



Organische stof management op zandgrond met speciale attentie voor duinzand

Literatuurstudie

Annette Pronk





Organische stof management op zandgrond met speciale attentie voor duinzand

Literatuurstudie

Annette Pronk

© 2007 Wageningen, Plant Research International B.V.

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

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
1. Inleiding	1
2. Afbraak van organische stof	3
2.1 Historisch overzicht	3
2.2 Recente ontwikkelingen	4
2.3 Onderzoek aan organische stof	4
2.3.1 Onderzoek aan bodemorganische stof	5
2.3.2 Onderzoek aan de toevoeging van organische materialen	6
2.3.3 Onderzoek naar humificatiecoëfficiënten	6
2.3.4 Onderzoek naar het organische stof beschermend vermogen van een grond	7
3. Modelmatige benadering van de afbraak van organische stof	9
3.1 Het model Minip	9
3.2 Het model Yang	9
3.3 Internet rekenmodules	10
4. Onderzoek naar organische stof op duinzandgrond	11
4.1 Bedrijfsystemen onderzoek LBO	11
4.2 Onderzoek Proefstation voor de Boomkwekerij	11
4.3 Beheer van organische stof in de open biologische, ecologische en geïntegreerde teeltsystemen	11
4.4 Studentenonderzoek	12
4.5 Demonstraties in de praktijk	12
4.6 Mestbeleid en bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek	12
4.7 Onderzoek aan organische stof in TopSoil+	13
5. Discussie	15
5.1 Afbraak van bodemorganische stof en toegevoegde organische materialen	15
5.2 Onderzoek aan bodemorganische stof en toegevoegde organische materialen	16
6. Conclusies en aanbevelingen voor onderzoek	17
6.1 Conclusies	17
6.2 Aanbevelingen	17
Literatuur	19

1. Inleiding

Het belang van een goede organische stof voorziening van een bodem is reeds lang onderkend. De organische stof in de bodem heeft verschillende functies. Het kan het vochtvasthoudendheid vermogen in de bodem verhogen, de bodemstructuur verbeteren, de bindingscapaciteit van de grond verhogen, het is een buffer en een leverancier van voedingsstoffen en het bevordert een evenwichtig bodemleven. Op al deze functies heeft organische stof een positieve werking. Het is daarom wenselijk een bepaalde hoeveelheid organische stof in een bodem te hebben. Vanuit verschillende vakgebieden wordt organische stof als een van de belangrijkste zo niet de belangrijkste factoren gezien voor een goede bodemkwaliteit (Pronk *et al.*, 2002). Organische stof in een bodem kan echter ook minder positieve effecten hebben, zoals het leveren van nutriënten op een moment dat het gewas dit niet kan opnemen en waardoor deze nutriënten ongewenst in het milieu terecht komen. Het is daarom wenselijk voldoende doch niet teveel organische stof in de bodem te krijgen en dit te behouden. Het is moeilijk om een streefwaarde voor organische stof te formuleren, maar voor de teelt van bloembollen en bolbloemen wordt een streefpercentage van tussen de 1 en 2% genoemd (Stokkers & Landman, 1994). In de Adviesbasis voor de Bemesting van bloembolgewassen wordt een streeftraject van 0,8 tot 1,3% organische stof genoemd (Van Dam *et al.*, 2004).

Organische stof in een bodem breekt af en wordt opgebouwd door de aanvoer van wortel- en gewasresten, de aanvoer van organische materialen en het onderwerken van bijvoorbeeld groenbemesters. Vanuit Nederlands onderzoek uit de periode 1940-1970, zijn de bijdragen van wortel- en gewasresten, organische materialen en enkele groenbemesters bepaald, evenals de afbraak van de bodemorganische stof. Echter, het is niet vanzelfsprekend dat deze getallen ook voor duinzandgrond gelden, omdat duinzandgronden niet betrokken zijn geweest bij het onderzoek naar organische stof in die periode. In de sierteelten op duinzandgrond wordt organische stof heel erg gewaardeerd (Van den Berg, 2006) en is het gebruikelijk grote hoeveelheden organische stof aan te voeren. De streefwaarde van 1,2% of eventueel hoger wordt doorgaans gehaald met deze hoge aanvoer. Hiermee wordt een lans gebroken voor de afwijkende dynamiek van organische stof op duinzandgrond. Immers deze grote hoeveelheden zouden volgens schattingen in veel hogere percentages organische stof moeten resulteren. Deze afwijkende dynamiek betreft zowel het gedrag van de bodemorganische stof als van de toegevoegde organische materialen. Een ander aspect is, dat de samenstelling van de organische materialen anno 2007 anders kunnen zijn dan toen het onderzoek werd uitgevoerd. Ook daardoor zou de bijdrage aan de organische stof verminderd kunnen zijn. In de volksmond heet het dat de stalmest van tegenwoordig 'veel sneller opbrandt' dan vroeger, waarmee wordt aangegeven dat de samenstelling van de mest zodanig veranderd is dat er minder duurzame organische bestanddelen in zitten. Tevens zijn er nieuwe producten op de markt zoals compostproducten en veenmengsels, waarvan recentelijk wel de bijdrage aan de organische stofvoorziening is vastgesteld maar weer niet specifiek voor duinzandgrond.

Al met al bestaat er geen duidelijk en toegankelijk overzicht van het onderzoek dat aan organische stof in het verleden is uitgevoerd. Tevens is de bruikbaarheid van de resultaten van de uitgevoerde onderzoeken voor de organische stof voor duinzandgrond niet duidelijk. Als laatste heeft deze studie tot doel om ook het onderzoek dat specifiek voor duinzandgrond is en wordt uitgevoerd, in kaart te brengen en aanbevelingen te doen hoe onderzoek aan organische stof op zandgrond en specifiek op duinzandgrond, zou kunnen worden uitgevoerd.

2. Afbraak van organische stof

De resultaten van deze nota zijn gebaseerd op literatuuronderzoek en gesprekken met deskundigen op het gebied van organische stof. In het literatuuronderzoek hebben de volgende vragen een belangrijke sturende rol gespeeld bij het verzamelen van de informatie:

- Wat is er bekend van de afbraak van organische stof in Nederlandse onderzoeken?
- Hoe zijn deze onderzoeken uitgevoerd, met welke grondsoorten, eventueel toegevoegde organische materialen en voor welk landgebruik?
- Is deze informatie toepasbaar voor de sectoren vaste planten, boomkwekerij, bloembollen en bolbloemen, en buitenbloemen?
- Welke informatie ontbreekt en hoe zou deze efficiënt verzameld kunnen worden?

2.1 Historisch overzicht

Shibu *et al.* (2006) geven een beknopt historisch overzicht over de gedachtevorming rondom de afbraak van organische stof. Een korte samenvatting staat hieronder.

Organische stof in de bodem breekt af. Dit betekent dat na verloop van tijd minder organische stof gevonden wordt dan er eerder aanwezig was. Deze afbraakcurve kan beschreven worden door een exponentiële functie. Als één van de eersten hebben Henin & Dupuis (1945) deze relatie beschreven:

$$Y = Y_0 e^{-kt} \quad 1$$

waarin Y (g kg^{-1}) de hoeveelheid organische stof is op een gegeven tijdstip, Y_0 (g kg^{-1}) de hoeveelheid is op tijdstip 0 en k (jaar^{-1}) de relatieve afbraaksnelheid is.

Kortleven (1963) heeft het concept van de afbraak van organische stof via een exponentiële curve overgenomen en verder uitgewerkt. Hiervoor heeft hij twee aannames gedaan:

1. van vers toegevoegde organische materialen is een bepaalde hoeveelheid organische stof over na 1 jaar, de zogenaamde humificatiecoëfficiënt (h), en
2. organische stof in de bodem breekt af met een constant percentage, k is een constante.

Kortleven heeft langjarige, in Nederland uitgevoerde proeven (Instituut voor Bodemvruchtbaarheid in Haren (Gr)) gebruikt om deze constante afbraak van bodemorganische stof te kwantificeren. Eveneens heeft hij de bijdrage van verschillende organische materialen aan de bodemorganische stof gekwantificeerd.

In navolging van Henin & Dupuis beschrijft Kolenbrander (1969), eveneens werkzaam bij het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid in Haren (Gr.) de afbraak van organische stof met een exponentiële curve waarbij de relatieve afbraakcoëfficiënt niet constant is in de tijd:

$$y_t = y_0 e^{-(n+p/(t+1))t} \quad 2$$

Hierin is de relatieve afbraakcoëfficiënt vervangen door $n+p/(t+1)$ en daarin zit de tijd (t). De relatieve afbraakcoëfficiënt is daardoor niet meer constant maar wordt kleiner naarmate het organische materiaal langer in de grond zit. De parameters n en p worden vanuit experimenten vastgesteld voor ieder aan de bodem toegevoegd materiaal.

Janssen (1984) heeft het concept van Kolenbrander verder uitgewerkt waarbij de relatieve afbraakcoëfficiënt werd vastgesteld als:

$$k = 2.82 * (a + t)^{-1.6} \quad 3$$

waarbij a (jaar) de beginleeftijd van het organische materiaal wordt genoemd en t de tijd is. De gedachte is dat alle organische materialen verouderen (afbreken) volgens dezelfde 'verouderingscurve'. Het moment, de mate van ouderdom of de beginleeftijd, waarop een materiaal in deze verouderingscurve stapt, bepaalt het verdere verouderingsproces van het materiaal.

De afbraak van organische stof wordt nu beschreven met de exponentiële afbraakcurve:

$$Y_t = Y_0 e^{(4.7[(a+t)^{-0.6} - a^{-0.6}])}$$
4

waarbij Y_t de hoeveelheid organische stof is die na een jaar nog over is.

Het nadeel van deze berekeningsmethode is dat de organische stof nooit helemaal afbreekt, er blijft van ieder toegevoegd materiaal een kleine hoeveelheid over.

Om dit nadeel te ondervangen heeft Yang (1996) de relatieve afbraakcoëfficiënt aangepast, zodat de afbraak van organische stof berekend wordt met de volgende formule:

$$Y_t = Y_0 e^{(-R_0 * t^{1-S})}$$
5

waarbij Y_t wederom de hoeveelheid organische stof is die na een bepaalde periode nog over is. R_0 (jaar^{S-1}) is een maat voor de afbraak van het organische materiaal in het eerste jaar na toedienen (of het eerste jaar na de start van de berekening voor de afbraak van de bodemorganische stof). S is een maat voor de afbraak in de volgende jaren.

2.2 Recente ontwikkelingen

Er bestaan drie belangrijke processen die de afbraak van organische stof in de bodem vertragen door de stabilisatie van organische stof (Christiansen, 1996; Stevenson, 1994):

1. chemische stabilisatie
2. fysische bescherming
3. biochemische stabilisatie

De chemische stabilisatie bestaat uit een stabilisatie van organische stof doordat deze organische stof via chemische en/of fysisch-chemische bindingsprocessen wordt vastgelegd in de deeltjes <20µm. De fysische stabilisatie is een stabilisatie waarbij organische stof in bodemaggregaten wordt vastgelegd en biochemische stabilisatie is het proces waarbij bodemleven lichaamseigen weefsel maakt dat moeilijk tot niet afbreekbaar is. De processen zijn niet zo duidelijk te scheiden en treden gelijktijdig op.

De potentie van een bodem om de organische stof te beschermen tegen afbraak hangt door het proces van chemische stabilisatie, sterk samen met de samenstelling van de bodem. Een bodem bestaat uit klei (<2µm), silt (<50µm) en zanddeeltjes (>50µm) (Gee & Bauder, 1986). Een bodem met veel klei (deeltjes <2µm) en een gedeelte van de silt (deeltjes <20µm) kan meer organische stof van afbraak behoeden dan een bodem met weinig klei en silt. Hassink (1997) heeft de stabilisatie van organische stof in de klei- en siltfracties verder uitgewerkt voor Nederlandse gronden. Hiervoor heeft hij de grondmonsters uit de langlopende proeven van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid opnieuw aan een analyse onderworpen.

2.3 Onderzoek aan organische stof

Het onderzoek aan organische stof wordt gekenmerkt door de lange termijn. Veel proeven zijn voor andere doeleinden uitgevoerd en de gegevens zijn op een later tijdstip gebruikt om vragen over organische stof te beantwoorden, indien de verzamelde gegevens dit mogelijk maakten. De geanalyseerde proeven zijn ofwel van bestaande vruchtwisselingen (veldproeven) waarin onbebouwde behandelingen zijn opgenomen, ofwel proeven waarbij grond verzameld is (vakkenproeven of potproeven) en waarbij de grond onbebouwd gehouden is.

Zowel de veldproeven als de vakken- en de potproeven zijn gebruikt om vragen over de afbraak van bodemorganische stof te beantwoorden en de bijdrage van organische materialen aan de bodemorganische stof te bepalen.

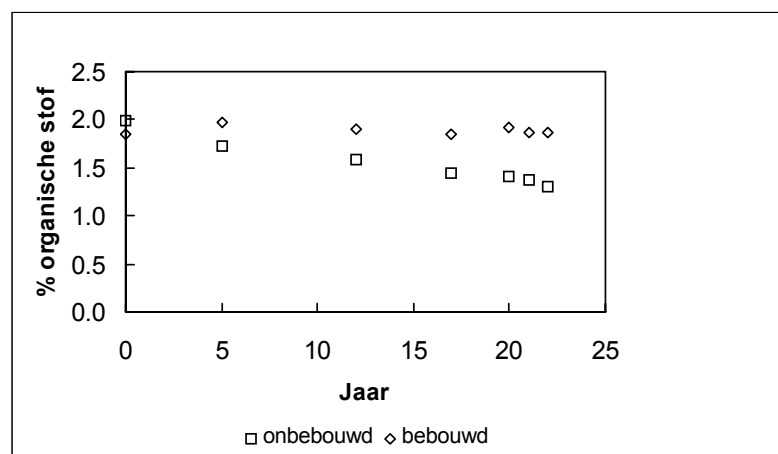
2.3.1 Onderzoek aan bodemorganische stof

Kortleven (1963) heeft de afbraak van bodemorganische stof gekwantificeerd. Hiervoor heeft hij in eerste instantie bestaande langlopende in Nederland uitgevoerde proeven gebruikt. De afbraak van bodemorganische stof is vastgesteld door de verandering in het percentage organische stof te meten gedurende een periode van 50 jaar (1911 tot 1961) in een onbebouwde zavelgrond (braak) en een bebouwde zavelgrond waarin alleen met kunstmest bemest werd (Figuur 1, proef 1). Na enig rekenwerk is vanuit deze gegevens een afbraak van de bodemorganische stof berekend van ongeveer 2% (Tabel 1).

In een andere proef, uitgevoerd op een oude esgrond met een 1 meter dikke humushoudende laag (proef 2), is de afbraak van organische stof bepaald in een akkerbouwrotatie met de gewassen aardappelen, rogge en haver gedurende 1940-1960. Hoewel hier geen onbebouwde behandeling is opgenomen, is na enig rekenwerk een afbraak van bodemorganische stof van 1,6% per jaar gevonden. Ook bij een derde proef, eveneens op zandgrond (proef 3), is een afbraak van de bodemorganische stof berekend van 1,6%. Op een zware kleigrond bedroeg de afbraak van bodemorganische stof 2,4% (proef 4, Tabel 1) en op een zavelgrond in de praktijk werd een afbraak van de bodemorganische stof berekend van 1,9% (proef 5, Tabel 1).

Tabel 1. Overzicht van de afbraak van bodemorganische stof zoals gevonden door Kortleven (1963) (overgenomen uit Janssen, 2002).

Proef	Grondsoort	Afbraak bodemorganische stof (%)
1	Zavel	1,9
2	Zand	1,6
3	Zand	1,6
4	Klei	2,4
5	Zavel	1,9
Gemiddelde		≈ 2,0



Figuur 1. Het gemeten percentage organische stof in de bouwvoor gedurende 22 jaar (Kortleven, 1963).

2.3.2 Onderzoek aan de toevoeging van organische materialen

Kortleven (1963) heeft eveneens de bijdrage van organische materialen aan de bodemorganische stof gekwantificeerd, d.w.z. de hoeveelheid organische stof die van een toegevoegd materiaal nog over is, 1 jaar na toedienen, de humificatiecoëfficiënt. In proef 1 zijn vanaf 1950 twee behandelingen toegevoegd waarmee de humificatiecoëfficiënt van stalmest van 15 ton ha⁻¹ per jaar en van de wortel- en stoppelresten kon worden vastgesteld. De humificatiecoëfficiënt van de wortelresten in dit bouwplan is na enig rekenwerk berekend op 40% (Tabel 2). Dit betekent dat 40% van de oorspronkelijk toegevoegde organische stof met de wortelresten, na 1 jaar nog over is en aan de bodemorganische stof wordt toegevoegd. Deze 40% wordt ook wel de 'hoeveelheid effectieve organische stof' genoemd. Voor stalmest is de humificatiecoëfficiënt 60%.

De Haan (1977) heeft voor 15 producten de humificatiecoëfficiënt vastgesteld bij de toevoeging aan een representatieve zand- en kleigrond. Gedurende 10 jaar lang is op een onbebouwde grond het materiaal jaarlijks toegediend. De humificatiecoëfficiënt van stalmest is berekend op 60% voor de zandgrond en 57% voor de kleigrond. Ook bij de andere humificatiecoëfficiënten is er een klein verschil tussen de humificatiecoëfficiënt op zand of op klei. Echter, dit verschil is statistisch niet aantoonbaar en er wordt aangenomen dat de humificatiecoëfficiënt een producteigenschap is en in mindere mate afhankelijk is van de grondsoort.

Kolenbrander (1969; 1970) komt via zijn berekeningen tot vergelijkbare humificatiecoëfficiënten als Kortleven, hoewel de humificatiecoëfficiënt van stalmest van 50% iets lager ligt bij Kortleven.

Tabel 2. De humificatiecoëfficiënt (h, %), de beginleeftijd (a; jaar) van verschillende organische materialen (Janssen, 2002) en R₉ en S voor Nederlandse omstandigheden (Ten Berge et al., 2007).

Organisch materiaal	h (%)	a (jaar)	R ₉ (jaar ^{S-1})	S
Gewasresten, bovengrondse delen	20	0,99		
Groenbemesters	30	1,27	1,204	0,628
Stro	35	1,41	1,117	0,6201
Wortel- en stoppelresten	40	1,57	0,80	0,67
Bladresten	55	2,18		
Stalmest	60	2,45	0,706	0,603
Sparrenaalden	75	3,69		
Zaagsel	75	3,69		
Veenmengsel	85	5,47		
Compost	75	3,7	0,276	0,3125

2.3.3 Onderzoek naar humificatiecoëfficiënten

Het begrip humificatiecoëfficiënt is een gemakkelijk en eenvoudig te hanteren begrip en humificatiecoëfficiënten worden gebruikt voor de berekening van de bijdrage van organische materialen aan de organische stofvoorziening. Vanuit verschillende bronnen en met verschillende methoden worden de humificatiecoëfficiënten periodiek aangepast. De humificatiecoëfficiënt is een producteigenschap en hangt daarmee dus niet af van de grondsoort waarop het materiaal wordt aangebracht. De meest recente in Nederland gehanteerde humificatiecoëfficiënten staan in Tabel 3.

Tabel 3. De hoeveelheid organische stof (o.s.; kg ton⁻¹) en de humificatiecoëfficiënt (h; %) en de beginleeftijd (a; jaar) overgenomen uit Van Dijk et al. (2005).

Mestsoort	Karakter	Standaard samenstelling per ton product		
		o.s.	h	a
Vaste mest, rund	vast	150	70 ¹	3,16 ¹
Vaste mest, varkens	vast	160	33	1,36
Vaste mest, leghennen	vast	374	33	1,36
Vaste mest, vleeskuikens	vast	508	36	1,45
Vaste mest, kippenstrooiselmest	vast	423	33	1,36
Drijfmest, rund (faeces+urine)	drijfmest	64	70 ¹	3,16 ¹
Drijfmest, varkens	drijfmest	60	33	1,36
Drijfmest, pluimvee	drijfmest	93	33	1,36
Gier, rund	gier/dun	10	70	3,16
Gier, varkens	gier/dun	5	33	1,36
Champost	vast	220	50	1,96
GFT	vast	190	75	3,68

¹ De humificatiecoëfficiënt van vaste rundveemest en rundveedrijfmest zijn verhoogd van 50% naar 70% naar aanleiding van proefresultaten van 11 jarig onderzoek (Schröder et al., 2005; Schröder et al., 2007; Schröder et al., 2006).

2.3.4 Onderzoek naar het organische stof beschermend vermogen van een grond

Hassink (1997) heeft het concept van beschermde organische stof voor Nederlandse gronden uitgewerkt aan de hand van de hierboven beschreven proeven. Een bodem kan organische stof beschermen door het in de silt- en kleifracatie vast te leggen. Is de fractie <20 µm bekend, dan kan de hoeveelheid moeilijk tot niet afbraakbare organische stof berekend worden: C in de fractie <20 µm = 4,09 + 0,37* %deeltjes <20 µm (C in g kg⁻¹ grond). Deze formule suggereert dat als er geen deeltjes <20 µm in de bodem aanwezig zijn, er nog 4,09 g C kg⁻¹ beschermd kan worden. Dit komt overeen met ongeveer 4,09 * 1,72 = 7 g organische stof kg⁻¹, of te wel ≈ 0,7% organische stof. Echter, er waren geen gronden zonder silt- en kleifracatie of gronden met heel lage silt- en kleifracties betrokken bij dit onderzoek. Het is niet bekend of deze relatie op duinzandgronden kan en mag worden toegepast. Hassink (1997) heeft eveneens vastgesteld dat als de beschermende capaciteit van de grond (nog) niet volledig benut is, de toevoeging van organische materialen extra beschermd kunnen worden door de inbouw in de silt- en kleifracties. Voor de meeste Nederlandse landbouwgronden uit het onderzoek van Hassink bleek eveneens duidelijk dat deze gronden verzadigd waren voor koolstof (Hassink, 1997).

3. Modelmatige benadering van de afbraak van organische stof

Al vanaf de jaren '40 is er gewerkt aan het beschrijven van de afbraak van organische stof met rekenregels. Met het voortschrijden van de techniek hebben deze rekenregels aan complexiteit gewonnen en de computer heeft tot ongekende mogelijkheden geleid. Bij de modelmatige benadering zijn er twee hoofdstromingen te onderscheiden. De eerste stroming deelt organische stof op in verschillende fracties. Iedere fractie breekt met een andere snelheid af. Dit type model wordt een multicomponenten-model genoemd en vereist veel kennis over de verschillende fracties. De tweede stroming beschouwt de organische stof als één fractie, die afbreekt zoals in hoofdstuk 2 is beschreven. Dit type model wordt een monocomponent-model genoemd en is eenvoudiger met betrekking tot de gegevens. Een ander groot voordeel is dat het rekenen veel sneller gaat en op eenvoudige computers gebruikt kan worden. Bij de modelmatige benadering wordt alleen ingegaan op deze monocomponent-modellen. Voor een vollediger overzicht wordt verwezen naar Guiking *et al.* (2004) en Shibu *et al.* (2006).

3.1 Het model Minip

De theorie van Janssen is omgezet tot een rekenmodel: het model Minip (Mineralization of Nitrogen & Phosphorus). Minip rekent op een eenvoudige manier de afbraak van organische stof uit. Zoals eerder genoemd, heeft Minip echter het nadeel dat van alle toegevoegde materialen er altijd een kleine hoeveelheid organische stof over blijft. In theorie zal daarom na een groot aantal jaren met toevoegingen het percentage organische stof altijd toenemen. Een ander nadeel van dit model is, dat meetgegevens altijd laten zien dat het toegevoegde materiaal na toedienen sneller afbreekt dan berekend wordt (Wadman & De Haan, 1997). Hierdoor wordt de bijdrage van het toegevoegde organische materiaal aan de organische stofvoorziening overschat. De meest gangbare invoergegevens, de beginleeftijd voor een aantal materialen, staan in Tabel 2 en 3. Deze zijn berekend vanuit de gegevens van de proeven genoemd in paragraaf 2.3. Voor de beginleeftijd van een bodem wordt doorgaans een waarde van ongeveer 22 jaar gebruikt.

In 1995 is een boekje uitgebracht door het toenmalige Informatie en Kennis Centrum (IKC) met de titel: Organische stof in de akker- en tuinbouw: een nieuwe benadering of 'oude wijn in een nieuwe' (Janssen, 1995). In dit boekje staan de rekenregels voor Minip in een spreadsheet. In dit document wordt de beginleeftijd van o.a. compost gegeven.

3.2 Het model Yang

Midden jaren '90 is door Yang & Janssen het model Minip verder uitgewerkt en is het model Yang ontstaan (Yang, 1996). Het model Yang is eveneens een monocomponent-model maar rekent met twee parameters voor de afbraak van organische stof en heeft geen restwaarde van de organische stof op lange termijn. Ook berekent Yang de afbraak van nieuw toegediende materialen adequater uit dan Minip. Daarom wordt het model Yang door Wageningen UR (mond. med. B.H. Janssen) beschouwd als een betere methode. Ook voor dit model zijn invoergegevens berekend voor enkele gangbare organische materialen (Tabel 2). De standaardwaarden voor de afbraak van bodemorganische stof voor Nederlandse omstandigheden zijn een R_0 van 0,046 en een S van 0.315 (Janssen, 2002).

3.3 Internet rekenmodules

Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (<http://psgapp.wur.nl/organischestof/>)

De internet toepassing voor de berekening van de afbraak van organische stof is gebaseerd op Minip en op de beginleeftijden uit het IKC-document. De hierboven genoemde eigenschappen van Minip resulteren in een voorspelling van het percentage organische stof dat eerst onvoldoende daalt en na een (zeer) lange periode een te optimistische stijging geeft. De daling is afhankelijk van de hoeveelheid toegediende organische stof. Het kan voorkomen dat de hoeveelheid toegediende organische stof zo hoog is dat er gelijk een stijging optreedt.

Het model rekent met de standaardwaarden voor de bijdrage van organische materialen aan de organische stofhoeveelheid in de bouwvoor. Het is de vraag of dit correct berekend wordt. Dit is de grote onzekerheid waarmee telers en voorlichters nu werken.

Ook andere organisaties, zoals Agrifirm, hebben internet toepassingen die mede een uitspraak doen over de ontwikkeling van organische stof in de bodem bij een gegeven vruchtwisseling.

4. Onderzoek naar organische stof op duinzandgrond

4.1 Bedrijfsystemen onderzoek LBO

Al begin jaren '90 is bij het toenmalige Laboratorium voor Bloembollenonderzoek gekeken naar de dynamiek van organische stof van de bedrijfsystemen De Noord en De Zuid op duinzandgrond. De bedrijfsystemen waren opgezet met als doel 'het ontwikkelen en toetsen van geïntegreerde bedrijfssystemen ten behoeve van de specifieke bloembollenteelt in het Noordelijk, respectievelijk Zuidelijk zandgebied' (Wondergem *et al.*, 1996). Vanaf de start van het bedrijfssysteem De Noord zakte het percentage organische stof aanzienlijk, zowel in het geïntegreerd experimenteel en geïntegreerde systeem (Snoek *et al.*, 2000). De reden voor deze daling werd gegeven doordat bij de systemen andere typen organische stof werden aangevoerd en dat daarbij de hoeveelheid snelle afbreekbare organische stof groter was dan de aanvoer met stabielere organische stof, compost (Landman & Stokkers, 1994). Deze verklaring wordt door Stokkers en Landman (1994) onderbouwd met eenvoudige berekeningen met Minip. In navolging van Janssen & Reuler (1986) gebruiken Stokkers en Landman de algemene schatting voor de afbraak van bodemorganische stof van 2% en de standaard getallen voor de humificatiecoëfficiënten van de organische inputs voor de berekeningen met Minip (zie Tabel 2 en 3). In de benadering wordt verder nog aangenomen dat 0,3 tot 0,5% van de bodemorganische stof niet mee doet met de afbraak. Men gaat ervan uit dat die afbraak gecompenseerd wordt door het restproduct van de organische input, 25 jaar na toedienen. Ontbrekende humificatiecoëfficiënten worden via literatuur en persoonlijke mededelingen verkregen. Uiteindelijk wordt een figuur gepresenteerd waarin het verloop van de hoeveelheid organische stof tijdens de omschakelperiode van gangbaar naar geïntegreerd op het bedrijfssysteem De Noord uitgezet is. De conclusie van het rapport is dat het handhaven van het organische stofgehalte van duinzandgronden voor bloembollen op 1,5% te halen lijkt, binnen de toenmalige mestwetgeving en BOOM (Besluit Overige Organische Meststoffen). Echter, als extra opmerking wordt toegevoegd dat de theorie van Janssen nog nader moet worden bestudeerd, waarbij het traject van de geldigheid van de formules ter discussie gesteld wordt voor de diverse organische stofbronnen. De bijdrage van een aantal organische materialen aan de organische stofbalans zijn niet proefondervindelijk vastgesteld.

4.2 Onderzoek Proefstation voor de Boomkwekerij

Oele (1995) heeft op basis van laboratorium onderzoek de afbraak van bodemorganische stof van 4 percelen duinzandgrond berekend. De afbraak varieert van 3,2 tot 14% per jaar. Oele zelf presenteert gegevens over de afbraak van de organische stof gedurende 77 dagen, op basis van versgewicht. Om tot een vergelijkbare jaarlijkse afbraak van de bodemorganische stof te komen, zijn enkele aannames gedaan. Deze aannames dragen bij tot een grote onzekerheid van de gevonden afbraakpercentages.

4.3 Beheer van organische stof in de open biologische, ecologische en geïntegreerde teeltsystemen

In het onderzoek naar het beheer van organische stof in open biologische, ecologische en geïntegreerde teeltsystemen (Zwart *et al.*, 1999) is in de periode 1996-1998 de fractionering van organische stof en de stikstofmineralisatie uit de fracties onderzocht op o.a. duinzandgrond in het bedrijfssysteem van de bloembollen op de Noord. De afbraak van koolstof (C; uit de organische stof) is eveneens meegenomen, echter met het oogmerk voor de voorspelling van de stikstofmineralisatie. De gegevens zijn gebruikt om de modellen NDICEA (Habets & Oomen, 1993) en MOTOR (Whitmore, 1995) te vergelijken. Het grootste aandachtspunt is de N die vrij komt uit de organische stof door mineralisatie. De resultaten van het onderzoek geven aan dat fractionering van de organische stof geen goede voorspeller oplevert voor de N-mineralisatie. De modelberekeningen ontlepen elkaar niet veel en de voorspellende waarde was daarom gelijk. De cumulatieve afbraak van C bedroeg 22 tot 28 mg C per kg grond

gedurende 5 weken. Dat komt overeen met $25/5 \cdot 52 = 650$ mg C/kg grond per jaar. Met een percentage organische stof van 1,2 % komt dat overeen met een afbraak van ongeveer 10% onder lab omstandigheden bij 20 °C. Voor een Q10 van 2 is dit ongeveer 5% in het veld. Dit is de afbraak van C van drie percelen.

4.4 Studentenonderzoek

In 1995 heeft W. de Groot (1995a; 1995b) de rekenregels van Janssen (Minip) gevalideerd aan de hand van langjarige datasets beschikbaar gesteld door de DLV en de ROC's. Dit onderzoek was een vervolg op het werk van Sijsma (1993). Bij de validatie zijn drie percelen duinzandgrond meegenomen waarop bollen geteeld waren gedurende de periode dat de gegeven verzameld zijn, 1980- 1995. Algemene conclusie is dat de a-waarde voor Minip voor de afbraak van de bodemorganische stof op duinzandgrond niet afwijkt van de a-waarde voor andere zandgronden. Dit betekent dat de afbraak van bodemorganische stof van duinzandgrond hetzelfde zou zijn als van andere zandgronden.

In 2004 heeft Hakkenberg (2004) incubatiegegevens geanalyseerd, waaronder 2 duinzandgronden, twee braakpercelen uit Lisse. De gemeten afbraak voor de percelen is hoog, tot ongeveer 25% per jaar bij 20 °C, wat overeenkomt met 12% bij 9 °C. De gegevens zijn in enkelvoud gedaan en er bestaan twijfels over de kwaliteit van de data (Hakkenberg, 2004).

4.5 Demonstraties in de praktijk

De DLV heeft twee demonstratieprojecten uitgevoerd gedurende de jaren '90, waarin mineraalarme organische stof werd gebruikt in de teelt van bloembollen (Anoniem, 1998; 2000). In het eerste demonstratieproject, lopende van 1995 tot en met 1998, is het effect van verschillende materialen op het percentage organische stof bekeken. Een jaarlijkse dosering van 28 ton ha⁻¹ stalmest is vergeleken met een jaarlijkse dosering van 20 ton ha⁻¹ stalmest, 8,6 ton ha⁻¹ GFT-compost, 24 ton ha⁻¹ heidecompost of de combinatie van 16 ton ha⁻¹ heidecompost met 8,4 ton ha⁻¹ GFT-compost. De behandelingen zijn op 1 perceel bij twee verschillende bedrijven aangelegd en het percentage organische stof is regelmatig bepaald. Als conclusie komt naar voren dat tussen de behandelingen op 1 bedrijf geen duidelijke verschillen in het percentage organische stof konden worden vastgesteld, het gemeten percentage organische stof schommelt rond de 1,5%.

In het tweede demonstratieproject, lopende van 1997 tot en met 2000, betreft het twee percelen met eveneens 4 behandelingen met een jaarlijkse toevoeging van 48 ton ha⁻¹ stalmest, 13 ton ha⁻¹ stalmest plus 8,6 ton ha⁻¹ GFT-compost plus 30 m³ ha⁻¹ tuinturf, 21 ton ha⁻¹ stalmest plus 20 m³ ha⁻¹ tuinturf en 21 ton ha⁻¹ stalmest plus 40 m³ ha⁻¹ tuinturf. Het eerste demonstratieperceel was vrij recent omgezet, in 1994 en had een laag percentage organische stof bij de start van het project in 1997 van ongeveer 0,4 tot 0,8%. Het tweede demonstratieperceel had een percentage organische stof van rond de 1,1% bij de start van het project. Binnen de projectperiode kon geen duidelijke toename dan wel afname van het percentage organische stof in de bouwvoor worden vastgesteld.

4.6 Mestbeleid en bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek

Het aanscherpen van de mestwetgeving heeft ertoe geleid dat verontruste telers een petitie hebben ingediend in mei 2006 aan het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV). LNV heeft bij de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) enkele vragen voorgelegd. Deze vragen zijn beantwoord door een door het CDM ingestelde werkgroep en de resultaten zijn beschreven in het werkdocument 47 met de titel Mestbeleid en bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek (Ten Berge *et al.*, 2007). In deze studie wordt met het model Yang (zie paragraaf 4.6) voor duinzandgrond waarop hyacinten geteeld worden, de organische stofvoorziening doorgerekend. Op basis van berekeningen met Yang (zie hoofdstuk 4 van het werkdocument) en de specifieke teeltgebruiken voor duinzandgrond, zoals het omzetten van de grond, wordt aangenomen dat de afbraak van de bodemorganische stof rond de 9,5% ligt. Deze hoge waarde is tot stand gekomen doordat de historie van het perceel is meegenomen in de berekeningen. Bij het in gebruik nemen van duinzandgrond, bijv. na omzetten, is het percentage organische stof

laag. In Ten Berge *et al.* (2007) zijn berekeningen gemaakt met 3 verschillende percentages organische stof na omzetten, 0,3, 0,6 en 0,9%. Door de aanvoer van stalmest is het percentage gedurende een periode omhoog gebracht tot 1,3%. De organische stof in deze bodem breekt dan af met 9,5%. In deze bodem zit namelijk relatief veel verse organische stof, namelijk de stalmest. Bij een startwaarde van 0,6% bestaat de organische stof in de bodem voor meer dan de helft uit organische stof afkomstig uit stalmest die in de laatste 10-tallen jaren is opgebracht. In deze studie worden nog twee andere redenen gegeven waarom de afbraak van organische stof op duinzandgrond hoger zou kunnen zijn dan op andere zandgronden: de grove textuur (betere beluchting) en de hoge pH. 'Duidelijkheid hierover ontbreekt echter' aldus Ten Berge *et al.* (2007).

De conclusie zoals geformuleerd in hoofdstuk 4 is, dat met stalmest een percentage organische stof van 1,3% op duinzandgrond niet gehandhaafd kan worden binnen de huidige mestwetgeving. Dit percentage kan echter wel gehandhaafd worden met een jaarlijkse dosering van ongeveer 47 ton ha⁻¹ GFT-compost. Indien daarnaast nog stro toegevoegd wordt aan de bodem, of groenbemesters geteeld worden, kan met een lagere dosering GFT-compost volstaan worden voor het handhaven van dit percentage organische stof. In de berekeningen is gewerkt met de standaard waarden voor de humificatiecoëfficiënten voor de toegevoegde materialen.

De conclusie is gebaseerd op berekeningen.

4.7 Onderzoek aan organische stof in TopSoil+

Op de locatie van het Praktijkonderzoek Plant en Omgeving in Lisse is in 2005 een bedrijfssysteem voor siergewassen aangelegd (Van Reuler, 2006). Dit bedrijfssysteem heeft o.a. tot doel om optimaal gewassen te produceren met minimale effecten op het milieu. Het percentage organische stof bij de start was laag, rond de 0,7%. In het laboratorium is de afbraak van deze bodemorganische stof bepaald (Pronk & Van Reuler, 2007b). Eveneens wordt gekeken naar de bijdrage aan de organische stofvoorziening van een veenmengsel met 5% stalmest (Pronk & Van Reuler, 2007a).

5. Discussie

5.1 Afbraak van bodemorganische stof en toegevoegde organische materialen

Vanuit de bovenstaande literatuurinventarisatie komt naar voren dat gegevens voor de afbraak van organische stof of koolstof (C) op duinzandgrond spaarzaam beschikbaar zijn. Tevens spreken de beschikbare resultaten elkaar tegen (Tabel 4). De Groot (paragraaf 4.4) suggereert dat de afbraak van bodemorganische stof op duinzandgrond hetzelfde is als op andere zandgronden. Dit wordt echter via een omweg aangetoond, waarin vele onzekerheden een rol spelen. Hakkenberg presenteert veel hogere waarden voor de afbraak van de bodemorganische stof van duinzandgrond maar enige twijfel aan de juistheid van de metingen is op zijn plaats. Een relatief hoge afbraak van bodemorganische stof wordt aangenomen in de studie van de werkgroep van de CDM (paragraaf 4.6).

In de studie van Stokkers & Landman (1994) wordt bij de berekening van de afbraak van organische stof een gedeelte van deze organische stof als niet afbreekbaar aangemerkt. Hoewel Stokkers & Landman hiervoor een andere reden geven, sluit deze benadering aan bij de theorie van bescherming van organische stof in silt- en kleideeltjes, zoals gepresenteerd door Hassink (paragraaf 2.3.4). Vanuit de deeltjessamenstelling van de grond zou een schatting gemaakt kunnen worden van de hoeveelheid organische stof die min of meer stabiel in de grond aanwezig kan zijn, de 'natuurlijke' hoeveelheid, door Hassink de verzadigingsdrempel genoemd. De hoeveelheid organische stof die bovenop de verzadigingsdrempel in de bodem aanwezig is, zou wellicht anders, bijv. veel sneller kunnen afbreken. In duinzandgrond is de verzadigingsdrempel naar alle waarschijnlijkheid snel bereikt door de lage percentages silt en klei. Hassink (1996) heeft aanwijzingen gevonden, dat toegevoegde organische stof eerst zoveel mogelijk in de silt- en kleifracties opgeslagen wordt en het restant afgebroken wordt. Doordat duinzandgrond waarschijnlijk een lage beschermende capaciteit heeft door weinig silt en klei, zou dit eveneens mee kunnen spelen bij de snelle(re) afbraak van de toegevoegde organische stof. Dit is echter een veronderstelling die bevestigd dan wel ontkracht zou moeten worden.

Tabel 4. Samenvatting van de gevonden schattingen van de afbraak van bodemorganische stof op duinzandgrond en de literatuurbron.

Aantal waarnemingen	% afbraak	Bron	Opmerking
1	2	(Stokkers & Landman, 1994)	Deel bodemorganische stof doet niet mee Schatting op basis van modelberekeningen
2	2	(De Groot, 1995a; b)	Schatting op basis van modelberekeningen
4	8	(Oele, 1995)	Schatting op basis van lab. metingen
3	5	(Zwart <i>et al.</i> , 1999)	Schatting op basis van lab. metingen
2	14	(Hakkenberg, 2004)	Schatting op basis van lab. metingen
1	9,5	(Ten Berge <i>et al.</i> , 2007)	Schatting op basis van modelberekeningen

Een complicerende factor in deze hele discussie is, dat gedurende de periode van onderzoek aan organische stof de bepalmethode voor organische stof en koolstof enige keren is aangepast. Bij de interpretatie van de resultaten is hier in slechts enkele gevallen rekening mee gehouden. Hassink heeft alle gegevens van het voormalige IB gecorrigeerd voor veranderende meetmethoden. Ook het Bedrijfslaboratorium voor Grond en Gewebsanalyse (BLGG) heeft begin jaren '90 de meetmethode aangepast (Anoniem, 1992).

5.2 Onderzoek aan bodemorganische stof en toegevoegde organische materialen

Het onderzoek naar organische stof wordt gekenmerkt door de lange termijn. De standaardgetallen voor de afbraak van bodemorganische stof en de bijdrage van organische materialen aan de organische stofvoorziening zijn gebaseerd op drie soorten proeven:

- Lange termijn proeven die om andere redenen opzet zijn maar waarbij de proefopzet en de gegevensverzameling het mogelijk maakt de organische stof dynamiek te onderzoeken.
- Lange termijn proeven in het veld die speciaal opgezet zijn voor onderzoek aan organische stof (bodemvruchtbaarheid). Hierop komt een vruchtwisseling voor in combinatie met een onbebouwde behandeling zonder toevoeging van organisch materiaal.
- Lange termijn vakken- of potproeven waarbij doorgaans geen gewas geteeld wordt en specifiek de bijdrage van organische materialen aan de organische stofvoorziening in de bodem wordt vastgesteld.

De jaarlijkse afbraak van bodemorganische stof uit Tabel 1 is een gemiddelde waarde berekend over een periode van ruim 20 jaar. Dit is berekend voor gronden waaraan gedurende die periode geen organische stof meer toegevoegd is. Zo is de situatie in een teeltsysteem niet. Daar wordt jaarlijks een hoeveelheid organisch materiaal aan de bodem toegevoegd, door o.a. wortel- en gewasresten en eventueel organische materialen. De afbraak van de bodemorganische stof is daardoor hoger. De gegevens van Kortleven zijn gebruikt om de afbraak van organische stof in het eerste jaar uit te rekenen en deze afbraak bedroeg 4,6%.

Uit Figuur 1 blijkt dat het percentage organische stof op zandgrond zonder aanvoer van organische materialen als mest of compost, ongeveer stabiliseert op 1,89%. Het percentage in het onbebouwde stuk daalt tot 1,3% (Kortleven, 1963). De bijdrage van gewas- en wortelresten in deze vruchtwisseling is daarmee $\pm 0,7\%$. Bij het opstellen van balansen voor organische stof kan de bijdrage van deze gewas- en wortelresten niet verwaarloosd worden. Het is niet correct om een verlies aan organische stof in een bestaande vruchtwisseling uit te rekenen van 4% en deze hoeveelheid als minimale aanvoer van 'effectieve organische stof' na te streven voor het behoud van het percentage organische stof.

De proeven waarmee de humificatiecoëfficiënten zijn bepaald, zijn voornamelijk in de eerste helft van de vorige eeuw uitgevoerd en daarmee gedateerd. Het is aannemelijk dat zowel de samenstelling van de toe te voegen organische materialen als wel de keuze van materialen veranderd is. Vooral GFT- en groencompostproducten zijn relatief nieuw maar ook de samenstelling van stalmest kan veranderd zijn.

Vanuit de onderzoeksresultaten blijven twee vragen onbeantwoord:

1. Zijn de huidige humificatiecoëfficiënten aangepast aan de huidige samenstelling van de producten?
2. Zijn de humificatiecoëfficiënten geldig voor duinzandgrond?

6. Conclusies en aanbevelingen voor onderzoek

6.1 Conclusies

- Er is veel onderzoek gedaan naar de afbraak van organische stof in Nederland in de periode 1940-1970. De resultaten van dit onderzoek worden nog steeds gebruikt.
- Onderzoek aan organische stof in de bodem is uitgevoerd in veldproeven waarbij altijd een onbemeste, onbebouwde behandeling is opgenomen. Het onderzoek kan ook uitgevoerd worden in vakken- of potproeven, waaraan organische materialen jaarlijks worden toegevoegd en waarop doorgaans geen gewassen worden geteeld.
- In het bovengenoemde onderzoek zijn geen duinzandgronden meegenomen. De resultaten van het onderzoek zijn daardoor niet of slechts beperkt bruikbaar voor de teelt van siergewassen op duinzandgrond.
- In latere jaren is wel enig onderzoek aan duinzandgrond uitgevoerd. Deze onderzoeken waren echter beperkt van omvang en niet altijd even goed gedocumenteerd. Hierdoor is over de afbraak van bodemorganische stof op duinzandgrond slechts weinig bekend, behalve het sterke vermoeden dat organische stof sneller afbreekt. De onderbouwing voor deze hogere afbraak van de bodemorganische stof is echter summier. Tevens is niet duidelijk hoeveel hoger de afbraak zou kunnen zijn. De spaarzame gegevens worden steeds opnieuw gebruikt. Hierdoor blijft onduidelijk en onbekend hoeveel organische stof op jaarbasis nodig is voor het handhaven van een gewenst percentage.
- Gewas- en wortelresten dragen bij aan het in stand houden van het percentage organische stof. De bijdrage van siergewassen is niet bekend.
- De bijdrage van organische materialen aan de organische stofvoorziening wordt traditioneel gezien als een producteigenschap. Gezien de recente ontwikkelingen m.b.t. de binding van organische stof in de klei- en siltdeeltjes, kan dit ter discussie gesteld worden. Indien de bijdrage van organische materialen geen producteigenschap is, zijn de standaard waarden voor de bijdrage (Tabel 3) niet zomaar voor duinzandgrond van toepassing.

6.2 Aanbevelingen

- Het is wenselijk om het concept van de bescherming van organische stof in de klei- en siltdeeltjes te testen voor duinzandgrond.
- Het onderzoek aan organische stof is hoofdzakelijk een bodemaangelegenheid. De verbinding met het gewas is via de bijdrage van de gewas- en wortelresten aan de organische stofvoorziening in de bodem. Deze bijdrage kan worden vastgesteld door in veldproeven het desbetreffende gewas te telen, maar ook door jaarlijks in kleinschaliger vakkenproeven een hoeveelheid gewas- dan wel wortelrest of een combinatie van beiden toe te voegen aan de bodem. Vakkenproeven hebben tot voordeel dat eenvoudiger verschillende gewas- en wortelresten naast elkaar kunnen worden onderzocht, omdat de teelt van de gewassen hier geen rol bij speelt. Proeven zonder gewas hebben tot nadeel dat de herkenbaarheid voor de gewasgroep afneemt en dat niet onderzocht wordt of het gewas goed groeit bij het percentage gerealiseerde organische stof. Hiervoor dient een keuze gemaakt te worden in de vraagstelling van het onderzoek:
 1. Wat is de afbraak van bodemorganische stof op (duin)zandgrond en wat is de bijdrage van stalmest, compost, een combinatie van beide materialen en de wortel- en gewasresten aan de organische stof in de bodem, of
 2. Welk percentage organische stof nodig voor de teelt van siergewassen op (duin)zandgrond?

Voor onderzoek naar het optimale percentage organische stof voor de sierteelt (vraag 2) is een andere opzet nodig.

De eerste vraag heeft vooralsnog centraal gestaan in het hierboven beschreven literatuuronderzoek.

- Naast het uitvoeren van kleinschalig onderzoek in vakkenproeven, kan de verbinding met de teelt van gewassen eenvoudig gerealiseerd worden in het bedrijfssystemen onderzoek Topsoil+ met de bestaande gewasrotatie voor siergewassen. Schematisch zou het onderzoek naar organische stof dan bestaan uit:
 - kleinschalig onderzoek in vakken zonder gewas (duinzand en dekzand), waarin veel vragen over de bijdrage van producten aan de organische stofvoorziening beantwoord worden en
 - veldonderzoek, ingepast in lopend onderzoek, waarbij de effecten van organische materialen op de organische stofvoorziening en de productie bij alle betrokken siergewassen geëvalueerd wordt.

Literatuur

- Anoniem, 1992.
Bepaling van organische stof in kleigrond via elementair-analyse, Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewas-
onderzoek, Oosterbeek, 9 pp.
- Anoniem, 1998.
Demonstratieproject, toepassing van mineraalarme organische stof in de Bloembollenteelt,
DLV Bloembollen/Bolbloemen, Lisse, 16 pp.
- Anoniem, 2000.
Evaluatieverslag van het project 'Toepassing van veen als organische stof in de Bloembollenteelt' 1997-2000,
DLV Bloembollen, 14 pp.
- Christiansen, B.T., 1996.
Carbon in primary and secondary organomineral complexes. // Structure and Organic Matter Storage in
Agricultural Soils, Eds M.R. Carter & B.A. Stewart. pp. 97-165. CRC Press, Inc, Boca Raton, FL.
- De Groot, W., 1995a.
Onderzoek naar de afbraak van organische stof in de bodem. Deel I. M.Sc. Thesis, Wageningen University,
Wageningen. 50 pp.
- De Groot, W., 1995b.
Onderzoek naar de afbraak van organische stof in de bodem. Deel II. Bijlagen. M.Sc. Thesis, Wageningen
University, Wageningen.
- De Haan, S., 1977.
Humus, its formation, its relation with mineral part of the soil, and its significance for soil productivity.
// Soil Organic Matter Studies, Vienna, 1977. pp. 21-30.
- Gee, G.W. & J.W. Bauder, 1986.
Particle-size analysis. // Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods,
Eds G.S. Cambell, R.D. Jackson, M.M. Mortland, D.R. Nielsen & A. Klute. pp. 383-411. American Society of
Agronomy Inc.; Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, USA.
- Guiking, F.C.T., L.J.M. Kater, H. van Reuler, T.G.L. Aendekerk & A.M. van Dam, 2004.
Karakterisering van organische inputs, Praktijkonderzoek Plant en omgeving B.V. Sector Bomen en Bollen,
Boskoop, 63 pp.
- Habets, A.S.J. & G.J.M. Oomen, 1993.
Modelleren van de stikstofdynamiek binnen gewasrotaties in de biologische landbouw: N-DICEA.
Landbouwuniversiteit, Wageningen. 45 pp.
- Hakkenberg, R.G., 2004.
Implementation of soil pH and soil texture effects in an organic matter mineralization model. M.Sc. Thesis,
Wageningen University, Wageningen. 36 pp.
- Hassink, J., 1997.
The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. Plant and
Soil. 1997; 191, 77-87.
- Hassink, J. & J.W. Dalenberg, 1996.
Decomposition and transfer of plant residue 14C between size and density fractions in soil. Plant and Soil
179, 159-169.
- Hassink, J. & A.P. Whitmore, 1997.
A model of the physical protection of organic matter in soils. Soil Science Society of America Journal 61,
131-139.
- Hassink, J., A.P. Whitmore & J. Kubat, 1997.
Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic
matter. European Journal of Agronomy 7, 189-199.
- Hénin, S. & M. Depuis, 1945.
Essai de bilan de la matière organique du sol. Annales Agronomiques 15, 17-29.

- Janssen, B.H., 2002.
Organic matter and soil fertility. Wageningen Agricultural University, Wageningen. 248 pp.
- Janssen, B.H., 1984.
A simple method for calculation decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. *Plant and Soil* 76, 297-304.
- Janssen, B.H. & H. van Reuler, 1986.
Het effect van de toediening van organische materialen aan de grond. *In* Themadag 'Organische stof in de akkerbouw', Ed H.H.H. Titulaer. pp. 7-19. P.A.G.V., Lelystad.
- Janssen, J., 1995.
Organische stof in de akker- en tuinbouw: een nieuwe benadering of 'oude wijn in een nieuwe'. IKC-Landbouw, Ede. 27 pp.
- Kolenbrander, G.J., 1969.
De bepaling van de waarde van verschillende soorten organische stof ten aanzien van hun effect op het humusgehalte bij bouwland, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (Gr), 10 pp.
- Kolenbrander, G.J., 1970.
De veranderingen van het humusgehalte van bouwland onder invloed van organische bemesting. C7696, Haren (Gr.), 20 pp.
- Kortleven, J., 1963.
Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak, Wageningen. 109 pp.
- Landman, A. & R. Stokkers, 1994.
Afbraaksnelheid van organische stof onderschat. *Vakwerk* 68, 18-19.
- Oele, C., 1995.
Mineralenstromen bij de teelt van vaste planten in het Duin- en Bollengebied, Proefstation voor de Boomkwekerij, Boskoop, 11 pp.
- Pronk, A.A., J.J. Schröder & R. Booij, 2002.
Verslag van de workshop 'Bodemkwaliteit', Wageningen, 20 september 2002. 54, *Plant Research International*, Wageningen, 36 pp.
- Pronk, A.A. & H. van Reuler, 2007a.
Organische stof dynamiek. *Informatieblad Topsoil+* 5, 2.
- Pronk, A.A. & H. van Reuler, 2007b.
Restoring degraded soils within the Dutch nutrient management legislation for ornamental crop production. *In* *Organic Matter Dynamics in Agro-Ecosystems*, Poitiers, France, 2007b. Ed A. Chabbi. pp. 216-217.
- Schröder, J.J., A.G. Jansen & G.J. Hilhorst, 2005.
Long-term nitrogen supply from cattle slurry. *Soil Use and Management* 21, 196-204.
- Schröder, J.J., D. Uenk & G.J. Hilhorst, 2007.
Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant and Soil* (in press).
- Schröder, J.J., W. van Dijk, G.J. Hilhorst, H. van Schooten & M. Bruinenberg, 2006.
Long term N fertilizer value of cattle slurry applied to maize. *In* *N management in agrosystems in relation to the water framework directive: proceedings of the 14th N workshop October 2005*, Maastricht, The Netherlands 2006. Eds J.J. Schröder & J.J. Neeteson. pp. 170-172.
- Shibu, M.E., P.A. Leffelaar, H. van Keulen & P.K. Aggarwal, 2006.
Quantitative description of soil organic matter dynamics - A review of approaches with reference to rice-based cropping systems. *Geoderma* 137, 1-18.
- Sijtsema, C.H., 1993.
Model voor het voorspellen van het verloop van het organische stofgehalte in de komende jaren en de netto-stikstofmineralisatie van het eerstkomende jaar. M.Sc. Thesis, Wageningen University, Wageningen. 69 pp.
- Snoek, A.J., J.E. Jansma & M.J. Wondergem, 2000.
Evaluatie van zes jaar bedrijfssystemenonderzoek voor de geïntegreerde bloembollenteelt. Deel 2: De Noord, Laboratorium voor Bloembollenonderzoek, Lisse, 73 pp.
- Stevenson, F.J., 1994.
Humus chemistry: Genesis, Composition, Reactions. John Wiley & Sons, New York. 496 pp.

- Stokkers, R. & A. Landman, 1994.
Organische stof in de bloembollenteelt op duinzandgronden, Laboratorium voor Bloembollenonderzoek, Lisse, 18 pp.
- Ten Berge, H.F.M., A.M. van Dam, B.H. Janssen & G.L. Velthof, 2007.
Mestbeleid en bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek. Advies van de CDM-werkgroep Mestbeleid en bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek. Werkdocument 47, Wageningen, 75 pp.
- Van Dam, A.M., L.J.M. Kater & N.S. van Wees, 2004.
Adviesbasis voor de bemesting van bloembolgewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Bloembollen, Lisse. 50 pp.
- Van den Berg, H., 2006.
Denk goed na over het gebruik van compost. De Boomkwekerij 10, 11.
- Van Dijk, W., A.M. van Dam, J.C. van Middelkoop, F.J. De Ruijter & K.B. Zwart, 2005.
Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt overige organische meststoffen: studie t.b.v. onderbouwing gebruiks-normen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Business-unit Akkerbouw Groene Ruimte en Vollegrondsgroente, Lelystad. 50 pp.
- Van Reuler, H., 2006.
Rapportage planvorming Topsoil+, Bodemkwaliteit op zand, met speciale aandacht voor de sierteelt, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Bloembollen & Boomkwekerij, Lisse, 68 pp.
- 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.
- Whitmore, A.P., 1995.
Modelling the mineralization and leaching of nitrogen from crop residues during three successive growing seasons. Ecological Modelling 81, 233-241.
- Wongergem, M.J., R. Stokkers & B. Snoek, 1996.
Geïntegreerde bedrijfssystemen bloembollenteelt De Noord: jaarverslag 1994/'95: deel 1. Resultaten bedrijfsvoering en teelt. Intern LBO-Rapport nr. 069a, Laboratorium voor Bloembollenonderzoek, Lisse, 50 pp.
- Yang, H.S., 1996.
Modelling organic matter mineralization and exploring options for organic matter management in arable farming in Northern China. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen. 159 pp.
- Zwart, K.B., A.P. Whitmore & J.G. Bokhorst, 1999.
Beheer van organische stof in open biologische, ecologische en geïntegreerde teeltsystemen: eindrapport 102, AB-DLO, Wageningen, 90 pp.

