



ALTERRA

WAGENINGEN UR

Mestfauna en duurzame landbouw

Belangrijkste groepen dieren, levenswijze & ecologische diensten

J. Lahr
J.J.C. van der Pol



Alterra-rapport 1473, ISSN 1566-7197



Mestfauna en duurzame landbouw

Mestfauna en duurzame landbouw

Belangrijkste groepen dieren, levenswijze & ecologische diensten

J. Lahr
J.J.C. van der Pol

Alterra-rapport 1473

Alterra, Wageningen, 2007

REFERAAT

J. Lahr, J.J.C. van der Pol, 2007. *Mestfauna en duurzame landbouw. Belangrijkste groepen dieren, levenswijze & ecologische diensten*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1473. 58 blz.; 3 fig.; 1 tab.; 100 ref.

Dit literatuuronderzoek had als doel een overzicht en nadere karakterisering op te stellen van de mestfauna: groepen dieren, meest karakteristieke soorten en leefwijze. Het accent lag bij de ongewervelde dieren, vooral de mestkevers en vliegen die zich in het leven in en op mest gespecialiseerd hebben. Bij de uitwerking van het onderzoek is speciaal aandacht besteed aan de specifieke functies die de mestfauna heeft bij de afbraak van mest en derhalve het belang bij het in stand houden van stoffenkringlopen en de bodemvruchtbaarheid. Vooral mestkevers dragen hier aanzienlijk aan bij door hun graafgedrag en het verwerken van mest. Daarnaast is een analyse gemaakt van de bedreigingen voor het functioneren van de mestfauna bij de huidige landbouwpraktijk. Dit zijn o.a. een verminderde weidegang van vee, injectie van drijfmest in de bodem en het gebruik van giftige ontwormingsmiddelen. Als laatste is een overzicht opgesteld van mogelijke (bedrijfs)maatregelen die het functioneren van de mestfauna ten goede komen. Een gezonde mestfauna biedt kansen voor het agroecosysteem (de ecologische diensten) en kan bijdragen aan de verduurzaming van de landbouw in Nederland.

Trefwoorden: literatuurstudie, milieu, ecologie, mestfauna, mestkevers, vliegen, biodiversiteit, landbouwhuisdieren, mest, bodem, duurzame landbouw, ecologische diensten, mestafbraak, bodemvruchtbaarheid, bodemstructuur, plaagwering, ziektevering, hogere fauna, ontwormingsmiddelen

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice

© 2007 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Foto omslag: Driehoornmestkever *Typhaeus typhoeus* © Frank Köhler, Bornheim, Duitsland

Niets uit deze uitgave mag worden veeveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

| | |
|--|----|
| Woord vooraf | 7 |
| Samenvatting | 9 |
| 1 Inleiding | 11 |
| 1.1 Probleemstelling | 11 |
| 1.2 Aanpak | 11 |
| 1.3 Leeswijzer | 12 |
| 2 Groepen mestfauna & voorkomen in Nederland | 13 |
| 2.1 Kevers (Coleoptera) | 14 |
| 2.2 Vliegen (Diptera) | 15 |
| 2.3 Overige diergroepen | 16 |
| 3 Ecologie | 19 |
| 3.1 Mest als substraat | 19 |
| 3.2 Kolonisatie & successie | 19 |
| 3.3 Voedselrelaties | 21 |
| 3.4 Levenswijze & levenscyclus | 24 |
| 3.4.1 Kevers | 24 |
| 3.4.2 Vliegen | 27 |
| 3.4.3 Regenwormen | 29 |
| 4 Ecologische diensten | 31 |
| 4.1 Afbraak van mest & bodemvruchtbaarheid | 31 |
| 4.2 Bodemstructuur | 34 |
| 4.3 Natuurlijke plaag- en ziektevering | 34 |
| 4.4 Voedsel voor hogere dieren | 35 |
| 4.5 Economische waarde | 36 |
| 5 Bedreigingen | 39 |
| 5.1 Veranderend landgebruik | 39 |
| 5.2 Verminderde weidegang | 39 |
| 5.3 Toedieningswijze van mest | 40 |
| 5.4 Gebruik van diergeneesmiddelen | 40 |
| 6 Stimulerende maatregelen | 43 |
| 7 Conclusies & aanbevelingen | 47 |
| 7.1 Conclusies op hoofdlijnen | 47 |
| 7.2 Aanbevelingen voor onderzoek | 48 |
| Literatuur | 51 |

Woord vooraf

Dit rapport is de weerslag van een literatuurscan met als doel een overzicht en karakterisering op te stellen van de belangrijkste groepen mestfauna en een analyse te maken van de ecologische diensten door deze faunagroep die kunnen bijdragen aan het verduurzamen van de Nederlandse landbouw. Het onderzoek vond plaats in begin 2007 en werd uitgevoerd door het Centrum Ecosystemen van Alterra, Wageningen UR. Het onderzoek is gefinancierd via de helpdesk van het onderzoekscluster 'Verduurzaming Productie en Transitie' van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). Contactpersoon namens LNV was de heer Hans Brand van de Directie Landbouw.

Dank aan Marcia Stienezen en Geert van der Peet van de Animal Sciences Group van Wageningen UR in Lelystad voor de administratieve begeleiding vanuit het cluster, aan Lijbert Brussaard van de Wageningen Universiteit en Henk Huijbregts van Naturalis in Leiden voor het leveren van literatuur en literatuurreferenties, aan Jack Faber van Alterra voor commentaar op het manuscript en aan het personeel van Bibliotheek De Haaff in Wageningen voor de ondersteuning bij de literatuurrecherches.

Samenvatting

De ongewervelde mestfauna bestaat uit een groot aantal groepen dieren die mest gebruiken als leefmilieu, om zich te voeden en om zich voort te planten. De meest karakteristieke en gespecialiseerde groepen zijn de mestkevers, vooral de Scarabaeidae en Geotrupidae, en bepaalde groepen vliegen waaronder de Scatophagidae (drekvliegen), Sepsidae (wappervliegen of wenkvliegen), Sphaeroceridae (mestvliegen) en bepaalde Muscidae (echte vliegen). Maar de mestfauna omvat nog talloze soorten uit andere groepen zoals de kortschildkevers, regenwormen, mijten, pissebedden en nog veel meer. Mestkevers en vliegen die in mest leven dienen als voedsel voor hogere dieren waaronder vogels die zich specialiseren in grote insecten (bijvoorbeeld de grauwe klauwier), weidevogels als de grutto en de Kievit en zoogdieren, vooral vleermuizen.

Verse mest wordt zeer voortvarend gekoloniseerd door de mestfauna. De dieren komen af op de geur en de eerste vliegen verschijnen al binnen enkele minuten nadat een mestflats is gedeponneerd. Een mestflats vormt een tijdelijk habitat en er vindt een snelle successie plaats. Er ontstaat binnen korte tijd een hele levensgemeenschap. Na de vliegen arriveren de kevers en later weer andere groepen zoals predatore kortschildkevers en mijten. Regenwormen verzamelen zich na enige tijd onder de flatsen. De snelheid van de kolonisatie en successie hangt sterk samen met de ligging van de percelen, het seizoen en de klimatologische omstandigheden.

De verschillende mestorganismen hebben allen hun eigen leefwijze binnen het micro-ecosysteem dat wordt gevormd door de mestflats. Vliegen gebruiken de mest vooral voor de voortplanting. Zij leggen hun eieren in de verse mest voordat zich daarop een korst vormt en hun larven groeien in de voedselrijke omgeving. Van mestkevers vindt men zowel de volwassenen als de larven in en op de mest. Veel mestkevers hebben door hun activiteit een sterke invloed op de mest en op de andere bewoners van een flats. Zij graven tunnels in de mest en in de grond of ze maken mestballen die weggerold worden.

Van de mestkevers is goed beschreven dat zij door hun activiteit in sterke mate bijdragen aan de afbraak van de mest. Zij zorgen voor beluchting door tunnels te graven, maken de mest toegankelijk voor andere organismen, fragmenteren ruwe bestanddelen, mengen mest met grond en brengen bacteriën en schimmels over die de mest afbreken. Zij dragen zo bij aan de instandhouding van gezonde kringlopen van nutriënten (stikstof) en organische stof. Dit reduceert emissies van ammoniak en bevordert de groei van gewassen. Een snelle afbraak van mest voorkomt vervuiling van graasgebieden met mest en vermindert daardoor de overdracht van maagdarmparasieten door vee. Mestkevers kunnen ook de ontwikkelingscyclus van plaagvliegen in mest verstoren. Als laatste dragen de kevers bij aan de structuur van de bodem. De kevers zorgen voor omwoeling van grond en de gegraven gangen zorgen voor een betere doorwatering en doorworteling van de bodem.

De vliegen die in mest leven zullen ongetwijfeld ook nuttige functies vervullen zoals de overdracht van micro-organismen. Hun ecologische diensten zijn echter veel minder goed omschreven in de literatuur. Naast kevers en vliegen spelen ook regenwormen een zeer grote rol bij de afbraak van mest. Hun bijdrage is in gematigde streken waarschijnlijk net zo groot of misschien wel groter dan die van de mestkevers. Het voorkomen van regenwormen is echter sterk afhankelijk van het klimaat en de bodemgesteldheid. Regenwormen prefereren vochtigere omstandigheden dan mestkevers.

Er zijn diverse factoren die de ecologische diensten door de ongewervelde mestfauna negatief beïnvloeden. Een afname van weidegebieden, bijvoorbeeld door verstedelijking, leidt tot reducties van de mestfauna evenals de huidige trend in ons land van een steeds latere en kortere weidegang van melkvee. Een te intensieve bedrijfsvoering met een te hoge graad van bemesting (kunstmest) en een intensief maaieregime is ook ongunstig voor de mestfauna. Moderne vormen van bemesting met drijfmest zoals injectie in de grond en zodenbemesting zorgen er voor dat de mest grotendeels onbereikbaar wordt voor kevers en vliegen. Zelfs voor wormen zijn deze vormen van bemesting ongunstig. Als laatste wordt de mestfauna bedreigd door overmatige toediening van ontwormingsmiddelen aan vee, vooral stoffen uit de groep van de avermectines. Deze op insecticiden lijkende middelen worden met de mest uitgescheiden en zijn in veel gevallen giftig voor mestkevers, vliegen en andere ongewervelden, in het bijzonder voor de larven die zich in de mest ontwikkelen.

Er zijn diverse mogelijkheden om middels maatregelen en/of een aangepaste bedrijfsvoering gunstige omstandigheden voor de mestfauna te creëren, bijvoorbeeld voldoende weidegang, voldoende bemesting (maar niet teveel), geen kunstmest, diverse soorten grazende dieren in een gebied, veevoer van een goede kwaliteit, geen injectie of zodenbemesting van drijfmest, een afwisselend landschap met kleine elementen en ruige randen, minder maaien, een gunstige grondwaterstand en een begrazingsregime afgestemd op de cycli van belangrijke mestfaunasoorten. Naast deze algemene maatregelen is er een aantal specifieke maatregelen mogelijk om de ongewenste effecten van ontwormingsmiddelen op mestvliegen en -kevers te verminderen, onder andere alleen ontwormen bij een aangetoonde wormeninfectie, minder giftige ontwormingsmiddelen gebruiken, toedieningwijzen gebruiken die tot minder uitscheiding van de middelen leiden en de behandelingen vooral uitvoeren in het jaargetijde waarin de mestfauna minder actief. Nader onderzoek zal uit moeten wijzen welke maatregelen in Nederland het meest kansrijk zijn. Uit studies blijkt dat een minder intensieve of biologische bedrijfsvoering gunstig is voor het voorkomen en de diversiteit van mestfauna.

Samenvattend kan het volgende gesteld worden. De mestfauna omvat grote groepen soorten waarvan de levensvatbaarheid van de populaties afhankelijk is van hoe men met hun voedselbron en leefmilieu - de mest - omgaat. Er zijn bedreigingen, maar ook duidelijke kansen om via bepaalde maatregelen of een andere bedrijfsvoering de mestfauna te stimuleren. De ecologische diensten door de mestfauna kunnen bijdragen aan de verduurzaming van de Nederlandse landbouw. Deze rol en de mogelijke bevorderende maatregelen verdienen nadere uitwerking.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Binnen het onderzoekscluster ‘Verduurzaming Productie en Transitie’ van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) wordt onderzoek gedaan naar de rol die agrobiodiversiteit kan spelen bij het bewerkstelligen van een meer duurzame landbouw. Zo wordt onder meer bestudeerd hoe insecten en micro-organismen bijdragen aan natuurlijke plaagregulatie en natuurlijke ziektevermindering.

Een belangrijke factor bij een gezonde bodem en een gezonde landbouw is het goed functioneren van kringlopen van stoffen, met name organische stof (koolstof) en nutriënten als stikstof en fosfaat. In de recent verschenen Europese Bodemstrategie (EC, 2006) is organische stof een belangrijk thema. Bodemorganismen en bodembiodiversiteit spelen een cruciale rol bij de afbraak van organische stof en hier is in het verleden al veel onderzoek naar gedaan (Bloem et al., in voorbereiding).

Een groep functionele organismen die tot op heden veel minder aandacht heeft gekregen is de mestfauna. Deze ongewervelde dieren spelen een rol bij de afbraak van mest die in het veld terecht komt. Daarnaast vertegenwoordigen zij een deel van de begeleidende biodiversiteit die in landbouwsystemen kan worden aangetroffen. Ondanks de nuttige rol van de mestfauna is deze functionele groep dieren voor Nederland nooit goed beschreven en is hun rol binnen en buiten de landbouw nauwelijks onderzocht. De voorliggende oriënterende studie heeft daarom als doel om na te gaan wat er in Nederland en in het buitenland bekend is over de mestfauna en om deze informatie te extrapoleren naar de rol die de mestfauna mogelijk kan spelen bij het verduurzamen van de huidige landbouwpraktijk.

De resultaten van deze eerste studie zijn interessant voor diverse groepen stakeholders. Voor veehouders (en hun koepelorganisaties) onder meer in verband met het beheer van meststoffen op het bedrijf: bijvoorbeeld mestopslag, mestinjectie, type diervoer en het gebruik van dierlijke mest en kunstmest. De problematiek is derhalve ook relevant voor de (LNV) beleidsmakers die zich bezig houden met mestbeleid en de transitie naar een meer duurzame landbouw. Voor veehouders en dierenartsen wordt meer inzicht gegeven in de effecten van diergeneesmiddelen op de mestfauna en hoe deze mogelijk kunnen worden verminderd. Als laatste is het onderwerp van belang voor het natuurbeheer en het biodiversiteitsdossier.

1.2 Aanpak

Het grootste deel van het rapport is gebaseerd op een literatuurscan. Met het bij de WUR beschikbare zoekstelsel is naar relevante literatuur gezocht in enkele bibliografische databases als ‘Current Contents’ en ‘Biological Abstracts’. Voor aanvullende literatuur zijn ook kort enkele deskundigen op het gebied van groepen mestfauna geraadpleegd. Bij het schrijven van het rapport is dankbaar gebruik

gemaakt van bestaande overzichtsartikelen en boeken (Brussaard, 1983; Putman, 1983; Ridsdill-Smith, 1991; Cambefort & Hanski, 1991; Skidmore, 1991).

De studie is mogelijk enigszins beperkt omdat niet alle bestaande literatuur op het gebied van de mestfauna en haar rol is geraadpleegd. Sommige publicaties waren dermate oud of 'grijs' dat deze niet of niet tijdig konden worden verkregen, bijvoorbeeld enkele belangrijke (Britse) PhD scripties en publicaties over de ecologie van vliegen in mest. De literatuur uit Nederland op het gebied van mestfauna bleek zeer beperkt te zijn. Mogelijk dat in de toekomst nog meer documenten en gegevens te achterhalen zijn door het uitgebreider raadplegen van deskundigen op het gebied van de betreffende faunagroepen.

1.3 Leeswijzer

In het rapport wordt allereerst een kort overzicht gepresenteerd van de belangrijkste groepen dieren uit de mestfauna en van enkele karakteristieke soorten (Hoofdstuk 2). Hierna wordt ingegaan op hetgeen bekend is over hun leefwijze en levenscyclus, o.a. voedsel, mobiliteit, kolonisatie van mest en voortplanting (Hoofdstuk3). In Hoofdstuk 4 wordt de ecologische rol van de belangrijkste groepen dieren beschreven in samenhang met hun nut voor de landbouw en andere ecologische diensten. In Hoofdstuk 5 wordt geanalyseerd welke bedreigingen er thans lijken te zijn voor het goed functioneren van de mestfauna en in Hoofdstuk 6 wordt verkend welke (bedrijfs)maatregelen er mogelijk zijn ter stimulering van de rol van de mestfauna. Het rapport sluit af met korte conclusies en enkele aanbevelingen voor verdere studie (Hoofdstuk 7).

2 Groepen mestfauna & voorkomen in Nederland

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste groepen ongewervelde mestfauna genoemd en worden de onderscheidende eigenschappen opgesomd. Een verdere uitwerking van de ecologische eigenschappen volgt in de hoofdstukken daarna. De gewervelde fauna die op de mest en mestfauna afkomt wordt behandeld in § 4.4.

Verschillende groepen macrofauna zijn geassocieerd met mest. De belangrijkste (o.a. in hoeveelheid om te zetten mest) zijn: kevers (Coleoptera), vliegen (Diptera) en regenwormen. Maar ook andere dieren komen op en rond de mest voor, bijvoorbeeld mijten (Acari), potwormen (Enchytraeidae) en aaltjes (Nematoda). Een groot deel van de evertebraten in mest is gespecialiseerd en kan niet voortbestaan zonder mest. Het aantal organismen dat voorkomt in mest kan groot zijn. Het grootste aantal wordt natuurlijk gevormd door de micro-organismen. Er kunnen 10^{11} bacteriën, 10^6 schimmelmycelia en 10^{10} actinomyceten per milliliter schapenmest worden aangetroffen. In koeienmest kunnen 2×10^6 gistcellen per gram worden gevonden. Per 10 gram mest (drooggewicht) kunnen 500 nematoden, 100 springstaarten, 15 mijten, 5 potwormen en enige honderden insectenlarven (voornamelijk van kevers en vliegen) worden aangetroffen (Putman, 1983). Olechowicz (1974) vond in schapenmest in Polen per flats gemiddeld 22 vliegenlarven, 18 volwassen kevers, 3 keverlarven, 1 tot 2 springstaarten, 3 tot 4 potwormen, 1 regenworm en 16 mijten. Ook Rodriguez et al. (2003) vinden deze groepen fauna in mest.

In dit rapport worden verder vooral de ongewervelde vertegenwoordigers van de mestfauna behandeld. De nadruk ligt op de (mest)kevers en de verschillende groepen vliegen omdat zij talrijk en karakteristiek in mest zijn, het best bestudeerd zijn, nog relatief onderbelicht zijn en ze een belangrijke rol spelen bij de verwerking van mest. Daarnaast wordt ook, zij het in mindere mate, aandacht aan regenwormen besteed. Deze zijn in gematigde streken ook dikwijls geassocieerd met mest, maar over regenwormen en hun ecologische rol is elders al zeer veel gepubliceerd. Andere groepen dieren worden kort genoemd of behandeld in relatie met de drie eerder genoemde macrofaunagroepen.

In Nederland is slechts weinig bekend over het voorkomen en de verspreiding van mestfauna. De groepen dieren zijn weinig in de context van mest beschouwd. Er zijn nauwelijks gepubliceerde systematische inventarisatiegegevens. De gegevens die gevonden zijn over het voorkomen van soorten in Nederland bestaan derhalve uit losse waarnemingen die vaak afkomstig zijn uit onderzoek waarvan het doel anders was dan puur en alleen inventarisatie. Er zijn verschillende internet databases waarin ook mestfauna voorkomt, maar deze zijn niet specifiek op deze groep gericht (o.a. www.soortenbank.nl; www.waarneming.nl, www.nederlandsesoorten.nl). Het zou veel kennis en geduld vergen om een compleet overzicht van de Nederlandse mestfauna uit deze databases te extraheren. Deskundigen bevestigden dat een overzichtelijk beeld van de mestfauna in Nederland ontbreekt. Voor de mestkevers

en vliegen bestaat echter een waarnemingenbestand voor intern gebruik. Een synthese van deze gegevens zal in de toekomst gepubliceerd worden (H.J. Huijbregts, Naturalis, persoonlijke mededeling).

In de volgende paragrafen worden kort de meest belangrijke groepen mestfauna beschreven.

2.1 Kevers (Coleoptera)

De belangrijkste families van mestkevers in Nederland zijn de **Scarabaeidae** (bladsprietkevers) met 87 soorten en de **Geotrupidae** met 8 soorten. Mestkevers worden in Nederland het meest gevonden op zandgronden (Brussaard, 1983). Mestkevers kunnen heel verschillend van grootte zijn, van 2 tot 60 mm (Thomas, 2001).

Getalsmatig is het belangrijkste geslacht uit de Scarabaeidae in Nederland *Aphodius*. In oudere publicaties behoren de soorten hiervan tot een aparte familie, de Aphodiidae. In ons land komen volgens het Nederlands Soortenregister 44 *Aphodius* soorten voor (www.nederlandsesoorten.nl). Dit zijn kleine tot middelgrote mestkevers die hun eieren in de mest afzetten en meestal overwinteren als adulten (Webb, 2004; de Ridder, 2006). De kevers hebben voorkeur voor grote uitwerpselen van runderen. Ze komen meestal voor in verse uitwerpselen, hoewel sommige soorten een voorkeur hebben voor oudere uitwerpselen (soorten met een langzame ontwikkeling). In gematigde streken hebben de meeste *Aphodius* soorten één generatie per jaar (Cambefort & Hanski, 1991). In Engeland bestaat een typische mestkeverpopulatie uit 10 tot 13 *Aphodius*-soorten (Webb, 2004). Een ander bekend geslacht uit de Scarabaeidae is *Onthophagus*. Van dit geslacht zijn 8 soorten in Nederland beschreven (www.nederlandsesoorten.nl).

De familie van de Geotrupidae bestaat uit vrij grote kevers die gangen in de grond boren direct onder de mest waarin eieren met een mestvoorraad worden afgezet (de Ridder, 2006). Van het geslacht *Geotrupes* zijn 4 soorten in Nederland bekend (www.nederlandsesoorten.nl). De meest algemene soorten die in Nederland worden aangetroffen volgens Brussaard (1983) zijn *Geotrupes stercorosus* (bossen), de bosmestkever *Geotrupes stercorarius* (open weilanden) en de paardenmestkever *Geotrupes vernalis* (bossen en open weilanden). Een opvallende soort uit de familie van de Geotrupidae is *Typhaeus typhoeus*, de driehoornmestkever. Deze soort komt voor bij de mest van schapen en konijnen op de heide en in lichte bossen (Brussaard, 1983).

Andere keverfamilies die soorten bevatten waarvan de adulten en/of de larven soms in mest voorkomen zijn de Staphylinidae (kortschildkevers), Hydrophilidae, Carabidae (loopkevers), Elateridae, Histeridae (spiegelkevers), Ptiliidae en Cryptophagidae (Skidmore, 1991). De Staphylinidae, bijvoorbeeld, zijn in Europa een belangrijke groep predatoren van andere mestfaunasoorten die nogal eens over het hoofd worden gezien (Koskela, 1972).

Bij onderzoek in het Noord-Hollands Duinreservaat werden bij bemonstering van konijnenmest veel verschillende mestkeversoorten waargenomen van de genera *Aphodius*, *Onthophagus* en *Geotrupes* (de Ridder, 2006). Het aandeel mestkevers van de totaal aanwezige (en gevangen) evertebraten in begraasde gebieden in het duinreservaat is ongeveer 10%. Het voorkomen van verschillende soorten kevers in het gebied is seizoensafhankelijk. Het totale aantal mestkevers is op het hoogtepunt in april en het laagst in februari. Verschillende soorten kevers hebben verschillende activiteitspieken. *Aphodius sphaelatus*, bijvoorbeeld, heeft de grootse activiteitspiek in de periode van februari tot juni en een kleinere piek in september en oktober. *A. paykulli* is actief van oktober tot mei, *A. ater* en *A. fossor* van april tot juni, en *A. fimetarius* heeft geen uitgesproken activiteitspiek. De soort *Geotrupes spiniger* is het hele jaar actief maar heeft een piek van juli tot oktober. In velden waar permanent begrazing plaatsvindt (hele jaar door) worden de grootste absolute aantallen mestkevers aangetroffen en zijn de meeste uitwerpselen bezet (77%).

Krikken (1978) en Heijerman (1990) onderzochten de mestkeverfauna van grofwildsoorten op de Veluwe. Krikken (1978) vond bij Apeldoorn 35 soorten *Aphodius*, waarvan er 3 zeldzaam waren en één nieuw voor Nederland. Heijerman (1990) vond ongeveer hetzelfde aantal soorten *Aphodius*, evenals de 5 uit Nederland bekende soorten Geotrupidae. Beiden vonden één soort *Onthophagus*, namelijk *O. similis*. Heijerman (1990) concludeert dat geen van de gevonden soorten een voorkeur voor mest van wilde zwijnen of moeflons heeft.

Geiger (2004) deed onderzoek naar het voorkomen van insecten in koeienflatsen in weidegebieden in Zuid-Holland. De meest voorkomende genera van de gevonden volwassen kevers waren *Aphodius* (Scarabaeidae), *Sphaeridium* en *Cercyon* (Hydrophilidae), 4 tot 6 per vlaai. *Onthophagus* (Scarabaeidae) werd ook gevonden, maar in veel minder grote dichtheden, evenals diverse soorten kortschildkevers.

2.2 Vliegen (Diptera)

De belangrijkste groep van de Diptera (vliegen en muggen) die in mest leeft wordt gevormd door de vliegen. De belangrijkste families die in mest leven volgens Cambefort & Hanski (1991) worden hierna beschreven.

Van de **Muscidae** of 'echte vliegen' zijn in Europa 45 genera bekend. In Nederland komen 184 soorten van deze familie voor (www.nederlandsesoorten.nl). Bekende vertegenwoordigers van deze familie zijn de huisvlieg (*Musca domestica*) en de stalvlieg (*Stomoxys calcitrans*; Prijs, 2002). De Europese **Scatophagidae** (drekvliegen of strontvliegen) herbergen ongeveer 35 genera. In Nederland komen ongeveer 41 soorten voor (de Jong, 2002). De bekendste soort in gematigde gebieden is de gele strontvlieg (*Scatophaga stercoraria*; White, 1960; Webb, 2004). Een derde zeer karakteristieke familie vliegen op mest zijn de **Sepsidae** (wappervliegen, ook wel wenkvliegen of swingvliegen). Van deze wereldwijd algemeen voorkomende familie zijn er in Europa 9 geslachten. In Nederland komen 23 soorten voor (Beuk & van der Goot, 2002). Van de Sepsidae bestaan in tegenstelling tot de meeste andere groepen mestfauna wél systematische verhandelingen over de Nederlandse soorten

(van der Goot, 1985a; van der Goot, 1985b; van der Goot, 1986). Sommige vliegen van deze familie zijn hebben zich gespecialiseerd in een bepaalde mestsoort zoals *Sepsis nigripes* op koeienmest. Andere zijn generalisten zoals *Sepsis punctum* die op de mest van bijna alle gedomesticeerde dieren wordt gevonden en ook op de mest van veel wilde dieren (Pont & Meier, 2002). Van de **Sphaeroceridae** (mestvliegen) komen in Europa komen ongeveer 40 genera voor. In Nederland komen 74 soorten voor (Roháček & Beuk, 2002). Zij kunnen zeer talrijk zijn (White, 1960). Een aantal soorten van deze familie zijn geassocieerd met mestrollende kevers. Ze leggen eieren in de mestballen die door deze kevers begraven worden in de grond in de buurt van mesthopen (Richards, 1930).

Ook bepaalde soorten van de Calliphoridae (Rognes, 1991) en de Fanniidae (Hennig, 1964) worden geassocieerd met mest. Andere families die soms soorten bevatten met mest geassocieerd worden, zijn: Anthomyiidae (bloemvliegen), Ceratopogonidae (knotjes), Chironomidae (dansmuggen), Psychodidae (motmuggen), Scatopsidae, Sciaridae, Stratiomyidae (wapenvliegen) en de Bombyliidae (wolzwevers). Deze zijn echter van minder belang (Cambefort & Hanski, 1991).

Op de Sepsidae na is van het voorkomen in Nederland van de verschillende soorten met mest geassocieerde vliegen weinig bekend. Er zijn overzichten van alle Diptera in Nederland en Europa, ook van de vier bovengenoemde families, maar daarin is alleen op familieniveau aangegeven of deze met mest zijn geassocieerd (Beuk, 2002; Oosterbroek et al., 2005). Op soortniveau ontbreekt deze informatie. Wel bestaan er soortenlijsten van op mest voorkomende groepen Diptera voor Duitsland (Muscidae: Hennig, 1964), Engeland (alle insecten die met mest worden geassocieerd: Skidmore, 1991; Sphaeroceridae: Richards, 1930), Denemarken (Calliphoridae: Rognes, 1991), Scandinavië (Scathophagidae: Hackman, 1956) en Europa (Sepsidae: Pont & Meier, 2002). Veel van de soorten die in deze lijsten worden genoemd komen ongetwijfeld ook in Nederland voor.

Geiger (2004) vond in haar studie in het Zuid-Hollandse veenweidengebied in koeienmest onder meer larven van Sepsidae, Scatophagidae, Muscidae, Anisopodidae, Stratomyidae, Psychodidae en Syrphidae. Deze werden echter niet tot op soortniveau gedetermineerd.

2.3 Overige diergroepen

De mijten die worden gevonden in de mest van vee bestaan voor een groot deel uit predatore mijten. Deze mijten spelen een rol in de (biologische) bestrijding van plaagorganismen zoals bepaalde soorten Diptera. Van deze mijten worden zes families gevonden in de mest van vee: Parasitidae, Uropodidae, Eviphidae, Laelaptidae, Pachylaelapidae en Macrochelidae (Krantz, 1983; geciteerd door Cicolani, 1992). Mijten komen vaak passief in de mest terecht via foresie (transport via een gastheer). Ze liften mee met andere soorten zoals vliegen en kevers (Cicolani, 1992). De Macrochelidae zijn het meest divers en voeden zich met insecteneieren in mestflatsen (Cambefort & Hanski, 1991). In Nederland komen vele soorten mijten voor in graslanden (Siepel & van de Bund, 1988; Siepel et al., 1989).

In de mest van verschillende dieren uit het Noord-Hollands duinreservaat werden naast kevers, vliegen en mijten ook regenwormen, pissebedden, potwormen, springstaarten, bastaardschorpioenen, mieren, miljoenpoten, spinnen en zelfs kokerjuffers, naaktslakken, duizendpoten, oorwormen, rupsen, wespen en wantsen gevonden (de Ridder, 2006).

Ook aaltjes (of nematoden) komen veel voor in mest. In rundermest werden door (Sudhaus, 1981; geciteerd door Cambefort & Hanski, 1991) in Europa 34 soorten nematoden aangetroffen.

3 Ecologie

3.1 Mest als substraat

Als over mest wordt gesproken, worden meestal de uitwerpselen van herbivoren bedoeld. Deze mest heeft specifieke eigenschappen waardoor het een zeer aantrekkelijk medium is voor insecten. Het bestaat uit onverteerde plantenresten, resten van de darmflora van het vee (levend en dood) en andere uitscheidingsproducten zoals enzymen en celresten (Ridsdill-Smith, 1991). De mestkwaliteit is afhankelijk van het soort vee, de dieetsamenstelling van het vee en de klimatologische omstandigheden. In het algemeen worden grotere aantallen mestkevers aangetroffen in de mest van vee dat gras heeft gegeten in vergelijking met vee dat hooi of kuilvoer te eten krijgt (Webb, 2004). Ook de fysieke eigenschappen van mest zoals vochtigheid en consistentie hangen voornamelijk af van het dieet van het vee. Deze fysieke factoren hebben ook invloed op het voorkomen van insecten in de mest. In het algemeen kan gezegd worden dat als het vee arm voedsel (gewassen die groeien op voedselarme gronden) te eten krijgt de mest minder geschikt is voor insecten. Dit leidt tot een lagere bezettinggraad, minder soorten per mestflats en in het algemeen ook tot een verschuiving naar meer kleinere insecten en larven (Ridsdill-Smith, 1991). Ook de hoeveelheid mest per flats en de afmetingen bepalen welke soorten in een uitwerpselen kunnen voorkomen (Finn & Giller, 2000; Webb, 2004). Mest van carnivoren is heel anders van samenstelling. Het darmsysteem van carnivoren is veel efficiënter waardoor er maar weinig bruikbaar materiaal over blijft in de mest. De soortensamenstelling van de mestfauna van carnivore mest is veel minder uitgebreid (Putman, 1983).

Dierlijke mest wordt ook wel een microhabitat genoemd (Cambefort & Hanski, 1991). Het heeft een aantal specifieke eigenschappen in ruimte en tijd. Ten eerste heeft het een zeer discrete verspreiding in het landschap. Het 'valt' in flatsen die allen verschillende grootte hebben (tot 2 liter voor runderflatsen en 0,1-6 gram voor schapenkeutels). Ten tweede is het zeer dynamisch wat betreft fysieke eigenschappen. Een mestflats is maar kort bruikbaar voor insecten, in het algemeen 1 tot 4 weken (Ridsdill-Smith, 1991). Een mestflats is vochtig direct na deponeren en droogt (afhankelijk van de omstandigheden) snel uit. Daardoor heeft de plaats van de mest in een weiland ook invloed op de soortensamenstelling van de mestfauna, met name of de mest in de zon of in de schaduw ligt en daardoor snel of minder snel uitdroogt (Laurence, 1954).

3.2 Kolonisatie & successie

De bezetting van mest door ongewervelde dieren vindt plaats onmiddellijk na uitscheiding door de grazers. Insecten worden enorm aangetrokken door de geurstoffen uit de mest (Ridsdill-Smith, 1991). De eerste insecten arriveren binnen een minuut. De belangrijkste pionier is de kleine koevlieg of hoornvlieg *Haemotobia irritans* (Muscidae). Waarschijnlijk heeft deze vlieg de lichaamswarmte van de koe

nodig voor het leggen van de eieren (Olechowicz, 1974). Kolonisatie van mest door andere vliegen komt direct op gang na de uitscheiding van de mest en heeft na circa 3 uur (afhankelijk van de weersomstandigheden) zijn hoogtepunt bereikt. Vliegen hebben daarbij voorkeur voor de ochtendperiode (Olechowicz, 1974). Veel adulte vliegen komen alleen op de mest om eieren te leggen en verblijven derhalve relatief kort op de mest. De aantallen vliegen zijn hierdoor lager op oudere mest dan op verse mest. Na de vliegen komt ook de tweede golf kolonisten op gang met daarin de kevers. Adulte kevers die de mest eten en prepareren om eieren te leggen verblijven gedurende een aantal dagen in de mest (Olechowicz, 1974). De tunnels die door deze insecten worden gemaakt helpen bij de doorluchting van de mest en dragen bij aan het uitkomen van de eieren van andere insecten.

Er vindt in de eerste twee dagen van kolonisatie een sterke competitie tussen de verschillende soorten plaats waarin een bepaald evenwicht wordt bereikt. Soms leidt dit tot overheersing van één soort (bijvoorbeeld *Aphodius contaminatus* die ook in Nederland voorkomt; Skidmore, 1991). Competitie tussen mestsoorten kan zowel om de hoeveelheid beschikbaar voedsel zijn (Ridsdill-Smith, 1991) als om de beschikbare ruimte in de mestflats (Finn & Gittings, 2003). Er kan echter ook synergie tussen soorten optreden. Uit onderzoek van Holter (1979) blijkt dat regenwormen worden aangetrokken door de activiteiten van *Aphodius*-kevers. De bodem onder koeienvlaaien met deze kevers bevatte duidelijk meer regenwormen dan de bodem onder koeienvlaaien waarbij *Aphodius* kevers waren uitgesloten.

Afhankelijk van de weersomstandigheden begint zich al na een aantal uren door uitdroging een korst te vormen op de bovenzijde van een mestflats. De aantrekkingskracht van de mest vermindert hierdoor (Ridsdill-Smith, 1991). Door deze korst wordt het steeds moeilijker voor insecten de mestflats te penetreren. Als de mest niet vóór het vormen van een korst wordt bezet door insecten, vindt kolonisatie van mest vrijwel niet meer plaats (Lumaret & Kadiri, 1995). Dit kan grote invloed hebben op de afbraaksnelheid van mest. Vertrapping door zoogdieren (vee) en zoekgedrag van vogels kunnen de korst van een mestflats echter breken en een nieuw kolonisatieproces opstarten (Denholm-Young, 1978; geciteerd door Putman, 1983).

Het aantalverloop van de mestfauna vertoont een min of meer vast patroon (Olechowicz, 1974). In de eerste 5 dagen nemen de aantallen larven en volwassen kevers geleidelijk toe. Als de mest 10 tot 30 dagen oud is neemt het aantal van deze dieren snel af door uitvliegen van de vliegen en het verdwijnen van de volwassen kevers naar andere mesthopen. In dezelfde periode nemen een aantal andere vliegen en de keverlarven juist toe evenals de potwormen (Enchytraeidae), de springstaarten en de regenwormen. Het totale aantal van alle verschillende groepen bereikt zijn maximum rond dag 30. Mijten en nog sommige andere vliegen hebben een min of meer constante dichtheid gedurende het bestaan van de mestflats.

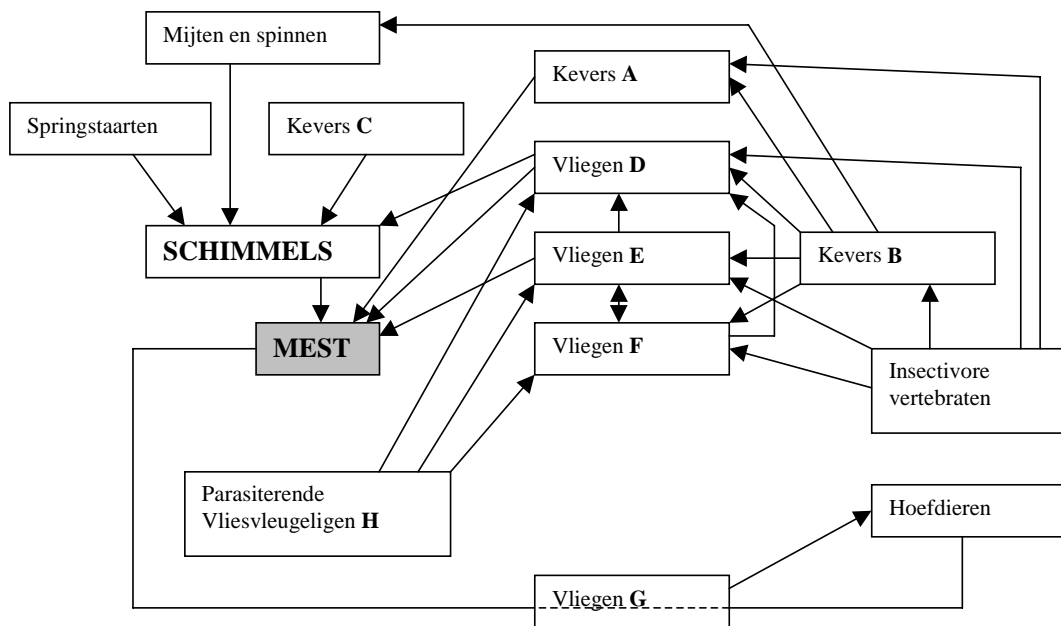
Er is een duidelijke klimatologische en seizoensinvloed op de kolonisatie en het voorkomen van soorten in mest. In een studie van White (1960) in een heidegebied in Engeland bijvoorbeeld waren de aantallen adulten van de mestkever *Aphodius* in

schapenmest het hoogst in het voorjaar en namen gedurende de zomer af, terwijl de aantallen regenwormen die werden aangetroffen in de zomer juist het hoogst waren. De aantallen van de vliegen in deze mest vertoonden nauwelijks variatie.

3.3 Voedselrelaties

Voor organismen die zich met mest of mestbestanddelen voeden wordt de term *coprofaag* gebruikt. Mestfauna wordt door sommigen ook wel aangeduid als *saprofaag*. Deze term heeft echter een bredere betekenis, namelijk het eten van dode resten van dieren en/of planten in het algemeen.

Skidmore (1991) presenteert een eenvoudig conceptueel voedselweb voor mest van hoefdieren waarin elke groep van insecten een bepaalde rol speelt. Hij onderscheidt de organismen naar functie en naar trofische groepen. Volgens Skidmore (1991) zelf is een dergelijk voedselweb nooit compleet omdat ook externe factoren het voorkomen van soorten bepalen. Toch zijn het vrijwel dezelfde genera die overal dezelfde rollen vervullen. Per soort mest of per streek zullen de grootste verschillen pas op soortniveau optreden.



Figuur 1. Vereenvoudigd voedselweb voor de levensgemeenschap van mest (naar Skidmore, 1991).

Hierna volgt een beschrijving van de verschillende groepen zoals die in Figuur 1 zijn weergegeven. De beschrijvingen zijn ontleend aan Skidmore (1991), maar door ons aangevuld met informatie uit Cambefort & Hanski (1991).

Kevers A

Deze groep van *coprofagen* bevat alle kevers en larven die hun volledige levenscyclus in de mest doorbrengen. Waarschijnlijk grazen deze insecten op bacteriën en schimmels op en in de mest (Skidmore, 1991). De families van kevers die in deze groep thuishoren zijn de Geotrupidae, Hydrophilidae, Scarabaeidae en de Staphylinidae (Cambefort & Hanski, 1991).

Kevers B

Deze groep bevat alle *predatore kevers* en hun larven (Skidmore, 1991). De families van kevers die tot deze groep gerekend worden zijn de Histeridae, Hydrophilidae, Staphylinidae en de in mest minder belangrijke familie van de loopkevers, Carabidae (Cambefort & Hanski, 1991).

Kevers C

Dit zijn specifieke *schimmeletende kevers*. Er is geen eigenschap die duidelijk onderscheid aanbrengt tussen de kevers uit groep A en groep C omdat ook de kevers uit groep A soms schimmels eten. De kevers uit groep C verschijnen echter pas in mest als zich een uitgebreide schimmelcultuur op de mest heeft gevormd (Skidmore, 1991). De families die tot groep C worden gerekend zijn de Cryptophagidae en de Ptiliidae (Cambefort & Hanski, 1991).

Vliegen D

In deze groep zitten de *niet-carnivore vliegen* die algemeen beschouwd worden als coprofaag of saprofaag. Meestal zijn dit vliegen waarvan de larven zich voeden met schimmels en/of bacteriën. De meeste families van de Diptera behoren tot deze groep (Skidmore, 1991). De belangrijkste families zijn de Muscidae, Scatophagidae, Sepsidae en de Spaeroceridae. Ook in deze groep maar van minder groot belang zijn de Anthomyiidae, Ceratopgonidae, Chironomidae, Psychodidae, Scatopsidae, Sciaridae en de Stratiomyidae (Cambefort & Hanski, 1991).

Vliegen E

Tot deze groep behoren de *vliegen* die *facultatief carnivoor* zijn (vooral in het laatste ontwikkelingsstadium). De belangrijkste familie binnen deze groep in relatie tot mest is de Muscidae. Deze groep bestaat slechts uit een klein aantal soorten, maar heeft een grote invloed op mestafbraak omdat ze alomtegenwoordig zijn en grote dichtheden bereiken (in paardenmest komt bijvoorbeeld de zeer efficiënte predatore vlieg *Polietes domitor* voor). De facultatieve carnivorie is een zeer efficiënte manier van voortbestaan omdat deze dieren bij afwezigheid van mest ook kunnen overleven (Cambefort & Hanski, 1991; Skidmore, 1991).

Vliegen F

In deze groep zitten alle *Muscidae* waarvan de *larven obligaat carnivoor* zijn. Bij afwezigheid van voldoende voedsel is de groei van deze soorten zeer traag, maar als de larven zich met vlees kunnen voeden is de groei zeer snel en efficiënt. Als geen prooidieren beschikbaar zijn leidt dit tot de dood van de soorten die in deze groep thuishoren. De kaakdelen van de soorten uit deze groep zijn kenmerkend voor een snelle verorbering van het prooidier. Uitgezogen en lege hulzen van prooidieren

worden dan ook vaak aangetroffen in koemest (Cambefort & Hanski, 1991; Skidmore, 1991).

Vliegen G

In deze groep bevinden zich de larven van *vliegen* die *interne parasieten* zijn van de grazende hoefdieren. Deze groep heeft geen groot aandeel in de afbraak van mest. Zo hoort bijvoorbeeld de paardenhorzel *Gasterophilus intestinalis* (Oestridae) tot deze groep. De larven van deze soort leven in de darmen van paarden en worden met de mest mee uitgescheiden. De larven verpoppen na uitscheiding en leggen hun eieren weer in het vlees van levende paarden. Tot deze groep in het voedselweb kunnen ook de Bombyliidae worden gerekend (Cambefort & Hanski, 1991).

Parasitaire vliesvleugeligen (Hymenoptera)

Dit is een groep van veelal kleine vliesvleugeligen (bijen en wespen) waarvan de larven parasiteren op andere insecten (meest Diptera; Skidmore, 1991). Tot deze groep worden de families van de Braconidae, Eucoilidae, Ichneumonidae en de Pteromalidae gerekend (Cambefort & Hanski, 1991).

Springstaarten

Springstaarten (Collembola) voeden zich met ontbindend plantenmateriaal en de bijbehorende schimmels. Deze groep van dieren is vooral talrijk in wat oudere mesthopen.

Mijten & spinnen

De groep van de mijten (Acari) is zeer talrijk. Binnen deze groep komen coprofage en saprofage mijten voor maar ook predatore en parasitaire mijten. Ze gebruiken andere dieren als transportmiddel om bij de mest te komen (foresie; Skidmore, 1991). De meeste mijten in uitwerpselen zijn roofmijten van de familie van de Macrochelidae welke zich voeden met insecteneieren en uitwerpselen van insecten (Cambefort & Hanski, 1991).

Insectivore vertebraten

Tot deze groep horen de vogels en zoogdieren die de insecten in de mest eten (Skidmore, 1991). Meer over deze groep in § 4.4.

Regenwormen

Deze groep staat niet in het schema van Skidmore (1991) maar speelt een belangrijke rol bij de afbraak van mest in gematigde streken met een relatief hoge grondwaterstand. Ze kunnen tot 50% bijdragen aan de afbraak van mest (Holter, 1979). Ze zorgen voor de verspreiding van mest in de bodem en dragen bij aan verspreiding van de bij de afbraak betrokken micro-organismen (Hendriksen, 1997). Regenwormen aggregeren zich onder en rond mesthopen en kunnen daarnaast dienen als voedsel voor hogere organismen (zie § 4.4).

3.4 Levenswijze & levenscyclus

In de volgende paragrafen wordt hetgeen samengevat dat bekend is over de levenswijze en levenscyclus van de belangrijkste drie groepen macrofauna die van mest leven: mestkevers, vliegen en regenwormen. Er is vooral gezocht naar gegevens over microhabitat, mobiliteit, voortplanting, groei en ontwikkeling en eventuele specificiteit voor bepaalde mest. Voor de mestkevers is hierover veel meer informatie gevonden dan voor de overige mestfauna.

3.4.1 Kevers

In deze paragraaf worden vooral de mestkevers behandeld die zich rechtstreeks voeden met mest of die van de oppervlakte van mestflatsen eten (groepen A en C uit de figuur van Skidmore (1991). De predatore kevers (groep B) vallen buiten onderstaande beschrijving.

Mestkevers kunnen in drie groepen worden ingedeeld op grond van de manier waarop ze omgaan met mest:

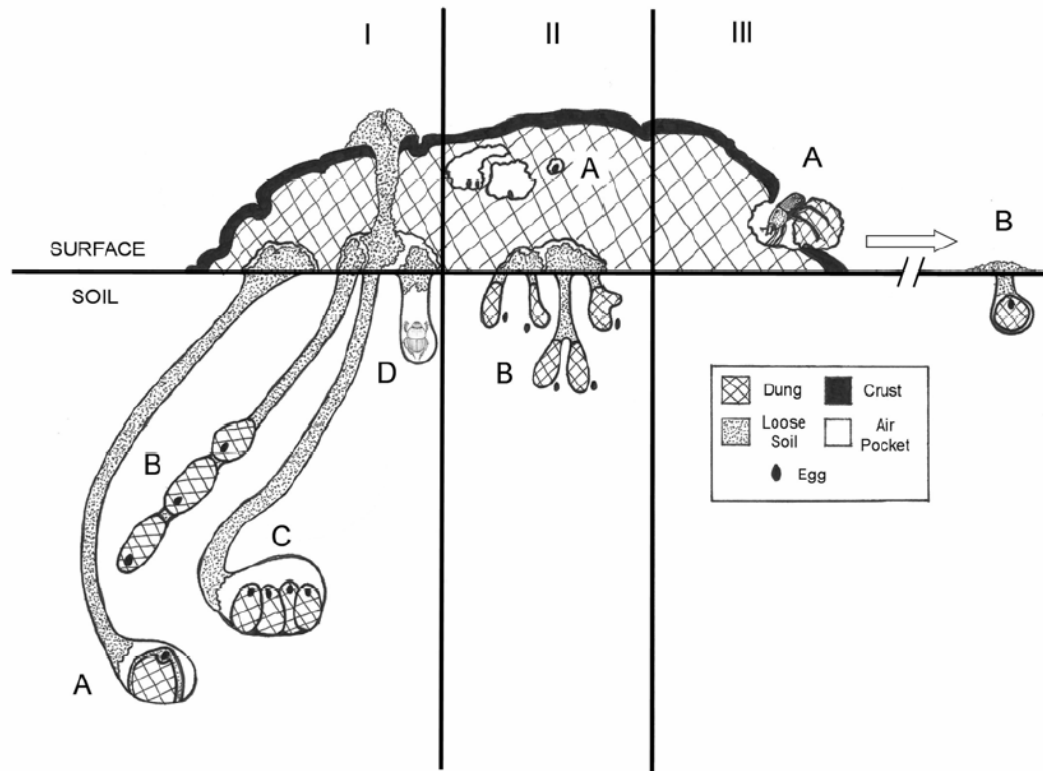
- ‘Dwellers’ of endocopriden
- ‘Tunnelers’ of paracopriden
- ‘Rollers’ of telecopriden

Deze indeling wordt algemeen gebruikt in de literatuur (Brussaard, 1983; Cambefort & Hanski, 1991; Bertone et al., niet gedateerd). De Engelse termen laten zich moeilijk in het Nederlands vertalen; daarom zullen ze hier verder worden gehanteerd. In Figuur 2 wordt schematisch weergegeven waarop deze indeling is gebaseerd en welke vormen van dwellers, tunnelers en rollers er zijn.

Dwellers zijn kleine mestkevers die leven in de mest zelf en ook hun eieren hierin af zetten. Hun gehele levenscyclus speelt zich bovengronds in de mest af. De bekendste dwellers zijn de *Aphodius* soorten. De tunnelers graven onder de mestflats of er vlak naast een of meerdere gangen waarin mest wordt aangebracht. Hierin worden de eieren afgezet. De Geotrupidae en de *Onthophagus*-soorten zijn bekende tunnelers. Rollers nemen een stuk uit de mest en draaien hier ballen van. Deze worden van de mest weggerold, gebruikt om een ei in af te zetten en vervolgens in de grond begraven. De rollers staan model voor het klassieke beeld van de mestkever, zoals de scarabee uit de Egyptische oudheid die door het uitkomen van zijn larven uit een mestbal symbool stond voor ‘tot leven komen’.

De levenscyclus van mestkevers verschilt nogal per soort. Deze verschillen hebben vooral te maken met de manier waarop volwassen kevers met mest omgaan. In Figuur 3 worden de levenscycli van ‘rollers’ en ‘tunnelers’ weergegeven. Hoewel de mestkevers vooral ruimtelijk een verschillende levenscyclus kennen, zijn er ook overeenkomsten. Een ei wordt gelegd in of vlakbij de mest. Deze mest kan de mest zijn van de uitwerpselen zelf, maar kan ook door de adulten (al dan niet bewerkt) op een andere plaats verzameld zijn. Tunnelers, bijvoorbeeld, verzamelen mest in een

tunnel onder of vlakbij de uitwerpselen waarin of waarbij een eitje wordt gelegd en 'rollers' leggen een eitje in een mestbol die ze in de omgeving van de uitwerpselen verzameld hebben. Belangrijk voor alle mestkevers is dat voor de ontwikkeling van het ei altijd mest aanwezig moet zijn waarmee de larve zich kan voeden.



Figuur 2: Indeling van mestkevers naar levenswijze in de mest (uit Bertone et al., niet gedateerd).

I: Tunnelers

- A - Eén tunnel met één broedkamer met één mestbol met daarin een ei.
- B - Tunnel met verschillende mestbollen met elk een ei.
- C - Tunnel met meerdere mestbollen in een broedkamer.
- D - Juvenile kever graaft zich uit de tunnel, waarbij de vrijkomende bodem door de mestkorst wordt heen geduwd.

II: Dwellers

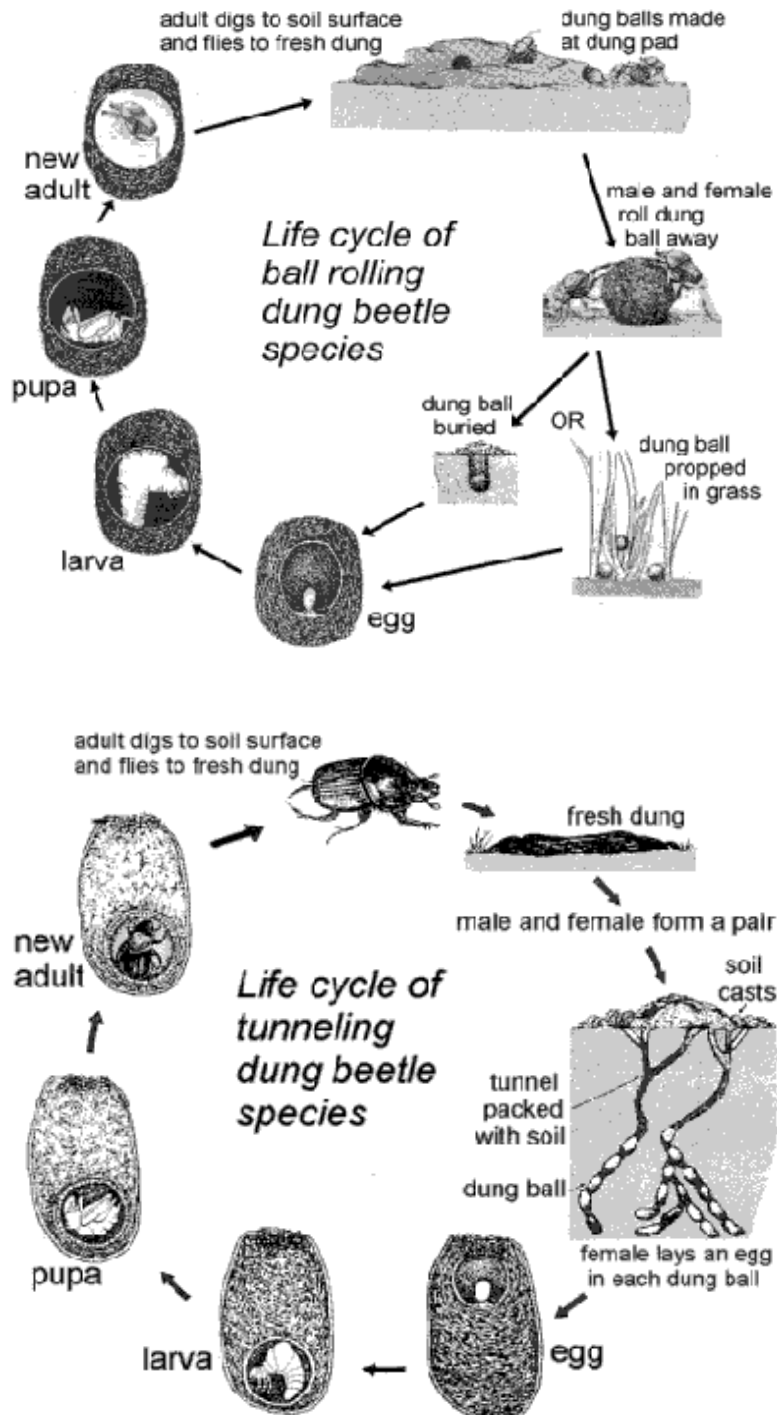
- A - Individuele of groepen van eieren gelegd in de mest zelf (al dan niet in luchtbelletjes of gegraven tunnels).
- B - Eieren direct onder de mestflats gelegd in de grond met daarnaast voorraad mest voor ontwikkeling.

III: Rollers

- A - Uitgraven van mest en het vormen van een mestbal.
- B - Het weggrollen van een mestbal en ondiep begraven in de omgeving. De eieren worden in de mestballen gelegd.

Thomas (2001) beschrijft de levenscyclus van de doorsnee Noord-Amerikaanse mestkever. Een ei ontwikkelt zich in ongeveer een week tot een larve die zich vervolgens voedt met de aanwezige mest. De larve verblijft in de mestbal (rollers), mestprop (tunnelers) of in de mestflats zelf (dwellers) en voedt zich met mest waarbij de ontstane holte bekleed wordt met de eigen uitwerpselen. Onder ideale

omstandigheden groeit een larve in circa drie weken uit tot een pop en vervolgens via een complete metamorfose tot een adult die zich uitgraaft via een tunnel, waarop een nieuwe cyclus begint. Een complete cyclus duurt onder ideale omstandigheden ongeveer zes weken.



Figuur 3. Levenscyclus van twee groepen mestkevers: 'rollers' en 'tunnelers' (uit Aisthorpe, 2007, naar respectievelijk Bornemissza, 1976, en Tyndale-Biscoe, 1990).

Larven van mestkevers kunnen onder minder ideale omstandigheden als kou en droogte lang overleven. Overwintering vindt bij de *Aphodius*-kevers meestal plaats als adult (Webb, 2004). Er bestaan verschillende biologische drempels in bodemtemperatuur voor mestkevers. De minimale bodemtemperatuur moet tussen 1 tot 5°C zijn voor de voortplanting en 5 tot 9°C voor het uitkomen van de eieren (Brussaard, 1986). Normale ontwikkeling van de larven vindt plaats bij 13 tot 17°C.

Mestkevers (Scarabaeidae) zijn afhankelijk van de beschikbaarheid van mest voor het doorlopen van hun levenscyclus en sporen daarom mest actief op. Belangrijke eigenschappen van de mestkevers zijn daarom hun reukvermogen en uitstekende verspreidingsvermogen. Ze kunnen langdurig vliegen. Daarmee zijn de kevers in staat om verse mest op te sporen en te koloniseren. De landschapsstructuur speelt een belangrijke rol in het voorkomen, de verspreiding en de bewegingen van kevers. Mestkevers hebben een duidelijke voorkeur voor open landschappen. De dichtheden en soortendiversiteit zijn meestal hoger in weilanden en ruigten dan in beboste gebieden (Wassmer, 1995) en kevers vermijden bepaalde kleinschalige landschapselementen (Wiens & Milne, 1989). Andere factoren die de verspreiding van mestkevers beïnvloeden zijn de vegetatiestructuur en de vegetatiedichtheid (Lumaret & Iborra, 1996; Verdu et al., 2000).

De verspreiding van mest in weilanden is niet random, maar verschilt erg per soort vee. Deze heterogene verspreiding binnen een heterogeen landschap heeft invloed op de populatiesamenstelling van de mestkevers. Keversoorten specialiseren zich namelijk in verspreide hopen (bij koeien) of juist in geclusterd gelegde hopen (bijvoorbeeld van konijn en schaap). Dit bleek uit experimenten (Wassmer, 1995; Lumaret & Iborra, 1996).

3.4.2 Vliegen

De meeste vliegensoorten hebben eiwitten nodig om tot vermeerdering te kunnen komen. Deze eiwitten worden verkregen van andere dieren. Dit kunnen andere vliegen zijn, maar ook het vee waarop zij prederen (Ridsdill-Smith, 1991). De bron van de eiwitten bepaalt voor de vliegen hun levenswijze. Zij zijn een plaagorganisme wanneer de eiwitten afkomstig zijn van vee of van mens (bloed) maar juist een bestrijder van plagen als de eiwitten afkomstig zijn van plaagvliegen (Ridsdill-Smith, 1991). Een andere belangrijke eiwitbron is mest. Bij vliegen die in mest broeden vindt de paring plaats op de verse mest, waarna de eieren per cluster in de mest worden gelegd. Als meerdere vrouwtjes aanwezig zijn worden de eieren van deze vrouwtjes samen geclusterd (Ridsdill-Smith, 1991). De eieren komen binnen een paar uur uit en de larven verspreiden zich verder door de mest, waarbij zij een voorkeur hebben voor onverstoorde en vochtige mest. Per koeienflats kunnen tot wel 2000 vliegenlarven voorkomen. Door predatie en voedselgebrek is de sterfte van vliegenlarven echter hoog, 94% (Ridsdill-Smith, 1991).

De Diptera kunnen in drie groepen worden ingedeeld op grond van hun voedingsgedrag (Olechowicz, 1974):

- Echte mesteters met een korte levenscyclus. Deze ontwikkelen zich in verse mest.
- Saprofagen met kleine larven die zich vooral in de bodem bevinden.
- Predatoren.

Hieronder worden kort enkele ecologische karakteristieken van de belangrijkste groepen vliegen gegeven.

Muscidae (echte vliegen)

De larven leven saprofaag in afbrekend organisch materiaal (dierlijk, plantaardig, mest). Het derde larvale stadium heeft een zeer uiteenlopend voedingspatroon (carnivoor, fytofaag, aquatisch). Veel van de soorten uit deze familie zijn aangepast aan de menselijke leefomgeving. Een aantal soorten van deze familie is van veterinair belang omdat het bloedzuigers zijn (Prijs, 2002; Oosterbroek et al., 2005).

Scatophagidae (drekvliegen)

De biologie van de soorten uit deze familie is uiteenlopend. De meeste larven leven fytofaag (bijvoorbeeld de bladmineerders). Ook predatie op kleine organismen en eieren van aquatische insecten komt voor. Andere soorten leven in rottend plantenmateriaal en mest. Adulten zijn predatoren van andere insecten of andere organismen. De bekendste soort van deze familie is *Scathophaga stercoraria* (gele strontvlieg). De mannetjes van deze vlieg verzamelen zich in grote zwermen op koeienvlaaien waar ze wachten tot er een vruchtbaar vrouwtje aan komt vliegen om mee te copuleren (Hackman, 1956; Parker, 1978; Ridsdill-Smith, 1991; Beuk & van der Goot, 2002; de Jong, 2002; Oosterbroek et al., 2005).

Sepsidae (wappervliegen)

De larven van deze vliegen ontwikkelen zich in het algemeen in mest (*Meroplus*, *Saltella*, *Sepsis* en sommige *Themira*) of andere rottend organisch materiaal (dode slakken en insecten, paddenstoelen, vogelnesten, modder en composthopen), waar ze zich waarschijnlijk met micro-organismen voeden. De adulten worden vaak gevonden in de buurt van deze habitats en kunnen grote zwermen vormen die zich vooral ophouden op lage vegetatie in semi-open landschapselementen (weilanden, stromend water, bosranden en open plekken; Beuk & van der Goot, 2002; Pont & Meier, 2002; Oosterbroek et al., 2005). *Sepsis fulgens* (de wenkvlieg) is een soort die in extreem grote dichtheden (zwermen tot 100.000 individuen) kan voorkomen waarbij een duidelijke (zweet)geur verspreid wordt (Beuk & van der Goot, 2002; Pont & Meier, 2002). Zij hebben hiervoor een speciale klier. Vrouwtjes van de Sepsidae hebben twee verschillende voedselbronnen nodig om tot eileg te kunnen komen, eiwitten en koolhydraten. Koeienmest is voor de meeste Sepsidae een geschikt medium maar paardenmest vooral voor soorten van de genera *Ortalischema* en *Zuskamira*. Sepsidae kunnen echter niet op mest alleen overleven. Pont & Meier, (2002) geven een overzicht waarin waaruit blijkt dat sommige soorten van de Sepsidae erg specifiek zijn wat betreft substraatkeuze en andere - de meer primitieve

soorten - juist een brede substraatvoorkeur hebben. *Sepsis fulgens* is een soort die in vrijwel alle substraten gevonden wordt. Ook de leeftijd van het substraat speelt een rol en kan onderscheidend zijn voor soorten. Deze specialisatie m.b.t. de soort mest en de leeftijd van de mest kan een verklaring zijn voor het voorkomen van soms wel 8 tot 9 soorten Sepsidae in één mestflats (Pont & Meier, 2002). Pont & Meier (2002) stellen dat Sepsidae een matig nuttige rol spelen bij de afbraak van mest, echter zonder aan te geven op welke manier. Sepsidae kunnen ook potentieel gevaarlijk zijn voor de mens omdat ze vaak pathogenen bij zich dragen.

Sphaeroceridae (mestvliegen)

De larven van deze familie leven in organisch, rottend materiaal (mest, bladafval, paddenstoelen en verblijfplaatsen van dieren) en zijn allemaal saprofaag. Ze voeden zich waarschijnlijk met de micro-organismen die betrokken zijn bij de afbraak van organisch materiaal. De adulten zijn slechte vliegers die in de buurt van bovengenoemde habitats voorkomen. Van deze familie zijn ook kortvleugelige en ongevleugelde soorten bekend. Als de omstandigheden gunstig zijn kunnen de soorten van deze familie in grote dichtheden voorkomen (Roháček & Beuk, 2002; Oosterbroek et al., 2005).

3.4.3 Regenwormen

Regenwormen (Lumbricidae) leven in de bodem. Ze houden erg van vocht en komen daarom vrijwel alleen voor in gebieden waar de grondwaterstand voldoende hoog is. In Nederland is dit vrijwel altijd het geval zodat regenwormen in Nederland eigenlijk overal gevonden worden. Er worden drie groepen van regenwormen onderscheiden (Baker et al., 1999):

- Epigeïsche soorten - wormensoorten die oppervlakkig leven (vaak in de organische strooisellaag).
- Endogeïsche soorten - wormensoorten die leven in de minerale bodem en zich daar voeden met het organisch materiaal dat zich daar bevindt
- Aneïsche soorten - diep levende wormensoorten die zich door middel van vaste gangen voeden met organisch materiaal aan het oppervlak.

Wormen spelen een belangrijke rol in de decompositie van koeienmest (Holter, 1979; Putman, 1983; Hendriksen, 1997) hoewel niet alle studies daarover eenduidig zijn (Dickinson et al., 1981). Ook in schapenmest worden regenwormen gevonden (White, 1960).

Verschillende soorten regenwormen hebben verschillende habitatvoorkeuren in grasland. In Schotland werden de soorten *Dendrobaena octaedra* en *Lumbricus rubellus* vaker gevonden onder en in mesthopen dan de soort *Allolobophora caliginosa* (Boyd, 1958). Deze soorten zijn ook zeer algemeen in Nederlandse weilanden. In een experiment met regenwormen bleek dat deze een voorkeur hebben voor een minerale bodem met bovenop een bron van organisch materiaal. Als mest door de bodem gemengd is en als een minerale bodem ontbreekt (puur organisch materiaal) zijn de wormendichtheden duidelijk lager (Doube et al., 1997). De voedselvoorkeur

van regenwormen is per soort verschillend. Alle soorten kunnen echter in elke soort mest voorkomen als de voorkeursmest niet beschikbaar is (Doube et al., 1997).

In het Noord-Hollands Duinreservaat was het aandeel regenwormen in de nabijheid van mest van verschillende diersoorten 7% van het totaal aantal waargenomen organismen (de Ridder, 2006). Er was een duidelijk effect van mestsoort op de bezetting van mest door regenwormen. Bij een gemengde begrazing door runderen en paarden werd de grootste regenwormdichtheid waargenomen (136 wormen in 100 monsters) en ook begrazing door alleen runderen leverde grote dichtheden op (64 regenwormen per 100 monsters). Begrazing door paarden en schapen leverde duidelijk minder regenwormen (de Ridder, 2006).

4 Ecologische diensten

Natuurlijke ecosystemen leveren diensten ten behoeve van de mens. Te denken valt daarbij aan bijvoorbeeld bijdragen aan de voedselvoorziening en aan de instandhouding van de kringlopen van stoffen in het milieu. Het menselijke leven kan niet voortbestaan zonder veel van deze diensten. In de volgende paragrafen wordt hetgeen beschreven dat tijdens de literatuurscan is gevonden over de ecologische diensten van mestfauna. Ook voor de ecologische diensten geldt dat er veel meer is gevonden over de diensten die kevers leveren dan over de diensten van de overige groepen insecten.

4.1 Afbraak van mest & bodemvruchtbaarheid

De drie belangrijkste trofische groepen waarin organismen worden ingedeeld zijn producenten, consumenten en 'decomposers' (er is geen goede Nederlandse vertaling voor dit woord). In een terrestrisch ecosysteem spelen de decomposers een belangrijke rol bij de recycling van organisch materiaal. Zij zijn verantwoordelijk voor tot wel 95% van het totale metabolisme van een levensgemeenschap (Putman, 1983). Omdat in vrijwel elk ecosysteem de hoeveelheid voedingsstoffen de beperkende factor is voor de ontwikkeling van het systeem, zijn de organismen die zorgen voor recycling van stoffen erg belangrijk. Plantenresten, mest en karkassen zijn daarbij belangrijke voedingsbronnen (Putman, 1983). Door de decomposers wordt maar 4% tot 5% hiervan werkelijk gebruikt voor eigen behoefte, maar door de verwerking van het afvalmateriaal komen veel voedingsstoffen beschikbaar voor schimmels en bacteriën.

Het recyclen van mest speelt een belangrijke rol bij het in stand houden van de vruchtbaarheid en productiviteit van graslanden (Lumaret & Kadiri, 1995). Decompositie van mest vindt grotendeels plaats door micro-organismen. Door hun activiteit zorgt de macrofauna er voor dat het decompositieproces op gang komt en in gang blijft (Lee & Wall, 2006), bijvoorbeeld door doorgraven van de mest ('tunneling'), fragmentatie, beluchting, assimilatie, omzetting van mest in eigen feces en menging van de mest met de bodem. Mestfaunasoorten dragen ook de bacteriën, schimmels en hun sporen bij zich die de mest afbreken. Zij inoculeren de verse mest hiermee. Kevers kunnen ook de korst doorboren en zo oudere mest weer toegankelijk maken voor andere organismen (Brussaard, 1983).

Het belang van mestfauna wordt duidelijk aan de hand van het voorbeeld van Australië en Nieuw-Zeeland, waar de van nature voorkomende mestfauna niet in staat bleek om de mest van het geïntroduceerde vee te verwerken. Dit leidde tot enorme vervuiling van de graasgebieden van het vee. Introductie daar van uitheemse keversoorten, o.a. uit zuidelijk Afrika, heeft dit probleem grotendeels opgelost (Bornemissza, 1976; geciteerd in diverse ander bronnen). In Noord-Amerika is een soortgelijk programma uitgevoerd (Anoniem, 1997). In de tropen gaat het afbraakproces zeer snel. Anderson & Coe (1974; geciteerd door Brussaard, 1983, en

Putman, 1983) hebben ooit 16.000 mestkevers geteld in een olifantenhoop van 1,5 kg. Deze werd in 2 uur volledig opgegeten, begraven en weggerold. In Europa gaat de afbraak langzamer. Als voorbeeld voor Nederland geeft Brussaard (1983) aan dat een hoop ponymest in een week geheel verwerkt kan zijn door de driehoornmestkever *Typhaeus typhoeus*. Brussaard (1983) presenteert een tabel van met de hoeveelheid mest die mestkeverparen van verschillende soorten per seizoen kunnen verwerken in gematigde streken. Dat varieert: ca. 20 g voor *Sisyphus schaefferi*, 250 g voor *Typhaeus typhoeus* en meer dan 700 g voor *Geotrupes spiniger*.

De activiteiten van insecten zorgen voor een veel snellere afbraak van mest dan alleen door bacteriën en schimmels kan plaatsvinden. Afbraak van mest kan zonder mestfauna verschillende jaren in beslag nemen. In diverse Europese studies versnelde de aanwezigheid van mestfauna de mestafbraak met een factor uiteenlopend van 1,7 tot 20 ten opzichte van de situatie zonder mestfauna (Holter, 1979; Putman, 1983; Lumaret & Kadiri, 1995). De invloed van kevers is vooral belangrijk gedurende de eerste maand. Verminderde afbraak is al waarneembaar na slechts 2 dagen afscherming van mest om kolonisatie te voorkomen (Lee & Wall, 2006).

Runderen mijden de plek waar mest is gevallen een tijdlang. Het vermijden van mestflatsen door grazende dieren is gunstig omdat het vee zo niet opnieuw geïnfecteerd wordt door parasieten die uitgescheiden worden in mest. Afwezigheid van mestfauna kan echter leiden tot ophoping van mestflatsen in een weide en derhalve tot verkleining van het areaal waarop runderen kunnen foerageren (Bornemissza, 1976; geciteerd door Brussaard, 1983) en vermindering van de productie van vee (Putman, 1983). Bij 5 stuks vee wordt zonder mestafbraak 0,4 hectare land per jaar onbruikbaar voor begrazing (Skidmore, 1991).

Normaal verdwijnt ongeveer 80% van de in mest aanwezige ammonia binnen 5 dagen uit de mest onder invloed van fysieke processen zoals verdamping en uitlekken naar de bodem. Bij aanwezigheid van mestkevers kan dit worden teruggedrukt tot 5% à 15% (MacDiarmid & Watkin, 1972; geciteerd door Lumaret & Kadiri, 1995), een enorme milieuwinst. Mest - zeker de mest van landbouwhuisdieren - heeft een zeer hoog gehalte stikstof, fosfaat en kalium. Deze concentraties zijn toxisch voor de planten in de directe omgeving van een mestflats, veelal door verzuring. Dit leidt tot veranderingen in de plantensamenstelling in de directe omgeving en mogelijk verminderde geschiktheid voor begrazing (Putman, 1983).

De activiteit van insecten in mest draagt ook bij aan het vrijkomen van nutriënten voor plantengroei. Uit onderzoek blijkt dat de hoeveelheid nitraat in de bodem hoger is bij aanwezigheid van kevers in mest (Bang et al., 2005). Ook droegen mestkevers in deze studie bij aan de verspreiding van mest in de bodem en leidden hun activiteiten tot een grotere luchtdoorlaatbaarheid van de bodem en een significant grotere opbrengst van gewassen. In onderzoek met kunstmatige mest in Italië werd aangetoond dat door toevoeging van mestflatsen zonder insecten de plantengroei in weilanden met ongeveer 30% werd gestimuleerd. Als met insecten geïnoculeerde mest werd neergelegd werd nog eens ongeveer 15% extra plantengroei waargenomen

(Borghesio et al., 1999). Regenwormen waren in het onderzochte gebied en seizoen niet actief.

Regenwormen spelen vooral in gematigde streken een rol omdat hier de bodemvochtigheid niet beperkend is. In de tropen, waar veel studies naar mestafbraak zijn uitgevoerd, spelen regenwormen door de droogte van de bodem geen rol van betekenis. In vochtige ondergrond spelen regenwormen een belangrijke ecologische rol. Zij kunnen voor 50% bijdragen aan de mestafbraak. Dit doen ze direct door mest als voedsel te gebruiken en mest in de bodem te begraven en indirect door de mestkorst te doorbreken en de mest weer toegankelijk te maken voor andere organismen (Holter, 1979). Regenwormen veroorzaken ook chemische veranderingen in koeienmest. In experimenten met *Eisenia andrei*, werd gemeten dat de pH daalde, de C:N-ratio werd verlaagd, het koolstof- en stikstofgehalte sterk toenam (mineralisatie) en de CO₂-uitstoot sterk verminderde (een aanwijzing voor toenemende stabiliteit van de organische stof). Als gevolg hiervan werd de groei van planten (sla en tomaat) sterk bevorderd (Atiyeh et al., 2000). Transport van mest door regenwormen in de bodem heeft een positief effect op de respiratie door micro-organismen. De respiratie is indicatief voor de afbraak van organisch materiaal tot anorganische en simpelere organische verbindingen. Daardoor komen zouten en mineralen vrij die beschikbaar worden voor andere organismen zoals planten. Dit effect treedt het meest duidelijk op in de bovenste bodemlagen (tot 6 cm diepte), de zone waarin de meeste grassen in weilanden wortelen (Hendriksen, 1997). De regenwormen dragen eveneens bij aan de verspreiding van de voor de afbraak van organisch materiaal belangrijke micro-organismen (Doubé et al., 1997).

De activiteiten van insecten en regenwormen in mest kunnen cumulatief zijn. In experimenten door Holter (1977) is vastgesteld dat de afname van de hoeveelheid droge stof na 45 dagen in mest zonder mestkevers en regenwormen toeneemt van 16% naar 27% door toevoeging van mestkevers en naar 28% door toevoeging van regenwormen. In mest met zowel mestkevers als regenwormen was de afname 41%.

Seizoen en klimaat hebben een duidelijk invloed op de snelheid van de mestafbraak. Dit heeft vooral te maken met het voorkomen van bepaalde soorten mestkevers en met de activiteit van regenwormen (Putman, 1983). Afhankelijk van het seizoen varieerde de afbraaksnelheid van mest bij onderzoek in Engeland van 0,69 tot 1,99% van de hoeveelheid droge stof per dag (Lee & Wall, 2006). Een mestflats verdwijnt daarmee in het voorjaar in 57 tot 78 dagen en in de zomer in 88 tot 111 dagen (er werden in deze studie geen regenwormen in de mest aangetroffen). Lumaret & Kadiri (1995) vonden dat in de lente de snelheid van verdwijnen van organisch materiaal uit de mesthopen vooral werd bepaald door de regenval. De temperatuur en de vochtigheid van de mestflats hadden geen invloed op de snelheid. In de zomer en winter deed de temperatuur er echter wel toe.

4.2 Bodemstructuur

In het algemeen kan worden gezegd dat de fysisch-chemische eigenschappen van de bodem verbeteren door de (be)graafactiviteiten van mestkevers (Bang et al., 2005). Uiteraard hebben vooral de tunnelers grote invloed (zie § 3.4.1). Brussaard (1986) geeft een overzicht van invloed die mestkevers hebben op de bodemstructuur. De driehoornmestkever *Typhaeus typhoeus* diende als modelorganisme. Door het graven van gangen wordt grond omhoog gebracht. Dit heet bioturbatie. Gangen die door mestkevers worden gegraven verschillen per soort van diepte. De driehoornmestkever graaft tot 1.5 meter diepe gangen. De kever kan tot 450 grond kg per ha naar boven brengen door het graven van gangen. Dit is echter minder dan de 5-120 ton per hectare per jaar die volgens Brussaard (1986) door regenwormen wordt omhoog gewerkt. Plantenwortels volgen de open en dichtgeslibde gangen van mestkevers.

De dichtheid van de bodem beïnvloedt niet de diepte van de gangen, maar wel het aantal eieren dat door de driehoornmestkevers wordt gelegd. Dit is waarschijnlijk een kwestie van energie. Bij een geringere bodemdichtheid kost het de kevers meer kracht om de ondergrondse kamers zo stevig te maken dat ze niet instorten. De gangen gaan nooit dieper dan het verzadigd niveau van de grond. Een te hoge en te lage bodemvochtigheid zijn ongunstig voor de ontwikkeling van de driehoorneieren. Bij voldoende mest in de buurt van het nest van de kevers zullen driehoornmestkevers lang op één plek blijven. Maar als er minder mest in de omgeving is zullen zij na verloop van tijd sneller elders een nieuw nest graven. Hun invloed op de bodemstructuur is dan groter.

Thomas (2001) vermeldt dat ook de capaciteit van de bodem om water te absorberen en vast te houden door de graafactiviteiten van mestkevers verbetert.

4.3 Natuurlijke plaag- en ziektevering

De mestfauna speelt een belangrijke bij het weren van sommige plaagorganismen (Kirk, 1992). In Australië bleek de introductie van mestkevers er voor te zorgen dat de plaagvlieg *Musca vetustissima* vrijwel verdween (Bornemissza, 1976; geciteerd door Kirk, 1992). Uit experimenten in Zuid-Frankrijk werd de conclusie getrokken dat de gehele mestfauna verantwoordelijk was voor de natuurlijke onderdrukking van de plaagvlieg *Musca tempestiva* die zich voedt met dieren- en mensenbloed. De graafactiviteiten van kevers, de parasitaire activiteiten van Diptera, Coleoptera en Acari en de sterke competitie binnen de mest zorgden er voor dat *M. tempestiva* met 96 tot 98% gereduceerd werd, zelfs bij zeer lage dichtheden van de mestfauna (Kirk, 1992). Thomas (2001) meldt dat de populaties van de hoornvlieg *Haematobia irritans* en de herfstvlieg *Musca autumnalis*, twee plaagvliegen van runderen, significant verminderd zijn in gebieden waar ook mestkevers actief zijn. Dit wordt veroorzaakt door concurrentie om voedsel tussen kevers en vliegenlarven en door fysieke schade die door de kevers aan de eieren van de vliegen wordt toegebracht.

Een vertraagde afbraak van mest kan leiden tot een hogere infectiegraad met bepaalde darmparasieten van grazend vee. Larven van trichostrongyle nematoden leven in koeienmest. Deze nematoden veroorzaken de ziekte trichostrongylose. Tijdens onderzoek in Denemarken bij jonge kalveren werd gevonden dat een uitbraak van deze ziekte optrad na een droge zomer gevolgd door een strenge winter (Nansen et al., 1989). De koeienmest was door deze ongunstige weersomstandigheden niet of nauwelijks afgebroken waardoor de ziekteverwekker beter kon overleven. Door de afbraak van mest te versnellen kan mestfauna dus in principe bijdragen aan ziektevermindering bij vee. Echter, ander onderzoek toont aan dat de activiteiten van mestkevers in mest kunnen ook juist gunstigere omstandigheden voor de nematodenlarven creëren, waardoor de infectiekans vergroot wordt (Chirico et al., 2003).

4.4 Voedsel voor hogere dieren

Van een aantal vogels is bekend dat deze zich voeden met ongewervelden die zich in de mest bevinden of hier in broeden. Dit betreft insectenetende vogels, maar insecten zijn vaak ook een belangrijke eiwitbron voor de jongen van vogels waarvan de volwassenen zaadetend zijn. McCracken (1993) en Webb (2004) noemen een groot aantal groepen en soorten vogels in dit verband: spreeuwen, verschillende soorten kraaiachtigen (o.a. roek, kauw, zwarte kraai en ekster), leeuweriken, gierzwaluwen, zwaluwen (o.m. huiszwaluw en boerenzwaluw) en kwikstaarten (witte kwikstaarten eten Sphaeroceridae; Webb, 2004). Jagers op Akkerhuis & Siepel (2001) opperen dat het verdwijnen van soorten als de grauwe klauwier en de kuifleeuwerik zou kunnen samenhangen met een verminderd aanbod van mestvliegen en mestkevers. Uit een studie door Horgan & Berrow (2004) in Ierland bleek dat de uitwerpselen van de bonte kraai voor 80% bestonden uit insecten, waarvan de grotere mestkevers een belangrijk deel uitmaakten.

Een voor het natuurbeleid in Nederland zeer belangrijke groep vogels waarvan bekend is dat zij zich deels voeden met ongewervelden uit mest zijn de weidevogels. Volwassen grutto's en andere steltlopers eten voornamelijk regenwormen en emelten die in de bodem leven. Bij onderzoek naar het dieet van weidevogels in Nederland werd vastgesteld dat kievitkuikens actief koeienvlaaien opzoeken op zoek naar geschikt voedsel (Beintema et al., 1991). Zij boren met hun snavel door de korst op zoek naar larven van vliegen en mestkevers. Ook in de uitwerpselen van de kuikens van andere weidevogels zoals scholekster, grutto, kemphaan en de tureluur werden resten van larven van mestkevers aangetroffen. Jonge tureluurs eten ook larven uit mestflatsen. Jonge grutto's echter voeden zich met name met vliegende insecten. De gele strontvliegen die zich op flatsen bevinden zijn een zeer belangrijke prooi voor jonge grutto's (van der Weijden & Guldmond, 2006). Jonge grutto's verorberen afhankelijk van de leeftijd wel 10.000 insectjes per dag (van der Weijden & Guldmond, 2006). Aan het einde van de zomer, wanneer de aantallen ongewervelde bodemdieren afnemen, zou de mestfauna ook een welkome aanvullende voedselbron vormen voor vogels die normaliter hun voedsel uit de bodem halen (McCracken, 1993).

Ook sommige zoogdieren voeden zich waarschijnlijk met mestfauna omdat zij hun voedsel op de bodem en in strooisel zoeken, bijvoorbeeld egels, spitsmuizen en dassen (McCracken, 1993). Een groep dieren waarvan goed beschreven is dat zij zich voeden met de mestkevers *Aphodius* en *Geotrupes* en met de gele strontvlieg *Scatophaga stercoraria* zijn bepaalde vleermuizen: de grote en kleine hoefijzerneusvleermuizen, de franjestaart, de grootoorvleermuis en de bosvleermuis (McAney & Fairley, 1989; Jones, 1990; Shiel et al., 1991; Shiel et al., 1998). Mestfauna is het hele jaar door een zeer belangrijk bestanddeel van het dieet van grote hoefijzerneusvleermuizen (Ransome, 1996; Ransome & Hutson, 2000). De hoefijzerneusvleermuizen zijn in de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw echter geheel uitgestorven in Nederland.

4.5 Economische waarde

Ongewervelden leveren een belangrijke bijdrage aan de ecologische diensten, ook mestkevers. Brussaard (1983) haalt een berekening aan die in de Verenigde Staten is gemaakt in 1981. Vervanging door kunstmest van de hoeveelheid stikstof die door het verdwijnen van mestkevers verloren zou gaan, zou de V.S. \$ 200 miljoen per jaar kosten. Losey & Vaughan (2006) berekenden recenter de economische waarde van ecologische diensten door insecten. Ook de economische waarde van de graafactiviteiten van mestkevers werden bepaald. In deze paragraaf wordt kort ingegaan op deze berekeningen, de uitgangspunten en de uitkomsten van deze studie.

In de Verenigde Staten zijn ongeveer 100 miljoen stuks rundvee in productie en gemiddeld produceert elk van deze dieren 9.000 kg (21 m³) mest per jaar (vaste stof). Mestkevers (Scarabaeidae) kunnen rundveemest zeer efficiënt omzetten. Ze dragen bij aan de eetbaarheid van het voedsel van grazend vee, stikstofrecycling en een verminderd het habitat voor dierziekten. Deze diensten zijn van significant economisch van belang voor de rundvee industrie. De factoren die in de berekening van de door mestkevers 'vermeden economische verliezen' bij de productie van rundvlees werden meegenomen zijn:

- Het aantal runderen dat mest produceert die buiten terecht komt en die geschikt is voor mestkevers – *32% van alle runderen.*
- De hoeveelheid vee die voor mestkevers geschikte mest produceren. Een deel van het vee wordt behandeld met insecticiden (avermectines) en produceren minder goed afbreekbare mest – *19% vertraging afbraak.*
- Vermijden verlies van de vleesproductie indien een gedeelte van het voedsel op de weidegrond voor het vee niet meer geschikt zou zijn om te fourageren doordat mest te lang blijft liggen ('forage fouling'). Rundvee graast niet op plaatsen die door de eigen mest is bevuild - *\$ 122 miljoen.*
- Vermijden verlies van stikstof. De stikstofverbindingen komen door de activiteit van de kevers in de bodem terecht in plaats van te vervliegen - *\$ 58 miljoen (bij een economische waarde van \$ 0,44 per kg N).*
- Bijdrage aan het verminderen van het aantal rundveeparasieten en de sterfte door deze parasieten - *\$ 70 miljoen.*

- Bijdrage aan het verminderen van de overlast door (plaag)vliegen en sterfte - \$130 miljoen.

In totaal is de vermeden economische schade die in de rundvleesindustrie in de V.S. zou optreden bij afwezigheid van mestkevers geschat op 380 miljoen dollar per jaar. Er is niet gekeken naar melkproductie door koeien. Losey & Vaughan (2006) berekenen op analoge wijze de vermeden economische schade indien andere ecologische diensten zouden ontbreken. Bestuiving door insecten vertegenwoordigt \$3,1 miljard dollar per jaar, plaagwering \$4,5 miljard/jaar en voedsel voor dieren (jacht, vissport, commerciële visserij, observeren van wilde dieren) \$49,9 miljard/jaar. De totale waarde van de in het artikel beschouwde diensten die worden toegeschreven aan de insecten vertegenwoordigt in Amerika een economische waarde van 60 miljard dollar per jaar. Overigens stellen Losey & Vaughan (2006) in de inleiding van hun artikel dat de prioriteit voor het behoud van dergelijke diensten vaak laag is doordat het zo lastig is de waarde van dit soort diensten te bepalen.

5 Bedreigingen

5.1 Veranderend landgebruik

Het voorkomen en de diversiteit van mestfauna zijn afhankelijk van voldoende landbouwareaal met veeteelt in de open lucht en van natuurgebieden met grote grazers. Reducties van dit soort gebieden en teruggang van het aantal grazende dieren leiden logischerwijs tot een minder omvangrijke mestfauna. In natuurgebieden gingen de soortdiversiteit en de dichtheden van mestkevers achteruit als gevolg van het stoppen met begrazen door schapen (Verdu et al., 2000). Begrazing in natuurgebieden door schapen had een aanmerkelijk positief effect op de gehele biodiversiteit in deze gebieden. In Italië werd aangetoond dat verwijdering van schapen uit een stedelijk groen gebied, waardoor enkel hondenpoep als mestbron aanwezig bleef, leidde tot een verarming van de soortendiversiteit met een factor 2 en een verlaging van de aantallen mestkevers met een factor 7 (Carpaneto et al., 2005). De auteurs verwachten dat de hondenpoep slechts een tijdelijke overlevingskans biedt voor op schapen gerichte mestkevers. Ze zullen verdwijnen als de schapen niet terugkomen.

Ook het type landbewerking heeft invloed op de mestfauna. Geiger (2004) haalt een studie aan van Sipel et al. (1990) waaruit blijkt dat intensief maaien en bemesten leidt tot aanwezigheid van kleinere insecten waardoor predatoren zoals weidevogels meer energie in het zoeken van hun voedsel moeten stoppen.

Tijdens de literatuurscan werd erg weinig informatie gevonden over de eisen die groepen mestfauna stellen aan het landschap. In sommige publicaties wordt een voorkeur van mestkevers voor open landschappen genoemd (zie § 3.4.1). Een schaduwrijke omgeving is echter weer geschikt voor vliegen omdat de mest dan langer vochtig blijft. De meeste vliegen komen namelijk niet door korsten op flatsen heen. Het is aannemelijk dat kleine landschapselementen gunstig zijn voor veel soorten mestfauna. Het landschap zal voldoende refugia moeten bieden voor de mestfauna in periodes wanneer geen of minder mest aanwezig is. Daarnaast zijn er groepen vliegen die naast mest ook andere substraten nodig hebben voor voedsel en voortplanting, zoals rottend plantenmateriaal bij sommige groepen Sepsidae (Pont & Meier, 2002).

5.2 Verminderde weidegang

De laatste jaren wordt gesignaleerd dat, veelal om economische redenen, steeds meer melkkoeien het hele jaar op stal worden gehouden. En bij koeien die wel de wei in gaan wordt de tijd die zij buiten spenderen korter doordat zij niet de gehele dag buiten grazen of slechts een kort seizoen. De weidegang van koeien loopt dus terug en naar het zich laat aanzien is dit een ontwikkeling die nog verder door zal gaan (van der Schans, 2000; Dierenbescherming/Natuur&Milieu., 2005). Vanuit diverse invalshoeken is dit een ongewenste ontwikkeling: welzijn van het dier,

aantrekkelijkheid van het landschap, emissie van ammoniak en imago van de melkveehouderij (van der Schans, 2000; van der Schans et al., 2006). Inmiddels is er dan ook een project in opdracht van LNV dat de bewustwording onder veehouders m.b.t. de weidegang stimuleert, 'Koe & Wij'.

Mestflatsen dragen bij aan de variatie in het weiland en mestvliegen en mestkevers profiteren hiervan (van der Schans, 2000). De afname van de weidegang is dus een ongunstige ontwikkeling voor de mestfauna in Nederland. Vermindering van de mestfauna door een teruglopende weidegang kan tevens zijn weerslag hebben op de voedselsituatie voor weidevogels en hun jongen (zie § 4.4). Ook het tijdstip van beweiding is belangrijk. Geiger (2004) stelt dat een late beweiding, vanaf juni, negatief is voor de grutto en kievit omdat dan geen vlaaien meer beschikbaar zijn als voedselbron voor de kuikens.

5.3 Toedieningswijze van mest

Vanwege de uitstoot van ammoniak worden boeren verplicht drijfmest (vaste mest plus gier) afkomstig van vee uit stallen emissiearm toe te dienen. Van der Weijden & Guldemond (2006) bediscussiëren het effect van de wijze van emissiearme mesttoediening op de bodemfauna (regenwormen) en mestfauna. Technieken die de bodem doorsnijden zoals zodenbemesting en mestinjectie zijn waarschijnlijk het meest versturend voor bodemdieren. Met de sleepvoetmachine of sleufkouter, waarmee de drijfmest tussen het gras wordt gebracht, wordt het bodemleven minder verstoord. Van der Weijden & Guldemond (2006) verwachten dat mest die op de grond wordt uitgereden meer vliegen aan zal trekken dan mest die in de grond wordt geïnjecteerd.

Ook het soort mest dat wordt toegediend aan weilanden in de landbouwkundige praktijk heeft invloed op het voorkomen van regenwormen. Bij een experiment in Groningen werd vastgesteld dat regenwormen een voorkeur hebben voor toediening van mest in de ruwe vorm (Timmerman et al., 2006). Dichtheden van regenwormen zijn lager als de mest wordt toegediend als drijfmest en als helemaal geen bemesting plaatsvindt. Er werd zelfs geen verschil in regenwormendichtheden vastgesteld tussen mesttoediening als drijfmest en geen bemesting.

5.4 Gebruik van diergeneesmiddelen

Naast factoren die de aanwezigheid en beschikbaarheid van mest als substraat voor mestfauna beïnvloeden zoals de weidegang en mestinjectie, is ook de kwaliteit van de mest van groot belang voor het functioneren van de mestfauna. Een van de meest bekende bedreigingen voor de vliegen en -kevers die van mest leven zijn ontwormingsmiddelen. Vee dat buiten graast kan besmet raken met diverse soorten parasitaire wormen die zich in de longen of het maag-darmkanaal nestelen. Om deze infecties te bestrijden of te voorkomen worden grazende landbouwhuisdieren behandeld met ontwormingsmiddelen. Er zijn verschillende soorten ontwormingsmiddelen. Een veel gebruikte en efficiënte groep is die van de macrocyclic lactonen waartoe bekende middelen als ivermectine, abamectine en

moxidectine behoren (de 'avermectines'). Een andere groep bestaat uit de zogenaamde benzamidazolen. Er bestaat een omvangrijke hoeveelheid wetenschappelijke literatuur uit buitenlandse studies naar de ecologische effecten van ontwormingsmiddelen. Vooral de macrocyclische lactonen worden na gebruik weer met de mest uitgescheiden. De mest kan hierdoor giftig worden voor de mestfauna die de besmette mestflatsen koloniseert (zie overzichten door o.a. Lumaret & Errouissi, 2002; Lahr, 2004; Floate et al., 2005). Er is door deskundigen internationaal en nationaal altijd veel gediscussieerd over de betekenis van deze bevindingen. Niet alle studies toonden effecten aan onder veldomstandigheden. In andere studies werd juist gevonden dat door het verdwijnen van de mestfauna zelfs de afbraak van mest in het veld ernstig vertraagd werd. Er zijn vele factoren die het al dan niet optreden van negatieve effecten kunnen beïnvloeden zoals het type toediening (injectie, oraal of op de huid), de dosis, het tijdstip en de frequentie van toediening (in relatie tot de seizoensgebonden activiteit van mestfauna) en klimatologische omstandigheden. Onlangs is door Alterra een klein onderzoek uitgevoerd naar ivermectine in de mest van grote grazers in natuurgebieden. De concentraties van dit middel bleken daags na toediening meestal boven de drempelwaarden voor toxische effecten op larven van mestvliegen en mestkevers te liggen (Lahr et al., 2007).

De ernst en omvang van het probleem met ontwormingsmiddelen zijn niet goed bekend. Zo is nog nauwelijks uitgezocht hoe de toxische effecten in mestflatsen doorwerken op de populaties van mestfaunasoorten in de tijd en in ruimtelijke zin. Daarnaast is ook nog nauwelijks onderzocht of de effecten doorwerken op predatoren die zich met mestfauna voeden. Als laatste is niet bekend wat het exacte verbruik van ivermectine en aanverwante middelen in Nederland is. Hierdoor is het moeilijk uitspraken te doen over de omvang en het belang van het probleem (Lahr, 2004). Het grote aantal toegelaten formuleringen van vooral ivermectine doet echter vermoeden dat het een veel gebruikt middel is.

Voor de beoordeling van de milieueffecten van diergeneesmiddelen ten behoeve van hun toelating op de markt bestaan internationale richtlijnen die recent zijn opgesteld. De beoordeling geschiedt in twee fasen. Fase 1 betreft een blootstellingschatting (VICH, 2000), Fase 2 een beoordeling van de effecten (VICH, 2004). Doordat dit zeer recente richtlijnen zijn is nog onduidelijk hoe effectief ze zijn in het beschermen van de ongewervelde mestfauna. Voor zover ons bekend is nog nooit een registratie van een diergeneesmiddel geweigerd op grond van de verwachte milieueffecten.

Voor de nadere beoordeling van de effecten in Fase 2 wordt op dit moment door een internationale groep onderzoekers gewerkt aan het ontwikkelen van laboratorium toxiciteitstesten met representatieve mestorganismen. Door deze 'Dung Organism Toxicity Test Standardization' groep (DOTTS) zijn onlangs testmethoden gepubliceerd voor de mestkever *Aphodius constans* (Scarabaeidae) (Hempel et al., 2006; Lumaret et al., 2007). Deze soort is wel afkomstig uit gematigde streken maar komt niet algemeen voor in Nederland. Er wordt ook een test met de Mediterrane soort *Onthophagus taurus* (Scarabaeidae) ontwikkeld. Daarnaast wordt gewerkt aan een protocol voor testen met de gele strontvlieg *Scathophaga stercoraria* (Scathophagidae) en

de herfstvlieg *Musca autumnalis* (Muscidae) (DOTTS, 2006; Römbke et al., 2006). Beide soorten zijn wijdverspreid in Europa, Azië, Afrika en Noord-Amerika.

6 Stimulerende maatregelen

De activiteit van de mestfauna is sterk seizoensgebonden en hangt eveneens sterk samen met klimatologische omstandigheden (Aisthorpe, 2007). Er zijn echter ook meerdere manieren waarop door boeren en andere beheerders van land een invloed op de mestfauna kan worden uitgeoefend. De mestfauna leeft in en op mest die door grazende landbouwhuisdieren wordt uitgescheiden. Beweiding of bemesting is dus een allereerste vereiste voor het voorkomen en stimuleren van mestfauna (o.a. van Wingerden et al., 2001; Timmerman et al., 2006). Daarnaast zijn er een aantal principes voor de bedrijfsvoering en specifieke maatregelen waarmee de mestfauna en haar bijdrage aan de ecologische diensten kunnen worden bevorderd. En dit komt de duurzaamheid van de landbouw ten goede. Tabel 1 geeft een overzicht van maatregelen en factoren uit de geraadpleegde literatuur waarvan de auteurs rapporteerden dat deze gunstig zijn voor de mestfauna en voor mestkevers in het bijzonder. Deze zijn grofweg in vier categorieën in te delen:

- maatregelen met betrekking tot de weidegang en het weidebeheer,
- wijze van bemesting en kwaliteit van de mest,
- omgevingsfactoren,
- maatregelen die de negatieve effecten van ontwormingsmiddelen reduceren.

Mestfauna profiteert van een bedrijfsvoering waarbij grazende dieren langere tijd in de wei verblijven en er genoeg mest van goede kwaliteit aanwezig is om de levenscyclus van ei tot volwassen organisme te voltooien. Verse mest is het meest geschikt voor de mestfauna. Een lange periode van weidegang is dus gunstig. Daarnaast kunnen vliegen en vooral mestkevers profiteren van een hoge begrazingsintensiteit en een juiste timing van beweidingscycli (inscharing). Het is verder aannemelijk dat de mestfauna, net zoals veel andere diergroepen, baat heeft bij een afwisselende omgeving met veel verschillende landschapselementen. Dit biedt refugia waar mestfauna kan overwinteren en periodes kan overbruggen dat er minder mest in het veld aanwezig is. Bosjes en houtwallen zorgen voor beschaduwing waardoor mest minder snel uitdroogt en rottende plantenresten kunnen als voedsel dienen voor minder in mest gespecialiseerde groepen, vooral bepaalde vliegen. Veel mestkevers houden juist van een meer open landschap. Kortom, een afwisselend landschap is dus waarschijnlijk goed voor een diverse mestfauna.

De laatste categorie maatregelen houdt specifiek verband met het reduceren van risico's voor de mestfauna die ontstaan door het gebruik van ontwormingsmiddelen bij landbouwhuisdieren, met name de macrocyclische lactonen. Er zijn vele factoren die bepalen in welke mate ontwormingsmiddelen in mest neveneffecten op de mestfauna veroorzaken (Lahr, 2004; Lahr et al., 2007). Deze factoren bieden echter ook handvaten om de ecologische risico's van het gebruik te verminderen. Er kan hierbij onderscheid worden gemaakt tussen maatregelen met betrekking tot het gebruik en de toediening van middelen, en maatregelen in de sfeer van kuddebeheer.

Tabel 1. Maatregelen en factoren op bedrijven of in de directe omgeving van bedrijven die een gunstig effect hebben op het voorkomen en de diversiteit van ongewervelde mestfauna en van mestkevers in het bijzonder.

| Maatregel/factor | Referenties |
|--|---|
| <i>Weidegang & weidebeheer</i> | |
| Voldoende weidegang in de zomerperiode. | van der Schans, 2000; Dierenbesch./Natuur & Milieu, 2005; van der Schans et al., 2006 |
| Gecontroleerde begrazing. Als er meer vee in een wei staat zijn mestkevers minder tijd en energie kwijt aan het zoeken van mest. | Thomas, 2001 |
| Beweidingscycli die de levenscycli van mestfauna weerspiegelen. Op deze manier is voldoende mest in het veld aanwezig op het moment dat de volwassen dieren (kevers) naar verse mest op zoek gaan. | Thomas, 2001 |
| Vershillende soorten grazende landbouwhuisdieren op hetzelfde bedrijf of in dezelfde omgeving. | Hutton & Giller, 2003; de Ridder, 2006 |
| Minder maaien en later maaien. Dit is gunstig voor grote insecten en ook voor jonge grutto's waar kleine insecten geschikt voedsel voor zijn. Te lang gras is echter ongunstig. | Siepel et al., 1990; van der Weijden & Guldemond, 2006 |
| <i>Bemesting & mestkwaliteit</i> | |
| Voldoende bemesting, maar niet te intensief want dan neemt de biodiversiteit en lichaamsgrootte van insecten weer af. | Siepel, 1990; van der Weijden & Guldemond, 2006 |
| Bemesting met ruige (vaste) mest. Drijfmest bevat mogelijk meer giftige stoffen als ammoniak en sulfiden. | van der Weijden & Guldemond, 2006 |
| Gebruik van veevoer van een goede kwaliteit, met weinig graan. | Hutton & Giller, 2003; Aisthorpe, 2007 |
| Geen mestinjectie of zodenbemesting. | van der Weijden & Guldemond, 2006 |
| Weinig of geen gebruik van kunstmest. | Hutton & Giller, 2003 |
| <i>Omgevingsfactoren</i> | |
| Een afwisselend 'patchy' landschap met schaduwrijke plekken waar mest minder snel uitdroogt. | Verdu et al., 2000; Hutton & Giller, 2003 |
| Ruige randen om de velden. | Hutton & Giller, 2003 |
| Een gunstige grondwaterstand. | Brussaard, 1983 |
| <i>Effecten ontwormingsmiddelen</i> | |
| Alleen ontwormen bij aantoonbare wormeninfectie en wanneer eitellingen in mest drempelwaarden overschrijden. | Lahr et al., 2007 |
| Alternatieve, minder schadelijke ontwormingsmiddelen gebruiken. | Aisthorpe, 2007; Lahr et al., 2007 |
| Vee behandelen wanneer mestfauna (mestkevers) minder actief is. | Aisthorpe, 2007 |
| Een aangepaste toedieningswijze. Het gebruik van zogenaamde 'sustained-release' bolussen vermijden. | Lumaret & Errouissi, 2002; CLM, 2005 |
| Dieren na behandeling bij elkaar of in één wei houden. | Lahr et al., 2007 |
| Infecties vermijden door lagere dichtheden van het vee te hanteren en dieren regelmatig naar schone, niet recent beweidde percelen over te brengen. | Lahr et al., 2007 |

De literatuur is te fragmentarisch om op dit moment precies aan te kunnen geven welke maatregelen ter stimulering van mestfauna en haar ecologische diensten in de praktijk het meest kansrijk zullen zijn. Als aan de primaire eisen met betrekking tot beweiding en/of bemesting is voldaan, blijft nog steeds een groot aantal potentiële maatregelen over. De effectiviteit hiervan dient te worden onderzocht in de context van de Nederlandse landbouw, met name in de melkveehouderij (verse mest) en de intensieve veehouderij (drijfmest). Voor de melkveehouderij zijn waarschijnlijk de weidegang, het begrazingsregime en de veevoederkwaliteit het meest relevant. Voor de drijfmest uit de intensieve veehouderij dient sowieso te worden nagegaan of mestfauna een rol speelt bij de afbraak hiervan en zo ja, wat dan het effect is van de verspreidingswijze (injectie en zodenbemesting versus oppervlakkige verspreiding).

Voordat echter wordt overgegaan tot het aanbevelen van bepaalde maatregelen zal allereerst voor de Nederlandse praktijk moeten worden gekwantificeerd welke groepen mestfauna in welke mate aan de verwerking en afbraak van mest bijdragen. Mestkevers komen niet overal in gelijke mate voor en hebben een voorkeur voor drogere (zand)gronden. Misschien dat de meest kansrijke maatregelen daarom per type gebied verschillend zijn. Pas als de relatieve bijdrage van de verschillende groepen dieren in de meest gangbare landbouwsystemen en agrarische habitats bekend is, met name de bijdrage van regenwormen in verhouding tot mestkevers en mestvliegen, kan worden vastgesteld hoe de afbraak van mest het beste gestimuleerd kan worden.

Veel van de maatregelen en suggesties die in dit hoofdstuk zijn gegeven sluiten aan bij een minder intensieve en meer biologische bedrijfsvoering. Uit het weinige onderzoek dat hiernaar is gedaan blijkt inderdaad dat de biomassa en de soortenrijkdom van de mestfauna op biologische bedrijven mogelijk groter is dan op conventionele bedrijven (Hutton & Giller, 2003; Geiger, 2004). Dit verdient echter nadere onderbouwing.

Er dient verder op te worden gewezen dat maatregelen uit dit hoofdstuk die gunstig zijn voor insecten in mest en voor regenwormen ook positief uitwerken voor sommige gewervelde dieren, met name de weidevogels. Bemesting bijvoorbeeld heeft een grote invloed op zowel de larvale als adulte mestfauna en op de juiste manier bemesten kan een belangrijke invloed hebben op de voedselbeschikbaarheid voor de grutto. Het rapport door van der Weijden & Guldmond (2006) geeft aan dat bemesting met ruwe mest (koeienflatsen) een positief effect heeft op zowel regenwormen als op het voorkomen van strontvliegen indien deze mest in bepaalde hoeveelheden en in bepaalde tijden in het jaar aanwezig is (een te hoge dichtheid vee kan echter ook leiden tot vertrapping van nesten; Geiger, 2004).

7 Conclusies & aanbevelingen

7.1 Conclusies op hoofdlijnen

De literatuurscan maakt duidelijk dat de ongewervelde mestfauna uit een groot aantal en taxonomisch diverse groepen dieren bestaat. De meest karakteristieke en gespecialiseerde groepen, en die waarvan hun relatie met mest het beste beschreven is, zijn de mestkevers en bepaalde groepen vliegen. Ook veel andere groepen ongewervelden komen in mest voor, bijvoorbeeld regenwormen en mijten, maar vanwege de uitgebreide literatuur over de eerste twee groepen is het rapport vooral gefocust op mestkevers en -vliegen. Deze hebben een levenswijze die geheel is afgestemd op mest als substraat en voedsel. In de voorgaande hoofdstukken is deze levenswijze besproken

Opvallend is het relatief kleine aantal publicaties dat de ongewervelde mestfauna in Nederland als onderwerp heeft. Er zijn wel taxonomische publicaties over bepaalde groepen, maar de invalshoek van mest als (micro)habitat wordt zelden gehanteerd. Een compleet overzicht van het voorkomen van soortgroepen en afzonderlijke soorten in Nederland ontbreekt. Er is dus niet precies bekend hoe omvangrijk de Nederlandse mestfauna is en wat de belangrijkste soorten zijn voor de ecologische diensten.

Verdere literatuurstudie richtte zich op het ecologisch functioneren van de ongewervelde mestfauna. Vooral voor mestkevers is dit goed beschreven. Door hun (graaf)activiteiten vervullen zij een nuttige rol bij de afbraak van mest, reduceren zij ammoniakemissies en bevorderen zij indirect gewasgroei. Een snelle afbraak van mest zorgt voor een verminderde infectiegraad van weiden met maagdarmparasieten van vee. De kevers hebben ook een gunstig effect op de bodemstructuur en hun graafgedrag belemmert de ontwikkeling van larven van plaagvliegen in mest.

Het ecologisch functioneren van mestkevers draagt op deze wijze bij aan ecologische diensten zoals natuurlijke bodemvruchtbaarheid, plaag- en ziektevering en dragend vermogen van de bodem. Over de nuttige functies van de vliegen is veel minder bekend. Sommige publicaties maken melding van hun nuttige rol bij de afbraak van mest, echter zonder concreet aan te geven welke rol dit is. Mogelijk zorgen mestvliegen voor de verspreiding van de juiste schimmels en bacteriën die mest afbreken.

In veel publicaties wordt ook de belangrijke rol van regenwormen bij de afbraak van mest genoemd. Volgens sommigen is deze veel groter dan die van mestkevers. Anderen spreken echter van een gelijke bijdrage. In welke mate regenwormen en mestkevers bijdragen aan de afbraak van mest zal mede samenhangen met bodemsoort, bodemgebruik, omgevingsfactoren en klimaat en dus met het gebied waar men zich in Nederland bevindt. Kennis hierover ontbreekt echter.

Belangrijke bedreigingen voor de mestfauna in Nederland zijn afname van geschikte weidegebieden, afnemende weidegang van melkvee, te intensieve bedrijfsvoering, injectie van drijfmest en zodenbemesting, en gebruik van ontwormingsmiddelen. Daarentegen zijn er ook tal van 'best practice' maatregelen mogelijk om deze bedreigingen te verminderen en gunstige omstandigheden te creëren voor het functioneren van de mestfauna. Deze kunnen betrekking hebben op (1) de weidegang en het weidebeheer, (2) de wijze van bemesting en kwaliteit van de mest, (3) omgevingsfactoren, en (4) reductie van de schadelijke effecten van ontwormingsmiddelen. Welke maatregelen in de Nederlandse landbouw het meest effectief zullen zijn voor het stimuleren van de ecologische diensten door mestfauna valt zonder nader onderzoek niet met zekerheid te zeggen.

7.2 Aanbevelingen voor onderzoek

Uit de literatuurscan spreekt een duidelijke suggestie dat de ecologische diensten van mestfauna kunnen bijdragen aan de verduurzaming van de Nederlandse landbouw. Door middel van onderzoek zal moeten worden nagegaan hoe groot deze bijdrage precies kan zijn en hoe zij het meest effectief gestimuleerd kan worden ten behoeve van de transitie naar een duurzamere landbouw. Er zijn nog verschillende kennislacunes die hiervoor dienen te worden opgevuld. Deze hebben vooral betrekking op de specifiek Nederlandse situatie.

Om het functioneren van mestfauna in de Nederlandse landbouw beter te kunnen stimuleren via bedrijfsgerichte maatregelen zal een meerjarig onderzoek nodig zijn met experimentele veld- en laboratoriumcomponenten. Dit onderzoek dient vooral gericht te worden op het bevorderen van gezonde cycli van organische stof en nutriënten en zou de volgende onderdelen kunnen bevatten.

- *Relatieve bijdrage* van de belangrijkste groepen mestfauna aan de afbraak van mest (kwantitatief):
 - regenwormen,
 - mestkevers,
 - mestvliegen.Bepaling van de functioneel belangrijkste soorten en de mogelijke interacties tussen de groepen en soorten (synergie).
- *Factoren* die de relatieve bijdrage van faunagroepen en de afbraaksnelheid van mest beïnvloeden:
 - type gebied (weiden, akkers),
 - grondsoort (veen, zand),
 - vochtigheid bodem,
 - type mest (ruwe mest, drijfmest).
- *Prioriteren van knelpunten* voor het functioneren van mestfauna in de huidige landbouw.

- Afleiden van de *meest kansrijke maatregelen* op bedrijfsniveau ter stimulering van mestfauna op basis van de knelpuntenanalyse. Bepalen van de efficiëntie van geselecteerde maatregelen in de praktijk, bijvoorbeeld:
 - periode van de weidegang (melkvee),
 - kwaliteit van het voer,
 - wijze van verspreiding/injectie (drijfmest).

Verscheidene van de te onderzoeken maatregelen kunnen in principe ook een positief effect hebben op de bodemstructuur, gewasproductie en de natuurlijke wering van ziekten en plagen in vee.

Literatuur

- Aisthorpe J., 2007. Dung beetles. Biology and life cycles. Queensland Government, Australia. <http://www2.dpi.qld.gov.au/beef/13129.html>
- Anderson J.M. & M.J. Coe, 1974. Decomposition of elephant dung in an arid, tropical environment. *Oecologia* 14: 111-125.
- Anoniem, 1997. Heroes of the pasture. Convincing the USDA of the soil-improving value of dung beetles. *Acres U.S.A.*: 26-28.
- Atiyeh R.M., J. Dominguez, S. Subler & C.A. Edwards, 2000. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44: 709-724.
- Baker G.H., P.J. Carter & V.J. Barrett, 1999. Survival and biomass of exotic earthworms, *Aporrectodea* spp. (Lumbricidae), when introduced to pastures in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 50: 1233-1245.
- Bang H.S., J.-H. Lee, O.S. Kwon, Y.E. Na, Y.S. Jang & W.H. Kim, 2005. Effects of paracoprid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on the growth of pasture and on the underlying soil. *Applied Soil Ecology* 29: 165-171.
- Beintema A.J., J.B. Thissen, D. Tensen & G.H. Visser, 1991. Feeding ecology of Charadriiform chicks in agricultural Grassland. *Ardea* 79: 31-43.
- Bertone M., W. Watson, M. Stringham, J. Green, S. Washburn, M. Poore & M. Hucks, niet gedateerd. Dung beetles of central and eastern North Carolina cattle pastures. North Carolina State University, Raleigh, NC, USA. <http://www.cals.ncsu.edu/entomology/guidetondungbeetles.pdf>
- Beuk P.L.T., 2002. Checklist of the Diptera of the Netherlands. KNNV Uitgeverij, Utrecht.
- Beuk P.L.T. & V.S. van der Goot, 2002. Family Sepsidae. In P. L. T. Beuk (Ed.): Checklist of the Diptera of the Netherlands. KNNV Uitgeverij, Utrecht: 255-257.
- Borghesio L., M. Luzzatto & C. Palestrini, 1999. Interactions between dung, plants and the dung fauna in a heathland in northern Italy. *Pedobiologia* 43: 91-109.
- Bornemissza G.F., 1976. The Australian dung beetle project 1965-1975. *Australian Weed Research Committee Review* 30: 1-30.

- Boyd J.M., 1958. The ecology of earthworms in cattle-grazed machair in Tiree, Argyll. *The Journal of Animal Ecology* 27: 147-157.
- Brussaard L., 1983. Mestkevers maken de kringloop rond. *Landbouwkundig Tijdschrift* 95: 27-31.
- Brussaard L., 1986. Effecten van mestkevers op de bodemstructuur. *Vakblad voor Biologen* 4: 78-81.
- Cambefort Y. & I. Hanski, 1991. Dung beetle population biology. In I. Hanski & Y. Cambefort (Ed.): *Dung Beetle Ecology*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA: 36-50.
- Carpaneto G.M., A. Mazziotta & E. Piattella, 2005. Changes in food resources and conservation of scarab beetles from sheep to dog dung in a green urban area of Rome (Coleoptera, Scarabaeoidea). *Biological Conservation* 123: 547-556.
- Chirico J., S. Wikteliuss & P.J. Waller, 2003. Dung beetle activity and the development of trichostrongylid eggs into infective larvae in cattle faeces. *Veterinary Parasitology* 118: 157-163.
- Cicolani B., 1992. Macrochelid mites (Acari: Mesostigmata) occurring in animal droppings in the pasture ecosystem in central Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 40: 47-60.
- CLM, 2005. Ontwormen met verstand voor vee en natuur. Centrum Landbouw en Milieu, Culemborg. <http://www.clm.nl/publicaties/data/ontworming.pdf>
- de Jong H., 2002. Family Scathophagidae. In P. L. T. Beuk (Ed.): *Checklist of the Diptera of the Netherlands*. KNNV Uitgeverij, Utrecht: 334-337.
- de Ridder A., 2006. Invloed begrazingsregime op mestkevers. Studentenverslag, Hogeschool InHolland Delft, in opdracht van PWN. Delft.
- Denholm-Young P.A., 1978. Studies of decomposing cattle dung and its associated fauna. Thesis, D. Phil. Oxford University, UK.
- Dickinson C.H., V.S.H. Underhay & V. Ross, 1981. Effect of season, soil fauna and water content on the decomposition of cattle dung pats. *New Phytologist* 88: 129-141.
- Dierenbescherming/Natuur&Milieu., 2005. Koe zoekt wei. Een beschrijving van het belang van weidegang en maatregelen om weidegang te behouden. Nederlandse Vereniging tot Bescherming van Dieren/Stichting Natuur en Milieu, Den Haag.

- DOTTS, 2006. Proposal for a new guideline determination of developmental toxicity of a test chemical to dipteran dung flies (*Scathophaga stercoraria* L. (Scathophagidae), *Musca autumnalis* De Geer (Muscidae)). DOTTS (Dung Organism Toxicity Testing Standardisation) Group.
- Doube B.M., O. Schmidt, K. Killham & R. Correll, 1997. Influence of mineral soil on the palatability of organic matter for *Lumbricus* earthworms: A simple food preference study. *Soil Biology and Biochemistry* 29: 569-575.
- EC, 2006. Thematische strategie voor bodembescherming. Mededeling van de Commissie aan de Raad, het Europees Parlement, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's. COM(2006)231 definitief Commissie van de Europese Gemeenschappen. Brussel.
- Finn J.A. & P.S. Giller, 2000. Patch size and colonisation patterns: an experimental analysis using north temperate coprophagous dung beetles. *Ecography* 23: 315-327.
- Finn J.A. & T. Gittings, 2003. A review of competition in north temperate dung beetle communities. *Ecological Entomology* 28: 1-13.
- Floate K.D., K.G. Wardhaugh, A.B.A. Boxall & T.N. Sherratt, 2005. Fecal residues of veterinary paraciticides: Nontarget effects in the pasture environment. *Annual Review of Entomology* 50: 153-179.
- Geiger F., 2004. Invloed van bedrijfsvoering op de insectensamenstelling van koeienvlaaien. Over het kuiken en de vlaai. Doctoraalscriptie, Wageningen Universiteit, Wageningen.
- Hackman W., 1956. The scathophagidae (Dipt.) of eastern Fennoscandia. Zoological Museum of Helsingfors University, Helsinki, Finland.
- Hanski I., 1991. The dung insect community. In I. Hanski & Y. Cambefort (Ed.): *Dung Beetle Ecology*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey: 5-21.
- Heijerman T., 1990. Seasonal changes in the relative abundance of some dung beetle species in faeces of the wild boar and mouflon (Coleoptera: Scarabaeoidea). *Entomologische Berichten* 50: 81-86.
- Hempel H., A. Scheffczyk, H.-J. Schallna & J.-P. Lumaret, 2006. Toxicity of four veterinary parasiticides on larvae of the dung beetle *Aphodius constans* in the laboratory. *Environmental Toxicology and Chemistry* 25: 3155-3163.
- Hendriksen N.-B., 1997. Earthworm effects on respiratory activity in a dung-soil system. *Soil Biology and Biochemistry* 29: 347-351.

- Hennig W., 1964. 63b. Muscidae. B. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Duitsland.
- Holter P., 1977. An experiment on dung removal by *Aphodius* larvae (Scarabaeidae) and earthworms. *Oikos* 28: 130-136.
- Holter P., 1979. Effect of dung beetles (*Aphodius* spp.) and earthworms on the disappearance of cattle dung. *Oikos* 32: 393-402.
- Horgan F.-G. & S.-D. Berrow, 2004. Hooded crow foraging from dung pats: Implications for the structure of dung beetle assemblages. *Biology and Environment* 2: 119-124.
- Hutton S.A. & P.S. Giller, 2003. The effects of the intensification of agriculture on northern temperate dung beetle communities. *Journal of Applied Ecology* 40: 994-1007.
- Jagers op Akkerhuis G.A.J.M. & H. Siepel, 2001. Wormengif bedreigt mestfauna. Oproep voor meer onderzoek. *De Levende Natuur* 102: 278-279.
- Jones G., 1990. Prey selection by the Greater Horseshoe Bat (*Rhinolophus ferrumequinum*): optimal foraging by echolocation? *The Journal of Animal Ecology* 59: 587-602.
- Kirk A.A., 1992. The effect of the dung pad fauna on the emergence of *Musca temepsiva* (Dipt.: Muscidae) from dung pads in southern France. *Entomophaga* 37: 507-514.
- Koskela H., 1972. Habitat selection of dun-inhabiting Staphylinids (Coleoptera) in relation to age of dung. *Annales Zoologici Fennici* 9: 156-171.
- Krantz G.W., 1983. Mites and biological control agents of dung-breeding flies, with special reference to the Macrochelidae. In A. Hoy, G. L. Cunningham & L. Knutson (Ed.): *Biological control of pests by mites*. M.. Special Publication 3304, University of California, Berkeley, CA, USA.
- Krikken J., 1978. Interessante Aphodius-soorten (Coleoptera: Scarabaeoidea) uit mest van Nederlands grofwild. *Zoologische Bijdragen* 23: 137-147.
- Lahr J., 2004. Ecologische risico's van diergeneesmiddelengebruik. Rapport nr. 976, Alterra, Wageningen.
- Lahr J., R. van Kats & S. Crum, 2007. Ontwormingsmiddelen in de natuur. *Vakblad Natuur, Bos, Landschap*, Februari 2007: 22-23.
- Laurence B.R., 1954. The larval inhabitants of cow pats. *The Journal of Animal Ecology* 23: 234-260.

- Lee C.M. & R. Wall, 2006. Cow-dung colonization and decomposition following insect exclusion. *Bulletin of Entomological Research* 96: 315-322.
- Losey J.E. & M. Vaughan, 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience* 56: 311-323.
- Lumaret J.-P., M. Alvinerie, H. Hempel, H.-J. Schallna, D. Claret & J. Römbke, 2007. New screening test to predict the potential impact of ivermectin-contaminated cattle dung on dung beetles. *Veterinary Research* 38: 15-24.
- Lumaret J.-P. & F. Errouissi, 2002. Use of anthelmintics in herbivores and evaluation of risks for the non target fauna of pastures. *Veterinary Research* 33: 547-562.
- Lumaret J.-P. & O. Iborra, 1996. Separation of trophic niches by dung beetles (Coleoptera, Scarabaeoidea) in overlapping habitats. *Pedobiologia* 40: 392-404.
- Lumaret J.-P. & N. Kadiri, 1995. The influence of the first wave of colonizing insects on cattle dung dispersal. *Pedobiologia* 39: 506-517.
- MacDiarmid B.N. & B.R. Watkin, 1972. The cattle dung patch. 2. Effect of a dung patch on the chemical status of the soil, and ammonia nitrogen losses from the patch. *Journal of the British Grassland Society* 27: 43-48.
- McAney C.M. & J.S. Fairley, 1989. Analysis of the diet of the lesser horseshoe bat *Rhinolophus hipposideros* in the West of Ireland. *Journal of Zoology* 217: 491-498.
- McCracken D.I., 1993. The potential for avermectins to affect wildlife. *Veterinary Parasitology* 48: 273-280.
- Nansen P., J. Gronvold, R.J. Jorgensen, S.A. Henriksen, J. Foldager & K. Sejrsen, 1989. Outbreaks of early-season richostrongylosis in calves in Denmark. *Veterinary Parasitology* 32: 199-211.
- Olechowicz E., 1974. Analysis of a sheep pasture ecosystem in the pieniny mountains (the Carpathians). X. Sheep dung and the fauna colonizing it. *Ekologia Polska* 22: 589-616.
- Oosterbroek P., H. de Jong & L. Sijstermans, 2005. De Europese families van muggen en vliegen. Determinatie, diagnose, biologie. KNNV Uitgeverij, Utrecht.

- Parker G.A., 1978. Searching for mates. Chapter 8. In J. R. Krebs & N. B. Davies (Ed.): *Behavioural ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK: 214-244.
- Pont A.C. & R. Meier, 2002. The Sepsidae (Diptera) of Europe. E.J Brill, Leiden.
- Prijs H.J., 2002. Family Muscidae. In P. L. T. Beuk (Ed.): Checklist of the Diptera of the Netherlands. KNNV Uitgeverij, Utrecht: 324-333.
- Putman R.J., 1983. Carrion and dung. The decomposition of animal wastes. Edward Arnold Limited, London, UK.
- Ransome R.D., 1996. The management areas of feeding areas for greater horseshoe bats. English Nature Research Reports no. 174, School of Biological Sciences, University of Bristol, Bristol, UK.
- Ransome R.D. & M. Hutson, 2000. Action plan for the conservation of the greater horseshoe bat in Europe (*Rhinolophus ferrumequinum*). Report no. 109, Council of Europe, Nature and Environment, Straatsburg, Frankrijk.
- Richards O.W., 1930. The British species of Spaeroceridae. Messrs. Longmans, Green and Co, London, UK.
- Ridsdill-Smith J., 1991. Competition in dung breeding insects. In W. J. Bailey & J. Ridsdill-Smith (Ed.): *Reproductive behaviour of insects*. Chapman & Hall, London, UK: 264-292.
- Rodriguez I., G. Crespo, S. Fraga, C. Rodriguez & D. Prieto, 2003. Activity of the mesofauna and the macrofauna in dung patches during their decomposition process. Cuban Journal of Agricultural Science 37: 315-322.
- Rognes K., 1991. Blowflies (Diptera, Calliphoridae) of Fennoscandia and Denmark. Scandinavian Science Press Ltd., Leiden.
- Roháček J. & P.L.T. Beuk, 2002. Family Spaeroceridae. In P. L. T. Beuk (Ed.): *Checklist of the Diptera of the Netherlands*. KNNV Uitgeverij, Utrecht: 293-297.
- Römbke J., K. Barrett, J. Gray, S. Knäbe, J. Lehnhus, B. Rozenkranz, T. Skine, A. Scheffczyk, T. Schmidt & A. Sharples, 2006. Draft results of an international ring test according to the draft guideline Determination of development toxicity of a test chemical to dipteran dun flies (*Scathophaga stercoraria* L. (Scathophagidae), *Musca autumnalis* De Geer (Muscidae)). DOTTS (Dung Organism Toxicity Testing Standardisation) Group.
- Shiel C.B., P.L. Duvergé, P. Smiddy & J.S. Fairley, 1998. Analysis of the diet of Leisler's bat (*Nyctalus leisleri*) in Ireland with some comparative analysis from England and Germany. Journal of Zoology 246: 417-425.

- Shiel C.B., C.M. McAney & J.S. Fairley, 1991. Analysis of the diet of Natterer's bat *Myotis nattereri* and the common long-eared bat *Plecotus auritus* in the West of Ireland. *Journal of Zoology*. 223: 299-305.
- Siepel H., 1990. The influence of management on food size in the menu of insectivorous animals. *Proceedings of Experimental and Applied Entomology* 1, N.E.V., Amsterdam.
- Siepel H., J. Meijer, A.A. Mabelis & M.H. den Boer, 1989. A tool to assess the influence of management practices on grassland surface macrofaunas. *Journal of Applied Entomology* 108: 271-290.
- Siepel H., P.A. Slim, M.J. Meijer & H.A.H. Wijnhoven, 1990. Effecten van verschillen in mestsoort en grondwaterstand op vegetatie en fauna van klei-op-veen graslanden in de Alblasserwaard. Rapport nr. 90/8, Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN), Arnhem.
- Siepel H. & C.F. van de Bund, 1988. The influence of management practices on the microarthropod community of grassland. *Pedobiologia* 31: 339-354.
- Skidmore P., 1991. Insects of the British cow-dung community. *Field Studies Council*, Shrewsbury, UK.
- Sudhaus W., 1981. Successions of nematodes in cow droppings. *Pedobiologia* 21: 271-297.
- Thomas M.L., 2001. Dung beetle benefits in the pasture ecosystem. <http://attra.ncat.org/attra-pub/PDF/dungbeetle.pdf>
- Timmerman A., D. Bos, J. Ouwehand & R.G.M. de Goede, 2006. Long-term effects of fertilisation regime on earthworm abundance in a semi-natural grassland area. *Pedobiologia* 50: 427-432.
- Tyndale-Biscoe M., 1990. Common dung beetles in pastures of south-eastern Australia. *CSIRO Publishing*, Collingwood, VIC., Australië.
- van der Goot V.S., 1985a. De Sepsidae van Nederland, 1856-1984 (Diptera). 1. Literatuur van de Nederlandse fauna en de determinatie van voor 1939. *Entomologische Berichten* 45: 139-144.
- van der Goot V.S., 1985b. De Sepsidae van Nederland, 1856-1984 (Diptera). 2. Mijn eigen determinaties, enkele gevolgtrekkingen daaruit en enige vergelijkende aantekeningen van Belgische fauna. *Entomologische Berichten* 45: 177-182.
- van der Goot V.S., 1986. De Sepsidae van Nederland, 1856-1984 (Diptera). 3. Catalogus van de Nederlandse Sepsidae. *Entomologische Berichten* 46: 1-6.

- van der Schans F.C., 2000. Koeien binnen of buiten? Afwegingen bij het weiden van melkvee. Centrum voor Landbouw en Milieu, Culemborg.
- van der Schans F.C., N. Oerlemans & E. van Well, 2006. Nulmeting Koe & Wij. Rapport nr. CLM 647-2006, CLM Onderzoek en Advies BV, Culemborg..
- van der Weijden A.G.G. & J.A. Guldemon, 2006. Wormenland en Vliegjesland. Bemesting in relatie tot voedsel voor de Grutto. Rapport nr. CLM 646-2006, CLM Onderzoek en Advies BV, Culemborg.
- van Wingerden W.K.R.E., M. Nijssen, P.A. Slim, J. Burgers, G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, N. A.P., G.F.P. Martakis, H. Esselink, W.J. Dimmers & R.J.M. van Kats, 2001. Evaluatie van zeven jaar runderbegrazing in duinvallen op Vlieland. Rapport nr. 375, Alterra, Wageningen.
- Verdu J.R., M.B. Crespo & E. Galante, 2000. Conservation strategy of a nature reserve in Mediterranean ecosystems: the effects of protection from grazing on biodiversity. *Biodiversity and Conservation* 9: 1707-1721.
- VICH, 2000. Environmental impact assessment (EIAs) for veterinary medicinal products (VMPs) - Phase I. International Cooperation on Harmonisation of Technical Requirements for registration of Veterinary Medicinal Products (VICH). VICH GL6 (Ecotoxicity Phase II). VICH, Brussel, België.
- VICH, 2004. Environmental impact assessment for veterinary medicinal products. Phase II Guidance. International Cooperation on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Veterinary Medicinal Products (VICH). VICH GL38 (Ecotoxicity Phase II). VICH, Brussel, België.
- Wassmer T., 1995. Selection of the spatial habitat of Coprophagous beetles in the Kaiserstuhl area near Freiburg. *Acta Oecologica* 16: 461-478.
- Webb L., 2004. The impact of avermectin usage on the ecology of dung insect communities and the potential implications for foraging birds. PhD-thesis, University of Glasgow, Land Economy and Environmental Research Group, Glasgow, Schotland, UK, 187 pp.
- White E., 1960. The distribution and subsequent disappearance of sheep dung on pennine moorland. *The Journal of Animal Ecology* 29: 243-250.
- Wiens J.A. & B.T. Milne, 1989. Scaling of landscapes in landscape ecology or landscape ecology from a beetle's perspective. *Landscape Ecology* 3: 87-96.