.V.M. Hamelers, 2003.  
Oxitop measuring system for standardised determination of the respiration rate and N-mineralisation rate of organic matter in waste material, compost and soil. Internet publication: [www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl)
- Velthof, G.L., P.J. van Erp & J.C.A. Steevens, 1998.  
Stikstoflevering door groenbemesters en gewasresten. Noodzaak tot verfijning stikstofadvisering. Meststoffen 1998, 20-28.

- Velthof, G.L., 2003.  
Relaties tussen mineralisatie, denitrificatie en indicatoren voor bodemkwaliteit in landbouwgronden, Alterra-rapport 769, Sturen op Nitraat rapport nr. 6, 38 pp.
- Verberne, E.L.J., J. Hassink, P. de Willigen, J.J.R. Groot & J.A. van Veen, 1990.  
Modelling organic matter dynamics in different soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38, 221-238.
- Vleeshouwers, L.M. & A. Verhagen, 2001.  
CESAR: a model for carbon emission and sequestration by agriculture land use. *Plant Research International B.V.*, Wageningen, report 36, 46 pp.
- Wang Weijin, C.J. Smith, P.M. Chalk, DeLi Chen, W.J. Wang & D.L. Chen, 2001.  
Evaluating chemical and physical indices of nitrogen mineralization capacity with an unequivocal reference. *Soil Science Society of America Journal* 65, 2, 368-376.
- Whitmore, A.P., 1996.  
Modelling the release and loss of nitrogen after vegetable crops. *Netherlands Journal of Agriculture Science* 44, 73-86.
- Whitmore, A.P. & J.J.R. Groot, 1997.  
The mineralization of N from finely or coarsely chopped crop residues: measurements and modelling.
- Wilson, T.C., E.A. Paul & R.R. Harwood, 2001.  
Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems. *Applied Soil Ecology* 16, 1, 63-76.
- Yang, H.S., 1996.  
Modelling organic matter mineralization and exploring options for organic matter management in arable farming in northern China. *Proefschrift, Wageningen Universiteit*, 159 pp.
- Zwart, K.B., 2003.  
Mineralisatie van bodem en mest, een indicator op basis van (bio) chemische parameters, Alterra-rapport 741, 39 pp.
- Zwart, K.B., A.P. Whitmore & J.G. Bokhorst, 1999.  
Beheer van organische stof in open biologische, ecologische en geïntegreerde systemen, Rapport 102, AB-DLO, 90 pp.



## Bijlage I.

### Basisresultaten van de incubatieproeven uitgevoerd door Alterra (Smit & Zwart, 2003)

*Resultaten van de resterende hoeveelheid C van bodem organische stof tijdens de incubatieproef 2001.*

Tijd	VP18.2	VP28.2	Mt22	Mt26
0,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,02	99,87	99,87	99,85	99,65
0,04	99,64	99,68	99,61	99,38
0,06	99,55	99,58	99,46	99,25
0,08	99,44	99,51	99,37	99,12
0,12	99,33	99,37	99,22	99,00
0,15	99,16	99,19	98,88	98,82
0,21	98,84	98,89	98,58	98,50
0,23	98,71	98,77	98,42	98,36

*Resultaten van de resterende hoeveelheid C van gewasresten tijdens de incubatieproef 2001.*

Tijd	Sla	Kool	Sla oud	Stro	Biet
0,00	100	100	100	100	100
0,02	70	64	69	99	98
0,04	66	60	66	93	80
0,06	63	56	65	90	74
0,10	59	53	59	88	71
0,13	59	53	62	86	69
0,19	59	50	59	83	63
0,23	56	48	56	82	62

*Resultaten van de resterende hoeveelheid C van bodem organische stof en gewasresten tijdens de incubatieproef uit  
voorjaar 2002.*

Tijd	VP18.2	VP28.2	MT22	MT26	Zgerst	Bladram	Erwt
0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,06	97,64	99,09	98,55	97,48	75,9	-14,7	-26,6
0,12	96,33	98,32	96,32	95,87	58,7	-69,9	-90,3
0,18	95,39	97,52	94,09	94,93	21,9	-83,4	-100,6
0,24	94,47	96,93	92,79	94,42	-3,2	-86,7	-104,5
0,30	93,84	96,54	91,63	93,97	-6,5	-86,6	-110,7

*Resultaten van de niet-lineaire regressie: afgeleide waarden voor 'a' uit Minip en voor 'R' en 'S' uit model Yang en het percentage verklaarde variantie (R<sup>2</sup>) voor bodem organische stof en gewasresten; op basis van metingen door Alterra in voorjaar 2002 (Smit & Zwart, 2003).*

Materiaal	Specificatie	a	R <sup>2</sup>	R <sub>0</sub>	S	R <sup>2</sup>
Bodem organische stof	Vredepeel 18.2	7,6	93,3	0,0808	0,383	99,9
Bodem organische stof	Vredepeel 28.2	11,4	98,7	0,0493	0,174	99,5
Bodem organische stof	Meterik 22	6,5	99,0	0,1306	0,021	98,6
Bodem organische stof	Meterik 26	7,5	86,4	0,0778	0,4813	98,8
Gewasrest	zomergerst	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Gewasrest	bladrammenas	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Gewasrest	erwt	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.



# Reeds verschenen externe rapporten

## Telen met toekomst

34. Organische stofopbouw en N-mineralisatie: op kernbedrijven; verfijning model MINIP. R. Postma & T.A. van Dijk. Rapport OV 0414, 2004.
33. Organische stofopbouw en N-mineralisatie; praktijktoepassing van een verbeterd model. R. Postma, T.A. van Dijk & A.G.G. van der Weijden. Rapport OV 0413, 2004.
32. Afvoer van gewasresten ter beperking van stikstofverliezen. Bureaustudie naar de effecten op de stikstofbalans, mineralisatie en organische stof. F.J. de Ruijter & R. Postma. Rapport OV 0412, 2004.
31. Kernbedrijf Vredepeel. Resultaten eerste fase. J.W.A. Langeveld & A.L. Smit. Rapport OV 0411, 2004.
30. Stikstofopnamecurven voor akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Doorrekenen van de gewasrotaties op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik van Telen met toekomst. A.A. Pronk & K. Groenwold. Rapport OV 0410, 2004.
29. Evaluatie Nitraatprojecten, bijdrage vanuit Telen met toekomst. Hans Langeveld. Rapport OV 0409, 2004.
28. Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; toetsing MINIP met resultaten 2002 en 2003. R. Postma & T.A. van Dijk. Rapport OV 0408, 2004.
27. De Telen met toekomst Energie- en klimaatmeetlat. Eindrapport. Herbert Mombarg & Anton Kool. Rapport OV 0407, 2004.
26. Nitraatuitspoeling Vredepeel 2002-2003. J.A. de Vos & F.B.T. Assinck. Rapport OV 0406, 2004.
25. Stikstofstromen op het kernbedrijf Meterik. Modelberekeningen met FUSSIM2 en MOTOR. F.B.T. Assinck & P. de Willigen. Rapport OV 0405, 2004.
24. Fosfaatkaracteristieken van de bodem van de kernbedrijven Meterik en Vredepeel. Een gedetailleerd beeld van het bodemprofiel. P. Ehlert & G. Koopmans. Rapport OV 0404, 2004.
23. Stikstofstromen op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik. De grondwaterkwaliteit gemeten. A. Smit, K.B. Zwart & J. van Kleef. Rapport OV 0403, 2004.
22. Stikstofstromen op het kernbedrijf Vredepeel. Modelberekeningen met FUSSIM2 en MOTOR. F.B.T. Assinck & P. de Willigen. Rapport OV 0402, 2004.
21. Bemesting en Nmin op gewasniveau op de praktijkbedrijven van Telen met toekomst (2000-2002). F.J. de Ruijter & J. Groenwold. Rapport OV 0401, 2004.
20. Stikstofstromen op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel. Mineralisatie van bodem en gewasresten. A. Smit & K.B. Zwart. Rapport OV 0304, 2003.
19. Grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit op de Telen met toekomst bedrijven in 2002. M. van den Berg & M.M. Pulleman. Rapport OV 0303, 2003.
18. AcTA: Accesdatabase Telen met toekomst – Alterra. A. Smit & K.B. Zwart. Rapport OV 0302, 2003.
17. Relaties tussen nitraat in het grondwater en potentiële indicatoren voor nitraatverlies op de voorloperbedrijven van Telen met toekomst. F.J. de Ruijter. Rapport OV 0301, 2003.
16. Telen met toekomst, voor telers met toekomst: Jaaroverzicht 2002. Anonymus, 2003.
15. Hoe staat het met de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater? B.M.A. Kroonen-Backbier & J.A.J.M. Rovers. Rapport WDNB03, 2003.
14. Hoe staat het met de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater? J.A.J.M. Rovers & B.M.A. Kroonen-Backbier. Rapport WDZHZ03, 2003.
13. Startgiften van de stikstofbemesting in tulp. Modelstudie naar de effecten van neerslag op de stikstofbeschikbaarheid in de wortelzone. F.J. de Ruijter. Rapport OV 0206, 2002.
12. De Telen met toekomst Energie- en klimaatmeetlat. Methodiek en rekenregels. H.F.M. Mombarg, A. Kool, W.J. Corré, J.W.A. Langeveld & W. Sukkel. Rapport OV 0205, 2003.

11. Waterretentie en waterdoorlatendheidskarakteristieken van 'Telen met toekomst' proefvelden Meterik en Vredepeel. J.A. de Vos, E.W.J. Hummelink & T.S. van Steenbergen. Rapport OV 0204, 2002.
10. Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; toetsing model Janssen. R. Postma. Rapport OV 0203, 2002.
9. Stikstofverliezen door denitrificatie in akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. Onderzoek op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik van het project 'Telen met toekomst'. Kor Zwart, Annemieke Smit & Kees Rappoldt. Rapport OV 0202, 2002.
8. Gebruik van Global Positioning System (GPS) binnen 'Telen met toekomst'. Plaatsbepaling bij monsternamen op de Voorloperbedrijven'. A.L. Smit. Rapport OV 0201, 2002.
7. 'Telen met toekomst', kansen en knelpunten in zicht: Jaaroverzicht 2001. Anonymus, 2002.
6. Fosfaattoestanden op de praktijkbedrijven van 'Telen met toekomst'. Een analyse van de situatie bij de start van het project. Philip Ehlert & Gerwin Koopmans, 2002.
5. Stikstof- en fosfaatverliezen in akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. Projectplan voor het bodemonderzoek op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik van het project 'Telen met toekomst'. Kor Zwart & Annemieke Smit, 2002.
4. 'Telen met toekomst', voor telers met toekomst: Jaaroverzicht 2000. Anonymus, 2001.
3. Detaillering projectplan 'Telen met toekomst'. Remmie Booij, Wim van Dijk, Bert Smit, Frank Wijnands, Hans Langeveld, Janjo de Haan, Annette Pronk, Jaap Schröder, Jet Proost, Harm Brinks, Peter Dekker, Philip Ehlert, 2001.
2. Projectplan 'Telen met toekomst'. Jacques Neeteson, Remmie Booij, Wim van Dijk, Janjo de Haan, Annette Pronk, Harm Brinks, Peter Dekker & Hans Langeveld, 2001.
1. Voorwaarts met de milieuprestaties van de Nederlandse open-teelt sectoren: een verkenning naar 2020. A.J. de Buck, F.J. de Ruijter, F. Wijnands, P.L.A. van Enckevort, W. van Dijk, A.A. Pronk, J. de Haan & R. Booij, 2000.

