



Advies voor protocol voor het vaststellen van N-werkingscoëfficiënten van organische meststoffen

W. van Dijk
A.M. van Dam
J.C. van Middelkoop

F.J. de Ruijter
K.B. Zwart



Advies voor protocol voor het vaststellen van N-werkingscoëfficiënten van organische meststoffen

W. van Dijk
A.M. van Dam
J.C. van Middelkoop
F.J. de Ruijter
K.B. Zwart

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving
Praktijkonderzoek Plant & Omgeving
Praktijkonderzoek Animal Sciences Group
Plant Research International
Alterra

© 2005 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving 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 Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PPO Publicatienr. 349; € 10,-

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

PPO-projectnummer: 510510

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Businessunit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroente

Adres : Edelhertweg 1, Wageningen
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 - 29 11 11
Fax : 0320 - 23 04 79
E-mail : infoagv.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

VOORWOORD	5
SAMENVATTING.....	7
1 INLEIDING	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doel en Afbakening	9
1.3 Leeswijzer	9
2 KEUZE VAN DE WERKWIJZE VOOR VASTSTELLEN VAN DE N-WERKINGSCOËFFICIËNT	11
3 WERKWIJZEN VOOR VASTSTELLING VAN DE NWC.....	13
3.1 Algemeen.....	13
3.2 Nwc 100%	13
3.3 NWC op basis van ontheffingsdossiers	13
3.4 Vuistgetal N-werkingscoëfficiënt.....	13
3.5 Model met vuistgetal voor humificatiecoëfficiënt.....	14
3.6 Model met humificatiecoëfficiënt gebaseerd op meting.....	16
3.7 Benodigde gegevens	18
4 LITERATUUR.....	19
BIJLAGE 1. DEFINITIES	21
BIJLAGE 2. BEPALING HUMIFICATIECOËFFICIËNT VAN EEN MESTSTOF	23
BIJLAGE 3. INDICATOREN VOOR DE N-WERKING VAN ORGANISCHE MESTSTOFFEN.....	25

Voorwoord

In het kader van de het gebruiksnormenstelsel zijn voor de belangrijkste organische meststoffen wettelijke N-werkingscoëfficiënten (NWC) vastgesteld. De onderbouwing daarvoor is geleverd door de Werkgroep Onderbouwing Werkingscoëfficiënten (WOW). Omdat het onmogelijk was om voor elk willekeurig organisch product de NWC vast te stellen is er behoefte aan een protocol waarmee de deze kan worden bepaald. In opdracht van de Ministeries van LNV en VROM is door de WOW een studie uitgevoerd hoe een dergelijk protocol er op hoofdlijnen zou kunnen uitzien. Dit rapport beschrijft de resultaten.

De WOW is ingesteld vanuit de Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen. Laatstgenoemde wordt bedankt voor het becommentariëren van concepten.

De auteurs

Samenvatting

Vanaf 2006 geldt in Nederland een wettelijk stelsel van gebruiksnormen voor de aanvoer van stikstof (N) en fosfaat met meststoffen. Omdat de norm voor N is gebaseerd op werkzame N zijn voor de belangrijkste organische meststoffen wettelijke N-werkingscoëfficiënten (NWC) vastgesteld. Het was onmogelijk om de NWC voor alle organische producten vast te stellen doordat er van een aantal onvoldoende gegevens beschikbaar waren. Daarnaast komen er voortdurend nieuwe producten beschikbaar voor de markt. In die gevallen is er behoefte aan een protocol waarmee de NWC kan worden bepaald. Dit rapport geeft een advies hoe een dergelijk protocol er op hoofdlijnen zou kunnen uitzien.

Een belangrijke randvoorwaarde voor het protocol was dat de NWC relatief snel en goedkoop moet kunnen worden vastgesteld. Er worden vijf verschillende werkwijzen voor de bepaling van de NWC onderscheiden, die verschillen in volledigheid, en daarmee in nauwkeurigheid. Voor aanbieders die de hoogste nauwkeurigheid wensen is werkwijze 5 noodzakelijk; aanbieders die genoegen nemen met een zeer lage nauwkeurigheid kunnen volstaan met werkwijze 1. De overige werkwijzen geven een tussenliggende nauwkeurigheid.

1. Alleen het totaal N-gehalte wordt gegeven: $NWC = 100\%$
2. Op basis van gegevens uit het ontheffingendossier wordt de NWC afgeleid (alleen mogelijk bij meststoffen die op basis van ontheffingen zijn toegelaten)
3. Vergelijking met vergelijkbare meststof waarvan de NWC bekend is
4. Modelmatige berekening met vuistgetal voor afbraaksnelheid organische stof
5. Modelmatige berekening met bepaling afbraaksnelheid organische stof

Bij de eerste werkwijze wordt de NWC niet onderbouwd en wordt hij vastgesteld op 100 % van de totale hoeveelheid in de meststof aanwezige N. Als dit niet acceptabel is kan gebruik gemaakt worden van gegevens aanwezig in de ontheffingendossiers (methode 2) of van een vuistgetal voor de NWC, dat vastgesteld wordt door de betreffende meststof te vergelijken met meststoffen waarvoor de NWC reeds is vastgesteld (methode 3). Als dit (voor de aanvrager) geen bevredigend resultaat oplevert, kan met behulp van modelberekeningen en aanvullende metingen de NWC bepaald worden. Hierbij kan gekozen worden voor een schatting van de afbraaksnelheid van de organische stof met een vuistgetal in combinatie met meting van gehalten aan organische stof en stikstof (mineraal en organisch) (methode 4), of meting van zowel de afbraaksnelheid van organische stof (door incubatie) en de gehalten aan organische stof en stikstof (mineraal en organisch) (methode 5).

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Vanaf 2006 geldt in Nederland een wettelijk stelsel van gebruiksnormen¹ voor aanvoer van werkzame stikstof (N) op percelen die voor landbouw in gebruik zijn. Daarbij moet voor elke meststof worden vastgesteld welk deel van de totaal aanwezige N dezelfde werkzaamheid heeft als in het voorjaar toegediende N uit kunstmest (meestal kalkammonsalpeter). Dit wordt de N-werkingscoëfficiënt¹ (NWC) genoemd. De hoeveelheid werkzame stikstof in een partij van een meststof kan berekend worden door het gemeten N-gehalte (N_{totaal}) te vermenigvuldigen met de NWC.

Bij organische meststoffen is de NWC meestal lager dan 100%. Dat komt omdat een deel van de N aanwezig is in organische vorm, die niet volledig beschikbaar komt in de periode dat het gewas N opneemt, en een deel als ammoniak, die gemakkelijk vervluchtigt. Daarnaast wordt organische mest soms in het najaar toegediend en kunstmest bijna altijd in het voorjaar.

In het kader van het nieuwe mineralenbeleid is voor een groot aantal organische producten de NWC vastgesteld (Van Dijk et al., 2005a/b). Het was onmogelijk om de NWC voor alle organische producten vast te stellen doordat er van een aantal onvoldoende gegevens beschikbaar waren. Daarnaast komen er voortdurend nieuwe producten beschikbaar voor de markt. In die gevallen is er behoefte aan een protocol waarmee de NWC kan worden bepaald.

1.2 Doel en Afbakening

Doel van dit document is het opstellen van een *advies* voor een eenduidig, technisch protocol, waarmee relatief snel en goedkoop de NWC kan worden bepaald. Organisatorische en juridische aspecten worden buiten beschouwing gelaten, en de te volgen werkwijze wordt op hoofdlijnen beschreven, zonder dat wordt in gegaan op de precieze handelwijze bij benodigde bepalingen (werkvoorschriften) zoals chemische analyses en incubaties. NWC's die volgens een dergelijk protocol zijn gekwantificeerd kunnen dienen als onderbouwing bij het vaststellen van wettelijke NWC's in het gebruiksnormenstelsel.

1.3 Leeswijzer

De NWC van organische meststoffen kan met verschillende werkwijzen worden gekwantificeerd. In hoofdstuk 2 wordt uitgelegd welke methoden worden onderscheiden en in welke situaties deze kunnen worden toegepast. De verschillende werkwijzen worden vervolgens beschreven in hoofdstuk 3.

¹ Een definitie is opgenomen in bijlage 1.

2 Keuze van de werkwijze voor vaststellen van de N-werkingscoëfficiënt

De NWC kan zowel empirisch als modelmatig worden afgeleid. Bij empirische methoden wordt meestal gebruik gemaakt van veld- en/of potproeven. Achtergronden staan beschreven in Van Dijk et al. (2005a). Proeven zijn echter tijdrovend en kostbaar. Voor het protocol is daarom gekozen voor een meer modelmatige aanpak, die aansluit op de werkwijze die is gehanteerd in Van Dijk et al. (2005b). Daarvoor is het noodzakelijk om een aantal karakteristieken van de meststof vast te stellen, waarvan het bepalen van de humificatiecoëfficiënt (maat voor de afbraaksnelheid van de organische stof) het meest tijdrovend en kostbaar is. Doordat het kostenaspect voor een aanbieder van een organisch product een belangrijke overweging kan zijn, biedt het protocol ook een aantal alternatieven. In het ene uiterste wordt volstaan met het alleen geven van de totale hoeveelheid stikstof in het product, de NWC wordt dan op 100% gesteld en in het andere uiterste worden alle gegevens verstrekt die noodzakelijk zijn voor het berekenen van de NWC.

Het protocol voor de vaststelling van de NWC kent vijf verschillende werkwijzen die verschillen in volledigheid, en daarmee in nauwkeurigheid. Voor aanbieders die de hoogste nauwkeurigheid wensen is werkwijze 5 noodzakelijk; aanbieders die genoegen nemen met een zeer lage nauwkeurigheid kunnen volstaan met werkwijze 1. De overige werkwijzen geven een tussenliggende nauwkeurigheid.

1. Alleen het totaal N-gehalte wordt gegeven: $NWC = 100\%$
2. Op basis van gegevens uit het ontheffingendossier wordt de NWC afgeleid (alleen mogelijk bij meststoffen die op basis van ontheffingen zijn toegelaten)
3. Vergelijking met vergelijkbare meststof waarvan de NWC bekend is
4. Modelmatige berekening met vuistgetal voor afbraaksnelheid organische stof
5. Modelmatige berekening met bepaling afbraaksnelheid organische stof

Bij de eerste werkwijze wordt de NWC niet onderbouwd en wordt hij vastgesteld op 100 % van de totale hoeveelheid in de meststof aanwezige N. Als dit niet acceptabel is kan gebruik gemaakt worden van gegevens aanwezig in de ontheffingendossiers (methode 2) of van een vuistgetal voor de NWC, dat vastgesteld wordt door de betreffende meststof te vergelijken met meststoffen waarvoor de NWC reeds is vastgesteld (methode 3). Als dit (voor de aanvrager) geen bevredigend resultaat oplevert, kan met behulp van modelberekeningen en aanvullende metingen de NWC bepaald worden. Hierbij kan gekozen worden voor een schatting van de afbraaksnelheid van de organische stof met een vuistgetal in combinatie met meting van gehalten aan organische stof en stikstof (mineraal en organisch) (methode 4), of meting van zowel de afbraaksnelheid van organische stof (door incubatie) en de gehalten aan organische stof en stikstof (mineraal en organisch) (methode 5). Hoewel het protocol zich richt op relatief snelle bepalingsmethoden, kan ook gekozen worden voor een empirische aanpak met veld- en/of potproeven. Deze worden hier niet verder uitgewerkt. Door Schröder (2005) wordt in detail ingegaan op de hierbij te volgen methodieken.

Voor een verdere omschrijving van de hierboven vermelde methoden wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

Bij opstellen van dit protocol is door literatuurstudie onderzocht of er een chemische bepaling beschikbaar is waarmee de N-mineralisatiesnelheid van een meststof, en daarvan afgeleid de NWC, direct bepaald kan worden in plaats van een modelmatige berekening (methode 4 en 5). De chemische analyses die hiervoor onderzocht zijn hebben echter een beperkte voorspellende waarde (zie bijlage 3) en zijn daarom buiten beschouwing gelaten. De enige bekende analyse die perspectief zou kunnen bieden is de bepaling van het gehalte totaal oplosbare stikstof (Zwart et al., 1999).

3 Werkwijzen voor vaststelling van de NWC

3.1 Algemeen

Het protocol is bedoeld voor het vaststellen van de NWC van organische producten die worden aangeboden als stikstofhoudende meststof, waarvoor nog geen wettelijke NWC is vastgesteld en waarvoor de N-vracht in de landbouw in Nederland in kg N per jaar of de totale N-vracht per ha (N-gehalte * toegestane dosering) een nog nader te bepalen waarde overschrijdt.

Los van de werkwijze, die bij het vaststellen van de NWC gevolgd wordt, gelden de volgende algemene eisen:

1. De volgende informatie over de meststof moet worden aangeleverd:
 - Gemiddelde en standaardafwijking van gehalten aan organische stof (niet nodig voor methode 1) en N(totaal) gemeten in monsters van tenminste een nog nader te bepalen aantal partijen. De partijen moeten zo gekozen zijn dat de cijfers representatief zijn voor de meststof (b.v. bij variatie van samenstelling over de seizoenen moeten monsters van partijen uit meerdere seizoenen genomen worden). De bepalingmethoden zijn vermeld in Tabel 4 (paragraaf 3.6).
 - herkomst
 - mogelijke toepassingen (teelten, grondsoorten, toedieningsmethoden en –tijdstippen)
2. De gevolgde werkwijze moet gerapporteerd worden. De rapportage omvat:
 - een beschrijving van de selectiemethode van de monsters
 - een motivatie van de gevolgde werkwijze.

De meetmethoden voor de parameters bij de verschillende werkwijzen staan vermeld in paragraaf 3.7.

De onderbouwing van de NWC via één van de genoemde methoden dient te worden beoordeeld door een onafhankelijke commissie. Welke commissie en welke procedures hierbij in acht worden genomen zal in een later stadium moeten worden ingevuld.

3.2 Nwc 100%

De NWC wordt vastgesteld op 100%. Er is geen verdere informatie benodigd.

3.3 NWC op basis van ontheffingsdossiers

Deze methode kan worden gebruikt voor producten die via een ontheffing mogen worden toegepast als meststof. Ontheffingen worden verleend op basis van aan te leveren dossiers waarin informatie opgenomen is over samenstelling en bemestende waarde. Wanneer ook de N-werking is vastgesteld kan deze informatie worden gebruikt als onderbouwing voor de NWC.

3.4 Vuistgetal N-werkingscoëfficiënt

Op basis van een aantal eigenschappen wordt de NWC volgens onderstaand tabel bepaald. Het product waarvan de NWC bepaald moet worden, wordt vergeleken met producten waarvan de NWC bekend is. In de rapportage wordt op basis van producteigenschappen (organische stof- en totaal N-gehalte, droge stofgehalte), herkomst en bewerking van de meststof gemotiveerd in welke categorie van Tabel 1 het product kan worden geplaatst. Wanneer een product niet redelijkerwijs in een categorie kan worden

geplaatst moet een NWC van 100% worden aangehouden (methode 1) of dient de NWC via een andere methode te worden vastgesteld (methode 4 of 5).

De definitieve getalswaarden in tabel 1 zijn afkomstig uit Van Dijk et al. (2005a/b) of zijn bepaald via aanvullende modelberekeningen. Bij gras- en bouwland is uitgegaan van respectievelijk een lang (1 maart - 1 oktober) en middenlang groeiseizoen (1 april – 1 augustus). Eventueel kunnen na vaststelling van de wettelijke NWC's in overleg met de opdrachtgevers nog aanpassingen plaatsvinden.

Tabel 1. **Vuistgetallen voor de N-werkingscoëfficiënt van verschillende categorieën meststoffen.**

Meststof	NWC (%)			
	Bouwland		Grasland	
	voorjaar	najaar	voorjaar	najaar
<i>Dierlijke mestsoorten</i>				
- Gier/dunne fracties ¹	80	-	80	-
- Dunne dierlijke mest ¹	60	-	60	-
- Vaste pluimvee- en varkensmest	55	30	55	30
- Overige vaste dierlijke mest	40	20	40	20
<i>Dierlijk afval</i>				
- Meststoffen gemaakt van dierlijk afval ²	*	*	*	*
<i>Plantenresten</i>				
- Graanstro, houtsnippers en boomschors	0	0	0	0
- Overig vers plantaardig materiaal	50	30	65	35
<i>Andere plantaardige mestsoorten</i>				
- Vinasse	65	30	75	35
- Schuimaarde	50	30	65	35
- Champost	25	20	35	25
- Heidecompost	10	10	10	10
- Overige compost	15	10	20	10
<i>Zuiveringsslib²</i>				
	*	*	*	*

1. Najaarstoediening niet toegestaan

2. Onvoldoende gegevens beschikbaar voor betrouwbare inschatting

3.5 Model met vuistgetal voor humificatiecoëfficiënt

De algemene procedure voor het berekenen van de NWC is als volgt:

De NWC wordt berekend door eerst de afzonderlijke NWC's te berekenen van de minerale fractie (NWC_m) en de organische fractie (NWC_{org}). De NWC van de totale N wordt dan berekend volgens:

$$NWC = ((NWC_m * N_m + NWC_{org} * N_{org}) / N_{totaal}) * 100$$

Waarbij:

N_m = gehalte minerale N (kg/ton)

N_{org} = gehalte organische N (kg/ton)

N_{totaal} = gehalte N (kg/ton)

De werking van de N_m hangt af van de ammoniakemissie en de verliezen die na toediening optreden. Het laatste betreft verliezen in de winterperiode in geval van najaarstoediening. Bij voorjaarstoediening wordt alleen gecorrigeerd voor ammoniakverliezen. In tabel 2 staan de te hanteren percentages. Hierbij zijn de volgende aannames gedaan:

- Bij vaste meststoffen wordt uitgegaan van een ammoniakemissie 75 en 20% van de Nm bij toediening op resp. gras- en bouwland. Deze waarden zijn afkomstig uit Van Dijk et al. (2005b). Bij toediening op grasland is uitgegaan van de ammoniakemissie die optreedt bij een breedwerpige toediening van dunne mest (circa 75%). Bij toediening op bouwland is uitgegaan van oppervlakkig inwerken (gebruikelijk bij de meeste vaste meststoffen).
- Bij gier en dunne fracties (na mestscheiding) is gerekend met een ammoniakemissie van 10% van de Nm op zowel gras- als bouwland.
- Bij de Nm die overblijft na aftrek van ammoniakverliezen is bij najaarstoediening ervan uitgegaan dat 0 en 15% daarvan tot werking komt in het volgende jaar op respectievelijk zand- en kleigronden.

De richtwaarden voor ammoniakemissie zijn gebaseerd op die van dierlijke mest. Bij andere producten zal op basis van het NH_4 -gehalte en de pH moeten worden ingeschat in hoeverre de ammoniakemissie afwijkt van de bovengenoemde richtwaarden.

Tabel 2. **Werking van de Nm-fractie (%)**.

Tijdstip	Soort mest	Klei		Zand	
		Grasland	Bouwland	Grasland	Bouwland
Najaar	Dun	15	15	0	0
	Vast	5	10	0	0
Voorjaar	Dun	90	90	90	90
	Vast	25	80	25	80

De werking van de Norg wordt bepaald door uit te rekenen welk deel van de gemineraliseerde Norg beschikbaar is voor het gewas binnen 12 maanden na toediening. De mineralisatie wordt berekend met het model Minip (Janssen, 1984) of met een ander mineralisatiemodel, mits model en parameterwaarden volledig gedocumenteerd zijn. Minip berekent de afbraak van de organische stof in de mest en de hiermee corresponderende mineralisatie van stikstof in de loop van het jaar, van het tijdstip van toediening van de meststof tot het einde van het groeiseizoen. Aangenomen wordt dat meststoffen bij voorjaarstoediening op bouwland op 1 april worden toegediend en op grasland op 1 maart, en bij najaarstoediening (alleen op bouwland) op 1 september. Het groeiseizoen op bouwland duurt tot 1 augustus en op grasland tot 1 oktober. Van stikstof die bij najaarstoediening in herfst en winter mineraliseert, wordt een deel verondersteld uit te spoelen in de periode tussen 1 september en 1 maart. De berekening wordt in detail beschreven door Van Dijk et al (2005b).

De gegevens benodigd voor de berekening zijn:

- de gehalten aan minerale en organische stikstof (Nm en Norg),
- het organische stofgehalte,
- de humificatiecoëfficiënt van de organische stof (voor definitie zie bijlage 1)

Nm, Norg en het organische stofgehalte worden door chemische analyse vastgesteld (Norg als verschil van N totaal en Nm) en de humificatiecoëfficiënt wordt geschat met een vuistgetal, door de meststof te vergelijken met de meststoffen in Tabel 3. In de rapportage dient zo goed mogelijk de herkomst en bewerking van product te worden beschreven t.b.v. plaatsing in één van onderstaande categorieën.

Tabel 3. **Vuistgetallen voor de humificatiecoëfficiënt van verschillende categorieën meststoffen.**

Meststof	Humificatiecoëfficiënt
<i>Dierlijke mest</i>	
- Pluimvee- en varkensmest	0,33
- Overige dierlijke mestsoorten	0,50
<i>Meststoffen gemaakt van dierlijk afval</i>	
	*
<i>Plantaardig materiaal</i>	
- Houtsnippers en boomschors	0,70
- Graanstro	0,30
- Overig vers plantaardig materiaal	0,25
<i>Plantaardige meststoffen</i>	
- Vinasse	0,10
- Schuimaarde	0,25
- Champost	0,50
- Heidecompost	0,80
- Overige compost	0,75
- Turf en potgrond	0,90
<i>Zuiveringsslib</i>	
	*
<i>Overige meststoffen</i>	0,01

* onvoldoende gegevens beschikbaar om humificatiecoëfficiënt te kunnen inschatten

3.6 Model met humificatiecoëfficiënt gebaseerd op meting

Ook bij deze variant wordt de NWC modelmatig berekend op dezelfde wijze als bij 3.4. Alleen wordt nu de humificatiecoëfficiënt experimenteel bepaald door middel van de afbraaksnelheid. Er zijn diverse meetmethoden waarmee de afbraaksnelheid van een meststof kan worden vastgesteld. De belangrijkste zijn gebaseerd op meting van de gasuitwisseling bij de afbraak: CO₂-productie en/of O₂-consumptie. De leidende principes zijn:

- Meting van de CO₂-productie
- Meting van de O₂-consumptie

Deze metingen worden in het algemeen uitgevoerd onder gecontroleerde, optimale omstandigheden (temperatuur 20 tot 30 °C, gunstig vochtgehalte) en moeten met behulp van een verklarend of statistisch model omgerekend worden naar de humificatiecoëfficiënt. De methoden om CO₂-productie of O₂-consumptie te meten worden hieronder toegelicht.

Daarnaast zijn er diverse methoden beschikbaar om 'rijpheid' van een organische meststof (meestal van compost) vast te stellen, waaronder bijvoorbeeld de 'Rottegrad' (op basis van zelfverwarmend vermogen), verhoudingen van gehalten aan verschillende soorten humuszuren, en de chromatest. Deze indirecte methoden zijn niet eenvoudig om te rekenen naar afbraaksnelheden onder veldomstandigheden en worden vooralsnog onvoldoende geacht voor een goede beoordeling van de NWC.

Meting van de CO₂-productie

Bij deze methode wordt de meststof, gemengd met grond, bij een vaste temperatuur (meestal 20°C) en vochtgehalte (meestal 60 % van de vloeigrens) gedurende enige weken geïncubeerd in een luchtdichte pot (Zie ook bijlage 2). Met intervallen van een week of langer wordt de CO₂-productie gemeten. Dat kan op verschillende manieren. Ten eerste kan de geproduceerde CO₂ ingevangen worden in een zeer basische oplossing, NaOH, waarbij opgelost CO₃⁻ ontstaat. Dit wordt neergeslagen door toevoeging van een

overmaat BaCl_2 . Na titratie van de overmaat aan NaOH , met HCl wordt berekend hoeveel CO_2 ingevangen was in de oplossing, en dus geproduceerd was bij de afbraak van de meststof. Hetzelfde principe kan ook uitgevoerd worden zonder titratie maar met bepaling van de NaOH –concentratie door meting van de geleidbaarheid van de oplossing. Daarnaast kan CO_2 in de gasfase gemeten worden met een gaschromatograaf of een gasmonitor (Anderson, 1982). Op deze manier wordt de CO_2 -productie met intervallen van een week of meer gemeten. Uit de productie van CO_2 wordt berekend wat met welke snelheid de meststof en de organische stof in de grond waarmee deze gemengd is, afbreekt. Om de afbraaksnelheid van alleen de meststof te berekenen wordt de CO_2 -productie van de grond apart bepaald in een controlebehandeling. Daarnaast wordt aanbevolen één of meer ‘standaards’ mee te nemen. Dit betreft producten waarvan de humificatiecoëfficiënt bekend is. De incubatie duurt minimaal 7 weken om een goed beeld van het verloop van de afbraaksnelheid te krijgen. Deze methode is op het moment in Nederland de gangbaar voor bepaling van de afbraaksnelheid van grond en meststoffen. De methode is echter niet snel en relatief kostbaar. Voor bepaling van de CO_2 -productie van grondmonsters bestaat een ISO gecertificeerd protocol, met wellicht een kortere incubatieduur (ISO 16072:2002).

In de literatuur worden voor bepaling van de CO_2 -productie vele variaties in incubatieomstandigheden en incubatieduur gevonden, van enkele dagen (Changa et al., 2003) tot 26 weken (Zwart et al., 1999). Er is ook een goedkope sneltest op de markt gebaseerd op meting van de CO_2 -productie van compost of grond, Solvita geheten (zie www.woodsand.org), waarbij de uitslag voor compost gegeven wordt in vijf rijpheidsklassen en voor grond in vijf bodemrespiratieklassen. De uitslagen van deze test correleren goed met laboratoriummetingen van de CO_2 -productie, maar het niveau wordt niet goed voorspeld (Changa et al., 2003). Deze sneltest is daarom voor onderbouwing van de NWC vooralsnog niet geschikt.

Meting van de O_2 -consumptie

Er zijn een aantal methoden beschikbaar. Ten eerste kan drukverval door O_2 -consumptie gemeten worden. Hierbij wordt de meststof in een container met een vast volume gebracht. De geproduceerde CO_2 wordt ingevangen in een basische oplossing. Door consumptie van O_2 bij de afbraak van organische materiaal daalt de druk van de lucht in de container. De druk wordt in de loop van een paar dagen gemeten (Robertz et al., 1999). Voor deze methode is een apparatuur beschikbaar die oorspronkelijk ontwikkeld is voor meting van de respiratie in afvalwater, ‘OxiTop’, gemaakt door WTW Wissenschaftlich-Technische Werkstätten in Weilheim, Duitsland (www.wtw.com). Een protocol voor toepassing van deze apparatuur voor meting van respiratie van compost wordt ontwikkeld door Wageningen Universiteit, in samenwerking met het Nutriënten Management Instituut (Veeken et al., 2003; Rudrum, proefschrift in voorbereiding), en in de Verenigde Staten (Sadaka et al., in druk). Hierbij is het doel dat de bepaling niet alleen door laboratoria maar ook door producenten en gebruikers van compost uitgevoerd kan worden. Deze methode zou verder ontwikkeld kunnen worden voor meting van respiratie in andere organische meststoffen. Een vergelijkbaar systeem voor laboratoria is de Sapromat E, geproduceerd door H+P Labortechnik in Oberschleissheim, Duitsland. Hierbij wordt de geconsumeerde zuurstof gecompenseerd, zodat geen zuurstofgebrek optreedt (www.hp-lab.de). Deze apparatuur wordt gebruikt voor meting van respiratie in afvalwater, maar ook in grond, waarbij de meting in enkele uren uitgevoerd kan worden (Kirsch et al., 2000).

Daarnaast kan ook door analyse van de luchtsamenstelling boven een monster verandering in de O_2 -concentratie (en daarnaast evt. de CO_2 -concentratie) gemeten worden. Hierbij wordt soms de O_2 -consumptie gedurende 4 dagen bij 20°C als maat voor de afbraaksnelheid of de stabiliteit van een organische stof genomen (Kehres, 1998). De O_2 -consumptie kan met een vaste respiratiecoëfficiënt omgerekend worden naar de CO_2 -productie en die kan, door vergelijking van de omstandigheden van de incubatie met die in het veld, vertaald worden naar de humificatiecoëfficiënt van een meststof volgens Janssen (1984).

Er zijn dus, behalve de gebruikelijke respirometingen bij de wekenlange incubatie van meststoffen, ook methoden beschikbaar waarbij de respiratie binnen een week gemeten wordt. Sommige methoden kunnen alleen in het laboratorium uitgevoerd worden, maar er is ook een betrouwbare sneltest in de handel. Om deze meetmethoden voor bepaling van de humificatiecoëfficiënt te kunnen gebruiken moeten ze geijkt worden met incubatie gedurende meerdere weken, zoals beschreven in bijlage 2.

Voor bepaling respiratie in afvalwater, voor afbraak van milieuvreemde stoffen zijn er Europese standaardmethoden (bv. Reuschenbach et al., 2003) voor stabiliteit van afval en gecomposteerde materialen is er een standaard bepalingmethode in ontwikkeling bij het Europese Committee voor

Standaardisatie (CEN) (pers. mededeling G. Wever, PPO). Wellicht is het goed voor bepalingen in organische meststoffen hierbij aan te sluiten.

De geschiktheid van verschillende bepalingmethoden voor toepassing voor bepaling van de NWC hangt van een aantal factoren af. Ten eerste is in theorie de bepaling via meting van de CO₂-productie met iets minder spreiding behept dan die via bepaling van de O₂-consumptie, omdat de omrekening naar afbraak van organische stof voor CO₂-productie alleen afhangt van het C gehalte van de organische stof, en bij O₂ consumptie van zowel het C- als O-gehalte. De snelst die beschikbaar is voor meting van de O₂-consumptie (Oxitop) lijkt echter betrouwbaarder dan die voor bepaling van de CO₂-productie (Solvita). Voor beide principes zijn de incubatieomstandigheden en -tijdsduur sterk bepalend voor de betrouwbaarheid. Keuze voor een bepalingmethode voor de humificatiecoëfficiënt zal echter ook afhangen van de kosten, die hier niet gekwantificeerd zijn. Voor alle snelle bepalingmethoden geldt dat deze voor toepassing in dit protocol geijkt moeten worden met de bepaling van de humificatiecoëfficiënt zoals beschreven in bijlage 2. Vooral nog wordt geadviseerd om ten behoeve van afleiding van de NWC de afbraak van de organische stof te bepalen via incubatieproeven waarin de C-afbraak wordt gemeten via de CO₂-productie (bijlage 2).

3.7 Benodigde gegevens

De parameters die bekend moeten zijn voor de berekening van de werkingscoëfficiënt zijn genoemd in Tabel 4. De bepalingen van gehalten aan N , organische stof en de humificatiecoëfficiënt moeten uitgevoerd worden aan monsters van tenminste een nader te bepalen aantal partijen, die een representatief beeld geven voor gemiddelde gehalten in de meststof, en de spreiding daar in.

Tabel 4. **Bepalingmethoden voor gehalten in meststoffen.**

Parameter	Bepalingsmethode(n)
Organische stof (kg/ton vers product)	Gloeiverlies/ LECO
N totaal (kg/ton vers product)	Kjeldahl
N mineraal (kg/ton vers product)	Houba
N organisch (kg/ton vers product)	Ntotaal – Nmin
Humificatiecoëfficiënt (%)	Incubatie volgens bijlage 2
pH	pH-KCl

De resultaten van de incubatie en de berekening van de humificatiecoëfficiënt moeten in de rapportage zijn opgenomen.

4 Literatuur

Anderson, J.P.E., 1982. Soil Respiration. In: Page, L.A., R.H. Miller & D.R. Keeney. Methods of soil analysis Part 2. Chemical and Microbiological properties. 2e druk. Madison, Wisconsin, USA.

Beauchamp, E.G., J.W. Paul, 1989. A simple model to predict manure N availability to crops in the field. In: Hansen, J.A., K. Henriksen, Nitrogen in organic wastes applied to soils. Academic Press, London.

Castellanos, J.Z., P.F. Pratt, 1981. Mineralization of manure nitrogen – correlation with laboratory methods. Soil science Society of America Journal 45: 354-357.

Chadwick, D.R., F. John, B.F. Pain, B.J. Chambers, J. Williams, 2000. Plant uptake of Nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: a laboratory experiment. Journal of Agricultural Science 134: 159-168.

Changa, C.M., P. Wang, M.E. Watson, H.A.J. Hoitink & F.C. Michel, 2003. Assessment of the reliability of a commercial maturity testkit for composted manures. Compost Science and Utilization 11: 125 – 143.

Chesier, G.M., P.W. Westerman, L.M. Safley Jr., 1986. Laboratory methods for estimating available nitrogen in manures and sludges. Agricultural Wastes 18, 175-195.

Dijk, W. van, J.G. Conijn, J.F.M. Huijsmans, J.C. van Middelkoop & K.B. Zwart (2005a). Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt organische mest. Studie t.b.v. onderbouwing gebruiksnormen. PPO-publicatie nr. 337, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad, 63 pp.

Dijk, W. van, A.M. van Dam, F.J. de Ruijter, J.C. van Middelkoop & K.B. Zwart (2005b). Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt overige organische meststoffen. Studie t.b.v. onderbouwing gebruiksnormen. PPO-publicatie nr. 343, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad, 50 pp.

Groot, J.J.R., V.J.G. Houba, 1995. A comparison of different indices for N mineralization. Biology and fertility of Soils 19: 1-9.

Houba, V.J.G., A.W.M. Huijbregts, A.W.M., I. Novozamsky, J.J. Van der Lee, 1986. Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCl₂, by EUF and by some conventional procedures. Plant and Soil 96: 433-437.

Houba, V.J.G., J.J. Van der Lee, I. Novozamsky, I. Walinga, 1989. Some aspects of determination of nitrogen fractions in soil extracts. Kongressband 1989, VDLUFA-Schriftenreihe 30: 305-12.

Janssen, B.H., 1984. A simple method for calculating decomposition of 'young' soil organic carbon. Plant & Soil 76: 297-304

Kehres, B., 1998. Methodenbuch zur Analyse von Kompost. Kompost-Information Nr. 222. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln.

Kirsch, A., H. Franken & Michael Blanke, 2000. Feldmethode zur Bestimmung der substrat-induzierte Bodematmung Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163: 165 – 171.

Reuschenbach, P., U. Pagga & U. Strotmann, 2003. A critical comparison of respirometric biodegradation tests based on OECD 301 and related test methods. Water Research 37: 1571-1582.

Robertz, M., T. Muckenheim, S. Eckl, L. Webb, 1999. Kostengünstige Labormethode zur Bestimmung der mikrobiellen Bodematmung nach DIN 19737. Wasser und Boden 51 nr 5: 48-53.

Rudrum, D.P., in voorbereiding. Proefschrift sectie Milieutechnologie, Departement Agrotechnologie en voedingswetenschappen, Wageningen Universiteit.

Sadaka, S.S., T.L. Richard, T.D. Loecke & M. Liebmann, in druk. Determination of compost respiration rates using pressure sensors. Presentatie bij de ASAE/CSAE Annual International Meeting, Ottawa 2004.

Schröder, J.J., 2005. Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. *Bioresource Technology* 92 (2): 253-261.

Veeken, A.H.M., V. de Wilde, H.V.M. Hamelers, S.W. Moolenaar & R. Postma, 2003. OxiTop® measuring system for standardised determination of the respiration rate and N-mineralisation rate of organic matter in waste material, compost and soil. In: www.nmi-agro.nl. Nutrienten Management Instituut, Wageningen.

Velthof, G.L., M.L. van Beusichem, W.M.F. Raijmakers, B.H. Janssen, 1998. Relationship between availability indices and plant uptake of nitrogen and phosphorus from organic products. *Plant and soil* 200: 215-226.

Zwart, K.B., A.P. Whitmore, J.G. Bokhorst, 1999. Beheer van organische stof in open biologische, ecologische en geïntegreerde teeltsystemen. DLO Instituut voor Agrobiologisch en bodemvruchtbaarheidsonderzoek, Rapport 102, Wageningen.

Bijlage 1. Definities

Gebruiksnorm

Hoeveelheid werkzame N uit meststoffen die bij de teelt van een gewas toegediend mag worden.

Humificatiecoëfficiënt

Het percentage van de organische stof in een meststof dat een jaar na toediening nog niet door afbraak verloren is gegaan.

N-werkingscoëfficiënt

N-werkingscoëfficiënt (NWC) van een organische meststof is de verhouding tussen de stikstofgift met een snelwerkende kunstmeststof en met de organische meststof, nodig voor het bereiken van een gelijke, optimale gewasopbrengst. In formulevorm:

$$NWC = \frac{\text{optimale N-gift snelwerkende kunstmest}}{\text{optimale N-gift organische meststof}}$$

Werkzame stikstof

Stikstof die met de efficiëntie van een snelwerkende minerale meststof (bv. kalkammonsalpeter) door gewassen kan worden opgenomen.

Bijlage 2. Bepaling humificatiecoëfficiënt van een meststof

Algemeen

De humificatiecoëfficiënt van een meststof wordt berekend uit de afbraaksnelheid van de organische stof in deze meststof tijdens incubatie van de meststof gemengd met vochtige grond, gedurende 12 weken. De afbraaksnelheid wordt afgeleid uit de CO₂-productie tijdens de incubatie. Hieronder staat het principe beschreven.

Incubatie

Mengen grond en meststof

De grond wordt op een vochtgehalte gebracht dat 60% is van het vochtgehalte bij de vloeigrens. De meststof wordt gemengd met de grond in een verhouding die overeenkomt met de meststof/grond verhouding bij een normale mestgift gemengd door de bouwvoor.

Incubatie

Het mengsel van meststof en grond wordt in een container (b.v. een Erlemeijer-kolf) gebracht zodat er gasuitwisseling plaatsvindt, maar niet of nauwelijks vocht verloren gaat. Deze container wordt gedurende 12 weken bewaard bij 20°C. Er wordt ook een container met alleen vochtige grond geïncubeerd om onderscheid te kunnen maken tussen C vrijgekomen uit de meststof en uit de grond.

Metingen en analyse

C_{totaal} (C₀) wordt in de meststof gemeten.

De CO₂ productie gedurende een dag wordt op een aantal tijdstippen (bv na 2, 5, 8 en 12 weken) tijdens de incubatie gemeten. Door integratie over de hele incubatieperiode (t, in jaar) wordt berekend hoeveel C uit de organische stof is vrijgekomen tijdens de incubatie (C_t). Met C_t en C₀ kan vervolgens de humificatiecoëfficiënt (h) berekend worden, waarbij volgen Janssen (1994) gecorrigeerd wordt voor het temperatuurverschil tussen de proef (20°C) en de gemiddelde jaar temperatuur (9°C).

Bijlage 3. Indicatoren voor de N-werking van organische meststoffen

Er zijn diverse chemische analyses onderzocht die een indicator kunnen geven voor werking van stikstof in organische meststoffen. De chemische analyses worden vergeleken met de opname van stikstof uit de meststoffen in biotoetsen en met de hoeveelheid N die vrijkomt bij incubatie van de meststof onder gestandaardiseerde omstandigheden (hierbij zijn de omstandigheden en de duur van biotoets en incubatie mede bepalend voor het resultaat). Voor de hieronder besproken methoden zijn vergelijkingen uitgevoerd met een kasproef met N-opname gedurende 62 dagen door engels raaigras (Velthof et al., 1998), of door incubatie gedurende 12 tot 26 weken bij 20 °C, gemengd met vochtige grond bij vochtgehalte op veldcapaciteit.

De volgende indicatoren zijn gevonden:

1. *Minerale N extraheerbaar met 0.01 M CaCl₂*. Methode: materiaal wordt gedroogd bij 30°C, gemalen, en geëxtraheerd met 0.01 M CaCl₂ (1:10 massaverhouding, 2 uur schudden) en gecentrifugeerd op 48000 g (Volgens Houba et al., 1986). Concentraties van NH₄ en NO₃ worden bepaald in het supernatant van de gecentrifugeerde suspensies (volgens Houba et al., 1989). Deze indicator heeft alleen een goede relatie met opneembaar stikstof bij een hoog gehalte aan minerale N in de meststof (Velthof et al., 1998).
2. *Verhouding N/C vrijgemaakt door thermische fractionering*. Deze methode is gebaseerd op veronderstelling dat de hoeveelheid organisch materiaal in een monster die thermisch geoxideerd kan worden verband houdt met de hoeveelheid die biologisch geoxideerd kan worden. Methode: materiaal wordt gedroogd bij 30°C, gemalen, en gedurende 6 uur verhit tot 250°C. Hierbij verbrandt (oxideert) een deel van de organische N en C. De verhouding tussen deze geoxideerde N en C is een maat voor de werking van organische N. In formulevorm volgt deze verhouding uit de metingen: $N_{ox}/C_{ox} = (1 - N_{eind}) / (1 - C_{eind}) = ((N_{ini} - N_{eind}) / N_{ini}) * (C_{ini} / (C_{ini} - C_{eind}))$. Hierbij zijn N_{ini} en C_{ini} de gehalten (g/g product) in de meststof, en N_{eind} en C_{eind} de hoeveelheden die over zijn na de verhitting (g/g product). Deze indicator kon alleen gebruikt worden als het gehalte aan minerale N laag was, omdat NH₄ en NO₃ vervluchtigen tijdens de verhitting. Het verband met de N beschikbaarheid in de potproef was 'redelijk' (geen R² gegeven), maar voor slechts 5 meststoffen getest (Velthof et al., 1998).
3. *N geëxtraheerd na vertering met pepsine*. In diervoeders is de pepsine-verteerbaarheid een maat voor het gehalte aan verteerbare eiwitten. Mineralisatie van N uit eiwitten is een belangrijke bron van plant-beschikbaar N in organische meststoffen. Daarom kan N extraheerbaar met pepsine ook een maat zijn voor plant-beschikbare N in organische meststoffen. Methode: Het equivalent in meststofvorm van 200 mg organische N wordt gedurende 48 u bij 21°C met en zonder 625000 kU pepsine in 200 mM 0.1 M HCl geïncubeerd. Wat van de meststof over is wordt verzameld door filtratie van de suspensie, gespoeld met gedemineraliseerd water, gedroogd, gedestruerd en geanalyseerd op N_{totaal}. Extraheerbaar N wordt berekend als het verschil van de hoeveelheid N die in het monster aanwezig was voor en na de extractie. Het verschil in de hoeveelheid N geëxtraheerd met en zonder pepsine is een maat voor de plant-beschikbare N. Hiervoor werd met 9 meststoffen een redelijk verband (R² = 0.75 gevonden met de plant-beschikbare fractie N in een potproef (Velthof et al., 1998). Bij andere auteurs was de correlatie van beschikbaar N bepaald met pepsine-extractie met N gemineraliseerd in incubatie wisselend (Beauchamp & Paul, 1989, refererend aan Chesier et al. (1986) en Castellanos en Pratt (1981)).
4. *Totaal oplosbaar N in CaCl₂*. Hierbij wordt vers materiaal overeenkomend met 2 g droge stof in 100 ml 0.01 M CaCl₂ 60 minuten geschud. Stikstof wordt bepaald in de oplossing. Deze methode heeft een goede correlatie (R² = 0.8136) met stikstof die vrijkomt in 26 weken mineralisatie bij 20°C, getest voor 30 meststoffen en gewasresten (Zwart et al., 1999).
5. *Totaal N*. Hiervoor wordt na destructie alle N in de meststof gemeten. Er is een redelijke relatie met de mineralisatie na 26 weken incubatie bij 20 °C (R² = 0.7823), gemeten voor 30 meststoffen en gewasresten (Zwart et al., 1999).

6. *C/N-quotient*. de verhouding tussen totaal N- en totaal C-gehalte. Er is een matig verband met de mineralisatie na 26 weken incubatie bij 20°C ($R^2 = 0.5622$), gemeten voor 30 meststoffen en gewasresten (Zwart et al., 1999). Daarnaast is er een redelijk verband met mineralisatie uit verschillende dierlijke mestsoorten in een biotoets (Chadwick et al., 2000).
7. *Oplosbaar C*. Hierbij wordt vers materiaal overeenkomend met 2 g droge stof in 100 ml 0.01 M CaCl_2 60 minuten geschud. C wordt bepaald in de oplossing. Deze methode heeft een matige correlatie ($R^2 = 0.5805$) met stikstof die vrijkomt in 26 weken mineralisatie bij 20°C, getest voor 30 meststoffen en gewasresten (Zwart et al., 1999).
8. *Andere methoden: Hot KCl-extraheerbaar N, HCl-extraheerbaar N, initieel gehalte aan rijpe lignine*: Hierbij was er geen verband met de mineralisatie in een biotoets (Chadwick et al., 2000).

Van deze indicatoren lijkt totaal oplosbaar N (4) het beste verband met N-mineralisatie te geven. Ook is deze methode al voor mineralisatie van bodemorganische stof getest, en geschikt bevonden (Groot en Houba, 1995). Daarbij komt dat het een simpele, goedkope analyse is. Er zijn geen biotoetsen of veldgegevens beschikbaar.

