

Postbus 47 | 6700 AA Wageningen

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Directie Strategie, Kennis en Innovatie (SKI)
t.a.v. directeur ir. A. de Veer
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Geachte mevrouw De Veer,

Op uw verzoek heeft de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) een verkenning uitgevoerd naar de mogelijke effecten van het mestbeleid en mesttoedieningswijze op het voorkomen van regenwormen in de bodem als voedsel voor weidevogels (zie bijlage 1).

Weidevogels leven in een open landschap met vooral grasland. Bekende weidevogels zijn Kievit, grutto, scholekster, tureluur en wulp. Het aantal weidevogels neemt al vele jaren af. De afname wordt toegeschreven aan de uitbreiding van de infrastructurele en stedelijke omgeving, de toename van predatie, en de intensivering van de landbouw (vooral verlaging grondwaterstand, verhoging van de bemesting, en teelt van snelgroeiende grassoorten). De intensivering van de landbouw heeft geleid tot een type grasland dat ongeschikt is als broedplaats en opgroei-habitat voor weidevogelkuikens.

Er zijn geen empirische aanwijzingen dat het mestbeleid (gebruiksnormen, emissiearme mesttoediening, en periode van mesttoediening) een effect hebben op regenwormen, maar er is weinig systematisch onderzoek geweest. Het CDM beveelt aan om mogelijke effecten van het mestbeleid op het voorkomen van wormen en weidevogels te monitoren. Nagegaan moet worden of deze monitoring in het kader van het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid kan worden uitgevoerd.

Ik hoop u hiermee afdoende geïnformeerd te hebben.

Hoogachtend,

Prof. dr. Oene Oenema

cc. Mevr. drs. M. Beens, Directeur Directie PAV, ministerie van LNV
mevr. Dr. E. Buis, ministerie LNV, Directie PAV
dr.ir. G.L. Velthof (secretaris CDM)

WOT Natuur & Milieu

Wettelijke
Onderzoekstaken
Natuur & Milieu

DATUM
17 september 2020

ONDERWERP
CDM-advies 'Effecten van
mesttoediening op
regenwormen als voedsel voor
weidevogels'

ONS KENMERK
2027290/WOTN&M/JvSE

POSTADRES
Postbus 47
6700 AA Wageningen

BEZOEKADRES
Wageningen Campus
Gebouw 101 / Bodenummer
554
Droevendaalsesteeg 3
6708 PB Wageningen

INTERNET
www.wur.nl/wotnatuurenmilieu

KvK NUMMER
09098104

Effect van mesttoediening op regenwormen als voedsel voor weidevogels

Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 17 september 2020

Samenvatting

Weidevogels zijn vogelsoorten die (een deel van het jaar) leven in een open landschap waarin het grondgebruik wordt gedomineerd door grasland. Tegenwoordig wordt de groep van weidevogels vaak beperkt tot kievit, grutto, scholekster, tureluur en wulp. De trend van het aantal weidevogels is dalend door een afname van de kwaliteit en kwantiteit van broed- en foerageergebieden. Het ministerie van LNV heeft de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) verzocht om een verkennend onderzoek uit voeren naar het effect van mesttoediening op regenwormen als voedsel voor weidevogels.

Een groot aantal processen ligt ten grondslag aan de afname van de weidevogelpopulaties in de afgelopen decennia. Intensivering van de landbouw heeft geleid tot een verandering van de inrichting van het landschap (het verdwijnen van slotjes, slootkanten, plas-dras, etc.) waardoor graslanden minder geschikt zijn als habitat. Daarnaast is er sprake van een intensiever gebruik van het grasland zelf, dat tot uiting komt in een hogere grasopbrengst, een lagere plantensoortendichtheid, en het vroeger en frequenter maaien; hierdoor neemt het aantal nesten, eieren en kuikens van weidevogels dat vroegtijdig sneuvelt door maaien toe. Verder leidt intensivering van de landbouw tot een type grasland dat ongeschikt is als opgroeihabitat voor weidevogelkuikens. De overleving van kuikens geldt als een belangrijke bottleneck voor het stimuleren van de weidevogelpopulatie.

Een deel van bovenstaande ongunstige trends is inmiddels gestagneerd of omgekeerd. In het mest- en ammoniakbeleid zijn regels opgenomen over de hoeveelheid mest die mag worden toegediend, de methode van toediening, en het tijdstip van toediening. Over het algemeen blijkt dat er bij een hogere nutriëntenaanvoer meer regenwormen in de bodem aanwezig zijn. De bemestingsnormen en daarmee nutriëntenaanvoer zijn echter nog dusdanig hoog dat er geen negatief effect wordt verwacht van deze lagere gebruiksnormen op het aantal van regenwormen. Drijfmest moet emissie-arm worden toegediend. Vaste mest wordt bovengronds toegediend aan grasland.

Regenwormen zijn een belangrijke voedselbron voor volwassen weidevogels. Naast wormen vormen vanaf half april tot half juni ook emelten, en ondergrondse larven van andere insecten, een waardevolle prooi voor volwassen weidevogels. De kuikens van weidevogels eten vooral insecten. Voor alle weidevogels geldt dat de kuikens, naarmate ze ouder worden, een omslag maken naar een dieet met meer wormen. Zowel het aantal als de biomassa van regenwormen in de bodem verschillen sterk per locatie en zijn afhankelijk van verschillende factoren, zoals bodem- en gewastype, voedselbeschikbaarheid, vochtgehalte, bescherming tegen predatoren, en groundbewerking. Een hoge grondwaterstand of hoog vochtgehalte van de bodem leidt er toe dat de wormen zich dicht bij het oppervlak bevinden en daardoor binnen het bereik van weidevogels kunnen komen.

In de beschikbare literatuur staan zowel positieve als negatieve effecten op regenwormen beschreven van injectie van drijfmest. Veel studies rapporteren aantallen of biomassa van regenwormen, maar dit hoeft niet per se samen te hangen met hun beschikbaarheid als voedsel voor weidevogels. Er is geen eenduidig bewijs voor langdurige negatieve effecten van mestinjectie op regenwormenaantallen in de bodem. Het is niet aannemelijk dat de regelgeving rond mesttoedieningstijdstippen een effect heeft op de voor weidevogels beschikbare hoeveelheid regenwormen, omdat alle mestsoorten in zowel de lente als de zomer mogen worden toegediend. Ruige stalmest bevat veel voedsel voor regenwormen en wordt daardoor vaak als goede mestsoort voor regenwormen beschouwd. De regels uit de mest- en ammoniakwetgeving hoeven geen belemmering op te leveren om stalmest te gebruiken in plaats van drijfmest, maar het aanbod van stalmest is beperkt.

Concluderend, intensivering van de landbouw is een belangrijke factor bij de daling van het aantal weidevogels. Het is onwaarschijnlijk dat de beschikbaarheid van regenwormen als voedsel voor volwassen weidevogels hiervan de grootste oorzaak is. Er zijn ook geen duidelijke aanwijzingen uit de

literatuur dat de bemestingsmaatregelen uit het mestbeleid (gebruiksnormen, emissie-arme mesttoediening, en periode van mesttoediening) een negatief effect hebben op de aantallen regenwormen in de bodem. De belangrijkste de bottleneck is de overleving van de kuikens, die beïnvloedt wordt door verschillende factoren zoals maaitijdstip en -frequentie, soortenrijkdom van het grasland, grondwaterstand, etc.

Om verder vast te stellen of het huidige Nederlandse mestbeleid de weidevogelpopulatie beïnvloedt, zou getracht moeten worden om de factoren die van invloed zijn op weidevogels (bijvoorbeeld via maaitijdstip, bemestingsintensiteit, grondwaterstand) te isoleren en individueel te beschouwen. Dit zou bijvoorbeeld gedeeltelijk opgezet kunnen worden door middel van het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid. Nagegaan moet worden of monitoring van effecten mestbeleid op weidevogels haalbaar en zinvol is.

De beschikbare literatuur laat echter zien dat de samenhang tussen de effecten van bemestingsvorm - methode, -intensiteit, en -tijdstip op de regenwormenpopulatie complex is en daardoor nog weinig is gemeten. Mocht er aanleiding zijn om deze effecten verder te ontrafelen, ook in het kader van regenwormen als belangrijk onderdeel van de bodemkwaliteit en biodiversiteit, dan gaat de voorkeur uit naar (meerjarige) veldproeven waarbij deze factoren systematisch en afzonderlijk worden beschouwd. Daarnaast geven proeven die op meerdere locaties en over meerdere jaren worden uitgevoerd een beter beeld van de voorgenoemde effecten.

Ruige stalmest wordt vaak als beste mestsoort aangeschreven voor regenwormen. Indien uit de monitoring of experimenteel onderzoek wordt vastgesteld dat de beschikbaarheid van regenwormen als voedselbron een voorname belemmering vormt voor de overleving van weidevogels en hun kuikens, kan worden overwogen het gebruik van ruige stalmest op extensief beheerde graslanden te stimuleren via het gebruiksnormenstelsel uit het mestbeleid.

1. Inleiding

Aanleiding

Onrust en Piersma (2019) hebben in 2019 een onderzoek gepubliceerd naar de verschillen in aantallen regenwormen tussen graslanden waarin drijfmest werd geïnjecteerd en graslanden waarin ruige stalmest werd opgebracht. Zij concludeerden dat er in graslanden waar stalmest werd toegediend meer wormen in de bovenste bodemlaag voorkwamen dan op percelen waar drijfmest werd geïnjecteerd. Deze resultaten hebben mogelijk implicaties voor de voedselbeschikbaarheid (en daarmee het voorkomen) van weidevogels. Naar aanleiding van dit onderzoek is een motie ingediend door kamerlid De Groot, waarin de regering wordt verzocht om de herziening van het mest- en ammoniakbeleid 'weidevogelbestendig' te maken. Het ministerie van LNV heeft de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) verzocht om een *verkennend* literatuuronderzoek uit te voeren waarin onderstaande vragen moeten worden beantwoord (Bijlage 1):

- *"Resultaten huidige bemestingsmaatregelen – in welke mate, vorm of tijdstip - in een verandering in de beschikbare hoeveelheid regenwormen?"*
- *Wat is de duur van een eventuele vermindering van regenwormen door bemestingsmaatregelen?"*
- *In hoeverre is sprake van afhankelijkheid van regenwormen als voedsel voor weidevogels.*
- *Zijn er aspecten zoals grondsoort of waterstand die van invloed zijn?"*
- *Vormen de bemestingsmaatregelen met betrekking tot regenwormen voor weidevogels het hoofdprobleem of is er sprake van een klein onderdeel van een groter probleem met betrekking tot voedsel voor weidevogels?"*

Onderzoeksvragen

Er is een literatuurstudie uitgevoerd om de vragen van het ministerie van LNV te beantwoorden. De hoofdvraag in deze literatuurstudie was: Hoe beïnvloedt bemesting (soort mest, hoeveelheid, wijze van toedienen, timing) de beschikbaarheid van regenwormen als voedselbron voor weidevogels?

Deelvragen in de literatuurstudie waren:

1. Welke bemestingstechnieken worden momenteel gehanteerd in Nederland?
2. Welke soorten regenwormen komen er voor en hoe verschillen zij onderling in ecologie?
3. Wat is de relevantie van regenwormen in het dieet van weidevogels?
4. Wat is het effect van bemesting op de abundantie en soortensamenstelling van regenwormen?
5. Wat is het effect van bemesting op de bereikbaarheid van regenwormen voor weidevogels?
6. Welke andere factoren spelen een rol bij de abundantie en bereikbaarheid van regenwormen voor weidevogels (bijv. bodemtype en bodemvochtigheid)?

Afbakening

De hoofdvraag van dit rapport heeft betrekking op de invloed van bemesting op weidevogels langs het spoor bemesting → regenwormen → weidevogels. De auteurs willen nadrukkelijk meegeven dat er via andere sporen dan via regenwormen een effect kan zijn van bemesting op weidevogels. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de invloed van bemesting op de fysieke geschiktheid van het grasland voor foeragerende weidevogelkuikens (doorwaadbaarheid vegetatie), of de invloed van bemesting op de groeisnelheid van het gewas, de maaifrequentie en daarmee de geschiktheid als broedhabitat. Het uitwerken van al deze sporen valt nadrukkelijk *buiten de scope van dit project*. Echter, gezien het feit dat de Kamervragen duidelijk een bredere aard hebben ('het weidevogelvriendelijk maken van het mest- en ammoniakbeleid') is het essentieel om deze sporen wel te benoemen, zonder deze in detail uit te werken. Daartoe zijn twee onderzoeksvragen aan dit literatuuronderzoek toegevoegd:

- Welke eisen stellen weidevogels aan hun habitat?
- Wat zijn de belangrijkste oorzaken voor de sterke afname van weidevogels en welke rol speelt bemesting hier mogelijk in?

De antwoorden op deze vragen zijn verwerkt in hoofdstuk 3. Het betreft nadrukkelijk geen uitvoerige analyse, aangezien dit buiten de scope van het project valt.

Methode

De CDM heeft dr. M.B.H. Ros van Wageningen Environmental Research gevraagd om een literatuurstudie

uit te voeren over effecten van methode van mesttoediening op regenwormen. Ir. A.G.M. Schotman en T. Visser MSc van Wageningen Environmental Research hebben een overzicht gemaakt van de factoren die van invloed zijn op de stand van weidevogels. De literatuurstudie is gereviewd door prof. dr. J.W. van Groenigen (WU), dr. R.G.M. de Goede (WU) en dr. N. van Eekeren (Louis Bolk Instituut) en de leden van de CDM (Bijlage 2)

Proces

Het advies is in overleg met LNV later opgeleverd, in verband met beschikbare capaciteit van de betrokken onderzoekers.

In een vervolgfase zullen de resultaten van dit literatuuronderzoek worden voorgelegd aan een praktijkpanel met ervaringsdeskundigen (onder andere boeren en vertegenwoordigers van natuurbeschermingsorganisaties). Dit gebeurt in overleg met de opdrachtgever. Dit panel zal worden geconsulteerd over het effect van de factoren die geïdentificeerd zijn en de samenhang ertussen, waarbij de toepasbaarheid in de praktijk van mogelijke maatregelen centraal zal staan. De resultaten van dit literatuuronderzoek en die van het praktijkpanel zullen worden gebruikt voor het opstellen van een advies over een meer weidevogelbestendig mest- en ammoniakbeleid.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een synthese gegeven en wordt de hoofdvraag van de literatuurstudie en de vragen van LNV beantwoord.

Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van trends in aantallen weidevogels en factoren die hierop van invloed zijn. Hier wordt ook aangehaald hoe bemesting van grasland een effect kan hebben op weidevogels (anders dan het spoor bemesting → regenwormen → weidevogels).

In hoofdstuk 4 wordt antwoord gegeven op de zes deelvragen, gericht op het spoor bemesting → regenwormen → weidevogels.

2. Beantwoording van de vragen van het ministerie van LNV

Op basis van de literatuurstudie uit hoofdstukken 3 en 4 worden in dit hoofdstuk de vragen van LNV beantwoord.

2.1 Resulteren huidige bemestingsmaatregelen – in welke mate, vorm of tijdstip - in een verandering in de beschikbare hoeveelheid regenwormen?

In het mest- en ammoniakbeleid zijn regels opgenomen over de hoeveelheid mest die mag worden toegediend, de methode van toediening en de periode van toediening. Er zijn geen regels die voorschrijven in welke vorm (drijfmest of vaste mest) toegediend moet worden; de vorm bepaalt wel de methode van toediening en deels ook de periode van toediening.

2.1.1 Hoeveelheid mest

Over het algemeen blijkt dat er bij een hogere nutriëntenaanvoer meer regenwormen in de bodem aanwezig zijn. Hierbij kunnen zowel organische als anorganische meststoffen een positief effect hebben op de regenwormenpopulatie door aanvoer van nutriënten, koolstof en plantenmateriaal, inclusief afgestorven plantenwortels. De meest recente bemestingsnormen en daarmee nutriëntenaanvoer zijn echter nog dusdanig hoog dat er geen negatief effect wordt verwacht van (aanscherping van) de gebruiksnormen op het voorkomen van regenwormen.

2.1.2 Methode van toediening

Drijfmest moet emissie-arm worden toegediend. Op grasland op zandgrond wordt vooral zodenbemesting (ondiepe "injectie") toegepast en op klei- en veengrond wordt vooral sleepvoetbemesting (bovengronds in strookjes op de grond) toegepast. In de beschikbare literatuur staan zowel positieve als negatieve effecten beschreven van injectie van drijfmest op de abundantie, biomassa en soorten samenstelling van regenwormen. Deze zijn ruim tien jaar geleden in twee rapporten (Huijsmans et al., 2008; De Haan et al., 2009) samengevat. Sindsdien zijn er weinig nieuwe studies uitgevoerd naar het effect van toedieningsmethode op regenwormen. Er is geen eenduidig bewijs voor langdurige negatieve effecten van mestinjectie op regenwormenaantallen in de bodem. Bij sleepvoetbemesting wordt de zode niet ingesneden en wordt mest bovengronds in strookjes toegediend. Het is niet aannemelijk dat sleepvoetbemesting van drijfmest een negatief effect heeft op regenwormen ten opzichte van het breedwerpig bovengronds toedienen van drijfmest.

Voor vaste mest, waaronder stalmest, gelden geen eisen met betrekking tot toedieningstechniek; vaste mest wordt bovengronds toegediend aan grasland.

2.1.3 Periode van toediening

De periode waarop mest mag worden uitgereden is begrensd om het risico op uit- en afspoeling van stikstof te beperken. Drijfmest mag aan grasland worden toegediend (mits er geen sneeuwdek is) in de periode 15 februari tot 1 september en vaste mest in de periode 1 februari tot 1 september. Vaste strorrijke mest mag op grasland op klei- en veengrond worden uitgereden in de periode 1 december tot 15 september. Het is niet aannemelijk dat de regelgeving rond mesttoedieningstijdstippen een effect heeft op de voor weidevogels beschikbare hoeveelheid regenwormen, omdat alle mestsoorten in de lente en zomer mogen worden toegediend.

2.1.4 Mestsoort

Het mest- en ammoniakbeleid schrijft niet voor welke mestsoorten gebruikt dienen te worden en/of in welke vorm (vaste mest of drijfmest) dat dient te gebeuren.

Ruige stalmest bevat veel voedsel voor regenwormen en wordt vaak als beste mestsoort aangeschreven voor (detritivorus of detritivoren) regenwormen, mogelijk door het strooiselachtige karakter. Stalmest mag bovengronds worden toegediend, de toegestane uitrijdperiode van stalmest is langer dan die van

drijfmest en de hogere stikstofverliezen uit stalmestssystemen zijn verdisconteerd in hogere forfaits in de Meststoffenwet voor gasvormige stikstofverliezen uit stallen. De wettelijke werkingscoëfficiënt voor stalmest is hetzelfde als voor drijfmest, als de mest op het eigen bedrijf is aangevoerd (45% voor bedrijven met beweiding en 60% voor bedrijven zonder beweiding). Vanuit deze optiek is gebruik van stalmest op eigen bedrijf ongunstiger dan drijfmest, omdat de landbouwkundige (feitelijke) werking lager is van stalmest dan van drijfmest. Dit verschil in stikstofwerking komt wel tot uiting in de wettelijke werkingscoëfficiënt indien de mest van een ander bedrijf is aangevoerd. In dat geval geldt een werkingscoëfficiënt van 40% voor stalmest en 60% voor drijfmest. Indien vast wordt gesteld dat de beschikbaarheid van regenwormen als voedselbron een voornamelijk belemmering vormt voor de overleving van weidevogels en hun kuikens, kan overwogen worden om het gebruik van ruige stalmest op extensief beheerde graslanden te stimuleren via het gebruiksnormenstelsel om de voedselbeschikbaarheid te verhogen.

2.2 Wat is de duur van een eventuele vermindering van regenwormen door bemestingsmaatregelen?

Er zijn weinig studies bekend waarin effecten van bemestingsmaatregelen op regenwormen over een langere tijd zijn gevolgd en waarbij is nagegaan of negatieve effecten snel weer kunnen herstellen. Van Vliet en De Goede (2006) keken naar de populatie net voor, net na, en 4 weken na bemesting en vonden wisselende resultaten. Het is bekend dat aantallen regenwormen sterk in de tijd kunnen variëren, omdat er wisselingen zijn in de leefomstandigheden, door bijvoorbeeld veranderingen in weersomstandigheden en voedselaanbod.

2.3 In hoeverre is sprake van afhankelijkheid van regenwormen als voedsel voor weidevogels?

Regenwormen zijn een belangrijke voedselbron voor volwassen weidevogels met name in het voorjaar. Naast regenwormen vormen vanaf half april tot half juni ook emelten en andere ondergrondse larven van insecten een waardevolle prooi voor volwassen weidevogels. De dichtheden van insecten zijn doorgaans lager dan die van regenwormen maar het foerageersucces is een stuk hoger.

De kuikens van weidevogels eten vooral insecten die zich over de bodem voortbewegen of in de vegetatie ophouden. De diversiteit en aantallen insecten nemen over het algemeen toe als de soortenrijkdom van het grasbestand toeneemt; extensief beheerde graslanden hebben doorgaans grotere aantallen insecten en een grotere soortenrijkdom en daardoor veel voedsel voor kuikens van weidevogels. Scholeksterkuikens en Kievitkuikens eten de meeste regenwormen in vergelijking met andere soorten weidevogels. Gruttokuikens eten het minste wormen en zijn sterk afhankelijk van insecten in de vegetatie. Voor alle weidevogels geldt echter dat de kuikens, naarmate ze ouder worden, een omslag maken naar een dieet waarin regenwormen steeds belangrijker worden, nog voordat het vliegvlug stadium wordt bereikt.

2.4 Zijn er aspecten zoals grondsoort of waterstand die van invloed zijn?

Regenwormen komen alleen voor in de onverzadigde (maar wel vochtige) zone van de bodem (boven de grondwaterspiegel), omdat ze zuurstof nodig hebben. Een hoge bodemvochtigheid en hogere grondwaterstand leidt er toe dat de regenwormen zich dicht bij het oppervlak bevinden en daardoor binnen het bereik van weidevogels komen. De aantallen en biomassa regenwormen in de bodem verschillen sterk en zijn afhankelijk van verschillende factoren, zoals voedselbeschikbaarheid, vochtgehalte, bescherming tegen predatoren, en verstoring van de leefomgeving (bijvoorbeeld door het scheuren van grasland en bij wisselteelt van gras en mais). De aantallen regenwormen in grasland zijn normaliter veel hoger dan in bouwland.

2.5 Vormen de bemestingsmaatregelen met betrekking tot regenwormen voor weidevogels het hoofdprobleem of is er sprake van een klein onderdeel van een groter probleem met betrekking tot voedsel voor weidevogels?

In dit advies lag de nadruk op het effect van bemestingsmaatregelen in het kader van het mest- en ammoniakbeleid op het voorkomen van regenwormen als voedsel voor weidevogels. De effecten daarvan lijken heel beperkt te zijn, al zijn er geen resultaten van meerjarig onderzoek.

Andere effecten van bemesting lijken een veel groter effect te hebben op de weidevogelpopulatie dan de bemestingsmaatregelen in het kader van het mest- en ammoniakbeleid. Er is in het kader van onderhavig advies geen uitgebreide studie gedaan naar andere effecten van bemesting en van veranderingen in de bedrijfsvoering in de landbouw. Toch worden de belangrijkste factoren bij dalende aantallen weidevogels hier kort benoemd.

De afname van de weidevogelpopulatie wordt waarschijnlijk vooral veroorzaakt door een generieke afname van de kwaliteit en kwantiteit van de broedhabitat. Gebieden die voldoen aan alle habitateisen zijn zeldzaam geworden in Nederland. Een groot aantal processen ligt ten grondslag aan de afname van de kwantiteit en kwaliteit van de broedhabitat. Dit zijn met name de uitbreiding van de infrastructurele en stedelijke omgeving, de 'verrommeling' van het landschap, de toename van predatie en de intensivering van de landbouw.

Met de intensivering van de landbouw wordt een proces bedoeld dat zich in de afgelopen halve eeuw heeft afgespeeld. Hierbij hoort een verandering van de inrichting van het landschap (het verdwijnen van slootjes, slootkanten, plas-dras, etc.) waardoor graslanden minder geschikt zijn als habitat. Daarnaast is er sprake van een intensiever gebruik van het grasland zelf. Dit wordt gekenmerkt door: (1) drainage van landbouwgronden en het in standhouden van een relatief lage grondwaterstand, (2) een hoge mestgift, (3) het (her)inzaaien met snelgroeiende grassoorten als Engels raaigras (*Lolium perenne*) waardoor de kruidenrijkdom afneemt, (4) het egaliseren van weilanden waardoor sterke homogenisering van de vegetatie optreedt, (5) het bestrijden van voor het gras schadelijke insecten zoals emelten en (6) antibiotica, anthelmintica en bestrijdingsmiddelen in mest. Dit leidt tot een hogere grasopbrengst en het vroeger, efficiënter en frequenter maaien. De vervroegde en verhoogde frequentie van maaien met vaak grote machines leidt tot een toename van het aantal nesten, eieren en kuikens dat wordt 'uitgemaaid' en dus vroegtijdig sneuvelt. Het areaal grasland dat in het voorjaar wordt gemaaid is ook toegenomen omdat beweiding vooral in het voorjaar is afgenomen. Verder leidt intensivering van de landbouw tot een type grasland dat ongeschikt is als opgroeihabitat voor weidevogelkuikens, omdat insecten slecht bereikbaar zijn voor weidevogelkuikens in graslanden met een slechte doorwaadbaarheid en geringe structuurvariatie. Daarnaast blijkt uit onderzoek dat de diversiteit en abundantie van insecten afneemt met een toename van de maai-frequentie en/of beweidingdruk.

Er zijn ook andere aspecten die mogelijk een relatie hebben met bemesting en de intensiteit van graslandgebruik en daarmee met weidevogels, zoals de invloed van bemesting op emelten, verzuring van bodem door bemesting, effect van mesttoedieningstechniek op weidevogelnesten en op het vochthoudend vermogen, en het effect van antibiotica, anthelmintica en bestrijdingsmiddelen die in mest aanwezig kunnen zijn. Om na te gaan hoe het mestbeleid via de verschillende sporen de weidevogelpopulatie beïnvloedt, zou getracht moeten worden om deze sporen (bijvoorbeeld via maaitijdstip, bemestingsintensiteit, grondwaterstand) te isoleren en individueel te beschouwen. Dit zou gedeeltelijk opgezet kunnen worden rondom het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid, waaruit bedrijven geselecteerd kunnen worden voor meerjarig vergelijkend onderzoek op grond van indicatoren. Ontwikkelingen binnen dit meetnet zouden kunnen worden vergeleken met data uit meer extensieve systemen om verschillen in kaart te brengen. Nagegaan moet worden of dit haalbaar en zinvol is.

De beschikbaarheid van regenwormen als voedselbron voor weidevogels lijkt geen limiterende factor voor het groeien van de weidevogelpopulatie; de bottleneck is de overleving van de kuikens, die zich met name voeden met insecten. De beschikbare literatuur laat echter zien dat de samenhang tussen de effecten van bemestingsvorm -methode, -intensiteit, en -tijdstip op de regenwormenpopulatie complex is en daardoor nog weinig is gemeten. Mocht er aanleiding zijn om deze effecten verder te ontrafelen, ook in het kader van regenwormen als belangrijk onderdeel van de bodemkwaliteit en biodiversiteit, dan gaat de voorkeur uit naar (meerjarige) veldproeven waarbij deze factoren systematisch en afzonderlijk worden beschouwd. Daarnaast geven proeven die op meerdere locaties en over meerdere jaren worden uitgevoerd een beter beeld van de voorgenoemde effecten.

3. Weidevogels

3.1 Wat zijn weidevogels?

Weidevogels zijn vogelsoorten die (een deel van het jaar) leven in een open landschap waarin het grondgebruik wordt gedomineerd door grasteelt voor veevoerwinning en beweiding. Beintema et al. (1995) onderscheiden een groot aantal (meer dan twintig) soorten weidevogels waaronder eenden, steltlopers en zangvogels. Tegenwoordig wordt de groep van weidevogels vaak beperkt tot Kievit, grutto, scholekster, tureluur, en wulp. De veldleeuwerik wordt inmiddels niet meer genoemd in dit rijtje, aangezien deze soort vrijwel is verdwenen uit gangbaar gebruikt grasland, net als de inmiddels (zeer) zeldzame broedvogels als watersnip en kempfaan.

3.2 Welke eisen stellen weidevogels aan hun habitat?

Op hoofdlijnen is een optimaal weidevogellandschap te karakteriseren als een open landschap met – naar tegenwoordige maatstaven – extensief gebruikt grasland en een hoog vochtgehalte van de bodem.

3.2.1 Open landschap

De landschappelijke openheid is van belang, omdat opgaande structuren zoals bebouwing, bomenrijen en masten door weidevogels worden geassocieerd met de aanwezigheid van predatoren (Schekkerman et al., 2008; Van der Vliet et al., 2008).

3.2.2 Extensief graslandgebruik

Extensief graslandgebruik is van belang vanwege meerdere aspecten. De belangrijkste zijn i) rust en veiligheid tijdens broed- en kuikenperiode en ii) geschiktheid als opgroeihabitat voor weidevogelkuikens.

Rust en veiligheid tijdens broed- en kuikenperiode

Weidevogels broeden op de grond, versholen in het gras. De kuikens foerageren na ei-uitkomst in het grasland, waar zij voedsel en beschutting vinden. Een late eerste maaidatum en lage maaifrequentie gedurende het groeiseizoen verminderen het risico op uitmaaien van nesten en/of kuikens (Kentie et al., 2011). Tijdens en vlak na het maaien in intensief beheerde graslanden lopen de kuikens gevaar om uitgemaaid te worden, of gepredeerd te worden door een gebrek aan schuilgelegenheid in de omgeving. Ook vlak vóór het maaien hebben intensief gebruikte graslanden een zeer beperkte waarde als opgroeihabitat voor weidevogelkuikens. Kentie et al. (2011) stelden vast dat kernen van extensief beheerde graslanden in sommige jaren functioneren als brongebieden, de reproductie is daar groter dan de sterfte. Intensief gebruikte graslanden functioneren doorgaans als 'putgebied', wat betekent dat de reproductie lager is dan de sterfte (laag uitkomstsucces en lage kuikenoverleving). De balans tussen extensief en intensief geëxploiteerd grasland bepaalt om deze reden de kans op een duurzame populatie. Voor beweiden geldt ook dat een lagere intensiteit veelal gunstiger is voor de overleving van weidevogels (Verhulst et al., 2011; Oosterveld et al., 2014).

Geschiktheid als opgroeihabitat voor weidevogelkuikens

Extensief gebruikte graslanden zijn essentieel als opgroeihabitat voor weidevogelkuikens. De meeste weidevogels zijn nestvlinders: de jongen moeten vlak na geboorte zelfstandig voldoende voedsel verzamelen. In tegenstelling tot volwassen vogels bestaat het dieet van de meeste weidevogelkuikens niet uit regenwormen, maar hoofdzakelijk uit insecten (Schekkerman en Beintema, 2007). Extensief gebruikt grasland is geschikt als opgroeihabitat om verschillende redenen. Ten eerste is de vegetatiedichtheid lager, waardoor de kuikens beter in staat zijn om zich door het grasland voort te bewegen. Ten tweede herbergen extensief beheerde percelen meestal een grotere structuurvariatie: een afwisseling van lage en hoge vegetatie en open en gesloten vegetatie. Percelen met een grote structuurvariatie bieden zowel schuilmogelijkheden in het geval dat er predatoren aanwezig zijn, als meer open delen waar de kuikens kunnen foerageren. Daarnaast is de voedselbeschikbaarheid (aantal grote prooi insecten dat bereikbaar is voor kuikens) in kruidenrijk grasland groter dan in intensief beheerd grasland (Schekkerman en Beintema, 2007; Kleijn et al., 2010; Oosterveld et al., 2014). Samenvattend kan worden gesteld dat extensieve graslanden een geschikte opgroeihabitat vormen voor weidevogelkuikens, omdat de insecten niet alleen aanwezig zijn, maar ook bereikbaar voor

weidevogelkuikens, vanwege de goede doorwaadbaarheid en grote structuurvariatie (o.a. Kleijn et al., 2007; Kruk et al., 1997; Schekkerman en Beintema, 2007). Percelen met intensief graslandgebruik (hoge mestgift/diepere ontwatering) vormen een ongeschikte opgroei-habitat voor weidevogelkuikens: ze worden te vroeg en frequent gemaaid. Voor volwassen weidevogels kunnen ze wel een geschikte foerageerhabitat opleveren. In het geval dat intensief gebruikte percelen voor een langere periode niet worden gemaaid zijn ze niet alsnog geschikt: de dichtheid van het gewas is dusdanig hoog dat het gewas moeilijk doorwaadbaar is. Daarnaast is ook de structuurvariatie laag.

3.2.3 Hoog vochtgehalte van de bodem

Een hoog vochtgehalte van de bodem is omwille van meerdere redenen van belang:

- Het vochtgehalte van de bodem heeft, samen met onder andere bemesting, een bepalende rol voor de grasgroei en daarmee voor de intensiteit van het graslandbeheer. Het belang hiervan voor weidevogels is in de vorige paragraaf beschreven.
- Het vochtgehalte van de bovenste bodemlaag is mede bepalend voor de indringingsweerstand van de bodem en daarmee bepalend voor de mate waarin de snavel van foeragerende weidevogels de bodem kan indringen.
- Bij een hoog vochtgehalte in de bewortelbare zone en bij een verhoging van de grondwaterstand in de bodem verplaatst het bodemleven zich dichterbij het maaiooppervlak, waardoor het binnen het bereik van de snavel komt (Tolkamp et al., 2006).

3.3 Wat zijn de belangrijkste oorzaken voor de sterke afname van weidevogels en welke rol speelt bemesting hierin?

3.3.1 Dalende trend van weidevogels

De trend van het aantal weidevogels in Nederlandse graslanden is dalend. De meest recente beschrijving van de trend, op basis van het weidevogelmeetnet, is van Van Turnhout et al. (2019), voor de periode van 2009 tot 2018. Zij maken onderscheid tussen de trend in gangbaar landbouwgebied; landbouwgebied met agrarisch natuurbeheer; en weidevogelreservaten. De Multi Species Indicator (MSI) die wordt uitgerekend voor zes soorten weidevogels voor het compendium van de leefomgeving staat voor gangbare landbouw op -2,8% per jaar, voor beheerlandbouw op -1,5% en vertoont een stabiele trend in reservaten. De mate van afname verschilt tussen verschillende soorten. Vooral de grutto (*Limosa limosa*; -6,66% per jaar) en Kievit (*Vanellus vanellus*; -4,78%) vertonen sterk negatieve trends in gebieden met gangbare landbouw (Van Turnhout et al., 2019).

Ook op lange termijn is een forse afname in aantal weidevogels zichtbaar. Zo geldt voor de grutto dat de Nederlandse broedpopulatie in 2015 nog maar een vierde van de populatiegrootte in de jaren '70 bedroeg; van ongeveer 120.000 naar 33.000 broedparen (Beintema, 2015). Aangezien ruim 87% van de West-Europese grutto populatie in Nederland broedt, heeft Nederland een internationale verantwoordelijkheid voor het behoud van deze soort (Kentie et al., 2016).

3.3.2 Oorzaken voor de dalende trend van weidevogels

De afname van de weidevogelpopulatie wordt veroorzaakt door een afname van de kwaliteit en kwantiteit van de broedhabitat, zo blijkt uit diverse studies. Gebieden die voldoen aan alle habitateisen zijn zeldzaam geworden. Uit recent onderzoek is gebleken dat slechts 1200 van de 30.000 gruttobroedparen broeden in gebieden die op het vlak van alle habitateisen optimaal zijn (Melman en Sierdsema, 2017). Een groot aantal processen ligt ten grondslag aan de afname van de kwantiteit en kwaliteit van de broedhabitat, waaronder: de uitbreiding van de infrastructurele en stedelijke omgeving, de 'verrommeling' van het landschap, en de toename van predatie (Kleijn et al., 2008; Teunissen et al., 2007). De intensivering van de landbouw vormt een van de belangrijkste redenen voor de afname van de kwaliteit van het resterende broedhabitat (Kentie, 2015). Met de intensivering van de landbouw wordt een proces bedoeld dat zich in de afgelopen decennia heeft afgespeeld. Hierbij hoort een verandering van de inrichting van het landschap (het verdwijnen van slootjes, slootkanten, plas-dras, etc.) waardoor graslanden minder geschikt zijn als habitat. Daarnaast is er sprake van een intensiever gebruik van het grasland zelf. Dit wordt gekenmerkt door: (1) het verlagen van de grondwaterstand, (2) het verhogen van de mestgift, (3) het (her)inzaaien met snelgroeiende grassoorten als Engels raaigras (*Lolium perenne*) waardoor de kruidenrijkdom afneemt, (4) het egaliseren van weilanden waardoor sterke

homogenisering van de vegetatie optreedt, (5) het bestrijden van voor het gras schadelijke insecten zoals emelten, (6) vroeger, efficiënter en frequenter maaien en (6) antibiotica, anthelminthica en bestrijdingsmiddelen in mest.

De verhoogde frequentie van maaien leidt tot een toename van het aantal nesten, eieren en kuikens dat wordt 'uitgemaaid' en dus vroegtijdig sneuvelt (Teunissen et al., 2007). Verder leiden bovenstaande veranderingen door intensivering van de landbouw tot een type grasland dat ongeschikt is als opgroei-habitat voor weidevogelkuikens. De structuur van het gewas voldoet niet aan de habitateisen van weidevogels: het gewas is gesloten en structuurarm. Daardoor ondervinden de kuikens moeite om al lopend door de vegetatie voldoende insecten te vinden (o.a. Kleijn et al., 2007; Kruk et al., 1997; Schekkerman en Beintema, 2007).

De jaarcyclus van weidevogels bestaat uit verschillende fasen: aankomst- en opvetfase, nestelfase, eilegfase en broedfase, opgroefase (kuikens), verzamel fase, herfsttrek, winterverblijf, voorjaarstrek. Elke fase is gekenmerkt door een overlevingskans. Uit tal van proefschriften en andere publicaties (o.a., Beintema et al., 1991; Schekkerman 2008; Kentie, 2015; Wiggers et al., 2016; Wymenga et al., 2009) blijkt dat voor de meeste weidevogelsoorten de broed- en opgroefase de meest kritische is. Het reproductiesucces (het aantal kuikens dat succesvol opgroeit) is momenteel ontoereikend om de populatie in stand te houden als gevolg van een gebrek aan geschikt habitat. Zo stelden Teunissen et al. (2007) vast dat het reproductiesucces van de grutto gemiddeld voor heel Nederland 0,1 kuiken per broedpaar per jaar was, terwijl een reproductiesucces van 0,7 kuiken benodigd is voor een stabiele populatiegrootte. Zoals eerder opgemerkt speelt de balans (in termen van areaal) tussen extensief en intensief gebruikte graslanden een belangrijke rol. Daar waar sprake is van een relatief klein gebied met geschikte graslanden in een omgeving die wordt gedomineerd door intensief gebruikte graslanden wordt predatie in de hand gewerkt. De geschikte gebieden vormen een voedselbron voor predatoren (door de aanwezigheid van weidevogelkuikens) ten opzichte van de omgeving. Bovendien kunnen kleine weidevogelpopulaties zich moeilijk verdedigen tegen predatoren (Van der Wal en Teunissen, 2018). Daarnaast worden positieve resultaten op het gebied van reproductiesucces in geschikte gebieden teniet gedaan door (sterk) negatieve resultaten in de omliggende ongeschikte gebieden. Dit kan leiden tot een negatieve trend op nationale schaal (zie bijvoorbeeld Kentie et al., 2011).

3.3.2 Rol van bemesting bij de dalende trend van weidevogels

De hoofdvraag van dit advies heeft betrekking op de invloed van bemesting op weidevogels. De vraag is door LNV afgebakend en gericht op het spoor bemesting → regenwormen → weidevogels. Dit spoor wordt nader geanalyseerd in het volgende hoofdstuk. Bemesting heeft echter ook langs andere sporen een invloed op weidevogels.

Voor het behoud van weidevogels dienen ook de andere effecten van bemesting op weidevogels in beschouwing te worden genomen. Deze noodzaak wordt onderstreept omdat de overleving van adulte weidevogels (waarvoor regenwormen en ander bodemleven een belangrijke voedselbron vormt) in dit tijdsgewricht niet de belangrijkste limiterende factor vormt. Zoals hierboven uiteengezet is de lage kuikenoverleving de grootste limiterende factor. Deze wordt door verschillende factoren beïnvloed, waarbij bemesting een rol kan spelen.

- *Nest- en kuikenoverleving.* Een hoge maaifrequentie en een vroege eerste maaidatum gaan gepaard met een vergrote kans op het uitmaaien van nesten en kuikens. De hoeveelheid en type mest (o.a. van belang vanwege de verschillen in snelheid waarmee voedingsstoffen voor het gewas vrijkomen) bepalen - samen met andere factoren zoals graslandbeheer van de boer, drooglegging en weersomstandigheden - de snelheid waarmee het gewas zich ontwikkelt en daarmee de maaifrequentie en eerste maai/weidedatum. Hoge bemesting leidt bijvoorbeeld tot het vroeger maaien van grasland en kan daarmee een negatief gevolg hebben op de overleving van kuikens.
- *Geschiktheid van het grasland als opgroei-habitat.* Insecten zijn slecht bereikbaar voor weidevogelkuikens in graslanden met een slechte vegetatiedoorringbaarheid en geringe structuurvariatie. De hoeveelheid en type mest zijn samen met factoren als drainageregime en bodemtype bepalend voor het type vegetatie dat zich ontwikkelt. Productiemaximalisatie kan tot graslanden leiden die slecht doorwaadbaar zijn en een geringe vegetatiestructuurvariatie hebben, en daardoor ongeschikt zijn als opgroei-habitat voor weidevogelkuikens.
- *Insecten.* Insecten vormen de belangrijkste voedselbron voor de meeste weidevogelkuikens. Vooral grote insecten (4-20 mm; Teunissen et al., 2011) zijn geschikt, omdat deze per inspanning meer

voeding bieden. Verschillende onderzoeken tonen aan dat de diversiteit en abundantie van insecten afneemt met een toename van de maaifrequentie en/of beweidingsdruk (Zahn et al., 2010). Dit geldt vooral voor grote insecten (Van Klink et al., 2015). Over het algemeen hebben grote insecten een langere levenscyclus dan kleine insecten. Bij een hoge maaifrequentie/beweidingsdruk is er onvoldoende rust om de levenscyclus te voltooien (Van Klink et al., 2015; Siepel, 1990; Schekkerman en Beintema, 2007). Ook langs dit spoor is bemesting van invloed, aangezien dit een belangrijke bepalende factor is voor intensiteit van maaien en beweiden.

Daarnaast zijn tal van aspecten te onderscheiden die relatie hebben met bemesting en de intensiteit van graslandgebruik en daarmee met weidevogels, die in uiteenlopende mate zijn onderzocht. Het gaat om vragen als:

- Wat is de invloed van bemesting op emelten als voedselbron voor juveniele en adulte weidevogels?
- In welke mate treden veranderingen op in de pH van de bodem als gevolg van de toediening van mest en welke invloed heeft dit op het voedselaanbod voor weidevogels?
- Hoe verschillen de diverse bemestingstechnieken onderling in:
 - de mate waarin weidevogelnesten beschadigd worden?
 - de mate waarin het vochthoudend vermogen/capillaire werking en de dichtheid van de bodem worden beïnvloed?
 - de mate waarin de bodem uitdroogt door sleufvorming maar ook door hogere grasproductie met dito waterverbruik (voor de productie van 1 kg droge stof Engels raaigras is 350 liter water nodig)?
 - hoe reageren vogels op de sleufjes mest die horen bij emissiearme mesttoediening?
- Wat is het effect van antibiotica, anthelminthica en bestrijdingsmiddelen die in mest aanwezig kunnen zijn op de gezondheid en voedselbeschikbaarheid voor weidevogelkuikens?

4. Effect van mesttoediening op regenwormen als voedsel voor weidevogels

4.1 Op welke wijze wordt bemesting momenteel uitgevoerd in Nederland?

Het mest- en ammoniakbeleid stelt regels aan de toediening van mest aan landbouwgronden. De hoeveelheid mest die mag worden toegediend wordt bepaald door het stelsel aan gebruiksnormen uit de Meststoffenwet. Er zijn drie gebruiksnormen: werkzame stikstof, fosfaat en stikstof uit dierlijke mest. Op grasland mag tot 170 kg N per ha aan graasdierenmest worden toegediend, behalve als hier een uitzondering geldt (derogatie in het kader van de Nitraatrichtlijn). Bij een derogatie mag een bedrijf jaarlijks tot 230 kg N per ha (zuidelijk zandgebied en het lössgebied) of 250 kg N per ha (overige grondsoorten) toedienen, mits het areaal uit minimaal 80% grasland bestaat. De normen voor de totale hoeveelheid werkzame stikstof per ha op grasland zijn hoger: 250-345 kg N per ha per jaar afhankelijk van de grondsoort en of er alleen gemaaid wordt of ook beweid. Voor tijdelijk grasland zijn de normen iets lager. De normen worden toegepast op bedrijfsniveau en bieden ruimte om op perceelniveau meer mest toe te passen dan genoemde hoeveelheden.

In Nederland wordt 93% van de dierlijke meststikstof als drijfmest (verpompbaar) toegediend aan grasland, de overig 7% wordt als vaste mest (niet verpompbaar) toegediend (Bron: National Emission Model Agriculture op basis Gecombineerde Opgave). Stikstofverliezen (als ammoniak, lachgas, stikstofoxide en luchtstikstof) zijn in systemen met emissiearm toegediende drijfmest veel lager dan in systemen met vaste mest. In stallen en mestopslagen gaat ongeveer 15% van de geproduceerde stikstof verloren in een systemen met drijfmest en 40% in systemen met vaste mest (Van Bruggen en Geertjes, 2019). Daarnaast is de beschikbaarheid van stikstof voor het gras hoger in drijfmest (landbouwkundige werkingscoëfficiënt volgens de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen: \pm 60% in het jaar van toediening) dan in stalmest (landbouwkundige werkingscoëfficiënt 15-20% in het jaar van toediening). De niet-werkzame stikstof komt later in het jaar of in volgende jaren beschikbaar, kan daardoor niet altijd goed worden benut door het gewas, en gaat deels verloren naar het milieu. De benutting van stikstof is dus hoger in landbouwsystemen met drijfmest, zeker in het jaar van toediening.

In het kader van het ammoniakbeleid is het sinds begin jaren '90 verplicht om drijfmest toe te dienen aan grasland met een toedieningstechniek die de ammoniakemissiearm beperkt ten opzichte van breedwerpig bovengrondse toediening. Vóór 1990 werd alle drijfmest breedwerpig bovengronds toegediend en vanaf 1995 werd vrijwel alle mest emissiearm toegediend (De Haan et al., 2009). Van de drijfmest die in 2017 aan grasland werd toegediend, werd 64% toegediend met een zodenbemester (sleufjes van 5-7 cm diep in de grond), 22% met een sleufkouter (deels in sleufjes van 2 cm diepte in de grond en deels op de grond; deze techniek mag sinds 1 januari 2019 niet meer worden toegepast), 13% met een sleepvoet (in strookjes op de grond) en 1% breedwerpig bovengronds (Van Bruggen et al., 2019). De sleepvoet wordt vooral toegepast op veen- en kleigrond; vanaf 1 januari 2019 mag alleen verdunde mest worden toegediend met een sleepvoet. Diepe mestinjectie (tot 15-20 cm) wordt niet toegepast op grasland. Voor vaste mest, waaronder stalmest, gelden geen eisen met betrekking tot toedieningstechniek; vaste mest wordt bovengronds toegediend aan grasland.

In het kader van het mestbeleid is de periode waarin mest mag worden uitgereden begrensd om het risico op uit- en afspoeling van stikstof te beperken. Drijfmest mag aan grasland worden toegediend (mits er geen sneeuwdek is) in de periode 15 februari tot 1 september en vaste mest in de periode 1 februari tot 1 september. Vaste strorijke mest mag op grasland op klei- en veengrond worden uitgereden in de periode 1 december tot 15 september.

4.2 Welke soorten regenwormen bestaan er en hoe verschillen zij onderling?

Regenwormen vormen een belangrijk deel van het bodemleven en hebben grote invloed op de koolstof- en nutriëntenkringlopen onder de grond en de bodemstructuur. Ze worden in de literatuur vaak beschreven als 'nature's plough' of als 'ecosystem engineers' omdat ze de biologische, fysische en chemische kenmerken van hun leefomgeving, de bodem, drastisch veranderen. Ze kunnen bijvoorbeeld een groot (lokaal) effect hebben op de zuurgraad van de bodem en op de beschikbaarheid van

belangrijke nutriënten zoals stikstof en fosfaat. Daarnaast beïnvloeden ze door het graven van gangen en door het mengen van organisch materiaal met bodemdeeltjes het voorkomen van ander bodemleven, en hebben ze effect op allerlei bodemeigenschappen zoals infiltratiecapaciteit, stabiliteit, vochtvasthoudend vermogen en doorlatendheid van de bodem.

In Nederland zijn regenwormen veelal rood en/of grijs van kleur en worden tot ongeveer 20 cm lang, afhankelijk van de soort. Ze leven op en in de bodem, in de onverzadigde zone, dus boven de grondwaterspiegel. De aantallen en biomassa die per m² te vinden zijn verschillen sterk en zijn afhankelijk van verschillende factoren, zoals voedselbeschikbaarheid, vochtgehalte, bescherming tegen predatoren, en verstoring van de leefomgeving (bijvoorbeeld door het ploegen van bouwland; Briones en Schmidt, 2017). In de landbouw zijn er daarom verschillen in aantallen (en biomassa) regenwormen te zien tussen bouwland en grasland. Voor bouwland werden door Crittenden et al. (2014; 2015) aantallen tussen de 100 en 250 exemplaren per m² geregistreerd, terwijl voor graslanden de aantallen gewoonlijk veel hoger liggen. Didden (2001) heeft in 1997 een inventarisatie gedaan in 20 graslanden op marine klei en vond daar gemiddeld 384 regenwormen per m². Deze getallen worden onderschreven door een modelstudie van Rutgers et al. (2016), waarin de aantallen voor grote delen van het land (met name in Noord Holland en Friesland) werden geschat tussen de 300 en 600 exemplaren per m². Vergeleken met omringende landen zijn dat hoge cijfers (in veel gebieden in Frankrijk en Duitsland komen de aantallen niet boven de 200 regenwormen per m²; Rutgers et al., 2016). De auteurs waarschuwen echter wel voor onzekerheden van de data, die veroorzaakt kunnen worden door verschillen in meetmethoden en de kwaliteit van andere inputdata. Timmerman et al. (2006) laten zien dat de dichtheid aan regenwormen in Friesland meestal hoog is, maar dat de dichtheid fluctueert met de jaren en met het seizoen. Vooral na een strenge winter zijn de dichtheden in het voorjaar laag.

Regenwormen kunnen worden onderverdeeld in ecologische categorieën. Veel studies gebruiken daarbij (een deel van) de indeling gepubliceerd in Bouché (1977). Vaak wordt onderscheid gemaakt tussen drie verschillende groepen met elk hun eigen habitat en voedselstrategie (Figuur 1):

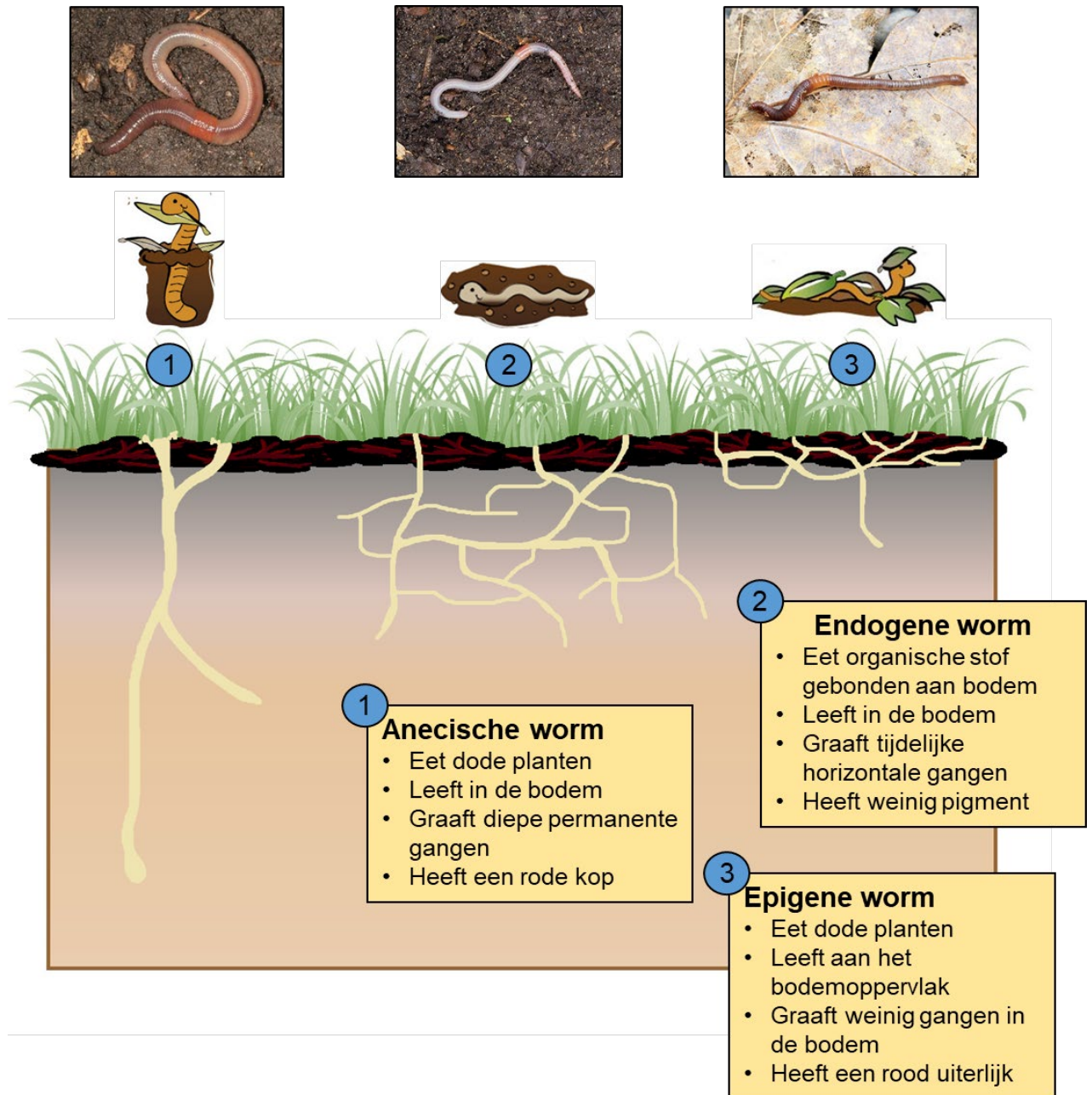
- strooiseleTERS (epigene soorten);
- grondeters (endogene soorten); en
- pendelaars (anecische soorten).

De pendelaars (anecische soorten) zijn de grootste en langste regenwormen. Ze leven in de bodem, maar voeden zich met vers organisch materiaal uit de strooisellaag bovenop de bodem. Ze maken slechts enkele permanente verticale gangen (sommige soorten tot wel 2 m diep) die ze gebruiken om voedsel vanaf het oppervlakte mee de bodem in te trekken. Grondeters (endogene soorten) leven in de bodem, net als de pendelaars, maar ze komen niet vaak naar de oppervlakte. Ze graven voornamelijk tijdelijke horizontale gangen die ze weer opvullen met de grond die ze eten. Hun voeding halen ze uit organisch materiaal dat door de bodem gemengd is. Dit materiaal is doorgaans ouder dan dat in de verse strooisellaag. De strooiseleTERS (epigene soorten) leven vooral in deze strooisellaag bovenop de grond, en soms in de bovenste paar centimeter van de bodem. Deze relatief kleine regenwormen voeden zich met vers organisch materiaal en hebben vaak een donkerrode kleur.

Een andere onderverdeling is gebaseerd op de voedingsstrategie van de regenwormen (Curry en Schmidt, 2007; Onrust en Piersma, 2019). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen:

- detritivoren (epigene en anecische soorten) en
- geophagen (endogene soorten)

In sommige andere studies worden de grondeters (endogene soorten) onderverdeeld afhankelijk van het soort organische stof dat ze eten (Lavelle, 1981; Curry en Schmidt, 2007).



Figuur 1. Overzicht van de drie ecologische hoofdgroepen in de indeling van Bouché (1977). De bovenstaande foto's zijn voorbeelden van regenwormen die tot de verschillende categorieën behoren; van links naar rechts: *Lumbricus terrestris* (anecische soort); *Aporrectodea caliginosa* (endogene soort); *Lumbricus castaneus* (epigene soort).

4.3 Wat is de relevantie van regenwormen in het dieet van weidevogels?

Het dieet van *adulte* weidevogels is beschreven in de Ecologische atlas van de Nederlandse weidevogels (Beintema et al., 1995). In tegenstelling tot kuikens zijn de meeste adulte weidevogels afhankelijk van regenwormen als voedselbron (Zwarts, 1993; Wiggers et al., 2015). Volgens de auteurs zijn er geen studies bekend waarin systematisch is gekeken naar een eventuele selectieve voorkeur van weidevogels voor bepaalde wormsoorten of grootte klassen. Veldobservaties geven aan dat weidevogels simpelweg wormen eten die voor hen bereikbaar zijn. Tot de 'bereikbare regenwormen' behoren de regenwormen die zich direct op of vlak onder het bodemoppervlak bevinden (van extra groot belang voor zichtjagers zoals bijvoorbeeld Kievit, kemphaan en goudplevier), of tot +/- 15 centimeter onder het maaiooppervlak (bereikbaar voor tastjagers zoals grutto, tureluur en scholekster).

Om deze reden bepaalt de levenswijze van de verschillende soorten regenwormen de mate waarin zij onderdeel uitmaken van het weidevogeldieet (Onrust en Piersma, 2019). Regenwormen die zich frequent

in de bovenste bodemlagen begeven (dit zijn over het algemeen de detritivore, rode regenwormen) maken een grotere kans om onderdeel uit te maken van het dieet van de weidevogel (o.a. Onrust, 2017).

Naast regenwormen vormen vanaf half april tot half juni ook emelten, larven van de langpootmug, een waardevolle prooi voor volwassen weidevogels. De dichtheden zijn doorgaans een factor tien (Kleijn et al., 2009a) of veertig (Wiggers et al., 2015) lager dan die van regenwormen, maar het foerageersucces is vanwege de lagere mobiliteit van emelten een stuk hoger (Teunissen et al., 2011).

De *kuikens* van weidevogels eten vooral insecten die zich over de bodem voortbewegen of in de vegetatie ophouden (Schekkerman en Beintema, 2007). Scholeksterkuikens zijn daarop een uitzondering, omdat ze gevoed worden door de oudervogels met regenwormen, emelten en keverlarven. Na de scholeksterkuikens eten kievitkuikens de meeste regenwormen. Het betreft vooral de rode epigene regenwormen die in het maaiveld leven, in koeienvlaaien, resten vaste mest, e.d. Ook tureluur en kemphaan, als kuiken, eten beperkte hoeveelheden regenwormen. Gruttokuikens eten het minste regenwormen en zijn sterk afhankelijk van insecten in de vegetatie (Beintema et al., 1991).

Voor alle weidevogels geldt echter dat de kuikens, naarmate de ouderdom toeneemt, een omslag maken naar een dieet met meer regenwormen, nog voordat het vliegvlugge stadium wordt bereikt (Beintema et al., 1991). Zowel Beintema et al. (1991) als Teunissen et al. (2011) vonden resten van regenwormen in de uitwerpselen van gruttokuikens.

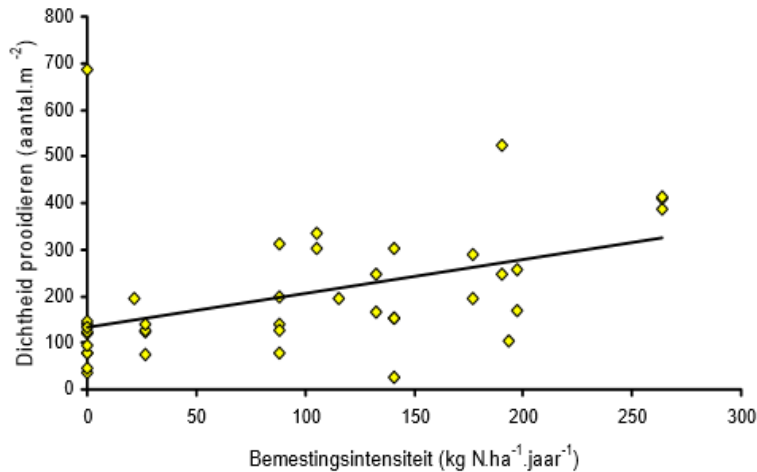
Samenvattend, regenwormen zijn een belangrijke voedselbron voor volwassen weidevogels. Naarmate de weidevogelkuikens ouder worden (zich richting vliegvlug ontwikkelen) beginnen regenwormen een steeds belangrijker onderdeel van het dieet te vormen.

4.4 Wat is het effect van bemesting op de abundantie en soortensamenstelling van regenwormen?

4.4.1 Mestsoort

De hoeveelheid en het type mest dat wordt toegediend heeft effect op de aanvoer van nutriënten en koolstof, en daarmee op de leefomstandigheden voor regenwormen. Het effect van mestsoort op regenwormen is in veel studies onderzocht, maar daarbij zijn de verschillende mestsoorten vaak verweven met de toedieningsmethode (waarbij bijv. geïnjecteerde drijfmest wordt vergeleken met bovengronds toegediende stalmest). Daarnaast wordt er verschillend bemonsterd en gerapporteerd: sommige studies melden de aantallen regenwormen, anderen ook de totale biomassa. Hogere aantallen regenwormen hoeven niet automatisch te leiden tot een hogere biomassa. De bodemdpte die wordt bemonsterd op regenwormen verschilt ook per studie.

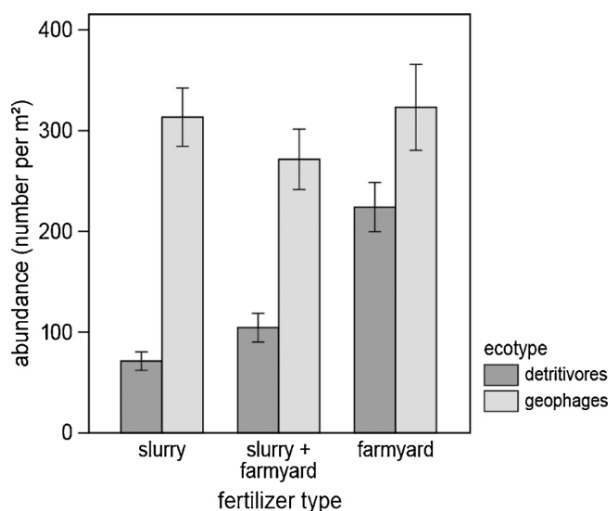
Over het algemeen blijkt dat bij een hogere nutriëntenaanvoer er meer regenwormen zijn (Edwards en Lofty, 1982; Hansen en Engelstad, 1999). Zowel organische als anorganische meststoffen kunnen een positief effect hebben op de regenwormenpopulatie door aanvoer van nutriënten, koolstof en plantenmateriaal, inclusief afgestorven plantenwortels (Curry, 1976; Cotton en Curry, 1980; Leroy et al., 2008; Ponge et al., 2013). Voor anorganische bemesting is het waarschijnlijk dat het effect van bemesting op de regenwormendichtheid een indirect effect betreft (aangezien regenwormen zich niet voeden met kunstmest), waarbij een betere groei van planten door bemesting invloed heeft op het voedselaanbod voor regenwormen. Kleijn et al. (2009a) beschrijven een (relatief zwak) verband tussen het aantal wormen en emelten, en het bemestingsniveau in het Wormer en Jisperveld (Figuur 2). De Boer en Van Eekeren (2007) onderzochten in 2005 in een veldexperiment het effect van bemesting en het berijden van het perceel op gewasopbrengst en -kwaliteit, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit op een natte zandgrond. In dit experiment maten ze ook de aantallen en biomassa van regenwormen in bovenste 20 cm van de bodem. Twee maanden na bemesting (d.m.v. mestinjectie) was er een significante stijging in het totaal aantal (van 156 naar 325 wormen per m²) en het aantal juveniele (van 69 naar 193 wormen per m²) regenwormen.



Figuur 2. De relatie tussen geschatte bemestingsintensiteit en de dichtheid aan prooidieren (wormen en emelten in de bovenste 10 cm van de bodem; Kleijn et al., 2009a)

Het effect van bemesting op regenwormen is echter niet altijd duidelijk. Timmerman et al. (2006) vonden bijvoorbeeld minder regenwormen in graslanden die met drijfmest waren bemest dan in onbemeste graslanden en graslanden waar ruige stalmest werd toegepast. De behandelingen waren hier echter niet verspreid over de proefopstelling, maar gegroepeerd, waardoor andere factoren systematische verschillen zouden kunnen introduceren. Deru et al. (2016) deden van 2013 tot 2015 onderzoek naar het effect van verschillende meststoffen op regenwormen in een veenweideperceel. In hun onderzoek had toediening van de dikke fractie van gescheiden drijfmest een positief effect op strooiselbewonende regenwormen (epigene soorten). Andere mestbehandelingen, waaronder drijfmest, compost, en ruige mest, hadden daarentegen geen significant effect. Ammoniumhoudende minerale stikstofmeststoffen kunnen een negatief effect hebben op regenwormenpopulaties door verzuring van de bodem na nitrificatie (Ma et al., 1990), maar dit hoeft niet altijd het geval te zijn (Curry et al., 2008; Van Eekeren et al., 2009). Ruige stalmest bevat veel voedsel voor regenwormen en wordt vaak als beste mestsoort aangeschreven voor regenwormen (Edwards en Lofty, 1982; Curry, 2004; Timmerman et al., 2006).

In 2013 bepaalden Onrust en Piersma (2019) regenwormendichtheden in 45 graslandpercelen, 11 waarop ruige stalmest was aangebracht (één keer per jaar in februari of maart), 22 waarin drijfmest was geïnjecteerd (4-5 keer per jaar), en 12 waarin zowel ruige mest als drijfmest was aangewend (ruige mest in de lente en daarna 3-4 keer drijfmest in de zomer). Het onderzoek werd uitgevoerd in graslanden op veenbodems met een dun kleidek in Friesland. De regenwormenaantallen werden bepaald in oktober (bovenste 20 cm van de bodem, aangevuld met een oplossing van mosterdpoeder om



Figuur 3. Aantallen (gemiddelde en standaardfout) detritivore en geophage regenwormen in de percelen bemest met drijfmestinjectie (slurry; n=22), bovengrondse aanwending van vaste mest (farmyard n=11), of allebei (slurry + farmyard n=12) uit Onrust en Piersma (2019). Per grasland werden 3-6 bodemmonsters geanalyseerd.

regenwormen in diepere lagen te tellen). Er werd hierbij onderscheid gemaakt tussen detritivoren (epigene en anecische regenwormen) en geophagen (endogene regenwormen). Gemiddeld zaten er 415 regenwormen per m² in de bodem, waarvan ongeveer 30% detritivoren en 70% geophagen. Op graslanden waarin alleen ruige mest bovengronds werd aangewend waren meer dan twee keer zoveel detritivoren te vinden dan in de andere twee behandelingen (Figuur 3). Voor geophagen waren er geen verschillen te vinden. Omdat de drijfmest en stalmest op verschillende manieren werden toegediend is hier geen onderscheid te maken tussen het effect van toedieningsmethode en het effect van mesttype. Daarnaast werden percelen waar stalmest werd aangebracht minder intensief gemaaid dan percelen met injectie, en was de grondwaterstand er hoger. Dit zijn aanzienlijke versturende factoren die een groot effect kunnen hebben op de aantallen en gedrag van de regenwormen.

Van Eekeren et al. (2009) deden in 2004 onderzoek naar het effect van verschillende mestbehandelingen op biologische bodemindicatoren en bijbehorende ecosysteemdiensten in een veldproef. In de periode 2000 – 2004 werden hier verschillende mestsoorten en toedieningsmethoden vergeleken. Bemesting met het anorganische kalkammonsalpeter (KAS) werd vergeleken met twee verschillende soorten drijfmest en twee soorten vaste mest. De drijfmesten werden hierbij geïnjecteerd, terwijl de vaste mesten bovengronds werden aangewend. Er was dus geen direct onderscheid mogelijk tussen mestsoort en bemestingsmethode. In de herfst van 2004 (vijf groeiseizoenen na het begin van het experiment) werden regenwormen verzameld uit de bovenste 20 cm van de bodem. Daarnaast werden de wormengangen op 10 cm diepte geteld. Omdat de aantallen epigene regenwormen in de veldjes waarin geïnjecteerd werd weinig verschilden van de controle- en de KAS-behandeling, vermoedden de auteurs dat injectie geen negatief effect had. De variatie in gemeten regenwormenaantallen was hoog en er was geen significant effect te zien van bemestingsbehandeling op de totale biomassa van regenwormen, hoewel er in de twee behandelingen met vaste mest meer epigene regenwormen te vinden waren en in de andere behandelingen meer endogene soorten. Wel was er gemiddeld een significant hoger aantal wormengangen in de velden met organische mest, dan in de controle en in de velden bemest met KAS.

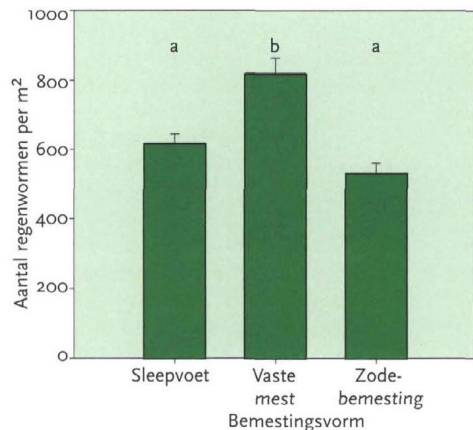
4.4.2. Mesttoedieningstechniek

Ruim tien jaar geleden is emissiearme bemesting geëvalueerd, waarbij ook de effecten van emissiearme bemestingsmethodes van dierlijke mest (zoals injectie) op de regenwormenpopulatie zijn samengevat (Huijsmans et al., 2008; De Haan et al., 2009). Hieronder worden belangrijkste studies samengevat, waaraan in deze evaluatie is gerefereerd. Sindsdien zijn er geen nieuwe bruikbare studies gepubliceerd.

Kruk (1994) heeft als eerste onderzoek gedaan naar het effect van mestinjectie op bodemfauna, met als achterliggende drijfveer de beschikbaarheid van regenwormen als voedsel voor weidevogels. In 1991 vergeleek hij 15 graslandpercelen waarin drijfmest werd geïnjecteerd (26-28 maart) met 15 percelen waar de drijfmest bovengronds werd aangewend (5-15 maart). Er wordt in deze publicatie echter niet aangegeven hoeveel er bemest werd en of dit gelijk was bij de twee bemestingsmethoden. Ook over de bemestingsgeschiedenis en de precieze ligging van de percelen ten opzichte van elkaar wordt niets vermeld. Wel is bekend dat de percelen allemaal op veenbodems lagen en een vergelijkbare grondwaterstand hadden. Wormenaantallen en -biomassa in de bovenste 10 cm van de bodem werden wekelijks bepaald tussen 28 februari en 17 april. Hoewel er aanzienlijke variatie was tussen de bemonsteringsdata, was er op geen enkel bemonsteringsmoment een effect te zien van bemestingsmethode op wormenaantallen of -biomassa (Kruk, 1994). In deze studie werd geen onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten regenwormen.

Oosterveld (2006) heeft van 2002 tot 2005 onderzoek gedaan naar verschillende bemestingstechnieken op twee graslandpercelen (een zeeleiggrond en een klei-op-veengrond) in Friesland. Hierbij werd injectie en sleepvoetbemesting met drijfmest vergeleken met het breedwerpig bovengronds aanwenden van vaste mest. Er is dus geen expliciet onderscheid te maken tussen het effect van de mestsoort en het effect van bemestingsmethode, behalve tussen de twee drijfmestbehandelingen. Daarnaast worden de resultaten nogal beknopt (dus niet volledig) gerapporteerd. De bemesting werd toegepast op 3 april 2002, maar er wordt niet vermeld hoeveel er bemest werd en of dit gelijk was tussen de bemestingsmethoden. De aantallen en biomassa van regenwormen werden in 2002 en 2005 in elk jaar vijf keer bepaald tijdens het broedseizoen in de bovenste 10 cm van de bodem. De effecten van bemesting verschilden per jaar. In 2002 werd een week na bemesting een negatief effect van bemesting

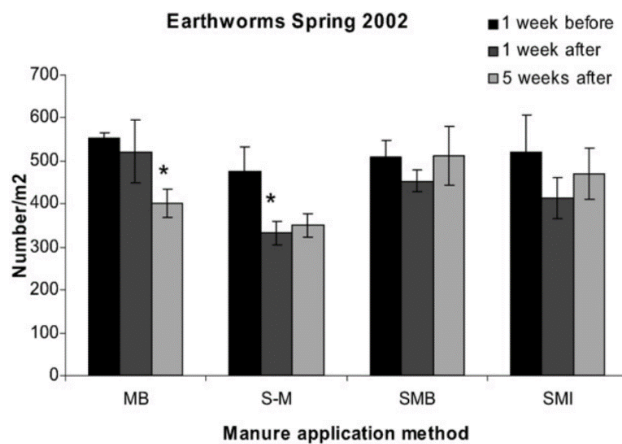
met drijfmest waargenomen op de totale biomassa van regenwormen, gemiddeld over beide meetlocaties (-38% voor injectie en -50% voor sleepvoetbemesting vergeleken met metingen een week voor bemesting). Na vier weken waren deze verschillen weer verdwenen. De biomassa veranderde niet in de percelen waar vaste mest bovengronds werd aangebracht. In 2005 werd gedurende het seizoen een toename in het aantal regenwormen gemeten na bemesting. Daarnaast waren voor het perceel met zeekleigrond de aantallen regenwormen lager in de percelen waarin drijfmest geïnjecteerd was (529 wormen per m²; 35%; Figuur 3) of waarin zodenbemesting met drijfmest was toegepast (618 per m²; 25%) lager dan in percelen met bovengrondse bemesting met vaste mest (821 per m²). Er was echter geen verschil tussen de percelen in de totale biomassa van de regenwormenpopulatie (Oosterveld, 2006). Voor de locatie met de klei-op-veen grond worden geen verschillen gerapporteerd. De studie laat zien dat er jaarlijkse verschillen zijn in de effecten. Gemiddeld over de jaren was er een significant verschil tussen ruige mest en drijfmest.



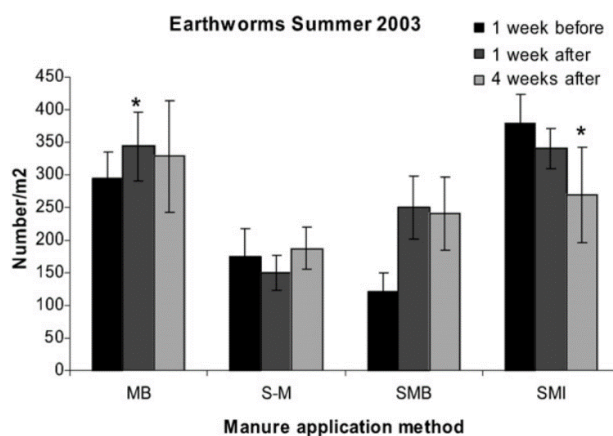
Figuur 3. Aantal regenwormen per m² bij drie vormen van bemesting na drie jaar in de bovenste 10 cm van de proefvlakken op de locatie Nij Bosma Zathe (zwarte klei). De staven geven het gemiddelde van 5 bemonsteringen gedurende de periode eind maart – half juni 2005. De letters a en b duiden op statistische significantie van de verschillen. Dezelfde letters betekenen geen verschil; verschillende letters betekenen wel een verschil (Oosterveld et al., 2006).

De Goede et al. (2003) hebben de effecten van een combinatie van bemestingsmethoden en mestadditieven (Euromestmix® en Effectieve Microben®) op de regenwormenpopulatie bestudeerd. Daarbij werd onderscheid gemaakt tussen regenwormen uit de verschillende ecologische categorieën (Bouché, 1977). Drie verschillende behandelingen werden bestudeerd, verspreid over 12 melkveebedrijven (vier bedrijven per behandeling) in Friesland: (i) bovengrondse aanwending van drijfmest in combinatie met Euromestmix®, (ii) injectie van drijfmest zonder toevoeging van Effectieve Microben®, en (iii) injectie van drijfmest met toevoeging van Effectieve Microben®. Aantallen regenwormen, potwormen, en nematoden werden bepaald in de bovenste 20 cm van de bodem. In de percelen waar geïnjecteerd werd waren gemiddeld 34% meer regenwormen aanwezig (642 wormen per m²) dan in velden waar drijfmest bovengronds werd aangewend (478 per m²). De hoeveelheid volwassen anecische wormen was ook significant hoger (233%) bij mestinjectie (20 tegen 6 per m²), terwijl de hoeveelheid volwassen epigene wormen 61% lager was dan bij bovengrondse aanwending (9 tegen 23 per m²). Voor volwassen endogene wormen was er een toename bij injectie (174 tegen 135 per m²; 29%), maar deze was niet significant. Bij de bovenstaande observaties is echter geen onderscheid te maken tussen het effect van de bemestingsmethode en het effect van de toevoeging van Euromestmix®. Om dit te ondervangen werd ook op twee van de twaalf bedrijven (in Drogeham en Harkema) een veldexperiment uitgevoerd, waarin gekeken werd naar het effect van bemestingsmethode, additieven, mestherkomst, en de toevoeging van kunstmest. Doordat in deze studie binnen hetzelfde veld verschillende bemestingsmethoden zijn gebruikt, is bij deze proef de kans op versturende factoren kleiner dan bij de voorgaande studies. Daarnaast is door twee locaties te kiezen ook het potentiële effect van bemestingshistorie opgevangen; in het verleden werd op Drogeham mest bovengronds uitgereden, terwijl op Harkema mestinjectie werd toegepast. De proef werd aangelegd in het voorjaar van 1999 en bemonsterd in de zomer en herfst van 2000. Over het algemeen waren de aantallen regenwormen in de herfst een stuk hoger dan in de zomer. Daarnaast waren er op Drogeham meer regenwormen dan op Harkema. In de zomer was er op Drogeham een significant effect van bemestingsmethode op de aantallen volwassen regenwormen: in percelen waarin werd geïnjecteerd waren 25% minder regenwormen te vinden (106 per m²) dan in velden met bovengrondse aanwending van drijfmest (142

per m²). In de herfst was er voor beide locaties juist een positief effect van mestinjectie op endogene soorten (Drogeham: 198 tegen 128 m⁻², 55%; Harkema: 34 tegen 14 per m², 143%). Voor andere soorten was er geen significant verschil.



Figuur 4. Aantallen regenwormen (gemiddelde en standaardfout) in het voorjaar van 2002 in de verschillende behandelingen uit het experiment van Van Vliet en De Goede (2006), zowel voor mesttoediening als 1 en 5 weken erna. MB = bovengrondse aanwending; S-M = simulatie van injectiesneden zonder bemesting; SMB = simulatie van injectiesneden met bovengrondse aanwending; SMI = injectie.



Figuur 5. Aantallen regenwormen (gemiddelde en standaardfout) in de zomer van 2003 in de verschillende behandelingen uit het experiment van Van Vliet en De Goede (2006), zowel voor mesttoediening als 1 en 5 weken erna. MB = bovengrondse aanwending; S-M = simulatie van injectiesneden zonder bemesting; SMB = simulatie van injectiesneden met bovengrondse aanwending; SMI = injectie.

Van Vliet en De Goede (2006) hebben in het voorjaar van 2002 en de zomer van 2003 op Drogeham veldonderzoek gedaan naar het effect van bemestingsmethoden. Daarbij werd niet alleen gekeken naar de verschillen tussen het bovengronds aanwenden en injecteren van drijfmest; er werden ook twee behandelingen meegenomen waarbij injectiesneden gesimuleerd werden, maar de drijfmest (wel of niet) bovengronds werd toegediend. Zo kon herleid worden of eventuele verschillen worden veroorzaakt door de locatie van de drijfmest of door het snijden in de zode. Het onderzoek werd uitgevoerd op een perceel dat niet eerder was bemest via zodenbemesting en de aantallen en gewichten van regenworm werden 1 week vóór en 1 en 4-5 weken ná bemesting bepaald (in de bovenste 20 cm van de bodem, aangevuld met formaline-extractie om wormen in diepere lagen te tellen). Daarnaast werd op deze tijdstippen ook het bodemvocht bepaald in de verschillende behandelingen. Omdat de data over bodemvocht niet gepubliceerd zijn met het artikel, zijn ze in dit advies als bijlage 3 toegevoegd. In de zomer van 2003 waren de aantallen regenwormen en hun gewicht een stuk lager (gemiddeld 250 per m²) dan in de lente van 2002 (450 per m²). Dit komt waarschijnlijk door de droge lente en zomer van 2003; het bodemvocht was ook hoger in 2002 (zie bijlage 3). In 2002 was een week na de bemesting een kleiner aantal regenwormen (30%) in de behandeling waar injectie werd gesimuleerd maar geen mest werd toegevoegd (Figuur 4). Vijf weken na de bemesting was dit effect nog steeds aanwezig, maar was er ook een kleiner (27%) aantal regenwormen bij bovengrondse aanwending van drijfmest. In deze velden was er vooral een negatief effect op epigene soorten. In de andere twee behandelingen (mestinjectie en injectiesneden met bovengrondse aanwending) was geen effect te zien. In 2003 had bovengrondse aanwending een positief effect op de regenwormenaantallen (19% toename na één week), terwijl mestinjectie na vijf weken zorgde voor een significante afname (27%) in wormenaantallen (Figuur 5). Gedurende beide meetperioden varieerde het bodemvocht aanzienlijk, maar was er geen verschil te zien in vochtgehalte tussen veldjes waarin geïnjecteerd werd en veldjes waarin mest bovengronds werd aangewend (zie bijlage 3).

4.5 Wat is het effect van bemesting op de bereikbaarheid van regenwormen voor weidevogels?

4.5.1 Stalmest versus drijfmest

De abundantie van (het voorkomen van aantallen) regenwormen staat niet gelijk aan de voedselbeschikbaarheid voor weidevogels (Onrust en Piersma, 2019). De voedselbeschikbaarheid voor weidevogels wordt bepaald door de abundantie van regenwormen en het aandeel regenwormen dat zich binnen de bovenste (+/- 0-10 cm) laag van de bodem ophoudt, omdat ze daar binnen bereik van weidevogels komen. De mate waarin regenwormen zich op de bodem of diep in deze bodemlaag ophouden is onder andere afhankelijk van de soortensamenstelling van de wormen, die mede wordt beïnvloed door het type mest.

Zoals eerdere benoemd is in het onderzoek van Onrust en Piersma (2019) vastgesteld dat op percelen met stalmest ruim 2 keer zoveel detritivore wormen werden gevonden dan op percelen met drijfmest. Ook in andere onderzoeken is aangetoond dat stalmest leidt tot de hoogste dichtheden aan regenwormen (Edwards en Lofty, 1982; Curry, 2004; Timmerman et al., 2006), maar in deze onderzoeken werd niet systematisch onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten regenwormen.

Detritivore wormen verschijnen vanwege hun levenswijze vaker aan het oppervlak en zijn daardoor beter beschikbaar als voedselbron voor weidevogels. Dit is in meer detail onderzocht in een vervolgstudie waarbij regenwormen aan het bodemoppervlak zijn geteld (Onrust en Piersma, 2019a). In de velden waar ook regenwormen aan het oppervlak werden geteld waren in de bodem gemiddeld 544 geophagen en 166 detritivoren per m² te vinden. De onderzoekers concludeerden dat, hoewel detritivoren in deze velden maar circa 25% van de wormenpopulatie in de bodem omvatten, ze 83% van de regenwormen uitmaakten die 's nachts naar het oppervlak kwamen en beschikbaar waren voor weidevogels.

4.5.2 Timing van bemesting

Onrust en Piersma (2017) laten zien dat de beschikbaarheid van regenwormen voor weidevogels ook wordt beïnvloed door het moment van toedienen van de mest. In het genoemde onderzoek werden percelen deels heel vroeg (1 februari) en deels minder vroeg (14 maart) in het voorjaar bemest met stalmest. Het aantal regenwormen aan het oppervlak werd tweewekelijks gemeten. De aantallen regenwormen waren 2,5 keer zo hoog op percelen die nog niet bemest waren. Na bemesting verdween dit effect. Daarmee concluderen de auteurs dat de mate waarin (rode) regenwormen nabij het oppervlak actief zijn – en daardoor beschikbaar zijn als voedselbron voor weidevogels – kan worden bevorderd door de bemesting in het voorjaar zo lang mogelijk uit te stellen. Door de bemesting uit te stellen blijven de regenwormen hongerig, waardoor ze frequenter naar het oppervlak komen. Na bemesting is de noodzaak voor regenwormen om naar het oppervlak te komen kleiner, waardoor hun beschikbaarheid voor weidevogels afneemt.

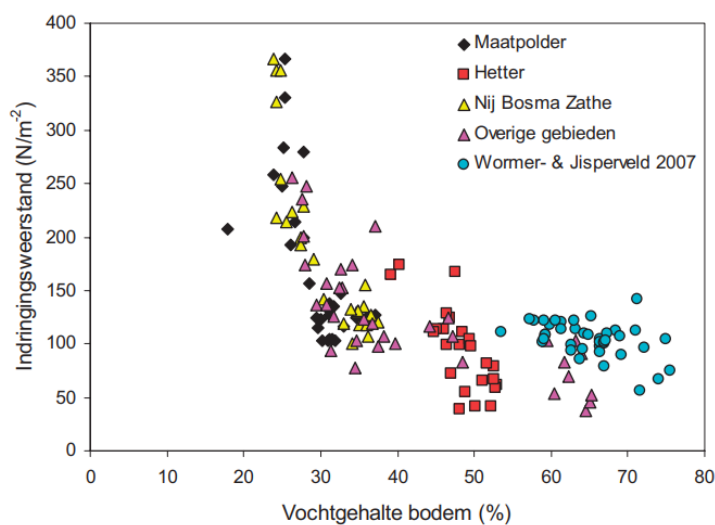
Van Vliet en De Goede (2006) hebben ook gekeken naar de verandering van de regenwormenpopulatie in de tijd rondom (1 week voor, 1 week na, en 4 weken na) verschillende bemestingsmethoden (zie Figuren 4 en 5). Zoals eerder aangegeven varieerden de resultaten sterk in de tijd en per behandeling. In het voorjaar van 2002 was er een significante afname van aantallen regenwormen te zien na 1 en respectievelijk 4 weken in de behandelingen met injectiesleuven zonder mest en met bovengronds aangewende mest. De afname in de behandeling met injectiesleuven zonder mest was ook na 4 weken nog zichtbaar. Voor andere behandelingen waren er geen verschillen. Wel was er een lagere hoeveelheid epigene wormen bij bovengrondse aanwending van drijfmest gevonden. Deze was na 4 weken nog steeds aanwezig. In de zomer van 2003 had injectie van drijfmest een negatief effect na 4 weken en een negatief effect op de relatieve bijdrage van epigene wormen zowel na 1 als na 4 weken.

4.6 Welke andere factoren spelen een rol bij de abundantie en bereikbaarheid van regenwormen?

De inprikbaarheid van de bodem voor de vogelsnavel bepaalt in sterke mate de beschikbaarheid van regenwormen als voedselbron voor weidevogels. Een uitgedroogde bodem gaat gepaard met een zeer hoge indringingsweerstand, waardoor de bodem niet inprikbaar is. Teunissen et al. (2011) beschrijven voor een verzameling van verschillende locaties (en bodemtypen) een kantelpunt bij een bodemvochtgehalte in de bovenste 10 cm van ongeveer 30% op basis van droge grond (Figuur 6).

Beneden deze drempelwaarde neemt de beschikbaarheid van regenwormen sterk af en is de bodem niet tot nauwelijks inprikbaar. Bodemvochtmetingen van Van Vliet en De Goede (2006) bij verschillende toepassingsmethoden van drijfmest lieten geen duidelijk effect zien van bemestingsmethode op bodemvochtgehalte (zie bijlage 3). Voor zover bij de auteurs van onderliggende literatuurstudie bekend is tot op heden geen specifiek onderzoek gedaan naar het effect van bemestingsmethode en bemestingsniveau op het vochtgehalte van de bovenste bodemlaag in grasland. Het is echter aannemelijk dat een hoge nutriëntenbeschikbaarheid (als gevolg van bemesting) kan leiden tot meer wateronttrekking door gras.

Naast een effect op inprikbaarheid heeft het vochtgehalte ook een effect op de diepte in de bodem waar regenwormen voorkomen. Regenwormen komen alleen voor in de onverzadigde zone (maar wel vochtige zone) van de bodem, omdat ze zuurstof nodig hebben (Brandsma, 1999; Timmerman et al., 2006). Een hoge bodemvochtigheid leidt er toe dat de regenwormen zich dicht bij het oppervlak bevinden en daardoor binnen het bereik van weidevogels komen (Onrust et al., 2019b). Brandsma (1999) laat zien dat, door het grondwaterpeil structureel te verhogen naar 10-30 cm beneden het maaiveld, het aantal beschikbare regenwormen sterk kan toenemen zonder bemesting. Kleijn et al. (2009b) en Onrust (2017) stelden vast dat verhoging van het slotwaterpeil in het voorjaar te laat is om grondwaterstand te



Figuur 6. De relatie tussen vochtgehalte en indringingsweerstand (inprikbaarheid) van de bodem. De waarnemingen komen uit Teunissen et al. (2011) en uit Kleijn et al. (2009a). De bijbehorende bodemtypen zijn klei-op-veen voor de Maatpolder, zware zeeklei voor Nij Bosma Zathe en voornamelijk veen voor Wormer- & Jisperveld. Voor Hetter en overige gebieden wordt geen informatie gegeven (Teunissen et al., 2011).

beïnvloeden. Het opzetten van het waterpeil dient daarom in de winter te gebeuren, zodat het neerslag kan worden vastgehouden in het perceel.

4.7 Beantwoording van de hoofdvraag van de literatuurstudie

De hoofdvraag van deze literatuurstudie was: Hoe beïnvloedt bemesting (soort mest, hoeveelheid, wijze van toedienen, timing) de beschikbaarheid van regenwormen als voedselbron voor weidevogels?

4.7.1 Mestsoort

Het effect van mestsoort op regenwormen is in veel studies onderzocht, maar daarbij zijn de verschillende mestsoorten vaak verweven met de toedieningsmethode en de ligging van de percelen (waarover behandelingen niet altijd zijn gerandomiseerd). Het effect van bemesting op regenwormen is niet altijd eenduidig. Ruige stalmest bevat veel voedsel voor regenwormen en wordt vaak als beste mestsoort aangeschreven voor (detritivore) regenwormen, mede vanwege de vorm als bovengronds strooisel.

4.7.2 Hoeveelheid mest

Over het algemeen blijkt dat er bij een hogere mestaanvoer meer regenwormen zijn, waarbij zowel organische als anorganische meststoffen een positief effect kunnen hebben op de regenwormenpopulatie door aanvoer van nutriënten, koolstof en plantenmateriaal, inclusief afgestorven plantenwortels.

4.7.3 Mesttoedieningsmethode

Het effect van mestinjectie op de regenwormenpopulatie in graslanden laat zich niet gemakkelijk en eenduidig samenvatten. In de beschikbare literatuur staan zowel positieve als negatieve effecten beschreven en deze verschillen vaak per regenwormsoort of per ecologische groep (Tabel 1). Daarnaast verschillen de hoeveelheid en biomassa van regenwormen in graslanden sterk in de ruimte en in de tijd, waardoor mogelijke effecten moeilijk te registreren zijn. In de studies die het effect van mestinjectie op regenwormen meenemen is vaak geen expliciet onderscheid gemaakt tussen de bemestingsmethode (bovengronds versus injectie of zodebemesting) en de mestsoort (bijvoorbeeld drijfmest versus ruige stalmest). Hierdoor is het onmogelijk om eventuele effecten zonder meer aan één van de twee factoren toe te schrijven.

De studie van Van Vliet en De Goede (2006) is de enige bij de auteurs bekende studie die een zuivere vergelijking tussen toedieningsmethoden van dezelfde mestsoort op verschillende manieren toe te dienen zonder daarbij veel onbekende versturende factoren toe te laten (Tabel 1). In deze studie verminderde bovengronds bemesten met drijfmest de wormenpopulatie tijdens een nat voorjaar, en mestinjectie verminderde de wormenpopulatie in een droge zomer.

Er is daarom geen eenduidig bewijs voor langdurige negatieve effecten van mestinjectie op regenwormenaantallen in de bodem.

Tabel 1. Samenvattend overzicht van de verschillende on-farm veldstudies in relatie tot mesttoediening.

Studie	Mesttype	Toediening	Vergelijking methode mogelijk?	Meettijdstip	Effect gemeten	Opmerkingen
Kruk (1994)	drijfmest	bovengronds; injectie	ja	maart-april 1991	geen significante effecten	Verstorende/ontbrekende factoren, zoals verschillen in bemestingstijdstip, bemestingsgeschiedenis, en ligging van de percelen.
Oosterveld (2006)	drijfmest; vaste mest	bovengronds; injectie; sleepvoet	nee (alleen tussen injectie en sleepvoet)	voorjaar 2002 en 2005	2002: geen effect op aantallen, negatief effect op biomassa; 2005: negatief effect op biomassa, geen effect op aantallen	Niet alle resultaten worden vermeld.
De Goede et al. (2003)	drijfmest (met additieven)	bovengronds; injectie	ja	zomer en herfst 2000	zomer: negatief effect op één locatie; herfst: positief voor endogene soorten op beide locaties	
Van Vliet en De Goede (2006)	drijfmest	bovengronds; injectie	ja	voorjaar 2002 en zomer 2003	2002: negatieve effecten voor injectie zonder mest en voor bovengrondse aanwending; 2003: negatief effect voor injectie met mest	Ook gekeken naar het effect van injectiesneden zonder daadwerkelijke injectie van drijfmest. Wormenaantallen worden in de tijd vergeleken. Niet direct tussen behandelingen.
Van Eekeren et al. (2009)	kunstmest; drijfmest; vaste mest	bovengronds; injectie	nee	herfst 2004	geen significante effecten	
Onrust en Piersma (2019)	drijfmest; vaste mest	bovengronds; injectie	nee	september-oktober 2013	negatief effect op detritivore wormen, geen effect op geophagen	Verstorende factoren, zoals verschillen in management en grondwaterniveau tussen behandelingen.

4.7.3 Tijdstip van bemesting

Onrust en Piersma (2017) concluderen dat de mate waarin (rode) regenwormen nabij het oppervlak actief zijn – en daardoor beschikbaar zijn als voedselbron voor weidevogels – kan worden bevorderd door de bemesting in het voorjaar zo lang mogelijk uit te stellen. Door de bemesting uit te stellen blijven de regenwormen hongerig, waardoor ze frequenter naar het oppervlak komen. Na bemesting is de noodzaak voor regenwormen om naar het oppervlak te komen kleiner, waardoor hun beschikbaarheid voor weidevogels afneemt.

Literatuur

- Beintema, A.J., J.B. Thissen, D. Tensen, en G.H. Visser. 1991. Feeding ecology of charadriiform chicks in agricultural grassland. *Ardea* 79: 31-44.
- Beintema, A.J., O. Moedt, en D. Ellinger. 1995. *Ecologische atlas van de Nederlandse weidevogels*. Haarlem, Schuyt & Co.
- Beintema, A.J. 2015. *De grutto*. Arnhem, Atlas Contact.
- De Boer, H.C., en N. Van Eekeren. 2007. Bodemverdichting door berijden bij zodebemesten: effecten op opbrengst en voederwaarde van gras-klover, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit. Animal Sciences Group report 47. Lelystad.
- Bouché, M.B. 1977. Stratégies lombriciennes. In: Lohm, U., en T. Persson (eds.). *Soil organisms as components of ecosystems*. Ecological Bulletin 25, Stockholm, Sweden. p. 122-132.
- Brandsma, O.H. 1999. Het belang van bemesting voor het voedselaanbod van weidevogels. *Levende Nat.* 100: 118-123.
- Briones, M.J.I., en O. Schmidt. 2017. Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.* 23: 4396-4419. doi: 10.1111/gcb.13744.
- Van Bruggen, C., A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof, en J. Vonk. 2019. Emissies naar lucht uit de landbouw in 2017. Berekeningen met het model NEMA. WOt-technical report 147, Wageningen. 131 pp.
- Van Bruggen, C., en K. Geertjes. 2019. Stikstofverlies uit opgeslagen mest. Stikstofverlies berekend uit het verschil in verhouding tussen stikstof en fosfaat bij excretie en bij mestafvoer. CBS, Den Haag.
- Cotton, D., en J. Curry. 1980. The effects of cattle and pig slurry fertilizers on earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) in grassland managed for silage production. *Pedobiologia (Jena)* 20: 181-188.
- Crittenden, S.J., T. Eswaramurthy, R.G.M. de Goede, L. Brussaard, en M.M. Pulleman. 2014. Effect of tillage on earthworms over short- and medium-term in conventional and organic farming. *Appl. Soil Ecol.* 83: 140-148. doi: 10.1016/j.apsoil.2014.03.001.
- Crittenden, S.J., E. Huerta, R.G.M. de Goede, en M.M. Pulleman. 2015. Earthworm assemblages as affected by field margin strips and tillage intensity: An on-farm approach. *Eur. J. Soil Biol.* 66: 49-56. doi: 10.1016/j.ejsobi.2014.11.007.
- Curry, J.P. 1976. Some effects of animal manures on earthworms in grassland. *Pedobiologia (Jena)* 16: 425-438.
- Curry, J.P. 2004. Factors affecting the abundance of earthworms in soils. In: Edwards, C.A. (ed.). *Earthworm Ecology*. 2nd ed. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, USA. p. 91-113
- Curry, J.P., en O. Schmidt. 2007. The feeding ecology of earthworms – A review. *Pedobiologia (Jena)*. 50: 463-477. doi: 10.1016/j.pedobi.2006.09.001.
- Curry, J.P., P. Doherty, G. Purvis, en O. Schmidt. 2008. Relationships between earthworm populations and management intensity in cattle-grazed pastures in Ireland. *Appl. Soil Ecol.* 39(1): 58-64. doi: 10.1016/j.apsoil.2007.11.005.
- Deru, J., N. van Eekeren, en F. Lenssinck. 2016. Mest voor weidevogelge bieden in veenweiden. *V Focus* (april): 28-30.
- Didden, W.A.M. 2001. Earthworm communities in grasslands and horticultural soils. *Biol. Fertil. Soils* 33: 111-117. doi: 10.1007/s003740000297.

- Edwards, C.A., en J.R. Lofty. 1982. Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. *Soil Biol. Biochem.* 14: 515–521. doi: 10.1080/17451000802454882.
- Van Eekeren, N., H. de Boer, J. Bloem, T. Schouten, M. Rutgers, R. de Goede, en L. Brussaard. 2009. Soil biological quality of grassland fertilized with adjusted cattle manure slurries in comparison with organic and inorganic fertilizers. *Biol. Fertil. Soils* 45: 5595-608. doi: 10.1007/s00374-009-0370-2.
- De Goede, R.G.M., L. Brussaard, en A.D.L. Akkermans. 2003. On-farm impact of cattle slurry manure management on biological soil quality. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 51(1–2): 103–133. doi: 10.1016/S1573-5214(03)80029-5.
- Haan, de B.J., J.D. van Dam, W.J. Willems, M.W. van Schijndel, S.M. van der Sluis, G.J. van den Born, en J.J.M. van Grinsven. 2009. Emissiearm bemesten geëvalueerd. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), PBL-publicatienummer 500155001
- Hansen, S., en F. Engelstad. 1999. Earthworm populations in a cool and wet district as affected by tractor traffic and fertilisation. *Appl. Soil Ecol.* 13: 237–250. doi: 10.1016/S0929-1393(99)00037-2.
- Huijsmans, J.F.M., J.J. Schröder, G.D. Vermeulen, R.G.M. de Goede, W.A. Teunissen, en D. Kleijn. 2008. Emissiearme mesttoediening en nevenaspecten. Wageningen.
- Kentie, R., J.C.E.W. Hooijmeijer, C. Both, en T. Piersma. 2011. Grutto's in ruimte en tijd 2007–2010, eindrapport. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.
- Kentie, R. 2015. Spatial demography of black-tailed godwits: metapopulation dynamics in a fragmented agricultural landscape. PhD thesis, Rijksuniversiteit Groningen.
- Kentie, R., J.C.E.W. Hooijmeijer, M.A. Verhoeven, N.R. Senner, en T. Piersma. 2016. Estimating breeding population size during spring staging: Total numbers and the size of the Dutch population of Continental black-tailed godwits in 2007–2015. *Ardea* 114: 213-225.
- Kleijn, D., W. Dimmers, R. van Kats, D. Melman, en H. Schekkerman. 2007. De voedselsituatie voor gruttkuikens bij agrarisch mozaiekbeheer. Alterra, Alterra-rapport 1487, Wageningen.
- Kleijn, D., F. Berendse, J. Verhulst, M. Roodbergen, T.C. Klok, en R. van 't Veer. 2008. Ruimtelijke dynamiek van weidevogelpopulaties in relatie tot de kwaliteit van de broedhabitat. Welke factoren beïnvloeden de vestiging van weidevogels? (No. 1579). Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.
- Kleijn, D., L. Lamers, R. van Kats, J. Roelofs, en R. van 't Veer. 2009a. Ecologische randvoorwaarden voor weidevogelsoorten in het broedseizoen. Directe Kennis Rapport nr. 2009/dk103, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.
- Kleijn, D., W. Dimmers, R. van Kats, en D. Melman. 2009b. Het belang van hoog waterpeil en bemesting voor de Grutto: I. de vestigingsfase. *Levende Nat.* 110: 180-183.
- Kleijn, D., H. Schekkerman, W.J. Dimmers, R.J.M. van Kats, D. Melman, en W.A. Teunissen. Adverse effects of agricultural intensification and climate change on breeding habitat quality of Black-tailed Godwits *Limosa l. limosa* in the Netherlands. *Ibis* 152: 475-486. doi: 10.1111/j.1474-919X.2010.01025.x
- Van Klink, R., F. van der Plas, C.G.E. van Noordwijk, M.F. Wallis de Vries, en H. Olff. 2015. Effects of large herbivores on grassland arthropod diversity. *Biol. Rev.* 90: 347–366.
- Kruk, M. 1994. Meadow bird conservation on modern commercial dairy farms in the Western peat district of the Netherlands: Possibilities and limitations. PhD thesis, Rijksuniversiteit Leiden.
- Kruk, M., M.A.W. Noordervliet, en W.J. ter Keurs. 1997. Survival of black-tailed godwit chicks *Limosa limosa* in intensively exploited grassland areas in The Netherlands. *Biol. Conserv.* 80: 127-133.
- Lavelle, P. 1981. Stratégies de reproduction chez les vers de terre. *Acta Oecol.* 2: 117–133.

- Leroy, B.L.M., O. Schmidt, A. van den Bossche, D. Reheul, en M. Moens. 2008. Earthworm population dynamics as influenced by the quality of exogenous organic matter. *Pedobiologia (Jena)* 52: 139–150. doi: 10.1016/j.pedobi.2008.07.001.
- Ma, W.C., L. Brussaard, en J.A. de Ridder. 1990. Long-term effects of nitrogenous fertilizers on grassland earthworms (Oligochaeta: Lumbricidae): Their relation to soil acidification. *Agric. Ecosyst. Environ.* 30: 71–80. doi: 10.1016/0167-8809(90)90184-F.
- Melman, D., en H. Sierdsema. 2017. Weidevogelscenario's: Mogelijkheden voor aanpak van verbetering van de weidevogelstand in Nederland. Wageningen Environmental Research report No. 2769, Wageningen. doi: 10.18174/417827
- Onrust, J. 2017. Earth, worms & birds. PhD thesis, Rijksuniversiteit Groningen.
- Onrust, J., en T. Piersma. 2017. The hungry worm feeds the bird. *Ardea* 105: 153–161.
- Onrust, J., S. Hobma, en T. Piersma. 2019a. Determining the availability of earthworms for visually hunting predators. *Wildl. Soc. Bull.* 43: 745–751. doi: 10.1002/wsb.1022.
- Onrust, J., en T. Piersma. 2019. How dairy farmers manage the interactions between organic fertilizers and earthworm ecotypes and their predators. *Agric. Ecosyst. Environ.* 273: 80–85. doi: 10.1016/j.agee.2018.12.005.
- Onrust, J., E. Wymenga, T. Piersma, en H. Olf. 2019b. Earthworm activity and availability for meadow birds is restricted in intensively managed grasslands. *J. Appl. Ecol.* 56: 1333–1342. doi: 10.1111/1365-2664.13356.
- Oosterveld, E. 2006. Betekenis van waterpeil en bemesting voor weidevogels. *Levende Nat.* 107: 134–137.
- Oosterveld, E.B., L.W. Bruinzeel, en E. Wymenga. 2014. Ecologie van weidevogels: Kennisbundeling voor bescherming en beheer. A&W-rapport 1831.
- Ponge, J.F., G. Pérès, M. Guernion, N. Ruiz-Camacho, J.Ô. Cortet, C. Pernin, C. Villenave, R. Chaussod, F. Martin-Laurent, A. Bispo, en D. Cluzeau. 2013. The impact of agricultural practices on soil biota: A regional study. *Soil Biol. Biochem.* 67: 271–284. doi: 10.1016/j.soilbio.2013.08.026.
- Postma-Blaauw, M.B., R.G.M. de Goede, J. Bloem, J.H. Faber, en L. Brussaard. 2010. Soil biota community structure and abundance under agricultural intensification and extensification. *Ecology* 91: 460–473. doi: 10.1890/09-0666.1.
- Roodbergen M., H. van der Jeugd, J. van der Wal, P. van Els, en W. Teunissen. 2018. Jaar van de Kievit. Sovon-rapport 2018/27. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Rutgers, M., A. Orgiazzi, C. Gardi, J. Römcke, S. Jansch, A.M. Keith, R. Neilson, B. Boag, O. Schmidt, A.K. Murchie, R.P. Blackshaw, G. Pérès, D. Cluzeau, M. Guernion, M.J.I. Briones, J. Rodeiro, R. Piñeiro, D.J.D. Cosín, J.P. Sousa, M. Suhadolc, I. Kos, P.H. Krogh, J.H. Faber, C. Mulder, J.J. Bogte, H.J. van Wijnen, A.J. Schouten en D. de Zwart. 2016. Mapping earthworm communities in Europe. *Appl. Soil Ecol.* 97: 98–111. doi: 10.1016/j.apsoil.2015.08.015.
- Schekkerman, H., en A.J. Beintema. 2007. Abundance of invertebrates and foraging success of Black-railed Godwit *Limosa limosa* chicks in relation to agricultural grassland management. *Ardea* 95: 39–54.
- Schekkerman, H. 2008. Precocial problems: shorebird chick performance in relation to weather, farming, and predation. PhD thesis, Rijksuniversiteit Groningen.
- Schekkerman, H., W.A. Teunissen, en E. Oosterveld. 2009. Mortality of Black-tailed Godwit *Limosa limosa* and Northern Lapwing *Vanellus vanellus* chicks in wet grasslands: influence of predation and agriculture. *J. Ornithol.* 150: 133–145. doi: 10.1007/s10336-008-0328-4.

- Siepel, H. 1990. The influence of management on food size in the menu of insectivorous animals. *Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meeting Amsterdam 1*: 69–74.
- Teunissen, W., F. Willems, en F. Majoor. 2007. Broedsucces van de Grutto in drie gebieden met verbeterd mozaïekbeheer. Beek-Ubbergen, The Netherlands: SOVON Vogelonderzoek Nederland.
- Teunissen, W., E. Wymenga, J. Hooijmeijer, L. Bruinzeel, J. van der Kamp, en T. Piersma. 2011. Factoren die van invloed zijn op de ontwikkeling van weidevogelpopulaties: belangrijke factoren tijdens de trek, de invloed van waterpeil op voedselbeschikbaarheid en graslandcultuur op kuikenoverleving. Alterra rapport no. 2187. Wageningen.
- Timmerman, A., D. Bos, J. Ouwehand, en R.G.M. de Goede. 2006. Long-term effects of fertilisation regime on earthworm abundance in a semi-natural grassland area. *Pedobiologia (Jena)* 50: 427–432. doi: 10.1016/j.pedobi.2006.08.005.
- Tolkamp, W., G. Holshof, M. Zevenbergen, C. Klok, I. Hoving, en A. Guldmond. 2006. Plas-dras, weidevogels, wormen en bedrijfsvoering: Bodemkwaliteit, weidevogels en bedrijfsvoering in relatie tot plas-dras van graslandpercelen. CLM Onderzoek en Advies, Praktijkonderzoek ASG WUR, Alterra WUR, Groot-Ammers.
- Van Turnhout, C., R. Foppen, en D. Zoetebier. 2019. Recente trends van weidevogels in relatie tot beheer. Sovon rapport 2019/85. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Verhulst, J., D. Kleijn, W. Loonen, F. Berendse, en C. Smit. 2011. Seasonal distribution of meadow birds in relation to in-field heterogeneity and management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 142: 161-166. doi: 10.1016/j.agee.2011.04.016
- Van Vliet, P.C.J., en R.G.M. de Goede. 2006. Effects of slurry application methods on soil faunal communities in permanent grassland. *Eur. J. Soil Biol.* 42: 348–353. doi: 10.1016/j.ejsobi.2006.09.004.
- Van der Vliet, R.E., E. Schuller, en M.J. Wassen. 2008. Avian predators in a meadow landscape: consequences of their occurrence for breeding open-area birds. *J. Avian Biol.* 39: 523-529.
- Van der Wal, J., en W. Teunissen (2018). Boerenlandvogels en predatie: een update van de huidige kennis. Sovon rapport 2018/31. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Wiggers, J.H., J. van Ruijven, A.P. Schaffers, F. Berendse, en G.R. de Snoo. 2015. Food availability for meadow bird families in grass field margins. *Ardea* 103, 17-26.
- Wiggers, J.H., J. van Ruijven, F. Berendse, en G.R. de Snoo. 2016. Effects of grass field margin management on food availability for Black-tailed Godwit chicks. *J. Nat. Conserv.* 29: 45-50.
- Wymenga, E., R. Foppen, T.C.P. Melman, en G.R. de Snoo. 2009. Prioriteitstelling onderzoeksvragen weidevogels. Alterra, Wageningen.
- Zahn, A., I. Englmaier, en M. Drobny. 2010. Food availability for insectivores in grasslands arthropod abundance in pastures, meadows and fallow land. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 8: 87–100.
- Zwarts, L. 1993. Het voedsel van de Grutto. *De Graspieper* 13: 53-57.

Bijlage 1

Aan Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM)

t.a.v. secretaris dr. ir. G. Velthof

Wageningen Environmental Research

Postbus 47

6700 AA Wageningen

Datum: 12 december 2019

Verzoek om literatuuronderzoek en advies met betrekking tot de relatie mesttoediening en wormenactiviteit

Aanleiding

In juni 2019 publiceerden Jeroen Onrust et al. het artikel "Earthworm activity and availability for meadow birds is restricted in intensively managed grasslands" waarin bestudeerd werd wanneer en waarom regenwormen beschikbaar zijn als voedseldieren voor weidevogels.¹ Dit onderzoek concludeerde dat op weilanden waar drijfmest in de bodem is geïnjecteerd, minder wormen beschikbaar zijn dan op weilanden waar ruige stalmest is opgebracht. Door het opensnijden van de grasmat tijdens het injecteren, droogt de toplaag zo sterk uit dat de wormen niet meer aan het oppervlak kunnen komen. Daarnaast heeft drijfmest van zichzelf een andere structuur en dus andere effecten dan ruige mest. Wormen kunnen daardoor hun bredere functie in het bodemleven tijdelijk niet vervullen, en in dergelijke weilanden hebben de weidevogels die van wormen leven minder te eten.

Het onderzoek van Onrust leidde tot een motie van lid De Groot op 14 maart 2019, waarin de regering werd verzocht om de herbezinning van het mestbeleid weidevogelbestendig te maken.² In opvolging van het onderzoek van Onrust verdient het daarbij voorkeur om de volledige relatie tussen bemesting, bodemverharding en wormenactiviteit, voor zover nu wetenschappelijk bekend, in kaart te krijgen. Inzichten hieruit kunnen bijdragen aan robuuste keuzes voor een toekomstig weidevogelbestendig mestbeleid.

De problematiek vraagt om een aanpak in fasen. Een verkennend onderzoek en een toets op basis van ervaringsdeskundigen, waarna een advies wordt uitgebracht.

Gezien de planning van de herbezinning en de wens de laatste inzichten op tijd mee te kunnen nemen, is een inventariserend literatuuronderzoek gewenst ten aanzien van de relatie tussen mestbeleid, verharding en wormenactiviteit (met gevolg voor weidevogels). Dit verkennende onderzoek focust zich op de mate waarin regenwormen worden beïnvloed door 1) mesttype, 2)

¹ Onrust, J., Wymenga, E., Piersma, T. & Olf, H., Jun-2019, In : Journal of Applied Ecology. 56, 6, p. 1333-1342 10 p.

² Tweede Kamer der Staten-Generaal. Motie van het lid de Groot c.s. 14 maart 2019. <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=5b25cc85-8bdb-4da1-b867-53770b1ea22f&title=Motie%20van%20het%20lid%20De%20Groot%20c.s.%20over%20het%20mestbeleid%20weidevogelbestendig%20maken.pdf>

manier en timing (weersomstandigheden en temperatuur) van bemesten, 3) grondwaterstand, 4) biodiversiteit grasmat, de samenhang van deze factoren en duur van effecten. Het resultaat hiervan dient een overzicht te geven op basis waarvan een inschatting gemaakt kan worden van de effecten van keuzes in het mestbeleid.

De vragen om effecten van eventuele maatregelen in het juiste perspectief te zien, zijn:

- Resulteren huidige bemestingsmaatregelen – in welke mate, vorm of tijdstip - in een verandering in de beschikbare hoeveelheid regenwormen.
- Wat is de duur van een eventuele vermindering van regenwormen door bemestingsmaatregelen?
- In hoeverre is sprake van afhankelijkheid van regenwormen als voedsel voor weidevogels.
- Zijn er aspecten zoals grondsoort of waterstand die van invloed zijn.
- Vormen de bemestingsmaatregelen met betrekking tot regenwormen voor weidevogels het hoofdprobleem of is er sprake van een klein onderdeel van een groter probleem met betrekking tot voedsel voor weidevogels?

Op basis van de antwoorden kan de stap worden gemaakt worden naar de voors en tegens van maatregelen die te treffen zijn binnen het huidige en toekomstige mestbeleid, met betrekking tot uitrijmethodes (manier van bemesten), mestkwaliteit (ruige versus stalmest), mestsamenstelling en uitrijtijdstippen (in verhouding tot temperatuur e.d.) of andere relevante aspecten (bijv. bemestingsvrije zones).

De Commissie Deskundigen Meststoffenwet wordt verzocht om een verkennend onderzoek en advies voor bovengenoemde vragen.

In een vervolgfase worden de resultaten voorgelegd aan praktijkpanel met ervaringsdeskundigen (onder andere boeren en vertegenwoordigers van natuurbeschermingsorganisaties). Een en ander in overleg met de opdrachtgever. Dit panel zal worden geconsulteerd over het effect van de factoren die geïdentificeerd zijn en de samenhang ertussen, waarbij de toepasbaarheid in de praktijk van mogelijke maatregelen centraal zal staan.

Uw resultaten en advies worden uiterlijk eind januari 2020 verwacht.

Richt uw uit te brengen advies aan:

- de directeur van Directie SK&I, mevr. ir. A. de Veer en
- de directeur van directie Plantaardige Agroketens en Voedselkwaliteit (PAV), mevr. Drs M.C. Beens.

Met vriendelijke groet,
Leo Oprel (l.oprel@minInv.nl)
Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Directie Strategie, Kennis en Innovatie

Bijlage 2. Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM)

Samenstelling van de Commissie Deskundigen Meststoffenwet

Leden	Plantaardige productiesystemen	Prof.dr.ir. M.K. van Ittersum Wageningen Universiteit
	Diervoeding	Dr.ir. J. Dijkstra Wageningen Universiteit
	Governance of agrobiodiversity	Prof.dr. H.A.C. Runhaar Wageningen Universiteit en Universiteit Utrecht
	Bedrijfseconomie	Prof.dr.ir. A.G.J.M. Oude Lansink Wageningen Universiteit
	Watersystemen en Global Change	Prof.dr.ir. C. Kroeze Wageningen Universiteit
	Beleidsformaties voor duurzame samenleving	Dr. M.A. Wiering Radboud Universiteit Nijmegen
	Milieutechnologie en Resource use	Prof. dr.ir. E. Meers Universiteit Gent
	Precisielandbouw/Smart Farming	Dr.ir. C.G. Kocks, AERES Hogeschool
	Bodem en nutriëntenmanagement	Prof.dr.ir. O. Oenema (tevens voorzitter) Wageningen Universiteit
Secretaris		Dr.ir. G.L. Velthof Wageningen Environmental Research
Adviseur	Planbureau voor de Leefomgeving	Dr.ir. J.J.M. van Grinsven PBL, Bilthoven

Bijlage 3

Bodemvochtdata (gemiddelde en standaardfout, n=8) bij Van Vliet en De Goede (2006) in proefvelden die op twee manieren (injectie, bovengrondse aanwending) werden bemest met drijfmest:

