

Vergelijking van de organische stofmodellen MOTOR en MINIP

Dit verslag is uitgevoerd binnen project 'Organisch stofmanagement', onderdeel van LNV onderzoeksprogramma 400-II 'Systeeminnovatie Biologische Beschermd Teelten'.

# Vergelijking van de organische stofmodellen MOTOR en MINIP

Marius Heinen  
Peter de Willigen

Alterra-rapport 1260

Alterra, Wageningen, 2005

## REFERAAT

Heinen M. & P. de Willigen, 2005 *Vergelijking van de organische stofmodellen MOTOR en MINIP*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1260. 50 blz. 13 fig.; 8 tab.; 17 ref.

In dit technisch document wordt kort beschreven de theorie van de modellen MINIP en MOTOR, welke beiden de afbraak van organische materialen beschrijven. Er worden uitdrukkingen gegeven voor de mineralisatie van koolstof en van stikstof. Beiden modellen beschrijven mineralisatie als een exponentiele afbraak: in MINIP is de afbraakconstante tijdsafhankelijk, terwijl in MOTOR deze constant is. MINIP is een vastgesteld concept, terwijl MOTOR de gebruiker de vrijheid geeft een eigen poolconcept op te stellen, en transformaties van eerste orde (eventueel tweede orde) tussen de diverse pools op te stellen. Empirisch is vastgesteld dat speciale MOTOR pools concepten vrijwel identieke koolstof afbraak kunnen berekenen als MINIP, maar dat de stikstofmineralisatie iets afwijkt. Een willekeurig ander poolsconcept binnen MOTOR kan ook geheel andere stikstofmineralisatie berekenen dan MINIP. Omdat de filosofie tussen beiden modellen nogal verschillend is, met name omdat MOTOR geen vast omschreven concept is, is het niet mogelijk om op theoretische basis aan te geven welk model 'het beste' is.

Trefwoorden: assimilatie, dissimilatie, koolstof, mineralisatie, MINIP, modellering, MOTOR, organische stof, stikstof

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 20,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1260. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2005 Alterra  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden veeveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Vergelijking MOTOR – MINIP	13
2.1 MINIP	13
2.2 MOTOR, algemeen	20
2.3 MINIP volgens twee-pools-MOTOR concept	22
2.4 MINIP volgens drie-pools-MOTOR concept	29
2.5 Correctie voor temperatuur en vochtgehalte	31
2.6 Parameterisatie	34
3 Een vijf-pools-MOTOR concept (CP-BKF3) versus MINIP	37
4 Voorbeeld van parameterisatie	41
5 Résumé	43
Referenties	45
<b><i>Bijlagen</i></b>	
1 Model Yang	47
2 Parameteroptimalisatie drie-pools-MOTOR concept voor 1 jaar	49



## Woord vooraf

In het project ‘Organisch stofmanagement’ in LNV onderzoeksprogramma BO-04-400-II ‘Systeeminnovatie Biologische Gesloten Teelten’ wordt onder meer aan de hand van simulatiemodellen nagegaan hoe de stikstofdynamiek is bij biologische teelten in de glastuinbouw. Één van de vragen die hierbij aan de orde kwamen is wat voor een mineralisatiemodel moet daarbij worden toegepast. De keuze ging daarbij tussen het model MINIP en het poolmodel MOTOR. Binnen de projectgroep werd gevraagd om na te gaan welke van deze twee modellen het best gebruikt kan worden. Dat is de aanleiding geweest voor deze rapportage.





## Samenvatting

In dit technische document wordt kort beschreven de theorie van de modellen MINIP en MOTOR, welke beiden de afbraak van organische materialen beschrijven. Er worden uitdrukkingen gegeven voor de mineralisatie van koolstof en van stikstof. Beiden modellen beschrijven mineralisatie als een exponentiele afbraak: in MINIP is de afbraakconstante tijdsafhankelijk, terwijl in MOTOR deze constant is. MINIP is een vastgesteld concept, terwijl MOTOR de gebruiker de vrijheid geeft een eigen poolconcept op te stellen, en transformaties van eerste orde (eventueel tweede orde) tussen de diverse pools op te stellen. Empirisch is vastgesteld dat speciale MOTOR pools concepten vrijwel identieke koolstof afbraak kunnen berekenen als MINIP, maar dat de stikstofmineralisatie iets afwijkt. Een willekeurig ander poolconcept binnen MOTOR kan ook geheel andere stikstofmineralisatie berekenen dan MINIP. Omdat de filosofie tussen beiden modellen nogal verschillend is, vooral omdat MOTOR geen vast omschreven concept is, is het niet mogelijk om op theoretische basis aan te geven welk model 'het beste' is. Vergelijking met metingen enerzijds, en anderzijds de perceptie van de gebruiker over hoe een afbraakmodel er uit moet zien (bijvoorbeeld, mate van detail of eenvoud) zullen de doorslag moeten geven welk model voor het beoogde doel het meest geschikt is. Een vergelijking tussen gemeten en berekende koolstof- en stikstofmineralisatie zijn elders gepubliceerd (Marcelis *et al.*, 2003; de Visser *et al.*, 2004).



## 1 Inleiding

In de landbouw en vooral de biologische landbouw wordt organisch materiaal toegediend aan de bodem. De organische mest dient als vervanger voor kunstmest, en zorgt er tevens voor dat het organische stofgehalte, bodemvruchtbaarheid en bodemstructuur op peil gehouden wordt dan wel worden verhoogd. Omzetting van dit materiaal zal leiden tot vrijkomen van stikstof en andere nutriënten in minerale vorm. We zullen ons hier richten op stikstof. De vrijgekomen stikstof kan worden opgenomen door het gewas. Indien de snelheid van vrijkomen van stikstof niet overeenkomt met de vraag van het gewas kan groeireductie (er komt te weinig stikstof vrij) of stikstofverlies (er komt teveel stikstof vrij) zoals uitspoeling en denitrificatie optreden, wat nadelig voor het milieu is.

In het project 'Organisch stofmanagement' in LNV onderzoeksprogramma BO-04-400-II 'Systeeminnovatie Biologische Gesloten Teelten' wordt onder meer aan de hand van simulatiemodellen nagegaan hoe de stikstofdynamiek is bij biologische teelten glastuinbouw. Één van de vragen die hierbij aan de orde kwam is welk mineralisatiemodel moet worden toegepast. De keuze ging daarbij tussen de modellen MINIP en MOTOR. Binnen de projectgroep werd gevraagd om na te gaan welke van deze twee modellen het best gebruikt kan worden. Dat is de aanleiding geweest voor deze rapportage.

Vooruitlopend op een eventuele conclusie wordt hier gesteld dat mineralisatie, c.q. organische stofdynamiek, een zeer complex proces is, dat moeilijk kwantitatief te beschrijven is. Dat betekent eigenlijk ook dat er vele modellen bestaan die eenzelfde resultaat opleveren, waarbij het ene model zeer complex kan zijn, en een ander model juist heel eenvoudig. Beide type modellen kunnen vaak redelijk de waarnemingen beschrijven. Dan is het uiteindelijk aan de individuele gebruiker om zelf een keuze te maken, waarbij het meestal om subjectieve argumenten gaat.

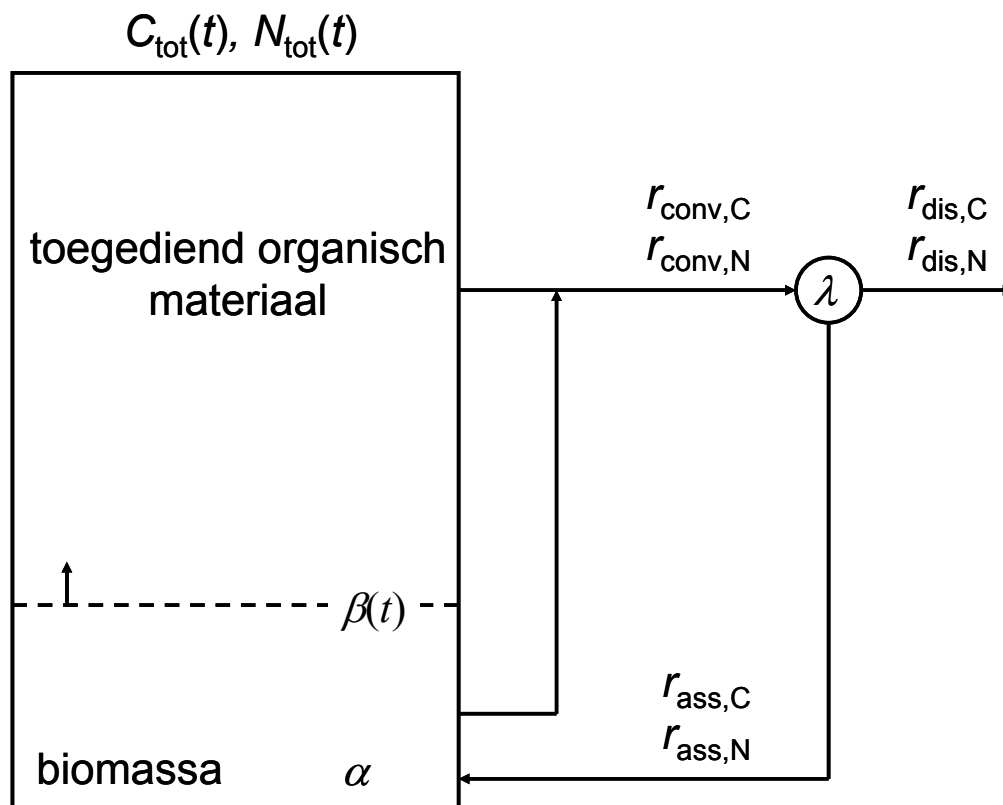


## 2 Vergelijking MOTOR – MINIP

Bij enkele afleidingen in dit rapport is gebruik gemaakt van Mathematica<sup>®</sup> 4 (Wolfram, 1999).

### 2.1 MINIP

In Figuur 1 is het MINIP model (Janssen, 1984, 1986<sup>a,b</sup>), zoals ook gebruikt in het NDICEA model (Habets en Oomen, 1993; Koopmans en Bokhorst, 2002), schematisch weergegeven. De basis vormt de beschrijving van de koolstofhuishouding. Het op tijdstip  $t = 0$  opgebrachte organische materiaal breekt af waarbij een deel als  $\text{CO}_2$  verdwijnt (dissimilatie) en een deel wordt opgenomen in biomassa (assimilatie). De biomassa en het overgebleven organische materiaal mengt zich, en dit mengsel breekt vervolgens verder af. Voor  $t > 0$  bestaat de totale hoeveelheid  $C_{\text{tot}}$  dus uit een deel afkomstig van het toegediende organische materiaal en een deel aanwezig in de gevormde biomassa. De verhouding organisch materiaal versus biomassa in de enkelvoudige pool neemt af in de tijd.



Figuur 1. Schematisatie van het MINIP model, bestaande uit een enkelvoudige pool wat een mengsel is van opgebracht organisch materiaal dat afneemt in de tijd en microbiële biomassa dat toeneemt in de tijd.

Tabel 1. Overzicht dissimilatie, assimilatie en totale conversie snelheden voor C en N in de modellen MINIP en het twee-pools-MOTOR concept. Uitleg symbolen in tekst.

	<b>Dissimilatie</b> (CO <sub>2</sub> productie; N mineralisatie)	<b>Assimilatie</b> (in biomassa)	<b>Totale conversie</b> (= dissimilatie + assimilatie)
<b>MINIP, C</b>	$r_{\text{dis,C}} = k(t)C_{\text{tot}}(t) = -bm(a+t)^{m-1}C_{\text{tot}}(t)$	$r_{\text{ass,C}} = \lambda r_{\text{dis,C}}$	$r_{\text{conv,C}} = r_{\text{dis,C}} + r_{\text{ass,C}}$ $= r_{\text{dis,C}}(\lambda + 1)$
<b>MINIP, N</b>	$r_{\text{dis,N}} = r_{\text{conv,N}} - r_{\text{ass,N}}$ $= r_{\text{dis,C}} \left( \frac{(\lambda + 1)}{\beta(t)} - \frac{\lambda}{\alpha} \right)$	$r_{\text{ass,N}} = \frac{r_{\text{ass,C}}}{\alpha}$ $= r_{\text{dis,C}} \frac{\lambda}{\alpha}$	$r_{\text{conv,N}} = \frac{r_{\text{conv,C}}}{\beta(t)}$ $= r_{\text{dis,C}} \frac{(\lambda + 1)}{\beta(t)}$
<b>MOTOR, C</b>	$r_{\text{dis,C}} = r_{\text{dis,C1}} + r_{\text{dis,C2}}$ $= K_1 C_1(t) + K_2 C_2(t)$	n.v.t.	n.v.t.
<b>MOTOR, N</b>	$r_{\text{dis,N}} = \frac{r_{\text{dis,C1}}}{\beta_1} + \frac{r_{\text{dis,C2}}}{\beta_2}$	n.v.t.	n.v.t.

Omdat beide delen meestal een verschillende C:N verhouding hebben zal de overall C:N verhouding van de enkelvoudige pool veranderen in de tijd.

Het geschetste één-pools concept kan worden toegepast voor elk nieuw toe te dienen materiaal (organische mest), maar kan ook worden toegepast voor de reeds aanwezige organische stof (humus).

Janssen (1984) beschrijft het verloop van het koolstofgehalte in organisch materiaal dat aan grond is toegediend als een eerste-orde afbraak proces, waarbij de afbraakcoëfficiënt niet constant is maar een functie van de tijd. De dissimilatiesnelheid (CO<sub>2</sub> productie; respiratie)  $r_{\text{dis,C}}$  wordt gegeven door (zie ook Tabel 1<sup>1</sup>):

$$r_{\text{dis,C}} = k(t)C_{\text{tot}}(t) = -bm(a+t)^{m-1}C_{\text{tot}}(t) \quad (1)$$

waarin

$r_{\text{dis,C}}$	dissimilatiesnelheid C	mg [C] kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
$k$	tijdsafhankelijke afbraakcoëfficiënt	d <sup>-1</sup>
$t$	tijd	d
$C_{\text{tot}}$	gehalte C in enkelvoudige pool	mg [C] kg <sup>-1</sup>
$a$	initiële leeftijd van opgebrachte organisch materiaal	d
$b$	dimensieloze constante parameter: $b = 4.7$	dimensieloos
$m$	dimensieloze constante parameter: $m = -0.6$	dimensieloos

Integratie van (1) levert de volgende uitdrukking voor  $C_{\text{tot}}$ :

$$C_{\text{tot}}(t) = C_0 \exp(b(a+t)^m - ba^m) \quad (2)$$

waarin:

$C_0$	initieel gehalte C in enkelvoudige pool	mg [C] kg <sup>-1</sup>
-------	---	-------------------------

Indien de verhouding assimilatie:dissimilatie wordt aangeduid door  $\lambda$ , dan wordt de assimilatiesnelheid van C,  $r_{\text{ass,C}}$ , gegeven door (zie ook Tabel 1)

$$r_{\text{ass,C}} = \lambda r_{\text{dis,C}} = -\lambda bm(a+t)^{m-1}C_{\text{tot}}(t) \quad (3)$$

waarin

$r_{\text{ass,C}}$	assimilatiesnelheid C	mg [C] kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
$\lambda$	verhouding assimilatie:dissimilatie, bijvoorbeeld $\lambda = 0.5$	mg mg <sup>-1</sup>

De totale C conversiesnelheid  $r_{\text{conv,C}}$  wordt gegeven door (zie ook Tabel 1)

$$r_{\text{conv,C}} = r_{\text{dis,C}} + r_{\text{ass,C}} = (\lambda + 1)r_{\text{dis,C}} = -(\lambda + 1)bm(a+t)^{m-1}C_{\text{tot}}(t) \quad (4)$$

waarin

$r_{\text{conv,C}}$	totale conversiesnelheid C	mg [C] kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
---------------------	----------------------------	---

De totale conversiesnelheid voor N,  $r_{\text{conv,N}}$ , volgt uit  $r_{\text{conv,C}}$  en de C:N verhouding op tijdstip  $t$ , namelijk  $C_{\text{tot}}(t)/N_{\text{tot}}(t)$ , volgens (zie ook Tabel 1)

$$r_{\text{conv,N}} = r_{\text{conv,C}} \frac{N_{\text{tot}}(t)}{C_{\text{tot}}(t)} = (\lambda + 1)r_{\text{dis,C}} \frac{N_{\text{tot}}(t)}{C_{\text{tot}}(t)} = -(\lambda + 1)bm(a+t)^{m-1}N_{\text{tot}}(t) \quad (5)$$

<sup>1</sup> alle snelheden worden in dit rapport positief gegeven

waarin

$r_{\text{conv},N}$	totale conversiesnelheid N	mg [N] kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
$N_{\text{tot}}$	gehalte N in enkelvoudige pool	mg [N] kg <sup>-1</sup>

Een uitdrukking voor  $N_{\text{tot}}(t)$  volgt later. De assimilatiesnelheid van N,  $r_{\text{ass},N}$ , volgt uit die voor C en de C:N verhouding van de microbiële biomassa ( $\alpha$ )

$$r_{\text{ass},N} = \frac{r_{\text{ass},C}}{\alpha} = \frac{\lambda}{\alpha} r_{\text{dis},C} = -\frac{\lambda b m (a+t)^{m-1} C_{\text{tot}}(t)}{\alpha} \quad (6)$$

waarin

$r_{\text{ass},N}$	assimilatiesnelheid N	mg [N] kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
$\alpha$	C:N verhouding van de microbiële biomassa, bijvoorbeeld, $\alpha = 10$	mg [C] mg <sup>-1</sup> [N]

De dissimilatie (mineralisatie) van organische N,  $r_{\text{dis},N}$ , wordt dan gegeven door (zie ook Tabel 1)

$$\begin{aligned} r_{\text{dis},N} &= \frac{dN_{\text{tot}}}{dt} = r_{\text{conv},N} - r_{\text{ass},N} = \\ &= \left( \frac{(\lambda+1)N_{\text{tot}}}{C_{\text{tot}}} - \frac{\lambda}{\alpha} \right) r_{\text{dis},C} \\ &= -(\lambda+1) b m (a+t)^{m-1} N_{\text{tot}}(t) + \frac{\lambda b m (a+t)^{m-1} C_{\text{tot}}(t)}{\alpha} \end{aligned} \quad (7)$$

waarin

$r_{\text{dis},N}$	dissimilatiesnelheid N (N mineralisatie)	mg [N] kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
--------------------	--	---

Oplossen van (7) met gebruikmaking van (2), en met de aanname dat  $\lambda$  en  $a$  constant zijn, leidt tot:

$$N_{\text{tot}}(t) = N_0 \exp\left[-b\left(a^m(1+\lambda) - (a+t)^m\right)\right] \times \frac{\left[\beta_0 \exp(b\lambda a^m) + (\alpha - \beta_0) \exp(b\lambda(a+t)^m)\right]}{\alpha} \quad (8)$$

waarin

$N_0$	initieel gehalte N in enkelvoudige pool	mg [N] kg <sup>-1</sup>
$\beta_0$	initieel C/N verhouding = $C_0/N_0$	mg [C] mg <sup>-1</sup> [N]

De totale dissimilatie, assimilatie en conversie voor C en N volgt uit integratie van de snelheden uit vergelijkingen (1),(3)-(7) over het traject  $t = 0$  tot  $t = t$ . Deze zijn, uiteraard, gelijk aan de beginhoeveelheid minus de hoeveelheid op tijdstip  $t = t$ . Bijvoorbeeld, de totale dissimilatie van C,  $D_C$ , en N,  $D_N$ , wordt gegeven door

$$D_C = \int_{t=0}^t r_{\text{dis},C} dt = C_0 - C_{\text{tot}}(t) \quad (9)$$

en



$$D_N = \int_{t=0}^t r_{\text{dis},N} dt = N_0 - N_{\text{tot}}(t) \quad (10)$$

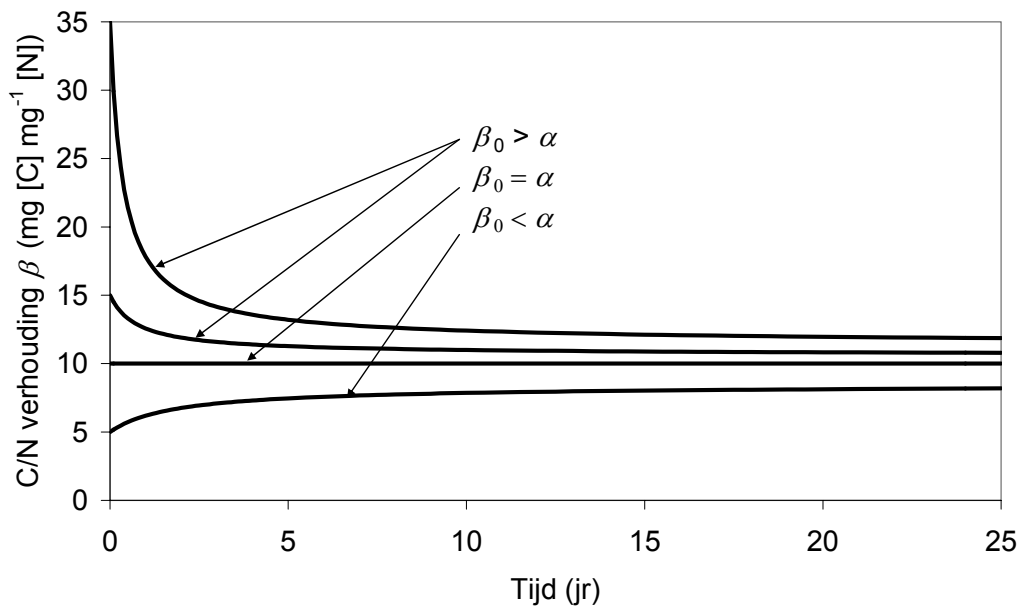
Het tijdsafhankelijke verloop van de C:N verhouding  $\beta(t) = C_{\text{tot}}(t)/N_{\text{tot}}(t)$  van de organische pool volgt uit deling van vergelijkingen (2) en (8)

$$\beta(t) = \frac{C_{\text{tot}}(t)}{N_{\text{tot}}(t)} = \frac{\alpha\beta_0}{\beta_0 + (\alpha - \beta_0)\exp(b\lambda(a+t)^m - b\lambda a^m)} \quad (11)$$

De snelheid waarmee  $\beta(t)$  verandert in de tijd wordt gegeven door:

$$\frac{d\beta(t)}{dt} = - \frac{\alpha\beta_0(\alpha - \beta_0)\lambda b m (a+t)^{m-1} \exp(\lambda b((a+t)^m + a^m))}{(\beta_0 \exp(\lambda b a^m) + (\alpha - \beta_0)\exp(\lambda b(a+t)^m))^2} \quad (12)$$

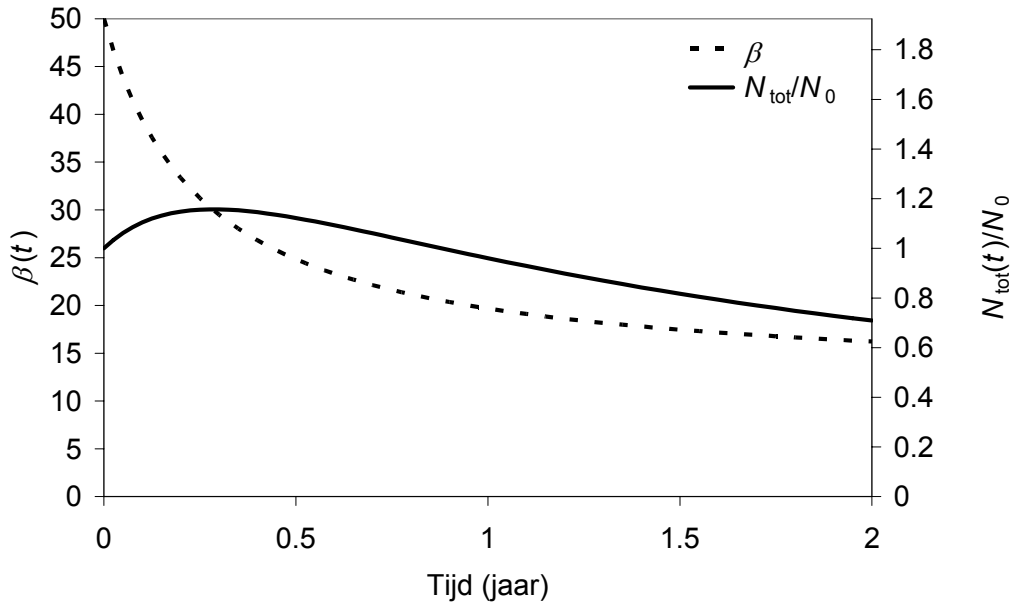
Voor  $\beta_0 > \alpha$  geldt dat de verandering van C:N negatief is (immers  $m < 0$ ), voor  $\beta_0 < \alpha$  geldt dat de verandering van C:N positief is, en voor  $\beta_0 = \alpha$  geldt dat de C:N verhouding niet zal veranderen in de tijd (Figuur 2).



Figuur 2. Verloop C/N verhouding  $\beta(t)$  als functie van de tijd voor vier initiële C/N verhoudingen  $\beta_0$ : 5, 10, 15 en 35. Overige parameters:  $b = 4.7$ ,  $m = -0.6$ ,  $a = 1.5$ ,  $\alpha = 10$ ,  $\lambda = 0.5$ .

Omdat  $r_{\text{dis},C} > 0$ , volgt uit vergelijking (7) dat  $r_{\text{dis},N}$  ook altijd positief (mineralisatie) is in geval  $\beta(t) < \alpha(1+1/\lambda)$ . Voor  $\beta(t) > \alpha(1+1/\lambda)$  vindt juist N immobilisatie plaats. Voor  $\alpha = 10$  en  $\lambda = 0.5$  is deze grenswaarde dus 30. In Figuur 3 is het verloop van  $\beta(t)$  gegeven voor een initiële waarde  $\beta_0 = 50 (> \alpha)$ . In de loop der tijd neemt  $\beta(t)$  af (vergelijking (11)). Zolang  $\beta(t) > 30$  zien we dat de hoeveelheid N in de pool

toeneemt (N immobilisatie) omdat  $N_{\text{tot}}/N_0 > 1$ . Bij  $\beta(t) = 30$  bereikt  $N_{\text{tot}}/N_0$  een maximum, en neemt daarna af (N komt vrij).



Figuur 3. Verloop van C:N verhouding van de pool,  $\beta$ , en verloop van het N gebalte,  $N_{\text{tot}}$ , relatief ten opzicht van initieel N gebalte  $N_0$  als functie van de tijd voor een initiële C:N verhouding van  $\beta_0 = 50$ . Overige parameters:  $b = 4.7$ ,  $m = -0.6$ ,  $a = 1.5$ ,  $\alpha = 10$ ,  $\lambda = 0.5$ .

Dat betekent in dit geval dat voor materialen met een initiële C:N verhouding ( $\beta_0$ ) van groter dan 30 initieel eerst N zal worden vastgelegd. Pas nadat  $\beta(t)$  kleiner wordt dan 30 komt N vrij. De tijd die nodig is om deze omslag te bereiken zal afhangen van de snelheid van C mineralisatie, wat bepaald wordt door de initiële leeftijd van het materiaal.

In Tabel 2 zijn enkele limieteigenschappen voor  $t \rightarrow 0$  en  $t \rightarrow \infty$  voor MINIP gegeven. Hierbij valt het op dat de initiële snelheden eindig zijn, en dat voor  $t \rightarrow \infty$  de snelheden naar nul gaan maar dat de hoeveelheden eindig blijven.

Tabel 2. Enkele limieteigenschappen voor  $t \rightarrow 0$  en  $t \rightarrow \infty$  voor enkele grootheden van MINIP en van twee-pools-MOTOR concept.

Model	Grootheid	Limiet ( $t \rightarrow 0$ )	Limiet ( $t \rightarrow \infty$ )
MINIP	$C_{\text{tot}}$	$C_0$	$C_0 \exp(-ba^m)$
	$N_{\text{tot}}$	$N_0$	$\exp(-(\lambda+1)ba^m) \frac{(\alpha N_0 + C_0(\exp(\lambda ba^m) - 1))}{\alpha}$
	$r_{\text{dis,C}}$	$C_0 bma^{m-1}$	0
	$r_{\text{dis,N}}$	$\frac{bma^{m-1}((\lambda+1)\alpha N_0 - \lambda C_0)}{\alpha}$	0
	$\beta$	$\beta_0$	$\frac{\alpha \beta_0}{\beta_0 + (\alpha - \beta_0) \exp(-b\lambda a^m)}$
	$d\beta/dt$	$-\frac{\lambda bma^{m-1}(\alpha - \beta_0)\beta_0}{\alpha}$	0
	twee-pools-MOTOR concept	$C_{\text{tot}}$	$C_{0,1} + C_{0,2}$
$N_{\text{tot}}$		$N_{0,1} + N_{0,2}$	0
$r_{\text{dis,C}}$		$-K_1 C_{0,1} - K_2 C_{0,2}$	0
$r_{\text{dis,N}}$		$-K_1 N_{0,1} - K_2 N_{0,2}$	0
$\beta$		$\beta_0 = \frac{\beta_1 \beta_2}{(1-f)\beta_1 + f\beta_2}$	$\beta_2$
$d\beta/dt$		$-\frac{\beta_1 \beta_2 (\beta_1 - \beta_2) f (1-f) (K_1 - K_2)}{(-(1-f)\beta_1 - f\beta_2)^2}$	0

Voor elk tijdstip  $t$  sinds opbrengen van een bepaald organisch materiaal is de toestand voor C en N direct te berekenen volgens vergelijkingen, respectievelijk, (2) en (8). Een alternatieve berekening, welke geschikt kan zijn in numerieke simulatiemodellen, is de numerieke integratie. Voor niet te grote tijdstappen (bijvoorbeeld 1 dag) kan hiervoor de eenvoudige Euler integratie worden toegepast, gegeven als

$$y^{t+\Delta t} = y^t + \frac{dy}{dt} \cdot \Delta t \quad (13)$$

waarin

$y$  de status van een bepaalde grootte

$dy/dt$  de veranderingssnelheid van  $y$

$\Delta t$  de tijdstap

Deze integratie kan worden uitgevoerd indien de initiële toestanden bekend zijn, en indien de snelheden kunnen worden berekend.

In de beschrijving van MINIP komt de tijd expliciet voor. Voor elke toediening van nieuwe organische materialen moet een aparte berekening worden bijgehouden: elk toediening kent zijn eigen tijdschaal, immers de afbraakcoëfficiënt verandert in de tijd. Het totale gehalte op een willekeurig tijdstip is dan de som van de gehalten behorende bij de afzonderlijke toestanden.

In werkelijkheid wordt in veel gevallen een initiële snelle afbraak waargenomen, welke niet door MINIP beschreven kan worden. Yang (1996) geeft een alternatief model, met eveneens een tijdsafhankelijke afbraakcoëfficiënt, waarbij dat wel kan (zie Bijlage 1).

## 2.2 MOTOR, algemeen

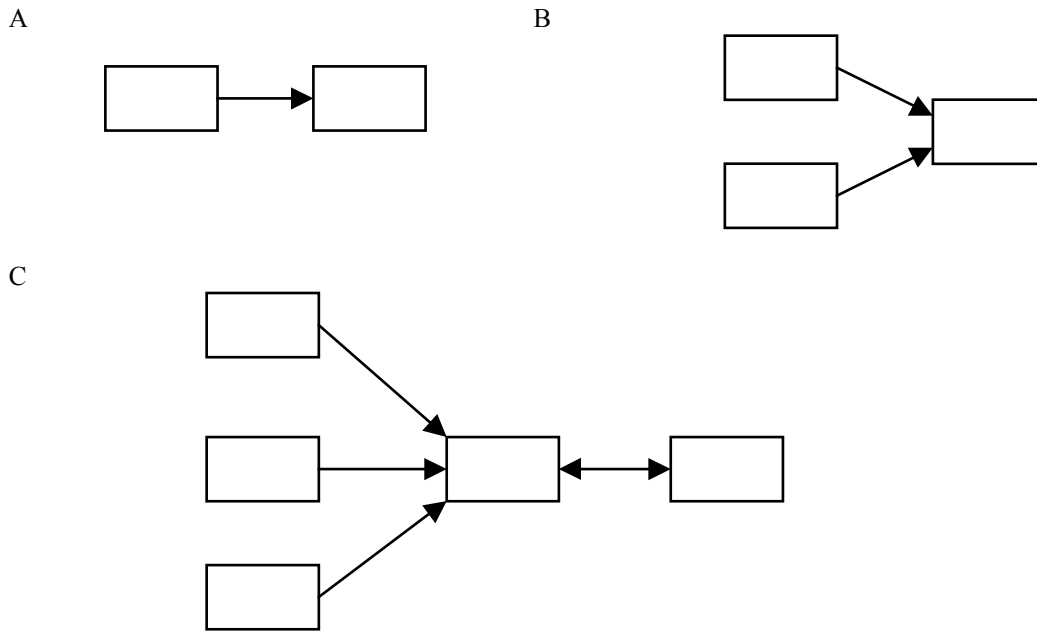
MOTOR is een module om transformaties van C en N tussen pools te beschrijven (Assinck en Rappoldt, 2004). Dat betekent dat de gebruiker zijn (haar) eigen organische stof model kan gebruiken. Dit is veelal een modelconcept bestaande uit organische stof pools. Het aantal pools en de relaties tussen de pools is vrij te kiezen. Figuur 4 laat enkele voorbeelden zien.

De transformaties kunnen als eerste orde of als tweede orde afbraakprocessen beschouwd worden. Voor elke transformatie moet bekend zijn: constante afbraakconstante  $K$ , de efficiëntie  $E$  waarmee C van ene pool naar andere pool wordt omgezet, waarbij dus  $(1-E)$  een maat is voor de  $CO_2$  productie ofwel dissimilatie.  $E$  is gerelateerd aan  $\lambda$  zoals gebruikt in MINIP volgens

$$\lambda = \frac{E}{1-E} \quad (14)$$

ofwel

$$E = \frac{\lambda}{1+\lambda} \quad (15)$$



*Figuur 4. Enkele voorbeelden van modellen van organische stof transformaties welke met de module MOTOR gebruikt kunnen worden.*

Elke pool heeft zijn eigen constante C:N verhouding. N mineralisatie dan wel N immobilisatie volgt uit C afbraak en de bijbehorende verandering van C:N verhouding. Voor  $M$  pools zijn er theoretisch  $M \times M$  transformaties mogelijk. Echter, veelal worden zeer veel minder transformaties beschouwd. De C transformatie van pool  $C_i$  wordt beschreven door (eerste orde)

$$\frac{dC_i}{dt} = E_{i,1}K_1C_1 + \dots - K_iC_i + \dots + E_{i,M}K_M C_M \quad (16)$$

waarin

$C_i$	C gehalte van pool $i$	mg [C] kg <sup>-1</sup>
$t$	tijd	d
$K_i$	afbraakconstante van pool $i$	d <sup>-1</sup>
$E_{ij}$	efficiëntie bij afbraak van pool $j$ naar pool $i$	dimensieloos
$M$	totaal aantal pools	dimensieloos

Pool  $C_i$  neemt toe als gevolg van vorming (+) uit andere pools, en neemt af (-) omdat het zelf afbreekt naar een andere pool. Deze vergelijking kan voor alle pools worden opgesteld, wat in het volgende matrix probleem resulteert

$$\frac{d\mathbf{C}}{dt} = \mathbf{EK} \cdot \mathbf{y} \quad (17)$$

waarin

$\mathbf{C}$  de vector is met de  $C$  waarden van de  $M$  pools mg [C] kg<sup>-1</sup>  
 $\mathbf{EK}$  de coëfficiëntenmatrix met daarin  $K$  en  $E$  d<sup>-1</sup>

Dit systeem wordt via een Runge-Kutta integratie opgelost, waarbij rekening wordt gehouden dat  $C$  nooit negatief mag worden (Assinck en Rappoldt, 2004).

Netto N mineralisatie volgt uit de netto C afbraak volgens de C:N verhouding van de betreffende pool

$$\sum_{i=1}^M \frac{dN_i}{dt} = \sum_{i=1}^M \frac{dC_i}{dt} \frac{1}{(C:N)_i} \quad (18)$$

waarin

$dN_i/dt$  netto N mineralisatiesnelheid van pool  $i$  mg [N] kg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>  
 $dC_i/dt$  netto C mineralisatiesnelheid van pool  $i$  mg [C] kg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>  
 $(C:N)_i$  C:N verhouding van pool  $i$  mg [C] mg<sup>-1</sup> [N]

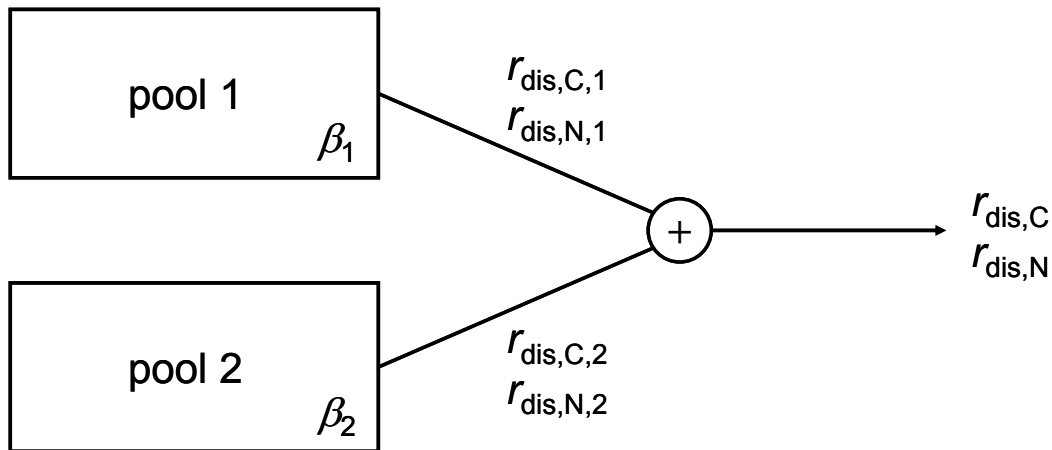
Merk op dat de C:N verhouding van een pool constant blijft.

In tegenstelling tot MINIP, komt in de oplossing in MOTOR de tijd niet expliciet voor. In MOTOR worden alle toevoegingen opgeteld bij één of meerder aanwezige pools, waarna de afbraak van die pool weer verder gaat volgens eerste (of tweede) orde afbraak. Dit betekent minder boekhouding ten opzichte van MINIP.

Biomassa kan in MOTOR als een aparte pool worden beschouwd, waarvoor ook transformaties met andere pools moet worden opgegeven. Vaak wordt dit niet gedaan.

### 2.3 MINIP volgens twee-pools-MOTOR concept

De C afbraak volgens MINIP kan ook via een pools concept in MOTOR benaderd worden, waarbij twee of meer pools betrokken zijn. Hier wordt de C die wordt opgebracht via het organische materiaal opgesplitst in twee pools, welke met een verschillende afbraakconstante afbreken (Figuur 5). Speciaal in dit concept is dat de efficiënties  $E_1$  en  $E_2$  beiden gelijk zijn aan nul. Dus alle C die wordt afgebroken verdwijnt als CO<sub>2</sub> en er wordt geen product gevormd. Er moet wel een dummy product in MOTOR worden opgegeven, maar zal in dit geval niet veranderen en niets bijdragen aan de mineralisatie.



Figuur 5. Afbraak organische stof via twee pools. Met dit concept kan in MOTOR de MINIP afbraak nagebootst worden.

Het twee-pools-MOTOR concept is in feite niets anders dan de volgende exponentiële afbraakvergelijking

$$C(t) = C_1(t) + C_2(t) = C_0 f_1 \exp(-K_1 t) + C_0 (1 - f_1) \exp(-K_2 t) \quad (19)$$

waarin

$C$	gehalte C totaal	mg [C] kg <sup>-1</sup>
$C_1$	gehalte C van pool 1	mg [C] kg <sup>-1</sup>
$C_2$	gehalte C van pool 2	mg [C] kg <sup>-1</sup>
$C_0$	initiële gehalte C totaal	mg [C] kg <sup>-1</sup>
$t$	tijd	d
$K_1$	afbraakconstante van pool 1	d <sup>-1</sup>
$K_2$	afbraakconstante van pool 2	d <sup>-1</sup>
$f_1$	de fractie van $C_0$ die initieel in pool 1 terecht komt	dimensieloos
$(1-f_1)$	de fractie van $C_0$ die initieel in pool 2 terecht komt	dimensieloos

De verandering van het totale C gehalte volgt uit<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \frac{dC(t)}{dt} &= K_1 C_0 f_1 \exp(-K_1 t) + K_2 C_0 (1 - f_1) \exp(-K_2 t) \\ &= K_1 C_1(t) + K_2 C_2(t) \end{aligned} \quad (20)$$

Empirisch is vastgesteld dat de afbraakconstanten  $K_1$  en  $K_2$  een functie zijn van de MINIP parameter  $a$  (initiële leeftijd). Hiervoor is een exponentieel verband verondersteld van de vorm

$$\frac{1}{K} = A + B \exp(Ca) \quad (21)$$

In Tabel 3 zijn de parameters  $A$ ,  $B$  en  $C$  voor de twee pools gegeven. Deze zijn vastgesteld voor een reeks waarden van  $a$ , namelijk, 1, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2, 2.5, 5 jaar.

<sup>2</sup> alle snelheden worden in dit rapport positief gegeven

De fractie  $f_1$  blijkt eveneens goed volgens een exponentieel verband aan  $a$  gerelateerd te zijn

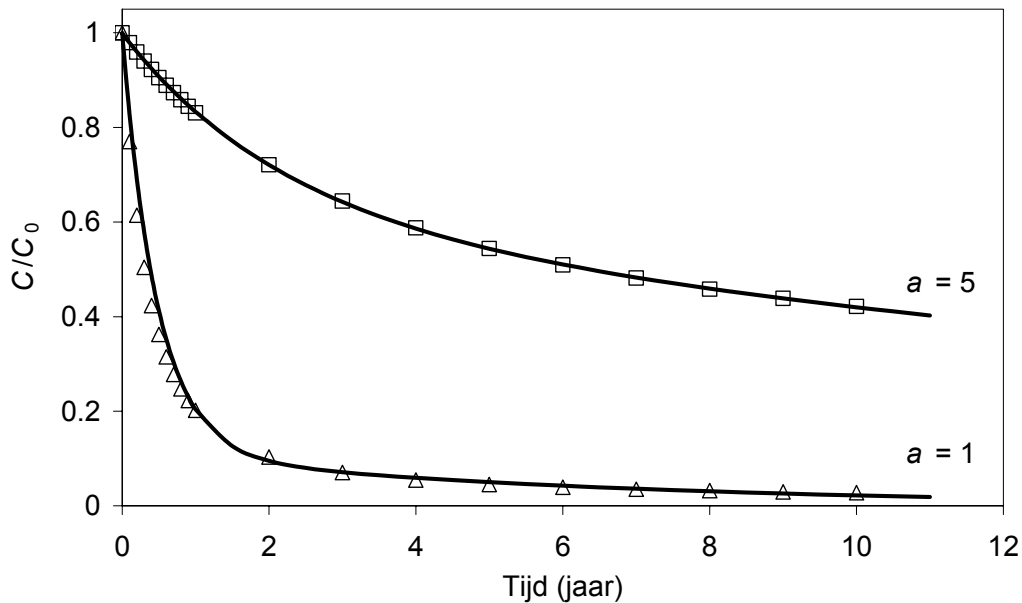
$$\frac{1}{f_1} = A + B \exp(Ca) \quad (22)$$

In Tabel 3 zijn de parameters  $A$ ,  $B$  en  $C$  voor dit verband gegeven.

Tabel 3. Coëfficiënten  $A$ ,  $B$ , en  $C$  van het exponentiële verband tussen MINIP initiële leeftijd parameter  $a$  en de afbraakconstanten  $K$  van een overeenkomstig twee-pools-MOTOR concept zoals gegeven in vergelijking (21). De parameters zijn ook gegeven voor het verband tussen de initiële fractie  $f_1$  van het totale toegediende  $C$  dat in pool 1 terecht komt, zoals gegeven in vergelijking (22).

	$A$	$B$	$C$
$K_1$	9.645	-9.654	-0.05098
$K_2$	-78.55	80.3	0.052137
$f_1$	-4.769	5.573	0.055841

Met het twee-pools-MOTOR concept kan een (vrijwel) identieke afname van  $C$  als functie van de tijd worden verkregen als met MINIP (Figuur 6). Figuur 6 laat de zogenaamde best fit zien voor de parameters  $K_1$ ,  $K_2$  en  $f_1$  bij de gegeven waarden van  $a$ . Deze parameterwaarden wijken iets af van de waarden berekend volgens vergelijkingen (21) en (22) met parameters uit Tabel 3.



Figuur 6. Fractionele afname van de toegediende hoeveelheid  $C$  volgens MINIP (symbolen) en het twee-pools-MOTOR concept voor twee organische materialen met verschillende initiële leeftijd  $a$ . Overige parameters:  $b = 4.7$ ,  $m = -0.6$ .



De N mineralisatiesnelheid volgt uit

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{K_1 C_1(t)}{\beta_1} + \frac{K_2 C_2(t)}{\beta_2} \quad (23)$$

waarin

$\beta_1$	constante C:N verhouding van pool 1	mg [C] mg <sup>-1</sup> [N]
$\beta_2$	constante C:N verhouding van pool 2	mg [C] mg <sup>-1</sup> [N]

Uit vergelijking (23) valt op te maken dat altijd N zal mineraliseren; er zal dus nooit N immobilisatie kunnen worden berekend, dit in tegenstelling tot het MINIP concept.

Het verloop van het totale N gehalte volgt uit

$$N(t) = \frac{C_1(t)}{\beta_1} + \frac{C_2(t)}{\beta_2} = \frac{C_0 f_1 \exp(-K_1 t)}{\beta_1} + \frac{C_0 (1 - f_1) \exp(-K_2 t)}{\beta_2} \quad (24)$$

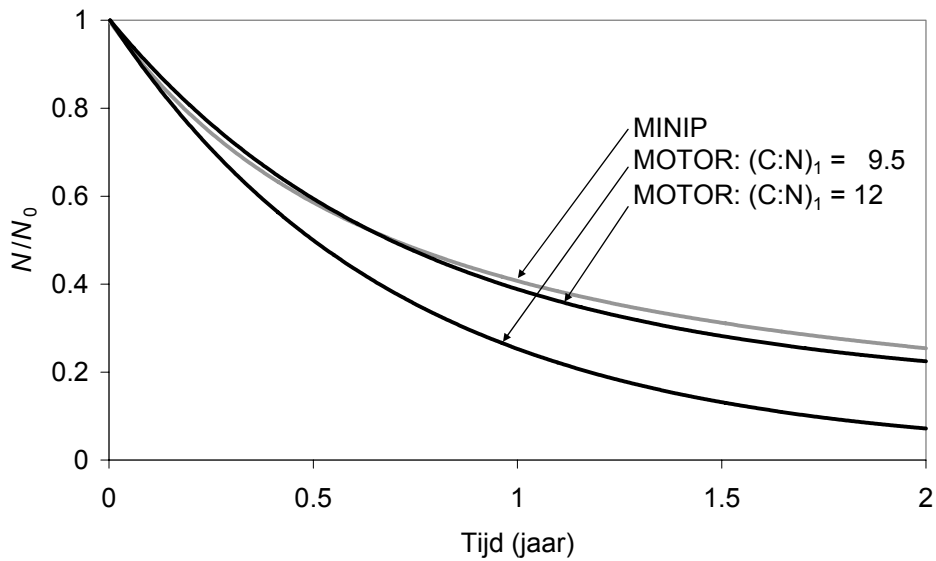
Net zoals bij MINIP geldt dat de totale dissimilatie sinds  $t = 0$  wordt gegeven door vergelijkingen (9) en (10).

Het verloop van de C:N verhouding volgt uit

$$\beta(t) = \frac{C(t)}{N(t)} = \frac{\beta_1 \beta_2 (C_1(t) + C_2(t))}{\beta_2 C_1(t) + \beta_1 C_2(t)} \quad (25)$$

In Tabel 2 zijn enkele limieteigenschappen voor  $t \rightarrow 0$  en  $t \rightarrow \infty$  voor het twee-pools-MOTOR concept gegeven. Hierbij valt het op dat de initiële snelheden eindig zijn, en dat voor  $t \rightarrow \infty$  de hoeveelheden en snelheden naar nul gaan. Het grote verschil met MINIP is dat voor  $t \rightarrow \infty$  de hoeveelheden naar nul gaan terwijl voor MINIP deze eindig blijven.

De N mineralisatie berekend met twee-pools-MOTOR concept wijkt iets af van die volgens MINIP (Figuur 7).



Figuur 7. Fractioneel verloop van totale N gehalte als functie van de tijd volgens MINIP en volgens het twee-pools MOTOR concept (numeriek berekend) bij twee verschillende C:N verhoudingen van de makkelijk afbreekbare pool. De initiële C:N verhouding was 12, en de C:N verhouding van de tweede pool volgt uit vergelijking (27). Overige parameters:  $b = 4.7$ ,  $m = -0.6$ ,  $a = 1.5$ ,  $\alpha = 10$ ,  $\lambda = 0.5$ .

De overeenkomst is niet hetzelfde omdat in het twee-pools-MOTOR concept de ‘inbouw’ van biomassa, zoals in de enkelvoudige MINIP pool plaatsvindt, hier niet wordt beschouwd. Aan het eind van deze sectie wordt een alternatieve berekening van  $N(t)$  gegeven analoog aan die van MINIP. Dit is echter dan niet meer in overeenstemming met met de definities gehanteerd in MOTOR.

De N mineralisatie is alleen dan gelijk aan elkaar wanneer beide modellen hetzelfde C:N verloop als functie van de tijd hebben. De N mineralisatie volgens MOTOR wordt bepaald door de C:N verhoudingen van de twee pools, welke in de tijd constant zijn. De meest bepalende pool is die met de hoogste afbraaksnelheid (hier pool 1). Deze C:N verhoudingen moeten zodanig gekozen worden dat de totale C:N verhouding in MOTOR overeenkomt met de C:N verhouding van het toegediende materiaal,  $\beta_0$ . Over het algemeen wordt veelal gesteld dat de makkelijk afbreekbare pool een lage C:N verhouding heeft, en de moeilijk afbreekbare pool een hoge C:N verhouding heeft. Onder die voorwaarde is de C:N verhouding van de makkelijk afbreekbare pool  $\beta_1$  te kiezen in de range

$$f_1\beta_0 < \beta_1 \leq \beta_0 \quad (26)$$

De C:N verhouding van de moeilijk afbreekbare pool  $\beta_2$  volgt dan uit

$$\beta_2 = \frac{(1 - f_1)\beta_0\beta_1}{\beta_1 - f_1\beta_0} \quad (27)$$

Indien  $\beta_1 = \beta_0$  dan ook  $\beta_2 = \beta_0$ . In dat geval zal de C:N verhouding van het toegediende organische materiaal niet veranderen in de tijd (volgt ook uit vergelijking (25)). Voor  $\beta_1 = f_1\beta_0$  is  $\beta_2$  ongedefinieerd. Uiteraard heeft de keuze van  $\beta_1$  invloed op

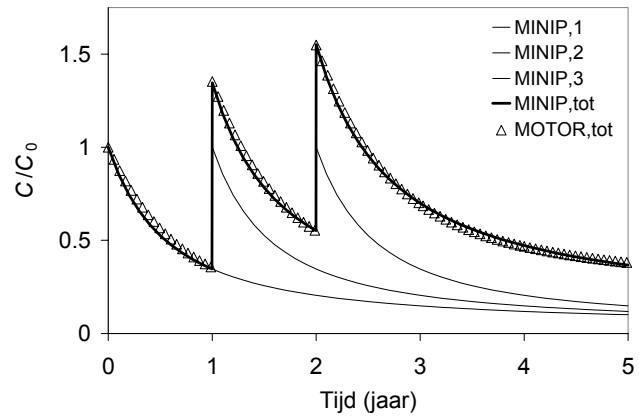
de N die vrijkomt tijdens mineralisatie: hoe kleiner  $\beta_1$  des te meer N zal vrijkomen. Het gevolg is dan dat de totale C:N verhouding van het toegediende organische materiaal zal toenemen in de tijd. Dus indien een afname in de totale C:N verhouding is gewenst, dan zal gekozen moeten worden dat  $\beta_1 > \beta_0$ , waardoor ook  $\beta_1 > \beta_2$ . Echter de verandering van de totale C:N verhouding in het twee-pools-MOTOR concept blijkt niet op dezelfde wijze asymptotisch te verlopen zoals bij MINIP. Dit verklaart ook dat bij gelijke C mineralisatie de N mineralisatie niet gelijk zal zijn.

Uit bovenstaande moet ook geconcludeerd worden dat (voor dit twee-pools-MOTOR concept ter simulatie van MINIP) de C:N verhouding van de twee pools niet *a-priori* op een constante waarde kunnen worden vastgesteld. Of anders gesteld: bij constant veronderstelde C:N verhoudingen van de pools zal met MOTOR voor alle materialen met dezelfde initiële C:N verhouding dezelfde N mineralisatie worden berekend. In MINIP kunnen materialen met dezelfde C:N verhouding verschillende initiële leeftijden hebben (en omgekeerd), zodat de N mineralisatie voor die materialen verschillend (kunnen) zijn.

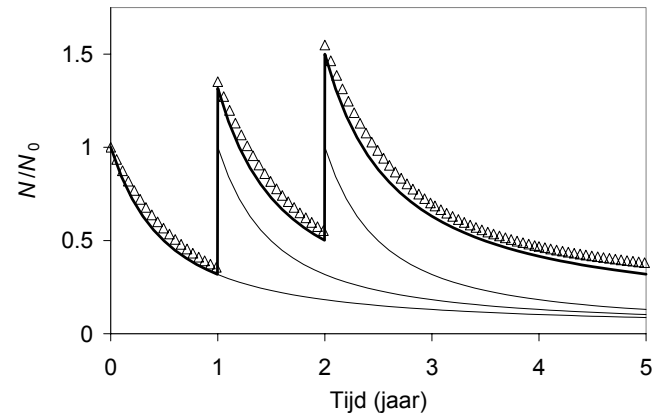
Evenals in MINIP, komt in bovenstaande analytische beschrijving van het twee-pools-MOTOR concept de tijd expliciet voor. Echter, omdat de afbraakcoëfficiënten hier constant zijn, hoeft niet voor elke toediening van hetzelfde materiaal een aparte berekening te worden opgesteld. Een toediening kan eenvoudige plaatsvinden door het ophogen van de pools, waarna gewoon verder gerekend kan worden.

Voor  $\beta_0 > \alpha$  geldt dat het twee-pools-MOTOR concept de N mineralisatie overschat (ten opzichte van MINIP), waarbij de mate van overschatting toeneemt bij toenemend verschil van  $(\beta_0 - \alpha)$ . Omgekeerd, voor  $\beta_0 < \alpha$  geldt dat het twee-pools-MOTOR concept de N mineralisatie onderschat, waarbij de mate van onderschatting toeneemt bij toenemend verschil van  $(\alpha - \beta_0)$ . Voor  $\beta_0 = \alpha$  geldt dat het twee-pools-MOTOR concept de N mineralisatie vrijwel identiek aan MINIP voorspelt, met hetzelfde verschil als geconstateerd in verloop van  $C(t)$ . Dit is, voor een situatie van een drietal toevoegingen van één en hetzelfde materiaal, geïllustreerd in Figuur 8.

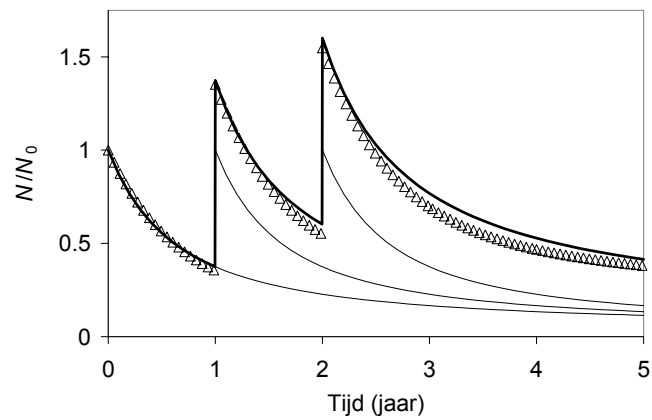
a



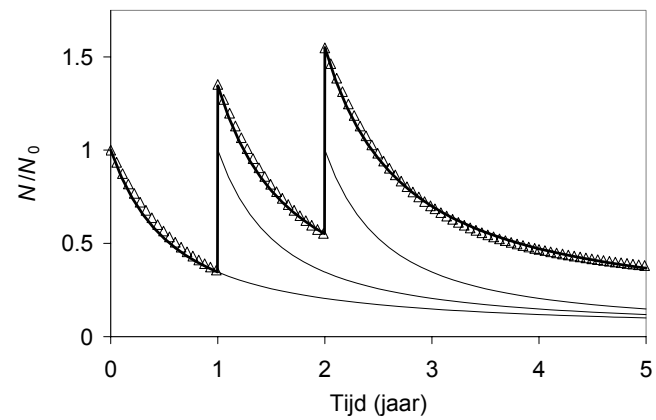
b



c



d



Figuur 8. a) Verloop van  $C(t)/C_0$  als functie van de tijd volgens MINIP (lijnen) en het twee-pools-MOTOR concept (symbolen) voor een drietal toevoegingen van een organisch materiaal. De dunne lijnen stellen het verloop na elke toediening voor, de dikke lijn is de som van de drie dunnen lijnen, te vergelijken met de symbolen. Tevens bijbehorende verloop van  $N(t)/N_0$  als functie van de tijd voor drie verschillende initiële C:N verhoudingen  $\beta_0$  voor  $\alpha = 10$ : b)  $\beta_0 = 8$ , c)  $\beta_0 = 12$ , d)  $\beta_0 = 10$ . Overige parameters:  $b = 4.7$ ,  $m = -0.6$ ,  $a = 1.4$ ,  $\alpha = 10$ ,  $\lambda = 0.5$

Voor de volledigheid wordt hieronder ook het analytische verloop van  $N$  als functie van de tijd gegeven voor het twee-pools-MOTOR concept indien wordt aangenomen dat de verhouding assimilatie:dissimilatie constant is ( $\lambda$ , constant; bijvoorbeeld,  $\lambda = 0.5$ ) en dat de C:N verhouding van de biomassa constant is ( $\alpha$ , constant; bijvoorbeeld,  $\alpha = 10$ ). De dissimilatiesnelheid van  $N$  wordt gegeven door vergelijking (7). Oplossen van (7) met gebruikmaking van (19) en (20) levert:

$$N(t) = N_0 \frac{C(t)}{\alpha C_0} \left( \beta_0 + (\alpha - \beta_0) \left( \frac{C(t)}{C_0} \right)^\lambda \right) \quad (28)$$

En het verloop van de C:N verhouding van de twee pools samen volgt dan uit

$$\beta(t) = \frac{C(t)}{N(t)} = \frac{\alpha \beta_0}{\beta_0 + (\alpha - \beta_0) \left( \frac{C(t)}{C_0} \right)^\lambda} \quad (29)$$

De snelheid waarmee  $\beta(t)$  verandert luidt:

$$\frac{d\beta(t)}{dt} = \beta^2(t) \frac{\lambda(\beta_0 \alpha)}{\alpha \beta_0} \left( \frac{C(t)}{C_0} \right)^{\lambda-1} \frac{d(C(t)/C_0)}{dt} \quad (30)$$

Voor  $N(t)$  en  $\beta(t)$  gegeven door vergelijkingen (28) en (29) en hun respectievelijke veranderingssnelheden geldt:  $N(0) = N_0$ ,  $\beta(0) = \beta_0$ ,  $dN(t)/dt(t \rightarrow 0) = ((\lambda+1)\alpha N_0 - \lambda C_0)(f_1 k_1 + (1-f_1)k_2)/\alpha$ ,  $d\beta(t)/dt(t \rightarrow 0) = \lambda \beta_0 (\alpha - \beta_0)(f_1 k_1 + (1-f_1)k_2)/\alpha$ ,  $N(t \rightarrow \infty) = 0$ ,  $\beta(t \rightarrow \infty) = \alpha$ ,  $dN(t)/dt(t \rightarrow \infty) = 0$ , en  $d\beta(t)/dt(t \rightarrow \infty) = 0$ .

## 2.4 MINIP volgens drie-pools-MOTOR concept

Hierboven, bij de bespreking van het twee-pools-MOTOR concept, werd gemeld dat toevoegingen van steeds hetzelfde materiaal bij de numerieke oplossing in MOTOR eenvoudig kan geschieden door ophoging van de aanwezige pools. Indien andere materialen worden toegediend, gekenmerkt door een andere initiële leeftijd  $a$ , dan verandert daardoor de benodigde waarde voor de afbraakconstanten  $K$  volgens vergelijking (21). In de vorige sectie hebben we zowel de afbraakconstante  $K$  als de verdelingsfractie  $f$  afhankelijk gemaakt van de initiële leeftijd  $a$ . In deze sectie zal worden nagegaan of het mogelijk is om de afbraakconstanten van de pools constant te houden, en alleen de verdelingsfractie te laten afhangen van de soort toe te dienen materiaal. Door een juiste verdeling te kiezen kan daarmee mogelijk alsnog en vergelijkbare mineralisatie verkregen worden als MINIP. Om wat meer flexibiliteit te hebben, kiezen we hier voor drie pools in MOTOR. Het drie-pools-MOTOR concept wordt dan gegeven als

$$\begin{aligned} C(t) &= C_1(t) + C_2(t) + C_3(t) \\ &= f_1 C_0 \exp(-K_1 t) + f_2 C_0 \exp(-K_2 t) + f_3 C_0 \exp(-K_3 t) \end{aligned} \quad (31)$$

waarin

$C$	gehalte C totaal	mg [C] kg <sup>-1</sup>
$C_i$	gehalte C van pool $i$ , $i = 1, 2, 3$	mg [C] kg <sup>-1</sup>
$C_0$	initiële gehalte C totaal	mg [C] kg <sup>-1</sup>
$t$	tijd	d
$K_i$	afbraakconstante van pool $i$ , $i = 1, 2, 3$	d <sup>-1</sup>
$f_i$	de fractie van $C_0$ die initieel in pool $i$ terecht komt, $i = 1, 2, 3$	dimensieloos

De som van de afzonderlijke fracties  $f$  voldoet aan de voorwaarde

$$f_1 + f_2 + f_3 = 1 \quad (32)$$

De overeenkomst tussen het drie-pools-MOTOR concept en MINIP is vastgesteld voor de volgende initiële leeftijden: 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.7, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 en 5 jaar. De afbraak werd voorspeld voor een periode van 20 jaar, met tijdsintervallen van 0.1 jr voor de periode 0 – 1 jr, 0.5 jr voor de periode 1 – 5 jr, 1 jr voor de periode 5 – 10 jr, en 5 jr voor de periode 10 – 20 jr.

Er is een parameteroptimalisatie (minimalisatie totale kleinste kwadraten som) uitgevoerd voor de afbraakconstanten  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  en per initiële leeftijd voor de fracties  $f_2$ , en  $f_3$ . De afbraakconstanten zijn:  $K_1 = 2.760408$ ,  $K_2 = 0.523508$ ,  $K_3 = 0.035665$ . Vervolgens is een verband vastgesteld tussen  $f_2$ , en  $f_3$  en de initiële leeftijd  $a$  volgens een derdegraads polynoom

$$f = A + Ba + Ca^2 + Da^3 \quad (33)$$

waarin

$A, B, C, D$  empirische constanten      respectievelijk, dimensieloos, jr<sup>-1</sup>, jr<sup>-2</sup>, jr<sup>-3</sup>

De fractie  $f_1$  volgt eenvoudig uit vergelijking (32):  $f_1 = 1 - f_2 - f_3$ . In Tabel 4 zijn de waarden voor  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , en  $D$  gegeven.

Tabel 4. Parameters  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , en  $D$  in vergelijking (33) voor bepaling  $f_2$  en  $f_3$  op basis van initiële leeftijd  $a$  uit het MINIP model. Parameters zijn bepaald voor  $a$  tussen 1 en 5 jr en voor afbraakperiode tot 20 jr.

	$A$	$B$	$C$	$D$
$f_2$	-0.70713	1.207316	-0.34797	0.030061
$f_3$	-0.05022	0.043873	0.046881	-0.00583

Het voordeel van de aanpak van een multi-pool-MOTOR concept, hier gedemonstreerd met een drie-pools concept, met vastgelegde afbraakconstanten is dat de pools bij toediening van nieuw vers organisch materiaal kunnen worden opgehoogd, ook indien de materialen onderling verschillen. Het onderlinge verschil, hier beschouwd als een verschil in initiële MINIP leeftijd, vertaalt zich in een verschillende verdeling over de pools.

De N mineralisatie berekend met een multi-pool-MOTOR concept zal afwijken van dat wat MINIP voorspelt, omdat de beschrijving van dit proces wezenlijk verschilt tussen MINIP en MOTOR (zie discussie hierboven in sectie ‘MINIP volgens twee-pools-MOTOR concept’).

In bovenstaande analyse is uitgegaan van een periode van 20 jr. De overeenkomst met MINIP is vrij goed binnen deze 20 jaar. Toepassing van de gevonden parameters in simulaties die langer dan 20 jr beschouwen wordt afgeraden. Indien men alleen geïnteresseerd is in korte termijn mineralisatie, bijvoorbeeld gedurende een teeltseizoen, dan kan het de voorkeur verdienen om de parameteroptimalisatie te herhalen voor een periode van bijvoorbeeld 1 jr (zie Bijlage 2). Verder wordt gemeld dat de parameteroptimalisatie uitgevoerd bij andere waarden voor initiële leeftijden (nu 12 in range 1 – 5 jr) en/of tijdstippen (nu 25 in range 0.1 – 20 jr) leidt tot andere schattingen van de parameters.

Bovenstaande analyse kan ook worden uitgevoerd met vooraf vastgestelde waarden voor  $K$ . Groenendijk & Roelsma (1999) hebben dat gedaan binnen ANIMO met  $K$  waarden 2, 0.2 en 0.02. Op basis van bovenstaande resultaten zou hier ook gekozen kunnen worden voor  $K$  waarden 3, 0.5 en 0.03. Ook voor deze 2 sets van  $K$  waarden kan een goede overeenkomst verkregen worden, maar wel met andere parameterisatie van vergelijking (33) (gegevens niet getoond).

## 2.5 Correctie voor temperatuur en vochtgehalte

In MOTOR wordt de afbraakconstante  $K$  opgegeven bij 10 graden Celsius en ‘optimaal’ vochtgehalte. In MINIP geldt de parameter initiële leeftijd  $a$  bij 9 graden Celsius en ‘optimaal’ vochtgehalte.

Bij afwijkende temperaturen  $T$  en vochtgehaltenes  $\theta$  wordt in MOTOR de afbraakconstante  $K$  gecorrigeerd voor  $T$  en  $\theta$ . De correctiefactor voor  $T$  is (Bradbury *et al.*, 1993)

$$f_T = \frac{47.9}{1 + \exp\left(\frac{106}{T + 18.3}\right)} \quad (34)$$

waarin

$f_T$	correctiefactor voor temperatuur	dimensieloos
$T$	temperatuur	$^{\circ}\text{C}$

De correctiefactor voor  $\theta$ , hier uitgedrukt als verzadigingsgraad (watergevuld poriënvolume)  $S$ , is (Bradbury *et al.*, 1993)

$$f_S = \begin{cases} 0.6 & S < S_{4.2} \\ 1 - (1 - 0.6) \frac{S - S_3}{S_{4.2} - S_3} & S_{4.2} < S < S_3 \\ 1 & S_3 < S \end{cases} \quad (35)$$

waarin

$f_s$	correctiefactor voor verzadigingsgraad	dimensieloos
$S$	verzadigingsgraad of watergevuuld poriënvolume: $S = \theta / \theta_s$	dimensieloos
$\theta$	volumetrisch watergehalte	mL cm <sup>-3</sup>
$\theta_s$	$\theta$ bij verzadiging of porositeit	mL cm <sup>-3</sup>
$S_3$	$S$ bij pF = 3	dimensieloos
$S_{4.2}$	$S$ bij pF = 4.2	dimensieloos

In MINIP is geen sprake van een afbraak-‘constante’, omdat de snelheidscoëfficiënt  $k(t)$  afneemt met de tijd. Janssen (1986<sup>a,b</sup>; 1996) stelt voor om in MINIP de tijd  $t$  te corrigeren voor  $T$  (op vergelijkbare wijze is correctie voor  $\theta$  mogelijk):

$$C = C_0 \exp(b((a + f_T t)^m - a^m)) \quad (36)$$

Op deze wijze wordt ervoor gezorgd dat hoeveelheid mineralisatie bij een referentietemperatuur (waarbij  $f_T = 1$ ) op een zeker tijdstip  $t$  ook wordt verkregen bij een tijdstip  $f_T t$  voor afwijkende temperaturen; hoe hoger de temperatuur, hoe eerder een zekere hoeveelheid mineralisatie wordt bereikt. De volledige temperatuur correctiefactor  $f_T$  luidt (Yang, 1996)

$$f_T = \begin{cases} 0 & T \leq -1 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \frac{T+1}{10} & -1 \text{ } ^\circ\text{C} < T \leq 9 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 2^{\frac{T-9}{9}} & 9 \text{ } ^\circ\text{C} < T \leq 27 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 4 & 27 \text{ } ^\circ\text{C} < T \end{cases} \quad (37)$$

Merk op dat voor gegeven tijd  $t$  niet geldt dat  $C(T=18) : C(T=9) = 2$ . Tevens geldt ook niet dat de snelheidscoëfficiënt bij een 9 graden hogere temperatuur 2 keer zo hoog is; dat geldt alléén op  $t = 0$ , en de verhouding wordt bij toenemende  $t$  steeds kleiner.

De correctiefactor  $f_s$  voor MINIP heeft de vorm (B.H. Janssen, persoonlijke mededeling)

$$f_s = \begin{cases} \frac{S}{S_{wp}} \cdot 0.05 & S \leq S_{wp} \\ 0.05 + \frac{S - S_{wp}}{0.5 - S_{wp}} (1 - 0.05) & S_{wp} < S < 0.5 \\ 1 & 0.5 \leq S \leq 0.7 \\ 1 + \frac{S - 0.7}{1 - 0.7} (0.1 - 1) & 0.7 < S \end{cases} \quad (38)$$

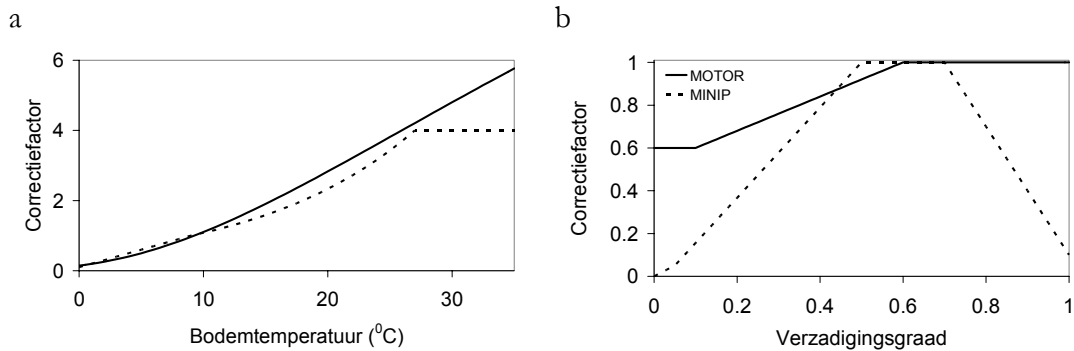
waarin

$S_{wp}$	verzadigingsgraad bij het verwelkingspunt is, meestal $S$ bij pF=4.2 (= $S_{4.2}$ )	dimensieloos
----------	---	--------------

Deze factor is nooit getoetst (B.H. Janssen, persoonlijke mededeling).



De correctiefactoren voor  $T$  en  $\theta$  in MOTOR en MINIP zijn afgebeeld in Figuur 9.



Figuur 9. Vergelijking correctiefactoren voor a) temperatuur en b) verzadigingsgraad zoals gebruikt in MOTOR en MINIP.

Tot  $T = 27$  °C zijn beide temperatuur correctiefactoren vrijwel gelijk. De correctie voor watergehalte (hier uitgedrukt als verzadigingsgraad) verschillen veel in het droge en het natte traject. Echter, zoals hierboven al vermeld, werken de correctiefactoren in MOTOR en MINIP anders door in de berekeningen, zodat overeenkomsten of verschillen in de figuren nog niets zeggen over het uiteindelijke effect.

Bij het MINIP model geeft differentiatie van  $C$  naar  $t$  aan hoe de snelheidscoëfficiënt  $k(t)$  wordt beïnvloed door  $f_T$

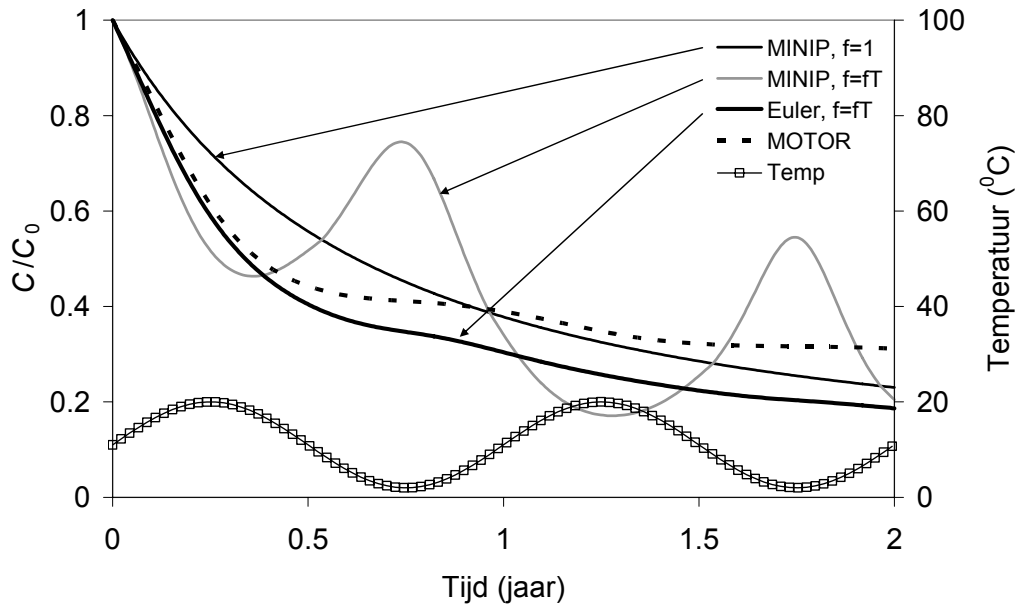
$$k(t) = -bmf_T(a + f_T t)^{m-1} \quad (39)$$

Hieruit blijkt dat, anders dan bij MOTOR waarbij  $K$  lineair en evenredig met  $f_T$  wordt gecorrigeerd (zie later),  $k(t)$  niet lineair met  $f_T$  verandert.

Echter, in MINIP is  $t$  de tijd die is verstreken sinds de toediening van het organische materiaal. De correctie die op dit moment in MINIP wordt toegepast kan alleen indien gedurende de hele periode  $T$  en  $\theta$  constant zijn. Voor variërende  $T$  en  $\theta$  zal een andere aanpak moeten worden gekozen. Indien  $C(t)$  via numerieke integratie wordt berekend (cf. vergelijking (13)), dan wordt steeds vanuit een bekende toestand uitgegaan, en kan de  $T$  en  $\theta$  correctie worden toegepast voor het tijdsinterval  $\Delta t$ . In Figuur 10 is  $C(t)$  gegeven volgens vergelijking (2), (36), en volgens de Euler integratie methode (cf. vergelijking (13)) voor een sinusvormige temperatuurfluctuatie gedurende een jaar (gemiddelde temperatuur 11 °C en amplitude 9 °C). Indien simpelweg de lokale waarde voor  $f_T$  wordt toegepast over het hele traject  $(0, t)$  (vergelijking (36)) dan is duidelijk dat dit tot grote fouten leidt, omdat het  $C$  gehalte in sommige periodes (bij dalende temperatuur) toeneemt in de tijd. Dit wordt in de numerieke aanpak opgeheven.

De voorgestelde Euler integratie werkt in dit geval goed omdat voor alle  $t$  (ook voor  $t = 0$ ) de snelheidscoëfficiënt  $k(t)$  eindig is en gelijkmatig verandert. Indien geen temperatuurcorrectie wordt toegepast, dan levert de Euler integratie methode een identiek verloop op als de analytische MINIP vergelijking (vergelijking (2)). Deze

aanpak werkt niet goed voor een aangepaste MINIP vergelijking zoals opgesteld door Yang (1996), waarbij voor  $t \rightarrow 0$  de snelheidscoëfficiënt oneindig groot is (zie Bijlage 1).



Figuur 10. Verloop van relatief C gehalte als functie van de tijd volgens MINIP met en zonder temperatuurcorrectie, en het verloop berekend via numerieke Euler integratie met temperatuurcorrectie. Ter illustratie is het veronderstelde sinusvormige temperatuurverloop ook weergegeven.

De temperatuurcorrectie zoals uitgevoerd in MOTOR betekent dat  $dC/dt$  gegeven wordt door

$$\frac{dC}{dt} = f_T K_1 C_0 f_1 \exp(-f_T K_1 t) + f_T K_2 C_0 (1 - f_1) \exp(-f_T K_2 t) \quad (40)$$

Het verloop van C als functie van de tijd kan dan volgens Euler integratie worden berekend (cf. vergelijking (13))

$$C^{t+\Delta t} = C^t + \frac{dC}{dt} \Delta t \quad (41)$$

In Figuur 10 is dit verloop eveneens getoond, waaruit blijkt dat MOTOR minder afbraak voorspelt dan MINIP, ondanks de grote overeenkomst in temperatuur correctiefuncties.

## 2.6 Parameterisatie

Via incubatieproeven kan aan de hand van de  $CO_2$  productie op eenvoudige wijze de initiële leeftijd van een organisch materiaal (met bekende initiële C gehalte en C:N verhouding) worden vastgesteld. Vervolgens kan worden nagegaan of het verloop

van de N mineralisatie goed door MINIP wordt beschreven, waarbij eventueel de parameters  $\lambda$  en  $\alpha$  kunnen worden aangepast.

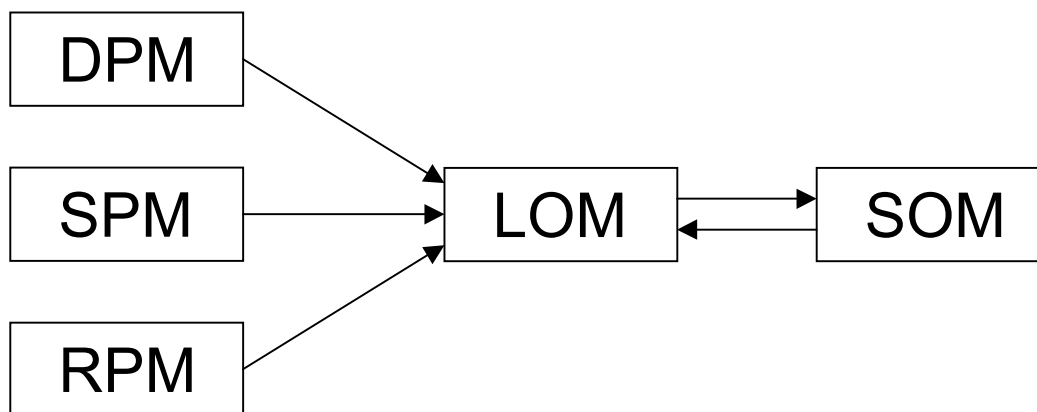
Dezelfde experimentele data kunnen worden gebruikt om een organische stof pool model met MOTOR te calibreren. Hierbij kunnen de afbraakconstanten  $K$ , de efficiënties  $E$  en de C:N verhoudingen van de pools worden geoptimaliseerd. Bij meerdere pools betekent dit een groot aantal vrijheidsgraden, zodat de optimalisatie bemoeilijkt wordt. Mogelijk moet daarbij worden vastgesteld dat een aantal parameters onaangepast blijven.

Marcelis *et al.* (2003) en de Visser *et al.* (2004) hebben zowel MINIP als het vijf-pools-MOTOR concept (zie beschrijving in hoofdstuk 3) geparameteriseerd (zie hoofdstuk 4). Hieruit bleek dat het met beide modellen mogelijk is de waargenomen mineralisatie redelijk te beschrijven en dat er niet één model was aan te wijzen welke duidelijk beter is.



### 3 Een vijf-pools-MOTOR concept (CP-BKF3) versus MINIP

Een veel gebruikt model binnen MOTOR is de volgende (Figuur 11; Verberne, 1995; Jongschaap, 1996); hier verder aangeduid met CP-BKF3. Hierin wordt het organische materiaal toegediend als drie fracties: DPM, gemakkelijk afbreekbare fractie, SPM, minder makkelijk afbreekbare fractie, en RPM, een zeer moeilijk afbreekbare fractie. Deze drie fracties breken af tot de pool labiele organische stof (LOM). De pool LOM breekt af tot stabiele organische stof (SOM), maar wordt ook deels weer gevormd uit SOM. Alle transformaties zijn van de eerste orde. Tabel 5 geeft de vaak gebruikte parameterwaarden voor dit model.



Figuur 11. Voorbeeld van het CP-BKF3 poolmodel dat met MOTOR kan worden gesimuleerd (naar Verberne, 1995).

Tabel 5. Transformaties van het organische stof model uit Figuur 11 met bijbehorende afbraakconstante  $K$ , efficiëntie  $E$  en de C:N verhouding van de bron pool.

Bron	Product	$K$ (d <sup>-1</sup> )	$E$	C:N
DPM	LOM	4.066 10 <sup>-3</sup>	0.4	6
RPM	LOM	3.486 10 <sup>-4</sup>	0.3	150
SPM	LOM	5.795 10 <sup>-6</sup>	1.0	100
LOM	SOM	9.541 10 <sup>-5</sup>	0.25	15
SOM	LOM	4.947 10 <sup>-6</sup>	0.20	11.5

Om dit model te gebruiken moet eerst het organische materiaal over de drie fracties DPM, SPM en RPM worden verdeeld. Verberne (1995) geeft, uitgaande van de C:N verhouding van het organische materiaal, hiervoor de volgende berekeningswijze. De belangrijkste aanname is dat er een S-vormig verband bestaat tussen de C:N verhouding  $\beta$  van het materiaal en de fractie RPM:

$$f_{\text{RPM}} = \frac{0.45\beta^2}{1200 + \beta^2} \quad (42)$$

waarin

$f_{\text{RPM}}$	fractie van het organische materiaal dat in pool RPM komt	dimensieloos
$\beta$	C:N verhouding van het organische materiaal	mg [C] mg <sup>-1</sup> [N]

De fractie van de andere twee pools kunnen vervolgens berekend worden uit  $\beta$  and de C:N verhoudingen van de andere twee pools. De fractie SPM volgt uit

$$f_{\text{SPM}} = \frac{\frac{1}{\beta} - \frac{f_{\text{RPM}}}{\beta_{\text{RPM}}}}{\frac{1}{\beta_{\text{SPM}}} - \frac{1 - f_{\text{RPM}}}{\beta_{\text{DPM}}}} \quad (43)$$

waarin

$f_{\text{SPM}}$	fractie van het organische materiaal dat in pool SPM komt	dimensieloos
$\beta_{\text{DPM}}$	constante C:N verhouding van pool DPM	mg [C] mg <sup>-1</sup> [N]
$\beta_{\text{SPM}}$	constante C:N verhouding van pool SPM	mg [C] mg <sup>-1</sup> [N]
$\beta_{\text{RPM}}$	constante C:N verhouding van pool RPM	mg [C] mg <sup>-1</sup> [N]

De fractie DPM volgt simpelweg uit

$$f_{\text{DPM}} = 1 - f_{\text{RPM}} - f_{\text{SPM}} \quad (44)$$

waarin

$f_{\text{DPM}}$	fractie van het organische materiaal dat in pool DPM komt	dimensieloos
------------------	---	--------------

Figuur 12 geeft de verdeling over de drie fracties weer als functie van de C:N verhouding van het organische materiaal. Merk op dat deze verdeling alleen maar mogelijk is voor C:N verhoudingen die groter zijn dan de kleinste C:N verhouding van de drie pools (6 volgens Tabel 1). Indien een organisch materiaal met een kleinere C:N verhouding moet worden beschouwd, dan zal de C:N verhouding van de DPM pool moeten worden verlaagd.

Het C gehalte van een fractie  $i$  volgt uit

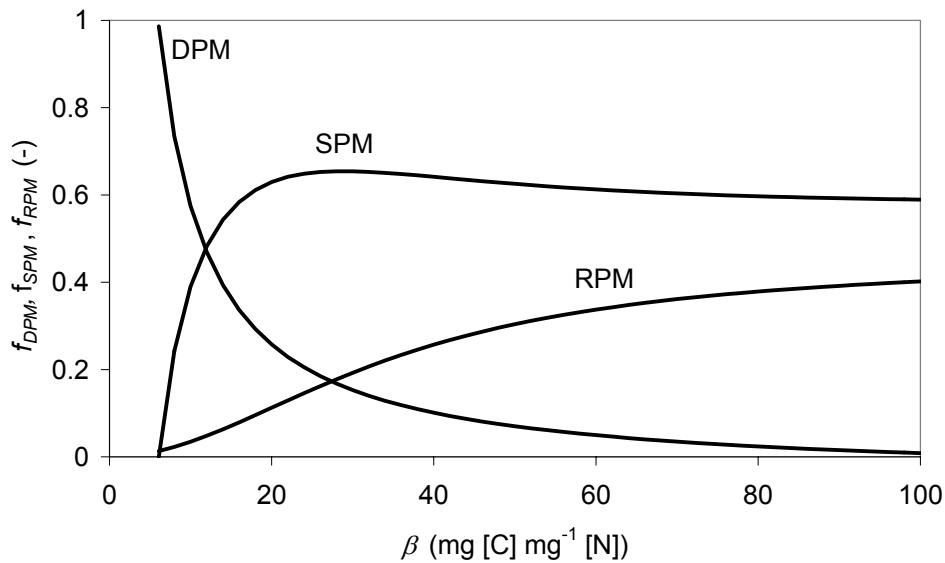
$$C_i = C_{0,i} \exp(-k_i t) \quad (45)$$

De N mineralisatiesnelheid uit een fractie  $i$  volgt uit

$$\frac{dN_i}{dt} = \frac{k_i C_i}{\beta_i} - \frac{\varepsilon_i k_i C_i}{\alpha} \quad (46)$$

waarin  $\alpha$  de C:N verhouding van de biomassa is. De eerste term aan de rechterkant van vergelijking (46) geeft de bruto productie van mineraal N als gevolg van de decompositie. De tweede term aan de rechterkant van vergelijking (46) geeft de assimilatie van N door de microbiële biomassa. Substitutie van vergelijking (45) in vergelijking (46) gevolgd door integratie levert een uitdrukking voor het tijdsverloop van mineralisatie van N

$$N_{m,i} = C_i \left( \frac{1}{\beta_i} - \frac{\varepsilon_i}{\alpha} \right) (1 - \exp(-k_i t)) \quad (47)$$

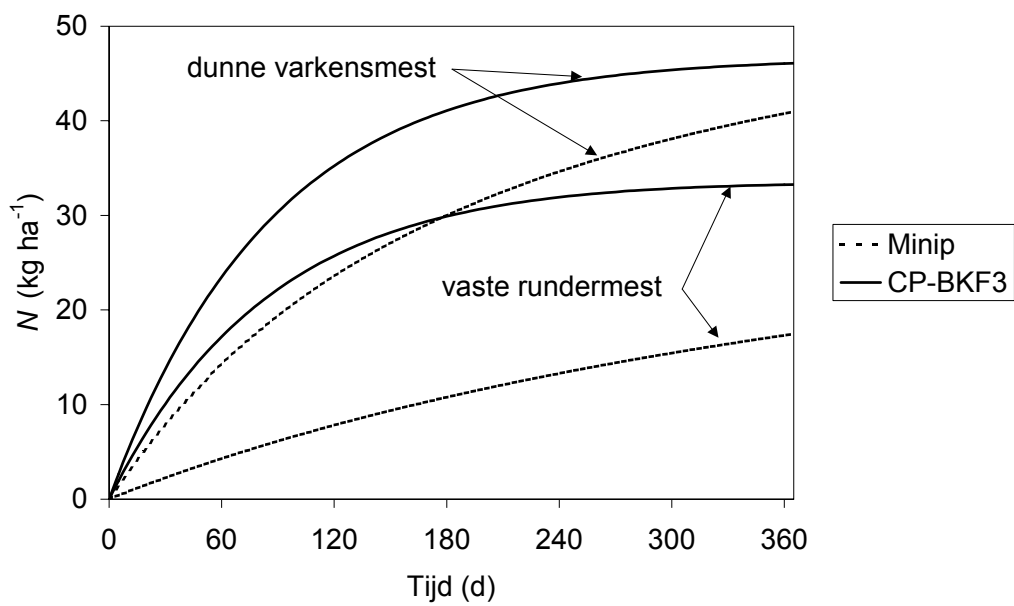


Figuur 12. Verdeling over fracties DPM, SPM en RPM op basis van C:N verhouding  $\beta$  van het organische materiaal volgens het CP-BKF3 concept.

Voor een tweetal organische materialen, te weten vaste rundermest en dunne varkensmest, is de N mineralisatie berekend met CP-BKF3 en vergeleken met MINIP (Figuur 13). Voor de dunne varkensmest is de initiële C:N verhouding  $\beta = 8$ , en de fractionele verdeling over de drie pools:  $f_{DPM} = 0.739$ ,  $f_{SPM} = 0.238$ , en  $f_{RPM} = 0.0228$ . De initiële leeftijd is gesteld op  $a = 1.4$  jr. Om de vergelijking zuiver te houden is de efficiëntie  $E$  voor de afbraak van de drie pools gesteld op  $1/3$ , wat correspondeert met de assimilatie:dissimilatieverhouding in MINIP van  $\lambda = 0.5$ . Uit Figuur 13 blijkt dat het CP-BKF3 model een snellere N mineralisatie berekend en dat het tot een hoger niveau leidt.

Voor de vaste rundermest geldt:  $\beta = 11.5$ ,  $f_{DPM} = 0.495$ ,  $f_{SPM} = 0.460$ ,  $f_{RPM} = 0.045$ , en de initiële leeftijd is gesteld op  $a = 2.45$  jr. Ook hier geldt dat het CP-BKF3 model een snellere N mineralisatie berekend en dat het tot een hoger niveau leidt (Figuur 13).

Hieruit blijkt dat een willekeurig poolmodel de N mineralisatie anders kan berekenen dan MINIP. Deze vergelijking op zich geeft niet aan welk model het beste is. Dat kan alleen beoordeeld worden door vergelijking met meetgegevens.



Figuur 13. Berekende N mineralisatie als functie van de tijd volgens modellen MINIP (getrokken lijn) en CP-BKF3 (onderbroken lijn) voor twee mestsoorten.



## 4 Voorbeeld van parameterisatie

Marcelis *et al.* (2003) en de Visser *et al.* (2004) hebben zowel MINIP als het vijf-pools-MOTOR concept (zie beschrijving in hoofdstuk 3) geparameteriseerd voor diverse organische meststoffen. Uitgangspunt is geweest de parameterset zoals gegeven in Tabel 5. Optimalisatie is handmatig uitgevoerd, d.w.z. parameterwaarden werden handmatig aangepast totdat een op het oog goede fit werd verkregen. Na de eerste pogingen is besloten de C:N verhoudingen van de LOM en SOM pools vast te zetten op, respectievelijk, 20 en 25.1, en de overige C:N verhoudingen te handhaven op de waarden uit Tabel 5. De waarden voor de efficiënties zijn niet aangepast, zodat met name alleen de afbraakconstanten zijn geoptimaliseerd. Voor bloedmeel is een uitzondering gemaakt: omdat de initiële C:N verhouding ongeveer 3.5 is, moest de C:N verhouding van de DPM pool worden verlaagd van 6 naar 3.4. Tevens werd in deze situatie de waarde voor de efficiëntie aangepast. De optimalisatie werd uitgevoerd op C mineralisatie en niet op N mineralisatie.

### *Parameterisatie MOTOR (cf. vijf-pools concept uit hoofdstuk 3)*

Voor grond zonder meststof kon de C en N levering uitstekend berekend worden. Voor overige meststoffen – namelijk bloedmeel, stalmest, maltaflor, luzerne, monterra – kon over het algemeen de totale C levering goed berekend worden, maar was de berekende N levering afwijkend van de meetresultaten. Tabel 6 geeft overzicht van gemeten en berekende (na parameter optimalisatie) C voorraad en N levering voor de genoemde meststoffen. In Tabel 6 zijn de eindwaarden na 84 dagen incubatie gegeven. Overeenstemming wil nog niet altijd zeggen dat ook het verloop in de tijd juist is.

*Tabel 6. Gemeten en berekende (na calibratie) C voorraad en totale N levering in bodem gemengd met diverse organische meststoffen na 84 dagen labincubatie (naar: Marcelis et al., 2003).*

	C voorraad (kg C ha <sup>-1</sup> )			Nmin productie (kg N ha <sup>-1</sup> )		
	Meting	MOTOR	MINIP	Meting	MOTOR	MINIP #
Grond	64187	64166	64326	60	74	15
Grond met:						
Stalmest	70205	69873	70191	140	222	52
Bloedmeel	65183	65006	64985	575	668	522
Luzerne	69706	69737	69302	547	542	525
Mataflor	66335	66181	66133	356	336	418
Monterra	65309	65046	65033	470	414	511
Compost	67590	67401	67549	65	104	64

# Bij Nmin productie voor grond+meststof bij MINIP is t.b.v. vergelijking met MOTOR de gemeten grondmineralisatie van 60 kg N productie gebruikt.

In een vervolgstudie (de Visser *et al.*, 2004) zijn enkele andere organische meststoffen gebruikt: stalmest, luzernestro, monterra, twee soorten champost, en wulpak. De totale C voorraad aan het eind van de incubatie kon in alle gevallen vrij goed berekend worden (Tabel 7), maar het tijdsverloop was niet altijd goed (in het

bijzonder voor de champosten) (zie de Visser *et al.*, 2004). De N levering van de champosten, in het bijzonder champost Horst, was veel slechter te berekenen (Tabel 7).

#### *Parameterisatie MINIP*

De C afbraak werd in alle gevallen goed berekend evenals de N<sub>min</sub> productie voor luzerne, bloedmeel en compost (Tabel 6). Parameteroptimalisatie voor de vervolgstudie is niet uitgevoerd.

*Tabel 7. Gemeten en berekende (na calibratie) C voorraad en totale N levering in bodem gemengd met diverse organische meststoffen na 84 dagen labincubatie (naar: de Visser et al., 2004).*

	C voorraad (kg C ha <sup>-1</sup> )		N <sub>min</sub> productie (kg N ha <sup>-1</sup> )	
	Meting	MOTOR	Meting	MOTOR
Grond	35939	35910	37	43
Grond met:				
Stalmest	39333	39407	64	69
Luzernestro	37287	#	99	100
Monterra	36128	36273	198	195
Champost (Horst)	38596	38918	32	242
champost (Waardenburg)	38695	38794	88	118
Wulpak	36805	36898	153	199

# Het vinden van een goed modelfit voor zowel C als N afbraak was niet mogelijk. Fit gebaseerd op juiste voorspelling N mineralisatie, waarbij C mineralisatie fors werd onderschat.

#### **Conclusie**

Met beide modelconcepten is de C levering goed te berekenen na parameter optimalisatie. De N mineralisatie is niet altijd goed te berekenen. Op basis van deze waarnemingen is niet één model aan te wijzen welke duidelijk beter is.

## 5 Résumé

Indien een afweging gemaakt moet worden tussen beschikbare modellen voor berekening van de stikstof mineralisatie, dan moet daarbij bedacht worden dat allerlei modellen altijd benaderingen zijn van de werkelijkheid. Op voorhand het beste model kiezen is dus niet mogelijk. De uiteindelijke keuze zal daarom meestal zeer subjectief zijn, waarbij de keuze zal worden geleid door de perceptie van de toekomstige gebruiker die hij (zij) heeft over het proces. Daarom zal hier geen advies worden gegeven, maar zullen enkele aspecten van de modellen MINIP en MOTOR worden opgesomd die bij een eventuele beslissing van toepassing kunnen zijn. Deze zijn opgenomen in Tabel 8. Hierbij is uitgegaan van het algemene MOTOR model, en niet van het speciale twee-pools-MOTOR of drie-pools-MOTOR concept.

Tabel 8. Vergelijking van een aantal eigenschappen en kenmerken van de modellen MINIP en MOTOR.

Onderwerp	MINIP	MOTOR
type model	analytische uitdrukking voor verloop C en N in de tijd	numerieke oplossing voor verloop C en N in de tijd
pools	één gemengde pool: organisch materiaal plus microbiële biomassa	aantal pools vrij te kiezen, waarbij overgangen tussen pools worden aangegeven; microbiële biomassa kan als aparte pool opgegeven worden
humus	niet standaard in MINIP beschouwd; als aparte "toevoeging" beschouwen, waarbij het zeer moeilijk zal zijn een goede initiële leeftijd te kiezen	als aparte pool op te geven
parameters	2 vaste parameters, en 2 materiaaleigenschappen, namelijk initiële leeftijd en initiële C:N verhouding	per pool een afbraakconstante en een efficiëntie; per pool constante C:N verhouding
tijd	expliciet in model	expliciet in model
numeriek oplossen	mogelijk	mogelijk
nieuwe toevoeging	aparte berekening opzetten, en totalen berekenen als sommen van alle historische toevoegingen (zowel in analytische als in numerieke oplossing)	aanwezige pools verhogen in numerieke oplossing (niet in analytische oplossing); alleen indien ervan wordt uitgegaan dat de afbraakconstanten steeds hetzelfde zijn
temperatuur- en watergehalte correctie	niet toe te passen op analytische formulering van $C_{tot}(t)$ ; wel toe te passen op numerieke Euler integratie	wordt toegepast op afbraakconstanten in het numerieke rekenschema

Tijd expliciet in een exponentieel model heeft als voordeel dat met grote tijdstappen gerekend kan worden. Het grote verschil tussen MINIP en MOTOR is dat bij een nieuwe toevoeging de pool in MINIP niet opgehoogd kan worden. Dit komt omdat de afbraakcoëfficiënt in MINIP niet constant is. Onder bepaalde omstandigheden

kan dit wel geschieden in het MOTOR model. Voorwaarde is dat de toevoeging opgedeeld kan worden over dezelfde pools met hun constante afbraakconstanten.

## Referenties

- Assinck, F.B.T. & C. Rappoldt, 2004. *MOTOR 2.0: Module for transformation of organic matter and nutrients in soil*. Alterra-rapport 933, Alterra, Wageningen.
- Bradbury, N.J., A.P. Whitmore, P.B.S. Hart & D.S. Jenkinson, 1993. *Modelling the fate of nitrogen in crop and soil in the years following application of <sup>15</sup>N-labelled fertilizer to winter wheat*. Journal of Agricultural Science 121: 363-379.
- de Visser, P.H.B., W. Voogt, F.B.T. Assinck, M. Heinen, J. Postma, J.J. Amsing, G. Straatsma & L.F.M. Marcelis, 2004. *Organisch stofmanagement in biologische kasteelt. Resultaten paprikaproef en modellering stikstofdynamiek*. Rapport 86, Plant Research International, Wageningen, 68 p. + 9 bijlagen.
- Groenendijk, P. & J. Roelsma, 1999. *De aansluiting van het organische stofmodel in ANIMO op het model Janssen en het Ne/Nr concept van Sluijsmans en Kolenbrander*. Interne notitie, Alterra, Wageningen, 5 p.
- Habets, A.S.J. & G.J.M. Oomen, 1993. *Modellering van de stikstofdynamiek binnen gewasrotaties in de biologische landbouw*. Rapport Vakgroep Ecologische Landbouw, Landbouwniversiteit, Wageningen, 43 p. + bijlagen.
- 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., 1986a. *Een één-parametermodel voor de berekening van de decompositie van organisch materiaal*. Vakblad voor Biologen 66(20): 433-436.
- Janssen, B.H., 1986b. *Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials*. Plant and Soil 181: 39-45.
- Jongschaap, R.E.E., 1996. *ROTASK 1.0. A dynamic simulation model for continuous cropping and tillage systems, reference manual*. AB-Rapport 70, AB-DLO, Wageningen.
- Koopmans, C.J. & J. Bokhorst, 2002. *Nitrogen mineralisation in organic farming systems: a test of the NDICEA model*. Agronomie 22: 855-862.
- Marcelis, L.F.M., W. Voogt, P.H.B. de Visser, J. Postma, M. Heinen, R. de Werd & G. Straatsma, 2003. *Organisch stofmanagement in biologische kasteelt. Chrysantenproef 2002*. Rapport 70, Plant Research International, Wageningen, 50 p. + 10 bijlagen.
- Postma, R. & T.A. van Dijk, 2004. *Organische stofopbouw en N-mineralisatie ; op kernbedrijven ; verfijning model MINIP*. Telen met Toekomst rapport, OV0414, Plant Research International, Wageningen, 31 p. + bijlagen.

Verberne, E., G. Dijksterhuis, R. Jongschaap, H. Bazi, A. Sanou & M. Bonzi, 1995. *Simulation des cultures pluviales au Burkina Faso (CP-BKF3): sorgho, mil et mais*. Nota 18, AB-DLO, Wageningen-Haren, Pays Bas, 53 p.

Wolfram, S., 1999. *The Mathematica<sup>®</sup> book, 4<sup>th</sup> edition*. Wolfram Media / Cambridge University Press.

Yang, H.S., 1996. *Modelling organic matter mineralization and exploring options for organic matter management in arable farming in northern China*. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 159 p.

Yang, H.S. & B.H. Janssen, 2000. *A mono-compartment model of carbon mineralization with a dynamic rate constant*. European Journal of Soil Science 51: 517-529

Yang, H.S. & B.H. Janssen, 2002. *Relationship between substrate initial reactivity and residues ageing speed in carbon mineralization*. Plant and Soil 239: 215-224.

## Bijlage 1 Model Yang

Yang & Janssen (2000; 2002; zie ook Yang, 1996) stellen dat de dissimilatie snelheid wordt gegeven door:

$$r_{\text{dis,C}} = k(t)C_{\text{tot}}(t) = Rt^{-S}C_{\text{tot}}(t) \quad (1-1)$$

waarin:

$S$	de snelheid waarmee $k(t)$ afneemt in de tijd, ofwel snelheid van veroudering; $0 \leq S \leq 1$	dimensieloos
$R$	gemiddelde relatieve mineralisatie gedurende de eerste tijdseenheid	$d^{S-1}$

Dit model voorspelt een snellere initiële afbraak dan het MINIP model. Snelle initiële afbraak is experimenteel waargenomen, vandaar dat er behoefte bestond om het MINIP model aan te passen. Een vergelijking tussen MINIP en het model Yang is uitgevoerd door Postma & van Dijk (2004).

$C_{\text{tot}}(t)$  volgt uit integratie van (1-1):

$$C_{\text{tot}}(t) = C_0 \exp(-Rt^{1-S}) \quad (1-2)$$

Indien we verder veronderstellen dat de C en N mineralisatie verlopen zoals bij MINIP (zoals beschreven bij sectie 2.1), dan volgt daaruit dat  $N_{\text{tot}}(t)$  wordt gegeven door:

$$N_{\text{tot}}(t) = \frac{\exp(-(\lambda + 1)Rt^{1-S})(C_0(\exp(\lambda Rt^{1-S}) - 1) + \alpha N_0)}{\alpha} \quad (1-3)$$

en dat  $\beta(t)$  wordt gegeven door:

$$\beta(t) = \frac{\alpha\beta_0}{\beta_0 + \exp(-\lambda Rt^{1-S})(\alpha - \beta_0)} \quad (1-4)$$

De limieten conform Tabel 2 uit de tekst voor het model van Yang zijn in onderstaande Tabel 1-1 vermeld.

Tabel 1-1. Enkele limieteigenschappen voor  $t \rightarrow 0$  en  $t \rightarrow \infty$  voor enkele grootheden van het model van Yang.

Grootheid	Limiet ( $t \rightarrow 0$ )	Limiet ( $t \rightarrow \infty$ )
$C_{\text{tot}}$	$C_0$	0
$N_{\text{tot}}$	$N_0$	0
$r_{\text{dis,C}}$	$\infty$ (complex)	0
$r_{\text{dis,N}}$	$\infty$ (complex)	0
$\beta$	$\beta_0$	$\alpha$
$d\beta/dt$	$\infty$ (complex)	0





## Bijlage 2 Parameteroptimalisatie drie-pools-MOTOR concept voor 1 jaar

De overeenkomst tussen het drie-pools-MOTOR concept en MINIP is vastgesteld voor de volgende initiële leeftijden: 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.7, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 en 5 jaar. De afbraak werd voorspeld voor een periode van 20 jaar, met tijdsintervallen van 0.1 jr voor de periode 0 – 1 jr.

Er is een parameteroptimalisatie (minimalisatie totale kleinste kwadraten som) uitgevoerd voor de afbraakconstanten  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  en per initiële leeftijd voor de fracties  $f_2$ , en  $f_3$ . De afbraakconstanten zijn:  $K_1 = 4.329998$ ,  $K_2 = 1.23645$ ,  $K_3 = 0.161402$ . Vervolgens is een verband vastgesteld tussen  $f_2$ , en  $f_3$  en de initiële leeftijd  $a$  volgens een vierdegraads polynoom

$$f = A + Ba + Ca^2 + Da^3 + Ea^4 \quad (2-1)$$

waarin

$A, B, C,$

$D, E$  empirische constanten respectievelijk, dimensieloos,  $\text{jr}^{-1}$ ,  $\text{jr}^{-2}$ ,  $\text{jr}^{-3}$ ,  $\text{jr}^{-4}$

De fractie  $f_1$  volgt eenvoudig uit:  $f_1 = 1 - f_2 - f_3$ . In Tabel 2-1 zijn de waarden voor  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  en  $E$  gegeven.

Tabel 2-1. Parameters  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  en  $E$  in vergelijking (2-1) voor bepaling  $f_1$  en  $f_2$  op basis van initiële leeftijd  $a$  uit het MINIP model. Parameters zijn bepaald voor  $a$  tussen 1 en 5 jr en voor afbraakperiode tot 1 jr.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
$f_2$	-1.0844	2.657116	-1.42654	0.296739	-0.02178
$f_3$	0.023646	-0.21134	0.363774	-0.09649	0.007949

Extrapolatie op basis van deze parameters voor periodes langer dan 1 jr leidt tot zeer grote afwijkingen in vergelijking tot MINIP.

