
Afbraaksnelheid bodem organische stof

Tussenrapportage. Perceelsspecifieke schatting uit bodemparameters

Auteurs: Marjoleine Hanegraaf, Willem van Geel, Wim van de Berg, Janjo de Haan

Wageningen University & Research



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit

Dit onderzoek is in opdracht van de Brancheorganisatie Akkerbouw en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten.

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, Maart 2019

Rapport WPR-801

Hanegraaf, Marjoleine, Willem van Geel, Wim van de Berg, Janjo de Haan, 2019. *Afbraaksnelheid bodem organische stof. Tussenrapportage. Perceelsspecifieke schatting uit bodemparameters*. Wageningen Research.

© 2019 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

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

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Vertrouwelijk Rapport WPR-801

Foto omslag: Wageningen University & Research Open Teelten

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Modelselectie	6
	2.1 Overzicht van modellen	6
	2.2 Modelselectie en kennisvragen	7
3	Proefopzet	9
	3.1 Monsternamen en grondanalyse	9
	3.2 Overige data-verzameling	9
	3.3 Berekeningen	10
4	Resultaten	13
	4.1 Bodemanalyse en teeltgegevens steekproef	13
	4.2 Parameterisatie van het model	14
	4.3 Selectie omrekenfactor lab naar veld	14
	4.4 Toetsing	15
	4.4.1 Vredepeel	15
	4.4.2 Valthermond	16
	4.4.3 Lovinkhoeve	19
5	Discussie	20
6	Conclusie en aanbevelingen	23
	Literatuur	24
	Bijlage 1 Teeltgegevens systeemprouwen.	25

1 Inleiding

Organische stof breekt in minerale gronden af met een snelheid van gemiddeld 2% per jaar. Dit kengetal is belangrijk bij het opstellen van een organische stofbalans. Aandacht voor het organische stofgehalte in landbouwgrond is in de eerste plaats relevant met het oog op de gewasproductie. Organische stof is betrokken bij verschillende functies zoals de bodemstructuur, de stikstoflevering en de boemgezondheid. In de tweede plaats is aandacht nodig met het oog op de klimaatverandering. Afbraak van organische stof draagt bij aan de emissies van CO₂ en N₂O, maar het omgekeerde is ook mogelijk: vastlegging van CO₂ uit de atmosfeer (gedefinieerd als koolstofvastlegging (Engels) carbon sequestration) draagt bij aan vermindering van de totale uitstoot van CO₂-equivalenten.

In opdracht van BO Akkerbouw en het project Slim Landgebruik van LNV heeft WUR Open teelten een onderzoek uitgevoerd naar de snelheid waarin bodem organische stof afbreekt. De resultaten kunnen van belang zijn voor zowel het landbouwkundig management als het realiseren van de klimaatdoelstelling. Belangrijk onderdeel van dit onderzoek is de ontwikkeling van het organische stof gehalte in de tijd, waarvoor de afbraaksnelheid van de organische stof in de bodem in kaart is gebracht als functie van bodemkenmerken en teeltparameters. Het voorliggende rapport beschrijft het onderzoek naar een perceelspecifieke schatting van de afbraak in akkerbouwpercelen op minerale gronden, inclusief een eerste toetsing van de verkregen rekenregels aan gegevens uit onder andere systeemprouven van WUR Open teelten.

Doelstelling

Doel van het onderzoek is de afleiding van een perceelspecifieke rekenregel voor de afbraak en opbouw van bodem organische stof.

Afbakening

Het onderzoek richt zich op veranderingen in de bodem organische stof, met gebruikmaking van defaultwaarden voor de aanvoer van vers organisch materiaal uit gewasresiduen en organische meststoffen.

Onderzoeksvragen

1. Parameterisatie
 - Spelen naast het C-gehalte andere bodemkenmerken een rol?
 - Hoe ziet de modelparameterisatie eruit?
2. Snelheid
 - Wat is de bandbreedte in de afbraaksnelheid van organische stof?
 - Is er aanleiding om de vuistregel van 2% aan te passen?
3. Toepassingen
 - Is perseelsspecifieke schatting beter dan een generieke schatting?
 - Zijn sommige percelen meer geschikt voor C-vastlegging dan andere?

Werkwijze

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden zijn grondmonsters van akkerbouwpercelen geïncubeerd in het laboratorium, waarna uit de tijdserie van CO₂-metingen een exponentieel model is gefit. De relatie tussen modelparameters en bodemkenmerken en teeltvariabelen zijn vervolgens met regressie-analyse onderzocht. Daarna zijn enkele regressiemodellen getoetst met behulp van tijdreeksen van organische stofgehalten uit lange termijn experimenten (LTes).

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt de selectie van het exponentiële model gegeven aan de hand van een overzicht van mogelijke afbraakmodellen. Vervolgens komt in hoofdstuk 3 de experimentele dataverzameling aan de orde. Resultaten van het modelleren en statistische analyse wordt beschreven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden conclusies getrokken en worden enkele aanbevelingen gedaan.

2 Modelselectie

2.1 Overzicht van modellen

Organische stof breekt in minerale gronden af met een snelheid van gemiddeld 2% per jaar (Henin-Dupuis, 1945; Kortleven, 1963). Voortschrijdend inzicht heeft tot aanpassingen in modellen en nieuwe rekenregels geleid (Tabel 1). De belangrijkste inzichten zijn: 1) de snelheid is niet constant maar tijdsafhankelijk; 2) de afbraak is niet per definitie tot nul, maar tot een zekere resthoeveelheid; 3) de resthoeveelheid kan per perceel verschillen.

Doelstelling van de onderhavige studie is om te komen tot een perceel-specifieke schatting van de afbraak van organische stof, op basis van gegevens van het reguliere grondonderzoek. Model 4 is momenteel het meest vergaande model dat voor de landbouwpraktijk operationeel is, in de uitwerking van Zwart et al. (2013). Uitgaande van dit model zijn 2 aanknopingspunten voor een perceel-specifieke inschatting onderzocht, namelijk de snelheidsparameter RDR en de omvang van het aandeel afbreekbare organische stof.

Tabel 1 Voortschrijdend inzicht in de modellen voor de afbraak van bodem organische stof.

Model-nummer (naam)	Vuistregels afbraak	Model	Voortschrijdend inzicht	Aantal pools	Snelheidsparameter(s)		Parameterisatie data	Auteur (jaar)
					Constant	Tijdsafhankelijk		
1	2% van OS	$Y_t = Y_0 \cdot e^{-rt}$	Afbraak hangt af van OS-gehalte	1	x		veldproeven	Henin & Dupuis (1945); Kortleven (1963)
2 (Minip)	a = 17-20	$Y_t = Y_0 * e^{[a.7 * ((a+t)^{-0.6} - a^{-0.6})]}$	Afbraak gaat niet tot 0 en snelheid is tijdsafhankelijk	1		x	veldproeven	Janssen (1984)
3	Tabel met RDR op tijdstippen voor klassen van OS%	$Y_t = a + be^{-kt}$	Onderscheid in stabiele en afbreekbare OS	2		x	potproef	Wadman & De Haan (1997)
		Yt uit samengestelde fit van genoemd model en (2)		1 en 2				
4		$RDR = \text{LOG} (Y_t / Y_{(t+1)})$		1		x		
5	Tabel OS% en balanstekorten	Tabel Wadman	Evaluatie OS-balans o.b.v. max. toelaatbare 5% afbraak per jaar van het (op de lange termijn gefixeerde) afbreekbare OS	1			n.a.	Zwart et al. (2013)
6 (Yang)	Perspectief: tabel OS% en balansaanvoeren	$Y_t = Y_0 * e^{-R9 * (t^{R9})^{(1-5)}}$	2 snelheidsparameters	1	x	x	incubatie- en veldproeven	Yang (1996)
7 (RothC)	Perspectief: tabel OS%, balansaanvoer en balansafbraak	3x rechterdeel van (3)?	Stabiele OS resultaat van millenia historie aanvoer en klimaat	3		3x	veldproeven	Jenkinson & Rayner (1977)

Overwegingen

- Afbraak vindt plaats tot een nieuwe evenwichtssituatie is bereikt, waarvan het OS-gehalte, in het uiterste geval, nadert tot aan de stabiele pool of tot 0; voor dit laatste is het gekozen model bepalend.
- Uitgaande van het organische stofgehalte op een bepaald moment is niet bekend hoe lang het nog duurt tot nieuwe situatie is bereikt. Bij een constante afbraaksnelheid (model (1)) is dit geen bezwaar, maar dit is wel het geval bij een tijdsafhankelijke parameterisatie. Inschatting van de afbreekbare fractie met model (3) kan in ieder geval aangeven of de stabiele fractie al wordt genaderd. Dit zou consequenties kunnen hebben voor de schatting van de N-levering, waarvoor de bodemvoorraad dan niet meer indicatief is.

-
- De meervoudige parameterisaties van Yang en RothC doen mogelijk meer recht aan de aanwezigheid van pools in organische stof met verschillende afbraaksnelheden. Op voorhand is echter duidelijk dat deze pools vooralsnog niet met regulier grondonderzoek te kwantificeren zijn.
 - In theorie bevordert bodembewerking het zuurstofgehalte in de bodem, en zou een hoger zuurstofgehalte de afbraaksnelheid van organische stof, door bijvoorbeeld bodembewerking, verhogen. Hierover zijn echter nauwelijks kwantitatieve gegevens voorhanden.

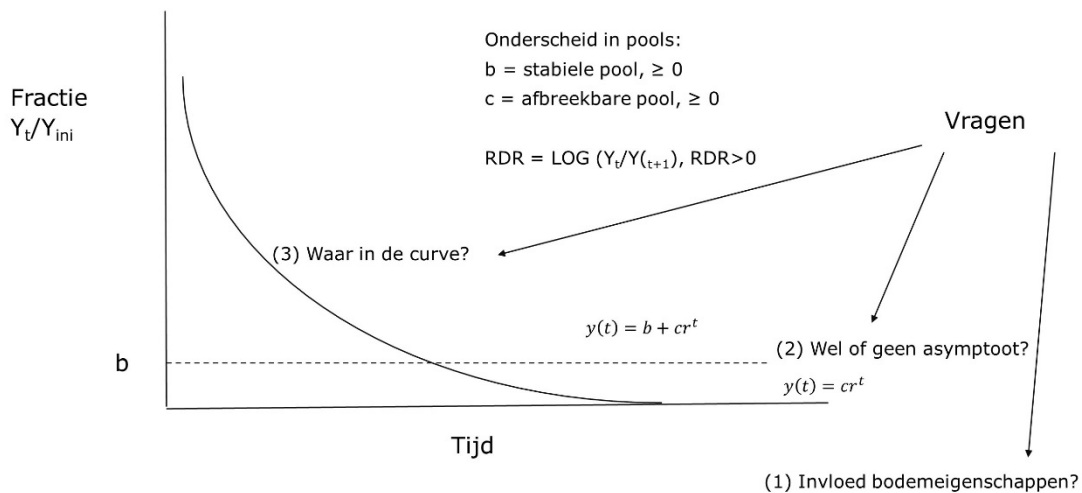
2.2 Modelselectie en kennisvragen

Dit onderzoek is gericht op parameterisatie van een algemeen exponentieel model en RDR zoals voorgesteld door Wadman & De Haan (1997). Voor dit model is gekozen omdat het onderscheid kan maken in twee pools aan organische stof. Bovendien is hiervan reeds een eerste generieke uitwerking is gemaakt voor Kennisakker (Zwart et al., 2013).

In het onderzoek van Wadman & De Haan (1997) is een vergelijking gemaakt tussen het Minip-model en een standaard exponentieel model, door fitten van beide modellen op een dataset van een lange-termijn potexperiment. Het betrof 36 potten die gedurende twintig jaar in een kas met buitentemperatuur waren geplaatst, zonder toevoeging van organische stof. Het vochtgehalte werd op ca. 70 van de WHC gehouden. Elk jaar werden de grond in de potten goed gemixed waarna een monster werd genomen voor C-analyse. Belangrijke feiten en leerpunten uit dit onderzoek zijn:

- Gemeten is het restant aan organische stof, niet koolstof.
- De dataset bevat ook enkele veen- en/of dalgronden.
- Het betrof een onbeteeld experiment in potten, waarbij de grond elk jaar werd gestoord.
- Het algemene exponentiële model dat is onderzocht onderscheidt een stabiele (b) en makkelijk afbreekbare pool (c).
- De tijdreeksen van het organische stofgehalte per monster zijn eerst gefit met zowel Minip als met een algemeen exponentieel model, waarna per monster het beste model is geselecteerd. Op basis van de gehele selectie is een nieuwe, algemene fit van het exponentiële model gemaakt.
- De verklaarde variantie van 'model Wadman' liep sterk uiteen (2,9 – 98,0%).
- Met het model zijn relatieve decompositie snelheden (RDR) berekend. De eindtabel bevat uitkomsten voor RDR ($t, yr-1$) voor een indeling naar OS% en tijdsinterval.
- RDR vervangt het huidige kengetal van 2% afbraak per jaar.

De uitwerking van model Wadman voor Kennisakker laat zien dat na 50 jaar ca. 25% van de bodemvoorraad zou zijn afgebroken. De vraag of alle aanwezig organische stof in de loop der tijd wordt afgebroken, is daarmee nog niet afdoende beantwoord. In de praktijk is er bovendien behoefte aan een model dat handelingsperspectief biedt en het effect van management zichtbaar maakt. Een relatie tussen modelparameters en bodemkenmerken en/of teeltvariabelen is gewenst. De interesse gaat ook uit naar een mogelijke relatie met het lutumgehalte en/of het C% in de organische stof, hoewel deze niet op korte termijn te beïnvloeden zijn. Deze twee variabelen kunnen van belang zijn voor een schatting van de maximaal vast te leggen organische stof.



Figuur 1 Kennisvragen bij exponentieel model voor de afbraak van bodemorganische stof.

Uitgaande van model Wadman is gekozen voor een proefopzet waarin bodem- en teeltkenmerken worden gefit op de modelparameters b en c , en ook op de uitkomsten, te weten kengetal RDR en de stabiele en afbreekbare C-fracties. Indien voor de afbreekbare fractie een significante relatie kan worden vastgesteld, dan is vervolganalyse mogelijk van de relatieve afbreesnelheid van deze fractie (RDR_{AF}).

3 Proefopzet

3.1 Monstername en grondanalyse

De experimentele opzet van het onderzoek betrof een respiratieproef (tijdreeks) in het laboratorium onder geconditioneerde omstandigheden. Hiervoor zijn 60 grondmonsters genomen uit akkerbouwpercelen op klei- en zandgrond, als onderdeel van een grotere proef met ca. 150 bodemmonsters. Dit betrof voor de akkerbouwpercelen een spadesteek met een diepte van 30 cm.

De monsters zijn gedroogd bij 40 ° Celsius en, na verwijdering van zichtbaar vers organisch materiaal, gezeefd (2mm), waarna de volgende bodemeigenschappen zijn gemeten. Het organische stofgehalte, C-gehalte, N-gehalte, en pH-CaCl₂ zijn gemeten door het CBLB van Wageningen Universiteit. Submonsters voor de bepaling van C- en N-gehalten zijn gemalen tot < 250 µm. De bepalingen zijn uitgevoerd volgens Houba et al. (2003). Het organische stofgehalte is bepaald met de gloeiverliesmethode. Het C-gehalte is gemeten volgens natte oxidatie (Kurmies), met een aanname van 1.03 als correctiefactor bij de spectrofotometer. Het N-gehalte is gemeten na ontsluiting met een mengsel van H₂SO₄, salicylic zuur, H₂O₂ en seleen. De C/N-ratio is berekend uit C- en N-gehalten. De pH is gemeten in 0,01 M CaCl₂. Het lutumgehalte is gemeten met de pipetmethode door Koch laboratorium uit Deventer. De potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) is gemeten met NIRS door BLGG (tegenwoordig Eurofins Agro).

3.2 Overige data-verzameling

Teeltgegevens

De bemesting en het gewas en eventuele groenbemesters zijn geregistreerd (incl. die van het voorgaande 12 maanden). Hiervoor is een vragenlijst opgesteld die aan de meewerkende telers is gestuurd. De gegevens hieruit zijn, na een eventuele telefonische check, verwerkt in een gegevensbestand.

Voor de N-bemesting is de vooraf gemaakte indeling in drie klassen aangehouden.

Van de teelt in het jaar van monstername, en die in de 12 maanden ervoor, is de aanvoer van organische stof en effectieve organische stof vastgelegd met behulp van defaultwaarden uit het Handboek Bemesting. Aangenomen is dat plantaardige organische stof 45% C bevat, en dierlijke meststoffen 50%.

Omrekenfactor van lab- naar veldwaarde

Externe omstandigheden bepalen voor een deel de afbraaksnelheid van organische stof. Dit geldt ook voor een grondmonster dat in het laboratorium wordt geïncubeerd. De monstername is een eerste verstoring van het afbraakproces, dat wordt gevolgd door drogen, zeven en malen van de grond. In het afbraakproces is voorts bewust ingegrepen tijdens de incubatieperiode door de geselecteerde temperatuur en vochtgehalte. Het totaaleffect van deze verstoringen is echter niet bekend. Navraag onder wetenschappers in Wageningen gaf aan dat men een effect van 2,5 à 3 zou verwachten.

Volgens de theorie zijn er duidelijke parallellen te trekken tussen de C- en de N-mineralisatie. Laatstgenoemde is op jaarbasis in de veldsituatie te meten aan, bijvoorbeeld, de opname in een onbemest gewas. Een omrekenfactor voor de N-mineralisatie tussen lab en veld zou proxy kunnen staan voor die van de organische stofafbraak. Hiertoe zijn beschikbare gegevens uit onderzoek in Nederland en Vlaanderen verzameld.

3.3 Berekeningen

Parameterisatie

De resultaten van de tijdreeksen CO₂-emissies zijn omgerekend naar mineralisatiesnelheid per tijdstip en gecorrigeerd voor de hogere temperatuur in het laboratorium met een factor 2.333058.

In het respiratie-experiment is de aanname, dat wanneer de snelheid tot 0 nadert, de aanwezige organische stof vrijwel stabiel is. De RDR, zoals berekend met model (4), kan vanaf dat moment als onafhankelijk van de tijd worden beschouwd. Deze RDR is dan een kengetal voor de afbraaksnelheid, een constante, tot de afbreekbare OS is verdwenen. Uit de tijdreeks van emissies zijn de omvang van de stabiele en de afbreekbare pool, en de afbreesnelheid RDR geschat.

Statistische analyse

Eerst is in een 'all subset regressieanalyse' (Genstat, 20xx) vastgesteld welke parameters van belang zijn in termen van significantie (minimaal $p < 0,05$) en voldoen aan de statistische vuistregel voor het aantal regressieparameters ($C_p < t+3$ ($C_p =$ Mallow's factor; $t =$ het aantal termen). Het maximale aantal termen in de regressiemodellen is, met het oog op het aantal gemeten parameters en het aantal waarnemingen per parameter, ingesteld op 5. Dit deel van de analyse gaf inzicht in welke regressieparameters een rol spelen; de hoogte van de regressieparameters is vervolgens met GLM bepaald, waarbij eventuele uitbijters zijn verwijderd (residual ≥ 3).

Toetsing

Het verkregen model biedt de mogelijkheid om de afbraak van de bodemorganische stof te berekenen. Deze is niet direct in het veld meetbaar. Wel is het mogelijk om het organische stofgehalte te volgen middels het opstellen van een organische stofbalans op jaarbasis. Voor de toetsing van de modelparameterisatie is gebruik gemaakt van datasets uit lange termijn experimenten (LTE) waarin a) voor het uitgangsjaar de bodemkenmerken bekend zijn om het model toe te kunnen passen, b) het verloop van het organische stofgehalte is gemeten, en c) zo mogelijk de aanvoer van organische stof is gemeten. Een drietal datasets uit systeemprouwen op verschillende typen minerale grond bleken beschikbaar.

Zandgrond, Vredepeel

Het betreft het teeltexperiment met een biologisch teeltsysteem in zes percelen met eenzelfde organische stofgehalte in de uitgangssituatie (De Haan et al., 2018). Meetgegevens van het organische stofgehalte (gloeiverlies) en andere benodigde bodemkenmerken zijn beschikbaar voor het basis jaar 2004 (Tabel 2). Voor de toeting is de tijdreeks van organische stofgehalten over 2004 – 2016 meegenomen. Gegevens over de aanvoer van effectieve organische stof zijn beschikbaar uit metingen van de gewasresiduen en defaultwaarden voor de humificatiecoëfficiënt (Bijlage 1).

Tabel 2 Basisgegevens van het deelexperiment 'biologisch' in Vredepeel, jaar 2004.

Veld	pH	N-Tot gehalte	OS- gehalte
		mg.kg ⁻¹	%
32.1b	5.5	1508	3.4
32.2a	5.5	784	3.3
33.1a	5.6	1480	4.1
33.2b	5.5	1944	4.1
34.1a	5.4	1689	4.3
34.2b	5.1	995	3.8

Dalgrond, Valthermond

Het betreft een teeltexperiment waarin onder andere spitten en niet-kerende grondbewerking met elkaar worden vergeleken. De organische stofgehalten in de behandeling 'spitten' (10 percelen) lopen uiteen van 7.8 – 17.8 % (Tabel 3, gegevens Eurofins). De bulkdichtheid is, voor het aanvangsjaar,

berekend uit het organische stofgehalte. Het C-gehalte is berekend uit de C/N-ratio en het stikstofgehalte. Voor de jaarlijkse aanvoer van organische stof is een defaultwaarde van 500 kg C per hectare aangehouden.

Tabel 3 Basisgegevens van het deelexperiment 'spitten' in Valthermond, jaar 2013.

Veld	pH	C/N-ratio	N-Tot-gehalte	OS-gehalte
			mg.kg ⁻¹	%
14	4.9	29	2860	14.1
19	4.7	22	2760	10.4
30	4.8	21	2300	8.4
32	4.7	22	2370	8.8
65	5.2	24	2250	9.4
71	5.0	26	2900	12.8
86	4.9	24	1890	7.9
92	4.8	23	3040	11.9
113	5.1	25	2350	10.3
120	5.3	21	2130	7.8
123	5.1	27	3030	13.9
129	5.3	26	1870	8.3
150	5.1	16	3320	9.1
153	5.0	24	3240	13.3
169	4.9	25	4160	17.8
176	4.9	21	4290	15.3

Zavelgrond, Lovinkhoeve

Het betreft een teeltexperiment met een conventioneel en een geïntegreerde variant, op twee percelen A en B met een klein verschil in organische stofgehalte in de uitgangssituatie (Van Faassen & Lebbink, 1994). Dit experiment omvat ook een proefneming naar de N-mineralisatie in het laboratorium en in het veld, met een omrekeningfactor van 1.4 (zie tabel 7). Deze omrekeningfactor is aangehouden, Meetgegevens van het organische stofgehalte (oxidatie met dichromate/zwavelzuur) en andere bodemkenmerken zijn beschikbaar over de periode 1988-1991 (Tabel 4, gegevens Instituut voor Bodemvruchtbaarheid). De bulkdichtheid is, voor het aanvangsjaar, berekend uit het organische stofgehalte. Voorts is de aanname gedaan dat het C-gehalte in de organische stof 58% bedraagt.

Tabel 4 Basisgegevens van het deelexperiment Lovinkhoeve, jaar 1985.

Behandeling	pH	Lutum-gehalte	N-totaal	OS-gehalte
		%	%	%
CONVA	7.5	20	0.129	2.8
CONVB	7.5	20	0.093	2.2
INTA	7.5	20	0.145	3.0
INTB	7.5	20	0.093	2.4

De rotatie en de hoeveelheid C uit gewasresidue en/of compost is opgenomen in Bijlage 1.

De werkwijze voor de toetsing van de rekenregels was als volgt:

Enmalig schatten van modelparameters RDR_{AF} (afbraaksnelheid afbreekbare fractie), RDR_T (afbraaksnelheid totaal organische stof) uit de bodemkenmerken van het aanvangsjaar.

Vervolgens voor elk jaar:

- Berekenen van de afbraak van de organische stof met de drie kengetallen RDR_{AF} , RDR_T , en 2%
- Berekenen van de aanvoer van effectieve organische stof (in C kg.ha⁻¹ en/of in eos kg.ha⁻¹) uit de gemeten waarden, of uit defaultwaarden van de aanvoer en/of de humificatiecoëfficiënt.
- Berekenen van de organische stofbalans uit bouwvoorgehalte - afbraak + aanvoer (in C kg.ha⁻¹ en/of OS kg.ha⁻¹).

-
- Berekenen van het nieuwe organische stofgehalte in de bouwvoor, uitgaande van ongewijzigde bulkdichtheid. Uitkomsten die zijn uitgedrukt in C zijn omgerekend naar organische stof op basis van het gemeten C-gehalte in de organische stof of een defaultwaarde van 58%.
 - Bij de berekeningen met de 2% rekenregel en de RDR_T werd de afbraak in mindering gebracht op de bodemvoorraad, C_{totaal} . Voor RDR_{AF} werd de berekende afbraak elk jaar in mindering gebracht op de afbreekbare pool, waarna een nieuwe waarde van de ratio $C_{\text{afbreekbaar}} / C_{\text{totaal}}$ werd berekend en RDR_{AF} opnieuw geschat met de rekenregel.

4 Resultaten

4.1 Bodemanalyse en teeltgegevens steekproef

Het gemiddelde organische stofgehalte in akkerbouwpercelen op klei- en zandgrond was ruim 4% en was in kleigrond enkele tienden van procenten lager dan in zandgrond (Tabel 5).

Tabel 5 Basiskenmerken van de steekproef.

Bodemkenmerk	Eenheid	Groep	akkerbouw - klei		akkerbouw - zand	
		Diepte (cm.)	0-30		0-30	
		# waarnemingen	23		33	
Organische stof	%	Gemiddelde	4.1	<i>a</i>	4.4	<i>a</i>
		Minimum	2.7		2.3	
		Maximum	6.3		9.0	
Koolstof (C)	g.kg-1	Gemiddelde	17.68	<i>a</i>	22.97	<i>a</i>
		Minimum	11.26		11.60	
		Maximum	29.92		45.21	
N-totaal	g.kg-1	Gemiddelde	1.18	<i>a</i>	1.26	<i>a</i>
		Minimum	0.64		0.62	
		Maximum	3.75		2.00	
C/N-ratio		Gemiddelde	16.5	<i>ab</i>	18.8	<i>b</i>
		Minimum	8.0		7.5	
		Maximum	24.8		31.6	
pH		Gemiddelde	7.4	<i>c</i>	5.2	<i>a</i>
		Minimum	5.3		4.6	
		Maximum	7.7		6.6	
Potentieel Mineraliseerbare N (PMN)	mg.kg-1	Gemiddelde	12	<i>a</i>	16	<i>b</i>
		Minimum	8		2	
		Maximum	22		25	
Lutumgehalte	%	Gemiddelde	17.9	<i>b</i>	2.8	<i>a</i>
		Minimum	8.2		0.6	
		Maximum	31.0		7.3	
OS/C		Gemiddelde	2.4	<i>b</i>	1.9	<i>a</i>
		Minimum	1.8		1.7	
		Maximum	3.1		2.8	
Teeltkenmerk						
Aanvoer vers organische materiaal (V)	C kg.ha-1	Gemiddelde	1915	<i>a</i>	1833	<i>a</i>
		Minimum	540		630	
		Maximum	4880		5412	
V/Cbouwvoor		Gemiddelde	0.0280	<i>a</i>	0.0256	<i>a</i>
		Minimum	0.0045		0.0052	
		Maximum	0.0592		0.0788	
N-niveau	kg.ha-1	Gemiddelde	1.65	<i>a</i>	1.52	<i>a</i>
		Minimum	1.00		1.00	
		Maximum	3.00		3.00	

4.2 Parameterisatie van het model

Uit regressie van RDR, de stabiele pool, de afbreekbare pool, en de snelheidsparameter r met bodemeigenschappen bleek dat RDR en de stabiele fractie kunnen worden afgeleid uit de gemeten bodemeigenschappen (Tabel 6). Dit was niet het geval voor de afbreekbare pool, de parameter r of het product van deze twee. Voor de stabiele pool werden 5 relaties vastgesteld, met onderling vergelijkbare verklaarde variantie. Relatie 1 is de meest eenvoudige en heeft daarom in principe de voorkeur.

Aannemende dat het C-gehalte van een grond gelijk is aan de som van stabiele en afbreekbare pool, kan de afbreekbare pool worden geschat uit een schatting van de stabiele pool. Getoetst is of de ratio $C_{\text{afbreekbaar}} / C_{\text{totaal}}$ verband houdt met de RDR. Dit verband bleek zeer goed ($R^2_{\text{adj.}} = 0.93$). We kunnen dus uit een schatting van de stabiele pool, zowel de afbreekbare pool als de RDR schatten. Ter onderscheid met de eerdere schatting van RDR, gebruiken we de suffixes T (totaal) en AF (afbreekbare fractie).

Tabel 6 *Uitkomsten regressie-analyse modelparameters.*

Nr.	Parameter	constante	Cafbr./Cini	C/N	N g/kg	V/O	Lutum %	pH	N-niveau	Grondsoort zand	R2adj.	s.e.
1	Cstab.	-20.73		1.65	14.98		-0.08				0.91	3.08
2	Cstab.	-20.16		1.21	14.53				-0.86		0.91	3.08
3	Cstab.	-14.78		1.13	14.01	33.20		0.62			0.90	3.02
4	Cstab.	-19.43		1.16	14.66	29.60	-0.07				0.91	3.04
5	Cstab.	-16.80		1.14	13.75	49.30	-0.12			-1.75	0.90	2.84
6	RDRT	0.16		0.003	-0.03	0.27					0.66	0.02
7	RDRAF	0.01	0.35								0.93	0.001

De 5 opties om de stabiele fractie te berekenen zijn statistisch gezien vergelijkbaar wat betreft verklaarde variantie en standaardfout. In principe gaat de voorkeur uit naar het model met de minste variabelen, dit zijn de modellen 1 en 2 met elk 3 variabelen. In zandgronden met een laag lutumgehalte ($< 1\%$) is de factor lutum vrijwel verwaarloosbaar en ontstaat een model met 2 variabelen. Dit laat onverlet dat het ook mogelijk is om de stabiele fractie te berekenen met een model dat rekening houdt met de hoeveelheid aangevoerd organisch materiaal.

Voor de toetsing waarvan in dit rapport verslag wordt gedaan is een vergelijking gemaakt van de rekenregels voor RDR_T en RDR_{AF} met het gemeten organische stofgehalte en met de huidige vuistregel van 2%. Voor de toetsing van RDR_{AF} is de afbreekbare fractie berekend met de rekenregel (3).

Opgemerkt zij dat, rekenkundig gezien, de rekenregels tot niet-realistische uitkomsten kunnen leiden. Daarom zijn de volgende randvoorwaarden van kracht: $C_{\text{stab}} \geq 0$; $RDR_T > 0$; $RDR_{AF} > 0$.

4.3 Selectie omrekenfactor lab naar veld

Voor de akkerbouw zijn ca. 10 experimenten in Nederland en Vlaanderen gevonden waarvan praktijkgegevens beschikbaar waren van zowel de N-mineralisatie in het laboratorium als in het veld (Tabel 7). Hieruit werd een omrekenfactor van 3.4 berekend. Deze is in de toetsing van dataset Vredepeel en Valthermond toegepast. Deze factor is hoger dan vooraf werd verwacht. Op verzoek van de CBAV is getracht aanvullend gegevens te verzamelen uit de literatuur. Dit heeft enkele aanvullingen opgeleverd, die een lagere omrekenfactor laten zien. Hiervan is gebruik gemaakt in de toetsing van het model op basis van de Lovinkhoeve dataset.

Tabel 7 *Omrekenfactor van laboratorium- naar veldwaarde (akkerbouw).*

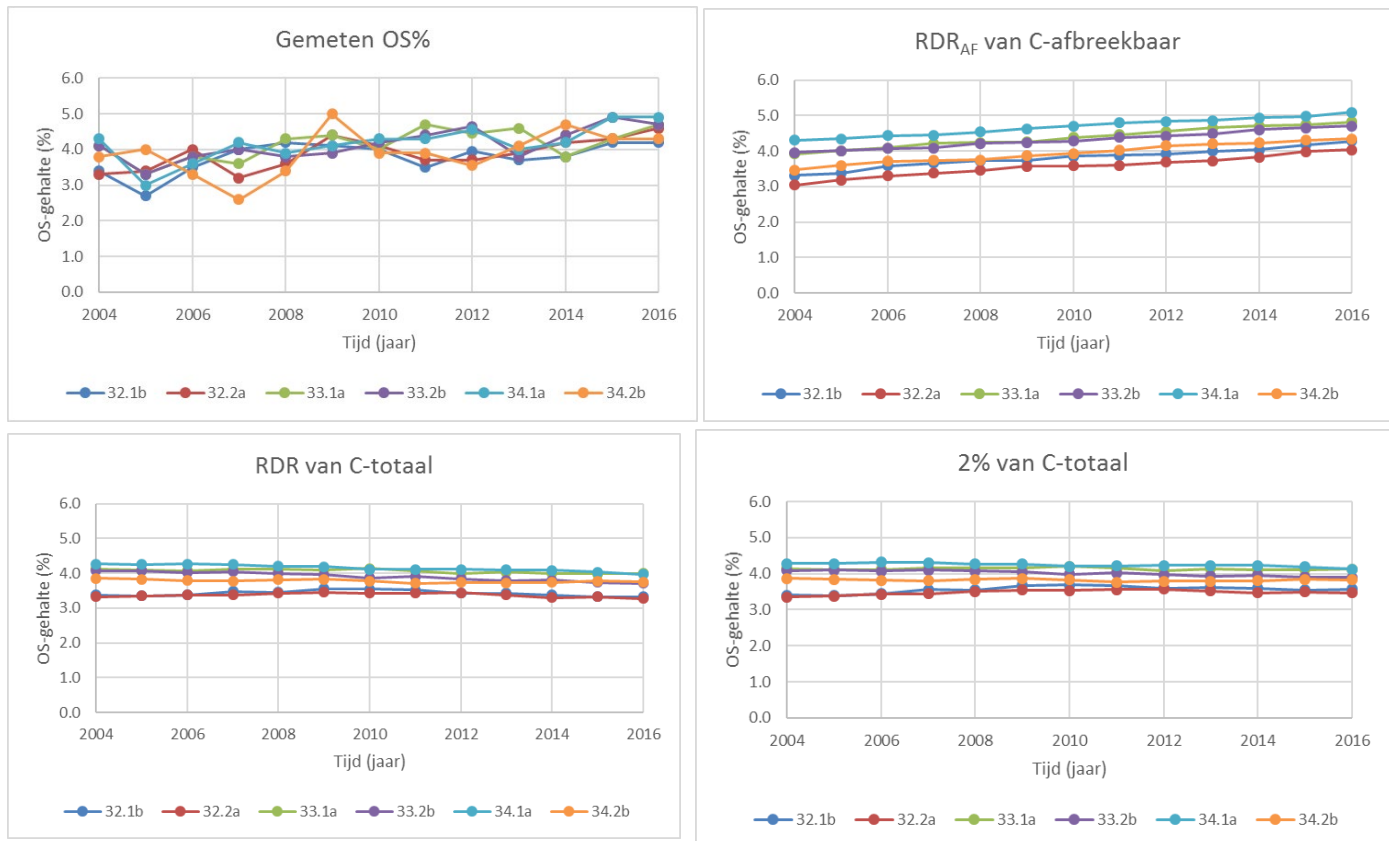
Locatie	Grond	Gewas	Org.stof		N-mineralisatie		Ratio Lab/Veld
			C	Lab	Lab	Veld	
			g.kg ⁻¹	kg.ha ⁻¹			
Ronde 1							
De Marke	zand	maïs	14	110	57	1.9	
De Marke	zand	maïs	12	94	70	1.3	
De Marke	zand	maïs	15	114	64	1.8	
Melle (B.)	zavel	aardappel	18	197	74	2.7	
Melle (B.)	zavel	aardappel	19	255	78	3.3	
Melle (B.)	zavel	aardappel	20	265	81	3.3	
Melle (B.)	zavel	maïs	14	82	20	4.1	
Melle (B.)	zavel	maïs	14	132	27	4.9	
Melle (B.)	zavel	maïs	14	144	19	7.6	
<i>Gemiddelde akkerbouw</i>							3.4
Ronde 2							
Lovinkhoeve	zavel	wintertarwe	13	62	44	1.4	
Lovinkhoeve	zavel	wintertarwe	16	75	56	1.3	
Cavalli et al 2017	loam	maize				1.0	
<i>Voortschrijdend gemiddelde akkerbouw</i>							2.9

4.4 Toetsing

4.4.1 Vredepeel

De uitkomsten van de berekeningen op basis van RDR_{AF} van C-afbreekbaar geeft de beste match met het gemeten organische stofgehalte, zij het veelal met een kleine overschatting. De drie berekeningswijzen leiden tot een systematisch verschil in de uitkomsten. De uitkomsten van de berekeningen op basis van 2% van C-totaal en RDR van C-afbreekbaar zijn in alle percelen lager dan die op basis van RDR van C-afbreekbaar en het gemeten organische stofgehalte.

De range in het gemeten organische stofgehalte in de 12-jarige periode van 2004 – 2016 loopt van 2.6 – 5.0% (Figuur 2). In perceel 34.2b werd deze range over 3 opeenvolgende jaren bereikt (2007-2009). Voor dit springerige verloop is geen verklaring te geven anders dan in de bemonstering en/of de meetfout van de gloeiverliesmethode. Echter, het organische stofgehalte is voor 2008 lager dan 3% en na 2014 is in alle percelen het organische stofgehalte meer dan 4%. Dit suggereert een stijgende trend. De berekening op basis van RDR van C-afbreekbaar toont eveneens een stijgende trend. Echter het valt ook op dat dat in 2010 sprake lijkt te zijn van convergentie van de percelen, zowel in het gemeten OS-gehalte als in twee van de berekende gehalten, maar niet die van RDR_{AF} .



Figuur 2 Verloop in het gehalte organische stof volgens de drie rekenregels en in vergelijking met de gemeten waarden, in zes percelen met biologisch teeltsysteem.

4.4.2 Valthermond

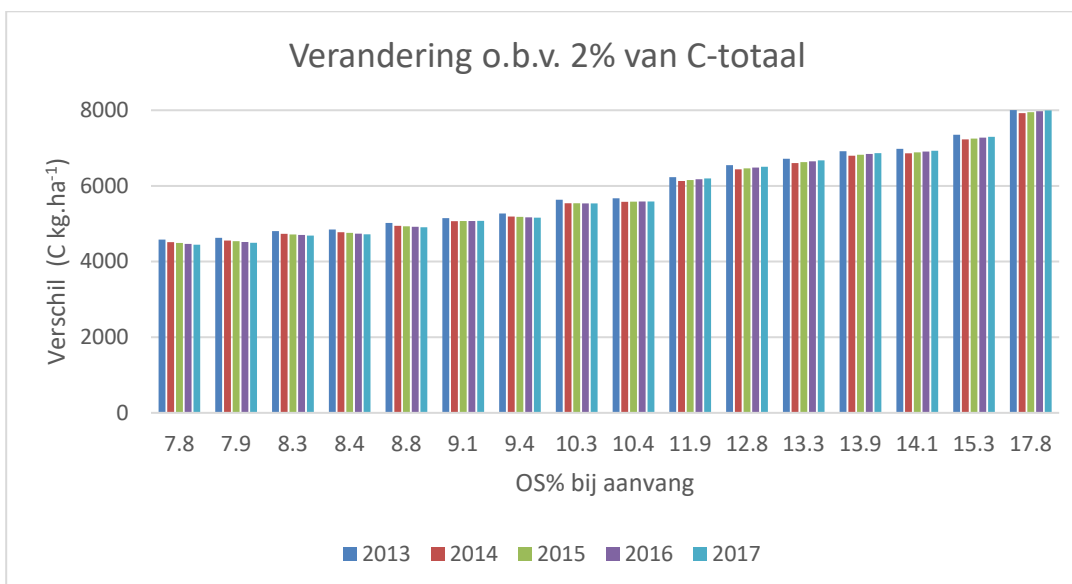
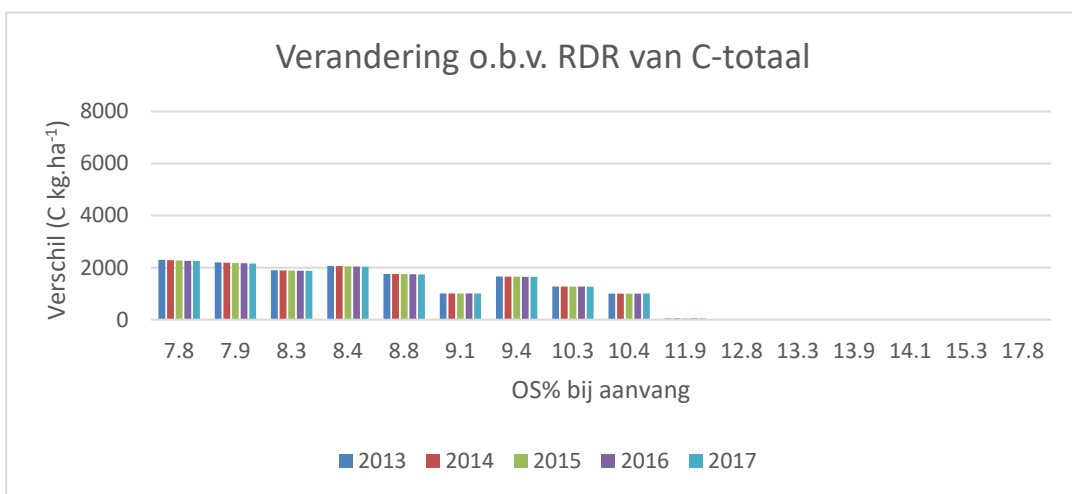
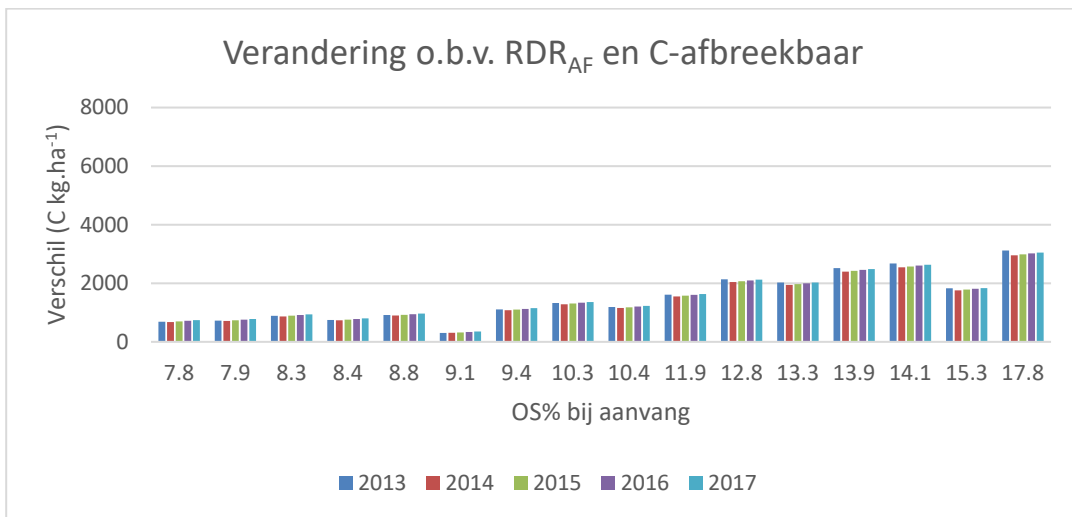
Het gemeten organische stofgehalte in de percelen van de behandeling 'spitten' in Valthermond laat voor de meeste percelen een grillig maar toch licht dalend verloop zien over de periode van vier jaar vanaf 2013 (Figuur 3). De resultaten van de andere twee rekenregels, RDR van C-totaal en 2% van C-totaal laten een constant organische stofgehalte zien. Opgemerkt zij dat het gemeten OS-gehalte in 2013 een meting in juni van dat jaar betreft. Voor de berekeningen is gedaan alsof deze meting aan het begin van 2013 had plaatsgevonden.

Bij de relatief hoge organische stofgehalten in Valthermond mag worden verwacht dat een lichte daling van weinig effect zal zijn op de bodemkwaliteit. Belangrijker dan de vraag of het organische stofgehalte daalt, is de vraag hoeveel organische stof zou moeten worden aangevoerd om het gehalte op peil te houden. De rekenregels verschillen aanzienlijk in de berekende hoeveelheden (Figuur 4). Volgens de berekening op basis van de afbreekbare fractie neemt het verlies aan organische stof beperkt toe met het organische stofgehalte (met twee uitzonderingen). In de berekeningswijze op basis van RDR van C-totaal neemt het verlies af met stijgend OS-gehalte (met één uitzondering). Opvallend is dat het verlies nihil is bij gehalten vanaf ca. 12%. Volgens de huidige vuistregel van 2% afbraak van C-totaal is het verlies meer dan tweemaal dat van de andere berekeningswijzen, en moet bij hogere organische stofgehalten steeds meer worden gecompenseerd.

De uitzonderingen betreffen twee percelen met in 2013 een organische stofgehalte van 9.1% respectievelijk 15.3%.



Figuur 3 Verloop in het gehalte organische stof volgens de meetgegevens en de drie rekenregels in de 16 percelen (behandeling 'spitten') in Valthermond.



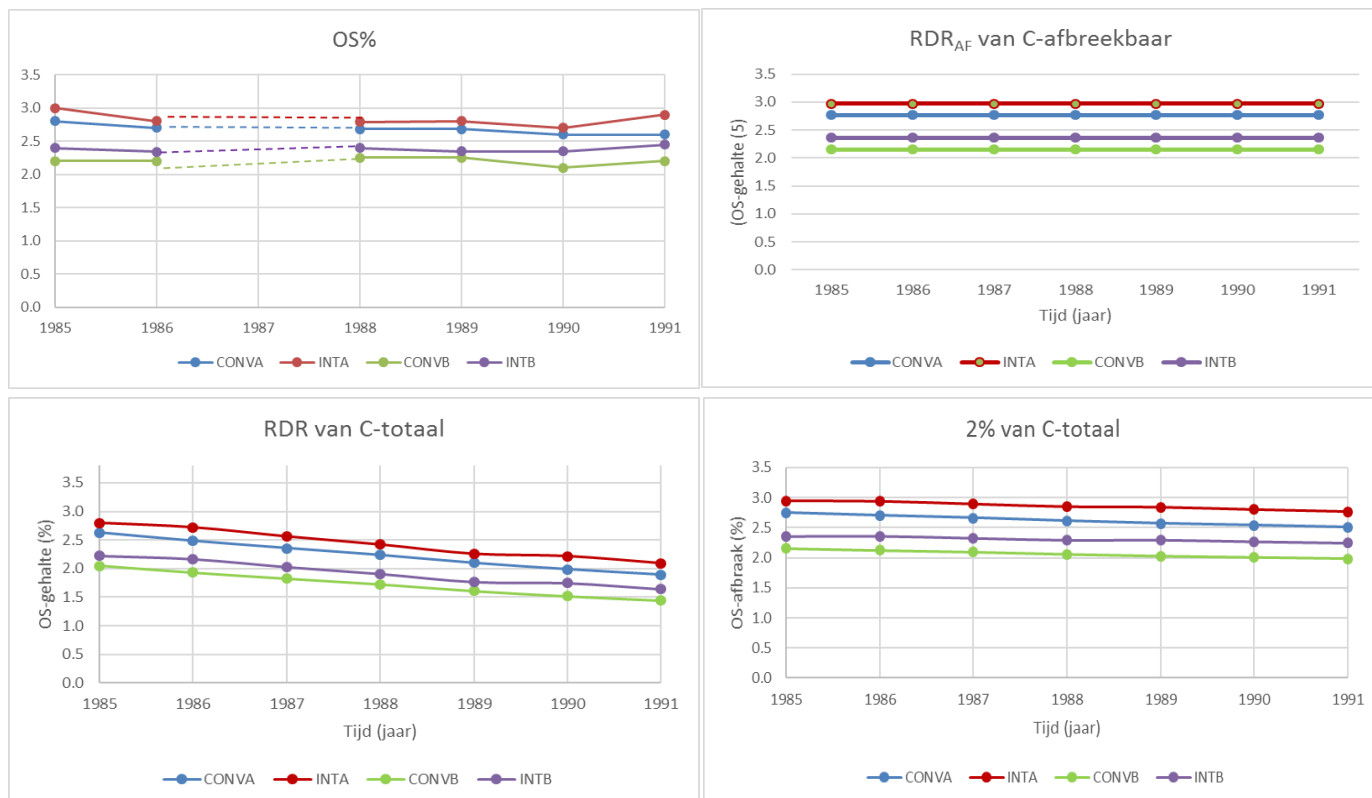
Figuur 4 Benodigde hoeveelheid effectieve organische stof om de afbraak te compenseren.

4.4.3 Lovinkhoeve

De uitkomsten van de berekeningen op basis van RDR van C-afbreekbaar geeft de beste match met het gemeten organische stofgehalte in drie van de vier varianten (Figuur 5). De drie berekeningswijzen leiden tot een systematisch verschil in de uitkomsten. De uitkomsten van de berekeningen op basis van RDR_{AF} van C-afbreekbaar leidt tot een verschatting van de het organische stofgehalte met enkele tienden van procenten over een periode van 6 jaar. De daling in meetresultaten in 3 van de 4 behandelingen tussen 1985-1986 en 1989-1990 wordt niet opgepikt.

De resultaten van RDR van C-totaal, en 2% van C-totaal laten een daling zien in deze periode die enkele tienden van procenten groter is dan in de meetwaarden. De stijging tussen 1990-1991 wordt niet opgepikt.

Voor het springerige verloop van de gemeten organische stofgehalten is niet direct een verklaring te geven. Feit is dat de aanvoer van e.o.s. laag is in 1985-1986 en hoog in 1990 – 1991. Het zou een gevolg kunnen zijn van de meetfout in de monsternamen en/of bodemanalyse. De verschillen tussen de berekeningswijzen berusten niet (geheel) op de aanvoer van e.o.s., die voor alledrie gelijk was.



Figuur 5 Verloop in het gehalte organische stof volgens drie rekenregels en in vergelijking met de gemeten waarden, in twee percelen A en B van de Lovinkhoeve, met in elk een conventioneel en een geïntegreerd teeltsysteem.

5 Discussie

Parameterisatie

Het vooraf gekozen exponentiële model ($A + B \cdot R^t$) gaat uit van een vaste en een afbreekbare fractie organische stof. Uit regressie-analyse bleek dat de vaste fractie kan worden geschat uit enkele bodemkenmerken. Voor de afbreekbare fractie en de snelheidsparameter R was dit niet het geval. De relatieve afbraaksnelheid RDR vertoonde wel matig verband met bodemkenmerken. Deze gegevens bevestigen dat naast het C-gehalte, andere bodemkenmerken een rol kunnen spelen bij de afbraak van organische stof. Met andere woorden het is mogelijk om van percelen met vergelijkbaar organische stofgehalte aan te geven welke perceel een hogere afbraaksnelheid zal hebben.

Invloed van bodemeigenschappen op de afbraakcurve?

Uit de gegevens blijkt dat er verschillende verbanden gevonden zijn die een relatie aangeven met de RDR en/of met de stabiele fractie aan organische stof. Dit suggereert dat niet de kwaliteit en/of hoeveelheid van de afbreekbare fractie bepalend is voor de afbraak, maar de condities en de hoeveelheid stabiele organische stof. De bodemkenmerken met een significant ($p > 0.05$) relatie tot de afbraak zijn: C/N-ratio (+), N-gehalte (-), pH (+), kleigehalte (+), en F/C-ratio (+). Het effect van de C/N-ratio en N-gehalte is tegengesteld van richting. Dit zou kunnen wijzen op een negatieve terugkoppeling tussen deze bodemkenmerken.

Snelheid

De afbraaksnelheid van bodem organische stof zoals uitgedrukt met de RDR_T en de RDR_{AF} is het laagst in Vredepeel en Valthermond en het hoogst op de Lovinkhoeve, met een totale range van 0 tot 0.08 (Tabel 8). Opgemerkt zij dat voor Valthermond en Vredepeel met een hogere omrekenfactor is gewerkt dan voor de Lovinkhoeve, waarvoor een eigen omrekenfactor beschikbaar was.

Tabel 8 Range in afbraaksnelheden van de percelen uit de toetsing.

Locatie	Bodemtype	Nr. percelen	RDR_T		RDR_{AF}	
			min	max	min	max
Vredepeel	Dekzand	6	0.02	0.03	0.00	0.03
Valthermond	Dalgrond	16	0.00	0.01	0.02	0.04
Lovinkhoeve	Zavel	4	0.06	0.08	0.05	0.08

De gemiddelde afbraaksnelheid over alle gegevens bedraagt 2.8%. De vergelijking van deze resultaten met die op basis van de bestaande vuistregel (2%) geeft de indruk dat deze beperkt van elkaar afwijken. Sterker nog, indertijd is door Kortleven een range van 2-4% berekend, die in de praktijk is opgevat als 2%. Het is nog niet met zekerheid aan te geven of het model wat dit betreft een substantiële verbetering biedt in de schatting van de afbraak ten opzichte van de huidige vuistregel. Bij de uitkomsten zijn de volgende kanttekeningen te maken:

- Voor de toetsing waren geen LTE datasets beschikbaar op basis van (alleen) het C-gehalte in de bodem. De datasets waren veelal gebaseerd op het organischestofgehalte volgens de gloeiverliesmethode. Deze wordt gekenmerkt door een relatief grote meetfout, vooral in het lagere traject ($\pm 0.5\%$ abs. voor gehalten tot 5%, daarboven bedraagt de meetfout 0,5%).
- Een andere bron van ruis wordt veroorzaakt omdat de omvang van de aanvoer van organische stof (gewasresten, organische meststoffen) niet goed bekend is. In de berekeningen wordt gebruik gemaakt van defaultwaarden van het C-gehalte en de effectieve organische stof. Deze ruis speelt een rol in de bepaling van de afbraaksnelheid (V/O-ratio) en in de aanvoer van organische stof.
- De omrekenfactor van lab naar veldsituatie. Het literatuuronderzoek naar gegevens over de verhouding van de stikstofmineralisatie in het laboratorium en het veld leverde ruim 15 treffers op. Voor een deel zijn deze afkomstig van een zavelgrond uit België waarvoor een hoge ratio was gevonden. In tweede instantie bleek dat voor een Nederlandse zavelgrond een

lagere waarde was vastgesteld (leidend tot een hogere afbraaksnelheid). Uit de beperkte gegevens kon derhalve geen betrouwbare omrekenfactor worden vastgesteld. Het is waarschijnlijk dat de omrekenfactor lager ligt dan 3.4, en dat de gemiddelde afbreeksnelheid in minerale gronden hoger is dan 2.8%.

Zijn er gronden aan te wijzen met meer perspectief voor C-vastlegging dan andere?

C-vastlegging is het resultaat van een positieve organische stofbalans, waarvoor in dit onderzoek de afbraakzijde in in minerale gronden nader is onderzocht. Afhankelijk van de gekozen omrekenfactor lieten de uitkomsten een range van 0 tot 8% zien in afbraaksnelheden, als functie van bodem- en teeltkenmerken. Als deze uitkomsten bevestigd zouden worden door ander onderzoek, dan zijn ze een aanwijzing dat sommige percelen (akkerbouw op minerale grond) meer organische stof kunnen vasthouden dan andere, bij verder ongewijzigde omstandigheden.

Het exponentiële model kan worden geparameteriseerd op basis van een aantal rekenregels voor de stabiele fractie organische stof in de bodem, waarin de aanvoer van organisch materiaal een rol speelt, namelijk in de verhoudingsfactor $C_{aanvoer} / C_{totaal}$. Een hogere ratio gaat samen met een kleinere stabiele fractie, dus grotere afbreekbare fractie, met uiteindelijk een lager organische stofgehalte tot gevolg.

Het geparameteriseerde model bevat twee (negatieve) terugkoppelingen: 1) C/N-ratio en N-gehalte; 2) de ratio $C_{aanvoer} / C_{totaal}$. Dit zou kunnen betekenen dat bij toenemend N-gehalte en/of bij toenemende aanvoer van vers organisch materiaal, er grenzen aan de mate waarin koolstof kan worden vastgelegd. Het relatieve belang van deze bodem- en teeltkenmerken in het model is (nog) niet nader onderzocht, maar dit is wel gewenst.

Gekozen exponentiële model

Het gekozen model is een uitbreiding van rekenregels/modellen met één pool voor de bodem organische stof, zoals dat waarop de huidige vuistregel van 2% is gebaseerd, en ook Minip. Er zijn echter vele modellen in gebruik met meer pools voor de bodem organische stof, zoals bijvoorbeeld het RothC-model. Het hier getoetste exponentiële model is een keuze tussen eenvoud en complexiteit. Waar in dit rapport wordt gesproken over stabiele en afbreekbare C-fractie, doet dit mogelijk niet geheel recht aan de realiteit, maar is wel een verbetering ten opzichte van een één pool model.

Wel of geen asymptoot?

Uit het exponentiële model met een stabiele en afbreekbare fractie volgt dat wanneer alle afbreekbare organische stof is afgebroken, er een resthoeveelheid in de grond overblijft ter grootte van de stabiele fractie. Eenvoudige één-pool modellen gaan er van uit dat, op termijn, alle organische stof in de bodem afbreekt. Uit de negatieve richting van enkele bodemkenmerken in rekenregels voor de stabiele fractie van organische stof valt af te leiden dat de stabiele fractie tot nul kan leiden bij hoge gehalten aan lutum en/of vers organisch materiaal, en bij hoge N-bemesting en pH. In dergelijke situaties nadert de eindwaarde van de afbreekcurve dus ook tot nul. Het model heeft dan geen asymptoot (en is van de vorm $Y = B.R^t$). In de dataset van 60 akkerbouwgronden komt dit X keer voor. De selectie van grondmonsters was weliswaar als representatief bedoeld voor de Nederlandse akkerbouw, maar vond niet plaats op dit detailniveau. Hoe vaak het in de praktijk voor zal komen dat er op termijn geen organische stof meer aanwezig is, kan daarom nog niet met zekerheid worden gezegd. Nader onderzoek is gewenst.

Waar in de curve?

In principe zou de ratio $C_{afbreekbaar} / C_{totaal}$ een aanknopingspunt kunnen bieden (mits $C_{totaal} > 0$) om de relatieve positie aan te geven van het grondmonster in de curve. Een grond schuift op langs de curve met afnemend $C_{afbreekbaar}$ fractie, en dus afnemende $C_{afbreekbaar} / C_{totaal}$. Een perceel waarvan de organische stof voor het overgrote deel uit afbreekbaar materiaal bestaat, bevindt zich aan het begin van de curve, en omgekeerd. Voor een absolute positionering van percelen kunnen referentiewaarden dienen van vergelijkende combinaties van bodemtypen en teelten. De gegevens uit deze dataset zijn daarvoor een eerste optie. Een herhaling en uitbreiding van dit onderzoek is gewenst om te komen tot definitieve waarden.

Toepassingen

Een perceelsspecifieke schatting van de afbraaksnelheid kan zinvol zijn om onderscheid te maken in percelen met vergelijkbaar organische stofgehalte wat betreft het bodemmanagement en/of de teeltkeuze. Uit de rekenregels is af te leiden dat bekalking, N-bemesting, en aanvoer van vers organische materiaal mogelijke sturingsmechanismen zijn. Het relatieve belang van effecten van deze maatregelen is, gezien de rekenregels, verschillend en mogelijk beperkt. Overigens mag van de aanvoer van klei op zandgronden (zie persbericht De Marke) in principe ook een effect op het organische stofgehalte worden verwacht. Nader onderzoek naar het managen van de afbraaksnelheid kan uitwijzen of en wat hiervoor de beste mogelijkheden zijn.

Naast het schatten de afbraaksnelheid biedt het model de mogelijkheid om onderscheid te maken in de vaste en de afbreekbare fractie. Dit is zinvol met het oog op de N-bemesting en het managen van de kwaliteit van organische stof. Het model biedt voor beide managementtaken perspectief, niet alleen voor klei- en zandgronden, maar ook, en dat is nieuw, voor de dalgronden. Een perceel waarvan de organische stof overwegend in de stabiele fractie aanwezig is, zal mogelijk een lagere N-mineralisatie kennen dan op grond van het NLV wordt ingeschat. Dit zou een verklaring kunnen zijn voor tegenvallende mineralisatie en opbrengst. Omgekeerd zal uit een perceel met een hoge fractie afbreekbare organische stof meer N kunnen vrijkomen dan met NLV wordt geschat. De benodigde aanvoer van organische materiaal zal in een dergelijk perceel hoger zijn dan op grond van de huidige vuistregel zou worden geschat.

6 Conclusie en aanbevelingen

Uit het onderzoek zijn op hoofdlijnen drie conclusies te trekken:

1. Afbraaksnelheid

De parameterisatie op basis van bodemeigenschappen is in principe bruikbaar voor een perceel-specifieke schatting van de afbraak van organische stof. Bij de gehanteerde omrekenfactor van 3.4 wijkt in veel gevallen de afbraaksnelheid niet af van het huidige kengetal. Er zijn sterke aanwijzingen dat de omrekenfactor te hoog is, en de gemiddelde afbraaksnelheid in minerale gronden groter is dan 2%.

Aanbevolen wordt om meer onderzoek te doen naar de omrekenfactor van lab- naar veldgegevens.

2. Model

Het exponentieële model met twee pools organische stof biedt meer inzicht dan een één pool model. In de eerste plaats wordt is de ratio tussen de afbreekbare en de totale C-pool indicatief voor de mate waarin voortschrijdende afbraak mag worden verwacht. In de tweede plaats is de omvang van de afbreekbare pool mogelijk indicatief voor de hoeveelheid stikstof die kan vrijkomen.

Aanbevolen wordt om op basis van het model adviezen te ontwikkelen voor het management van organische stof.

Aanbevolen wordt om te verkennen of het model bruikbaar kan zijn voor verbeterde schattingen van de N-mineralisatie.

3. Koolstofvastlegging

Het geparameteriseerde model geeft aan dat akkerbouwpercelen op minerale gronden aanzienlijk kunnen verschillen in de afbraaksnelheid van bodemorganische stof. Zowel bodemkenmerken als de aanvoer van vers organisch materiaal spelen hierbij een rol. Dit is zijn aanwijzingen dat percelen verschillen in de capaciteit voor C-vastlegging en dat er grenzen zijn aan de koolstofvastlegging met behulp van de aanvoer van vers organisch materiaal.

Vervolgonderzoek met o.a. een onzekerheidsanalyse is aanbevolen.

Literatuur

- De Haan, J., M. Wesselink, W. van Dijk, H. Verstegen, W. van Geel & W. van der Berg, 2018. Biologische teelt op een zuidelijke zandgrond: opbrengst, bemesting, bodemkwaliteit en stikstofverliezen. Rapport WPR-755. Wageningen University & Research.
- Houba VJG, Temminghoff EJM, Gaikhorst GA & van Vark W (2000). Soil analysis procedures using 0.01 M Calcium Chloride as the extraction reagents. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 31:1299-1396.
- Kortleven, J., 1963. Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Verslagen Landbouwkundig Onderzoek 69.1. Dissertatie, Wageningen Universiteit.
- Janssen, B.H., 1984. A simple model for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter in soil. *Plant and Soil* 65:297-304.
- Jenkinson, D.S. & J.H. Rayner, 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science* 123:298-305.
- Van Faassen, H. G. & G. Lebbink, 1994. Organic matter and nitrogen dynamics in conventional versus integrated arable farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 51:209-226.
- Hénin, S. & M. Dupuis, 1945. Essai de bilan de la matière organique du sol. *Annales Agronomiques* 15(1), 161-172.
- Handboek Bodem & Bemesting. On-line beschikbaar op www.handboekbodemenbemesting.nl, 29 maart 2019.
- Wadman, W.P. & S. De Haan, 1997. Decomposition of organic matter from 36 soils in a long-term pot experiment. *Plant and Soil* 189:289-301.
- Yang, H.S., 1996. Modelling organic matter mineralisation and exploring options for organic matter management in arable farming in northern China. Ph.D thesis, Wageningen Universiteit.
- Zwart, K., Kikkert, A, Wolfs, A, Termorshuizen, A, & G.J. van der Burgt, 2013. Sturen van de N-mineralisatie met kennis over organische stof. Masterplan Mineralen Management, Productschap Akkerbouw, Zoetermeer.

Bijlage 1 Teeltgegevens systeempoeven.

Vredepeel

De teeltgegevens voor de zes percelen (Tabel 9) van het biologisch experiment op Vredepeel zijn afkomstig uit De Haan et al. (2018).

Tabel 9 Rotatie en aanvoer van organisch materiaal in zes percelen op Vredepeel.

Jaar	Perceel	Gewas	bijproduct	EOS-aanvoer groenbemester kg EOS/ha	mest
2003	32.1b	6. Korrelmais	4713	0	2415
2003	32.2a	2. Zomergerst	1310	952	676
2003	33.1a	5. Suikerbiet	633	238	4897
2003	33.2b	3. Waspeen	839	0	4221
2003	34.1a	1. Aardappel	557	454	2174
2003	34.2b	4. Conservenerwt	891	0	966
2003	34.2b	4. Stamslaboon	291	238	
2004	32.1b	Aardappel	950	0	1764
2004	32.2a	Korrelmaïs	2307	0	3617
2004	33.1a	Korrelmaïs	2307	0	1544
2004	33.2b	Zomergerst	1310	0	617
2004	34.1a	Zomergerst	1310	0	617
2004	34.2b	Suikerbiet	814	0	4588
2005	32.1b	Broccoli	892	2850	4522
2005	32.2a	Suikerbiet	644	0	4298
2005	33.1a	Zomergerst	1310	466	1344
2005	33.2b	Boshaag jr1	125	0	2730
2005	34.1a	Luzerne	1000	0	2730
2005	34.2b	Aardappel	950	0	3850
2006	32.1b	Zomergerst	1310	859	952
2006	32.2a	Astilbe	737	0	2168
2006	33.1a	Aardappel	1439	293	3595
2006	33.2b	Boshaag jr2	230	0	5
2006	34.1a	Prei	105	415	6
2006	34.2b	Luzerne	1000	0	0
2007	32.1b	Boshaag jr1	125	0	2603
2007	32.2a	Zomergerst	1310	859	1260
2007	33.1a	Luzerne	1000	0	0
2007	33.2b	Aardappel	1556	0	4004
2007	34.1a	Broccoli	751	1455	1526
2007	34.2b	Prei	105	317	15
2008	32.1b	Boshaag jr2	230	0	7
2008	32.2a	Aardappel	820	0	3472
2008	33.1a	Prei	105	496	0
2008	33.2b	Luzerne	1000	0	0
2008	34.1a	Broccoli	787	1733	1203
2008	34.2b	Korrelmaïs	1126	0	3472
2009	32.1b	Aardappel	404	0	4151
2009	32.2a	Luzerne	700	0	0
2009	33.1a	Korrelmaïs	1466	0	4008
2009	33.2b	Prei	105	1182	6
2009	34.1a	Zomergerst	1310	652	1036
2009	34.2b	Broccoli	717	652	1565
2010	32.1b	Luzerne	1310	0	0
2010	32.2a	Prei	105	346	8
2010	33.1a	Prei	105	0	2768

2010	33.2b	Snijmaïs	615	0	3835
2010	34.1a	Aardappel	820	0	2934
2010	34.2b	Zomergerst	1310	1092	1133
2011	32.1b	Prei	105	0	1321
2011	32.2a	Zomergerst	1310	1086	1313
2011	33.1a	Snijmaïs	615	0	3205
2011	33.2b	Peen	175	0	1050
2011	34.1a	Conservenerwt	140	783	525
2011	34.2b	Aardappel	235	998	3959
2012	32.1b	Zomergerst	1310	1049	1120
2012	32.2a	Peen	595	0	1120
2012	33.1a	Aardappel	457	1201	2419
2012	33.2b	Snijmaïs	615	0	2419
2012	34.1a	Prei	105	0	1132
2012	34.2b	Conservenerwt	1047	527	448
2013	32.1b	Peen	653	0	1075
2013	32.2a	Snijmaïs	615	0	3630
2013	33.1a	Conservenerwt	804	654	664
2013	33.2b	Aardappel	585	301	3661
2013	34.1a	Zomergerst	1310	295	1383
2013	34.2b	Prei	105	0	1132
2014	32.1b	Snijmaïs	615	0	4690
2014	32.2a	Aardappel	335	558	4900
2014	33.1a	Prei	105	0	1589
2014	33.2b	Conservenerwt	887	749	532
2014	34.1a	Peen	521	0	1120
2014	34.2b	Zomergerst	1310	558	1064
2015	32.1b	Aardappel	235	217	3969
2015	32.2a	Conservenerwt	722	1076	672

De teeltgegevens van de twee percelen op de Lovinkhoeve (Tabel 10) zijn afkomstig uit Van Faassen & Lebbink (1994) en aangevuld met een omrekening van de C-input naar effectieve organische stof op basis van de defaultwaarden uit het Handboek Bemesting.

Tabel 10 Rotatie en aanvoer van organisch materiaal in twee percelen A en B van de Lovinkhoeve.

Jaar	Perceel	Gewas	C-input	C-input	e.o.s. input
			kg C/ha	kg C/ha	voorgaande jaar kg eos/ha
1985	CONVA	winterwheat/greenmanure	1160	350	171
1985	CONVB	winterwheat/greenmanure	1160	350	171
1985	INTA	winterwheat/compost	3600	365	178
1985	INTB	winterwheat/compost	3600	365	178
1986	CONVA	sugarbeet	2360	1160	799
1986	CONVB	sugarbeet	2360	1160	799
1986	INTA	sugarbeet	2130	3600	4000
1986	INTB	sugarbeet	2130	3600	4000
1987	CONVA	spring barley	2050	2360	1101
1987	CONVB	spring barley	2050	2360	1101
1987	INTA	spring barley/English rye	2520	2130	994
1987	INTB	spring barley/English rye	2520	2130	994
1988	CONVA	potato	350	2050	1002
1988	CONVB	potato	350	2050	1002
1988	INTA	potato	365	2520	1232
1988	INTB	potato	365	2520	1232
1989	CONVA	winterwheat/greenmanure	1160	350	171
1989	CONVB	winterwheat/greenmanure	1160	350	171
1989	INTA	winterwheat/compost	3600	365	178
1989	INTB	winterwheat/compost	3600	365	178
1990	CONVA	sugarbeet	2360	1160	799
1990	CONVB	sugarbeet	2360	1160	799
1990	INTA	sugarbeet	2130	3600	4000
1990	INTB	sugarbeet	2130	3600	4000
1991	CONVA	spring barley	2050	2360	1101
1991	CONVB	spring barley	2050	2360	1101
1991	INTA	spring barley/English rye	2520	2130	994
1991	INTB	spring barley/English rye	2520	2130	994



Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

