



# Emissiearme mesttoediening

Ammoniakemissie, mestbenutting en nevenaspecten

J.F.M. Huijsmans, J.J. Schröder, G.D. Vermeulen, R.G.M. de Goede,  
D. Kleijn & W.A. Teunissen







# Emissiearme mesttoediening

## Ammoniakemissie, mestbenutting en nevenaspecten

J.F.M. Huijsmans<sup>1</sup>, J.J. Schröder<sup>1</sup>, G.D. Vermeulen<sup>1</sup>, R.G.M. de Goede<sup>2</sup>,  
D. Kleijn<sup>3</sup> & W.A. Teunissen<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Plant Research International, Plant Sciences Group, Wageningen University and Research Centre

<sup>2</sup> Soil Quality Department, Environmental Sciences Group, Wageningen University and Research Centre

<sup>3</sup> Alterra, Environmental Sciences Group, Wageningen University and Research Centre

<sup>4</sup> SOVON, Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen

© 2008 Wageningen, Plant Research International B.V.

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



## **Plant Research International B.V.**

Adres : Droeendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 – 48 60 01  
Fax : 0317 – 41 80 94  
E-mail : [info.pri@wur.nl](mailto:info.pri@wur.nl)  
Internet : [www.pri.wur.nl](http://www.pri.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
1. Inleiding	1
2. Mesttoediening, ammoniakemissie en mestbenutting	5
2.1 Mesttoediening	5
2.2 Ammoniakemissie	7
2.3 Mestbenutting	8
2.4 Conclusie	11
3. Gewasbeschadiging en bodemstructuur	15
3.1 Machines voor BMT en EMT	15
3.2 Effecten op grasland	18
3.3 Effecten op bouwland	21
3.4 Conclusie	24
4. Bodemleven	27
4.1 Biodiversiteit en bodemecosysteemfuncties	27
4.2 Effecten op bodemorganismen	29
4.2.1 Regenwormen	29
4.2.2 Overige bodemorganismen	32
4.3 Conclusie	33
5. Weidevogels	35
5.1 Weidevogels in Nederland	35
5.1.1 Aantalontwikkeling	35
5.1.2 Verspreiding	38
5.2 Effecten agrarisch landgebruik	40
5.2.1 Vervroeging eilegdatum en maaidatum	40
5.2.2 Legselaanbod en agrarische activiteit	40
5.2.3 Directe effecten van bemesting	44
5.3 Indirecte effecten mesttoediening op weidevogels	47
5.3.1 Voedselbeschikbaarheid voor volwassen weidevogels	47
5.3.2 Effecten op de voedselbeschikbaarheid van weidevogelkuijken	48
5.4 Conclusie	50
6. Discussie	55
7. Conclusies	61
Samenvatting	63
Summary	65



# 1. Inleiding

Dierlijke mest bevat stikstof (N) in organische vorm en in de vorm van ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ). Dierlijke mest van pluimvee bevat bovendien ureumachtige verbindingen die snel in ammonium kunnen worden omgezet. Ammonium kan gemakkelijk worden omgezet in vluchtige ammoniak ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ). Het uitrijden van dierlijke mest op landbouwgrond kan dan ook gepaard gaan met de emissie van ammoniak naar de lucht. Tal van factoren bepalen deze emissie waaronder het deel van de N-gift dat in de vorm van  $\text{NH}_4\text{-N}$  gegeven is (Huijsmans, 2003). Dit zogenaamde TAN (total ammoniacal nitrogen) aandeel varieert van 5% (vaste storrijke mest) tot 60% (varkensdrijfmest). Het overgrote deel van de mest in Nederland is vloeibaar met een TAN aandeel van ca. 50%. In het dagelijks gebruik heten deze mesten drijfmest. In deze rapportage wordt alleen gekeken naar de vloeibare mest tenzij anders vermeld.

Ammoniak afkomstig uit dierlijke mest is in Nederland een belangrijke bron van milieuvuiling door ammoniak. Een belangrijk doel van het Nederlandse en Europese milieubeleid is het terugdringen van de ammoniakemissie bij het uitrijden van mest. Emissiearme mesttoedieningstechnieken (EMT) hebben als oogmerk ammoniakverliezen naar de atmosfeer te beperken. Dergelijke verliezen leiden namelijk tot ammoniakdepositie in natuurgebieden. Dit is ongewenst omdat sommige plant- en diersoorten zich niet kunnen handhaven in milieus die rijk zijn aan stikstof (N). Op landbouwbedrijven geeft het verlies van ammoniak bovendien een vermindering van de hoeveelheid voor gewassen beschikbare N. Dit betekent dat meer (kunst)mest-N moet worden gebruikt om dezelfde hoeveelheid voer of voedsel te produceren, meer voer of voedsel van buiten moet worden aangekocht, ofwel meer land in gebruik moet worden genomen of gehouden.

Midden jaren '80 van de vorige eeuw is het Nederlands onderzoek naar mogelijkheden voor emissiebeperking bij het uitrijden van mest gestart. Ook werd een studie uitgevoerd naar de mogelijke effecten van emissiearme mesttoediening op de weidevogelstand (Korevaar *et al.*, 1991). De aankondiging van verplichte emissiearme mesttoediening namelijk gepaard met de invoering van een uitrijverbod voor mest gedurende de wintermaanden op grasland en zandbouwland. Door het ministerie van LNV en het bedrijfsleven werden methoden geselecteerd die nader onderzoek behoefden (Mulder & Huijsmans, 1994). Midden jaren '90 zijn verschillende emissiearme mesttoedieningstechnieken geïntroduceerd en via regelgeving verplicht gesteld om toe te passen.

Het huidige beleid voor EMT bestaat inmiddels meer dan 10 jaar. Binnen de raamwerken van het Nederlandse beleid wordt ingestelde regelgeving van tijd tot tijd geëvalueerd. In 2008 vindt een algehele evaluatie van EMT plaats door het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) in opdracht van het ministerie van LNV. Daarbij worden naast ammoniakemissie ook mestbenutting, overige emissies en nevenaspecten van EMT meegenomen. Om een inhoudelijk beeld van de verschillende aspecten van EMT te hebben is in opdracht van LNV een studie uitgevoerd. Het doel van deze studie is om voor de verschillende aspecten EMT te vergelijken met bovengronds breedwerpig mesttoediening (BMT) op basis van bestaande rapporten en publicaties. Dit rapport behandelt die aspecten in de vorm van een onderlinge vergelijking van EMT en BMT. Te onderscheiden aspecten zijn: de gevolgen van EMT voor de hoeveelheid voor gewassen beschikbare N (directe effecten), het EMT effect op de N benutting door gewassen (indirecte effecten) en de effecten van EMT op de emissie van andere stoffen dan ammoniak (nitraat, lachgas). Naast deze aspecten zijn er effecten van EMT op gewasbeschadiging en bodemstructuur, weidevogels en ondergrondse biodiversiteit te verwachten. De manier van mest uitrijden (bovengronds (BMT) dan wel emissiearm (EMT)) kan verschillende consequenties hebben voor de genoemde landbouwkundige en niet-landbouwkundige aspecten. Als ergens voor geldt dat 'alles met alles te maken heeft', dan is dat wel het geval bij mesttoediening. De wijze van mesttoediening kan, via ammoniakverliezen, de beschikbare hoeveelheid N respectievelijk de groei van gewassen en hun maaidata bepalen. De aard en wijze van mesttoediening kunnen ook van invloed zijn op de hoeveelheid bodemorganismen. Voedselaanbod, maaidata en berijdingsintensiteit zijn tezamen weer verantwoordelijk voor het voortbestaan van weidevogelpopulaties. Tussen gewasgroei, ontwatering, de berijdbaarheid van een perceel en de bereikbaarheid van bodemorganismen voor vogels bestaan eveneens wisselwerkingen. De complexiteit van al deze relaties wordt geïllustreerd in Figuur 1.1. In deze rapportage zullen de effecten van BMT en EMT voor elk van de aspecten die in deze figuur centraal staan, benoemd worden.





Deze studie is gedaan op basis van beschikbare literatuur over, met name, Nederlandse onderzoeksgegevens en uitgevoerd met specialisten op de verschillende werkvelden. In hoofdstuk 2 worden de verschillende mesttoedieningstechnieken besproken en de verwachte ammoniakemissie, mestbenutting door het gewas en overige emissies. In hoofdstuk 3 worden de effecten op bodem en gewas besproken en in de hoofdstukken 4 en 5 de effecten op, respectievelijk, bodemleven en weidevogels. In hoofdstuk 6 volgt tenslotte een integrale discussie en in hoofdstuk 7 de conclusies.

## **Literatuur**

Huijsmans, J.F.M., 2003.

Manure application and ammonia volatilization. PhD thesis Wageningen University with summaries in English and Dutch, Wageningen, The Netherlands, ISBN 90-5808-937-1, pp 160.

Korevaar, H., J.F.M. Huijsmans, H.A. Boeschoten & J.H.A.M. Steenvoorden, 1991.

Weidevogelstand en ammoniakemissie-arme mesttoediening. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 12. Wageningen, Dienst Landbouwkundig Onderzoek. pp. 87.

Mulder, E.M. & J.F.M. Huijsmans, 1994.

Beperking ammoniakemissie bij mesttoediening; overzicht metingen DLO-veldmeetploeg 1990-1993. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 18. DLO, Wageningen, pp. 71.



## 2. Mesttoediening, ammoniakemissie en mestbenutting

### 2.1 Mesttoediening

Op grasland was het de gangbare methode om mest bovengronds breedwerpig toe te dienen (BMT). De mest wordt daarbij via een uitstroomopening achter de tank via een ketsplaats door de lucht verspreid op het gras (Figuur 2.1). De ammoniakemissie na BMT bleek hoog en zeer snel na het uitrijden plaats te vinden (Huijsmans, 2003).



Figuur 2.1. Bovengronds breedwerpig toedienen van mest (BMT) en de verdeling van de mest op het gras.

Maatregelen om de emissie bij het uitrijden van mest te beperken leken eind jaren 80 van de vorige eeuw eenvoudig te introduceren tegen relatief lage kosten. Mestinjectie van vloeibare mest op grasland en mest in- of onderwerken op bouwland waren voor de hand liggende methoden. Onder mestinjectie op grasland werd hier verstaan het via injectietanden met ganzenvoeten doseren van de mest onder de zode op een diepte van 15-20 cm. Door de ganzenvoeten werd de ondergrond ook horizontaal doorsneden. De injectiesleuven hadden een onderlinge afstand van 50 cm en werden met een rol dichtgedrukt (Figuur 2.2). Mestinjectie op grasland is zeer effectief voor de reductie van ammoniak (Huijsmans *et al.*, 1997). Wadman (1988) schatte echter dat slechts 33% van het grasland in Nederland geschikt was voor mestinjectie. De ongeschiktheid van deze methode op grasland werd veroorzaakt door de grote benodigde trekkracht en gewasschade langs de injectiesleuven op verschillende grondsoorten en de aanwezigheid van boomstronken in de ondergrond. Mestinjectie op grasland wordt reeds sinds het begin van de jaren '90 niet meer toegepast in Nederland.

Op grasland is BMT niet meer toegestaan. Op grasland dient de mest in sleufjes in de grond gedoseerd te worden of in strookjes op de grond, waarbij besmeuring van het gras met mest voorkomen wordt. Met een zodenbemester kan de mest in sleufjes in de grond gebracht worden en met een sleepvoetenmachine kunnen strookjes mest op de grond tussen het gras gedoseerd worden (Figuur 2.3).

De sleepvoetenmachine is destijds voor grasland ontwikkeld om ook onder moeilijker bodemomstandigheden op met name klei- en veengrond EMT te kunnen toepassen, waarbij dan een verwachte hogere emissie dan bij zodenbemesting toegestaan werd. Op grasland hoeft de mest dus niet in de grond gebracht te worden. In de loop der

jaren is een tussenvorm ontstaan tussen bemesting met een sleepvoetenmachine en zodenbemester: de sleufkoutermachine. De sleufkoutermachine werkt over het algemeen ondieper dan een zodenbemester en/of gelijkwaardig aan een sleepvoetenmachine; het uiteindelijke resultaat is afhankelijk van de bodemtoestand en/of de afstelling van de machine.



*Figuur 2.2. Injecteren van mest waarbij de mest op een diepte van 15-20 cm-mv in sleufjes met een onderlinge afstand van 50 cm wordt gedoseerd. De sleufjes worden met een rol dichtgedrukt.*



*Figuur 2.3. Met een zodenbemester (links) wordt de mest in sleufjes in de grond gebracht. Met een sleepvoetenmachine (rechts) worden strookjes mest op de grond tussen het gras gedoseerd.*

Op niet-beteeld bouwland dient de mest direct in sleufjes in de grond te worden gebracht of in maximaal twee direct opeenvolgende werkgangen op het grondoppervlak gebracht en ondergewerkt te worden. Het direct inwerken kan gedaan worden door de mest te injecteren, in te werken met een aan de mestmachine gekoppeld werktuig (Figuur 2.4) of door bovengronds toegediende mest in een tweede werkgang in te werken. Per 1 januari 2008 is het in een tweede werkgang onderwerken niet meer toegestaan. Op beteeld bouwland dient de mest in sleuven in de grond toegediend te worden of ingewerkt te worden. De mest in sleufjes in de grond brengen kan op beteeld en niet-beteeld bouwland uitgevoerd worden met een zodenbemester (Figuur 2.4).



*Figuur 2.4. Mest injecteren op niet-beteeld bouwland met een aan de mestmachine gekoppeld werktuig (links). Met een zodenbemester toedienen van mest op beteeld bouwland (rechts); de mest wordt in sleufjes in de grond gebracht.*

## 2.2 Ammoniakemissie

In de afgelopen jaren is een groot bestand met resultaten van in Nederland uitgevoerde proeven beschikbaar gekomen. Dit bestand bevat gegevens over factoren die van invloed zijn op de ammoniakemissie bij het toedienen en onderwerken van mest met verschillende technieken. De onderzoeken zijn uitgevoerd op verschillende tijdstippen in het jaar en op verschillende proefvelden, zodat gegevens onder allerlei bodem- en weersomstandigheden verkregen werden. Onderzochte factoren zijn de toedieningstechniek, de mestsamenstelling en de weers- en veldomstandigheden. De gemeten ammoniakemissies bij verschillende technieken van toedienen en onderwerken werden vergeleken met de emissie bij het conventioneel bovengronds breedwerpig verspreiden van de mest (BMT). De statistische analyse van de gegevens en de ontwikkelde modellen gaven samen belangrijke informatie over welke factoren van invloed zijn op de emissie en over de grootte van de effecten.

Op **grasland** gaven zowel mesttoediening in stroken met een sleepvoetenmachine als zodenbemesting een aanzienlijke vermindering van de emissie ten opzichte van bovengrondse breedwerpige toediening. De gemiddelde totale emissie was 74% van de ammoniakale stikstof die met de mest werd toegediend bij BMT, 26% bij mesttoediening met een sleepvoetenmachine en 16% bij zodenbemesting (Huijsmans & Vermeulen, 2008). Diverse factoren bleken van invloed op de emissie (Huijsmans *et al.*, 2001). De emissie nam toe bij een verhoging van het gehalte aan ammoniakale stikstof (TAN) in de mest, de mestgift, de windsnelheid, de instraling en de luchttemperatuur. De emissie nam daarentegen af bij een toenemende relatieve luchtvochtigheid. Welke factoren de emissie beïnvloedden, verschilde per toedieningstechniek. De grashoogte was alleen van invloed op de emissie bij de mesttoediening met een sleepvoetenmachine. Bij de analyse van de emissiefactor voor zodenbemesting op grasland werd aangetoond dat onafhankelijk van weers- en veldomstandigheden de ammoniakemissie bij deze techniek in de loop der jaren is toegenomen tot 19% (Huijsmans & Vermeulen, 2008). Een mogelijke oorzaak hiervan is het veranderde gebruik van deze techniek in de huidige praktijk.

Op **bouwland** was de gemiddelde totale emissie, uitgedrukt als percentage van de met de mest toegediende ammoniakale stikstof, 69% bij BMT, 22% bij oppervlakkig direct inwerken en 2% bij geheel direct onderwerken van de mest (Huijsmans & Vermeulen, 2008). De emissie nam toe bij een verhoging van het gehalte aan ammoniakale stikstof in de mest, de mestgift en de luchttemperatuur. Bij BMT en oppervlakkig inwerken had de windsnelheid een aanzienlijke invloed op de emissie (Huijsmans *et al.*, 2003).

De optredende ammoniakemissie is onder andere sterk afhankelijk van de weersomstandigheden vlak na de mesttoediening. Om een zuivere vergelijking tussen BMT en EMT technieken te maken zijn de technieken in een aantal onderzoeken onderling gelijktijdig vergeleken onder dezelfde bodem- en weersomstandigheden en bij gebruik van dezelfde mest. Hieruit bleek dat door toepassing van een sleepvoetenmachine en zodenbemester op grasland de ammoniakemissie met gemiddeld respectievelijk 60 en 80% wordt gereduceerd ten opzichte van de ammoniakemissie bij BMT. Op bouwland was de emissiereductie meer dan 95% bij direct diep inwerken en ca. 70% bij direct oppervlakkig inwerken ten opzichte van BMT. Op bouwland is bij onderwerken in een tweede werkgang ook de werkorganisatie van belang voor de ammoniakemissie. Als meer tijd verstrijkt tussen het toedienen en onderwerken van mest neemt de emissie toe, omdat gedurende deze tijd een deel van de ammoniak uit de toegediende mest vervluchtigt. Het onderwerken met een ploeg ('wel diep maar niet snel') hoeft dus niet altijd tot een lagere emissie te leiden dan oppervlakkig inwerken met een cultivator (Huijsmans & Mol, 1999).

De hiervoor besproken resultaten van Nederlands onderzoek komen goed overeen met bevindingen elders in Europa (Sommer & Hutchings, 2001; Søgaard *et al.*, 2002; Webb *et al.*, 2005; Huijsmans *et al.*, 2007).

Door het komende verbod om vloeibare mest in het najaar op kleibouwland toe te dienen is met name mesttoediening in een graangewas in opkomst. Bij de toepassing van mesttoediening in sleuven in de grond in het graangewas is de verwachte ammoniakemissie ca. 25% (Huijsmans *et al.*, 2002; Huijsmans & Dekker, 2003; Huijsmans & Hol, 2001, 2008a). Bij mesttoediening en inwerken in een aardappelpgewas worden vergelijkbare emissies verwacht als bij inwerken op niet-beteeld bouwland (Huijsmans & Hol, 2008b).

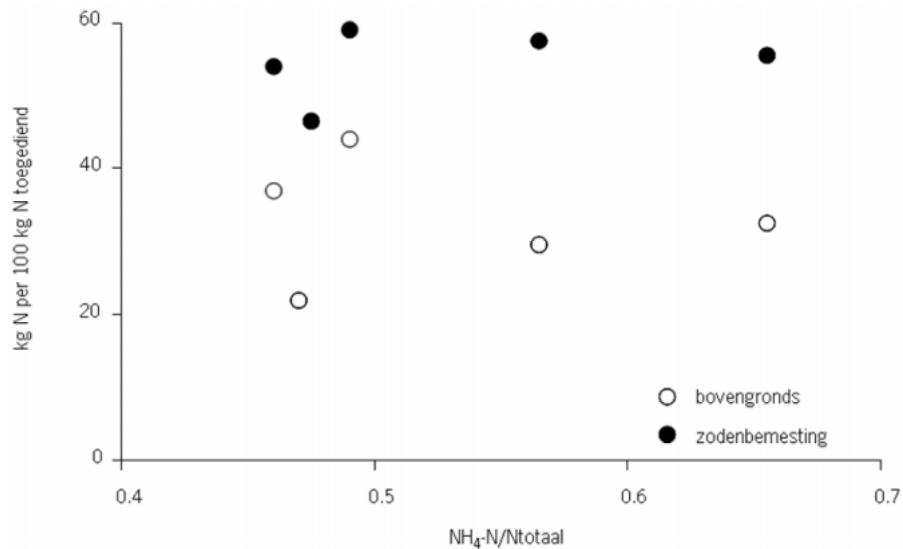
## 2.3 Mestbenutting

In theorie is het denkbaar dat EMT ammoniakverliezen beperken, maar dat de mest daartoe vervolgens zo diep in de bodem wordt geplaatst dat de wortels er niet of niet tijdig bij kunnen komen. De mogelijkheid om op (kunst)mest-N te besparen zou daarmee teniet worden gedaan en EMT zouden in dat geval tot een verhoogde N-uitspoeling leiden. EMT verbetert de N-benutting in dat geval niet. Diepe plaatsing zou ook een negatief effect kunnen hebben op de beschikbaarheid van fosfaat uit mest. In het onderstaande wordt op de genoemde aspecten ingegaan.

### *Grasland*

Bij de aanvankelijk gebruikte EMT op grasland (diepe mestinjectie, 15-20 cm) was de kans op een minder goede afstemming tussen mestaanbod en wortels relatief groot. Deze wijze van mestinjectie was bij de invoering van de EMT regelgeving al volledig vervangen door ondieper werkende zodenbemers (0-5 cm). Het ammoniakverlies (% van de hoeveelheid toegediende totaal-ammonium-N (TAN)) is bij deze apparatuur iets hoger dan bij de aanvankelijk gebruikte mestinjectie (Huijsmans *et al.*, 1997). Recente proeven in grasland bevestigen desondanks opnieuw dat de N-werking van mest die met EMT is toegediend hoger is dan van bovengronds uitgereden mest (Figuur 2.5). De N-werking bij zodenbemesting was in bovenstaande proeven globaal 20% hoger (range 15%-28%) dan de N-werking van bovengronds breedwerpig uitgereden mest. Dit komt goed overeen met de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek, zeker als in aanmerking genomen wordt dat het vroegere onderzoek meer op injectie dan op zodenbemesting gericht was (Wouters *et al.*, 1994). Het gevonden verschil in N-werking tussen BMT en EMT is op zijn minst deels toe te schrijven aan het verlies van ammoniak-N en de als gevolg daarvan verminderde beschikbaarheid van N. Dat betekent dat er bij het bovengronds breedwerpig uitrijden van 100 kg mest-N per ha, per ha 20 kg meer N als ammoniak verloren kan zijn gegaan dan bij toediening van eenzelfde hoeveelheid mest via zodenbemesting. Daarbij zij wel opgemerkt dat de uiteindelijke ammoniakemissie niet alleen afhangt van de gebruikte toedieningstechniek, maar ook van de weersomstandigheden, de mestgift en meer in het bijzonder de hoeveelheid uitgereden ammonium-N (TAN). Uit onderzoek van Huijsmans (2003) is immers gebleken dat ammoniakverliezen uit mest beter verklaard kunnen worden vanuit de hoeveelheid toegediende TAN dan vanuit de hoeveelheid toegediende

N-totaal (zie vorige paragraaf). Mestbenuttingsonderzoek bij toepassing van een sleepvoetenmachine is nauwelijks voorhanden, behoudens een beperkt onderzoek op veengrond in de zomer. Daarbij zijn N-werkingen gevonden van 12% en 49% bij, respectievelijk, bovengrondse toediening en mesttoediening met een sleepvoetenmachine (Wouters *et al.*, 1994).



*Figuur 2.5. Eerstejaars N-werking (kunstmest-N besparing afgemeten aan het effect op de drogestof- en de N-opbrengst) van drijfmest op zandgrasland in 14 proeven, als functie van toedieningstechniek (bovengronds en zodenbemesting) en het TAN-aandeel (NH<sub>4</sub>-N/Ntotaal) in de mest (Schils & Kok, 2003; Geurink & Van der Meer, 1995; Schröder *et al.*, 2007).*

Dat EMT per saldo een gunstig effect op de beschikbaarheid van N heeft is evident. Hoewel goede vergelijkende proeven niet beschikbaar zijn, wordt door de Commissie Bemestingsadvies Grasland en Voedergewassen veiligheidshalve aangenomen dat de beschikbaarheid van fosfaat uit dierlijke mest voor de eerste snede, bij EMT iets geringer is dan bij BMT. Fosfaat uit mest wordt geacht voor 50, 75 en 100% beschikbaar te zijn voor de eerste snede bij, respectievelijk, zodenbemesting, sleepvoet en bovengrondse toediening. Over het gehele seizoen bezien is de beschikbaarheid echter voor alle technieken 100% (Wouters *et al.*, 1994).

#### *Bouwland*

De plaatsingsdiepte op bouwland hangt af van de wijze van grondbewerking. Als de EMT gevolgd wordt door een kerende grondbewerking moet de injectie voldoende diep plaatsvinden om de mest, na die bewerking, bovenin de bouwvoor te krijgen. Als de EMT na de kerende grondbewerking plaatsvindt, is een goede afstemming tussen mest-aanbod en wortels vanzelfsprekend juist gediend met een zo ondiep mogelijke toediening. Met bouwlandinjecteurs kunnen bovenvermelde inwerkdiepten goed worden ingesteld. In een aantal gevallen is de EMT op zichzelf al een grondbewerking.

Evenals bij grasland verhogen EMT ook op bouwland de beschikbaarheid van N. Anders dan bij grasland is bij bouwland aangetoond dat EMT de beschikbaarheid van fosfaat in mest kan verhogen. Door EMT kan de mest namelijk als rijenbemesting nabij de voorziene gewasrijen worden toegediend. Door een dergelijke plaatsing van mest blijkt bij, bijvoorbeeld, snijmaïs van een kunstmestrijenbemesting te kunnen worden afgezien (Schröder, 2005). Daaraan kan nog worden toegevoegd dat als na BMT veel regen volgt, een deel van de nutriënten, waaronder fosfaat en ammonium, als gevolg van afspoeling naar nabij oppervlaktewater, niet langer voor het gewas beschikbaar is.

Tabel 2.1 vat samen welke consequenties de toedieningstechnieken hebben voor de berekende N-werking van mest op grasland en bouwland. Daarbij is uitgegaan van een gemiddelde samenstelling en gemiddelde emissies zoals

vastgesteld in de dataset besproken in paragraaf 2.2. De berekening vertrekt vanuit de veronderstelling dat mest bestaat uit ammoniakale stikstof, uit organisch gebonden N die binnen 12 maanden na toediening vrijkomt en uit organische N die in de maanden nadien vrijkomt. De twee eerstgenoemde fracties bepalen de eerstejaars N-werking. Bij de ammoniakale N fractie hangt de werking af van het tijdstip van toediening en het gebruikte werktuig, bij de organische gebonden N hangt de werking af van het tijdstip van toediening en de duur van het groeiseizoen (Van Dijk *et al.*, 2004 en 2005; Schröder *et al.*, 2007). Uit de berekening blijkt dat de N-werking bij BMT op bouwland circa 40 kg N en op grasland circa 30 kg N minder is per 100 kg mest-N toegediend dan wanneer diezelfde mest via EMT wordt toegediend. Het aldus berekende verschil bij grasland is iets groter dan het verschil dat zich laat afleiden uit de verschillen in gewasopbrengst bij recent uitgevoerde proeven (Figuur 2.5). Dit kan een gevolg zijn van het feit dat het om verschillende proeven gaat en dus ook omstandigheden verschillend hebben waardoor, bijvoorbeeld, in de recent uitgevoerde proeven een deel van het vermeden ammoniakverlies teniet kan zijn gedaan door vergrote denitrificatieverliezen, of dat bij gebruik van EMT de voor gewas beschikbare N in die proeven iets minder effectief in opbrengst is omgezet dan in andere proeven. Omgekeerd is het ook mogelijk dat mest die in de proeven via BMT is toegediend als gevolg van toevallige omstandigheden wat beter heeft gewerkt.

*Tabel 2.1. Indicatieve berekende eerstejaars N-werking (kunstmest-N besparing, in kg N per 100 kg N toegediend) van rundveedrijfmest op grasland (toediening 1 maart, seizoen 1 maart - 30 september) en van varkensdrijfmest op bouwland (toediening 1 maart, seizoen 1 maart - 31 juli), in afhankelijkheid van het gebruikte werktuig (naar: Van Dijk *et al.*, 2004 en 2005; Schröder *et al.*, 2007).*

Gewas	Toedieningstechniek	N-werking, kg werkzame N per 100 kg mest-N
Grasland	Bovengronds	23
	Sleepvoet	47
	Zodenbemester	52
Bouwland, kale grond	Bovengronds	39
	Oppervlakkig gevolgd door inwerken	66
	Bouwlandinjectie	78

#### *Nitraatuitspoeling*

Aangegeven is dat EMT tot een grotere hoeveelheid beschikbare N per kg toegediende mest-N leiden. Als de aanvulling met kunstmest-N niet wordt gereduceerd overeenkomstig de grotere beschikbaarheid van N uit dierlijke mest, kan het aanbod van N groter worden dan de hoeveelheid die het gewas kan opnemen. Dit zou resulteren in extra N uitspoeling naar het grondwater. Met het Nieuwe Mestbeleid zijn de N-gebruiksnormen van gras- en maïsland echter zodanig verlaagd, dat daarmee een prikkel bestaat om, waar mogelijk, N uit te sparen op percelen die voldoende N uit dierlijke mest ontvingen. De kans dat EMT tot meer N uitspoeling naar het grondwater leidt is daarom op melkveehouderijbedrijven nihil. Voor de akker- en tuinbouwbedrijven zijn de N-gebruiksnormen vooralsnog ruim en de forfaitaire N-werkingscoëfficiënt van de meest gebruikte dierlijke mestsoorten laag. In die situatie is de kans aanwezig op een vergrote nitraatuitspoeling bij gebruik van EMT (Van Dijk & Schröder, 2007).

#### *Fosfaat- en ammoniumafspoeling*

Vergelijkend onderzoek naar de oppervlakkige uitspoeling van nutriënten naar de sloot is voor zover bekend niet verricht. Verwacht mag echter worden dat dit risico, vooral op bouwland, groter is bij BMT dan bij EMT.



### Lachgas

De emissie van lachgas ( $N_2O$ ) hangt nauw samen met het optreden van denitrificatie. De kans op denitrificatie is groter naarmate het aanbod van minerale N en gemakkelijk afbreekbare koolstofverbindingen groter is en de zuurstofconcentratie lager is. Toedieningstechnieken hebben effect op het aanbod van minerale N en op de hoeveelheid zuurstof waarmee de toegediende mest wordt omgeven. Onderwerken en zodenbemesting leiden in principe tot een hoger aanbod van minerale N. Onder natte omstandigheden zal de mest bij onderwerken en zodenbemesting bovendien in een zuurstof-armere grondlaag terecht kunnen komen die bevorderlijk is voor denitrificatie. Voornoemde effecten van emissiearme toedieningstechnieken worden soms maar niet altijd teniet gedaan door tegengestelde effecten zoals een verlengde diffusieweg (met een daardoor verhoogde kans op volledige oxydatie tot  $NO_3$ ) of een betere doorluchting door een zeker grondbewerkingseffect van de emissiearme toedieningstechnieken. Om hierover meer zekerheid te krijgen wordt op dit moment veldonderzoek uitgevoerd naar de effecten van toedieningstechnieken op lachgasemissie. Eerder onderzoek onder labcondities gaf aan dat toediening van varkensmest op een wijze vergelijkbaar met zodenbemesting 12,3% van de toegediende N als  $N_2O$  verloren deed gaan terwijl dit percentage 4,9% bedroeg bij oppervlakkige toediening. Uit dezelfde studie bleek echter ook dat de verliezen uit rundveemest 2-7 keer lager liggen dan uit varkensmest omdat rundveemest minder gemakkelijk afbreekbare koolstofverbindingen bevat (Velthof *et al.*, 2003). In het licht van het voorgaande kan verwacht worden dat bij gebruik van sleepvoeten minder lachgas gevormd wordt dan bij zodenbemesting en injectie. De eerste resultaten van veldonderzoek bevestigen dat de lachgasemissie op kleigrond bij gebruik van een sleepvoet minder groot is dan bij injectie (Velthof *et al.*, 2002). Al met al bestaat vooralsnog de indruk dat EMT daarom tot meer lachgas leidt dan bovengrondse toediening en wel meer naarmate EMT de mest dieper in de bodem brengt. Wel moet benadrukt worden dat bij een uiteindelijke afweging ook betrokken dient te worden dat de ammoniak die bij bovengrondse toediening vervluchtigt, na depositie buiten de systeemgrenzen alsnog tot de vorming van lachgas kan leiden (zogenaamde indirecte lachgasemissie).

## 2.4 Conclusie

Uitgebreid onderzoek heeft aangetoond dat EMT (zodenbemesting en toediening met een sleepvoetenmachine) op grasland een aanzienlijke reductie van ammoniakverliezen geeft ten opzichte van BMT. Onderzoek op grasland bevestigt dat de N-werking van mest die met EMT is toegediend hoger is dan van bovengronds uitgereden mest (BMT). Dit verschil is op zijn minst deels toe te schrijven aan het verlies van ammoniak-N.

EMT kan op bouwland plaatsvinden door de mest onder te werken of te injecteren. Beide methoden geven een aanzienlijke reductie van ammoniakverliezen ten opzichte van BMT. Voor bouwland is de mestbenutting voor EMT hoger dan bij BMT.

### Literatuur

- Dijk, W. van, J.G. Conijn, J.F.M. Huijsmans, J.C. van Middelkoop & K.B. Zwart, 2004.  
Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt organische mest. Rapport 337, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 63 pp.
- Dijk, W. van, A.M. van Dam, J.C. van Middelkoop, F.J. de Ruijter & K.B. Zwart, 2005.  
Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt overige organische meststoffen. Rapport 343, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 50 pp.
- Dijk, W. van & J.J. Schröder, 2007.  
Adviezen voor N-gebruiksnormen voor akker- en tuinbouw op zand- en lössgrond bij verschillende uitgangspunten. Rapport 371, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad, 78 pp.
- Geurink, J.H. & H.G. van der Meer, 1995.  
De stikstofwerking van verschillende soorten dunne met bij verschillende toedieningstechnieken op grasland. Rapport 42, AB-DLO, Wageningen, 37 pp.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol & B.W. Bussink, 1997.  
Reduction of Ammonia Emission by New Slurry Application Techniques on Grassland. In: S.C. Jarvis & B.F. Pain (Eds.) Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands. CAB International, Wallingford, pp. 281-285.

- Huijsmans, J.F.M. & R.M. De Mol, 1999.  
A model for ammonia volatilization after surface application and subsequent incorporation of manure on arable land. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74: 73-82.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol & M.M.W.B. Hendriks, 2001.  
Effect of application technique, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 49: 323-342.
- Huijsmans, J.F.M. & J.M.G. Hol, 2001.  
Mesttoediening voorjaar bouwland. Notitie rondom discussie mesttoediening voorjaar in graan, IMAG, 20-8-2001, pp. 3.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol & B. Verwijs, 2002.  
Mesttoediening op bouwland in het voorjaar. Metingen ammoniakemissie bij mesttoediening in graan. IMAG Nota P2002-83, Wageningen, pp. 21.
- Huijsmans, J.F.M., 2003.  
Manure application and ammonia volatilization. PhD thesis Wageningen University with summaries in English and Dutch, Wageningen, The Netherlands, ISBN 90-5808-937-1, pp 160.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol & G.D. Vermeulen, 2003.  
Effect of application method, manure characteristics, atmosphere and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. *Atmospheric Environment* 37: 3669-3680.
- Huijsmans, J.F.M. & P.H.M. Dekker, 2003.  
Minder emissie door onkruid, dierlijke mest toedienen tijdens het uitstoelen levert het meest op. *Landbouwmechanisatie* 54 (3): p. 28-29.
- Huijsmans, J.F.M., G.D. Vermeulen, J.M.G. Hol, H. Cnockaert & P. Demeyer, 2007.  
Effect of application method on ammonia volatilization from manure applied to grassland in the Netherlands and Belgium. In: G.J. Monteny and E. Hartung (Eds.) *Ammonia emissions in agriculture*. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp. 191-193.
- Huijsmans, J.F.M. & G.D. Vermeulen, 2008.  
Emissiefactoren uitrijden dierlijke mest. Notitie werkgroep ammoniak. Rapport in voorbereiding.
- Huijsmans, J.F.M. & J.M.G. Hol, 2008a.  
Ammoniakemissie bij het uitrijden van dierlijke mest in graan in het voorjaar op kleibouland. Rapport in voorbereiding.
- Huijsmans, J.F.M. & J.M.G. Hol, 2008b.  
Ammoniakemissie bij het uitrijden van dierlijke mest in aardappelen in het voorjaar op kleibouland. Rapport in voorbereiding.
- Schils, R.L.M. & I. Kok, 2003.  
Effects of cattle slurry manure management on grass yield. *Neth J Agric Sci* 51 (1-2):41-65
- Schröder, J.J., 2005.  
Manure as a suitable component of precise nitrogen nutrition. *Proceedings* 574, International Fertiliser Society, 32 pp.
- Schröder, J.J., D Uenk, & G.J. Hilhorst, 2007.  
Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant & Soil* 299: 83-99.
- Sommer, S.G. & N.J. Hutchings, 2001.  
Review: ammonia emission from field applied manure and its reduction. *European Journal of Agronomy* 15: 1-15.
- Søgaard, H.T., S.G. Sommer, N.J. Hutchings, J.F.M. Huijsmans, D.W. Bussink & F. Nicholson, 2002.  
Ammonia volatilization from field-applied animal manure-the ALFAM model. *Atmospheric Environment* 36: 3309-3319.
- Velthof, G.L., J. Dolfig, G.J. Kasper, J.W. van Groenigen, W.J.M. de Groot, A. van den Pol-van Dasselaar & P.J. Kuikman, 2002.  
Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden. *Alterra rapport* 560.2, 57 pp.
- Velthof, G.L., P.J. Kuikman & O. Oenema, 2003.  
Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions. *Biol. Fertil. Soils* 37, 221-230.

Wadman, W.P., 1988.

Slurry injection. Suitability, advantages and problems. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 1. Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO), Wageningen, 64 pp. (In Dutch).

Webb, J., H. Menzi, B.F. Pain, T.H. Misselbrook, U. Dämmgen, H. Hendriks & H. Döhler, 2005.

Managing ammonia emissions from livestock production in Europe. Environmental Pollution 135: 399-406.

Wouters, A.P., J.F.M. Huijsmans, J.J. Schröder, D.W. Bussink, J.H. Geurink, A.J.H. Van Lent & H.G. Van Der Meer, 1994.

Toediening van dierlijke mest op grasland en maisland. In: M.H.A. De Haan & N.W.M. Ogink (Eds.), Naar veehouderij en milieu in balans, 10 jaar FOMA onderzoek, Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 19 (Rundvee), Wageningen, Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO), p. 93-119.



### 3. Gewasbeschadiging en bodemstructuur

Voor directe vergelijking van de gewasbeschadiging en bodemeffecten van BMT en EMT zijn zeer beperkt data voorhanden. Om toch te beoordelen of EMT heeft geleid tot onvermijdelijk meer gewas- en bodemschade dan BMT is eerst gekeken naar het verschil in apparatuur voor BMT en EMT (paragraaf 3.1). Op basis van algemenere kennis over effecten van machines op gewas en bodem is vervolgens afgeleid of EMT mogelijk tot meer gewas- en bodemschade heeft geleid op grasland (paragraaf 3.2) en bouwland (paragraaf 3.3). Omdat vergelijkend onderzoek vrijwel ontbreekt, kunnen verschillen in effecten op bodem en gewas niet statistisch onderbouwd worden.

#### 3.1 Machines voor BMT en EMT

Bij het uitrijden van mest moet een grote hoeveelheid mest over het veld worden getransporteerd en toegediend. De mestgiften variëren meestal van 10 tot 30 m<sup>3</sup>/ha op grasland en van 10 tot 40 m<sup>3</sup>/ha op bouwland. Ongeacht of het voor BMT of EMT is, wordt de mest naar het veld gebracht door een tank met bemesters zelf of door tankwagens die gelost worden in een tussenopslag (container) aan de rand van het veld.

Eveneens ongeacht of het voor BMT of EMT is, wordt de mest over het veld getransporteerd via een trekker of zelfrijder met mesttank waarachter de bemester is gemonteerd of via een sleepslang waardoor de mest vanaf de container aan de rand van het veld wordt verpompt naar de op het veld rijdende trekker met bemester. De inhoud van mesttanks varieert van 6 m<sup>3</sup> tot 22 m<sup>3</sup>.

Kenmerkend voor EMT machines is dat, afhankelijk van de toepassing en de daarvoor geldende emissieregeling, de mest in stroken op de grond of in sleufjes in de grond wordt toegediend, of in de grond ingewerkt wordt.

De eventuele verschillen in gewasschade en aanslag op de bodemstructuur tussen BMT en EMT zijn feitelijk beperkt tot verschillen in machinegebruik die veroorzaakt worden doordat bij EMT een bemester gebruikt moet worden en bij BMT een ketsplaat. Het gaat dan met name om:

- de toedieningswijze van de mest, in of op de bodem, in of op het gewas,
- het extra *gewicht* van de bemester vergeleken met de ketsplaat en
- de extra *trekkracht* die door EMT bemesters gevraagd wordt.

Mogelijke verschillen in gewasschade en aanslag op de bodemstructuur worden echter mede bepaald door verschillen in banduitrusting, toe te passen werkbreedtes, het percentage bereiden oppervlak van het perceel en het aantal dagen dat de mest in zekere perioden toegediend kan worden.

##### *Wijze van toediening*

Op *grasland* kan een zodenbemester de mest in sleufjes in de grond brengen; met een sleepvoetenbemester komt de mest in stroken tussen het gras, op de grond te liggen.

Op *bouwland* mocht de mest tot 2008 nog in het najaar bovengronds verspreid worden als deze direct daarna via een grondbewerking oppervlakkig ingewerkt of geheel ondergewerkt werd. Vanaf 1 januari 2008 moet vloeibare mest in dezelfde werkgang, door dezelfde machine, ingewerkt worden of in sleuven in de grond toegediend worden, zoals bij een zodenbemester, zowel op beteeld als onbeteeld bouwland. Direct inwerken gebeurt momenteel al vaak op zandgrond, waar de mest in het voorjaar, vóór het ploegen, met een bouwlandinjecteur in de grond toegediend wordt. Op kleigronden werd echter meestal mest in het najaar gegeven vlak voor de stoppelbewerking of vlak voor het ploegen. Vanaf 1 januari 2009 moet de mest ook op kleibouwland in het voorjaar of in de zomer toegediend worden.

##### *Machinegewichten*

Het gewicht van een machine, de verdeling van het gewicht over de wielen (bandlasten), de grootte van de banden en, daarmee samenhangend, de minimaal benodigde luchtdruk in de banden (bandspanningen) bepalen het risico dat

er insporing optreedt en dat de bodem te veel verdicht wordt. Een goede indruk van de maximale bandlasten en de benodigde bandspanningen van zeven moderne EMT mestmachines is weergegeven in Tabel 3.1 (Van Hattum, 2005). Alle in de Tabel genoemde machines waren uitgerust met de brede 1050/50R32 banden, die veel op mesttoedieningsapparatuur gebruikt worden. De maximale bandlasten waren 7,9 tot 10,7 Mg (1 Mg = 1 ton), waarvoor de banden minimaal opgepompt moesten zijn tot 110 kPa (1,1 bar) respectievelijk 190 kPa (1,9 bar). De hoogste wiellasten kwamen voor bij trikes (zelfrijdende toedienapparatuur met mesttank en drie wielen). Bijzonder gunstig is het systeem met sleepslangaanvoer, waarbij de maximale bandlast 2,95 Mg was (bemester in werkstand) en de benodigde bandspanning ongeveer 60 kPa (0,6 bar). De genoemde bandspanningen voor veldwerk zijn gebaseerd op een rijsnelheid van 10 km per uur en sterk wisselende belasting. In de praktijk kan alleen met deze banddrukken gereden worden als er een bandenpompsysteem gebruikt wordt, waarmee de banddruk weer omhoog gezet kan worden als er over de weg gereden moet worden. Als er geen bandenpompsysteem is moet de bandspanning gebaseerd worden op wegtransport, d.w.z. 30 of 40 km/u met volle tank, en is dan relatief hoog voor gebruik op het veld. Indien de aanvoer van de mest via een tussenopslag gebeurt kan de bemester leeg over de weg rijden en kunnen de in Tabel 3.1 genoemde bandspanningen voor transport over de weg (en gebruik in het veld) lager zijn. Weissbach (2002) rapporteert maximale wiellasten van 7 Mg voor eenassige getrokken mesttanks, 6,5 Mg voor tweeassige mesttanks, 6 Mg voor drieassige getrokken mesttanks en een range van 7 tot 11 Mg voor zelfrijdende machines. Deze Duitse cijfers, op basis van specificaties van de fabrikanten, liggen iets lager dan de door Van Hattum (2005) gemeten cijfers.

Tabel 3.1. Specificaties, bandlasten en vereiste bandspanningen van zeven mesttoedieningsystemen met bandenmaat 1050/50R32 (Bron: Van Hattum, 2005).

	Tractor, aanvoer-sleepslang	Zelfrijdend met mesttank, 3 wielen		Zelfrijdend met mesttank, 4 wielen		Getrokken mesttank	
						enkelas	tandem
Banddrukwisselsysteem	nee	ja	ja	nee	ja	nee	nee
Tankvolume (m <sup>3</sup> )	-	14	15	14	17	12,5	22
Totaalgewicht leeg (Mg)	-	17,4	17,9	18,8	21,3	11,5	18,2
Totaalgewicht vol (Mg)	13,3	30,9	31,6	31,1	36,5	20,2	30,1
Max. bandlast, transport, vol (Mg)	4,95	11,9	12,2	9,45	9,75	9,30	8,90
Aanbevolen bandspanning, transport (kPa) <sup>1)</sup>	70	>270	>270	>270	>270	>270	>270
Max. bandlast, veld (Mg)	2,95	10,45	10,70	7,90	9,40	7,90	8,44
Aanbevolen bandspanning, veld (kPa) <sup>2)</sup>	60	190	190	120	150	110	130
Max. bandlast, veld, hondegang (Mg)	-	-	-	8,10	9,65	8,75	-
Aanbevolen bandspanning, hondegang (kPa)	-	-	-	120	160	140	-

<sup>1)</sup> 40 km u<sup>-1</sup> (wegtransport); 100 kPa = 1 bar.

<sup>2)</sup> 10 km u<sup>-1</sup> en cyclische belasting (veldwerk).

In het kader van dit rapport is het zaak om te beoordelen of de machinegewichten, bandlasten en bandspanningen van de huidige EMT apparatuur anders zijn dan wanneer BMT nog toegestaan zou zijn. Uit een publicatie van Krebbers & Huijsmans (1990) blijkt dat de grotere tanks ook al werden gebruikt voor BMT toen emissiearme mesttoediening nog niet was voorgeschreven. In die zin is er geen reden om aan te nemen dat EMT tot het gebruik van grotere tanks geleid heeft dan wanneer BMT toegestaan was gebleven. Het extra gewicht van de bemesters heeft bij de machines in werkstand geen verhoging van de aslasten opgeleverd, omdat de bemesters eigen steunwielen hebben of het gewicht op de bemesterelementen afsteunen.

Sinds de invoering van EMT heeft een verschuiving plaatsgevonden van eigen mechanisatie naar loonwerk, waarbij veelal grotere machines worden toegepast, waaronder zelfrijders. Deze verschuiving zou in het kader van kostenbesparing waarschijnlijk ook plaatsgevonden hebben als BMT nog toegestaan was. Grotere machines met een hoge

capaciteit hoeven echter weer niet noodzakelijkerwijs tot hogere bandspanningen en bodemdrukken en tot bodemstructuurschade te leiden.

Samenvattend: Door het extra gewicht van de bemesters zijn de bodemdrukken bij EMT niet noodzakelijkerwijs hoger geworden dan bij BMT.

### *Trekkkracht*

De benodigde trekkkracht voor verschillende emissiebeperkende machines, die toegepast worden op grasland, is onderzocht onder verschillende omstandigheden in een serie proeven op zand, klei- en veengrond (Huijsmans *et al.*, 1998). De benodigde trekkkracht werd gemeten van een sleepvoetenmachine en vier verschillende zodenbemester-technieken. De techniek, de werkdiepte en de bodemomstandigheden beïnvloedden de trekkkrachtbehoefte van de zodenbemesters. De laagste trekkkracht was nodig op veengrond en de hoogste op droge kleigrond (Tabel 3.2). Een sleepvoetenmachine vereiste duidelijk minder trekkkracht dan de zodenbemesters. De trekkkracht vereist voor de sleepvoet was ca. 4 kg per element en werd niet beïnvloed door de bodemomstandigheden.

*Tabel 3.2. Gemiddelde trekkkrachtbehoefte (in kg) van vier typen zodenbemester bij een werkdiepte van 5 cm (Huijsmans et al., 1998).*

Bodem	Schijfkouter, 2 schijven	Schijfkouter, 1 schijf, dik	Schijfkouter met injecteur	Meskouter met injecteur
Zavel, vochtig	37,0	51,9	66,0	71,1
Klei, vochtig	54,3	76,2	97,0	104,5
Klei, droog	70,6	99,1	126,0	135,8
Veen, beregend	20,2	28,4	36,1	38,9
Veen, droog	35,7	50,1	63,7	68,6

Gebaseerd op de gegevens in Tabel 3.2 is de trekkkrachtbehoefte voor een zodenbemester met 2-schijfs kouters en met een werkbreedte van 6 meter 600 kg op nat veen tot 2100 kg op droge kleigrond. Eenzelfde bemester met sleepvoeten vraagt 120 kg trekkkracht, ongeacht de grondsoort. Ter vergelijking is de trekkkrachtbehoefte voor het trekken van alleen een volle tank van 20 m<sup>3</sup> met goede banduitrusting op droge kleigrond (rolweerstandcoëfficiënt 0,05) 1200 kg.

Op grasland vraagt EMT dus significant meer trekkkracht dan BMT als de mest in een sleuf toegediend wordt, maar slechts ca. 10% meer trekkkracht als de mest in stroken op het land toegediend wordt.

Om voldoende trekkkracht te kunnen leveren moet de aslast van de aangedreven as hoog genoeg zijn. Eventueel kan verhoging van de aslast van de aangedreven as (de achteras van de trekker of de assen van zelfrijders) nodig zijn (bijv. extra gewichten of watervulling van de banden). Voor een trekker-tank-bemester combinatie is de verwachting dat door de hogere trekkkrachtbehoefte bij EMT weliswaar een zwaardere trekker nodig kan zijn, maar dat dit nog niet leidt tot een situatie met aanzienlijk hogere bodemdrukken dan bij BMT omdat de aslast van de mesttank (vol) nog steeds het hoogst zal zijn. De aslasten van zelfrijders zijn zowel bij volle tank als bij lege tank in het algemeen hoog genoeg om een 6 meter brede, in de grond werkende zodenbemester te kunnen trekken. Omdat op grasland ook de sleepvoetenmachine is toegestaan, die weinig trekkkracht vraagt, kon de werkbreedte van de grasland-bemesters toenemen tot ca. 12 meter zonder dat de aslasten van de trekkers en zelfrijders toenamen. Ook voor toediening met het slangaanvoersysteem geldt dat de toediening van mest in sleuven in de grond meer trekkkracht vraagt dan het sleepvoetenprincipe. Bij sleepslangaanvoer is er ook enige trekkkracht vereist voor het voorttrekken van de slang over het veld. Bij gebruik van een slangaanvoersysteem is het mogelijk om ook bij EMT de bandspanningen bij de trekker laag te houden door toepassing van de grootste trekkerbanden. Bij recent onderzoek was de achterwiellast van een trekker met een 12 meter brede zodenbemester met sleepslangaanvoer ca. 5 Mg met geheven zodenbemester, veel lager dan de normale wiellast van een wiel onder een tank (Tabel 3.1).

Met de gemonteerde banden mocht de bandspanning van de trekker 80 kPa zijn. Deze bemester kan op grasland onder alle omstandigheden bemesten indien de zodenbemester over de grond sleept, zoals een sleepvoet.

Op bouwland moet de mest in sleuven in de grond gebracht of bij de toediening ondergewerkt worden. De sleepvoetenmachine is hiervoor ongeschikt. Met een zodenbemester kan wel een sleuf in de grond gemaakt worden. Ook op bouwland zal dit meer trekkracht vereisen dan BMT. Met de hierboven genoemde zodenbemester met slangaanvoersysteem (werkbreedte 12 m) kon onder gunstige bodemomstandigheden ook op bouwland (wintertarwe) de mest goed in sleuven in de grond gebracht worden. Bij harde grond zal dit echter niet mogelijk zijn, maar zou de werkbreedte beperkt of de grond voorberekt kunnen worden.

Het EMT alternatief 'toedienen en onderwerken van mest in dezelfde werkgang' door bijv. wiedegtanden of verkrui-melaars vereist evenals de zodenbemester meer trekkracht dan BMT. Ook hierbij kan de trekkracht eventueel beperkt worden door het land vooraf te bewerken zodat de wiedegtanden of verkrui-melaars in losse grond werken.

Samenvattend: Op grasland is voor EMT machines maar weinig meer trekkracht nodig dan voor BMT machines omdat de mest in strookjes op het land gelegd mag worden. Op bouwland moet afhankelijk van de bodemomstandigheden rekening gehouden worden met extra trekkrachtbehoefte om de mest in sleufjes in de grond te plaatsen of om de mest in dezelfde werkgang in te werken. Beperken van de werkbreedte en voorbereken van de grond is een mogelijkheid om de trekkrachtbehoefte te verminderen.

## 3.2 Effecten op grasland

### *Gewasschade*

Op grasland gaat EMT gepaard met het doorsnijden van de zode als zodenbemers worden gebruikt. Als op het moment van toediening droog weer volgt, kan dit tot opbrengstreductie van het gewas direct aan weerszijden van de sleuf leiden. De benutting van N kan op die plekken achterblijven. De benutting van N moet echter beoordeeld worden op basis van de opbrengst van het perceel als geheel. Bovendien dient de N-benutting te worden afgezet tegen de N-benutting van het alternatief voor EMT te weten BMT. Bij bovengrondse toediening kan de N-benutting, behalve door het verlies van ammoniak, ook door besmeuring en verbranding verlagen. Bij de toepassing van een sleepvoetenmachine worden geen sleuven gemaakt en zijn er dientengevolge geen schade-effecten. Besmeuring van het gewas blijft zeer beperkt door de voorzieningen aan de sleepvoet die het gras opzij duwen alvorens de mest te doseren. Per saldo hebben EMT dan ook een positief effect op de N-benutting van mest (zie ook paragraaf 2.3).

Over grasland kan in het algemeen goed gereden worden zonder dat dit tot directe schade aan het gras leidt. Indirect kan er echter gewasschade zijn door insporing of door afschuiving van de graszode door wielslip. De gewasschade die daarmee samenhangt bestaat respectievelijk uit vermindering van de graskwaliteit door menging van grond bij het gras tijdens het maaien en uit verwachte opbrengstverliezen. Metingen van deze schade zijn niet bekend. Wel werd de gewasschade voor veengrasland visueel beoordeeld door een panel van telers en onderzoekers (Vermeulen *et al.*, 1993, 1994). De insporing en het omhoog drukken van grond naast de sporen werd onacceptabel gevonden als de insporing na berijden groter dan 1 cm was. Tabel 3.3 illustreert dat de insporing beperkt kan worden door het afstemmen van de bodemdruk op de draagkracht van de grond, d.w.z. door toepassing van de juiste combinatie van gewicht op de banden (bandlast), bandenmaat en luchtdruk in de banden (bandspanning).



Tabel 3.3. Richtlijn voor toelaatbare bandspanning op veengrasland bij verschillende draagkrachten van de grond bij een insporingscriterium van maximaal 1 cm.

Maatgevende draagkracht van de bodem (kPa) <sup>1</sup>	Bandspanning (kPa) <sup>2</sup>	
Middelmatig	500	150
Laag	400	100
Zeer laag	300	50

<sup>1</sup> Gedefinieerd als maximale indringweerstand van de zode.

<sup>2</sup> 100 kPa = 1 bar.

Het aantal dagen dat een bepaalde draagkracht van de grond minimaal beschikbaar is om in het voorjaar mest uit te rijden is voor de omstandigheden van een perceel veengrond met hoog waterpeil op ROC Zegveld uitgezocht (Tabel 3.4; Akker *et al.*, 1993).

Tabel 3.4. Aantal dagen in de perioden 1 februari - 1 april en 1 februari - 15 mei, dat een minimale draagkracht van respectievelijk 350, 400 en 500 kPa voorkomt met zekerheden van 50% en 80%, voor een perceel veengrond met hoog peil op ROC Zegveld.

Minimale draagkracht (kPa)	Dagen in periode			
	1 feb - 1 april		1 feb - 15 mei	
	50%	80%	50%	80%
350	21	10	54	39
400	13	3	41	26
500	4	0	25	13

Uit de Tabellen 3.3 en 3.4 mag geconcludeerd worden dat het mogelijk is om het aantal werkbare dagen voor mest toedienen op veen te vergroten is door keuze van grotere banden en lagere bandspanningen en dat dan voldoende dagen beschikbaar zijn om de mest toe te dienen zonder insporingschade aan het gras te veroorzaken.

Gewasschade door afschuiven van de zode werd als onacceptabel beschouwd bij een wielslip groter dan 10%. Wielslip ontstaat doordat trekkracht geleverd moet worden om de mesttank en de bemester te trekken. Bij een lage draagkracht van de grond van 400 kPa (4 bar) was de trekkrachtcoëfficiënt bij 10% wielslip zeer laag, ca. 12%, d.w.z. dat de trekker slechts een trekkracht kon leveren ter grootte van 12% van het gewicht op de achteras. Bij een middelmatige draagkracht van 500 kPa was de trekkrachtcoëfficiënt nog laag, ca. 25%. Bij systemen met een over het veld rijdende mesttank, ongeacht of het gaat om BMT of EMT, kan de rolweerstand van de wielen onder de tank aanzienlijk zijn als met relatief smalle banden en hoge bandspanning op veengrasland gereden wordt (Vermeulen *et al.*, 1993). Bij een hoge rolweerstand moet de trekker veel trekkracht leveren om de tank voort te trekken, met mogelijk afschuiving van de zode tot gevolg.

Onder anderen omdat de trekkracht die geleverd moest worden voor inwerken van de mest in de zode hoog was (Huijsmans *et al.*, 1998; zie Tabel 3.2), werd het al spoedig na invoering van de EMT verplichting toegestaan om sleepvoetbemesters als EMT techniek op veengrasland te gebruiken. Voor sleepvoetbemesters is namelijk weinig trekkracht (4 kg per element) nodig. Het risico van zodebeschadiging door wielslip werd hiermee sterk verminderd.

Voor andere grondsoorten dan veen zijn slechts beperkt gegevens bekend over directe beschadiging van het gras door berijden. Omdat de draagkracht van zand- en kleigronden beter is dan die van veen, treedt insporing en

afschuiven van de zode minder snel op dan op veengrond. Omdat de sleepvoetenmachine ook op deze gronden toegelaten is als EMT zijn ook hier voldoende mogelijkheden om de mest zonder gewasschade toe te dienen.

Recent onderzoek op een natte zandgrond (Boer & Van Eekeren, 2007) gaf aan dat zodenbemesting met een trekker plus tank met een relatief hoge bandenspanning (255 kPa) geen bodemstructuurschade gaf, maar wel enige opbrengstderving in de sporen bij de eerste snede. Zij concluderen dat hier sprake was van enige gewasschade bij de eerste snede, echter op jaarbasis was het effect nihil.

Samenvattend: Het gebruik van EMT heeft op grasland niet geleid tot meer directe gewasschade dan bij BMT het geval zou zijn geweest; o.a. om gewasschade te voorkomen is op grasland de sleepvoetmachine toegestaan.

### *Bodemstructuurschade*

In de weidebouw is meestal een min of meer permanente graszode aanwezig. Door rijden met te hoge bodemdrukken over het grasland kan de bodem voor langere tijd verdicht raken omdat geen jaarlijkse grondbewerking uitgevoerd wordt.

Voor *kleigrasland* komen uit de praktijk wel geluiden dat in de sporen van machines voor de mesttoediening negatieve effecten op het gewas te merken zijn, met name na rijden onder zeer natte omstandigheden. Metingen zijn echter niet in Nederland uitgevoerd. Onderzoek in Schotland op kleigrasland liet zien dat berijden met bandspanningen van 160 - 480 kPa een negatief effect van ca. 15% had op de grasopbrengst, vergeleken met zowel onbereden als lage druk (30 - 200 kPa bandspanning). Het negatieve effect werd bijna uitsluitend veroorzaakt door groeivertraging in het begin van het seizoen, onder natte bodemomstandigheden (Douglas *et al.*, 1992). De benodigde bandspanningen voor mestapparatuur in Tabel 3.1 zijn 190 kPa, mits goed gebruik gemaakt wordt van de mogelijkheden om de bandspanning in het veld te verlagen. Op grond van de resultaten in Schotland worden dan geen negatieve effecten verwacht. Dit kan anders liggen als op kleigrond onder zeer natte omstandigheden mest toegediend wordt of als de mogelijkheden voor verlaging van de bandspanning in de praktijk niet goed benut worden.

Bij bemesting met sleepslangaanvoer is een lage bodemdruk mogelijk zonder speciale voorzieningen op de apparatuur en hierbij worden daarom geen negatieve effecten op de bodem verwacht, mits de grond niet zeer nat is. Bij de loonwerkers die zich toeleggen op de mesttoediening kan onder praktisch alle omstandigheden mest toegediend worden, waaronder ook natte omstandigheden, waarbij er op kleigrond dus een risico is van structuurberderf en bodemverdichting. Daar staat echter tegenover dat loonwerkers vaak een grotere regio bedienen en in natte perioden kunnen uitwijken naar zandgronden of drogere percelen.

Voor kleigrasland kunnen we concluderen dat de mesttoediening normaal niet tot bodemstructuurschade leidt zowel voor BMT als EMT mits de mogelijkheden om relatief lage bodemdrukken te bereiken gebruikt worden.

Bodemstructureffecten onder natte omstandigheden zijn niet onderzocht.

Op *zandgrasland* leidde herhaald, egaal, licht aandrukken van de grond (het effect van een bandspanning van ca. 1,25 bar) tot de hoogste opbrengst op een weinig droogtegevoelig perceel met 5% organische stof, vergeleken met niet belasten en zware belastingen (Arts *et al.*, 1994). In een experiment van Everts & Wopereis (1993) op een lichte, droogtegevoelige zandgrond werd de grond 1 keer per jaar egaal aangedrukt. Alleen bij de 1<sup>e</sup> snede na de eerste keer verdichten werd een sterk negatief effect van verdichting op de opbrengst gemeten. In de latere oogsten gaf de meest verdichte grond steeds de hoogste opbrengst, met name na droge perioden. Daarom was dit waarschijnlijk een vochteffect (dichte grond is meer opdrachtig dan losse grond). Uit de proeven van Arts *et al.* (1994) en Everts & Wopereis (1993) blijkt dat op zandgrasland de effecten van berijding op de gewasopbrengst niet negatief zijn bij systematisch gebruik van banddrukken tussen de 100 en 200 kPa, zoals mogelijk bij zorgvuldige toepassing van de bekende methoden van mesttoediening (zowel BMT als EMT). Bij hoge herhaalde belastingen (bandspanningsindicatie > 250 kPa) werd door Arts *et al.* (1994) een opbrengstderving van 12% geconstateerd. Het vochtgehalte bij berijden is op zandgrond minder belangrijk. De Boer & Van Eekeren (2007) vonden bij eenmalige berijding met vergelijkbare bandenspanning bij zodenbemesting op een natte zandgrond geen negatief effect op de bodemstructuur of jaaropbrengst.

In het kader van Bioveem 2 vond oriënterend onderzoek plaats naar het effect van mesttoedieningsapparatuur op zandgrond onder relatief natte bodemomstandigheden. Daarbij moet worden opgemerkt dat het onderzoek feitelijk

geen zuivere vergelijking was van toedieningsmethoden, maar een vergelijking van toedieningsmethoden verstrengd met de bandlast, de bandspanning en de werkbreedte behorend bij het apparaat waaraan de toedieningsmethode gekoppeld was. De vergelijking was zo uitgevoerd, omdat dit vanuit de betrokken veehouder gezien de combinaties waren waaruit hij in zijn situatie kon kiezen. Uit het onderzoek bleek dat de zodenbemester de opbrengst van grasland in de rijsporen reduceerde (Tabel 3.5). Buiten de sporen reageerde het gras wél positief op deze emissiearme wijze van toediening. Vanwege het relatief hoge aandeel sporen (relatief geringe werkbreedte), bleef de opbrengst van het perceel als geheel bij dit apparaat achter ten opzichte van het gebruik van de 'sleepvoetenmachine'. Bij de bovengrondse toediening bleef de opbrengst juist buiten de rijsporen achter. Omdat het aandeel buiten de sporen bij dit apparaat relatief hoog was, werkte dit effect vrij sterk door in de opbrengst van het perceel als geheel. Op deze natte grond vormde het gebruik van de sleepvoetenmachine dan ook een redelijk compromis tussen de zodenbemester en de bovengrondse toediening van mest.

Voor zandgrond kan geconcludeerd worden dat mesttoediening zowel voor BMT als EMT geen schade aan de bodemstructuur hoeft te geven als apparatuur met relatief lage, maar in de praktijk zeker haalbare bandspanningen < 200 kPa (2 bar) gebruikt wordt.

Op *veengrond* speelt schade aan de bodemstructuur door berijding geen rol van betekenis, omdat veen zeer elastisch is en zich daardoor gemakkelijk herstelt na belasting.

*Tabel 3.5. Jaaropbrengst van grasland op een natte N-behoefte zandgrond binnen en buiten het spoor (relatief ten opzichte van de opbrengst van het perceel als geheel, %), het aandeel van sporen in de totale perceeloppervlakte (ha/ha), en opbrengst van het perceel als geheel (ton DS per ha, gemiddelde 2002 en 2003, giften van ca. 90 kg N-totaal rundveedrijfmest, toegediend eind maart-begin april), in relatie tot de gebruikte mesttoedieningsapparatuur (Schröder et al., 2006).*

Apparatuur	Relatieve opbrengst		Bereiden aandeel van perceel	Perceelsopbrengst
	In het spoor	Buiten het spoor		
Zodenbemester	87%	107%	0,33	100% = 7,0 t DS/ha
Sleepvoetenmachine	99%	100%	0,17	100% = 8,3 t DS/ha
Bovengrondse toediening	117%	98%	0,08	100% = 7,8 t DS/ha

Samenvattend: Omdat EMT op grasland niet leidde tot hogere bodemdrukken of een aanzienlijk hogere trekkracht-behoefte dan bij BMT, heeft EMT niet geleid tot verslechtering van de bodemstructuur. Bodemstructureffecten op nat kleigrasland zijn niet onderzocht.

### 3.3 Effecten op bouwland

#### *Gewasschade*

Op bouwland wordt de ammoniakemissie het beste gereduceerd door de mest in de grond te brengen of door direct na de toediening de mest onder te werken. Bij toediening in het voorjaar (voor zaaien en poten) of in de nazomer (op oogststoppels) kan gekozen worden voor de techniek met de grootste beperking van ammoniakverliezen. Dit zijn niet noodzakelijkerwijs de tijdstippen waarop ook de kans op nitraatverliezen het kleinst zijn. Bij toediening in een staand gewas, net als bij grasland, kunnen zich dilemma's voordoen tussen de wens om ammoniakverlies via inwerken of injectie te reduceren en de wens om het gewas en wortelstelsel zo min mogelijk te beschadigen (Schröder et al., 2000). In de praktijk wordt toediening van vloeibare mest in een staand gewas tot nu toe weinig toegepast omdat er voldoende mogelijkheden waren om de mest emissiearm in het najaar (op kleigronden) of het voorjaar (op zandgronden) toe te dienen voorafgaand aan een grondbewerking. Nu toediening in het najaar op kleigronden niet meer toegestaan is kan toediening in een staand gewas op kleigronden actueel worden.

Onderzoek naar de toediening van mest in snijmaïs gaf aan dat een gedeeltelijke na-opkomst toediening van mest gemiddeld geen opbrengstverhoging gaf. In sommige proeven leidde injectie na opkomst tot opbrengstverlies ondanks een aannemelijke reductie van ammoniakverlies (Schröder, 1999). Deze resultaten wijzen in de richting van schade door de mestinjectie aan het wortelstelsel.

Bij mesttoediening in wintergranen is gebleken dat de EMT de graanopbrengst nauwelijks reduceerde ten opzichte van kunstmest mits de mest werd toegediend aan het begin van de uitstoeingsfase tot 10 cm gewashoogte (Dekker & Paauw, 2002). Serieuzere opbrengsteffecten werden gevonden bij mesttoediening in een latere fase (strekingsfase).

Recent onderzoek naar mesttoediening in wintertarwe (uitstoeingsfase) in het voorjaar onder relatief droge omstandigheden (Huijsmans *et al.*, 2008, in prep.) laat zien dat het doorsnijden van wintertarwe door zodenbemesterelementen, het platrijden door banden, het platslepen door een aanvoersleepsling of beschadiging van het gewas door gebruik van een wiedeg na mesttoediening geen aantoonbaar effect hadden op de gewasopbrengst. In één geval was de tarweopbrengst significant lager in de wielsporen van een zodenbemester met mesttank, maar het was niet te onderscheiden of dit het gevolg was van bodemverdichting of van het platrijden van de tarweplanten.

Samenvattend: Directe gewasschade op bouwland is zowel bij BMT als bij EMT niet aan de orde zolang de mest vóór het zaaien of poten wordt toegediend. In een staand gewas zijn er aanwijzingen dat injectie het wortelstelsel van maïs kan beschadigen. In wintertarwe zijn geen schade-effecten waargenomen door toepassing van EMT technieken, vergeleken met bovengrondse uitloop van mest tussen het gewas.

### *Bodemstructuurschade*

In de akkerbouw wordt grondbewerking sinds lang toegepast om de bij de oogst ontstane bodemverdichting te verminderen, een goed zaaibed te krijgen en onkruid te bestrijden. Bij kleigrond die in de winter wordt blootgesteld aan vorst en droging wordt najaarsploegen algemeen gebruikt om in het voorjaar een goede bodemstructuur te krijgen. Zandgronden worden in het voorjaar geploegd. Mechanische zaaibedbereiding, bemesten, zaaien, planten, etc. veroorzaakt herverdichting van de bovengrond waarin de planten moeten groeien. Reeds in 1976 werd vermoed dat bodemverdichting en werken in te natte grond negatieve effecten hadden op de gewasopbrengsten, vooral op kleigronden (Perdok, 1976). In de periode tussen 1976 en 1993 zijn diverse onderzoeksprojecten in Nederland uitgevoerd, gericht op het voorkomen van verdichting en structuurbederf van de bovengrond op kleigronden. Op conventioneel bereden akkerbouwgrond (met banddrukken van 80 kPa in het voorjaar, 160 kPa in de rest van het jaar en 240 kPa bij wagenbanden) was de gewasopbrengst tot 10% lager dan op onbereden grond (Lamers *et al.*, 1986). Geadviseerd werd om de bandenspanning systematisch te beperken tot 80 - 100 kPa in het algemeen en tot 40 kPa in het voorjaar door bredere dan normale banden te gebruiken (Perdok & Terpstra, 1983; Perdok & Arts, 1986). Bij toepassing hiervan in een lagedrukberijdingsysteem trad bij een onderzoek op praktijkschaal bij rooivuchten slechts 6% opbrengstderiving op ten opzichte van onbereden (Vermeulen & Klooster, 1992; Vermeulen & Perdok, 1994). Voor wintertarwe werden nauwelijks opbrengsteffecten gemeten. In de praktijk wordt in het voorjaar zuinig omgegaan met geploegde grond om de bodem vlak voor het groeiseizoen te ontzien; het gebruik van lage bodemdrukken op kleigronden wordt veel toegepast. Dit is mogelijk doordat in het voorjaar, op geploegd land, tot nu toe geen grote hoeveelheden meststoffen op het land toegediend hoeven te worden. De aslasten zijn daarom beperkt en realisatie van lage bodemdrukken is relatief eenvoudig haalbaar. In het najaar wordt de richtlijn van 0,8 tot 1 bar banddruk niet nageleefd omdat machines voor oogst en transport erg duur zouden worden als deze zowel een hoge capaciteit als een relatief lage bodemdruk moeten hebben. Daarmee zouden de kosten van oogst en transport sterk verhoogd worden.

Op *zandgrond* wordt mest meestal in het voorjaar toegediend, vlak voor het ploegen. Hier zijn verdichtingseffecten door de mesttoedieningsapparatuur daarom niet te verwachten, zowel bij BMT als bij EMT. Een punt van aandacht is wel de verdichting van de ondergrond, die niet geploegd wordt. Dit geldt echter niet specifiek voor de mesttoediening maar ook voor oogst en transport van de producten in het najaar.

Op *kleigrond* hangt de schade aan de bodemstructuur bij het toedienen van mest niet alleen af van bandlast + bandspanning, maar o.a. ook van de bodemconditie ten tijde van de mesttoediening (bewerkbaarheid en berijdbaarheid). Tot ca. 2008 kon de mest in het najaar bovengronds toegediend worden, direct gevolgd door een grondbewerking

(stoppelbewerking of ploegen), of worden geïnjecteerd. Het aantal dagen dat mest toegediend kon worden was relatief groot. Eventuele schade aan de bodemstructuur is hierbij te vergelijken met schade veroorzaakt door rijden tijdens de oogst en is in principe weer op te heffen door grondbewerking.

Ook op kleigronden verschuift de mesttoediening naar het voorjaar in verband met de betere benutting van de mest. Ongeacht of het nu gaat om BMT of EMT zal het moeilijk zijn om in het voorjaar, vóór het zaaien of poten zonder capaciteitsverlies de bodemdrukken te verlagen naar een niveau van 0,4 bar, zoals aanbevolen voor veel akkerbouwgewassen. Daarbij speelt ook dat voldoende werkbare dagen nodig zijn in het voorjaar voor mesttoediening én voorjaarswerkzaamheden. Een tweede punt is dat de mest met ingang van 2008 in één werkgang toegediend en ingewerkt moet worden. Een diepere bewerking van de grond, zoals met de bouwlandinjecteur kan alleen als de grond droog genoeg is, d.w.z. wat later in het voorjaar. Vroeg in het voorjaar, vóór het zaaien, behoort alleen toedienen + ondiep inwerken of toedienen in sleufjes tot de mogelijkheden, zonodig in voorbereide grond. Daarnaast zijn er wellicht mogelijkheden voor toediening in het gewas. Bodemstructuurschade bij toediening van mest op bouwland in het voorjaar is onderwerp van lopend onderzoek. In dit onderzoek wordt speciaal naar twee gewassen gekeken, die relatief goede mogelijkheden voor mesttoediening in het voorjaar bieden: wintertarwe en aardappelen.

*Wintertarwe* is een gewas dat ongevoelig is voor bodemstructuurproblemen. Bovendien droogt de bouwvoor in het voorjaar vrij snel op bij wintertarwe omdat daar al wortels aanwezig zijn en het gewas water verdampt. Bovendien leidt wintertarwe weinig onder mechanische schade als er in een jong stadium overheen gereden wordt. Bij drie proeven in 2006 en 2007 op zavelgronden kon zonder problemen mest toegediend worden waarbij wel bedacht moet worden dat het in beide voorjaren om een droog voorjaar ging. Bij twee van de proeven werd een zodenbemester met mesttank toegepast. In beide gevallen was het luchtgehalte bij veldcapaciteit in de grond onder de sporen dermate laag (ongeveer 5%) dat dit als beperkend beschouwd moet worden voor de groei van de meeste gewassen. Bij de wintertarwe werd slechts in één van de proeven een significant lagere opbrengst in de sporen gevonden. Bij de overige methoden ging het om toepassing van zodenbesters en sleufkouterbesters met slangaanvoer plus inwerken met een wiedege. Op één van de proefvelden werden ook in de sporen van een zodenbemester met slangaanvoer zeer lage luchtgehalten gemeten, die beperkend zouden kunnen zijn voor de gewasgroei. Bij de methoden met slangaanvoer werden echter geen opbrengsteffecten waargenomen bij de vergelijking in het spoor en naast het spoor. Hoewel dit niet bij alle proeven gerealiseerd werd leek het goed mogelijk om ook onder droge omstandigheden de mest in sleuven in de grond te brengen.

Bij de *aardappelteelt* is het tijdstip van poten wat later in het voorjaar, als de grond al tot ca. 8 cm diepte bewerkbaar is. Dit geeft extra tijd om mest vóór het poten toe te dienen. Bovendien kan ook na het poten de mest in de rug gebracht worden. Praktische methoden hiervoor zijn in onderzoek.

Effecten van mesttoedieningstechnieken in voor- en najaar op gewasopbrengst en mineralenbenutting in snijmaïs op kleigrond werden onderzocht door Kasper & Van Schooten (2004). Het onderzoek leverde aanwijzingen op dat eventuele schade aan de bodemstructuur in het voorjaar niet zodanig was dat het opbrengsteffect van betere mestbenutting bij voorjaarsbemesting teniet gedaan werd. In één van de jaren was er verschil in opbrengst tussen de toegepaste technieken. Het onderzoek geeft geen uitsluitsel over verschillen tussen BMT en EMT technieken.

Samenvattend: Bodemstructuurschade door mesttoediening op zandbouwland is niet te verwachten doordat de grond na toediening weer bewerkt wordt, zowel bij BMT als bij EMT. Op kleigronden waren tot nu toe de structuureffecten van (bovengrondse) mesttoediening in het najaar te vergelijken met de bodemeffecten van oogst en transport van landbouwproducten. Deze werden in principe weer opgeheven door grondbewerking. Nu toedienen van vloeibare mest in twee werkgangen niet meer toegestaan is en de mest alleen in het voorjaar of de zomer toegediend mag worden zijn de mogelijkheden om op kleigrond zonder bodemschade mest toe te dienen kleiner geworden. Vergeleken met BMT is EMT op kleibouwland in het voorjaar extra uitdagend omdat de mest in de grond ingewerkt moet worden, waarbij de bewerkbaarheid van de grond een rol gaat spelen en extra trekkracht nodig is. Bij proeven in het voorjaar in wintertarwe gaf EMT, vergeleken met BMT, geen aantoonbare bodemstructuurschade en vermindering van de gewasopbrengst. Welk effect mesttoediening in het voorjaar op andere gewassen zal hebben is onbekend. Op grond van eerdere experimenten naar de gevolgen van berijding, bodemverdichting en gewaseffecten in het voorjaar wordt verwacht dat voor de meeste andere gewassen nieuwe oplossingen gezocht

moeten worden om te hoge bodemdrukken te vermijden, zoals bijvoorbeeld de toediening van mest vanaf vaste rijpaden of de ontwikkeling van een lagedruk bemester (0,4 bar) met slangaanvoersysteem.

### 3.4 Conclusie

Vergeleken met BMT, indien dit nog toegestaan zou zijn, heeft EMT op grasland niet geleid tot meer directe gewasschade. O.a. om gewasschade op weinig draagkrachtige grond te voorkomen is op grasland de sleepvoetmachine toegestaan, waarbij de mest in strookjes op het land gelegd wordt. Op veengrond kan eventuele gewasschade door insporing voorkomen worden door toepassing van relatief grote banden en lage bandspanning, zowel bij BMT als EMT.

Op grasland op zand of klei is schade aan de bodemstructuur te voorkomen door apparatuur met relatief lage, maar in de praktijk zeker haalbare bandspanningen < 200 kPa (2 bar) te gebruiken.

Omdat EMT op grasland niet leidde tot hogere bodemdrukken of een aanzienlijk hogere trekkrachtbehoefte dan bij BMT, heeft EMT niet geleid tot verslechtering van de bodemstructuur. Bodemstructureffecten op natte kleigraslanden zijn niet onderzocht. Op veengrond wordt geen schade aan de bodemstructuur verwacht.

Directe gewasschade op bouwland is zowel bij BMT als bij EMT niet aan de orde zolang de mest vóór het zaaien of poten wordt toegediend. In wintertarwe zijn geen directe gewasschade-effecten waargenomen door toepassing van EMT technieken, vergeleken met bovengrondse uitloop van mest tussen het gewas.

Bodemstructureuschade door mesttoediening op zandbouwland is niet te verwachten doordat de grond na toediening (in het voorjaar) weer bewerkt wordt, zowel bij BMT als bij EMT.

Op kleigronden waren tot nu toe de bodemstructureeffecten van zowel BMT als EMT in het najaar te vergelijken met de bodemeffecten van oogst en transport van landbouwproducten. Deze werden in principe weer opgeheven door grondbewerking. Nu toedienen van vloeibare mest in twee werkgangen niet meer toegestaan is en de mest alleen in het voorjaar of in de zomer toegediend mag worden zijn de mogelijkheden om op kleigrond zonder bodemschade mest toe te dienen kleiner geworden. Weliswaar zijn de bodemdrukken van EMT machines niet noodzakelijkerwijs hoger dan van BMT machines, maar bij EMT moet de mest in sleuven toegediend of in dezelfde werkgang in de grond ingewerkt worden. Hierbij gaat de bewerkbaarheid van de grond een beperkende rol spelen en is extra trekkracht nodig. Beperken van de werkbreedte en voorbereiden van de grond zijn mogelijkheden om de trekkrachtbehoefte te verminderen.

Bij proeven in het voorjaar in wintertarwe gaf EMT, vergeleken met BMT, geen aantoonbare bodemstructureuschade en vermindering van de gewasopbrengst. Welk effect mesttoediening in het voorjaar op ander gewassen zal hebben is onbekend. Op grond van eerdere experimenten naar de gevolgen van berijding in het voorjaar op bodemverdichting en gewaseffecten wordt verwacht dat voor de meeste andere gewassen nieuwe oplossingen gezocht moeten worden om bodemstructureuschade te vermijden, zoals bijvoorbeeld de toediening van mest vanaf vaste rijpaden of het gebruik van een lagedruk bemester (0,4 bar) met slangaanvoersysteem.

### Literatuur

Arts, W.B.M., B.R. Verwijs & J. van Maanen, 1994.

De invloed van berijding op de fysische bodemconditie van zandgrond en de gevolgen daarvan voor de gasproductie. Rapport 94-5, IMAG-DLO, Wageningen, 72 p.

Akker, J.J.H. van den, J. Beuving & K. Oostindie, 1993.

Berijdingsmogelijkheden veengrasland I: Draagkracht en uitrijmogelijkheden in het voorjaar. In: Snoek, H. (red.), 1993, Grasland en berijding. Inleidingen van de themadag op donderdag 17 juni 1993. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad, p. 19-26.

Boer, H.C. de & N. van Eekeren, 2007.

Bodemverdichting door berijden bij zodebemesten: effecten op opbrengst en voederwaarde van gras-klover, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit. Wageningen UR Animal Sciences Group, Lelystad, Rapport nr. 47, 20 pp.

- Douglas, J.T., D.J. Campbell & C.E. Crawford, 1992.  
Soil and crop responses to conventional, reduced ground pressure and zero traffic systems for grass silage production. *Soil Tillage Research* 24: 421-439.
- Dekker, P.H.M. & J. Paauw, 2002.  
Bepaling opbrengstschade in wintertarwe bij aanwending van dierlijke mest in het voorjaar op kleigrond. Rapport 110120, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, 28 pp.
- Everts, H. & F. Wopereis, 1993.  
Verdichting grasland op lichte zandgrond: zijn er grenzen? In: Snoek, H. (red.), 1993, *Grasland en berijding. Inleidingen van de themadag op donderdag 17 juni 1993. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij*, Lelystad, p. 10-18.
- Hattum, B. van, 2005.  
1 Bar meestal onmogelijk. Sleepslangbemester bodemvriendelijkst. *De Boerderij* 90 (16): 16-21.
- Huijsmans, J.F.M., J.G.L. Hendriks & G.D. Vermeulen, 1998.  
Draught Requirement of Trailing-foot and Shallow Injection Equipment for Applying Slurry to Grassland. *Journal of Agricultural Engineering Research* 71: 347-356.
- Huijsmans, J.F.M., G.D. Vermeulen & P.H.M. Dekker, 2008.  
Mogelijkheden voor mesttoediening in het voorjaar op kleibouland. *Plant Research International*, Wageningen (in prep).
- Kasper, G.J. & H. van Schooten, 2004.  
Voorjaarstoediening van dierlijke mest op zware klei. Wageningen UR Animal Sciences Group, Lelystad, Rapport nr. 52, 20 pp.
- Krebbers, H. & J. Huijsmans, 1990.  
Emissiearme mesttoediening op grasland. Dertien werkmethoden vergeleken op capaciteit en kosten. *Landbouwmechanisatie* 9: 9-13.
- Lamers, J.G., U.D. Perdok, L.M. Lumkes & J.J. Klooster, 1986.  
Controlled traffic farming systems in the Netherlands. *Soil & Tillage Research* 8: 65-76.
- Perdok, U.D., 1976.  
Bewerkbaarheid en berijdbaarheid van grond. *Landbouwkundig Tijdschrift/pt nr. 6*.
- Perdok, U.D. & J. Terpstra, 1983.  
Berijdbaarheid van landbouwgrond: Bandspanning en bodemverdichting. *Landbouwmechanisatie* 34: 363-366.
- Perdok, U.D. & W.B.M. Arts, 1986.  
Het landbouwbandenboek. Wageningen Pers, Wageningen, 42 pp.
- Schröder, J.J., 1999.  
Effect of split applications of cattle slurry and mineral fertilizer-N on the yield of silage maize in a slurry-based cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 53, 209-218.
- Schröder, J.J., J.J. Neeteson, O. Oenema & P.C. Struik, 2000.  
Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? *Field Crops Research* 66, 151-164.
- Schröder, J.J., N. van Eekeren & D. Oosterhof, 2006.  
De stikstofstromen bij Oosterhof nader bekeken. Rapport 13, ASG/LBI, Lelystad, 28 pp.
- Vermeulen, G.D. & J.J. Klooster, 1992.  
The potential of a low ground pressure traffic system to reduce soil compaction on a clayey loam soil. *Soil Tillage Research*, 24: 337-358.
- Vermeulen, G.D., W.B.M. Arts, B.R. Verwijs & J. van Maanen, 1993.  
Berijdingsmogelijkheden veengrasland II: Afstemming van bandspanning en draagkracht. In: Snoek, H. (red.), 1993, *Grasland en berijding. Inleidingen van de themadag op donderdag 17 juni 1993. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij*, Lelystad, p. 27-33.
- Vermeulen, G.D. & U.D. Perdok, 1994.  
Benefits of Low Ground Pressure Tyre Equipment. In: Soane, B.D. and Ouwkerk, C. van (editors) *Soil Compaction in Crop Production. Developments in Agricultural Engineering*. Elsevier, Amsterdam: 447-478.

Vermeulen, G.D., W.B.M. Arts & B.R. Verwijs, 1994.

Mesttoediening en bandspanning. Insporing en trekkracht op nat veengrasland. Landbouwmechanisatie 45 (2):18-19.

Weissbach, M., 2002.

Landtechnische Untersuchungen zur Wirkung bodenschonender Fahrwerke an Scheppern und Arbeitsmaschinen mit verschiedenen Radlasten. Habilitationsschrift, Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 210 pp.



## 4. Bodemleven

### 4.1 Biodiversiteit en bodemecosysteemfuncties

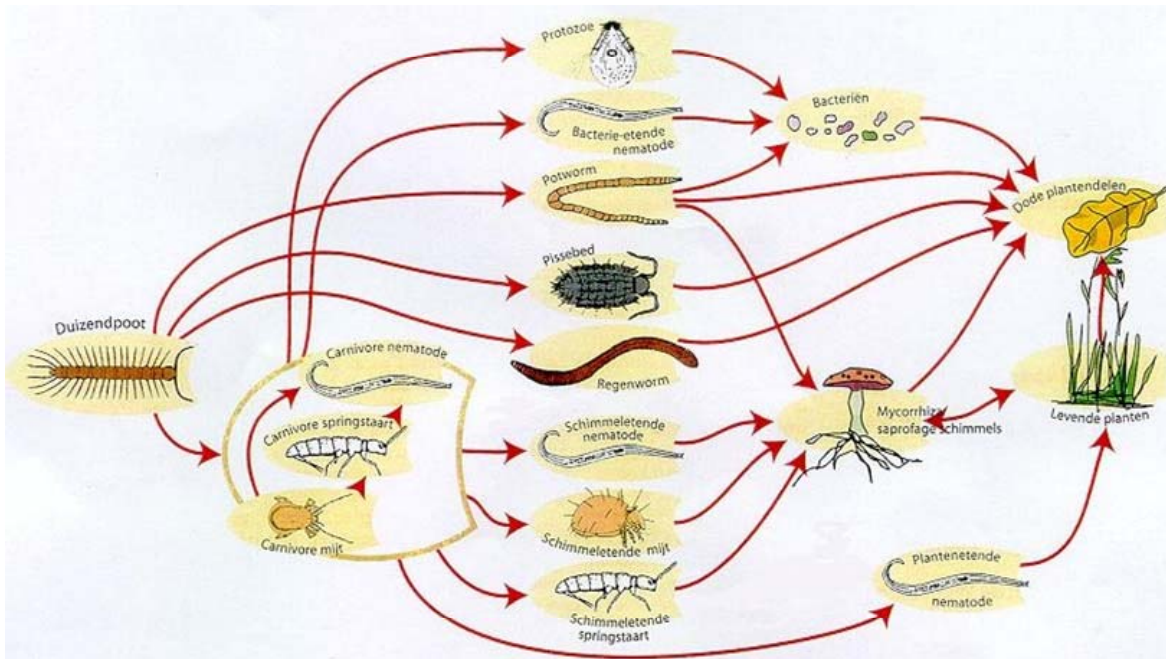
Minder dan ongeveer één gewichtsprocent van de bodem bestaat uit levende organismen. Het aantal individuen en de soortenrijkdom is desondanks enorm (Giller, 1996). Zelfs in onze vaak intensief gebruikte landbouwbodems is de ondergrondse biodiversiteit relatief hoog. In het handboek 'Typering van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit' (Rutgers *et al.*, 2007) wordt de soortenrijkdom van de belangrijkste Nederlandse landbouwgronden vermeld. Gemiddeld komen er in deze bodems (graslanden en akkers) 3-8 soorten regenwormen, 18-40 soorten microarthropoden (springstaarten en mijten), 6-10 soorten potwormen, 27-33 genera/families nematoden en 56-68 (dominante) bacterietaxa (gemeten als DNA-banden) voor. Daarnaast kunnen er tientallen soorten protozoën en schimmels en diverse soorten meso- en macrofauna (zoals pissebedden, miljoenpoten, duizendpoten, etc.) worden aangetroffen. Het precieze belang van deze enorme biodiversiteit voor het functioneren van het bodemecosysteem (functionele biodiversiteit) is tot op heden niet geheel duidelijk. Van slechts een beperkt aantal soorten is de biologie voldoende bekend om relaties met ecosysteemfuncties te kunnen aangeven.

Belangrijke bodemecosysteemfuncties waarin bodemorganismen een aantoonbare rol spelen zijn de vorming en handhaving van bodemstructuur, bodemvruchtbaarheid en ziekten- en plaagonderdrukking (Giller *et al.*, 1997). Bekend is dat diverse landbouwkundige werkzaamheden (bijvoorbeeld grondbewerking, pesticiden, kunstmest, perioden van braak, etc.) een negatief effect kunnen hebben op het voorkomen van bodemorganismen en daarmee op hun rol in de bodemecosysteemfuncties (Wardle, 2002). Een belangrijke vraag is of de afname of het geheel verdwijnen van soorten directe gevolgen heeft voor de bodemecosysteemfuncties of dat er een bepaalde mate van redundantie is, waarbij de 'functies' van bedreigde soorten worden overgenomen door soorten die zich kunnen handhaven. De veronderstelling dat er sprake kan zijn van redundantie wordt gevoed door het gebruik van bodemorganismen in te delen naar groepen die verantwoordelijk zijn voor bepaalde specifieke functies (functionele groepen). Een veel gebruikte functionele groepenindeling is die naar voedselgebruik waarbij herbivoren, saprovoren, bacterievoren, fungivoren, carnivoren en omnivoren worden onderscheiden. Er bestaan echter ook andere indelingen zoals bijvoorbeeld de indeling van regenwormen in *epigeic*, *endogeic* en *anecique* soorten (respectievelijk strooiseleters, grondeters en pendelaars), gebaseerd op de bodemlaag waarin ze voorkomen en het type organisch materiaal waarmee zij zich voeden (Bouché, 1977). Over het algemeen worden de soorten die tot eenzelfde hogere taxonomische orde behoren apart ingedeeld in functionele groepen.

De vraag kan worden gesteld of EMT een bedreiging vormt voor genoemde ecosysteemfuncties. Onderzoek hiernaar is voor zover bekend niet voorhanden. Wel bestaan er mathematische modelleerstudies en experimenteel onderzoek naar relaties tussen soortendiversiteit en ecosysteemfuncties en de mate waarin verlies aan soorten-diversiteit kan worden gecompenseerd door functionele redundantie (Griffiths *et al.*, 2000; Griffiths *et al.*, 2001; Hunt & Wall, 2002; Van der Wurff *et al.*, 2007).

Hunt *et al.* (2002) hebben met behulp van een mathematisch model onderzocht wat de gevolgen zijn van het verdwijnen van een bepaalde functionele groep (gebaseerd op voedselvoorkeur) uit het bodemecosysteem voor de stikstofmineralisatie en de primaire productie. Het betrof een dynamisch model waar een dichtheidsverandering in de ene functionele groep effect kan uitoefenen op de abundantie van soorten in een andere functionele groep. Een schematische weergave van de voedselrelaties zoals die in de bodem kunnen worden aangetroffen (bodemvoedselweb) wordt gegeven in Figuur 4.1.

De modelberekeningen lieten zien dat slechts in een beperkt aantal situaties het verdwijnen van een complete functionele bodemdiergroep gevolgen had voor de stikstofmineralisatie en de primaire productie (Hunt & Wall, 2002). De effecten waren echter niet groot (< 10%). Volgens deze modelberekeningen bestaat er dus een belangrijke mate van redundantie binnen het bodemvoedselweb. Het verdwijnen van een bepaalde functionele groep werd gecompenseerd door biomassaveranderingen in overlevende functionele groepen waardoor de ecosysteemfuncties konden worden gewaarborgd. Biomassacompensatie is experimenteel vastgesteld bij nematoden afkomstig uit graslanden van de Demmerkse polder (Van der Wurff *et al.*, 2007). In dit onderzoek werd het verlies aan soorten gecompenseerd door een toename van soorten binnen één en dezelfde taxonomisch gedefinieerde functionele groep, namelijk nematoden.



Figuur 4.1. Bodemvoedselweb.

Er bestaan ook voorbeelden van soorten uit de ene functionele groep die functioneel gedrag van soorten uit een andere functionele groep kunnen overnemen, zoals is vastgesteld voor regenwormen (Bishop, 2003 in Cole *et al.* (2006)). Niet bekend is of dit een algemeen voorkomend fenomeen is, maar kennelijk bestaat er een enige flexibiliteit in de mate waarin redundantie kan optreden. Anderzijds vonden Van der Heijden *et al.* (1998) dat een hogere diversiteit aan arbusculaire mycorrhiza (AMF) schimmels, schimmelsoorten die doorgaans worden beschouwd als één functionele groep (zie bijv. Hunt & Wall, 2002), resulteerde in een hogere diversiteit aan plantensoorten. Verlies aan soorten binnen deze ene specifieke functionele groep had bovendien directe negatieve gevolgen voor de exploitatie van beschikbare voedselbronnen door de plant (Dhillon & Gardsjord, 2004; Van der Heijden *et al.*, 1998).

Het bestaan van functionele redundantie onder bodemorganismen ten aanzien van bodemecosysteemfuncties is behalve in wiskundige modelstudies ook experimenteel vastgesteld (Griffiths *et al.*, 2000; Griffiths *et al.*, 2001). Griffiths *et al.* (2000) hebben de biodiversiteit in bodems experimenteel gereduceerd. Verlaging van de biodiversiteit had geen effect op de decompositiesnelheid van plantenresten. Echter, andere processen zoals nitrificatie en methaanoxidatie waren wel verlaagd bij een lagere biodiversiteit. Dit toont aan dat bij min of meer specifieke processen zoals nitrificatie waarin een relatief klein aantal soorten participeert het wegvallen van soorten niet of minder kan worden gecompenseerd, terwijl bij meer algemene processen zoals decompositie, functies kunnen worden overgenomen door soorten die overleven (Griffiths *et al.*, 2000). Dergelijke verarmde levensgemeenschappen (verlaagde biodiversiteit) blijken echter wel bijzonder gevoelig voor een volgende verstoring (stress) op het bodemecosysteem. Blootstelling van een bodemgemeenschap met een verlaagde biodiversiteit aan een extra, persistente stressfactor zoals een zware metaal verontreiniging leidde nu wel tot een afname van de decompositiesnelheid en zonder dat herstel optrad (Griffiths *et al.*, 2000). De afname was sterker naarmate de diversiteit lager was. Blootstelling aan een stressfactor van tijdelijk aard resulteerde ook in een verlaagde decompositiesnelheid, maar nu trad er wel herstel op. Het herstel verliep echter sneller naarmate de diversiteit hoger was (Griffiths *et al.*, 2000). Vergelijkbare reacties werden gevonden door Van der Wurff *et al.* (2007).

Geconcludeerd kan worden dat het vermogen van een (bodem)ecosysteem om ingrijpende veranderingen te doorstaan, positief is gerelateerd aan de soortenrijkdom (Griffiths *et al.*, 2000; Griffiths *et al.*, 2001; Mooney *et al.*, 1995). In veel landbouwbodems, met name akkers, wordt het bodemleven regelmatig geconfronteerd met grote verstoringen die gevolgen hebben voor de biodiversiteit (Bardgett, 2005; Postma-Blaauw, 2008; Wardle, 2002). Dit maakt dat de ecosysteemfuncties waarin bodemleven een rol speelt in dergelijke bodems bedreigd kunnen zijn

(zie: Cole *et al.*, 2006; Griffiths *et al.*, 2000; Griffiths *et al.*, 2001; Swift *et al.*, 1998; Van der Wurff *et al.*, 2007) en de nog aanwezige biodiversiteit bescherming verdient (Giller *et al.*, 1997; Van Der Heijden *et al.*, 1998). Dit geldt met name voor functies die door een beperkte groep bodemorganismen worden verzorgd, zoals nitrificatie, methaanoxidatie en specifieke symbiotische relaties. Dergelijke bodemorganismen worden wel aangeduid als 'key species'. Dit geldt ook voor regenwormen. Regenwormen komen in landbouwbodems voor in een relatief lage soortendiversiteit en zijn van groot belang voor diverse essentiële bodemprocessen, zoals bodemvorming, organische stofdynamiek, water- en luchthuishouding, N-mineralisatie en de verbreiding van bodemorganismen. Aantasting van het voorkomen van regenwormen (maar ook andere bodemorganismen) door bijvoorbeeld mesttoediening kan een directe bedreiging vormen voor deze functies.

## 4.2 Effecten op bodemorganismen

Onderzoek naar effecten van emissiearme mesttoediening (EMT) op bodemorganismen heeft zich voor zover bekend tot nu toe beperkt tot Nederland. Het onderzoek heeft in twee min of meer gescheiden periodes plaatsgevonden en was geïnitieerd vanuit een verschillende vraagstelling. Eind jaren tachtig werd onderzoek uitgevoerd door Kruk (1994) naar de gevolgen van de EMT voor de voedselvoorziening van weidevogels. In het begin van de 21<sup>ste</sup> eeuw is dit onderzoek nieuw leven inblazen in verband met de sterke achteruitgang van een aantal soorten weidevogels in Nederland (Oosterveld, 2006). Los hiervan is er halverwege de jaren negentig van de vorige eeuw onderzoek gestart naar de effecten van EMT op bodemorganismen en hun rol binnen de nutriëntenkringloop in graslandbodems (De Goede *et al.*, 2003). In al deze studies stond onderzoek naar effecten op het voorkomen van regenwormen centraal. Regenwormen vormen een belangrijk deel van het dieet van weidevogels (Ausden *et al.*, 2001; Fuller *et al.*, 1991; Vickery *et al.*, 2001) en spelen een cruciale rol in bodemvorming en bodemvruchtbaarheid (Edwards, 2004). In het op de weidevogelproblematiek gericht onderzoek werden ook effecten op emelten (larve van de langpootmug) onderzocht. In het onderzoek naar effecten op de nutriëntenkringloop werden ook de microflora, potwormen en nematoden betrokken. Gezien de nadruk in het onderzoek op regenwormen, worden de effecten van emissiearme mesttoediening op deze groep apart gepresenteerd.

### 4.2.1 Regenwormen

Er zijn vier studies voorhanden waarin het effect van emissiearme mesttoediening op regenwormen wordt beschreven (Kruk, 1994; Oosterveld, 2006; De Goede *et al.*, 2003; Van Vliet *et al.*, 2006; Boer & Van Eekeren, 2007).

Kruk (1994) heeft zijn onderzoek uitgevoerd in 1991 op 30 graslandpercelen in de Bovenkerker polder (NH, veen). Op de helft van de percelen werd zodenbemesting toegepast (26 en 28 maart), op de andere percelen werd de mest bovengronds (5-15 maart) verspreid. Niet bekend is welke hoeveelheid mest of stikstof werd toegepast. De regenwormaantallen en -biomassa werden vóór (bovengronds 1x; zodenbemesting 3x) en ná (bovengronds 5x; zodenbemesting 3x) mesttoediening bepaald (0-10 cm diepte). Zodenbemesten had op geen enkel tijdstip een statistisch significant effect op het aantal en de biomassa van de regenwormpopulatie (Kruk, 1994).

Oosterveld (2006) heeft in 2002 en 2005 onderzoek verricht aan regenwormen in grasland van proefboerderij Nij Bosma Zathe (nabij Leeuwarden; zware zeeklei) en in Brekkenpolder (nabij Lemmer; klei-op-veen). Zodenbemesting werd vergeleken met sleepvoetbemesting en toepassing van vaste mest. Niet vermeld wordt hoeveel mest of stikstof er werd gebruikt. Vijf keer in het voorjaar (1x vóór bemesting, 4x ná bemesting) werd het aantal en de biomassa aan regenwormen bepaald (0-10 cm diepte). De bemestingsbehandelingen werden tot en met 2005 jaarlijks herhaald.

In het eerste onderzoeksjaar (2002) werd een kortdurend negatief effect op de regenwormbiomassa vastgesteld na zodenbemesting en sleepvoetbemesting. Eén week na mesttoediening was de regenwormbiomassa bij zodenbemesting 54% lager en bij sleepvoetbemesting 60% lager dan 1 week vóór de mesttoediening ( $p \leq 0,05$ ). In de behandelingen met ruige mest veranderde de regenwormbiomassa niet ( $p > 0,05$ ). Na vier weken waren de verschillen verdwenen. Drie jaar later, in 2005, werd geen afname van de regenwormbiomassa na mesttoediening vastgesteld. Ook verschilde de regenwormbiomassa in de ruige mest en drijfmestbehandelingen niet van elkaar. Wel was toen,

dus na drie jaar mesttoediening, het aantal (niet de biomassa) regenwormen in de zoden- en sleepvoetbemeste behandelingen respectievelijk 35 en 25% lager dan in de behandeling met ruige mest ( $p \leq 0,05$ ). De drijfmestbehandelingen hadden dus gemiddeld zwaardere regenwormen dan de ruige mest behandeling (Oosterveld, 2006).

De Goede *et al.* (2003) en Van Vliet *et al.* (2006) hebben onderzoek verricht in de Noordelijke Friese Wouden. Er werd een inventariserend onderzoek uitgevoerd op graslandpercelen van 12 melkveehouderijbedrijven (zand tot lemig zand) en een blokkenproef op twee melkveehouderijbedrijven (De Goede *et al.*, 2003), zand). Van Vliet *et al.* (2006) richtte het onderzoek op één van de bedrijven uit de blokkenproef.

#### *Onderzoek op 12 bedrijven*

Het doel van deze inventarisatie (De Goede *et al.*, 2003) was het vaststellen van effecten van mesttoedieningsmethode (bovengrondse bemesting versus zodenbemesting) en het effect van mesttoevoegmiddelen (Effectieve Microben, mengsel van specifieke bacteriesoorten die de microbiële diversiteit zouden verhogen; Higa 1998 en Euromestmix, een kleimineraal (bentoniet) waarvan wordt geclaimd dat het toxische bestanddelen in de mest zou binden en de reactiviteit van stikstof zou verminderen). Alle 12 percelen werden bemest. Op acht bedrijven werd drijfmest toegepast via zodenbemesting en op de overige vier werd de mest vanaf 1995 bovengronds uitgereden. De helft van de bedrijven met zodenbemesting gebruikte ook Effectieve Microben. De vier bedrijven waar de mest bovengronds werd uitgereden voegde Euromest Mix toe aan de drijfmest. Bovengrondse bemesting is dus verstrengd met het gebruik van Euromestmix. De 12 bedrijven werden in september 1998 onderzocht op regenwormen, potwormen en nematoden (0-10-20 cm diepte).

Het totale aantal regenwormen in de zodenbemeste graslandpercelen was hoger (34%,  $p \leq 0,05$ ) dan in de percelen waarop de drijfmest bovengronds werd toegepast. Ruim 30% van de regenwormen werd gevormd door volwassen exemplaren en kon worden gedetermineerd en worden toegewezen aan een van de drie functionele groepen: *epigeic*, *endogeic* en *anecique*. *Epigeic* soorten leven in de strooisellaag en bovenste centimeters van de bodem waar ze zich voeden met organische resten. De *anecique* soorten leven in diepe, verticale permanente gangen en komen bij gunstige omstandigheden naar het bodemoppervlak om organische resten hun gangenstelsel in te trekken. De *endogeic* soorten leven in de minerale bodem waar ze grond en organische stof consumeren. Zij komen niet naar het bodemoppervlak. In de zodenbemeste percelen kwamen de *anecique* en *endogeic* adulte wormen in hogere dichtheid voor dan in de bovengronds bemeste percelen (*anecique* 233% hoger,  $p \leq 0,05$ ; *endogeic* 29% hoger, niet statistisch significant). *Epigeic* wormen kwamen juist in lagere (61% verlaagd,  $p \leq 0,05$ ) dichtheid voor bij zodenbemesting.

#### *Blokkenproef*

In de blokkenproef (De Goede *et al.*, 2003) werden effecten onderzocht van bemestingsmethode (bovengrondse bemesting versus zodenbemesting), mesttoevoegmiddelen (Euromestmix, Effectieve Microben), mestherkomst (twee bedrijven, Drogeham en Harkema) en mestgift (alleen drijfmest versus drijfmest aangevuld met kunstmest). De blokkenproef werd in voorjaar 1999 aangelegd op twee bedrijven (Drogeham en Harkema) en bemonsterd in juni en oktober/november 2000 (0-20 cm diepte). Het perceel Drogeham werd in de jaren voorafgaand aan de blokkenproef bovengronds bemest met drijfmest waaraan Euromestmix was toegevoegd, terwijl het perceel Harkema drijfmest zonder mesttoevoegmiddelen kreeg toegediend via zodenbemesting.

In juni verlaagde zodenbemesting de regenwormdichtheid met 25% ten opzichte van bovengrondse bemesting in het perceel Drogeham ( $p \leq 0,05$ ). In perceel Harkema had de bemestingsmethode geen effect op het totale aantal wormen. Wel was de regenwormdichtheid in perceel Harkema 58% lager dan in perceel Drogeham (142 m<sup>2</sup>,  $p \leq 0,05$ ). In het najaar was de regenwormdichtheid hoger dan in de zomer (Drogeham: 926 resp. 142 m<sup>2</sup>, Harkema: 830 resp. 59 m<sup>2</sup>,  $p \leq 0,05$ ) en werden op geen van beide percelen effecten van bemestingsmethode vastgesteld op het totale aantal regenwormen. Wel had de bemestingsmethode gevolgen voor de functionele groepen. In beide percelen werd een groter aantal adulte endogeic regenwormen aangetroffen bij zodenbemesting dan bij bovengrondse bemesting (Drogeham: 55% toename, Harkema: 143% toename,  $p \leq 0,05$ ).

### Detailonderzoek

Het doel van het onderzoek van Van Vliet *et al.* (2006) was het bepalen van de korte termijn effecten van zodenbemesting en bovengrondse bemesting. Ook werd getracht een onderscheid te maken tussen de drijfmest- en snij-effecten van zodenbemesting. De onderzochte behandelingen waren: 1. bovengrondse toepassing van drijfmest, 2. zodenbemesting met drijfmest, 3. doorsnijden van de grasmat met de zodenbemester zonder dat er drijfmest werd toegediend en 4. de laatste behandeling gevolgd door bovengrondse toepassing van drijfmest. Het onderzoek werd uitgevoerd in het voorjaar van 2002 en in de zomer van 2003 op locatie Drogeham op een perceel dat niet eerder was bemest via zodenbemesting. Effecten werden 1 week vóór en 1 en 4-5 weken ná bemesting bepaald (0-20 cm diepte aangevuld met formaline-extractie).

In 2002 werden gemiddeld 450 regenwormen m<sup>-2</sup> aangetroffen tegen gemiddeld 250 m<sup>-2</sup> in 2003. Dit kan mogelijk worden verklaard door verschillen in de weersgesteldheid tussen beide jaren (zie ook hoofdstuk 5). In het voorjaar van 2002 viel er meer neerslag dan in 2003 (februari-april 2002: 214 mm; februari-april 2003: 86 mm; juni-augustus 2003 126 mm). Dit had tot gevolg dat het bodemvochtgehalte in het voorjaar van 2002 hoger was dan in 2003 (45-60% resp. 13-20%).

De effecten van bemestingsmethode waren verschillend voor 2002 en 2003. In 2002 werd één week na bemesting een 30% lager ( $p \leq 0,05$ ) aantal regenwormen aangetroffen in de behandeling waarin de grasmat werd doorsneden met de zodenbemester zonder dat er mest werd toegediend. Dit effect was 5 weken na de bemesting nog steeds aanwezig en werd toen ook vastgesteld in de veldjes die niet werden gesneden maar alleen bovengronds werden bemest ( $p \leq 0,05$ ). De andere behandelingen hadden geen effect op het totale aantal regenwormen. Wel was het aandeel *epigeic* soorten in de veldjes waarin mest werd toegepast verlaagd ten opzichte van 1 week vóór bemesting (alleen statistisch significant voor bovengrondse bemesting zonder snijden). Dit effect was 5 weken na de bemesting nog steeds aanwezig.

In 2003 werd één week na bemesting een hogere regenwormdichtheid vastgesteld in veldjes die bovengronds werden bemest (ten opzichte van één week voor bemesting,  $p \leq 0,05$ ). Na zodenbemesting echter, nam het aantal regenwormen tot 30% af ( $p \leq 0,05$ ). In 2003 had het doorsnijden van de grasmat zonder dat er werd bemest geen effect op het totale aantal regenwormen. Het aantal *epigeic* regenwormen was in 2003 te laag om de effecten op deze groep te kunnen onderzoeken.

De Boer & Van Eekeren (2007) onderzochten het effect van EMT op een natte zandgrond. Zij concludeerden dat zodenbemesting geen negatief effect had op de aantallen wormen en N-mineralisatie. Wel vonden zij een lagere biomassa aan wormen in de wielsporen tot negen weken na het moment van berijding.

### Synthese

De resultaten van de hierboven geciteerde studies laten een complex beeld zien van de effecten van zodenbemesting op regenwormen in grasland. Vaak wordt geen enkel aantoonbaar effect van zodenbemesting op regenwormen waargenomen. Soms echter resulteert zodenbemesting in een verlaging dan wel een verhoging van het aantal regenwormen. In het geval van een verlaging van de regenwormdichtheid is het effect doorgaans van tijdelijke aard en treedt binnen één tot een aantal maanden herstel op. De effecten van zodenbemesting lijken soortspecifiek (De Goede *et al.*, 2003; Van Vliet & de Goede, 2006) en ook jaars-, of in feite, weersafhankelijk (De Goede *et al.*, 2003; Oosterveld, 2006; Van Vliet & de Goede, 2006). Oppervlakkig levende *epigeic* soorten kwamen minder voor op bedrijven waar zodenbemesting werd toegepast (De Goede *et al.*, 2003). Dit zou verband kunnen houden met een verminderd voedselaanbod voor deze soorten bij deze manier van bemesting. In het voorjaar van 2002 had juist bovengrondse bemesting een negatief effect op de *epigeic* soorten (Van Vliet & de Goede, 2006). Dat was echter niet het geval wanneer er voorafgaand aan de bovengrondse bemesting eerst injectiesleuven in de grasmat werden aangebracht. De in de minerale bodem levende *endogeic* soorten en mogelijk ook de pendelende *anecique* soorten lijken te profiteren van zodenbemesting. Mogelijk doordat via EMT organische stof, d.w.z. voedsel voor onder andere regenwormen, in de bodem wordt aangebracht en zo direct beschikbaar komt voor deze soorten. De *endogeic* soorten zijn in aantal in Nederlandse bodems doorgaans verreweg de meest dominante groep, zodat effecten van zodenbemesting op totale aantallen doorgaans het resultaat zullen zijn van veranderingen in de dichtheid van deze soorten.

Het onderzoek naar effecten van EMT op regenwormen werd vaak uitgevoerd aan steekproeven met een klein aantal herhalingen. Aangezien de ruimtelijke spreiding van regenwormen in de bodem zeer heterogeen is, kan een kleine

steekproefomvang er de reden van zijn dat in sommige gevallen geen statistisch significante effecten konden worden aangetoond.

## 4.2.2 Overige bodemorganismen

In het onderzoek van Kruk (1994) dat werd uitgevoerd in 1991 op 30 graslandpercelen in de Bovenkerker polder (NH, veen) waarvan de helft van de percelen drijfmest werd toegediend met een zodenbemester en de andere helft bovengronds werd bemest, werden geen aantoonbare effecten vastgesteld op de aantallen en biomassa van emelten. De Boer & Van Eekeren (2007) vonden evenmin effecten van zodenbemesting op de bacterie- en schimmelbiomassa of soorten nematoden. Oosterveld (2006) heeft in zijn onderzoek ook de effecten van EMT op emelten onderzocht. De resultaten hiervan zijn tot op heden niet gepubliceerd.

In het Noordelijk Friese Wouden onderzoek van De Goede *et al.* (2003) en van Van Vliet *et al.* (2006) werden effecten onderzocht van zodenbemesting op potwormen, nematoden en de microflora.

### *Potwormen*

In de onderzoeken die werden uitgevoerd in het voorjaar (Van Vliet & De Goede, 2006) en in de zomer (De Goede *et al.*, 2003) werd geen effect van zodenbemesting op de totale aantallen potwormen vastgesteld. In het najaar werd in zodenbemeste percelen een lagere ( $p \leq 0,05$ ) potwormdichtheid vastgesteld dan in graspercelen waarop de drijfmest bovengronds werd aangebracht (De Goede *et al.*, 2003). Dit effect was vooral zichtbaar in de bovenste 0-2,5 cm van de bodem. In één perceel (Drogeham, blokkenproef) resulteerde zodenbemesting in hogere ( $p \leq 0,05$ ) aantallen potwormen.

### *Nematoden*

De reactie van de nematodengemeenschap op zodenbemesting lijkt samen te hangen met het seizoen. In het voorjaar nam het totale aantal nematoden en het aantal *enrichment opportunisten* (soorten die alleen biologisch actief zijn in eutrofe milieus) af na bovengrondse bemesting en in niet-bemeste behandelingen ( $p \leq 0,05$ ). In zodenbemeste behandelingen veranderde de nematodendichtheid en het aantal *enrichment opportunisten* echter niet (Van Vliet & de Goede 2006). De Goede *et al.* (2003) vonden dat ook in de zomer het aantal *enrichment opportunisten* en het aantal bacterivore nematoden hoger was in zodenbemeste behandelingen dan in bovengronds bemeste behandelingen ( $p \leq 0,05$ ). In het najaar waren deze verschillen niet langer aantoonbaar (blokkenproef, De Goede *et al.*, 2003), of was het aantal *enrichment opportunisten* na zodenbemesting juist verlaagd ( $p \leq 0,05$ ) ten opzichte van bovengrondse mesttoediening (12 bedrijven, De Goede *et al.*, 2003).

In de zomer was het aantal herbivore nematoden lager ( $p \leq 0,05$ ) na zodenbemesting dan na bovengrondse bemesting (De Goede *et al.*, 2003). Het effect van zodenbemesting was vooral zichtbaar in een lagere dichtheid semi-endoparasitaire herbivoren. In het najaar, vijf maanden later, was het aantal semi-endoparasieten juist hoger ( $p \leq 0,05$ ) in de zodenbemeste behandeling. Dat was ook het geval voor de wortelhaar- en epidermiscelzuigers (De Goede *et al.*, 2003).

### *Micro-organismen*

Zodenbemesting had geen aantoonbaar effect op de bezettingsgraad van arbusculaire mycorrhizas op graswortels (12 bedrijven onderzoek, De Goede *et al.*, 2003). In de blokkenproef op twee bedrijven van De Goede *et al.* (2003) werden slechts op een van de twee bedrijven effecten van zodenbemesting op de microbiële activiteit ( $\text{CO}_2$  respiratie) vastgesteld. Op het bedrijf Harkema was zowel in de zomer als in het najaar de microbiële respiratie in de zodenbemeste behandelingen lager dan in de bovengronds bemeste behandelingen ( $p \leq 0,05$ ). In het najaar bleek het zodenbemestingseffect afhankelijk van de gebruikte mest. Bemesting met mest afkomstig van bedrijf Harkema zelf gaf na zodenbemesting een lagere microbiële activiteit dan toepassing van mest afkomstig van het bedrijf Drogeham ( $p \leq 0,05$ ) (De Goede *et al.*, 2003).

## 4.3 Conclusie

De resultaten van uitgevoerde studies laten een complex beeld zien van de effecten van zodenbemesting op regenwormen in grasland. Vaak wordt geen enkel aantoonbaar effect van zodenbemesting op regenwormen waargenomen. Soms worden hogere aantallen van met name dieper in de bodem levende (endogene) soorten gevonden. Soms echter resulteert zodenbemesting in een verlaging van het aantal regenwormen. In die gevallen is het effect doorgaans van tijdelijke aard en treedt binnen één tot een aantal maanden herstel op. Een tijdelijke verlaging van de regenwormpopulatie kan gevolgen hebben voor ecosysteemfuncties en voor het voedselaanbod van bijvoorbeeld predatorpopulaties die regenwormen benutten als stapelvoedsel.

Positieve effecten van EMT op regenwormen kunnen samenhangen met veranderingen in het voedselaanbod. Regenwormen zijn saprovoren die zich voeden met afgestorven organisch resten (o.a. organische mest) en de daarin levende microben. Via EMT wordt drijfmest direct in de bodem gebracht waarvan vooral endogene regenwormsoorten lijken te kunnen profiteren. De negatieve effecten kunnen samenhangen met beschadiging van oppervlakkig levende regenwormen (met name epigene soorten) als gevolg van het doorsnijden van de graszode. Binnen de vergelijking van het effect van BMT en EMT op regenwormen werd geen eenduidig beeld gevonden. Het onderzoek naar effecten van EMT op regenwormen werd vaak uitgevoerd aan steekproeven met een klein aantal herhalingen. Aangezien de ruimtelijke spreiding van regenwormen in de bodem zeer heterogeen is, kan een kleine steekproefomvang er de reden van zijn dat in sommige gevallen geen statistisch significante effecten konden worden aangetoond.

Ook binnen de vergelijking van het effect van BMT en EMT op emelten, potwormen en nematoden werd geen effect of geen eenduidig beeld gevonden. Bij het effect op micro-organismen bleek een verstrengelingseffect met de gebruikte mest.

## Literatuur

- Ausden, M., Sutherland W.J. and James R., 2001.  
The effects of flooding lowland wet grassland on soil macroinvertebrate prey of breeding wading birds. *Journal of Applied Ecology*. 38, 320-338.
- Bardgett, R.D., 2005.  
The biology of soil: a community and ecosystem approach. Oxford University Press. 242 p.
- Boer, H.C. de & N. van Eekeren, 2007.  
Bodemverdichting door berijden bij zodebemesten: effecten op opbrengst en voederwaarde van gras-klover, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit. Wageningen UR Animal Sciences Group, Lelystad, Rapport nr. 47, 20 pp.
- Bouché, M.B., 1977.  
Strategies lombriciennes. In *Soil organisms as components of ecosystems*. Eds. U Lohm and T Persson. pp 122-132.
- Cole, L., Bradford M.A., Shaw P.J.A. and Bardgett R.D., 2006.  
The abundance, richness and functional role of soil meso- and macrofauna in temperate grassland-A case study. *Applied Soil Ecology*. 33, 186-198.
- De Goede, R.G.M., Brussaard L. and Akkermans A.D.L., 2003  
On-farm impact of cattle slurry manure management on biological soil quality. *Njas-Wageningen Journal of Life Sciences*. 51, 103-133.
- Dhillon, S.S. and Gardsjord T.L., 2004.  
Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity, productivity, and nutrients in boreal grasslands. *Canadian Journal of Botany*. 82, 104-114.
- Edwards, C.A., 2004.  
The importance of earthworms as key representatives of the soil fauna. In *Earthworm ecology* Ed. C.A. Edwards. CRC Press LLC.
- Fuller, R., Hill D. and Tucker G., 1991.  
Feeding the Birds Down on the Farm - Perspectives from Britain. *Ambio*. 20, 232-237.

- Giller, K.E., Beare M.H., Lavelle P., Izac A.M.N. and Swift M.J., 1997.  
Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*. 6, 3-16.
- Giller, P.S., 1996.  
The diversity of soil communities, the 'poor man's tropical rainforest'. *Biodiversity and Conservation*. 5, 135-168.
- Griffiths, B.S., Ritz K., Bardgett R.D., Cook R., Christensen S., Ekelund F., Sørensen S.J., Baath E., Bloem J., De Ruiter P.C., Dolfing J. and Nicolardot B., 2000.  
Ecosystem response of pasture soil communities to fumigation-induced microbial diversity reductions: An examination of the biodiversity-ecosystem function relationship. *Oikos*. 90, 279-294.
- Griffiths, B.S., Ritz K., Wheatley R., Kuan H.L., Boag B., Christensen S., Ekelund F., Sørensen S.J., Muller S. and Bloem J., 2001.  
An examination of the biodiversity-ecosystem function relationship in arable soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*. 33, 1713-1722.
- Hunt, H.W. and Wall D.H., 2002.  
Modelling the effects of loss of soil biodiversity on ecosystem function. *Global Change Biology*. 8, 33-50.
- Mooney, H.A., Lubchenco J., Dirzo R. and Sala O.E., 1995.  
Biodiversity and ecosystem functioning: basic principles. In *Global biodiversity assessment*. Eds. V H Heywood and R T Watson. pp 275-325. Cambridge Univ. Press.
- Oosterveld, E., 2006.  
Betekenis van waterpeil en bemesting voor weidevogels. *De Levende Natuur*. 107, 134-137.
- Swift, M.J., Andren O., Brussaard L., Briones M., Couteaux M.M., Ekschmitt K., Kjoller A., Loiseau P. and Smith P., 1998.  
Global change, soil biodiversity, and nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: three case studies. *Global Change Biology*. 4, 729-743.
- Van der Heijden, M.G.A., Klironomos J.N., Ursic M., Moutoglis P., Streitwolf-Engel R., Boller T., Wiemken A. and Sanders I.R., 1998.  
Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*. 396, 69-72.
- Van der Wurff, A.W.G., Kools S.A.E., Boivin M.E.Y., Van Den Brink P.J., Van Megen H.H.M., Riksen J.A.G., Doroszuk A. and Kammenga J.E., 2007.  
Type of disturbance and ecological history determine structural stability. *Ecological Applications*. 17, 190-202.
- Van Vliet, P.C.J. and de Goede R.G.M., 2006.  
Effects of slurry application methods on soil faunal communities in permanent grassland. *European Journal of Soil Biology*. 42.
- Vickery, J.A., Tallwin J.R., Feber R.E., Asteraki E.J., Atkinson P.W., Fuller R.J. and Brown V.K., 2001.  
The management of lowland neutral grasslands in Britain: Effects of agricultural practices on birds and their food resources. *Journal of Applied Ecology*. 38, 647-664.
- Wardle, D.A., 2002.  
Communities and ecosystems: linking the aboveground and belowground components. Princeton University Press. 392 p.



## 5. Weidevogels

De concrete vraag die in dit hoofdstuk wordt gesteld is of emissiearme mesttoediening direct of indirect van invloed is op het voorkomen van weidevogels. Onderzoek naar de directe effecten van emissiearme mesttechnieken op het voorkomen van weidevogels is maar in zeer beperkte mate uitgevoerd en anecdotisch van karakter. Dat betekent dat de gevolgen van EMT zullen moeten worden ingeschat op grond van bekende processen bij weidevogels. Om een en ander in een kader te kunnen plaatsen zal echter eerst een beschrijving worden gegeven van het aantalsverloop en de verspreiding van weidevogels in Nederland (paragraaf 5.1). Daarmee wordt duidelijk hoe het er voor staat met de weidevogels en kan in principe ook een risico-inschatting worden gemaakt per regio. In regio's waar de dichtheden al laag zijn is het risico voor de weidevogelpopulatie bij toepassing van EMT, als EMT negatieve effecten zou hebben, minder groot dan in gebieden waar de dichtheden wel hoog zijn. Vervolgens wordt ingegaan op de veranderingen die in de landbouw hebben plaatsgevonden (paragraaf 5.2) in de afgelopen decennia. In de meeste gevallen heeft dat geleid tot een vervroeging van werkzaamheden op het land en dit wordt afgezet tegen de timing van het broedseizoen van de verschillende weidevogelsoorten. Hieruit wordt duidelijk dat bepaalde werkzaamheden waaronder EMT tijdens de broedfase van de vogels plaatsvinden en wordt aangegeven in hoeverre die werkzaamheden tot verliezen van legsels leidt. Mogelijke indirecte effecten van EMT (paragraaf 5.3) op weidevogels worden tenslotte bediscussieerd, waarbij vooral wordt ingegaan op de algemene effecten van de landbouwkundige rationalisatie en voor zover mogelijk de rol van EMT daarin.

### 5.1 Weidevogels in Nederland

Ongeveer driekwart van het landoppervlak in Nederland bestaat uit agrarisch gebied, maar met de meeste vogels die hier broeden gaat het slecht. Een fenomeen dat zich niet alleen tot Nederland beperkt (Thorup, 2006). Als belangrijkste oorzaak van die achteruitgang wordt een lagere reproductie door intensiever landgebruik gezien (Beintema *et al.*, 1997; Kruk *et al.*, 1997; Vickery *et al.*, 2001). De soorten die voornamelijk broeden in graslanden en om die reden ook wel worden aangeduid als 'primaire' weidevogels (Verstrael, 1987; Beintema, 1991), hebben hier vooral mee te maken. Het betreft de Zomertaling, Wilde Eend, Slobeend, Kuifeend, Scholekster, Kievit, Kemphaan, Watersnip, Grutto, Wulp, Tureluur, Veldleeuwerik, Graspieper en Gele Kwikstaart. Qua aantallen vormen de steltlopers hierbinnen de belangrijkste groep. Gebaseerd op de biotoopeisen die steltlopers stellen aan hun leefomgeving worden Scholekster en Kievit tot de minder kritische soorten gerekend, Grutto, Tureluur en Wulp tot de kritische soorten, en Kemphaan en Watersnip tot de zeer kritische soorten. Deze laatste soorten komen nauwelijks meer in Nederland voor en worden voornamelijk aangetroffen in reservaten.

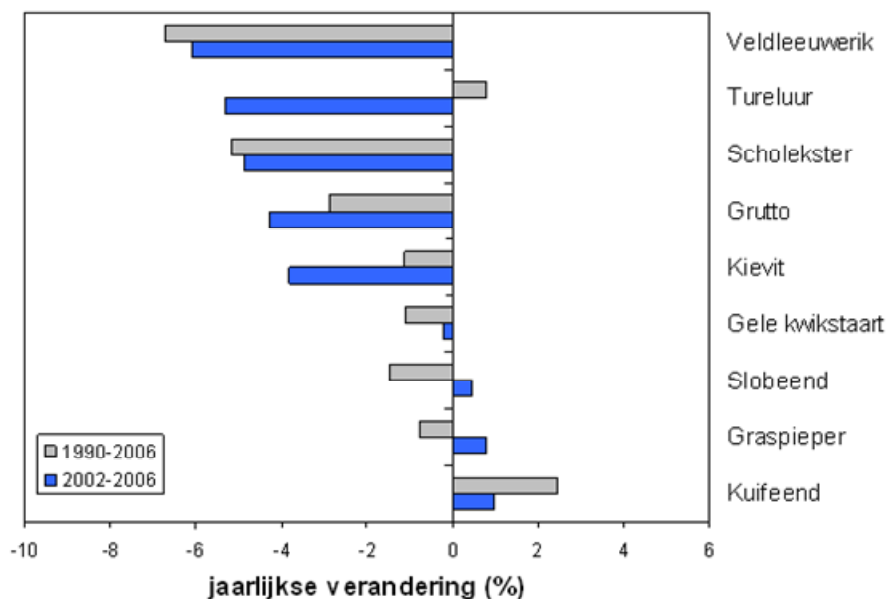
De vele aandacht voor de Grutto in het beleid wordt mede ingegeven door het feit dat Nederland een belangrijke verantwoordelijkheid heeft voor deze soort, omdat bijna 40% van de in Europa voorkomende Grutto's (*Limosa limosa*) in ons land broedt (Teunissen & Soldaat, 2006). Daarnaast wordt de Grutto algemeen beschouwd als indicatorsoort om gevolgen van landgebruik en beheer voor weidevogels aan af te meten. Maar ook een niet-kritische soort als de Scholekster is voor een belangrijk deel afhankelijk van de ontwikkelingen in ons land, want bijna 30% van de Europese Scholeksters broedt in Nederland.

#### 5.1.1 Aantalontwikkeling

Tegenwoordig is de populatieontwikkeling van weidevogels goed vast te leggen met het Nationale Weidevogelmeetnet, een samenwerkingsverband tussen SOVON, CBS en provincies en onderdeel van het Netwerk Ecologische Monitoring (NEM) (Teunissen & Schekkerman, 1999; Teunissen & Van Strien, 2000). Het meetnet bestaat uit ca. 1200 proefvlakken verspreid over het land. Om tot betrouwbare indexen en trends te komen is het meetnet gestratificeerd naar regio (sub-Fysisch Geografische Regio's) en 'kwaliteit' (gebaseerd op aanwezige aantallen in 2000 op basis van de Broedvogelatlas (SOVON, 2002)). Kwaliteit is uitgedrukt in 3 categorieën; goed (15% van het landoppervlak met de hoogste dichtheden), matig (de volgende 30%) en slecht (de overige 55%). Tot slot is per stratum (combinatie sub-FGR en 'kwaliteit') het populatieaandeel bepaald. Bij de berekening van landelijke indexcijfers en

trends kan daardoor rekening worden gehouden met verschillen tussen de strata. Ontbrekende tellingen worden bijvoorbeeld bijgeschat vanuit gebieden die in eenzelfde stratum liggen en de afzonderlijke trends per stratum worden vervolgens gecombineerd tot een landelijke trend door de afzonderlijke trends te wegen naar het populatie-aandeel binnen het stratum.

Deze berekening wordt bij negen algemeen voorkomende soorten uitgevoerd; Slobeend, Kuifeend, Scholekster, Kievit, Grutto, Tureluur, Veldleeuwerik, Graspieper en Gele Kwikstaart. Bij de overige soorten wordt geen onderscheid naar 'kwaliteit' gemaakt. Van die negen soorten vertonen alleen Kuifeend en Tureluur (jaarlijkse toename resp. 2,5% en 0,75%) een positieve aantalonwikkeling in de periode 1990-2006 (fig. 5.1).



Figuur 5.1. De gemiddelde jaarlijkse aantalverandering van negen weidevogelsoorten gerekend over de periode 1990-2006 en over de laatste vijf jaar (2002-2006) op basis van gegevens uit het Weidevogelmeetnet.

Vier soorten vertonen over diezelfde periode een jaarlijkse afname tussen de 0,75% en 1,5%. De sterkste jaarlijkse afname wordt aangetroffen bij Grutto (-2,85%), Scholekster (-5,2%) en Veldleeuwerik (-6,7%). Gerekend over de laatste vijf jaar is hier deels een verandering in opgetreden. De Kuifeend gaat nog steeds in aantal vooruit, zij het minder sterk (jaarlijks 1%) en bij Graspieper (0,8%) en Slobeend (0,5%) is de afname over de totale periode omgebogen in een lichte toename. Veldleeuwerik en Scholekster vertonen een vergelijkbare achteruitgang in de laatste vijf jaar als gerekend over de totale periode. Kievit (-3,8%) en Grutto (-4,3%) gaan de laatste jaren harder achteruit. De grootste verandering wordt aangetroffen bij de Tureluur. De laatste vijf jaar vertoont de soort een sterke achteruitgang (-5,3%) waardoor de groei in de jaren negentig volledig teniet is gedaan en de populatieomvang weer op het niveau van 1990 zit. Het is opmerkelijk dat vooral de steltlopers, die het leeuwendeel van de weidevogelpopulatie vormen, recentelijk de sterkste achteruitgang vertonen. Kanttekening is dat fluctuaties in de populatieomvang voor sommige soorten normaal zijn, waardoor de trend gerekend over de laatste vijf jaar van jaar op jaar nogal kan verschillen. Dit patroon wordt vooral bij de Slobeend en Gele Kwikstaart aangetroffen, maar dat geldt dus niet voor de steltlopers.

Een bijkomend effect van de algemene afname is dat het gemiddeld aantal weidevogelsoorten in Nederland afneemt en daarmee de biodiversiteit. De grootste klappen vallen momenteel in de laagveengebieden van West-Nederland (Teunissen & Soldaat, 2006).

Populatieschattingen worden niet jaarlijks gemaakt want daarvoor moet Nederland landdekkend worden geteld, maar de ontwikkeling van de aantallen uit de monitoringprojecten kan wel worden gebruikt om populatieschattingen uit

eerdere jaren om te rekenen naar nu. Alleen zeldzame, minder algemeen voorkomende soorten worden jaarlijks volledig geteld. Tot die categorie behoren Kwartelkoning en Kemphaan.

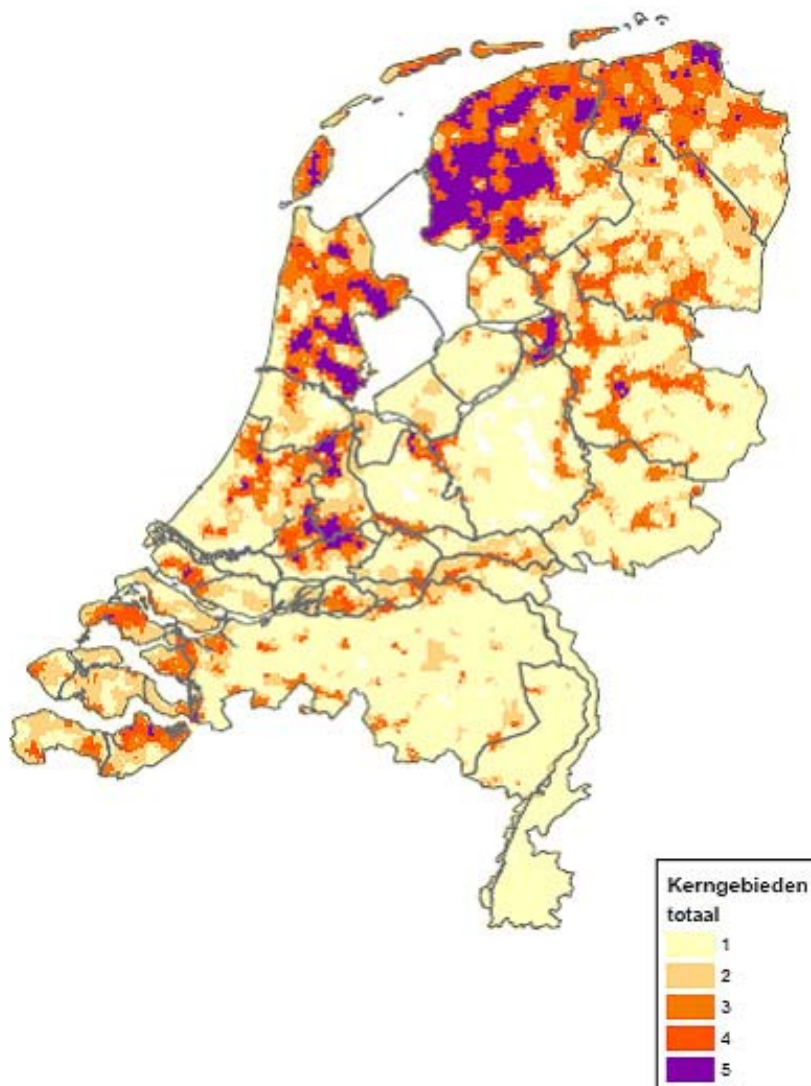
In de periode 1998-2000 is in het kader van de Broedvogelatlas (SOVON, 2002) voor veel soorten een schatting gemaakt van de populatiegrootte. Uitzondering hierop is de Grutto waarvoor in 2004 een nieuwe verspreidingskaart is gemaakt (Gruttokaart 2004, Teunissen *et al.*, 2005) die tevens resulteerde in een nieuwe populatieschatting. Door de gemiddelde indexwaarden in die periode te combineren met de indexwaarden in 2006 kan een schatting van de populatiegrootte in 2006 worden gemaakt. De populatieschattingen (Tabel 5.1) laten zien dat een deel van de soorten nog in forse aantallen voorkomen in Nederland (bijv. Kievit), maar toch zijn er van deze soort ruim 40.000 broedparen verdwenen uit Nederland t.o.v. de Atlasperiode. De Veldleeuwerik is in diezelfde periode gedaald van 50.000-70.000 in de Atlasperiode naar 30.000-42.000 in 2006, terwijl rond 1975 de populatie nog werd geschat op 500.000-700.000. Een zeer schaarse soort als de Kemphaan lijkt op het punt te staan Nederland definitief te verlaten; definitieve schattingen voor 2006 zijn nu nog niet voorhanden, maar de verwachting is dat de aantallen zeker niet de 60 zullen overschrijden. Deze ontwikkelingen hebben er toe geleid dat nu 12 van de 21 soorten uit Tabel 5.1 op de Rode Lijst als (ernstig) bedreigd of kwetsbaar/gevoelig worden aangemerkt (Van Beusekom *et al.*, 2005).

*Tabel 5.1. Populatieschattingen van broedparen weidevogels in 2006 gebaseerd op schattingen uit de broedvogelatlas (SOVON 2002), met uitzondering van de Grutto, die afkomstig is uit 2004 gebaseerd op de Gruttokaart. Aantalschattingen zijn vervolgens op grond van BMP-indexen geëxtrapoleerd naar 2006. De aantallen voor de Kemphaan en Kwartelkoning zijn afkomstig uit het LSB-project en hebben betrekking op afwijkende jaren (resp. 2004 en 2007). De aantalschatting Vetgedrukte soorten worden in de Rode Lijst aangemerkt als bedreigd of ernstig bedreigd en cursief gedrukte soorten als kwetsbaar of gevoelig.*

	2006	
	min	max
Knobbelzwaan	7.200	8.500
Bergeend	4.850	7.750
Krakeend	12.400	14.500
<i>Wintertaling</i>	<i>2.750</i>	<i>3.500</i>
<i>Zomertaling</i>	<i>1.200</i>	<i>1.400</i>
<i>Slobeend</i>	<i>6.000</i>	<i>6.750</i>
Tafeleend	1.950	2.400
Kuifeend	14.500	18.500
<i>Patrijs</i>	<i>11.100</i>	<i>16.000</i>
Kwartel	1.500	4.900
<i>Kwartelkoning</i>	<i>230</i>	<i>280</i>
Scholekster	58.000	94.000
Kievit	165.000	248.000
<b>Kemphaan</b>	<b>60</b>	<b>80</b>
<b>Watersnip</b>	<b>990</b>	<b>1.240</b>
<i>Grutto</i>	<i>44.000</i>	<i>67.000</i>
Wulp	5.300	6.200
<i>Tureluur</i>	<i>16.000</i>	<i>20.000</i>
<i>Veldleeuwerik</i>	<i>30.000</i>	<i>42.000</i>
<i>Graspieper</i>	<i>65.500</i>	<i>75.000</i>
<i>Gele kwikstaart</i>	<i>30.000</i>	<i>37.000</i>

## 5.1.2 Verspreiding

Weidevogels worden overal in het agrarisch gebied van Nederland aangetroffen. Maar tussen regio's kunnen grote verschillen in dichtheid bestaan. Op grond van de Broedvogelatlas is een kaartbeeld gemaakt, waarbij per km-hok de aantallen van de aanwezige weidevogelsoorten is gesommeerd. Vervolgens zijn de km-hokken in vijf klassen ingedeeld waarbij in elke klasse 20% van de totale populatie zit (fig. 5.2). Belangrijke weidevogelgebieden blijken te liggen in Noord-Holland (met name Laag-Holland), het grensgebied van Zuid-Holland en Utrecht, de IJsseldelta, Friesland en een deel van Groningen. Daarnaast komen op lokale schaal ook nog concentraties voor. De kerngebieden worden voornamelijk aangetroffen op de zeeklei- en veengronden. Ruim 50% broedt op de zeeklei en ongeveer 13% broedt op de veengronden (Tabel 5.2). Daarnaast broedt ongeveer een kwart van de weidevogels op de zandgronden. Maar aangezien ongeveer de helft van het agrarisch gebied op de zandgronden is gelegen zijn de dichtheden hier veel lager. Kortom, indien EMT negatieve gevolgen heeft voor de weidevogelpopulatie zullen die problemen het grootst zijn in de zeekleigebieden en de veengebieden.



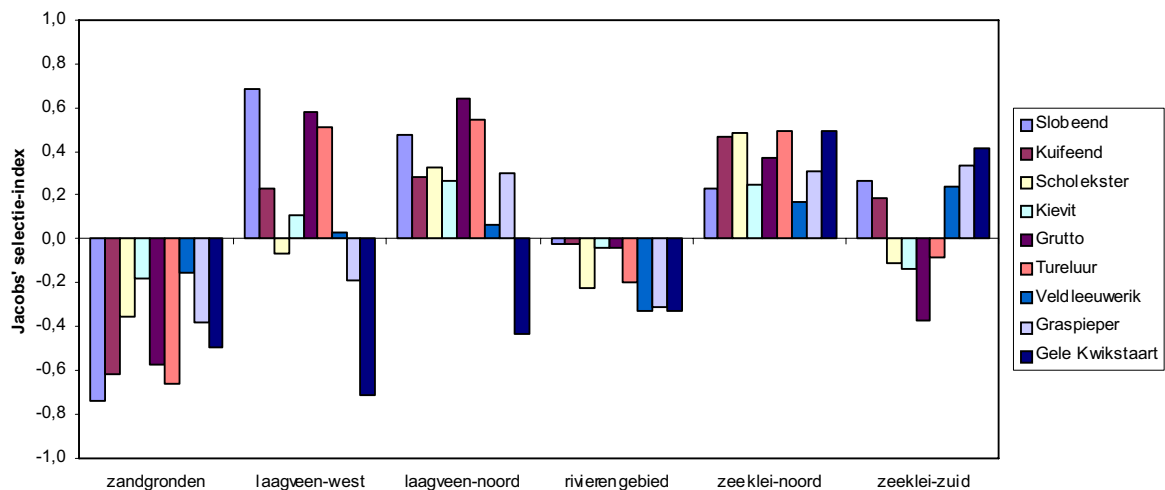
*Figuur 5.2. Verspreiding van weidevogels in Nederland gebaseerd op aantalschattingen uit de Broedvogelatlas (SOVON 2002) voor Knobbelzwaan, Bergeend, Kraakeend, Slobeend, Kuifeend, Patrijs, Scholekster, Kievit, Grutto, Wulp, Tureluur, Veldleeuwerik, Graspieper en Gele Kwikstaart. Klassen zijn zo gekozen dat in elke klasse 20% van de populatie zit, waarbij de hoogste klasse ook de hoogste dichtheden kent.*

Tabel 5.2. De proportie van het agrarisch gebied dat in een bepaalde sub-Fysisch Geografische Regio (sub-FGR) ligt en het aandeel van de weidevogelpopulatie per sub-FGR dat in het agrarisch gebied broedt gebaseerd op populatieschattingen van 14 soorten tijdens het Broedvogelatlasproject. De ligging van de sub-FGR's is weergegeven in de figuur.

Sub-FGR	Proportie agrarisch gebied	Populatie aandeel
Zandgronden	47,6%	25,1%
Laagveen-west	4,2%	5,8%
Laagveen-noord	3,8%	7,1%
Rivierengebied	11,7%	9,2%
Zeelei-noord	19,3%	36,4%
Zeelei-zuid	13,3%	16,3%



Door het proportionele gebruik van sub-FGR's per weidevogelsoort te vergelijken met het proportionele aanbod van sub-FGR's kan aan de hand van de Jacobs'index (Jacobs, 1974) worden onderzocht welke sub-FGR's door een soort worden geprefereerd (index tussen 0 en 1), dan wel worden vermeden (index tussen 0 en -1). Zandgronden blijken dan vooral door de vochtminnende soorten te worden vermeden die tevens als kritisch worden aangemerkt (Figuur 5.3). Veengronden worden juist door de vochtminnende soorten geprefereerd, zoals de eenden en Grutto en Tureluur. Alleen de zangvogels wijken hier van af; zij vertonen geen voorkeur of mijden zelfs veengronden (Gele Kwikstaart). De kleigebieden in het noorden van het land worden door alle soorten geprefereerd, maar de zuidelijke kleigebieden wijken op een opmerkelijk punt af; de steltlopers vermijden die gebieden. Tot slot blijkt het rivierengebied ook niet erg populair te zijn onder weidevogels.



Figuur 5.3. Jacobs' indexen (Jacobs 1974) voor negen weidevogelsoorten per sub-Fysisch Geografische Regio (sub-FGR). Als de proportie van een soort in een sub-FGR gelijk is aan de proportie van die sub-FGR dan is Jacobs' selectie-index 0. Indexwaarden >0 indiceren preferentie voor een sub-Fysisch Geografische Regio door een soort, terwijl waarden <0 een negatieve selectie indiceren.

## 5.2 Effecten agrarisch landgebruik

Al langer wordt erkend dat agrarisch landgebruik een belangrijke oorzaak is voor de achteruitgang van weidevogels (Beintema *et al.*, 1997; Kruk *et al.*, 1997; Vickery *et al.*, 2001). Marktontwikkelingen leiden er toe dat de agrarische sector jaarlijks meer en efficiënter moet gaan produceren. Er is daardoor niet alleen een druk op de landbouwers om meer product per oogst van het land te halen, maar ook om het aantal oogsten te vergroten. Daartoe wil men steeds vroeger en met grotere machines in het voorjaar het land op kunnen om efficiënter te kunnen werken. Dat kan alleen als de draagkracht vroeg in het voorjaar vergroot wordt via ontwatering. Het gevolg is dat weidevogel-legsels steeds meer in aanraking komen met agrarische bewerkingen op het land. Op graslanden wordt in maart al begonnen met slepen en/of rollen. Dit wordt vaak al snel gevolgd door bemesten. Om landbouwers de mogelijkheid te bieden zo optimaal mogelijk te boeren en tegelijk rekening te houden met de aanwezigheid van weidevogels is in Nederland een uniek systeem ontwikkeld van legselbescherming in samenwerking met vrijwilligers. Van oorsprong werd dit soort bescherming vooral toegepast in Friesland, waar eierrapers na het raapseizoen nesten beschermden (nazorg) om zich te verzekeren van een goede eieroogst het volgende jaar. Tegenwoordig vindt bescherming van legsels op ongeveer 345.000 ha plaats, waarbij ca. 20.000 boeren en vrijwilligers zijn betrokken (Van Paassen & Roetemeijer, 2006). Bedacht moet worden dat dit soort bescherming zich voornamelijk beperkt tot de legsels. Steltlopers zijn nestvlieders die direct na uitkomst het nest verlaten en meestal zelf hun voedsel bij elkaar moeten scharrelen. De enige bescherming die kuikens geboden kan worden is beperking of uitstel van agrarische activiteiten in de opgroeiperiode van de kuikens. Voor gruttokuikens is dat meestal uitstel van maaidatum, maar het grasland dat zo ontstaat lijkt tegenwoordig minder geschikt voor het laten opgroeien van gruttokuikens dan in het verleden omdat het grasland tegenwoordig relatief verder ontwikkeld is bij uitkomst van de legsels (Teunissen *et al.*, 2008).

### 5.2.1 Vervroeging eilegdatum en maaidatum

De datum waarop het eerste kievitsei in Friesland tussen 1900 en 2000 werd gevonden varieerde tussen 4 en 31 maart (Both *et al.*, 2005). Sinds 1950 is de eerste eilegdatum ongeveer 10 dagen vervroegd. Both *et al.* (2005) schrijven dit voornamelijk toe aan klimatologische veranderingen, maar het landgebruik wordt eveneens sterk beïnvloed door weersomstandigheden. Tegelijk is het landgebruik in die periode verder geïntensiveerd, waardoor klimaateffecten en veranderingen in landgebruik verstrengeld zijn. Het is dus de vraag of de geconstateerde vervroeging van de eilegdatum volledig is toe te schrijven aan klimaatverandering.

Het neemt echter niet weg dat weidevogels steeds meer worden geconfronteerd met allerlei agrarische activiteiten op het land. De beste maat hiervoor op de graslanden is de maaidatum. Uit onderzoek in Waterland (Sosa Romero *et al.*, 1993), onderzoek naar effecten van vrijwillige weidevogelbescherming (Teunissen, 2000) en recentelijk onderzoek naar de effectiviteit van mozaïekbeheer (Schekkerman *et al.*, 2005; Teunissen *et al.*, 2007) is onderzocht in hoeverre de maaidatum sinds 1980 is veranderd (fig. 5.4). Deze is sinds 1980 vervroegd, maar de afname is niet significant ( $F_{1,17} = 2,55$ ,  $p = 0,13$ ). Vervroeging van de maaidatum hoeft niet alleen het gevolg te zijn van veranderingen in de agrarische praktijk, maar kan ook het gevolg zijn van externe factoren. Daarom is onderzocht of de temperatuursom in de loop der jaren op het moment van de mediane maaidatum is veranderd. Dit bleek niet het geval te zijn ( $F_{1,17} = 0,71$ ,  $p = 0,413$ ). De variatie is echter groot; in sommige jaren werd al gemaaid bij een temperatuursom van ongeveer 625 °C, terwijl in andere jaren de temperatuursom ruim 1100 °C bedroeg. Ook de hoeveelheid neerslag is een belangrijke parameter voor het bepalen van het moment waarop wordt gemaaid. Of vervroeging van de maaidatum in de loop der jaren veroorzaakt wordt door klimatologische aspecten, dan wel intensivering van de landbouw en misschien wel een combinatie van beide is nu niet te zeggen. Hiervoor zijn uitgebreidere datasets nodig die buiten de opzet van deze analyse vallen.

### 5.2.2 Legselaanbod en agrarische activiteit

Variatie in maaidatum tussen jaren is meestal een direct gevolg van de weersomstandigheden in het voorjaar, temperatuur en neerslag zijn daarbij bepalende factoren. Daarnaast verschillen de soorten in hun broedcyclus. Bij nesten die worden gecontroleerd in onderzoek kan met een incubometer worden geschat hoe lang de eieren in het nest al worden bebroed op het moment van de meting en kan de verwachte uitkomstdatum worden berekend (Van

Paassen *et al.*, 1984). Op grond van data verzameld door Alterra en SOVON in de periode 1996-2005 is dit voor vier steltlopersoorten gedaan (Tabel 5.3).

Tussen de soorten bestaan grote verschillen in zowel het aanvangstijdstip waarop wordt begonnen met broeden, alsmede het moment waarop de helft van de gestarte legsels zal uitkomen. De Kievit is het eerst van de partij, maar kan tegelijk door zijn vermogen tot herleg nog tot laat in het seizoen jongen krijgen. Grutto's kennen een latere start van het seizoen en de eerste nesten komen pas in de tweede helft van april uit. Net als bij de Kievit is ongeveer de helft van de legsels halverwege mei uit. Dan zijn net de eerste legsels van de Tureluur uit, terwijl de mediane uitkomstdatum ongeveer tien dagen later ligt. Scholeksters zijn het laatst. De eerste nesten komen pas halverwege mei uit en de mediane uitkomstdatum ligt halverwege juni.

Omdat veel van het onderzoek bij weidevogels in Nederland is gericht op de Grutto worden maaidata in de regel goed geregistreerd, maar ander activiteiten niet of nauwelijks. In het onderzoek naar de effectiviteit van weidevogelbescherming is dit in twee jaren wel goed bijgehouden. In 1997 alleen in gebieden die geen vrijwillige weidevogelbescherming kenden en in 1998 in gebieden mét en zonder vrijwillige weidevogelbescherming (Teunissen, 1999). In 1997 wordt er vooral in de tweede helft van maart en de eerste helft van april EMT toegepast (fig. 5.5).

*Tabel 5.3. Het seizoensverloop van de uitkomstdatum van vier steltlopersoorten in de periode 1996-2005. Aangegeven is op welk moment het eerste nest is uitgekomen (0%), de eerste 10%, enz. Data zijn afkomstig uit onderzoek van Alterra en SOVON.*

Percentielen	Scholekster	Kievit	Grutto	Tureluur
0%	13-mei	9-apr	16-apr	8-mei
10%	26-mei	22-apr	4-mei	18-mei
25%	3-jun	2-mei	10-mei	2-mei
<b>50%</b>	<b>13-jun</b>	<b>18-mei</b>	<b>15-mei</b>	<b>26-mei</b>
75%	30-jun	10-jun	22-mei	1-jun
90%	8-jul	23-jun	2-jun	19-jun
100	17-jul	9-jul	27-jun	11-jul
Aantal legsels	140	825	795	46

In 1998 wordt in die periode een veel minder groot deel van het oppervlak via EMT bemest, maar in dat jaar heeft de bemesting vermoedelijk vooral in februari en/of de eerste helft van maart plaatsgevonden. 1997 was een relatief laat jaar (zie ook fig. 5.4) en werd er voor het eerste gemaaid rond 1 mei, terwijl in 1998 voor het eerst werd gemaaid rond half april. In alle situaties wordt er na het maaien opnieuw bemest via EMT. In 1997 was dat vooral in de tweede helft van mei en de eerste helft van juni. In 1998 werd er vooral in de tweede helft van mei bemest via EMT.

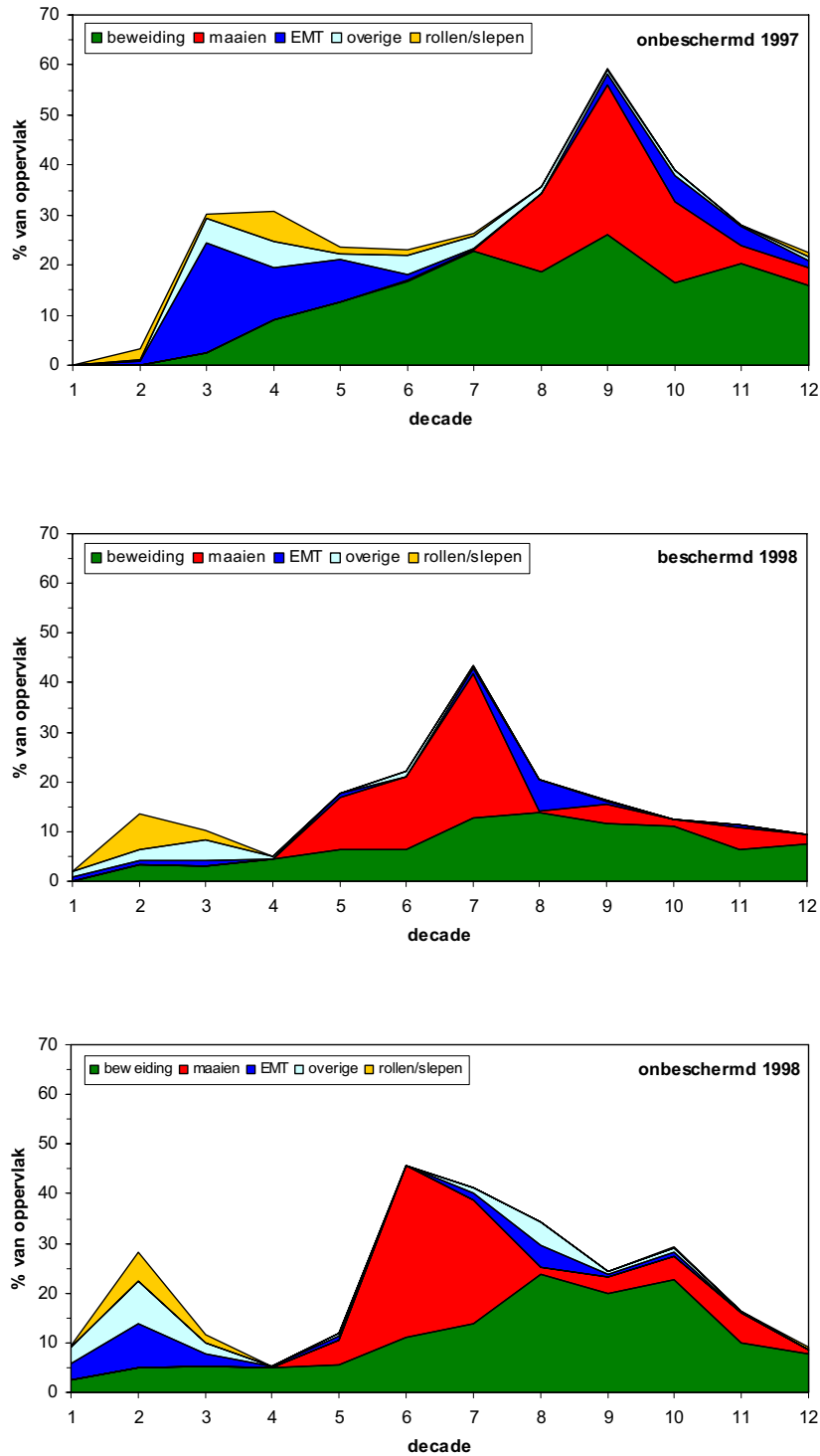
Welke weidevogels hebben nu vooral te maken met deze bemestingstechniek? Daarvoor zijn de nestgegevens gebruikt die ook ten grondslag lagen aan Tabel 5.3. Het dagelijks aantal aanwezige nesten varieert in het seizoen enerzijds door dagelijkse aanwas van nieuwe legsels en anderzijds door dagelijkse verliezen. Het aantal legsels op een dag is dus de som van het aantal nieuwe legsels op die dag plus het aantal legsels dat er de vorige dag al lag maal de dagelijkse overlevingskans (dsr) van die legsels. Als dsr is de overleving gebruikt die de Scholekster, Kievit, Grutto en Tureluur hebben als ze niet worden beschermd na correctie voor gebieds- en jaareffecten (zie Tabel 8 in Teunissen, 2000). Van de vier steltlopersoorten die zijn onderzocht is het vooral de Kievit die te maken heeft met de eerste bemesting van het seizoen rond 1 april, maar ook de eerste Grutto's kunnen hiermee geconfronteerd worden (Figuur 5.6).

Alle soorten zijn volop aan het broeden tijdens de tweede bemesting na het maaien. Vooral soorten die bij voorkeur broeden op percelen met een korte vegetatie (Kievit en Scholekster) worden hiermee geconfronteerd. Het tweede piekje in het aantal aanwezige legsels van de Kievit eind mei wordt hier mogelijk mede door verklaard. Kieviten zijn goed in staat om een vervollegsels te starten nadat een legsel is mislukt. Het is dus goed mogelijk dat die tweede piek een uiting is van de extra verliezen eind mei door EMT. In late seizoenen (1997) kan ook de Grutto hier meer

mee worden geconfronteerd. Dit wordt deels opgevangen doordat de vogels zelf ook later zijn in late voorjaren. In gebieden waar vrijwillige weidevogelbescherming plaatsvindt wordt om de nesten heen gemaaid en ook bij de daarop volgende bemesting wordt dit gedaan. Verder valt op dat het broedseizoen van de Grutto zeer synchron verloop en dat de piek in het aantal aanwezige legsels samenvalt met de grootste maaiactiviteit. Dat betekent tevens dat op het moment dat legsels uitkomen de jongen tegenwoordig worden geconfronteerd met een groot aantal pas gemaaide graslandpercelen.

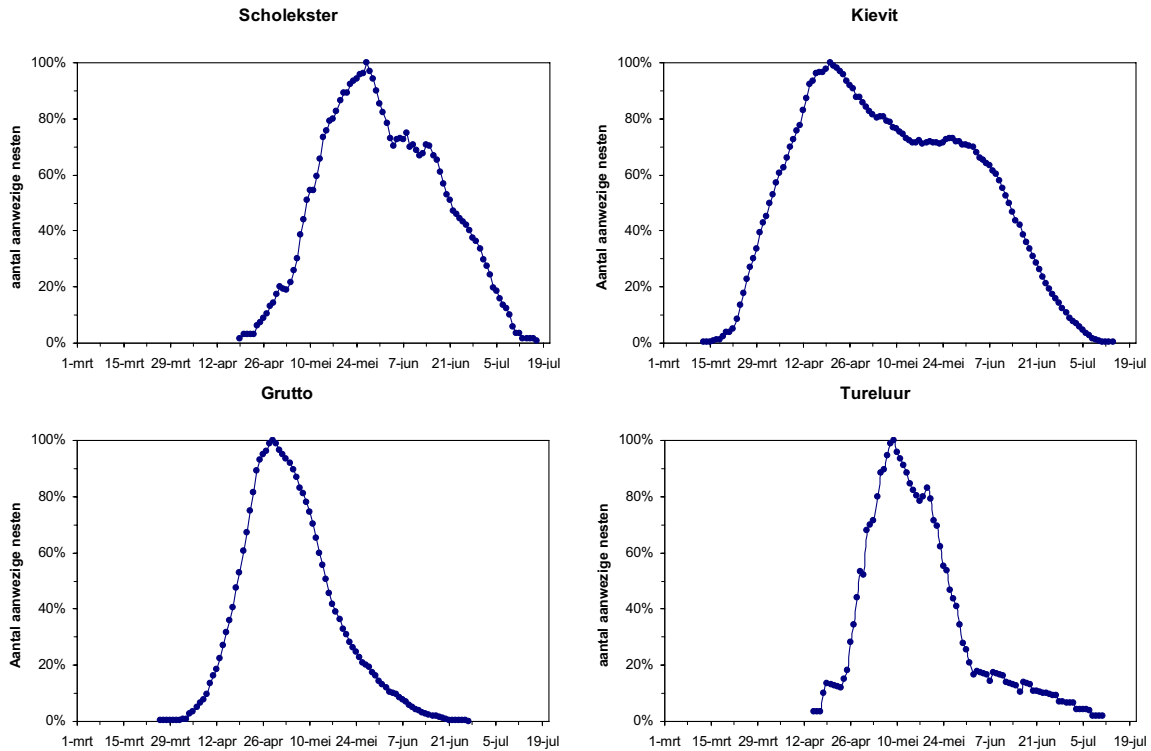
Maar niet alleen steltlopers worden geconfronteerd met de gevolgen van de vroege maaiactiviteiten, ook Veldleeuwen kunnen hier last van ondervinden. Wil de soort zich kunnen handhaven dan zal jaarlijks meer dan één broedpoging moeten worden ondernomen (Donald, 2004). In intensief benutte graslanden lukt dat echter bijna nooit. Slechts een beperkt deel van de vogels onderneemt een tweede broedpoging en meestal niet met succes (Teunissen *et al.*, 2007). Alleen vogels die direct na de bemesting na de eerste snede beginnen met broeden zijn in staat om net voor de tweede snede een legsel uit te broeden. In de extensief benutte graslanden is een tweede legsel normaal en een derde legsel komt zelfs regelmatig voor (Teunissen *et al.*, 2007).





Figuur 5.5. Het agrarisch landgebruik op grasland in 1997 (onbeschermd gebied) en 1998 (beschermd en onbeschermd gebied)<sup>1</sup>. Per decade (1= eerste tien dagen van maart) is aangegeven welk deel van het totale oppervlakte is gebruikt voor een bepaalde agrarische activiteit in die decade.

<sup>1</sup> In 1998 zijn gebieden mét en zonder vrijwillige weidevogelbescherming afzonderlijk geanalyseerd. De onderzoeksgebieden zijn weliswaar zo gekozen dat gepaarde gebieden mét en zonder vrijwillige weidevogelbescherming vergelijkbaar zijn, zeker wat betreft bodem en weer. Toch lijken de gebieden zonder vrijwillige weidevogelbescherming intensiever en eerder te worden bewerkt dan gebieden mét vrijwillige weidevogelbescherming. Dit verschil is vermoedelijk het gevolg van een andere basis-houding t.a.v. weidevogels. Boeren in gebieden mét vrijwillige weidevogelbescherming houden meer rekening met de aanwezigheid van weidevogels op hun land.



Figuur 5.6. Het seizoensverloop in het aantal aanwezige nesten op basis van de dagelijkse aanwas van nieuwe nesten en de dagelijkse overlevingskans van die nesten. Zie voor de steekproefgrootte Tabel 5.3.

### 5.2.3 Directe effecten van bemesting

Effecten van weidevogelbescherming zijn voor het eerst onderzocht aan het eind van de jaren tachtig toen er nog geen sprake was van emissiearme toediening. Dat onderzoek is uitgevoerd door Piet van der Meer bij het Centrum voor Milieubiologie Leiden (CML), maar is nooit gepubliceerd. De bewerkte data in de vorm van dagelijkse overlevingskansen (dsr) zijn gebruikt door Teunissen & Willems (2004). De effectiviteit van bescherming is onderzocht door in een reeks van gebieden de helft van de nesten te beschermen en de andere helft niet. Om de impact van bepaalde werkzaamheden goed te bepalen moeten afzonderlijke overlevingskansen voor de verschillende gebeurtenissen worden berekend (zie ook Mayfield, 1961 en 1975; Beintema, 1992; Aebischer, 1999). Er is namelijk een verschil tussen gebeurtenissen waaraan een legsel gedurende de gehele incubatieperiode wordt blootgesteld, zoals predatie of verlaten, en eenmalige gebeurtenissen zoals maaien en bemesting. Beweiding is dan nog een aparte categorie omdat het legsel meestal slechts een paar dagen daarmee te maken heeft, bijv. vier of zes dagen. De uiteindelijke overleving van een legsel wordt dan als volgt berekend:

$$H = (p_1 \times p_2 \times p_3 \times \dots)^L$$

Daarin is H (hatching success) het uitkomstsucces, de afzonderlijke p-waarden staan voor de afzonderlijke dagelijkse overlevingskansen, zoals de kans om predatie te overleven of om een nest niet te verlaten. Het product van die afzonderlijke dsr's is de kans dat het legsel al die verliesoorzaken overleeft en er de volgende dag nog is. Wil het legsel uitkomen dan zal het alle dagen dat het wordt bebroed (de ligduur (L)) moeten overleven, vandaar dat de dsr wordt verheven tot de macht van de ligduur. Dit is de situatie als het legsel niet wordt geconfronteerd met agrarische activiteiten. In het geval van werkzaamheden als maaien of bemesten zal de dsr op de dag dat dat plaatsvindt afnemen met de kans om die activiteit te overleven. Bij beweiding wordt dit nog iets complexer omdat dit meestal meerdere dagen betreft en niet alleen rekening gehouden moet worden met de kans dat een legsel vertrapping door vee overleeft, maar ook met het feit dat legfels in percelen die beweïd worden een grotere kans hebben om gepreëdeerd of verlaten te worden. De uiteindelijke overleving is dan het product van de 'dsr-zonder beweïding' tot

de macht dat het legsel op een perceel lag zonder beweiding en de 'dsr-met beweiding' tot de macht dat het legsel op een perceel lag dat beweid werd (zie ook Teunissen, 1999).

Helaas is in het onderzoek van Piet van der Meer alleen een dsr gegeven voor legsels waarbij tijdens de incubatieperiode bemest is; in die tijd was dat nog voornamelijk BMT. Niettemin kan dit een goede referentie vormen voor de huidige situatie met emissiearme toepassing. De dsr bedroeg voor legsels die beschermd werden 0,9860 (uitkomstsucces = 65,6%, 1171 nestdagen) en voor de onbeschermden was dat 0,9775 (uitkomstsucces = 50,5%, 1762 nestdagen). Hierin zijn dus effecten van het vervuilen van de nest met mest verdisconteerd. Korevaar *et al.* 1991 geven aan dat over het effect van besmeuring van nesten met mest weinig informatie beschikbaar is en daardoor niet gekwantificeerd kan worden.

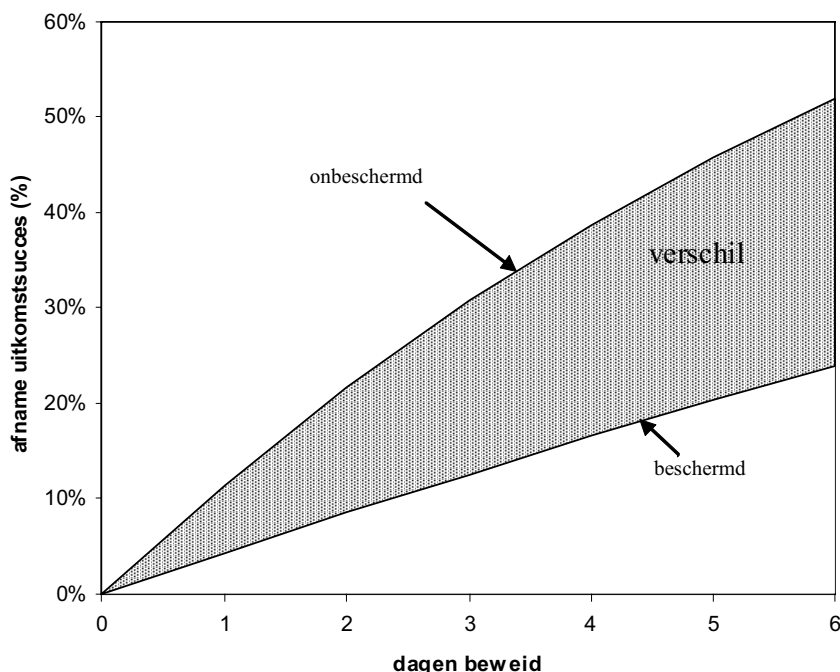
Een betere vergelijking is mogelijk op grond van onderzoek aan het eind van de jaren negentig (Teunissen, 1999). Hierin zijn afzonderlijke overlevingskansen voor verschillende verliesoorzaken berekend (Tabel 5.4). Allereerst blijkt dat nesten die beschermd worden tijdens het bemesten een hogere overleving hebben dan als ze niet worden beschermd ( $F_{1,179} = 62,48$ ,  $p < 0,001$ ), maar ook dat er een groot verschil is in de overleving van het legsel tussen EMT en andere bemestingsvormen (hoofdzakelijk kunstmest;  $F_{1,179} = 10,26$ ,  $p = 0,002$ ). Het resultaat is dat de overleving van het legsel bij EMT met ruim 14% afneemt als het legsel wordt beschermd en als het niet wordt beschermd met bijna 79%. Bij de overige bemestingsvormen is de afname resp. bijna 7% en 29% (Tabel 5.4). Legselverliezen door EMT zijn dus ongeveer 2,5 groter dan wanneer kunstmest wordt toegepast. Steeds vaker broeden Kieviten en Scholeksters op maïsland. In het geval van Kieviten betreft het vaak een vervollegselsel, nadat het eerste legsel is mislukt op grasland. Voor Scholeksters valt het moment van inzaaien meestal kort voor de piek in de eileg. Het zal geen verbazing wekken dat ook op maïsland verliezen door werkzaamheden waaronder EMT aanzienlijk kunnen zijn, vooral als de legsels tijdens de werkzaamheden niet worden beschermd (Tabel 5.4).

Samenvattend kan gesteld worden dat legsels die niet worden beschermd en die op een perceel liggen waar EMT wordt toegepast een veel kleinere kans hebben om uitgebroed te worden. Als de nesten worden beschermd leidt dit wel tot een aanzienlijke verhoging van het uitkomstsucces. Een directe vergelijking tussen BMT en EMT is niet mogelijk, omdat hiervoor gegevens ontbreken.

Maar ook andere agrarische activiteiten leiden tot een aanzienlijke afname in de overleving van een legsel. Maaien leidt tot een afname met 95% in de legseloverleving als het nest niet wordt beschermd, terwijl een beschermd legsel slechts tot een afname van ruim 3% leidt. In het laatste geval moet wel worden bedacht dat de overleving van legsels nadat er omheen is gemaaid lager is dan in de periode voor het maaien. Dit komt vooral doordat nesten vaker worden verlaten door de broedvogel na het omheen maaien (Teunissen, 1999). Beweiding leidt ook tot aanzienlijke verliezen (fig. 5.7). Uiteraard zijn deze afhankelijk van de duur van beweiding. Als een nest bijv. drie dagen op een beweid perceel wordt bebroed neemt het uiteindelijke uitkomstsucces van het legsel af met 13% als het wordt beschermd met een nestbeschermer en met 30% als het niet wordt beschermd. Zes dagen beweiding levert een verlaging van het uitkomstsucces op van 26% als het nest wordt beschermd en 52% als het niet wordt beschermd. Dit gold voor een gemiddelde veedichtheid tijdens het onderzoek. Beintema en Müskens (1987) hebben aangetoond dat de verlieskans snel toeneemt met de veedichtheid.

Tabel 5.4. *Dagelijkse overlevingskansen (dsr) voor verschillende verliesoorzaken op grasland- en maïspercelen. Ongestoord is als het nest niet wordt geconfronteerd met agrarische werkzaamheden tijdens de incubatie, beweiding is als er op die dag op het perceel wordt beweïd. Voor maaien, EMT en kunstmesttoediening zijn de kansen vermeld om die activiteit te overleven. Het uitkomstsucces (H) is  $dsr^L$ , waarbij L staat voor de periode dat een legsel wordt bebroed. In dit geval is gerekend met  $L = 30$ . Bij beweïding is uitgegaan van een gemiddelde beweïdingsduur van zes dagen. Het uitkomstsucces is dan:  $H = dsr_{ongestoord}^{L-6} \times dsr_{beweïding}^6$ . het uitkomstsucces voor de overige verliesoorzaken is:  $H = dsr^L \times$  de kans om de verliesoorzaak te overleven. Bijvoorbeeld  $H_{EMT} = dsr_{ongestoord}^L \times kans_{EMT} = 54,5 \times 0,2128 = 11,6\%$  als het legsel niet wordt beschermd tijdens het bemesten. In het rechter deel van de tabel is de afname in het uitkomstsucces t.o.v. ongestoord vermeld.*

	Onbeschermd		Beschermd		Afname uitkomstsucces t.o.v. ongestoord	
	dsr	H	dsr	H	onbeschermd	beschermd
<b>Grasland</b>						
ongestoord	0,9801	54,7%	0,9824	58,7%		
Beweïding	0,8668	26,2%	0,9387	44,7%	52,1%	25,6%
Maaïen	0,0523	2,9%	0,9674	56,8%	94,8%	3,5%
EMT	0,2128	11,6%	0,8676	50,9%	78,7%	14,2%
bem overig	0,7143	39,1%	0,9333	54,8%	28,6%	7,2%
<b>Maïsland</b>						
ongestoord	0,9803	55,1%	0,9803	55,1%		
EMT	0,3333	18,3%	0,8947	49,3%	66,7%	10,5%
bem overig	0,625	34,4%	1	55,1%	37,5%	0,0%



Figuur 5.7. *De afname in uitkomstsucces door beweïding in relatie tot de beweïdingsduur in gebieden met en zonder vrijwillige weidevogelbescherming. Het gearceerde deel indiceert de effectiviteit van bescherming tijdens beweïding. Beweïding leidt dus altijd tot verliezen, maar die verliezen zijn zonder bescherming van de legfels ongeveer twee keer groter dan bij legfels die worden beschermd met een nestbeschermer.*

## 5.3 Indirecte effecten mesttoediening op weidevogels

Naast de directe effecten op weidevogels (vernietiging legsels) kan EMT ook op indirecte wijze het vóórkomen en broedsucces van weidevogels beïnvloeden. Er bestaat geen literatuur over de indirecte effecten van EMT op weidevogels. Op basis van de kennis van de voedsel- en broedecologie van weidevogels kunnen echter een aantal factoren geïdentificeerd worden die van belang zijn voor weidevogels en die beïnvloed kunnen worden door EMT. De belangrijkste indirecte effecten zijn effecten op de voedselbeschikbaarheid van volwassen weidevogels en hun kuikens. Deze indirecte effecten worden hieronder toegelicht.

Zoals in hoofdstuk 4 is besproken zijn er weinig aanwijzingen dat de manier van mesttoediening een belangrijk duurzaam effect heeft op regenwormen, de belangrijkste voedselbron van weidevogels. Dit geldt mogelijk echter niet voor de bereikbaarheid van regenwormen voor weidevogels. Uitsluitend regenwormen die zich ophouden in de bovenste bodemlaag (0-10 cm afhankelijk van de snavellengte van de verschillende soorten) zijn beschikbaar voor weidevogels. Daarnaast kunnen weidevogels uitsluitend bodems sonderen die zacht zijn (een lage indringingsweerstand hebben). Beide factoren worden sterk beïnvloed door de vochtigheid van een perceel welke op zijn beurt beïnvloed wordt door grondwaterstand en ontwateringspeil. De mate van ontwatering bepaalt hoe snel een perceel opdroogt in het voorjaar en hoe vroeg een boer zijn land op kan. Hoe hoger de bodemdruk van de machinerie (hoofdstuk 3) hoe groter de draagkracht van het perceel moet zijn en hoe sterker een perceel ontwaterd moet worden om nog steeds vroeg het land op te kunnen. Uit hoofdstuk 3 blijkt dat EMT machines niet noodzakelijk een hogere bodemdruk hebben dan machines voor BMT. In die zin mag de invoering van EMT niet verantwoordelijk worden gesteld voor het veranderde waterpeilbeheer. Ontwateringsaspecten en intensivering hangen van veel aspecten af. In de discussie in hoofdstuk 6 wordt hierop ingegaan. Hieronder wordt besproken wat de mogelijke consequenties zijn van een sterkere ontwatering en vervroeging van het groeiseizoen op de voedselbeschikbaarheid van weidevogels.

### 5.3.1 Voedselbeschikbaarheid voor volwassen weidevogels

#### *De indringingsweerstand van de bodem*

De indringingsweerstand van de bodem bepaalt in belangrijke mate hoeveel moeite weidevogels moeten doen om hun prooidieren te bemachtigen. De indringingsweerstand neemt toe met afnemende vochtigheid van de bodem (Schekkerman, 1997; Struwe-Juhl, 1995a). Ekschmitt (1991, in Struwe-Juhl, 1995a) meldt dat bij een indringingsweerstand boven de 125 N/cm<sup>2</sup> Grutto's moeite hebben met behulp van sonderen voldoende voedsel te bemachtigen. De gemiddelde indringingsweerstand in een viertal goede Nederlandse weidevogelgebieden in de vestigingsfase (maart-april) in 2003 en 2007 varieerde tussen de 70 en 128 N/cm<sup>2</sup> (Kleijn *et al.*, in voorbereiding). Green (1988), gebruikmakend van een ander type penetrometer, beschrijft dat watersnippen niet meer tot broeden komen wanneer de indringingsweerstand boven de 5-6 kg stijgt. Schekkerman (1997), gebruikmakend van eenzelfde type penetrometer als Green (1988), vond in de jaren '90 van de afgelopen eeuw in de kleibodems van de polder Zeldert in juni een indringingsweerstand van 8-13 kg terwijl gelijktijdig in veenweiden van de Zaanstreek gemiddeld 4.4 kg gemeten werd. In de meeste weidevogelgebieden zal voor sonderende weidevogels dus ergens in de loop van het broedseizoen de indringingsweerstand te hoog worden om efficiënt voedsel te bemachtigen. Wanneer dat precies gebeurt is gebiedsafhankelijk aangezien de indringingsweerstand afhangt van bodemtype, weer en mate van ontwatering. Een sterkere ontwatering, zal echter overal leiden tot een vervroeging van het moment dat de indringingsweerstand van de bodem te hoog wordt voor foeragerende weidevogels.

#### *De verticale verdeling van regenwormen in de bodem*

De verticale verdeling van regenwormen is niet constant gedurende het jaar. In de winter en het vroege voorjaar zijn de regenwormen sterk geconcentreerd in de bovenlaag van de bodem. Hier bevindt zich de grootste concentratie voedsel (organisch materiaal) en kunnen ze in natte gebieden ontsnappen aan de anaerobe omstandigheden van waterverzadigde diepere bodemlagen. In de loop van het broedseizoen van weidevogels verandert deze situatie drastisch. De grondwaterstand zakt weg en de bovenste lagen van de bodem drogen uit. Onderzoek heeft

aangetoond dat met het droger worden van de wortelzone, regenwormen migreren naar diepere nog steeds vochtige bodemlagen (Schekkerman, 1997). Hier zijn ze buiten het bereik van de snavels van weidevogels. Oudervogels kunnen daardoor gedwongen worden om ver van het nest of de jongen te gaan foerageren of moeten overschakelen op ander, energetisch minderwaardig voedsel zoals arthropoden (Struwe-Juhl, 1995a,b). Dit heeft waarschijnlijk een verhoogde kans op verlating van de legsels of predatie van de legsels en kuikens tot gevolg (Martin *et al.*, 2000). Een sterkere ontwatering zal dus leiden tot een vervroeging van het moment dat de regenwormen buiten het bereik van foeragerende weidevogels komen en de daarmee geassocieerde nadelen.

### 5.3.2 Effecten op de voedselbeschikbaarheid van weidevogelkuikens

De kuikens van de meeste soorten weidevogels zijn nestvlinders en moeten hun eigen kostje bij elkaar scharrelen. Groei en overleving van kuikens wordt sterk bepaald door interacties tussen weer, agrarisch beheer en voedselaanbod. Veel van wat we hierover weten komt van studies aan twee soorten: de Kievit en de Grutto. Hiervan is bekend dat slechts 10-30% van de dagelijkse energie-inkomsten beschikbaar zijn voor groei en dat ze zo'n 70-96% van de daglichtperiode besteden aan foerageren (Schekkerman, 1997; Schekkerman & Visser, 2001; Gruber, 2006). Het bemachtigen van voldoende voedsel is daarom van doorslaggevend belang voor groei en overleving en kuikens zijn bijzonder gevoelig voor veranderingen in voedselaanbod. Daarbij is de grootte en het type prooidier van belang. Kuikens die foerageren op grote prooidieren, zoals in het geval van Kieviten regenwormen en emelten, kunnen efficiënter aan de benodigde energie komen dan kuikens die afhankelijk zijn van kleinere prooidieren (Beintema *et al.*, 1991).

Kuikens van verschillende soorten weidevogels hebben verschillende voedselvoorkeuren. Kuikens van eendensoorten verruilen de vaste wal waarop het nest ligt voor het water van poldersloten en zijn daarmee qua voedselvoorziening betrekkelijk ongevoelig voor veranderingen in graslandbeheer. Steltloperkuikens eten een breed scala aan invertebraten die ze uit de vegetatie plukken (Grutto), van de bodem pikken (Kievit) of allebei (Kemphaan, Tureluur). Kuikens van Watersnip en Scholekster worden gevoed met regenwormen en emelten terwijl kuikens van Graspieper, Veldleeuwerik en Gele kwikstaart gevoed worden met een breed scala aan arthropoden. Het is hierbij de vraag hoe de invoering van emissiearme mesttoediening ingrijpt op de beschikbaarheid van kuikenvoedsel.

Er is vrijwel niets bekend over het effect van emissiearme toediening van mest op de rijkdom van arthropoden in de maanden april-augustus, wanneer de kuikens van weidevogels in Nederlandse graslanden aanwezig zijn. Omdat bij regenwormen weinig nadelige effecten van het type mesttoediening zijn geconstateerd nemen we aan dat dit ook weinig nadelige gevolgen heeft op de beschikbaarheid van arthropoden. Opnieuw is het niet de toepassing van EMT per se die hierop van invloed is, maar is het eerder de versterkte ontwatering die parallel met de invoering van EMT wordt toegepast. Een sterkere ontwatering heeft tot gevolg dat gewasgroei eerder op gang komt en dus eerder gemaaid of beweid kan worden. Het hierdoor verhoogde risico op vertrapping of uitmaaien van legsels wordt elders besproken. Het effect op de beschikbaarheid van verschillende typen kuikenvoedsel en gevolgen voor kuikenoverleving wordt hieronder besproken.

### Effecten van vervroeging van agrarische activiteiten

#### *Soorten met een voorkeur voor hoge vegetaties*

Het belang van de timing van agrarische activiteiten voor de groei en overleving van kuikens die foerageren in lang gras (Grutto, Tureluur, Kemphaan) is het best onderzocht bij de Grutto in Nederlandse graslanden.

Omdat gruttokuikens een voorkeur hebben voor percelen met lang gras (15-30 cm) zijn ze bijzonder gevoelig voor de timing van agrarische activiteiten. Daarnaast vindt de uitkomst van het merendeel van de gruttolegsels plaats tijdens de maaipiek van de graslandpercelen (Teunissen, 2000). Voor Tureluur en Kemphaan is dit later, maar voor alle soorten geldt dat hoe vroeger agrarische activiteiten beginnen hoe groter het aandeel kuikens dat te maken krijgt met de nadelige gevolgen ervan. Teunissen *et al.* (2005) vonden dat de sterftkans van gruttokuikens als gevolg van maaien ongeveer vijf keer zo groot was als de sterftkans in ongemaaide percelen.

Kruk *et al.* (1997) vonden dat op 65% van de percelen die gemaaid werden gruttopen met kuikens aanwezig waren. Sterfttekans was afhankelijk van de ouderdom van de kuikens: 38-95% van de pas uitgekomen kuikens (0 dagen oud) overleefde de maaiwerkzaamheden niet tegen 5-45% van de kuikens van 1 dag en ouder.

De meeste studies tonen aan dat de talrijkheid van de belangrijkste prooidieren van gruttokuikens, vegetatiebewonende insecten, afneemt in de tweede helft van het kuikenseizoen (juni; Struwe-Juhl, 1995a; Belting & Belting, 1999; Schekkerman & Beintema, 2007, maar zie Kleijn *et al.*, 2007). Daarnaast neemt de grootte van de voor de kuikens beschikbare prooidieren over het algemeen af naarmate het kuikenseizoen vordert (Schekkerman, 1997; Belting & Belting, 1999; Kleijn *et al.*, 2007). Tegelijkertijd moeten gruttokuikens met toenemende leeftijd juist grotere prooidieren tot zich nemen om hun conditie op peil te houden (Schekkerman & Boele, *subm.*). Maaien of weiden leidt tot een drastische daling van het aanbod vegetatiebewonende arthropoden (Schekkerman & Beintema, 2007). Daarnaast vermijden gruttogezinnen percelen met kort gras (Schekkerman *et al.*, 2005). Een vervroeging van de eerste maai/weide activiteiten betekent dus dat de periode met relatief goede voedselomstandigheden voor kuikens aanzienlijk verkort wordt en meer kuikens langer worden geconfronteerd met slechtere voedselomstandigheden. De beschikbaarheid van kwalitatief hoogwaardig voedsel bepaalt of kuikens in een positieve of negatieve groeispiraal terechtkomen (Schekkerman, *in voorbereiding*). Kuikens die onvoldoende eten hebben een slechte conditie, kuikens met een slechte conditie moeten vaker bebroed worden omdat zij minder goed in staat zijn om zelf hun lichaamstemperatuur op peil te houden, vaker bebroeden betekent minder tijd voor eten, minder eten resulteert in een slechtere conditie. Teunissen *et al.* (2005) vonden dat gruttokuikens met een goede conditie een kleinere sterftetekans hadden dan kuikens met een slechte conditie. Het effect van conditie op de sterftetekans kwam vooral tot stand door een (mogelijk) verhoogde kans op vermissing en door een verhoogde kans op predatie door zoogdieren.

#### *Soorten met een voorkeur voor lage vegetaties*

Bij soorten waarbij de kuikens zelf hun kostje bij elkaar moeten scharrelen en die een voorkeur voor percelen met kort gras hebben gaat het eigenlijk uitsluitend over de Kievit.

Omdat kievitkuikens een voorkeur hebben voor percelen met kort gras vallen relatief weinig kievitkuikens ten slachtoffer aan maaiactiviteiten. Teunissen *et al.* (2005) vonden ook geen verband tussen het type beheer en de kans om gepredeerd te worden.

Uit oogpunt van beschikbare hoeveelheid foerageerhabitat is een vervroeging van het maaien of beweiden van zwaar bemeste graslanden niet nadelig voor de Kievit omdat de vegetatie op ongemaaide percelen al snel te lang wordt. Wel belangrijk lijkt de vochtigheidsgraad van graslandpercelen te zijn. Op droge percelen zijn minder potentiële prooidieren voor kievitkuikens voorhanden dan op vochtige percelen (Schekkerman, 1997, zie hierboven). Na maaien droogt het bodemoppervlak sneller uit, waardoor het positieve effect van maaien voor kievitkuikens vermoedelijk van korte duur is. Beintema (1995) vond dan ook dat kievitkuikens in betere conditie waren en beter overleefden in natte dan in droge voorjaren. Kuikens met een slechtere conditie hebben over het algemeen een grotere sterftetekans door uitputting (Teunissen *et al.*, 2005). Het eerder uitdrogen van het oppervlak van gemaaide of beweidde percelen door sterkere of eerdere drainage zal in de praktijk waarschijnlijk leiden tot verslechtering van de voedselbeschikbaarheid in Nederlandse graslanden.

#### *Nestvliegender kuikens die gevoed worden door de ouders*

Kuikens van Scholeksters en Watersnippen worden door de ouders gevoed met regenwormen en emelten (Heppleston, 1972; Green, 1986; Beintema *et al.*, 1991). Aan deze soorten is aanzienlijk minder onderzoek gedaan waardoor minder details bekend zijn maar de paar studies die gedaan zijn duiden op het belang van een goede toegankelijkheid van kuikenvoedsel voor het broedsucces. Green (1988) vond dat Watersnippen stopten met broeden als de vochtigheid van de bodem daalde en de indringingsweerstand van de bodem steeg. Dit suggereert dat Watersnippen bij het overschrijden van een bepaalde drempelwaarde in indringingsweerstand stoppen met broeden omdat het te veel moeite kost om aan voldoende regenwormen en emelten te komen voor zichzelf en hun kuikens. Heppleston (1972) vond dat het verschil in broedsucces tussen aan de kust broedende Scholeksters en in het binnenland broedende Scholeksters vooral verklaard werd doordat kustbroeders meer tijd kwijt waren aan

territoriale conflicten waardoor meer kuikens ten prooi vielen aan predatoren. Sterkere ontwatering en de daarmee gepaard gaande verminderde voedselbeschikbaarheid kan er toe leiden dat oudervogels meer tijd nodig hebben om voedsel voor zichzelf en hun kuikens bij elkaar te zoeken en dit zou kunnen leiden tot een verhoogde kuikenmortaliteit door predatie. Er zijn echter geen studies beschikbaar in Nederlandse graslanden die dit aspect hebben onderzocht.

#### *Kuikens die in het nest gevoed worden door ouders*

Kuikens van de zangvogels Graspieper, Veldleeuwerik en Gele kwikstaart worden in het nest gevoed totdat ze een vliegvlugge leeftijd hebben bereikt. Een belangrijk verschil tussen deze soorten en de hiervoor besproken steltlopers is dat een stabiele populatieomvang afhankelijk is van de productie van meerdere legsels per jaar. Het broedseizoen loopt ook tot later door dan bij de hiervoor besproken soorten. Het dieet van kuikens is bij alle soorten volledig dierlijk en bestaat uit (larven van) arthropoden (Bureš & Weidinger, 2000; Holland *et al.*, 2006). Het voedsel van de volwassenen verschilt enigszins tussen soorten. Het dieet van Gele kwikstaart is volledig dierlijk, het dieet van Graspieper en Veldleeuwerik bestaat 's zomers vooral uit arthropoden, terwijl in herfst en winter ook of zelfs uitsluitend zaden worden gegeten (Holland *et al.*, 2006; Beintema *et al.*, 1995). De invertebraten die door zangvogels gegeten worden zijn vooral vegetatiebewonend (Buchanan *et al.*, 2006).

Het is onbekend hoe een vervroeging van agrarische activiteiten ingrijpen op kuikenoverleving. Het spectrum aan prooidieren waarmee kuikens gevoerd worden komt grotendeels overeen met dat van gruttokuikens. Net als voor deze soort mag verwacht worden dat een vervroeging van agrarische activiteiten en het eerder uitdrogen van het bodemoppervlak als gevolg van een sterkere ontwatering zal leiden tot een vermindering van kwantiteit en kwaliteit aan foerageergebied. Dit kan leiden tot een verminderde conditie van oudervogels, de productie van minder legsels per jaar en een verminderde kuikenoverleving, welke tezamen leiden tot een sterk verminderd reproductiesucces van deze soorten.

## 5.4 Conclusie

De meeste weidevogelsoorten vertonen een (sterke) achteruitgang en dit leidt tevens tot een achteruitgang in de biodiversiteit van het agrarisch gebied. Weidevogels komen overal in het agrarisch gebied voor, maar de belangrijkste gebieden liggen in de veen- en kleigebieden van West- en Noord-Nederland. Veengebieden worden vooral door de kritische, aan vochtige graslanden gebonden soorten, geprefereerd. Ontwatering ten behoeve van agrarische activiteiten vroeg in het voorjaar zal in die gebieden sterke gevolgen kunnen hebben.

Vervroeging van de agrarische werkzaamheden zal in toenemende mate leiden tot conflicten met de broedcyclus van veel weidevogels. Vooral weidevogels die meer dan één legsel per jaar dienen te produceren om de populatie op peil te houden komen hierdoor in de verdrukking.

In vergelijking tot bemestingsvormen als kunstmest uitrijden leidt emissiearme toepassing tot grotere verliezen van legsels. Zelfs als legsels tijdens het bemesten worden beschermd neemt de overleving nog met 13% af en zonder bescherming tot 79% ten opzichte van de ongestoorde situatie. In de jaren tachtig, toen BMT nog gebruikelijk was, leidde bemesting al tot een verlaging van het uitkomstsucces. Een directe vergelijking tussen BMT en EMT op het uitkomstsucces van weidvogels is niet mogelijk, omdat hiervoor gegevens ontbreken. In vergelijking tot andere agrarische activiteiten zijn de verliezen door EMT vergelijkbaar met vertrapping door vee, maar blijven nog achter bij maaiverliezen, tenzij er bescherming plaatsvindt.

## Literatuur

Aebischer, N.J., 1999.

Multi-way comparisons and generalized linear models of nest success: extensions of the Mayfield method. *Bird Study*, 46, 22-31.

Beintema, A.J., 1991.

Breeding ecology of meadowbirds (Charadriiformes); implications for conservation and management. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen.



- Beintema, A.J., 1992.  
Mayfield moet: oefeningen in het berekenen van uitkomstsucces. *Limosa* 65: 155-162.
- Beintema, A.J., 1995.  
Fledging success of wader chicks, estimated from ringing data. *Ringling & Migration*, 16, 129-139
- Beintema, A.J., O. Moedt & D. Ellinger, 1995.  
Ecologische Atlas van de Nederlandse Weidevogels. Schuyt & Co, Haarlem.
- Beintema, A.J., Dunn E., Stroud D. 1997.  
Birds and wet grasslands. In: Pain D.J., Pienkowski M.D. (eds.), *Farming and birds in Europe: The Common Agricultural Policy and its implications for bird conservation*. Academic Press, San Diego, 269-296.
- Beintema, A.J., Müskens G.J.D.M. 1987.  
Nesting success of birds breeding in Dutch agricultural grasslands. *J. Appl. Ecol.* 24, 743-758.
- Beintema, A.J., Thissen J.B., Tensen D., Visser G.H., 1991. Feeding ecology of charadriiform chicks in agricultural grassland. *Ardea*, 79, 31-44.
- Belting, S. & Belting, H., 1999.  
Zur Nahrungsökologie von Kiebitz- (*Vanellus vanellus*) und Uferschnepfen- (*Limosa limosa*) Küken im wiedervernässten Niedermoor-Grünland am Dümmer. *Vogelkundliche Berichte aus Niedersachsen*, 31, 11-25.
- Beusekom R. van, Huigen P., Histings F. de Pater K., Thissen J., 2005.  
Rode Lijst van Nederlandse broedvogels. Baarn.
- Both, C., Piersma, T. & Roodbergen, S.P, 2005.  
Climatic change explains much of the 20th century advance in laying date of Northern Lapwing (*Vanellus vanellus*) in the Netherlands. *Ardea*, 93(1), 79-88.
- Buchanan, G.M., Grant, M.C., Sanderson, R.A. & Pearce-Higgins, J.W., 2006.  
The contribution of invertebrate taxa to moorland bird diets and the potential implications of land-use management. *Ibis*, 148, 625-628.
- Bureš, S. & Weidinger, K., 2000.  
Estimation of calcium intake by meadow pipit nestlings in an acidified area. *Journal of Avian Biology*, 31, 426-429.
- Donald P.F. 2004.  
The Skylark. Poyser, London.
- De Goede, G.R.M., van Vliet, P.C.J., van der Stelt, B., Verhoeven, F.P.M., Temminghoff, E.J.M., Bloem, J., Dimmers, W.J., Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., Brussaard, L. & van Riemsdijk, W.H., 2004.  
Verantwoorde toepassing van rundermest in graslandbodems. Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem, Gouda.
- Green, R.E., 1986.  
The management of lowland wet grassland for breeding waders. Unpublished report, RSPB, Sandy, UK.
- Green, R.E., 1988.  
Effects of environmental factors on the timing and success of breeding of common snipe *Gallinago gallinago* (Aves: Scolopacidae). *Journal of Applied Ecology*, 25, 79-93.
- Gruber, S., 2006.  
Habitatstrukturen in Nahrungsrevieren jungführender Kiebitze (*Vanellus vanellus* L.) und deren Einfluss auf die Reproduction. PhD thesis Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- Heppleston, P.B., 1972.  
The comparative breeding ecology of oystercatchers (*Haematopus ostralegus* L.) in inland and coastal habitats. *Journal of Animal Ecology*, 41, 23-51.
- Holland, J.M., Hutchison, M.A.S., Smith, B. & Aebischer, N.J., 2006.  
A review of invertebrate and seed-bearing plants as food for farmland birds in Europe. *Annals of Applied Biology*, 148, 49-71.
- Jacobs, J., 1974.  
Quantitative measurement of food selection - a modification of the forage ratio and Ilev's electivity index. *Oecologia* 14, 413-417.
- Kleijn, D., Dimmers, W., van Kats, R., Melman, D. & Schekkerman, H., 2007.  
De voedselsituatie voor gruttokuikens bij agrarisch mozaïekbeheer. Alterra-rapport 1487, Alterra, Wageningen.

- Kruk, M., Noordervliet, M.A.W. & Ter Keurs, W.J., 1997.  
Survival of Black-tailed Godwit chicks *Limosa limosa* in intensively exploited grassland areas in The Netherlands. *Biological Conservation*, 80, 127-133.
- Martin, T.E., Scott, J. & Menge, C., 2000.  
Nest predation increases with parental activity: separating nest site and parental activity effects. *Proceedings of the Royal Society London Series B*, 267, 2287-2293.
- Mayfield, H., 1961.  
Nesting success calculated from exposure. *Wilson Bull.* 73, 255-261.
- Mayfield, H., 1975.  
Suggestions for calculating nest success. *Wilson Bull.* 87, 456-466.
- Paassen, A. van, Veldman D.H. & Beintema A.J., 1984.  
A simple device for determination of incubation stages in eggs. *Wildfowl* 35: 173-178.
- Paassen, A. van, Roetemeijer W., 2006.  
Jaarverslag Weidevogelbescherming en -beheer in Nederland 2005. Landschapsbeheer Nederland, Utrecht.
- Schekkerman, H., 1997.  
Graslandbeheer en groeimogelijkheden voor weidevogelkuikens. IBN-rapport 292/DLG-publicatie 102. Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen.
- Schekkerman, H. & Beintema A.J., 2007.  
Abundance of invertebrates and foraging success of Black-tailed Godwit *Limosa limosa* chicks in relation to agricultural grassland management. *Ardea*, 95, 39-54
- Schekkerman, H. & Boele, A. (in druk).  
Foraging in chicks of a precocial shorebird, the black-tailed godwit *Limosa limosa*. *Journal of Avian Biology*.
- Schekkerman, H., Teunissen, W.A. & Oosterveld, E., 2005.  
Broedsucces van grutto's bij agrarisch mozaïekbeheer in Nederland Gruttoland. Alterra, Wageningen. Alterra-rapport 1291.
- Schekkerman, H. & Visser G.H., 2001.  
Prefledging energy requirements in shorebirds: energetic implications of self-feeding precocial development. *Auk*, 118, 944-957.
- Sosa Romero, M.C., Guldemond J.A., Terwan P., 1993.  
Weidevogels, grondgebruik en waterpeil in Waterland 1982-1991. Samenwerkingsverband Waterland, Zaandam.
- SOVON Vogelonderzoek Nederland, 2002.  
Atlas van de Nederlandse broedvogels. 1998-2000; verspreiding, aantallen, verandering. Nederlandse Fauna 5. Naturalis, KNNV Uitgeverij & EIS-Nederland.
- Struwe-Juhl, B., 1995a.  
Auswirkungen der Renaturierungsmaßnahmen im Hohner See-Gebiet auf Bestand, Bruterfolg und Nahrungsökologie der Uferschnepfe (*Limosa limosa*). *Corax*, 16, 153-172.
- Struwe-Juhl, B., 1995b.  
Habitatwahl und Nahrungsökologie von Uferschnepfen - Familien *Limosa limosa* am Hohner See, Schleswig-Holstein. *Vogelwelt*, 116, 61-72.
- Teunissen, W.A., 1999.  
Evaluatie vrijwillige weidevogelbescherming. Onderzoek naar het effect van vrijwillige weidevogelbescherming op het reproductiesucces van weidevogels. SOVON-onderzoeksrapport 99/03. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.
- Teunissen, W.A., 2000.  
Vrijwillige weidevogelbescherming. Het effect van vrijwillige weidevogelbescherming op de aantalsontwikkeling en het reproductiesucces van weidevogels. SOVON-onderzoeksrapport 00/04. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen
- Teunissen, W.A., Schekkerman H., 1999.  
Het Nationale Weidevogelmeetnet. SOVON-onderzoeksrapport 99/03. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.

- Teunissen, W.A., Schekkerman H. & Willems F., 2005.  
Predatie bij weidevogels. Op zoek naar de mogelijke effecten van predatie op de weidevogelstand. SOVON-onderzoeksrapport 2005/11.
- Teunissen, W.A., Soldaat L.L., 2006.  
Recente aantalontwikkeling van weidevogels in Nederland. De Levende Natuur, 107, 70-74.
- Teunissen, W.A., van Strien A.J., 2000.  
Meetplan Weidevogelmeetnet. SOVON-onderzoeksrapport 2000/10. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen
- Teunissen, W.A., Willems F., 2004.  
Bescherming van weidevogels. SOVON-onderzoeksrapport 04/06. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.
- Teunissen, W.A., Willems F., Majoor F., 2007.  
Broedsucces van de Grutto in drie gebieden met verbeterd mozaïekebeheer. SOVON-onderzoeksrapport 07/06. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.
- Teunissen, W.A., Klok C., Kleijn D. & Schekkerman H., 2008.  
Factoren die de overleving van weidevogelkuikens beïnvloeden. SOVON-onderzoeksrapport 2008/01, SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen. Alterra-rapport 1608, Alterra, Wageningen.
- Thorup, O., 2006.  
Breeding waders in Europe 2000. International Wader Studies 14, International Wader Study Group, UK.
- Verstrael, T.J., 1987.  
Weidevogelonderzoek in Nederland. Een overzicht van het Nederlandse weidevogelonderzoek 1970-1985. Contactcommissie Weidevogelonderzoek van de Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek.
- Vickery, J.A., Tallowin J.R., Feber R.E., Asteraki E.J., Atkinson P.W., Fuller R.J., Brown V.K., 2001.  
The management of lowland neutral grasslands in Britain: effects of agricultural practices on birds and their food resources. Journal of Applied Ecology, 38, 647-664.



## 6. Discussie

In de tweede helft van de vorige eeuw veranderde de Nederlandse landbouw in hoog tempo. Opbrengsten stegen daarbij sterk, al ging dit vaak ten koste van landschap, natuur en milieu. De veranderingen laten zich samenvatten met de term intensivering. Intensivering is een verzamelbegrip met tal van aspecten. Een voorbeeld hiervan zijn de waterhuishoudkundige ingrepen (verkaveling, drainage, beekkanalisatie, polderpeilverlaging) die al dan niet in combinatie met een geleidelijk gewijzigd klimaat en zwaardere bemesting tot een vervroeging van het seizoen hebben geleid. Als gevolg daarvan vonden ook de bijbehorende veldwerkzaamheden zoals bemesten en maaien steeds vroeger plaats. De schaalvergroting die gelijktijdig optrad, versterkte de behoefte aan mechanisatie (en vice versa): eerst op de bedrijven zelf, vervolgens in de vorm van ingehuurde arbeid die geleverd werd door loonwerkers. Begin jaren negentig werden aan deze ontwikkelingen nog twee nieuwe aspecten toegevoegd. Dit betrof allereerst een verbod om dierlijke mest nog langer gedurende herfst en winter (over de vorst) uit te rijden op grasland en zand bouwland. Als gevolg daarvan verschoof de bemestingsperiode geheel naar het voorjaar en de zomer. Daarnaast werden in diezelfde periode emissiearme toedieningstechnieken (EMT) voor mest in steeds meer situaties verplicht gesteld en bovengrondse toedieningstechnieken (BMT) daarmee verboden. Hoewel alle voornoemde ontwikkelingen, voor een deel althans, in dezelfde periode plaatsvonden, hebben ze niet noodzakelijkerwijs met elkaar te maken. Zo is het goed denkbaar dat mechanisatie hogere eisen stelt aan de draagkracht respectievelijk de ontwatering van percelen, maar zou de behoefte daaraan ook zijn opgetreden als BMT niet door EMT zouden zijn vervangen. Het gaat daarom te ver om EMT als zodanig direct verantwoordelijk te stellen voor de roep om ontwatering respectievelijk het verlies van weidevogels. Dat EMT in tegenstelling tot BMT vaak aan loonwerkers wordt uitbesteed en loonwerkers doorgaans grotere machines gebruiken, is ook geen reden *a priori* om aan te nemen dat de introductie van EMT tot (nog) sterkere ontwateringseisen heeft geleid, omdat juist door loonwerk ook relatief bodemvriendelijke methoden van mest toedienen (methoden met aanvoersleepslang) mogelijk zijn geworden. In beginsel staat de toedieningsmethode van mest (BMT of EMT) dan ook los van de andere aspecten van de toediening zoals de gift en overige machineaspecten (gewicht, bandenspanning, wioldruk, werkbreedte, etc.). Vanuit dat gezichtspunt kan een tank met ketsplaat met beperkte inhoud (eigen mechanisatie) meer bodemschade geven dan een grote zodenbemester van een loonwerker op lagedrukbanden. In het verlengde daarvan zijn de ontwateringseisen voor de grote zodenbemester niet principieel hoger dan voor de genoemde kleine tank. In de praktijk zijn de diverse karakteristieken echter vaak verstrengeld en wordt het begrip 'EMT' soms geassocieerd met zwaar en groot.

### Gewas en Bodem

Op grasland vraagt EMT significant meer trekkracht dan BMT als de mest in een sleuf toegediend wordt, maar slechts ca. 10% meer trekkracht als de mest in stroken op het land toegediend wordt. Voor het leveren van de trekkracht moet de aslast van de aangedreven as hoog genoeg zijn. Voor extra trekkracht kan bij een trekker-tankbemester combinatie een zwaardere trekker nodig zijn, maar dit hoeft niet te leiden tot hogere bodemdrukken dan bij BMT, omdat de aslast van de mesttank (vol) nog steeds het hoogst zal zijn. De aslasten van zelfrijders zijn in het algemeen hoog genoeg om een 6 meter brede, in de grond werkende zodenbemester te kunnen trekken. Ook met de lage bandspanningen die bij sleepslangaanvoer met zodenbemester kunnen worden gerealiseerd blijkt dat voor trekkrachtontwikkeling bij EMT geen hogere bodemdrukken nodig zijn dan voor BMT.

Omdat voor grasland destijds de sleepvoetenmachine is ontwikkeld, die weinig trekkracht vraagt, kon EMT ook onder moeilijke bodemomstandigheden op klei- veengrond toegepast worden en kon de werkbreedte van de graslandbemesters toenemen zonder dat de aslasten van de trekkers en zelfrijders toenamen. De ammoniakemissie bij toepassing van de sleepvoetenmachine is hoger dan bij zodenbemesting, echter nog aanzienlijk lager dan bij BMT. In de loop der jaren is een tussenvorm ontstaan tussen bemesting met een sleepvoetenmachine en zodenbemester: de sleufkoutermachine. De sleufkoutermachine werkt over het algemeen ondieper dan een zodenbemester en/of gelijkwaardig aan een sleepvoetenmachine; het uiteindelijke resultaat is afhankelijk van de bodemtoestand en/of de afstelling van de machine.

## Bodemleven

Onderzoek naar effecten van mesttoediening (EMT en BMT) op bodemorganismen heeft zich voor zover bekend tot nu toe beperkt tot Nederland en was vooral gericht op regenwormen. Regenwormen komen in landbouwbodems voor in een relatief lage soortendiversiteit en zijn van groot belang voor diverse essentiële bodemprocessen, zoals bodemvorming, organische stofdynamiek, water- en luchthuishouding, N-mineralisatie en de verbreiding van bodemorganismen. Aantasting van het voorkomen van regenwormen (maar ook andere bodemorganismen) door bijvoorbeeld de mesttoediening kan een directe bedreiging vormen voor deze functies.

De vraag kan worden gesteld of EMT een bedreiging vormt voor ecosysteemfuncties. In veel landbouwbodems, met name akkers, wordt het bodemleven regelmatig geconfronteerd met grote verstoringen die gevolgen hebben voor de biodiversiteit. Dit maakt dat de ecosysteemfuncties waarin bodemleven een rol speelt in dergelijke bodems bedreigd kunnen zijn en de nog aanwezige biodiversiteit bescherming verdient.

Drijfmest zelf kan door de aanwezigheid van toxische verbindingen en ongunstige osmotische condities een negatief effect hebben op het voorkomen (via o.a. overleving, reproductie en verticale verdeling in het bodemprofiel) van regenwormen (Curry, 1976; Curry, 2004). Uit diverse onderzoeken is gebleken dat drijfmest toxisch is voor regenwormen. Regenwormen maken echter kans om te overleven als ze de gelegenheid hebben om snel te ontsnappen aan directe blootstelling aan de drijfmest. Bij zeer hoge giften is dat niet altijd goed mogelijk. Dan blijkt dat er een relatief snel herstel optreedt. De toxiciteit van drijfmest wordt beïnvloed door de weersomstandigheden. Bij droogte kan worden verwacht dat de toxiciteit sneller zal afnemen.

### *Effecten van bodemleven op opbrengst*

Emissiearme toedieningstechnieken (EMT) kunnen effecten hebben op het leven vlak boven en onder de grond, al dan niet tijdelijk. Bodemleven is onmisbaar voor het opnieuw plantbeschikbaar maken van nutriënten uit afgestorven gewasresten, weidemest en de organisch gebonden N in drijfmest. Een voor de hand liggende vraag is of emissiearme toedieningstechnieken een zodanige invloed hebben op het bodemleven dat, achtereenvolgens, de plantbeschikbaarheid van nutriënten, de opname van nutriënten en de gewasopbrengst lijden onder emissiearme toedieningstechnieken. Uit onderzoeken is gebleken dat dit in het algemeen niet het geval is: N-werkingen van mest, en daarmee opbrengsten, zijn het hoogst na gebruik van emissiearme toedieningstechnieken. In studies waar binnen eenzelfde proef onderzoek plaatsvond naar het effect van toedieningstechnieken op zowel het bodemleven als de nutriëntenopname en opbrengst van gras (Drogenham: zie Schils & Kok, 2003 en hoofdstuk 2.3), bleek dat enige schade aan het bodemleven geen negatief effect had op de opbrengst. Enerzijds blijkt er een aanzienlijke redundantie te bestaan binnen de bodemlevensgemeenschap ten aanzien van bepaalde ecosysteemfuncties, met name die waarin een grote diversiteit aan soorten participeert. Meer specifieke ecosysteemfuncties zoals bijvoorbeeld nitrificatie en nutriëntenopname via mycorrhizaschimmels lijken kwetsbaarder en hiervan kan verwacht worden dat zij sneller zouden kunnen worden bedreigd. Het onderzoek naar neveneffecten van EMT heeft echter nog geen aanwijzingen in die richting gegeven. Anderzijds bestaat er kennelijk geen rechtlijnig verband tussen de benutting van nutriënten en de aanwezigheid van bodemleven. Dit gegeven sluit goed aan bij een meerjarig veldonderzoek in Zwitserland. De betrokken onderzoekers daar slaagden er in via langdurig jaarlijks gebruik van organische meststoffen grote verschillen in bodemorganische stof en daarmee geassocieerd bodemleven te doen ontstaan. Anders dan door hen aanvankelijk verondersteld, had dit echter geen effect op de benutting van nutriënten (Langmeijer *et al.*, 2002).

## Weidevogels

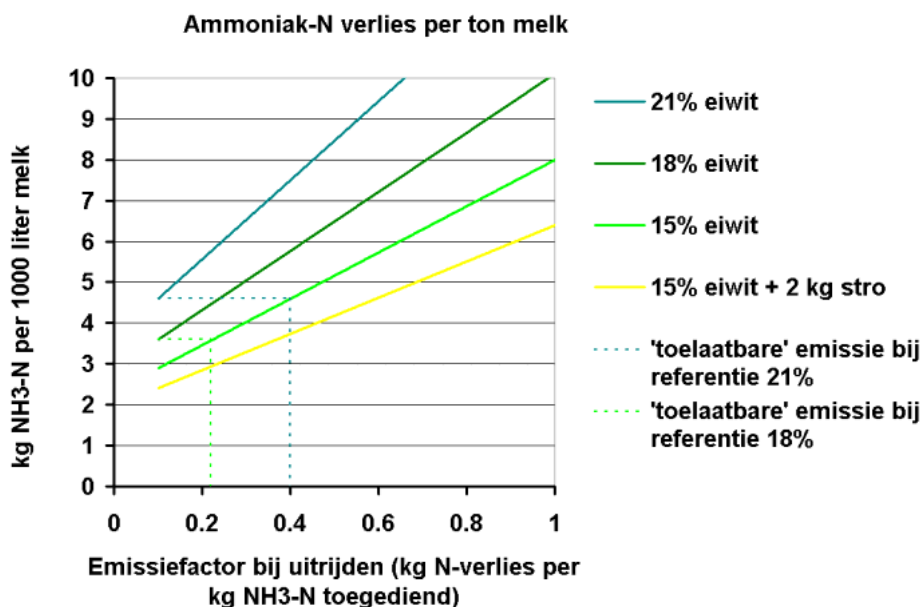
Er zijn weinig aanwijzingen dat de manier van mesttoediening van organische mest een belangrijk blijvend effect heeft op regenwormen, de belangrijkste voedselbron van weidevogels. Maar EMT kan wel leiden tot een tijdelijke verlaging ( $\pm$  een maand) van het aanbod aan regenwormen op grasland en dit kan gevolgen hebben voor de volwassen weidevogels die van regenwormen afhankelijk zijn, zoals Grutto's. Verder is de vraag in hoeverre de bereikbaarheid van regenwormen voor weidevogels wordt beïnvloed. Uitsluitend regenwormen die zich ophouden in de bovenste bodemlaag (0-10 cm afhankelijk van de snavelengte van de verschillende soorten) zijn beschikbaar voor weidevogels. Daarnaast kunnen weidevogels uitsluitend bodems sonderen die zacht zijn (een lage indringingsweerstand

hebben). Beide factoren worden sterk beïnvloed door de vochtigheid van een perceel welke op zijn beurt beïnvloed wordt door grondwaterstand en ontwateringspeil. Het gaat echter te ver om EMT direct verantwoordelijk te stellen voor de roep om ontwatering, vervroeging van het seizoen en het verlies van weidevogels.

## Bedrijfsverband

### Theorie

Emissiearme mesttoedieningstechnieken hebben een positief effect op het beperken van ammoniakverlies. Op grond van dit positieve aspect is het denkbaar dat negatieve neveneffecten, zo ze bestaan, geaccepteerd worden. Dit hangt vanzelfsprekend af van de omvang van de ammoniakemissie. De ammoniakemissie hangt niet alleen af van de gift, het gebruikte werktuig, de veld- en weersomstandigheden en aanvullende maatregelen (verdunnen, aanzuren, beregenen), maar ook van de hoeveelheid ammonium die überhaupt wordt uitgereden. Dat betekent in absolute zin dat bovengrondse toediening minder bezwaarlijk is zolang door andere maatregelen (eiwitarme veevoeding, gebruik van C-rijk strooisel) maar weinig TAN wordt toegediend. Omgekeerd wordt de noodzaak van EMT groter naarmate eiwitrijker gevoerd wordt en minder strooisel wordt gebruikt (Schröder *et al.*, 2004; Schröder, 2005). Op basis hiervan kan modelmatig verkend worden (Schröder, 2000; Sonneveld *et al.*, 2008) hoeveel hoger het ammoniakverlies per kg uitgereden TAN bij eiwitarme voeding en strooiselgebruik mag zijn (onder verrekking van de extra gasvormige N-verliezen op het erf waarmee de productie van strooiselrijke mest doorgaans gepaard gaat), om per ton geproduceerde melk op een even laag ammoniakverlies uit te komen als in de referentiesituatie waarin deze maatregelen niet genomen worden. Afhankelijk van de gekozen referentie (18-21% eiwit) mag het ammoniakverlies bij een rantsoen met 15% eiwit in plaats van 18-21%, toenemen van 10 kg verlies per 100 kg uitgereden TAN naar 20-40 kg verlies per 100 kg uitgereden TAN. In combinatie met gebruik van strooisel (2 kg stro per GVE per dag), leidend tot een vaste, relatief ammonium-arme mest in plaats van dunne mest, mag het verlies verder oplopen tot 40-60 kg per 100 kg uitgereden TAN (Figuur 6.1).



Figuur 6.1. Berekend ammoniak-N verlies (uit stal en opslag, bij beweiding en toediening) per 1000 kg melk in relatie tot de emissiefactor (fractie verloren TAN bij toediening), in afhankelijkheid van eiwitgehalte van rantsoen en het gebruik van strooisel, en de emissiefactor bij lage eiwitgehalten (15%) die nog net 'toelaatbaar' is om emissies bij hoge eiwitgehalten (18-21%) in combinatie met EMT niet te doen overschrijden (naar Schröder (2000)).

Dit betekent dat een minder emissiearme toedieningstechniek, mits gecombineerd met andere maatregelen, in theorie met een even gering ammoniakverlies gepaard kan gaan als een wel-emissiearme toedieningstechniek. In de praktijk blijkt het overigens lastig om én voldoende eiwitarm te voeren, én (voldoende) strooisel te gebruiken, én mest onder alle omstandigheden zodanig bovengronds uit te rijden (al dan niet in combinatie met regen, beregening of verdunning van de mest met water) dat verliezen beneden de 50 kg per 100 kg toegediende TAN (50%) optreden. Naarmate het ammoniumaandeel in de totale hoeveelheid geproduceerde mest-N lager is, is de noodzaak van emissiearme toedieningstechnieken geringer. Daarbij zij wel opgemerkt dat dit aandeel soms niet laag is door voedingsmaatregelen of gebruik van strooisel, maar doordat de ammonium anderszins verloren is gegaan door bijvoorbeeld verliezen vanuit de stal, tijdens het omzetten van (vaste) mest of uit de mestopslag. Bovenstaande voorbeelden beogen aan te geven dat ammoniakemissie van meer afhangt dan alleen het gebruik van emissiearme mesttoedieningstechnieken.

### *Regionale toetsing*

Ammoniakbeleid is vooral ingegeven door de wens de N depositie in kwetsbare natuurlijke milieus tot een dusdanig nivo terug te brengen dat N mijdende plant- en diersoorten behouden blijven. Doelsoorten zijn daartoe vertaald in een depositiedoelstelling welke op haar beurt is vertaald in voorgeschreven emissiereducerende maatregelen. De verplichte emissiearme toediening van mest is er daar één van.

De gevoeligheid van een natuurgebied wordt bepaald door, onder meer, zijn aard en omvang ten opzichte van de omvang van het emitterende, meer of minder nabijgelegen landbouwgebied. De totale emissie vanuit het landbouwgebied hangt, onder meer, af van de vermenigvuldiging van de emissies per eenheid productie, de productie per dier-eenheid en het aantal diereenheden per eenheid oppervlakte. Idealiter zou een gebiedsspecifiek natuurdoeltype dan ook terugvertaald moeten worden naar bedrijfsspecifieke emissiereducerende maatregelen. Een verfijning naar alle voornoemde aspecten leidt tot een divers speelveld voor ondernemers. Het zou kunnen impliceren dat een intensieve ondernemer met een dientengevolge hoge emissie per ha, meer maatregelen moet nemen dan zijn extensieve buurman, terwijl hun emissies per eenheid productie gelijk zijn. Anderzijds is ook voorstelbaar dat een extensieve ondernemer meer maatregelen moet nemen dan een intensieve ondernemer als eerstgenoemde toevallig naast een gevoelig natuurgebied is gelegen. Een dergelijke verfijning maakt slechts tot op zekere hoogte deel uit van de regelgeving in Nederland. Vestigings- en uitbreidingsmogelijkheden voor veehouderijbedrijven worden namelijk mede bepaald door de nabijheid van gevoelige natuurgebieden. Wat betreft uitrijtechnieken koos Nederland voor generieke maatregelen: iedere ondernemer die mest gebruikt moet deze emissiearm uitrijden. Wel hebben de ministeries van LNV en VROM een aantal melkveehouders tijdelijk ruimte gegeven om opnieuw met bovengrondse toediening van mest te experimenteren (Spruit, Noordelijke Friese Wouden (NFW)). Deze melkveehouders willen aantonen dat de emissie bij bovengrondse toediening niet groter is dan bij zodenbemesting zolang maar eiwitarmere voer gebruikt wordt en alleen bij geschikt weer wordt uitgereden. In het NFW-project zijn daartoe gebieden met elk een verschillende strategie geformeerd: gebieden met bovengronds uitrijden en gebieden met emissiearm uitrijden. Cruciaal is opnieuw welke maatstaf gehanteerd wordt bij vergelijking van de twee groepen. Binnen het NFW-project worden diverse maatstaven naast elkaar gebruikt: de ammoniakconcentratie in de lucht boven een gebied, de N-aanvoer per ha bedrijfsoppervlakte als indicator voor de eiwitrijkdom van het verstrekte voer, het ureumgetal van de afgeleverde melk, het ammonium-gehalte van de mest en het aandeel van ammonium-N in de totale hoeveelheid mest-N. Weliswaar biedt elk van deze maatstaven een verband met de emissie van ammoniak, maar vormen zij geen van alle een sluitend bewijs dat emissies van beide strategieën vergelijkbaar zijn. Om tot een gedragen eindoordeel te komen zullen de metingen in een schema van samenhangende N-bedrijfsstromen moeten worden geplaatst. Dit stroom-schema levert als kengetal, onder meer, de hoeveelheid ammonium-N die in de vorm van mest geproduceerd wordt per eenheid melk. Combinatie hiervan met melkproductiegegevens per afzonderlijk gebied en de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek naar de emissie per eenheid uitgereden ammonium-N in afhankelijkheid van de gebruikte toedieningsmethode, resulteert in schattingen van de hoeveelheid geëmitteerde ammoniak per gebied. De uitkomsten hiervan zullen tenslotte geconfronteerd worden met de daadwerkelijk gemeten ammoniak concentraties binnen en buiten het gebied.

Het bovenstaande beoogt aan te geven dat er in sommige gebieden discussies bestaan over emissiearme toediening van mest, over alternatieven en over betrouwbare indicatoren om de effectiviteit van die alternatieven in termen van de gerealiseerde reductie van ammoniakemissie te beoordelen. De uiteindelijke afweging en eventuele gebiedsspecifiek te geven speelruimte, zal mede worden bepaald door de bezwaarlijkheid van de nevenaspecten, als



beschreven in dit rapport, die immers ook een gebiedspecifiek gewicht kunnen hebben. Daarnaast gaat het hierbij ook om de vraag in hoeverre de samenleving respectievelijk de overheid onderscheid in regelgeving wil maken.

## Literatuur

Curry, J.P., 1976.

Some effects of animal manures on earthworms in grassland. *Pedobiologia*. 16, 425-438.

Curry, J.P., 2004.

Factors affecting the abundance of earthworms in soils. In *Earthworm ecology*. Ed. C A Edwards. pp 91-113. CRC Press LLC.

Langmeier, M., E. Frossard, M. Kreuzer, P. Mäder, D. Dubois, & A. Oberson, 2002.

Nitrogen fertilizer value of cattle manure applied on soils originating from organic and conventional farming systems. *Agronomie* 22, 789-800.

Schils, R.L.M. & I. Kok, 2003.

Effects of cattle slurry manure management on grass yield. *Neth J Agric Sci* 51 (1-2):41-65.

Schröder, J.J., 2000.

Koei'N 1.0: stroomdiagram en balans voor stikstof op melkveebedrijven. Nota 37, Plant Research International, Wageningen, 13 pp.

Schröder, J.J., 2005.

Manure as a suitable component of precise nitrogen nutrition. *Proceedings 574, International Fertiliser Society*, 32 pp.

Schröder, J.J., A. Bannink & R. Kohn, 2004.

Improving the efficiency of nutrient use in cattle operations. In: Pfeffer, E. & A.N. Hristov (Eds.) *Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle*. CABI, Wallingford UK, pp. 255-279.

Sonneveld, M.P.W., J.J. Schröder, J.A. de Vos, G.J. Monteny, J. Mosquera, J.M.G. Hol, E.A. Lantinga, F.P.M. Verhoeven and J. Bouma, 2008.

A Whole-Farm Strategy To Reduce Environmental Impacts of Nitrogen. *Journal of Environmental Quality* 37: 186-195.



## 7. Conclusies

### Ammoniakemissie, mestbenutting, bodem- en gewasschade

1. Drijfmest bevat ammoniumstikstof, ook bij eiwitarme voeding van het vee. Emissiearme mesttoedieningstechnieken (EMT) verlagen de verliezen van deze ammoniumstikstof ten opzichte van bovengrondse mesttoedieningstechnieken (BMT). Eventuele beschadiging van bodem en gewas door de thans beschikbare wijzen van EMT zijn op grasland en zandbouwland afwezig of klein. EMT leidt tot een aanwijsbaar grotere beschikbaarheid van stikstof en verbetert de benutting van mest daardoor sterk ten opzichte van BMT.
2. Bandengrootte en -spanning kunnen bij zowel EMT als BMT schade aan bodem en gewas sterk beperken. In situaties waarin met zodenbemesting desondanks schade gevreesd wordt, vormen sleufkouter en sleepvoet een alternatieve, toegestane EMT voor grasland.
3. Op kleibouwland kunnen berijdbaarheid en bewerkbaarheid de mogelijkheid beperken om in het voorjaar mest via EMT zonder schade aan bodem en gewas toe te dienen. Geschikte apparatuur moet hiervoor nog verder ontwikkeld en getoetst worden.

### Bodemleven

1. EMT heeft soms een schadelijk effect op het bodemleven, waaronder regenwormen, maar niet aanwijsbaar meer of vaker dan bij gebruik van BMT. Beide wijzen van mesttoediening kunnen negatieve gevolgen hebben voor ecosysteemfuncties; deze effecten zijn doorgaans tijdelijk van aard.
2. Als schade aan bodemleven optreedt, kan dit de voedselbeschikbaarheid voor weidevogels op cruciale momenten in hun levenscyclus verlagen.
3. Schade aan het bodemleven kan de omzetting van mest naar opneembare plantenvoedingsstoffen negatief beïnvloeden. Er zijn echter geen aanwijzingen dat EMT het vrijkomen van voedingsstoffen onder Nederlandse omstandigheden betekenisvol verkleint.

### Weidevogels

1. De belangrijkste oorzaken van de achteruitgang van weidevogels zijn areaalverlies, toegenomen predatie, voedsel-schaarste en de vervroeging van maaidata; aan beide laatstgenoemde oorzaken heeft, onder meer, de diepere ontwatering van percelen bijgedragen.
2. De verplichtstelling van EMT is niet bepalend geweest voor de versterkte roep om diepere ontwatering.
3. In sommige jaren zitten het broedseizoen van een aantal weidevogelsoorten en de meest geschikte momenten van bemesting elkaar in de weg; weidevogelpopulaties komen in die situatie onder extra druk te staan.
4. In genoemde jaren gaan bij EMT meer legsels van weidevogels verloren. BMT leidde ook tot een verlaging van het uitkomstsucces. Een directe vergelijking tussen BMT en EMT op het uitkomstsucces van weidevogels is niet mogelijk, omdat hiervoor gegevens ontbreken.
5. In vergelijking tot andere agrarische activiteiten zijn de verliezen door EMT vergelijkbaar met vertrapping door vee, maar blijven nog achter bij maaiverliezen, tenzij er nestbescherming plaatsvindt.



## Samenvatting

Om de emissie van ammoniak te beperken moet dierlijke mest in Nederland sinds midden jaren 90 met emissiearme mesttoedieningstechnieken (EMT) worden toegediend. Voorbeelden van deze techniek zijn de zodenbemester en de sleepvoetenmachine voor gebruik op grasland en de injecteur of direct onderwerken voor gebruik op bouwland. De voordien gebruikte bovengrondse mesttoediening (BMT) werd vanaf dan verboden. In de onderhavige studie heeft op basis van goed gedocumenteerde, Nederlandse gegevens een evaluatie plaatsgevonden van de sindsdien onderzochte effecten van EMT. De studie concludeert dat EMT bodemstructuur, bodemleven of gewas in het algemeen niet of zeer beperkt schaadt ten opzichte van BMT. Een van de bewezen voordelen van EMT is de reductie van ammoniakemissie en grotere beschikbaarheid van stikstof voor het gewas. EMT leidt daarom tot een betere benutting van de stikstof in mest dan BMT.

In sommige jaren zitten het broedseizoen van een aantal weidevogelsoorten en de meest geschikte momenten van bemesting elkaar in de weg. In dat soort jaren leidt EMT tot schade aan legsels van weidevogels. Andere landbouwkundige ingrepen vormen echter de hoofdoorzaak van de zeer sterke achteruitgang van weidevogelpopulaties in Nederland.



## Summary

Low-emission manure application techniques (LEM) have become compulsory in The Netherlands from the mid 90s. LEM comprise shallow injection and narrow band application by trailing shoe for use on grassland and injectors or direct incorporation for use on arable land. Broadcast surface spreading of manure (BSM) has been banned since then. The present study evaluates the observed effects of LEM on the basis of well-documented data. The study concludes that LEM, in general, does not harm soil structure, soil life and crop compared to BSM. One of the evident benefits of LEM is the reduction of ammonia losses and increased availability of nitrogen. LEM hence improves the utilization of the nitrogen in manure compared to BSM.

The breeding season of meadow birds and periods most suitable for manure application may coincide in some years. In that situation LEM causes the loss of more clutches. However, the strong decline of meadow bird numbers in The Netherlands is mainly caused by other agricultural interventions.

