
STIKSTOFWERKINGSSCOËFFICIËNTEN VAN ORGANISCHE MESTSTOFFEN

14.09.2023

Karoline D'Haene & Georges Hofman

Onderzoeks- en Voorlichtingsplatform
Duurzame Bemesting

INHOUD

Lijst met afkortingen en symbolen	2
Lijst met figuren	3
Lijst met tabellen	4
1 Achtergrond.....	5
2 Inleiding	6
3 Algemene principes.....	7
✓ Stikstof fracties in organische meststoffen	7
✓ Definitie.....	7
✓ Bepaling.....	7
▪ Veldmetingen	7
▪ Incubatie- en potproeven	9
▪ Modellen en berekening.....	10
4 Beïnvloedende factoren	11
4.1 Toedieningstechniek	11
4.2 Tijdstip van toediening.....	12
4.3 Samenstelling van organische meststoffen	13
✓ Factoren die de samenstelling van organische meststoffen beïnvloeden	13
✓ Effect van de samenstelling van meststoffen op stikstofwerking	14
4.4 Bodemeigenschappen	14
✓ Bodemtextuur	14
✓ Bodemvochtgehalte	14
4.5 Teelt(rotatie) en weersomstandigheden	14
✓ Teelt(rotatie)	14
✓ Weersomstandigheden	15
5 Stikstofwerkingscoëfficiënten	16
5.1 Wetenschappelijk onderzoek naar stikstofwerkingscoëfficiënten	16
✓ Veldproeven	16
✓ Incubatieproeven	22
✓ Modelleringsproeven	26
5.2 Stikstofwerkingscoëfficiënten in bemestingsadviezen	26
5.3 Wettelijke stikstofwerkingscoëfficiënten in Europa	30
✓ Enquêtes van wettelijke stikstofwerkingscoëfficiënten	30
✓ Mogelijke aanpassing van wettelijke stikstofwerkingscoëfficiënten.....	33
6 Conclusies.....	39
7 Referenties	41
Bijlage 1	46
Bijlage 2	48
Bijlage 3	50



LIJST MET AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

BOC	bodemorganische koolstof	NLV	stikstofleverend vermogen
C	koolstof	N _m	niet organisch gebonden stikstof in organische meststof
cm	centimeter	NO ₃ ⁻	nitraat
CO ₂	koolstofdioxide	N _{org}	organisch gebonden stikstof in organische meststof
DM	drogestof massa	N _r	organisch gebonden stikstof dat na het eerste jaar na de toediening van organische meststof vrijkomt
DS	drogestof	N _{tot}	totale stikstof
g	gram	NWC	stikstofwerkingscoëfficiënt
GFT	groente-, fruit- en tuinafval	NWC _m	stikstofwerkingscoëfficiënt van de minerale stikstof
ha	hectare	NWC _{org}	stikstofwerkingscoëfficiënt van de organische stikstof
K	kalium	o.a.	onder andere
kg	kilogram	Oba	organisch biologisch bedrijfsafval
L	liter	OS	organische stof
MAP	MestActiePlan	P	fosfor
m ³	kubieke meter	PAN	'potentially available nitrogen'
max.	maximaal	t.o.v.	ten opzichte van
m.a.w.	met andere woorden	t.e.m.	tot en met
m.b.t.	met betrekking tot	uitz.	uitzondering
N	stikstof	VC	variatiecoëfficiënt
N ₂	elementaire stikstof	vnl.	voornamelijk
N ₂ O	lachgas	WC	"working coefficient"
N _e	organisch gebonden stikstof dat het eerste jaar na de toediening van organische meststof vrijkomt		
NFRV	"nitrogen fertiliser replacement value"		
NH ₃	ammoniak		
NH ₄ ⁺	ammonium		
nl.	namelijk		

LIJST MET FIGUREN

Figuur 1:	Schematische weergave van een veldmeting van de werkingscoëfficiënten van organische meststof (Bron: van Dijk <i>et al.</i> , 2004).....	8
Figuur 2:	Schematische weergave van de cumulatieve stikstof- (N) mineralisatie (kg N per ha per jaar) als gevolg van de jaarlijkse toediening van organische meststof. Per toedieningsjaar is tevens het verloop van de jaarmineralisatie weergegeven in de tijd (lijnen 'jaarlijks') (Naar van Dijk <i>et al.</i> , 2004).....	9
Figuur 6:	De stikstofnawerking van rundermengmesttoediening in 1997 - 1999 (0, 30 en 60 ton ha ⁻¹ of 0, 106 en 212 kg totale stikstof ha ⁻¹) op de opbrengst (ton (droge stofmassa) DM ha ⁻¹) van onbemeste kuilmaïspcelen gedurende de periode 2000 - 2003 in De Marke (lemige zandbodem in Nederland) (Bronnen: van Dijk <i>et al.</i> , 2004; Schröder <i>et al.</i> , 2005a).....	16
Figuur 7:	De stikstofnawerking van rundermengmesttoediening in 1997 - 1999 (0, 30 en 60 ton ha ⁻¹ of 0, 106 en 212 kg totale stikstof ha ⁻¹) op de stikstofopname (kg N ha ⁻¹) van onbemeste kuilmaïspcelen gedurende de periode 2000 - 2003 in De Marke (lemige zandbodem in Nederland) (Bron: Schröder <i>et al.</i> , 2005a).....	17
Figuur 8:	Stikstofwerkingscoëfficiënten van mengmest (% van totale stikstof (N)) berekend op basis van de opbrengst (boven) en de N-opname (onder) in functie van de duur sinds de eerste toediening van de organische meststoffen. Informatie over de proeven staat in Tabel 5.....	19
Figuur 9:	Stikstofwerkingscoëfficiënten van stalmest en compost (% van totale stikstof (N)) berekend op basis van de opbrengst (boven) en de N-opname (onder) in functie van de duur sinds de eerste toediening van de organische meststoffen. Informatie over de proeven staat in Tabel 5.....	20
Figuur 10:	Potentiële stikstof- (N) vrijstelling (% van toegediende N) van verschillende organische meststoffen. Meer informatie over de producten staat in Tabel 6.....	25
Figuur 11:	Percentage van de totale stikstofinhoud van stalmest (%) toegediend in september dat teeltbeschikbaar is voor wintertarwe. De rode sterren geven de regio's/landen die de nawerking (> 1 jaar) van stalmest in rekening brengen (Bron: Jordan-Meille <i>et al.</i> , 2023).....	27
Figuur 12:	Verschiedende systemen om vloeibare organische meststoffen toe te dienen (Bron: Tits <i>et al.</i> , 2018).....	47
Figuur 3:	Variatie van de stikstof- (N) concentratie in rundermengmest (kg (1000 L) ⁻¹) (de rode verticale lijn heeft de forfaitaire waarde) (links stalen 2005 - 2007 Bodemkundige Dienst van België - Bron: Coppens, 2009b & rechts stalen Inagro – Bron: Van Nevel, 2019).....	48
Figuur 4:	Variatie aan stikstofconcentratie (kg N (1000 kg) ⁻¹) (de rode verticale lijn heeft de forfaitaire waarde) (links) en koolstof- : stikstofverhouding (rechts) in runderstalmest (Inagro) (Bron: Van Nevel, 2019).....	49
Figuur 5:	Boxplots van de koolstof- : stikstofverhouding van organische meststoffen gebruikt in incubatie-experimenten (Bron: Sradnick & Feller, 2020).....	49
Figuur 13:	Gebruik van dierlijke mest per afstroomzone (kg stikstof (N) ha ⁻¹) (boven) en verhouding van het gebruik van dierlijke mest en de afzetruimte voor dierlijke mest per afstroomzone (onder) in 2016 (Bron: Anonymus, 2019).....	50

LIJST MET TABELLEN

Tabel 1:	Resultaten van de metadata-analyse van ammoniakale stikstof- (NH ₃ -N) verliezen in functie van de totaal toegediende N bij verschillende bemestingstechnieken en de toediening van runder- of varkensmest in gematigde vochtige klimaten. Tussen haakjes wordt het 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven. Verschillende letters duiden op significante verschillen per mengmesttype (Bron: van der Weerden <i>et al.</i> , 2021).....	11
Tabel 2:	Gemiddelde ammoniakemissie van de toegediende ammoniakale stikstof (percentage (%)) bij verschillende methoden voor de toediening van varkensmest op akkerland (zand-, zandleem en kleibodems & 1990 - 1998) en van runder- of varkensmest op grasland (zand-, klei- en veenbodems & 1989 - 1993) in Nederland. Tussen haakjes wordt de spreiding van de gemeten emissies weergegeven (Bronnen: Huijsmans, 2003; Huijsmans <i>et al.</i> , 2001 & 2003; van Dijk <i>et al.</i> , 2004) .	12
Tabel 3:	Stikstofwerkingscoëfficiënten (NWC)* van mengmest (%) in functie van textuur en toepassingstijdstip (Bron: Geypens <i>et al.</i> , 1992).....	13
Tabel 5:	Algemene informatie van de velproeven waar stikstofwerkingscoëfficiënten bepaald werden.....	18
Tabel 6:	Eigenschappen en potentiële stikstofvrijstelling van de organische meststoffen die geïncubeerd werden	23
Tabel 7:	Stikstofwerkingscoëfficiënten (eerstejaarswerking) (%) van de totale hoeveelheid stikstof (N-totaal) in dierlijke mest in geval van voorjaarstoediening (maart/april) door middel van injectie bij mengmest en bovengronds verspreiden plus direct inwerken bij vaste mest (Bron: de Haan & van Geel, 2013)	28
Tabel 8:	Stikstofwerkingscoëfficiënt uit organische bemesting (% van totale N) (Bron: Coppens <i>et al.</i> , 2009)	29
Tabel 9:	Resultaten van de enquête van Webb <i>et al.</i> (2011) over de parameters die gebruikt werden voor de wettelijke stikstofwerkingscoëfficiënten.....	31
Tabel 10:	Wettelijke stikstofwerkingscoëfficiënten van verschillende dierlijke mestsoorten (%) in 2010 (Bon: Webb <i>et al.</i> , 2011). In 2019 werden de stikstofwerkingscoëfficiënten van enkele landen indien nodig geüpdatet (onderlijnde cijfers na / gegeven) (Bron: Klages <i>et al.</i> , 2020).....	32
Tabel 4:	Variatie van de minerale en totale stikstofconcentratie in enkele vloeibare en vaste organische meststoffen (stalen 2005 - 2007 Bodemkundige Dienst van België) (Bron: Coppens, 2009b)	48

1 ACHTERGROND

In het kader van het flankerend beleid van MestActiePlan 4 (MAP 4) werd het Onderzoeks- en Voorlichtingsplatform Duurzame bemesting opgericht. Praktijkcentra, universiteiten, hogescholen, onderzoeksinstituten en overheden zijn lid van het platform. Voor het realiseren van efficiënte onderzoeks-, demonstratie- en sensibiliseringsacties zijn een gestructureerd overleg en interactie tussen de leden van het platform een absolute meerwaarde. Hierdoor is het mogelijk:

- kennis en expertise (zowel fundamenteel als toegepast) uit Vlaanderen samen te brengen,
- overlapping tussen onderzoeksprojecten te voorkomen, en
- een optimale aansluiting van onderzoek en kennisverspreiding te bevorderen.

De specifieke taken van het platform zijn:

- het inventariseren van prioritaire onderzoeksnoden,
- voorstellen doen voor onderzoeks- en sensibiliseringsthema's,
- het uitwerken van een onderzoeksstrategie m.b.t. duurzame bemesting met vertaling naar de praktijk,
- advies verlenen omtrent concrete vragen bij de nutriëntenproblematiek, en
- het adviseren, indien nodig met voorbereidende teksten, van de overheid omtrent nutriëntenmanagement en dit zowel vanuit een milieukundige als een landbouwkundige invalshoek.

In dit rapport worden de onderzoeksresultaten over werkingscoëfficiënten van organische meststoffen gebundeld. De bedoeling van het rapport is om de parameters die een effect hebben op de korte termijn werkingscoëfficiënten van organische meststoffen en de lange termijn (na-)werking te bespreken.

Op de platformvergadering van 16 februari 2023 werden de onderzoeksvragen toegelicht en werd aan de leden gevraagd om relevante publicaties aan te leveren. Op 16 mei en 27 juni 2023 werd er over het rapport van gedachten gewisseld.

2 INLEIDING

We stellen vast dat de gemiddelde nitraat- (NO_3^-) concentratie in het oppervlaktewater van de meetpunten van het MestActiePlan (MAP) de laatste tien jaar geen verdere dalende trend vertoont. Bovendien is men de laatste 10 jaar ook niet onder de 20% rode MAP-metpunten geraakt, ondanks het feit dat het percentage overschrijdingen van de $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ (rode MAP-metpunten) grote schommelingen per jaar vertoont (afhankelijk van de weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen). Dit is ver boven de MAP 5 doelstelling van maximum 5% overschrijdingen (VMM, 2022).

Er is zodoende nood aan een verhoging van de stikstof- (N) efficiëntie van de bemesting. Doordachte teeltrotaties en een optimaal beheer van oogstresten dragen bij tot het verhogen van de N-efficiëntie, maar het optimaliseren van de N-bemesting wordt als één van de beste methodes beschouwd om de N-efficiëntie te laten toenemen en NO_3^- -verliezen naar grond- en oppervlaktewater te minimaliseren (Neeteson & Whitmore, 1999; D'Haene *et al.*, 2014; do Rosário Cameira & Mota, 2017). Hierbij is het belangrijk om de N-werking van de toegediende meststoffen, mineraal én organisch, te kennen (Schröder *et al.*, 2005a).

In de Vlaamse landbouw vindt een belangrijk deel van de bemesting van teelten plaats onder de vorm van organische meststoffen vnl. dierlijke mest. Andere organische meststoffen zijn compost, champost, ... Een organische meststof is een samengestelde meststof die naast een organische fractie allerlei nutriënten bevat. De belangrijkste zijn N, fosfor (P) en kalium (K). Omdat een deel van deze nutriënten niet onmiddellijk of niet snel (genoeg) beschikbaar komt, ligt de N-werking van een organische meststof lager dan bij minerale meststoffen. Uit organische meststoffen komt immers niet alleen N vrij in het jaar van toediening maar ook in de jaren erna. Bij regelmatig gebruik stijgt de N-werking van organische meststoffen in de loop van de jaren naar een maximum. Om een hoge N-werking te realiseren bij het gebruik van organische meststoffen is het noodzakelijk om de organische meststoffen maximaal te valoriseren in een kwaliteitsvol plantaardig product en N-verliezen naar het milieu te beperken (Geypens *et al.*, 1992; Schröder & van Dijk, 2019).

3 ALGEMENE PRINCIPES

✓ Stikstof fracties in organische meststoffen

Een deel van de N is gebonden in de organische fractie van de organische meststof. Deze organisch gebonden N (N_{org}) komt pas vrij als de organische fractie wordt afgebroken. Van de N_{org} komt een deel het eerste jaar na de toediening vrij (N_e^1). Een groot deel van de overige gebonden N (N_r^2) komt in de latere jaren langzaam ter beschikking. De niet organisch gebonden N (minerale N of N_m) omvat voornamelijk ammonium-N (NH_4^+ -N). De totale N (N_{tot}) in organische meststof kan aangegeven worden als $N_{tot} = N_m + N_e + N_r$. Naast de procentuele verdeling van de N-fracties in organische meststof hangt de N-werking o.a. ook af van de wijze van toediening (Sluijsmans & Kolenbrander, 1977; Geypens *et al.*, 1992; Schröder & van Dijk, 2019).

✓ Definitie

De N-werking van een organische meststof wordt uitgedrukt door middel van een N-werkingscoëfficiënt³ (NWC). Deze geeft aan welk deel van de totale N in de organische meststof dezelfde werking heeft als de N uit minerale meststoffen (van Dijk *et al.*, 2004; Schröder & van Dijk, 2019; Schils *et al.*, 2020).

Aangezien N in verschillende vormen in een organische meststof voorkomt en over een langere periode ter beschikking komt, moet de N-werking eigenlijk over meerdere jaren bekeken worden. Als op een perceel regelmatig bv. dierlijke mest wordt toegepast, zal de N-nawerking belangrijker worden. Bij regelmatig gebruik van organische meststoffen komt de organische stof (OS) toestand van de bodem geleidelijk aan in evenwicht. Dit betekent dat er jaarlijks evenveel OS mineraliseert als er via organische meststoffen wordt aangevoerd. Dit evenwicht zal pas na een relatief lange termijn van enkele tientallen jaren optreden. Bij de jaarlijkse toediening van organische meststoffen neemt dus het belang van N_r als N-bron toe (Geypens *et al.*, 1992; Schröder *et al.*, 2008; Schröder & Sørensen, 2011; Schröder & van Dijk, 2019; Schils *et al.*, 2020).

✓ Bepaling

▪ Veldmetingen

De NWC kan op een aantal manieren via veldproeven bepaald worden (van Dijk *et al.*, 2004; Schils *et al.*, 2020). Dit kan op basis van de opbrengst, financiële opbrengst of N-opname plaatsvinden. Volgens van Dijk *et al.* (2004) wordt het vaakst de opbrengst gebruikt omdat hiermee het best de landbouwkundige waarde van mest kan bepaald worden.

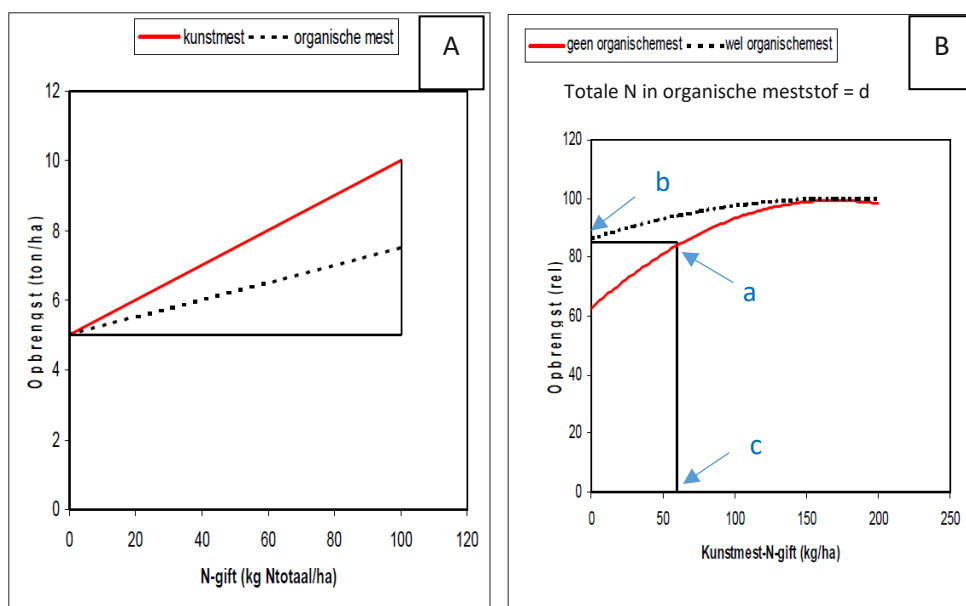
¹ N_e : staat voor “easily decomposable nitrogen fraction” N (Sluijsmans & Kolenbrander, 1977).

² N_r : staat voor “residual nitrogen” N (Sluijsmans & Kolenbrander, 1977).

³ In de Engelstalige literatuur wordt soms “working coefficient (WC)” gebruikt, maar meestal “(nitrogen) fertiliser replacement value (NFRV)”, “mineral fertiliser equivalence” of “efficiency index”.

Een eerste methode is om 3 objecten aan te leggen: onbemest, bemest met een minerale meststof en bemest met een organische meststof (Figuur 1A). Voor beide bemeste objecten wordt per kg toegediende N de verhoging van de opbrengst of N-opname t.o.v. het onbemeste veld vastgelegd. De NWC wordt berekend door het effect per kg N toegediend via de organische meststof te delen door het effect per kg N toegediende minerale meststof (Geypens *et al.*, 1992; van Dijk *et al.*, 2004; Schils *et al.*, 2020). De NWC moet met enige voorzichtigheid benaderd worden omdat bij toenemende bemesting van minerale N de N-benutting daalt. Bij hoge N-bemestingsdosissen kan de NWC van de organische meststof toenemen als gevolg van de lagere N-benutting uit de minerale meststof (overbemesting). Bij toenemende organische meststofdosissen daalt de N-benutting ook, maar minder snel dan bij minerale meststoffen (Geypens *et al.*, 1992).

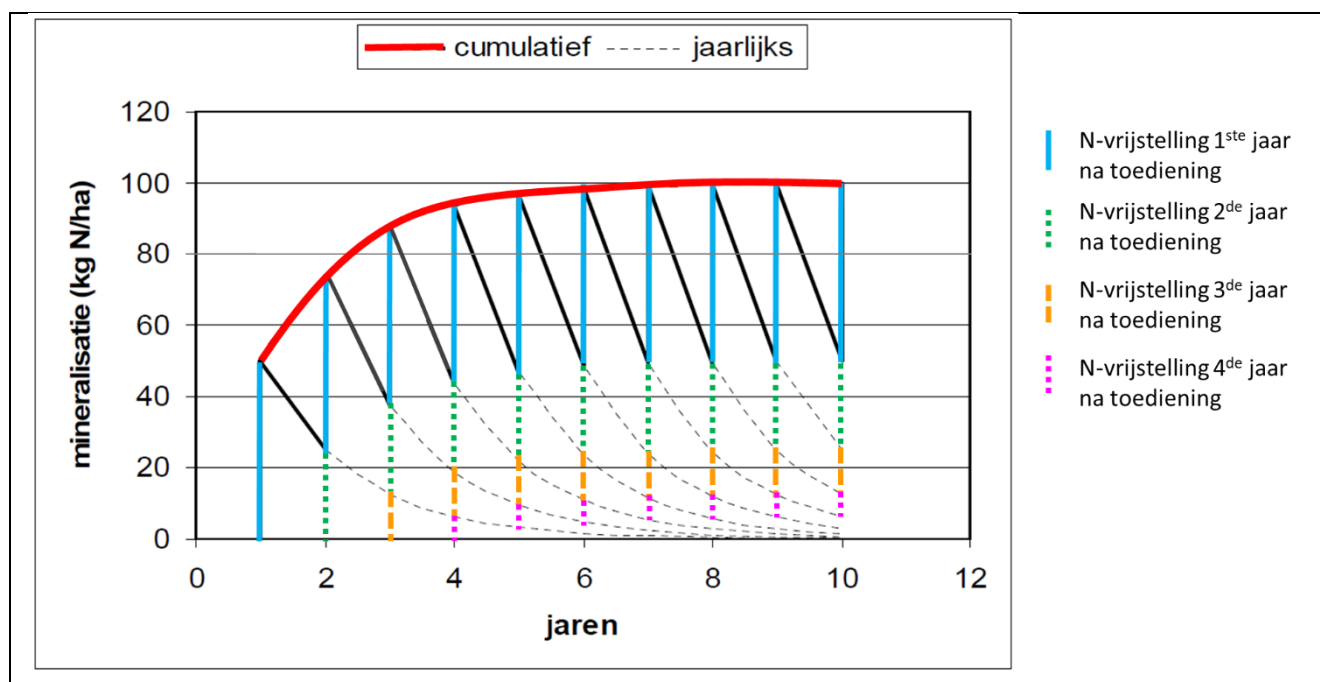
Een tweede methode is dat een reeks van N-trappen met een minerale meststof zonder en met een organische meststof wordt aangelegd (Figuur 1B). De minerale N-gift (punt c in Figuur 1B) waarbij het object zonder organische meststof dezelfde opbrengst (punt a in Figuur 1B) bereikt als de opbrengst van het mestobject bij de nultrap (geen minerale meststof) (punt b in Figuur 1B) geeft de werking van de organische meststof. Door deze N-gift (punt c in Figuur 1B) te delen door de totale N-aanvoer uit de organische meststof (= d) wordt de NWC verkregen, m.a.w. $c * 100 / d = NWC$ (van Dijk *et al.*, 2004).



Figuur 1: Schematische weergave van een veldmeting van de werkingscoëfficiënten van organische meststof (Bron: van Dijk *et al.*, 2004)

Bij veldmetingen van NWC moet er rekening worden gehouden met het feit dat met organische meststoffen ook andere nutriënten (o.a. P en K) worden toegediend. Als hiervoor in de objecten met minerale meststoffen niet gecompenseerd wordt, kan de NWC, afhankelijk van de gewasrespons op deze nutriënten, worden overschat (van Dijk *et al.*, 2004).

Via de twee hiervoor vermelde veldmethoden kan alleen de eerstejaarswerking bepaald worden. De lange termijn effecten (of N-nawerking) worden niet meegenomen omdat proeven vaak maar één of enkele jaren op een bepaalde plaats aanliggen, terwijl de nawerking pas in de jaren daarna zichtbaar wordt. In het tweede jaar is de totale mineralisatie (ononderbroken, rode lijn in Figuur 2) hoger omdat ook een deel van de organische N, toegediend tijdens het eerste jaar, mineraliseert (meest linkse, groene stippellijn in Figuur 2). In het derde jaar is de mineralisatie weer hoger door de nawerking van de mest die in de twee jaren daarvoor is toegediend. Na verloop van tijd zal zich een evenwicht instellen. Voor het bepalen van de meerjarige werking van organische meststoffen zijn dus lange termijn proeven noodzakelijk (van Dijk *et al.*, 2004; Schröder & van Dijk, 2019).



Figuur 2: Schematische weergave van de cumulatieve stikstof- (N) mineralisatie (kg N per ha per jaar) als gevolg van de jaarlijkse toediening van organische meststof. Per toedieningsjaar is tevens het verloop van de jaarmineralisatie weergegeven in de tijd (lijnen 'jaarlijks') (Naar van Dijk *et al.*, 2004)

▪ **Incubatie- en potproeven**

Via incubatieproeven⁴ kan de potentiële beschikbare N (= “potentially available nitrogen” (PAN)) van organische meststoffen bepaald worden (Hartz *et al.*, 2000). De resultaten van incubatieproeven geven een inschatting van welk deel van de organische N snel vrijkomt maar het is moeilijk om deze informatie in NWC om te zetten.

⁴ Incubatieproeven = het organisch materiaal ter studie wordt geïncubeerd in een referentiebodern onder gecontroleerde omstandigheden van temperatuur, vochtgehalte en dichtheid. Op regelmatige tijdstippen worden monsters genomen voor het bepalen van de hoeveelheid minerale N in de bodern. Aan de hand van de tijdsreeksen van het minerale N gehalte in de bodern kan dan de mineralisatie (eventueel immobilisatie) van N uit het organisch materiaal bepaald worden (Anonymus, 2010).

Incubatieproeven laten toe om organische meststoffen met elkaar te vergelijken of het effect van een beïnvloedende factor te onderzoeken.

De NWC kan ook onder beter gecontroleerde omstandigheden via potproeven⁵ bepaald worden. Via potproeven kan het risico op N-verliezen beperkt worden, maar de omstandigheden zijn niet steeds representatief voor een teeltseizoen (Velthof & Rieta, 2019).

▪ **Modellen en berekening**

Een goedkope methode is om op basis van de verschillende N-fracties in de organische meststof en het toedieningstijdstip de NWC voor nieuwe situaties of de lange termijn NWC te modelleren (Sluijsmans & Kolenbrander, 1977; Geypens *et al.*, 1992; van Dijk *et al.*, 2004 & 2005). Voor de lange termijn modellering moet de $N_e:N_r$ -verhouding gekend zijn. Met behulp van veld- of incubatiemetingen waarbij de afbraak van de N_{org} ⁶ opgevolgd wordt, kan deze verhouding bepaald worden (Chambers *et al.*, 1999; van Dijk *et al.*, 2004 & 2005; Schils *et al.*, 2020).

Bij bemestingsadviezen kan gebaseerd op de verhouding van de verschillende N-fracties in de organische meststof en het toedieningstijdstip de NWC berekend worden op basis van de formule:

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

waarbij NWC_m en NWC_{org} respectievelijk de NWC van de minerale (N_m) en organische N-fractie (N_{org}), zijn uitgedrukt in percentage (van Dijk *et al.*, 2005).

⁵ Potproeven = onder gecontroleerde omstandigheden wordt een gewas, vaak Engels raaigras, in potten geteeld. Zowel de opbrengst als de verandering in minerale N in de bodem wordt op regelmatige tijdstippen bemonsterd.

⁶ Deze verhouding werd soms indirect ingeschat via de afbraak van organisch materiaal. Hierbij werd verondersteld dat de N-concentratie in de labiele en stabiele organische stof dezelfde is, zodat de humificatiecoëfficiënt kon gebruikt worden om de N vrijgesteld in het eerste jaar te modelleren (Sluijsmans & Kolenbrander, 1977; van Dijk *et al.*, 2005). Incubatieproeven waarbij de koolstof- (C) en N-mineralisatiehoeveelheid bij 3 composttypes opgevolgd werden, gaf aan dat de C- en N-mineralisatie grotendeels ontkoppeld zijn, maar dat omwille van de lage N-mineralisatie van compost de humificatiecoëfficiënt bruikbaar is en tot een beperkte overschatting van stikstofwerkingscoëfficiënt leidt (van Groenigen & Zwart, 2007).

4 BEINVLOEDENDE FACTOREN

4.1 TOEDIENINGSTECHNIEK

De werking van de minerale N (N_m) in organische meststoffen hangt in belangrijke mate af van de ammoniakale (NH_3) emissies bij de bemesting en de N-verliezen die optreden na de toediening (van Dijk *et al.*, 2004; Schröder & Sørensen, 2011; Lalor *et al.*, 2011).

Omdat de NH_3 -N-emissie sterk afhankelijk is van de toedieningstechniek zijn er in Vlaanderen wettelijke verplichtingen om dierlijke mest met emissie-arme technieken toe te passen (Anonymus, 1999 & 2023b). In Bijlage 1 worden de verschillende bemestingstechnieken, die in Vlaanderen toegepast worden, toegelicht.

In hun metadata-analyse van 1920 waarnemingen in regio's met een gematigd vochtig klimaat berekenden van der Weerden *et al.* (2021) voor verschillende bemestingstechnieken het % van de toegediende N dat via NH_3 -N-vervluchtiging verloren ging. Bij de vergelijking van de NH_3 -N-verliezen werden alle waarnemingen van de verschillende technieken in de analyse opgenomen zodat de verhouding van bodem, teelt- en weersomstandigheden in de datasets van de verschillende technieken kunnen verschillen. Tabel 1 toont dat er tussen de bemestingstechnieken (significante) verschillen in de NH_3 -N-verliezen zijn, nl. injectie \leq sleepvoeten \leq sleepslangen < oppervlakkige breedwerpige toediening.

Tabel 1: Resultaten van de metadata-analyse van ammoniakale stikstof- (NH_3 -N) verliezen in functie van de totaal toegediende N bij verschillende bemestingstechnieken en de toediening van runder- of varkensmest in gematigde vochtige klimaten. Tussen haakjes wordt het 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven. Verschillende letters duiden op significante verschillen per mengmesttype (Bron: van der Weerden *et al.*, 2021)

Bemestingstechniek	Aantal waarnemingen		Gemiddelde emissiefactor (kg N per kg toegediende N)	
	Runder	Varkens	Runder	Varkens
Breedwerpig - oppervlakkig	465	300	0.242 (0.229 - 0.256) a	0.289 (0.264 - 0.322) a
Sleepslang	248	165	0.159 (0.139 - 0.190) b	0.138 (0.125 - 0.159) b
Sleepvoet	207	21*	0.129 (0.115 - 0.145) c	0.284 (0.212 - 0.360) bc*
Injectie - open slot	178	38*	0.092 (0.081 - 0.105) d	0.156 (0.105 - 0.231) b*
Injectie - gesloten slot		18*		0.103 (0.032 - 0.360) c*

* *Schuine data zijn te beperkt om robuuste berekeningen te doen*

In Tabel 2 staat een samenvatting van NH_3 -N-verliezen gemeten in Nederlandse veldproeven (1989 - 1998). De gemiddelde NH_3 -N-verliezen waren lager bij onbeteeld akkerland dan bij grasland en vertoonden eveneens de laagste en hoogste NH_3 -N-verliezen bij respectievelijk injectie en oppervlakkige breedwerpige toediening (Huijsmans, 2003; Huijsmans *et al.*, 2001 & 2003; van Dijk *et al.*, 2004).

Tabel 2: Gemiddelde ammoniakemissie van de toegediende ammoniakale stikstof (percentage (%)) bij verschillende methoden voor de toediening van varkensmengmest op akkerland (zand-, zandleem en kleibodems & 1990 - 1998) en van runder- of varkensmengmest op grasland (zand-, klei- en veenbodems & 1989 - 1993) in Nederland. Tussen haakjes wordt de spreiding van de gemeten emissies weergegeven (Bronnen: Huijsmans, 2003; Huijsmans *et al.*, 2001 & 2003; van Dijk *et al.*, 2004)

Techniek	Emissie (% ammoniakale stikstof)
	<i>Onbeteeld akkerland</i>
Breedwerpig	68 (34-100)
Direct oppervlakkig onderwerken	17 (3-49)
Injectie - gesloten slot (diep)	2 (0-5)
	<i>Grasland</i>
Breedwerpig	77 (27-98)
Sleepvoeten	20 (8-50)
Injectie - open slot (ondiep)	6 (1-25)

Bij beweiding zijn de NWC laag omwille van de zeer heterogene spreiding binnen het weiland, de hoge verliezen en het niet afstemmen van het N-aanbod op de N-vraag (Schröder & Sørensen, 2011).

4.2 TIJDSTIP VAN TOEDIENING

Om beschikbaar te zijn voor de teelt moet N_{org} aanwezig in organische meststoffen, eerst mineraliseren. De mineralisatie vindt deels in het teeltseizoen plaats maar ook deels na de oogst in periodes zonder een N-vraag. Ontijdig gemineraliseerde N heeft daardoor een hoger risico op NO_3^- -uitloging en gasvormige N-verliezen. Afhankelijk van de groeiperiode van de teelt kan de ontijdig gemineraliseerd N 5 tot 45% van alle gemineraliseerde N omvatten (Sluijsmans & Kolenbrander, 1977; Schröder & van Dijk, 2019).

Om de theoretische N-werking te realiseren, moet de N-bemesting onder gunstige omstandigheden plaatsvinden. Bij mengmest wordt de hoogste N-werking gerealiseerd bij toepassing zo dicht mogelijk voor het zaaien of planten. De NWC van mengmest toegediend in het voorjaar is hoger dan bij toediening in het najaar (Tabel 3⁷). De NWC van mengmest is hoger bij lenteteelten dan bij teelten die in de herfst worden gezaaid. Bij deze laatste teelten is de N-opname voor de winter beperkt. De bijdrage van een vanggewas aan het verhogen van de NWC hangt af van het zaaitijdstip en de N-opname van het vanggewas (Schröder *et al.*, 2008). Bij zandgronden is vooral NO_3^- -uitloging de reden, terwijl bij kleigronden denitrificatie de belangrijkste N-verliesweg is (Sluijsmans & Kolenbrander, 1977; Geypens *et al.*, 1992; Nevens & Reheul, 2005; Schröder & Sørensen, 2011). Ook bij stalmest resulteert de najaarstoediening in hogere verliezen en zodoende een lagere NWC dan bij voorjaars-toediening (Sluijsmans & Kolenbrander, 1977; Thomsen, 2005).

⁷ De stikstofwerkingscoëfficiënten (NWC) in deze tabel illustreren het effect van het toedieningstijdstip. De NWC zijn gebaseerd op oude metingen in een periode waarin er nog geen verplichting van emissie-arme toediening was en soms na toediening van mengmest op braakpercelen. Zodoende zijn de NWC niet representatief voor de huidige omstandigheden.

Tabel 3: Stikstofwerkingscoëfficiënten (NWC)* van mengmest (%) in functie van textuur en toepassingstijdstip (Bron: Geypens *et al.*, 1992)

Periode	Type mengmest	Textuur		
		Zand	Zandleem	Leem
<i>Akkerland</i>				
Oktober	Runder & varkens	10-15	15-25	20-30
	Kippen	15-25	20-30	25-35
Maart	Runder, varkens & kippen	40-60	40-60	40-60
<i>Grasland</i>				
Oktober	Runder & varkens	10-20	15-25	15-25
	Kippen	10-20	15-25	15-25
Maart	Runder, varkens & kippen	35-45	35-45	35-45

* De NWC zijn gebaseerd op oude metingen in een periode zonder verplichting van emissie-arme toediening en soms na toediening van mengmest op braakpercelen. Zodoende zijn de NWC niet representatief voor de huidige omstandigheden.

4.3 SAMENSTELLING VAN ORGANISCHE MESTSTOFFEN

✓ Factoren die de samenstelling van organische meststoffen beïnvloeden

Per diersoort is de variatie van de N_m - en N_{tot} -concentratie binnen organische meststoffen groot (Bijlage 2: Tabel 10 & Figuur 11) (Coppens *et al.*, 2009; Van Nevel, 2019). Ook de C:N-verhouding tussen en binnen organische meststoftypes vertoont een grote verscheidenheid en beïnvloedt de NWC (zie incubatieproeven) (Bijlage 2: Figuur 11 & Figuur 12) (Sørensen *et al.*, 2003; Van Nevel, 2019; Sradnick & Feller, 2020).

De leeftijd en de voedersamenstelling van de dieren heeft een effect op de mestsamenstelling en zodoende op de NWC (Sluijsmans & Kolenbrander, 1977; Sørensen *et al.*, 2003; van Eekeren *et al.*, 2009). Maatregelen die NH_3 -N of gasvormig verliezen in het algemeen tijdens de opslag beperken, beïnvloeden eveneens de verhouding van de N-fracties en de NWC (Thorn *et al.*, 2022).

Het composteren van mest verhoogt de N_{org} -fractie (van Dijk *et al.*, 2004; Webb *et al.*, 2011). Ook de ouderdom van de mest beïnvloedt de verhouding van de N-fracties (Sluijsmans & Kolenbrander, 1977; Hartz *et al.*, 2000).

Mestbewerking en -verwerking heeft een effect op de NWC indien de verhouding $N_m - N_e - N_r$ wijzigt. Bij mestscheiding zal vooral de verhouding N_m en N_{org} (= $N_e + N_r$) veranderen. Bij vergisting wordt gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal omgezet naar methaangas en koolstofdioxide (CO_2) en komt een deel van de organisch gebonden N vrij als NH_4^+ -N. Het aandeel van de meer resistente fracties nl. het aandeel N_r zal daardoor stijgen. De potentiële vervluchtiging neemt toe door de verschuiving naar N_m (van Dijk *et al.*, 2004; Schröder *et al.*, 2008; Schröder & Sørensen, 2011).

✓ Effect van de samenstelling van meststoffen op stikstofwerking

Na het aftrekken van de verliezen bij de toediening is de werking van de N_m uit organische mest potentieel 100%. De N_{org} kan op korte termijn (= N_e die het eerste jaar vrijkomt) of langere termijn (N_r) vrijgesteld worden (van Dijk *et al.*, 2004).

De organische fractie van kippenmest bestaat voor 10 - 70% uit urinezuur. Gemakkelijk afbreekbare organische N-verbindingen zoals ureum en urinezuur kunnen aan N_m gelijkgesteld worden. Uit veldproeven met kippenmest blijkt een zeer hoge variatie in NWC (van Dijk *et al.*, 2004; Schröder *et al.*, 2008).

De N in compost is vrijwel geheel aanwezig als N_{org} . Omdat het (reeds gedeeltelijk) omgezet organisch materiaal in compost moeilijk afbreekbaar is, is de NWC van compost laag (van Dijk *et al.*, 2004).

4.4 BODEMEIGENSCHAPPEN

✓ Bodemtextuur

Het effect van de bodemtextuur op de NWC is gelinkt aan het risico op N-verliezen.

Veel organische meststoffen bevatten gemakkelijk afbreekbare koolstof (C). Deze C kan de bacteriële omzetting van N-verbindingen in gasvormige verliezen (elementair N (N_2) en lachgas (N_2O)) stimuleren. De kans op denitrificatie is groter bij diep ingewerkte organische meststoffen in kleibodems (Schröder & van Dijk, 2019).

Volgens Geypens *et al.* (1992) is de NWC van dierlijke mest bij de najaarstoediening afhankelijk van de textuur nl. leem > zandleem > zand. Dit is gelinkt aan het hoger risico op NO_3^- -uitloging tijdens de winter bij zandbodems. Bij de voorjaarstoediening werd geen effect van de textuur op de NWC vastgesteld (Geypens *et al.*, 1992).

✓ Bodemvochtgehalte

In potproeven (simulatie van varkensmengmestinjectie in raaigras in een zandleembodem met 3% OS bij 18 tot 20°C) stelden Velthof & Rietra (2019) vast dat na 56 dagen de NWC hoger was bij 80% dan 50% van het waterbergend vermogen of veldcapaciteit (76 t.o.v. 58%). De hogere NWC bij een hoger bodemvochtgehalte was gelinkt aan lagere gasvormige verliezen. Bij 80% veldcapaciteit ging er de eerste dag $0.1 \text{ g N m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ verloren door NH_3 -N-verliezen t.o.v. $0.2 \text{ g N m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ bij 50% veldcapaciteit. De N_2O -N-verliezen waren echter hoger (respectievelijk 0.034 en 0.012 g N m^{-2} bij 80 en 50% veldcapaciteit na 56 dagen) (Velthof & Rietra, 2019).

4.5 TEELT(ROTATIE) EN WEERSOMSTANDIGHEDEN

✓ Teelt(rotatie)

Omdat N_{org} eerst moet mineraliseren om voor de teelt beschikbaar te zijn, is de NWC van organische meststoffen hoger bij een langere N-opnameperiode van een teelt. Aangezien de N-opname van grasland langer doorgaat dan bij akkerbouw- en groenteteelten zijn de NWC bij dezelfde emissie-arme methodiek theoretisch hoger bij

grasland. De NWC zijn ook hoger bij teelten gevolgd door een vanggewas dan voor braak (van Dijk *et al.*, 2004; Schröder & van Dijk, 2019).

✓ Weersomstandigheden

De weersomstandigheden hebben een invloed op de NWC via hun effect op gasvormige verliezen. Bij nattere weersomstandigheden is het bodemvochtgehalte hoger en het risico op NH₃-N-verliezen kleiner, maar zijn de denitrificatieverliezen hoger (Hofman *et al.*, 1995; Chadwick *et al.*, 2005; Velthof & Rietra, 2019).

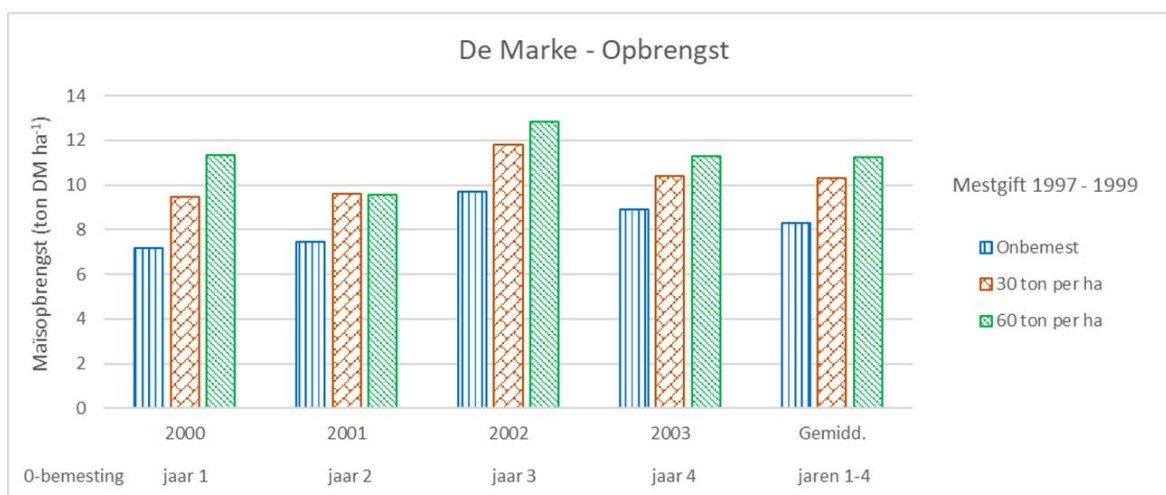
Naarmate de toedieningstechniek oppervlakkiger werkt en er een hoger risico voor NH₃-N-verliezen is, is er extra aandacht nodig voor de weersomstandigheden en moet vermeden worden dat mengmest bij zonnig, drogend of winderig weer uitgereden wordt (Schröder *et al.*, 2008).

5 STIKSTOFWERKINGSCOËFFICIËNTEN

5.1 WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK NAAR STIKSTOFWERKINGS- COËFFICIËNTEN

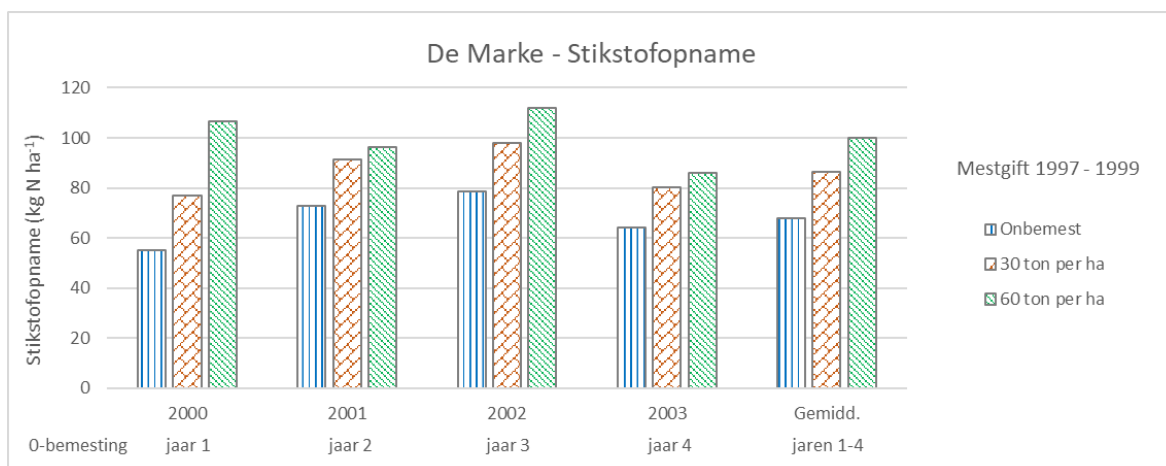
✓ Veldproeven

Organische meststoffen leveren niet alleen het eerste jaar na de toediening N voor de plant, maar hebben ook een N-nawerking zoals blijkt uit de proef bij kuilmaïs op De Marke (lemige zandbodem in Nederland). Van 1997 t.e.m. 1999 waren er 3 bemestingsniveaus, nl. 0, 30 en 60 ton rundermengmest ha⁻¹ jaar⁻¹ (of 0, 106 en 212 kg N_{tot} ha⁻¹ jaar⁻¹). In Figuur 3 en Figuur 4 staan respectievelijk de opbrengsten (ton (droge stofmassa) DM ha⁻¹) en N-opnames⁸ (kg N ha⁻¹) van de plots (hierboven vermelde bemestingsniveaus in 1997 - 1999) die in 2000 - 2003 niet bemest werden (Schröder *et al.*, 2001; van Dijk *et al.*, 2004; Schröder *et al.*, 2005a).



Figuur 3: De stikstofnawerking van rundermengmesttoediening in 1997 - 1999 (0, 30 en 60 ton ha⁻¹ of 0, 106 en 212 kg totale stikstof ha⁻¹) op de opbrengst (ton (droge stofmassa) DM ha⁻¹) van onbemeste kuilmaïspercelen gedurende de periode 2000 - 2003 in De Marke (lemige zandbodem in Nederland) (Bronnen: van Dijk *et al.*, 2004; Schröder *et al.*, 2005a)

⁸ De gemiddelde opbrengst en N-opname van de bemeste kuilmaïspercelen van De Marke waren in 2000 - 2003 respectievelijk 13.2 ton droge stof massa ha⁻¹ (13.2, 13.4, 13.7 en 12.4 ton droge stof massa ha⁻¹ in respectievelijk 2000, 2001, 2002 en 2003) en 129 kg N ha⁻¹ (Verloop *et al.*, 2007).



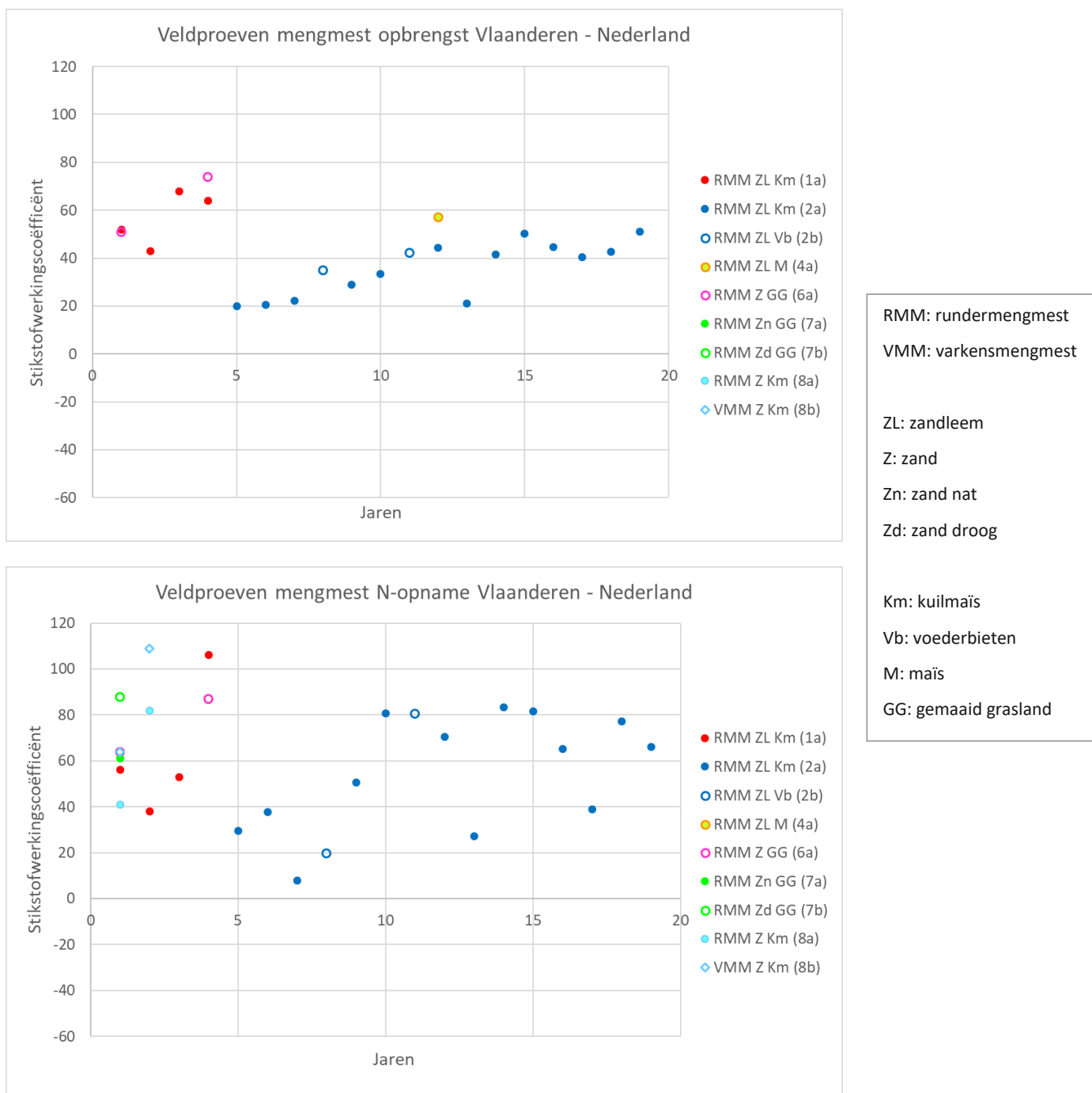
Figuur 4: De stikstofnawerking van rundermengmesttoediening in 1997 - 1999 (0, 30 en 60 ton ha⁻¹ of 0, 106 en 212 kg totale stikstof ha⁻¹) op de stikstofopname (kg N ha⁻¹) van onbemeste kuilmaïspercelen gedurende de periode 2000 - 2003 in De Marke (Iemige zandbodem in Nederland) (Bron: Schröder *et al.*, 2005a)

De mestgiften van 1997 - 1999 vertoonden een merkbare N-nawerking in de daaropvolgende jaren (Figuur 3 en Figuur 4). Het effect nam van jaar 1 tot jaar 4 af van 2.3 tot 1.5 en 4.2 tot 2.4 ton ha⁻¹ bij respectievelijk 30 en 60 ton rundermengmest ha⁻¹ jaar⁻¹. De N-nawerking resulteerde over 4 jaar in een gemiddelde meeropbrengst bij de onbemeste kuilmaïspercelen van 2.0 en 3.0 ton DM ha⁻¹ jaar⁻¹ bij respectievelijk 30 en 60 ton rundermengmest ha⁻¹ jaar⁻¹. De gemiddelde extra N-opname was 19 en 32 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ bij respectievelijk 30 en 60 ton rundermengmest ha⁻¹ jaar⁻¹ (Schröder *et al.*, 2001; van Dijk *et al.*, 2004; Schröder *et al.*, 2005a & 2006).

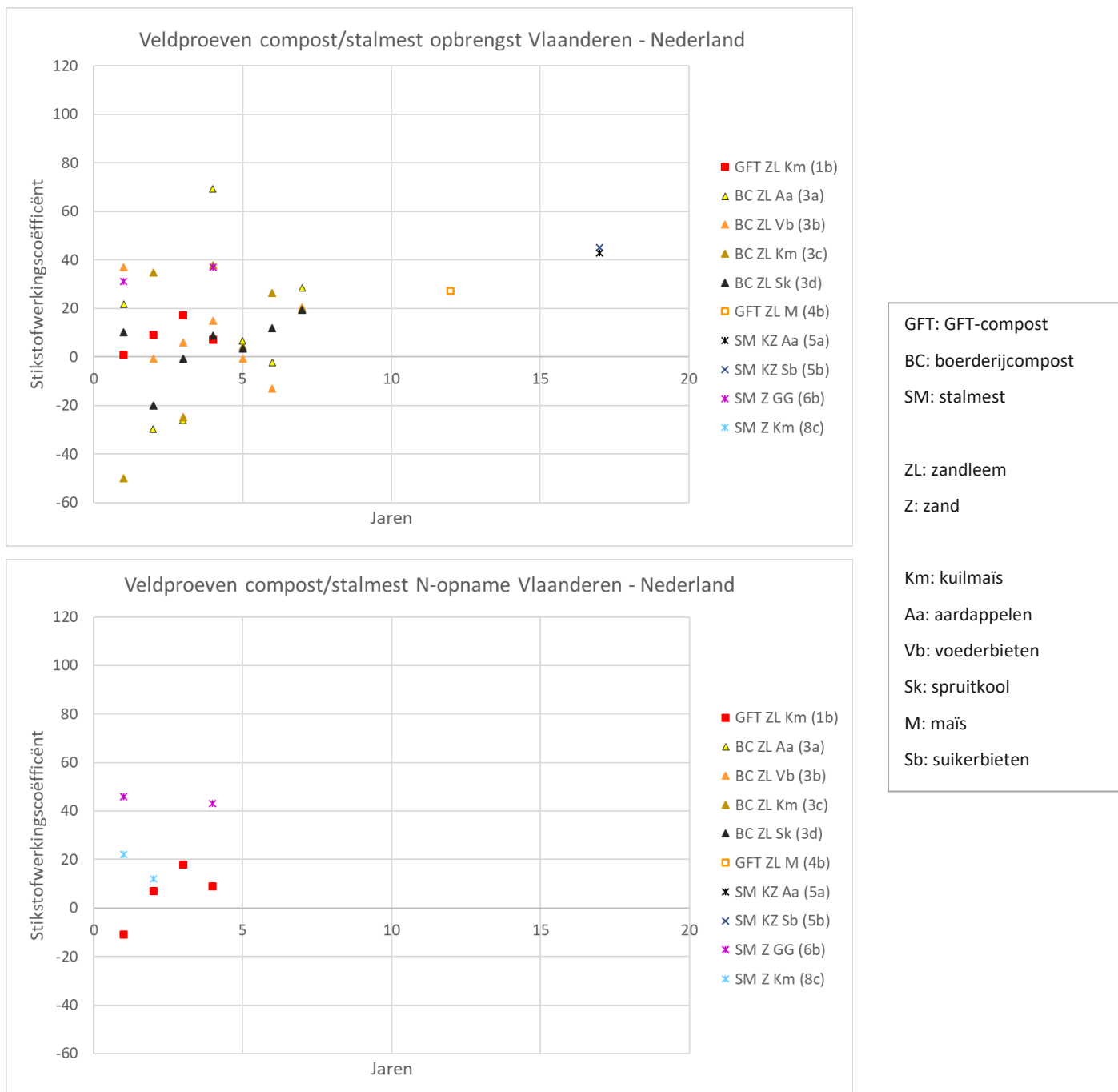
In totaal werden 8 Vlaamse en Nederlandse veldproeven gevonden waar objecten met een 0-trap en een minerale en een organische meststof werden aangelegd om de korte en/of lange termijn NWC te bepalen (Tabel 4). In alle proeven werd de mengmest, de stalmest en compost emissie-arm toegepast door injectie of door onder te werken kort na de toediening.

De NWC's berekend op basis van de opbrengst zijn lager dan deze op basis van de N-opname omdat de N-bemesting naast de opbrengst ook de N-concentratie in de plant beïnvloedt (Figuur 5 en Figuur 6).

Algemeen vertonen de veldproeven een grote variatie in NWC's (Figuur 5 en Figuur 6). Bij een meerjarige toediening van organische meststoffen op hetzelfde proefperceel werden er gemiddeld hogere NWC gemeten. De lage NWC van jaar 5 tot 10 en hoge toename in de daaropvolgende jaren in proefveld 2 (zandleembodem – rundermengmest – kuilmaïs / voederbieten) werden door de auteurs (Nevens & Reheul, 2005) toegeschreven aan het feit dat de eerste jaren van de proef de drijfmest tot 40 dagen voor de zaai werd toegediend en pas na 4 uur werd ondergewerkt, terwijl dat verkleinde tot 7 dagen en 10 minuten in de latere jaren. De gemiddelde NWC na meer dan 10 jaar toediening was op basis van de opbrengst en N-opname respectievelijk 42 en 66%



Figuur 5: Stikstofwerkingscoëfficiënten van mengmest (% van totale stikstof (N)) berekend op basis van de opbrengst (boven) en de N-opname (onder) in functie van de duur sinds de eerste toediening van de organische meststoffen. Informatie over de proeven staat in Tabel 4



Figuur 6: Stikstofwerkingscoëfficiënten van stalmest en compost (% van totale stikstof (N)) berekend op basis van de opbrengst (boven) en de N-opname (onder) in functie van de duur sinds de eerste toediening van de organische meststoffen. Informatie over de proeven staat in Tabel 4

(Nevens & Reheul, 2005). De NWC (op basis van opbrengst) na 12 jaar rundermengmest (proefveld 4 – zandleembodem – maïs) gemeten door Vanden Nest (2010) was 57%. De lange termijn werking van compost en stalmest was lager. De NWC (op basis van opbrengst) na 12 jaar GFT-compost⁹ (proefveld 4 – zandleembodem – maïs) was slechts 27% (Vanden Nest, 2010). De lange termijn NWC van runderstalmest (op basis van opbrengst) bepaald op proefveld 5 (kleiige zandbodem – akkerbouwrotatie) was circa 40%. De N-hoeveelheid die in het najaar via de stalmest gegeven werd, was gemiddeld 110 kg N ha⁻¹. De opbrengsten zowel van aardappelen als suikerbieten van de plots met 45 kg N ha⁻¹ toegediend via minerale meststoffen was gelijk aan deze van stalmest zonder minerale meststoffen. De NWC in evenwichtssituatie bij voorjaarstoediening van runderstalmest is potentieel hoger omdat het mineralisatiepatroon dan beter overeenstemt met het N-opnamepatroon van de teelten (van Dijk *et al.*, 2004). Hijbeek *et al.* (2018) berekenden op basis van 7 Europese proefpercelen¹⁰ een meerjarige NWC (> 10 jaar) van stalmest van 53±26%.

Bij de vergelijking van runder- en varkensmengmest werd de hoogste korte termijn NWC bij proefveld 8 met varkensmengmest gemeten (Figuur 5 onderaan). Dit is wellicht te verklaren door de hogere NH₄⁺:totale N-verhouding bij varkens- dan bij rundermengmest.

In tegenstelling tot Nevens & Reheul (2003) waar reeds na 1 jaar een positieve werking van GFT-compost (proefveld 1) werd vastgesteld, werd door D'Hose *et al.* (2012) (proefveld 3) in het tweede en derde jaar een negatief effect van boerderijcompost op de opbrengst van aardappelen, voederbieten, snijmaïs en spruitkool berekend (Figuur 6). Dit werd door de hogere C:N-verhouding van boerderijcompost (gemaakt van mest, oogstresten, stro, houtafval, 13.3 – 28.3) t.o.v. GFT-compost (9.0 – 11.2) verklaard (Neuens & Reheul, 2003; D'Hose *et al.*, 2012; D'Hose, 2015). Vanaf jaar 4 werd er meestal een positief effect van boerderijcompost op de opbrengst gevonden (D'Hose *et al.*, 2012; D'Hose, 2015).

Het effect van het bodemvochtgehalte op de NWC werd op proefveld 7 (zandbodem – rundermengmest – gemaaid grasland) onderzocht (Figuur 5 onderaan). In het natte perceel was de hoogste grondwatertafel 45 cm en was het kleipercentage ongeveer 5% hoger dan in het droge perceel. Het droge perceel was droogtegevoelig en de hoogste grondwatertafel lag op 110 cm. In tegenstelling tot het verwachte positieve effect van een hoger bodemvochtgehalte was de NWC hoger op het droge dan natte perceel. Dit werd door de lage opbrengst en N-opname bij de toediening van de minerale meststof¹¹ op het droge perceel verklaard (Schröder *et al.*, 2010).

De NWC van rundermengmest toegediend op de graslandpercelen (proefvelden 6 en 7) lijken hoger dan de NWC van de akkerlandpercelen (Figuur 5). Dit is wellicht te verklaren door de langere groeiperiode van gras.

⁹ GFT-compost= compost van groente-, fruit- en tuinafval

¹⁰ Per proefveldlocatie werd per teelt door de auteurs een gemiddelde berekend met de data gemeten minstens x jaar na het opstarten van de proef: Italië [wintertarwe - >24 jaar], Roemenië [maïs en suikerbieten - >12 jaar], Hongarije [wintergerst - >15 jaar], Tsjechië [aardappelen en wintergerst - >18 jaar] & Duitsland [proefveld 1: suikerbieten, aardappelen, winterhaver en -tarwe, zomergerst en maïs - >15 jaar; proefveld 2: wintergerst en -tarwe & proefveld 3 - >10 jaar: suikerbieten en wintergerst en -tarwe - >33 jaar] (Hijbeek *et al.*, 2018)

¹¹ De minerale meststof (170, 340 en 510 kg N ha⁻¹) werd de eerste helft van april, tweede helft van mei, tweede helft van juni, eind juli en begin september toegediend (verhouding 10:8:7:6:3). De mengmest werd de tweede helft van maart, tweede helft van mei en tweede helft van juni toegediend verhouding 6:5:4) (Schröder *et al.*, 2010).

Op kleibodems met aardappelen of kuilmaïs (experiment van 2 en 3 jaar) was de eerstejaars NWC van runder- en varkensmest respectievelijk 24 - 59% en 62 - 82%. Dit is lager dan op zandbodems (Dekker *et al.*, 2005; Ovinge, 2008; Schröder *et al.*, 2008).

✓ Incubatieproeven

In Vlaanderen is er een protocol (BAM/deel1/12) opgesteld om de snel vrijkomende N tijdens een incubatie van 4 maanden te bepalen (Anonymus, 2010). Aangezien er slechts een beperkt aantal incubatieproeven met mengmest, stalmest en compost werden uitgevoerd, werden de resultaten van andere producten ook verzameld (Tabel 5).

De incubatieproeven tonen duidelijk de link tussen de potentiële N-vrijstelling en de NH_4^+ :totale N- en C:N-verhouding en het OS-gehalte (Figuur 7¹²). Ook Schröder & Sørensen (2011) stelden bij de teelt van zomergerst op een lemige zandbodem een positieve correlatie vast tussen de NH_4^+ :totale N-verhouding van 10 producten van varkensmest (onbewerkt of dunne of dikke fractie) en de NWC ($R^2= 0.92$). In de incubatieproeven werd er een negatieve correlatie tussen de C:N-verhouding en potentiële N-vrijstelling gevonden (Figuur 7). Een hoge C:N-verhouding kan tot immobilisatie leiden en wijst bij compost mogelijk op onrijpheid van de geproduceerde compost. Leroy (2008) stelde via incubaties die 1.5 of 4 maanden na de toediening van de organische meststoffen (stalmest, GFT- en boerderijcompost) werden uitgevoerd eveneens een negatieve correlatie tussen de C:N-verhouding en de potentiële N-vrijstelling vast.

De resultaten van de incubatieproeven bevestigen dat producten met een hoog OS-gehalte zoals compost (en stalmest) weinig N leveren voor de teelt (Anonymus, 2018). De laagste potentiële N-vrijstellingen werden bepaald bij composten en andere producten met een hoog OS-gehalte en hoge C:N-verhouding. Daarentegen werden de hoogste potentiële N-vrijstellingen gemeten bij producten met een laag OS-gehalte en lage C:N-verhouding nl. dunne fracties van varkensmest en digestaat¹³ en onbewerkte varkensmest en digestaat (Tabel 5).

¹² De afwijkende gemeten potentiële stikstofvrijstelling in functie van totale N- en organisch stofgehalte is de gepelletiseerde gedroogde digestaat.

¹³ Digestaat is een bijproduct van de anaerobe vergisting van organisch-biologisch afval, energiegewassen en mest, dat rijk is aan nutriënten en grote hoeveelheden organisch materiaal bevat. Digestaat wordt dikwijls gedroogd of mechanisch gescheiden in een N- en K-rijke dunne fractie en een dikke fractie met een hoog organisch stofgehalte (Vanden Nest *et al.*, 2015b).

Tabel 5: Eigenschappen en potentiële stikstofvrijstelling van de organische meststoffen die geïncubeerd werden

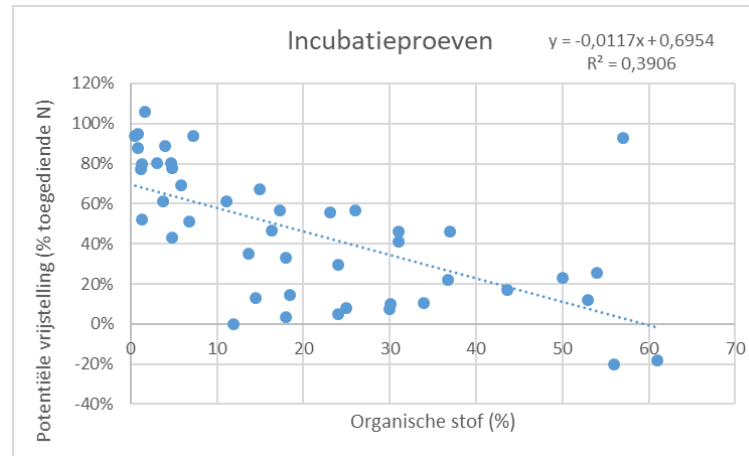
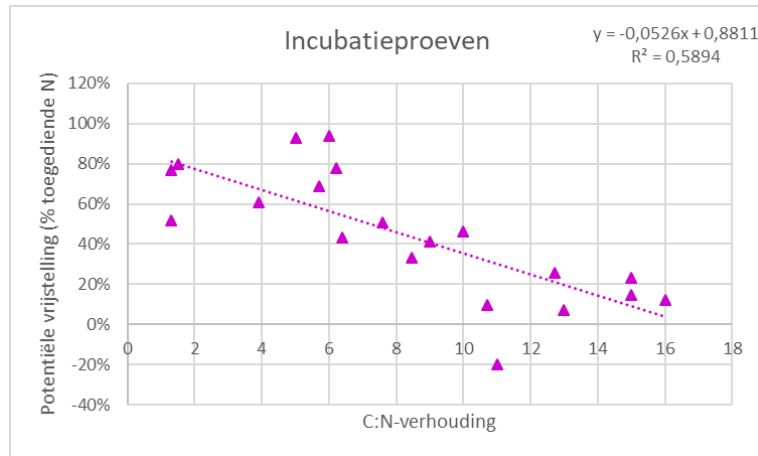
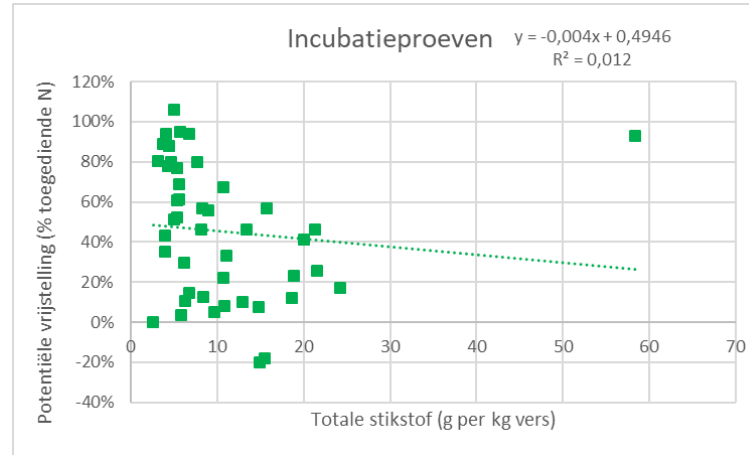
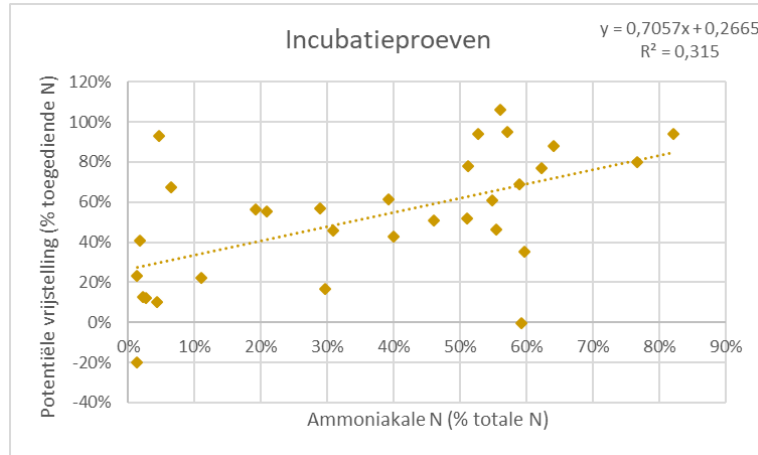
Organische meststof	Droge stof (%)	Organische stof (% vers)	pH	Totale N (kg N ton ⁻¹ vers)	C:N	NH ₄ ⁺ -N (kg N ton ⁻¹ vers)	NO ₃ ⁻ -N (kg N ton ⁻¹ vers)	NH ₄ ⁺ /totale N	Nm/totale N	Potentiële N-vrijstelling		Referentie	
										(kg N ha ⁻¹ week ⁻¹)	(% totale N)		
Stalmest	35.4	18.5		6.8	15.0				2%		15%	Anonymus (2020a)	
GFT-compost	62.1	30.1		12.9	10.7				4%		10%		
Groencompost + gedroogd digestaat	75.7	30.0		14.8	13.0				6%		7%		
Gedroogd digestaat	82.5	54.0		21.6	12.7				0%		26%		
Dikke fractie digestaat	21.8	18.0		11.1	8.5				8%		33%		
Rundermengmest	8.6	6.8	7.6	5.0	7.6	2.3	0.0	46%	46%	6.3	51%	Anonymus (2018)	
Digestaat rundermengmest	6.4	4.8	7.5	4.0	6.4	1.6	0.0	40%	40%	5.3	43%		
Dunne fractie rundermengmest	2.3	1.3	7.9	5.3	1.3	2.7	0.0	51%	51%	6.4	52%		
Varkensmengmest	5.2	3.8	7.6	5.3	3.9	2.9	0.0	55%	55%	7.1	61%		
Dunne fractie varkensmengmest	2.4	1.2	8.0	5.3	1.3	3.3	0.0	62%	62%	9.5	77%		
Gecomposteerde runderstalmest	36.1	14.5		8.4		0.2	0.2	2%	5%	1.4	13%		
Dikke fractie varkensmengmest	43.9	36.8		10.7		1.2	0.0	11%	11%	2.4	22%		
Dikke fractie varkensmengmest	20.6	14.9		10.7		0.7	0.0	7%	7%	7.2	67%		
Dikke fractie varkensmengmest	28.3	23.1		9.0		1.9	0.0	21%	21%	5.9	56%		
Dikke fractie digestaat	34.6	26.0		15.7		3.0	0.0	19%	19%	6.0	57%		
Dikke fractie digestaat	22.8	17.3		8.3		2.8	0.0	34%	29%	6.0	57%		
Varkensmengmest	8.5	5.8	7.9	5.6	5.7	3.3	0.0	59%	59%	3.7	69%		Signurjak et al. (2017a)
Digestaat	7.0	4.8	8.0	4.3	6.2	2.2	0.0	51%	51%	6.5	78%		
Dunne fractie digestaat	2.3	1.3	8.7	4.7	1.5	3.6	0.0	77%	77%	7.0	80%		
Varkensmengmest	3.2	1.7	7.9	5.0		2.8	0.0	56%	56%		106%	Signurjak et al. (2017b)	
Dunne fractie varkensmengmest	1.9	0.9	8.1	4.4		2.8	0.0	64%	64%		88%		
Digestaat	13.9	0.9	9.1	5.7		3.3	0.0	57%	57%		95%		
Vloeibaar deel digestaat	9.2	0.5	8.4	4.1		3.4	0.0	82%	82%		94%		

N: stikstof; C: koolstof; NH₄⁺: ammonium; NO₃⁻: nitraat; N_m: minerale N

Tabel 5: Eigenschappen en potentiële stikstofvrijstelling van de organische meststoffen die geïncubeerd werden (vervolg)

Organische meststof	Droge stof (%)	Organische stof (% vers)	pH	Totale N (kg N ton ⁻¹ vers)	C:N	NH ₄ ⁺ -N (kg N ton ⁻¹ vers)	NO ₃ ⁻ -N (kg N ton ⁻¹ vers)	NH ₄ ⁺ /totale N	Nm/totale N	Potentiële N-vrijstelling		Referentie
										(kg N ha ⁻¹ week ⁻¹)	(% totale N)	
Digestaat gedroogd – vast	56.0	37.0		21.3	10.0	6.6	0.0	31%	53%	4.9	46%	Vanden Nest <i>et al.</i> (2015a)
Digestaat vloeibaar	14.0	7.3		6.8	6.0	3.6	0.0	53%	39%	10.0	94%	
Digestaat gedroogd – poeder	86.0	31.0		20.0	9.0	0.4	7.4	2%	3%	4.4	41%	
Digestaat pellets	77.0	53.0		18.6	16.0	0.5	0.0	3%	1%	1.3	12%	
Digestaat gedroogd – vast	87.0	50.0		18.9	15.0	0.3	0.0	1%	5%	2.4	23%	
Digestaat gedroogd – pellet	86.0	57.0		58.4	5.0	2.7	0.0	5%	1%	9.9	93%	
Digestaat gedroogd – vast	82.0	56.0		14.9	11.0	0.2	0.0	1%	39%	-2.1	-20%	
Dikke fractie digestaat				5.6		2.2	0.0	39%	62%	6.5	61%	Vanden Nest <i>et al.</i> (2015b)
Compost dikke fractie digestaat				2.6		1.5	0.1	59%	56%	0.0	0%	
Compost dikke fractie + gedroogd digestaat				8.1		4.5	0.1	55%	6%	4.9	46%	
Compost dikke fractie digestaat + jong GFT				6.2		0.3	0.1	4%	64%	1.1	10%	
Compost dikke fractie digestaat + vlasleem				4.0		2.4	0.2	60%	30%	3.7	35%	
Gedroogde Oba-mest				24.2		7.2	0.0	30%	53%	1.8	17%	
GFT-compost	74.3	24.0		9.7					7%		5%	Vlaco (2016)
Groencompost	53.4	18.0		5.8					3%		4%	
Ruw digestaat	5.1	3.0		3.1					65%		80%	
Ruw digestaat met dierlijke mest	6.2	4.0		3.7					76%		89%	
Bio-thermisch gedroogd Oba-mest	50.8	31.0		13.4					69%		46%	
Gedroogd ruw digestaat met dierlijke mest	80.5	61.0		15.5					0%		-18%	
Dikke fractie digestaat	27.2	24.0		6.2					9%		30%	
Dunne fractie digestaat	9.2	4.7		7.7					61%		80%	
Groencompost + gedroogd digestaat	57	25.0		10.8					8%		8%	

N: stikstof; C: koolstof; NH₄⁺: ammonium; NO₃⁻: nitraat; N_m: minerale N; GFT: groente-, fruit- en tuinafval compost; Oba: organisch biologisch bedrijfsafval



Figuur 7: Potentiële stikstof- (N) vrijstelling (% van toegediende N) van verschillende organische meststoffen. Meer informatie over de producten staat in Tabel 5



✓ **Modellering**

Modellen worden gebruikt om de NWC voor andere situaties in te schatten of de lange termijn NWC te modelleren (Chambers *et al.*, 1999; van Dijk *et al.*, 2004 & 2005; Schils *et al.*, 2020).

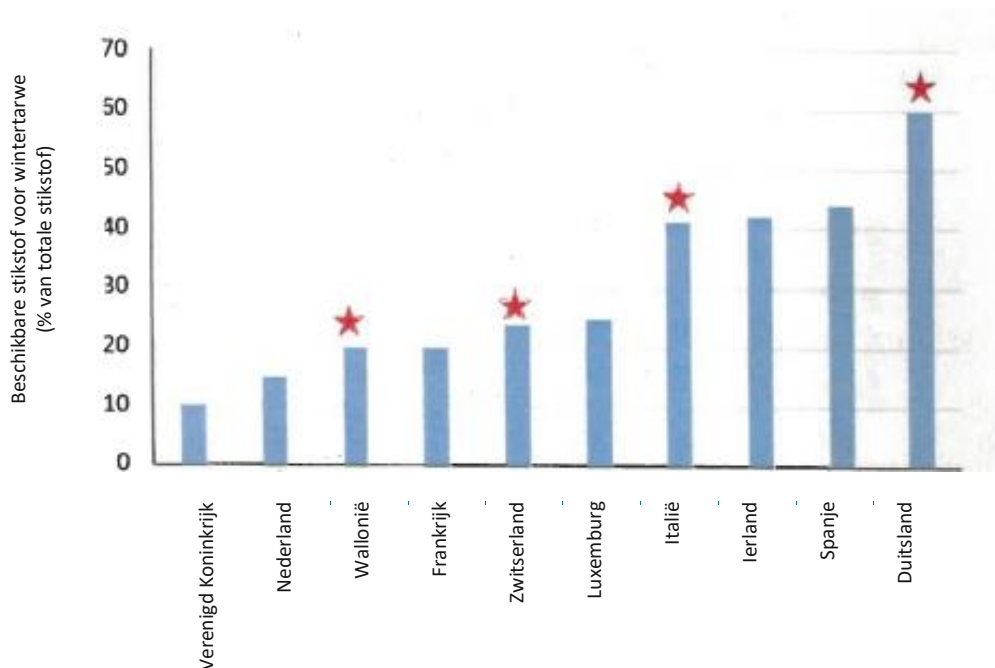
Voor gemaaid grasland op zandpercelen (experiment 5 jaar – Nederland) werd de eerste jaren een NWC van rundermengmest van 51 - 53% gemeten. Er werd gemodelleerd dat de NWC na 7 tot 10 jaren hoger is dan 75% (Schröder *et al.*, 2007a & b & 2008). Modelberekeningen door Schröder *et al.* (2005a & b) van de NWC van rundermengmest bij kuilmaïs (experiment van 7 jaar – Nederland) geteeld op zandpercelen gaf aan dat de NWC van 55 - 60% toenam tot >75% vanaf het achtste jaar na toediening. De gemeten korte termijn NWC van stalmest op zandpercelen met gemaaid grasland (experiment 5 jaar – Nederland) was 31%, terwijl deze na meer dan 40 jaar toediening hoger dan 60% wordt (Schröder *et al.*, 2007a & b & 2008).

Petersen en Sørensen (2008) modelleerden dat in Denemarken bij 10 jaar toediening van varkens- en rundermengmest de N-nawerking respectievelijk 6 - 8 en 9 - 14%¹⁴ van de toegediende jaarlijkse N-hoeveelheid is. Voor stalmest werd een N-nawerking van 12 - 24% van de toegediende jaarlijkse N-hoeveelheid gemodelleerd (Petersen & Sørensen, 2008; Webb *et al.*, 2011).

5.2 STIKSTOFWERKINGS-COËFFICIËNTEN IN BEMESTINGSADVIEZEN

Jordan-Meille *et al.* (2023) vergeleken het N-bemestingsadvies van 10 regio's/landen voor de teelt van winter-tarwe (zaai: 15 oktober & oogst: 15 juli) waar in september 15 ton stalmest ha⁻¹ (= 83 kg N ha⁻¹) (één keer op drie jaar) werd toegediend. In Figuur 8 staat het percentage N van de toegediende stalmest die door de verschillende regio's/ landen als beschikbaar voor de wintertarwe berekend werd. Deze varieerde van 10 tot 60% van de toegediende N of van 8 tot 49 kg N ha⁻¹ (Jordan-Meille *et al.*, 2023).

¹⁴ De laagste en hoogste percentage werden respectievelijk voor korte en lange teelten berekend (Petersen & Sørensen, 2008).



Figuur 8: Percentage van de totale stikstofinhoud van stalmest (%) toegediend in september dat teeltbeschikbaar is voor wintertarwe. De rode sterren geven de regio's/landen die de nawerking (> 1 jaar) van stalmest in rekening brengen (Bron: Jordan-Meille *et al.*, 2023)

De hoge N-beschikbaarheid in Duitsland werd geduid door het feit dat stalmest in het najaar niet toegediend mag worden en de data voor het toedienen van stalmest in het voorjaar gebruikt werden. De grote variatie in teeltbeschikbare N tussen de verschillende regio's/landen werd verklaard door verschillen in het percentage minerale N en mineralisatie afhankelijk van het klimaat waarmee gerekend werd (Jordan-Meille *et al.*, 2023). Voor Vlaamse omstandigheden wordt aangenomen dat het eerste jaar na toediening uit de N_{org} -fractie van vloeibare en vaste mest respectievelijk 30 - 40% en 20 - 30% vrijgesteld wordt (De Neve *et al.*, 2022).

In N-bemestingsadviezen kan ook rekening gehouden worden met het effect van het bemestingstijdstip en de lengte van de N-opnameperiode op de NWC 's. Op basis van de gemiddelde verhouding van N_m en N_{org} van de organische meststoffen worden in Tabel 6 bij andere eindes van de N-opnameperiode van een teelt (van 1 juni tot 1 november) de verschillende NWC 's, geadviseerd in Nederland, gegeven. Bij mengmest toegediend in maart/april varieert het verschil van een kort en lang groeiseizoen van 5 tot 15%, terwijl dit voor vaste mest tussen 10 en 35% verschilt (de Haan & van Geel, 2013; Anonymus, 2023a). De NWC_{org} 's van mengmest toegediend op grasland hangen in de Nederlandse adviezen af van het toedieningstijdstip. De NWC_{org} 's van rundermengmest variëren van 20 tot 13% van de toegediende N_{org} (toediening op respectievelijk 1 maart en 20 juni), terwijl de NWC_{org} 's van varkensmengmest verschillen van 61 tot 41%. Dit gaat om de eerstejaarswerking van de organische meststoffen (CBGV, 2022).

Tabel 6: Stikstofwerkingscoëfficiënten (eerstejaarswerking) (%) van de totale hoeveelheid stikstof (N-totaal) in dierlijke mest in geval van voorjaarstoediening (maart/april) door middel van injectie bij mengmest en bovengronds verspreiden plus direct inwerken bij vaste mest (Bron: de Haan & van Geel, 2013)

Mestsoort	Stikstofwerkingscoëfficiënt (%) N-totaal					
	tot 1 juni	tot 1 juli	tot 1 aug	tot 1 sep	tot 1 okt	tot 1 nov
<i>Drijfmest</i>						
Rundvee	50	50	55	55	55	55
Rosékalveren	55	55	60	60	60	60
Witvleeskalveren	75	80	80	80	80	80
Varkens	70	75	80	80	85	85
<i>Vaste mest</i>						
Rundvee	20	20	25	25	30	30
Leghennen (droge mest) ¹	30	40	50	60	65	65
Kippenstrooiselmest	35	45	55	60	65	65
Vleeskuikens + parelhoen	40	45	55	60	65	65
Champost	15	20	30	35	40	40

¹ met en zonder nadroging

Vuistregels voor de N-opnameperiode van een aantal gewassen:

- tot 1 juni: wintergerst
- tot 1 juli: wintertarwe, zomergerst, rogge, triticale, haver, spelt, knolselder (vroeg)
- tot 1 aug: aardappel, kuilmaïs, zomertarwe, zomerkoolzaad, knolselder (normaal)
- tot 1 sep: bieten, cichorei, knolselder (laat)
- tot 1 nov: schorseneren

Ook in Vlaanderen wordt er in adviezen van de Bodemkundige Dienst van België rekening gehouden met het toedieningstijdstip. In Tabel 7 worden de NWC's uit organische bemesting, afhankelijk van het toedieningstijdstip (oktober¹⁵, februari of maart), gegeven (Coppens, 2009a & b; Coppens *et al.*, 2009).

¹⁵ Hierbij dient opgemerkt te worden dat door de uitrijregeling in het kader van MAP stalmest, champost en traagwerkende meststoffen in oktober enkel op niet-derogatiepercelen toegediend mogen worden (max. 50 kg N ha⁻¹ tussen 1 september en 31 oktober). Mengmest mag enkel op zware kleiperdelen met niet-derogatieteelten toegediend worden (tot 15 oktober). Na de oogst van de hoofdteelt mag in oktober niet meer met mengmest bemest worden, tenzij er uiterlijk de veertiende dag na het opbrengen een nateelt ingezaaid wordt of aanwezig is. De maximale dosis is beperkt tot 100 kg werkzame N ha⁻¹ (Anonymus, 2023c).

Tabel 7: Stikstofwerkingscoëfficiënt uit organische bemesting (% van totale N) (Bron: Coppens *et al.*, 2009)

Tijdstip aanvoer Bodemtextuur	Oktober				Februari alle	Maart alle
	zand	zandleem	leem	klei		
<u>Mengmest</u>						
<i>Runderen</i>	19	23	27	21	50	73
<i>Kalveren (rosé)</i>	18	21	25	18	55	68
<i>Kalveren (witvlees)</i>	18	21	25	18	55	68
<i>Varkens</i>	22	26	30	23	58	68
<i>Zeugen</i>	22	26	30	22	58	68
<i>Biggen</i>	25	28	31	25	57	66
<u>Dunne fractie varkensmengmest</u>	19	22	28	19	60	72
<u>Vaste mest</u>						
<i>Runderen</i>	15	16	18	15	30	33
<i>Slachtkuikens (braadkippen)</i>	34	37	39	35	50	54
<i>Leghennen</i>	35	38	40	37	50	52
<i>Opfokpoeljen</i>	35	38	40	38	50	52
<u>Gier-runderen</u>	20	20	20	20	55	67
<u>Champost</u>	18	18	18	18	25	26

Uit de vergelijking van de bemestingsadviezen van wintertarwe blijkt dat 4 van de 10 regio's, nl. Wallonië, Zwitserland, Italië en Duitsland, met de lange termijn werking van stalmest rekening houden (Figuur 8). Dit kan via de NWC (vb. Duitsland) maar ook via de berekening van de N-mineralisatiehoeveelheid (vb. Wallonië) (Jordan-Meille *et al.*, 2023). Omdat de regelmatige toediening van mest in een hogere N-mineralisatiehoeveelheid resulteert dan op basis van het bodemorganisch koolstof- (BOC) gehalte verwacht wordt, wordt in Wallonië een correctiefactor in de adviezen gebruikt: $\times 0.9$ indien nooit dierlijke mest toegediend werd tot $\times 1.2$ indien jaarlijks of 2-jaarlijks dierlijke mest wordt toegediend (Vandenberghé *et al.*, 2008). Naast de algemene adviezen wordt er in Nederland aangegeven dat een verdere verfijning van de N-bemestingshoeveelheden op basis van de frequentie van toediening van dierlijke mest mogelijk is. Wanneer jaarlijks dierlijke mest wordt toegepast, kan rekening worden gehouden met een 35 en 20% (absoluut) hogere nawerking van de N_{org} -fractie bij respectievelijk rundermest en varkens-/kippenmest (de Haan & van Geel, 2013). Bij voederteltpercelen is in Nederland het N-bemestingsadvies 25 kg N ha^{-1} hoger indien de voorafgaande jaren weinig mest (maximaal 10 m^3 mengmest ha^{-1} jaar $^{-1}$) gegeven werd t.o.v. percelen waar veel (50 m^3 mengmest ha^{-1} jaar $^{-1}$) bemest werd. Bij grasland wordt in Nederland met de lange termijn werking rekening gehouden bij het berekenen van de N-vrijstelling via mineralisatie op basis van het gemeten percentage N_{org} en het berekende N-leverend vermogen (NLV) (CBGV, 2022).

In het meerjarig proefperceel met GFT-compost in Boutersem worden de nodige N-bemestingshoeveelheden door de Bodemkundige Dienst van België via de N-index methode berekend, rekening houdend met een eerste- en tweedejaarswerking van compost, van respectievelijk 15 en 7.5% (Geypens & Vandendriessche, 1996; Odeurs & Bries, 2021; Martens *et al.*, 2022). Indien de voorgeschiedenis van de organische bemesting door de landbouwers meegedeeld wordt, kan met de N-index methode de verwachte N-levering door recente en vroegere

toedieningen van organische meststoffen meegenomen worden bij de berekening van de N-bemestingsadviezen op praktijkpercelen (Geypens & Vandendriessche, 1996; Bries & Vandervelpen, 2012).

Om rekening te houden met de lange termijn werking van organische meststoffen in de adviezen is kennis van de frequentie van toediening op perceelsniveau noodzakelijk. Immers niet in alle Vlaamse afstroomzones wordt de maximale N-bemestingshoeveelheid van 170 kg N ha^{-1} via dierlijke mest toegediend (Figuur 13 - Bijlage 3). In 2021 werd er op de Vlaamse percelen gemiddeld 136 kg N ha^{-1} via dierlijke mest verspreid (Anonymus, 2022).

Sensibilisering over het belang van lange termijn werking van organische meststoffen kan gebeuren samen met de andere parameters van de voorgeschiedenis die noodzakelijk zijn om een advies op perceelsniveau te berekenen. Naast kennis van de teelt- en bemestingsvoorgeschiedenis en een bodemstaalname is omwille van de grote variatie van de N-concentratie een meting van de nutriënteninhoud van organische meststoffen (eventueel in combinatie met de C:N-verhouding) aanbevolen om zo op basis van de gemeten samenstelling de N-bemestingshoeveelheid te kunnen optimaliseren.

Bij het rekenen met de lange termijn NWC's moet men bedachtzaam zijn voor het risico voor een dubbeltelling indien de N-vrijstelling via mineralisatie gebeurt op basis van het BOC-percentages of NLV (Schröder & van Dijk, 2019). Door de toediening van stalmest of compost neemt immers het BOC-percentages in de bodem toe. Op basis van een literatuurstudie besloten D'Hose & Ruyschaert (2017) dat zowel compost als stalmest een duidelijk C-opslagpotentieel bezitten. Beide producten zijn rijk aan stabiel organisch materiaal en kunnen op langere termijn gemiddeld $0,26$ en $0,20 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ opslaan bij toepassen van $1 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ onder de vorm van respectievelijk compost en stalmest (D'Hose & Ruyschaert, 2017).

5.3 WETTELIJKE STIKSTOFWERKINGSSCOËFFICIËNTEN IN EUROPA

✓ Enquêtes van wettelijke stikstofwerkingscoëfficiënten

Webb *et al.* (2011) hebben in 2010 een enquête over de wettelijke NWC's van mengmest en stalmest naar de verschillende Europese regio's/landen gestuurd. Zowel de parameters die de wettelijke NWC differentiëren (Tabel 8) als de grootte van de wettelijke NWC's van mengmest en stalmest werden bevraagd (Tabel 9).

Slovenië en Vlaanderen gaven aan dat de wettelijke NWC's enkel op basis van mesttype werden onderscheiden (Tabel 8). Vijfentwintig regio's/landen gaven aan dat de wettelijke NWC's met 1 tot 5 andere beïnvloedende parameters (methodiek, tijdstip, bodemtype, teelt, klimaat en meerjarig effect) rekening hielden. Het tijdstip en de teelt werden het vaakst als beïnvloedende parameter aangegeven (17 keer). Het bodemtype, de methodiek en het klimaat werden respectievelijk 14, 12 en 11 keer als beïnvloedende parameter aangeduid. Vijf landen gaven aan dat er rekening gehouden werd met de lange termijn werking van dierlijke mest. Letland heeft zowel een wettelijk éénjarige als driejarige NWC's.

Zeven van de 25 landen gaven per mesttype per diersoort slechts 1 cijfer (Tabel 9). Een positief antwoord van een specifieke parameter duidt zodoende niet altijd op een differentiatie op basis van de parameter maar mogelijk op randvoorwaarden bij de toediening van dierlijke mest. Indien er ja geantwoord werd bij het tijdstip of bodemtype

en er maar 1 wettelijke NWC's per mesttype per diersoort gegeven werd, werd naar de beperking van de uitrijperiode van bemesting verwezen als het in aanmerking nemen van het risico op verliezen nl. NO₃-uitloging bij een late toediening bij vooral zandbodems. Het feit dat de uitrijperiodes verschillend zijn in regio's met een verschillend klimaat werd aangeduid als het meenemen van het effect van klimaat bij de wettelijke NWC's. Het in ogenschouw houden van de bemestingstechniek kan verklaard worden door een verplichting van emissie-arme toediening (Webb *et al.*, 2011).

Tabel 8: Resultaten van de enquête van Webb *et al.* (2011) over de parameters die gebruikt werden voor de wettelijke stikstofwerkingscoëfficiënten

	Mesttype	Methodiek	Tijdstip	Bodemtype	Teelt	Klimaat	Meerjarig effect
Oostenrijk	Ja	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee
België (Vlaanderen)	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
België (Wallonië)	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee
Bulgarije	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja
Cyprus	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee	Nee
Tsjechië							
Denemarken	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee	Ja
Estland	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja
Finland	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee
Frankrijk	Ja	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee
Duitsland	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Nee
Griekenland	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee
Hongarije	Ja	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee
Ierland	Ja	Nee	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee
Italië	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
Litouwen	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
Letland	Ja	Nee	Ja	Nee	Ja	Ja	Beide
Luxemburg	Ja	Nee	Ja	Nee	Ja	Ja	Nee
Malta							
Nederland	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	Ja	Ja
Polen	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee
Portugal	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee
Roemenië	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee
Slovakije	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja
Slovenië	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Spanje	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee
Zweden	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
Verenigd Koninkrijk	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
Noord-Ierland	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
Zwitserland							

Tabel 9: Wettelijke stikstofwerkingscoëfficiënten van verschillende dierlijke mestsoorten (%) in 2010 (Bon: Webb *et al.*, 2011). In 2019 werden de stikstofwerkingscoëfficiënten van enkele landen indien nodig geüpdatet (onderlijnde cijfers na / gegeven) (Bron: Klages *et al.*, 2020)

data 2010/2019	Rundvee		Varkens		Legkippen		Vleeskippen
Land	Mengmest	Stalmest	Mengmest	Stalmest	Mengmest	Stalmest	
Oostenrijk	50	5-15	65	5-15	60	30	30
België (Vlaanderen)	<u>60/60</u>	<u>30/30</u>	<u>60/60</u>	<u>30/30</u>	<u>60/60</u>	<u>30/30</u>	<u>30/30</u>
België (Wallonië)							
Bulgarije	20-35	20	40-45	20	40-50	40-50	40-50
Cyprus							
Tsjechië	60	40	60	40	60	40	40
Denemarken	<u>70/70</u>	<u>45-65/45-65</u>	<u>75/75</u>	<u>45-65/45-65</u>	<u>70/70</u>	<u>65/65</u>	<u>45-65/45-65</u>
Estland	50	25	50	25	50	25	25
Finland							
Frankrijk	Laag C:N/ <u>45</u>	Hoog C:N/ <u>10-15</u>	Laag C:N/ <u>60</u>	Laag C:N/ <u>20-30</u>	Laag C:N/ <u>45</u>	Laag C:N/ <u>45</u>	Laag C:N/ <u>35</u>
Duitsland*	<u>50/60</u>	<u>25-30/35</u>	<u>60/70</u>	<u>25-30/40</u>	<u>60/70</u>	30	<u>60/70</u>
Griekenland	20-35	10	20-45	10	20-30	20-30	20-30
Hongarije							
Ierland	40	<u>30/40</u>	50	<u>50/50</u>	50	<u>50/50</u>	<u>50/50</u>
Italië**	24-62	24-62	28-73	28-73	32-84	32-84	32-84
Litouwen	50	25	50	25	30	25	25
Letland***		35(70)		35(70)			35(70)
Luxemburg	25-50	30-50	30-60	30-50		50	50
Malta							
Nederland	<u>60/60</u>	<u>30-60/30-60</u>	<u>60-70/60-80</u>	<u>55/55</u>	<u>60/60</u>	<u>55/55</u>	<u>55/55</u>
Polen	50-60	30	50-60	30	50-60	30	30
Portugal	<u>55-75/60</u>	<u>30-60/20</u>	<u>50-80/80</u>	40-60	50-70	<u>40-60/90</u>	<u>40-60/90</u>
Roemenië	<u>50/50</u>	<u>30/30</u>	<u>50/50</u>	<u>30/30</u>		<u>50/50</u>	<u>50/50</u>
Slovakije	50	30	50	30	30	50	50
Slovenië	<u>50/75-85</u>	<u>30/50-70</u>	<u>50/75-85</u>	<u>30/50-70</u>	<u>30/75-85</u>	<u>50/50-70</u>	<u>50/50-70</u>
Spanje†							
Zweden††	40-50	36-41	57	47		48	47-57
Verenigd Koninkrijk‡	20-45	10	25-55	10		25-35	25-35
Noord-Ierland	<u>/38</u>	<u>30/30</u>	<u>50/50</u>	30			<u>30/30</u>
Zwitserland	<u>/45</u>	<u>/20</u>	<u>/50</u>	<u>/35</u>		<u>/35</u>	<u>/35</u>

*: de stikstofwerkingscoëfficiënten van 2019 zijn lange termijn waarden. Het eerste jaar moet van de vermelde waarden 10 afgetrokken worden en in het jaar na de toediening wordt 10% gerekend (Anonymus, 2017b).

** : variatie afhankelijk van bodemtype en tijdstip van toediening

***: tussen haakjes staat de 3-jaar werking

†: regio-afhankelijk

††: afhankelijk van dierklasse (uitz.: kippenmest: afhankelijk van mestsoort)

‡: afhankelijk van tijdstip van toediening

In 2019 werden de wettelijke NWC's van 9 regio's/landen opnieuw bevestigd (Tabel 9) (Klages *et al.*, 2020). In België, Denemarken, Roemenië en Noord-Ierland golden in 2019 nog dezelfde wettelijke NWC's als in 2010. In Duitsland, Ierland, Nederland en Slovenië waren sommige wettelijke NWC's in 2019 verhoogd t.o.v. 2010. Dit is waarschijnlijk te verklaren door de verlaging van de $\text{NH}_3\text{-N}$ -verliezen door een verplichting tot emissie-arme toediening en/of het in rekening brengen van de lange termijn werking van dierlijke mest. In Portugal waren sommige wettelijke NWC's verlaagd en andere verhoogd.

Bij een vergelijking van de wettelijke NWC's zien we hogere waarden voor mengmest dan bij stalmest (Tabel 9). De wettelijke NWC's zijn gemiddeld lager bij runder- dan bij varkensmest (Klages *et al.*, 2020). Omwille van de lage NWC's bij een najaarstoediening van dierlijke mest is er in vele regio's een beperking van de uitrijperiode om het risico op N-verliezen, vnl. NO_3^- -uitloging, te beperken (Tzilivakis *et al.*, 2021).

In de meeste landen/regio's zijn de wettelijke NWC's eerstejaars NWC. Vijf landen gaven in 2010 aan dat er rekening gehouden werd met de lange termijn werking van dierlijke mest. Letland heeft zowel een wettelijk éénjarige als driejarige NWC's. Sinds 2017 heeft Duitsland lange termijn NWC's (Tabel 9).

✓ Mogelijke aanpassing van wettelijke stikstofwerkingscoëfficiënten

In wat volgt worden de beschikbare proefvelddata en modelberekeningen, wetgeving en adviezen van Nederland, Wallonië, Denemarken, Duitsland en Vlaanderen per mesttype samengebracht.

Mengmest

In Nederland staan in de wetgeving lange termijn NWC's (Tabel 8 en Tabel 9). In de Nederlandse adviezen zijn er verschillende methodieken om de N-nalevering van mengmest in rekening te brengen:

- Bij voederdeeltpercelen wordt in het Nederlandse N-bemestingsadvies met de eerstejaars NWC gerekend. Indien de voorafgaande jaren veel mest (50 m^3 mengmest ha^{-1} jaar $^{-1}$) gegeven werd t.o.v. percelen waar weinig (maximaal 10 m^3 mengmest ha^{-1} jaar $^{-1}$) toegediend werd, wordt 25 kg N ha^{-1} minder geadviseerd. Rekening houdend met een gemiddelde N-concentratie van rundermengmest¹⁶ van 4 kg N ton^{-1} (CBGV, 2022) wordt er bij frequente toediening van 50 t.o.v. 10 m^3 mengmest ha^{-1} jaar $^{-1}$ gemiddeld 160 kg N ha^{-1} meer toegediend en rekent men met een extra N-nalevering van $25 / 160 = 16\%$.
- Bij grasland wordt met de lange termijn werking van mengmest rekening gehouden bij het berekenen van de N-vrijstelling via mineralisatie op basis van het gemeten percentage N_{org} en het berekende NLV (CBGV, 2022).
- Bij akkerbouwpercelen wordt rekening gehouden met een 35 en 20% N-nawerking uit de N_{org} -fractie bij respectievelijk rundermest en varkens-/kippenmest indien er jaarlijks dierlijke mest wordt toegepast (de Haan & van Geel, 2013). Indien 170 kg N ha^{-1} via rundermengmest wordt toegediend op basis van de gemiddelde verhouding van N_m en N_{org} (49 en 51%) wordt er gerekend met een supplementaire N-nalevering van $170 * 0.51 * 0.35 = 30 \text{ kg N ha}^{-1}$. Deze berekende N-nalevering is hoger dan gemeten op zandpercelen in De Marke,

¹⁶ In Nederland was in 2021 82% van de mestproductie afkomstig van rundvee. De totale mestproductie bedroeg 73,4 miljoen ton, waarvan 70,7 miljoen ton mengmest en 2,7 miljoen ton vaste mest (CLO, 2022).

nl. gemiddeld 19 en 32 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹, bij respectievelijk een toediening van 30 en 60 ton rundermengmest ha⁻¹ jaar⁻¹ (= 106 en 212 kg totale N ha⁻¹ jaar⁻¹) (Schröder *et al.*, 2005a).

In Nederlands gemaaid grasland (proefveld 6 in Figuur 5) werd een toename van de NWC van mengmest in jaar 4 t.o.v. jaar 1 berekend (Schröder *et al.*, 2007 a & b). Modelleren van de korte en lange termijn NWC in Nederland gaf bij jaarlijkse toediening van rundermengmest een extra N-vrijstelling van 15 tot 22% (Schröder *et al.*, 2005a & b, 2007a & b & 2008).

In Wallonië wordt in de adviezen op basis van de frequentie van de toediening van dierlijke mest¹⁷ een correctiefactor voor de berekende mineralisatie gebruikt nl. x 0.9 indien nooit dierlijke mest toegediend werd tot x1.2 indien jaarlijks of 2-jaarlijks dierlijke mest toegediend wordt. Deze waarden zijn gebaseerd op de correctiefactoren gebruikt in het bemestingsadvies Azobil in Frankrijk. Voor bodems met een organische stofgehalte < 1.8% wordt gerekend met een gemiddelde N-mineralisatie van 70 kg N ha⁻¹ en voor bodems met > 2.5% organische stof stijgt dit tot 100 kg N ha⁻¹ (Vandenbergh *et al.*, 2008). Indien men rekening houdt met de hiervoor vermelde correctiefactoren stemt dit overeen met een N-mineralisatiehoeveelheid van respectievelijk 63 (= 0.9 * 70) tot 84 (= 1.2 * 70) en 90 (= 0.9 * 100) tot 120 (= 1.2 * 100) kg N ha⁻¹, m.a.w. de N-mineralisatie bij frequent toedienen van dierlijke mest kan toenemen met 21 - 30 kg N ha⁻¹. Het berekende verschil in N-mineralisatiehoeveelheid tussen frequent en niet-frequent toedienen van organische meststoffen is 14 - 20 kg N ha⁻¹.

In Denemarken werd via modellen berekend dat na 10 jaar toedienen van varkens- en rundermengmest de supplementaire N-nawerking respectievelijk 6 - 8 en 9 - 14% van de toegediende jaarlijkse N_{tot}-hoeveelheid bedraagt (Petersen & Sørensen, 2008; Webb *et al.*, 2011). Indien er 170 kg N ha⁻¹ via mengmest toegediend wordt, berekend modellen een N-nalevering afhankelijk van het diertype en de teeltduur variërend van 10 tot 24 kg N ha⁻¹.

In Duitsland wordt in de bemestingsplanning in de wetgeving rekening gehouden met een supplementaire N-nawerking van 10% van de toegediende N_{tot}-hoeveelheid (Löw *et al.*, 2021; Anonymus, 2017b & 2020b).

Bij Vlaamse kuilmaïspcelen (oppervlakkige toediening + onderwerking van rundermengmest) (proefveld 1 in Figuur 4), werd een gemiddeld hogere NWC in jaar 3 en 4 dan in jaar 1 en 2 berekend (Nevens & Reheul, 2003). Voor het lange termijn proefveld (proefveld 2 in Figuur 5) (oppervlakkige toediening + onderwerking van rundermengmest) werden daarentegen na meer dan 10 jaar een jaarlijkse toediening van rundermengmest NWC's vastgesteld globaal schommelend tussen 40 en 60%. De toename van de NWC na jaar 10 t.o.v. jaar 5 tot 10 werd door een verbeterde toedieningstechniek en -tijdstip verklaard (Nevens & Reheul, 2005).

In de N-index methode van de Bodemkundige Dienst van België wordt in de adviezen rekening gehouden met het toedieningstijdstip van de mengmest (Tabel 7). Bij injectie van mengmest in februari wordt, afhankelijk van het diertype, met een NWC van 50 tot 58% gerekend, terwijl bij injectie in maart voor een lange teelt de NWC varieert tussen 66 en 73% (Coppens *et al.*, 2009). Indien de voorgeschiedenis van de organische bemesting door de landbouwers meegedeeld wordt, kan met de N-index methode de verwachte N-levering door recente en vroegere

¹⁷ In Wallonië is stalmest de belangrijkste vorm van toegediende dierlijke mest (82% van de toegediende dierlijke mest in 2008) (Godden & Luxen, 2015).

toedieningen van organisch meststoffen meegenomen worden bij de berekening van de N-bemestingsadviezen (Geypens & Vandendriessche, 1996; Bries & Vandervelpen, 2012).

Uit Tabel 9 blijkt dat de wettelijke NWC's van mengmest voor de ons omringende landen globaal schommelen tussen 50 en 75%. De door Vlaanderen gehanteerde waarde van 60%, afgeleid uit verschillende veldproeven, stemt daar goed mee overeen. Er is dan ook geen reden om bij de relatief beperkte toediening van mengmest de wettelijke NWC's aan te passen. Daarentegen blijkt dat bij een frequente toediening van mengmest, wat op veel percelen in Vlaanderen het geval is, de globale NWC's van mengmest hoger zullen zijn dan bij een éénmalige toediening. Uit de hiervoor vermelde data blijkt dat bij jaarlijks terugkerende toediening van mengmest de lange termijn NWC's hoger zijn dan deze vermeld in Tabel 9 en globaal genomen de N-naleveringen schommelen tussen 6 en 22% van de toegediende N_{tot} -hoeveelheid.

Stalmest

In stalmest is het percentage N_{org} en de N-nawerking theoretisch groter dan bij mengmest, maar de samenstelling van stalmest vertoont een grote variatie (Tabel 10 - Figuur 11) wat o.a. door verschillen in toegediende strohoeveelheden kan verklaard worden. Echter in de praktijk wordt er minder vaak en/of lagere dosissen van stalmest dan mengmest toegediend.

In gemaaid grasland in Nederland (proefveld 6 in Figuur 6) werd een toename van de NWC van stalmest in jaar 4 t.o.v. jaar 1 (respectievelijk 37 en 31%) berekend (Schröder *et al.*, 2007 a & b). Bij een gemiddelde najaarstoediening van 110 kg N ha^{-1} via stalmest werd in Nederland een lange termijn NWC van circa 40% (= 45 kg N ha^{-1}) berekend (proefveld 5 in Figuur 5) (van Dijk *et al.*, 2004).

Bij Nederlandse akkerbouwpercelen stellen de Haan & van Geel (2013) bij de frequente toediening van runderstalmest een 35% N-nawerking van de N_{org} -fractie voor. Indien 170 kg N ha^{-1} via runderstalmest wordt toegediend, wordt er op basis van de gemiddelde verhouding van N_m en N_{org} (17 en 83%) gerekend met een N-nalevering van $170 * 0.83 * 0.35 = 49 \text{ kg N ha}^{-1}$. Door Schröder *et al.* (2007a & b & 2008) werden via een modelmatige aanpak NWC's berekend tot boven de 60% en dit na meer dan 4 decennia jaarlijkse toediening van stalmest.

Op basis van 7 lange termijn (> 10 jaar) Europese proefpercelen werd een lange termijn NWC van $53 \pm 26\%$ voor stalmest (de stalmest werd 1-, 2- en 3-jaarlijks op respectievelijk 8, 3 en 6 behandelingen toegediend met een gemiddelde N-bemestingshoeveelheid van $120 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$) berekend (Hijbeek *et al.*, 2018).

In Wallonië wordt in de adviezen, net zoals bij mengmest, op basis van de frequentie van de toediening van stalmest met dezelfde correctiefactoren voor de mineralisatie gerekend (Vandenberghe *et al.*, 2008).

Deense modelberekeningen gaven na 10 jaar toediening van stalmest een supplementaire N-nawerking van 12 - 24% van de toegediende jaarlijkse N-hoeveelheid aan (Petersen & Sørensen, 2008; Webb *et al.*, 2011).

In Duitsland wordt in de bemestingsplanning in de wetgeving en N-bemestingsadviezen rekening gehouden met een supplementaire N-nawerking van 10% (Anonymus, 2020b; Löw *et al.*, 2021; Jordan-Meille *et al.*, 2023).

In de N-index methode van de Bodemkundige Dienst van België wordt in de adviezen ook bij stalmest rekening gehouden met het toedieningstijdstip (Tabel 7). Bij toediening in februari en maart wordt, afhankelijk van het diertype, respectievelijk met een NWC van 30 - 50 en 33 - 54% gerekend (Coppens *et al.*, 2009). Indien de voor-geschiedenis van de organische bemesting door de landbouwer gekend is, kan met de N-index methode de verwachte N-levering door recente en vroegere toedieningen van stalmest meegenomen worden bij de berekening van de N-bemestingsadviezen (Geypens & Vandendriessche, 1996; Bries & Vandervelpen, 2012).

Wat de wettelijke NWC's in de ons omringende landen (Tabel 9) betreft, blijkt dat de NWC's van stalmest globaal schommelen tussen 30 en 65%. De waarde voor Vlaanderen van 30% is relatief laag t.o.v. een aantal andere landen. Bij herhaalde jaarlijkse toedieningen van stalmest worden supplementaire N-naleveringen tussen 10 en 30% vermeld. Maar kennis over de frequentie van de toediening van stalmest in Vlaanderen ontbreekt. Op percelen die frequent stalmest ontvangen, kan de N-nawerking via de N-bemestingsadviezen in rekening gebracht worden of kunnen de wettelijke werkingscoëfficiënten aangepast worden. Aangezien er per ton stalmest een berekende toename van 0.2 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹ per ton toegediende C ha⁻¹ jaar⁻¹ is (D'Hose & Ruyschaert, 2017), moet hiermee rekening gehouden worden in de advisering om een dubbel telling via een verhoogde berekende N-mineralisatiehoeveelheid te vermijden.

Compost

In compost is het percentage N_{org} en de N-nawerking theoretisch nog groter dan bij meng- en stalmest. Omdat de jaarlijkse toediening het grootste effect heeft op het BOC-gehalte (Martens *et al.*, 2022) wordt er geadviseerd om jaarlijks 15 ton ha⁻¹ toe te dienen. Op basis van een gemiddelde N-concentratie van 12 en 7 kg N ton⁻¹ voor respectievelijk GFT- en groencompost correspondeert dit met een N-bemestingshoeveelheid van 180 en 105 kg N ha⁻¹ (Vlaco, 2023).

In Nederland wordt in adviezen bij voorjaarstoepassing van GFT-compost en groencompost een NWC van respectievelijk 15 - 20% en 10 - 15% voorgesteld. Bij herfst- en wintertoepassing wordt een NWC van 10 - 15% aangehouden in het volgend jaar voor GFT-compost en ca. 10% voor groencompost. De N-werking van N-arme (groen)composten ($\leq 1.5\%$ N in de organische stof) is nihil tot negatief. Negatief houdt in dat ze na toediening (tijdelijk) N vastleggen. Voor N-arme (groen)composten kan een werking worden aangehouden van 0% tot -10% (de Haan & van Geel, 2013). Op basis van een literatuurstudie van incubatie-, pot- en veldproeven met compost besloot Prasad (2009) dat de eerstejaars NWC's van composten varieert van 0 tot 20% van de toegediende N_{tot}-hoeveelheid en soms negatief is. De eerst volgende jaren is de N-nalevering van composten 0 tot 8%. De NWC's vertoonden een negatieve correlatie met de C:N-verhouding van de composten (Prasad, 2009).

De wettelijke NWC voor alle composten is 10% van de toegediende N_{tot}-hoeveelheid in Nederland (Anonymus, 2023d). In Duitsland is de wettelijke NWC voor groencompost en andere composten minimaal 3 en 5% en minstens gelijk aan het % N_m gemeten in de compost. In het eerste jaar na toediening wordt 4% NWC en in jaar 2 en 3 3% NWC gerekend (Anonymus, 2017b & 2020b).



Vlaamse korte termijn proefvelden met compost wijzen op het risico van immobilisatie bij de toediening van onrijpe GFT- en boerderijcompost (proefvelden 1 en 3 in Figuur 6)(Nevens & Reheul, 2003; D'Hose *et al.*, 2012; D'Hose, 2015). De NWC na 12 jaar GFT-compost (proefveld 4 in Figuur 5) was 27% (Vanden Nest, 2010). In deze veldproef werd 22.5 ton ha⁻¹ GFT-compost met een gemiddelde samenstelling van 12.8 kg N ton⁻¹ jaar⁻¹ of 288 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ toegediend. Na 10 jaar toediening van compost werd er jaarlijks 40 kg NO₃⁻-N ha⁻¹ extra in de bodem gemeten in de sperperiode. Dit was gelinkt aan een C-toename in de bodem van 0.02% jaar⁻¹ (Cougnon *et al.*, 2010). Een toename van het C-percentages met 0.2% na 10 jaar resulteert in een extra N-mineralisatie van ongeveer 20 kg N ha⁻¹. Indien deze 20 kg N ha⁻¹ in de lange termijn NWC opgenomen wordt, wordt ze dubbel geteld. De N-nalevering van compost rekening houdend met de extra mineralisatie uit het BOC is 20 / 288 = 7%. In de GFT-compost proef in Boutersem wordt bij de berekening van de N-adviezen rekening gehouden met deze eerstejaars en tweedejaars NWC van respectievelijk 15 en 7.5% in combinatie met de toegenomen N-vrijstelling uit het BOC. Voor de jaarlijkse GFT-composttoediening worden vergelijkbare opbrengsten en residu's in de sperperiode gemeten als bij de minerale N-bemesting (Odeurs & Bries, 2021; Martens *et al.*, 2022). Aangezien GFT-compost een lagere C:N-verhouding heeft dan groencompost (Vlaco, 2023) en boerderijcompost (D'Hose, 2015) is de NWC van groen- en boerderijcompost waarschijnlijk lager. Leroy (2008) stelde via incubaties die 1.5 of 4 maanden na de toediening van GFT- en boerderijcompost werden uitgevoerd een hogere potentiële N-vrijstelling vast bij GFT- dan boerderijcompost.

Lange termijn proeven met compost tonen dat er een toename van het BOC-gehalte is van gemiddeld 0.26 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹ per toegediende ton ha⁻¹ jaar⁻¹ (D'Hose & Ruyschaert, 2017). Zodoende neemt de berekende N-mineralisatiehoeveelheid toe en moet men bedachtzaam zijn op het risico op een dubbeltelling.

Samengevat duiden bovenstaande data op een lage NWC van zowel GFT-, groen- als boerderijcompost. In Vlaanderen is de wettelijke NWC voor Vlaco GFT- en groencompost 15% en voor boerderijcompost is deze gelijkgesteld aan deze van stalmest nl. 30%. Uit het voorafgaande is duidelijk dat groencompost een lagere NWC heeft dan GFT-compost en waardoor er overwogen kan worden om de NWC voor groencompost aan te passen. Zich baserend op Leroy (2008) en D'Hose (2015) lijkt ook de wettelijke NWC voor boerderijcompost (te) hoog. Vanzelfsprekend zullen de NWC's bij jaarlijkse toediening toenemen.

Lange termijn werking van organische meststoffen

Bij frequente toediening van organische meststoffen komt er extra N ter beschikking van de teelt door de N-nawerking van organische meststoffen. Om het risico op NO₃⁻-N-uitloging in het najaar en de winter te beperken, is het belangrijk om met de N-nawerking van organische meststoffen rekening te houden (Schröder *et al.*, 2005a).

De wettelijke NWC's houden rekening met de gemiddelde N-hoeveelheid die het eerste jaar na toediening ter beschikking van de teelt kan komen. Door de variabiliteit in de samenstelling van organische meststoffen kan de teeltbeschikbare N-hoeveelheid echter hoger of lager zijn. Wettelijke eerstejaars NWC's onderschatten bij percelen waarop frequent organische meststoffen worden toegediend de N-aanlevering via organische meststoffen. Bij rijke percelen waar er op basis van de normen bemest wordt, kan dit bijdragen tot hoge residu's. Het incalculeren van de N-nalevering kan via een aangepaste NWC in N-bemestingsadviezen. Een alternatief is

om via een correctiefactor op de N-mineralisatie de N-nalevering van organische meststoffen bij N-bemestingsadviezen in rekening te brengen (cfr. Wallonië). Stikstofbemesting op basis van de bodemeigenschappen en de algemene voorgeschiedenis is belangrijk waarbij alle N-inputs zo correct mogelijk in rekening gebracht worden. Sensibilisering dat de N-bemestingsnormen geen N-bemestingsadviezen is essentieel, net zoals sensibilisering over de N-nawerking van organische meststoffen.

Bijkomend kunnen de lange termijn NWC's in de wetgeving vastgelegd worden. Vele landbouwers nemen immers de maximale N-bemestingsnormen aan als wat ze kunnen en mogen bemesten, zeker wat dierlijke mest betreft, de hoofdmoot van de organische meststoffen in Vlaanderen. Naar analogie met Duitsland lijkt 10% als een gemiddelde supplementaire N-nalevering voor alle organische meststoffen te verantwoorden op voorwaarde dat deze N-nalevering nog niet meegerekend wordt in de gehanteerde mineralisaties uit bodemorganische stof. Voor percelen die niet elk jaar of om de 2 jaar organische meststoffen ontvangen (Figuur 13 - Bijlage 3), kunnen algemeen wettelijke lange termijn NWC's tot een overschatting van de N-aanlevering via organische meststoffen leiden. Op arme percelen kan dit resulteren in een risico op opbrengstdaling. In Vlaanderen gaat dit over een minimaal aantal percelen. Vooral bij stalmest en compost is er een risico op overschatting van de N-beschikbaarheid bij het gebruik van wettelijke lange termijn NWC's aangezien deze organische meststoffen vaak niet jaarlijks worden toegepast. Omdat stalmest en compost vaak worden toegediend op percelen die in andere jaren mengmest toegediend krijgen, is dit risico toch beperkt.

6 CONCLUSIES

Er wordt in de veld- en incubatieproeven een grote variatie in N-vrijstelling uit organische meststoffen gemeten. Dit is gelinkt aan verschillen in de samenstelling van de organische meststoffen. Organische meststoffen met een hoog % N_m , dat onmiddellijk ter beschikking is van de teelt, hebben een hoge eerstejaars NWC. Daarnaast is er nog N_{org} in organische meststoffen aanwezig dat eveneens het eerste jaar voor de teelt vrijkomt (= N_e) en stabielere N_{org} (= N_r) die pas in latere jaren teeltbeschikbaar wordt.

Ook het management van organische meststoffen heeft een impact op de hoeveelheid N die de teelt kan opnemen. De landbouwer kan de NWC_m vooral bij organische meststoffen met een hoog % N_m verhogen door de organische meststoffen emissie-arm toe te dienen. Het tijdstip van de bemesting is eveneens belangrijk omdat zo de N-vraag en -aanbod op elkaar afgestemd kunnen worden. De NWC_{org} 's hangen af van de hoeveelheid en stabiliteit van de aanwezige N_{org} en de N-opnameperiode van de teelt. Na de teelt kan er nog N uit de N_{org} vrijgesteld worden dat als NO_3^- -N tijdens de winter kan uitloggen. Bij grasland en teelten gevolgd door een vanggewas zijn de NWC's hoger dan bij teelten gevolgd door braak. Omwille van het effect van de toedieningsmethodiek worden in de wetgeving in verschillende regio's/landen beperkingen van de bemestings-techniek opgelegd. Omwille van het effect van het toedieningstijdstip en het risico op N-verliezen, vnl. NO_3^- -N-uitlogging, is er in vele regio's/landen een beperking van de uitrijperiode.

De diersoort en voedersamenstelling hebben ook een effect op de mestsamenstelling en NWC's. De hoogste gemiddelde eerstejaars NWC's werden gemeten bij varkensmengmest met het hoogste gemiddelde % N_m , gevolgd door rundermengmest. Stalmest heeft een gemiddeld lagere eerstejaars NWC dan mengmest. Compost heeft de laagste gemiddelde eerstejaars NWC wat verklaard wordt door hun hoog gehalte aan reeds omgezet organisch materiaal en hoge C:N-verhouding.

Omwille van het beperkt aantal veldproeven en het effect van de mestsamenstelling, maar ook andere paramaters zoals de weersomstandigheden en de teelt, is het zeer moeilijk om de toename in NWC bij herhaalde toediening uit de veldproeven af te leiden. De hoogste N-nalevering is voor organische meststoffen met een hoog % N_{org} en wordt pas na vele jaren toediening gerealiseerd. Om beschikbaar te zijn voor de teelt moet de N-nalevering tijdens de groeiperiode van de teelt plaatsvinden zodat N-nalevering hoger is voor lange dan korte teelten. Modelleringen berekenden dat bij frequente toediening van varkens- en rundermengmest er respectievelijk een toename is van 5 tot 20% en 10 tot 25%. De hoogste toename werd gemodelleerd voor stalmest met een hoger % organische stof nl. 10 tot 30% toename. Om het risico op NO_3^- -N-uitlogging in het najaar en de winter te beperken, is het belangrijk om de N-nawerking van organische meststoffen bij de N-bemestingsadviezen in rekening te brengen. Dit kan via aangepaste NWC's in de N-bemestingsadviezen. Een alternatief is om via een correctiefactor op de N-mineralisatie de N-nalevering van organische meststoffen bij N-bemestingsadviezen in rekening te brengen (cfr. Wallonië).

Metingen van het BOC-gehalte in veldproeven tonen aan dat door frequente toediening van stalmest en compost, het BOC-gehalte in de bodem toeneemt. Bij regelmatige toediening van stalmest en compost moet men bedachtzaam zijn dat hun nawerking niet dubbel geteld wordt nl. via lange termijn NWC's en een hogere N-mineralisatie berekend op basis van een hoger BOC-gehalte.

Bij een vergelijking van de wettelijke NWC's in verschillende landen zien we hogere waarden voor mengmest dan bij stalmest. De wettelijke NWC's zijn in verschillende Europese regio's lager bij runder- dan bij varkensmest. Bij een vergelijking van de wettelijke NWC's in verschillende landen blijken de NWC's van mengmest gehanteerd in Vlaanderen aan te sluiten bij deze in de ons omringende landen. Vergelijken we de NWC's van landen met een hoog tot heel hoog gebruik aan dierlijke mest (Vlaanderen, Nederland en Denemarken) dan zijn de Vlaamse NWC's aan de lage kant. Voor stalmest is de wettelijke NWC vaak lager dan in andere landen. Daarentegen voor compost zijn de wettelijke NWC's hoger dan in andere landen. Bij de frequente toediening van organische meststoffen wordt een supplementaire N-nalevering tussen 5% en 30% van de toegediende N_{tot} -hoeveelheid vastgesteld. In de wetgeving kunnen eerstejaars of lange termijn NWC's opgenomen worden. Naar analogie met Duitsland lijkt 10% als een gemiddelde supplementaire N-nalevering voor alle organische meststoffen te verantwoorden. Er dient opgemerkt te worden dat vooraleer de supplementaire N-nalevering uit organische meststoffen te verankeren er kritisch moet nagekeken worden of de mineralisatie die gebruikt werd voor de onderbouwing van de N-bemestingsnormen al niet inherent deze N-nalevering omvat. Zoniet wordt deze N dubbel in rekening gebracht. Vooral op percelen die niet elk jaar of om de 2 jaar organische meststoffen ontvangen, leiden algemeen wettelijke lange termijn NWC's tot een overschatting van de N-aanlevering via organische meststoffen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de vastlegging van de N-bemestingsnormen gebeurde met een gemiddeld of relatief laag BOC-gehalte en mineralisatie uit bodemorganische stof. Dit betekent dat voor de overgrote meerderheid van de landbouwpercelen er geen echt gevaar voor een N-tekort is. Om het risico op zowel NO_3^- -N-uitloging in het najaar en de winter als opbrengstderving te beperken, is het belangrijk om bij de N-bemestingsadviezen met de N-nawerking van organische meststoffen rekening te houden.

7 REFERENTIES

- Anonymus, 1999. Decreet tot wijziging van het decreet van 23 januari 1991 inzake de bescherming van het leefmilieu tegen de verontreiniging door meststoffen en tot wijziging van het decreet van 28 juni 1985 betreffende de milieuvergunning. Belgisch Staatsblad 99, 30967-30994.
- Anonymus, 2010. Bodem – Bepaling van snel vrijkomende organische stikstof. BAM/deel 1/12, 6 p.
- Anonymus, 2017a. Mestrapport 2017. Jaarlijks rapport over het mestbeheer in Vlaanderen. Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 234 p.
- Anonymus, 2017b. Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV).
- Anonymus, 2018. Agronomische waarde van bewerkte dierlijke mest valoriseren en optimaliseren. Luik 2. Studie in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 225 p.
- Anonymus, 2019. 6^{de} Actieprogramma in uitvoering van de Nitraatrichtlijn 2019-2022. Definitief actieprogramma. Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 83 p. <https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Mestbank/Algemeen/6de-actieprogramma-Vlaanderen.pdf>
- Anonymus, 2020a. Compost en digestaatproducten verdienen hun plaats in de boomkwekerij. Jaargang 28, nr. 1, 5-7.
- Anonymus, 2020b. Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV). https://www.buzer.de/Duengeverordnung_DUV.htm
- Anonymus, 2022. Mestrapport 2022. Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 206 p.
- Anonymus, 2023a. Bemesting. Bemestingsadviezen. <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/ingangen/handeling/bemesting.htm>
- Anonymus, 2023b. Emissiearme aanwending. https://www.vlm.be/nl/themas/waterkwaliteit/Mestbank/bemesting/aanwenden-van-mest/emissiearme_aanwending
- Anonymus, 2023c. Uitrijregeling volgens type meststof. <https://www.vlm.be/nl/themas/waterkwaliteit/Mestbank/bemesting/aanwenden-van-mest/uitrijregeling/uitrijregeling-volgens-type-meststof/Paginas/default.aspx>
- Anonymus, 2023d. Tabel 9 Werkzame stikstof landbouwgrond. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2023-02/Tabel-9-Werkzame-stikstof-landbouwgrond-2023.pdf>
- Bries, J., Vandervelpen, D., 2012. Sturen van de N-bemesting: gedreven door onderzoek, voorlichting en beleid. Studienamiddag 'Meten om te sturen' van Bodemkundige Dienst van België (BDB).
- CBGV, 2022. Bemestingsadvies. Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (CBGV), 192 p.
- Chadwick, D., Misselbrook, T., Gilhespy, S., Williams, J., Bhogal, A., Sagoo, L., Nicholson, F., Webb, J., Anthony, S., Chambers, B., 2005. WP1B ammonia emissions and crop N use efficiency. Component report for Defra Project NT2605 (CSA 6579), 71 p.
- Chambers, B.J., Lord, E.I., Nicholson, F.A., Smith, K.A., 1999. Predicting nitrogen availability and losses following application of organic manures to arable land: MANNER. Soil Use and Management 15, 137-143.
- CLO, 2022. Mestproductie door de veestapel, 1986-2021. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl010426-mestproductie-door-de-veestapel>

- Coppens, G., 2009a. De mestwegwijzer bundelt vijftien jaar mestanalyses. *Landbouw & Techniek* 3, 37-39.
- Coppens, G., 2009b. Overzicht van 15 jaar mestanalyse door de Bodemkundige Dienst van België. Studiemiddag “Bodemkundige Dienst van België: net iets meer dan bodem alleen”, 11/02/2009.
- Coppens, G., Vandendriessche, H., Moens, W., Bries, J. 2009. De mestwegwijzer. Overzicht van 15 jaar mestanalyse door de Bodemkundige Dienst van België. Bodemkundige Dienst van België (BDB), 95 p.
- Cougnon, M., Reheul, D., D’Hose, T., Van Daele, E., 2010. Het gebruik van GFT-compost in de maïsteelt. *Landbouw & Techniek*, 18, 18-21.
- D’Haene, K., Salomez, J., De Neve, S., De Waele, J., Hofman, G., 2014. Environmental performance of the nitrogen fertiliser limits imposed by the EU Nitrates Directive. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 192, 67-79.
- de Haan, J.J., van Geel, W., 2013. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO)*, 116 p.
- De Neve, S., Krekelbergh, N., François, A., Mendoza, O., Sleutel, S., Vandermoere, S., De Waele, J., 2022. Code goede bemestingsadviezen. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 160 p.
- Dekker, P.H.M., van den Berg, W., Slabbekoorn, J.J., 2005. Alternatieven voor ontijdige toediening van dierlijke mest in de akkerbouw, proefjaar 2003-2004. Rapport 510170, *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO)*, 58 p.
- D’Hose, T., 2015. The effect of farm compost application and crop rotation on chemical, physical and biological soil quality and crop yields. Doctoraat, UGent, 165 p.
- D’Hose, T., Ruysschaert, G., 2017. Mogelijkheden voor koolstofopslag onder gras- en akkerland in Vlaanderen. ILVO Mededeling Nr. 231, Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO), 73 p.
- D’Hose, T., Cougnon, M., De Vlieghe, A., Willekens, K., Van Bockstaele, E., Reheul, D., 2012. Farm compost application: effects on crop performance. *Compost Science & Utilization* 20(1), 49-56.
- do Rosário Cameira, M., Mota, M., 2017. Nitrogen related diffuse pollution from horticulture production—Mitigation practices and assessment strategies. *Horticulturae* 3(1) <https://doi.org/10.3390/horticulturae3010025>.
- Geypens, M., Vandendriessche, H., 1996. Advisory systems for nitrogen fertilizer recommendations. *Plant and Soil* 181, 31-38.
- Geypens, M., Vandendriessche, H., Bries, J., Carlier, L., Baert, G., 1992. 2. Dierlijke mest. Oordeelkundig gebruik van dierlijke mest. *Landbouwtijdschrift* 45(2), 297-308.
- Godden, B., Luxen, P., 2015. Livret lisier. Les engrais de ferme: les lisiers. Agra-Ost, 70 p.
- Hartz, T.K., Mitchell, J.P., Giannini, C., 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *Hortscience* 35(2), 209-212.
- Hijbeek, R., ten Berge, H.F.M., Whitmore, A.P., Barkusy, D., Schröder, J.J., van Ittersum, M.K., 2018. Nitrogen fertiliser replacement values for organic amendments appear to increase with N application rates. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 110, 105-115.
- Hofman, G., Van Cleemput, O., Demeyer, P., 1995. Ammoniakvervluchtiging uit kunstmest. *Landbouwkundige uitgeverij G.C. van den Bergh*, 27 p.
- Huijsmans, J.F.M., 2003. Manure application and ammonia volatilization. Doctoraat, Wageningen Universiteit, 160 p.
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., Hendriks, M.M.W.B., 2001. Effect of application technique, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Sciences* 49 (4), 323-342.

- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., Vermeulen, G.D., 2003. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. *Atmospheric Environment* 37(26), 3669-3680.
- Jordan-Meille, L., Higgins, S., Dittert, K., Cugnon, T., Quemada, M., Wall, D., Bechini, L., Marx, S., Oenema, O., Reijneveld, A., Liebisch, F., Diedhiou, K., Degan, F., Denoroy, P., 2023. Comparison of nitrogen fertiliser recommendations in different West European countries. *Proceedings 868, the International Fertiliser Society (IFS)*, 32 p.
- Klages, S., Heidecke, C., Osterburg, B., Bailey, J., Calciu, I., Casey, C., Dalgaard, T., Frick, H., Glavan, M., D'Haene, K., Hofman, G., Leitao, I. A., Surdyk, N., Verloop, K., Velthof, G., 2020. Nitrogen Surplus - A Unified Indicator for Water Pollution in Europe? *Water* 12 (4), 24 blz.
- Lalor, S.T.J., Schröder, J.J., Lantinga, E.A., Oenema, O., Kirwan, L., Schulte, R.P.O., 2011. Nitrogen fertilizer replacement value of cattle slurry in grassland as affected by method and timing of application. *Journal of Environmental Quality* 40, 362-373.
- Leroy, 2008. Soil food web, C and N transformations and soil structure: interactions and feedback mechanisms as a function of the quality of exogenous organic matter. *Doctoraat, UGent*, 246 p.
- Löw, P., Osterburg, B., Klages, S., 2021. Comparison of regulatory approaches for determining application limits for nitrogen fertilizer use in Germany. *Environmental Research Letters* 16, 055009.
- Martens, S., Elsen, A., Bries, J., 2022. Onderzoek naar de bemestings- en bodemverbeterende waarde van gft-compost via een meerjarige proef op akkerland. *Verslag aardappelen - Resultaten 2021*, 33 p.
- Neeteson, J.J., Whitmore, A.P., 1999. Sustainable nitrogen management in intensive vegetable production. *Acta Horticulturae* 506, 1-9.
- Nevens, F., Reheul, D., 2003. The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: nitrogen availability and use. *European Journal of Agronomy* 19, 189-203.
- Nevens, F., Reheul, D., 2005. Agronomical and environmental evaluation of a long-term experiment with cattle slurry and supplemental inorganic N applications in silage maize. *European Journal of Agronomy* 22, 349-361.
- Odeurs, W., Bries, J., 2021. Compost ook voor wintertarwe. *Graanbericht Nr. 2021.G.01, Landbouwcentrum Granen Vlaanderen (LCG)*, 5 p.
- Ovinge, J., 2008. Biogas Flevoland 2005-2008. *Eindrapport. Agro Milieu Coöperatie voor Boer & Bodem (AMCBB)*, 53 p.
- Prasad, M., 2009. A literature review on the availability of nitrogen from compost in relation to the Nitrate Regulations SI 378 of 2006. *Environmental Protection Agency, Wexford*, 42 p.
- Petersen, J., Sørensen, P., 2008. Fertilizer value of nitrogen in animal manures – Basis for determination of a legal substitution rate (in Deens met Engelse samenvatting). *Gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning – Grundlag for fastlæggelse af substitutionskrav. DJF Rapport Markbrug nr 138, Aarhus University*, 111 p.
- Schils, R., Schröder, J., Velthof, G., 2020. Fertilizer Replacement Value: Linking Organic Residues to Mineral Fertilizers. In: Meers, E., Velthof, G., Michels, E., Rietra, R. (Eds.), *Biorefinery of Inorganics: Recovering Mineral Nutrients from Biomass and Organic Waste, John Wiley and Sons*, 189-214.
- Schröder, J., Sørensen, P., 2011. Role of mineral fertilisers in optimising the use efficiency of manure and land. *Proceedings International Fertiliser Society* 701, 20 p.
- Schröder, J.J., van Dijk, W., 2019. Stikstofwerking van organische meststoffen en hun relatie met gebruiksnormen. *Wageningen Research, WUR, Rapport WPR-916*, 44 p.
- Schröder, J.J., Jansen, A.G., Hilhorst, G.J., 2001. Lange-termijn effect van een krappe bemesting bij snijmaïs. *Rapport 37, Plant Research International (PRI)*, 40 p.

- Schröder, J.J., Jansen, A.G., Hilhorst, G.J., 2005a. Long term nitrogen fertilizer value of cattle slurry. *Soil Use and Management* 21, 196-204.
- Schröder, J.J., van Schooten, H., Bruinenberg, M., van Dijk, W., 2005b. De stikstofwerkingscoëfficiënt van organische mest op maïsland. *Plant Research International (PRI)*, 20 p.
- Schröder, J.J., Uenk, D., Hilhorst, G.J., 2007a. Bemestingswaarde en milieu-effecten als functie van de verhouding van minerale en organische N-verbindingen in mest. Mestkwaliteitsproef De Marke 2002-2006. Rapport 159, *Plant Research International (PRI)*, 134 p.
- Schröder, J.J., Uenk, D., Hilhorst, G.J., 2007b. Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant and Soil* 299, 83-99.
- Schröder, J.J., van Middelkoop, J.C., van Dijk, W., Velthof, G.L., 2008. Quick scan Stikstofwerking van dierlijke mest. Actualisering van kennis en de mogelijke gevolgen van aangepaste forfaits. *Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 85*, 55 p.
- Schröder, J.J., Assinck, F.B.T., Uenk, D., Velthof, G.L., 2010. Nitrate leaching from cut grassland as affected by the substitution of slurry with nitrogen mineral fertilizer on two soil types. *Grass and Forage Science* 65, 49-57.
- Schröder, J.J., de Visser, W., Assinck, F.B.T., Velthof, G.L., 2013. Effects of short-term nitrogen supply from livestock manures and cover crops on silage maize production and nitrate leaching. *Soil Use and Management*, 29, 151-160.
- Sigurnjak, I., De Waele, J., Michels, E., Tack, F.M.G., Meers, E., De Neve, S. 2017a. Nitrogen release and mineralization potential of derivatives from nutrient recovery processes as substitutes for fossil fuel based nitrogen fertilizers. *Soil Use and Management* 33, 437-446.
- Sigurnjak, I., Michels, E., Crappé, S., Buysens, S., Biswas, J.K., Tack, F.M.G., De Neve, S., Meers, E. 2017b. Does acidification increase the nitrogen fertilizer replacement value of bio-based fertilizers in *Lactuca sativa* L. cultivation? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 180, 800-810.
- Sluijsmans, C.M.J., Kolenbrander, G.J., 1977. The significance of animal manure as a source of nitrogen in soils. *Proceedings van "International Seminar on Soil, Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture"*. The Society of the Science of Soil and Manure, Tokyo, p. 403-411.
- Sørensen, P., Weisbjerg M.R., Lund, P., 2003. Dietary effects on the composition and plant utilization of nitrogen in dairy cattle manure. *Journal of Agricultural Science* 141, 79-91.
- Sradnick, A., Feller, C.A., 2020. Typological concept to predict the nitrogen release from organic fertilizers in farming systems. *Agronomy* 10, 1448.
- Thomsen, I.K., 2005. Crop N utilization and leaching losses as affected by time and method of application of farmyard manure. *European Journal of Agronomy* 22, 1-9.
- Thorn, C.E., Nolan, S., Lee, C.S., Friel, R., O'Flaherty, V., 2022. Novel slurry additive reduces gaseous emissions during storage thereby improving renewable energy and fertiliser potential. *Journal of Cleaner Production* 358, 132004.
- Tits, M., Coussement, T., Nuyttens, D., Amery, F., Foqué, D., Elsen, F., 2018. Bemestingsvrije stroken langs waterlopen. Eindrapport, Bijlage 5: Inventarisatie & omschrijving bemestingstechnieken. Studie uitgevoerd in opdracht van Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 69-140.
- Tzilivakis, J., Warner, D.J., Green, A., Lewis, K.A., 2021. A broad-scale spatial analysis of the environmental benefits of fertiliser closed periods implemented under the Nitrates Directive in Europe. *Journal of Environmental Management* 299, 113674.

- van der Weerden, T.J., Noble, A., de Klein, C.A.M., Hutchings, N., Thorman, R.E., Alfaro, M.A., Amon, B., Beltran, I., Grace, P., Hassouna, M., Krol, D.J., Leytem, A.B., Salazar, F., Velthof, G.L., 2021. Ammonia and nitrous oxide emission factors for excreta deposited by livestock and land-applied manure. *Journal of Environmental Quality* 50, 1005-1023.
- van Dijk, W., Conijn, J.G., Huijsmans, J.F.M., van Middelkoop, J.C., Zwart, K.B., 2004. Onderbouwing van N-werkingscoëfficiënt organische mest. Studie t.b.v. onderbouwing gebruiksnormen. PPO 337, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO), 63 p.
- van Dijk, W., van Dam, A.M., van Middelkoop, J.C., de Ruijter, F.J., Zwart, K.B., 2005. Advies voor protocol voor het vaststellen van N-werkingscoëfficiënten van organische meststoffen. PPO 349, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO), 26 p.
- van Eekeren, N., de Boer, H., Bloem, J., Schouten, T., Rutgers, M., de Goede, R., Brussaard, L., 2009. Soil biological quality of grassland fertilized with adjusted cattle manure slurries in comparison with organic and inorganic fertilizers. *Biology and Fertility of Soils* 45, 595-608.
- van Groenigen, J.W., Zwart, K.B., 2007. Koolstof en stikstof mineralisatie van verschillende soorten compost : een laboratoriumstudie. Alterra-rapport 1503, Alterra, 28 p.
- Vanden Nest, T., 2010. Compost in de land- & tuinbouw. Thesis, UGent, 152 p.
- Vanden Nest, T., Vandaele, E., Lebeuf, V., Snauwaert, E., Vanden Auwele, W., Willekens, K., Van Waes, C., Vandecasteele, B., 2015a. De compostering van dikke fractie van digestaat. Het composteringsproces en karakterisering van de eindproducten. 83 p.
- Vanden Nest, T., Vandaele, E., Vanden Auwele, W., De Vlieghe, A., Van Waes, C., Vandecasteele, B., 2015b. The fertilizer replacement value of processed digestate products. Book of abstracts, ManuResources, 2 p.
- Vandenberghe, C., Deneufbourg, M., Benoît, J., Detoffoli, M., Lambert, R., Marcoen, J.M., 2008. Révision de la fiche 'fertilisation' élaborée par Nitrawal. Dossier GRENeRA 08-06, 87 p.
- Velthof, G.L., Rietra, R.P.J.J., 2019. Nitrogen use efficiency and gaseous nitrogen losses from the concentrated liquid fraction of pig slurries. *International Journal of Agronomy*, 9283106.
- Verloop, J., Oenema, J., Sebek, L.B.J., 2007. Mineralen goed geregeld: verslag. Themadag melkveehouderij 2006. Rapport 40, Plant Research International (PRI), 140 p.
- Vlaco, 2016. Karakterisatie eindproducten van biologische verwerking. Vlaco, 18 p.
- Vlaco, 2023. Gemiddelde samenstelling van Vlaco-compost. <https://vlaco.be/compost-gebruiken/wat-is-compost/gemiddelde-samenstelling-van-vlaco-compost>
- VMM, 2022. Nutriënten in oppervlaktewater en grondwater in landbouwgebied. Resultaten 2021-2022. Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 45 p.
- Webb, J., Sorensen, P., Velthof, G.L., Ramon, B., Pinto, M., Rodhe, L., Salomon, E., Hutchins, N., Burczyk, P., Reid, J., 2011. Study on variation of manure n efficiency throughout Europe. AEA Technology plc, Didcot, 114 p.

BIJLAGE 1

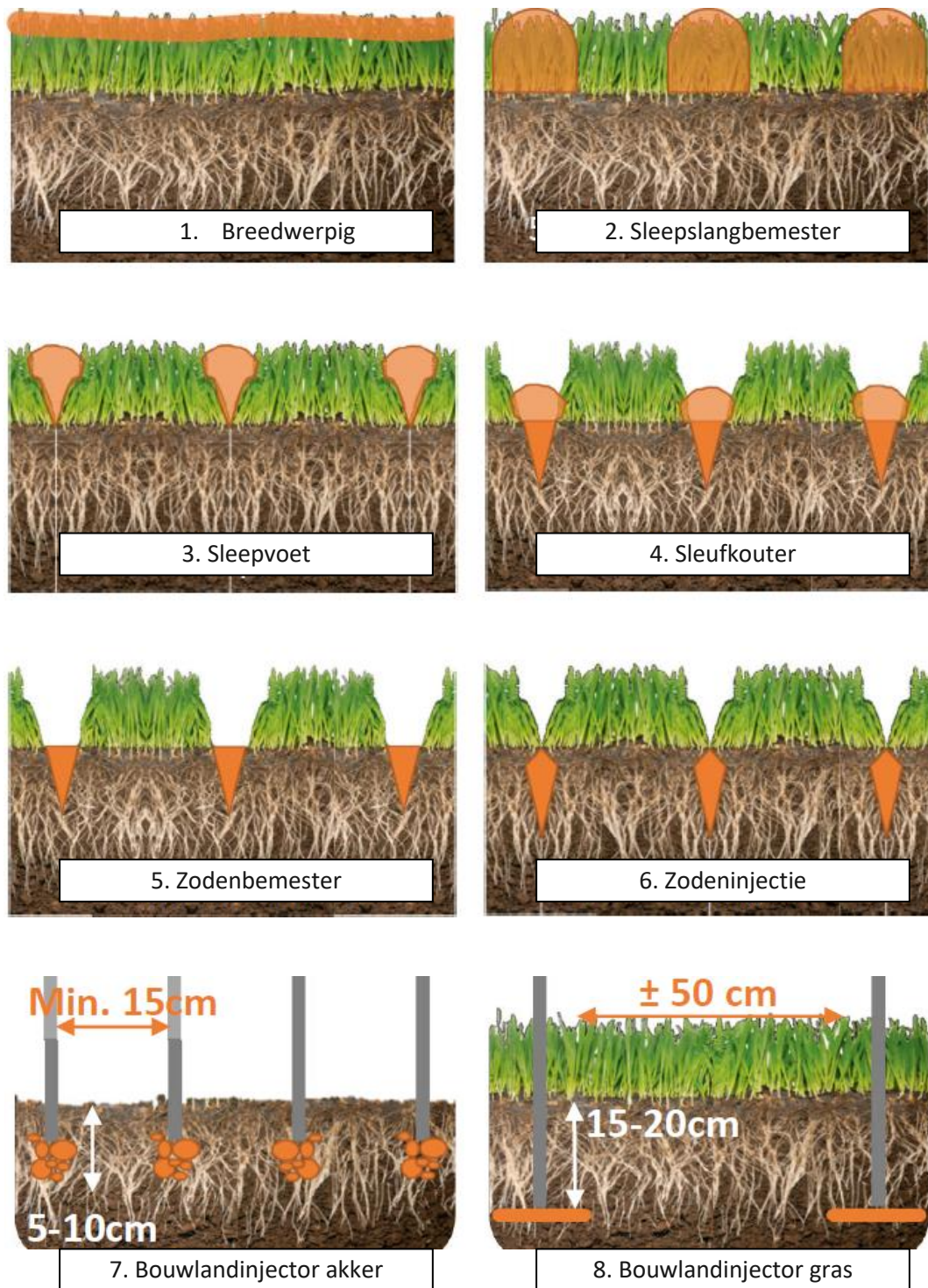
VERSCHILLENDE TOEDIENINGSMETHODES

In Vlaanderen worden er verschillende systemen gebruikt om vloeibare organische meststoffen toe te dienen (Figuur 9) (Tits *et al.*, 2018):

1. De traditionele techniek voor mestaanwending is breedwerpig (“broadcasting” of “splash plates”) uitspreiden waarbij onbehandelde vloeibare mest breed wordt uitgespreid over het grondoppervlak. De mengmest kan daarna op het oppervlak blijven of ondergewerkt worden. In Vlaanderen is het verplicht om de mengmest binnen de 2 uur na spreiding onder te werken om ammoniakale verliezen te beperken.
2. Met een sleepslangtechniek (“trailing hose”, “dribble bar” of “band application”) wordt een vorm van bandapplicatie toegepast waarbij vloeibare mest in smalle stroken op de bodem of het grasland wordt aangebracht. De mest wordt gelost op of juist boven de grond via een reeks distributieslangen.
3. De sleepvoettechniek (“trailing shoe” of “ narrow band application”) is een vorm van bandapplicatie. Door de aanwezigheid van ‘voeten’ aan het uiteinde van de distributieslangen wordt de mest in smalle stroken (max. 5 cm breed) direct op de bodem aangebracht, terwijl het gewas opzij gedrukt of opgelicht wordt.
4. Met de sleufkouter wordt de mengmest in open, ondiepe sleuven (max. 3 cm) in de bodem gebracht (open slot) en komt een deel van de mengmest op en naast de open sleuf terecht.
5. Met de zodenbemester (“disc injector”) wordt de mengmest in door schijfwielen gemaakte open, ondiepe sleuven (4 tot 8 cm) in de bodem gebracht (open slot) maar komt de mengmest niet op en naast de open sleuf terecht.
6. Bij de zodeninjector wordt de mengmest in open, ondiepe sleuven in de bodem gebracht en wordt de sleuf na injectie met een wiel dichtgedrukt (gesloten slot).
7. Bij de bouwlandinjector in akkerland (“harrow tine injector”) wordt mengmest via injectietanden tot een diepte van 5 tot 10 cm in de bodem gebracht. Dit gebeurt meestal met een cultivator met vaste of verende tanden.
8. Bij de bouwlandinjector in grasland wordt de mengmest via ganzenvoeten aan injectietanden diep in de bodem gebracht (15-20 cm). Na toedienen worden de sleuven volledig toegedrukt. Deze techniek wordt niet meer toegepast want ze vraagt veel vermogen van de trekker, er is veel gewasschade en de diepe plaatsing van de mest verkleint de kans voor opname door de plant en vergroot het risico op nitraatuitloging naar grond- en oppervlaktewater. De vervangers van de bouwlandinjector zijn de zodenbemester en -injector.

In de literatuur wordt vaak niet in detail vermeld welke machine (4 tot 8) gebruikt werd om mengmest in te bodem te injecteren.

Een enquête bij Vlaamse landbouwers en loonwerkers toonde aan dat binnen het wagenpark van machines om mengmest te verspreiden het belangrijkste aandeel bestond uit machines om mengmest breedwerpig te verspreiden gevolgd door sleufkouters / injectoren / zodeninjector. Sleepvoet- en sleepslangbemester hadden de laagste en tweede laagste percentage machines binnen het wagenpark (Tits *et al.*, 2018).



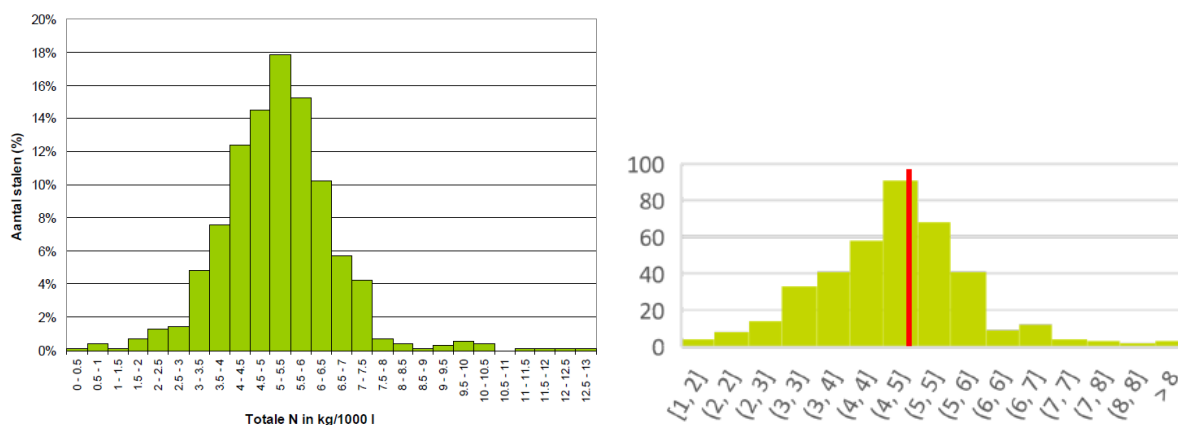
Figuur 9: Verschillende systemen om vloeibare organische meststoffen toe te dienen (Bron: Tits *et al.*, 2018)

BIJLAGE 2

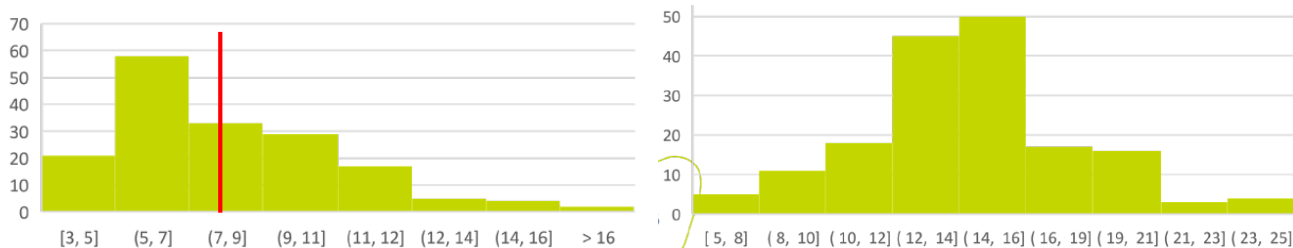
Tabel 10: Variatie van de minerale en totale stikstofconcentratie in enkele vloeibare en vaste organische meststoffen (stalen 2005 - 2007 Bodemkundige Dienst van België) (Bron: Coppens, 2009b)

		Gemiddeld	Stdev	VC	Q1 (25%)	Q2 (50%)	Q3 (75%)
<i>Minerale stikstof (N_m)</i>							
Rundermest	kg (1000 L) ⁻¹	2.9	0.9	31%	2.3	2.9	3.4
Vleesvarkensmest	kg (1000 L) ⁻¹	5.6	2.0	36%	4.3	5.4	6.7
Runderstalmest	kg (1000 kg) ⁻¹	2.7	1.3	48%	1.8	2.6	3.5
Braadkippenmest	kg (1000 kg) ⁻¹	6.2	2.4	39%	4.6	5.9	7.4
Leghennenmest (DS < 50%)	kg (1000 kg) ⁻¹	4.8	1.8	38%	3.6	4.6	5.4
Leghennenmest (DS ≥ 50%)	kg (1000 kg) ⁻¹	4.6	2.2	48%	3.1	4.2	6.0
<i>Totale stikstof (N_{tot})</i>							
Rundermest	kg (1000 L) ⁻¹	5.2	1.4	27%	4.4	5.2	6.0
Vleesvarkensmest	kg (1000 L) ⁻¹	9.6	3.0	31%	7.5	9.5	11.6
Runderstalmest	kg (1000 kg) ⁻¹	8.5	2.8	33%	6.7	8.0	9.7
Braadkippenmest	kg (1000 kg) ⁻¹	29.5	7.6	26%	24.3	28.5	34.0
Leghennenmest (DS < 50%)	kg (1000 kg) ⁻¹	20.2	5.0	25%	16.4	20.0	23.7
Leghennenmest (DS ≥ 50%)	kg (1000 kg) ⁻¹	29.3	7.6	26%	24.1	28.6	34.0

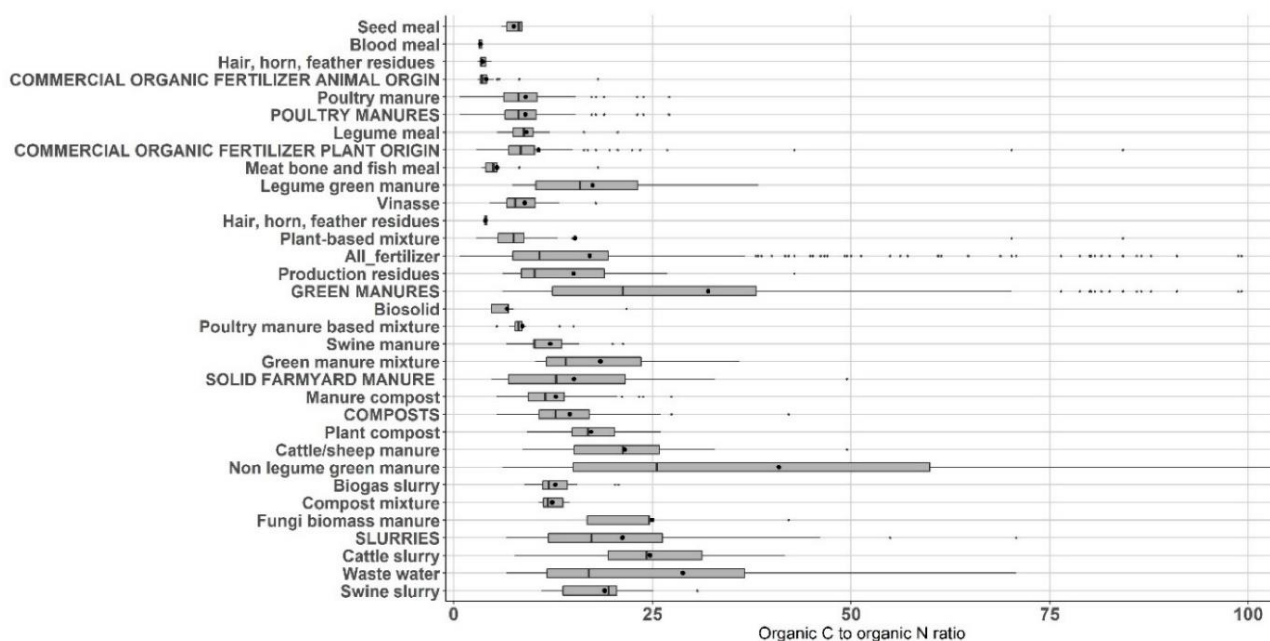
Stdev: standaarddeviatie; VC: variatiecoëfficiënt (= gemiddelde / standaarddeviatie); Q1: 25% van de waarden bevindt zich onder de grenswaarde; Q2: middelste waarde of mediaan; Q3= 75% van de waarden bevindt zich onder de grenswaarde; DS: drogestof



Figuur 10: Variatie van de stikstof- (N) concentratie in rundermest (kg (1000 L)⁻¹) (de rode verticale lijn heeft de forfaitaire waarde) (links stalen 2005 - 2007 Bodemkundige Dienst van België - Bron: Coppens, 2009b & rechts stalen Inagro – Bron: Van Nevel, 2019)



Figuur 11: Variatie aan stikstofconcentratie (kg N (1000 kg⁻¹)) (de rode verticale lijn heeft de forfaitaire waarde) (links) en koolstof- : stikstofverhouding (rechts) in runderstalmest (Inagro) (Bron: Van Nevel, 2019)

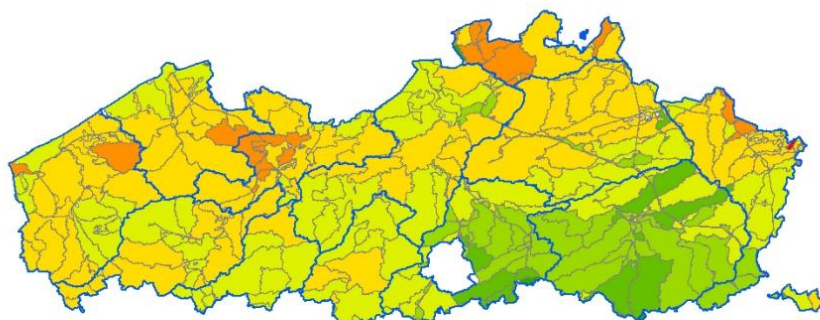


Figuur 12: Boxplots van de koolstof- : stikstofverhouding van organische meststoffen gebruikt in incubatie-experimenten (Bron: Sradnick & Feller, 2020)

BIJLAGE 3

Evaluatie
mestbeleid

Gebruik van dierlijke mest (kg N/ha) per afstroomzone in 2016

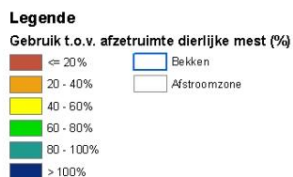
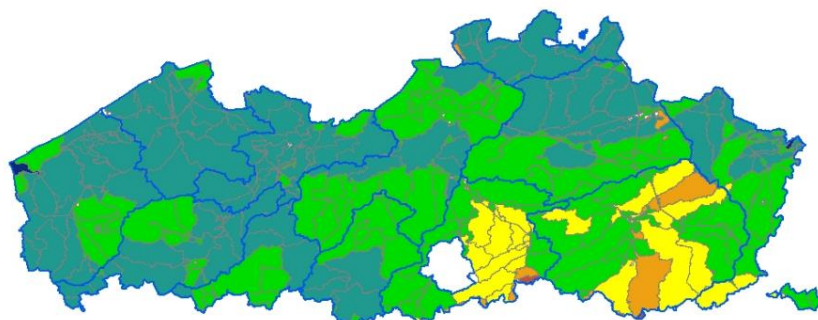


Vlaamse Landmaatschappij, september 2018

In 2016 was de gemiddelde N-bemestingshoeveelheid via dierlijke mest 137 kg N ha⁻¹ (Anonymus, 2017a).

Evaluatie
mestbeleid

Verhouding van het gebruik van dierlijke mest t.o.v. de afzetruimte voor dierlijke mest (%) per afstroomzone in 2016



Vlaamse Landmaatschappij, september 2018

Figuur 13: Gebruik van dierlijke mest per afstroomzone (kg stikstof (N) ha⁻¹) (boven) en verhouding van het gebruik van dierlijke mest en de afzetruimte voor dierlijke mest per afstroomzone (onder) in 2016 (Bron: Anonymus, 2019)