

CENTRUM VOOR AGROBIOLOGISCH ONDERZOEK
WAGENINGEN

METINGEN EN BEREKENINGEN VAN AFBRAAK
VAN ORGANISCHE STOF IN GROND

J. Groenwold en J. Vos

CABO-verslag nr. 54

1984

210 290

<u>INHOUD</u>	<u>Blz.</u>
1. Inleiding	3
2. Materiaal en methoden	3
2.1 Verteringsvaten	3
2.2 Objecten en gegevens over de gebruikte grond en organische materialen	5
2.3 Meting van de koolzuurproduktie	6
2.4 Meting van de redoxpotentiaal	7
3. Resultaten en discussie	7
3.1 Redoxpotentialen	7
3.2 Koolzuurontwikkelingssnelheden	8
3.2.1 Controle-objecten	8
3.2.2 Objecten met organisch materiaal bij 20 °C	9
3.2.3 Objecten met organisch materiaal bij 5 °C	9
3.3 Het verteringsverloop in de tijd	9
3.4 Mathematische beschrijving verteringsverloop	14
3.5 Modelberekeningen over het verloop van de vertering van organische stof in de grond	17
3.5.1 Doel van de modelberekeningen	17
3.5.2 Beschrijving van de simulatie van omzettingen van organisch materiaal	18
3.5.3 Uitkomsten van de simulatie	19
3.5.4 De relatieve zuurstofbehoefte van verteringsprocessen en wortels	21
4. Conclusies	21
5. Samenvatting	22
6. Summary	23
7. Literatuur	25

1. INLEIDING

Uit het vruchtwisselingsonderzoek op de proefboerderij "De Schreef" is gebleken dat de opbrengst van aardappelen afneemt naarmate de teeltfrequentie toeneemt (Hoekstra, 1981). In de driejarige rotaties met tweederde hakvruchten werd een extra grote opbrengstderving geconstateerd bij de teelt van aardappelen na suikerbieten (bouwplan 5b). In dit bouwplan werd onder meer vaker en langer blauwkleuring van de grond aan de onderzijde van de bouwvoor waargenomen (Hoekstra, 1981; Groenwold en Breeuwsma, in voorbereiding). Deze blauwkleuring van de grond is het gevolg van reductie van ferri- tot ferroverbindingen onder invloed van actief microbiologisch leven bij beperkend zuurstofaanbod en bij aanwezigheid van afbreekbaar organisch materiaal. Gereduceerde plaatsen worden door wortels gemeden.

De vraag deed zich voor of deze reductieverschijnselen verklaard konden worden door bijzondere verteringskarakteristieken van ingeploegde bieteresten dan wel door belemmeringen in de zuurstoftoevoer vanwege een minder gunstige bodemstructuur in dit bouwplan. Teneinde enig inzicht te verwerven in dit vraagstuk werd een laboratoriumproef opgezet waarin de relatieve verteringssnelheden van verschillende soorten organisch materiaal met elkaar werden vergeleken. De uitkomsten staan vermeld in dit verslag. Tevens wordt aandacht besteed aan de mathematische beschrijving van de afbraak van organische stoffen. Er werd een eenvoudig simulatiemodel opgesteld waarmee de afbraaksnelheden per dag van vers en ouder organisch materiaal gedurende een jaar werden berekend.

2. MATERIAAL EN METHODEN

2.1 Verteringsvaten

De proef werd uitgevoerd door grond, afkomstig van "De Schreef", al dan niet onder toevoeging van organische materialen in afgesloten verteringsvaten te brengen en de koolzuurproductie te meten. De verteringsvaten waren vervaardigd uit PVC-pijp met een inwendige diameter van 15 cm. De totale lengte van de vaten was 60 cm (circa 10,5 liter inhoud). De vaten bestonden uit twee helften. In de onderste helft bevond zich de grond met een drooggewicht van 4,7 kg en een volume van circa 4,8 liter (circa 1 g grond per cm³). De bovenhelft van het vat diende als zuurstofreservoir en voor opslag van de ontwikkelde koolzuur. Met intervallen, variërend van dagen tot weken, werden de vaten gespoeld met koolzuurvrije lucht en

Tabel 1. Beschrijving van de objecten
Table 1. Description of the treatments

Code ^{a)}	Omschrijving
C-V1-20	controle, geen toevoeging van organisch materiaal, 2 herh. ^{b)}
C-V2-20	controle, hoger grondvochtgehalte, 2 herhalingen
B-1-V1-20	bietebblad en -koppen, geconcentreerd in een laag op circa 22 cm diepte, 2 herhalingen
B-g-V1-20	bietebblad en -koppen geheel door de grond gemengd, 1 herh.
G-1-V1-20	grasgroenbemester, geconcentreerd in een laag op circa 22 cm diepte, 2 herhalingen
G-g-V1-20	grasgroenbemester, geheel door de grond gemengd, 1 herhaling
S-1-V1-20	stro (tarwe), geconcentreerd in een laag op circa 22 cm diepte, 1 herhaling
B+S-1-V1-20	mengsel van bietebblad en -koppen plus stro, geconcentreerd in een laag op circa 22 cm diepte, 1 herhaling
G+S-1-V1-20	mengsel van grasgroenbemester plus stro, geconcentreerd in een laag op 20 cm diepte, 1 herhaling
B-1-V2-20	bietebblad en -koppen, geconcentreerd in een laag op circa 22 cm diepte, 1 herhaling, hoger vochtgehalte
G-1-V2-20	grasgroenbemester, geconcentreerd in een laag op circa 22 cm diepte, 1 herhaling, hoger vochtgehalte
B-1-V1-5	bietebblad en -koppen, geconcentreerd in een laag op circa 22 cm diepte, 1 herhaling, lagere temperatuur
G-1-V1-5	grasgroenbemester, geconcentreerd in een laag op circa 22 cm diepte, 1 herhaling, lagere temperatuur

a) C = control treatment, soil without addition of organic matter

B = sugar beet leaves and crowns

G = grass green manure

S = straw (wheat)

1 = organic materials concentrated in a layer at circa 22 cm depth

g = organic materials thoroughly mixed through the soil

V1 = soil moisture content 22.5% (dry weight basis)

V2 = soil moisture content 34% (dry weight basis)

20 = treatment at 20 °C throughout the experiment

5 = treatment at 5 °C throughout the experiment

b) halverwege de proef is een herhaling overgebracht naar 5 °C

werd de geproduceerde koolzuur opgevangen. In de grond werd op 22 cm diepte een platina redoxelektrode aangebracht; dit was op de diepte waar het organische materiaal zich bevond.

2.2 Objecten en gegevens over de gebruikte grond en organische materialen

Tabel 1 bevat een overzicht van de in de proef opgenomen objecten. De belangrijkste objecten werden in duplo uitgevoerd. Het concentreren van het materiaal in een laag werd toegepast omdat dit in de praktijk bij het inploegen feitelijk ook gebeurt. Er werden ook objecten opgenomen waarbij het materiaal volledig door de grond werd gemengd om te zien of dit een ander verteringsverloop zou opleveren. Mengsels van stro met gras of bieteresten werden om twee redenen in de proef opgenomen. Ten eerste verandert daarmee de C/N-verhouding en ten tweede zou daarmee voorkomen kunnen worden dat de bieteresten een dichte papperige laag zouden gaan vormen. De keuze van 20 °C als standaardtemperatuur werd ingegeven door de praktische mogelijkheden; een temperatuur van 15 °C was wenselijker geweest. De waarnemingen bij 5 °C werden verricht om enig inzicht te verkrijgen in de invloed van de temperatuur op de omzettingssnelheid. De vochttrappen dienden eveneens om de factor vocht enigszins te kunnen bestuderen.

Bij de 20 °C objecten was de proefduur 193 dagen; bij de 5 °C objecten werden de laatste metingen na 245 dagen verricht. De startdatum was 11 december 1981.

De gebruikte grond is afkomstig uit de bouwvoor. Bij aanvang van de proef waren de in tabel 2 vermelde karakteristieken daarvan bekend.

Tabel 2. Karakteristieken van de gebruikte zeekleigrond

Table 2. Characteristics of the marine clay used in the experiment

% lutum (<i>silt</i>)	: ca 30	org. C mg g ⁻¹ grond (<i>soil</i>):	22
% CaCO ₃	: ca 10	N-NO ₃ µg g ⁻¹ grond	: 17
pH-KCl	: 7,6	N-totaal mg g ⁻¹ grond	: 2,1
% humus (<i>org. matter</i>)	: 3,75		

Uit de gegevens in tabel 2 kan worden afgeleid dat de hoeveelheid organische koolstof 102 g per verteringsvat bedroeg (oudere organische materialen bestaan voor 58% uit koolstof).

De gebruikte hoeveelheden van de organische materialen en de uitkomsten van enige chemische analyses staan vermeld in tabel 3.

Tabel 3. Toegevoegde hoeveelheden organisch materiaal en uitkomsten van chemische analyses

Table 3. Additions of organic materials and results of chemical analyses

Parameter	Organisch materiaal		
	Bietebblad en -koppen (B)	Grasgroen- bemester (G)	Stro (S)
toevoeging in (<i>addition rate</i>)			
- g pot ⁻¹ vers (<i>fresh</i>)	60,4	59,8	10,6
- t ha ⁻¹ vers	34	34	6
- g pot ⁻¹ droog (<i>dry</i>)	9	8,9	9
- t ha ⁻¹ droog	5	5	5,1
gehalte aan (<i>content of</i>)			
- org. C mg g ⁻¹	402	425	433
- suiker (<i>sugar</i>) mg g ⁻¹	368	143	0,0
- N-totaal mg g ⁻¹	23	29	5,1
C/N ratio	17,5	14,6	85

2.3 Meting van de koolzuurproductie

De geproduceerde koolzuur werd uit het systeem verwijderd door de vaten te spoelen met koolzuurvrije lucht. De uitgaande luchtstroom werd door twee in serie geschakelde 250 ml wasflesjes geleid, die een bariumhydroxide oplossing bevatten. De afname van de geleidbaarheid van de oplossing, gemeten met een WTW-model LF39 geleidbaarheidsmeter, is evenredig aan de hoeveelheid neergeslagen bariumcarbonaat. Met behulp van een calibratiecurve kan de hoeveelheid

geproduceerde koolzuur berekend worden. De calibratiecurve werd gemaakt door bekende hoeveelheden koolzuur op te lossen in 250 ml bariumhydroxide oplossingen. De volgende ijklijn werd verkregen:

$$y = 30,76 x - 1,33$$

waarbij y = het aantal mg CO_2 in 250 ml $\text{Ba}(\text{OH})_2$ oplossing

x = afname van de geleidbaarheid (*conductivity*) van de oplossing in mS cm^{-1} .

Het verband was praktisch rechtlijnig over het traject van nul tot meer dan 14 mS cm^{-1} .

2.4 Meting van de redoxpotentiaal

De redoxpotentialen werden bepaald met een Philips PW 9418 pH/mV meter tegen een calomelelektrode ($E_o = 245 \text{ mV}$). De meetwaarden werden omgerekend tot E_h -waarden (ten opzichte van een waterstofelektrode).

De redoxpotentiaal (E_h) werd berekend uit:

$$E_h = E_{\text{gemeten}} + 245 \text{ (mV)}$$

3. RESULTATEN EN DISCUSSIE

3.1 Redoxpotentialen

De gemeten redoxpotentialen (E_h) staan in tabel 4. De redoxpotentialen van alle objecten met een grondvochtgehalte van 22,5% (V1) lagen altijd in de orde van 400 tot 600 mV. Bij de V2-objecten (34% vocht) lagen de E_h waarden duidelijk lager. Bij het V2 controle object varieerden de waarden in de loop van de tijd tussen 170 en 320 mV. Bij object G-1-V2-20 (in een laag geconcentreerd gras) was de redoxpotentiaal aanvankelijk 290 mV. Gedurende de meetperiode van 112 dagen daalde de E_h echter geleidelijk tot 125 mV. In het vergelijkbare bietenobject (B-1-V2-20) liep de E_h gedurende de eerste vier weken sterker terug tot waarden van -80 mV, daarna trad er een stijging op tot 105 mV na 112 dagen,

Volgens Rowell (1981) kunnen aërobe omstandigheden worden gekarakteriseerd met E_h -waarden tussen 400 en 600 mV. Bij anaërobe omstandigheden ligt de E_h veelal tussen 200 en -400 mV. Dit zou betekenen dat de vertering bij alle V1-objecten aëroob is geschied en bij de V2-objecten anaëroob. Ook andere gegevens wijzen in die richting. Zo vonden Turner en Patrick (1968) dat het punt van zuurstof-uitputting overeenkwam met E_h -waarden van 300 tot 350 mV (gecorrigeerd voor pH 7).

Volgens genoemde auteurs treedt ijzerreductie op bij E_h -waarden (pH 7) kleiner dan ongeveer 150 mV. Mangaan en nitraat zijn dan al geheel of grotendeels gereduceerd.

Tabel 4. Redoxpotentialen (E_h) van de verschillende objecten in de tijd
Table 4. Redoxpotentials (E_h) of the various treatments with time

Objectcode <i>Treatment code</i>	Redoxpotentiaal E_h (mV) na .. dagen <i>Redoxpotentials E_h (mV) after .. days</i>				
	14	28	35	70	112
C-V1-20	500	570	590	590	590
B-1-V1-20	480	545	575	545	620
B-g-V1-20	540	510	550	550	570
G-1-V1-20	435	490	490	485	465
G-g-V1-20	530	490	570	550	540
S-1-V1-20	470	460	460	440	430
B+S-1-V1-20	510	410	390	400	390
G+S-1-V1-20	430	550	555	510	500
C-V2-20	170	240	320	250	210
B-1-V2-20	-25	-80	5	75	105
G-1-V2-20	290	190	180	165	125

3.2 Koolzuurontwikkelingssnelheden

3.2.1 Controle-objecten

In de controle-objecten was de ontwikkelingssnelheid van koolzuur gedurende de gehele proefperiode betrekkelijk stabiel. Bij de V1-20 objecten lag de productie op 7,8 mg C (koolstof!) per vat per dag. Dit komt overeen met $1,7 \mu\text{g C g}^{-1}$ droge grond dag^{-1} (dit is gelijk aan $6,2 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ droge grond dag^{-1}). Omgerekend op jaarbasis betekent dit een afbraakconstante van $0,028 \text{ jaar}^{-1}$ (2,8% afbraak per jaar) bij 20 °C. In de eerste week waren de snelheden ongeveer 30% lager. Het verschil tussen de beide herhalingen bedroeg 8 tot 9%.

Halverwege de proefperiode werd er één V1-controle object overgebracht van 20 °C naar 5 °C. Bij 5 °C bedroeg de C-ontwikkelingssnelheid 1,6 mg C vat⁻¹ dag⁻¹ (0,34 µg C g⁻¹ droge grond d⁻¹).

De V2-controle objecten (natter) hadden een gemiddelde C-produktiesnelheid van 11 mg C vat⁻¹ dag⁻¹, overeenkomend met 2,3 µg C g⁻¹ droge grond dag⁻¹. Het verschil tussen beide herhalingen bedroeg 7 tot 9%.

3.2.2 Objecten met organisch materiaal bij 20 °C

Vanaf het begin van de proef namen de koolzuurontwikkelingssnelheden eerst gedurende korte tijd toe en daarna voortdurend af. Bij de objecten met bieteresten werd het maximum binnen een week bereikt, bij de grasobjecten tussen een en twee weken en bij stro tussen twee en vier weken na aanvang van de proef. Bij bieteresten en gras waren de hoogste snelheden 11 tot 16 maal zo groot als die van de controle objecten op dat moment. Uitgedrukt in afbraakconstanten (zie sectie 3.4) waren de maxima voor de objecten G-1-V1-20 en B-1-V1-20 respectievelijk 0,022 dag⁻¹ en 0,026 dag⁻¹. Na 9 weken werden snelheden bereikt die slechts 2 tot 3 maal zo groot waren als van de controles. Bij het afsluiten van de proef na 193 dagen waren de snelheden in de objecten met bieteresten en gras 1,0 tot 1,3 maal zo groot als van de controles, voor stro lag dit verhoudingsgetal op 1,4.

Bij de nattere grond lag het maximum van de omzettingssnelheid alleen bij bieteresten duidelijk hoger. Het maximum van de afbraakconstante bedroeg in dit object (B-1-V2-20) 0,035 dag⁻¹.

3.2.3 Objecten met organisch materiaal bij 5 °C

In het object met bieteresten bij 5 °C (B-1-V1-5) werd de hoogste snelheid in de 4e tot 5e week bereikt. Het maximum was 0,25 maal zo groot als het maximum in het vergelijkbare object bij 20 °C. Vanaf de 7e week begon de snelheid af te nemen; de eindwaarde was 1,4 maal zo groot als van de controle en 0,5 maal zo groot als de eindwaarde van het vergelijkbare object bij 20 °C. Voor het grasobject bij 5 °C werden vergelijkbare cijfers gevonden.

3.3 Het verteringsverloop in de tijd

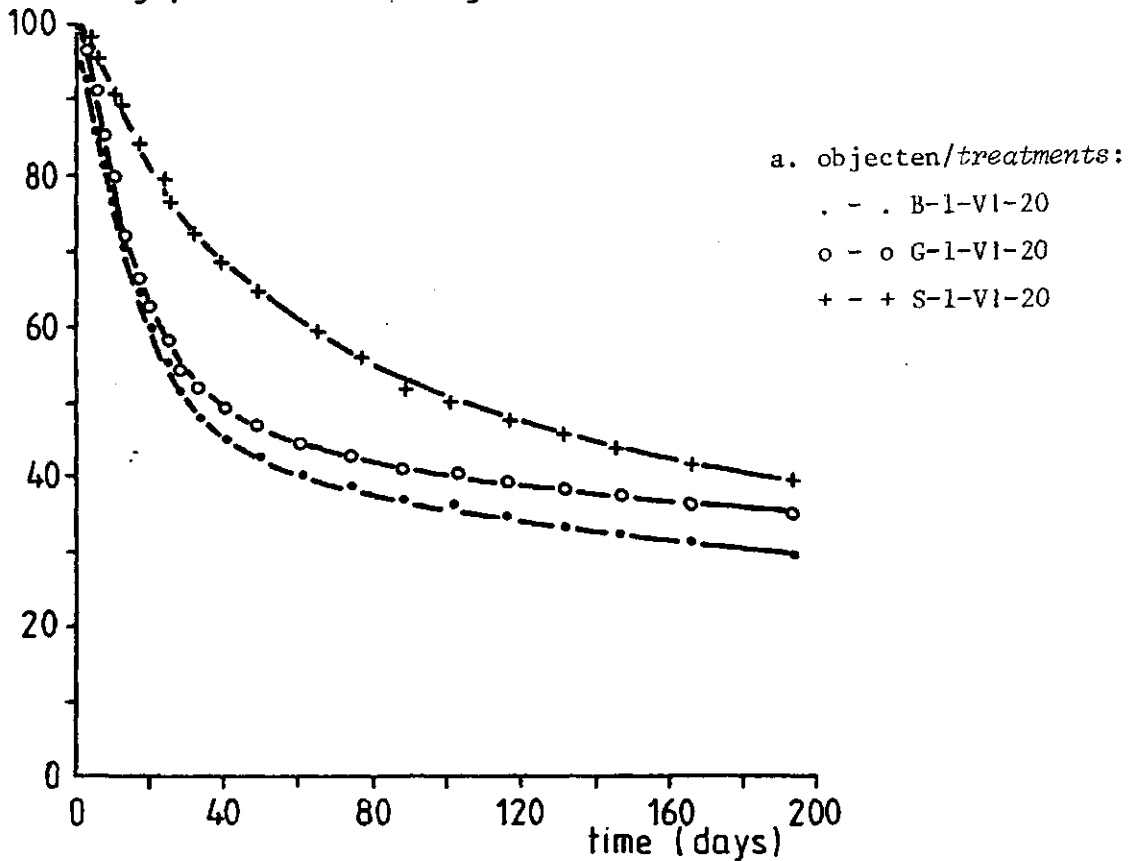
De bij de omzetting van organische materialen vrijkomende C werd gelijkgesteld aan het verschil in C-ontwikkeling tussen vaten met en zonder toevoeging van organisch materiaal. Tevens was bekend hoeveel organische C aanvankelijk was toegevoegd in de verschillende objecten. Uit deze gegevens kan

berekend worden welk percentage van de oorspronkelijk toegevoegde hoeveelheid C op ieder moment nog in het systeem aanwezig is. Dit verloop wordt voor de belangrijkste objecten in de figuren 1 a-d in beeld gebracht. Deze figuren tonen dat de omzettingen van bieteresten en gras snel verliepen gedurende de eerste 30 dagen bij 20 °C. Reeds na 30 dagen is circa de helft van de toegevoegde C uit het systeem ontweken. De vertering van stro verliep duidelijk langzamer; hier was na 30 dagen slechts 25% van de toegevoegde C vrijgekomen. Het tragere verloop van de omzettingen bij 5 °C wordt in figuur 1d duidelijk gedemonstreerd. In deze objecten bleef gedurende de gehele proefperiode meer dan 50% van de oorspronkelijk toegevoegde C in het systeem aanwezig.

De aan het einde van de proefperiode nog resterende percentages van de aanvankelijk toegevoegde hoeveelheden organische C staan vermeld in tabel 5. Bij 20 °C was er, afhankelijk van het soort organische materiaal en het vochtgehalte van de grond, nog 25 tot 39% van de oorspronkelijk toegevoegde C nog in de ene of andere vorm in het systeem aanwezig. Het percentage resterende C was bij bieteresten iets lager dan bij gras; stro werd het minst omgezet. Bij nattere grond (V2-objecten) werd 5% meer omgezet tot koolzuur.

Het concentreren in een laag van het organische materiaal of het volledig door de grond mengen ervan leidde niet tot verschillen in het verloop van de omzettingen (tabel 5). Het mengen van bieteresten of gras met stro gaf geen bijzondere effecten. De curven voor de mengsels liggen over het grootste deel van het traject tussen die van de afzonderlijke componenten in (fig. 1a-c), maar de uiteindelijk overgebleven fractie C lag op het niveau van stro (tabel 5).

remaining part of added organic carbon (%)



remaining part of added organic carbon (%)

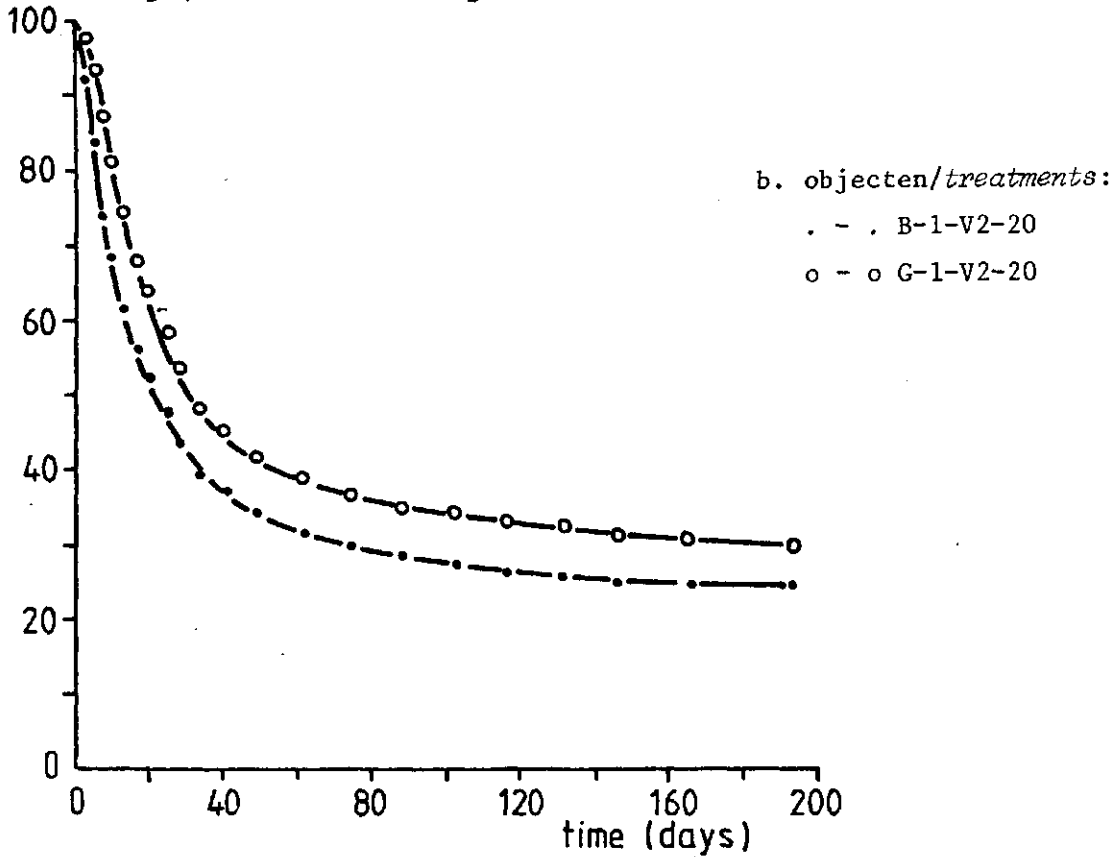
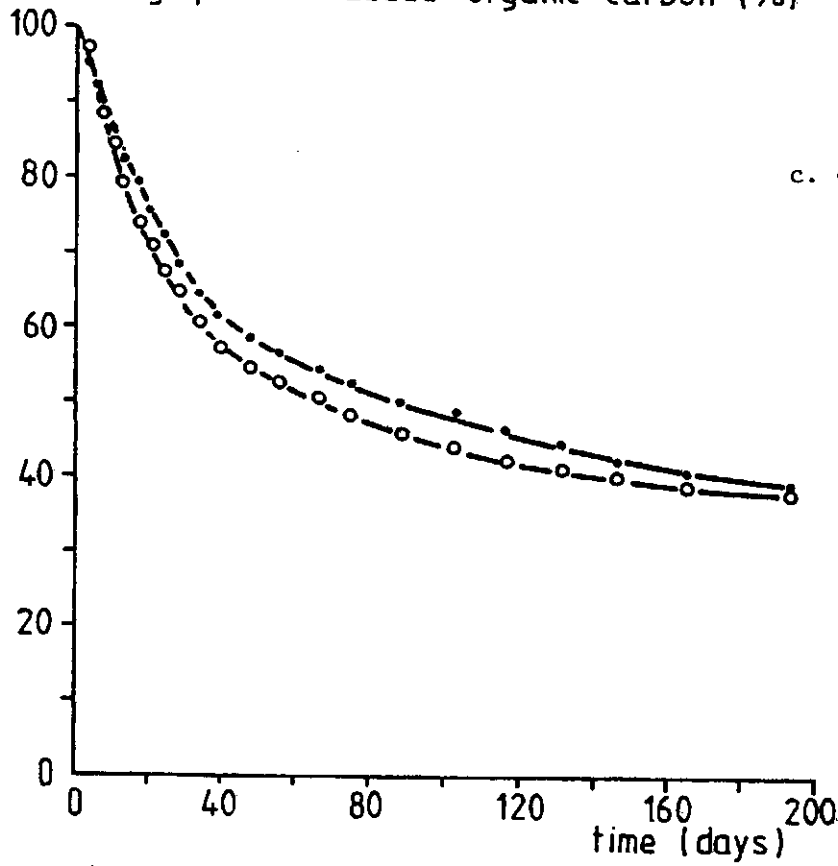


Fig. 1 a-d. Het verloop in de tijd (dagen) van de hoeveelheid nog in het systeem verblijvende organische koolstof, uitgedrukt als percentage van de aanvankelijk toegevoegde hoeveelheid.

Fig. 1 a-d. Time courses of the amount of organic carbon remaining in the system expressed in per cent of the quantity added initially.

remaining part of added organic carbon (%)

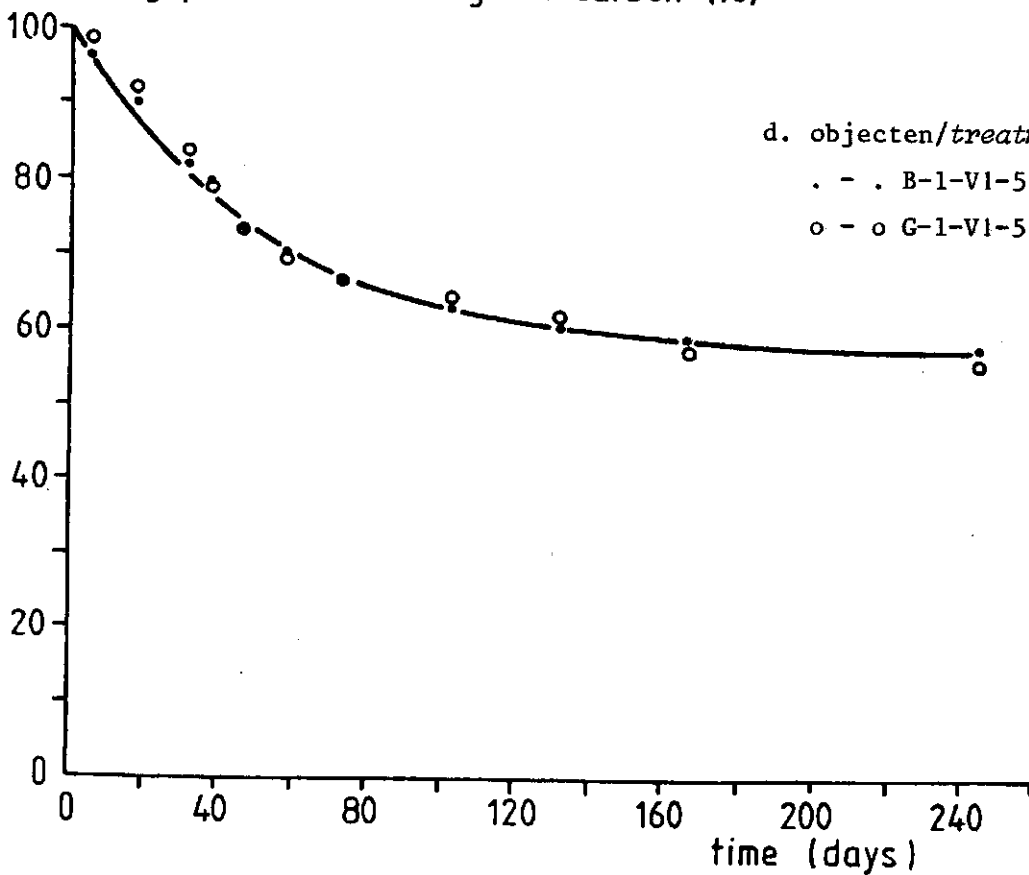


c. objecten/treatments:

. - . B+S-1-V1-20

o - o G+S-1-V1-20

remaining part of added organic carbon (%)



d. objecten/treatments:

. - . B-1-V1-5

o - o G-1-V1-5

Fig. 1. vervolg/continued

Tabel 5. De aan het einde van de proefperiode nog in het systeem aanwezige C als percentage van de aanvankelijk toegevoegde hoeveelheid

Table 5. Remaining C at the end of the experiment in per cent of the initially added quantity

Object code <i>Treatment code</i>	Proef duur <i>Time since start</i> (d)	Resterende C <i>Remaining C</i> (%)
S-1-V1-20	193	38,9
B-1-V1-20	193	29,5
B-g-V1-20	193	31,8
G-1-V1-20	193	34,9
G-g-V1-20	193	33,5
B+S-1-V1-20	193	38,4
G+S-1-V1-20	193	37,2
B-1-V2-20	193	24,5
G-1-V2-20	193	29,5
B-1-V1-5	193	57,8
B-1-V1-5	245	57,6
G-1-V1-5	193	56,0
G-1-V1-5	245	55,1

Uit de tot nu gepresenteerde cijfers kan worden afgeleid dat de vertering van bietebled en -koppen niet wezenlijk verschilt van die van grasgroenbemester. Dit zou een indicatie kunnen zijn dat aëratieproblemen na het inploegen van bieteresten in bouwplan 5b op De Schreef veeleer aan beperkingen in zuurstoftoevoer dan aan de verteringskarakteristiek van het organische materiaal moeten worden toegeschreven.

De in deze proef gevonden omzettingssnelheden en patronen komen goed overeen met literatuurgegevens (Kortleven, 1963; Van Schreven, 1964; Kolenbrander, 1969; Jenkinson, 1977).

3.4 Mathematische beschrijving verteringsverloop

Voor een mathematische beschrijving van het verloop van de vertering van organische bestanddelen in de bodem wordt algemeen uitgegaan van de volgende veronderstellingen (Van Veen & Paul, 1981):

- de afbraaksnelheid is rechtevenredig met de hoeveelheid (of het percentage) organisch materiaal
- de snelheidsconstante is onafhankelijk van de hoeveelheid materiaal (substraat)
- impliciet wordt aangenomen dat de hoeveelheid actieve micro-organismen nooit snelheidbeperkend is.

De volgende formule brengt deze veronderstellingen tot uitdrukking:

$$V = - \frac{dC}{dt} = kC \quad (1)$$

waarbij V = afbraak snelheid (hoeveelheid/tijd)

C = de hoeveelheid substraat (op tijdstip t = t)

t = tijd

k = snelheidsconstante (1/tijd)

In geïntegreerde vorm komt dit overeen met:

$$C = C_0 e^{-kt} \quad (2)$$

waarbij C_0 = de hoeveelheid substraat op tijdstip t = 0

De vraag doet zich voor of de huidige gegevens voldoen aan vergelijking (2). Indien dit het geval is dient er een rechte te ontstaan wanneer men het percentage nog resterende C op half logaritmisch papier uitzet tegen de tijd. Een alternatieve benadering is de volgende, waarbij vergelijking (2) eerst gelineariseerd wordt door van beide leden de natuurlijke logaritme te nemen. Dan ontstaat:

$$\ln C = \ln C_0 - kt \quad (3)$$

hetgeen overeenkomt met de grondvorm:

$$y = a - bx$$

In figuur 2 zijn derhalve de natuurlijke logaritmen van de percentages nog resterende koolstof weergegeven als functies van de tijd. De gegevens betreffen twee objecten, namelijk B-1-V1-20 (in een laag geconcentreerde bietebblad en -koppen bij vochtgehalte V1 en 20 °C) en S-L-V1-20 (in een laag geconcentreerd tarwestro bij vochtgehalte V1 en 20 °C).

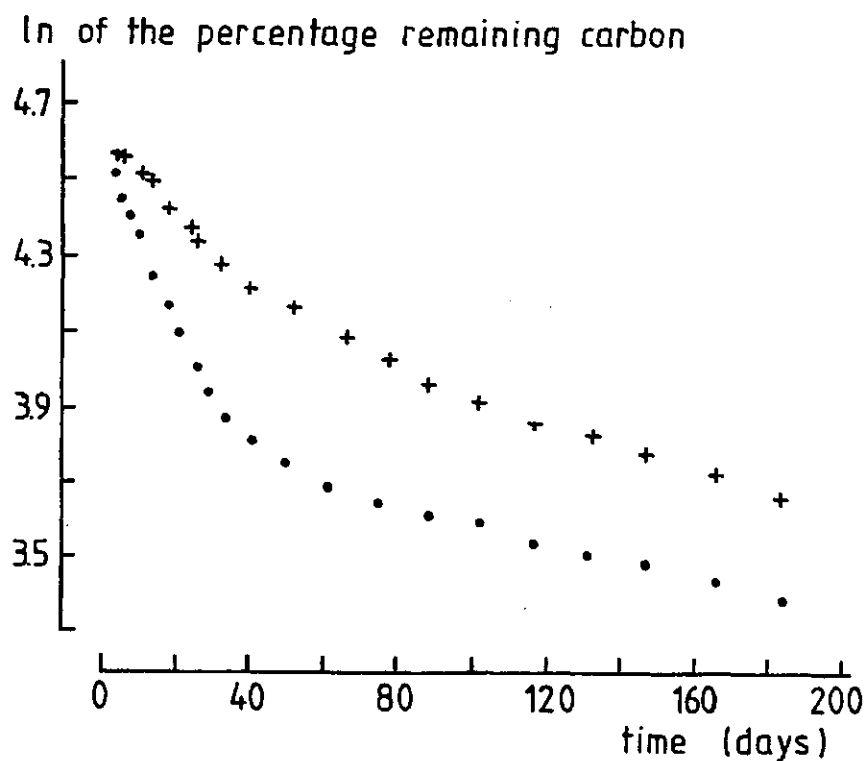


Fig. 2. Het verloop in de tijd in dagen van de natuurlijke logaritme van de in het systeem verblijvende hoeveelheid organische koolstof in procenten van de aanvankelijk toegevoegde hoeveelheid.

Fig. 2. Time course of the natural logarithm of the amount of organic carbon remaining in the system in per cent of the initial amount.

Objecten/treatments: +++ : S-1-V1-20 (stro/*straw*),

... : B-1-V1-20 (bietesteren/*sugar beet material*)

Figuur 2 toont dat het verteringsverloop niet zonder meer met vergelijking (2) beschreven kan worden, immers de lijnen lopen niet recht over het gehele traject van meting. In beide gevallen lijkt de curve te zijn opgebouwd uit tenminste twee rechten met verschillende hellingshoeken. De volgende overwegingen (Van Veen & Paul, 1981) kunnen dit verklaren:

- het percentage substraat-C dat nog in de oorspronkelijke vorm aanwezig is, is kleiner dan het percentage nog resterende C zoals dat uit de CO_2 -ontwijking is afgeleid. Immers, de micro-organismen zullen minstens de helft van de substraat-C omvormen tot lichaamseigen bestanddelen. Overigens vormen deze bestanddelen het substraat voor een volgende cyclus van afbraak en omzetting wanneer het betreffende micro-organisme aan het einde van zijn bestaan is gekomen.

- de in deze proef gebruikte organische stoffen bestaan uit meerdere bestanddelen met verschillende snelheidsconstante voor afbraak (k).

Vandaar dat de curves in figuur 2 opgebouwd lijken te zijn uit een aantal stukken rechte.

Volgens van Veen (Van Veen & Paul, 1981) kunnen oogstresten worden verdeeld in drie categorieën met afnemende k-waarde, namelijk eiwitten plus oplosbare stoffen, cellulose plus hemicellulose en lignineachtige bestanddelen. Daarnaast worden deze specifieke k-waarden gemodificeerd door de vochttoestand en de temperatuur van de grond. Bij 20 °C zou de snelheid een factor 6,7 groter zijn dan bij 5 °C. Het onderstaande staatje geeft het aantal dagen aan waarin bij deze temperaturen een viertal nog resterende C-percentages werd bereikt voor bieten en gras:

% nog resterende C <i>% remaining C</i>	tijdsduur in dagen <i>time lapse in days</i>		snelheidsverhouding <i>rate-ratio</i> 20 °C : 5 °C
	5 °C	20 °C	
75%	45	11	4,1
70%	60	13	4,6
65%	84	16	5,3
60%	130	20	6,5

Uit deze berekeningen volgt dat zeker aanvankelijk de verhouding tussen de afbraaksnelheden nauwer is dan door van Veen en Paul (1981) wordt aangegeven.

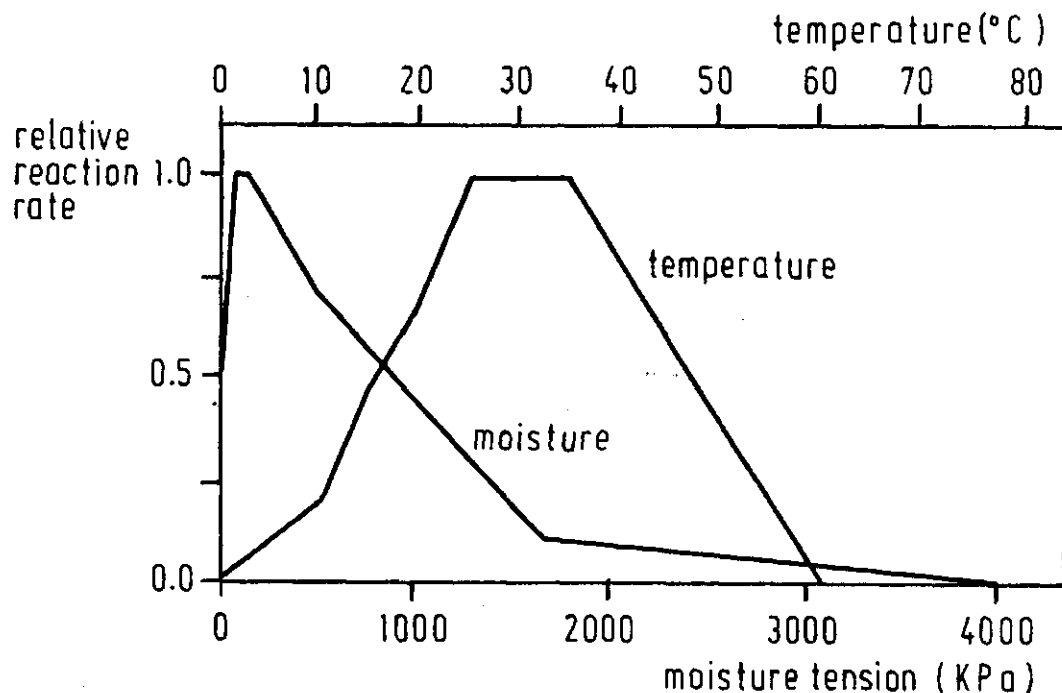


Fig. 3. De relatieve reactiesnelheden voor de afbraak van organische stoffen in afhankelijkheid van de vochtspanning in en de temperatuur van de grond.

Overgenomen uit van Veen en Paul (1981).

Fig. 3. Relative reaction rates for organic matter decomposition at various moisture stresses and temperatures. Data taken from van Veen and Paul (1981).

Een soortgelijke verificatie van de door deze auteurs beschreven modificerende invloed van de vochttoestand van de grond kan niet gegeven worden aangezien in de huidige proef geen zuigspanningen van de grond zijn bepaald.

3.5 Modelberekeningen over het verloop van de vertering van organische stof in de grond

3.5.1 Doel van de modelberekeningen

Inzicht in het verloop van de omzetting van verse organische materialen in de grond is om meerdere redenen van belang. Daarvan kunnen genoemd worden fixatie en mineralisatie van stikstof gedurende het seizoen. In het kader van het aëratieprobleem op De Schreef is het interessant te weten wanneer in het seizoen de omzettingssnelheid groot en dus de zuurstofbehoefte van de grond groot is. Bij wijze van verkenning werd daarom een eenvoudig simulatiemodel opgesteld waarmee de

omzettingssnelheid van verse en oudere organische stof gedurende een seizoen kan worden geschetst.

3.5.2 Beschrijving van de simulatie van omzettingen van organisch materiaal

Bij berekeningen over de omzettingen van organische materialen in de grond is het noodzakelijk gebleken de eigenschappen van het materiaal in aanmerking te nemen. Met andere woorden op de ene of andere wijze moeten categorieën worden gemaakt met specifieke afbraakconstanten (Kortleven, 1963; Kolenbrander, 1969, 1970; Jenkinson en Rayner, 1977; van Veen en Paul, 1981; B.H. Janssen, Landbouwhogeschool Wageningen, pers. meded., 1982).

Basisgegevens om de verse en oudere organische stof op te delen in categorieën ontbraken. Daarom is in de simulatie een andere empirische benadering gekozen. Het verteringsverloop bleek in de huidige proef niet eenvoudig met een eerste orde snelheidsvergelijking te kunnen worden beschreven. Bij wijze van benadering kan echter uit figuur 2 worden afgeleid dat zo'n snelheidsvergelijking wel kan worden toegepast wanneer k gelijkgesteld wordt aan $0,019 \text{ dag}^{-1}$ wanneer er meer dan 47% van de oorspronkelijk toegevoegde organische C zich nog in het systeem bevindt. Evenzo voldoet een k -waarde van $0,0021 \text{ dag}^{-1}$ wanneer er minder dan 38% van de oorspronkelijke hoeveelheid C over is. Deze waarden zijn in de simulatie gebruikt. Verder werd aangenomen dat de k -waarde lineair afnam in het gebied tussen 47 en 38% C. De genoemde waarden hebben betrekking op een temperatuur van $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Bij berekeningen over de lange termijn (jaren) worden per locatie de effecten van temperatuur en vochtgehalte van de grond op de verteringssnelheid wellicht grotendeels weggemiddeld, maar voor de korte termijn (1 jaar of minder) zijn ze van belang. In het model is de temperatuurafhankelijkheid opgenomen zoals die is beschreven door van Veen & Paul (1981). Deze gegevens zijn gereproduceerd in figuur 3. Wegens gebrek aan gegevens is de modificerende invloed van de vochtspanning in de grond in de simulatie buiten beschouwing gebleven.

In het model zijn de maandgemiddelden van de bodentemperatuur op 20 cm diepte over vier seizoenen, gemeten te Swifterbant, ingevoerd. Voorts is aangenomen dat de grond 3% oudere organische stof bevat. Aan deze fractie is een k -waarde toegekend van $0,000134 \text{ dag}^{-1}$ (bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$) (Kortleven, 1963). Met de simulatie werd de omzettingssnelheid van organisch materiaal per dag berekend, aannemende dat er op 1 november vers organisch materiaal (in casu bietblad en -koppen) met een drooggewicht van 6 ton ha^{-1} wordt ondergeploegd.

3.5.3 Uitkomsten van de simulatie

De berekende omzettingssnelheden per dag zijn voor een jaar weergegeven in figuur 4. De bovenste lijn geeft de omzettingssnelheid van alle organische materialen weer (som van verse en oudere materialen). De onderste lijn heeft betrekking op oudere materialen afzonderlijk. Het enigszins springende verloop wordt veroorzaakt door de grove bodemtemperatuursfunctie die is ingevoerd (maandgemiddelden).

Vlak na het inploegen is de omzettingssnelheid groot, maar in december tot maart is de snelheid klein vanwege de lage bodemtemperatuur. Vanaf maart neemt de omzettingssnelheid weer toe. Maximale waarden worden bereikt tussen half mei en eind juni. De daling die daarna optreedt is vooral het gevolg van het uitputten van het verse substraat en van het afnemen van de k-waarde daarvan. Het oudere organische materiaal wordt het snelst afgebroken in de zomermaanden.

Volgens de simulatie zou 2% van het oudere organische materiaal in een jaar worden afgebroken. Dit is een goede waarde (Kortleven, 1963). Van het verse materiaal is na een jaar nog 30% over. Volgens literatuurgegevens ligt dit getal in de juiste orde van grootte, al wordt voor bieteresten ook wel 20% aangehouden (Kortleven, 1963, Kolenbrander, 1969).

Uit bovenstaande getallen moge blijken dat de jaarsom van de omzettingen in de simulatie juist zijn berekend. Of de verdeling van de omzettingssnelheid over het seizoen voldoende betrouwbaar is geschat hangt vooral af van de juistheid van de curve die de invloed van de temperatuur op de k-waarde weergeeft en van de k-waarde zelf. Het ontbreken van een modificerende invloed van de vochtspanning op de omzettingssnelheid is wellicht minder van belang omdat gedurende de perioden waarin de grootste omzettingssnelheden optreden de vochtspanning in de bodemlaag waar de verse organische stof zich bevindt zich in of dichtbij het voor vertering optimale traject zal bevinden.

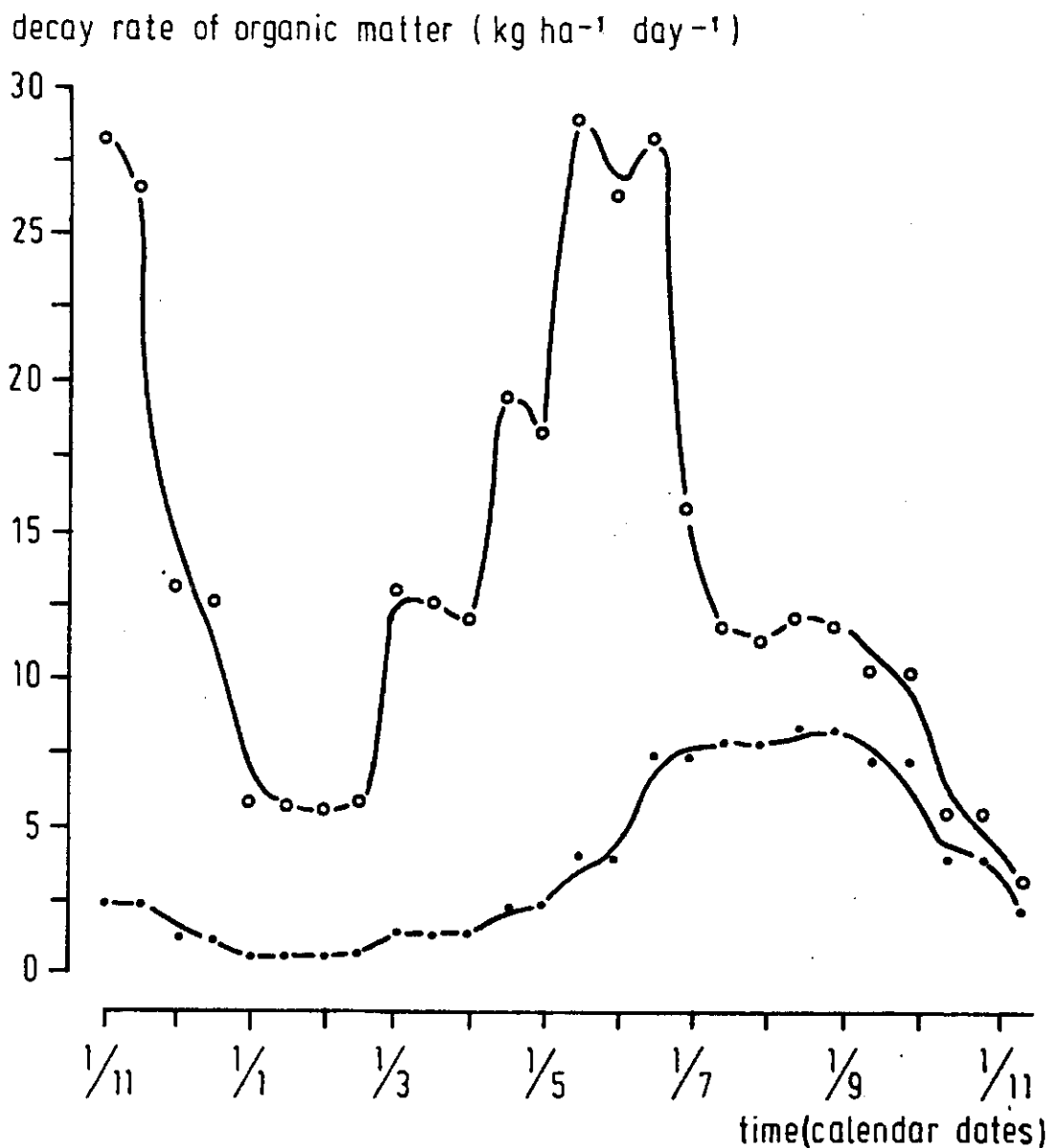


Fig. 4. De met een model uitgerekenede omzettingssnelheden per dag van organische stoffen in de grond gedurende een jaar. Op 1 november werd vers organisch materiaal met een drooggewicht van 6 t ha^{-1} ingeplougd. Onderste lijn: de omzettingssnelheid van ouder organisch materiaal. Bovenste lijn: de som van de snelheden van ouder en vers organisch materiaal.

Fig. 4. Model calculation of daily decay rates of soil organic matter during one season. At November first fresh organic materials were ploughed in at a rate of $6 \text{ tonnes dry weight ha}^{-1}$.

Lower curve: decay rate of older materials

Upper curve: sum of decay rates of older and fresh organic materials

3.5.4. De relatieve zuurstofbehoefte van verteringsprocessen en wortels

Men kan zich afvragen hoe de zuurstofbehoefte van verterend organisch materiaal zich verhoudt tot de zuurstofbehoefte van wortels. De volgende globale berekeningen geven daarin enig inzicht. Stel dat er in juni $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ aan organisch materiaal wordt omgezet. Dit is geen extreem hoge waarde. Dit betekent een koolzuurproduktie van ongeveer $36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$, hetgeen overeenkomt met $818 \text{ mol CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$. Bij een aërobe vertering met een RQ (respiratie quotiënt) van 1 is daarvoor nodig $818 \text{ mol O}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$. Stel tevens dat het drooggewicht van de wortels (aardappels) dan 400 kg ha^{-1} bedraagt, met een ademhalingssnelheid van $70 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ drogestof dag}^{-1}$ (ruim gerekende getallen). De zuurstofbehoefte bij een RQ van 1 bedraagt dan $635 \text{ mol O}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$.

Deze globale berekeningen leren dat in juni de zuurstofbehoefte van de grond in minstens even grote mate wordt bepaald door verteringsprocessen als door actieve wortels. Onder zulke omstandigheden is bij lage zuurstofdiffusie-coëfficiënten door verslemping of versmering van de grond of door te grote vochtigheid een grote verteringssnelheid van organisch materiaal een factor van betekenis voor het optreden van anaërobie.

4. CONCLUSIES

1. De aëratieproblemen die in een driejarige rotatie in aardappelgewassen met voorvrucht suikerbieten (bouwplan 5b) op De Schreef zijn waargenomen kunnen niet worden verklaard door een bijzondere verteringskarakteristiek van bietebled en -koppen ten opzichte van bijvoorbeeld grasgroenbemesters. Belemmeringen in de zuurstofaanvoer moeten daarvoor primair verantwoordelijk worden gehouden.
2. Het verteringsverloop van organische materialen in de grond, gemeten als koolzuurontwijking, laat zich op de korte termijn (minder dan een jaar) mathematisch niet beschrijven met een eenvoudige eerste orde snelheidsvergelijking.
3. Een verkennende simulatiestudie gaf aan dat de omzettingssnelheid van ingeplogde organische stof het grootst is vlak na inploegen en in de voorzomer. In de laatstgenoemde periode wordt de zuurstofbehoefte van de grond evenzeer bepaald door omzettingprocessen als door de ademhalingsactiviteit van wortels.

5. SAMENVATTING

In driejarige rotaties op "De Schreef" is geconstateerd dat er meer en langer blauwkleuring van de grond (anaërobie) optreedt in aardappelgewassen met suikerbieten als voorvrucht dan in vergelijkbare rotaties met een ingeplogde grasgroenbemester. In een laboratoriumproef werd nagegaan of de verteringskarakteristieken van diverse organische materialen, zoals bietebled en -koppes, grasgroenbemester, stro en combinaties daarvan, verschilden.

Grond en organische materialen werden in afgesloten verteringsvaten gebracht en bij 20 °C en 5 °C bewaard. Tevens werden in sommige objecten twee vochttrappen toegepast. Bij het afsluiten van de proef (na 193 dagen) was er bij de 20 °C objecten, afhankelijk van het soort materiaal, nog 25 tot 38% van de oorspronkelijk toegevoegde organische C in het systeem aanwezig. De vertering van bieteresten en gras verliep nagenoeg gelijk, stro verteerde trager.

Metingen van de redoxpotentialen leerden dat de omzettingen bij het laagste grondvochtgehalte (22,5 gewichtprocent) aëroob verliep en bij het hogere vochtgehalte (34%) anaëroob.

Er werd geconcludeerd dat de aëratieproblemen in bouwplan 5b (1:3 aardappelen na suikerbieten) veeleer te wijten zijn aan belemmeringen in de zuurstofaanvoer in de grond dan aan bijzondere verteringskarakteristieken van bieteresten.

Er werd nagegaan of het verteringsverloop, gemeten als CO₂-uitstoot, beschreven kon worden met een eerste orde snelheidsvergelijking. Dit bleek niet het geval te zijn, althans de snelheidsconstante veranderde in de tijd.

Met een eenvoudig simulatiemodel werden bij wijze van verkenning de omzettingssnelheden van organisch materiaal op dagbasis gedurende een jaar berekend. De jaarsommen van afbraak van vers en ouder organisch materiaal werden goed geschat. Vlak na het inploegen en in de voorzomer (mei, juni) treden de grootste omzettingssnelheden op. In juni wordt de zuurstofbehoefte van de grond wellicht in minstens even grote mate bepaald door de verteringssnelheid van organisch materiaal als door de activiteit van de wortels.

6. SUMMARY

Under field conditions reduction of iron at the bottom of the tilled layer was observed more often and more extensively when in three course rotations potatoes were grown after sugar beet than after cereals with grass green manuring. In a laboratory incubation experiment it was tested whether there were differences in decomposition rates of sugar beet leaves and crowns, grass, straw and combinations of these materials. Controls without addition of organic materials to the soil were included. Most treatments were placed at 20 °C and some at 5 °C. In some treatments two soil moisture levels were compared, viz. V1 with 22.5% moisture on a dry weight basis and V2 with 34% moisture. Furthermore it was tested whether concentrating the organic materials in a layer or mixing them thoroughly through the soil gave different patterns of decay. The experiment lasted 193 for the 20 °C treatments and 245 days for the 5 °C treatment.

Containers with a diameter of 15 cm and a content of 10.5 litre were filled with 4.8 litre soil with a dry weight of 4.7 kg. The containers were tightly sealed and purged at regular intervals to supply oxygen and to remove the evolved carbondioxide from the system. The outgoing airstream was passed through $\text{Ba}(\text{OH})_2$ solutions. The change of conductivity of these solutions was calibrated to obtain CO_2 evolution data.

Measurements of redoxpotentials showed decomposition to occur under anaerobic conditions in the V2 treatments (E_h mostly smaller than 200 mV), whereas aerobic decay occurred in the drier treatments (E_h greater than 400 mV).

The decay rates increased during the first one, two and four weeks for sugar beet material, grass and straw, respectively. Thereafter a continuous decline of the rate of decay was observed.

Carbon efflux was fairly stable in control treatments. At 20 °C and the lowest moisture content the rate was $7.8 \text{ mg C container}^{-1} \text{ d}^{-1}$. This is equivalent to $1.7 \text{ } \mu\text{g C g}^{-1} \text{ dry soil d}^{-1}$, or 0.028 year^{-1} (2.8%) when expressed as a rate constant of decay. At 20 °C the V2 controls evolved carbondioxide at a rate of $2.3 \text{ } \mu\text{g C g}^{-1} \text{ dry soil d}^{-1}$. At 5 °C the V1 controls produced $0.34 \text{ } \mu\text{g C g}^{-1} \text{ dry soil d}^{-1}$.

For sugar beet leaves and crowns as well as grass 50% of the amount of organic C initially added still remained in the system after 30 days of incubation. In comparison this figure amounted to 75% for straw.

At the end of the experiment 25 to 39% of the initially added organic C was still present in the system; figures for sugar beet material being somewhat smaller than those of grass while those of straw were the highest (20 °C). At the

higher moisture level 5% more of the organic C was converted to CO_2 . Concentrating the materials in a layer or mixing them through the soil did not affect the pattern of decay. At 5 °C 55-58% of the initially added organic C was still present after 245 days.

It was concluded that aeration problems in potato crops grown after sugar beet could not be explained by a different pattern of decay in the soil of sugar beet leaves and crowns as compared to a grass green manure. Greater resistance to oxygen diffusion rather than greater oxygen demand is therefore more likely to be a causal factor.

Decomposition (measured as CO_2 efflux) did not follow first order rate kinetics. The curve \ln (% remaining C) versus time was composed of two fairly straight parts, indicating predominance of breakdown of different constituents, differing in rate constants, in successive stages of decomposition.

With a simple simulation model daily decay rates of fresh and older organic materials were calculated for one year. (Older organic materials being defined as organic matter already present in the soil for one year or longer.) The application to the soil of fresh organic materials at a rate of six tonnes ha^{-1} (dry weight) was assumed to take place at the first of November. Its rate constant of decay was set to 0.019 d^{-1} (20 °C) when more than 47% of the initial amount of organic C was still present and to 0.0021 d^{-1} when less than 38% was present with linearly interpolated values between these limits. For older organic matter (3%) the decay rate constant was set to 0.000134 d^{-1} (20 °C). Decay rate constants were temperature dependent as described by van Veen and Paul (1981); modifications by soil moisture tension were not considered. Monthly mean soil temperatures over four years at 20 cm depth were input in the model.

According to simulation results 30% of the fresh and 98% of the older organic C were still in the system after one year. These are fairly correct figures. Immediately after ploughing and during the second half of May and June the highest decomposition rates were calculated. With a decay rate of 25 kg organic matter $\text{ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ in June and a root respiration rate equivalent to 28 kg $\text{CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ the former process demands more oxygen than the latter.

7. LITERATUUR

- HOEKSTRA, O., 1981. 15 Jaar "De Schreef". Publ. nr. 11, PAGV, Lelystad. 93 pp.
- JENKINSON, D.S., 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. IV. The effect of rate of addition. J. of Soil Sci. 28 (3), 417-423.
- JENKINSON, D.S. & J.H. RAYNER, 1977. The turnover of the soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. Soil Sci. 123 (5), 298-305.
- KOLENBRANDER, G.J., 1969. De bepaling van de waarde van verschillende soorten organische stof ten aanzien van hun effect op het humusgehalte bij bouwland. Intern rapport, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (no. C 6988), 10 pp.
- KOLENBRANDER, G.J., 1970. De verandering van het humusgehalte van bouwland onder invloed van de organische bemesting. Intern rapport, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (no. C 7669), 20 pp.
- KORTLEVEN, J., 1963. Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Versl. Landb. Onderz. nr. 69.1. Pudoc, Wageningen.
- ROWELL, D.L., 1981. Oxidation and reduction. In: D.J. Greenland and M.H.B. Hayes (Eds): The chemistry of soil processes. John Wiley & Sons, Chichester, 401-461.
- TURNER, F.T. & W.H. PATRICK, 1968. Chemical changes in waterlogged soils as a result of oxygen depletion. In: Transactions of the 9th International Congress of Soil Science. Vol IV, Adelaide. International Society of Soil Science, 53-65.
- SCHREVEN, D.A. van, 1964. A comparison between the effect of fresh and dried organic materials added to soil on carbon and nitrogen mineralization. Plant and Soil 20 (2), 149-165.
- VEEN, J.A. van & E.A. PAUL, 1981. Organic carbon dynamics in grassland soils. 1. Background information and computer simulation. Can. J. Soil Sci. 61 (2), 185-201.