



Organische stofopbouw en N-mineralisatie; praktijktoepassing van een verbeterd model



R. Postma, T.A. van Dijk & A.G.G. van der Weijden

Telen met toekomst

Organische stofopbouw en N-mineralisatie; praktijktoepassing van een verbeterd model

R. Postma, T.A. van Dijk & A.G.G. van der Weijden



Telen met toekomst
augustus 2004
OV0413



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
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
Internet: www.telenmettoekomst.nl

Inhoudsopgave

	Pagina
Samenvatting en conclusies	1
1. Inleiding	3
2. Functies van organische stof en streefwaarden	5
2.1 Algemeen	5
2.2 Levering van nutriënten	5
2.3 Bodemleven en ziekteverendheid	5
2.4 Kationen adsorptie capaciteit	6
2.5 Structuur, verkruimelbaarheid, sloopgevoeligheid	6
2.6 Vochthoudend vermogen	8
2.7 Uitspoeling van stikstof	8
2.8 Erosie	9
3. Opzet en rekenregels van het verfijnde model	11
3.1 Rekenregels van het verfijnde model	11
3.2 Rekenstappen in het model	12
3.3 Keuze van modelparameters	13
3.4 Consequenties voor de praktijk	15
4. Gebruik van het model voor organischestofbeheer	17
4.1 Algemeen	17
4.2 Inventariseren van de organischestofaanvoer	17
4.3 Doorrekenen van consequenties voor organischestofgehalte	18
4.4 Toetsing aan doelstellingen	19
4.5 Het genereren van een advies voor aanpassing van de aanvoer van organische stof	19
5. Gebruik van het model voor optimalisering van de N-bemesting	21
5.1 Algemeen	21
5.2 Berekening van N-mineralisatie met het aangepaste mineralisatiemodel	21
5.3 Principe van het NBS	22
5.4 Aanpassing van NBS met berekening van perceelsspecifieke N-mineralisatiecurve	23
6. Evaluatie	25
7. Literatuur	27
Bijlage I.	1 p

Samenvatting en conclusies

Dit rapport is het laatste in een serie van vier die door Nutriënten Management Instituut NMI zijn opgesteld over het beheer van organische stof in het kader van Telen met toekomst (Tmt). Het centrale element van de NMI-activiteiten in dit project bestond uit een toetsing en verfijning van het model Minip, dat de opbouw van organische stof en de N-mineralisatie voor uiteenlopende omstandigheden kan berekenen. De toetsing en verfijning is beschreven in voorgaande rapporten in de serie. In het voorliggende rapport wordt aangegeven hoe het verbeterde model in de praktijk kan worden gebruikt. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar het gebruik voor het organischestofbeheer en het gebruik voor de afstemming van de N-bemesting op de berekende N-mineralisatie.

In het verbeterde model zijn enkele rekenregels uit het model Minip, die zijn opgesteld door Janssen, vervangen door aanpassingen die zijn voorgesteld door Yang. Zowel Janssen als Yang maakten voor het beschrijven van de organischestofafbraak gebruik van een eerste orde model, waarbij de relatieve afbraaksnelheid k , verandert in de tijd. De wijze waarop de k verandert in de tijd verschilt in de beide modellen. In de formule die is beschreven door Janssen varieert de verandering van k in de tijd door de waarde van de parameter 'a', die wordt aangeduid met het begrip initiële leeftijd. In de formule die is beschreven door Yang zijn de parameters 'R₀' en 'S' verantwoordelijk voor de verandering van k in de tijd. In een voorgaand rapport is gebleken dat met de formule van Yang een betere beschrijving van de organischestofafbraak van individuele datasets wordt gerealiseerd dan met de formule van Janssen. Daarnaast is echter gebleken dat de waarden van de modelparameters voor bepaalde organische materialen aanzienlijk kunnen variëren, in afhankelijkheid van de dataset waarop ze zijn gebaseerd. De variaties in curven die hierdoor ontstaan voor een type organisch materiaal zijn met model Yang veel groter dan die met Minip. Om te grote afwijkingen bij de voorspelling van de afbraak van diverse organische materialen te voorkomen, wordt voorgesteld om voorlopig te werken met gemiddelde waarden van de parameters, die door Yang voor een aantal categorieën organisch materiaal zijn voorgesteld. Bij het gebruik van model Yang met deze vaste parameterwaarden zijn de consequenties voor de praktijk beperkt, aangezien vergelijkbare afbraakcurven worden verkregen als met Minip.

Bij het beheer van organische stof maken de berekeningen met het verbeterde model onderdeel uit van een stappenplan, waarin de consequenties van een voorgenomen teelt- en meststofplan worden getoetst aan de doelstellingen ten aanzien van organische stof. Het stappenplan is als volgt:

1. Inventariseren van de aan- en afvoer van organische stof van het teelt- en meststofplan.
2. Het doorrekenen van de consequenties ervan voor het organischestofgehalte.
3. Het toetsen van de berekende consequenties aan de doelstellingen ten aanzien van organische stof.
4. Het genereren van een advies voor een eventuele aanpassing van de aanvoer van organische stof.

Het stappenplan is uitgewerkt voor de situatie op perceel 28.2 van Vredepeel. Daaruit blijkt dat voor het teelt- en bemestingsplan dat vanaf 1993 is gerealiseerd, over een periode van 50 jaar een afname van het organischestofgehalte van 4,1 tot 3,4% werd berekend. Als wordt gestreefd naar handhaving van het organischestofgehalte, dient de organischestofaanvoer fors te worden verhoogd. Aangezien er weinig ruimte was voor extra groenbemesters in het teeltplan, is dat in het bemestingsplan gerealiseerd door de maximale hoeveelheid groencompost (6 ton droge stof ha⁻¹ jaar⁻¹) aan te voeren. Bij deze maximaal mogelijke aanvoer van organische stof werd het organischestofgehalte vrijwel gehandhaafd (daling van 4,1 tot 4,0% in 50 jaar).

Bij gebruik van het verbeterde mineralisatiemodel voor afstemming van de N-bemesting op de berekende N-mineralisatie, dient een bemestingsadviesstelsel beschikbaar te zijn dat daarvoor mogelijkheden biedt. Het stikstofbijmeststelsel (NBS), dat beschikbaar is voor consumptieaardappelen en een aantal groentegewassen, is daarvoor een geschikt systeem. Aangegeven is hoe een berekening van het verloop van de N-mineralisatie op een specifiek perceel kan worden ingepast in het aangepaste NBS.

Concluderend:

- Het verbeterde model biedt goede mogelijkheden om het organischestofbeheer van een teelt- en bemestingsplan te beoordelen en, binnen randvoorwaarden, zodanig aan te passen dat het voldoet aan doelstellingen ten aanzien van het organischestofgehalte.
- Met het model kan de N-bemesting worden afgestemd op de berekende N-mineralisatie. Dit kan op een goede wijze worden gerealiseerd binnen het stikstofbijmeststelsel.
- Voordat een verantwoorde introductie van het verbeterde model in de praktijk plaats kan hebben is het gewenst dat parameterwaarden voor meerdere organische materialen beschikbaar komen en dat een goede (lieft eenvoudige) methode beschikbaar komt waarmee die parameters afgeleid kunnen worden.
- Voor het ontwikkelen van een verantwoorde advisering ten aanzien van organische stof is het gewenst dat er een systeem beschikbaar komt voor de beoordeling van het organischestofgehalte. Het gaat daarbij om de vraag hoeveel organische stof van welke kwaliteit nodig is om de verschillende functies van organische stof in uiteenlopende bodems minimaal te kunnen vervullen.

1. Inleiding

In het kader van Telen met toekomst (Tmt) werkt 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).

Met het model Minip is de organischestofbalans van alle praktijkbedrijven die in de periode van 2001 tot en met 2003 deelnamen aan Telen met toekomst doorgerekend (Bijlage I). Verder zijn 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-I). Tenslotte is een rapport verschenen waarin verbeteringen van het model Minip zijn voorgesteld (Postma & Van Dijk, 2004-II). Deze verbeteringen bestaan vooral uit de aanpassingen die al eerder zijn voorgesteld door Yang (1996).

In het voorliggende rapport wordt aangegeven hoe het verbeterde model in de praktijk kan worden gebruikt. Daartoe wordt als eerste aangegeven hoe het verbeterde model er concreet uitziet, door het presenteren van opzet en rekenregels. Vervolgens wordt ingegaan op de wijze van gebruik, waarbij de volgende doelen kunnen worden onderscheiden:

- Organischestofbeheer. Op tactisch niveau worden beslissingen genomen die invloed hebben op de organischestofbalans (Oenema, 1995). Deze beslissingen hebben betrekking op de gewassen in de rotatie, het gebruik van groenbemesters, de behandeling van gewasresten (afvoeren of achterlaten) en het gebruik van meststoffen en bodemverbeteraars. Met het model kunnen de consequenties van het (voorgenomen) organischestofbeheer voor de ontwikkeling van het organischestofgehalte worden doorgerekend. Dit kan vervolgens worden getoetst aan de doelstellingen ten aanzien van het organischestofgehalte. Op basis daarvan kan het organischestofbeheer eventueel worden aangepast. Dit speelt op de relatief lange termijn van een gewasrotatie.
- N-mineralisatie. Het organischestofbeheer is ook van invloed op de N-mineralisatie. Op operationeel niveau worden beslissingen genomen over de N-bemesting, waarbij rekening kan worden gehouden met de N-mineralisatie. Dit speelt op de (relatief korte) termijn van een groeiseizoen: als op basis van de modelberekeningen het niveau van de gemiddelde N-mineralisatie op een perceel bekend is, kan daar met de N-gift rekening mee worden gehouden. Voor de agrarische praktijk wordt dat steeds belangrijker, omdat door overheidsmaatregelen de aanvoer van meststoffen steeds verder wordt beperkt. Verder kan bij een gedeelde N-gift gedurende het seizoen worden gecorrigeerd voor de actuele weersomstandigheden, door die mee te nemen in de berekeningen.

In het rapport wordt ingegaan op de twee toepassingen van het verbeterde model Minip, die hiervoor zijn beschreven. Daaraan voorafgaand wordt in het tweede hoofdstuk ingegaan op de verschillende functies van organische stof en informatie die beschikbaar is over streefwaarden van organische stof in de bodem. In het derde hoofdstuk worden de opzet en rekenregels van het verbeterde model gepresenteerd, in het vierde hoofdstuk wordt ingegaan op de wijze waarop het model kan worden gebruikt voor het organischestofbeheer en vervolgens wordt in het vijfde hoofdstuk aangegeven hoe het model kan worden gebruikt om de N-bemesting af te stemmen op de berekende N-mineralisatie. In het laatste hoofdstuk wordt het rapport afgesloten met een evaluatie.

2. Functies van organische stof en streefwaarden

2.1 Algemeen

Onderdeel van de beoordeling van het organischestofbeheer is een toetsing aan de doelstelling ten aanzien van het organischestofgehalte. Voor een goede onderbouwing van die doelstelling is informatie over het gewenste of optimale organischestofgehalte in een bepaalde situatie nodig. Aangezien organische stof in een bodem verschillende functies vervult, stellen we de volgende procedure voor om te komen tot een streefwaarde voor organische stof in een bepaalde situatie (bij een bepaalde combinatie van grondsoort en grondgebruik):

1. Het onderscheiden van verschillende functies van organische stof.
2. Het afleiden van streefwaarden per functie.
3. Een optimalisering, waarbij de streefwaarden voor de verschillende functies worden gecombineerd tot een streefwaarde voor het organischestofgehalte (eventueel inclusief specificatie van de gewenste kwaliteit van organische stof) voor een specifieke situatie (combinatie van grondsoort en grondgebruik).

Hierna is de functie van organische stof voor een aantal bodemeigenschappen beschreven. In een aantal gevallen zijn streefwaarden aangehaald, die in de literatuur worden genoemd.

2.2 Levering van nutriënten

Bij de afbraak van organisch materiaal in de bodem komen nutriënten (met name N, P en S) vrij door mineralisatie, waarvan met name de N-leverantie van belang is voor gewassen. Loveland & Webb (2003) noemen in een review-artikel een kritisch gehalte van 1,7%. Beneden dit gehalte lijken gewassen op uiteenlopende grondsoorten, bij een gematigde N-bemesting, de potentiële opbrengst niet te kunnen realiseren. De auteurs wijten dit aan de (te) beperkte N-levering uit de organische stof. Ze plaatsen hier zelf wel de nodige kanttekeningen bij, aangezien de potentiële opbrengst wel gerealiseerd kan worden als meer N wordt bemest. Naast het totale organischestofgehalte is een aantal factoren van invloed op de uiteindelijke N-leverantie, namelijk de afbreekbaarheid van het materiaal (vooral bepaald door de chemische samenstelling), de C/N-ratio van het materiaal, de fysische bescherming door bodemdeeltjes en de aanwezigheid en de activiteit van het bodemleven (zie verder).

2.3 Bodemleven en ziekteverendheid

Zoals hiervoor is genoemd, speelt het bodemleven een belangrijke rol bij het vrijmaken van nutriënten uit organisch materiaal. In het algemeen zal de aanwezigheid en activiteit voornamelijk worden bepaald door de omgevingsfactoren, zoals het type organisch materiaal, de pH, de bodemtemperatuur en het vochtgehalte (indirect van invloed op het zuurstofgehalte). Daarnaast zijn specifieke eigenschappen van de bodemorganismen, zoals de C/N-, C/P- en C/S-ratio, van belang voor de uiteindelijke hoeveelheid nutriënten die wordt vrijgemaakt uit het organische materiaal.

Organische stof kan het ziekteverend vermogen van een bodem verhogen door een verhoging van de biologische activiteit en een grote diversiteit aan bodemorganismen. Dit lijkt het best te kunnen worden gerealiseerd door toediening van een rijpe compost, die niet te rijk is aan nutriënten (Termorshuizen & Blok, 2000). Onrijpe compost, die rijk is aan nutriënten, kan de ontwikkeling van pathogenen juist stimuleren. Naast algemene ziekteverendheid, wordt specifieke ziekteverendheid onderscheiden. Omdat verschillende bodemorganismen voorkeur hebben voor verschillende typen verbindingen

(organische stof) hoort bij de bepaling van de ziektevering van organische stof ook de vraag waartegen. Zo kan rijpe compost, die gunstig is voor de algemene ziektevering, ook de ontwikkeling van het pathogeen *Rhizoctonia solani* stimuleren (Terrorshuizen & Blok, 2000).

2.4 Kationen adsorptie capaciteit

Organische stof heeft, net als kleideeltjes, het vermogen om kationen te adsorberen aan het oppervlak. Dit vermogen wordt kationen adsorptie capaciteit genoemd (cation exchange capacity of CEC). De CEC bestaat uit een deel dat onafhankelijk is van de pH (bepaald door (bepaalde) kleimineralen) en een deel dat afhankelijk is van de pH (vooral bepaald door organische stof). Dit vermogen wordt bij organische stof vooral bepaald door COOH-groepen in humus. Naarmate de pH hoger is neemt de dissociatie en daarmee het vermogen om kationen te binden toe. Bij de afbraak van plantenmateriaal duurt het minimaal twee jaar voordat het materiaal zodanig is gehumificeerd dat het een bijdrage levert aan de CEC.

Het vermogen van een grond om kationen vast te houden is van invloed op de gewasproductie. Door Janssen (persoonlijke mededeling, 2004) wordt een vuistregel gehanteerd waarbij de CEC een productie-limiterende factor is als de CEC kleiner is dan 30-40 mmol (+) kg⁻¹ grond bij een pH (H₂O) van 7. De nalevering van kationen wordt beneden die CEC zo laag dat het beperkend wordt voor de productie. Een CEC groter dan 100 mmol kg⁻¹ grond bij een pH van 7 is niet meer van invloed op gewasproductie. De door Janssen aangehaalde vuistregels worden niet nader onderbouwd. Wel wordt door Bolt *et al.* (1978) aangegeven dat bij een CEC < 10 mmol (+) kg⁻¹ geen sprake meer van buffering is, omdat dan de hoeveelheid geadsorbeerde ionen nauwelijks groter is dan de concentratie in de oplossing.

Van Erp (2002) heeft een formule afgeleid, waarbij de CEC van Nederlandse gronden kan worden geschat op basis van het lutumgehalte, het organisch C-gehalte en de actuele pH in de grond:

$$\text{CEC (cmol (+) kg}^{-1}\text{)} = [\text{lutumgehalte (g kg}^{-1}\text{)} * 0,0624] + [\text{organisch C-gehalte (g kg}^{-1}\text{)} * (0,295 - D(2)^{\text{pHact}})]$$

Het pH-bereik waarvoor de formule geldig is loopt van 4,5 tot 7,3.

De hoogte van de factor D(2) is afhankelijk van de pH en fluctueert tussen 0,1 en 0,4 cmol (-) g⁻¹.

In een zandgrond met 3% organische stof (~15 g C kg⁻¹), is de CEC bij een actuele pH van 5 gelijk aan 10, bij een pH van 6 gelijk aan 14 en bij een pH van 7 gelijk aan 38 mmol (+) kg⁻¹. Er is dus in zandgronden sprake van een zeer sterke afhankelijkheid van de CEC van de pH en de CEC kan dan ook effectiever worden beïnvloed door het aanpassen van de pH dan door het verhogen van het organischestofgehalte.

Overigens lijkt een organischestofgehalte van 3% in zandgronden wel een minimaal gewenst niveau om ook bij gangbare actuele pH's van 6 (overeenkomend met pH-KCl van 5) nog een redelijke CEC te hebben. Voor kleigronden ligt het minimaal gewenste niveau aan organische stof ten behoeve van de bijdrage aan de CEC aanmerkelijk lager, omdat de kleideeltjes voor een voldoende CEC zorgen.

2.5 Structuur, verkrumelbaarheid, slempgevoeligheid

De totale hoeveelheid organisch materiaal heeft een positief effect op de structuur van de bodem via onderstaande processen (Shepherd *et al.*, 2000):

- Bulkdichtheid: Door het organisch materiaal wordt de minerale fractie van de bodem (met een hoge dichtheid) verdund, waardoor de minerale dichtheid van de bodem afneemt.

- Meer kleine poriën: Door organische stof wordt de oppervlakte van de bodem vergroot. Het aantal poriën neemt toe door de verbeterde aggregatie en door de grotere dichtheid zijn er relatief meer kleinere poriën.
- Doordat organische stof een stimulerende werking op bodemorganismen heeft, kan het aantal gravende bodemorganismen zoals wormen toenemen. Door het graven van gangen verbetert de structuur.
- Transport van vocht en lucht: over het algemeen heeft bodem organische stof een positief effect op het watertransport door de bodem, waardoor er minder anaërobie plaatsvindt.
- Aggregaatstabiliteit: vooral vers organisch materiaal draagt bij aan de aggregaatstabiliteit, waardoor slempgevoeligheid wordt verminderd. Niettemin spelen ook stabiele humusvormen een rol. Op de aggregaatstabiliteit wordt hieronder dieper ingegaan.

Voor de aggregaatstabiliteit blijkt vers organisch materiaal een betere voorspeller dan het totale organischestofgehalte. De positieve invloed van organisch stof op de aggregaatstabiliteit is toe te schrijven aan (Sparling *et al.*, 2003)

- binding tussen klei en humusmoleculen;
- myceliumdraden van schimmels en actinomyceten;
- plakkerigheid van uitscheidingsproducten van micro-organismen (polysacchariden);
- stimulering wortelontwikkeling: wortels houden bodemdeeltjes bijeen en microflora neemt toe;
- stimulering regenwormen.

Omdat er veel verschillende methodieken worden toegepast om de aggregaatstabiliteit te bepalen is het moeilijk onderzoeken te vergelijken. Toch blijkt er een aantal wetmatigheden.

- Over het algemeen is het actieve deel van organische stof (met relatief veel mono- en polysacchariden, wortels en schimmelhyfen) verantwoordelijk voor aggregaatvorming (Loveland & Webb, 2003).
- Organische stof zelf is niet een stof die goed bindt. Niet de hoeveelheid maar de rangschikking van organische stof is belangrijk: de verbindingen van actief (vers) organisch materiaal met de bodemdeeltjes (voornamelijk binnen bodemaggregaten) zijn cruciaal. De rangschikking van organische stof is in sommige gronden belangrijker dan de hoeveelheid organische stof (Loveland & Webb, 2003).
- Boven een bepaalde concentratie aan organische stof neemt de aggregaatvorming niet verder toe (Loveland & Webb, 2003).
- De hydrologische geschiedenis van aggregaten is van groot belang voor hun gedrag (Loveland & Webb, 2003).
- Minimale of geen grondbewerking leidde tot een betere aggregaatstabiliteit, hoewel dat vaak pas na het 5^e jaar significant was (Loveland & Webb, 2003).
- Naarmate regenwormen beter met organisch materiaal worden voorzien zijn hun uitwerpselen stabiel (Sparling *et al.*, 2003).
- De invloed van weersomstandigheden op de stabiliteit van aggregaten is veel groter dan die van groenbemesters (Sparling *et al.*, 2003).

De bijdrage van organische stof aan de aggregaatstabiliteit is afhankelijk van het organische materiaal dat is toegevoegd, het tijdstip van toevoeging en het tijdstip van het meten van de aggregaatstabiliteit:

- Glucose-achtige componenten werken sterk na 2-3 weken, terwijl de werking na 4-6 maanden afneemt.
- Cellulose is het meest effectief na 6-9 maanden maar minder effectief dan glucose.
- Het effect van resten van raaigras neemt toe tot een maximum gedurende 3 maanden. Dit maximum effect wordt gedurende maximaal 4-6 maanden behouden. In de maanden daarna neemt het effect af.

De voor de aggregaatvorming belangrijke componenten hebben dus vooral het eerste jaar effect. Daarom is de aggregaatstabiliteit onder grasland (continue productie van organisch materiaal) het grootst en neemt deze sterk af onder bouwland. Een optimale aggregaatstabiliteit vereist daarom een biologisch actieve bodem met regelmatige aanvoer en afbraak van jong organisch materiaal.

Vanuit traditioneel landbouwkundig oogpunt worden bodemaggregaten vooral in verband gebracht met de verkrumelbaarheid en slempegevoeligheid van een grond. Uit Locher & De Bakker (1990) blijkt dat gronden met 3 en 7% lutum vanuit oogpunt van verkrumelbaarheid geen organische stof nodig hebben voor de meeste akker- en tuinbouwgewassen. Bij hogere lutumpercentages worden wel eisen gesteld aan het organischestofgehalte. Een grond die goed verkrumelbaar is, heeft echter een lage structuurstabiliteit en zal daardoor gevoeliger zijn voor verslemping (het verstopt raken van poriën doordat bodemaggregaten uiteenvallen onder invloed van regen).

Door Loveland & Webb (2003) wordt gewezen op de vuistregel dat gronden met <2% bodem organische koolstof onstabiel zijn, die met 2-2,5% redelijk stabiel en die met >2,5% zeer stabiel. Omdat er een sterke correlatie bestaat tussen klei en organischestofgehalte, moet voor dit minimumniveau onderscheid gemaakt worden tussen bodemtypen. Er is nog te weinig onderzoek naar dit onderwerp gedaan, om die differentiatie te kunnen kwantificeren.

2.6 Vochthoudend vermogen

Het effect van organische stof op de hoeveelheid beschikbaar water varieert met het bodemtype. Op zandgronden is het effect het grootst, maar het verzorgt ook hier niet meer dan 15% van de variatie in bodemvocht. In bodems met een fijne textuur zoals klei, zorgt organische stof voor een afname in volumedichtheid, toename in poriegrootte en is een groter deel van de poriën gevuld met lucht, waardoor het vochthoudend vermogen zelfs kan afnemen (Loveland & Webb, 2003).

Macro-aggregaten ter grootte van zand zorgen voor een beter vochtvasthoudend vermogen en gaan compactie tegen, terwijl organischestofaggregaten van invloed zijn op de zuurstofhuishouding en water-infiltratie (Carter, 2002).

Bij een toename in organischestofgehalte neemt niet alleen het vochtgehalte bij veldcapaciteit ($pF \sim 2$) maar ook bij het verwelkingspunt ($pF \sim 4,2$) toe. Vooral op zandgronden neemt de hoeveelheid beschikbaar water toe bij een hoger organischestofgehalte. Daarbij verdwijnt de knik uit de pF -curve. Hierdoor zijn de poriën niet ineens leeg en zijn gronden met een hoger organischestofgehalte minder gevoelig voor droogte. Daarnaast is de infiltratiesnelheid hoger en wordt de beworteling gestimuleerd waardoor er meer water in het bodemprofiel terecht komt en dit beter opgenomen kan worden.

Een groeiend en gesloten gewas onttrekt in 8 dagen ongeveer 40 mm water uit de bouwvoor. Op basis van een pF -curve van de grond kan worden berekend hoeveel organische stof er nodig is om die hoeveelheid van 40 mm te kunnen leveren. Uit berekeningen (niet gepresenteerd) met een standaard pF -curve blijkt dat in bovengrond (0-25 cm) met een laag lutumgehalte (3%) minimaal 1% organische stof nodig is om de 40 mm te kunnen leveren. In een grond zonder lutum zal het organischestofgehalte nog wat hoger moeten zijn.

2.7 Uitspoeling van stikstof

De kwaliteit en het gehalte van organische stof is op verschillende manieren van invloed op de uitspoeling van nutriënten, met name van stikstof.

Wanneer organisch gebonden stikstof in minerale vorm vrijkomt (als NH_4 of NO_3) is het direct beschikbaar voor de plant. Als deze N beschikbaar komt op een plaats die niet bereikbaar is voor plantenwortels of op een moment dat de plant er geen behoefte aan heeft, zal de N, vooral als het aanwezig is als NO_3 , gemakkelijk uitspoelen naar het grondwater. Dit risico is vooral aanwezig als de organische stof aanwezig is in de vorm van jonge, gemakkelijk afbreekbare organische stof met een lage C/N-ratio. Daarnaast heeft organische stof ook een bufferende werking, doordat een toename van het organischestofgehalte

het vochthoudend vermogen van de bodem kan verhogen. Dit beperkt de uitspoelingsgevoeligheid. Daardoor kan een toename van het organischestofgehalte de uitspoeling van nutriënten, waaronder N, beperken. Daarnaast kan voor kationen, zoals NH_4 , de toename van de CEC met het organischestofgehalte de uitspoeling beperken door binding aan het adsorptiecomplex.

Een toename van het organischestofgehalte kan dus enerzijds leiden tot een toename van de gevoeligheid voor N-uitspoeling, doordat de N-mineralisatie toeneemt, en anderzijds tot een beperking van de gevoeligheid voor N-uitspoeling, doordat het vochthoudend vermogen van de grond toeneemt. Het uiteindelijke effect is afhankelijk van de concrete situatie, de kwaliteit van de organische stof en de grondsoort.

Hanegraaf & De Visser (2004) hebben een organischestofgehalte van 2,5% op zandgrasland genoemd als ondergrens, gezien het positieve effect ervan op het vochthoudend vermogen en dus op de beperking van de uitspoeling. In verband met het risico van een toename van de N-uitspoeling bij het gebruik van jong, gemakkelijk afbreekbaar materiaal met een lage C/N-ratio, stellen ze dat organische stof bij voorkeur aangevoerd moet worden in de vorm van stabiel organisch materiaal dat langzaam afbreekt.

2.8 Erosie

Loveland & Webb (2003) verwijzen in hun artikel naar een tweetal onderzoeken naar erosie gedaan in Spanje en Australië. Uit het Spaanse onderzoek kwam naar voren dat er geen relatie bestaat tussen het organischestofgehalte en de erosie bij de teelt van groenten, terwijl deze relatie onder grasland wel bestaat. Op basis van dat onderzoek zou erosie sterk afnemen bij een organischestofgehalte van 5,1% of hoger. In Australië werd ook onder granen een relatie tussen organischestofgehalte en erosie gevonden. Daar werd vastgesteld dat de erosie sterk toeneemt wanneer het organischestofgehalte onder de 2,7% komt.

3. Opzet en rekenregels van het verfijnde model

3.1 Rekenregels van het verfijnde 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:

$$Y_t = Y_{t-1} \cdot e^{(4,7[(a+t)^{-0,6} - a^{-0,6}])} \quad (4)$$

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

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

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°C , bepaald te worden volgens

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

ofwel

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

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

$f = 0$	voor	$T \leq -1^\circ\text{C}$
$f = 0.1 * (T+1)$	voor	$-1 < T \leq 9^\circ\text{C}$
$f = 2^{(T-9)/9}$	voor	$9 < T \leq 27^\circ\text{C}$
$f = 4$	voor	$T > 27^\circ\text{C}$

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):

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

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

$$Y_t = Y_{t-1} \cdot e^{(-R_9 \cdot (f \cdot t)^{1-S})} \quad (13)$$

Om in simulatiemodellen de hoeveelheid C (Y_t) te kunnen berekenen op basis van de hoeveelheid overgebleven C in de vorige tijdstap (Y_{t-1}), waarbij tevens rekening wordt gehouden met een temperatuurscorrectiefactor (f_{temp}), heeft Yang (1996) een aangepaste formule afgeleid:

$$Y_t = Y_{t-1} \cdot e^{(-R_9 \cdot (f_{temp} \cdot t)^{1-S} - (f_{temp} \cdot t)_{t-1}^{1-S})} \quad (14)$$

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

3.2 Rekenstappen in het model

In het model worden de volgende berekeningen achtereenvolgens uitgevoerd:

1. $Y_t = Y_{t-1} \cdot e^{(-R_9 \cdot (f_{temp} \cdot t)^{1-S} - (f_{temp} \cdot t)_{t-1}^{1-S})}$

waarbij: Y_t en Y_{t-1} = totale hoeveelheid C (kg ha^{-1}) op eind van tijdstip t en tijdstip $t-1$;
 R_9 = R_9 , de gemiddelde initiële relatieve mineralisatiesnelheid tussen twee tijdstippen $t-1$ en t bij een temperatuur van 9°C ;

S	=	verouderingssnelheid;
f_{temp}	=	correctiefactor voor temperatuur (zie hiervoor); en
t	=	tijd in dagen.

$$2. \quad C_{diss_t} = Y_{t-1} - Y_t$$

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

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

waarin: C_{ass} = C-assimilatie (C die door micro-organismen wordt gebruikt voor de opbouw van nieuw celmateriaal) in $\text{kg C ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$; 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 $\text{kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$; 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.

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

waarin: N_{conv} = de hoeveelheid N die door micro-organismen wordt omgezet;
 $N_{tot_{t-1}}$ = totale hoeveelheid N (kg ha^{-1}) op eind van tijdstip t-1.

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

waarin: N_{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. Een positieve N_{diss} betekent netto N-mineralisatie (vrijkomen van N) en een negatieve N_{diss} betekent netto immobilisatie (vastleggen van N).

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

3.3 Keuze van modelparameters

In een eerder verschenen Tmt-rapport over de verfijning van het model Minip (Postma & Van Dijk, 2004-II) is gebleken dat met de aanpassingen voorgesteld door Yang een betere beschrijving van de organischestofafbraak van individuele datasets kan worden verkregen dan met het model Minip.

Daarnaast is echter gebleken dat de waarden van de modelparameters voor bepaalde organische materialen aanzienlijk kunnen variëren, in afhankelijkheid van de dataset waarop ze zijn gebaseerd (Tabel 1). Tussen de datasets is sprake van verschillen in het type proef (veld- en potproeven), in de duur van de proef (variërende van enkele weken tot tientallen jaren), in de proefomstandigheden (temperatuur, vocht, etc.) en in de wijze waarop de organischestofafname is gemeten. De variaties in curven die ontstaan door voorkomende verschillen in parameters binnen een type organisch materiaal zijn met model Yang veel groter dan die met Minip.

Het lijkt erop dat de proefomstandigheden en de proefuitvoering van invloed zijn op de waarden van de afgeleide parameters. Dit is ongewenst. Er is dan ook behoefte aan een procedure of protocol voor de afleiding van modelparameters voor organischestofmodellen. Met een dergelijke procedure kunnen dan parameters worden afgeleid voor een groot aantal organische materialen.

Tabel 1. 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 uiteenlopende materialen.

Dataset	Materiaal	a	R^2	R_0	S	R^2
Kolenbrander, 1969	Stro	1,54	99,9	1,02	0,57	99,7
Martin, 1974	Haverstro	0,96	65,2	1,07	0,66	99,8
Tmt	Stro	2,96	89,1	0,32	0,35	94,2
Berg, 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, 1985	Medicago littoralis ('luzerne')	1,48	97,5	1,18	0,76	99,9
Tmt	Gewasrest sla	1,17	12,6	0,66	0,81	99,1
Tmt	Gewasrest Chinese kool	0,96	24,7	0,83	0,81	99,7
Tmt	Bietenblad	1,53	82,5	0,75	0,42	88,5
Dam Kofoed, 1982	Bodem organische stof	20,7	60,7	0,14	0,76	81,4
Jenkinson, 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
Tmt	Perceel VP 18.2	19,1	96,8	0,020	0,21	98,8
Tmt	Perceel VP 28.3	19,7	97,8	0,020	0,18	99,2
Tmt	Perceel Mt 22	16,8	98,2	0,026	0,16	99,2
Tmt	Perceel Mt 26	15,7	84,4	0,023	0,43	98,9

Om te grote afwijkingen bij de voorspelling van de afbraak van diverse organische materialen te voorkomen wordt voorgesteld voorlopig te werken met gemiddelde waarden van de parameters, zoals die reeds door Yang (1996) voor een aantal categorieën organisch materiaal zijn voorgesteld (Tabel 2).

Op het moment dat een goede procedure voor de afleiding van parameters beschikbaar is, kunnen parameters voor een groot aantal materialen worden afgeleid, waarbij differentiatie aangebracht dient te worden binnen de categorieën organisch materiaal uit Tabel 2.

In het ideale geval kunnen de parameters per organisch materiaal in de toekomst worden afgeleid met een routine-analyse, door bijvoorbeeld het aandeel van een aantal C-fracties in het materiaal te kwantificeren. Zo zou het gehalte aan oplosbaar C in 0,01 M CaCl_2 bijvoorbeeld een maat kunnen zijn voor de initiële afbraaksnelheid (R_0 in model Yang).

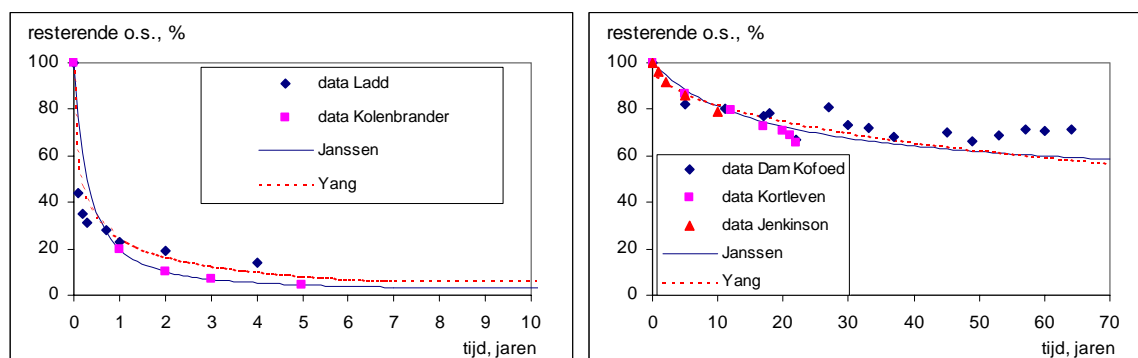
Tabel 2. Voorgestelde waarden voor de coëfficiënten 'a' voor Minip en R_0 en 'S' bij het gebruik van het model Yang voor het voorspellen van de afbraak van organisch materiaal.

Categorie	Minip	Yang	
	a	R_0	S
Stro	1,41	1,11	0,66
Gewasmateriaal	0,99	1,39 ¹⁾	0,64
Bodem organische stof	17,00	0,057	0,46
Stalmest	2,45	0,82	0,49

¹⁾ groenbemester

3.4 Consequenties voor de praktijk

De consequenties voor de praktijk van de vervanging van Minip door model Yang zijn nog beperkt, zolang Minip met de a-waarden uit Tabel 2 wordt vervangen door model Yang met de waarden voor R_0 en S uit Tabel 2. In Figuur 1 is weergegeven dat de afbraakcurven voor gewasmateriaal en bodem organische stof uit Tabel 2 voor Minip en voor model Yang vergelijkbaar zijn bij gebruik van de parameterwaarden uit Tabel 2. Dit is ook het geval voor stro. Alleen voor stalmest verloopt de afbraak volgens model Yang met de parameters uit Tabel 2 veel sneller dan volgens Minip.



Figuur 1. Verloop van de afbraak van organische stof uit gewasresten (links) en bodem organische stof (rechts) volgens Minip (Janssen) en model Yang met parameterwaarden uit Tabel 2. Voor beschrijving van datasets waaruit meetpunten zijn opgenomen zie Postma & Van Dijk (2004-II).

Uit Figuur 1 blijkt dat de afbraakcurven volgens Minip en model Yang voor het beschrijven van de afbraak van zowel gewasmateriaal als bodem organische stof vrij dicht bij elkaar liggen, waardoor de consequenties van de vervanging van Minip door model Yang beperkt zullen zijn. Het voordeel van model Yang, namelijk dat het beter in staat is de optredende afbraak te beschrijven, komt pas naar voren als de afwijkende curven ten opzichte van Minip voor het beschrijven van de afbraak van uiteenlopende organische materialen reproduceerbaar blijken te zijn. Bij het gebruik van de bijbehorende parameterwaarden voor de voorspelling van de organischestofafbraak en de N-mineralisatie zullen er pas duidelijke consequenties zijn voor de praktijk als de afbraakcurven duidelijk afwijken van die van Minip.

4. Gebruik van het model voor organischestofbeheer

4.1 Algemeen

In de inleiding is reeds aangegeven dat het verbeterde model in de praktijk kan worden gebruikt voor het beheer van organische stof en voor het inschatten van de N-mineralisatie. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het beheer van organische stof bij het opstellen van een gewasrotatie en een bemestingsplan. De modelberekeningen maken daarbij onderdeel uit van het volgende stappenplan:

1. Inventariseren van de organischestofaanvoer en de karakteristieken van de aangevoerde materialen in een (voorgenomen) gewasrotatie en bemestingsplan.
2. Het doorrekenen van de consequenties van de (voorgenomen) organischestofaanvoer voor het organischestofgehalte op het betreffende perceel voor een periode van 50 jaar.
3. Het toetsen van de berekende ontwikkeling van het organischestofgehalte bij de (voorgenomen) organischestofaanvoer aan de doelstelling ten aanzien van het organischestofgehalte.
4. Het genereren van een advies voor aanpassing van de aanvoer van organische stof.

Hierna worden de vier stappen uitgewerkt voor een concrete situatie, namelijk op kernbedrijf Vredepeel.

4.2 Inventariseren van de organischestofaanvoer

We nemen als referentieperceel voor het organischestofbeheer perceel 28.2, dat representatief is voor de gewasrotatie op Vredepeel (Tabel 3).

Tabel 3. Aanvoer van C en N met gewasresten en organische mesten op perceel 28.2 van Vredepeel.

Jaar/ perceel	Omschrijving	C-aanvoer, kg C ha ⁻¹	N-aanvoer, kg N ha ⁻¹	C/N-ratio	R ₉	S	Toedieningstijdstip jaar + maand
1	dunne varkensmest	660	60	11	1,13	0,45	1993 03
	consumptieaardappel	1790	78	23	1,39	0,64	1993 09
2	dunne varkensmest	825	92	9	1,13	0,45	1994 03
	suikerbiet	2732	119	23	1,39	0,64	1994 10
3	dunne rundermest	1575	98	16	1,13	0,45	1995 04
	snijmaïs	920	46	20	1,39	0,64	1995 09
	groenbemester triticale	1530	102	15	1,39	0,64	1995 12
4	erwt	855	43	20	1,39	0,64	1996 07
	stamslaboon	1170	73	16	1,39	0,64	1996 10
5	groenbemester triticale	1530	102	15	1,39	0,64	1997 03
	dunne varkensmest	855	95	9	1,13	0,45	1997 04
	consumptieaardappel	1790	78	23	1,39	0,64	1997 08
	groenbemester triticale	1530	102	15	1,39	0,64	1997 11
6	dunne varkensmest	690	69	10	1,13	0,45	1998 03
	suikerbiet	2732	119	23	1,39	0,64	1998 10
7	triticale	2381	40	60	1,11	0,66	1999 08
8	erwt	855	43	20	1,39	0,64	2000 06
	stamslaboon	1170	73	16	1,39	0,64	2000 09
	groenbemester triticale	500	33	15	1,39	0,64	2000 12

In Tabel 3 is de periode van 1993 tot 2000 beschouwd, aangezien er op Vredepeel een rotatie van 1:8 wordt aangehouden, en alle gewassen in deze periode dus eenmaal zijn geteeld. Uitzondering is waspeen, die normaal in de rotatie is opgenomen, maar die op perceel 28.2 in de periode van 1993 tot 2000 is vervangen door erwt en stamslaboon.

Aangenomen is dat de waarden voor R_9 en S van de uiteenlopende materialen overeenkomen met die in Tabel 2. Voor alle gewasresten, met uitzondering van stro, zijn de waarden voor R_9 en S dan ook gelijk. Verder is voor de organische mesten geen onderscheid gemaakt tussen dunne varkensmest en dunne rundermest, aangezien daar voor de coëfficiënten van model Yang geen gegevens voor waren.

Het organischestofgehalte in de grond op perceel 28.2 bedroeg in 1993 4,1%. Uitgaande van een C-gehalte van 58% in de organische stof, betekent dat een C-voorraad van 98.674 kg C ha⁻¹. Aangezien de C/N-ratio in 2001 op dit perceel 22 bedroeg, is er vanuit gegaan dat dit ook het geval was in 1993. De berekende N-voorraad in 1993 was in dat geval 4.477 kg N ha⁻¹. De genoemde C- en N-voorraden zijn samen met een R_9 -waarde van 0,04 en een S -waarde van 0,5 gebruikt als invoer voor de bodem organische stof in het model.

4.3 Doorrekenen van consequenties voor organischestofgehalte

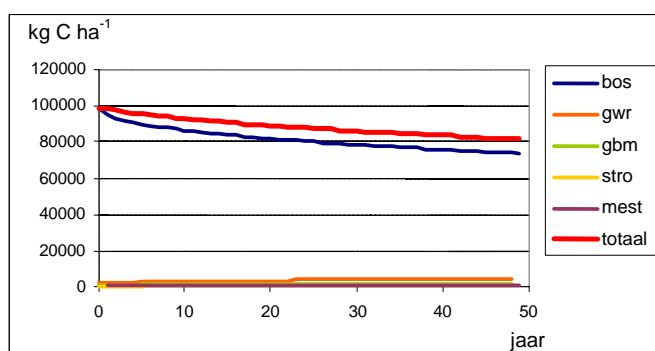
De rekenprocedure naar de consequenties van het organischestofbeheer voor het organischestofgehalte wordt uitgevoerd door de gewasrotatie te beschouwen als een bouwplan in een jaar, waarin het aandeel van de 8 gewassen gelijk verdeeld is over de totale bedrijfsoppervlakte. Als wordt uitgegaan van een totale bedrijfsoppervlakte van 1 ha, bedraagt de oppervlakte per perceel dus 1/8 ha. Dit wordt gebruikt als uitgangspunt voor de berekeningen.

In dat geval wordt ieder jaar een zelfde hoeveelheid organisch materiaal aangevoerd, die gelijk is aan 1/8 deel van alle hoeveelheden die in Tabel 3 zijn vermeld. Dit betekent dat jaarlijks de volgende hoeveelheden C worden toegediend:

- 1.752 kg C ha⁻¹ via gewasresten
- 765 kg C ha⁻¹ via groenbemesters
- 298 kg C ha⁻¹ via stro
- 576 kg C ha⁻¹ via organische mesten.

De sommatie van de berekende afname van de bodem organische stof en de berekende opbouw van organische stof uit gewasresten, groenbemesters en organische meststoffen resulteert in een forse daling van het berekende organischestofgehalte (Figuur 2), van 4,1% naar 3,4% in 50 jaar.

In een andere studie die in het kader van Tmt wordt uitgevoerd wordt nader ingegaan op de lange termijneffecten van het beheer van gewasresten voor het organischestofgehalte (De Ruijter & Postma, 2004).



Figuur 2. Berekend verloop van het organischestofgehalte op perceel Vredepeel 28.2. Toelichting legenda: bos=bodemorganischestof; gwr=gewasresten; gbm=groenbemesters.

4.4 Toetsing aan doelstellingen

In Figuur 2 is weergegeven dat het berekende organischestofgehalte op perceel 28.2 op basis van het voorgenomen teelt- en bemestingsplan gaat dalen. Daarbij is voor de berekeningen gebruik gemaakt van het verbeterde model.

Als de doelstelling was om het organischestofgehalte te handhaven (is eis in kader Europese bodemstrategie), was het voorgenomen organischestofbeheer dus ontoereikend om de doelstelling te realiseren.

In dat geval luidt de conclusie dan ook dat het zinvol is om het teelt- en/of bemestingsplan zodanig aan te passen dat het organischestofgehalte wordt gehandhaafd.

4.5 Het genereren van een advies voor aanpassing van de aanvoer van organische stof

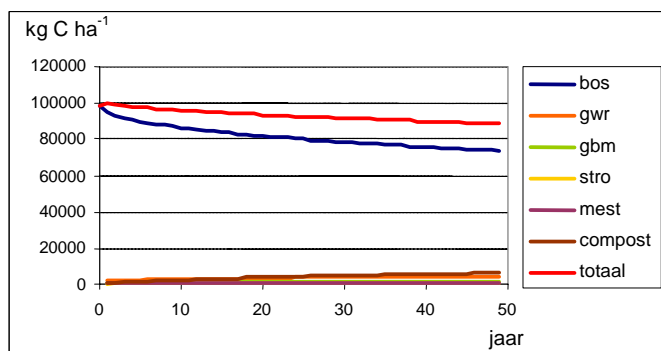
Zoals in de vorige stap (de toetsing) is aangegeven dient het teelt- en/of het bemestingsplan zodanig te worden aangepast, dat het organischestofgehalte wordt gehandhaafd. Een moeilijkheid hierbij is dat er geen methode beschikbaar is waarmee het plan zodanig kan worden aangepast, dat direct duidelijk is dat het gehalte wordt gehandhaafd. De volgende procedure wordt voorgesteld:

1. Uitwerken van enkele algemene richtlijnen tot een concreet aangepast teelt- en bemestingsplan. Het betreft het verhogen van het aandeel groenbemesters (met name die welke veel effectieve organische stof leveren, zoals grasgroenbemesters) en het gebruiken van bodemverbeteraars met een hoog gehalte stabiele organische stof.
2. Doorrekenen van de consequenties van het aangepaste teelt- en bemestingsplan voor het organischestofgehalte.
3. Toetsing aan gestelde doel ten aanzien van het organischestofgehalte. Als het gestelde doel wordt gerealiseerd kan het aangepaste teelt- en bemestingsplan worden gebruikt. Als het gestelde doel (nog) niet wordt gerealiseerd, de stappen 1 t/m 3 nogmaals doorlopen.

Deze trial-and-error procedure wordt net zo lang herhaald tot de doelstelling ten aanzien van organische stof wordt gerealiseerd. Randvoorwaarde is dat het uiteindelijke plan kan worden uitgevoerd binnen de landbouwkundige, milieukundige en wettelijke kaders.

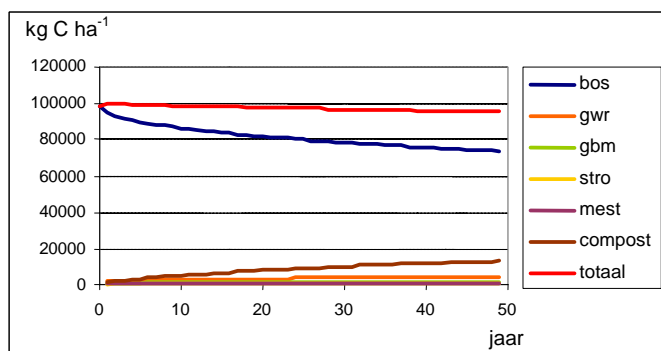
Aangezien er in het bouwplan van perceel 28.2 van Vredepeel weinig ruimte meer is voor de teelt van extra groenbemesters, ligt het gebruik van (mineraalarme) bodemverbeteraars het meest voor de hand als methode om het organischestofgehalte op niveau te houden. In stappen:

1. We gaan als eerste uit van de helft van de maximale dosering aan groencompost, namelijk een gift van 6 ton drogestof per 2 jaar. De samenstelling van de groencompost wordt ontleend aan het Handboek Meststoffen (NMI, 2000). Bij een gift van 3 ton droge stof ha^{-1} jaar $^{-1}$, wordt daarmee 966 kg organische stof ha^{-1} jaar $^{-1}$, ofwel 483 kg C ha^{-1} jaar $^{-1}$ aangevoerd (uitgaande van een C-gehalte van 50% in organische stof). Voor de coëfficiënten R_0 en S wordt uitgegaan van de waarden van respectievelijk 0,4 en 0,6. Deze waarden zijn geschat op basis van de a-waarde die in Minip voor dit product wordt gehanteerd.
2. Het resultaat van de berekening met het aangepaste meststofplan is weergegeven in Figuur 3. Uit de berekening blijkt dat ondanks de extra input van 3 ton droge stof ha^{-1} jaar $^{-1}$ via groencompost op alle percelen, het berekende organischestofgehalte nog steeds niet op peil blijft.
3. Aangezien het doel van handhaving van het organischestofgehalte met het aangepaste meststofplan nog steeds niet wordt bereikt, dient de hele exercitie nogmaals te worden uitgevoerd. Om zoveel mogelijk organische stof aan te voeren wordt op alle percelen de wettelijk maximaal toegestane hoeveelheid van 6 ton droge stof ha^{-1} via groencompost aangevoerd.



Figuur 3. Verloop van het berekende organischestofgehalte voor het aangepaste teelt- en meststofplan op perceel 28.2 van Vredepeel. Voor toelichting legenda: zie Figuur 2.

Het resultaat van het teelt- en meststofplan dat voor de tweede keer is aangepast is weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4. Verloop van het berekende organischestofgehalte op perceel 28.2 van Vredepeel voor het teelt- en meststofplan dat voor de tweede keer is aangepast. Voor toelichting legenda: zie Figuur 2.

In dit geval blijft het organischestofgehalte van 4,1% in de periode van 50 jaar vrijwel op peil (daling tot 4,0%). Hieruit blijkt dat de maximaal mogelijke organischestofaanvoer nodig is om het organischestofgehalte in deze situatie te kunnen handhaven.

Opgemerkt dient te worden dat de schattingen voor R_0 en S voor de diverse organische materialen, inclusief bodem organische stof, samen met de schattingen voor de aangevoerde hoeveelheden van de uiteenlopende materialen, bepalend zijn voor de uitkomsten van de berekeningen. Zoals in het rapport over de verfijning van het model (Postma & Van Dijk, 2004-II) reeds is aangegeven is het gewenst dat met name de R_0 en S voor bodem organische stof voor iedere situatie door een meting kan worden vastgesteld. Een dergelijke meting is op dit moment nog niet klaar voor de praktijk.

5. Gebruik van het model voor optimalisering van de N-bemesting

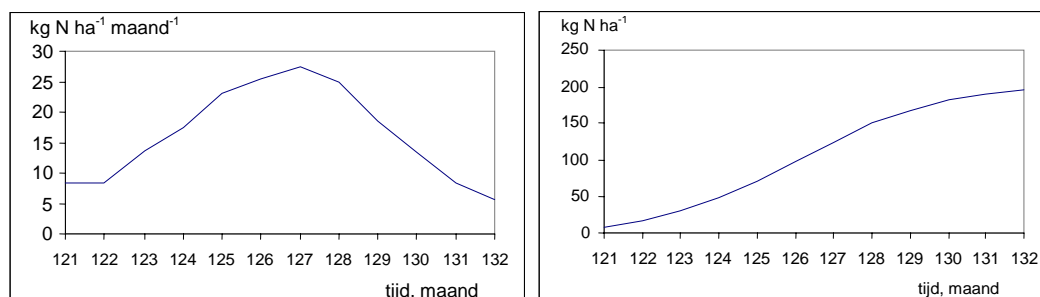
5.1 Algemeen

Naast gebruik van het model voor aanpassing van het organischestofbeheer, kan het ook worden gebruikt voor optimalisering van de N-bemesting. Het principe hiervan is gebaseerd op de informatie die het model levert over de verwachte N-mineralisatie uit bodem organische stof, uit gewasresten en uit organische meststoffen en bodemverbeteraars. Bij de N-bemesting kan worden ingespeeld op de informatie over N-mineralisatie. Het bemestingssysteem dat zich hier het meest voor leent is de balansmethode, waarin aan- en afvoerposten van N op elkaar worden afgestemd (Neeteson, 1990). Het stikstofbijmestingsysteem (NBS) is een voorbeeld van de balansmethode die op dit moment voor aardappelen en een aantal groentegewassen in de praktijk wordt toegepast (Van Dijk, 2003). In het NBS wordt het verloop van de N-behoefte van het gewas vergeleken met de N-beschikbaarheid in de bodem, die voor een belangrijk deel wordt bepaald door het verloop van de N-mineralisatie. In het NBS wordt de N-balans op verschillende tijdstippen tijdens het groeiseizoen opgesteld. Hierna wordt achtereenvolgens ingegaan op i) de wijze waarop de N-mineralisatie in het groeiseizoen wordt berekend met het aangepaste model, ii) het principe van NBS en tenslotte wordt ingegaan op iii) de aanpassingen van NBS die mogelijk zijn door gebruik te maken van het aangepaste mineralisatiemodel van Yang.

5.2 Berekening van N-mineralisatie met het aangepaste mineralisatiemodel

De N-mineralisatie kan worden berekend met het aangepaste model. De rekenregels zijn beschreven in hoofdstuk 3. Om de perceelsspecifieke N-mineralisatie voldoende nauwkeurig te berekenen is het gewenst dat rekening wordt gehouden met de voorgeschiedenis van het perceel. Dit gebeurt op dezelfde wijze als is beschreven in de voorgaande rapporten over de toetsing van het model (Postma, 2002; Postma & Van Dijk, 2004-I). Hiermee wordt het model dus geïnitieerd (op maand 121).

Voor perceel 28.2 van Vredepeel kan voor de perceelsgeschiedenis voorafgaand aan het jaar 2001 weer de invoer worden gebruikt die in Tabel 3 is weergegeven. Op basis daarvan kan voor het groeiseizoen van 2001 het verloop van de N-mineralisatie worden berekend (Figuur 5).



Figuur 5. Verloop van de berekende N-mineralisatie op perceel 28.2 in 2001 in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ maand}^{-1}$ (links) en cumulatief over het jaar in kg N ha^{-1} (rechts).

De berekende N-mineralisatie zoals weergegeven in Figuur 5 kan worden gebruikt in het aangepaste NBS, waarmee de N-bemesting wordt afgestemd op de N-behoefte van het gewas en de N-beschikbaarheid in de bodem.

5.3 Principe van het NBS

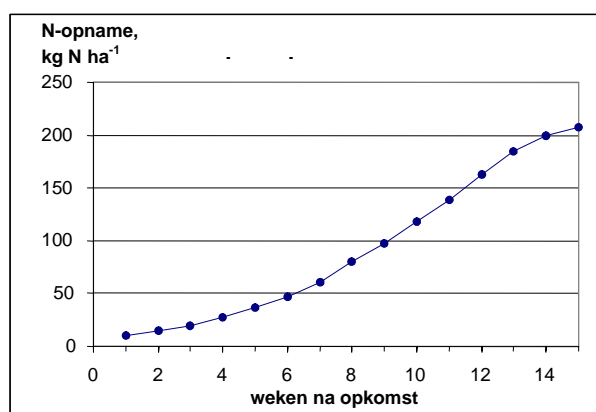
In de Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen (Van Dijk, 2003) wordt het NBS voor aardappelen en een aantal groentegewassen beschreven. De benodigde N-bijbemesting voor consumptieaardappelen kan op tijdstip t worden berekend met de formule:

$$\text{N-gift, } t_n = (\text{NOG, } t_{n+1} - \text{NOG, } t_n) - \text{MBN, } t_n - \text{MIN} + \text{BUF}$$

waarbij: N-gift, t_n = bijmestgift op tijdstip t_n ;
 NOG, t_n = N-opname gewas op tijdstip t_n ;
 MBN, t_n = hoeveelheid minerale bodem-N op tijdstip t_n ;
 MIN = N-mineralisatie in de periode t_n - t_{n+1} (circa $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$);
 BUF = buffer (80 kg N ha^{-1} voor kleigrond, 60 kg N ha^{-1} voor zandgrond).

De formule wordt in het NBS uitsluitend gebruikt voor de bepaling van de hoogte van de N-bijmestgift tijdens het seizoen, wat onder andere gebaseerd wordt op een grondmonster dat tijdens het seizoen (bij aardappelen 3-4 weken na opkomst, in de bovenste 30 cm van de bodem) wordt genomen. Het principe van de balansbenadering in het NBS (vergelijking van de verwachte N-opname enerzijds met de verwachte N-mineralisatie anderzijds) kan echter ook worden gebruikt voor het vaststellen van de hoogte van de basisgift.

Voor het verloop van de N-opname van het aardappelgewas tijdens het seizoen wordt gebruik gemaakt van een vaste curve (Figuur 6). In de praktijk blijkt de N-opname nogal eens af te wijken van deze modelcurve. Daarom zijn in het kader van Tmt actuele N-opnamecurves voor meerdere akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen vastgesteld (Pronk & Groenwold, 2004).



Figuur 6. Stikstofopname van een gewas aardappelen.

Daarnaast wordt uitgegaan van een vaste N-mineralisatiesnelheid van $1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$, ongeacht grondsoort, perceelshistorie en de periode (de bijmestgift wordt in het algemeen tussen begin juni en half juli uitgevoerd). Tenslotte wordt gewerkt met een hoeveelheid N-mineraal die minimaal in de bodem aanwezig moet zijn. Deze hoeveelheid wordt 'buffer' genoemd. De functie van de buffer is dat het risico van een tekort wordt beperkt, doordat een 'veiligheidsmarge' wordt ingebouwd.

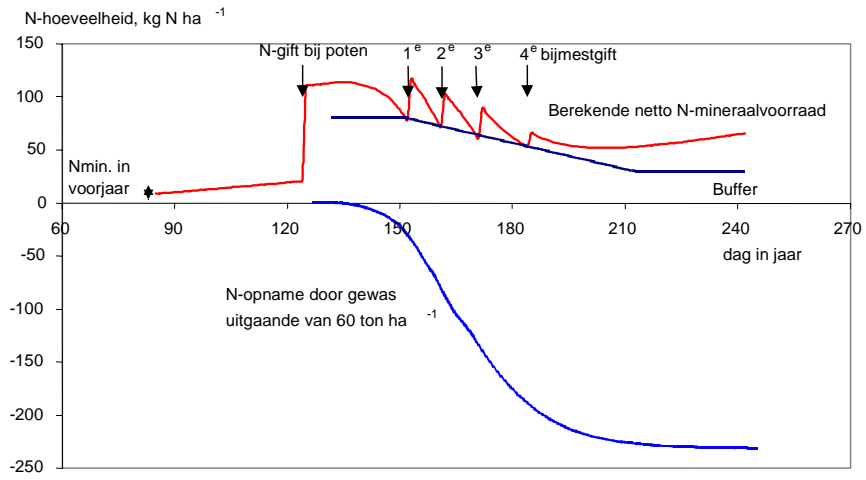
De achtergrond is dat bekend is dat een gewas ten gevolge van een beperkte beworteling niet alle minerale N die aanwezig is in een bodem uit de bodem op kan nemen. Dit zal vooral het geval zijn tijdens de beginfase van de groei, wanneer de N-behoefte relatief hoog is en het wortelstelsel beperkt.

Er zijn verschillende mogelijkheden om verfijningen aan te brengen in dit basis-NBS, bijvoorbeeld door i) voor het opnameverloop onderscheid te maken naar rassen en een differentiatie aan te brengen naar opbrengstniveau, ii) door de N-mineralisatie te berekenen op basis van de perceelshistorie en iii) door de mogelijkheden te verkennen om de hoogte van de buffer te verlagen en/of afhankelijk te maken van het groeistadium van het gewas. In het vervolg wordt ingegaan op een verfijning van NBS door berekening van de N-mineralisatie op basis van de perceelshistorie met het aangepaste N-mineralisatiemodel.

5.4 Aanpassing van NBS met berekening van perceelsspecifieke N-mineralisatiecurve

Door de vaste N-mineralisatiesnelheid van $1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ in het huidige NBS te vervangen door een N-mineralisatiecurve die voor een specifiek perceel wordt berekend, kan de resulterende N-mineraalvoorraad in principe voor elk tijdstip van de groeiperiode worden berekend. Aangezien deze berekening, uitgaande van gemiddelde weersomstandigheden, al voor het begin van het groeiseizoen kan worden gemaakt, kan de berekening worden gebruikt om de N-bemesting voor het seizoen per perceel te plannen. Halverwege het groeiseizoen kan de berekening eventueel worden herhaald met aanpassingen voor de weersgegevens in de achterliggende periode, wat dan als basis kan dienen voor de N-bijbemesting. De berekening van de Nmin-voorraad halverwege het seizoen kan worden gecontroleerd door een meting van die Nmin-voorraad met behulp van een grondmonster.

De hiervoor beschreven procedure is een aantal jaren geleden door NMI reeds gebruikt voor de N-bemesting van consumptieaardappelen, waarbij de N werd toegediend via druppelfertigatie (Postma & Van Erp, 2002). Voor het berekenen van de N-mineralisatiecurve werd in dat geval gebruik gemaakt van het model Minip, maar dit kan in de toekomst worden vervangen door het aangepaste mineralisatiemodel van Yang. In Figuur 7 is weergegeven hoe de N-bemesting in het genoemde voorbeeld is afgestemd op het verloop van de verwachte N-mineralisatie, de verwachte N-opname van het gewas, en het verloop van de buffer. Op het moment dat de berekende Nmin-voorraad onder het niveau van de buffer dreigde te komen, werd een beperkte hoeveelheid N toegediend via een bijmestgift met fertigatie. Dit werd enige keren herhaald, totdat de berekende Nmin-voorraad niet meer daalde tot onder het niveau van de buffer. Opgemerkt moet worden dat behalve de berekende N-mineralisatiecurve, het NBS was aangepast door het opnemen van een aangepaste N-opnamecurve en een afnemend niveau van de benodigde buffer gedurende het seizoen.



Figuur 7. Plan voor de N-bemesting van consumptieaardappelen met het aangepaste NBS. In de figuur zijn het verloop van de Nmin-voorraad (bovenste lijn), de buffer (middelste lijn) en de N-opname door het gewas (onderste lijn) weergegeven. De berekende N-mineralisatie is verwerkt in de Nmin-voorraad.

6. Evaluatie

In de vorige hoofdstukken is beschreven hoe een verbeterd model voor organische stof en N-mineralisatie kan worden gebruikt als hulpmiddel bij beslissingen over het organischestofbeheer en de N-bemesting.

Een belangrijk aspect voor de uitkomst van het uiteindelijke advies voor het organischestofbeheer is, behalve de modelberekening, de toetsing aan de doelstelling ten aanzien van het organischestofgehalte. Voor een goede onderbouwing van die doelstelling is informatie over het gewenste of optimale organischestofgehalte in een bepaalde situatie nodig (Hanegraaf & Moolenaar, 2004). Uit diverse pogingen die zijn gedaan om deze vraag te beantwoorden (onder andere Carter, 2002; Loveland & Webb, 2003) is gebleken dat een eenduidig antwoord hierop niet goed mogelijk is (zie ook hoofdstuk 2). De volgende aspecten zijn hierbij van belang:

- Organische stof heeft verschillende functies voor uiteenlopende bodemeigenschappen, zoals de levering van N, P en S, de adsorptie van kationen, het vochthoudend vermogen, de bodemstructuur, de ziekteverendheid, etc.
- Niet alleen het totale organischestofgehalte is van belang, maar ook de kwaliteit ervan.
- De eisen aan het organischestofgehalte kunnen verschillen tussen bodems, omdat een bepaalde bodemeigenschap voor de ene bodem belangrijker is dan voor een andere.
- De eisen aan het organischestofgehalte worden ook bepaald door managementfactoren, zoals de frequentie waarmee kan worden bemest en berekend.
- Is het primaire doel gericht op landbouwkundige productie of op halen van een milieukundige norm.

Aangezien er nog geen streeftrajecten voor het organischestofgehalte in Nederlandse gronden bekend zijn, lijkt dit een onderwerp te zijn wat de komende jaren moet worden onderzocht. Een methodiek om te komen tot streeftrajecten voor organischestofgehalten in verschillende gronden bestaat uit i) het onderscheiden van de verschillende functies van organische stof, ii) het afleiden van streefwaarden per functie en iii) een optimalisering, waarbij de streefwaarden per functie worden gecombineerd tot één streefwaarde voor het organischestofgehalte (eventueel inclusief een specificatie van de gewenste kwaliteit van de organische stof) voor een specifieke situatie (combinatie van grondsoort en grondgebruik). Een aanzet hiertoe is uitgewerkt in hoofdstuk 2, waarvan het resultaat nog eens is samengevat in Tabel 4.

In het voorgaande is reeds aangegeven dat het opnemen van de aanpassingen voorgesteld door Yang in Minip voorlopig geen grote consequenties heeft voor de uitkomsten van de modelberekeningen. Dit komt door de voorgestelde keuze van de waarde van modelparameters. In hoofdstuk 3 is reeds opgemerkt dat de waarden van modelparameters voor een type organisch materiaal nogal sterk kunnen variëren in afhankelijkheid van de proefomstandigheden en -uitvoering. Aangezien dit ongewenst is bevelen we aan om een procedure beschikbaar te maken waarmee modelparameters voor een bepaald type organisch materiaal op reproduceerbare wijze kunnen worden afgeleid. Vervolgens is het zinvol de modelparameters voor een groot aantal organische materialen af te leiden, waarmee een differentiatie binnen de huidige categorieën gewas materiaal, organische mesten en bodem organische stof kan worden gerealiseerd. Pas dan worden de potentiële voordelen van de verbeteringen voorgesteld door Yang ook werkelijk benut.

Tabel 4. *Samenvatting van de functie en eisen aan de hoeveelheid en kwaliteit van de organische stof in de bodem. Waar mogelijk zijn streefwaarden vermeld. Voor toelichting zie hoofdstuk 2.*

Bodem eigenschap	Functie van organische stof	Eisen aan hoeveelheid en kwaliteit van de organische stof	
		Organischestofgehalte	Kwaliteit van organische stof
Levering van N, P en S	aanvoer van goed afbreekbaar organisch N, P en S	minimaal 1,7%	matig stabiele organische stof met een lage C/N-, C/P- en C/S-ratio
ziektewerendheid	stimuleren van divers bodemleven	niet te laag	matig stabiele organische stof met niet te hoge nutriëntengehalten
vermogen om kationen te binden	bijdrage aan de omvang van CEC	afhankelijk van het lutumgehalte en de pH minimaal 0 – 3%.	stabiel, oud organisch materiaal
bodemstructuur	verzorgen van binding tussen bodemdeeltjes	> 3,4% organische stof	vooral vers organisch materiaal
vochthoudend vermogen	verhogen van het vochtbindend vermogen	>1% organische stof	onbekend
gevoeligheid voor N-uitspoeling	beperven van N-uitspoeling	> 2,5% organische stof (zandgronden)	recalcitrant organisch materiaal dat zeer langzaam afbreekt
erosiegevoeligheid	verminderen van erosiegevoeligheid	> 2,7 in Australië, > 5,1 in Spanje	onbekend

Aangezien de kwaliteit van de uitkomsten van het rekenmodel voor organische stof niet alleen wordt bepaald door de wijze waarop de organischestofafbraak wordt beschreven, maar ook door de kwaliteit van de invoergegevens, is het van belang daar bij het gebruik in de praktijk aandacht aan te besteden. Bij het gebruik van gemiddelde waarden voor de hoeveelheid en nutriënteninhoud van gewasresten, groenbemesters en organische mesten kunnen forse afwijkingen van de werkelijke situatie optreden.

Het is dan ook gewenst dat er een methode beschikbaar komt waarmee de hoeveelheid C en N in gewasresten en groenbemesters die op het land achterblijft eenvoudig kan worden ingeschat. Deze schattingen kunnen dan worden gebruikt als invoer voor het model.

7. Literatuur

- Berg, B., M. Müller & B. Wessén, 1987.
Decomposition of red clover (*trifolium Pratense*) roots. *Soil Biology and Biochemistry*, 19 (5), 589-593.
- Bolt, G.H., M.G.M. Bruggenwert & A. Kamphorst, 1978.
Adsorption of cations by soil. Hoofdstuk 4 in: Bolt, G.H. & Bruggenwert, M.G.M. (eds.) *Soil Chemistry. A. Basic elements. Developments in soil science 5A*, Elsevier, Amsterdam, ISBN 0-444-41435-5, 54-90.
- Carter, M.R., 2002.
Soil Quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal* 94, 38-47.
- 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 Ruijter, F.J. & R. Postma, 2004.
Afvoer gewasresten ter beperking van stikstofuitspoeling. Bureaustudie naar de effecten op de stikstofbalans, mineralisatie en organische stof. Rapport Telen met toekomst OV 04xx.
Plant Research International, Wageningen, xx pp.
- Hanegraaf, M.C. & S.W. Moolenaar, 2004.
Organische stof in landbouwgronden verdient de aandacht. *Bodem* 2, 73-76.
- Hanegraaf, M.H. & M. de Visser, 2004.
Naar een betere bodemkwaliteit op zandgrond, ASG Lelystad.
- 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.
- 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.
- 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.
- Locher, W.P. & H. de Bakker, 1990.
Bodemkunde van Nederland. Deel I, Algemene bodemkunde. Tweede druk, Malmberg, Den Bosch, ISBN90-208-3545-9.
- Loveland, P. & J. Webb, 2003.
Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil & Tillage Research* 70, 1-18.

- Martin, J.P., K. Haider, W.J. Farmer & E. Fustec-Mathon, 1974.
Decomposition and distribution of residual activity of some ¹⁴C-microbial polysaccharides and cells, glucose, cellulose and wheat straw in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 6, 221-230.
- Neeteson, J.J., 1990.
Development of nitrogen fertilizer recommendations for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. *Fertilizer Research* 26, 1-3, 291-298.
- NMI, 2000.
Handboek Meststoffen, Elsevier bedrijfsinformatie, Doetinchem, 1192 pp.
- Oenema, O., 1995.
Ontwikkelingen in nutriëntenmanagement. *Meststoffen* 1995, 90-95.
- 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-I.
Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; toetsing Minip met resultaten 2002 en 2003. Telen met toekomst rapport.
- Postma, R. & T.A. van Dijk, 2004-II.
Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; verfijning model Minip. Telen met toekomst rapport.
- Postma, R. & P.J. van Erp, 2002.
Stikstofbemesting van consumptieaardappelen via druppelfertigatie. *Meststoffen* 2000, 36-44.
- Pronk, A.A. & K. Groenwold, 2004.
Stikstofopnamecurven voor akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Doorrekenen van gewasrotaties op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik van Telen met toekomst. Rapport Telen met toekomst OV 04xx. Plant Research International, Wageningen, xx pp.
- Shepherd, M., R. Harrison, S. Cuttle, B. Johnson, D. Shannon, P. Gosling & F. Rayns, 2000.
Understanding soil fertility in organically farmed soils. ADAS. UK. Mansfield.
- Sparling, G., R.L. Parfitt, A.E. Hewitt & L.A. Schipper, 2003.
Ecological Risk Assessment. Three approaches to define soil organic matter contents. *Journal of Environmental quality* 32, 760-766.
- Termorshuizen, A.J. & W.J. Blok, 2000.
Compost en ziekteverendheid. Uit: Ziekteverendheid en biologische activiteit in de bodem. Verslag van de workshop van 4 april 2000. Wageningen. LBI / NMI.
- Van Dijk, W., 2003.
Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. PPO-publicatienr. 307, 65 pp.
- Van Erp, P.J., 2002.
The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0,01 M CaCl₂ in nutrient management. Proefschrift, Wageningen Universiteit, 237 pp.
- 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.

Bijlage I.

Poster van de berekende organischestofbalansen op de praktijkbedrijven die in de periode van 2001 t/m 2003 hebben deelgenomen aan Telen met toekomst.

Organische-stofbalansen

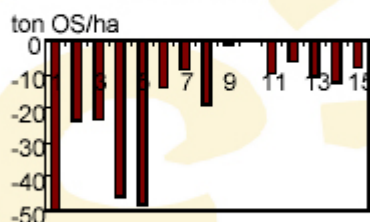


Telen met toekomst

Organische-stofbalansen: berekening van opbouw - afbraak.

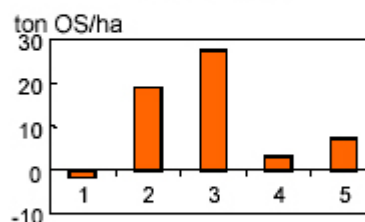
Gegevens van 1999/2000 en 2000/2001 vertaald naar 25 jaar.

Akkerbouw



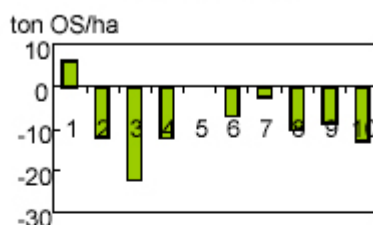
- Tekort op alle bedrijven: daling o.s.%
- O.s.-aanvoer vooral door gewasresten en drijfmest
- N-aanvoer (incl. dep.): 171 - 383 kg N/ha
- P-aanvoer: 48 - 153 kg P₂O₅/ha

Bollenteelt



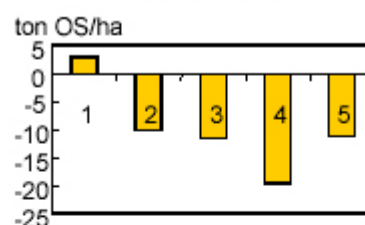
- Overschot op meeste bedrijven: handhaving of stijging o.s.%
- O.s.-aanvoer vooral met stro, stalmeest en compost
- N-aanvoer (-dep.): 240 - 345 kg N/ha
- P-aanvoer: 55 - 140 kg P₂O₅/ha

Groenteteelt



- Tekort op vrijwel alle bedrijven: daling o.s.%
- O.s.-aanvoer vooral door perspotjes, drijfmest en champost
- N-aanvoer (-dep.): 105 - 390 kg N/ha
- P-aanvoer: 5 - 185 kg P₂O₅/ha

Boomteelt



- Tekort op meeste bedrijven: daling o.s.%
- O.s.-aanvoer vooral met dierlijke mest, compost, graan en snoeiafval
- N-aanvoer (-dep.): 154 - 188 kg N/ha
- P-aanvoer: 39 - 96 kg P₂O₅/ha

Voorkom tekorten aan organische stof door gebruik van mineraalarme compost en groenbemesters!

Romke Postma, NMI



Reeds verschenen externe rapporten

Telen met toekomst

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 WDZH03, 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.

