



Dieper graven naar het belang van regenwormen in duurzaam akkerbeheer

Een toolkit voor ecologische erosiecontrole

Colofon

Auteurs

ir. Jan Valckx, Prof. Dr. Gerard Govers, Prof. Dr. Martin Hermy, Prof. Dr. ir. Bart Muys

Departement Aard- en Omgevingswetenschappen
Katholieke Universiteit Leuven
Celestijnenlaan 200E, bus 2411
BE-3001 Leuven

Financiering

Deze toolkit werd ontwikkeld in het kader van het project Landbouwkundig Onderzoek 040681 “ECOWORM — Erosiecontrole in akkerland door het beheer van regenwormgemeenschappen”, gefinancierd door het Instituut voor de Aanmoediging van Innovatie door Wetenschap en Technologie (IWT). Dit project werd medegefinancierd door Syngenta Ltd.

Meer info

Deze toolkit is ook digitaal beschikbaar op de website www.ecoworm.be of kan op eenvoudig verzoek digitaal worden verkregen via sofie.bruneel@ees.kuleuven.be.

Wijze van citeren

Valckx J., Govers G., Hermy M., Muys B., 2009. Dieper graven naar het belang van regenwormen in duurzaam akkerbeheer - een toolkit voor ecologische erosiecontrole, Departement Aard- en omgevingswetenschappen, K.U.Leuven, 34 p.

ISBN

978-90-8826-121-3

Wettelijk depot

D/2009/11.109/38

Disclaimer

De auteurs kunnen niet aansprakelijk gesteld worden voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van gegevens of door toepassing van methodes en adviezen in deze publicatie.

Inhoudstafel

Colofon	
Inhoudstafel	
Inleiding	4
Leeswijzer	6
Module 1 Algemene biologie en ecologie van regenwormen	8
Module 2 Bemonstering van regenwormen	12
Module 3 Bodemerosie door water	16
Module 4 Identificatie van regenwormen en interpretatie	20
Module 5 Erosiecontrole door regenwormen	24
Module 6 Regenwormvriendelijk akkerbeheer	30
Bronvermelding	34

Inleiding

Duurzaamheid

Doorheen de geschiedenis, maar vooral tijdens de laatste decennia, hebben technologische innovaties door de mens (bv. mechanisering, meststoffen, biociden, gentechnologie) het mogelijk gemaakt de landbouwproductie op te drijven en wereldwijd steeds meer monden te voeden. De bezorgdheid groeit echter dat deze doorgedreven intensivering van de landbouw op termijn gevolgen kan hebben op het productieniveau van goederen en diensten door de landbouw, op de economische leefbaarheid van landbouwbedrijven, en op de beschikbaarheid en de kwaliteit van natuurlijke hulpbronnen. Zodoende wordt **duurzaamheid** nu gezien als een cruciale eigenschap van landbouwsystemen, en is de evaluatie van die duurzaamheid een belangrijke taak geworden van onderzoekers, beleidsmakers en landbouwers.

Bedreigingen van de bodem als natuurlijke hulpbron

De **bodem**, de dunne toplaag van de aardkorst waarin planten kunnen groeien, is een essentiële hulpbron. Zonder een voldoende hoeveelheid bodem van voldoende kwaliteit is geen betrouwbare voedsel- en biomassaproductie mogelijk. De bodem oefent ook een belangrijke bufferende, filterende en transformerende functie uit op water- en stofstromen. Verder herbergt de bodem een ongekend hoge diversiteit aan levende wezens, zonder dewelke de bodem een deel van zijn functies zou verliezen.

Helaas komt de bodem als **hulpbron** steeds meer onder druk te staan. Door suboptimaal beheer en intensief gebruik wordt een gestage afname in het koolstofgehalte vastgesteld. Er zijn ook duidelijke aanwijzingen dat de bodembiodiversiteit achteruitgaat. Steeds meer bodems hebben te kampen met verdichting of worden verzegeld met harde, ondoorlatende materialen. Door het onoordeelkundig gebruik en verspreiding van agro- en andere chemicaliën geraken steeds meer bodems vervuild met milieuvreemde stoffen.

Bodemerrosie

Bodemerrosie vormt momenteel een van de grootste bedreigingen voor de landbouwbodems van Europa en Vlaanderen. Onder meer water, wind, bodembewerkingen, en het oogsten van wortelgewassen liggen aan de grondslag van het wijdverspreide fenomeen van bodemerrosie in Vlaanderen, die ten gevolge van de klimaatsverandering nog kan toenemen. Hoewel bewerkingserosie en bodemexport bij het oogsten van wortelgewassen in Vlaanderen qua intensiteit minstens even belangrijke processen zijn als bodemerrosie door regenwater, heeft dit laatste proces een meer ingrijpende milieu-impact, aangezien een groot gedeelte van het losgemaakte sediment door het afstromend water terecht komt in beken, rivieren of omgevende infrastructuur.

Binnen een landbouwperceel leidt bodemerrosie door water **op korte termijn** tot lagere en minder homogene gewasopbrengsten en **op langere termijn** tot een verlies van de vruchtbare bodemtoplaag. **Stroomafwaarts** veroorzaakt sedimentaanvoer op termijn een verminderde bevaarbaarheid van waterlopen en een lager bufferend vermogen van rivieren en wachtbekkens, waardoor de kans op modderoverlast en overstromingen bij hevige neerslag toeneemt, met particuliere en publieke schade als gevolg. Sediment en meegeërodeerde vervuilende stoffen, zoals gewasbeschermingsmiddelen en meststoffen, geven aanleiding tot vervuiling en eutrofiëring van het oppervlaktewater.

Een breed gamma aan **erosiebestrijdingsmaatregelen** staat ter beschikking van de landbouwers en vele worden ondersteund door subsidies. Deze maatregelen worden in vier categorieën ingedeeld: cultuurtechnische (bv. niet-kerende bodembewerking), vegetatieve (bv. grasstroken), structurele (bv. sedimentvang) en bodemgebruiksmatregelen (bv. braaklegging). Een algemeen

principe is dat brongerichte maatregelen de voorkeur verdienen boven symptoomgerichte erosiebestrijdingsmaatregelen.

Ecologische erosiecontrole

Tot nu toe werd vanuit het beleid en in de praktijk door een gebrek aan kennis en inzichten weinig aandacht besteed aan het **potentieel van ecologische erosiecontrole**, dit is de bescherming van de bodem tegen watererosie door gebruik te maken van bodemorganismen zoals regenwormen. Nochtans zijn er sterke aanwijzingen dat regenwormen, wanneer in voldoende getale aanwezig, een beduidende impact kunnen hebben op de bodemorganisatie (bv. kruimelstructuur, water- en luchthuishouding) en de processen die zich erin afspelen (bv. vorming stabiele bodemaggregaten, vrijzetten stikstof). Vandaar dat regenwormen ook wel **bodemingenieurs** worden genoemd ('ecosystem engineers' in de Engelstalige literatuur). Met de opkomst van minder intensieve productiesystemen, zoals conserveringslandbouw en biologische landbouw, zouden regenwormen bovendien terug een grotere regulerende rol kunnen spelen in het efficiënt en duurzaam functioneren van landbouwbodems. Over de ecologische, economische en teelttechnische aspecten van regenwormvriendelijke systemen heeft de landbouwsector echter nog vele vragen.

Doel van de toolkit

De voorliggende toolkit heeft tot doel beleidsmakers, landbouwvoorlichters, landbouwers en alle geïnteresseerden uit de landbouwsector in te lichten over de onderbelichte wereld en functies van de regenworm. Eerst en vooral wordt toegelicht wat regenwormen precies zijn, hoe ze leven, wat ze precies doen in de bodem en welke functies ze uitoefenen. Verder worden inzichten over hun rol in ecologische erosiebestrijding naar voor gebracht. Tenslotte worden beheerondersteunend advies, suggesties en aanbevelingen gedaan om tot een duurzaam en doordacht akkerbeheer te komen, een van de sleutelementen in een succesvolle en brongerichte aanpak van de heersende erosieproblemen in de Vlaamse landbouw, waarbij in het bijzonder aandacht wordt besteed aan de regenwormen als bodemingenieurs.

Leeswijzer

Gebruiksaanwijzing

De structuur van de toolkit is zo opgevat dat geen voorkennis wordt verondersteld. De toolkit is opgebouwd uit **zes modules** die elk een ander aspect van regenwormkennis, (ecologische) erosiecontrole, of duurzaam akkerbeheer belichten. In de tabel hieronder helpt een leeswijzer je wegwijs te maken doorheen de verschillende modules, zodat je meteen kunt doorbladeren naar de voor jou meest interessante modules. Nadat je een bepaalde module doorgenomen hebt, kan je steeds terugkeren naar de leeswijzer om een verdere keuze te maken. De verschillende modules kunnen bovendien ook elk afzonderlijk worden gelezen, of je kan er enkel die modules uitkiezen die je interesseren.

Module 1 geeft achtergrondinformatie over de biologie en ecologie van regenwormen. **Module 2** gaat dieper in op de meest aangewezen methode om regenwormpopulaties te bemonsteren. In **Module 3** worden de erosieproblematiek en haar oorzaken en remedies behandeld. **Module 4** beschrijft de procedure om regenwormen te determineren en te komen tot een diagnose van de toestand van regenwormpopulaties in akkers. **Module 5** gaat dieper in op het potentieel van regenwormen voor ecologische erosiecontrole en legt de mechanismen daarvan bloot. **Module 6** tenslotte licht toe hoe de landbouwer via een gunstig akkerbeheer kan bijdragen tot een weerbaar en veerkrachtig bodemecosysteem, met verhoogde aanwezigheid van regenwormen, beiden belangrijk voor het functioneren van bodemecosystemen op lange termijn.

Vraag	Antwoord	Ga naar
1. Heb je al een basiskennis over regenwormen en hun levenswijze?	Nee	Module 1
	Ja	Vraag 2
2. Weet je hoe regenwormpopulaties bemonsterd worden?	Nee	Module 2
	Ja	Vraag 3
3. Heb je kennis over de processen, oorzaken en remedies van bodem erosie door water? Weet je hoe bodemerosie wordt gemeten?	Nee	Module 3
	Ja	Vraag 4
4. Weet je welke regenwormsoorten aanwezig zijn in een perceel en hoe je hun aantallen en biomassa moet interpreteren?	Nee	Module 4
	Ja	Vraag 5
5. Weet je hoe regenwormen ingezet kunnen worden voor erosiecontrole? Weet je welke mechanismen erachter zitten?	Nee	Module 5
	Ja	Vraag 6
6. Weet je hoe je meer regenwormen in een perceel kan krijgen?	Nee	Module 6
	Ja	Proficiat



In 1881 publiceerde Charles Darwin (1809–1882) zijn laatste wetenschappelijke boek, getiteld 'The formation of vegetable mould through the action of worms with observations on their habits'. Het boek was het resultaat van gedetailleerde waarnemingen van regenwormen gedurende de decennia, waarvan vele in en rond zijn woonplaats Down House. Het boek was een bestseller in zijn tijd: er werden onmiddellijk na publicatie 3500 exemplaren van verkocht, en nog eens 8500 in de drie jaren daaropvolgend. Daarmee waren de verkoopcijfers vergelijkbaar met Darwin's meest bekende boek 'On the origin of species' (1859). Het boek behandelt het belang van regenwormen voor tal van onderwerpen: bodemvorming en verweringsprocessen, de ontwikkeling van verschillende bodemlagen, waaronder een vruchtbare bodemtoplaag ('vegetable mould'), de effecten van regenwormuitwerpselen en -gangen (bioturbatie) op de bodemvruchtbaarheid en plantengroei, het mogelijke belang van regenwormen in bodemerosie, en de bescherming van archeologische overblijfselen door begraving. Vele van Charles Darwin's inzichten houden vandaag de dag nog stand en vormen de inspiratie voor modern wetenschappelijk onderzoek. Bovenstaande figuur stelt een karikatuur voor van Darwin's evolutietheorie vlak na de publicatie van zijn 'wormenboek'. Het volledige werk van Darwin is vrij beschikbaar op <http://darwin-online.org.uk>.

Module 1

Algemene biologie en ecologie van regenwormen

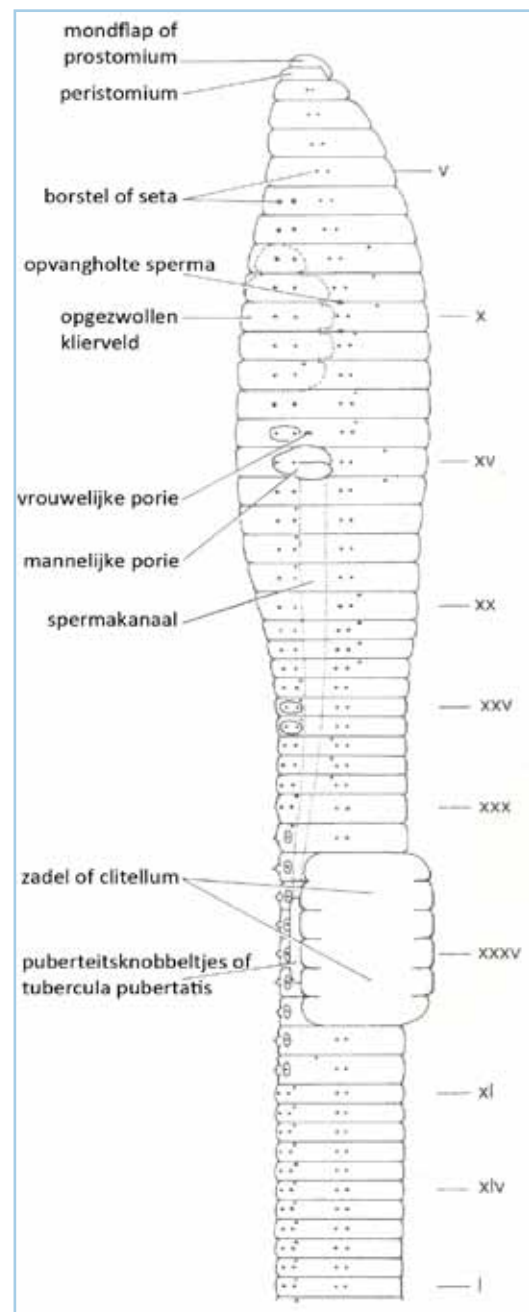
Lichaamsbouw

Regenwormen zijn **ongewervelde dieren**, die behoren tot de klasse van de geledede ringwormen (Annelida). Hun zo goed als cilindrische lichaam is opgebouwd uit tientallen segmenten of ringen, wat meteen ook hun groepering onder de ringwormen verklaart (Fig. 1). Het aantal segmenten is vrij constant voor elke regenwormsoort en ligt al vast wanneer een worm uit zijn cocon komt: een worm groeit dus doordat de segmenten uitzetten, niet doordat er segmenten bijkomen (met uitzondering van enkele compostwormen).

Op elk segment, buiten de mond en de anus, zijn vier paar intrekbare borstels ingeplant. Dit zijn primitieve poten die dienen voor de voortbeweging. Rond het geslachtsorgaan komen enkele lichtjes aangepaste borstels voor op de buikzijde die dienen voor de stimulatie en het vasthouden van de partner tijdens de paring.

Zowel het eerste segment (met het prostomium of mondflap) als het laatste segment (periproct met de anus) wijken in uiterlijke kenmerken lichtjes af van de rest van het wormenlichaam, maar ook van elkaar: een worm heeft dus een kop- en staartzijde. De vlezige mondflap dient als tast- en reukorgaan, en sluit de mondopening af wanneer de worm in rust is. Sommige regenwormsoorten gebruiken de mondflap om grassen en bladeren in hun gang te trekken. Naast andere kenmerken wordt de vorm van de mondflap gebruikt om regenwormsoorten van elkaar te onderscheiden.

De meeste regenwormen zijn **hermafrodit**, wat wil zeggen dat ze tegelijkertijd mannelijke en vrouwelijke geslachtsorganen bezitten. Zowel de mannelijke als vrouwelijke poriën of geslachtsopeningen zijn in het voorste lichaamsgedeelte van de worm gelegen. Wanneer een worm geslachtsrijp is, zwellen een aantal segmenten op en vormen het clitellum of zadel, de kenmerkende verdikking in de voorste lichaamshelft van volwassen individuen. De beginpositie en het aantal segmenten van het zadel zijn soortspecifiek en worden dan ook gebruikt om soorten te identificeren. Bijna volwassen exemplaren kunnen reeds enkele kleinere klierzwellingen op de buikzijde ter hoogte van het zadel vertonen. Deze puberteitsknobbeltjes



Figuur 1. Zijdelings aanzicht van de externe lichaamsbouw van de voorste lichaamshelft van een volwassen *Lumbricus terrestris*. Segmenten zijn genummerd met Romeinse cijfers. (Naar Sims en Gerard, 1999).

(tubercula pubertatis) vormen eveneens een goed kenmerk om regenwormen te determineren.

Het spijsverteringsstelsel loopt over de volledige lichaamslengte. Het bestaat uit een keelholte (pharynx), een slokdarm (oesophagus), een krop- en een kauwmaag, en een darmkanaal. Kleine, regelbare poriën op de rugzijde (de bovenzijde) houden de buitenkant van de worm vochtig. Zuurstof wordt via de vochtige huid opgenomen en net zoals bij mensen door hemoglobinerijk bloed getransporteerd naar de primitieve organen. Het bloed wordt in een gesloten bloedvatensysteem rondgepompt door een vijftal pseudoharten, zo genoemd omdat het eerder samentrekkende bloedvaten zijn dan echt ontwikkelde harten. Het zenuwstelsel strekt zich eveneens over het ganse lichaam uit. In het kopgedeelte bevinden zich primitieve hersenorganen (of ganglia). Regenwormen hebben smaak-, tast- en lichtperceptie, maar geen echte ogen.

Voortplanting

Ondanks het feit dat de meeste wormen tweeslachtig zijn en dus in principe in staat zijn om zichzelf te bevruchten, zoeken de meeste soorten noodzakelijk een geslachtsrijpe soortgenoot voor een succesvolle bevruchting (Fig. 2). Tijdens de paring gaan beide partners in tegenovergestelde richting met de buikzijde tegen elkaar liggen. Ter hoogte van het zadel wordt dan overvloedig slijm afgescheiden waardoor paringspartners als het ware tijdelijk met elkaar vergroeien. In deze veilige omgeving wordt sperma uitgewisseld tussen de individuen en bewaard in speciale opvangholtes in het lichaam. Het hele paarproces kan een half uur tot vier uur duren, waarna de wormen scheiden. Uren tot dagen later wordt een slijmband vanuit het zadel uitgescheiden en via voortstuwende bewegingen over het lichaam in de richting van de kop geschoven. Wanneer de slijmband de vrouwelijke poriën passeert, worden eicellen in de band afgezet, die vervolgens met het bewaarde sperma van de paringspartner worden bevrucht. Dit geheel groeit uit tot een cocon, en wanneer deze uiteindelijk over de kop van het lichaam wordt geschoven, kan die tot 20 embryo's bevatten. Bepaalde soorten kunnen zich voortplanten door ongeslachtelijke voortplanting (of parthenogenese), waarbij eicellen uitgroeien tot embryo's zonder tussenkomst van zaadcellen. Een soort zoals *Lumbricus terrestris* paart 's nachts aan het bodemoppervlak; andere soorten doen dat ondergronds.

BOX 1

Wat gebeurt er als je een worm in twee stukken snijdt?

In tegenstelling tot wat algemeen aangenomen wordt, groeien deze stukken meestal niet uit tot twee aparte wormen. Elke regenwormsoort is in staat om bij vermindering een aantal nieuwe segmenten aan te maken, maar de mate van succes hangt af van de regenwormsoort en van de plaats van de vermindering. De meeste wormen kunnen een deel van hun staart opnieuw laten aangroeien, maar het afgesneden staartstuk sterft onherroepelijk af. Beschadigingen aan het kopgedeelte of de zone waar de voortplantingsorganen zich bevinden kunnen niet zomaar hersteld worden, en hebben dan ook meestal de dood als gevolg. Je houdt dus maximaal één worm over, op voorwaarde dat de vermindering niet te erg is. Akkerbewerkingen zoals ploegen waarbij wormen beschadigd worden hebben dus steeds een negatieve invloed op het aantal regenwormen.



Figuur 2. Bij de paring van *Lumbricus terrestris* gaan beide partners met de buikzijde tegen elkaar aanliggen waarna sperma wordt uitgewisseld tussen beide individuen. Elk individu zal vervolgens een aantal cocons met embryo's voortbrengen door het bevruchten van eigen eicellen met het lichaamsvreemde zaad (regenwormen zijn hermafrodit, dit wil zeggen mannelijk en vrouwelijk tegelijk). In het geval van de diepgravende soort *L. terrestris* vindt paring op het bodemoppervlak plaats, waarbij beide partners met hun staart stevig verankerd blijven in hun individuele verticale gang.

Ecologie




Wereldwijd komen zo'n 3000 regenwormsoorten voor, verspreid over 24 families. Alle 25 in Vlaanderen voorkomende regenwormsoorten behoren tot de familie van de Lumbricidae. Een zevental daarvan komen regelmatig voor in akkerland.

Regenwormen komen over heel de wereld voor op alle plaatsen die niet te droog of te koud zijn. Als afstammelingen van zoetwaterorganismen zijn ze aangepast aan het leven in vochtige bodems. Het feit dat ze ook in rivierbodems of overstromde gebieden overleven, en dat ze geen longen bezitten maar ademen via hun vochtige huid, getuigen nog van dat verleden. Wanneer de bodem te droog wordt, trekken sommige regenwormsoorten zich dieper in de bodem terug in rustkamers, tot de leefomstandigheden terug gunstig worden (quiescentie). Soorten zoals *Lumbricus terrestris* met gangen tot drie meter diep passen zich aan wisselende vochtomstandigheden aan door dieper in de

bodem te verblijven. Wanneer het echt droog wordt gaan ook deze soorten in rust. Regenwormen zijn koudbloedige dieren, wat wil zeggen dat hun lichaamstemperatuur en hun graad van activiteit bepaald wordt door de omgevingstemperatuur. Tijdens koudeperiodes in de winter gaan wormen dan ook in verplichte rust dieper in de grond. In het algemeen hebben wormen meer last van droogte dan van koude of vocht.

Regenwormen hebben zich doorheen de evolutie aangepast aan de beperkingen eigen aan de bodemomgeving: de aanwezigheid van voedsel van relatief lage kwaliteit, het occasioneel voorkomen van ongunstige microklimaatomstandigheden, en de grote weerstand van het bodemmedium tegen beweging. Op basis van deze aanpassingen in hun gedrag en uiterlijke kenmerken worden wormen ingedeeld in drie ecologische groepen: de strooiselwormen, de bodemwoelers en de diepgravers (Tabel 1).

Tabel 1. Overzicht van de kenmerken van de ecologische categorieën van regenwormen

	Epigeïsche wormen of strooiselwormen	Endogeïsche wormen of bodemwoelers	Anekische wormen of diepgravers
Grootte	Kleine wormen (50-100 mg)	Tussenformaat	Grote wormen (1-10 g)
Kleur	Bruin-donkerrood	Beige, roze, grijs of groen	Donkere schutkleur aan rugzijde
Habitat	Organisch materiaal (mest, gewasresten) op het bodemoppervlak	Tijdelijke (sub-)horizontale gangen, vnl. tot op 20 cm diepte	Permanente verticale gangen, vaak meer dan 1 m diep
Voedsel	Vers organisch materiaal aan het bodemoppervlak (mest, gewasresten)	Verouderd organisch materiaal in de bodem (humus)	Vers organisch materiaal aan het bodemoppervlak (vnl. gewasresten) gemengd met bodemdeeltjes
Reactie op ongunstige omstandigheden	Goed beschermende cocons en snelle reproductie	Quiescentie (door omgeving gestuurde rust)	Diapauze (hormonaal gestuurde rustfase)
Functie	Strooiselverkleining en -afbraak	Bodemaggregaatvorming en -porositeit	Strooiselverkleining en -afbraak, water- en luchthuishouding
Foto (let op de schaal!)			
	<i>Eisenia fetida</i>	<i>Aporectodea caliginosa</i>	<i>Lumbricus terrestris</i>

Strooiselwormen of epigeïsche wormen

Epigeïsche wormen leven in het organisch materiaal aan het bodemoppervlak (strooisel, compost, mest, rottend hout). Ze hebben onvoldoende spierkracht om gangen in de bodem te graven. Ze voeden zich met niet of half afgebroken organisch materiaal. Gezien ze aan het bodemoppervlak leven zijn ze vaak blootgesteld aan ongunstige klimaatsomstandigheden, die tot sterfte zal leiden. Daarom kunnen ze goed beschermde cocons vormen en kunnen ze zich ook snel voortplanten. Het leven aan de oppervlakte stelt hen ook vaak bloot aan predatie door vogels. Als bescherming daartegen hebben ze een veelal donkerrode schutkleur. Gezien (bos-)strooisel vaak zuur is, zijn heel wat soorten zuur-tolerant. In de natuur zijn ze meestal klein (50 à 100 mg versgewicht) zodat ook hun ecologische impact in natuurlijke systemen redelijk beperkt blijft. Hun vlotte reproductie laat toe om ze in grote dichtheden te kweken. Sommige soorten zijn zeer populair voor de compostering (bv. *Eisenia fetida* of mestworm), en daarom worden ze ook wel compostwormen genoemd.

Bodemwoelers of endogeïsche wormen

Endogeïsche wormen leven in de bodem. Ze voeden zich met de karige voedingsstoffen aanwezig in de humusfractie van de bodem. Om voldoende voedingsstoffen op te nemen moeten ze daarom enorme hoeveelheden grond door hun darmkanaal laten passeren. Al etend graven ze zich dus een weg door het bodemprofiel. Hun gangenstelsels lopen min of meer horizontaal in de bovenste 20 à 30 cm van de bodem en zijn niet permanent. In ongunstige omstandigheden gaan ze over naar een rusttoestand waarbij het vochtgehalte en het metabolisme sterk vermindert (quiescentie). Gezien ze weinig of niet aan predatie door vogels blootstaan, hebben ze geen donkerrode of zwart schutkleur. Ze zijn meestal beige, roze, grijs of soms groenachtig van kleur. De meeste soorten zijn weinig zuurtolerant.

Diepgravers of anekische wormen

Anekische wormen leven in permanente, verticale gangenstelsels in de bodem, maar voeden zich 's nachts aan het oppervlak met strooisel. Vaak wordt het strooisel in de gangen getrokken en pas verorberd nadat het vochtiger is geworden of een microbiële voorafbraak heeft ondergaan. Het zijn grote wormen (1 à 10 g versgewicht) met aanzienlijke spierkracht, die in grote mate bijdragen aan de strooiselafbraak.

BOX 2

Regenwormen als voedselbron voor andere dieren

*Regenwormen staan, afhankelijk van het seizoen, op het menu van een heel aantal dieren. Mollen eten tot 60 wormen per dag. Mollen staan er bovendien om bekend dat ze wormvoorraadkamers aanleggen: daartoe bijten ze de eerste drie tot vijf segmenten van de wormen, waarna deze spontaan in een immobiele rustfase overgaan. Ook voor everzwijnen, dassen, egels, en muizen zijn wormen een belangrijk deel van hun dieet. Vossen en uilen jagen op regenwormen die 's nachts hun gangen verlaten, zoals *Lumbricus terrestris*. Merels, lijsters en roodborstjes zijn dan weer meesters in het lokaliseren van wormen op basis van het schraapgeluid dat de borstels maken tijdens de voortbeweging van de worm. Zwermen van spreeuwen, kraaien, roeken, Kieviten en meeuwen verorberen dan weer ettelijke kilo's regenwormen per hectare na het omploegen van de akker.*

Hun uitzicht weerspiegelt de graafcapaciteit: afgeplatte staart en verlengde graafborstels op de buikzijde van de voorste segmenten. De gangen kunnen tot meer dan een meter diep gaan. Daarin verblijven ze op de diepte waar zich de beste temperatuur/vochtverhoudingen voordoen. Ze zijn langlevend en planten zich slechts traag voort. Om de zomerdroogte te overleven gaan ze in een hormonaal gestuurde rustperiode (diapauze). Gezien ze vooral 's nachts aan predatie kunnen blootstaan hebben ze op de rugzijde een donkere, meestal zwarte, schutkleur. Ze zijn kieskeurig qua habitat en komen enkel voor waar het strooisel en/of de bodem van voldoende kwaliteit zijn. Ze zijn zuurschuwend.

Epi-aneekische wormen zoals *Lumbricus terrestris* zijn anekische wormen die verwantschap vertonen met epigeïsche soorten. Het meest essentiële verschil met de echte anekische soorten is het ontbreken van een diapauze en het bezitten van een rode in plaats van zwarte schutkleur. In werkelijkheid zijn de grenzen tussen de ecologische categorieën niet haarscherp afgelijnd. Sommige soorten vertonen intermediaire kenmerken tussen twee categorieën.

Standaardwerken van Edwards en Bohlen (1996) en Edwards (2004) behandelen uitgebreid de biologie en ecologie van regenwormen.

Module 2

Bemonstering van regenwormen

Algemene methode

De meest accurate methode om de regenwormdichtheid in een landbouwperceel (uitgedrukt in aantal of biomassa versgewicht (g) per m²) te bepalen bestaat uit een combinatie van twee of drie **deelbemonsteringen** per proefvlak met gekende oppervlakte. De bemonstering start met het uitdrijven van anekische en epigeïsche soorten door mosterdextractie. Daarna wordt in hetzelfde proefvlak maar over een kleinere oppervlakte en beperkte diepte een bodemstaal genomen, dat met de hand wordt gesorteerd op endogeïsche en achtergebleven wormen (het is praktisch gezien onmogelijk om de volledige diepte van het bodemprofiel te bemonsteren). Indien een strooisellaag aanwezig is (bv. in niet-kerend bewerkte akkers, bos), wordt deze voor de start van de mosterdextractie verwijderd binnen het subproefvlak waar ook het bodemstaal wordt genomen. Het strooiselstaal wordt eveneens met de hand gesorteerd.

Voorwaarden voor bemonstering

Regenwormen worden bij voorkeur bemonsterd in piekperioden van activiteit. Dit is in de **herfst** wanneer het voedselaanbod hoog is (na de oogst, in bos na de bladval) en zolang het niet vriest. Ook in de **lente** zijn de temperaturen gunstig en is er nog voldoende voedsel. In de winter verdwijnen de epigeïsche soorten doordat ze overwinteren in cocons. Tijdens de zomer verlaagt de activiteit door droogte en het verminderde voedselaanbod. De anekische soort *Aporrectodea longa* gaat in de zomer (mei tot augustus) in hormonaal gestuurde rust (diapauze), waardoor ze niet reageert op mosterdextractie (ze wordt ook niet in het bodemstaal gevonden gezien ze meer dan 20 cm diep zit).

De bemonsteringsomstandigheden worden best gecontroleerd op bodemtemperatuur en -vochtgehalte. De bodemtemperatuur op 10 cm diepte moet in elk geval meer dan 4°C zijn en bij voorkeur meer dan 7°C. Bij lagere temperatuur kan reeds quiescentie optreden, zodat de mosterdextractie niet efficiënt werkt. Het vochtgehalte benadert idealiter veldcapaciteit.

Benodigheden

Om een proefvlak van 0,5 m² te bemonsteren (zie lager), is er nodig (Fig. 3):

Strooiselstaalname

- gecodeerde en afsluitbare plastic zak (enkel indien een strooisellaag aanwezig)

Mosterdextractie

- 1 vierkante houten kader met binnenafmeting 0,707 m × 0,707 m
- 1 snoeischaar of gazontrimmer; 1 hark
- 2 jerrycans van 20 l (met labels 60 en 120)
- 40 l water
- 180 g (3 × 60 g) mosterdpoeder 'Indasia Yellow Mustard'¹
- 1 gieter van 10 l voorzien van sproeikop
- 1 afsluitbaar en gelabeld bewaarrecipiënt (200 cc) voor 2/3 gevuld met ethanol 70%
- 1 watervaste stift
- 1 timer
- 1 pincet

Bodemstaalname

- 1 spade
- een meetstok van 31,6 cm, met een streep of inkeping op 20 cm
- gecodeerde plastic zak of bak

Handsortering

- een werktafel
- goede belichting
- 1 pincet
- 2 afsluitbare en gelabelde bewaarrecipiënten (200 cc) voor 2/3 gevuld met ethanol 70%

De hoeveelheden verbruiksgoederen dienen te worden vermenigvuldigd met het aantal

¹ te verkrijgen bij N.V. Bynens Interspace, Grote Baan 14, 3530 Houthalen-Helchteren.



Figuur 3. Overzicht van de benodigde materialen om regenwormen op kwantitatieve wijze te bemonsteren: houten kader om proefvlak af te bakenen ($0,71 \times 0,71 \text{ m}^2$), schaar om vegetatie zo kort mogelijk tegen het bodemoppervlak te verwijderen, jerrycans met extractievloeistof (mosterdpoeder in watersuspensie), gieter om mosterdsuspensie gelijkmatig over het proefvlak uit te gieten, spade en gelabelde plastic zak voor bodemstaalname, afsluitbare gelabelde recipiënten gevuld met ethanol (70 %) om regenwormen in te verzamelen, en een kruiwagen voor vervoer van stalen en jerrycans.

proefvlakken dat men wenst te bemonsteren. Het aantal benodigde gebruiksvoorwerpen dient te worden vermenigvuldigd met het aantal bemonsteringen dat men tegelijkertijd door meerdere personen wenst uit te voeren.

Bemonsteringsprocedure

De kwantitatieve regenwormbemonstering bestaat uit een aantal opeenvolgende stappen:

Proefvlakkeuze

Per perceel worden willekeurig zes proefvlakken uitgelegd met behulp van een houten kader ($0,5 \text{ m}^2$). Om deze toevallige keuze objectief uit te voeren, kan ze best reeds vooraf op kantoor gebeuren door een raster over het perceel te leggen en de te bemonsteren rastercellen uit te loten. De ervaring leert dat zes staalnames per perceel een goed compromis vormen tussen de ruimtelijke variabiliteit in regenwormdichtheden en de bemonsteringsinspanning (in arbeid, tijd en geld). In functie van de vastgestelde variatie kan het aantal herhalingen uiteraard steeds opgedreven worden.

Verwijderen van bovengrondse vegetatie

Alvorens de bemonsteringen aan te vatten, wordt de vegetatie binnen en in een zone van 20 cm buiten de kader zo dicht mogelijk tegen het bodemoppervlak afgeknipt met een gazontrimmer of snoeischaar. Dit verhoogt de zichtbaarheid van de bodem, en vergemakkelijkt het opmerken van uitgedreven regenwormen.

Bemonsteren van het strooisel

Deze stap is enkel nodig waar de minerale bodem bedekt is door een strooisellaag (dood plantenmateriaal). Dit is meestal het geval in bossen, en meestal onnodig in akkers en weilanden. Al het strooisel binnen een willekeurig gekozen bemonsteringsvlak van $1/10$ vierkante meter ($31,6 \text{ cm} \times 31,6 \text{ cm}^2$) in het proefvlak wordt in een plastic zak verzameld. De zak wordt hermetisch gesloten en gelabeld en de inhoud wordt later onder goede lichtomstandigheden in het labo met de hand gesorteerd op aanwezige wormen. Het strooisel dat buiten het centrale bemonsteringsvlak tot 20 cm buiten de houten kader ligt, wordt op dezelfde manier weggenomen, maar niet verzameld voor verder onderzoek.

Mosterdextractie

De mosterdextractie heeft als doel wormen uit hun gang te drijven door het uitsprekelen van water gemengd met een irriterend middel (Fig. 4). Een eenvoudig verkrijgbaar, goedkoop, en onschadelijk (zowel voor de gebruiker als de bodemfauna) maar efficiënt uitdrijvingsmiddel is mosterdpoeder (gemalen mosterdzaad). Aangezien de extractievloeistof makkelijk de verticale gangen van diepgravende soorten kan binnendringen tot op grote diepte, is deze bemonsteringswijze vooral effectief om diepgravers uit te grond te drijven.

De extractie verloopt in vier sprengelbeurten van 10 liter, waarvan de eerste twee met een lage dosis, en de laatste twee met een hoge dosis van het uitdrijvingsmiddel. Praktisch voegt men daartoe 60 g mosterdpoeder in een eerste jerrycan en 120 g in een tweede jerrycan en lengt men deze verder aan met 20 liter water. De jerrycans worden vervolgens voldoende geschud zodat het mosterdpoeder in suspensie gaat. De extractievloeistof wordt minstens een half uur voor gebruik bereid en vlak voor gebruik nogmaals flink geschud.

Vervolgens wordt de eerste 10 liter van de extractievloeistof uitgesprengeld over het proefvlak en een zone van 20 cm daarbuiten door middel van een gieter met sproeikop.

Tussen elke sprenkelbeurt wordt gedurende 10 minuten aandachtig naar uitgedreven wormen gespeurd. Wormen die binnen het proefvlakkader naar boven komen worden met een pincet verzameld en vervolgens bewaard in ethanol (70 %) in een gecodeerd en afsluitbaar recipiënt. Wormen die buiten het kader naar boven komen worden verwijderd zonder meer. Individuen moeten zo goed als volledig uit de bodem gekomen zijn vooraleer ze te grijpen om breken te voorkomen.

Na 10 minuten wordt de tweede lage dosis toegediend. Na nog 10 minuten verzamelen wordt de eerste hoge dosis toegediend en 10 minuten later de tweede hoge dosis. Na nog eens 10 minuten wordt het verzamelen beëindigd. In de regel verschijnen eerst de epigeïsche en dan de anekische soorten. De ervaring leert dat het voor één persoon mogelijk is om twee proefvlakken tegelijk te behandelen, indien ze tenminste in elkaars buurt liggen.

Nemen van een bodemstaal

Binnen een willekeurig gekozen bemonsteringsvlak van 1/10 vierkante meter (31,6 cm × 31,6 cm²) in het proefvlak wordt een bodemstaal uitgestoken met een spade tot op 20 cm diepte (Fig. 5). Indien reeds eerder een strooiselstaal werd genomen (zie hoger), dan dient de bodemstaalname in hetzelfde bemonsteringsvlak te gebeuren als de strooiselstaalname. De aarde wordt in een plastic container of zak gebracht en voorzien van de proefvlakcode. Deze deelbemonstering dient om wormen die niet gereageerd hebben op de mosterdextractie alsnog te verzamelen via handsortering (zie verder). Het gaat dan vooral om endogeïsche soorten en achtergebleven anekische individuen.

Handsortering van het strooiselstaal

In het labo wordt de inhoud van een plastic zak met strooisel geledigd op een wit tafelblad. Onder goede belichting wordt het strooisel tweemaal aandachtig op regenwormen doorzocht. In de praktijk zal het materiaal beetje bij beetje verkruid worden en van een hoop naar een andere hoop verplaatst worden en terug. Versgevalen bladeren moeten één voor één langs beide zijden gecheckt worden. Dit werk moet minutieus gebeuren omdat epigeïsche wormen zeer moeilijk herkenbaar zijn tussen het strooisel. Dank zij de belichting gaan ze wat meer glanzen dan het omgevend strooisel. Gevonden wormen gaan in het overeenkomstige gelabelde bewaarrecipiënt met ethanol dat op een koele en brandveilige plaats wordt bewaard.

Handsortering van het bodemstaal

Een gelijkaardige werkwijze als tijdens de handsortering van het strooiselstaal wordt aangehouden bij de handsortering van het bodemstaal. Kleine volumes aarde worden tegen een contrasterende (witte) achtergrond en onder goede belichting verkruid en aandachtig geïnspecteerd op wormen en cocons. Juveniele exemplaren en cocons worden makkelijk over het hoofd gezien en verdienen dus extra aandacht tijdens het sorteren. De gesorteerde aarde wordt in een nieuwe container of zak overgebracht, en wanneer het ganse bodemstaal doorzocht is, voor een tweede maal onderworpen aan inspectie. Gevonden regenwormen (vaak stukken) en cocons worden in een gecodeerd recipiënt in ethanol verzameld en op een koele en brandveilige plaats bewaard.

Figuur 4. Mosterdextractie als onderdeel van kwantitatieve regenwormbemonstering: regenwormen worden uitgedreven in een proefvlak (0,71 × 0,71 m²) door het uitgieten van 40 l irriterende extractievloeistof (mosterdpoeder in watersuspensie) in 4 beurten van 10 l, telkens met een tussentijd van 10 minuten waarin regenwormen die naar de oppervlakte komen, worden verzameld. Voor de eerste 2 gietbeurten wordt een lage concentratie (3 g mosterdpoeder per liter water) gebruikt, in de laatste 2 gietbeurten wordt deze verdubbeld tot 6 g l⁻¹. Mosterdextractie is het meest effectief voor anekische en epigeïsche wormen.



Figuur 5. Bodemstaalname als onderdeel van kwantitatieve regenwormbemonstering: onmiddellijk na de mosterdextractie (Fig. 4) wordt met behulp van een spade een bodemblok (31,6 × 31,6 cm²) tot op 20 cm diepte uitgestoken binnen het proefvlak. Het bodemstaal wordt bewaard in een gelabelde zak (foto links). Een meetstok met aanduidingen op 31,6 en 20 cm komt daarbij goed van pas (foto rechts).



Regenwormbewaring

Verzamelde wormen dienen op een snelle, praktische, effectieve (goede fixatie) en duurzame (vervuiling en contaminatie met schadelijke producten vermijden) manier bewaard te worden om in een later stadium een vlotte identificatie mogelijk te maken.

Benodigheden

- goed afsluitbare recipiënten in plastic met deksel
- koelkast, koelbox of koele ruimte
- formol 5 % (gemaakt van 35 % formaldehyde², zie lager)
- ethanol (70 % of meer)
- markeerstift
- trechter
- veiligheidskledij (bril, handschoenen, mondkap)
- container voor ethanolafval (markeer deze duidelijk en bewaar deze op een geschikte plaats)
- container voor formolafval (markeer deze duidelijk en bewaar deze op een geschikte plaats)

Procedure

De verzamelde wormen worden zo snel mogelijk na tijdelijke bewaring op ethanol gefixeerd met een formoloplossing. Dit dient te gebeuren in een trekkast of in een goed geventileerde

ruimte waarbij alle veiligheidsvoorschriften in verband met het gebruik van formaldehyde strikt in acht genomen worden. De benodigde 5 % **formoloplossing** wordt aangemaakt door 6 eenheden water bij 1 eenheid technisch formaldehyde 35 % te voegen. Praktisch betekent dit dat 715 ml formaldehyde 35 % aangelengd wordt met water tot 5 l.

De ethanol met de daarin aanwezige ongewenste stoffen (aarde, plantenresten,...) wordt afgegoten in een daartoe gelabelde afvalcontainer. Indien nodig wordt de inhoud van het bewaarrecipiënt enkele malen gespoeld met water waarna de waterige ethanolsubstantie opnieuw in de afvalcontainer wordt verzameld.

Vervolgens wordt de formoloplossing toegevoegd aan de inhoud van het bewaarrecipiënt. De wormen worden dan gedurende één à twee weken op formol bewaard om het fixatieproces te bewerkstelligen. In het geval dat de formoloplossing verkleurt naar geel/groen, wordt deze zo snel mogelijk vervangen. Formolafval gaat in een aparte afvalcontainer.

Na fixatie wordt de formoloplossing verwijderd en indien nodig wordt enkele malen gespoeld met water. Ook hier gaat het afval steeds in de daarvoor voorziene container. De regenwormen zouden nu volledig gefixeerd (hard) moeten zijn en worden voor verdere bewaring op ethanol 70 % gezet. De gefixeerde wormen op ethanol worden op een brandveilige plaats bewaard. Dit geldt eveneens voor de andere gebruikte producten en afval ervan. Ethanol- en formolafval behoren tot het klein gevaarlijk afval.

² Formaldehyde (formol) is een kankerverwekkende stof. Gelieve alle geldende veiligheidsvoorschriften in verband met het gebruik en de bewaring ervan strikt in acht te nemen.

Module 3

Bodemerosie door water

Definitie

Bodemerosie door water is het proces waarbij bodemdeeltjes losgemaakt worden, verplaatst worden over een zekere afstand door regendruppelinslag en oppervlakkig afstromend water, en vervolgens terug afgezet worden. Deze vorm van erosie manifesteert zich dus tijdens of vlak na neerslaggebeurtenissen. Bodemerosie door water wordt in de regel voorafgegaan door een aantal bodemdegradatieprocessen zoals een daling van het humusgehalte¹, en verslemping en verdichting van het bodemoppervlak.

Ook bodembewerking kan aan de basis liggen van een aanzienlijke hellingafwaartse verplaatsing van bodem binnen een perceel (bewerkingserosie). Hierbij treedt bodemverlies op op de 'bulten' of convexiteiten van een perceel en treedt sedimentatie of bodemafzetting op op de concaviteiten (de 'voet' van de helling). Daarnaast kunnen massatransport (grondverschuivingen) en het oogsten van knol- en wortelgewassen (bv. suikerbieten, aardappelen) een aanzienlijke bodemverplaatsing met zich meebrengen.

Bodemerosie is een natuurlijk proces dat op een geologische tijdschaal de vorm en dynamiek van het landschap bepaalt. Maar door menselijk handelen, in het bijzonder door ontbossing en intensieve landbouw, kunnen erosiesnelheden een factor 100 tot 1000 toenemen. Het duurzaamheidsprincipe stelt dat niet meer bodem zou mogen eroderen dan dat er gevormd wordt. In het gematigde zeeklimaat in Vlaanderen bedraagt de bodemvorming in ongestoorde omstandigheden ongeveer 0,1 mm per jaar of 1 cm per eeuw. Jaarlijks zou er dus maximum 1 m³ of 1,5 ton (bodemdichtheid = 1500 kg m⁻³) bodem per hectare mogen verdwijnen door erosie. In de praktijk is dit niet steeds haalbaar en daarom wordt het aanvaardbaar niveau aan bodemverlies soms pragmatisch bepaald per lokale situatie. Bodemverlies kan namelijk beter getolereerd worden wanneer de bodem een

uniforme samenstelling en vruchtbaarheid heeft over aanzienlijke diepte, dan wanneer op geringe diepte ondoorlaatbare, stenige of minder vruchtbare (bv. zand) lagen aanwezig zijn.

Op hellende akkergronden in de Belgische Leemstreek zijn water- en bewerkingserosie in gelijke mate de hoofdverantwoordelijken voor de herverdeling van aanzienlijke hoeveelheden bodemmateriaal in het landschap. Aangezien bewerkingserosie zich uitsluitend binnen de perceelsgrenzen afspeelt, verdient de controle van bodemerosie door water met zijn belangrijke potentiële stroomafwaartse impact prioritaire aandacht.

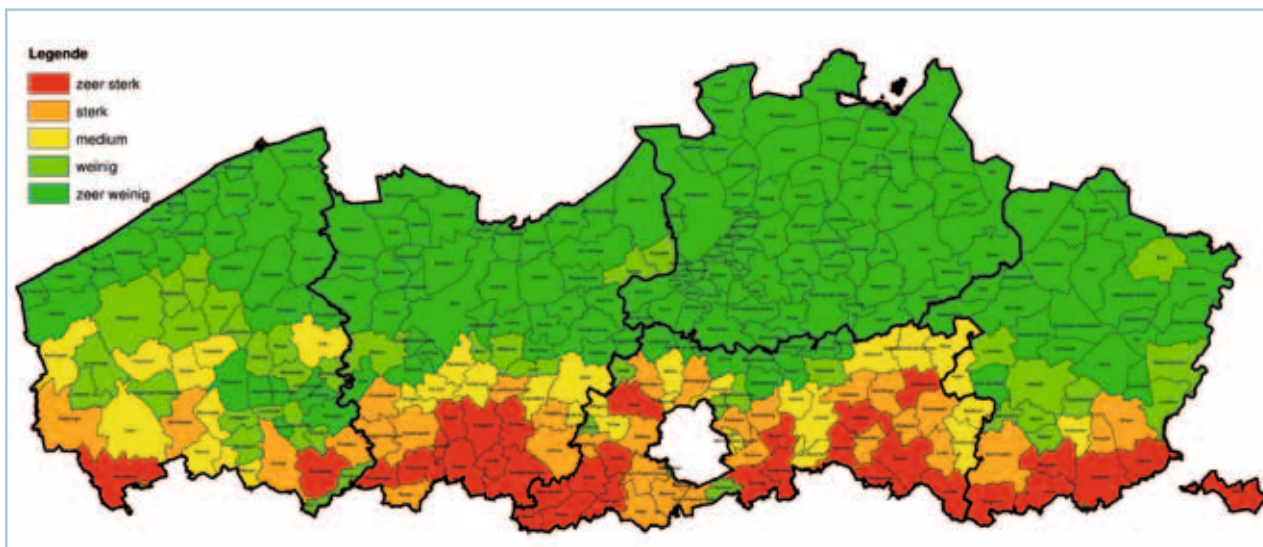
Processen

Er bestaan verschillende processen van **watererosie**. Intergeulerosie treedt op wanneer de impact van vallende regendruppels het voornaamste proces is dat bodemmateriaal losmaakt. Dit leidt tot een laagsgewijze erosie die bijna niet detecteerbaar is met het oog. Geulerosie treedt op wanneer afstromend water zich concentreert en aanleiding geeft tot de vorming van kleine, uitgeschuurde kanaaltjes. Indien de uitgeschuurde kanalen niet langer door normale landbouwbewerkingen kunnen worden weggevoerd (dwarsdoorsnede > 930 cm²) spreekt men van ravijnerosie. Een gedeelte van de geërodeerde bodemdeeltjes wordt stroomafwaarts terug afgezet op het land. Een deel zal echter samen met het afstromende water terecht komen in beken, rivieren en wachtbekkens.

Gevolgen

Bodemerosie op akkers kan lokaal voor opbrengstverminderingen, moeilijker bewerkbare percelen, en ongelijke gewasontwikkeling zorgen. Op lange termijn kan de gehele vruchtbare bodemtoplaag verdwijnen. Ook stroomafwaarts kan watererosie voor aanzienlijke modder- en wateroverlast zorgen, en op termijn vervuiling en dichtslibben van waterlopen en sedimentatiebekkens tot gevolg hebben.

¹ het humusgehalte = organische koolstofgehalte (% C) van bodemanalyse × 1,72



Figuur 6. Bodemerosiegevoeligheid per gemeente in Vlaanderen berekend op basis van een schatting van de actuele en potentiële erosiesnelheid op perceelsniveau ($\text{ton ha}^{-1} \text{jaar}^{-1}$). De actuele bodemerosiesnelheid wordt geschat op basis van het huidige landgebruik. De potentiële bodemerosiesnelheid geldt voor de percelen grasland indien deze in akkerland zouden worden omgezet. De schatting houdt rekening met de regenerosiviteit, de bodemerosiegevoeligheidsfactor (textuur en organisch materiaalgehalte), de topografie, en het bodemgebruik (grasland of akker). (Bron: Notebaert e.a., 2006).

Factoren/oorzaken

Bodemerosie door water is het resultaat van de interactie van **vier hoofdfactoren**: de erosiekracht (erosiviteit) van de neerslag, de topografie, de erosiegevoeligheid van de bodem en het bodemgebruik. In Vlaanderen zijn vooral de zuidelijke gebieden sterk erosiegevoelig omdat daar de grootste hellingen voorkomen en zandleem- en leembodems erg erosiegevoelig zijn (Fig. 6). Jaarlijkse bodemverliezen door watererosie van meer dan 10 ton ha^{-1} spreken voor zich en staan in schril contrast met het Vlaamse gemiddelde ($1,18 \text{ ton ha}^{-1} \text{jaar}^{-1}$) en het bodemverlies in de topografisch minder uitgesproken landbouwstreken (Duinen, Polders, Vlaamse Zandstreek en Kempen), waar het bodemverlies door watererosie varieert tussen $0,1$ en $0,4 \text{ ton ha}^{-1} \text{jaar}^{-1}$.

Ruimtelijke variaties in bodemerosie in Vlaanderen zijn voornamelijk afhankelijk van het reliëf, het bodemtype en de vegetatieve bedekking van de bodem. De mens heeft in Vlaanderen dan ook vooral via het bodemgebruik (o.a. de keuze van teeltrotaties) en bewerkingintensiteit een grote invloed op het bodemerosieproces. De jaarlijkse variaties in bodemerosie worden echter verklaard door het klimaat.

Neerslag

De erosiviteit van de neerslag wordt bepaald door de hoeveelheid neerslag die valt op een bepaalde tijdsspanne en de kracht waarmee regendruppels op de bodem inslaan. Op wereldschaal gezien is het klimaat in Vlaanderen zeker niet erosief te noemen. De meest erosieve neerslag valt in de zomermaanden (juli – augustus) in de vorm van intense onweersbuien, die vaak een lokaal karakter vertonen. Zowel de jaarlijkse als de maandelijkse neerslagerosiviteitswaarden kunnen sterk variëren, wat grote variaties in het jaarlijks bodemverlies tot gevolg kan hebben. Voorspellingen van klimaatsveranderingen wijzen op een hogere frequentie van intense regenbuien, met een hoger erosierisico tot gevolg.

Topografie

De belangrijkste reliëfkenmerken die de intensiteit van bodemerosie door water bepalen, zijn de **hellingsgraad** en de **hellingslengte**. Watererosie manifesteert zich op steile lange hellingen en op plaatsen waar het afstromende regenwater van een grote hellingopwaartse oppervlakte verzameld wordt.

Bodemkenmerken

De **erosiegevoeligheid** van de bodem is afhankelijk van verschillende factoren waarvan de bodemtextuur en het organisch materiaalgehalte de belangrijkste zijn. Vele Vlaamse akkers op zandleem- en leembodems zijn uiterst gevoelig voor fysieke degradatie in de vorm van verslemping van het bodemoppervlak. Als gevolg van de verdichting van de bodemtoplaag neemt de infiltratiecapaciteit van de bodem in belangrijke mate af. **Fysische degradatie** is het sterkst uitgesproken bij bodems met een laag organisch materiaalgehalte. Het organisch materiaalgehalte van de leembodems in België is doorgaans kleiner dan 2,5%. De aard en de toestand van het bodemoppervlak zal dus naast de kenmerken van een neerslagbui het bodemverlies bepalen. Op sterk verslepte en vochtige bodems is afstroming en erosie mogelijk vanaf een regenvalintensiteit van enkele mm per uur. Naarmate de bodem droger is en een betere structuur heeft, zijn hogere neerslagintensiteiten noodzakelijk om afvoer en erosie te veroorzaken. In het voorjaar en de zomer kan de erosiegevoeligheid van de bodemtoplaag 2 tot 4 maal de gemiddelde waarde bedragen.

Bodembedekking en bodemgebruik

De bedekkingsgraad van het bodemoppervlak speelt een cruciale rol in het erosieproces. Akkers kunnen bedekt zijn met gewassen, met resten van een afgestorven groenbedekker of van het vorige gewas. Hierdoor wordt de bodem tegen rechtstreekse druppelinslag beschermd, waardoor verslemping minder snel optreedt. Bovendien remmen de gewasresten de snelheid van het afstromend regenwater. Het wortelsysteem van de gewassen zorgt voor een hogere schuifweerstand van de bodemtoplaag en vergroot zo de **erosieweerstand** van de bodem. Dit alles resulteert in een negatief exponentieel effect van de bedekkingsgraad op de bodemverliezen ten gevolge van erosie: een geringe toename van de bedekkingsgraad heeft een belangrijke afname van bodemerosie door water tot gevolg. Wintergraanakkers hebben een hoog potentieel erosierisico tussen oktober en april omwille van de lage bedekkingsgraad in deze periode, maar tijdens de periode met de grootste neerslagerosiviteit (mei – september) bedekken ze de bodem in voldoende mate. De periode tussen maart en juli, en in het bijzonder de maanden mei en juni, wordt gekenmerkt door een hoog risico op erosie op akkers met zomergewassen als aardappelen, maïs, bieten, zomergraan en witloof, te meer omdat deze periode samenvalt

met de meest erosieve neerslagbuien. In graslanden treedt bijna nooit erosie op.

Basisprincipes van bodembescherming

Strategieën om de bodem te beschermen tegen het losmaken en transporteren van bodemdeeltjes zijn gebaseerd op een aantal basisbeginselen. Onder het motto ‘voorkomen is beter dan genezen’, worden deze principes hieronder in volgorde van belangrijkheid weergegeven:

1. houdt de bodem zo veel mogelijk bedekt om hem te beschermen tegen rechtstreekse druppelimpact
2. verhoog de infiltratiecapaciteit van de bodem om oppervlakkige afstroming tot een minimum te beperken
3. verhoog de aggregaatstabiliteit van de bodem om de erosiegevoeligheid te verminderen
4. verhoog de bodemruwheid om oppervlakkige afstroming te vertragen

Deze principes zijn erop gericht de bodemerosie brongericht aan te pakken, met andere woorden om intergeul- en geulerosie in het perceel tegen te gaan. Maatregelen hieromtrent zijn niet altijd voldoende en dus is men soms genoodzaakt om verder stroomafwaarts ingrepen in de topografie of landinrichting te ondernemen om ook ravijnerosie en water- en modderoverlast te reduceren en voorkomen. Een overzicht van erosiebestrijdingsmaatregelen wordt gegeven in Gillijns e.a. (2004) en Geelen (2006).

Erosie meten

Erosie kan gemeten worden door het nabootsen van natuurlijke regenbuien met een **regensimulator**. Dit toestel is in feite niet meer dan een geijkte sproeikop die op een bepaalde hoogte boven de grond kan opgehangen worden (Fig. 7). Gedurende een bepaalde tijd wordt een regenbui met constante intensiteit gesimuleerd boven een proefvlak van gekende oppervlakte, en wordt het afgevoerde water en bodemdeeltjes opgevangen en gemeten. Permanente proefvlakken met een continue monitoring van het volume afgestroomde water en regelmatige meting van sedimentvolumes in opvangtanks zijn nuttig om de erosiviteit van natuurlijke neerslaggebeurtenissen in kaart te brengen. Het opmeten van geuldiameters en -lengtes laat tenslotte toe om de hoeveelheid geërodeerde bodem te schatten op perceelsniveau.



Figuur 7. Opstelling van regenvalsimulator (boven) met detail van het beregende proefvlak ($0,8 \times 0,8 \text{ m}^2$) (onder). Met behulp van een geijkte sproeikop op 3,25 m hoogte wordt een regenbui gesimuleerd met een intensiteit van 45 mm per uur totdat een constante hoeveelheid water per tijdseenheid van het proefvlak afstroomt. Het afstromende water en de meegevoerde bodemdeeltjes worden onderaan het proefvlak opgevangen en op vaste tijdstippen wordt het volume afgestroomde water gemeten. De sedimentconcentratie (het drooggewicht bodemdeeltjes per liter afgestroomd water) wordt in het labo bepaald door droging van een mengstaal van het totale volume afgestroomde water.

Module 4

Identificatie van regenwormen en interpretatie

Regenwormen op naam brengen

Regenwormen worden doorgaans door een specialist tot op soort gedetermineerd en hun aantallen en verse biomassa worden uitgedrukt per vierkante meter. Mits enige oefening kan een onervaren persoon echter met het blote oog regenwormen indelen in de drie ecologische groepen (zie Tabel 1).

Benodigheden

- binoculair met vergroting 6 en 12x met opvallende belichting
- petrischaaltjes
- rol keukenpapier
- kurkmatjes
- spelden
- een weegschaal met nauwkeurigheid tot op 1 mg
- formulier (papier of digitaal)

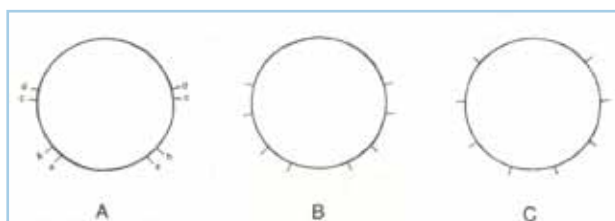
Procedure

De inhoud van een bewaarrecipiënt wordt in een petrischaal gebracht. De proefvlakcode wordt ingegeven op een determinatieformulier. Een te determineren worm wordt op een keukenpapier even kort afgedipt en daarna onder de binoculair gebracht. Als ondergrond is een kurken matje aangewezen omdat het overtollig vocht draineert en omdat men er spelden in kan vastprikken. Met behulp van de spelden kan de regenwormen in de juist positie worden geduwd (kop of staartzijde, rug of buikzijde). De vorm van het prostomium (epilobisch of tanylobisch, Fig. 8), en de positie van het clitellum worden aan de rugzijde bekeken (Fig. 1). De positie van de mannelijke geslachtsporie en van de tubercula pubertatis worden op de buikzijde bekeken (Fig. 1). Gezien de mannelijke geslachtsporie bij de meeste soorten op segment 15 gelegen is, kan men bij die soorten de positie van het clitellum bepalen door vanaf daar te beginnen tellen in plaats van aan de kop. De inplanting van de borstels (setae, Fig. 1) worden steeds in het staartgedeelte bekeken (Fig. 9).



Figuur 8. Boven- (boven) en linkerzijaanzicht (onder) van de bouw van het prostomium. (a) epilobisch (open), (b) epilobisch (gesloten), (c) tanylobisch. (Naar Sims en Gerard, 1999).

Een worm wordt steeds zover mogelijk gedetermineerd: tot op het niveau van de soort en indien niet mogelijk (bij juvenielen of beschadigde exemplaren) tot het geslacht of ten minste tot de ecologische categorie. In Tabel 2 worden de belangrijkste determinatiekenmerken van veel voorkomende soorten weergegeven. Voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar het referentiewerk van Sims en Gerard (1999). Tevens wordt aangeduid of het een juveniel, subadult (met beginnende tekenen van clitellumvorming, eventueel aanwezigheid van tubercula pubertatis) of adult (clitellum met pubercula aanwezig) betreft. Beschadigde wormen worden als volgt behandeld: kopstukken worden gedetermineerd en gewogen (ze worden wel als beschadigd genoteerd, zodat ze niet worden meegerekend bij het bepalen van het gemiddeld gewicht van een soort); staart-



Figuur 9. Borstelinplanting bij regenwormen. Op elk segment bevinden zich vier paar borstels die ofwel dicht gepaard (A), wijd gepaard (B) of uit elkaar (C) ingeplant zijn. (Naar Sims en Gerard, 1999).

Tabel 2. Overzicht van de determinatiekenmerken van de in Vlaanderen voorkomende regenwormsoorten

Soortnaam	Ecologische categorie ¹	Pro-stomium ²	Paarsrood pigment	Borstels ³	Klierveld ♂ porie (segment nummers)	Clitellum (segment nummers)	Tubercula pubertatis (segment nummers)	Lengte (mm)	Aantal segmenten
<i>Lumbricus terrestris</i>	ep-an	tan	ja	DG	(14)-15(16)	31,32-37	33-36	90-300	110-180
<i>Lumbricus rubellus</i>	ep	tan	ja	DG	geen	26,27-32	28-31	40-150	65-150
<i>Lumbricus castaneus</i>	ep	tan	ja	DG	geen	28-33	29-32	30-85	80-120
<i>Lumbricus festivus</i>		tan	ja	DG	14-16	34-39	(34,35)36-38	50-110	-
<i>Lumbricus eiseni</i>		tan	ja	DG	15	24,25-32,(33)	geen	30-65	75-110
<i>Eisenia fetida</i>	ep	epi	ja	DG	15	(24)25,26-31,32	28-30,31	30-130	80-115
<i>Eiseniella tetraedra</i>	ep	epi	nee	DG	13	(22)23-26(27)	(23)1/2 23-25(26)	15-80	-
<i>Dendrodrilus rubidus rubidus</i>	ep	epi	ja	WG tot U	15	26,27-31,32	29-30	25-60	50-107
<i>D. rubidus subrubicundus</i>	ep	epi	ja	WG tot U	15	25,26-31,32	28-30	27-90	60-110
<i>D. rubidus tenuis</i>	ep	epi	ja	WG	15	25,26,27-30,31,32,33	afwezig of 28,29, 1/2 29-30,31	20-85	90-120
<i>Dendrobaena attensi</i>	ep	epi	dorsaal	U	15	28-33, 34	29,30-32,33	20-50	100-150
<i>Dendrobaena octaedra</i>	ep	epi	ja	U	15	27,28,29-33,34	30,31-33	17-70	70-105
<i>Dendrobaena pygmaea</i>	ep	epi	nee	WG	(14)15(16)	33-37	geen	20	-
<i>Satchellius mammalis</i>		epi	ja	U	14-16	31-36	33-34	-	-
<i>Aporrectodea longa</i>	an	epi	nee	DG	14-16	27,28-35	(31)32-34	90-160	160-200
<i>A. calliginosa f. typica</i>	en	epi	nee	DG	14-16	26,27,28-34,35	31,33	40-130	100-250
<i>A. calliginosa f. trapezoides</i>	en	epi	nee	DG	14-16	26,27,28-34,35	31-33	40-130	100-250
<i>Aporrectodea limicola</i>	en	epi	nee	DG	14-16	(28)29-35(36)	33-34	70-90	-
<i>Aporrectodea rosea</i>	en	epi	nee	DG	15	24,25,26-32,33	29-30,31	25-170	100-170
<i>Aporrectodea icterica</i>	en	epi	nee	DG	14-16	(32,33,34)35-1/2 43(1/2 43-44)	(35,36,37)38-41(42,43,44)	60-80	-
<i>Aporrectodea oculata</i>	en	tan ^{2*}	nee	DG	14-16	(21)22-32	29-30	35-75	-
<i>Allolobophora chlorotica</i>	en	epi	nee	DG	14-16	28,29-37	31,33,35	30-70	80-130
<i>Octolasion cyaneum</i>	en	epi	nee	WG tot U	15	29-34	29,30-33,34	50-180	100-160
<i>Octolasion lacteum</i>	en	epi ^{2**}	nee	WG tot U	14-16	30-35	1/2 30, 31-34, 1/2 35	30-160	85-165

¹ ep: epigeïsch; an: anekïsch; en: endogeïsch; ²** soms onduidelijk; ^{2*}** soms tanylobïsch; ³ DG: dicht gepaard; WG: wijd gepaard; U: uiteen.

stukken worden per bewaarrecipiënt allemaal bijeen gebracht en samen gewogen. Het formulier bevat dus voor elke worm in het bewaarrecipiënt een kolom met de soortnaam, het ontwikkelingsstadium (juv, ad of subad) en het gewicht. Dit is dus geen drooggewicht maar een versgewicht. Het gewicht afgelezen van de digitale balans kan direct ingevoerd worden in een rekenblad op de PC.

Om nu de resultaten van de bemonstering om te rekenen in aantal regenwormen per vierkante meter of gram versgewicht regenwormen per vierkante meter voor een bepaald proefvlak gaat men als volgt te werk. Voor het gewicht in $g\ m^{-2}$ betekent dit:

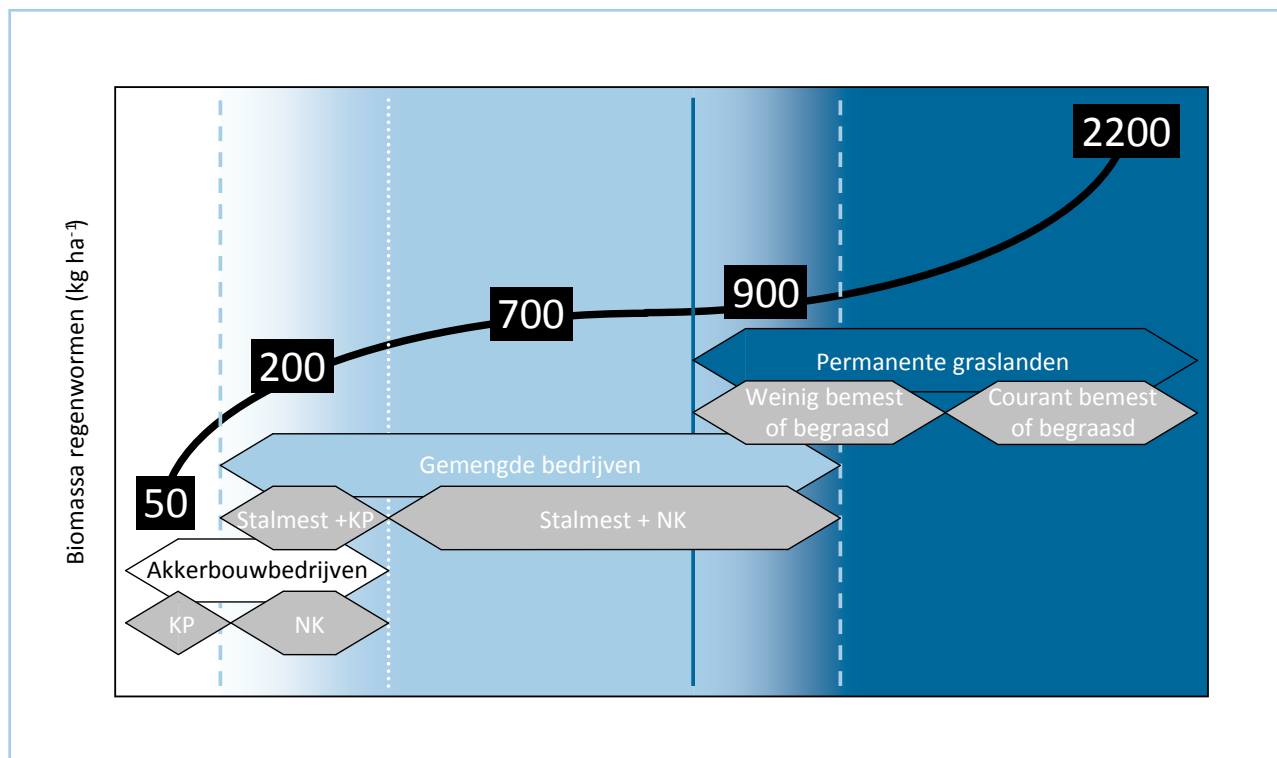
$$[(\text{wormgewicht strooiselbemonstering} \times 10) + (\text{wormgewicht mosterdextractie} \times 2) + (\text{wormgewicht bodembemonstering} \times 10)]$$

Aantallen en gewichten kunnen berekend worden (1) in totaal, (2) per ecologische categorie (Tabel 1) en (3) per soort. De dichtheid aan regenwormen wordt bij voorkeur uitgedrukt in biomassawaarden (het versgewicht per eenheid oppervlakte) aangezien de biomassa sterk gecorreleerd is met het werk dat regenwormen verzetten in de bodem.

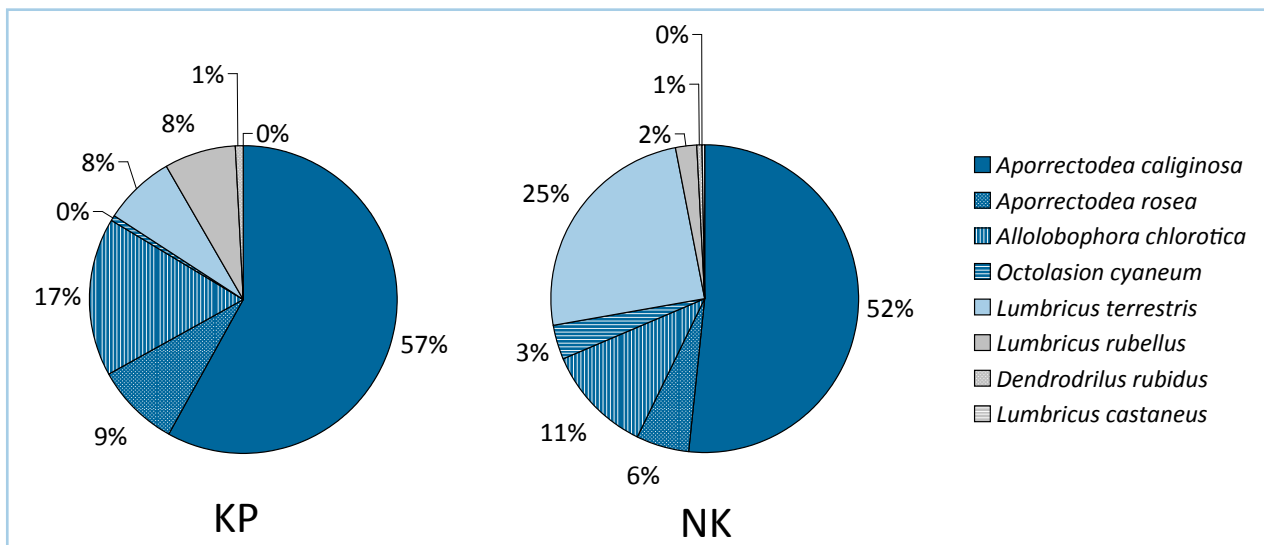
Regenwormen als indicator voor de bodemkwaliteit

Regenwormen kunnen worden beschouwd als sleutelfactoren in de vruchtbaarheid van de bodem. Door hun activiteiten en biogene structuren (zie Module 5) beïnvloeden ze de leefomstandigheden, de talrijkheid, diversiteit en activiteit van tal van andere bodemorganismen, zoals bacteriën en schimmels. Die hebben op hun beurt een bepalende rol in de koolstof- en nutriëntencycli. Regenwormen controleren op beduidende wijze water- en sedimentstromen. Tegelijkertijd vormen de aantallen, biomassa en diversiteit aan regenwormen een goede afspiegeling van de omgevingsomstandigheden, zowel van de natuurlijke milieucondities als van het beheer door de mens (zie Module 6). Ook het feit dat ze door hun relatief grote lichaamslengte met het blote oog te detecteren zijn, de goed gekende taxonomie (beschrijving van de verschillende soorten), en hun lage beweeglijkheid in en op de bodem, maken deze organismen relatief eenvoudig te vangen en op naam te brengen. Dat alles maakt dat regenwormen goede biologische indicatoren zijn van het bodemmilieu waarin ze leven.

Binnen hetzelfde bodemtype bepaalt de be-



Figuur 10. Te verwachten biomassa van regenwormen in functie van de bedrijfsvoering. Geplouge akkers (KP) zonder dierlijke bemesting kunnen slechts minimale regenwormpopulaties in stand houden. Akkers die niet-kerend bewerkt worden (NK) en/of regelmatig dierlijke mest worden toegediend kunnen grote regenwormpopulaties in stand houden. Bemerkt dat de figuur slechts richtgetallen geeft waar individuele landbouwpercelen kunnen van afwijken.



Figuur 11. Procentuele bijdrage per soort aan de totale biomassa regenwormen in klassiek geploegde akkers (links, KP) en niet-kerend bewerkte akkers (rechts, NK) op (zand)leembodems in Vlaanderen. Endogeïsche soorten zijn in donkerblauwe tinten weergegeven, de enige voorkomende anekische soort *Lumbricus terrestris* in lichtblauw, en epigeïsche soorten in grijs tinten. Bemerk dat endogeïsche soorten domineren in akkers, maar dat het aandeel van de diepgravende soort *L. terrestris* beduidend toeneemt in niet-kerend bewerkte akkers. De gemiddelde biomassa in geploegde akkers was 85 kg ha^{-1} , deze in niet-kerend bewerkte akkers 180 kg ha^{-1} . (Bron: Valckx e.a., 2009).

drijfsvoering of het akkerbeheer de talrijkheid van regenwormen in de bodem. Dit beheer bepaalt namelijk in welke mate de bodem verstoord wordt, en het beschikbare voedselaanbod, twee belangrijke factoren voor het voorkomen van regenwormen (zie Module 6; Fig. 10).

Het aantal of de biomassa regenwormen is dus een goede indicatie van het gevoerde beheer en tegelijk een goede afspiegeling van bodemkwaliteit. Geploegde akkers met weinig inbreng van organische bemesting (dierlijke mest, groenbedekkers) geven aanleiding tot zeer kleine regenwormpopulaties van minder dan 100 kg per hectare. Niet-kerend bewerkte akkers op leembodem waar regelmatig dierlijke mest wordt opgebracht kunnen daarentegen regenwormpopulaties tot bijna 1 ton per hectare ondersteunen. In zulke akkers zijn de positieve effecten van regenwormen op de bodem, zoals een goede bodemstructuur, goede water- en luchthuishouding en een snelle vrijzetting van nutriënten dan ook duidelijk merkbaar.

Naast de talrijkheid van regenwormen, vormt ook de soortensamenstelling een belangrijke indicatie van de bodemkwaliteit (Fig. 11). Akkers worden zowel in aantallen als biomassa gedomineerd door endogeïsche soorten zoals *Aporrectodea caliginosa*, *A. rosea*, *Allolobophora chlorotica* en *Octolasion cyaneum*. *A. caliginosa* in het bijzonder is een zeer robuuste soort die vrijwel in elke akker voorkomt. *A. rosea* komt

vrijwel steeds samen met *A. caliginosa* voor, zij het meestal in lagere dichtheden. *A. chlorotica* is eveneens een veelvoorkomende soort, maar houdt zich bij voorkeur op in meer vochtige tot natte (delen van) percelen.

Epigeïsche soorten zijn in de regel in lage dichtheden aanwezig in akkers omdat ze een organische laag (zoals de strooisellaag in bossen) nodig hebben om te overleven. *Lumbricus rubellus*, die zich soms epi-aneekisch gedraagt, vormt daarop een uitzondering.

Diepgravende of anekische soorten verdragen slecht elke vorm van bodemverstoring (in het bijzonder ploegen) en hebben nood aan voldoende voedsel aan het bodemoppervlak. Vandaar dat *Lumbricus terrestris*, de meest courante anekische soort, slecht gedijt in geploegde akkers zonder resten van gewassen of groenbedekkers aan het oppervlak en slechts in gezonde aantallen voorkomt in niet-kerend bewerkte akkers. In percelen die al 5-10 jaar niet-kerend worden bewerkt of direct worden ingezaaid, kan de terugkeer van de anekische soort *Aporrectodea longa* worden verwacht. Van alle in Vlaamse akkers en weilanden voorkomende soorten, stelt deze soort de hoogste eisen aan zijn leefomgeving (bodemrust, voldoende voedsel). Bijgevolg is het de indicatorsoort bij uitstek die zegt dat de bodem zich in een gezonde toestand bevindt.

Module 5

Erosiecontrole door regenwormen

Biogene structuren

Regenwormen, zoals mieren en termieten (in de tropen), beïnvloeden als bodemingenieurs (zie Box 3) de bodem- en strooiselomgeving zowel rechtstreeks als onrechtstreeks door het produceren en onderhouden van zogenaamde biogene structuren. Onder biogene structuren verstaan we de tijdelijke (endogeïsche wormen) en permanente (anekische wormen) gangenstelsels, boven- en ondergrondse uitwerpselen en strooiselhoopjes ('middens' in het Engels, zie verder).

Deze biogene structuren zijn van groot belang bij het controleren van oppervlakkige waterafstroming en erosie (zie verder; Fig. 15).

BOX 3

Regenwormen als bodemingenieurs

Wetenschappers delen regenwormen, net zoals bv. olifanten en bevers, in bij de ecosysteemingenieurs. Regenwormen noemt men ook wel bodemingenieurs, omdat ze een grote impact hebben op het bodemecosysteem. Ecosysteemingenieurs zijn organismen die (on)rechtstreeks het fysische milieu en de beschikbaarheid van hulpbronnen voor andere organismen veranderen, in stand houden of creëren. Een bekend voorbeeld van 'ecosystem engineering' is een beverdam, die een rivierloop en de geassocieerde soorten drastisch beïnvloedt. Op gelijkaardige wijze maar op kleinere schaal hebben regenwormen een grote impact op de bodemomgeving: in uitwerpselen, gangen en middens van regenwormen komen een hoger en diverser aanbod van bodemorganismen zoals schimmels en bacteriën voor dan in de omliggende bodem. Aangezien deze laatste van groot belang zijn voor bv. het vrijzetten van nutriënten, oefenen regenwormen ook onrechtstreeks een grote invloed uit op bodemprocessen zoals nutriëntenrecyclage en koolstofopslag.

Gangenstelsels

Diepgravende regenwormen maken individuele, permanente gangen die ze ook goed onderhouden (Fig. 12). De continue cilindrische gangen zijn zo goed als verticaal georiënteerd, vertakken dikwijls net onder het bodemoppervlak, en reiken van het bodemoppervlak tot soms wel drie meter diep. Diameters variëren van 1 tot 12 mm, afhankelijk van de grootte van het bewonende individu. De wanden van de gangen worden versterkt met uitwerpselen en proteïnerijk slijm, dat tevens de beweging vergemakkelijkt. De gangen kunnen lange tijd blijven bestaan nadat ze verlaten werden door hun bewoner. Anderzijds vormen bodemwoelende (endogeïsche) soorten tijdelijke, veeleer horizontaal georiënteerde gangenstelsels op geringe diepte (0-30 cm). Dit type van gangen ontstaat door het opnemen en weer uitscheiden van grote hoeveelheden bodem in de zoektocht naar voedsel of geschikte temperatuur- en vochtomstandigheden.

Schattingen van het aantal gangen in bodems van de gematigde streken variëren tussen 100 en 800 m⁻² maar de meeste bodems vertonen een gangendichtheid van 50 tot 200 gangen m⁻².

Wanneer de bodemmatrix en de macroporiën van plantenwortels verzadigd zijn met water, en wanneer door het zwellen van klei de meeste bodemholtes dichtgegaan zijn, blijven regenwormgangen van anekische soorten open omwille van hun verstevigde wanden. In combinatie met hun verticale oriëntatie, hun continuïteit en hun relatief grote afmetingen, vormen deze gangen preferentiële verplaatsingswegen voor water en de daarin meegevoerde stoffen. Omdat ze hun activiteiten beperken tot de oppervlakkige bodemlagen, dragen endogeïsche regenwormen wellicht niet rechtstreeks bij tot waterbeweging diep in het bodemprofiel. Het feit dat op zijn minst gedeelten van hun gangen verstopt zitten met uitwerpselen beperkt verder hun efficiëntie in watertransport. Desalniettemin dragen de endogeïsche gangen substantieel bij tot een verhoogde bodemporositeit, wat het totale waterbergingsvermogen van de bodem ten goede komt.



Figuur 12. Diepgravende regenwormsoorten zoals *Lumbricus terrestris* graven quasi-vertikale gangen tot drie meter diepte die dienst doen als permanente 'woonst'. Elk individu onderhoudt zijn eigen gang, die enkel in uitzonderlijke gevallen wordt verlaten (bv. bij langdurige overstrooming of overbevolking). Bij hevige neerslag kunnen deze gangen aanzienlijke hoeveelheden water slikken, waardoor de kans op oppervlakkige waterafstroming en erosie sterk afneemt.

Uitwerpselen

Regenwormuitwerpselen bestaan uit minerale bodempartikels, gemengd met verkleind en verteerd organisch materiaal, micro-organismen en eenvoudige suikerverbindingen geproduceerd in het darmkanaal van de worm (Fig. 13). De vorm en grootte zijn variabel en soortspecifiek en gaat van ronde tot ovale keutels van één tot enkele millimeter in diameter tot een modderachtige brij. Diepgravende regenwormsoorten produceren hun uitwerpselen voornamelijk aan het bodemoppervlak, in de buurt van gangopeningen, of als onderdeel van middens (zie verder). Anderzijds zetten diepgravende wormen ook uitwerpselen af onder de grond, waar ze de gangwand versterken, deels de gang opvullen, of worden afgezet in andere

bodemholtes. Endogeïsche soorten scheiden hun uitwerpselen in de regel uit onder de grond in tijdelijke gangen of andere holtes, maar net zoals bij andere soorten is er eigenlijk weinig geweten over de verhouding van boven- en ondergrondse uitwerpselen.

Het aantal regenwormuitwerpselen aan het bodemoppervlak is een goede indicatie voor de graad van activiteit van regenwormen. In onze gematigde contreien worden de meeste bovengrondse uitwerpselen in het najaar en in mindere mate in het voorjaar waargenomen. De productie van uitwerpselen is laag in de winter, hoog in lente en herfst, en valt in droge zomers stil. De jaarlijkse productie van bovengrondse uitwerpselen wordt gemiddeld geschat op vijf



Figuur 13. Regenwormuitwerpselen bestaan in vele vormen en afmetingen, afhankelijk van de soort die ze produceert. Ze kunnen zowel onder- als bovengronds worden afgezet. Bovengronds dragen ze bij tot de bodemruwheid waardoor afstromend water wordt afgeremd en meer water de bodem kan indringen. Verse uitwerpselen kunnen door regendruppels uit elkaar spatten en bijdragen tot erosie. Uitgeharde uitwerpselen zijn daarentegen vele malen stabiel dan omliggende bodemaggregaten en dragen bij tot een stabiele bodemstructuur.

ton ha⁻¹ in gematigde streken waar diepgravende wormen dominant zijn, maar door de ongekende hoeveelheid ondergrondse uitwerpselen, is de hoeveelheid bodem die jaarlijks door het verteringsstelsel van regenwormen passeert wellicht een factor groter. Op jaarbasis passeert wellicht 25 % van de Ah-horizont door het darmkanaal van regenwormen.

Regenwormuitwerpselen bevatten doorgaans meer klei en leem en minder zand dan de omringende bodem omwille van selectieve opname door regenwormen. Dit effect is meer uitgesproken voor endogeïsche soorten, die in de regel kleiner zijn dan anekische regenwormen. Verder vertonen regenwormuitwerpselen een hogere bulkdensiteit dan de niet-opgenomen bodem - tenzij in reeds gecompacteerd bodems. Ze hebben een hogere pH, bevatten meer beschikbare nutriënten, en worden gekenmerkt door een hogere microbiële activiteit. Verse, vochtige uitwerpselen zijn minder water-stabiël dan niet-opgenomen bodem. Verouderde (droge) uitwerpselen zijn doorgaans veel stabiel (gemeten als aggregaatstabiliteit in water in vochtige toestand) en sterker (gemeten als trekkracht nodig om droge aggregaten uit elkaar te breken) dan natuurlijke bodemaggregaten.

Het produceren van uitwerpselen beïnvloedt de **bodemeigenschappen** op drie verschillende manieren: de bodemporositeit verhoogt, de bo-

demstructuur wordt stabiel, en er wordt een resistente laag aan het oppervlak gecreëerd die de bodem beschermt tegen erosie.

Strooiselhoopjes of middens

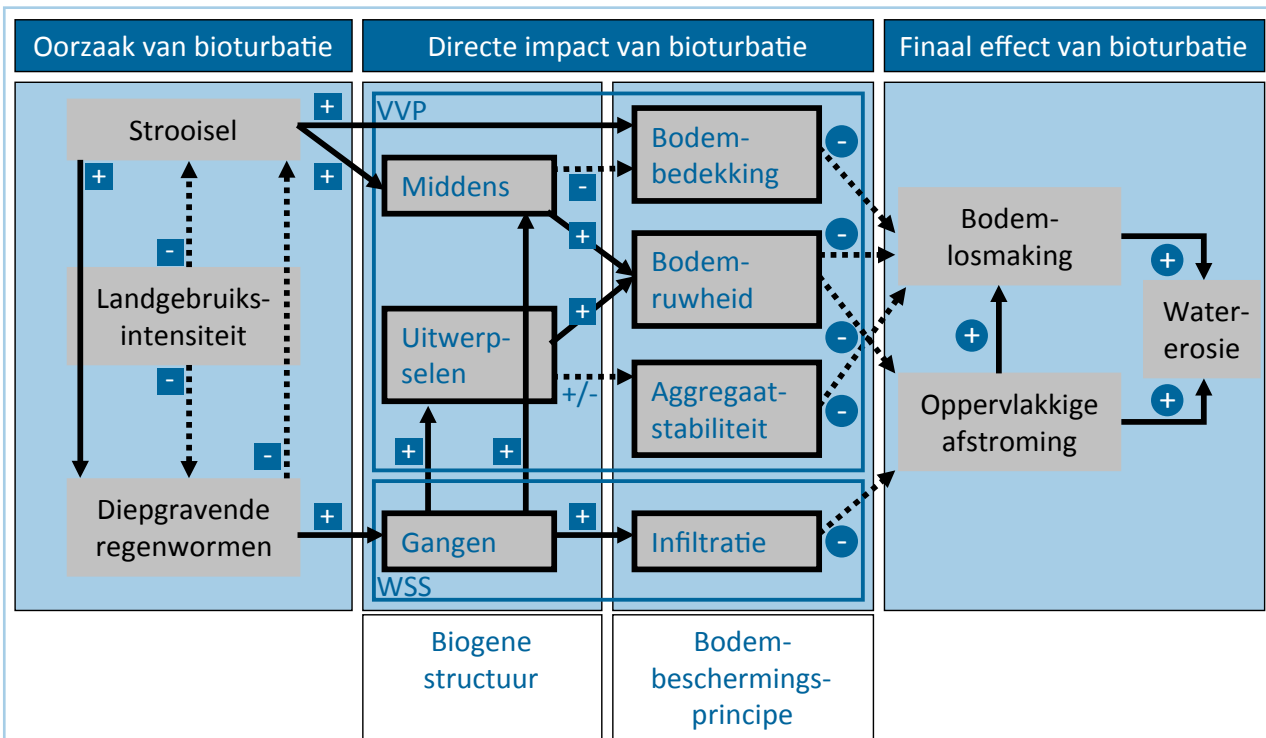
Middens bestaan uit organische resten verzameld aan het bodemoppervlak, uitwerpselen en soms ook kleine keien boven de openingen van de permanente gangen van de diepgravende soort *Lumbricus terrestris* (Fig. 14). Ook *Lumbricus rubellus*, een epigeïsche soort die zich soms anekisch gedraagt, produceert kleine middens. Diameters variëren sterk, maar bedragen meestal 7-10 cm. Middens worden beschouwd als 'biodiversiteitshotspots' met een verhoogde microbiële activiteit en een grotere diversiteit aan bodemorganismen zoals micro-arthropoden, enchytraeïden, maar ook van epigeïsche en endogeïsche wormen dan de omliggende bodem.

Biogeen erosiemodel

Door het produceren van biogene structuren (zie hoger), 'bioturberen' regenwormen de bodem (Fig. 15): dat wil zeggen dat ze door hun activiteiten enerzijds de sedimentstructuur kunnen wijzigen (bv. graven van gangen, de vorming van stabiele bodemaggregaten uit regen-



Figuur 14. Strooiselhoopjes of middens gefabriceerd door de diepgravende regenwormsoort *Lumbricus terrestris*. Middens beschermen de gangopeningen en vormen een tijdelijke voedselvoorraad die na voorvertering door schimmels en bacteriën gemakkelijker te consumeren is door de wormen. De wormen gebruiken alle beschikbare materialen om middens te construeren, zoals gewasresten (links), en keien en afgestorven bloeiwijzen (midden). Op plaatsen waar erosie optreedt (let op de ontblote wortels in de foto rechts), spoelt het strooisel regelmatig weg, maar de keien blijven achter.



Figuur 15. Schematische voorstelling van een biogeen erosiemodel met aanduiding van de versterkende (+) en/of afremmende effecten (-) tussen de verschillende componenten. Het schema stelt een oorzaak-gevolg keten voor die van links naar rechts dient gelezen te worden. In de eerste plaats bepalen het landgebruik en de beschikbaarheid van strooisel de talrijkheid van diepgravende wormen. De wormen op hun beurt creëren via bioturbatie (het wijzigen van de sedimentstructuur (WSS) en de verplaatsing van bodempartikels (VVP)) een reeks biogene structuren, die een impact hebben op de bodemgesteldheid en waterinfiltratiecapaciteit. Netto dragen diepgravende wormen bij tot het afremmen van waterosie. (Bron: Valckx e.a., 2009).

wormuitwerpselen) en anderzijds aanleiding kunnen geven tot verbreiding van bodempartikels (bv. afspoelen van uitwerpselen aan het bodemoppervlak).

De graad van **bioturbatie** wordt in de eerste plaats bepaald door het landgebruik, omdat dit samen met de hoeveelheid strooisel de talrijkheid van diepgravende soorten stuurt. De activiteiten en biogene structuren (middens, uitwerpselen en gangen) van diepgravende wormen beïnvloeden op hun beurt die eigenschappen van de bodem en het bodemoppervlak die van groot belang zijn voor erosiecontrole, met name de waterinfiltratiecapaciteit, de bodemaggregaatstabiliteit, de bodemruwheid en de bodembedekking. Dit is schematisch weergegeven in het biogene erosiemodel in Fig. 15.

Bodembedekking

Het eerste basisbeginsel van bodembescherming tegen erosie stelt dat de bodem zo goed mogelijk beschermd dient te worden tegen rechtstreekse regendruppelimpact. In de praktijk gebeurt dit door de bodem maximaal be-

dekt te houden met gewasresten, mulch of levende vegetatie. Diepgravende wormen voeden zich met relatief vers organisch materiaal aan het bodemoppervlak zoals gewasresten, resten van groenbedekkers en organische mest. Ze doen dit door het voedsel geheel of gedeeltelijk in hun gang te trekken, waar het wordt verteerd door bodemmicro-organismen. Door het wegnemen van beschermende elementen aan het bodemoppervlak, kunnen regenwormen potentieel bijdragen tot een grotere blootstelling van de bodem aan rechtstreekse regendruppel-impact, en werken ze in feite ecologische erosiecontrole tegen. Zoals verder wordt toegelicht is echter het netto-erosie-effect van alle biogene structuren van belang.

Waterinfiltratie

In tweede instantie is het van belang dat zoveel mogelijk water dat de bodem bereikt ter plaatse infiltreert. Verticale gangen gecreëerd door diepgravende soorten en de verhoogde bodemporositeit door toedoen van bodemwoelende soorten verhogen de infiltratiesnel-

heid tussen 2 en 15 maal, waardoor oppervlakkige afstroming vermindert en het risico op het transport van sediment, nutriënten en agrochemicaliën over land daalt. Oppervlakkige graafactiviteiten kunnen bovendien de bodemkorst van verslechte bodems doorbreken, wat een verdere stijging in infiltratiecapaciteit en een daling van de oppervlakkige afstroming betekent.

Bodemaggregaatstabiliteit

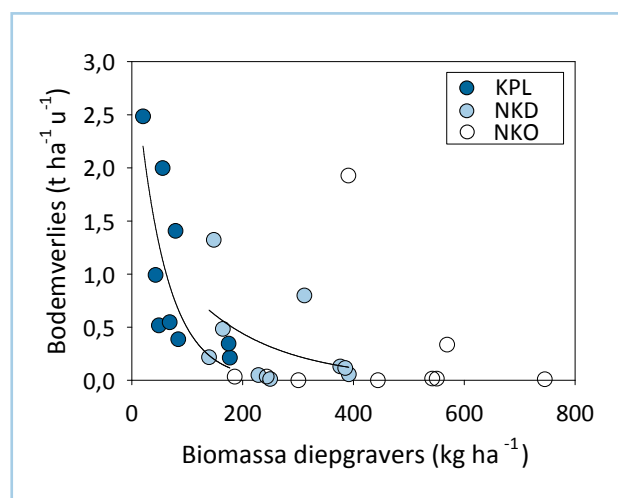
Ten derde moet een goed gestructureerde bodem op basis van stabiele bodemaggregaten verhinderen dat bodempartikels loskomen en worden weggespoeld. De uitwerpselen van regenwormen dragen op een significante wijze bij tot de vorming van stabiele bodemaggregaten. Anderzijds kunnen recent afgezette uitwerpselen aan het bodemoppervlak, die nog niet de kans gehad hebben uit te harden en stabiel te worden, gevoeliger zijn voor verbreiding door regendruppels en voor transport in oppervlakte-afstroming dan oudere uitwerpselen. In welke mate regenwormuitwerpselen aan het bodemoppervlak een potentiële bron van gemakkelijk erodeerbare bodemdeeltjes vormen, hangt dus af van de heersende weersomstandigheden op het tijdstip van productie en de geproduceerde hoeveelheid verse uitwerpselen op dat moment. Gezien regenwormen in de regel het meest actief zijn in relatief vochtige periodes, en ze dus dan ook het meeste uitwerpselen produceren, is de tweede piste meer aannemelijk. Op lange termijn geven de uitwerpselen echter aanleiding tot stabiele bodemaggregaten en een goede bodemstructuur en dus tot een bodem die minder erosiegevoelig is.

Bodemruwheid

Het vierde en laatste bodembeschermingsprincipe stelt dat indien zich toch oppervlakkige afstroming zou voordoen, het afstromende water zo goed mogelijk oppervlakkig geborgen en afgeremd dient te worden. Het komt er dus op aan om de bodemruwheid zo hoog mogelijk te houden. Organisch materiaal dat niet als voedsel in de gangen van diepgravende soorten verdwijnt, blijft achter als vrije organische resten of worden ruimtelijk herverdeeld bij de vorming van middens aan het bodemoppervlak. Hierdoor verhoogt de bodemruwheid en het oppervlakkig bergingsvermogen: water zal beter de kans krijgen in de bodem te infiltreren en overtollig water zal trager afstromen, daarbij minder bodemdeeltjes losmakend en meevoerend. Ook uitwerpselen aan het bodemoppervlak vormen een fysische barrière tegen afstromend water.

Netto-erosiecontrole door regenwormen

Zoals uit het biogene erosiemodel blijkt (Fig. 15), dragen sommige activiteiten van regenwormen bij tot erosiecontrole en andere niet, of in mindere mate. Veldproeven van het ECOWORM project hebben echter overtuigend uitgewezen dat het netto-resultaat van bioturbatie door regenwormen een afremming van erosie oplevert (Fig. 16). Het erosieremmend effect is het meest uitgesproken op geploegde akkers. Dit lijkt op het eerste zicht contra-intuïtief. Geploegde akkers zijn precies door het jarenlang ploegen arm aan regenwormen. Echter, precies door de lage regenwormaantallen resulteert elke extra regenwormgang die wordt verkregen door regenwormvriendelijke maatregelen (Module 6) of het introduceren van diepgravende wormen in zulke akkers in een groot erosie-remmend effect. Het effect van extra wormen in niet-kerend bewerkte (= regenwormvriendelijke) akkers is - relatief gezien - minder uitgesproken dan in geploegde akkers, maar in absolute cijfers is erosie veel lager in niet-kerend bewerkte dan in geploegde akkers, precies door het regenwormvriendelijk akkerbeheer en de grote regenwormpopulaties.



Figuur 16. Exponentiële afname van het bodemverlies in functie van de biomassa diepgravende regenwormen in een veld-experiment in een tarwe-akker op zandleembodem. De exponentiële afname van het bodemverlies is het sterkst in de klassiek geploegde proefvlakken (KPL) en minder uitgesproken in de diep niet-kerend bewerkte proefvlakken (NKD). Op enkele uitschieters na werd geen erosie vastgesteld in het ondiep niet-kerend bewerkte gedeelte van het veld (NKO). In dit laatste gedeelte werd eveneens de hoogste biomassa diepgravende wormen waargenomen. (Bron: Valckx e.a., 2009).



*De diepgravende regenworm *Lumbricus terrestris* speelt een belangrijke rol in het tegengaan van erosie. Deze soort leeft in individuele, permanente, verticale gangen die ze slechts uitzonderlijk verlaten. Toch is het van belang om te weten hoe ver en onder welke omstandigheden deze dieren zich verplaatsen, bv. om te weten hoe snel ze akkers kunnen (her)koloniseren vanaf het moment dat deze niet-kerend worden bewerkt. Tot op heden is hierover weinig geweten. Sporenonderzoek (zie foto) en observaties met infraroodgevoelige camera's kunnen helpen bij het ontrafelen van het verspreidingsgedrag van deze nachtdieren.*

Module 6

Regenwormvriendelijk akkerbeheer

Belangrijke omgevingsfactoren

Verschillende natuurlijke factoren beïnvloeden de talrijkheid en de diversiteit aan regenwormen in de bodem. In de eerste plaats spelen de bodemtextuur, de bodemdiepte, fysische en chemische bodemeigenschappen en het weer een belangrijke rol.

Leembodems bieden de minste weerstand tegen de graaactiviteiten van regenwormen, en in zulke bodems zijn meestal ook geschikte voedsel- en vochtomstandigheden voor regenwormen aanwezig. Leembodems vertonen echter niet de fysische weerstand van zandbodems tegen bodemverdichting, en ze herstellen ook niet spontaan van bodemverdichting door zwel- en krimppgedrag zoals kleibodems. Dat maakt bodems met een hoog leemgehalte uiterst gevoelig voor verdichting, maar verhoogt evenzeer het belang van bioturbatie door regenwormen in deze bodems. **Zandbodems** bemoeilijken de beweging en de voeding van regenwormen door het schurend effect van zandkorrels. Kleine soorten ondervinden bovendien moeilijkheden om de grote zandpartikels op te nemen. Verder drogen zandbodems sneller uit dan andere bodemtypes. Matige hoeveelheden klei in de bodem zijn gunstig voor regenwormpopulaties, maar zware **kleibodems** vertonen vaak een te grote plasticiteit en zuurstofgebrek in natte omstandigheden of worden te hard bij uitdroging. Regenwormen verkiezen bodems met pH-waarden tussen 4,4 en 11. In de regel vormt de pH van landbouwbodems dus geen probleem voor het voorkomen van regenwormen.

Regenwormen zijn bodemorganismen die enerzijds relatief gevoelig zijn voor bodemverstoringen, maar zich anderzijds snel kunnen herstellen indien de omstandigheden gunstig zijn. Met andere woorden, wormen hebben nood aan een zo weinig mogelijk verstoord habitat (= de bodem) en een voldoende hoeveelheid voedsel van voldoende kwaliteit. Binnen de marges die toegelaten worden door de abiotische omstandigheden zoals hierboven omschreven, kan de landbouwer via het akkerbeheer een grote invloed uitoefenen op het voorkomen van regenwormen.

Leefruimte

Mechanische bodemverstoringen hebben verschillende effecten op regenwormen. Eerst en vooral maken ze de leefruimte, in het bijzonder de verticale gangen van diepgravende soorten, kapot. Aangezien deze soorten afhankelijk zijn van hun gang voor overleving, dienen ze na een bodembewerking te investeren in het herstellen of opnieuw graven van hun woonst. Landbouwgereedschap doodt en verwondt ook een aanzienlijk deel van de regenwormpopulaties en het opwoelen van individuen naar de oppervlakte stelt hen bloot aan predatie door natuurlijke vijanden (bv. meeuwen). **Diepe en kerende bodembewerkingen** hebben als gevolg dat regenwormpopulaties sterk afnemen, in het bijzonder de diepgravende soorten die van groot belang zijn voor erosiecontrole. Bodemwoelende soorten kunnen echter tijdelijk toenemen door het inwerken van organische resten in de bodem bij ploegen.

Niet-kerende bodembewerkingen (Box 4; Fig. 17 en 18) leiden op relatief korte termijn (één tot enkele jaren) tot het herstel van regenwormpopulaties. Niet alleen het aantal en het versgewicht aan wormen neemt toe, maar ook de soortendiversiteit. Een spectaculaire stijging van het aandeel diepgravende soorten is meestal het gevolg. Het succes en de snelheid waarmee regenwormpopulaties herstellen ten opzichte van geploegde percelen hangen af van de uitgangssituatie van de populaties in het perceel (bv. altijd geploegd, gescheurd grasland), de duur waarover minder intensieve bodembewerkingen worden toegepast, en van het voedselaanbod (zie lager). Populaties kunnen uiteraard niet oneindig groeien en zullen stabiliseren op een niveau dat in evenwicht is met de voedselbeschikbaarheid, de beschikbare leefruimte, en de interacties tussen regenwormindividuen.

Naast het minimaal verstoren van de bodem door een doordachte keuze van de frequentie, diepte, en type van bodembewerking, speelt ook de **gewasrotatie** een belangrijke rol. Teelten zoals aardappelen op ruggen en het rooien van bieten leiden tot een aanzienlijke verstoring van de bodem.

BOX 4

Wat is gereduceerde of niet-kerende bodembewerking?

Bij niet-kerende bodembewerking wordt een landbouwgewas ingezaaid in de vegetatieresten van de vorige oogst of van de afgestorven groenbedekker. Vóór het zaaien van het hoofdgewas wordt de bodem dus niet geploegd op de klassieke wijze. Er kan wel een zaaibedbereiding gebeuren, eventueel gecombineerd met een niet-kerende bewerking. Deze niet-kerende bewerking kan oppervlakkig worden uitgevoerd (7-10 cm), maar evenzeer tot op ploegdiepte. Belangrijk daarbij is dat de bodem niet gekeerd wordt zoals bij ploegen, en dat de bodem zo min mogelijk gemengd wordt zodat de humus zich concentreert in de bovenste bodemlaag. Niet-kerende bodembewerking kan met diverse werktuigen worden uitgevoerd, zoals de ganzenvoet of de triltandcultivator. De minst versturende vorm van gereduceerde bodembewerking is directe inzaai. Bij directe inzaai wordt het hoofdgewas met een speciale zaaimachine gezaaid in de vegetatieresten van de vorige oogst of de afgestorven groenbedekker zonder dat er eerst een hoofdgrondbewerking of zaaibedbereiding gebeurt. Beide vormen van niet-kerende bodembewerkingen worden ook wel eens ploegloos telen genoemd (Gillijns e.a., 2005).

Voedsel

Regenwormen eten relatief vers (strooiselwormen, diepgravers) of gehumificeerd organisch materiaal (bodemwoelers). Vers organisch materiaal wordt pas geconsumeerd na verwerking zodat schadelijke of onsmakelijke stoffen worden uitgeloozd, harde weefsels worden

afgebroken en micro-organismen het verteeringsproces in gang hebben gezet. Het voedsel bestaat in hoofdzaak uit afgestorven bovengrondse plantenresten, maar ook dode wortels en organische verbindingen uitgescheiden door wortels staan op het menu.



Figuur 17. Bieten na Gele mosterd in een klassiek geploegde akker (links), een niet-kerend bewerkte akker (midden), en een akker met directe inzaai (rechts). Let op de grote verschillen in de bedekking van de bodem door mosterdresten. De resten aan het oppervlak beschermen de bodem tegen regendruppelimpact en hebben dus een erosieremmend effect. Bovendien temperen ze het bodemklimaat en vormen ze een geschikte voedselbron voor diepgravende regenwormsoorten. Diepgravende wormen dragen op beduidende wijze bij tot het afremmen van oppervlakkige waterafstroming en bodemerosie doordat ze grote open verticale gangen graven en voor een goede bodemstructuur zorgen.

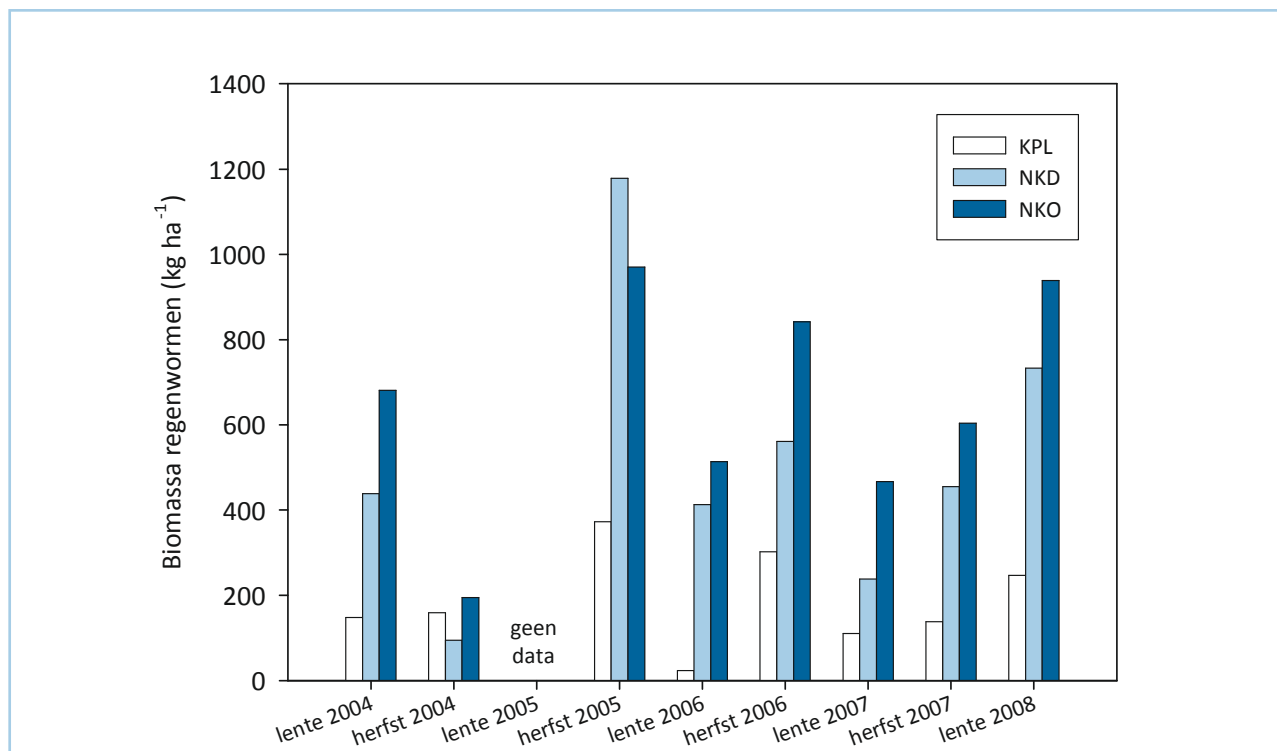
Populatie-niveaus zijn veelal begrensd door de beschikbaarheid van voedsel. **Graanteelten** laten aanzienlijk meer resten achter dan wortelgewassen. Organische bemesting in de vorm van groenbedekkers, stalmest of drijfmest verhogen niet alleen het voedselaanbod, maar ze fungeren ook als microklimaattemperende mulch aan het bodemoppervlak en ze stimuleren plantengroei, waardoor onrechtstreeks het voedselaanbod nog toeneemt. Ook het matige gebruik van minerale meststoffen verhoogt indirect de voedselbeschikbaarheid door een hogere biomassa-productie. Overdadig toepassen van stikstofhoudende meststoffen kan tot verzuring van de bodem leiden en dient vermeden te worden.

Niet alleen de hoeveelheid voedsel, maar ook de kwaliteit en diversiteit van het **voedselaanbod** zijn belangrijk. Lignine, en in mindere mate cellulose, zijn minder geliefde voedingsbestanddelen omdat ze moeilijker afbreekbaar zijn. Koolstof:stikstofverhoudingen van het beschikbare voedsel zijn bij voorkeur lager dan 20:1, wat meestal het geval is met landbouwgewassen of tussenteelten. De gewaskeuze bepaalt dus niet alleen hoeveel boven- en ondergrondse biomassa wordt geproduceerd en hoeveel gewasresten

achterblijven na de oogst, maar evenzeer de kwaliteit en diversiteit van voedsel voor regenwormen. Vandaar dat in percelen waarin maïs deel uitmaakt van een rotatieschema en niet als monocultuur wordt geteeld, de regenwormen het uitdrukkelijk beter doen.

Een permacultuur van **grasland**, dat een goede en continue voedselbron vormt, en weinig tot geen bodemversoring met zich meebrengt, is uitermate gunstig voor regenwormen.

Naast minder bodemverstoring (zie Leefruimte) hebben niet-kerende bodembewerkingen als bijkomend voordeel dat organische resten aan het bodemoppervlak blijven liggen. Dit verhoogt aanzienlijk het voedselaanbod voor diepgravende regenwormsoorten, die 's nachts naar het bodemoppervlak komen op zoek naar voedsel. Deze organische resten temperen bovendien vocht- en temperatuurverschillen in de bodem. Herbiciden zoals glyfosaat zijn meestal niet toxisch voor regenwormen, en kunnen de bodembedekking door vegetatie, het voedselaanbod en het bodemmicroklimaat beïnvloeden. Organofosfaatverbindingen, insecticiden van de carbamaatgroep, en benomyl-gerelateerde fungiciden zijn echter wel uiterst giftig voor regenwormen.



Figuur 18. Biomassa regenwormen (kg ha⁻¹) in een akker op zandleembodem in Huldenberg opgesplitst in een klassiek geploegde strook (KPL), een diep niet-kerend bewerkt gedeelte (NKD) en een oppervlakkig niet-kerend bewerkt gedeelte (NKO) over de periode 2004-2008. Bemerkt de significant hogere biomassa regenwormen onder niet-kerende bewerking ten opzichte van ploegen en de schommelingen tussen jaren en seizoenen veroorzaakt door weersomstandigheden en teeltwisseling. (Bron: www.sowap.org; Valckx e.a., 2009).

Bronvermelding

Bibliografie

Darwin, C., 1881. The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on their Habits. Murray, London. Vrij beschikbaar op <http://darwin-online.org.uk>

Edwards, C.A. en Bohlen, P.J., 1996. Biology and Ecology of Earthworms. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Edwards, C.A. (Ed.), 2004. Earthworm Ecology. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Geelen, P. (Ed.), 2006. Handboek Erosiebestrijding. Hasselt.

Gillijns, K., Verbist, K., Gabriels, D., Govers, G., Poesen, J., Van Hecke, E., 2004. Richtlijnenboek Erosiebestrijdingsmaatregelen. Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer (AMINAL), Brussel.

Gillijns, K., Govers, G., Poesen, J., Mathijs, E., Bielders, C., 2005. Bodemerosie in België - Stand van zaken. Koninklijk Instituut voor het Duurzame Beheer van de Natuurlijke Rijkdommen en de Bevordering van Schone Technologie, vzw, Brussel.

Notebaert, B., Govers, G., Verstraeten, G., Van Oost, K., Ruyschaert, G., Poesen, J., Van Rompaey, A., 2006. Verfijnde erosiekaart Vlaanderen: eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie.

Valckx J., Govers G., Hermy M., Muys B., 2009. ECOWORM - Erosiecontrole in akkerland door het beheer van regenwormgemeenschappen. Eindrapport IWT project 040681. Departement Aard- en omgevingswetenschappen, K.U.Leuven.

Sims, R.W. en Gerard, B.M. (Eds.), 1999. Earthworms. The Linnean Society of London and The Estuarine and Coastal Sciences Association, Shrewsbury.

Foto's

Cielen Veerle: Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5

Earthworm Research Group: Fig. 13 (foto links)

Gillijns Katleen: Fig. 17

Granval Philippe: Fig. 12

Hermy Martin: Tabel 1 (foto midden, foto rechts); p. 29

Stewart Amy: omslagfoto

Valckx Jan: Fig. 2, Tabel 1 (foto links), Fig. 7, Fig. 13 (foto rechts), Fig. 14

