



# Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; toetsing model Janssen



**Telen met toekomst**

Ir. R. Postma



# Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; toetsing model Janssen

Ir. R. Postma



Telen met toekomst  
november 2002  
OV 0203



## 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>

© 2002 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.

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. Beheer van organische stof	5
2.1 Belang van organische stof voor bodemkwaliteit en nutriëntenmanagement	5
2.2 Gewenste organische stofgehalte	5
2.3 Instrumenten voor beheer van organische stof	6
3. Beschrijving van model Janssen	9
4. Opzet en uitvoering van de toetsing	13
4.1 Principe van de toetsing	13
4.2 Objecten en gegevens gebruikt voor de toetsing op Vredepeel	14
4.2.1 Berekningen	15
4.2.2 Metingen	15
4.3 Objecten en gegevens gebruikt voor de toetsing op Meterik	15
4.3.1 Berekningen	16
4.3.2 Metingen	16
5. Resultaten van de toetsing op Vredepeel	17
5.1 Algemeen	17
5.2 Verloop van het organische stofgehalte	17
5.3 Verloop totale N-voorraad	19
5.4 Ontwikkeling C-mineralisatiesnelheid	19
5.5 Ontwikkeling N-mineralisatiesnelheid	22
6. Resultaten van de toetsing op Meterik	27
6.1 Algemeen	27
6.2 Verloop van het organische stofgehalte	27
6.3 Verloop totale N-voorraad	28
6.4 Ontwikkeling C-mineralisatiesnelheid	29
6.5 Ontwikkeling N-mineralisatiesnelheid	31
7. Evaluatie	35
7.1 Toetsing van berekende veranderingen in de C- en N-voorraad	35
7.2 Toetsing van berekende veranderingen in de C- en N-mineralisatie	36
7.3 Werkplan 2002	37
8. Literatuur	39



## Samenvatting en conclusies

In het kader van het project Telen met toekomst (Tmt) levert Nutriënten Management Instituut NMI een bijdrage aan de ontwikkeling en introductie van duurzame productie-systemen door onderzoek naar en advies over het beheer van organische stof. Het voorliggende rapport beschrijft een toetsing van het model Janssen, dat is ontwikkeld voor de beschrijving van de opbouw en afbraak van organische stof. De toetsing wordt uitgevoerd in geselecteerde objecten op de kernbedrijven Vredepeel, Meterik, De Noord en Horst. In dit rapport is de toetsing van het model met de gegevens uit 2001 weergegeven, welke alleen is uitgevoerd met gegevens van Vredepeel en Meterik.

Op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik is een aantal objecten geselecteerd die verschilden in het beheer van organische stof. Op Vredepeel waren de geselecteerde percelen in de periode 1993-1999 gelegen in het ECO- (percelen 18.1, 18.2 en 26.2; relatief hoge aanvoer aan organische stof) en MJPJG-systeem (28.1 en 28.2; relatief lage aanvoer van organische stof) van het bedrijfssysteemonderzoek (BSO). Vanaf 2000 waren de percelen 18.1 en 28.1 gelegen in het synthesesdeel van Tmt en de percelen 18.2, 26.2 en 28.2 in analyse 1 en 2. Het verschil in organischestofbeheer tussen die systemen is niet erg groot: in synthese wordt meer dierlijke mest toegediend, maar worden minder groenbemesters geteeld dan in analyseveldjes. In de percelen 18.2 en 28.2 zijn braakplotjes aanwezig, waarin gedurende de looptijd van het project geen gewassen worden geteeld en waarin geen organisch materiaal wordt toegediend.

Op Meterik zijn vier percelen in beschouwing genomen, die van 1990 tot 2000 in het kader van BSO onderdeel uitmaakten van een rotatie met kool, kropsla, graan/gras en prei. Het betreft de percelen 22, 24, 26 en 34, die sindsdien in Tmt deel uitmaken van het bladgewassen-preibedrijf. Het verschil in organische stofaanvoer tussen deze percelen is beperkt. Daarnaast is een perceel uit het biologisch systeem (perceel 5) met een relatief hoge aanvoer van organische stof meegenomen. Tenslotte liggen er braakplotjes in de percelen 22, 26 en 40, waarin geen organische stof wordt aangevoerd.

Voor de verschillende objecten in Vredepeel en Meterik is het beloop van de C- en N-voorraad en de C- en N-mineralisatiesnelheid berekend met het model Janssen. Daarbij is gebruik gemaakt van gegevens over de bemesting, de teelt van groenbemesters en het gewasrestenbeheer in de periode van 1991 tot 2000. De resultaten van de berekeningen zijn getoetst aan metingen van het organische stofgehalte, de C- en N-mineralisatie in incubatie-experimenten en het beloop van de N-mineraalvoorraad in braakplotjes.

Uit metingen en berekeningen van het beloop van het organischestofgehalte en de N-voorraad in de periode 1991-2000 bleek dat voor de beschouwde percelen op Vredepeel en Meterik vrijwel steeds sprake was van een dalende tendens. Daarbij moet worden opgemerkt dat significante veranderingen in voorraden C en N niet snel optreden en niet makkelijk meetbaar zijn. De periode van 8-10 jaar die nu is beschouwd, is eigenlijk nog te kort om effecten van een uiteenlopend organischestofbeheer op veranderingen in het organischestofgehalte te kunnen meten. De verschillen in organischestofbeheer tussen de percelen waren relatief klein en er werden dan ook geen verschillen vastgesteld in het verloop van het organischestofgehalte tussen percelen.

De daling was het duidelijkst op de percelen in Meterik: het gemeten organische-stofgehalte op de beschouwde percelen lag in 1991 tussen 2,6 en 3,2% en was in 2000 gedaald tot waarden tussen 2,2 en 2,7%. Voor Vredepeel was het effect minder duidelijk: daar lag het gemeten organischestofgehalte in 1993 tussen 3,8 en 4,4% en in 2000 tussen 3,5 en 4,4%. Daarentegen was de berekende C-ophoping op Meterik wat hoger dan op Vredepeel, wat met name het gevolg leek te zijn van de aanvoer van per-spotjes. Daardoor bleef het berekende organische-stofgehalte in Meterik op peil, terwijl het voor Vredepeel daalde. De discrepantie tussen de resultaten van metingen en die van berekeningen zal in

2002 verder worden onderzocht. Mogelijk vormen de aannames die voor de modelberekeningen zijn gedaan een belangrijke verklaring. Het is mogelijk dat i) de aanvoer van vers organisch materiaal op de percelen in Meterik is overschat of ii) dat de afbraaksnelheid van toegediend vers materiaal, of van oude bodemorganische stof in Meterik is onderschat, waardoor de ophoping van jonge organische stof in werkelijkheid lager was dan is berekend.

De berekende en gemeten C-mineralisatiesnelheid kwamen goed overeen voor de percelen op Vredepeel, maar voor Meterik was de berekende C-mineralisatie-snelheid lager dan de gemeten waarde. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de afbreekbaarheid van vers organisch materiaal of van oude bodemorganische stof is onderschat. Dit komt overeen met de verklaring voor het verschil tussen meting en berekening van het organischestofgehalte op Meterik.

De berekende N-mineralisatie voor de percelen op Vredepeel was hoger dan de gemeten potentiële N-mineralisatie met gestoorde monsters uit de laag 0-30 cm. Dit effect was nog sterker voor metingen van de potentiële N-mineralisatie met ongestoorde monsters. Ook gaven de berekeningen een hogere N-mineralisatie te zien dan op basis van metingen van de N-mineraalvoorraad in het veld in de laag 0-60 cm wordt berekend. Voor Meterik, daarentegen, was de berekende N-mineralisatie lager dan gemeten N-mineralisatie met gestoorde monsters uit de laag 0-30 cm. De berekende N-mineralisatie kwam goed overeen met gemeten N-mineralisatie op basis van ongestoorde monsters.

Op basis van de resultaten van 2001 is vastgesteld dat het model in bepaalde gevallen de C- en N-mineralisatie vrij goed beschrijft, terwijl dat in andere situaties niet het geval is. Mogelijk kunnen de prestaties van het model worden verbeterd als meer rekening wordt gehouden met verschillen tussen bodem-eigenschappen, zoals vochthuishouding, pH, lutumgehalte, herkomst van de oude organische stof, etc. Daarnaast is de kwaliteit van de invoergegevens van belang. Ten aanzien van dit laatste punt is het gewenst dat inzicht wordt verkregen in optredende variaties in de hoeveelheid, samenstelling (C- en N-gehalten) en overige eigenschappen (o.a. afbreekbaarheid) van gewasresten, organische mesten en groenbemesters en het effect daarvan op de berekende C- en N-mineralisatie.

In 2002 zal de toetsing van model Janssen zijn gericht op de volgende aspecten:

- De resultaten met betrekking tot organische stof en C- en N-mineralisatie die in 2002 worden verzameld op Vredepeel en Meterik.
- De resultaten die in 2001 en 2002 zijn/worden verzameld op De Noord en Horst, de kernbedrijven voor de bollenteelt en boomteelt.
- De beschrijving van de C- en N-mineralisatie van organische producten, zoals gewasresten, organische mesten en groenbemesters.
- Voorkomende spreidingen in de invoergegevens van het model en effect daarvan op de uitkomsten van het model.
- De uitbreiding van het mineralisatiemodel met een waterbalans, zodat ook uitspoeling kan worden beschreven. Dit vergroot de mogelijkheden om het model te toetsen met N-mineraalbepalingen.
- Het opnemen van correctiefactoren voor pH, vocht- en lutumgehalte.
- Het verkennen van de beschikbaarheid van een snelle bepalingsmethode voor de afbreekbaarheid van organische stof, die gebruikt kan worden in combinatie met het model.
- Het verkennen van de mogelijkheid om de opgeloste organische stof te gebruiken als indicator voor veranderingen in het totale organische stofgehalte.



# 1. Inleiding

In het kader van het project 'Telen met toekomst' (Tmt) wordt onder andere onderzoek gedaan naar de ontwikkeling, toepassing en verbetering van voorbeelden van duurzame bedrijfssystemen in de sectoren akkerbouw, vollegrondsgroenten, bloembollen en boomteelt (Booij *et al.*, 2001). Het Nutriënten Management Instituut NMI draagt bij aan onderzoek naar het optimaal beheer van organische stof in relatie tot nutriëntenmanagement en de milieudoelen van het project Tmt. Het doel van de NMI-werkzaamheden in Tmt kan dan ook worden geformuleerd als het leveren van een bijdrage aan de ontwikkeling en introductie van duurzame productiesystemen door middel van onderzoek naar en advies over het beheer van organische stof

Een belangrijk onderdeel van de NMI-bijdrage in het project Tmt bestaat uit het toetsen van het model Janssen, dat de opbouw van organische stof en de N-mineralisatie op basis van gegevens van het organische stofbeheer kan berekenen. Deze toetsing heeft plaats op basis van gegevens die worden verzameld op de kernbedrijven Vredepeel (akkerbouw), Meterik (groenteteelt), Horst (boomteelt) en De Noord (bollenteelt). Op deze zogenaamde kernbedrijven worden bedrijfssystemen aangelegd die i) herkenbaar zijn voor de praktijk, ii) een economische potentie hebben en iii) in potentie oplossingen kunnen bieden voor de bestaande milieuproblematiek. Binnen deze systemen kunnen een synthesesedeel en 1 of 2 analysedelen worden onderscheiden (Booij *et al.*, 2001). Het NMI-onderzoek wordt uitgevoerd binnen deze hoofdstructuur.

Het rekenmodel Janssen kan de opbouw van organische stof en de N-mineralisatie berekenen afhankelijk van het organische stofbeheer. Het model is eenvoudig, vraagt relatief weinig invoerparameters en lijkt daarom uitermate geschikt als instrument voor toepassing in de landbouwpraktijk. Het model Janssen is niet of nauwelijks getoetst onder veldomstandigheden en daarom zal dit in het kader van Tmt gebeuren op geselecteerde onderzoeksobjecten van de kernbedrijven Vredepeel, Meterik, Horst en De Noord. De toetsing is gericht op het beheer van organische stof en de daaraan gerelateerde N-mineralisatie.

In het voorliggende rapport is de toetsing van het model met de gegevens uit het seizoen 2001 weergegeven. In 2001 is de toetsing beperkt tot de kernbedrijven Vredepeel en Meterik, omdat van De Noord en Horst niet alle benodigde gegevens voor de toetsing beschikbaar waren.

In het eerste hoofdstuk wordt ingegaan op enkele algemene aspecten van het beheer van organische stof. In het tweede hoofdstuk worden achtergronden van en berekeningen in het model Janssen kort beschreven. Vervolgens wordt de opzet van de toetsing beschreven in hoofdstuk 3. In het vierde en vijfde hoofdstuk wordt ingegaan op de resultaten van de toetsing op percelen van Vredepeel en Meterik. Het rapport wordt besloten met een evaluatie.



## 2. Beheer van organische stof

### 2.1 Belang van organische stof voor bodemkwaliteit en nutriëntenmanagement

Organische stof is van belang voor de fysische, chemische en biologische bodemkwaliteit. Fysische bodemeigenschappen die worden beïnvloed door organische stof zijn de structuurstabiliteit, het vocht-houdend vermogen, de wortelbaarheid en de erosiegevoeligheid. Door de binding met minerale delen bevordert organische stof de stabiliteit van aggregaten, waardoor bij zandgronden grotere aggregaten in stand kunnen worden gehouden en waardoor bij kleigronden de verkrumming beter is. Bij kleigronden wordt met name de aëratie verbeterd, terwijl bij zandgronden de wortelbaarheid toeneemt. Vooral in zandgronden is het effect van organische stof op het vocht-houdend vermogen van groot belang. Per gram organische stof wordt het vochtbindend vermogen met 1-8 cm<sup>3</sup> verhoogd en de hoeveelheid hangwater met 0-3 cm<sup>3</sup>. Daarnaast neemt de erosiegevoeligheid in zandgronden af door een toename van het organischestofgehalte, doordat de zanddeeltjes aan elkaar worden gekit (Janssen *et al.*, 1990).

Belangrijke chemische bodemeigenschappen die worden beïnvloed door organische stof zijn de kationen adsorptie capaciteit (CEC) en de N-, P- en S- mineralisatie. In zandgronden wordt de CEC vrijwel geheel door de aanwezige organische stof bepaald. De hoogte van die CEC wordt o.a. beïnvloed door de pH: bij lage pH is de CEC lager dan bij hoge pH. In de meeste Nederlandse bodems ligt de CEC van humus uit de A-horizont tussen de 1,0 en 1,5 meq g<sup>-1</sup> organische stof, als gemeten wordt bij pH 6,5. Daarbij heeft jonge organische stof een lagere CEC dan oude organische stof, die in hoge mate gehumificeerd is. Door Janssen en Verveda (1986) wordt gesteld dat de gewasproductie niet verder toeneemt bij gronden met een CEC hoger dan 10 meq 100 g<sup>-1</sup> grond. Een CEC van 3-4 meq 100 g<sup>-1</sup> grond lijkt minimaal noodzakelijk om de continue teelt van eenjarige gewassen mogelijk te maken. Uitgaande van een CEC van 1,5 meq kg<sup>-1</sup> organische stof, betekent dit dat in zandgronden zonder lutum minimaal 2% organische stof nodig is voor het realiseren van de vereiste CEC.

Organische stof is van invloed op de biologische bodemeigenschappen, doordat toediening van vers organisch materiaal aan de bodem het bodemleven sterk stimuleert. Op korte termijn kan dit een structuurbevorderend effect hebben, doordat mycelia van schimmels bodemdeeltjes bijeen kunnen houden en doordat uitscheidingsproducten, zoals polysacchariden, kunnen zorgen voor het aan elkaar kitten van bodemdeeltjes. Tijdens de afbraak van organisch materiaal gebruiken micro-organismen een deel van de aanwezige C, N, P en S voor inbouw in eigen cellen (assimilatie), maar verdwijnt het overige deel door ademhaling (dissimilatie), waarbij energie vrijkomt. Of er netto N-, P- en S-mineralisatie optreedt, wordt bepaald door de C/N-, C/P- en C/S-ratio's van het substraat en van de micro-organismen en door de dissimilatie/assimilatie-verhouding.

### 2.2 Gewenste organische stofgehalte

Ondanks het hiervoor beschreven belang van organische stof voor de chemische, fysische en biologische eigenschappen en ondanks vele jaren van bodemvruchtbaarheidsonderzoek, is het onduidelijk wat het gewenste gehalte aan organische stof in een bodem is. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de indirecte en complexe beïnvloeding van organische stof op diverse bodem-eigenschappen en het effect daarvan op de gewasgroei.

Bgg-Oosterbeek hanteert streeftrajecten voor organische stof, in afhankelijkheid van het lutumgehalte en de pH van de grond. Bij het opstellen van deze streeftrajecten is rekening gehouden met het effect van het organische stofgehalte op de verschillende bodemeigenschappen.

Naast het gehalte aan organische stof in de bodem is ook de kwaliteit ervan van belang voor het effect op bodemkwaliteit. Hiervoor is al aangegeven dat de ladingsdichtheid (CEC) kan variëren met de ouderdom van de organische stof. De CEC bepaalt de omvang van de buffering voor kationen, die een maat is voor de chemische bodemkwaliteit.

Daarnaast zal de herkomst van de organische stof van invloed zijn op de afbreekbaarheid van het materiaal en de C/N-ratio. Deze eigenschappen zijn van invloed op de N-mineralisatie uit het materiaal.

In de bemestingsadviezen voor de meeste gewassen is geen advies voor organische stof opgenomen. Een uitzondering hierop wordt gevormd door het bemestingsadvies voor bloembollen, waarin wel een advies voor toediening van de hoeveelheid organische stof is opgenomen. Daarbij wordt rekening gehouden met de afbraaksnelheid van organische stof in de bodem (LBO, 1998). Voor zee- en duinzandgronden wordt een optimaal organische stofgehalte van 0,8 tot 1,3% aangehouden en voor slempgevoelige zandgronden wordt gestreefd naar een gehalte van minimaal 2%. In het advies wordt aangegeven hoeveel organische meststoffen moeten worden aangevoerd om het gehalte te handhaven of te verhogen.

## 2.3 Instrumenten voor beheer van organische stof

Uit vele langlopende proeven blijkt dat binnen de gangbare landbouw het gehalte aan organische stof moeilijk op peil kan worden gehouden. Een voorbeeld is een 80 jarige proef uit Denemarken, waarop verschillende grondsoorten het organische stofgehalte langzaam daalt, zelfs als stalmest wordt toegevend (Dam Kofoed, 1982). Ook uit een studie van Vleeshouwers *et al.* (2002) blijkt dat bij het huidige bodemgebruik, het organische stofgehalte in landbouwgronden van veel landen in Europa zal dalen. Koopmans (2001) rapporteert daarentegen dat in de biologische landbouw met de inzet van vaste mest en groenbemesters in een vruchtwisseling vaak wel een stijging van het organische stofgehalte wordt gevonden.

Uit het voorgaande blijkt dat een goede organische stofvoorziening en handhaving van het organische stofgehalte geen vanzelfsprekende zaak is. Het is dan ook van belang instrumenten ter beschikking te hebben, die gebruikt kunnen worden voor een verantwoord organische stofbeheer.

In de praktijk wordt vaak gestreefd naar handhaving van het bestaande organische stofgehalte. Daartoe wordt voor praktijkbedrijven vaak een organischestofbalans opgesteld. Als op deze balans de aanvoer van organische stof gelijk is aan de afbraak (=afvoer), dan blijft het gehalte aan organische stof in de bouwvoor gelijk.

Voor de traditionele balans die daarbij wordt gebruikt, wordt voor de aanvoer van organische stof gebruik gemaakt van het begrip effectieve organische stof. Effectieve organische stof is de hoeveelheid organische stof die 1 jaar na toediening nog aanwezig is in de bodem. Op de traditionele organische stofbalans wordt aangenomen dat de afbraaksnelheid van de effectieve organische stof gelijk is aan die van de reeds aanwezige organische stof in de bodem. Dit is echter onjuist, waardoor de ophoping of voorraadvorming van de organische stof in de bodem met deze methode wordt overschat.

Vaak wordt op de traditionele organischestofbalans een afbraak van 2 procent op jaarbasis aangehouden, zonder onderscheid naar grondsoort, rotatie, e.d. te maken. Het jaarlijkse afbraakpercentage van 2% is te algemeen, omdat de mineralisatie wordt beïnvloed door:

- de herkomst van de oude organische stof;
- bodemspecifieke factoren, zoals lutumgehalte, pH, vochthuishouding, etc.;
- de jaarlijkse aanvoer van organisch materiaal; en
- het type organisch materiaal dat jaarlijks wordt aangevoerd.

Aan de bovengenoemde bezwaren kan grotendeels tegemoet worden gekomen door gebruik te maken van rekenregels of -modellen, die de werkelijke afbraak van organische stof beter beschrijven. Een voorbeeld van een dergelijk model is het model Janssen (1984). Met dit model wordt rekening gehouden met de werkelijke afbraak van de toegediende organische stof en wordt de bijdrage van de verschillende producten aan de voorraad organische stof beter geschat. Daarnaast kan de afbraak van bodemorganische stof beter worden ingeschat door rekening te houden met het organische materiaal (gewasresten, groenbemesters, organische mesten e.d.) dat in de voorafgaande jaren (10-25 jaar) is toegediend. Met het model kan bovendien de N-mineralisatie worden berekend, door rekening te houden met de C/N-ratio van het organische materiaal en de C/N-ratio van micro-organismen (Janssen, 1996).



### 3. Beschrijving van model Janssen

Het model Janssen is in eerste instantie ontwikkeld voor de beschrijving van de C-mineralisatie van verschillende organische materialen (Janssen & Verveda, 1986). Dit model is later aangepast voor het beschrijven van de mineralisatie van N en P door het opnemen van de C/N- en C/P-ratio (Janssen & Noij, 2000).

De C-mineralisatie wordt beschreven met een eerste orde model:

$$dC/dt = -k.C$$

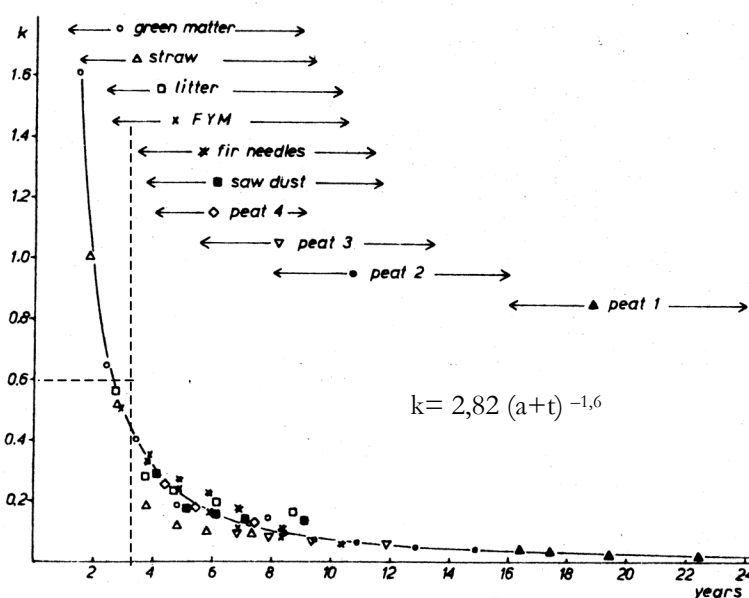
waarbij  $dC/dt$  = de C-mineralisatiesnelheid;  
 $k$  = de relatieve afbraaksnelheid; en  
 $C$  = de hoeveelheid organisch C.

De relatieve afbraaksnelheid ( $k$ ) is in dit geval niet constant, maar neemt af in de tijd. Deze afname van  $k$  in de tijd is beschreven met de formule

$$k = 2,82 t^{-1,6}, \text{ waarbij } t \text{ de tijd (in jaren) is.}$$

Het verloop van de relatieve afbraaksnelheid van verschillende organische materialen kan met dezelfde curve worden beschreven, waarbij de initiële afbraaksnelheid verschilt per materiaal. Er wordt rekening gehouden met de verschillen in afbraaksnelheid, door aan ieder materiaal een eigen 'initiële leeftijd' (aangegeven met de waarde 'a') toe te kennen. Deze a-waarde wordt uitgedrukt in jaren en is van invloed op de 'relatieve afbraaksnelheid' ( $k$ ).

Dit is beschreven met de formule  $k = 2,82 (a+t)^{-1,6}$  (Figuur 1).



Figuur 1. Verband tussen de relatieve afbraaksnelheid ( $k$ ) en de tijd in jaren ( $t$ ), voor verschillende producten met verschillende initiële leeftijden ( $a$ ).

In Figuur 1 is de initiële leeftijd van stalmest (FYM) aangegeven met de stippellijn. De a-waarde is ongeveer 2,5 jaar en de bijbehorende k-waarde 0,6. De a-waarde voor de meeste gewasresten en dierlijke mesten ligt tussen 1 en 2. Voor de totale hoeveelheid organische stof in de bodem schommelt de a-waarde meestal tussen de 15 en 30. Vlak na toediening van organische producten aan de bodem is de totale hoeveelheid C in die producten samen met de k-waarde bepalend voor de C-mineralisatiesnelheid. In de loop van de tijd neemt de k-waarde af volgens het verband dat is weergegeven in Figuur 1. De C-mineralisatiesnelheid zal dus ook afnemen in de loop van de tijd na toediening.

De relatie tussen C en t (het verloop van de hoeveelheid C in de tijd) kan worden verkregen door substitutie van k in  $dC/dt = -kC$ , gevolgd door een integratie. Dit levert de volgende relatie op:

$$C_{tot_t} = C_{tot_{t-1}} * \exp[4,7 * ((age_{t-1} + f_{temp_t} * tijd)^{-0,6} - age_{t-1}^{-0,6})]$$

Bij het bepalen van het vrijkomen van N uit organisch materiaal wordt rekening gehouden met de totale omzetting van C, de verhouding tussen assimilatie en dissimilatie door micro-organismen, de C/N-ratio van het substraat en de C/N-ratio van de micro-organismen.

In het model worden de volgende berekeningen achtereenvolgens uitgevoerd:

$$1. \quad C_{tot_t} = C_{tot_{t-1}} * \exp[4,7 * ((age_{t-1} + f_{temp_t} * tijd)^{-0,6} - age_{t-1}^{-0,6})]$$

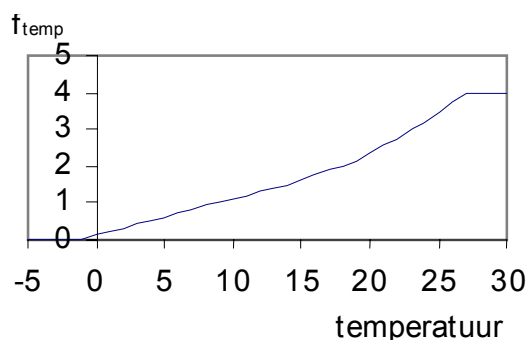
waarbij:  $C_{tot_t}$  en  $C_{tot_{t-1}}$  = totale hoeveelheid C (kg ha<sup>-1</sup>) op eind van dag t en dag t-1;  
 age = 'apparent initial age' of initiële leeftijd. Voor bodemorganische stof is die circa 20;  
 $f_{temp}$  = correctiefactor voor temperatuur (Tabel 1) ; en  
 tijd = tijd in jaren. Bij berekening op dagbasis geldt: tijd = 1/365 jaar.

$$2. \quad C_{diss_t} = C_{tot_{t-1}} - C_{tot_t}$$

waarin:  $C_{diss}$  = C-dissimilatie in kg C ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (C die wordt afgebroken door micro-organismen voor het verkrijgen van energie).

Tabel 1. Relatie tussen de temperatuur en de reductiefactor ( $f_{temp}$ ) voor de mineralisatie.

Temperatuur, °C	$f_{temp}$
$T \leq -1$	0
$-1 < T \leq 9$	$0,1 * (T+1)$
$9 < T \leq 27$	$2^{(T-9)/9}$
$T > 27$	4



$$3. \quad Cass_t = C_{diss_t} / DA$$

waarin:  $Cass$  = C-assimilatie (C die door micro-organismen wordt gebruikt voor de opbouw van nieuw celmateriaal) in kg C ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; en  
 DA = de dissimilatie-assimilatieverhouding van de micro-organismen. Deze wordt op 2 gesteld.



$$4. \quad N_{ass_t} = C_{ass_t} / CNM$$

waarin:  $N_{ass}$  = N-assimilatie (N die door micro-organismen wordt gebruikt voor de opbouw van nieuw celmateriaal) in  $kg\ N\ ha^{-1}\ d^{-1}$ ; en  
 $CNM$  = C/N-ratio van de micro-organismen. Deze wordt op 10 gesteld.

$$5. \quad C_{conv_t} = C_{diss_t} + C_{ass_t}$$

waarin:  $C_{conv}$  = de hoeveelheid C die door micro-organismen wordt omgezet.

$$6. \quad N_{conv_t} = C_{conv_t} / (C_{tot_{t-1}} / N_{tot_{t-1}})$$

waarin:  $S_{conv}$  = de hoeveelheid N die door micro-organismen wordt omgezet.

$$7. \quad N_{diss_t} = N_{conv_t} - N_{ass_t}$$

waarin:  $S_{diss}$  = N-dissimilatie (N die vrijkomt tijdens afbraak van organisch materiaal).  $N_{diss}$  is de N-mineralisatie en is dus de waarde die uiteindelijk nodig is als output van het model Janssen. Een positieve  $N_{diss}$  betekent netto N-mineralisatie (vrijkomen van N) en een negatieve  $N_{diss}$  betekent netto immobilisatie (vastleggen van N).

$$8. \quad N_{tot_t} = N_{tot_{t-1}} - N_{diss_t}$$

$$9. \quad age_t = age_{t-1} + f_{temp_t} * f_{vocht_t} / 365$$

Met stap 9 veroudert het organisch materiaal.



## 4. Opzet en uitvoering van de toetsing

### 4.1 Principe van de toetsing

In een aantal objecten met een uiteenlopend organische stofbeheer op de kernbedrijven Vredepeel, Meterik, De Noord en Horst, wordt het verloop van het organischestofgehalte over een periode van 10 jaar voorafgaand aan het toetsingsjaar 2001 berekend.

De keuze van objecten waarvan het organische stofbeheer nader wordt beschouwd is bepaald door:

- Verschillen in het organische stofbeheer in de afgelopen periode van 10 jaar,
- verschillen in het organische stofbeheer die gedurende de looptijd van het project worden aangebracht en
- de metingen die in de verschillende objecten door PRI, PPO en Alterra worden verricht.

Aangezien de verschillen in organische stofbeheer binnen het bedrijfsdeel waar de Tmt-objecten liggen, waarschijnlijk beperkt zijn geweest, is het zinvol twee objecten uit de huidige Tmt-structuur te vergelijken met een object uit het biologische bedrijfssysteem (buiten Tmt, maar met veel organische stofaanvoer). Zo zijn dan 3 objecten verkregen waarbij de verschillen in organische stofbeheer in de afgelopen 10 jaar relatief groot waren. Het betreft dan een object uit het biologische systeem met een hoge organische stofaanvoer, een object uit Tmt met een redelijke organische stofaanvoer en een object uit Tmt met een lage organische stofaanvoer (Tabel 2).

Tabel 2. *Schematische weergave van 3 beschouwde objecten, met relatief grote verschillen in het organische stofbeheer in de afgelopen 10 jaar.*

Object	Aanvoer van organische materialen (kwalitatief)		
	Organische mest	Gewasresten	Groenbemester
Tmt – lage os-aanvoer	-	-	-
Tmt – redelijke os-aanvoer	+/-	+	-
Biol. – hoge os-aanvoer	+	+	+

Startpunt voor de berekeningen is het organische stofgehalte van 10 jaar geleden (1991). Voor de periode vanaf 1991 wordt de afbraak van oude bodemorganische stof en de opbouw van jonge bodem-organische stof berekend. De effecten op veranderingen in het totale organische stofgehalte worden berekend en vergeleken met meetwaarden.

Daarnaast wordt de C- en N-mineralisatiesnelheid in gronden van diezelfde objecten berekend. Voor de betreffende percelen op Vredepeel en Meterik wordt de berekende C- en N-mineralisatiesnelheid vergeleken met de gemeten C- en N-mineralisatie (potentiële N-mineralisatiesnelheid).

Vanaf 2001 worden op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel op braakpercelen een aantal plotjes aangelegd waar gedurende de duur van de proef (2001-2003) grote verschillen in organische stofbeheer worden aangebracht. Het effect daarvan op het beloop van het totale organische stofgehalte, fracties van organische stof en C- en N-mineralisatiesnelheid worden vastgesteld.

## 4.2 Objecten en gegevens gebruikt voor de toetsing op Vredepeel

In de periode vanaf 1989 wordt op Vredepeel onderzoek verricht in het kader van het bedrijfssystemen-onderzoek (BSO) ten bate van de akkerbouw (Langeveld, 2002-I). Voor het beschrijven van de organische stoftoestand op de percelen in 2001 is gebruik gemaakt van het ECO- en MJPG-systeem uit BSO en van een biologisch perceel. In het ECO-object was de organische stofaanvoer relatief hoog en in het MJPG-object was die relatief laag. In het biologische systeem was de organischestof-aanvoer het hoogst. De geselecteerde percelen zijn 18.1, 18.2 en 26.2 (ECO), 28.1 en 28.2 (MJPG).

De gewasrotatie op Vredepeel bestaat uit consumptie-aardappelen, suikerbieten, graan (triticale), waspeen, consumptieaardappelen, suikerbieten, snijmaïs, conservenerwt/stamslaboon.

In het kader van Tmt worden twee bedrijfssystemen onderscheiden: een synthesedeel en een analyse-deel. Elk analysedeel bestaat uit twee experimentele varianten (Langeveld, 2002-I). In Tabel 3 is schematisch weergegeven wat de verschillen zijn in het organische stofbeheer (ofwel het gebruik van organische mest, groenbemesters en gewasresten) tussen de systemen.

Tabel 3. *Schematische weergave van maatregelen ten aanzien van het gebruik van organische meststoffen, groenbemesters en gewasresten in de verschillende systemen.*

Systeem	Dierlijke mestgebruik	Groenbemester	Gewasresten
Synthese	P-aanvoer=P-afvoer (dvm)	Minimalisering risico op aaltjesschade	Blijven achter
Analyse1	P-aanvoer maximaal de helft van P-afvoer (drm)	Alleen groenbemester bij kleine kans op aaltjesschade	Blijven achter
Analyse2	Geen dierlijke mest	Maximale inzet van groenbemesters	Stro verplaatst naar aardappelen; rest van erwt evt. verwijderd

Uit Tabel 3 blijkt dat de verschillen in organische stofbeheer tussen de systemen niet erg groot zijn. Enerzijds zal de organische stofaanvoer met dierlijke mest in het synthese-object wat hoger zijn dan in analyse 1 en 2. Anderzijds zal de organische stofaanvoer met groenbemesters in analyse 2 wat hoger zijn dan in synthese en analyse 1. De verschillen in organische stofaanvoer met gewasresten tussen de systemen zullen zeer beperkt zijn.

De percelen 18.1 en 28.1 zijn gelegen in het synthese-deel.

De percelen 18.2, 26.2 en 28.2 liggen in analyse1 en analyse2.

Om toch objecten te creëren met een groot verschil in organische stofbeheer worden in de braakplotjes objecten aangelegd, waarin sprake is van een groot verschil in de organische stofaanvoer (geen aanvoer vs. normale aanvoer van organische stof). De berekende verschillen in het verloop van het organische stofgehalte en C- en N-mineralisatiesnelheid worden vergeleken met meetwaarden.

De braakplotjes worden aangelegd in het analysedeel (analyse2) in de gewassen consumptie-aardappelen en snijmaïs. Het betreft de perceelsnummers:

- 18.2 A2 (snijmaïs) en
- 28.2 A2 (aardappel laat).

Deze blijven gedurende de hele onderzoeksperiode op dezelfde plek liggen. Dit betekent dus dat die plotjes het tweede jaar in suikerbieten en conserwenerwten/stamslabonen liggen en het derde jaar in triticale en consumptie-aardappelen. De braakplotjes zijn:

- een onbemeste braak (zwart),
- een bemeste braak (zwart) en een
- gewas zonder bemesting.

#### 4.2.1 Berekeningen

Gegevens over de geschiedenis (gebruik van organische meststoffen, teelt van groenbemesters, behandeling van gewasresten) van de percelen 18.1, 18.2 en 26.2 (ECO), 28.1 en 28.2 (MJPG) zijn verzameld en gebruikt voor berekeningen met model Janssen.

Bij de berekeningen wordt onderscheid gemaakt tussen oude en jonge organische stof. De jonge organische stof kan relatief goed worden gekarakteriseerd, doordat veel informatie beschikbaar is over eigenschappen van het vers toegediende materiaal. Dit betreft informatie over de hoeveelheid materiaal, de afbreekbaarheid en C- en N-gehalten van het materiaal. Opgemerkt moet worden dat voor Vredepeel geen informatie beschikbaar was over hoeveelheid en gehalten in gewasresten. Dit was wel het geval voor organische mesten. Voor gewasresten is uitgegaan van gemiddelde cijfers. De afbraak van bodemorganische stof wordt berekend door ervan uit te gaan dat het materiaal bij het startpunt van de berekeningen een initiële leeftijd heeft van 20 jaar en steeds resistenter wordt voor afbraak.

Gegevens van vers organisch materiaal waren beschikbaar vanaf 1993 en dit jaar was voor kernbedrijf Vredepeel dan ook het startpunt voor de berekeningen.

#### 4.2.2 Metingen

Metingen van de potentiële N-mineralisatiesnelheid zijn verricht met gestoorde en ongestoorde monsters. Behalve het vrijkomen van N wordt ook de CO<sub>2</sub>-respiratie gemeten.

De potentiële N-mineralisatie en CO<sub>2</sub>-respiratie zijn bepaald door Alterra aan de hand van ongestoorde monsters, afkomstig van de onbemeste braakveldjes van de percelen 18.2.A2 en 28.2.A2. De monsters zijn half oktober 2001 genomen en de incubatie is gedurende 3 maanden uitgevoerd bij een temperatuur van 20 °C.

De potentiële N-mineralisatie in gestoorde monsters is door PRI gemeten in de veldjes 18.1 S en 18.2 A2 (incl. braakveldje) en 28.2 A2 (incl. braakveldje). De monsters zijn begin april 2001 gestoken en zijn gedurende 3 maanden geïncubeerd bij 20 °C.

De potentiële C- en N-mineralisatie uit gewasresten van stro en suikerbiet is gemeten na menging door grond door Alterra.

Het verloop van de Nmin-voorraad in de bodem is tijdens het seizoen gemeten in de braakveldjes 18.2 A2 en 28.2 A2 en deze zijn gebruikt voor een vergelijking met berekeningen. De grondmonsters zijn maandelijks genomen door PRI en ze waren afkomstig van 2 diepten (0-30 en 30-60 cm).

### 4.3 Objecten en gegevens gebruikt voor de toetsing op Meterik

In de periode van 1990 tot 2000 is op Meterik onderzoek verricht in het kader van het bedrijfssystemenonderzoek (BSO) ten behoeve van de groenteteelt (Langeveld, 2002-II). Er zijn vier percelen in

beschouwing genomen die onderdeel uitmaakten van rotatie III (1:4; kool, kropsla, graan/gras, prei), omdat die nu ook nog onderdeel uitmaken van Tmt (percelen 22, 24, 26 en 34).

In het kader van Tmt worden op Meterik de volgende 3 bedrijfstypen onderscheiden:

- A. een gespecialiseerd prei-bedrijf
- B. een bladgewassen-prei bedrijf
- C. een gespecialiseerd aardbeien-bedrijf

Elk bedrijfstype heeft 2 of 3 synthesesdelen. In de bedrijfstypen A en B is voorzien in een analyse-deel en een aanvullend meetprogramma. Voor een uitgebreidere beschrijving van de bedrijfstypen en objecten wordt verwezen naar het projectplan (Langeveld, 2002-II).

De percelen 22, 24, 26 en 34 zijn gebruikt voor de toetsing van model Janssen. Deze percelen waren gelegen in het bladgewassen-prei bedrijf. De organische stofaanvoer op deze percelen zal naar verwachting vergelijkbaar zijn. Daarnaast is een perceel in de beschouwing meegenomen uit het biologisch systeem (perceel 5), met een relatief hoge aanvoer van organische stof.

Er liggen braakplotjes op de percelen 22, 26 (systeem B; bladgewas+korte teelt overig) en perceel 40 (systeem A; gespecialiseerd prei-bedrijf). Hierin worden objecten aangelegd met een uiteenlopende aanvoer van organische stof (geen aanvoer vs. normale aanvoer van organische stof). Over de voorgeschiedenis van perceel 40 is geen informatie beschikbaar, omdat het pas sinds kort onderdeel is van kernbedrijf Meterik.

### 4.3.1 Berekeningen

Gegevens over de geschiedenis (gebruik van organische meststoffen, teelt van groenbemesters, behandeling van gewasresten) van de percelen 22, 26 (rotatie III), 24, 34 en 5 (biologisch) zijn verzameld en gebruikt voor berekeningen met model Janssen.

Evenals voor Vredepeel is gemeld, wordt bij de berekeningen onderscheid gemaakt tussen oude en jonge organische stof. Voor een toelichting wordt verwezen naar de beschrijving bij Vredepeel. Voor Meterik waren wel nauwkeurige cijfers over hoeveelheden gewasresten en de N-gehalten daarin beschikbaar.

Gegevens van vers organisch materiaal waren beschikbaar vanaf 1991 en dit jaar was voor kernbedrijf Meterik dan ook het startpunt voor de berekeningen.

### 4.3.2 Metingen

De potentiële N-mineralisatie en CO<sub>2</sub>-respiratie is gemeten in ongestoorde monsters in de onbemeste braakveldjes van perceel 22 en 26. De monsters zijn half oktober 2001 verzameld door Alterra.

De potentiële C- en N-mineralisatie uit gewasresten van ijssla en chinese kool is gemeten na menging door grond door Alterra.

De potentiële N-mineralisatie in gestoorde monsters is gemeten in de percelen 26 en 40 door PRI. Deze monsters zijn eind juni 2001 gestoken. Aangezien van perceel 40 geen informatie was over de voorgeschiedenis van het perceel, kon geen vergelijking met berekeningen worden gemaakt.

In de zomer (vanaf juli) en het najaar zijn Nmin-metingen verricht in de braakveldjes 22, 26 en 40. De Nmin-metingen zijn verricht op 3 diepten (0-30, 30-60 en 60-90 cm) en zijn gebruikt om de N-mineralisatie uit af te leiden.

## 5. Resultaten van de toetsing op Vredepeel

### 5.1 Algemeen

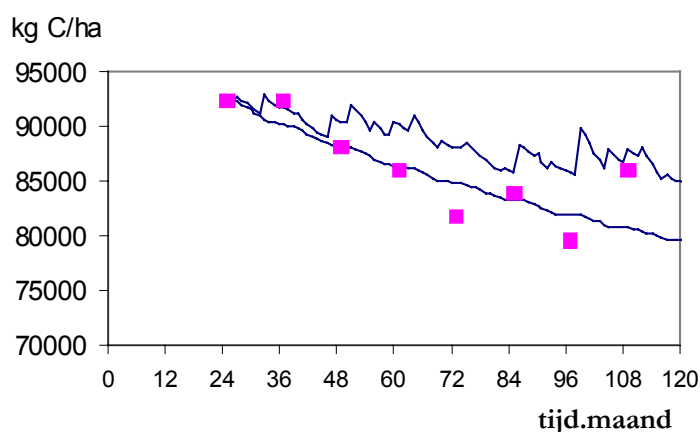
Er zijn gegevens verzameld over de geteelde gewassen, de gebruikte organische meststoffen en de gebruikte groenbemesters van de percelen 18.1, 18.2, 26.2 (ECO) en 28.1 en 28.2 (MJPG) voor de periode van 1993 tot 2000.

De verzamelde gegevens hadden betrekking op hoeveelheden, samenstelling en tijdstip van toediening. Aangezien geen gegevens bekend waren van de hoeveelheid en samenstelling van de gewasresten is daarbij gebruik gemaakt van gemiddelde cijfers.

Van de organische mesten waren wel de toegediende hoeveelheden en samenstelling bekend. De verdeling van N-totaal over N-organisch en N-mineraal in de mest is voor de jaren '93, '95, '96 en '97 geschat op basis van de gemiddelde samenstelling van de andere jaren.

### 5.2 Verloop van het organische stofgehalte

Startpunt voor de berekeningen was het gemeten organische stofgehalte in 1993 en een a-waarde van de organische stof in de bodem van 20 jaar ( $k$ -waarde  $\sim 0,02$ ). Op perceel 26.2 was het organische stofgehalte in 1993 gelijk aan 3,8. Bij een bouwvoordikte van 30 cm komt dit overeen met ca. 92416 kg C per ha. Het resultaat van de berekening van de afbraak van de (oude) organische stof en de opbouw van jonge organische stof voor de periode van 1993 tot en met 2000 is voor dit perceel weergegeven in Figuur 2.



*Figuur 2. Berekend verloop van de hoeveelheid oude (onderste lijn), jonge (verschil tussen onderste en bovenste lijn) en totale organische stof (bovenste lijn) van perceel 26.2 in de periode van 1993 tot 2000 (maand 24 - 120). Resultaten van metingen zijn weergegeven met vierkantjes.*

Uit Figuur 2 blijkt dat:

- De berekende opbouw van jonge organische stof in de periode van 8 jaar ca. 4000 kg C per ha bedraagt en daarmee gelijk is aan 5% van de totale hoeveelheid C.
- Er grote fluctuaties optreden in de berekende hoeveelheid jonge organische stof. De pieken worden veroorzaakt door een snelle stijging van de hoeveelheid C na de toediening van vers organisch materiaal. De snelle afname van de hoeveelheid C geeft aan dat dit materiaal niet stabiel is en snel weer afbreekt.

- Er sprake lijkt te zijn van een dalende tendens van het organische stofgehalte. Dit geldt zowel voor het berekende als het gemeten gehalte. Het verloop van het berekende gehalte wordt sterk bepaald door de aannames die zijn gedaan voor het startpunt van de berekening (met name ten aanzien van de afbreekbaarheid of a-waarde van de bodem organische stof)

### Vergelijking metingen vs. berekeningen

Uit vergelijking van berekeningen met metingen blijkt dat slechts een zeer globale toetsing mogelijk is. Uit Figuur 2 blijkt bijvoorbeeld dat zowel voor de berekeningen als voor de metingen sprake is van een dalende tendens van het organische stofgehalte. Een moeilijkheid bij de vergelijking is dat het gemeten organische stofgehalte grote fluctuaties vertoont tussen jaren. Dit effect is op andere percelen nog sterker dan op perceel 26.2. Deze fluctuaties in het gemeten organische stofgehalte tussen jaren kunnen niet worden verklaard door de berekeningen en ze zijn hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door de wijze van bemonstering. Doordat er sprake kan zijn van een heterogene verdeling van het organische stofgehalte over het perceel, kunnen door monsternamen verschillen in het bemonsterde deel van het perceel zijn ontstaan. Dit kan de relatief grote verschillen tussen jaren verklaren. Ook kleine verschillen in bemonsteringsdiepte tussen jaren kunnen een verklaring zijn voor de grote schommelingen in de metingen van het organische stofgehalte.

### Verschillen tussen de percelen en systemen

De berekende opbouw van jonge organische stof is groter op ECO-percelen (18.1, 18.2 en 26.2) dan op MJPG-systemen (28.1 en 28.2; Tabel 4).

Deze verschillen komen niet naar voren in veranderingen van het gemeten organische stofgehalte (Tabel 4). De meest waarschijnlijke reden hiervoor is dat verschillen in de opbouw van jonge organische stof ten opzichte van de totaal aanwezige voorraad erg klein zijn.

Tabel 4. *Het verloop van het gemeten organische stofgehalte op de beschouwde percelen en de berekende opbouw van jonge organische stof in december 2000.*

Perceel	Gemeten organische stofgehalte (%) per jaar									Opbouw jonge os, kg C/ha
	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	
18.1	3,8	4,6	4,6	4,6	4,4	4,6	4,4	4,4	3,9	5766
18.2	4,3	4,1	4,4	4,1	3,9	3,6	3,8	4,0	3,7	5842
26.2	3,8	3,8	3,6	3,5	3,3	3,4	3,2	3,5	3,2	5381
28.1	4,4	4,5	4,2	3,9	4,0	4,2	4,0	4,2	3,8	4473
28.2	4,1	3,9	4,3	4,0	3,5	3,6	4,2	3,6	3,8	3494

### Berekende veranderingen op braakplotjes

Op de braakplotjes wordt in de periode van 2001-2003 geen jonge organische stof opgebouwd, omdat geen organisch materiaal wordt aangevoerd. Aangezien de afbraak van organische stof wel doorgaat, zal het organische stofgehalte in deze periode afnemen.

De berekende afname voor perceel 18.2 tussen 1 jan. 2001 en 31 dec. 2003 bedraagt 6761 kg C per ha (93967 - 87206), ofwel 7,2%. Bij een organische stofgehalte van 4,0% op 1 jan. 2001 betekent dat dus een afname met 0,3% tot 3,7%.

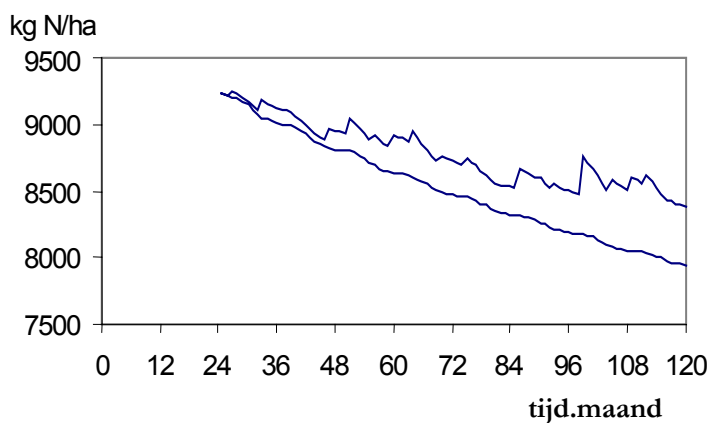
De berekende afname voor perceel 28.2 tussen 1 jan. 2001 en 31 dec. 2003 bedraagt 5130 kg C per ha (88233 - 83103), ofwel 5,8%. Bij een organische stofgehalte van 3,6% op 1 jan. 2001 betekent dat dus een afname met 0,2% tot 3,4%.

Als rekening wordt gehouden met de onnauwkeurigheid van de metingen, is een dergelijke afname lastig significant vast te stellen.



### 5.3 Verloop totale N-voorraad

Het resultaat van de berekening van de afbraak van de hoeveelheid N in (oude) organische stof en de opbouw van de hoeveelheid N in jonge organische stof is voor de periode van 1993 tot en met 2000 voor perceel 26.2 weergegeven in Figuur 3.



*Figuur 3. Berekend verloop van de hoeveelheid N-totaal in oude (onderste lijn), jonge (verschil tussen onderste en bovenste lijn) en totale hoeveelheid organische stof (bovenste lijn) van perceel 26.2 in de periode van 1993 tot 2000 (maand 24-120).*

Sterker dan bij het organische stofgehalte (Figuur 2) heeft de totale hoeveelheid N in organische stof (Figuur 3) de neiging om gedurende de periode van 8 jaar (van 1993 tot en met 2000) te dalen. Dit resultaat wordt sterk bepaald door de aannames die zijn gedaan voor het startpunt van de berekening (met name ten aanzien van de a-waarde van de bodem organische stof (voor 1993 op 20 gesteld) en de C/N-ratio ervan (aangenomen is dat die gelijk is aan 10)).

#### Vergelijking metingen vs. berekeningen

Er worden geen meetgegevens verzameld, waarmee deze berekeningen kunnen worden getoetst.

#### Verschillen tussen de percelen en systemen

De berekende opbouw van organisch N in jonge organische stof is groter op ECO-percelen (18.1, 18.2 en 26.2) dan op MJPG-systemen (28.1 en 28.2).

#### Berekende veranderingen op braakplotjes

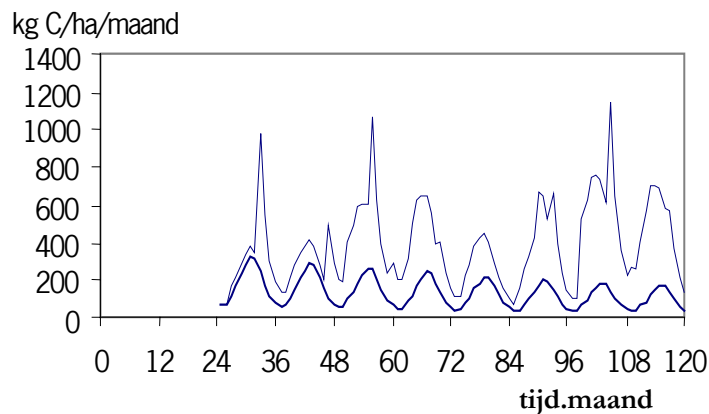
De berekende procentuele afname van de hoeveelheid N in organische stof in de braakplotjes gedurende de periode van 2001 tot 2003 is vergelijkbaar met die van het organische stofgehalte.

De berekende afname voor perceel 18.2 tussen 1 jan. 2001 en 31 dec. 2003 bedraagt 543 kg N per ha (9235 - 8692), ofwel 5,9%.

De berekende afname voor perceel 28.2 tussen 1 jan. 2001 en 31 dec. 2003 bedraagt 470 kg N per ha (8768 - 8298), ofwel 5,4%.

### 5.4 Ontwikkeling C-mineralisatiesnelheid

Het resultaat van de berekening van de C-mineralisatiesnelheid uit (oude) organische stof en die ten gevolge van de afbraak van jonge organische stof is voor de periode van 1993 tot en met 2000 voor perceel 26.2 weergegeven in Figuur 4.



*Figuur 4. Berekend verloop van de C-mineralisatiesnelheid uit oude (onderste lijn), jonge (verschil tussen onderste en bovenste lijn) en totale hoeveelheid organische stof (bovenste lijn) van perceel 26.2 in de periode van 1993 tot 2000 (maand 24-120).*

#### **Fluctuaties binnen jaren worden vooral veroorzaakt door**

- Temperatureffecten. Het effect van temperatuur op de C-mineralisatiesnelheid is groot (Tabel 1). Overigens is gewerkt met gemiddelde etmaaltemperaturen in de lucht (en niet in de bodem).
- Tussentijdse toediening van vers organisch materiaal tijdens een jaar. B.v. toediening van organische mest in voorjaar en/of onderploegen van gewasresten en/of groenbemesters in na- en/of voorjaar.

#### **Vergelijking metingen vs. berekeningen**

De resultaten van metingen van de C-mineralisatie in braakplotjes die zijn verzameld door Alterra, zijn weergegeven in Tabel 5. De metingen zijn uitgevoerd met ongestoorde grondmonsters, die gedurende een periode van 3 maanden zijn geïncubeerd bij 20 °C.

De grondmonsters zijn gestoken met metalen cilinders met een volume van 100 cm<sup>3</sup> en een hoogte van 5 cm. Hiermee zijn bodemlagen op een diepte van 10-15, 40-45, 70-75 en 100-105 cm bemonsterd. Als wordt aangenomen dat het monster uit de laag 10-15 cm representatief is voor de laag 0-30 cm, kan de gemeten C-mineralisatie worden vertaald naar die van de hele bouwvoor. Dit is gedaan in Tabel 5, zodat de gemeten C-mineralisatie kan worden vergeleken met de berekende C-mineralisatie.

Tabel 5. Resultaten van de metingen van de C-mineralisatie (afgeleid van meetgegevens van Alterra).

Perceel	Bodemlaag, cm	Gewasrest	C-mineralisatie, kg C/ha per maand	
			Actuele laag	Per 30 cm laag
18.2A2b	10 - 15	-	57	341
	40 - 45	-	19	117
	70 - 75	-	17	99
	100 -105	-	13	81
28.2a2b	10 - 15	-	58	346
	40 - 45	-	20	119
	70 - 75	-	15	92
	100 -105	-	13	77
28.2a2a	0 - 15	-	112	223
	0 - 15	Stro	259	
	0 - 15	Bieten	312	

Voor het bepalen van de C- en N-mineralisatie uit gewasresten is gebruik gemaakt van grond uit de toplaag (0-15 cm), waar de gewasresten doorheen zijn gemengd. In het controle-object, waar geen gewasresten zijn toegediend, is de grond eveneens gemengd. Vervolgens zijn cilinders gevuld met de gemengde grond, met of zonder gewasresten.

De met het model berekende C-mineralisatie is voor perceel 26.2 weergegeven in Figuur 4. Zoals reeds eerder gemeld wordt het niveau van de C-mineralisatie met name bepaald door de C-mineralisatie uit oude organische stof en die uit vers toegediend organisch materiaal. Fluctuaties binnen een jaar worden veroorzaakt door het verloop van de temperatuur en het tijdstip van toediening van vers organisch materiaal en van de eigenschappen van dat materiaal.

Uitgaande van een temperatuur van 20 °C (die ook bij de incubatie is gehanteerd), een monsternamen die half oktober is uitgevoerd en geen aanvoer van vers organisch materiaal in 2001 (onbemeste braak), wordt voor perceel 18.2 een C-mineralisatie berekend van 398 kg C per ha per maand en voor perceel 28.2 van 324 kg C per ha per maand. Deze ligt dus in dezelfde orde van grootte als de gemeten C-mineralisatie in de laag 0-30 cm (Tabel 5).

### Verschillen tussen percelen en systemen

De berekende C-mineralisatiesnelheid wordt met name bepaald door de aanvoer van vers organisch materiaal in de voorafgaande jaren. Voor de percelen 18.1, 18.2 en 26.2 was de berekende C-mineralisatiesnelheid in 2001 hoger dan voor de percelen 28.1 en 28.2. Deze berekende verschillen tussen 18.2 en 28.2 werden niet gevonden bij de metingen (Tabel 5). Opgemerkt moet worden dat het van belang is dat gebruik wordt gemaakt van goede schattingen van de invoer (met name de hoeveelheid groenbemester). Dit heeft nl. grote consequenties voor de berekende mineralisatiesnelheid.

### Berekende veranderingen op de braakplotjes

Uit berekeningen blijkt dat de C-mineralisatiesnelheid gedurende de braakperiode van 2001 tot 2003 sterk terug zal vallen (Tabel 6). Deze afname in de C-mineralisatiesnelheid zal worden getoetst, doordat in de loop van het project meerdere keren een bepaling van de C-mineralisatiesnelheid in de braakplotjes zal worden uitgevoerd.

Tabel 6. Ontwikkeling van de berekende C-mineralisatiesnelheid in de periode van 2000 tot 2003.

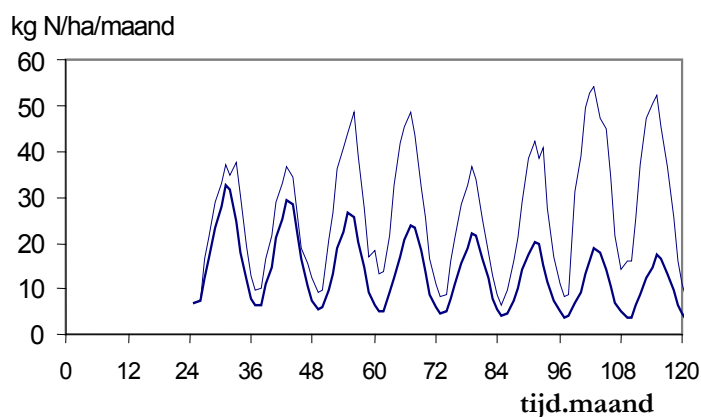
Perceel	Ontwikkeling van de C-mineralisatiesnelheid, kg C/ha per jaar			
	2000	2001	2002	2003
18.2	4237	3875	1759	1382
28.2	3624	2510	1506	1240

## 5.5 Ontwikkeling N-mineralisatiesnelheid

Het resultaat van de berekening van de N-mineralisatiesnelheid uit oude en jonge organische stof is voor perceel 26.2 weergegeven in Figuur 5.

Evenals bij de C-mineralisatie is vermeld, worden fluctuaties binnen jaren vooral veroorzaakt door:

- Temperatureffecten. Evenals bij de C-mineralisatiesnelheid is het effect van temperatuur op de N-mineralisatiesnelheid groot. Overigens is gewerkt met gemiddelde etmaaltemperaturen in de lucht (en niet in de bodem),
- Tussentijdse toediening van vers organisch materiaal tijdens een jaar. B.v. toediening van organische mest in voorjaar en/of onderploegen van gewasresten en/of groenbemesters in na- en/of voorjaar.



Figuur 5. Berekend verloop van de N-mineralisatiesnelheid uit oude (onderste lijn), jonge (verschil tussen onderste en bovenste lijn) en totale hoeveelheid organische stof (bovenste lijn) van perceel 26.2 in de periode van 1993 tot 2000 (maand 24-120).

### Vergelijking metingen vs. berekeningen

De berekende N-mineralisatiesnelheid kan worden vergeleken met de meetgegevens van de potentiële N-mineralisatie die worden verzameld door PRI en Alterra in incubatieproeven (Tabel 7). Daartoe zijn grondmonsters verzameld van diverse percelen (incl. braakplotjes) en als gestoorde en ongestoorde monsters geïncubeerd bij 20 °C. Ten behoeve van de incubatie met gestoorde grondmonsters zijn de monsters genomen op 3 april 2001 (PRI). Ten behoeve van de incubatie met ongestoorde monsters is de monsternamen uitgevoerd in de tweede helft van oktober van 2001 (Alterra).

Tabel 7. *Vergelijking van de berekende en gemeten potentiële N-mineralisatie in de bouwvoor (gestoorde monsters; data van PRI) voor de percelen 18.1, 18.2 en 28.2.*

Perceel	N-mineralisatie, kg N per ha per 3 maanden in 0-30 cm			
	Berekend, in 0-30 cm laag	Gemeten per bodemlaag, cm		
		0-30	30-60	0-60
18.1	142	134	43	177
18.2	144	113	47	160
28.2	117	85	33	119

De berekende N-mineralisatie was hoger dan de gemeten N-mineralisatie in de laag 0-30 cm en lager dan die in de laag 0-60 cm. Mogelijke oorzaken van de verschillen zijn:

- De berekende N-mineralisatie wijkt af van de werkelijke mineralisatie, door onvolkomenheden van het model of onnauwkeurigheden in de invoer-gegevens. Bij de invoer is gebruik gemaakt van gemiddelde waarden over aanvoer van organisch materiaal en N met gewasresten.
- De potentiële N-mineralisatie geeft geen goed beeld van de N-mineralisatie onder veldomstandigheden door verstoring van de grond. Het is echter de verwachting dat een dergelijke verstoring leidt tot een verhoogde mineralisatie, terwijl de gemeten mineralisatie lager is dan de berekende waarde.

De resultaten van de N-mineralisatie die is bepaald met behulp van ongestoorde monsters zijn gegeven in Tabel 8. Evenals bij de metingen van de C-mineralisatie is de N-mineralisatie gemeten per laag van 5 cm. Het betreft bodemlagen op een diepte van 10-15, 40-45, 70-75 en 100-105 cm. Als wordt aangenomen dat monsters uit de laag 10-15 cm representatief zijn voor de laag 0-30 cm, kan de gemeten N-mineralisatie worden vertaald naar de hele bouwvoor (Tabel 8) en aldus worden vergeleken met berekende waarden en waarden die zijn verkregen door incubatie van gestoorde monsters.

Tabel 8. *Resultaten van de metingen van de N-mineralisatie (afgeleid van meetgegevens van Alterra).*

Perceel	Bodemlaag, cm	Gewasrest	N-mineralisatie, kg N/ha per maand	
			Actuele laag	Per 30 cm laag
18.2A2b	10 - 15	-	4,3	26
	40 - 45	-	0,4	3
	70 - 75	-	0,2	1
	100 - 105	-	0,9	5
28.2a2b	10 - 15	-	4,4	26
	40 - 45	-	0,3	2
	70 - 75	-	0,3	2
	100 - 105	-	0	0
28.2a2a	0 - 15	-		
	0 - 15	Stro	-2,6	
	0 - 15	Bieten	15,6	

Uit een vergelijking van de potentiële N-mineralisatie bepaald met gestoorde (Tabel 7) dan wel ongestoorde (Tabel 8) grondmonsters, blijkt dat

- Er met gestoorde monsters duidelijke verschillen waren tussen 18.2 en 28.2, terwijl dat bij ongestoorde monsters niet het geval was
- Het N-mineralisatieniveau bij de ongestoorde monsters (ca. 78 kg N per ha per 3 maanden in de 0-30 cm laag; 26 \* 3 (Tabel 8)) lager was dan met de gestoorde monsters (Tabel 7). Mogelijke oorzaken voor de verschillen in de resultaten die zijn verkregen met de beide methoden zijn:
  1. Verschillen in monsternamen tussen beide methoden. Hierbij speelt mee dat de monsters afkomstig zijn van verschillende plekken van het perceel en van verschillende diepten. De ongestoorde monsters waren afkomstig van diepten van 10-15 en 40-45 cm en gestoorde monsters van diepten van 0-30 en 30-60 cm. Daarnaast is de monsternamen uitgevoerd op verschillende tijdstippen; gestoorde monsters zijn gestoken in april en ongestoorde monsters in oktober.
  2. Wel/geen verstoring van de grond. Verstoring van de grond kan tot een verhoging van de N-mineralisatie hebben geleid, waardoor de resultaten van de gestoorde monsters hoger waren dan die van de ongestoorde.

Uit een vergelijking van de berekende en gemeten mineralisatie blijkt dat de berekende mineralisatie (48 kg N per ha per maand op perceel 18.2 (144/3; Tabel 7) en 39 kg N per ha per maand op perceel 28.2 (117/3; Tabel 7) hoger was dan de gemeten N-mineralisatie, bepaald met de ongestoorde monsters. Aspecten die hierbij een rol kunnen spelen zijn de eerder vermelde onvolkomenheden in het model en/of onnauwkeurigheden bij de berekeningen ten gevolge van het gebruik van invoergegevens gemiddelde waarden. Daarnaast is het onduidelijk in hoeverre de laag 10-15 cm, die gebruikt is voor de meting, representatief is voor de laag 0-30 cm.

Zoals eerder gemeld, kwamen de verschillen in N-mineralisatie tussen de percelen 18.2 en 28.2 bij metingen met ongestoorde monsters niet naar voren, terwijl dat bij metingen met gestoorde monsters en berekeningen wel het geval was.

Berekeningen van de actuele N-mineralisatie kunnen ook worden vergeleken met de N-mineralisatie die is afgeleid uit Nmin-metingen in het veld. Daartoe wordt gebruik gemaakt van Nmin-metingen in braakplotjes 18.2 en 28.2 die tijdens het seizoen zijn uitgevoerd (Tabel 9). De N-mineralisatie wordt hieruit afgeleid door het verschil tussen de hoeveelheid Nmin op het eind en aan het begin van een tijdsperiode. Daarbij wordt aangenomen dat de N-aanvoer met depositie en het N-verlies via uitspoeling, denitrificatie, etc. verwaarloosbaar zijn. Het moge duidelijk zijn dat hiermee slechts een globale indicatie van de N-mineralisatie onder veldomstandigheden wordt verkregen.

Tabel 9. Nmin-metingen op braakpercelen zonder gewas 18.2 en 28.2 in seizoen 2001.

Perceel	Bodemlaag, cm	Ontwikkeling van Nmin-voorraden gedurende de groeiperiode, kg N ha <sup>-1</sup>				
		2 mei	5 juni	27 juni	25 juli	28 aug
18.2	0-30	27	58	78	80	88
	30-60	22	28	53	49	48
	0-60	49	86	141	129	136
28.2	0-30	20	43	43	55	62
	30-60	18	22	35	40	50
	0-60	38	65	78	95	112

Bij de afleiding van de N-mineralisatie uit Nmin-metingen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De hoeveelheid Nmin was begin april gelijk aan 15 kg N per ha in de laag 0-30 en 10 kg N per ha in de laag 30-60 cm;
- De N-aanvoer met depositie en het N-verlies via uitspoeling, denitrificatie, etc. waren verwaarloosbaar.

*Tabel 10. Gemeten en berekende N-mineralisatie in grond van percelen 18.2 en 28.2 in de periode april-augustus 2001.*

Perceel	Bodemlaag	N-mineralisatie, kg N per ha; april-augustus	
		Gemeten	Berekend
18.2	0-30	73	
	30-60	38	
	0-60	111	156
28.2	0-30	47	
	30-60	40	
	0-60	87	127

Uit een vergelijking van de op deze wijze uit metingen afgeleide N-mineralisatie met de met het model berekende N-mineralisatie (Tabel 10) blijkt dat:

- De berekende N-mineralisatie hoger is dan de gemeten N-mineralisatie in de laag 0-60 cm en
- de N-mineralisatie in 18.2 zowel bij de meting als bij de berekening hoger was dan in 28.2.

Een mogelijke verklaring voor het verschil tussen meting en berekening is dat met de meting geen goede schatting van de werkelijke mineralisatie wordt verkregen, doordat geen rekening is gehouden met verliesposten van N gedurende deze periode.

#### Verschillen tussen percelen en systemen

De berekende N-mineralisatiesnelheid wordt met name bepaald door de aanvoer van vers organisch materiaal in de voorafgaande jaren. Voor de percelen 18.1, 18.2, 26.2 en 28.1 was de berekende N-mineralisatiesnelheid in 2001 hoger dan voor perceel 28.2 (Tabel 11). De lagere N-mineralisatie komt ook naar voren bij metingen van de potentiële N-mineralisatie met gestoorde grondmonsters (Tabel 7) en bij metingen van de Nmin-voorraad op de percelen in de loop van het groeiseizoen van 2001 (Tabel 10), maar niet bij metingen van de N-mineralisatie met ongestoorde monsters (Tabel 8).

*Tabel 11. Berekende N-mineralisatie per perceel voor het jaar 2001.*

Perceel	N-mineralisatiesnelheid, kg N/ha per jaar
18.1	251
18.2	253
26.2	287
28.1	263
28.2	209

Voor de berekeningen is het van belang dat goede schattingen van de invoer (met name de hoeveelheid groenbemester) worden gemaakt. Dit heeft nl. grote consequenties voor de berekende mineralisatiesnelheid.

### **Berekende veranderingen op de braakplotjes**

Uit berekeningen blijkt dat de N-mineralisatiesnelheid gedurende de braakperiode van 2001 tot 2003 sterk terug zal vallen (Tabel 12), doordat geen organisch materiaal wordt aangevoerd. Uit metingen van de potentiële N-mineralisatie die gedurende de looptijd van het project regelmatig zullen worden uitgevoerd, zal blijken of de resultaten van de berekeningen overeenkomen met de werkelijkheid.

*Tabel 12. Ontwikkeling van de berekende N-mineralisatiesnelheid in de periode van 2000 tot 2003.*

Perceel	Ontwikkeling van de N-mineralisatiesnelheid, kg N/ha/jr			
	2000	2001	2002	2003
18.2	317	253	160	131
28.2	239	209	142	120



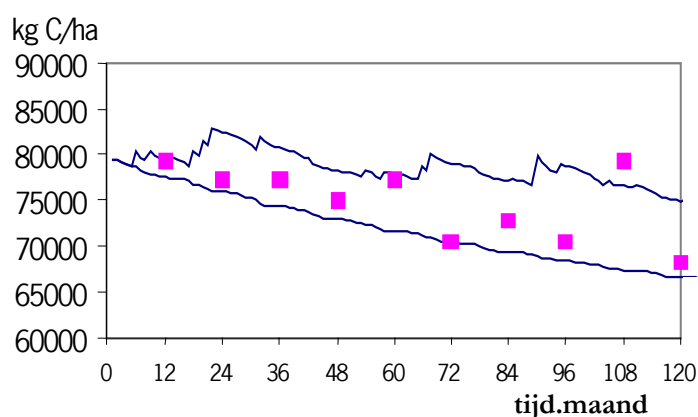
## 6. Resultaten van de toetsing op Meterik

### 6.1 Algemeen

Er zijn gegevens verzameld van de geteelde gewassen, de gebruikte organische meststoffen en de gebruikte groenbemesters van de percelen 22, 24, 26, 34 (rotatie III uit BSO) en 5 (biologisch). De verzamelde gegevens hadden betrekking op de hoeveelheden, samenstelling en tijdstip van toediening. Het betrof met name gewasresten en perspotjes. Op de percelen 22, 24, 26 en 34 zijn geen organische mesten toegediend. Op perceel 5 wel.

### 6.2 Verloop van het organische stofgehalte

Startpunt voor de berekeningen was het organische stofgehalte op de percelen in 1991. Als a-waarde voor de bodem organische stof is uitgegaan van een waarde van 20 jaar ( $k$ -waarde  $\sim 0.02$ ). Het resultaat van de berekening van de afbraak van de (oude) organische stof en de opbouw van jonge organische stof voor de periode van 1991 tot en met 2000 is voor perceel 22 weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6. Verloop van de berekende hoeveelheid oude (onderste lijn), jonge (verschil tussen onderste en bovenste lijn) en totale organische stof (bovenste lijn) van perceel 22 in de periode van 1991 tot 2000 (maand 0-120). Resultaten van het gemeten organische stofgehalte zijn weergegeven met vierkantjes.

#### Vergelijking metingen vs. berekeningen

Voor perceel 22 liggen de resultaten van de berekeningen voor de meeste jaren hoger dan de meetresultaten. De meetwaarden lijken de afbraak van (oude) bodem organische stof te volgen. Daarnaast valt op dat er grote schommelingen in de resultaten van metingen tussen jaren voorkomen.

Mogelijke oorzaken van de verschillen tussen metingen en berekeningen zijn:

- Onnauwkeurigheden bij de berekening, ten gevolge van onvolkomenheden in het model en/of onnauwkeurigheden bij aannames of invoer. Voor de afbreekbaarheid van de bodemorganische stof is een aanname gedaan ( $a$ -waarde = 20). Als voor een hogere afbreekbaarheid ( $a$ -waarde = 12) wordt gekozen, ligt de bovenste lijn dicht bij de gemeten punten.
- Onnauwkeurigheden bij de meting: Gezien de grote fluctuaties is het de vraag of de nauwkeurigheid voldoende is. Oorzaken voor de fluctuaties zijn tijdstip en wijze van bemonstering.

### Verschillen tussen de percelen en systemen

De verschillen tussen de percelen in berekende opbouw van jonge organische stof waren beperkt. De opbouw was het hoogst op perceel 5 en het laagst op perceel 26 (Tabel 13). De verschillen in de berekende hoeveelheid opgebouwde organische stof komen echter niet tot uiting in het gemeten organische stofgehalte: Zowel bij de berekeningen als bij de metingen lijkt op de verschillende percelen sprake te zijn van een dalende tendens van het organische stofgehalte. Verschillen tussen de percelen komen niet duidelijk naar voren, door de aanzienlijke fluctuaties tussen jaren.

Tabel 13. *Het verloop van het gemeten organische stofgehalte op de beschouwde percelen en de berekende opbouw van jonge organische stof in december 2000.*

Perceel	gemeten organische stofgehalte (%) per jaar										opbouw jonge os, kg C/ha	
	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00		'01
22	3,2	3,1	3,1	3,0	3,1	2,8	2,9	2,8	3,2	2,7		8337
26	2,9	2,8	2,9	2,8	2,9	2,5				2,6		7736
5	2,6	2,6	2,7	2,6	2,5	2,6	2,5	2,4	2,5	2,2	2,6	9980

### Berekende veranderingen op braakplotjes

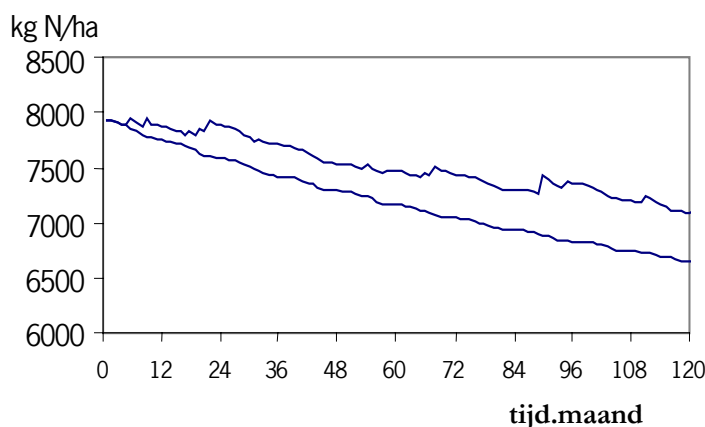
Op de braakplotjes (percelen 22 en 26) wordt in de periode van 2001-2003 geen jonge organische stof opgebouwd, omdat geen organisch materiaal wordt aangevoerd. Aangezien de afbraak van organische stof wel doorgaat, zal het organische stofgehalte in deze periode afnemen.

De berekende afname voor perceel 22 tussen 1 jan. 2001 en 31 dec. 2003 bedraagt 3696 kg C per ha (75016 - 71320), ofwel 4,9%. Bij een organische stofgehalte van 2,7% in 2000 betekent dat dus een afname met 0,2% tot 2,5%.

De berekende afname voor perceel 26 tussen 1 jan. 2001 en 31 dec. 2003 bedraagt 3353 kg C per ha (68633 - 64839), ofwel 5,5%. Bij een organische stofgehalte van 2,6% in 2000 betekent dat dus een afname met 0,2% tot 2,4%.

## 6.3 Verloop totale N-voorraad

Het resultaat van de berekening van het verloop van de hoeveelheid N-totaal ten gevolge van de afbraak van oude organische stof en de opbouw van jonge organische stof is voor perceel 22 weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7. *Berekend verloop van de hoeveelheid N-totaal in oude (onderste lijn), jonge (verschil tussen lijnen) en totale hoeveelheid organische stof (bovenste lijn) van perceel 22 in de periode van 1991 tot 2000 (maand 0-120).*

De totale hoeveelheid N in organische stof (Figuur 7) heeft de neiging om gedurende de periode van 10 jaar (van 1991 tot en met 2000) te dalen. Dit resultaat wordt sterk bepaald door de aannames die zijn gedaan voor het startpunt van de berekening (met name ten aanzien van de hoeveelheid en de a-waarde van de bodem organische stof, maar ook de C/N-ratio)

### Vergelijking metingen vs. berekeningen

Er worden geen meetgegevens verzameld, waarmee deze berekeningen kunnen worden getoetst.

### Verschillen tussen de percelen en systemen

De berekende opbouw van organisch N in jonge o.s. is het hoogst op het biologisch perceel (5) en het laagst op perceel 26. In december 2000 bedroegen die hoeveelheden respectievelijk 434, 408 en 575 voor de percelen 22, 26 en 5.

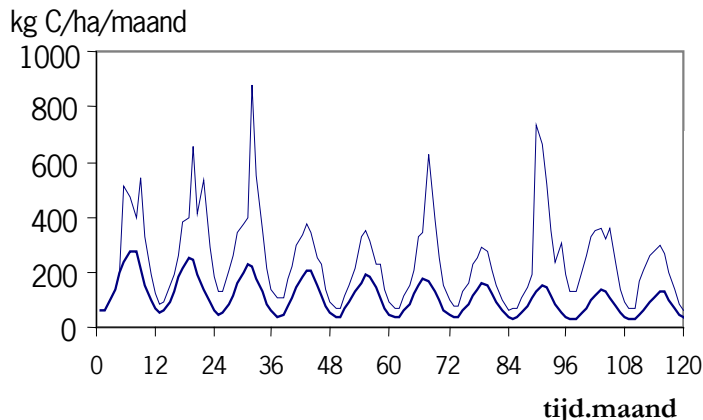
### Berekende veranderingen op braakplotjes

De berekende afname van de hoeveelheid N in organische stof in de braakplotjes gedurende de periode van 2001 tot 2003 bedraagt

- voor perceel 22: 296 (7098 - 6802) kg N per ha. Dit is 4,2%.
- Voor perceel 26: 291 (6498 - 6207) kg N per ha. Dit is 4,5%.

## 6.4 Ontwikkeling C-mineralisatiesnelheid

Het resultaat van de berekening van de C-mineralisatiesnelheid uit (oude) organische stof en die ten gevolge van de afbraak van jonge organische stof is voor de periode van 1991 tot en met 2000 voor perceel 22 weergegeven in Figuur 8.



*Figuur 8. Berekend verloop van de C-mineralisatiesnelheid uit oude (onderste lijn), jonge (verschil tussen lijnen) en totale hoeveelheid organische stof (bovenste lijn) van perceel 22 in de periode van 1991 tot 2000 (maand 0-120).*

### Fluctuaties binnen jaren worden vooral veroorzaakt door

- Temperatureffecten. Het effect van temperatuur op de C-mineralisatiesnelheid is groot. Overigens is gewerkt met gemiddelde etmaaltemperaturen in de lucht (en niet in de bodem),
- Tussentijdse toediening van vers organisch materiaal tijdens een jaar. B.v. toediening van organische mest in voorjaar en/of onderploegen van gewasresten en/of groenbemesters in na- en/of voorjaar.

### Vergelijking metingen vs. berekeningen

De berekeningen zijn vergeleken met meetgegevens van de C-mineralisatie in braakplotjes, die door Alterra zijn bepaald in incubatieproeven. Daartoe zijn in de tweede helft van oktober 2001 ongestoorde grondmonsters gestoken met cilinders met een volume van 100 cm<sup>3</sup> en een hoogte van 5 cm. Hiermee zijn bodemlagen op een diepte van 10-15, 40-45, 70-75 en 100-105 cm bemonsterd. De monsters zijn gedurende een periode van 3 maanden geïncubeerd bij een temperatuur van 20 °C.

Als wordt aangenomen dat het monster uit de laag 10-15 cm representatief is voor de laag 0-30 cm kan de gemeten C-mineralisatie worden vertaald naar die van de hele bouwvoor. Dit is gedaan in Tabel 14, zodat de gemeten C-mineralisatie kan worden vergeleken met de berekende C-mineralisatie.

Tabel 14. Resultaten van de metingen van de C-mineralisatie (afgeleid van meetgegevens van Alterra).

Perceel	Bodemlaag, cm	Gewasrest	C-mineralisatie, kg C/ha per maand	
			Actuele laag	Per 30 cm laag
22	10-15	-	59	354
	40-45	-	39	231
	70-75	-	29	176
	100-105	-	13	79
26	10-15	-	59	356
	40-45	-	35	211
	70-75	-	21	124
	100-105	-	14	85
27	0-15	-	90	180
	0-15	Ijssla	235	
	0-15	Chin.kool	300	

De met het model berekende C-mineralisatie is voor perceel 22 weergegeven in Figuur 8. Het mineralisatieniveau wordt bepaald door mineralisatie uit oude organische stof en mineralisatie uit jonge organische stof, waarbij de laatste het gevolg is van toediening van vers organisch materiaal in voorgaande jaren. Fluctuaties binnen het jaar worden sterk bepaald door het verloop van de temperatuur binnen een jaar en door verse giften aan organisch materiaal (gewasresten en organische mesten).

Uitgaande van een temperatuur van 20 °C (die ook bij de incubatie is gehanteerd), een monsternamen die half oktober is uitgevoerd en geen aanvoer van vers organisch materiaal in 2001 (onbemeste braak), wordt voor de percelen 22 en 26 een C-mineralisatie berekend van respectievelijk 234 en 226 kg C per ha per maand. De resultaten van de berekeningen liggen dus duidelijk onder die van de gemeten C-mineralisatie. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn:

- Een onderschatting van de aanvoer van vers organisch materiaal, die is gebruikt als invoer voor de berekening. Dit is voorstelbaar, aangezien nauwelijks rekening is gehouden met ondergrondse gewasdelen. Een onderschatting van de aanvoer van vers organisch materiaal leidt tot een onderschatting van de berekende C-mineralisatie uit jonge organische stof.
- Een onderschatting van de berekende C-mineralisatie uit 'oude' bodemorganische stof of toegevend vers organisch materiaal, doordat is uitgegaan van een te hoge a-waarde.
- Een overschatting van de gemeten C-mineralisatie in de bouwvoor, doordat de extrapolatie van de laag 10-15 naar die van 0-30 niet verantwoord is of doordat de behandeling van de grond heeft geleid tot een verhoging van de C-mineralisatie.

### Verschillen tussen percelen en systemen

Het valt op dat zowel de gemeten als de berekende waarden van de percelen 22 en 26 dicht bij elkaar liggen en dat er dus beperkte verschillen zijn tussen de percelen.

De berekende C-mineralisatiesnelheid wordt met name bepaald door de aanvoer van vers organisch materiaal in de voorafgaande jaren. Voor het biologische perceel 5 was de berekende C-mineralisatiesnelheid in 2001 het hoogst en voor perceel 22 het laagst.

Het is van belang dat goede schattingen van de invoer (met name de hoeveelheid groenbemester) worden gemaakt, omdat deze hoeveelheden grote consequenties hebben voor de berekende mineralisatiesnelheid.

### Berekende veranderingen op de braakplotjes

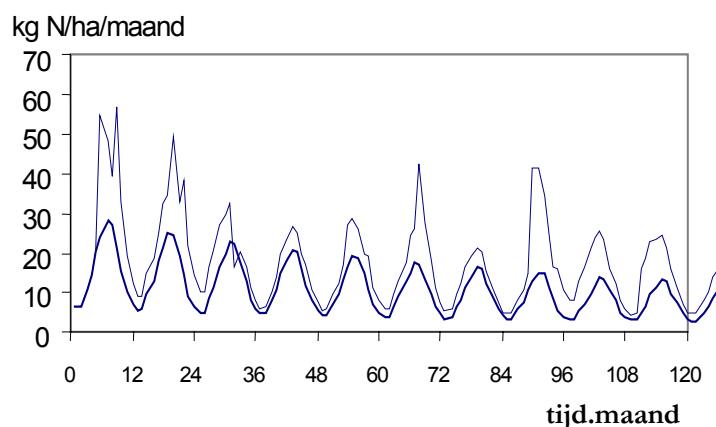
Uit berekeningen blijkt dat de C-mineralisatiesnelheid gedurende de braakperiode van 2001 tot 2003 sterk terug zal vallen (Tabel 15). De C-mineralisatie was op perceel 26 in 2001 hoger dan in 2000, doordat aan het eind van 2000 tagetes is ingewerkt, waaruit veel C vrijkwam. De verwachte afname van de C-mineralisatie in de periode van 2001 tot 2003 bedraagt ca. 50%.

Tabel 15. Ontwikkeling van de berekende C-mineralisatiesnelheid in de periode van 2000 tot 2003.

Perceel	Ontwikkeling van de C-mineralisatiesnelheid, kg C/ha per jaar			
	2000	2001	2002	2003
22	2112	1561	1174	1028
26	1554	1813	1116	917

## 6.5 Ontwikkeling N-mineralisatiesnelheid

Het resultaat van de berekening van de N-mineralisatiesnelheid uit (oude) organische stof en die ten gevolge van de afbraak van jonge organische stof is voor de periode van 1991 tot en met 2000 voor perceel 22 weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9. Berekend verloop van de N-mineralisatiesnelheid uit oude (onderste lijn), jonge (verschil tussen lijnen) en totale hoeveelheid organische stof (bovenste lijn) van perceel 22 in de periode van 1991 tot 2000 (maand 0-120).

### Fluctuaties binnen jaren worden vooral veroorzaakt door

- Temperatuurseffecten. Evenals bij de C-mineralisatiesnelheid is het effect van temperatuur op de N-mineralisatiesnelheid groot. Overigens is gewerkt met gemiddelde etmaaltemperaturen in de lucht.
- Tussentijdse toediening van vers organisch materiaal tijdens een jaar. B.v. toediening van organische mest in voorjaar en/of onderploegen van gewasresten en/of groenbemesters in na- en/of voorjaar.

### Vergelijking metingen vs. berekeningen

De berekende N-mineralisatiesnelheid kan worden getoetst aan de hand van meetgegevens van de potentiële N-mineralisatie die zijn verzameld door PRI en Alterra in incubatieproeven (Tabel 16). Daartoe zijn grondmonsters gestoken van diverse percelen (incl. braakplotjes) en als gestoorde en ongestoorde monsters geïncubeerd. Ten behoeve van de bepaling van de potentiële mineralisatie met gestoorde grondmonsters zijn alleen monsters verzameld van de percelen 26 en 40. Van perceel 40 kon de N-mineralisatie niet worden bepaald, omdat er geen gegevens van de geschiedenis van de bemesting en het organische stofbeheer beschikbaar waren.

Tabel 16. *Vergelijking van de berekende en gemeten potentiële N-mineralisatie in de bouwvoor (gestoorde monsters) van perceel 26. De berekende mineralisatie is ook gegeven voor de percelen 22 en 5.*

Perceel	N-mineralisatie, kg N per ha per 3 maanden in 0-30 cm			
	Berekend	Gemeten per bodemlaag, cm		
		0-30	30-60	0-60
22	66			
26	61	90	40	130
5	126			

Uit een vergelijking van de berekende en de gemeten potentiële N-mineralisatie van perceel 26 blijkt dat het resultaat van de meting in de laag 0-30 cm duidelijk hoger was dan die van de berekening. Mogelijke oorzaken voor verschillen tussen metingen en berekeningen zijn:

- Dat de gemeten N-mineralisatie een overschatting geeft van de werkelijke N-mineralisatie in het veld, doordat verstoring van het monster de N-mineralisatie heeft gestimuleerd.
- Onvolkomenheden in het model, onjuiste aannames ten aanzien van de afbraaksnelheid van oude organische stof of onnauwkeurigheden bij de invoer, b.v. doordat geen rekening is gehouden met ondergrondse gewasdelen.

De resultaten van de metingen van N-mineralisatie aan de hand van ongestoorde grondmonster zijn weergegeven in Tabel 17.

Uit een vergelijking van de berekende N-mineralisatie met de gemeten N-mineralisatie in de laag 0-30 cm bleek dat de waarden voor de percelen 22 en 26 zeer goed overeenkwamen. Voor perceel 22 was de berekende N-mineralisatie gelijk aan 22 kg N per ha per maand en de gemeten N-mineralisatie 24 kg N per ha per maand. Voor perceel 26 was dat resp. 20 en 22.

Berekeningen van de actuele N-mineralisatie kunnen ook worden vergeleken met de N-mineralisatie die is afgeleid uit Nmin-metingen in het veld. Daartoe kan voor de percelen op Meterik gebruik worden gemaakt van Nmin-metingen in braakplotjes 22 en 26 die in juli en augustus zijn uitgevoerd (Tabel 18).

Tabel 17. Resultaten van de metingen van de N-mineralisatie met ongestoorde grondmonsters (afgeleid van meetgegevens van Alterra).

Perceel	Bodemlaag, cm	Gewasrest	N-mineralisatie, kg N/ha/maand	
			Actuele laag	Per 30 cm laag
22	10-15	-	4,0	24
	40-45	-	2,3	14
	70-75	-	0	0
	100-105	-	0,3	0,3
26	10-15	-	3,7	22
	40-45	-	2,0	12
	70-75	-	0,8	5
	100-105	-	0,3	2
27	0-15	-	12	24
	0-15	Ijssla	30	
	0-15	Chin.kool	33	

De mogelijkheden om hieruit de N-mineralisatie af te leiden zijn beperkt, omdat het aantal waarnemingen zo beperkt is. Toch is een poging gedaan de N-mineralisatie te schatten voor de periode dat de N-behoefte door gewassen het hoogst is. De N-mineralisatie is afgeleid uit het verschil van de Nmin-voorraad in het vroege voorjaar (begin april) en eind augustus. Aangezien er van begin april geen N-min-voorraad bekend was, is aangenomen dat de N-min-voorraad op dat tijdstip in de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm gelijk was aan respectievelijk 15, 10 en 5 kg N per ha. Verder wordt aangenomen dat de N-aanvoer met depositie en het N-verlies via uitspoeling, denitrificatie, etc. verwaarloosbaar zijn. Het moge duidelijk zijn dat hier sprake is van een ruwe schatting van de N-mineralisatie.

Tabel 18. Gemeten (afgeleid van Nmin-metingen) en berekende N-mineralisatie in grond van percelen 22 en 26 in de periode van april tot eind augustus 2001.

Perceel	Bodem-laag, cm	Nmin-voorraad, kg N ha <sup>-1</sup>			N-mineralisatie, kg N ha <sup>-1</sup>	
		2 juli	30 juli	29 augustus	'Gemeten'	Berekend
22	0 - 30			23	23-15= 8	
	30 - 60			49	49-10=39	
	60 - 90			23	23-5=18	
	0 - 60			72	47	73
26	0 - 30	65	46	41	41-15=26	
	30 - 60	28	59	66	66-10=56	
	60 - 90	24	25	43	43-5=38	
	0 - 60	93	105	107	82	77

De berekende N-mineralisatie kwam redelijk overeen met de 'gemeten' N-mineralisatie, zoals afgeleid uit Nmin-bepalingen in de 0-60 cm laag in het veld. Verschillen kunnen gemakkelijk zijn veroorzaakt door fouten bij de aannames bij de meting (b.v. schatting van de Nmin-voorraad) en het feit dat geen rekening is gehouden met N-depositie en verliesposten van N.

### Verschillen tussen percelen en systemen

De berekende N-mineralisatiesnelheid wordt met name bepaald door de aanvoer van vers organisch materiaal in de voorafgaande jaren. Voor de percelen 5 en 24 was de berekende N-mineralisatiesnelheid in 2001 relatief hoog en voor percelen 22 en 26 relatief laag (Tabel 19). Bij de berekeningen is er vanuit gegaan dat in 2001 geen organisch materiaal werd aangevoerd. De N-mineralisatie in 2001 was dus afkomstig van bodem organische stof en organisch materiaal dat in 2000 of eerder is toegediend.

Tabel 19. *Berekende N-mineralisatie per perceel voor het jaar 2001.*

Perceel	N-mineralisatie, kg N/ha per jaar
22	121
24	187
26	127
34	145
5	164

### Berekende veranderingen op de braakplotjes

Uit berekeningen blijkt dat de N-mineralisatiesnelheid gedurende de braakperiode van 2001 tot 2003 sterk terug zal vallen (Tabel 20).

Tabel 20. *Ontwikkeling van de berekende N-mineralisatiesnelheid in de periode van 2000 tot 2003.*

Perceel	Ontwikkeling van de N-mineralisatie, kg N/ha/jr			
	2000	2001	2002	2003
22	173	121	95	84
26	111	127	95	77



## 7. Evaluatie

Het belangrijkste doel van deze studie was het toetsen van het model Janssen. Daartoe zijn modelberekeningen uitgevoerd met gegevens van objecten van de kernbedrijven Vredepeel en Meterik. Resultaten van de berekeningen zijn vergeleken met meetgegevens. Het betrof resultaten van het verloop van het organische stofgehalte, de afbraaksnelheid van organische stof en de N-mineralisatiesnelheid.

Voor de bedrijven Horst en De Noord zullen de modelberekeningen in 2002 worden vergeleken met metingen. Voor Horst konden de modelberekeningen voor het jaar 2001 nog niet worden uitgevoerd, omdat de benodigde invoer slechts gedeeltelijk beschikbaar was en voor De Noord zijn in 2001 geen meetgegevens verzameld, omdat de bouwvoor van de percelen op het bedrijf in 2001 ingrijpend is bewerkt.

Hieronder worden de belangrijkste resultaten van de toetsing op de verschillende kernbedrijven geëvalueerd.

### 7.1 Toetsing van berekende veranderingen in de C- en N-voorraad

Op basis van het organische stofbeheer in de periode vanaf 1991 is het verloop van het organische stofgehalte in een aantal objecten van de kernbedrijven berekend. Dit is vergeleken met jaarlijkse metingen van het organische stofgehalte op diezelfde percelen.

Veranderingen in voorraden C en N treden niet snel op en zijn niet makkelijk meetbaar. De periode van 8-10 jaar die nu is beschouwd, is eigenlijk nog te kort om effecten van een uiteenlopend organische stofbeheer op veranderingen in het organische stofgehalte te kunnen meten. Hiervoor lijkt een termijn van 25 jaar minimaal gewenst. Bovendien waren de verschillen in organische stofbeheer tussen de objecten relatief klein. Wel leek er met name op Meterik sprake te zijn van een dalende tendens in het organische stofgehalte. Het organische stofgehalte op de beschouwde percelen lag in 1991 tussen 2,6 en 3,2% en was in 2000 gedaald tot waarden tussen 2,2 en 2,7%. Voor Vredepeel was dit effect minder duidelijk. Daar lag het organische stofgehalte in 1993 tussen 3,8 en 4,4% en in 2000 tussen 3,5 en 4,4%. Daarentegen was de berekende C-ophoping op Meterik wat hoger dan op Vredepeel, wat met name het gevolg leek te zijn van de aanvoer van perspotjes. Daardoor bleef het berekende organische stofgehalte in Meterik op peil, terwijl het voor Vredepeel daalde. De discrepantie tussen de resultaten van metingen en die van berekeningen zal in 2002 verder worden onderzocht. Mogelijk vormen de aannames die voor de modelberekeningen zijn gedaan een belangrijke verklaring (zie verder). Het is mogelijk dat i) de aanvoer van vers organisch materiaal op de percelen in Meterik is overschat of ii) dat de afbraaksnelheid van toegediend vers materiaal, of van oude bodemorganische stof in Meterik is onderschat.

Er zijn nog geen resultaten beschikbaar van de ontwikkeling van het organische stofgehalte in de speciaal daarvoor aangelegde objecten met uiteenlopend organische stofbeheer (geen organisch materiaal toegediend vs. hoge toediening aan GFT-compost), omdat die objecten pas in 2002 worden aangelegd.

Uit de voorlopige toetsing is naar voren gekomen dat aannames en/of uitgangspunten voor de berekeningen van cruciaal belang zijn voor de resultaten van de berekeningen. Zoals gemeld lijkt een aanname voor de a-waarde ( $a=20$ ) voor bodemorganische stof op Meterik te leiden tot een overschatting van het organische stofgehalte ten opzichte van het gemeten organische stofgehalte. Voor een bevredigende inzet van model Janssen voor een schatting van de mineralisatie in de landbouwpraktijk lijkt het dan ook noodzakelijk dat een betrouwbare inschatting van de afbreekbaarheid van bodemorganische stof

kan worden gemaakt. Het zou positief zijn als dit door een snelle meting vastgesteld zou kunnen worden. Hieraan zal in het vervolgonderzoek in 2002 aandacht worden besteed.

Mogelijk kunnen veranderingen in de voorraden van fracties van de organische stof beter worden vastgesteld dan die van het totale organische stofgehalte. De makkelijk afbreekbare fractie (b.v. opgelost organische stof of DOC) zou dan sneller moeten veranderen dan de totale hoeveelheid. Het is nog onduidelijk:

- Of veranderingen in het DOC een signaalfunctie hebben voor veranderingen (op de lange termijn) van het totale organische stofgehalte.
- Wat de relatie is tussen het DOC en parameters in het model (b.v. de hoeveelheid jonge organische stof). Dit moet wel bekend zijn om het model te kunnen toetsen aan de hand van meetgegevens.

Ook aan deze aspecten zal in het vervolgonderzoek van 2002 aandacht worden besteed.

## 7.2 Toetsing van berekende veranderingen in de C- en N-mineralisatie

De C- en N-mineralisatiesnelheid zijn gemeten onder gecontroleerde omstandigheden in objecten van de kernbedrijven Vredepeel en Meterik. Daarnaast is de N-mineralisatie onder veldomstandigheden op Vredepeel en Meterik afgeleid uit N-mineraalmetingen op braakplotjes. De resultaten van de metingen zijn vergeleken met berekeningen van de C- en N-mineralisatiesnelheid voor die omstandigheden. Voor Vredepeel kwamen de gemeten en berekende C-mineralisatiesnelheid goed overeen, maar voor Meterik was de berekende C-mineralisatiesnelheid lager dan de gemeten C-mineralisatiesnelheid.

Voor Vredepeel waren metingen van de potentiële N-mineralisatie met gestoorde monsters uit de laag 0-30 cm lager dan die van de berekening. Dit effect was nog sterker voor metingen van de potentiële N-mineralisatie met ongestoorde monsters. Ook gaven de berekeningen een hogere N-mineralisatie te zien dan op basis van metingen van de N-mineraalvoorraad in het veld in de laag 0-60 cm wordt berekend.

Voor Meterik, daarentegen, waren metingen van de potentiële N-mineralisatie met gestoorde monsters uit de laag 0-30 cm hoger dan de berekende N-mineralisatie. Metingen op basis van ongestoorde monsters kwamen goed overeen met berekeningen.

Uit het voorgaande kan worden geconcludeerd dat metingen van de C- en N-mineralisatiesnelheid meer of minder goed overeenkwamen met berekeningen en dat de mate van overeenkomst tussen metingen en berekeningen verschillend was voor de kernbedrijven Vredepeel en Meterik. Zo gaven op Vredepeel de berekeningen een wat hogere N-mineralisatie te zien dan metingen met gestoorde en ongestoorde monsters in de laag 0-30 cm. Op Meterik gaven de berekeningen juist een lagere N-mineralisatie te zien dan de metingen. Het is onduidelijk waardoor deze verschillen worden veroorzaakt. Voor beide kernbedrijven is dezelfde procedure gebruikt voor het berekenen van de N-mineralisatie. Gegevens over de historie van de afgelopen 8-10 jaar zijn gebruikt om de mineralisatie uit jonge organische stof te berekenen. Voor de mineralisatie uit oude, bodem organische stof zijn dezelfde aannames gedaan. Mogelijk is dat niet correct en moet de mineralisatie uit oude bodem organische stof beter worden ingeschat. Evenals voor de beschrijving van het beloop van het organische stofgehalte, zou dit gerealiseerd kunnen worden door de afbreekbaarheid van de organische stof beter te beschrijven.

Een bepaling van de N-mineralisatie die onder veldomstandigheden optreedt is lastig. Metingen van de potentiële C- en N-mineralisatie kunnen worden vertaald naar veldomstandigheden door te corrigeren voor de actuele temperatuur en vochttoestand. Daarbij is het de vraag i) in hoeverre verstoring van de grond in het laboratorium van invloed is op het mineralisatieniveau en ii) hoe goed met de correcties voor temperatuur en vochttoestand een vertaling naar veldomstandigheden gemaakt kan worden.

Bij het afleiden van de N-mineralisatie uit metingen van de N-mineraalvoorraad in het veld, is het probleem dat andere processen, zoals verliezen door uitspoeling en denitrificatie en opname door gewassen ook van invloed zijn op de N-mineraalvoorraad. Voor een goede kwantificering van de N-mineralisatie is het dus noodzakelijk dat ook de andere processen goed zijn gekwantificeerd.

Aangezien de berekende C- en N-mineralisatiesnelheid erg gevoelig is voor de hoeveelheid en samenstelling de recent aangevoerde organische materialen, worden hoge eisen gesteld aan de kwaliteit van invoergegevens van de voorafgaande jaren. Het is dan ook zeer gewenst dat inzicht wordt verkregen in optredende variaties in de hoeveelheid, samenstelling (C- en N-gehalten) en overige eigenschappen (o.a. afbreekbaarheid) van gewasresten, organische mesten e.d. en het effect daarvan op de berekende C- en N-mineralisatie.

### **7.3 Werkplan 2002**

In 2002 zal in vervolg op de hiervoor beschreven activiteiten uit 2001 worden gewerkt aan de volgende aspecten:

- De gegevens van het tweede jaar, verzameld op Vredepeel en Meterik,
- Toetsing op kernbedrijven De Noord en Horst,
- Beschrijving afbraak van producten (C- en N-mineralisatie; a-waarden),
- Voorkomende spreidingen in de invoergegevens van het model en effect daarvan op de uitkomsten van het model,
- Uitbreiding model met waterbalans, zodat ook uitspoeling kan wordt beschreven en het getoetst kan worden met Nmineraalbepalingen,
- Het verkennen van de beschikbaarheid van een snelle bepalingsmethode voor de afbreekbaarheid van organische stof, die gebruikt kan worden in combinatie met het model,
- Mogelijkheid om gebruik te maken van de DOC als indicator voor veranderingen in het totale organische stofgehalte.



## 8. Literatuur

- Booij, R., W. van Dijk, B. Smit, F. Wijnands, H. Langeveld, J. de Haan, A. Pronk, J. Schröder, J. Proost, H. Brinks & P. Dekker, 2001.  
 Detaillering van het projectplan 'Telen met toekomst'. Plant Research International, Nota 19a, 77 p.
- Dam Kofoed, A., 1982.  
 Humus in long term experiments in Denmark. In: D. Boels, D.B. Davies & A.E. Johnston, (eds.): Soil degradation. Balkema, Rotterdam, 241-258.
- Janssen, B.H., 1984.  
 A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. Plant and Soil 76, 297-304.
- Janssen, B.H. & H.W. Verveda, 1986.  
 Organische stof en bodemvruchtbaarheid; caput selectum in het kader van Bodemvruchtbaarheid en Bemesting. Landbouwwuniversiteit Wageningen; Bodemkunde en Plantevoeding, 215 p.
- 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., P. van der Sluijs & H.R. Ukkerman, 1990.  
 Organische stof. In: Locher WP en H de Bakker (eds.) Bodemkunde van Nederland, 109-127.
- Janssen, B.H. & I.G.A.M. Noij, 2002.  
 A simple model and a linear equation for the calculation of nitrogen and phosphorus mineralization: MINIP. Plant and Soil (submitted).
- Koopmans, 2001.  
 Beheer van de bodemvruchtbaarheid. In: Bokhorst, J.G. & C.J. Koopmans, (eds.) Bemesting en bodemgebruik in de biologische landbouw; Stand van zaken en knelpuntenanalyse, 21-28.
- Langeveld, J.W.A., (ed.) 2002-I.  
 Projectplan Telen met toekomst; Kernbedrijf Vredepeel. Plant Research International, 28 p.
- Langeveld, J.W.A., (ed.) 2002-II.  
 Projectplan Telen met toekomst; Kernbedrijf Meterik. Plant Research International, 34 p.
- LBO, 1998.  
 Adviesbasis voor de bemesting van bloembolgewassen, Laboratorium voor Bloembollenonderzoek, Lisse, 36 p.
- Vleeshouwers, L.M. & A. Verhagen, 2002.  
 Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe.
- 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 p.





Onderzoek en rapportage voor Telen met toekomst zijn uitgevoerd door NMI