

Opschaling van stikstofverliezen in de akkerbouw van perceels- naar bedrijfsniveau

**P. de Willigen
J.J. Schröder
C.A. Rappoldt**

Alterra-rapport 221

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2002

REFERAAT

P. de Willigen, J.J. Schröder en C.A. Rappoldt 2001. *Opschaling van stikstofverliezen inde akkerbouw van perceels naar bedrijfsniveau*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 221. 26 blz. 5 fig.; 7 tab.; 17 ref.

In dit rapport is de vraag onderzocht m.b.v. modelberekeningen in hoeverre nutriënten die achterblijven in gewasresten of bodem hergebruikt kunnen worden door een volgend gewas dan wel een uitgesteld verlies naar het milieu vertegenwoordigen. Uit de resultaten blijkt dat de balans van aan- en afvoer in een driejarige rotatie gunstiger is dan de gemiddelde balans van de afzonderlijke teelten. Dit geldt vooral voor een scenario waarin de kunstmestgift gedeeltelijk vervangen is door een organische bemesting. Afhankelijk van het weer in de herfstperiode bedraagt het verschil 10-30%.

Trefwoorden: balans, gewasresiduen, organische mest, rotatie

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €30,- (€13) over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 221. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2002 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd 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	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Opgestelde scenario's	11
3 Gebruikte modellen en parametrisatie	13
3.1 Basismodellen, geometrie en tijdsschaal.	13
3.2 De organische stof module	13
3.3 Stikstofopname	16
3.4 Wortelontwikkeling	17
3.5 Weersomstandigheden	18
3.6 Initiële verdeling organische stof en minerale stikstof	19
3.7 Hoeveelheid residuen en bemesting	19
4 Resultaten	21
Literatuur	23

Woord vooraf

Dit rapport is het afsluitende verslag van project 10205 “*Opschaling van perceel naar bedrijf*” dat valt onder het DLO onderzoeksprogramma 328

Samenvatting

Modelberekeningen aan de efficiency waarmee aangevoerde nutriënten gebruikt worden hebben bijna altijd betrekking op één teelt. Op bedrijfsschaal kan het gebruikte deel van de nutriënten groter zijn dan op de schaal van een teelt. Het gaat hierbij om de vraag in hoeverre nutriënten die achterblijven in gewasresten of bodem hergebruikt kunnen worden dan wel een uitgesteld verlies naar het milieu vertegenwoordigen. M.b.v. modelberekeningen zijn voor verschillende scenario's (i.e. combinaties van een rotatie en bemestingswijze) de verliezen per teelt afzonderlijk en over een gehele rotatie uitgerekend.

De scenario's zijn gedefinieerd voor bedrijven op zandgrond met een driejarige rotatie van aardappelen, suikerbieten en tarwe. Vervolgens zijn hierbinnen een scenario op basis van kunstmest onderscheiden en een scenario waarin de aardappel met varkensdrijfmest en beide andere gewassen opnieuw met kunstmest zijn bemest. Er zijn berekeningen gedaan voor een jaar met het warmste en met het koudste winterhalfjaar, zoals afgeleid uit weersgegevens in de period 1954-199 voor weerstation Wageningen.

Het balansoverschot (aanvoer-afvoer) bleek voor een rotatie steeds minder dan voor de enkele teelten. Verschillen bedroegen 10-39%, waarbij het scenario met organische mest en de warme herfstperiode het grootste verschil opleverde.

1 Inleiding

De mineralen balans op bedrijfsschaal is de balans tussen aan- en afvoer van nutriënten aan de poort van het bedrijf. Het verschil tussen aan- en afvoer wordt veroorzaakt door verliezen naar het milieu (uitspoeling of emissie) en door opslag van nutriënten in gewasresten of in de bodem.

Behalve de mineralenbalans op bedrijfsschaal is er ook een balans voor iedere teelt afzonderlijk. Ook daar is aanvoer en afvoer, er is verlies naar het milieu, er zijn gewasresten en tenslotte blijft een deel van de aangevoerde nutriënten achter in de bodem. Als we deze termen sommeren over alle teelten krijgen we echter niet de bedrijfsbalans. De reden daarvan is heel eenvoudig: een deel van de bij iedere teelt achterblijvende nutriënten wordt gebruikt bij een volgende teelt.

Modelberekeningen aan de efficiency waarmee aangevoerde nutriënten gebruikt worden hebben bijna altijd betrekking op één teelt. Op bedrijfsschaal kan het gebruikte deel van de nutriënten groter zijn dan op de schaal van een teelt. Daar ligt dus een opschalingsprobleem enerzijds en er liggen mogelijkheden voor bedrijfs-optimalisatie anderzijds. Het gaat hierbij steeds weer om de vraag in hoeverre nutriënten die achterblijven in gewasresten of bodem hergebruikt kunnen worden dan wel een uitgesteld verlies naar het milieu vertegenwoordigen. In het eerste geval worden ze alsnog afgevoerd door de poort en in het tweede geval staan ze bij de ongewenste milieuverliezen op de bedrijfsbalans.

M.b.v. modelberekeningen kunnen voor verschillende scenario's (i.e. combinaties van een rotatie en bemestingswijze) de verliezen per teelt afzonderlijk en over een gehele rotatie worden uitgerekend. In dit rapport wordt volstaan met een vergelijking (binnen scenario's) van een bedrijfsbalans op basis van een gewogen gemiddelde van de afzonderlijke teelten (balanstype I, i.e. zonder verrekening van de effecten van voorafgaande gewassen en de daarin gebruikte bemestingswijze) en een bedrijfsbalans op basis van een dynamisch simulatie gedurende enkele rotaties (balanstype II, i.e. met verrekening van de effecten van voorafgaande gewassen en de daarin gebruikte bemestingswijze) In het navolgende zullen eerst de scenario's besproken worden.

2 Opgestelde scenario's

Input-output balansen zijn een functie van de gewaskeuze (via gewasspecifieke karakteristieken ten aanzien van de nutriëntenrecovery en de nutriënten-harvest index) en het bemestingsregiem (aard, hoeveelheid, tijdstip en wijze van bemesting). Het lot van het verschil tussen input en output (waaronder de overdracht naar volgende seizoenen) wordt bepaald door de aard van dit verschil (anorganisch wateroplosbaar, anorganisch gebonden, gemakkelijk afbreekbaar organisch, lastig afbreekbaar organisch) en door bodem- en weersomstandigheden. Om een reële indruk van de grootte-orde tussen balans I en balans II te krijgen, is aansluiting gezocht bij situaties die zich in de Nederlandse akkerbouw kunnen voordoen. Daartoe zijn scenario's gedefinieerd voor bedrijven op zandgrond met een driejarige rotatie van aardappelen, suikerbieten en tarwe. Vervolgens zijn hierbinnen een scenario op basis van kunstmest onderscheiden en een scenario waarin de aardappel met varkensdrijfmest en beide andere gewassen opnieuw met kunstmest zijn bemest. Varkensdrijfmest is een gebruikelijke en gewaardeerde mestsoort in de akkerbouw. Dergelijke mest draagt bij aan het op peil houden van het organische stofgehalte in de bodem. In het kunstmestscenario kan dit alleen door óf tarwestro in te werken (als alternatief voor verkoop i.e. afvoer) óf door na tarwe een groenbemester te verbouwen. Bij de gekozen uitgangspunten verdiende laatstgenoemde optie de voorkeur en

Uitgangspunten voor het opbrengstnivo's zijn ontleend aan Anonymus (1997), voor gewasgehalten aan Stouthart & Leferink (1992) en Beukeboom (1996), voor de samenstelling van organische mest aan Beijer & Westhoek (1996). Drogestofopbrengst en N-inhoud van gewasresten en groenbemesters zijn ontleend aan Anonymus (1989), Smit & Van der Werf (1992), Smit (1994), Velthof et al. (1998) en Schröder (1997).

Tabel 1 geeft enkele karakteristieken van de twee hierboven beschreven scenario's.

Tabel 1. Input, outputs en overdracht (kg per ha per jaar) bij de gebruikte scenario's (varianten zand/mineraal (Z1), zand/organisch (Z2),)

Variant	jaar	maand	gewas	INPUT			OUTPUT		RECIRCULATIE		
				org stof	C	N	opbr	N	org stof	C	N
Z1	1	maart	aarda	0	0	0					
		sept	aarda				45000	149	4000	1600	75
	2	maart	sbiet	0	0	0					
		okt	sbiet				52000	78	5000	2000	160
	3	april	tarwe	0	0	0					
		aug	tarwekorrel				6350	127	1600	640	10
		aug	tarwestro				5000	24			
		aug	groenbem	0	0	0					
	feb	groenbem				0	0	2400	960	75	
	Z2	1	maart	aarda	3270	1309	375				
sept			aarda				45000	149	4000	1600	75
2		maart	sbiet	0	0	0					
		okt	sbiet				52000	78	5000	2000	160
3		april	tarwe	0	0	0					
		aug	tarwekorrel				6350	127	1600	640	10
aug	tarwestro				5000	24					

3 Gebruikte modellen en parametrisatie

3.1 Basismodellen, geometrie en tijdsschaal

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het model FUSSIM2 (Heinen en de Willigen, 1998) in één-dimensionale vorm gekoppeld aan het model MOTOR (Rappoldt *et al.*,...). FUSSIM2 berekent water en stoftransport inclusief opname door planten, MOTOR berekent de omzetting van organische stof in de bodem.

De vereiste stikstofopname is opgelegd aan FUSSIM door van te voren berekeningen hieromtrent te maken met het model WOFOST (Boogaart *et al.*, 1998). Het bodemdomein waarvoor de berekeningen gelden is een kolom die zich uitstrekt van maaiveld tot een diepte van 1m, dit is tevens het constante peil van het grondwater. De grondkolom is verdeeld in 5 cm dikke lagen. Mineralisatie en (de)nitrificatie spelen zich in de bovenste 25 cm af.

De simulaties zijn gedaan voor een periode van 1- 9 jaar, de tijdsvariabele integratietijdstap wordt vnl. bepaald door de routine in FUSSIM2 die het watertransport berekent. De tijdstap ligt in de orde van 10^{-2} dag, maar kan aanmerkelijk minder worden in perioden van bijv. hoge regenintensiteit.

Voor details van opzet, veronderstellingen en oplosmethode van beide modellen wordt verwezen naar de eerder genoemde publikaties. Hier zullen alleen enige onderdelen van de modellen worden besproken.

3.2 De organische stof module

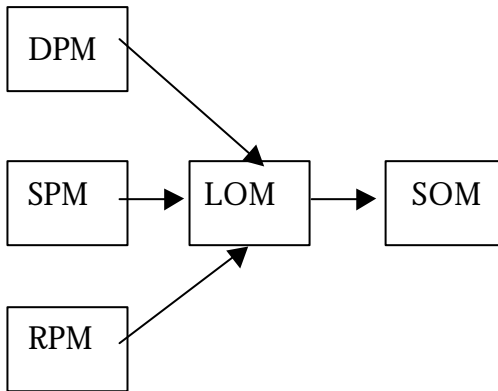
De basis van Motor bestaat uit een module die de transformatie van organische stof beschrijft. De gebruiker kan uit een aantal mogelijkheden kiezen wat betreft fractionering van organische stof, de orde van de afbraakprocessen (eerste of tweede orde) en natuurlijk de waarden van de parameters. De hier gebruikte module is ontleend aan Verberne *et al.* (1995) en is schematisch weergegeven in figuur 1.

De aan de bodem toegevoegde organische stof (gewasresten, organische mest) wordt verdeeld in drie fracties: makkelijk aantastbaar (DPM), structureel (SPM) en resistent materiaal (RPM). De organische stof in de bodem ("humus") wordt verdeeld in een labiele (LOM) en een stabiele fractie (SOM). Alle fracties worden volgens een eerste-orde proces afgebroken. Uit DPM, SPM en RPM wordt met een zekere efficiëntie LOM gevormd, terwijl uit LOM SOM wordt gevormd en vice-versa. De betreffende vergelijkingen voor de afbraak van toegevoegde organische stof luiden dus als volgt:

$$\frac{dx_i}{dt} = -k_i x_i \quad (1)$$

waarbij x_i staat voor een van de fracties DPM, SPM en RPM. Voor de humus geldt:

$$\frac{dx_l}{dt} = -k_l x_l + e_s k_s x_s + \sum_{i=1}^3 e_i k_i x_i \quad (2)$$



Figuur 1. Schema van modelconcept voor organische stof verdeling

$$\frac{dx_s}{dt} = -k_s x_s + e_l k_l x_l \quad (3)$$

waarin x_l en x_s staan voor de fractie LOM resp. SOM. Als de aanvoer van organische stof constant is en continue verloopt in de tijd dan geldt bij evenwicht:

$$x_l = \frac{\sum_{i=1}^3 e_i k_i x_i}{k_l (e_l e_s - 1)} \quad (4)$$

en

$$x_s = \frac{e_l \sum_{i=1}^3 e_i k_i x_i}{k_s (e_l e_s - 1)} \quad (5)$$

Uit de afbraak en opbouw van de organische stofcomponenten is vrijkomen of vastleggen van minerale stikstof te berekenen m.b.v. het C/N-quotiënt van de fracties. Tabel 2 toont de waarden van de gebruikte parameters.

De verdeling van de toegevoegde organische stof over DPM, SPM en RPM volgt uit het C/N quotiënt van het materiaal. Hier is de aanpak gevolgd van Verberne (1992), die aanneemt dat het volgende verband bestaat tussen het C/N quotiënt van het materiaal (b) en de fractie RPM:

$$f_{RPM} = \frac{f_{RPM,max} b^2}{R^2 + b^2} \quad (6)$$

waarin $f_{RPM,max}$ de maximale fractie (0.45) voorstelt en R ($R^2 = 1200$) een parameter is. Omdat de som van de fracties 1 is, en de verdeling zo moet zijn dat deze resulteert in een C/N/ quotiënt β kunnen de fracties f_{SPM} en f_{DPM} berekend worden als:

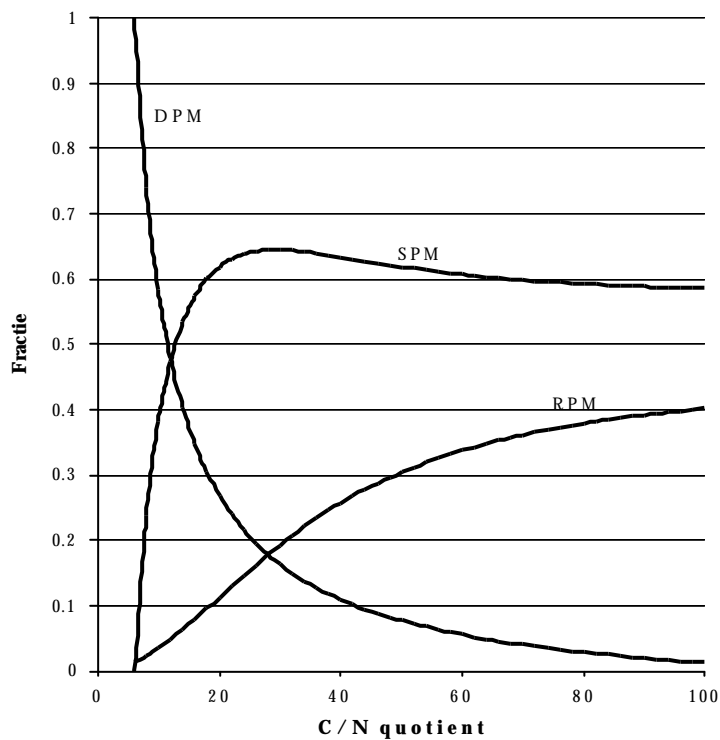
$$f_{SPM} = \frac{\frac{1}{b} \frac{f_{RPM}}{a_{RPM}} - \frac{1-f_{RPM}}{a_{DPM}}}{\frac{1}{a_{SPM}} - \frac{1}{a_{DPM}}} \quad (7)$$

$$f_{DPM} = 1 - f_{RPM} - f_{SPM} \quad (8)$$

Figuur 2 geeft de fractie verdeling als functie van het C/N-quotiënt van het organisch materiaal, waarbij voor $f_{RPM,max}$ en R^2 de waarden 0.45 resp 1200 zijn aangenomen in navolging van Verberne(1992).

Tabel 2. Parameters van de organische stof module.

Bron	k d ⁻¹	ε	C/N	Product
DPM	1.15E-3	0.4	6	LOM
SPM	4.93E-4	0.3	150	LOM
RPM	1.64E-5	1.0	100	LOM
LOM	2.70E-4	0.25	15	SOM
SOM	1.40E-5	0.2	11.5	LOM



Figuur 2. De fractieverdeling van organische stof als functie van het C/N quotiënt.

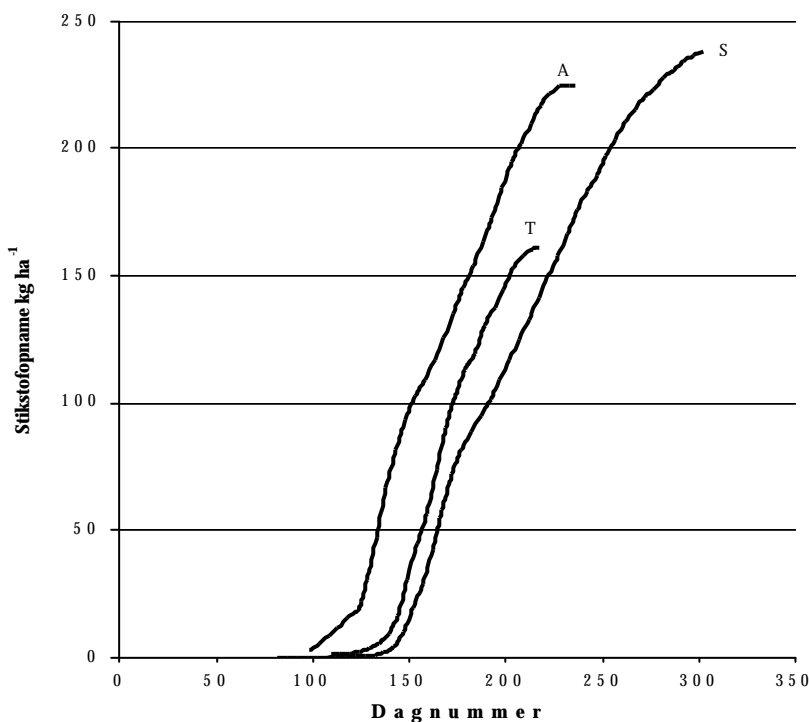
3.3 Stikstofopname

Er is voor gekozen om de vereiste stikstofopname op te leggen. Hiertoe zijn eerst met WOFOST berekeningen gemaakt om (het verloop van) de potentiële drogestofproductie in een bepaald jaar te berekenen. Vervolgens is m.b.v. een vergelijking van Greenwood & Draycott (1995), die het optimale N-gehalte geeft als functie van de totale hoeveelheid geproduceerde droge stof de bijbehorende stikstofinhoud van het gewas berekend. De gebruikte vergelijking luidt:

$$N_{opt} = A + Be^{-CW} \quad (9)$$

met N_{opt} het optimale N-gehalte, W de drogestof-opbrengst, en A, B en C parameters.

Omdat de aldus berekende totale stikstofopname erg hoog blijkt is besloten de maximale opname gelijk te stellen aan die gegeven in tabel 1 (bijv. voor variant Z1 is de maximale totaal opname $149+75 = 224 \text{ kg ha}^{-1}$), maar het patroon van het opnameverloop te handhaven. Figuur 3 geeft een voorbeeld van het aldus berekende opnameverloop in de tijd voor de gewassen tarwe, suikerbiet en aardappel. In FUSSIM2 wordt berekend hoeveel het gewas kan opnemen, door rekening te houden met het aanbod uit de grond, de (verdeling van) de worteldichtheid en de eisen van het gewas. Details vindt men in de Willigen & van Noordwijk (1987).



Figuur 3 Het opgelegde verloop van de potentiële stikstofopname ($A =$ aardappel, $T =$ tarwe, $S =$ suikerbiet)

3.4 Wortelontwikkeling

Wortelgroei blijkt bevredigend beschreven te kunnen worden als een diffusieproces (De Willigen *et al.*, in prep.), hierbij wordt aangenomen dat er een zekere inputsnelheid is van wortels door het bodemoppervlak en dat het wortelstelsel zich als een diffusieproces door de bodem verspreidt.

In het één-dimensionale geval kan worden afgeleid dat de wortelverdeling met de tijd en de diepte wordt gegeven door:

$$L_{rv} = \frac{Q}{2\sqrt{D\Lambda}} \left[e^{-z\sqrt{\frac{\Lambda}{D}}} \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left(\frac{-Z}{2\sqrt{DT}} + \sqrt{\Lambda T} \right) \right\} - e^{z\sqrt{\frac{\Lambda}{D}}} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{Z}{2\sqrt{DT}} + \sqrt{\Lambda T} \right) \right\} \right] \quad (10)$$

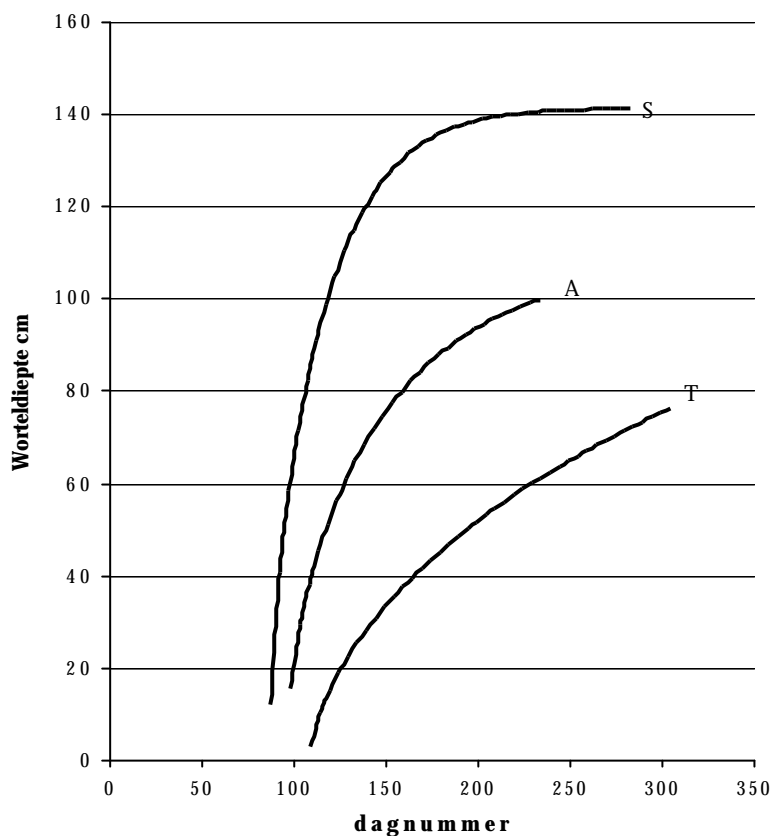
waarin Q de inputsnelheid van wortels ($\text{cm cm}^{-2} \text{d}^{-1}$), Λ is de decay rate constant in d^{-1} , D de diffusie coefficient ($\text{cm}^2 \text{d}^{-1}$) is in de Z richting en T de tijd. De steady-state oplossing is:

$$L_{rv} = \frac{Q}{\sqrt{D\Lambda}} e^{-z\sqrt{\frac{\Lambda}{D}}} \quad (11)$$

Dus een volgroeid wortelstelsel zal in dichtheid exponentieel afnemen met de diepte, zoals ook dikwijls is gevonden (bijv. Gerwitz & Page, 1974). Van Noordwijk *et al* (1994). hebben m.b.v. minirhizotronmetingen de relatieve afsterfsnelheid van akkerbouwgewassen geschat, zij vonden $L = 0.02$, 0.036 en 0.0044 d^{-1} voor resp. aardappels, suikerbiet en tarwe. Door literatuurgegevens omtrent de verdeling van worteldichtheid met de diepte (De Willigen & Van Noordwijk, 1987, table A6, blz. 88-92) te vereffenen op een exponentiele functie zoals gegeven door (11) kunnen de parameters Q en D geschat worden. Resultaten vindt men in tabel 3. Met de verkregen parameters kan nu de ontwikkeling van de worteldiepte in de tijd berekend worden. Dat gaat als volgt: de diepte die een wortelstelsel bereikt is gedefinieerd als die diepte waarop de worteldichtheid de waarde 0.1 cm cm^{-3} bereikt. Dit is ongeveer de laagste waarde van de worteldichtheid die men kan waarnemen. Met **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** kan men berekenen op welke diepte de minimumwaarde wordt bereikt als functie van de tijd. Figuur 3 geeft de ontwikkeling van de worteldiepte als functie van de tijd. Uit het wortelgewicht, de specifieke wortellengte (tabel 3) en de worteldiepte, kan men op ieder tijdstip de worteldichtheidverdeling berekenen onder de aanname dat deze exponentieel met de diepte afneemt.

Tabel 3 Parameters voor berekening wortelgroei

	$Q \text{ cm cm}^{-2} \text{d}^{-1}$	$D \text{ cm}^2 \text{d}^{-1}$	$L \text{ d}^{-1}$	Specifiek wortellengte m g^{-1}
aardappel	1.54	17.7	0.020	234
Suikerbiet	3.82	71.7	0.0369	235
Tarwe	1.13	3.69	0.00440	200



Figuur 4. Wortelontwikkeling in de tijd voor drie gewassen (A = aardappel, T = tarwe, S = suikerbiet)

3.5 Weersomstandigheden

De snelheid van omzetting van organische stof wordt behalve door de aard van het materiaal bepaald door de fysische (temperatuur, vochtgehalte) en chemische (pH, CEC) omstandigheden in de bodem. De laatste kan men, afhankelijk van de beschouwde periode, als constant in de tijd veronderstellen. De eerste hangen nauw samen met de meteorologische omstandigheden - luchttemperatuur, neerslag, verdamping - en de bodemeigenschappen - hydraulische en thermische geleidbaarheid en capaciteit van de grond. Omdat toevoeging van gewasresiduen voornamelijk na het groeizeizoen plaatsvindt en in de herfst en winter de grond veelal voldoende vochtig is, zal de temperatuur de bepalende factor zijn. Uit de dagelijkse weergegevens van 1954-1999 voor de locatie Wageningen zijn de gemiddelden over de herfstperiode (de laatste drie maanden van het jaar) en de winterperiode (de eerste drie maanden) berekend. In tabel 4 vindt men deze temperatuur voor de warmste (1989-1990) en koudste (1963-1964) opeenvolgende perioden. Als de berekeningen zich uitstrekken over meerdere jaren - zoals in het geval van de rotatie - dan worden de perioden steeds herhaald.

Tabel 4. Gemiddeld laagste en hoogste luchttemperatuur (°C) in de herfst- en winter periode in Wagenigen periode 1954-1999.

Seizoen	Herfstperiode	Winterperiode
1962-1963	4.7	-1.5
1989-1990	7.3	6.8
Gemiddeld 1954-1999	6.6	3.2

3.6 Initiële verdeling organische stof en minerale stikstof

Het organisch stofgehalte is verondersteld in evenwicht te zijn met de aanvoer zoals gegeven in Tabel 1. Dit betekent een gehalte van 3%, waarbij uit (4) en (5) volgt dat dit voor 5/6 uit SOM en 1/6 uit LOM bestaat. Deze organische stof bevindt zich in de bovenste 25 cm. De initiële opgelegde verdeling van minerale N met de diepte voor beide grondsoorten vindt men in tabel 5.

3.7 Hoeveelheid residuen en bemesting

De hoeveelheid residuen en hun koolstof- en stikstofinhoud staan vermeld in tabel 1. M.b.v (6) is berekend hoe de samenstelling van de residuen is in termen van DPM, RPM en SPM.

De dosering van de dierlijke mest is voor beide grondsoorten zo gekozen dat de aanvoer de som van afvoer (op bouwplannivo) en toegestane verliesnorm van 20 kg P₂O₅ per ha per jaar, niet overtreft, een hoeveelheid van 229 kg P₂O₅ per ha voor de gehele rotatie. De dierlijke mest is volledig aan aardappelen gegeven omdat dit gewas het gunstigst reageert op organische mest en de daarmee aangevoerde P en K. De genoemde hoeveelheid fosfaat komt overeen met een gift van 54.5 ton per ha, bevattende 229 kg anorganisch N en 164 kg organische N.

De hoeveelheid kunstmeststikstof die gegeven moet worden wordt berekend op basis van de "Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen" (Van Dijk, 1999). Voor aardappels is de richtlijn in kg ha⁻¹: 285 – 1.1*N_{min} (0-60) op kleigrond en 300 – 1.8*N_{min} (0-30) op zandgrond. Voor suikerbiet is die 200 – 1.7*N_{min} (0-60) op zand- en kleigrond. Voor zomertarwe worden twee giften geadviseerd 120 – N_{min} (0-60) met een maximum van 80 voor aanvang teelt en 170 – N_{min} met een maximum van 50 voor het decimale stadium DC 31-32

Tabel 5. Initiele verdeling minerale stikstof in kg ha⁻¹.

Diepte	Zand
0-30	25
30-60	20
60-100	15

4 Resultaten

Resultaten hebben betrekking op de stikstofbalans over bedrijf en/of perceel. Het betreft simpelweg het verschil tussen aan- en afvoer op perceel en bedrijf. De berekeningen betreffen in het geval van de rotatie een periode van ruim 9 jaar en voor de enkele gewassen van ruim een jaar. De simulaties eindigen op 1 Maart van het jaar na rotatie of enkele teelt. Tabel 6a en b tonen de resultaten voor scenario Z1. De balans (aanvoer – afvoer) voor de rotatie is zo'n 10 –20 kg ha⁻¹ lager dan die voor de separate teelten. Dit heeft vooral te maken met de – volgens de richtlijn- lagere bemesting van suikerbiet en tarwe. Het weer heeft een invloed gehad in het geval van de rotatie. Over de gehele periode is met de warme herfst en winter 980 kg ha⁻¹ gemineraliseerd en in de koudere periode 928 kg ha⁻¹. Vooral de grotere mineralisatie na aardappel in de warme periode leidt tot hogere hoeveelheden minerale stikstof in het profiel in het voorjaar. Dit heeft vooral gevolgen voor de bemesting van suikerbiet volgens de richtlijn, wat op zijn beurt weer leidt tot de gunstiger balans (101 vs. 113 kg ha⁻¹) voor de rotatie in de warme periode.

Tabel 7a en b tonen de balans voor scenario Z2. De resultaten leiden tot kwalitatief dezelfde conclusies: de balans van de rotatie is gunstiger dan die van de enkele teelten en een relatief warme herfst en voorjaar leidt tot geringer overschot vooral vanwege de veel lagere bemesting van suikerbiet.

Table 6a. Aanvoer, afvoer en balans van stikstof (in kg ha⁻¹) voor scenario Z1 met weer uit de periode 1963-1964.

	Rotatie			Enkele teelt		
	aanvoer	afvoer	balans	aanvoer	afvoer	balans
aardappel	296	142	154	298	141	157
suikerbiet	173	54	119	186	60	126
Tarwe	110	145	-36	130	141	-11
groenbemester	100	0	100	100	0	100
Totaal	679	341	338	714	343	371
Gemiddeld per jaar	226	114	113	238	114	124

Table 6b. Aanvoer, afvoer en balans van stikstof (in kg ha⁻¹) voor scenario Z1 met weer uit de periode 1989-1990.

	Rotatie			Enkele teelt		
	aanvoer	afvoer	balans	aanvoer	afvoer	balans
aardappel	294	141	153	294	141	153
suikerbiet	137	54	83	186	60	126
Tarwe	110	143	-33	130	143	-13
groenbemester	100	0	100	100	0	100
Totaal	641	338	303	710	345	365
Gemiddeld per jaar	214	113	101	237	115	122

Table 7a. Aanvoer, afvoer en balans van stikstof (in kg ha⁻¹) voor scenario Z2 met weer uit de periode 1963-1964.

	Rotatie			Enkele teelt		
	aanvoer	afvoer	balans	aanvoer	afvoer	balans
aardappel	671	146	524	671	146	524
suikerbiet	149	55	94	190	57	133
Tarwe	110	146	-36	130	143	-13
Totaal	930	348	582	990	346	644
Gemiddeld per jaar	310	116	194	330	115	215

Table 7b. Aanvoer, afvoer en balans van stikstof (in kg ha⁻¹) voor scenario Z2 met weer uit de periode 1989-1990.

	Rotatie			Enkele teelt		
	aanvoer	afvoer	balans	aanvoer	afvoer	balans
aardappel	669	146	523	669	146	523
suikerbiet	64	55	9	189	58	131
Tarwe	110	146	-36	130	144	-14
Totaal	844	347	497	988	349	639
Gemiddeld per jaar	281	116	166	329	116	213

De conclusie kan dus luiden dat het overschot voor een rotatie inderdaad minder is dan wanneer een separate teelt wordt beschouwd. De verschillen lopen op tot maximaal een afname van 30% in het jaar met de warmste herfst- en winterperiode en het scenario met de organische bemesting.

Literatuur

- Anonymus, 1989. Handboek voor de Akkerbouw, Publicatie 47, PAGV, Lelystad.
- Anonymus, 1997. Kwantitatieve Informatie Akkerbouw 1997/1998. Publicatie 85, PAV, Lelystad, 219 pp.
- Beijer, L. & H. Westhoek, 1996. Meststoffen in de Rundveehouderijk. Publicatie 17, Informatie- en Kennis Centrum Landbouw, Ede, 109 pp.
- Beukeboom, J.A., 1996. Kiezen uit gehalten. Informatie- en Kennis Centrum Landbouw, Ede, 22 pp.
- Boogaard H.L., C.A. van Diepen, R.P.Rötter, J.M.C.A. Cabrera & H.H. van Laar, 1998. WOFOST 7.1 User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. Technical document 52. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, 143 p.
- Dijk W. van, 1999. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Publicatie nr. 95, PAV-Lelystad, 59 pp.
- Gerwitz A. & E.R. Page, 1974. An empirical mathematical model to describe plant root systems. *Journal of Applied Ecology* 11: 773-781.
- Greenwood D.J. and A. Draycott, 1995. Modelling uptake of nitrogen, phosphate and potassium in relation to crop growth. In: P. Kabat, B. Marshall, B.J. van den Broek, J. Vos and H. van Keulen, *Modelling and Parameterization of the Soil-Plant-Atmosphere System. A Comparison of Potato Growth Models*. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands, pp. 155-175.
- Heinen M. & P. de Willigen, 1998. A two-dimensional simulation model for water flow, solute transport, and root uptake of water and nutrients in partly unsaturated porous media. *Quantitative Approaches in Systems Analysis* No. 20. DLO research Institute for Agrobiological and Soil Fertility and the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen, The Netherlands, 140 p.
- Schröder, J.J., 1997. Estimates of the carbon and nitrogen yield of shoots and roots of cover crops. In: J.J. Schröder (Ed.) *Long term reduction of nitrate leaching by cover crops*. Second Progress report of EU Concerted Action (AIR3) 2108, Nota 53, AB-DLO, Wageningen, 81-93.
- Smit, A.L. & A. van der Werf, 1992. Fysiologie van stikstofopname en -benutting: gewas- en wortelingskarakteristieken. In: H.G. van der Meer & J.H.J. Spiertz (eds.) *Stikstofstromen in agro-ecosystemen*, CABO-DLO, Wageningen, 51-70.

Smit, A.L., 1994. Stikstofbenutting. In: A.J. Haverkort, K.B. Zwart, P.C. Struik & P.H. M. Dekker (Eds.) Stikstofstromen in de Vollegrondsgroenteteelt. Themaboekje 18, PAGV, Lelystad, 9-22.

Stouthart, F. & J. Leferink, 1992. Mineralenboekhouding (incl. werkboeken voor begeleider en deelnemer), CLM, Utrecht, 20+33+57 pp.

Van Noordwijk M., G. Brouwer, H. Koning and W. Grzebisz, 1994. Production and decay of structural root material of winter wheat and sugar beet in conventional and integrated cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 51: 99-113.

Velthof, G.L., P.J. van Erp & J.C.A. Steevens, 1998. Stikstoflevering door groenbemesters en gewasresten. Noodzaak tot verfijning van stikstofadvisering. *Meststoffen 1997/1998*, 20-28.

Verberne E., 1992. Simulation of the nitrogen and water balance in a system of grassland and soil. *Nota 258*, DLO-Instituut voor Bodemvruchtbaarheid Haren 56 p.

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*, DLO-Instituut voor Bodemvruchtbaarheid Haren 53 p.