



Toetsen en normeren stabiliteit van bodemverbeteraars

dr.ir. S.W. Moolenaar (NMI)

dr. A.Veeken (WU-MT)

ir. R. Postma (NMI)

Rapport 844.02

*Toetsen en normeren
stabiliteit van
bodemverbeters*

dr.ir. S.W. Moolenaar (NMI)
dr. A.Veecken (WU-MT)
ir. R. Postma (NMI)

maart 2002

Nutriënten Management Instituut NMI
BV Postbus 250
6700 AG Wageningen
Haagsteeg 2-b
6708 PM Wageningen
tel. 0317 46 77 00
fax 0317 46 77 01
e-mail nmi@nmi-agro.nl
internet www.nmi-agro.nl

© 2002 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

VERSPREIDING

mw. drs. N.H.G. Meijers, Ministerie van LNV, DL

5 x

INHOUD

	pagina
SAMENVATTING EN CONCLUSIES	3
INLEIDING	5
THEORIE	6
<i>Organische stof</i>	6
<i>Nutriënten</i>	7
<i>Beoordeling bodemverbeteraars en benodigde aanvullende methodologie</i>	7
<i>Oxitop®</i>	9
PROEFOPZET EN –UITVOERING	10
<i>Selectie bodemverbeteraars</i>	10
<i>Karakterisering bodemverbeteraars</i>	11
Voorbehandeling	11
Chemische analyses	11
<i>Rottegradanalyses</i>	12
<i>Uitvoering respiratiemeting met Oxitop®</i>	13
Achtergrond	13
Uitvoering respiratiemeting (standaardcondities)	15
Bepaling van stikstofmineralisatie met Oxitop® meetsysteem (standaardcondities)	18
Bepaling stabiliteit en N-mineralisatie in de vaste fase (standaardbodem)	19
RESULTATEN	21
<i>Resultaten analyse bodemverbeteraars</i>	21
<i>Resultaten Rottegradanalyses</i>	23
<i>Resultaten stabiliteit en N-mineralisatie onder gestandaardiseerde condities</i>	24
<i>Relatie tussen de Oxitop® test onder gestandaardiseerde condities en de Rottegradmethode</i>	27
<i>Resultaten stabiliteit en N-mineralisatie in een standaardbodem</i>	27
<i>Relatie tussen de Oxitop® test onder gestandaardiseerde condities en de Oxitop® test met standaardbodem</i>	28
INTERPRETATIE	31
<i>Modellering</i>	31
Bepaling a-waarde uit de Oxitop® meting	31
<i>N-mineralisatie als functie van de C/N_{org}-verhouding</i>	33
Vergelijking van N-mineralisatie volgens Oxitop® metingen en Minip-berekening	34
<i>Vergelijking bodemverbeteraars: landbouwkundige waarde en milieukundige consequenties</i>	36
<i>Vertaalslag normstelling</i>	38
CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	40
<i>Algemeen</i>	40
<i>Conclusies</i>	40
<i>Aanbevelingen</i>	41
LITERATUUR	42
BIJLAGEN	
1. Voorschriften Oxitop® C- en N-mineralisatie	43
2. Analyseresultaten	45

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

De stabiliteit en de N-mineralisatiesnelheid van organische stof kunnen direct bepaald worden met een door Milieutechnologie van Wageningen Universiteit (WU-MT) ontwikkelde respiratietest, waarbij de zuurstofconsumptie bepaald wordt via meting van de drukval met het Oxitop® meetsysteem. In deze test wordt onder gestandaardiseerde condities de afbraaksnelheid van organische stof en de stikstoflevering gemeten. Deze test kan tevens worden gebruikt om de huidige stabiliteitsbepaling voor composten (de Rottegradmethode) in de context van BOOM te vervangen door de respiratietest. Deze test is door de wetenschappelijke wereld geaccepteerd en voorgedragen door de Europese Unie en vastgelegd in de standaard-analysemethoden voor compost in Duitsland en VS.

Het Ministerie van LNV is in deze methode geïnteresseerd en heeft Nutriënten Management Instituut NMI daarom opdracht gegeven om middels een project, samen met de sectie WU-MT, uitwerking te geven aan de volgende doelen:

1. Toepassing van de stabiliteitstest op basis van zuurstofconsumptie voor het vergelijken van zowel de afbraak/stabiliteit als de N-mineralisatie van verschillende bodemverbeteraars: GFT-, groen-, en schorscompost, champost, tuinturf (veen) en zuiveringslib.
2. Relateren van de gevonden waarden van stabilisatiegraad en N-mineralisatie aan de landbouwkundige waarde en aan milieuhygiënische consequenties van de beschouwde bodemverbeteraars.
3. Onderlinge vergelijking en positionering van de bestudeerde bodemverbeteraars op basis van de resultaten van doelen 1 en 2.
4. Vertaalslag maken richting normstelling en standaardisatie: wat is een stabiele bodemverbeteraar en wat niet en waar is dat op te baseren?

Deze projectdoelen zijn alle behaald c.q. uitgevoerd zoals beschreven in dit rapport. De conclusies op basis van de bevindingen luiden als volgt:

Rottegradmethode:

- Bij de Rottegradmethode wordt de temperatuurstijging in het vat bepaald, terwijl eigenlijk de warmteproductie gemeten zou moeten worden. Dit is een van de belangrijkste redenen dat de Rottegradmethode minder goed voldoet als gestandaardiseerde test.
- De Rottegradmeting kan hierdoor ook niet echt reproduceerbaar uitgevoerd worden en de interpretatie van de meting is lastig.
- De Rottegradmethode blijkt weinig onderscheidend te zijn ten aanzien van de karakterisering van de stabiliteit van de geselecteerde bodemverbeteraars.

Oxitop® methode onder gestandaardiseerde condities (vloeibare fase):

- De Oxitop® methode is een snelle en betrouwbare methode voor de bepaling van de stabiliteit van organische bodemverbeteraars.
- De Oxitop® methode resulteert in betrouwbare (reproduceerbare) resultaten met groot onderscheidend vermogen.
- De Oxitop® methode is wat betreft de stabiliteitsbepaling geschikt voor productkarakterisering en (dus ook) voor normstelling in relatie tot het invullen van de BOOM-definitie van 'stabiele bodemverbeteraar'.
- De Oxitop® methode bepaalt de zuurstofconsumptie en geeft dus een directe maat voor de stabiliteit. Uit deze stabiliteit is ook een waarde van de afbraaksnelheid en a-waarde te bepalen.
- Van de BOOM-bodemverbeteraars (dus tuinturf buiten beschouwing gelaten) zouden bij een grenswaarde van 10-15 mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹ (bepaald met de Oxitop® methode onder standaardcondities) en op basis van de gemiddeld waargenomen respiratiesnelheid de producten groencompost, GFT-compost

(op een uitschieter na) en schorscompost als stabiel aan te merken zijn. Op basis van deze grenswaarde zouden champost en slib als niet-stabiel aan te merken zijn. Deze niet-stabiele bodemverbeteraars kennen bovendien een relatief hoge N-mineralisatiesnelheid.

- Op basis van een ongewogen score van de drie belangrijkste items die een rol spelen bij de beoordeling van de landbouwkundige waarde en de milieukundige gevolgen van het gebruik van de bodemverbeteraars zijn deze gerangschikt. Deze rangschikking is geschikt om de BOOM-producten groencompost, GFT-compost en champost onderling te vergelijken. De geteste groencompost is een stabiele bodemverbeteraar met weinig N-levering. GFT-compost is een stabiele bodemverbeteraar met iets meer N-levering en champost is een duidelijk minder stabiele bodemverbeteraar met beduidend hogere N-levering.

Oxitop[®] methode met standaardbodem (metingen in vaste fase):

- De Oxitop[®] methode (standaardbodem) kent de volgende nadelen en beperkingen vergeleken met de Oxitop[®] methode onder gestandaardiseerde condities (vloeibare fase):
 - er dient rekening gehouden te worden met een basis-respiratie en basis-mineralisatie van de (standaard)bodem;
 - de proef met grond (vaste fase) duurt langer dan de proef in vloeibare fase;
 - de proef met grond brengt veel meer werk met zich mee dan de proef onder gestandaardiseerde condities;
 - in verband met heterogeniteit van de standaardbodem is het de vraag in hoeverre de uitkomsten van de metingen voldoende betrouwbaar zijn en of er niet beter 'opofferingsexperimenten' uitgevoerd zouden moeten worden net zoals bij de huidige incubatieproeven waarin grond gebruikt wordt.

Oxitop[®] methode onder gestandaardiseerde condities èn met standaardbodem:

- De resultaten van de N-mineralisatiemetingen in zowel vloeibare als vaste fase via de Oxitop[®] methode zijn beide nog niet gevalideerd. De interpretatie kan weliswaar lastig zijn, maar deze problemen gelden ook voor de standaard incubatieproef.
- Voor een goede vertaalslag naar 'de praktijk' (vertaling van procesomstandigheden naar bodemsysteem en groeiseizoen) is een ontwikkeltraject nodig om de Oxitop[®] metingen van de N-mineralisatie (in zowel vaste als vloeibare fase) en de Oxitop[®] methode met standaardbodem in het algemeen beter te kunnen ontwerpen.

INLEIDING

De belangrijkste landbouwkundige waarden van een bodemverbeteraar zijn de levering van organische stof en van plantenvoedende stoffen (nutriënten). De mate waarin nutriënten vrijkomen, is tevens van invloed op eventuele verliezen naar het milieu. Criteria voor het karakteriseren van bodemverbeteraars zouden daarom gericht moeten zijn op het beschrijven van de levering van organische stof en het vrijkomen van nutriënten, met name van stikstof (N), uit de bodemverbeteraars.

De stabiliteit van organische stof en de N-mineralisatiesnelheid kunnen direct bepaald worden met een door de sectie Milieutechnologie van Wageningen Universiteit ontwikkelde respiratietest, waarbij de zuurstofconsumptie bepaald wordt via meting van de drukval met het Oxitop[®] meetsysteem. In deze test is onder gestandaardiseerde condities de afbraaksnelheid van organische stof en de stikstoflevering gemeten. Deze test kan tevens worden gebruikt om de huidige stabiliteitsbepaling voor composten, de Rottegradmethode, die uitgevoerd wordt in het kader van BOOM, te vervangen. Deze respiratietest is door de wetenschappelijke wereld geaccepteerd en voorgedragen door de Europese Unie en vastgelegd in de standaard-analysemethoden voor compost in Duitsland en de VS.

Het Ministerie van LNV heeft Nutriënten Management Instituut NMI opdracht gegeven om in een project samen met de sectie Milieutechnologie van Wageningen Universiteit (WU-MT) uitwerking te geven aan de volgende doelen:

1. Toepassing van de stabiliteitstest op basis van zuurstofconsumptie voor het vergelijken van zowel de afbraak/stabiliteit als de N-mineralisatie van verschillende bodemverbeteraars: GFT-, groen-, en schorscompost, champost, tuinturf (veen) en zuiveringsslib.
2. Relateren van de gevonden waarden van stabilisatiegraad en N-mineralisatie aan de landbouwkundige waarde en aan milieuhygiënische consequenties van de beschouwde bodemverbeteraars.
3. Onderlinge vergelijking en positionering van de bestudeerde bodemverbeteraars op basis van de resultaten van doelen 1 en 2.
4. Vertaalslag maken richting normstelling en standaardisatie: wat is een stabiele bodemverbeteraar en wat niet en waar is dat op te baseren?

In dit rapport wordt verslag gedaan van de nadere uitwerking van deze projectdoelen en van de bevindingen die daaruit volgen.

THEORIE

Organische stof

Organische stof is van invloed op de fysische, chemische en biologische bodemvruchtbaarheid. De fysische bodemvruchtbaarheid bestaat onder andere uit de structuur en het vochtbindend vermogen van een grond. De effecten op de chemische bodemvruchtbaarheid van een grond zijn enerzijds de bindingscapaciteit van organische stof voor voedingsstoffen en anderzijds de levering van nutriënten door organische stof. Onder biologische bodemvruchtbaarheid worden alle organismen in de grond gerekend die een positieve dan wel negatieve invloed uitoefenen op de productiecapaciteit van de grond.

De mate waarin organische stof deze onderscheiden vormen van bodemvruchtbaarheid beïnvloedt, wordt onder andere bepaald door de stabiliteit van de organische stof. Klei- en zandgronden bevatten van nature vaak een hoeveelheid (oude) organische stof die redelijk stabiel is. Deze stabiele organische stof vormt het grootste deel van de totale hoeveelheid organische stof die in de grond aanwezig is en draagt bij aan de structuur en bindingscapaciteit. Daarnaast bevatten de meeste landbouwgronden een geringer deel (jonge) organische stof die instabiel is. Deze organische stof draagt bij aan de biologische bodemvruchtbaarheid en levert veel voedingsstoffen. Voor een optimale bodemvruchtbaarheid is een juiste verhouding tussen oudere en verse organische stof vereist. Daarvoor dient de jaarlijkse afbraak van organische stof uit de verschillende organischestoffracties in de grond gecompenseerd te worden via de aanvoer van gewasresten, groenbemesters en bodemverbeteraars die stabiele of minder stabiele organische stof bevatten. De aanvoer van meer stabiele organische stof kan bijvoorbeeld plaatsvinden via GFT-compost, groencompost, schorscompost, vaste rundveemest en veenproducten. Jonge organische stof kan worden aangevoerd via gewasresten, groenbemesters of bodemverbeteraars zoals verse dunne mesten en vaste kippen- en vleeskuikenmest.

De humificatiecoëfficiënt (h) van organisch materiaal is een maat voor dat deel van de organische stof dat een jaar na toediening aan de bodem nog niet afgebroken is. Als van een bepaald materiaal 25 procent van de organische stof binnen een jaar wordt afgebroken en dus 75 procent overblijft, is de humificatiecoëfficiënt dus 0,75. Centrale gedachte bij balansberekeningen met organische stof is volgens Janssen (1986) dat aan ieder organisch materiaal een zogenaamde initiële leeftijd (a : 'apparent initial age') toegekend kan worden, die direct is gerelateerd aan de humificatiecoëfficiënt. Deze leeftijd is namelijk omgekeerd evenredig met de afbreekbaarheid van het organische materiaal: hoe hoger de initiële leeftijd (a), hoe resistenter het materiaal is en dus hoe hoger de humificatiecoëfficiënt is. De zogenaamde a -waarde is derhalve direct gerelateerd aan de omzettingssnelheid van de organische producten: bij een hoge omzettingssnelheid is de a -waarde laag en bij een lage omzettingssnelheid is de a -waarde hoog.

Nutriënten

De N-aanvoer wordt bepaald door de gehanteerde gift en het N-gehalte van een bodemverbeteraar. Naast het N-totaalgehalte, zou ook het N-mineraalgehalte (N_{\min}) bepaald moeten worden. Het N_{\min} -gehalte in de bodemverbeteraars is van belang, omdat deze N direct na toediening aan de bodem vrijkomt. Overigens mag in het algemeen worden aangenomen dat het N_{\min} -gehalte in composten laag is, omdat vrijwel alle N tijdens het composteringsproces uit de compost vervluchtigt als NH_4-N . Het vrijkomen van N uit bodemverbeteraars wordt dus met name bepaald door de hoeveelheid aangevoerde organische N (N_{org}) en door de stabiliteit van de organische stof.

De mineralisatie van N betreft, eenvoudig gesteld, het in anorganische (ook wel 'minerale') vorm vrijkomen van de N die gebonden is aan of in de organischestoffracties van een materiaal. Deze mineralisatie is dus direct gerelateerd aan de afbraak van organische stof. Een belangrijke maat voor de mineralisatie van N wordt dan ook gevormd door de humificatiecoëfficiënt ofwel de initiële leeftijd van een materiaal. Daarbij komt dat de verhouding waarin organische vormen van N voorkomen ten opzichte van de koolstof (C) in het organische materiaal (ofwel de C/N_{org} -verhouding) ook in belangrijke mate bepalend is voor de mineralisatie van N. Bij een lage C/N_{org} -ratio zal er uitsluitend N vrijkomen, terwijl bij een hoge C/N_{org} -ratio eerst N zal worden vastgelegd en later weer zal vrijkomen. Er zijn dan ook bodemverbeteraars waarbij na regelmatige toediening geen significante extra N-mineralisatie te verwachten valt. Deze producten kunnen worden gekarakteriseerd door een relatief lage afbreekbaarheid en/of een hoge C/N_{org} -ratio.

Beoordeling bodemverbeteraars en benodigde aanvullende methodologie

In tabel 1 is per criterium aangegeven of het belang voor de karakterisering van de bodemverbeteraar groot of klein is, of het criterium moeilijk dan wel makkelijk te meten is (hiermee wordt bedoeld of snelle analysemethoden beschikbaar zijn en of de kosten van de meting hoog of laag zijn) en of het criterium moeilijk of makkelijk te controleren is. Het laatste aspect hangt sterk samen met de beschikbaarheid van (snelle) analysemethoden.

TABEL 1. Het belang, de uitvoerbaarheid en de controleerbaarheid van mogelijke criteria voor de beoordeling van bodemverbeteraars.

Criteria	belang voor karakterisering	uitvoerbaarheid meting	controleerbaarheid
C-gehalte	zeer groot	goed	goed
N-gehalte	zeer groot	goed	goed
P-gehalte	zeer groot	goed	goed
N_{\min} -gehalte	groot	goed	goed
C/N-ratio	zeer groot	goed	goed
a-waarde	zeer groot	zeer moeilijk	zeer moeilijk

Uit deze tabel blijkt dat de meeste criteria, die van belang zijn voor een karakterisering van de bodemverbeteraar, goed te meten zijn. De C/N-ratio (eigenlijk C/N_{org} -ratio) is een belangrijke parameter en kan worden afgeleid uit het C-gehalte (of het organischestofgehalte), het N-gehalte en het N_{\min} -gehalte. De a-waarde of de afbreekbaarheid van de organische stof in de bodemverbeteraars heeft een speciale positie in de tabel. Enerzijds is het belang van de a-waarde voor de karakterisering van de bodemverbeteraar zeer groot als maat voor de levering van stabiele organische stof en het vrijkomen van nutriënten. Anderzijds zijn de uitvoerbaarheid van de meting en daarmee de controleerbaarheid echter zeer moeilijk. De a-waarde wordt normaal gesproken

namelijk bepaald in incubatiestudies, die tijdrovend (weken tot maanden) en kostbaar zijn. Er is daarom behoefte aan snelle methoden die een betrouwbare indruk geven van de afbreekbaarheid van organische stof in bodemverbeteraars. Raijmakers & Janssen hebben in 1995, in een studie naar een methode voor de karakterisering van organische meststoffen, een poging gedaan om de afbreekbaarheid van die meststoffen te relateren aan gehalten aan lignine, cellulose en hemicellulose. Het verband tussen de gehalten aan deze verbindingen en de afbreekbaarheid ervan was echter slecht (persoonlijke mededeling Raijmakers, 2001).

Een andere methode om de afbreekbaarheid of stabiliteit van de organische stof in bodemverbeteraars te karakteriseren is de Rottegradmethode, die onder andere wordt gebruikt ten behoeve van de certificering van GFT-compost (Kiwa, BRL-K256/03 van 1-5-1999). De Rottegradmethode is in Duitsland ontwikkeld en gebruikt de warmteproductie als gevolg van de afbraak van organische stof als indicatie voor de stabiliteit. Bij deze methode wordt compost op een bepaalde vochtigheid gebracht en wordt vervolgens de temperatuurontwikkeling gevolgd in een geïsoleerd Dewar-vat. Hoe lager de stabiliteit, des te groter de afbraaksnelheid en des te hoger de temperatuur oploopt. De stabiliteitsklasse van compost wordt op basis van een bepaling met de Rottegradmethode op basis van het temperatuurmaximum als volgt vastgesteld:

- klasse I: > 60 °C;
- klasse II: 50,1 - 60 °C;
- klasse III: 40,1 - 50 °C;
- klasse IV: 30,1 - 40 °C;
- klasse V: ≤ 30 °C.

Klasse V is dus het meest stabiel. De Rottegradmethode is een indirecte methode en heeft als nadeel dat het experiment niet goed is gestandaardiseerd. De microbiële populatie is niet gedefinieerd of zelfs afwezig en door een ongedefinieerde pakking en structuur van het monster is de zuurstofvoorziening en de ontwikkeling van de temperatuur niet goed reproduceerbaar. Enkele verbeteringen voor de test zijn het gebruik van entmateriaal en toevoeging van nutriënten. De methode is echter niet voldoende onderscheidend om verschillen tussen stabiele composten te meten.

Omdat er nu geen gestandaardiseerde relatie is tussen de klasse volgens de Rottegradmethode en de stabiliteit van een product is het van groot belang dat er wel een eenduidige maat voor de afbreekbaarheid c.q. de stabiliteit van de organische stof wordt verkregen. Een snelle en betrouwbare meetmethode voor de stabiliteit is de zuurstofconsumptiemethode. Hierbij is de stabiliteit van organische stof direct gerelateerd aan de microbiële activiteit, die kwantitatief gemeten wordt door bepaling van de respiratie (zuurstofverbruik) of de productie van kooldioxide (CO₂). Deze methode geeft een directe en kwantitatieve maat voor de stabiliteit en wordt door de EU geadviseerd.

Een goed gedefinieerde, snelle, betrouwbare en goedkope test, waarbij de afbraak van organische stof gemeten wordt via de zuurstofconsumptie of de kooldioxideproductie, biedt mogelijkheden als standaardtest voor de bepaling van de stabiliteit van organische stof in compost. Er zijn twee manieren mogelijk om de zuurstofconsumptiesnelheid te bepalen:

1. In vaste vorm: een compostmonster wordt bij een bepaald drogestofgehalte geïncubeerd.
2. In vloeistof: een compostmonster wordt met toevoegingen (buffer, nutriënten entmateriaal, nitrificatieremmer) in een slurrie-oplossing geïncubeerd.

Door Lasaridi & Stentiford (1998) zijn beide methoden vergeleken. Uit deze onderzoeken kan worden geconcludeerd dat

1. respiratie in vaste vorm niet goed reproduceerbaar is en de respiratiesnelheid lager is dan voor respiratie in vloeistof. Dit wordt niet alleen veroorzaakt door de heterogeniteit van het monster maar ook door de condities van het experiment. De zuurstof dringt niet volledig door in het gehele monster (zuurstoflimitatie), waardoor slechts een klein gedeelte van het monster bloot staat aan aërobe afbraak. De mate van zuurstofpenetratie is sterk afhankelijk van de porositeit en pakking van het monster; en
2. respiratie in de vloeistofvorm goed reproduceerbaar is, omdat gezorgd wordt voor goed gecontroleerde omstandigheden. Er treden geen massatransportlimitaties op (goed contact tussen micro-organismen en organische stof) en het proces speelt zich af onder optimale omstandigheden door toevoeging van nutriënten, pH-buffer en een microbiële populatie.

Oxitop[®]

Bij de sectie Milieutechnologie van Wageningen Universiteit is een respiratiemeting ontwikkeld waarbij de zuurstofconsumptie bepaald wordt via meting van de drukval met het Oxitop[®] meetsysteem. Het Oxitop[®] meetsysteem is ontwikkeld door de firma WTW in Duitsland en het is een standaardmethode voor de bepaling van respiratie in afvalwater en bodem. De Oxitop[®] methode is een snelle bepaling, die bovendien goedkoop is en eenvoudig is uit te voeren. Hierdoor kan de methode door laboratoria gebruikt worden, maar ook door bijvoorbeeld composteerbedrijven. Deze methode kan mogelijk dienen als vervanging van de Rottegradmethode om de stabiliteit van compost te bepalen. De test is door de wetenschappelijke wereld geaccepteerd, voorgedragen door de Europese Unie en vastgelegd in de standaard-analysemethoden voor compost in Duitsland en de VS. Daarbij geeft de test een kwantitatieve bepaling van de stabiliteit, die uitgedrukt is in mg O₂ per kg organische stof per uur. Door de EU wordt voor een stabiele compost een grens van 1.000 mg O₂ per kg organische stof per uur als grens voorgesteld (European Commission, 2001)

Een meer gedetailleerde beschrijving van de uitvoering van respiratiemetingen met het Oxitop[®] meetsysteem wordt gegeven in het volgende hoofdstuk.

PROEFOPZET EN -UITVOERING

Selectie bodemverbeteraars

In overleg met LNV is gekozen voor de volgende bodemverbeteraars: GFT-compost, groencompost, champost, tuinturf, schorscompost en slib. GFT-compost, champost, groencompost, schorscompost en slib vallen onder het BOOM-regime, tuinturf (veelal veen) niet. Blgg Oosterbeek heeft deze producten uit 'de markt' gehaald en representatieve monsters verzameld. De monsternummers, de bedrijven waar de monsters genomen zijn en een omschrijving van de partij zijn in tabel 2 per categorie weergegeven.

TABEL 2. Beschrijving van de monsters.

Nummer	bedrijf	partij omschrijving	leeftijd
GFT-compost			
68580	Essent Wijster	landbouwcompost oud	7 mnd
68581	VAR	RECRO compost 0–8	5 wkn
68582	VAR	op zak 0–15	7 wkn
68583	Avira	GFT vers	8 wkn
68584	Avira	GFT oud	13 wkn
Groencompost			
68585	Dalfsen	takken, houtsnippers	1 wk
68586	Wagro	plantenrest, snoeihout, bermgras	1 mnd
68587	Geld.Groen.Rec.	onder de molen genomen	3 mnd
68588	Geld.Groen.Rec.		6 mnd
68589	Geld.Groen.Rec.	15% zand	6 mnd
Champost			
68590	CNC	doorgroeide compost	
68591	Brienen	champost Brienen	
68592	De Vree	champost De Vree	
68593	Ackermans	champost Kerkdriel	
68594	Van Houten	champost Van Houten	
Tuinturf			
68617	Slingerland	tuinturf Eshand	
68618	Slingerland	tuinturf GV	
68621	Bol	TT1 RHP Bolkhorst 1	
68622	Bol	TT1 RHP Bolkhorst 2	
Schors			
68615	Van Dijk	Franse schors	3 mnd
68616	Van Dijk	Duitse Boomschors	3 wkn
68619	Slingerland	<i>Pinus pinaster</i> (Franse) schors 0-5	
68620	Slingerland	<i>Pinus silvester</i> (Duitse) schors 0-7	
68623	Neede	gecomposteerde boomschors	
68624	Neede	ongecomposteerde boomschors	
Slib			
68607	Uniqema	afvalwaterzuiveringsslib	

Per materiaal is een monster genomen van circa 15 liter. Deze monsters zijn gehomogeniseerd bij Blgg en vervolgens opgesplitst in drie submonsters van vijf liter. Vijf liter werd als reserve ingevroren bij Milieutechnologie, vijf liter werd gebruikt voor de Rottegradbepaling bij Blgg en vijf liter werd gebruikt door Milieutechnologie voor karakterisering van het product en voor de Oxitop® proeven.

Karakterisering bodemverbeteraars

Voorbehandeling

De verse monsters zijn opgeslagen bij 4 °C en gebruikt voor de volgende bepalingen

- drogestofgehalte en organischestofgehalte;
- pH, NH₄, NO₃, NO₂; en
- bepaling van stabiliteit en N-mineralisatie.

Een gedeelte van het verse monster is met wijnsteenzuur behandeld en gemalen tot deeltjes <0,5 mm volgens IMAG procedure MSP-A007 (monstervoorbehandeling door drogen na toevoeging van wijnsteenzuur ten behoeve van stapelbare mest met een geschat drogestofgehalte van ten minste 30%: op basis van NEN7431) en verkleind volgens IMAG-procedure MSP-A009 (monstervoorbehandeling door malen ten behoeve van dierlijke mest met een geschat drogestofgehalte van ten minste 85%: op basis van NEN7431). Dit monster is gebruikt voor de bepaling van N-totaal¹, K-totaal en P-totaal.

Een gedeelte van het verse monster is gedroogd bij 105 °C, vervolgens gemalen met een snijmolen (Retsch SM2000) tot deeltjes <1 mm en daarna gemalen met een planeetkogelmolen (Retsch) tot deeltjes <0,05 mm. Een gedeelte van het wijnsteenzuur behandelde en gemalen monster is ook met de planeetkogelmolen tot deeltjes <0,05 mm verkleind. Deze monsters zijn gebruikt voor de elementenanalyse² (C en N).

Chemische analyses

Het drogestofgehalte is bepaald door drogen gedurende minimaal 24 uur bij 105 °C volgens NEN6620. Het gedroogde monster is vervolgens gebruikt voor de bepaling van het organischestofgehalte door het monster gedurende minimaal 3 uur te verassen bij 550 °C volgens NEN6620.

De pH, NH₄⁺, NO₃⁻ en NO₂ zijn bepaald aan een waterextract (extractie gedurende 0,5 uur in een 1:5 monster-water verhouding). De pH is bepaald volgens NEN6411 en NH₄⁺, NO₃⁻ en NO₂ met de 'Dr. Lange tests' LCK303, LCK339 en LCK342. Het

organische N-gehalte (N-org) is gedefinieerd als het verschil tussen totaal en mineraal N en berekend volgens:

$$N_{\text{org}} = N_{\text{totaal}} - \text{NH}_4 - \text{NO}_3 - \text{NO}_2$$

¹ Voor de N-totaalbepaling worden slechts enkele grammen ingewogen, zodat verdere verkleining noodzakelijk is om een representatief monster te kunnen analyseren. Direct drogen en malen van het verse monster is niet mogelijk, omdat hierdoor een gedeelte van het aanwezige ammoniak vervluchtigt. Daarom wordt het monster aangezuurd met wijnsteenzuur (bevat geen N), zodat vervluchtiging wordt tegengegaan.

² Voor elementenanalyse worden slechts enkele milligrammen ingewogen. Daarom wordt het gemalen monster verder verkleind met de planeetkogelmolen om een representatief

monster te verkrijgen.

De bepaling van N-totaal, K-totaal en P-totaal is uitbesteed aan het IMAG-milieulaboratorium, waar analyses zijn uitgevoerd conform de volgende IMAG-procedures*

- * MSP-A004 (NEN7433): destructie van dierlijke mest ten behoeve van NPK-analyses
- * MSP-A005 (NEN7434): bepaling van ammoniumstikstof in destruatens verkregen volgens destillatie methode
- * MSP-A004 (NEN7433): destillatie methode
- * MSP-A006 (NEN7435): bepaling van opgelost fosfaat in destruatens verkregen volgens fotometrische methode
- * MSP-A004 (NEN7433): fotometrische methode
- * MSP-A022 (NEN7436): bepaling van het gehalte aan kalium in destruatens verkregen volgens vlamfotometrische methode
- * MSP-A004 (NEN7430): vlamfotometrische methode

(* Bovengenoemde MSP-procedures zijn gebaseerd op NEN-normen die tussen haakjes vermeld staan)

De elementenanalyse is uitgevoerd op het laboratorium van Bodemkunde en Geologie van Wageningen Universiteit met de Eager 200 Elemental Analyzer. Voor de C-analyse is het direct gedroogde monster gebruikt en voor de N-analyse het met wijnsteenzuur behandelde monster.

Rottegradanalyses

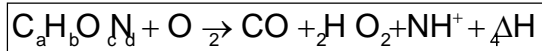
De stabiliteitsmeting van compost met behulp van de Duitse Rottegradmethode is omschreven in het 'Methodenbuch' van juli 1998. Bgg voert deze analyse uit volgens de Duitse omschrijving. De temperatuur van de compost wordt hierbij gedurende enkele dagen gemeten tot de maximum temperatuur bereikt is. Deze maximum temperatuur wordt gebruikt om de graad van rotheid uit te drukken, gerelateerd aan de leeftijd van de compost. Een hoge temperatuur geeft aan dat het proces van compostering nog niet geheel voltooid is. Het monster wordt bij binnenkomst op kamertemperatuur gebracht en indien nodig gezeefd. Hierna wordt het monster in duplo ingezet in Dewar-vaten. Met behulp van een continu-registratiesysteem wordt ieder uur de temperatuur van de monsters gemeten. Wanneer, na ongeveer 5 dagen, de maximum temperatuur bereikt is, worden met behulp van het computerprogramma Decipher de gegevens uitgeprint. Het experiment wordt in elk geval beëindigd na maximaal 10 dagen.

De stabiliteitsklasse van de bodemverbeteraar wordt volgens de volgende temperatuurmaxima vastgesteld:

- Stabiliteitsklasse I : temperatuurmaximum > 60 °C.
- Stabiliteitsklasse II : temperatuurmaximum 50,1-60 °C.
- Stabiliteitsklasse III : temperatuurmaximum 40,1-50,0 °C.
- Stabiliteitsklasse IV : temperatuurmaximum 30,1-40,0 °C.
- Stabiliteitsklasse V : temperatuurmaximum ≤ 30,0 °C.

*Uitvoering respiatiemeting met Oxitop®***Achtergrond**

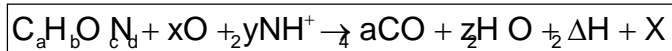
Onder de stabiliteit van een bodemverbeteraar wordt de afbraaksnelheid van de organische stof onder aërobe condities verstaan. Per definitie neemt de stabiliteit toe met een afnemende afbraaksnelheid. De afbraak van een organisch substraat met molecuulformule $C_aH_bO_cN_d$ kan als volgt worden beschreven:



Hierin is ΔH de warmteproductie (in kJ). De stoichiometrie is afhankelijk van het type substraat. Voor het substraat cellulose ($C_6H_{12}O_6$) geeft dit de volgende kengetallen:

- Zuurstofconsumptie: 1,07 g O_2 kg^{-1} organische stof (OS)
- Kooldioxideproductie 1,47 kg kg^{-1} OS
- Waterproductie 0,6 kg kg^{-1} OS
- Warmteproductie 16 MJ kg^{-1} OS

In feite is dit niet de volledige vergelijking voor de microbiologische afbraak, aangezien er micro-organismen in het spel zijn. Bij de microbiologische afbraak wordt een gedeelte van het substraat gemineraliseerd (dissimilatie), waarbij energie vrijkomt en een ander gedeelte wordt gebruikt voor de aanmaak van nieuwe micro-organismen (assimilatie). De yield-factor (de hoeveelheid gevormde biomassa per hoeveelheid afgebroken substraat) voor aërobe afbraak bedraagt 0,5-0,6, dat wil zeggen dat per gram afgebroken cellulose 0,5-0,6 gram biomassa wordt gevormd. De samenstelling van verschillende typen micro-organismen is redelijk uniform en bedraagt $CH_{1,8}O_{0,5}N_{0,2}$. Voor de vorming van 1 gram biomassa is dus 0,1 gram N nodig. Een C/N-gehalte >10 leidt dan ook tot een minder optimale groei van biomassa en tot remming van de afbraak. De gevormde biomassa is zelf ook weer substraat voor afbraak door afsterving. De reactievergelijking voor microbiologische afbraak onder aërobe condities moet dus als volgt worden voorgesteld:



De productie van ammoniakstikstof (N-mineralisatie) of consumptie van ammoniakstikstof (N-vastlegging) wordt bepaald door de C/N-verhouding (a/d) van het substraat.

De afbraaksnelheid (stabiliteit) van het organische materiaal kan dus direct bepaald worden door de bepaling van de zuurstofconsumptie (O_2), kooldioxideproductie (CO_2) of warmteproductie (ΔH). Tijdens composteren vindt afbraak plaats van organisch materiaal, waarbij per definitie de gemakkelijk bereikbare en snel afbreekbare componenten eerder worden afgebroken dan de minder bereikbare en afbreekbare componenten. Hierdoor blijft in de loop van het compostingsproces relatief meer stabiel organisch materiaal over. Dit betekent dus dat de stabiliteit van de organische stof gedurende de compostering toeneemt, oftewel de afbraaksnelheid neemt af.

Om een gestandaardiseerde stabiliteitstest te ontwikkelen, moet aan de volgende eisen worden voldaan:

- De groei van de micro-organismen moet niet gelimiteerd zijn. Dit betekent dat er voldoende nutriënten, voornamelijk in de vorm van NH_4^+ , aanwezig moeten zijn. Ook kan eventueel een microbiële ent worden toegevoegd als verwacht wordt dat de microbiële activiteit laag is (bijvoorbeeld als monsters gedroogd en bewaard zijn of uit de thermofiele fase van de compostering komen).
- Omdat protonen gevormd worden, moet het systeem gebufferd zijn. Daarnaast is de microbiële activiteit afhankelijk van de pH van het systeem en dus is dezelfde pH noodzakelijk.
- De afbraak is ook afhankelijk van de temperatuur en daarom moet de test onder constante en bekende temperatuur worden uitgevoerd.
- Er moet altijd voldoende zuurstof aanwezig zijn in het systeem, zodat zuurstof niet limiterend kan zijn.
- De afbraak moet onafhankelijk zijn van onder andere het vochtgehalte en de pakkingdichtheid van het materiaal.
- Er moeten geen andere microbiële processen zijn die ook zuurstof consumeren. De voornaamste is het nitrificatieproces (oxidatie van NH_4^+ tot NO_3^-). Daarom wordt een nitrificatieremmer toegevoegd.

Er zijn twee fasen waarin de test kan worden uitgevoerd:

- De vaste fase: zuivere compost of compost door een standaardbodem gemengd.
- De 'waterfase': een bepaalde hoeveelheid materiaal wordt in water opgelost en/of gesuspenseerd.

Uitvoering in de vaste fase kent de volgende problemen:

- Menging van bufferoplossing, nutriënten en andere stoffen in de vaste fase is moeilijk uit te voeren.
- De afbraaksnelheid is afhankelijk van onder andere het vochtgehalte en de pakkingdichtheid van het materiaal.

De afbraak van vast organisch materiaal vindt plaats door enzymatische reacties aan het oppervlak van de vaste deeltjes. Het beschikbare oppervlak wordt bepaald door de luchtporositeit waardoor micro-organismen en zuurstof het oppervlak kunnen bereiken. Het beschikbare oppervlak (direct gerelateerd aan poriëndistributie) is afhankelijk van onder andere de pakkingdichtheid en vochtgehalte van het materiaal. De afbraaksnelheid is dus moeilijk te standaardiseren in het vaste fasesysteem.

Voor de uitvoering in de waterfase gelden deze nadelen niet. Het organisch materiaal is volledig gesuspenseerd in het water en is dus volledig beschikbaar voor micro-organismen. Daarnaast kunnen gemakkelijk pH-buffering en toevoegingen van nutriënten en van andere stoffen toegepast worden in de waterfase. Omdat het volledige substraat beschikbaar is en optimale condities geboden worden, is de afbraaksnelheid in een waterfase vele malen hoger dan in de vaste fase, zodat de test in kortere tijd kan worden uitgevoerd. Er moet wel gegarandeerd worden dat voldoende zuurstof in de waterfase aanwezig is en dat deze niet limiterend wordt.

Er zijn twee soorten systemen om de afbraaksnelheid te bepalen:

- Een batchsysteem, waarin de consumptie of productie cumulatief wordt gemeten.
- Een continu doorstroomsysteem, waarin de consumptie of productie wordt gemeten door het verschil in ingaande en uitgaande lucht.

Er is gekozen voor een batchsysteem, omdat dit de minste voorzieningen behoeft. Ook is een batchproef in eenvoudige laboratoria al uit te voeren. Hierdoor wordt het mogelijk dat een compostbedrijf of tussenhandel de stabiliteit van het product (compost) zelf kan bepalen. Het compostbedrijf kan deze informatie gebruiken om het composteerproces te monitoren en te optimaliseren. De gebruiker kan de kwaliteit van het geleverde product direct bepalen. In principe moet de test snel resultaten kunnen leveren, dat wil zeggen dat de tijdsduur van de test korter moet zijn dan een week.

Er zijn ook verschillende chemische methoden voorgesteld om de stabiliteit van een compost te bepalen. Enkele voorbeelden hiervan zijn

- C/N-verhouding;
- ammoniak/nitraat-verhouding;
- CEC;
- humificatie; en
- (opgelost) DOC.

Uit het voorafgaande blijkt dat deze parameters geen direct verband met de stabiliteit hebben. Ook zijn deze parameters afhankelijk van het uitgangsmateriaal en daarom vormen ze geen directe en kwantitatieve maat voor de stabiliteit.

Ook de Rottegradmethode geeft geen kwantitatieve maat voor de stabiliteit en wel om de volgende redenen:

- Eigenlijk moet in plaats van de temperatuur (zoals nu gebeurt bij de Rottegradmethode) de warmteproductie gemeten worden als parameter van de stabiliteit. De temperatuur is namelijk het resultaat van warmteproductie en warmteafvoer en aangezien de grootte van de warmteafvoer niet bekend is, kan de warmteproductie niet uit de temperatuur afgeleid worden.
- In vaste fasesystemen is de afbraak afhankelijk van onder andere de pakking en de vochtigheidsgraad, maar deze zijn bij de bepaling volgens de Rottegradmethode niet gestandaardiseerd.

Uitvoering respiratiemeting (standaardcondities)

Er is gekozen voor het Oxitop[®] meetsysteem dat reeds uitgebreid wordt toegepast in de waterzuivering voor respiratiebepaling van afvalwater. Bij de sectie Milieutechnologie is het Oxitop[®] meetsysteem uitvoerig getest en op basis hiervan zijn de volgende condities gekozen:

- Buffering met fosfaatbuffer pH 7,0.
- Nutriëntenoplossing bestaande uit macronutriënten (NH₄Cl, CaCl₂, MgSO₄ en FeCl₃) en een cocktail van micronutriënten.
- Maximale inweeggewicht van 10 g.
- Toevoeging 2 mg l⁻¹ Allyl-thio-urea (ATU) als nitrificatieremmer.

De als zodanig ontworpen test in de waterfase (batchsysteem) wordt hier beschouwd als de respiratiemeting onder 'standaardcondities'.

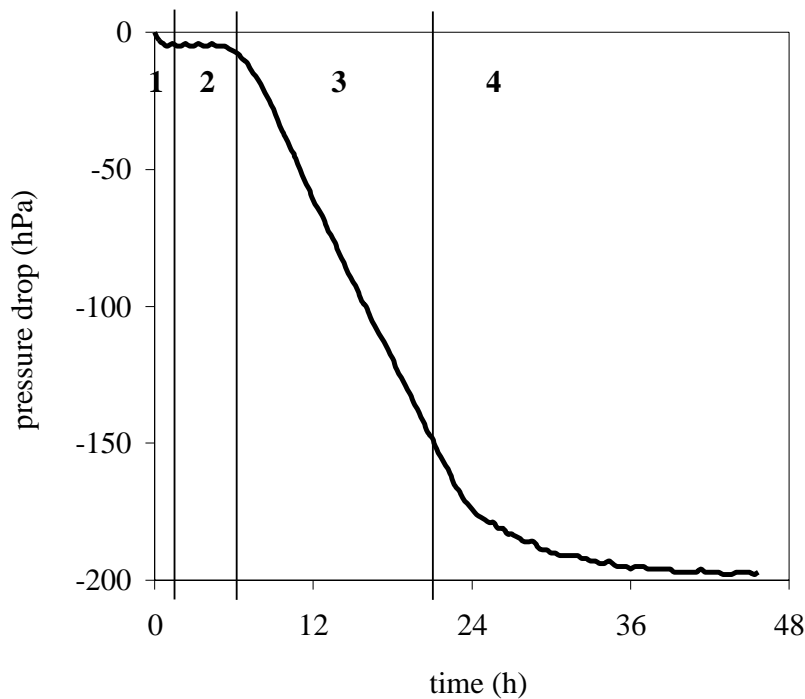
Het protocol voor de uitvoering van de gestandaardiseerde stabiliteitstest is in bijlage 1 beschreven. De respiratie wordt onder gestandaardiseerde condities (temperatuur, pH, zuurstof, nutriënten, vochtigheid) uitgevoerd in een suspensie met het Oxitop[®] meetsysteem. De metingen worden uitgevoerd bij 30 °C. De respiratie van de compost wordt gemeten over een periode van 120-168 uur (5-7 dagen), waaruit de respiratiesnelheid bepaald wordt.

Met de Oxitop[®] wordt de druk van de gasfase gemeten in een gesloten systeem. Bij de aërobe afbraak wordt zuurstof geconsumeerd en kooldioxide geproduceerd. Door de kooldioxide in een loogoplossing op te vangen is de drukval geheel toe te

schrijven aan de zuurstofconsumptie. Een typisch verloop van de druk in de tijd (ΔP in mbar) is gegeven in figuur 1.

Het verloop in ΔP kan in 4 gebieden worden onderverdeeld:

1. Effect van temperatuur en waterverzadiging op de druk van de lucht in de gasfase.
2. Lagfase: adaptatie en groei van micro-organismen die de aërobe afbraak uitvoeren. De hoeveelheid micro-organismen is snelheidsbepalend en de lagfase kan beperkt worden door entmateriaal toe te voegen.
3. De respiratiesnelheid van het substraat is de snelheidsbepalende stap. De respiratiesnelheid wordt bepaald door lineaire regressie gedurende deze periode.
4. Zuurstof in de gasfase raakt op waardoor de respiratiesnelheid geremd wordt. Als regel moet de zuurstof in de gasfase >10% bedragen.



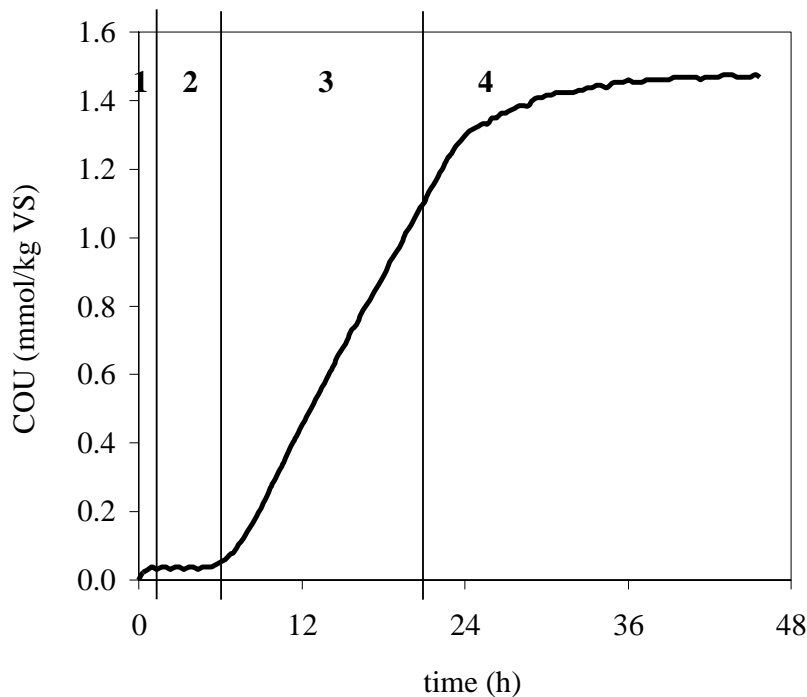
FIGUUR 1. Meting van de druk in een typisch Oxitop® experiment.

Uit de drukval kan de cumulatieve zuurstofopname (COU) van het monster (in mmol O₂ kg⁻¹ OS) berekend worden met de volgende vergelijking:

$$\text{COU} = \frac{\Delta P}{83,14 \cdot (273,13 + T)} \frac{V_{\text{gas}}}{W \cdot \text{DS} \cdot \text{OS}}$$

hierin zijn ΔP de drukdaling van de gasfase (mbar of hPa), T de temperatuur van de meting (°C), V_{gas} het volume van de gasfase (ml), W het gewicht van het monster (kg), DS het drogestofgehalte van het monster (kg kg⁻¹) en OS het organischestofgehalte van het monster (kg kg⁻¹ DS). De berekende COU voor het experiment uit figuur 1 is in figuur 2 weergegeven. De respiratiesnelheid (OUR) van het substraat (in mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹) wordt bepaald uit de helling van COU in de lineaire periode (3) volgens:

$$\text{OUR} = \frac{\text{COU}(\Delta t)}{\Delta t}$$



FIGUUR 2. Cumulatieve zuurstofopname op basis van drukmeting in figuur 1.

In tabel 3 zijn de respiratiesnelheden van organische materialen in verschillende afbraakstadia gegeven zoals deze met de gestandaardiseerde respirometrie bepaald zijn. De respiratiesnelheid van vers organisch materiaal ligt ruim boven 50 mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹. Na de intensieve fase van een goed verloopend composteringproces daalt de respiratiesnelheid binnen een week naar 10-15 mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹ en na 3 weken tot 6-8 mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹. Na een aërobe opslag van circa 5 maanden treedt een verdere daling op naar 3-5 mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹. Zeer stabiel organisch materiaal zoals donkerveen heeft een respiratiesnelheid <1 mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹.

TABEL 3. Respiratiesnelheid van verschillende soorten organisch materiaal onder gestandaardiseerde condities (in mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹).

Type organisch materiaal	Respiratiesnelheid, mmol O ₂ kg ⁻¹ OS uur ⁻¹
verse mest	>50
vers GFT-afval	>50
verse GFT-compost	6 ± 2
GFT-compost na 5 maanden opslag	3 ± 1
groencompost	7 ± 3
groencompost na 5 maanden opslag	3,5 ± 1
organisch materiaal in bodem	1-3
licht veen (vers)	1,7 ± 0,2
donker veen (oud)	0,6 ± 0,1

Bepaling van stikstofmineralisatie met Oxitop[®] meetsysteem (standaardcondities)

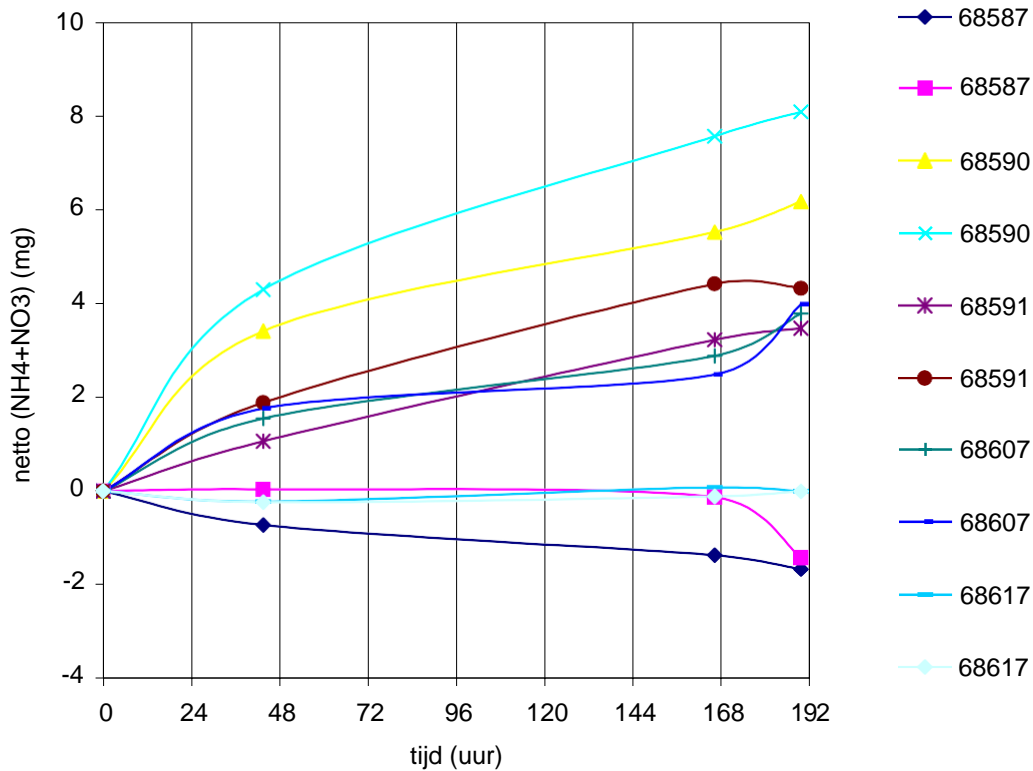
Tijdens de stabiliteitstest wordt tegelijkertijd ammoniak geproduceerd of geconsumeerd. Door in de stabiliteitstest NH₄⁺ in de waterfase te meten, kan tegelijk met de stabiliteitsbepaling ook de stikstofmineralisatie bepaald worden. Omdat simultaan nitrificatie kan optreden, moet eveneens NO₃⁻ worden gemeten. Het Oxitop[®] meetsysteem is zodanig ontworpen dat er een monster van de waterfase kan worden genomen, zonder dat de drukval in de gasfase wordt beïnvloed. Door de onderdruk in de gasfase van de Oxitop[®] zou er namelijk buitenlucht naar binnen kunnen stromen. Om dit te voorkomen is een naald met kraansysteem aangebracht, waarmee een monster kan worden genomen zonder dat er buitenlucht naar binnen kan komen. Er is gekozen voor het toevoegen van een nitrificatieremmer zodat

1. de zuurstofconsumptie van de nitrificatie niet in de bepaling van de zuurstofconsumptie voor de bepaling van de stabiliteit wordt meegenomen; en
2. eventueel verlies van N door denitrificatie van NO₃⁻ naar N₂ en/of N₂O wordt

3 2 2

beperkt.

Een voorbeeld van de N-mineralisatiemeting met het Oxitop[®] systeem is in figuur 3 weergegeven. De snelheid wordt bepaald door lineaire regressie aan de gemeten curve.



FIGUUR 3. Voorbeeld van de N-mineralisatiemeting met het Oxitop® systeem (standaardcondities).

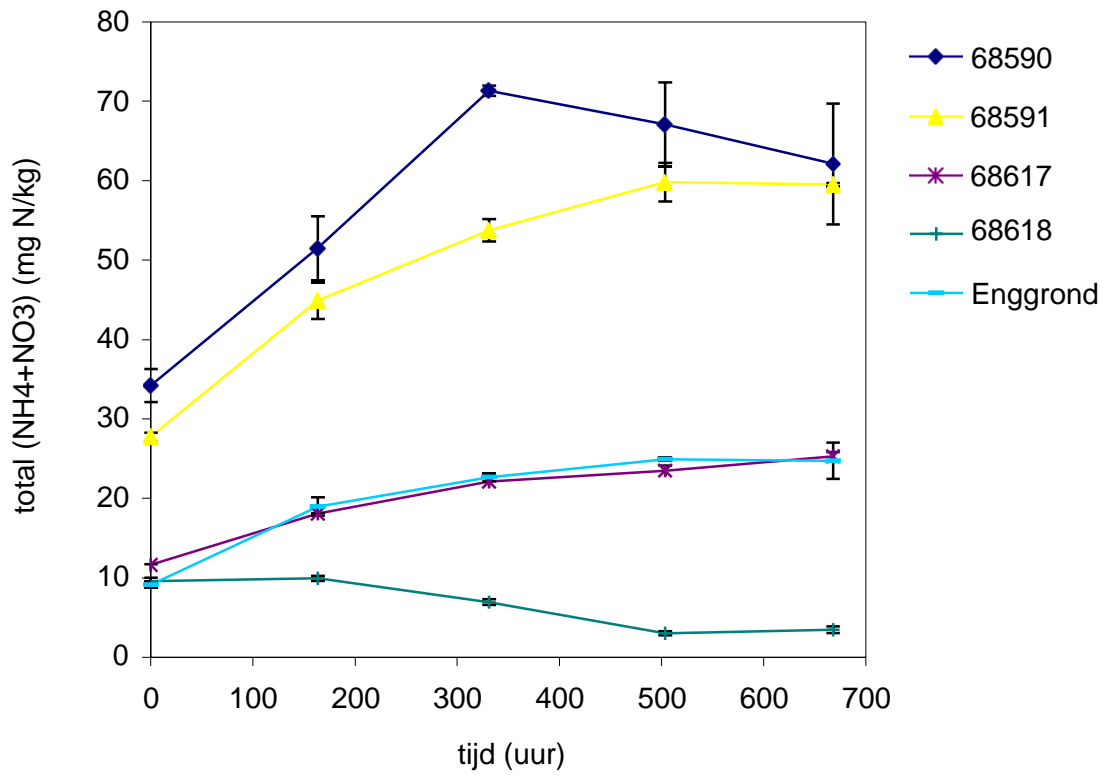
Bepaling stabiliteit en N-mineralisatie in de vaste fase (standaardbodem)

Met het Oxitop® meetsysteem is het ook mogelijk de respiratiesnelheid in de vaste fase te bepalen. Hiervoor zijn speciale flessen met een brede opening ontwikkeld. Dit systeem is ook gebruikt om de stabiliteit en de stikstofmineralisatie te bepalen van de geselecteerde bodemverbeteraars. Hiertoe is de bodemverbeteraar gemengd met een standaardbodem. Omdat de afbraak in de vaste fase langzamer verloopt, wordt de test gedurende vier weken uitgevoerd. Iedere week is er een monster uit de vaste fase genomen en zijn NH_4^+ en NO_3^- geëxtraheerd uit het compost-bodemmengsel met 0,01M CaCl_2 . Omdat de bodem zelf ook organisch materiaal bevat, moeten de zuurstofconsumptie en de N-mineralisatie van het compost-bodemmengsel gecorrigeerd worden voor de endogene bijdrage van de bodem. Het is duidelijk dat voor een compost met een hoge stabiliteit (lage zuurstofconsumptie) en een lage N-mineralisatie het onderscheidend vermogen van de test laag is en ook afhankelijk is van de endogene bijdrage van de gebruikte standaardbodem.

Het protocol voor de uitvoering van de stabiliteitstest in de vaste fase is in bijlage 1 beschreven.

Bepaling van de respiratiesnelheid en de N-mineralisatiesnelheid in de vaste fase is uitgevoerd voor 12 geselecteerde bodemverbeteraars (2 selecties per categorie) in één standaardbodem (bij 30 °C).

Een voorbeeld voor de N-mineralisatie is gegeven in figuur 4.



FIGUUR 4. Een voorbeeld voor de bepaling van de N-mineralisatie in de vaste fase (standaardbodem).

RESULTATEN

Resultaten analyse bodemverbeteraars

De afzonderlijke analyseresultaten zijn in bijlage 2 in staafdiagrammen weergegeven. De gemiddelde waarden en de bijbehorende standaarddeviaties zijn in tabel 4 samengevat voor elke groep bodemverbeteraars.

TABEL 4. Chemische samenstelling van verschillende bodemverbeteraars.

Parameter	eenheid	GFT-compost (n = 5)		groencompost (n = 5)		champost (n = 5)		tuinturf (n = 4)		schors (n = 6)		slib n = 1
		gemiddelde	stdev	gemiddelde	stdev	gemiddelde	stdev	gemiddelde	stdev	gemiddelde	stdev	
Ds	kg kg ⁻¹	0,80	0,12	0,64	0,08	0,33	0,07	0,25	0,03	0,53	0,09	0,26
OS	kg kg ⁻¹ ds	0,28	0,03	0,27	0,12	0,63	0,04	0,95	0,04	0,89	0,10	0,29
pH	-	7,8	0,5	7,6	0,6	6,9	0,6	4,2	1,0	4,8	0,6	7,6
K-totaal	g kg ⁻¹ ds	7,1	1,7	5,0	0,7	24,9	3,1	0,27	0,06	1,8	0,6	3,0
P-totaal	g kg ⁻¹ ds	2,2	0,4	1,2	0,2	5,4	0,4	0,22	0,03	0,4	0,6	4,5
N-totaal	g kg ⁻¹ ds	11,3	2,5	6,4	1,9	22,4	0,7	15,2	6,6	4,8	1,9	25,3
NH ₄ ⁺	g kg ⁻¹ ds	0,36	0,15	0,45	0,68	0,69	0,48	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02
NO ₃ ⁻	g kg ⁻¹ ds	0,02	0,02	0,003	0,005	0,18	0,33	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07
NO ₂ ⁻	g kg ⁻¹ ds	0,001	0,002	0,001	0,001	0,044	0,090	0,0005	0,0001	0,0004	0,0003	0,002
N-org	g kg ⁻¹ ds	11,0	2,4	6,0	2,0	21,5	0,7	15,1	6,6	4,8	1,9	25,2
C	g kg ⁻¹ ds	152	41	114	38	308	7	496	18	450	57	217
C/N-org	-	13,9	2,3	19,3	5,0	14,4	0,6	36,8	12,2	117,1	74,5	8,6

Resultaten Rottegradanalyses

De resultaten van de Rottegradanalyses zijn weergegeven in tabel 5.

TABEL 5. Resultaten van de Rottegradanalyses van 26 bodemverbeteraars.

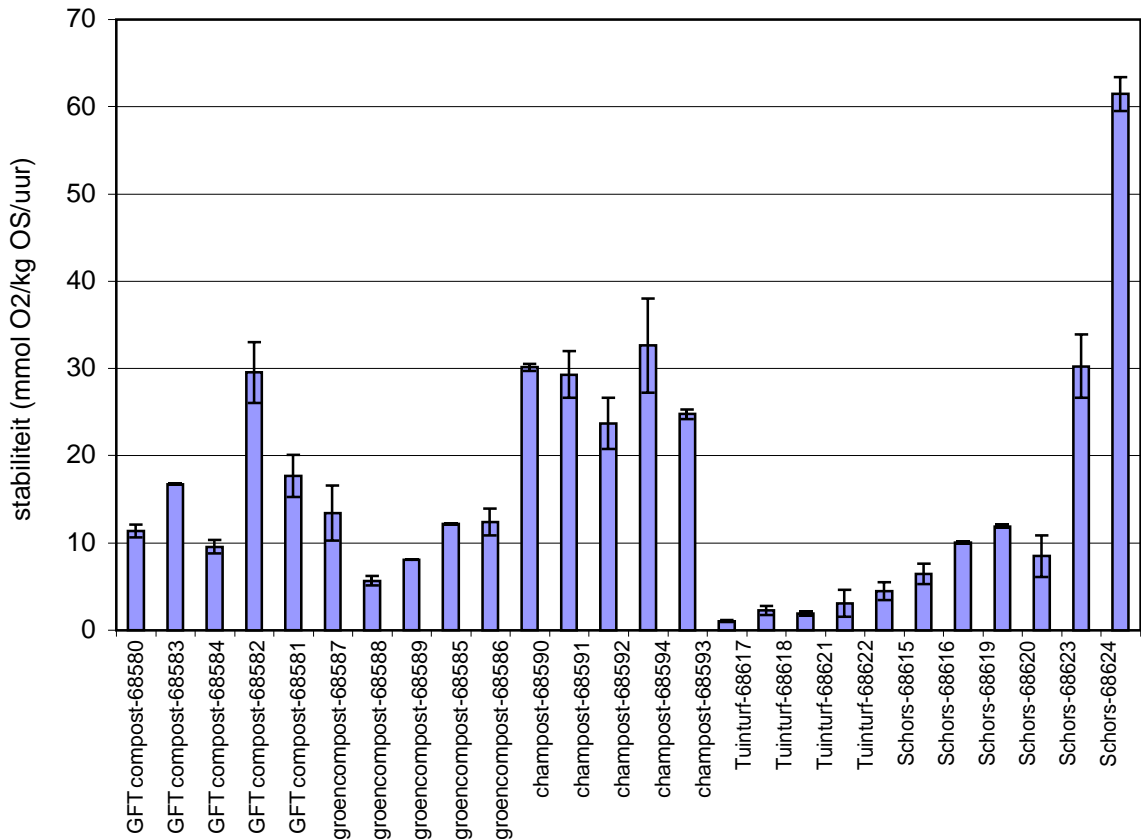
Nummer	Bedrijf	partij omschrijving	leeftijd	max.temp. (°C)/klasse
GFT-compost				
68580	Essent Wijster	landbouwcompost oud	7 mnd	20,8/V
68581	VAR	RECRO compost 0-8	5 wkn	26,5/V
68582	VAR	op zak 0 - 15	7 wkn	38,5/IV
68583	Avira	GFT (vers)	8 wkn	26,1/V
68584	Avira	GFT (oud)	13 wkn	21,1/V
Groencompost				
68585	Dalfsen	takken, houtsnippers	1 wk	26,3/V
68586	Wagro	plantenresten kassen, snoeihout, bermgras	1mnd	23,7/V
68587	Geld,Groen,Rec.	onder de molen genomen	3 mnd	28,4/V
68588	Geld,Groen,Rec.		6 mnd	22,0/V
68589	Geld,Groen,Rec.	15% zand	6 mnd	20,3/V
Champost				
68590	CNC	doorgroeide compost	-	29,9/V
68591	Brienen	champost Brienen	-	29,0/V
68592	De Vree	champost De vree	-	25,5/V
68593	Ackermans	champost Kerkdriel	-	32,5/IV
68594	Van Houten	champost Van Houten	-	33,6/IV
Tuinturf				
68617	Slingerland	tuinturf eshand	-	26,4/V
68618	Slingerland	tuinturf GV	-	20,2/V
68621	Bol	TT1 RHP Bolkhorst 1	-	19,9/V
68622	Bol	TT1 RHP Bolkhorst 2	-	21,5/V
Schors				
68615	Van Dijk	Franse schors	3 mnd	21,4/V
68616	Van Dijk	Duitse boomschors	3 wkn	23,4/V
68619	Slingerland	<i>Pinus pinaster</i> (Franse) schors 0-5		22,0/V
68620	Slingerland	<i>Pinus silvester</i> (Duitse) schors 0-7		22,5/V
68623	Neede	gecomposteerde boomschors	-	22,9/V
68624	Neede	ongecomposteerde boomschors		24,9/V
Slib				
68607	Uniqema	afvalwaterzuiveringsslib	-	28,9/V

Uit tabel 5 blijkt duidelijk dat de meeste bodemverbeteraars in Rottegradklasse V vallen en sommige in Rottegradklasse IV.

Er is klaarblijkelijk weinig onderscheidend vermogen qua stabiliteitsbepaling via de Rottegradmethode.

Resultaten stabiliteit en N-mineralisatie onder gestandaardiseerde condities

De afzonderlijke resultaten voor de stabiliteitsbepaling van de monsters met de Oxitop® methode onder gestandaardiseerde condities (vloeistoffase), zijn in figuur 5 weergegeven. De resultaten worden uitgedrukt per kg organische stof (OS), omdat de stabiliteit hier betrekking heeft op de organische stof van het monster.

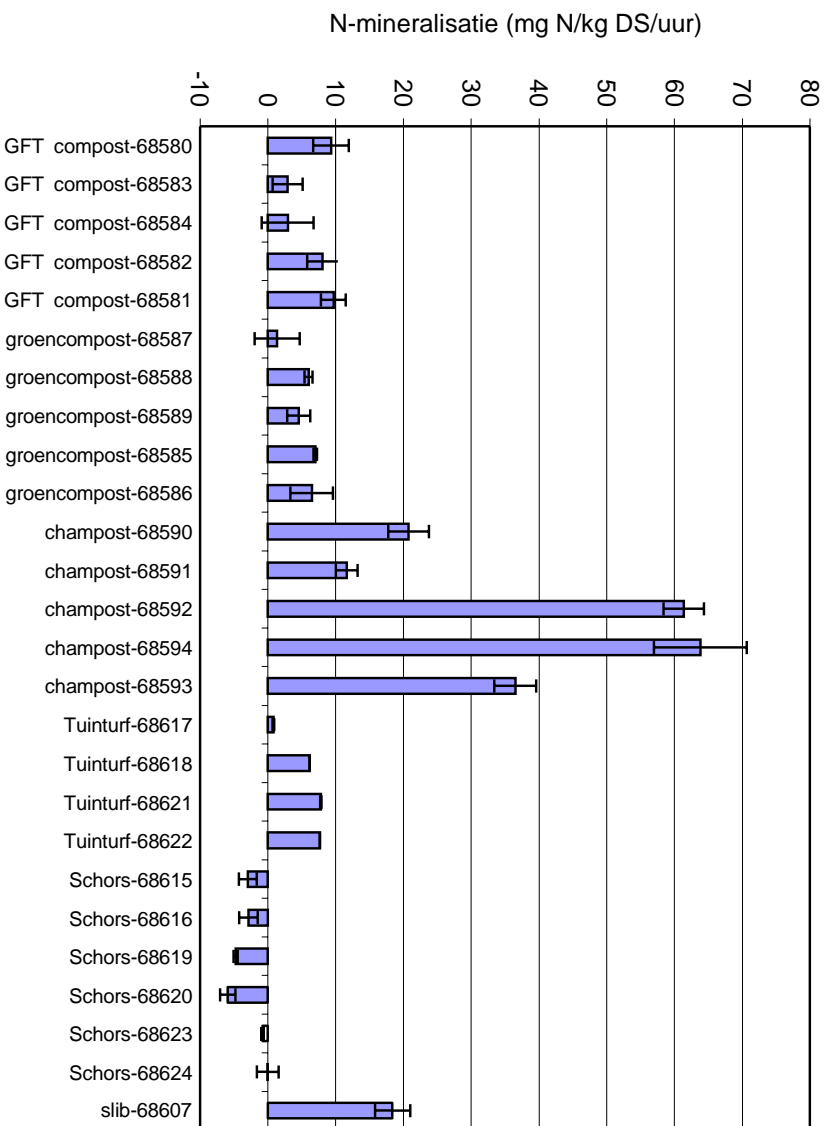


FIGUUR 5. Resultaten van de bepaling van de respiratiesnelheid (stabiliteit) van 26 bodemverbeteraars.

Uit figuur 5 blijkt een duidelijk onderscheid in respiratiesnelheden tussen monsters binnen één productgroep en, gemiddeld bezien, ook tussen de productgroepen onderling. Bovendien is het onderscheidend vermogen van de Oxitop® test (standaardcondities) aanzienlijk.

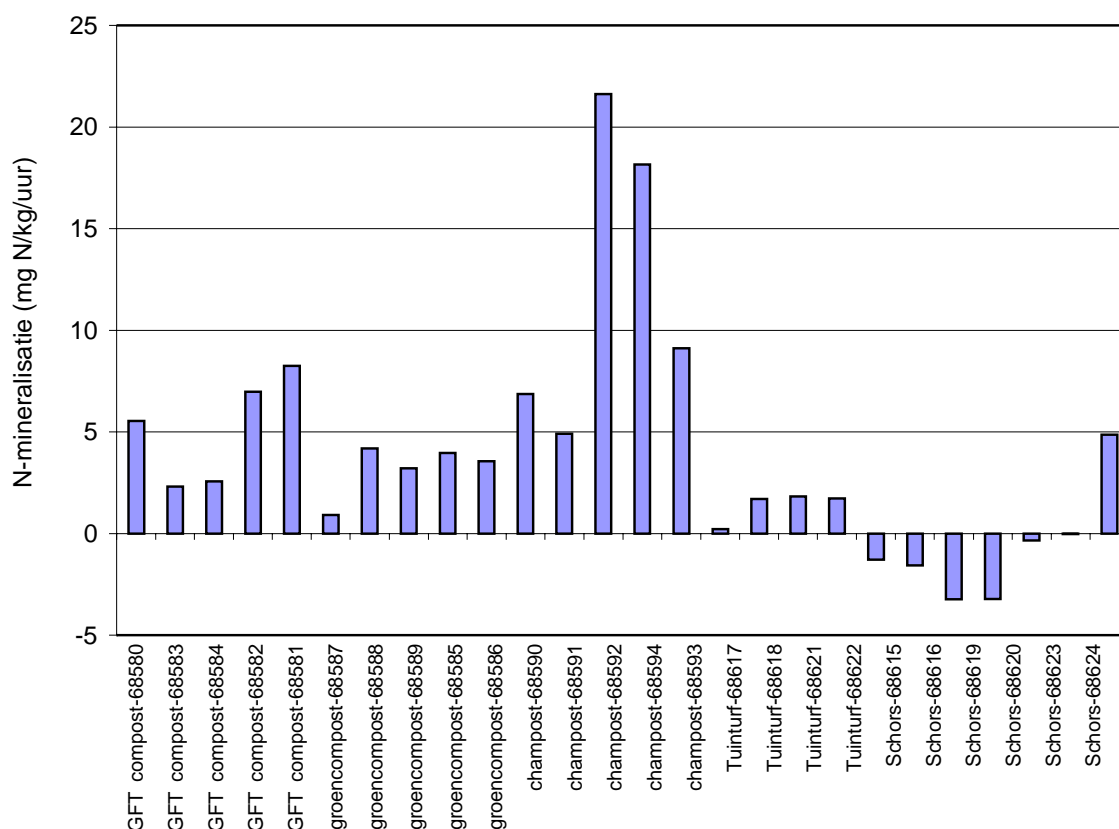
De stabiliteit van de Enggrond is afzonderlijk bepaald via de Oxitop® methode onder geconditioneerde omstandigheden (vloeibaar) en is 3,1 mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹.

De afzonderlijke resultaten voor de N-mineralisatie zijn in figuur 6 weergegeven. De resultaten worden uitgedrukt per kg droge stof (DS), zodat direct de stikstoflevering per kg droog materiaal te vergelijken is.



FIGUUR 6. De N-mineralisatie van 26 bodemverbeteraars in mg N kg⁻¹ droge stof.

Daarnaast is in figuur 7 de N-mineralisatie per kg vers materiaal weergegeven.



FIGUUR 7. De N-mineralisatie van 26 bodemverbetersaars in mg N kg^{-1} vers materiaal.

De gemiddelde waarden van de gemeten stabiliteit en de N-mineralisatie en de waargenomen standaarddeviaties zijn in tabel 6 per type bodemverbeteraar gegeven.

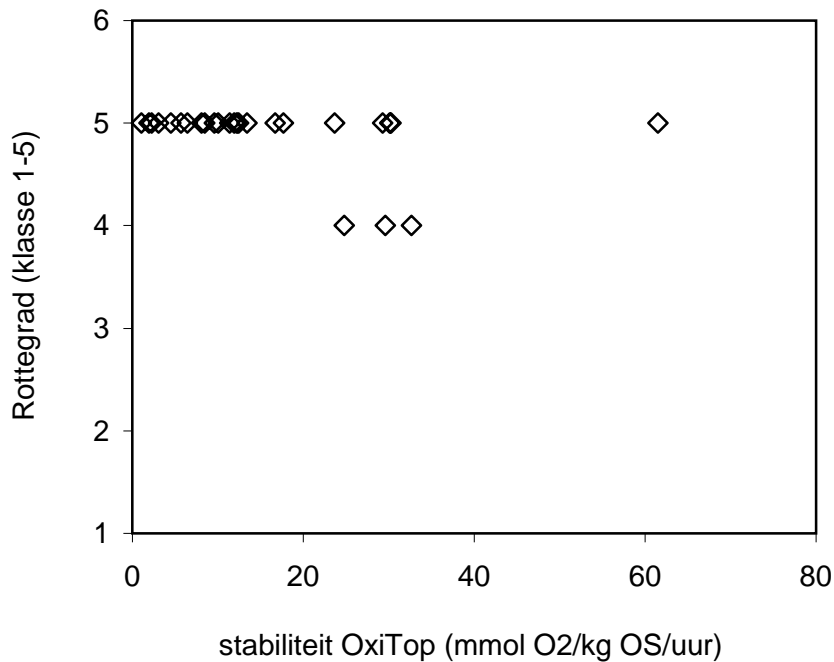
TABEL 6. Stabiliteit en N-mineralisatie van bodemverbetersaars in de Oxitop® (standaardcondities).

Bodemverbeteraar	aantal	stabiliteit, $\text{mmol O}_2, \text{kg}^{-1} \text{ OS uur}^{-1}$		N-mineralisatie, $\text{mg N kg}^{-1} \text{ DS uur}^{-1}$	
		gemiddelde	stdev	gemiddelde	stdev
GFT-compost	5	17,0	7,8	6,6	3,4
groencompost	5	10,4	3,3	5,1	2,3
champost	5	28,1	3,8	38,8	23,5
tuinturf	4	2,1	0,9	5,6	3,3
schors	6	13,4	9,6	-2,9	2,5
slib	1	61,5	-	18,4	-

Champost en slib vallen op door hun, gemiddeld, lage stabiliteit en hoge N-mineralisatiesnelheid.

Relatie tussen de Oxitop[®] test onder gestandaardiseerde condities en de Rottegradmethode

De Oxitop[®] methode en de Rottegradmethode geven beide een maat voor de stabiliteit (of afbraaksnelheid) van de organische stof. De resultaten van beide meetmethoden zijn in figuur 8 vergeleken.



FIGUUR 8. Relatie tussen de Oxitop[®] test onder gestandaardiseerde condities en de Rottegradmethode.

Duidelijk is dat de Rottegradmethode een beduidend lager onderscheidend vermogen heeft dan de bepaling met de Oxitop[®] test. Terwijl de klasse van de Rottegradtest voor bijna alle bodemverbeteraars op V uitkomt, blijkt uit de bepaling van de stabiliteit middels de Oxitop[®] test een veel bredere range aan uitkomsten.

Resultaten stabiliteit en N-mineralisatie in een standaardbodem

Oxitop[®] methode in grond (vaste fase)

De stabiliteit en de N-mineralisatie van de bodemverbeteraars is niet alleen bepaald onder standaardcondities, maar ook in de vaste fase met een 'standaardgrond', namelijk Enggrond. Omdat de grond zelf ook organische stof en organische N bevat, moeten de resultaten van het mengsel bodemverbeteraar+grond gecorrigeerd worden voor de zuurstofconsumptie en N-mineralisatie van de bodem zelf. In de eerste serie bepalingen was slechts 0,5 procent bodemverbeteraar toegevoegd (compostdosering volgens BOOM: 6 ton droge stof ha⁻¹) maar dit bleek te weinig voor duidelijke metingen. Daarom is in de verdere series met 4 procent bodemverbeteraar gewerkt om een duidelijk verschil te kunnen meten tussen mengsels van bodemverbeteraar en bodem enerzijds en bodem alleen anderzijds. In tabel 7 zijn de resultaten voor bodemverbeteraars en Enggrond samengevat.

Van elke bodemverbeteraar zijn twee monsters geselecteerd behalve van slib.

TABEL 7. Bepaling van de stabiliteit en van de N-mineralisatie in een Oxitop[®] systeem met standaardbodem (vaste fase).

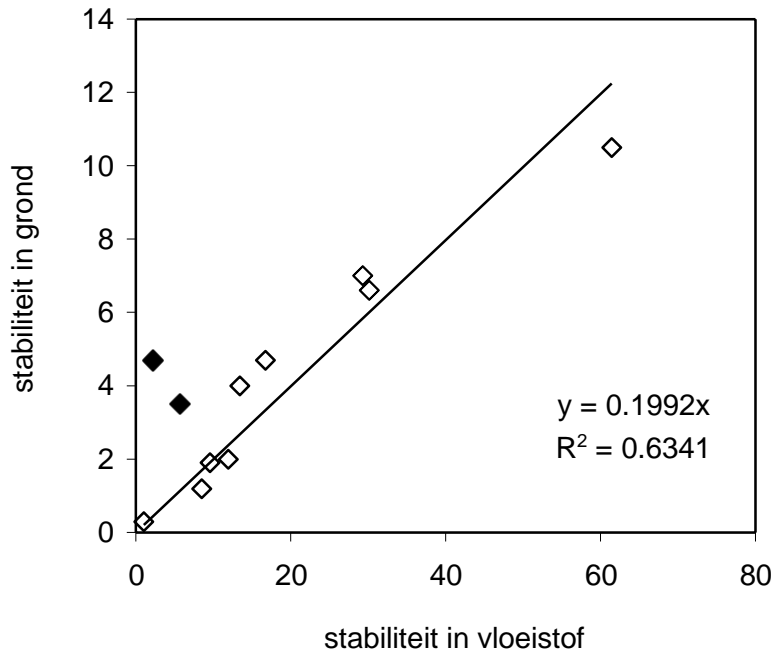
Bodem- verbeteraar	monster	compost, %	stabiliteit, mmol O ₂ kg ⁻¹ OS uur ⁻¹		N-mineralisatie, mg N kg ⁻¹ DS uur ⁻¹	
			gemiddelde	stdev	gemiddelde	stdev
GFT-compost	68583	0,5	4,7	-	1,2	-
GFT-compost	68584	0,5	1,9	-	0,6	-
groencompost	68587	0,5	4	-	-0,5	-
groencompost	68588	0,5	3,5	-	0,1	-
champost	68590	4	6,6	-	1,5	-
champost	68591	4	7	-	1,8	-
tuinturf	68617	4	0,3	-	-0,1	-
tuinturf	68618	4	4,7	-	-	-
schors	68620	4	2	-	-1,7	-
schors	68623	4	1,2	-	0,5	-
slib	68607	4	10,5	-	5,4	-
Enggrond	-	-	0,57	-	0,025	-

In de volgende paragraaf wordt nader ingegaan op de relatie tussen de Oxitop[®] test onder gestandaardiseerde condities (vloeibare fase) en de Oxitop[®] test met standaardbodem (vaste fase).

Relatie tussen de Oxitop[®] test onder gestandaardiseerde condities en de Oxitop[®] test met standaardbodem

In figuur 9 en 10 zijn respectievelijk de stabiliteit en de N-mineralisatie voor bodemverbeteraars vergeleken wat betreft de uitkomsten tussen de experimenten met de Oxitop[®] methode onder standaardcondities (vloeibare fase) en de experimenten met de Oxitop[®] methode met de standaardbodem (vaste fase).

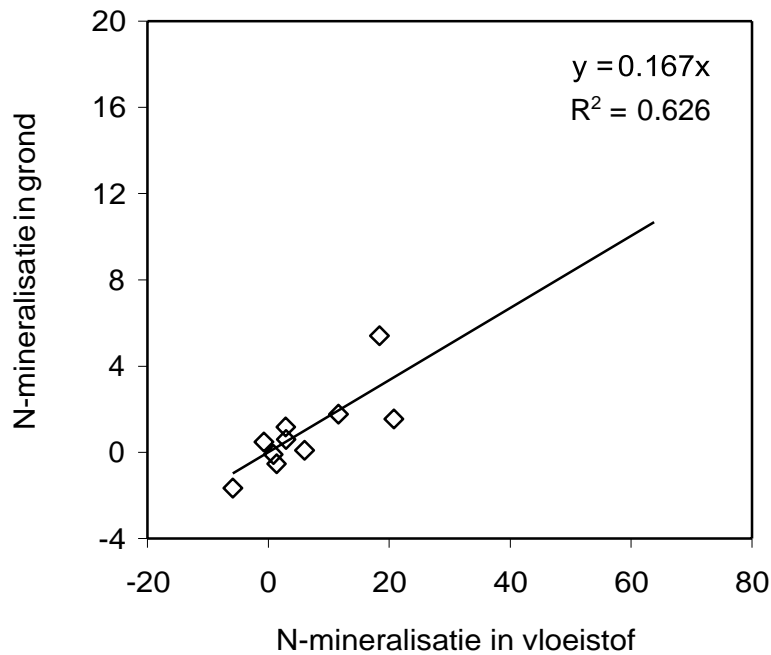
De met zwart ingevulde datapunten in figuur 9 markeren de experimenten die met 0,5 procent compost uitgevoerd zijn. Deze punten liggen wat verder af van de regressielijn.



FIGUUR 9. Vergelijking van de stabiliteit van de bodemverbeteraars tussen de experimenten met de Oxitop[®] methode onder standaardcondities (vloeibare fase) en de experimenten met de Oxitop[®] methode met de standaardbodem (vaste fase).

Uit figuur 9 blijkt een redelijke relatie tussen de beide typen Oxitop[®] bepalingen. De respiratiemeting in vloeistof is consequent ongeveer een factor 5 sneller dan de meting in de vaste fase. De afbraak van de bodemverbeteraars in de vaste fase (gemengd met standaardbodem) is dus ongeveer 5 maal zo traag als de afbraak van de bodemverbeteraars in de vloeibare fase (standaardcondities).

Data voor N-mineralisatie liggen grotendeels in een cluster met slechts enkele punten die spreiding geven. Hierdoor is correlatie 'tricky' (zie figuur 10).



FIGUUR 10. Vergelijking van de N-mineralisatie van de bodemverbeteraars tussen de experimenten met de Oxitop[®] methode onder standaardcondities (vloeibare fase) en de experimenten met de Oxitop[®] methode met de standaardbodem (vaste fase).

Beide bepalingen geven een redelijke (figuur 10) tot goede (figuur 9) correlatie tussen de systemen vloeistof en grond. Uit zowel de bepaling van de stabiliteit als van de N-mineralisatie kan worden afgeleid dat de afbraak een factor 5-6 langzamer verloopt in de standaardbodem Enggrond (vaste fase) vergeleken met de afbraak in vloeistof (standaardcondities).

INTERPRETATIE

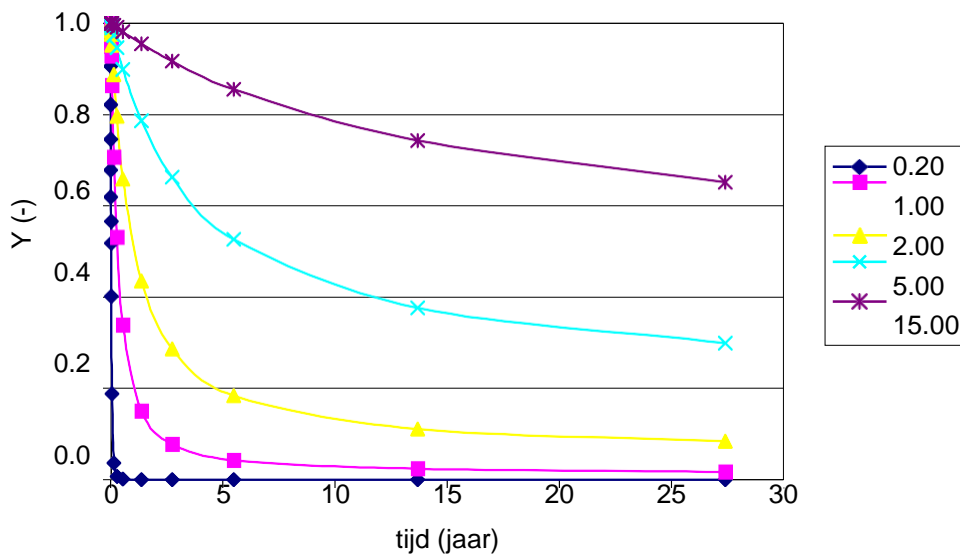
*Modelling***Bepaling a-waarde uit de Oxitop[®] meting**

In deze paragraaf wordt een relatie gelegd tussen de a-waarde ('model Janssen') van bodemverbeteraars en de stabiliteit (respiratiesnelheid) van bodemverbeteraars zoals bepaald met behulp van de Oxitop[®] metingen.

In het model Janssen wordt de afbraak van organisch materiaal beschreven volgens de volgende vergelijking:

$$Y(t) = Y(0) \cdot \exp \left[4,7 \left((a + f \cdot t)^{-0,6} - a^{-0,6} \right) \right]$$

Hierin is Y de fractie (of hoeveelheid) organische stof, t de tijd (in jaar) en a de initiële leeftijd (oftewel a-waarde). De factor f is een correctiefactor voor de bodemtemperatuur. Bij een waarde van f=1 geldt een temperatuur van 9 °C. In deze vergelijking is verwerkt dat de afbraak niet met een eerste orde afbraaksnelheid is te beschrijven maar dat de eerste orde constant afhankelijk is van de tijd (afname van k met de tijd). In deze vergelijking is tevens aangenomen dat het organische materiaal uiteindelijk volledig wordt afgebroken, dat wil zeggen $Y(\infty)=0$. In figuur 11 is de afbraak voor verschillende a-waarden weergegeven (bij f=1, dus zonder temperatuurcorrectie). Een hogere a-waarde betekent een minder snelle afbraak.



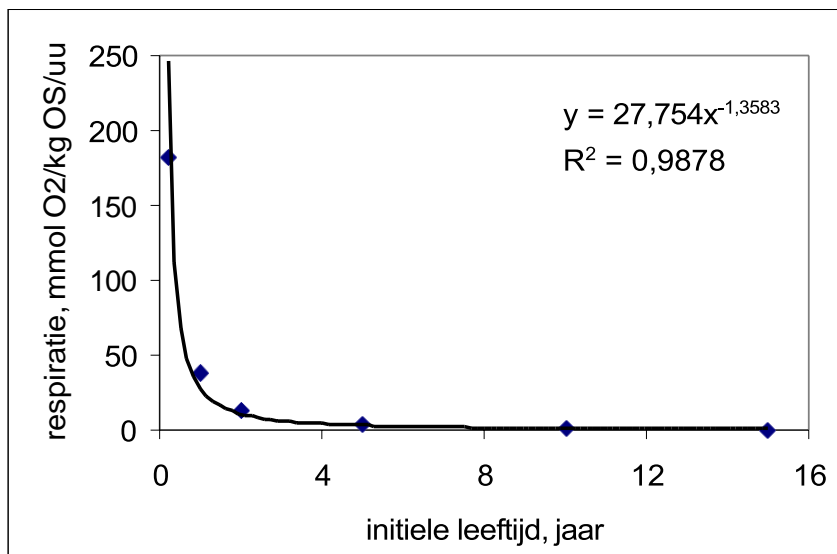
FIGUUR 11. Afbraak van organische stof (Y) voor verschillende a-waarden (0,2; 1,0; 2,0; 5,0; 15,0) in de loop van de tijd (jaar), f=1.

Voor het verkrijgen van een betrouwbare a-waarde moet de afbraak over een langere tijd gemeten zijn. In de stabiliteitsbepaling met Oxitop® (en de meeste testen) wordt echter maar een korte periode (enkele dagen tot een maand) de afbraak gemeten via O₂-verbruik of CO₂-productie. Hierbij wordt aangenomen dat de afbraaksnelheid constant is gedurende de meettijd, dat wil zeggen een 0-de orde afbraakconstante. Het fitten van de resultaten van de Oxitop® metingen aan de vergelijking van model Janssen geeft dus geen betrouwbare a-waarde.

Daarom is voor een andere weg gekozen om toch een relatie te kunnen leggen tussen de a-waarde van bodemverbeteraars en de stabiliteit (respiratiesnelheid) van bodemverbeteraars zoals bepaald met behulp van de Oxitop® metingen. Met andere woorden: er wordt een a-waarde bepaald voor de bestudeerde bodemverbeteraars op basis van de Oxitop® respiratiemetingen.

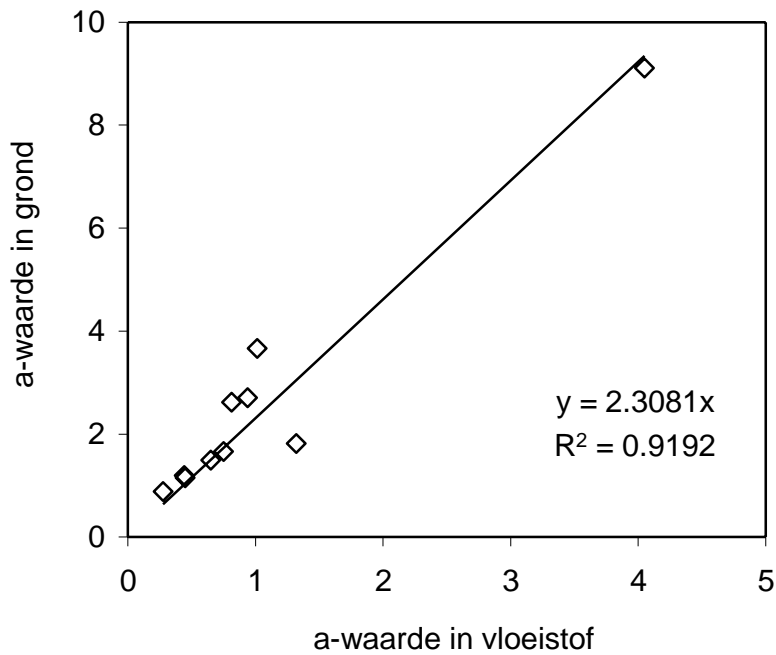
Voor verschillende a-waarden (zie figuur 11) is de gemiddelde afbraak berekend in de eerste 7 dagen en is vervolgens de respiratiesnelheid afgeleid op basis van een standaardrespiratie van 1,1 gram O₂ per gram organische stof. De aldus berekende respiratie(snelheid) is in figuur 12 uitgezet als functie van de a-waarde. De verkregen vergelijking is nu te gebruiken om uit de stabiliteitsbepaling met de Oxitop® methode de a-waarde direct te berekenen volgens:

$$a - \text{waarde} = 11,34 \cdot (\text{respiratie})^{-0,7272}$$



FIGUUR 12. Respiratie als functie van de initiële leeftijd (a-waarde).

In figuur 13 zijn vervolgens de berekende a-waarden op basis van de Oxitop® metingen in vloeistof en in de vaste fase met elkaar vergeleken.



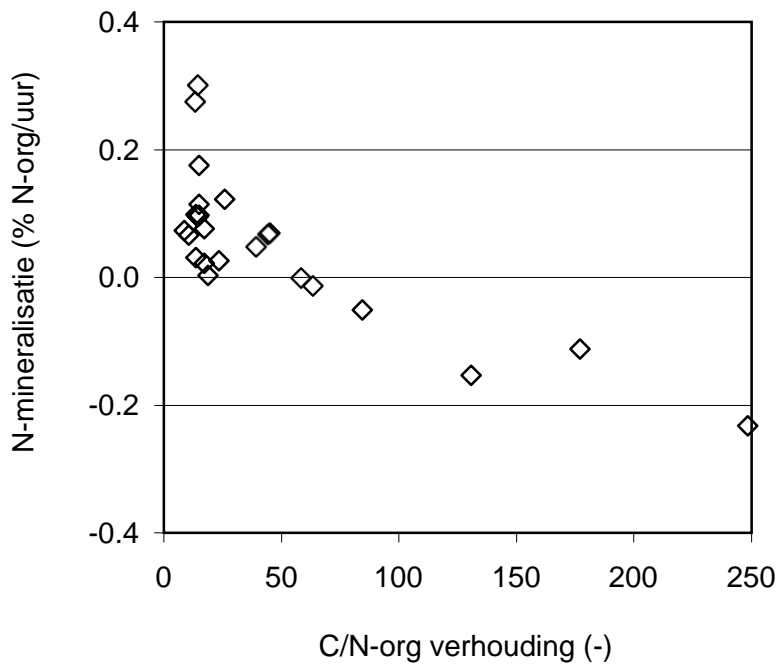
FIGUUR 13. Vergelijking van de (berekende) a-waarden van de bodemverbeteraars in vloeistof (standaardcondities) en in de vaste fase (standaardgrond).

Het blijkt dat de a-waarde in de standaardgrond bijna een factor 2,5 hoger ligt dan de a-waarde zoals bepaald onder standaardcondities in vloeistof (figuur 13). Dit betekent dat de afbraak onder standaardcondities (in vloeistof) veel sneller verloopt dan in de standaardgrond (vaste fase). Dit is het gevolg van gunstiger procescondities in de vloeibare fase.

N-mineralisatie als functie van C/N_{org}-verhouding

In feite is het niet de C/N-totaal-verhouding die belangrijk is bij mineralisatie van organisch materiaal maar de verhouding van afbreekbaar C en afbreekbaar N-organisch, ofwel C/N_{org}. Bij de afbraak van 1 g cellulose (C-bron) is 0,1 gram N nodig voor vorming van nieuwe biomassa. De biomassa is echter zelf ook weer substraat en de afbraaksnelheid van biomassa is sterk afhankelijk van de temperatuur.

Het omslagpunt van N-mineralisatie naar N-vastlegging ligt rond een C/N_{org} verhouding van 30 (zie figuur 14).



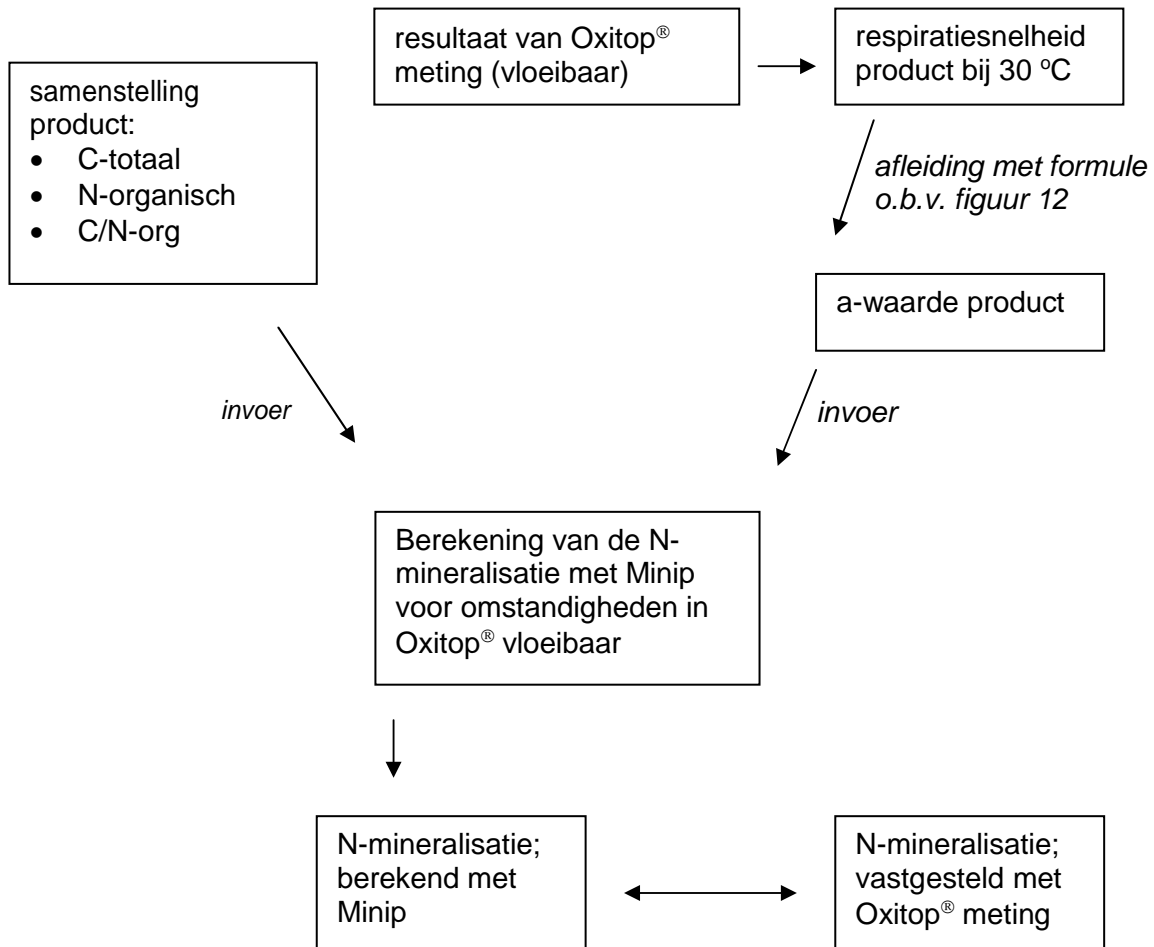
FIGUUR 14. De N-mineralisatie, zoals gemeten met de Oxitop[®] methode, uitgezet tegen de C/N_{org}-verhouding van de geteste bodemverbeteraars.

De C/N_{org}-verhouding vormt dus een verklarende variabele in relatie tot de N-mineralisatie van een bodemverbeteraar. Naast de C/N_{org}-verhouding vormt echter de stabiliteit (a-waarde) van de bodemverbeteraars ook een belangrijke productkarakteristiek. Uit figuur 14 blijkt immers dat bij eenzelfde C/N_{org} verhouding (voor waarden lager dan 50), verschillende mineralisatiesnelheden optreden. Dit verschil wordt verklaard door de stabiliteit van de verschillende producten. Met behulp van het model 'Minip' van Janssen (1996) kan de N-mineralisatie van een product berekend worden op basis van de toegekende a-waarde. In de volgende paragraaf zijn de berekende mineralisatiesnelheden (met behulp van Minip en op basis van de uit de Oxitop[®] meting afgeleide a-waarden) vergeleken met de gemeten N-mineralisatie in de Oxitop[®] experimenten. Dit is gedaan om te beoordelen of de modeluitkomsten van Minip te vergelijken zijn met de gemeten waarden van de N-mineralisatie in de Oxitop[®]. Ook wordt zo, in aanvulling op het verband tussen C/N_{org} en N-mineralisatie (figuur 14) het N-mineralisatieniveau gekwantificeerd.

Vergelijking van N-mineralisatie volgens Oxitop[®] metingen en Minip-berekening

De N-mineralisatie uit de composten, zoals die onder standaardcondities (in de vloeistoffase) is bepaald, is berekend met Minip. Daartoe is gebruik gemaakt van de cijfers over de gemiddelde samenstelling van de producten (tabel 4). Daarnaast is gebruik gemaakt van de a-waarden van de producten, zoals die met behulp van de Oxitop[®] methode (via omrekening) zijn afgeleid. Deze a-waarden zijn afgeleid uit de respiratiemetingen volgens het verband dat is weergegeven in figuur 12.

De gevolgde procedure is schematisch weergegeven in figuur 15.



FIGUUR 15. Schematische weergave van de gevolgde procedure bij het uitvoeren van de Minip-berekeningen en de vergelijking met de Oxitop® meting.

Aangezien de omstandigheden (temperatuur; vast/vloeibaar) waarbij de a-waarde is afgeleid van invloed kunnen zijn op de hoogte van de a-waarde, is het van belang dat deze goed zijn beschreven. De uitgangspunten voor de Minip-berekeningen zijn gegeven in tabel 8.

TABEL 8. C- en N-gehalten en a-waarden afgeleid uit Oxitop® metingen onder standaardcondities (vloeistof) of met een (standaard)grond (vaste fase) bij een temperatuur van 30 °C.

Product	mg C kg ⁻¹	mg N _{org} kg ⁻¹	C/N _{org}	a-waarde	
				vloeistof	vast
GFT	152.000	11.000	13,8	1,4	4,7
groen	114.000	6.000	19,0	2,1	6,7
Champost	308.000	21.500	14,4	1,0	3,2
tuinturf	496.000	15.100	32,8	6,6	21,4
schors	450.000	4.800	94,0	1,7	5,6
slib	217.000	25.200	8,6	0,6	1,8

Aan de hand van de uitgangspunten uit tabel 8 zijn berekeningen uitgevoerd aan de N-mineralisatie met het model Minip. De resultaten daarvan zijn vergeleken met de N-mineralisatie die is gemeten met de Oxitop® (tabel 9).

TABEL 9. Resultaten N-mineralisatie: Minip-berekening versus Oxitop® meting.

Product	Oxitop® meting	Minip-berekening
---------	----------------	------------------

	vloeistof	vast	vloeistof	vast
GFT-compost	6,6	1,1	6,1	0,2
groencompost	5,1	0,9	1,2	0,05
champost	38,8	6,5	19,1	0,8
tuinturf	5,6	0,9	-0,1	-0,02
schorscompost	-2,9	-0,5	-7,2	-1,2
slib	18,4	3,1	56,6	12,5

Uit de vergelijking van de N-mineralisatie volgens de Minip-berekening en de Oxitop® meting zoals weergegeven in tabel 9 blijkt dat, behalve in het geval van slib, de gemeten waarden consequent (veel) hoger liggen dan de berekende waarden. Alleen voor GFT-compost zijn de gemeten en de berekende waarden van de N-mineralisatie in vloeistof vergelijkbaar. Meting en berekening zijn dus zeker niet 1:1 voor zowel vaste fase als vloeibare fase. Dit verschil wordt (mede) veroorzaakt doordat Minip oorspronkelijk is ontwikkeld voor landbouwgronden onder praktijkomstandigheden, terwijl de Oxitop® meting wordt uitgevoerd onder gecontroleerde omstandigheden. Het is in ieder geval nodig een verder ontwikkelingstraject in te gaan zodat met de Oxitop® metingen meer betrouwbare waarden voor de N-mineralisatie verkregen kunnen worden.

Vergelijking bodemverbeteraars: landbouwkundige waarde en milieukundige consequenties

Zoals beschreven in de inleiding zijn de belangrijkste landbouwkundige waarden van een bodemverbeteraar de levering van

1. organische stof; en van
2. plantenvoedende stoffen (nutriënten).

De mate waarin nutriënten vrijkomen, is tevens van invloed op de eventuele verliezen van deze nutriënten naar het milieu. In dit verband wordt meestal gedacht aan N en P. In tabel 4 is de chemische samenstelling van de verschillende bestudeerde bodemverbeteraars weergegeven. Op basis van deze tabel is een beeld te vormen ten aanzien van de P- en K-gehalten en van de pH-waarden van de bodemverbeteraars. Conclusies ten aanzien van de landbouwkundige waarde en de eventuele milieukundige consequenties van het gebruik van bodemverbeteraars zijn in deze studie echter uitsluitend gericht op de levering van stabiele organische stof en op het vrijkomen van N uit de bodemverbeteraars. De N-levering is landbouwkundig gezien een pluspunt, maar kan milieukundig gezien nadelig zijn in verband met verliezen door uitspoeling (met name) bij mineralisatie buiten het groeiseizoen. Vanwege dit aspect wordt het vrijkomen van N in onderstaande beoordeling als negatief aangemerkt, terwijl dit dus zeker niet altijd zo hoeft te zijn.

Bij de vergelijking van bodemverbeteraars blijven P-gehalten, pH-waarden, eventueel voorkomende micro-contaminanten, etc., dan ook buiten beschouwing.

In tabel 10 is een samenvattend overzicht gegeven van de belangrijkste drie items die een rol spelen bij landbouwkundige waarde en de milieukundige gevolgen van het gebruik van de bodemverbeteraars. Ten aanzien van organische stof (OS) is een onderscheid gemaakt tussen de totale hoeveelheid op de droge stof (DS) als percentage (%; zie tabel 4) en de stabiliteit van deze organische stof. gekarakteriseerd door de gemiddelde respiratiesnelheid (zie tabel 6). Wat betreft de N-mineralisatie wordt uitgegaan van de gemiddelde waarden in tabel 6 waarbij een hoge mineralisatie als ongunstig wordt aangemerkt gezien de risico's van uitspoeling en dus nadelige milieukundige gevolgen. De waardering voor de bodemverbeteraars loopt per item van 1 tot 6, waarbij 6 het best is en 1 het minst goed. Door de scores per item op te tellen en te delen door 3 wordt een (weliswaar

zeer grove) ongewogen score verkregen voor de verschillende bodemverbeteraars waarin landbouwkundige waarde en milieukundige gevolgen beide verdisconteerd zijn.

TABEL 10. Landbouw- en milieukundige beoordeling van de bodemverbeteraars.

Bodemverbeteraar	% organische stof op de droge stof	score
tuinturf	95	6
schors	89	5
champost	63	4
slib	29	3
GFT-compost	28	2
groencompost	27	1
Bodemverbeteraar	gemiddelde stabiliteit, mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹	
tuinturf	2,1	6
groencompost	10,4	5
schors	13,4	4
GFT-compost	17,0	3
champost	28,1	2
slib	61,5	1
Bodemverbeteraar	gem, N-mineralisatie, mg N kg⁻¹ DS uur⁻¹	
schors	-2,9	6
groencompost	5,1	5
tuinturf	5,6	4
GFT-compost	6,6	3
slib	18,4	2
champost	38,8	1

In tabel 11 zijn de ongewogen scores die verkregen zijn voor de verschillende bodemverbeteraars weergegeven. De bodemverbeteraar met de hoogste score is op basis van de Oxitop[®] metingen het beste qua landbouwkundige waarde en milieukundige gevolgen.

TABEL 11. Ongewogen scores van de bodemverbeteraars.

Bodemverbeteraar	ongewogen score
tuinturf	5,3
schors	5,0
groencompost	3,7
GFT-compost	2,7
champost	2,3
slib	2,0

De hier gepresenteerde beoordeling is ongenueanceerd en vergelijkt deels ook appels met peren. Zo legt schorscompost, gemiddeld, N vast in de bodem. Dit kan landbouwkundig nadelig zijn. Verder is tuinturf vanuit ander oogpunt (veenwinning en landschapsaantasting) een 'slecht' product. Slib bevat vaak verontreinigingen die hier verder niet beschouwd zijn. Wellicht is de rangschikking nog het meest geschikt om de producten groencompost, GFT-compost en champost onderling te vergelijken. Het beeld dat ontstaat bij gebruik van deze producten binnen BOOM (bij eenzelfde toediening op basis van droge stof) is in de praktijk echter conform de uitkomsten zoals hier gepresenteerd. Groencompost is in de regel een stabiele bodemverbeteraar met weinig N-levering, GFT-compost is een stabiele bodemverbeteraar met iets meer N-levering en champost is een duidelijk minder stabiele bodemverbeteraar met beduidend hogere N-levering,

In dit verband is een interessante vraag wat de range van de resultaten is, als deze worden uitgedrukt in $\text{kg N ha}^{-1}\text{dag}^{-1}$. De range van de N-mineralisatie, zoals bepaald in de vaste fase, bedraagt: $0\text{-}2 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ ds uur}^{-1}$. Dit komt overeen met $0\text{-}2 \text{ g N ton}^{-1} \text{ ds uur}^{-1}$. Uitgaande van de praktijk met een toedieningsniveau van 6 ton droge stof per ha^{-1} , bedraagt de N-mineralisatie per dag maximaal $2 \cdot 6 \cdot 24 = 288 \text{ g N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$. Dit komt overeen met $8,6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ maand}^{-1}$ bij een temperatuur van $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Bij een temperatuur van $10 \text{ }^\circ\text{C}$ zal dit circa $2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ maand}^{-1}$ zijn. Dit komt qua orde grootte ook overeen met 'normale' landbouwkundige waarden (expert judgement Postma).

Vertaalslag normstelling

De definitie van compost volgens de Meststoffenwet luidt "een product dat geheel of grotendeels bestaat uit een of meer organische afvalstoffen die met behulp van micro-organismen zijn afgebroken en omgezet tot een zodanig stabiel eindproduct dat daarin alleen nog een langzame afbraak van humeuze verbindingen plaatsvindt...".

De vraag is hoe de algemene formulering van stabiel eindproduct en langzame afbraak geconcretiseerd kan worden in verband met normstelling en nadere invulling van producten die onder het Boom dienen te vallen.

Deze vraagstelling kan worden gezien vanuit twee invalshoeken:

- Welke stabiliteit is bereikbaar via compostering?
- Welke stabiliteit is vereist voor toepassing als bodemverbeteraar (bij verschillende typen toepassingen)?

De Oxitop[®] methode is reeds toegepast voor vele typen organisch materiaal. Daarnaast is de stabiliteitstest toegepast in het composteringsonderzoek aan de sectie Milieutechnologie. Voor verse organische materialen, zoals GFT-afval, groenafval en dierlijke mesten, is gebleken dat onder goede composteringscondities binnen 2-4 weken een redelijke stabiliteit met een respiratiesnelheid van $6\text{-}8 \text{ mmol O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ OS uur}^{-1}$ haalbaar is. Voor verse composten uit de praktijk zijn deze getallen ook veelvuldig gevonden. Bij een verdere narijping (opslaan van de compost onder aërobe condities waarbij de temperatuur niet oploopt) daalt de respiratiesnelheid tot $3\text{-}5 \text{ mmol O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ OS uur}^{-1}$.

Het lijkt in ieder geval zinvol en haalbaar om invulling te geven aan het begrip 'stabiel' middels een normering voor de mate van stabiliteit op basis van respiratiesnelheid. Temeer daar dit ook gebeurt bij de voorgestelde normstelling in EU-verband. In het Working Document Biological Treatment of Biowaste (second draft) staat het volgende:

" 'compost' means the stable, sanitised and humus-like material rich in organic matter and free from offensive odours resulting from the composting process of separately collected biowaste, which complies with the environmental quality classes of Annex III. "

" 'stabilisation' means the reduction of the decomposition properties of biowaste to such an extent that offensive odours are minimised and that either the Respiration Activity after four days (AT₄) is below $10 \text{ mg O}_2/\text{g dm}$ or the Dynamic Respiration Index is below $1,000 \text{ mg O}_2/\text{kg VS/h}$."

De concrete invulling van de grenswaarden in dit EU-voorstel is dus $1.000 \text{ mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ OS uur}^{-1}$. Het molgewicht van zuurstof bedraagt 32 g en deze norm zou dus neerkomen op ongeveer $30 \text{ mmol O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ OS uur}^{-1}$. De temperatuur bij welke deze

norm is afgeleid, bedraagt echter 50 °C. Deze temperatuur versnelt de reacties aanzienlijk ten opzichte van de procesomstandigheden in de door ons uitgevoerde Oxitop® experimenten. Dit betekent dat de Europese norm voor de condities waaronder onze experimenten uitgevoerd zijn, zou neerkomen op ongeveer 10 mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹ (expert judgement Veeken).

Het is aan het beleid (Ministerie van LNV) om hier keuzes in te maken, maar op basis van de bevindingen in deze studie lijkt 10-15 mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹ zeker ook een redelijke grenswaarde om het onderscheid tussen stabiele en niet-stabiele producten te maken. Een belangrijke overweging bij het beleidsmatig vaststellen van een norm voor stabiliteit op basis van de Oxitop® respirometring is dat het voor het draagvlak bij de composteerders ook belangrijk is dat er bij de (toekomstige) beoordeling op basis van de Oxitop® methode niet veel meer afkeur van partijen zal optreden dan bij de (huidige) beoordeling op basis van de Rottegradmethode.

Van de Boom-bodemverbeteraars (dus tuinturf buiten beschouwing gelaten) zouden bij een grenswaarde van 10-15 mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹ (bepaald met de Oxitop® methode onder standaardcondities) en op basis van de gemiddeld waargenomen respiratiesnelheid de producten groencompost, GFT-compost en schorscompost als stabiel aan te merken zijn (zie tabel 6). Op basis van deze grenswaarde zouden champost en slib als niet-stabiel aan te merken zijn. Deze niet-stabiele bodemverbeteraars kennen bovendien een relatief hoge N-mineralisatiesnelheid (zie tabel 6).

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Algemeen

De projectdoelen zoals bij aanvang geformuleerd in het projectplan luiden:

1. Toepassing van de stabiliteitstest op basis van zuurstofconsumptie voor het vergelijken van zowel de afbraak/stabiliteit als de N-mineralisatie van verschillende bodemverbeteraars: GFT-, groen-, en schorscompost, champost, tuinturf (veen) en zuiveringsslib.
2. Relateren van de gevonden waarden van stabilisatiegraad en N-mineralisatie aan de landbouwkundige waarde en de milieuhygiënische consequenties van de beschouwde bodemverbeteraars.
3. Onderlinge vergelijking en positionering van de bestudeerde bodemverbeteraars op basis van de resultaten van doelen 1 en 2.
4. Vertaalslag maken richting normstelling en standaardisatie: wat is een stabiele bodemverbeteraar en wat niet en waar is dat op te baseren?

Deze projectdoelen zijn alle behaald c.q. uitgevoerd zoals beschreven in dit rapport. Op basis van de bevindingen volgen nu de conclusies en aanbevelingen.

Conclusies

Rottegradmethode:

- Bij de Rottegradmethode wordt de temperatuurstijging in het vat bepaald, terwijl eigenlijk de warmteproductie gemeten zou moeten worden. Dit is een van de belangrijkste redenen dat de Rottegradmethode minder goed voldoet als gestandaardiseerde test.
- De Rottegradmeting kan hierdoor ook niet echt reproduceerbaar uitgevoerd worden en de interpretatie van de meting is lastig.
- De Rottegradmethode blijkt weinig onderscheidend te zijn ten aanzien van de karakterisering van de stabiliteit van de geselecteerde bodemverbeteraars.

Oxitop[®] methode onder gestandaardiseerde condities (vloeibare fase):

- De Oxitop[®] methode is een snelle en betrouwbare methode voor de bepaling van de stabiliteit van organische bodemverbeteraars.
- De Oxitop[®] methode resulteert in betrouwbare (reproduceerbare) resultaten met groot onderscheidend vermogen.
- De Oxitop[®] methode is wat betreft de stabiliteitsbepaling geschikt voor productkarakterisering en (dus ook) voor normstelling in relatie tot het invullen van de Boom-definitie van 'stabiele bodemverbeteraar'.
- De Oxitop[®] methode bepaalt de zuurstofconsumptie en geeft dus een directe maat voor de stabiliteit. Uit deze stabiliteit is ook een waarde van de afbraaksnelheid en a-waarde te bepalen.
- Van de Boom-bodemverbeteraars (dus tuinturf buiten beschouwing gelaten) zouden bij een grenswaarde van 10-15 mmol O₂ kg⁻¹ OS uur⁻¹ (bepaald met de Oxitop[®] methode onder standaardcondities) en op basis van de gemiddeld waargenomen respiratiesnelheid de producten groencompost, GFT-compost (op een uitschieter na) en schorscompost als stabiel aan te merken zijn. Op basis van deze grenswaarde zouden champost en slib als niet-stabiel aan te merken zijn. Deze niet-stabiele bodemverbeteraars kennen bovendien een relatief hoge N-mineralisatiesnelheid.
- Op basis van een ongewogen score van de drie belangrijkste items die een rol spelen bij de beoordeling van de landbouwkundige waarde en de milieukundige gevolgen van het gebruik van de bodemverbeteraars zijn deze gerangschikt. Deze rangschikking is geschikt om de BOOM-producten groencompost, GFT-compost en champost onderling te vergelijken. De geteste

groencompost is een stabiele bodemverbeteraar met weinig N-levering, GFT-compost is een stabiele bodemverbeteraar met iets meer N-levering en champost is een duidelijk minder stabiele bodemverbeteraar met beduidend hogere N-levering.

Oxitop[®] methode met standaardbodem (metingen in vaste fase):

- De Oxitop[®] methode (standaardbodem) kent de volgende nadelen en beperkingen vergeleken met de Oxitop[®] methode onder gestandaardiseerde condities (vloeibare fase):
 - er dient rekening gehouden te worden met een basis-respiratie en basis-mineralisatie van de (standaard)bodem;
 - de proef met grond (vaste fase) duurt langer dan de proef in vloeibare fase;
 - de proef met grond brengt veel meer werk met zich mee dan de proef onder gestandaardiseerde condities;
 - in verband met heterogeniteit van de standaardbodem is het de vraag in hoeverre de uitkomsten van de metingen voldoende betrouwbaar zijn en of er niet beter 'opofferingsexperimenten' uitgevoerd zouden moeten worden net zoals bij de huidige incubatieproeven waarin grond gebruikt wordt.

Oxitop[®] methode onder gestandaardiseerde condities en met standaardbodem:

- De resultaten van de N-mineralisatiemetingen in zowel vloeibare als vaste fase via de Oxitop[®] methode zijn beide nog niet gevalideerd. De interpretatie kan lastig zijn, maar deze problemen gelden ook voor de standaard incubatieproef.
- Voor een goede vertaalslag naar 'de praktijk' (vertaling van procesomstandigheden naar bodemsysteem en groeiseizoen) is een ontwikkeltraject nodig om de Oxitop[®] metingen van de N-mineralisatie (in zowel vaste als vloeibare fase) en de Oxitop[®] methode met standaardbodem in het algemeen beter te kunnen ontwerpen (zie aanbevelingen).

Aanbevelingen

- LNV kan de bevindingen van dit project gebruiken ten behoeve van verdere implementatie in het beleid: het is aan te bevelen de definitie van 'stabiel' in het BOOM nader te duiden door een grenswaarde op basis van de Oxitop[®] meting onder gestandaardiseerde condities op te nemen.
- De omschakeling van Rottegradmethode naar Oxitop[®] methode moet gepaard gaan met voldoende analysecapaciteit bij de laboratoria. Een concreet ontwikkeltraject moet plaatsvinden via twee sporen:
 1. implementatie van stabiliteitsbepaling met Oxitop[®] in plaats van Rottegrad.
 2. verdere ontwikkeling van N-mineralisatiemeting met de Oxitop[®] methode.
- Het ontwikkeltraject van de N-mineralisatiemeting met behulp van de Oxitop[®] methode zou vervolgd moeten worden door samenwerking van Wageningen Universiteit, Blgg, NMI en het Ministerie van LNV.

LITERATUUR

European Commission (2001) Working Document Biological Treatment of Biowaste, 2nd draft. DG-Environment A,2, Brussels, 12 February 2001.

Janssen BH (1984) A simple model for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. *Plant and Soil* 76, 297-304.

Janssen BH (1986) Een één-parameter model voor de berekening van de decompositie van organisch materiaal. *Vakbl. Biol.* 66 (20), 433-436.

Janssen BH (1996) Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil* 181, 39-45.

KIWA (1999) Beoordelingsrichtlijn BRL-K256/03 "Kiwa productcertificaat voor Compost uit groente-, fruit- en tuinafval van huishoudens en bedrijven en organische reststromen van bedrijven".

Lasaridi KE & Stentiford EI (1998) A simple respirometric technique for assessing compost stability, *Wat, Res*, 32, 3717-3723.

BIJLAGE 1. Voorschriften Oxitop® C- en N-mineralisatie

Voorschrift Oxitop® stabiliteitbepaling van organische stof

Protocol for determining C- and N-mineralisation rate in liquid state by Oxitop®

Compost is suspended in liquid suspension and C- and N-mineralisation are measured according to standard test as performed until now except:

- the composition of the solution is changed;
- NH_4^+ in solution is measured

Supplies:

- 180 ml water (by weight)
- 10 ml phosphate buffer pH 7 (dispenser)
- 10 ml macronutrients, including NH_4 for growth of micro-organisms (dispenser)
- 0,2 ml micronutrients (pipette)
- 0,2 ml ATU; nitrification inhibitor (pipette)
- 2 g VS of sample (by weight)

Temperature: 30 °C

Duration: 7 days

Shaking: 120 rpm

Measurements are made in duplicate,
Oxitop® for 7 days

Steps:

- Prepare solutions and add 2 g VS of sample³
- Measure pH and if necessary adjust to pH 7 by NaOH or HCl
- Place pressure head and close bottle; initiate Oxitop® experiment
- Shake sample for 2-3 h at incubation temperature and take 2 ml sample[#] for NH_4^+ and NO_3^-
- 2 ml sample is centrifuged (in "epje") for 10 min and 1 ml of the supernatant is diluted with 2 ml of water; NH_4^+ -N and NO_3^- -N are measured with Dr. Lange
- Take 2 ml sample every day and analyse for NH_4^+ -N and NO_3^- -N as described above⁴³
- Finish Oxitop® when the pressure drop is more than 120 hPa (mind that initial pressure is higher than 0 hPa)
- Finish Oxitop® after 7 days and take sample for NH_4^+ and NO_3^- ⁴³

[#]flush needle of syringe several times and then take sample

³ The amount of 2 g VS is an estimate value. The respiration rate of the sample bottle can best be established when we have a pressure drop of about 50-100 hPa over a period of 3-5 days. When the pressure drop is faster a smaller amount of VS has to be used. A larger amount of VS has to be used when the pressure drop is lower than 10-20 hPa. The pressure drop (equivalent to respiration rate) depends on the amount of VS of the sample and the respiration rate of the sample. The total amount of VS of sample is limited because too much material limits the gas-liquid oxygen mass transfer. To our present understanding we have to limit the total amount of TS to 20 g.

Protocol for determining the respiration index in solid state by Oxitop®

Compost sample is mixed with soil and incubated, The moisture content of the mix is 60% of water holding capacity, The C- and N-mineralisation are measured.

Supplies:

- Sandy soil "Eng soil": water holding capacity 175 ml/kg, bulk density 1600 kg m⁻³
- Solution made up of a mixture ratio of 180 ml of tap water and 10 ml macronutrients
- Compost sample

Temperature: 30 °C

Duration: 28 days

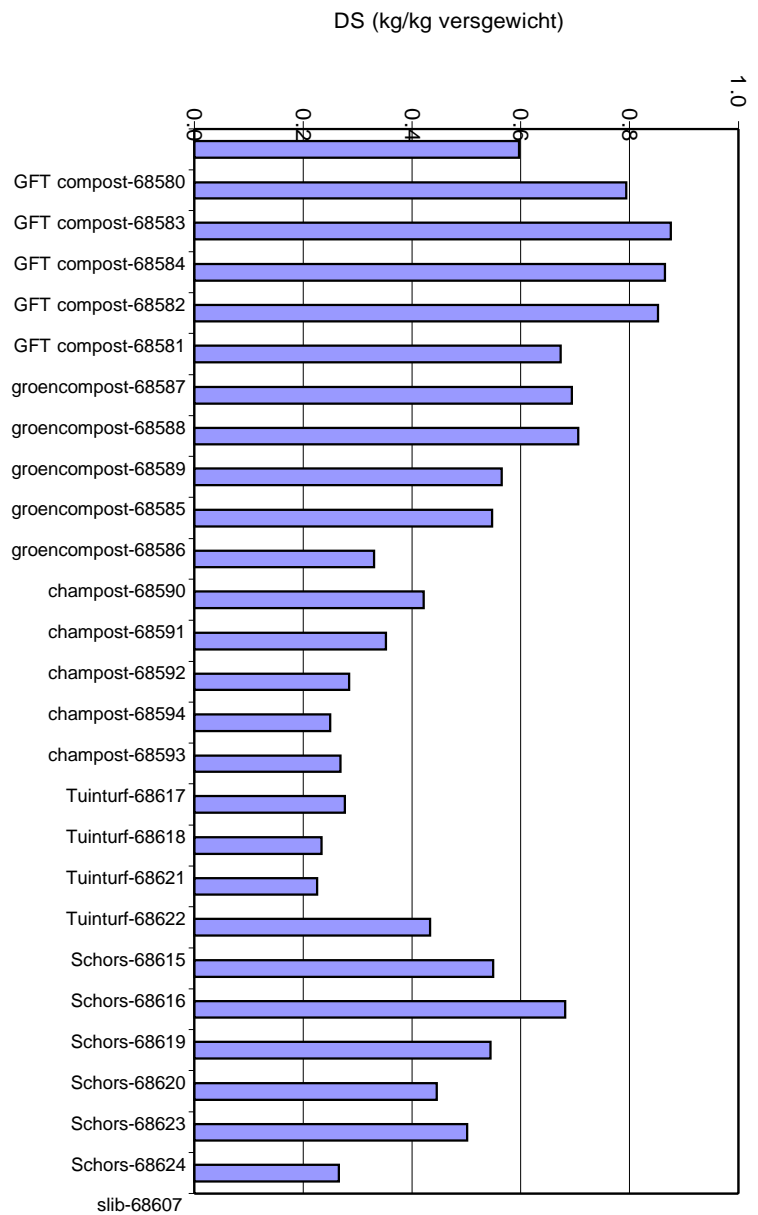
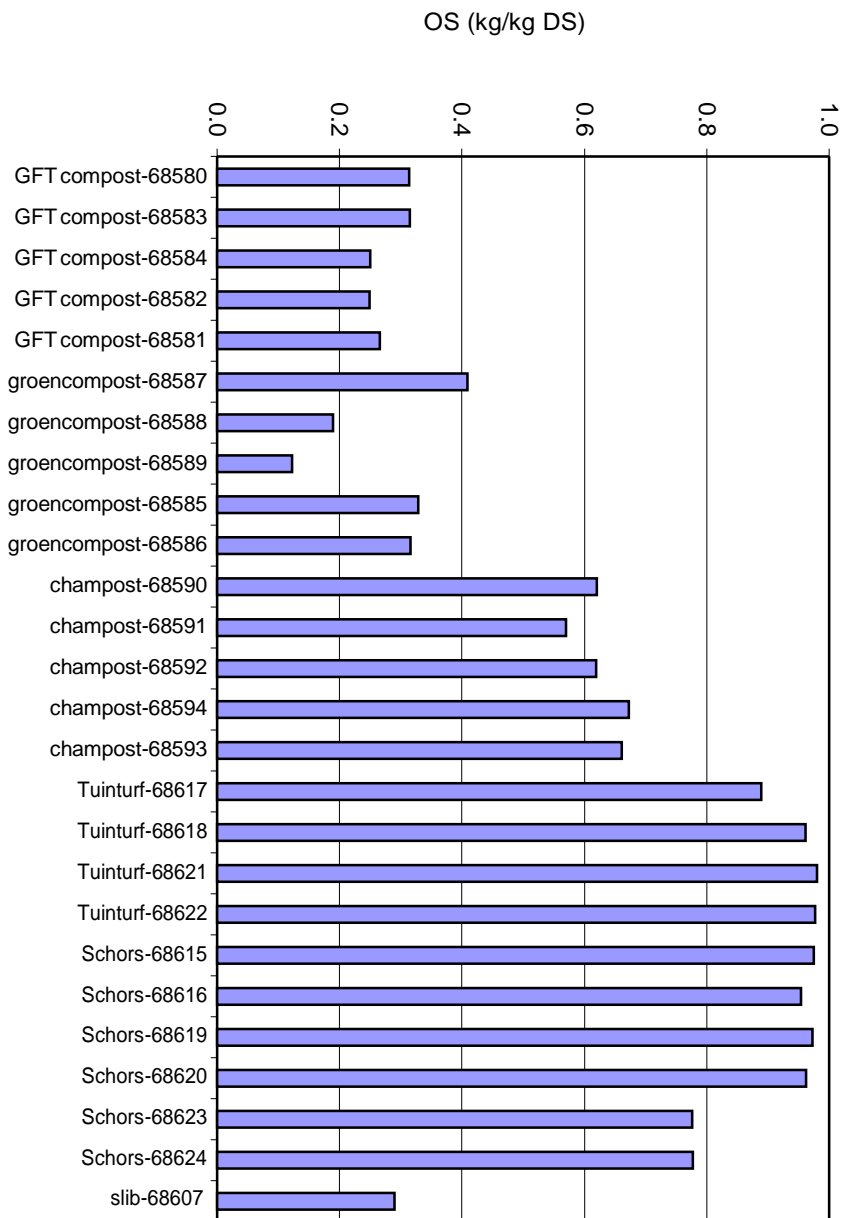
Shaking: none

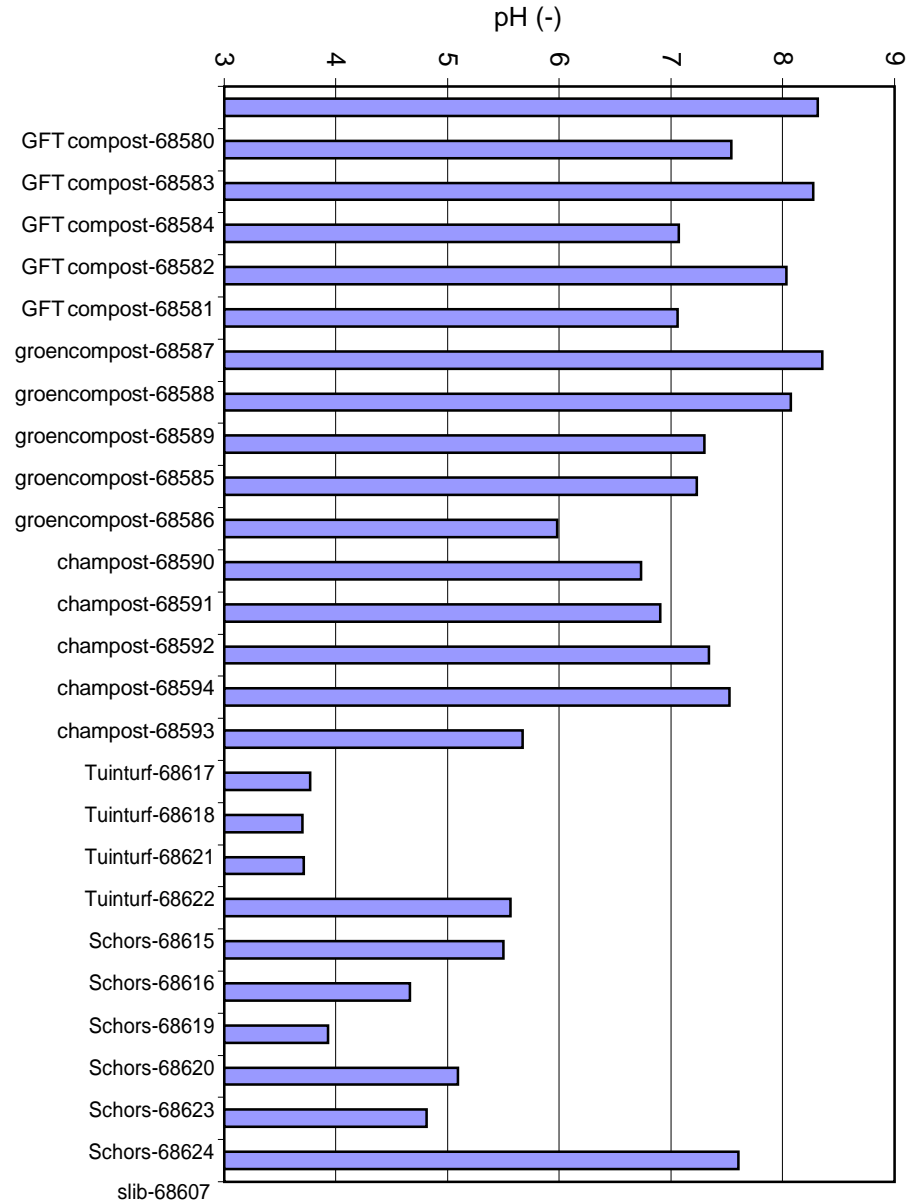
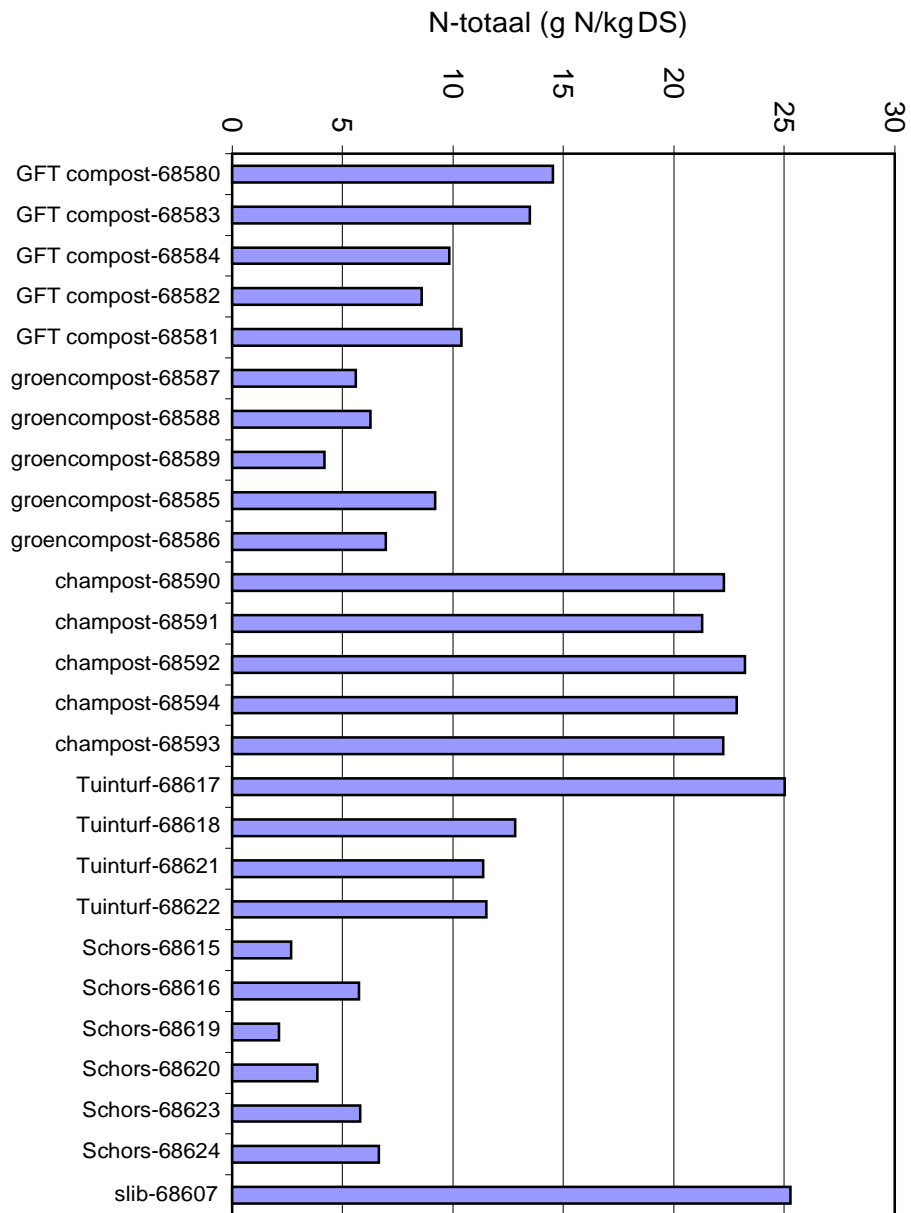
Measurements are made in duplicate,
Add blank (soil and nutrients without sample) in duplicate to assess basal respiration of soil organic matter,

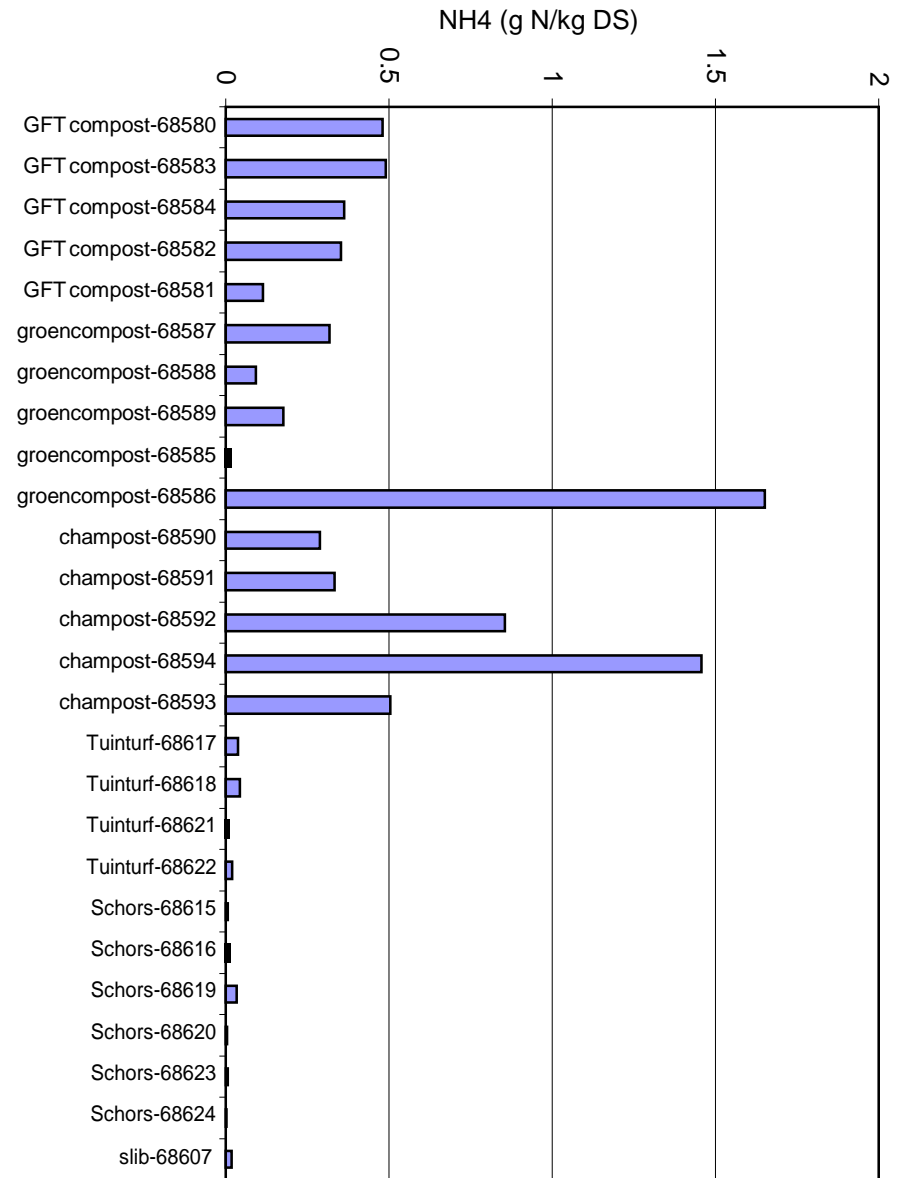
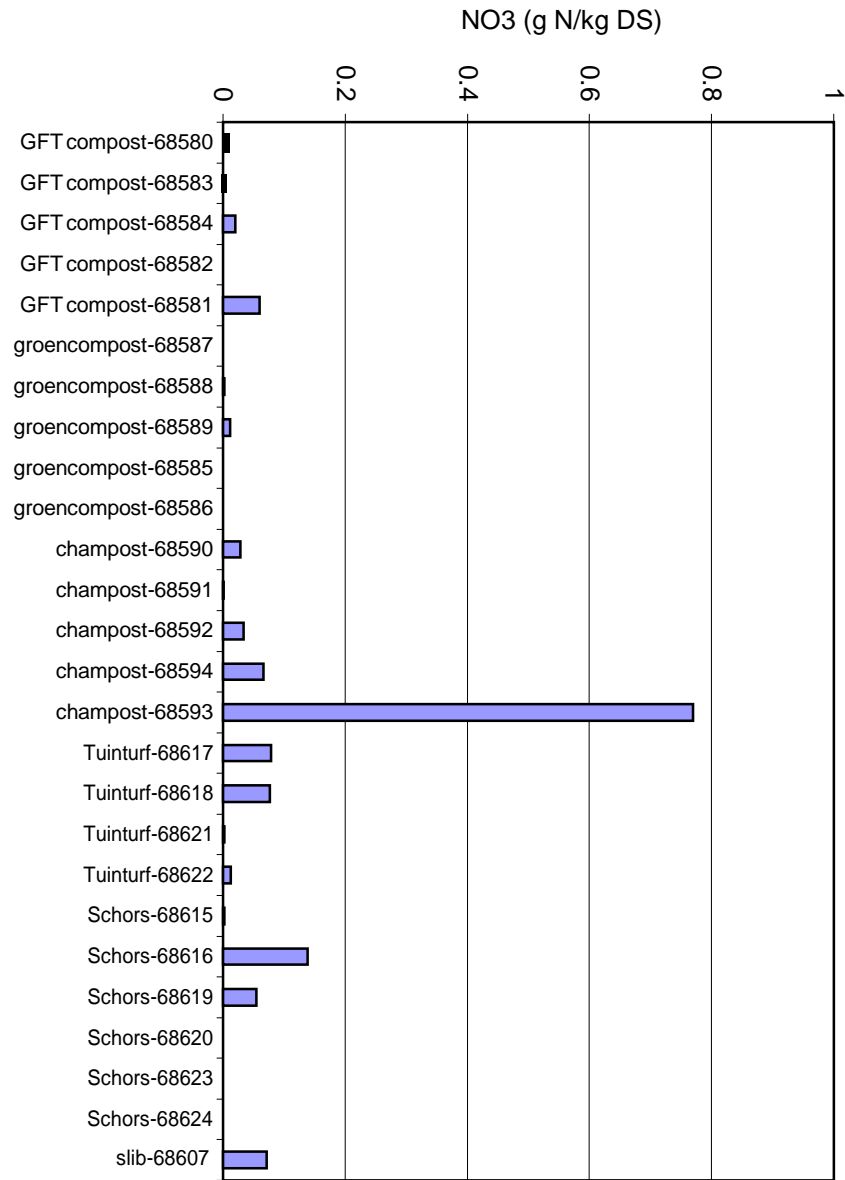
Steps:

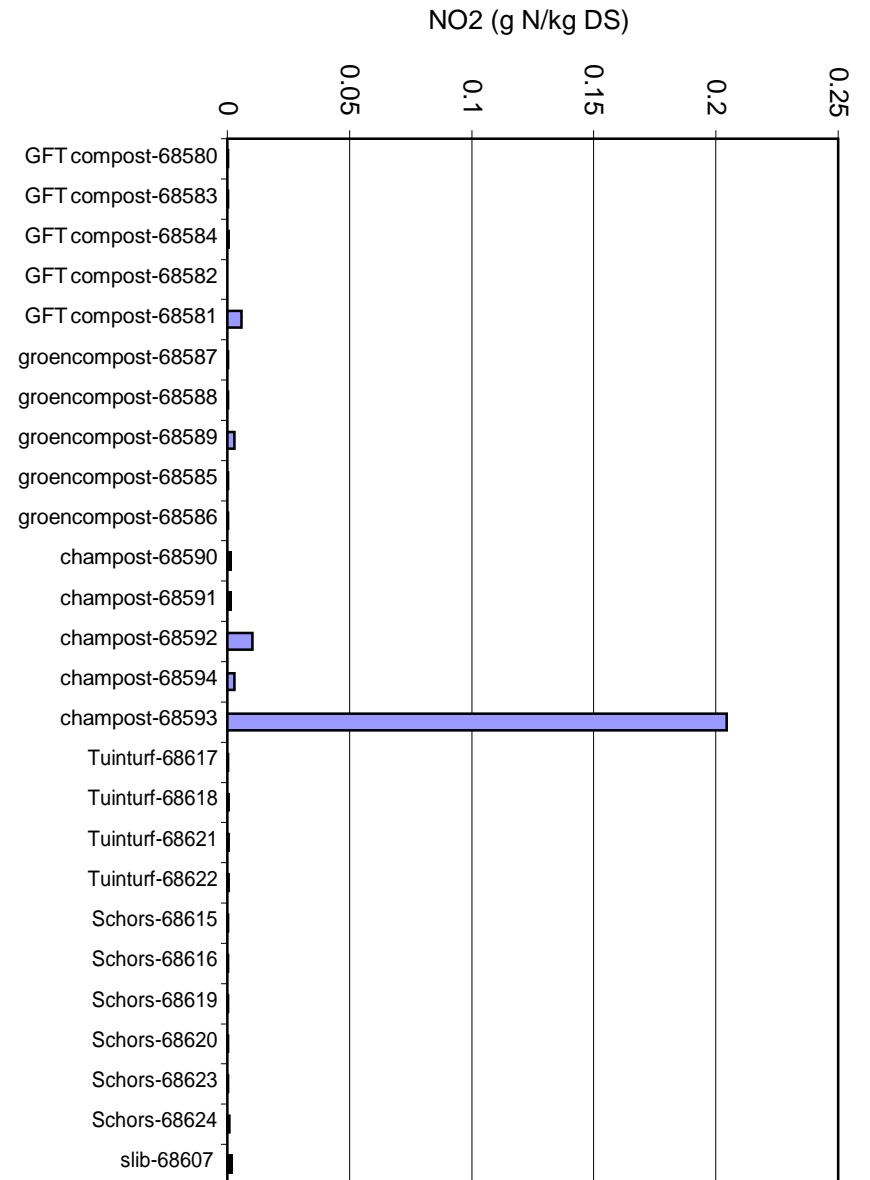
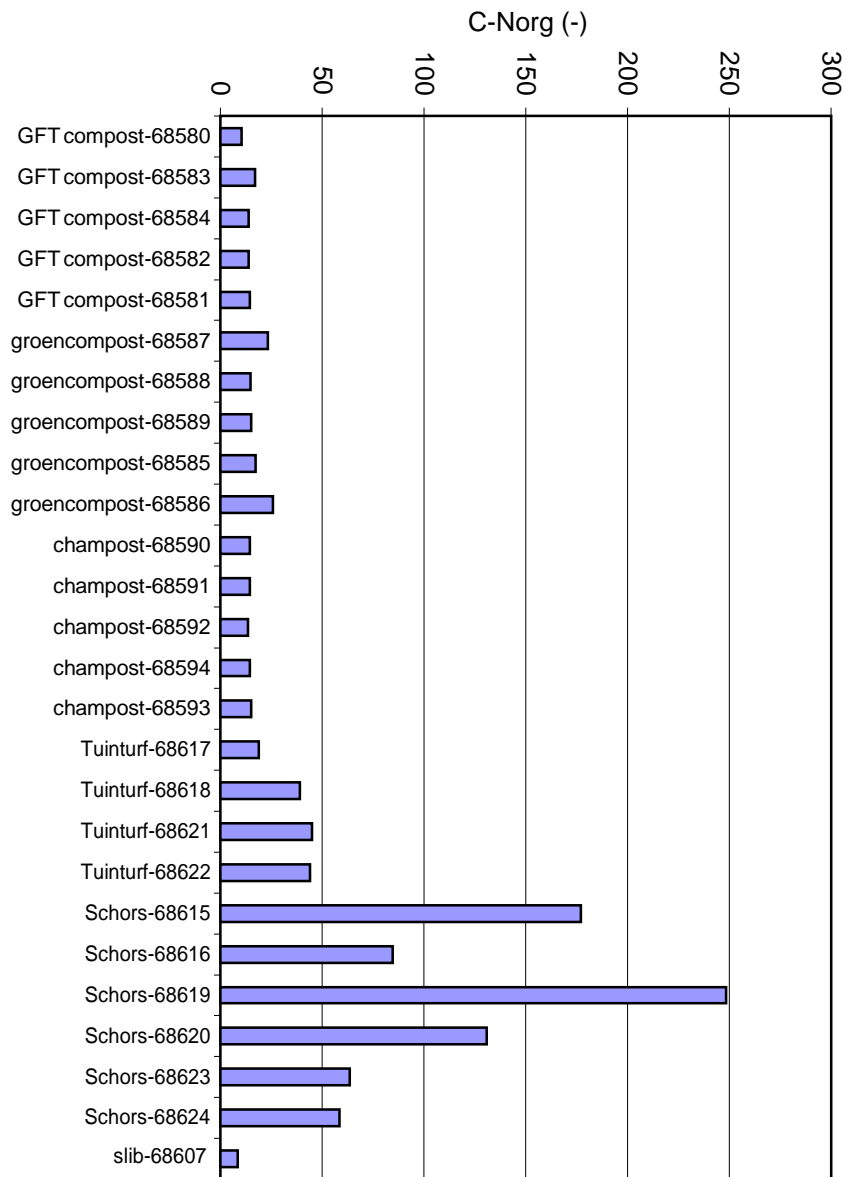
- Prepare solution with tap water and macronutrients
- Add 500 g of Eng soil (by weight)
- Add 2 g TS of compost sample (by weight)
- Add 53 ml of solution and mix thoroughly
- Wait for 1-2 h and take sample of 10 g for analysis of pH, NH₄⁺ and NO₃⁻
- Close pressure head on bottle and initiate Oxitop® experiment
- Check measurement 1 or 2 times a week
- Every week, open bottle and take sample of 10 g for pH, NH₄⁺ and NO₃⁻
- Take data from Oxitop® every week (just in case something goes wrong)
- Finish Oxitop® when the pressure drop is more than 120 hPa (mind that initial pressure might be higher than 0 hPa)
- At the end, if not finished before 28 days, take sample of 10 g for analysis of pH, NH₄⁺ and NO₃⁻

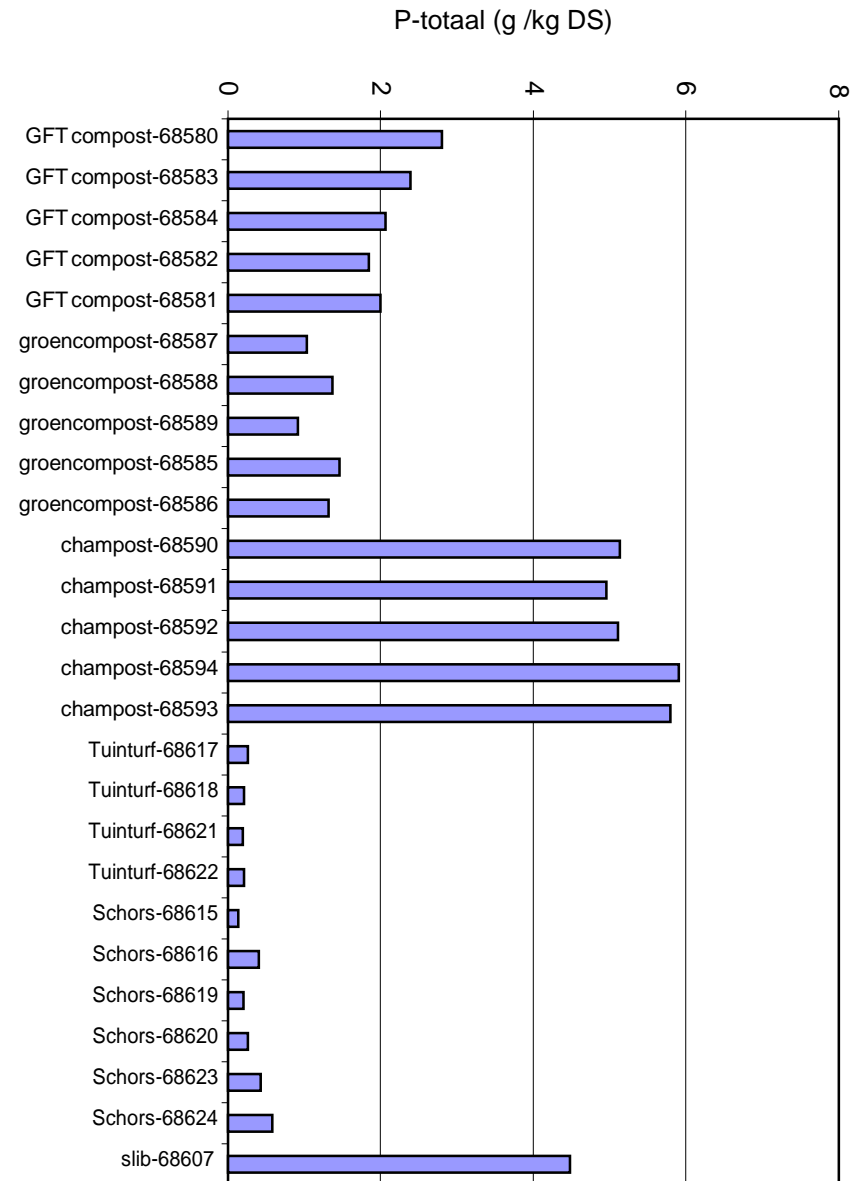
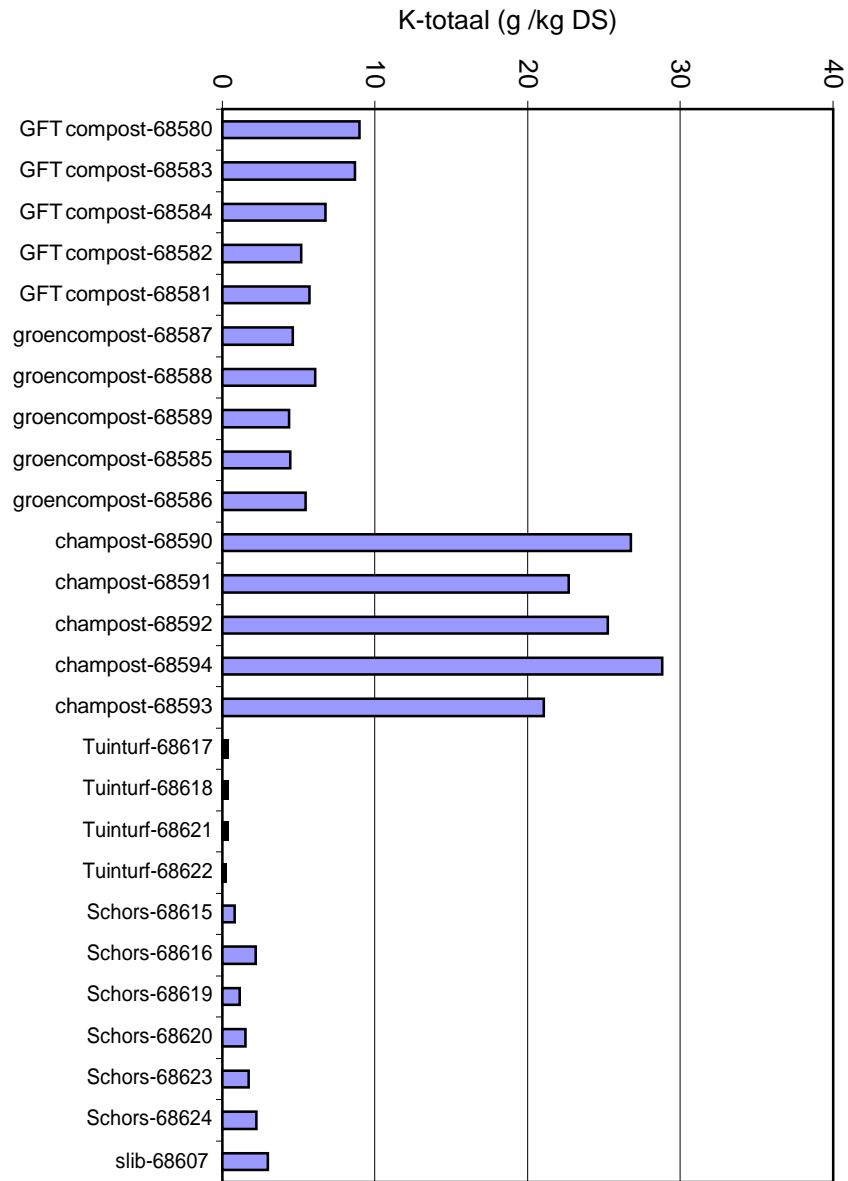
pH, NH₄⁺ and NO₃⁻ are determined after extraction with 0,01M CaCl₂ at a solid-liquid ratio 1:10,













Nutriënten Management Instituut BV
Nieuwe Kanaal 7c
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03
e-mail: nmi@nmi-agro.nl
website: www.nmi-agro.nl