



Vlaanderen
is omgeving



Expertenopdracht bodembiodiversiteit

Eindrapport

omgevingvlaanderen.be

EXPERTENOPDRACHT BODEMBIODIVERSITEIT – INVENTARIS VAN ONDERZOEKSPROJECTEN, KENNIS EN MEETTECHNIEKEN.

Bodembiodiversiteit is sterk gelinkt aan de gezondheid van onze bodems en wint aan belang binnen het bodembeleid, zowel in Vlaanderen, Europa als wereldwijd. Het doel van deze expertenopdracht is om een zicht te krijgen op de staat van het **bodembiodiversiteitsonderzoek in Vlaanderen** en een uitgebreide vergelijking te doen van **meettechnieken** voor bodembiodiversiteit, met speciale aandacht voor de beleidsrelevantie van deze technieken en mogelijke **bodembiodiversiteits-indicatoren**.

Dit rapport omvat de input van 30 experts, een workshop met verschillende actoren uit het beleid en een desktopstudie. De 30 experts zijn afkomstig uit de vier partnerinstellingen betrokken in de uitvoering van deze expertenopdracht (ILVO, INBO, UGent of UHasselt) enerzijds en uit andere instellingen anderzijds. De input van de externen werd verkregen via mondelinge en schriftelijke interviews. De desktopstudie werd door de partners uitgevoerd en de workshop met actoren uit het beleid diende om de bevindingen van de experts en de desktopstudie af te toetsen met het beleid.

In **DEEL 1** van dit rapport worden 62 projecten, meetcampagnes of initiatieven rond bodembiodiversiteit in Vlaanderen opgesomd en worden de leemtes en noden in het bodembiodiversiteitsonderzoek in Vlaanderen samengevat. In **DEEL 2a** lijsten we meettechnieken op die gebruikt worden om bodembiodiversiteit in te schatten en wordt hun bruikbaarheid en beleidsrelevante door de experts geëvalueerd via een scoresysteem. Daarnaast worden ook de voor- en nadelen van deze meettechnieken beschreven. In **DEEL 2b** bespreken we potentiële beleidsrelevante indicatoren voor bodembiodiversiteit die enerzijds door de experts werden voorgesteld en anderzijds werden verkregen via desktopstudie. Deze desktopstudie omvatte het samenvatten van (1) initiatieven over bodembiodiversiteitindicatoren buiten Vlaanderen en (2) biodiversiteitsindicatoren gekend in andere ecosystemen dan bodem. Als laatste formuleren we conclusies en aanbevelingen.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever

Peter Cabus
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs

ILVO (Plant)	Dr. ir. Jane Debode
ILVO (Plant)	Dr. Lisa Joos
ILVO (Plant)	Lieven Waeyenberge
ILVO (Plant)	Dr. ir. Wannes Dermauw
ILVO (Plant)	Dr. ir. Koen Willekens
ILVO (Plant)	Ing. Johan Witters
INBO	Dr. ir. Bruno De Vos
INBO	Drs. Sam Lambrechts
Uhasselt	Dr. Sofie Thijs
UGent	Dr. ir. Pallieter De Smedt
UGent	Prof. Dr. ir. Kris Verheyen
UGent	Dr. ir. Stephanie Schelfhout

Depotnummer

D/2023/3241/303

Wijze van citeren

Debode, J., Joos, L., De Vos, B., Thijs, S., Schelfhout, S., Verheyen, K., De Smedt, P., Lambrechts, S., Willekens, K., Waeyenberge, L., Dermauw, W. & Witters, J. (2023). *Expertenopdracht bodembiodiversiteit – Inventaris van onderzoeksprojecten, kennis en meettechnieken*. Vlaams Planbureau voor Omgeving, Brussel.

PARTNERS



EXPERTENOPDRACHT BODEMBIODIVERSITEIT

INHOUD

1	Inleiding	5
2	Aanpak.....	6
2.1	Experten en beleidsworkshop	6
2.2	Opbouw opdracht	7
2.2.1.	DEEL 1: Onderzoeksinitiatieven en beschikbare kennis in Vlaanderen	8
2.2.2.	DEEL 2: Inventarisatie van meettechnieken bodembiodiversiteit	8
3	Resultaten.....	11
3.1	Deel 1: Inventarisatie kennis bodembiodiversiteit in Vlaanderen	11
3.1.1	Onderzoeksprojecten en meetcampagnes in Vlaanderen	11
3.1.2	Leemtes en noden in het huidige onderzoek naar bodembiodiversiteit in Vlaanderen	17
3.2	DEEL 2a: Meettechnieken	17
3.2.1	Beschrijving van de meettechnieken	18
3.2.2.	Voor- en nadelen van de technieken op basis van eDNA vs. andere technieken	27
3.2.3.	Beoordeling van de meettechnieken door de experts	28
3.3	Deel 2B: Indicatoren	30
3.3.1	Inventaris en beoordeling door de experts	31
3.3.2	Initiatieven buiten Vlaanderen of andere ecosystemen dan bodem	33
3.3.3	Initiatieven rond bodembiodiversiteit op globaal niveau	33
3.3.4	Initiatieven rond bodembiodiversiteit in Europa	35
4	CONCLUSIES EN Aanbevelingen	37
4. 1.	Conclusies	37
4.2.	Aanbevelingen	37
4.2.1.	Set van 6 metingen	37
4.2.2.	Opleidingen, overlegplatform en toekomstige projecten	38
4.2.3.	Concrete beleidsdoelen	40
5.	Referenties	43
Bijlage 1	51

1 INLEIDING

Bodembiodiversiteit speelt een cruciale rol in de gezondheid van onze bodems en wint aan belang binnen het bodembeleid, zowel in Vlaanderen, Europa (Orgiazzi et al. 2022, Labouyrie et al. 2023) als wereldwijd (FAO, ITPS, GSBI, CBD & EC 2020; Guerra et al. 2021). Het doel van deze expertenopdracht is om een overzicht te krijgen van de staat van het **bodembiodiversiteitsonderzoek in Vlaanderen**, en een uitgebreide vergelijking te maken van **meettechnieken** voor bodembiodiversiteit, met speciale aandacht voor de beleidsrelevantie van deze technieken en mogelijke **bodembiodiversiteits-indicatoren**. In onderstaande tabellen (**Tabel 1 & 2**) wordt de definitie gegeven van belangrijke termen en afkortingen gebruikt in dit rapport.

Tabel 1 | Definitie van belangrijke termen in dit rapport

Term (referentie)	Definitie
Bodembiodiversiteit (CBD, 1992; Winding et al. 2020)	De verscheidenheid van het leven onder de grond, van genen en soorten tot de gemeenschappen die ze vormen, evenals de ecologische complexen waartoe ze bijdragen en waartoe ze behoren, van microhabitats in de bodem tot landschappen.
Bodembiodiversiteitsindicatoren (Pulleman et al. 2012)	Meetbare surrogaten voor een bepaald milieu-eindpunt dat op zichzelf te complex is om te beoordelen. Geven informatie over de status en trends van een landgebruikstype.
Micro-organismen (Nielsen et al. 2015)	Organismen die een lichaamswijdte hebben kleiner dan 0.1 mm zoals virussen, bacteriën, schimmels, archaea, protisten en nematoden.
Mesofauna (Nielsen et al. 2015)	Organismen die een lichaamswijdte hebben tussen 0.1 en 2 mm zoals micro-arthropoden (mijten, springstaarten, ...).
Macrofauna (Nielsen et al. 2015)	Organismen die een lichaamswijdte hebben tussen 2 en 20 mm zoals bodeminvertebraten (regenwormen, mieren, spinnen, ...).
Metabarcoding (Pawlowski et al. 2021)	Het gelijktijdig identificeren/barcoden van alle organismen in een bulk staal (het totaal aan verzamelde organismen in een staal)
eDNA metabarcoding (Pawlowski et al. 2021)	Environmental DNA metabarcoding. Metabarcoding van DNA dat rechtstreeks uit een omgevingsstaal is geëxtraheerd, zonder eerst de organismen te verzamelen. Dit wordt dikwijls ook gewoon 'DNA metabarcoding' genoemd als het om micro-organismen gaat.

Tabel 2 | Definitie van afkortingen in dit rapport

Afkorting	Definitie
LTER	Long term ecological research sites
CFE	Chloroform fumigatie- en extractiemethode
Cmic	Koolstof microbiële biomassa
Nmic	Stikstof microbiële biomassa
C	Koolstof
HWC	Warm-water extraheerbare koolstof
CO ₂	Koolstofdioxide
CFU	Colony Forming Units
qPCR	Quantitative polymerase chain reaction



2 AANPAK

2.1 EXPERTEN EN BELEIDSWORKSHOP

Deze opdracht werd uitgevoerd tussen 1 maart 2023 en 31 augustus 2023 door vier onderzoeksinstituten: ILVO, INBO, UGent en UHasselt, actief in onderzoek naar bodembiodiversiteit, elk met expertise in bepaalde landgebruiken en types bodemleven, zoals in **Tabel 3** gedetailleerd. Diverse experts van deze onderzoeksinstituten verzamelden vanuit hun expertise wetenschappelijke en praktijkrelevante informatie en literatuur. De status van onderzoek en kennis bij andere onderzoeksinstituten in Vlaanderen werd vastgesteld door middel van interviews van experts (**Tabel 3**). De interviews betroffen de in **Bijlage 1** opgelijste vragen en aan de geïnterviewden werd ook de ruimte geboden om aanvullende relevante informatie te verstrekken. Elke geïnterviewde waarbij het gesprek werd opgenomen, werd gevraagd om een geïnformeerd toestemmingsdocument te ondertekenen.

In juli 2023 werd een beleidsworkshop georganiseerd die diende om de bevindingen van de experts opgelijst in **Tabel 3** af te toetsen met het beleid. Naast de partners en de opdrachtgever, namen de volgende instellingen hieraan deel: Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), Regionaal Landschap Zuid-Hageland (RLZH), Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM) en Departement Landbouw en Visserij.

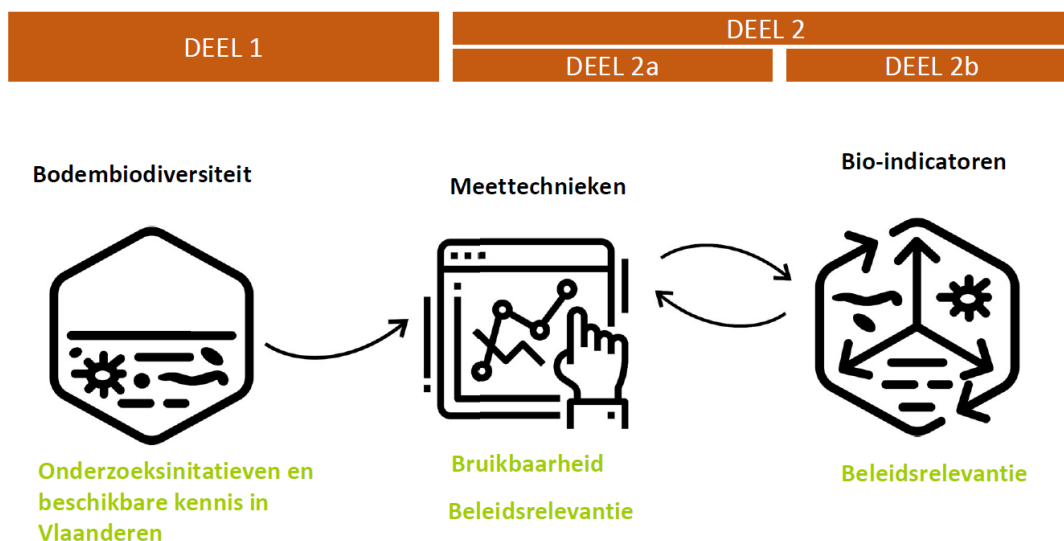
Tabel 3 | Experts bodembiodiversiteit voor deze opdracht
P = partner, I = interview

Naam expert	Instelling	P/ I	Expertise	Landgebruik
Dr. ir. Debode Jane	ILVO	P	bodemmicrobiologie	landbouw
Dr. ir. Dermauw Wannas	ILVO	P	insecten, mijten	landbouw
Dr. Joos Lisa	ILVO	P	bodemmicrobiologie en nematoden	landbouw
Waeyenberge Lieven	ILVO	P	nematoden	landbouw
Ing. Witters Johan	ILVO	P	insecten, mijten	landbouw
Dr. ir. Willekens Koen	ILVO	P	bodemexpert	landbouw
Dr. ir. De Vos Bruno	INBO	P	bodembiodiversiteit	natuur en bos
Dr. Debruyne Luc	INBO/UA	P	ecoloog	natuur en bos
Drs. Lambrechts Sam	INBO	P	moleculaire ecologie	natuur en bos
Dr. Polet Marc	INBO	P	entomoloog	natuur en bos
Dr. Soors Jan	INBO	P	bioloog (benthos)	estuariene natuur
Dr. ir. De Smedt Pallieter	UGent	P	macrofauna in de bodem	alle
Dr. ir. Schelfhout Stephanie	UGent	P	macrofauna in de bodem en bodemecologie i.f.v. natuurherstel	natuur en bos
Prof. Dr. ir. Verheyen Kris	UGent	P	biodiversiteit	natuur en bos
Dr. Thijs Sofie	UHasselt	P	bodembiologie	industrie en privétuinen
Prof. Dr. Bert Wim	UGent	I	nematoden	alle
Prof. Dr. Carnol Monique	ULiège	I	bodemecologie	alle

Prof. Dr. de la Peña Eduardo	UGent	1	bodemecologie	landbouw en natuur en bos
Dr. Dekoninck Wouter	KBIN	1	geleedpotigen	natuur en bos
Prof. Dr. ir. De Neve Stefaan	UGent	1	bodemmicrobiologie en nutriënten	landbouw
Prof. Dr. Elsen Annemie	Bodemkundige Dienst België	1	bodemmicrobiologie en nematoden	alle
Prof. Dr. Goormachtig Sofie	VIB/UGent	1	bodemmicrobiologie	landbouw en privétuinen
Prof. Dr. Thierry Hance	UCLouvain	1	insecten	
Prof. Dr. Frederik Hendrickx	KBIN	1	geleedpotigen	
Prof. Dr. Honnay Olivier	KULeuven	1	ecoloog	natuur en agro-ecosystemen
Janssens Frans	Collembola.org/UA (pensioen)	1	insecten	
Lambrechts Jorg	Natuurpunt	1	geleedpotigen	natuur en bos
Reijneveld Arjan en Neuckermans Jeroen	Eurofins	1	aanbieders bodemkwaliteit analyses	
Sombré Lydie	Brussel	1	bodemkwaliteit	
Prof. Dr. Erik Verbruggen	UA	1	bodemmicrobiologie (mycorrhiza)	alle

2.2 OPBOUW OPDRACHT

Deze expertenopdracht was onderverdeeld in twee delen. In DEEL 1 werd een inventarisatie gemaakt van het onderzoek en de kennis over bodembiodiversiteit beschikbaar in Vlaanderen. DEEL 2 omvat een vergelijkende studie van meettechnieken voor bodembiodiversiteit met betrekking tot hun bruikbaarheid en beleidsrelevantie. Binnen dit deel worden ook potentiële indicatoren voor bodembiodiversiteit opgesomd. **Figuur 1** geeft een schematisch overzicht van de aanpak van de opdracht.



Figuur 1 | Schematisch overzicht van de aanpak van de experts opdracht.

2.2.1. DEEL 1: Onderzoeksinitiatieven en beschikbare kennis in Vlaanderen.

Binnen dit deel werden de volgende vragen beantwoord:

- Wat weten we over de bodembiodiversiteit in Vlaanderen?
- Welke onderzoeksprojecten en meetcampagnes werden er reeds uitgevoerd, zijn lopend of worden gepland met betrekking tot bodembiodiversiteit in Vlaanderen?
- Wie is er actief in onderzoek naar bodembiodiversiteit in Vlaanderen en heeft er kennis over de Vlaamse bodembiodiversiteit?
- Welke leemtes zijn er in het huidige onderzoek naar bodembiodiversiteit in Vlaanderen?

2.2.2. DEEL 2: Inventarisatie van meettechnieken bodembiodiversiteit

In DEEL 2 werd er (a) een inventarisatie gemaakt van de beschikbare meettechnieken voor bodembiodiversiteit en (b) een evaluatie gemaakt van hun geschiktheid voor het ontwikkelen van beleidsrelevante indicatoren voor bodembiodiversiteit die kunnen ingezet worden voor meetcampagnes/monitoring.

2.2.1.1 DEEL 2a: Meettechnieken

Binnen DEEL 2a van de opdracht werd de volgende vraag beantwoord: **Welke meettechnieken kunnen ingezet worden om de bodembiodiversiteit in kaart te brengen?** Om hierop een antwoord te formuleren, werden de volgende subvragen gesteld:

- Leveren deze technieken *bruikbare resultaten*?
- Wat is de *beleidsrelevantie* van deze technieken ?

Om deze vragen te beantwoorden, werd aan de experts gevraagd een score te geven van 1 t.e.m. 3 (met 1 = laag, 2 = gemiddeld, 3 = hoog; blanco is geen mening of niet van toepassing) voor de verschillende criteria opgelijst in **Tabel 4**.

2.2.1.2 DEEL 2b: Indicatoren

Binnen DEEL 2b van de opdracht werden volgende vragen beantwoord: **Welke indicatoren zijn haalbaar en relevant om op te stellen om de bodembiodiversiteit te meten en mogelijke evoluties op te volgen?** Volgende subvragen werden hierbij geformuleerd:

- Welke meettechniek(en) moet(en) gebruikt worden om de noodzakelijke data voor deze indicatoren te verzamelen?
- Zijn de indicatoren *beleidsrelevant*, d.i. geschikt om te gebruiken bij de beleidsontwikkeling? Volgens deze analyse wordt een hoge beleidsrelevantie bekomen wanneer de indicator op de criteria in **Tabel 5** hoog scoort (1 = laag, 2 = gemiddeld, 3 = hoog; blanco is geen mening of niet van toepassing).

Tabel 5 | Criteria om indicatoren te scoren.

	Parameters	Afkorting	Betekenis
Beleidsrelevantie	Kostenefficiëntie	K	Hoe duur zijn de analyses, vereist om deze indicator te gebruiken?
	Haalbaarheid	H	Hoe schat je de praktische uitvoerbaarheid, rekening houdend met o.a. aantal personen en aantal labo's?
	Communiqueerbaarheid	C	Kan deze indicator makkelijk gecommuniceerd worden in bv. rapporten, media?
	Internationale vergelijkbaarheid	IV	Kan deze indicator worden toegepast in andere landen of werd/wordt hij al toegepast in andere landen?
	Meetimpact van beleid op termijn	I	Kan deze indicator de impact van beleidskeuzes (bv. vermindering gewasbeschermingsmiddelen) oppikken?
	Toepasbaar in een meetnetwerk	TN	Hoe gemakkelijk kan deze indicator gehanteerd worden in een meetnetwerk?

3 RESULTATEN

3.1 DEEL 1: INVENTARISATIE KENNIS BODEMBIODIVERSITEIT IN VLAANDEREN

3.1.1 Onderzoeksprojecten en meetcampagnes in Vlaanderen

In **Tabel 6** worden 62 onderzoeksprojecten, meetcampagnes of initiatieven opgelijst, waarvan 48% nog lopend in 2023 of later, 47% afgelopen en 5% gepland. De meeste projecten/campagnes/initiatieven focussen enkel op bodemmicro-organismen (52%) of enkel op meso- en macrofauna (40%) (**Figuur 2a**). In een minderheid van de projecten/campagnes/initiatieven worden zowel micro-organismen als meso- en macrofauna bestudeerd (5%).

Qua type landgebruik, worden de meeste projecten uitgevoerd in natuurlijke habitats (incl. bossen) (51%) gevolgd door landbouw (45%). Een minderheid (16%) van de projecten wordt uitgevoerd in andere antropogene omgevingen dan landbouw, bv. volkstuinen (citizen science), industrie (gecontamineerde gronden) of in de openbare ruimte en 21% van de projecten omvatten meer dan 1 type landgebruik (**Figuur 2b**).

In de opgelijste projecten wordt vooral de impact van maatregelen op het bodemleven onderzocht (56%), gevolgd door monitoring of inventarisatie (52%); veel projecten doen beide op een beperkt aantal velden of meetpunten. Met impact van maatregelen bedoelen we dan bv. de impact van bodembeheermaatregelen in de landbouw of de impact van klimaat in natuurgebieden. Met monitoring of inventarisatie wordt bv. variatie in de tijd (bv. over 1 jaar tot 5 jaar) of ruimte (bv. binnen 1 veld tot 5 velden) onderzocht (zie **Tabel 6**).

Tabel 6 | Meetcampagnes, onderzoeksprojecten en andere initiatieven rond bodembiodiversiteit in Vlaanderen.

Input: Partners (P), Interview (I) en/of Desktop (D); **Project:** naam van het project, **Status:** afgelopen (A), lopend (L) of toekomstig (T); **Bodembiodiversiteit:** micro-organismen (MO) of MM (macro- en mesofauna), **Landgebruik:** Landbouw (L), Antropogeen (excl. landbouw, industrie of openbaar) (A), Bos (B), Natuurlijke habitats die geen bossen zijn (N), Openbaar (O), Industrie (I); **Doel** = Impact (I) of Monitoring (M) of Niet van toepassing/Niet gekend (N).

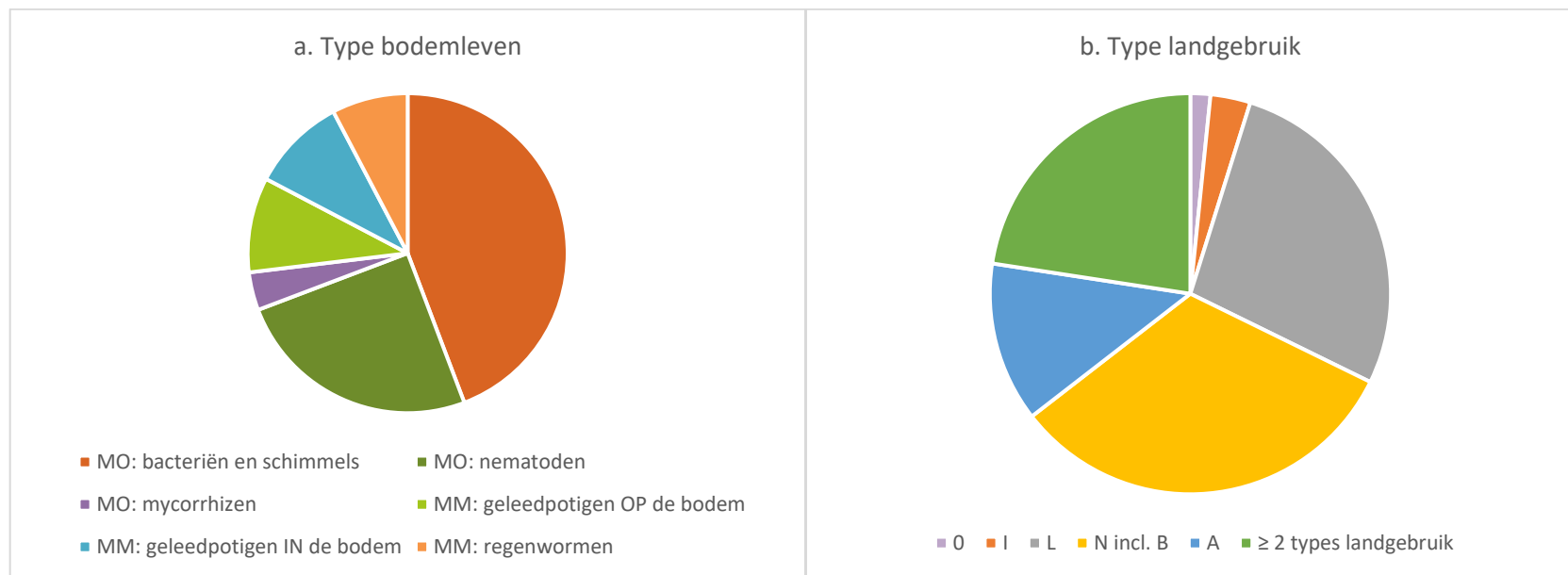
Input	Project	Status	Bodem-biodiversiteit	Land-gebruik	Meer informatie landgebruik	Doel	Meer informatie doel	Referentie(s)
D	Meetcampagne nematofauna in België	A	MO	Alle	landbouw, natuurgebieden, akkergronden, industriegronden, golfterreinen, parken	M	Inventarisatie nematodensoorten in België	Coomans, 1989, Steel et al. 2014
I	AMF op basis van metabarcoding met specifieke primers	A	MO	L	appel- en perenboomgaarden, wijngaarden	I	Impact landbouwbeheer (bio versus conventioneel, IPM versus conventioneel)	bv. Hulsmans et al. (2022)
I	De Sleutel tot de Onderwereld	A	MO	L & A	landbouwgronden in de Kempen	I, M	Bv. impact van compost, maar ook onderzoek naar orde van cijfers, referentiewaarden	link
I	Doctoraat Antoine Persyn	A	MO	L	serregrond van sla	I	Effect van koudestress op de rhizosfeer	Persyn et al. 2023
I	Doctoraat Gisele Herren	A	MO	L	akkergronden	I	Effect van compost	Herren et al. 2020
I	Doctoraat Sonia Garcia Mendez	A	MO	O	graslanden	I, M	Effect van koudestress overheen seizoenen op de rhizosfeer	Garcia Mendez et al. 2023
I	ECODUCT	A	MM	N	ecoducten	M		link
I	Insecten/spinnen in duinen	A	MM	N	duinen	M		link
I	Intern project KBIN	A	MM	N	duinen en schorren in Nieuwpoort	M	Monitoring 20 jaar	[-]
I	Levende bodem (Interreg)	A	MO	L		N		link
I	Monitoring knijten (CULIMON)	A	MM	N	slib lang de Schelde	M	Monitoring van knijten	
I	Mycorrhiza bij lindebomen	A	MO	A	urbane gebieden	I, M	Observationeel en bomen gestratificeerd naar wortelruimte	bv. Van Geel et al. 2019
I	N- en P-pollutie op mycorrhiza (gras)	A	MO	N	graslanden langs een hele gradiënt in Europa, Vlaanderen	I	Effecten van N-depositie en P-pollutie op mycorrhiza	bv. Van Geel et al. 2021
I	N- en P-pollutie op mycorrhiza (heide en veen)	A	MO	N	heide-ecosystemen en veengebieden langs een	I	Effecten van N-depositie en P-pollutie op mycorrhiza	bv. Van Geel et al. (2020)

					hele gradiënt in Europa, Vlaanderen			
I	NATO-project (met VS en Rusland)	A	MM	A	Brecht Groot Schietveld - militair domein	M	Monitoring	
I	Soilcare (EU)	A	MO	L		I	Impact van maatregelen in lange termijnproeven	link
I	SPEEDY	A	MM	B, N, A		I, M	Effect van urbanisatie op bodemfauna	link
I	Tarweproject VIB-aphea.bio	A	MO	L	akkergronden	I	Effect van droogtestress op tarwe (rhizosfeer)	[-]
I	Transcriptomen onderzoek	A	MO	N, A	seminatuurlijke habitats	I	Functies	Boeraeve et al. 2019a&b
I	Project maïs (naam nog niet openbaar)	T	MO	Alle	20 Europese bodems	I	Droogtestress	[-]
I	(Her)ontdekken van bodemleven (Leader)	L	MO	L	Noord-Limburgse landbouwpercelen	M, I	In 2022: monocultuur maïspcelen vs. teeltrotatie vs. blijvend grasland	link
I	2 doctoraten UGent	L	MO	L		N	Functionaliteit van mesofauna, fundamenteel onderzoek	[-]
I	Amateur-entomologen	L	MM	Alle	België	M	Waarnemingen	link
I	Bodembioogie oorlogskerkhoven	L	MO	A	Oorlogskerkhoven	M		[-]
I	Kikkererwt	L	MO	A	Wortelnodules	N		
I	Curieuzeneuzen in de tuin	L	MO	A	Citizen science	M	50 percelen	link
I	Databank van Belgische loopkevers (CARABEL)	L	MM	Alle	België	M	Database	[-]
I	Databank van spinnen/arachnofauna (ARADAT/ARABEL)	L	MM	alle	België	M	Database	link
I	Enema	L	MO	A	Privé tuinen en plantentuin UGent	I	Impact van insect parasiterende nematoden op de microfauna	[-]
I	FUTURE FLOODPLANES	L	MM	N	7 overstromingsgebieden, valleien	I	Effect van abiotische factoren	link
I	ICOS	L	MO	N	Heide, veen, herstel van biodiversiteit	I, M	Opvolgen in de tijd van (veen)sites in Kalmthout, Turnhout, Brasschaat en Maasmechelen	[-]

I	Vrijwillig initiatief Prov. West-Vl./Stad Brugge/ANB/Natuurpunt/KBIN	L	MM	N	Dopheide	I	Dopheide herstel op loopkever-diversiteit	link
I	Fauna in intacte en gedegradeerde venen	T	MM	N	Venen	I	Verschil tussen intacte en gedegradeerde venen	[-]
I, P	Doctoraat Stien Beirinckx	A	MO	L	Maisgronden	I	Effect van koudestress op de rhizosfeer	Beirinckx et al. 2020
I, P	SoilVeg (Core-organic)	A	MM	L	1 bio-veld	I	Impact van alternatieve bodembewerking (roller crimper)	link
I, P	Soja in 1000 tuinen	L	MO	A	1000 privétuinen (citizen science)	M	Correlaties soja groei, nutriënten in de bodem en MO gemeenschappen	link
P	Bodemfaunameetnet in 56 bossen	A	MM	B	56 bossen	M	T ₀ survey Vlaamse schaalbossen	[-]
P	Doctoraat Lisa Joos	A	MO	L	Vijf akkergronden in Vlaanderen	I, M	Impact compost en biochar, monitoring in de tijd (1 jaar, maandelijks) en veld heterogeniteit	link
P	Doctoraat Pallieter De Smedt	A	MM	B	Bodemfaunagemeenschappen in bosranden en boskernen van kleine bosfragmenten in Europese landbouwlandschappen	I	Impact bosranden op strooiselfauna	De Smedt 2018
P	Doctoraat Stephanie Schelfhout	A	MO	N	Heischrale graslanden	I	Impact bodembiota op graslandherstel	Schelfhout et al. 2021
P	FWO project An De Schrijver	A	MM	B		I	Impact boomsoort op regenwormpopulaties	De Schrijver et al. 2012
P	FWO project Safaa Wasof	A	MO	N	Graslanden	I	Bodembiota langsheen graslandhersteltraject	Wasof et al. 2019
P	Sureveg (Core-organic)	A	MO	L	1 bio-veld	I	Impact van multi-cropping op de rhizosfeer	Trinchera et al. 2022
P	Projecten studenten UA	L	MM	B, N		I, M	Bepalen soortendiversiteit mesofauna	
P	Altchem (VLAIO)	L	MO	L	Serregonden sla en witloof	I	Impact alternatieven voor chemische bodembehandeling (bv. stomen)	link
P	ARABEL (Arachnologia Belgica)	L	MM	alle	België	M	Verspreiding spinnen en hooiwagens	[-]
P	Belgian Soil Biodiversity Network	L	MO, MM	alle	België	N	Ad hoc/informeel overleg bodembiodiversiteit	[-]

P	Belgische landpissebeddenwerkgroep (Spinicornis)	L	MM	alle	België	M	Verspreiding landpissebedden	De Smedt et al. 2020 en link
P	BiodivERSa+ Soil subpilot	L	MO, MM	B	Bosreservaten	M	Ontwikkeling Europese standaard bodembiodiversiteit in bossen	link
P	EJP-soil project	L	MO, MM	L, B	Akker, grasland, bos	M	Methodiekvergelijking LUCAS vs. Cmon/INBO	Orgiazzi et al. 2022
P	FourCAST project (hermeting)	L	MM	B	56 bossen	I	Impact klimaatadaptatie / klimaatverandering 25 jaar later	link
P	FWO project Pallieter De Smedt	L	MM	alle	België	I, M	Effect van de verspreiding van bodemfauna op het functioneren van ecosystemen	[-]
P	Hoe gezond zijn de Limburgse tuinbodems?	L	MO	A	1000 Limburgse tuinen: gazon, siertuin, moestuin (citizen science)	M	Beschrijving van de toestand (snapshot), op hetzelfde tijdstip	link
P	MBAG; gekoppeld aan C-Mon	L	MO, MM	L	Akkergronden en graslanden	I, M	Gradiënt intensief -> extensief, landbouw en monitoring in de tijd minstens 5 jaar	link
P	MIBIREM (RU)	L	MO	I	Grote Calie, Turnhout, verontreinigd natuurgebied langs de beek met Cr(III)	I	Impact van Cr (iii) op microbiële biodiversiteit, en onderzoeken of bacteriën in wortelzone Cr(III) helpen stabiliseren	link
P	MiCoS (ERC)	L	MO	L	Gekoppeld aan koolstof monitoringsnetwerk (C-MON)	M	Monitoring microplastics en correlatie bodemmicrobioom	link
P	MONEOS	L	MM	N	Onderwaterbodems en slikken/schorren	M	Monitoringsmeetnet	link
P	RESANAT (Interreg)	L	MO	I	Carcokes site in Zeebrugge verontreinigd met zware olie, naftaleen	I	Impact van olie, PAK's verontreiniging; zoeken naar PAK afbrekers voor inoculatie, fyto-remediatie	link
P	Soildiverago (H2020)	L	MO	L	Akkergronden in EU, incl. Vlaanderen	I	Impact landbouwpraktijken, 3 teeltseizoenen	link
P	Werkgroep Belgische regenwormen (ANEKO)	L	MM	alle	België	M	Verspreiding en diversiteit aan regenwormsoorten in België in kaart brengen	link en link

P	SeDNA LTER monitoring	T	MO, MM	B, N	10 Long Term Ecological Research sites (5 bos, 5 open natuur)	M	Monitoring in de tijd (staalname elk seizoen)	[-]
---	-----------------------	---	--------	------	---	---	---	-----



Figuur 2 | Type bodemleven (a) en type landgebruik (b) bestudeerd binnen de opgelijste projecten. O = Openbaar, I = Industrie, L = Landbouw, N = Natuur, B = Bossen, A = Antropogeen, excl. landbouw, openbaar of industrie, MO = micro-organismen en MM is macro- en mesofauna

3.1.2 Leemtes en noden in het huidige onderzoek naar bodembiodiversiteit in Vlaanderen

Onder de experten is er consensus over een aantal aspecten die prioritair aangepakt zouden moeten worden om een beeld te krijgen van de aanwezige biodiversiteit in Vlaamse bodems onder verschillende landgebruiken, en om de impact van beheermaatregelen en stressoren te kunnen monitoren (**Tabel 7**):

- De beschikbare kennis over de biodiversiteit in Vlaamse bodems en de impact van beheermaatregelen en stressoren is beperkt en fragmentarisch. Een gecoördineerde aanpak, startend met afspraken rond methodologische aspecten (bemonsteringsprotocol, analyse-protocol, etc.) is aangewezen.
- Grootschalige projecten waarbij bodembiodiversiteit systematisch over een lange periode (meerdere jaren tot decennia) wordt gemonitord in Vlaanderen zijn er niet.
- Er bestaan geen of weinig referentiewaarden waardoor het bepalen van streefdoelen onmogelijk is.
- Al deze aspecten maken een vertaalslag naar de praktijk onmogelijk.
- Het aantal bodembiodiversiteit-specialisten in Vlaanderen is beperkt en moeilijk te behouden/ laten groeien door het gebrek aan geschikte financieringskanalen.

Tabel 7 | Leemtes en noden gerapporteerd door de experten.

Leemtes	Noden
Per initiatief/project is de scope beperkt: beperkt aantal type organismen, meestal geen tijdsreeksen, beperkt aantal locaties, beperkt aantal types landgebruik of bodemtypes	Meer samenwerking en overleg over staalname en analysetechnieken en over aanpakken om data uit verschillende initiatieven te bundelen
Geen referentiewaarden	Centraal coördinatiepunt (cfr. Nederland)
Geen vertaalslag	“Soil Atlas” voor Vlaanderen (cfr. Nederland, global soil atlas, water index Vlaanderen)
Niet systematisch (aparte initiatieven, elk met eigen methodes voor staalname en analyse)	Standaardisatie van methodes (staalname, staalbewaring, staalvoorbereiding en technieken)
Geen lange termijn, weinig kennis over variabiliteit in tijd en ruimte	Monitoring op lange termijn en geografisch gespreide proefvlakken (LTER, ...)
Weinig specialisten en weinig financiering Bv. er zijn te weinig (en voor de meeste groepen zelfs geen) professionele taxonomen voor bodemfauna in Vlaanderen. Taxonomie wordt nu eerder fragmentarisch door “amateur”-entomologen uitgevoerd.	Financieringskanalen waar dit type onderzoek in past Meer aandacht voor bodembiodiversiteit binnen het onderwijs

3.2 DEEL 2A: MEETTECHNIEKEN

Hieronder worden beschikbare meettechnieken kort besproken per groep organismen. Hierbij is het belangrijk te vermelden dat sommige technieken:

- (1) biomassa bepalen terwijl andere diversiteit *sensu stricto* (bv. verschillende soorten) meten;
- (2) een soortspecifieke benadering volgen versus een multisoorten benadering.

Biomassa vs. diversiteit *sensu stricto*: Bij biomassa gaat het bv. over aantallen en/of gewichten. Deze technieken zeggen niets over de diversiteit *an sich* (bv. aantal soorten of welke verschillende soorten). Beide, zowel technieken die focussen op biomassa als op diversiteit (*sensu stricto*) werden door experts en op de beleidsworkshop naar voor geschoven als belangrijk voor het opstellen van een bodembiodiversiteitsindicator.

Soortspecifiek vs. multisoorten benadering: Bij soortspecifieke detectie worden bv. DNA-primers gebruikt die onderscheidend en typerend zijn voor één enkele soort, daarmee kan de aan- of afwezigheid van een soort (en de abundantie) in een staal eenduidig worden bepaald (vb. via DNA-amplicon sequencing, of qPCR). Bij de klassieke, morfologische determinatie wordt hierbij ook gefocust op het onderzoeken of een enkele soort voorkomt of niet, en de staalnametechnieken daarop afgestemd zijn of niet. Daar tegenover staat de multisoorten benadering, waarbij bv. universele primers worden gebruikt die DNA van meerdere groepen (verwante) organismen gelijktijdig kunnen detecteren. De sequenties worden vergeleken met sequenties in een referentiedatabank, om zodoende een uitgebreide soortenlijst te bekomen. Op die manier krijgt men de afspiegeling van de soortensamenstelling of levensgemeenschap van een bepaald habitat. Dit kan dan gelinkt worden aan een biotische index die dan op zijn beurt een indicatie geeft van de water/bodemkwaliteit van het milieu. Afhankelijk van de context/specifieke vraag van de bodembiodiversiteit (bv. gaat het om ecotoxicologisch onderzoek, ecosysteemanalyses, bodemkwaliteit..), kan het aangewezen zijn om ofwel voor soortspecifieke indicatoren, dan wel voor een multisoorten aanpak te kiezen.

3.2.1 Beschrijving van de meettechnieken

3.2.1.1 Micro-organismen (MO)

Organismen die een lichaamswijdte hebben kleiner dan 0,1 mm zoals bacteriën, schimmels, archaea, protisten en nematoden. Virussen zijn niet meegenomen in dit document, maar we erkennen het belang van deze organismen in de bodem.

3.2.1.1.1 Algemeen, niet gespecificeerd

- HWC

Warm-water extraheerbare koolstof (HWC) is een techniek die de labiele koolstofcomponent bepaalt, wat een proxy is voor microbiële biomassa-C (Ghani et al. 2003).

- Cmic/fumigatie

Chloroform-fumigatie- en extractie (CFE) wordt gebruikt om de microbiële biomassakoolstof (Cmic) te bepalen. Het microbiële leven in het bodemstaal wordt eerst afgedood door fumigatie met chloroform. Nadien wordt een extractie uitgevoerd met K_2SO_3 om de vrijgekomen koolstofverbindingen op te lossen en de biomassa te meten. Cmic is een proxy van de microbiële biomassa-C.

- Bodemrespiratie: CO₂ uit de bodem

Bij de basismethode voor respiratiemeting wordt de CO₂ afkomstig van de bodemademhaling afgevangen met natronloog (een waterige oplossing van natriumhydroxide NaOH), waarna de hoeveelheid geïncubeerde CO₂ titrimetrisch bepaald wordt. CO₂ kan ook bepaald worden met een gas-analyzer.

- **PhosphoLipid Fatty Acid (PLFA)**

De PLFA-analyse bepaalt de hoeveelheden van verschillende fosfolipidenvetzuren aanwezig in bodem d.m.v. gaschromatografie. Fosfolipidenvetzuren zijn aanwezig in de celmembranen van bacteriën en schimmels. Elke groep bacteriën en schimmels heeft een unieke samenstelling van deze fosfolipidenvetzuren. Door het meten van de voor deze organismen specifieke fosfolipidenvetzuren, kunnen we dus bepalen welke groepen van bacteriën en schimmels aanwezig zijn in de bodem. Aangezien deze vetzuren relatief snel afgebroken worden wanneer organismen sterven, meten we enkel de levende organismen (Frostegård et al. 2011). PLFA-analyse geeft de biomassa van verschillende groepen bacteriën en schimmels (grampositieve bacteriën, gramnegatieve bacteriën, Actinomycetes, andere niet-specifieke bacteriën, arbusculaire mycorrhiza, en andere schimmels) en de totale microbiële biomassa. De microbiële biomassa is een maat voor de absolute hoeveelheid schimmels en bacteriën aanwezig in de bodem.

- **Biolog ecoplates**

Biolog EcoPlates (Biolog, Inc.) kunnen gebruikt worden om een metabole vingerafdruk van de microbiële gemeenschappen in de bodem te bepalen (CLPP: Community Level Physiological Profiling). Biolog EcoPlates bevatten 31 verschillende koolstofbronnen met drie herhalingen. Door het toevoegen van bodem met de erin vervatte micro-organismen aan de EcoPlates, kan het koolstofmetabolisme van de microbiële gemeenschappen bepaald worden. Op die manier kan bepaald worden hoeveel er van de koolstofbronnen gebruikt werd en dus hoe actief de microbiële gemeenschap is. Daarnaast kan bepaald worden hoeveel verschillende koolstofbronnen gebruikt kunnen worden door het microbioom. Dit kan echter niet direct gelinkt worden aan specifieke groepen van bacteriën of schimmels, tenzij deze genetisch bepaald worden via eDNA metabarcoding. Ecoplates werden door INBO intensief getest op bosbodems van 100 bosgebieden en op basis van de praktijkervaring werd er een specifiek protocol voor uitgewerkt (Gaublomme et al. 2006).

- **Colony Forming Units (CFU)**

Bij het inoculeren van Ecoplates dient het aantal bacteriën per volume-eenheid (inoculum density) binnen bepaalde grenzen te liggen om de resultaten vergelijkbaar te maken. Bij het aanmaken van verdunningsreeksen bleek in de studie van Gaublomme et al. (2006) de abundantie van cultiveerbare bacteriën (op agar bodems) een interessante bio-indicator te zijn, die sterk te linken was aan bodemvruchtbaarheid, kleigehalte, organische stofgehalte en pH. Ook daalden de CFU aantallen consistent wanneer de koolstof/stikstof (C/N) ratio steeg.

3.2.1.1.3 Schimmels

- **Ergosterol**

Ergosterol zit in de celmembraan van schimmels en is een maat voor de totale biomassa van deze groep (Montgomery et al., 2000).

- eDNA metabarcoding (zie hierboven)
- PLFA (zie hierboven)

3.2.1.1.4 Mycorrhiza

Mycorrhiza zijn een subgroep binnen de schimmels. Deze subgroep vormt een samenlevingsvorm met planten via de wortels. Bijna alle planten werken ondergronds samen met schimmels. Deze absorberen bijvoorbeeld mineralen uit de bodem die ze vervolgens afstaan aan de plant. In ruil

daarvoor krijgen ze suikers terug voor hun eigen metabolisme. De mycorrhizapopulatie in een bodemstaal kan op drie manieren in kaart worden gebracht:

- Kleuring en microscopie van de plantenwortels (Grace & Stribley 1991).
- eDNA metabarcoding van grond of plantenwortels (zie hierboven)
- PLFA (zie hierboven)

3.2.1.1.5 Nematoden

- **Extractie nematoden + microscopie**

De tot nog toe meest toegepaste methode om nematodengemeenschappen te karakteriseren, is een combinatie van nematodenextractie en microscopie. Het is evident dat nematoden eerst geïsoleerd dienen te worden uit de bodem om deze vervolgens te kunnen zien onder een binoculair en/of microscoop ter identificatie. Er bestaan veel verschillende manieren om nematoden te extraheren uit grondstalen (van Bezooijen 2006), maar de meesten kunnen worden onderverdeeld in twee categorieën. In de ene categorie bevinden zich de extractieprocedures die gebruik maken van de beweeglijkheid van de nematoden. De nematoden moeten dus zelf actief de grond verlaten, vaak door een filter, waarna ze worden opgevangen in een waterige fase. Het grote voordeel van zulke technieken is dat men een nematodenextract bekomt met levende exemplaren. Het nadeel is dat niet de volledige biodiversiteit wordt verzameld, aangezien er onbeweeglijke nematodenstadia (bvb. cysten en dauer-larven) of weinig actieve nematodensoorten in de bodem aanwezig zijn. Vaak moet men dagen tot weken wachten om de biodiversiteit zo volledig mogelijk te benaderen. De andere groep van extractietechnieken maakt gebruik van fysische hulpmiddelen (centrifugatie, roeren, druk, vloeistofdichtheid, enz.) om nematoden te scheiden van grondpartikels. Een vermeldenswaardige methode is de AZC of Automatische Zonale Centrifuge (Hendrickx 1995). Bij deze extractiemethode zijn bepaalde stappen geautomatiseerd waardoor high-throughput een mogelijkheid wordt. Deze tweede groep van extractiemethoden maakt het mogelijk om de volledige biodiversiteit beter in te schatten. Het nadeel is dat ook andere organismen, plantenmateriaal en dode nematoden worden opgepikt.

Eens een nematodenextract is bekomen, worden de individuen microscopisch geïdentificeerd. Dit is een arbeidsintensieve en tijdrovende bezigheid. Aangezien een nematodenextract gemakkelijk meerdere honderden tot duizenden individuen kan bevatten, opteert men vaak om slechts een 100 tot 200-tal individuen per extract, onafhankelijk van het totaal aantal nematoden in het extract, te identificeren. De identificatie is meestal beperkt tot familieniveau.

- **Extractie nematoden + DNA metabarcoding**

DNA metabarcoding, wordt als alternatief voor de microscopische analyse toegepast voor onderzoek naar nematodendiversiteit (Porazinska et al., 2009). Het grote voordeel is dat nematodenextracten van 100 tot 200 grondstalen tegelijkertijd kunnen worden gekarakteriseerd. Het is dus een high-throughput methode die gemakkelijk kan worden gecombineerd met de reeds vermelde (semi-)automatische extractieprocedure. Het nadeel is dat kennis van bioinformatica, moleculaire technieken en meer geavanceerde statistische analyses een noodzaak is. Echter, in tegenstelling tot microscopische analyses zijn meer onderzoekers geïnteresseerd in dergelijke opleiding en er is geen voorafgaande kennis noodzakelijk om de sample te analyseren (itt microscopische identificatie, die uitsluitend door experts met een hoge graad van specialisatie kan uitgevoerd worden). Immers, de kennis en technieken blijven quasi identiek voor onderzoek van verschillende organismegroepen, zijnde bacteriën, schimmels, nematoden, mijten, springstaarten of de volledige bodemfauna. Op dit moment kan DNA-metabarcoding nematoden betrouwbaar identificeren tot op genusniveau. Hierbij



is de aanwezigheid van een uitgebreide en gevalideerde nematoden sequentie-databank een must. Zo'n databank bestaat, maar niet alle nematodentaxa zijn (voldoende frequent) vertegenwoordigd (Waeyenberge et al., 2019). Er wordt echter verwacht dat de omvang en kwaliteit van de databanken in de toekomst zal toenemen.

- **Extractie nematoden + qPCR**

In beperkte mate wordt een andere moleculaire techniek toegepast om nematoden in een nematodenextract te identificeren (Vervoort et al., 2012). qPCR heeft als groot voordeel dat de nematoden ook exact kunnen worden gekwantificeerd. Men bekomt dus absolute aantallen in plaats van relatieve verhoudingen in het geval van DNA-metabarcoding. Het nadeel is evenwel dat voor elk taxon een aparte detectie moet worden uitgevoerd. Dit leidt tot een enorm aantal moleculaire testen. Vaak wordt deze techniek dan ook beperkt om bepaalde nematodengroepen (bvb. Nematoden-families of trofische groepen) te kwantificeren. Interessant kan de combinatie zijn van beide zonet beschreven moleculaire technieken (DNA-metabarcoding en qPCR). Bepaalde d.m.v. DNA-metabarcoding op genus geïdentificeerde nematoden kunnen verder gespecificeerd worden tot op soortniveau door qPCR. Anderzijds kunnen de door metabarcoding gedetecteerde (en relatief gekwantificeerde) families exact worden gekwantificeerd via qPCR. Om dit te bewerkstelligen, is verder onderzoek naar geschikte DNA barcodes nodig.

- **eDNA metabarcoding**

Bepaalde labo's hebben geen of weinig mogelijkheden om nematoden te extraheren uit grondstalen. Nog andere wensen niet enkel de nematoden maar de combinatie met andere organismengroepen te onderzoeken. In dit geval is een rechtstreekse DNA-extractie uit de grond met een daaropvolgende DNA-metabarcoding nuttig (Sapkota & Nicolaisen, 2015). De techniek kan ook worden toegepast voor nematoden alleen, maar heeft in dit geval als nadeel dat een kleiner grondstaal (enkele milligrammen grond in vergelijking met 100 cc grondstaal bij een nematodenextractie) wordt onderzocht en dat interferentie met DNA van andere organismen problematisch kan zijn. Nematodenextractiemethoden zijn gemakkelijk toepasbaar en onderzoek heeft reeds uitgewezen dat een betere inschatting van de biodiversiteit wordt bekomen met de combinatie extractie en DNA-metabarcoding in vergelijking met eDNA metabarcoding rechtstreeks op een grondstaal (Waeyenberge, unpublished data).

Samenvatting meettechnieken biodiversiteit micro-organismen

Target	HWC	Cmic/fumigatie	Bodemrespiratie	Onderbroeken	Extractie + DNA metabarcoding	eDNA metabarcoding	Long-read DNA metabarcoding	Metagenomics (functies)	Metatranscriptomics (functies)	PLFA	Biolog ecoplates	CFU	Ergosterol	Extractie + microscopie
Niet-specifiek, biomassa	•	•	•	•						•				
Bacteriën, schimmels, Archaeae en protisten						•	•	•	•					
Bacteriën						•	•			•	•	•		
Schimmels						•	•			•	•	•	•	
Mycorrhiza						•	•			•				•
Nematoden					•	•	•							•

3.2.1.2 Macro- en mesofauna (MM)

3.2.1.2.1 Geleedpotigen

Bij de geleedpotigen wordt onderscheid gemaakt tussen organismen die tussen 0,1 en 2 mm groot zijn, genaamd mesofauna, en organismen groter dan 2 mm, genaamd macrofauna. Mesofauna omvat organismen zoals springstaarten en mijten, terwijl landpissebedden, mieren en miljoenpoten tot de macrofauna worden gerekend (Artz et al. 2010).

- Verzamelen van geleedpotigen **in een grondstaal** (en optioneel meten van effect van geleedpotigen op afbraak strooisellaag)

- **Zeven van de strooisellaag of grondstaal.** Hierbij wordt de strooisellaag of het grondstaal gefilterd voor geleedpotigen via zeven (De Smedt et al. 2020).
- Uitdrogen van een bepaald volume grondstaal via **een Berlese-Tullgren trechter**. Deze vaak gebruikte passieve methode bestaat uit een recipiënt met daarboven een trechter. Bovenaan de trechter wordt het grondstaal geplaatst en boven het grondstaal bevindt zich een warmtelamp. Door de warmte en het licht van de lamp ontvlucht de bodemfauna het grondstaal en vallen ze via de trechter in het recipiënt (met daarin bv ethanol) (Southwood & Southwood, 1978).
- Uitdrogen of verstoren van grondstaal met behulp van de **Winkler/Moczarski-extractie**. Met deze passieve methode wordt een grondstaal verzameld, in een "netje/gaas" geplaatst en vervolgens opgehangen in een katoenen ("Winkler") doek met onderaan een recipiënt. Door natuurlijke uitdroging of (regelmatige) verstoring van het grondstaal in het gaas zullen de

insecten naar het recipiënt (met daarin bv ethanol) migreren (Upton & Mantle 2010; Sabu et al. 2011)

- **Uitsluitvallen.** Met deze methode worden volwassen stadia gevangen/verzameld van geleedpotigen waarvan de larvale/pop stadia zich ontwikkelen in de bodem (bv. larven van sommige kevers en muggen). De volwassen stadia worden meestal gevangen/verzameld via kooien (Gibb & Oseto 2020)
 - **Litterbags** voor het meten van het effect van geleedpotigen op de afbraak van de strooisellaag. Deze methode is gelijkaardig aan de “theezakjes/onderbroeken methode” hierboven beschreven voor micro-organismen. De strooisellaag wordt eerst verzameld en het drooggewicht wordt gemeten. Een gestandaardiseerde hoeveelheid van het verzamelde strooisel wordt in kleine zakjes (“litterbags”, met een maaswijdte van 1-2 mm voor mesofauna en +/- 5 mm voor macrofauna) geplaatst en terug in de strooisellaag geplaatst. Na een bepaalde tijd worden de zakjes verzameld en het nat gewicht van de strooisellaag in de zakjes bepaald. Vervolgens worden de geleedpotigen uit het grondstaal verzameld via de “Berlese-Tullgren” extractie (zie hierboven) en wordt het drooggewicht van de strooisellaag in het zakje opnieuw bepaald. Door deze techniek kan men nagaan wat het effect is van macro- en/of mesofauna op de afbraak van de strooisellaag (Crossley & Hoglund, 1962).
- Verzamelen van geleedpotigen die **op de bodemlaag** leven
- **Bodemvallen.** Bodemvallen (*pitfalls traps*) worden regelmatig gebruikt om insecten en andere geleedpotigen die op de bodem leven te vangen en/of te verzamelen. Deze methode bestaat uit een recipiënt gevuld met afdodings/bewaringsvloeistof (bv. ethyleen glycol), dat wordt ingegraven in de bodem. De rand van het recipiënt ligt hierbij gelijk met het bodemoppervlak. Geleedpotigen die voorbijkomen, vallen dan in het recipiënt met de afdodings/bewaringsvloeistof. In sommige gevallen wordt een dakje boven de val voorzien ter bescherming tegen inregenen (Upton & Mantle 2010).
 - **Handvangsten.** Eenvoudige methode waarbij geleedpotigen op de bodem met de hand of met behulp van een net verzameld worden. Belangrijk bij de handvangsten is het omdraaien van objecten zoals stenen, hout, daaronder is het namelijk vochtig en gedijen veel geleedpotigen.
 - **Opzuigen.** Via een omgebouwde bladblazer worden geleedpotigen opgezogen die zich op de bodem bevinden; dit systeem is momenteel in gebruik door experts die op zoek zijn naar spinnen, wantsen of kevers.

De geleedpotigen die werden gevangen/verzameld in en op de bodem kunnen morfologisch geïdentificeerd worden met een binoculair microscoop of genetisch geïdentificeerd via het sequencen van een fragment van het cytochrome oxidase subunit I gen van een specimen (*COI-barcoding*) (Magoga et al. 2022). De verzamelde geleedpotigen kunnen ook gemixt worden tot een ‘DNA soepje’ en via DNA metabarcoding (Young & Hebert, 2022) tot op genus of soortniveau worden bepaald. ILVO test de DNA metabarcoding techniek momenteel uit voor insecten die via plakvallen werden verzameld.

- **eDNA metabarcoding**

De diversiteit van geleedpotigen kan ook via eDNA metabarcoding rechtstreeks op bodemstalen worden bepaald (Taberlet et al. 2012, Dopheide et al. 2019, Guerra et al. 2021, Kirse et al. 2021,

Samenvatting meettechnieken biodiversiteit macro- en mesofauna

Target	Extractie uit de bodem	Morfologische identificatie	DNA metabarcoding	eDNA metabarcoding
Geleedpotigen in de bodem	•	•	•	•
Geleedpotigen op de bodem		•	•	•
Regenwormen	•	•		•

Tabel 8 | Wat meten we met de verschillende meettechnieken.

Type: MO = micro-organismen, MM = macro- en mesofauna.

Type	Subgroep	Techniek	Wat wordt gemeten?
MO	Niet-gespecificeerd	HWC	Proxy voor microbiële biomassa Beschikbare koolstof
MO	Niet-gespecificeerd	Cmic/fumigatie	Proxy voor microbiële biomassa Microbiële koolstof
MO	Niet-gespecificeerd	Onderbroeken/ theezakjes	Afbreekbaarheid organische stof
MO	Niet-gespecificeerd	Bodemrespiratie	Biologische activiteit
MO	Bacteriën en schimmels incl. mycorrhiza	PLFA	Biomassa F:B ratio
MO	Bacteriën, Archaea, schimmels (incl. mycorrhiza), en protisten	eDNA metabarcoding	Diversiteit Identificatie op genus niveau Relatieve abundantie
MO	Bacteriën, Archaea, en schimmels (incl. mycorrhiza), en protisten	Long-read metabarcoding	Diversiteit Identificatie op soortniveau Relatieve abundantie
MO	Bacteriën en schimmels	Biolog ecoplates	Functionele diversiteit Algemene activiteit
MO	Schimmels	Ergosterol	Biomassa
MO	Mycorrhiza	Microscopie van de plantenwortels	Kolonisatie van de plantenwortels Aantallen
MO	Nematoden	Microscopie van geëxtraheerde nematoden in massa- slides	Absolute aantallen Trofische groepen Abundantie op familie niveau

MO	Nematoden	DNA-metabarcoding op geëxtraheerde nematoden	Diversiteit Functionele diversiteit Relatieve abundantie op genus niveau
MO	Nematoden	qPCR op geëxtraheerde nematoden	Absolute aantallen, biomassa, diversiteit, functionele diversiteit indien een voldoende aantal nematodetaxa werden onderzocht
MO	Nematoden	eDNA metabarcoding	Diversiteit Functionele diversiteit Relatieve abundantie op genus niveau
MM	Geleedpotigen	Extractie uit grond + morfologie	Aantallen Diversiteit Biomassa Activiteit (afbraak strooisellaag)
MM	Geleedpotigen	Vallen op de grond + morfologie	Aantallen Diversiteit Biomassa
MM	Geleedpotigen	Zeven/handvangsten + morfologie	Aanwezigheid van een bepaalde indicator soort Aantallen Diversiteit Biomassa
MM	Geleedpotigen	Extractie uit grond, vallen/handvangsten + DNA metabarcoding	Aantallen Diversiteit Biomassa
MM	Geleedpotigen	eDNA Metabarcoding	Diversiteit Relatieve abundantie
MM	Regenwormen	Extractie + morfologie	Aantallen Diversiteit (soorten) Biomassa
MM	Regenwormen	eDNA metabarcoding	Diversiteit Relatieve abundantie

3.2.2. Voor- en nadelen van de technieken op basis van eDNA vs. andere technieken

Een voordeel van de technieken gebaseerd op de analyse van eDNA voor biodiversiteitsmonitoring is dat de methode, op een aantal vlakken, veel efficiënter is dan de traditionele inventarisatietechnieken zoals extractie (afvangen, netten, vallen) gekoppeld aan morfologische karakterisatie. De volgende voordelen kunnen hieraan gekoppeld worden:

- **Hogere detectiekans.** De kans dat een specifieke soort, bijvoorbeeld met een heel lage populatiegrootte, wordt gedetecteerd, kan veel hoger zijn dan met traditionele methoden. Dit is vooral het geval voor bacteriën en schimmels, voor nematoden is het bv. niet zo omwille van de grootte van het bodemstaal bij eDNA (zie hierboven).
- **Nauwkeurige soortherkenning en hoge taxonomische resolutie.** DNA metabarcoding werkt met DNA sequenties geamplificeerd met taxonspecifieke primers. Soortenkennis en expertise zijn

overbodig voor een correcte determinatie mits de beschikbaarheid van goede referentie-databanken, en goede bio-informatica pipelines.

- **Breed spectrum.** Op basis van één enkel staal kan een brede waaier aan groepen worden geanalyseerd, gaande van bacteriën tot meso- en macrofauna.
- **Niet-invasief, niet-destructief (minimale verstoring).** Meso- en macrofauna moeten bijvoorbeeld niet gevangen om hun aanwezigheid aan te tonen. Daarnaast worden tijdens de staalname het habitat en de aanwezige organismen minimaal verstoord. Er wordt dus minder antropogene stress gecreëerd.

eDNA-gebaseerde methoden hebben ook wel een aantal beperkingen of nadelen. Zo worden er bijvoorbeeld geen kwalitatieve of fenotypische gegevens verzameld zoals afmetingen en gewicht, geslacht, ontwikkelingsstadium, vitaliteit. Dikwijls is er ook nog een bias veroorzaakt door bijvoorbeeld de primer-keuze of de beschikbare referentie-sequenties in databanken (Hermans et al. 2022). De beschikbare protocollen leveren (nog) geen of onvoldoende kwantitatieve inschatting van aantal of biomassa per volume of oppervlakte-eenheid. Via spike-in standaarden (Barlow et al. 2020) en andere 'anker' methodes (bv. flow cytometrie, qPCR, digitPCR) wordt er wel geprobeerd hier verandering in te brengen, om de totale concentratie van cellen, DNA of amplicons mee te meten, en de relatieve abundantie naar absolute aantallen te vertalen. Dat kan ook via klassieke tellingen voor de macrofauna. Daarnaast is de langlevendheid van DNA in het milieu een aandachtspunt. We weten nog niet precies hoe lang DNA-moleculen in de omgeving aanwezig blijven.

3.2.3. Beoordeling van de meettechnieken door de experts

Dertig experts werd gevraagd om technieken op te lijsten voor het bepalen van bodembiodiversiteit. PLFA en eDNA metabarcoding werden het meest voorgesteld als technieken voor het bestuderen van micro-organismen in de bodem. Voor macro- en mesofauna wordt de analyse van geleedpotigen, verzameld met vallen in de bodem of via extractie uit de bodem, het meest frequent voorgesteld (**Tabel 9 & 10**). De verzamelde geleedpotigen worden dan morfologische geïdentificeerd (onder de microscoop of het binoculair). Hierbij dient wel vermeld te worden dat de experts enkel de technieken opsommen die ze zelf gebruiken en/of die gebruikt worden voor het type bodemleven van hun expertise. Hierdoor kunnen ze dus de voor hen onbekende technieken niet altijd goed beoordelen. Bovendien zijn eDNA-gebaseerde technieken ook relatief nieuw (vooral voor meso- en macrofauna), waardoor sommige experts hier nog geen ervaring mee hebben.

Bij het scoren van de technieken naar bruikbare resultaten en beleidsrelevantie gaven daarnaast heel wat experts aan dat dit een heel grove inschatting was. Sommige experts wilden zelfs geen scores geven, omdat er bij het scoresysteem te weinig nuance mogelijk was. In contrast hiermee was er ook de opmerking van sommige experts dat het scoren van de meettechnieken op zich niet zo'n probleem is, maar wel de manier waarop je een monitoringnetwerk opzet en de manier waarop je een meettechniek hanteert. Deze aspecten vinden zij extreem veel belangrijker dan de beoordeling van de meettechnieken op zich. Bovendien wordt als belangrijkste bottleneck de staalnamestrategie geïdentificeerd, en niet de meetmethode op zich: hoe neem je de monsters, hoe bewaar je de monsters, hoe doe je de voorbehandeling. Een bijkomende opmerking was dat DNA-technieken zoals eDNA-metabarcoding beloftevol zijn, maar dat 'oude' technieken zoals morfologische determinatie nog altijd noodzakelijk zijn als referentie en validatie. Voornamelijk voor meso- en macrofauna is de metabarcoding techniek nog in volle ontwikkeling, terwijl die voor de micro-organismen al meer op punt staat.

3.2.3.1. Bruikbaarheid van de resultaten

Tabel 9 geeft de resultaten weer van het scoren van de bruikbaarheid van de technieken door de experts (voor de criteria om meettechnieken te beoordelen zie **Tabel 4**). Op basis van deze resultaten is de Cmin/fumigatie de techniek met de hoogste score voor bruikbare resultaten (dicht gevolgd door eDNA-metabarcoding) en de onderbroeken/theezakjes de methode met de laagste score voor het meten van micro-organismen. Hierbij moet echter opgemerkt worden dat Cmic/fumigatie niet geschikt is om de microbiële diversiteit in de bodem te bepalen, maar wel voor de microbiële biomassa. Voor macro- en mesofauna krijgen de geleedpotigen verzameld via vallen en extractie gevolgd door morfologische determinatie de hoogste score voor bruikbare resultaten.

Tabel 9 | Geven deze technieken bruikbare resultaten? N = aantal experts die deze techniek opgeven (aantal experts die techniek score geven), G = gevoeligheid, A = accuraatheid, DL = detectielimiet, H = hanteerbaarheid, O = staat van ontwikkeling. Score = *gemiddelde* (G, A, DL, H en O). Enkel technieken die door twee of meer experts worden opgegeven, staan vermeld.

Type	subgroep	Techniek	N	Score	G	A	DL	H	O
MO	Niet-gespecificeerd	HWC	3 (2)	2,0	2,0	1,0	1,5	3,0	3,0
MO	Niet-gespecificeerd	Cmic/fumigatie	4 (3)	2,5	2,7	2,3	1,7	2,7	3,0
MO	Niet-gespecificeerd	Onderbroeken/theezakjes	2 (2)	1,4	1,0	1,0	1,0	3,0	1,2
MO	Bacteriën en schimmels	PLFA	8 (6)	2,0	2,1	1,7	2,0	2,3	2,4
MO	Niet-gespecificeerd	Bodemrespiratie	5 (4)	1,8	1,5	1,9	1,5	1,9	2,1
MO	Bacteriën en schimmels	eDNA metabarcoding	9 (8)	2,4	2,3	1,9	2,3	2,4	2,4
MO	Bacteriën en schimmels	Biolog ecoplates	2 (1)	2,0	1,4	1,5	1,5	3	2,5
MO	Mycorrhiza	Microscopie plantenwortels	2 (2)	1,8	2	2	2	1	2
MO	Nematoden	Microscopie geëxtraheerde nematoden	3 (2)	1,9	2,4	2,3	1,9	1,3	1,5
MO	Nematoden	DNA metabarcoding geëxtraheerde nematoden	2 (2)	2,0	2,5	1,8	2,3	2,0	1,3
MM	Geleedpotigen	Extractie/zeven van grond + morfologie	8 (6)	2,5	2,7	1,7	2,7	2,7	2,7
MM	Geleedpotigen	Vallen + morfologie	7 (6)	2,5	2,5	1,7	2,5	2,7	3,0
MM	Regenwormen	Extractie uit grond + morfologie	2 (2)	1,8	1,7	1,5	1,5	2,0	2,5

3.2.3.2. Beleidsrelevantie

Tabel 10 geeft de resultaten weer van het scoren van de beleidsrelevantie van de technieken door de experts (voor de criteria om meettechnieken te beoordelen zie **Tabel 4**). Geleedpotigen (verzameld via in de grond of via vallen op de grond + morfologische determinatie) scoren het hoogst voor het criterium 'beleidsrelevantie'. Bij de micro-organismen zijn er geen technieken die opvallend hoog scoren naar beleidsrelevantie.

Tabel 10 | Wat is de beleidsrelevantie van deze resultaten? N = aantal experts, K = kost efficiënt, H = haalbaarheid, C = communiceerbaarheid, IV = internationale vergelijkbaarheid, TN = toepasbaar in een meetnetwerk, Score = *gemiddelde* (K, H, C, IV, TN)

Type	subgroep	Techniek	N	Score	K	H	C	IV	TN
MO	Niet-gespecificeerd	HWC	3 (2)	2,0	1,5	2,0	2,3	2,3	2,0
MO	Niet-gespecificeerd	Cmic/fumigatie	6 (5)	2,2	2,5	2,5	2,3	1,8	1,75
MO	Niet-gespecificeerd	Onderbroeken/theezakjes	2 (2)	1,6	2,0	1,5	2,7	1,2	1,5
MO	Niet-gespecificeerd	Bodem-respiratie	5 (4)	2,1	2,0	1,9	2,3	2,3	2,1
MO	Bacteriën en schimmels	PLFA	8 (6)	2,2	1,9	2,2	2,8	2,0	2,3
MO	Bacteriën en schimmels	eDNA metabarcoding	9 (8)	2,0	2,2	2,4	1,6	2,0	1,8
MO	Bacteriën en schimmels	Biolog ecoplates	2 (1)	1,7	2	2	1	1,5	2
MO	Mycorrhiza	Microscopie plantenwortels	2 (2)	2,2	2	2	3	2	2
MO	Nematoden	Microscopie geëxtraheerde nematoden	3 (2)	1,7	1,0	1,3	2,3	1,5	2,3
MO	Nematoden	DNA metabarcoding geëxtraheerde nematoden	2 (2)	1,8	1,8	2,0	1,0	2,0	1,8
MM	Geleedpotigen	in de grond + morfologie	8 (6)	2,5	2,7	1,7	2,7	2,7	2,7
MM	Geleedpotigen	op de grond + morfologie	7 (6)	2,7	3,0	2,2	3,0	2,7	2,7
MM	Regenwormen	Extractie uit grond + morfologie	2 (2)	2,2	2,7	2,5	2,7	1,7	1,7

3.3 DEEL 2B: INDICATOREN

Aan de 30 experts werd gevraagd om beleidsrelevante indicatoren op te lijsten voor bodembiodiversiteit (voor de criteria zie **Tabel 5**). Daarnaast werd er ook een desktopstudie

uitgevoerd rond bevindingen van bodembiodiversiteitsindicatoren via Europese en globale initiatieven en ook in andere ecosystemen dan in de bodem.

3.3.1 Inventaris en beoordeling door de experts

Verschillende experts hadden moeite met de term “indicator voor bodembiodiversiteit” en vonden dat er meer specificiteit nodig is over het doel/in welk kader bodembiodiversiteit zal gemeten worden. Voorstellen hieromtrent waren: een indicator voor bodemkwaliteit, bodemgezondheid, bodemvruchtbaarheid, bodemfunctioneren, ... Daarnaast vonden experts het soms moeilijk om één indicator te kiezen, en werd één indicator (type organisme) voor bodembiodiversiteit als niet realistisch bevonden. “Je kan niet één biodiversiteitsmeting gebruiken, je hebt verschillende metingen nodig, afhankelijk van wat je wil evalueren”. Ook vonden veel experts dat er meer specificiteit nodig is waarvoor deze indicator moet dienen, bv. eerder één indicator nodig per landgebruik of beleidsdoel.

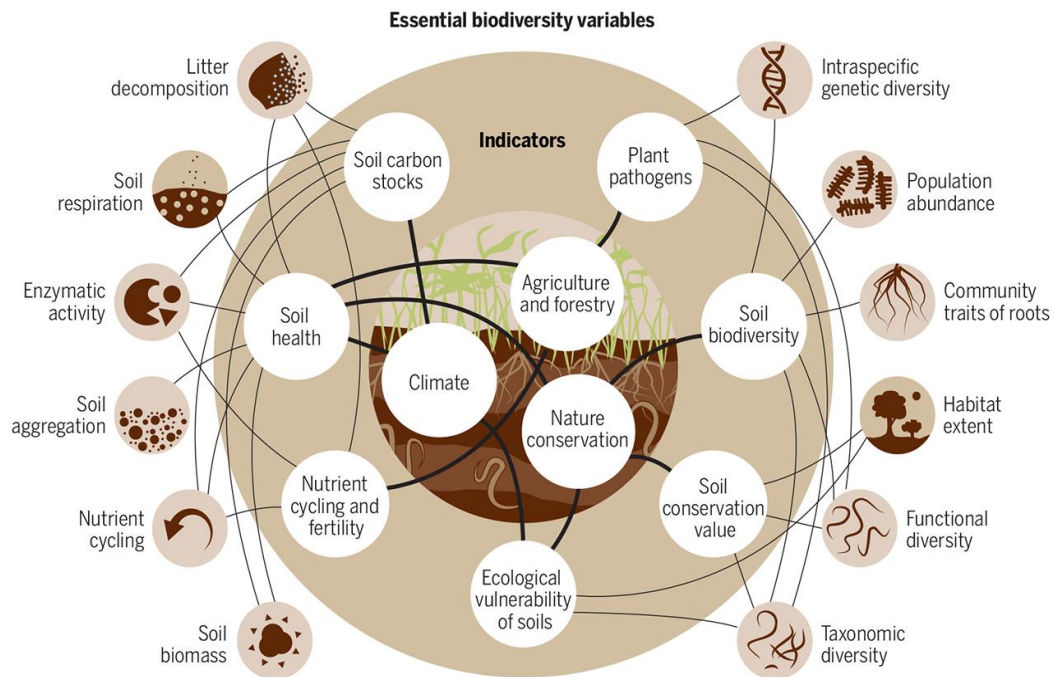
Slechts 16 van de 60 experts stelden één of meerdere indicator(en) voor bodembiodiversiteit voor en deze zijn alfabetisch opgelijst in **Tabel 11** samen met het type organisme, wat er wordt gemeten en de bijhorende techniek. Veel van deze technieken meten niet de biodiversiteit op zich (maar bv. wel biomassa). Elke indicator werd maar door 1 of max. door 2 expert(en) naar voor geschoven. Een belangrijke bemerking hierbij is dat voor sommige groepen organismen er maar een beperkt aantal experts zijn in Vlaanderen (bv. voor nematoden). Omdat dit type organisme niet goed gekend is bij andere experts, is het dan ook logisch dat dit type organismen niet vaak vermeld wordt als indicator. Belangrijk bevonden voor beleidsrelevantie was dat indicatoren in een netwerk gebruikt worden, de toepasbaarheid op lange termijn en de mogelijkheid tot meting op grote schaal.

Tabel 11 | Alfabetische oplijsting van indicatoren voor bodembiodiversiteit geselecteerd.

Type: MO = Micro-organismen; MM = macro- en mesofauna

INDICATOR bodembiodiversiteit (aantal experts)	Type	Wat?	Techniek
Cmic/Ctotaal (1)	MO	microbiële koolstof t.o.v. totale organische koolstof	chemische analyse van Cmic en C totaal
eDNA (2)	MO & MM	diversiteit en relatieve abundantie	eDNA-metabarcoding
geleedpotigen: aantallen (1)	MM	aantallen	bodemvallen
geleedpotigen: biomassa (1)	MM	biomassa	combinatie van technieken
loopkevers/spinnen (2)	MM	aantallen, aanwezigheid specifieke soorten	bodemvallen
microbiële activiteit (1)	MO	bodemrespiratie	microbiële respiratie
microbiële activiteit (1)	MO	RNA of vetzuren	metatranscriptomics of PLFA
microbiële biomassa (1)	MO	microbiële C	fumigatie
mycorrhiza (1)	MO	aantallen, kolonisatie en relatieve abundantie	microscopie en metabarcoding
nematoden gemeenschappen (1)	MO	aantallen per familie of trofische groep, biomassa	extractie + microscopie
nematoden gemeenschappen (2)	MO	relatieve abundantie op genusniveau	extractie + DNA metabarcoding
regenwormen gemeenschappen (2)	MM	aantallen, soorten, biomassa	regenwormen tellen en identificeren
Rode Lijst Vlaamse pissebedden (1)	MM	soorten	zeven/bodemvallen/Tullgren + morfologie
schimmels (1)	MO	eDNA metabarcoding	DNA
Soil life monitor (1)	MO	absolute biomassa	PLFA

(Guerra et al., 2021). Het komt neer op een goede, afgelijnde, eenduidige vraagstelling, beleidsdoel dat dan met de best mogelijke methodes kan worden beantwoord: bv. zijn er veel afbrekende micro-organismen die de bodem zuiveren, of zijn alle functionele pathways aanwezig om een verontreinigende stof af te breken, of hoe verschilt de verontreinigde bodem t.o.v. een referentie-bodem in soortenrijkdom of geochemische nutriëntencycli, daarvoor zijn verschillende meettechnieken gewenst (**Figuur 3**).



Figuur 3 | Indicatoren voorgesteld door Guerra et al. (2021)

Veel van de mogelijke meetmethodes en indicatoren die vermeld worden in voorliggend rapport, komen ook terug in de SoilBON lijst, vb. taxonomische diversiteit, , biomassa, strooisel afbraak, bodem respiratie, etc..

Global Soil Biodiversity Initiative (GSBI)

Het GSBI heeft als doel om de wetenschappelijke kennis rond bodembiodiversiteit te ondersteunen door bestaand onderzoek en experts samen te brengen (<https://www.globalsoilbiodiversity.org>). Dit doen ze door ondersteunende voorbeelden te bieden aan beleidsmakers voor het behoud en verbeteren van bodembiodiversiteit, uitwisseling van kennis op wetenschappelijke conferenties en een centraal forum te bieden voor input aan IPBES-werkgroepen (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) voor bodembiodiversiteit en ecosysteemdiensten (<https://www.ipbes.net>)

ISO-Committee

Er is ook een ISO-comité (<https://doi.org/10.5194/soil-2019-42>), International Organization for Standardization (ISO), Soil Quality - Biological Characterization sub-committee (ISO TC 190/SC 4) waar de nood werd geïdentificeerd om wetenschappelijk onderbouwde methodes te ontwikkelen die het beste zouden voldoen aan de praktische behoeften van toekomstige gebruikers voor het beoordelen van bodemkwaliteit. Op dit ogenblik zijn er echter nog geen ISO methodes beschikbaar.

bodemdiversiteit kosten-efficiënt en beleidsrelevant zijn. Een set van deze 9 mogelijke indicatoren voor biodiversiteit werd weerhouden (Griffiths et al. 2016, Stone et al. 2016) (van hoge naar lage score):

- Nematoden: moleculair
- Regenwormen: morfologisch
- Collembola (springstaarten): morfologisch
- Enchytraeidae (potwormen): morfologisch
- Mijten: morfologisch
- Schimmels: ergosterol
- Microbieel: moleculair
- PLFA
- Functionele genen: moleculair

Het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LNB) in Nederland deed in 1993 reeds metingen omtrent biodiversiteit van nematoden in de bodem van bossen en landbouwgronden. In 1997 werd dit landelijk meetnet uitgebreid naar graslanden en parken en werd een Bodembiologisch indicator systeem (Bobi; BISQ (Biological Indicator of Soil Quality) in het Engels), met meerdere groepen van bodemorganismen als indicatoren, opgezet voor het meten van biodiversiteit (Griffiths et al. 2016, van der Putten, 2019). De groepen bodemorganismen die in het Bobi systeem werden opgenomen waren bacteriën (en microbiële processen), nematoden, potwormen, regenwormen, springstaarten en mijten. Dit indicatorsysteem werd met enkele kleine aanpassingen in twee vijfjarige meetrondes van het LNB succesvol toegepast (Schouten et al. 1997, van Esbroek & Schouten, 1999; Rutgers et al. 2014). Een voorbeeld van een dergelijke succesvolle toepassing kan men vinden in het rapport “Bodemdiversiteit op de kaart van Noord-Brabant” (Rutgers et al. 2012). De Bobi is gevoelig voor grondsoorten en gebruiksvormen en reageert op bodembedreigingen zoals bodemverontreiniging en de intensiteit van het bodembeheer. In 2014 werden door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) de Bobi indicatoren opnieuw geëvalueerd en nog steeds als *state of the art* beschouwd (Rutgers et al. 2014). Tot slot, enkele Bobi indicatoren werden ook mee opgenomen als biologische indicatoren in een uitgebreide set van (fysische, chemische, biologische, organische stof en visuele) bodemkwaliteitsindicatoren voor landbouwgronden in Nederland (de Haan et al. 2021).

Recent (2022) werd in Nederland ook het project **SoilPros** gestart waarbij men, met behulp van AI, *big data* over bodembiodiversiteit, bodemchemische en -fysische eigenschappen interpreteert met betrekking tot huidige en gewenste bodemfuncties, en hoe men deze informatie kan gebruiken om boeren te helpen (<https://soilpros.nioo.knaw.nl/en>).

In **Wallonië** werd ook een meetnet uitgebouwd met o.a. bodemrespiratie, Cmic, Nmic en regenwormmetingen (Krüger et al. 2017, 2018).

In **Brussel** monitoren ze de biologische bodemkwaliteit via het bepalen van regenwormen door burgers (participatie van scholen), dit voornamelijk om het bewustzijn rond bodemleven bij de algemene bevolking te verhogen: [Brussels Environment website](#).

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1. CONCLUSIES

De kennis over bodembiodiversiteit in Vlaanderen is beperkt, maar het potentieel van de Vlaamse onderzoeksgemeenschap om hieromtrent onderzoek aan te vatten, is groot.

Technieken die gebruikt worden om bodembiodiversiteit te meten, zijn meestal specifiek per groep organisme (bv. voor micro-organismen vs. voor macro- en mesofauna). Enkel eDNA metabarcoding heeft het potentieel om alle types organismen te bepalen, maar deze techniek staat nog niet op punt en heeft ook nadelen, waardoor de techniek nu (nog) niet gebruikt kan worden om beleidsdoelen te stellen.

Uit zowel de bevraging van de experts als uit de desktopstudie werd er geen consensus gevonden in het vinden van één specifieke **beleidsrelevante indicator voor bodembiodiversiteit** die nu al in de praktijk kan worden gebracht. Deze bevinding kan men ook afleiden uit de literatuur. Voor het meten van bodembiodiversiteit werd in Nederland gewerkt met vijf types bodemindicatoren: bacteriën, nematoden, potwormen, regenwormen en microarthropoden (springstaarten en mijten). In Rutgers et al. (2014) werd ook de nadruk gelegd dat er niet zoiets bestaat als één unieke indicator: *“Er bestaat niet één unieke indicator die de informatie levert over alle kenmerken die nodig zijn om het Natuurlijk Kapitaal van de bodem te bepalen”* (Rutgers et al. 2014). Griffith et al. (2016) wezen er ook op dat één enkele indicator niet gevoelig genoeg was om verschillen in intensiteit van landgebruik te meten en stelden voor om een reeks verschillende indicatoren te gebruiken. Dit wordt ook benadrukt bij initiatieven zoals SoilBon; ook daar stellen ze voor verschillende groepen organismen te onderzoeken om een idee te krijgen van de biodiversiteit in de bodem. Tot slot, stelden recent ook Van der Putten et al. (2023) dat het vinden van een beleidsrelevante indicator voor bodemgezondheid en bodembiodiversiteit een uitdaging is, omdat er geen indicator bestaat die voor alle omstandigheden geschikt is. Maar niettegenstaande er geen consensus bereikt werd rond het vinden van één specifieke indicator, hebben we in de aanbevelingen hieronder een set van 6 metingen aanbevolen die in een monitoringsmeetnet zouden kunnen gebruikt worden indien we een beter beeld zouden willen krijgen van de bodembiodiversiteit in Vlaanderen (**Tabel 12**). Deze 6 parameters werden geselecteerd op basis van de resultaten van deze opdracht, nl. de expertise in Vlaanderen, de discussie tijdens de beleidsworkshop, de resultaten uit de desktopstudie en de ervaring van het team betrokken in de uitvoering van deze opdracht.

4.2. AANBEVELINGEN

4.2.1. Set van 6 metingen

Als we vandaag een beter beeld zouden willen krijgen van de bodembiodiversiteit in Vlaanderen, raden we een set van 6 parameters aan die in een meetnetwerk gemonitord kunnen worden. Deze 6 parameters worden gegeven in **Tabel 12** en werden geselecteerd op basis van: (i) de expertise beschikbaar in Vlaanderen (**Tabel 3 & 6**), (ii) de scoring van de technieken en indicatoren door de experts (**Tabel 9, 10 & 11**) en (iii) opgenomen in initiatieven buiten Vlaanderen (bv. SoilBon, ontwerp soil monitoring law, LUCAS, Ecofinders,...).

We raden aan om drie groepen micro-organismen te onderzoeken: bacteriën, schimmels en nematoden. Voor de bacteriën en schimmels, stellen we een techniek voor die biomassa meet, nl. PLFA en een techniek die de biodiversiteit (*sensu stricto*) meet, nl. eDNA metabarcoding. Voor de nematoden wordt extractie gevolgd door DNA metabarcoding naar voor geschoven.

Voor de meso- en macrofauna stellen we voor om een subgroep te onderzoeken die OP de bodem leeft (bv. pissebedden) en een subgroep die IN de bodem leeft (bv. mijten). Voor beide types organismen is er ruime expertise aanwezig in Vlaanderen. Naast geleedpotigen, stellen we voor regenwormen te onderzoeken, een klassieker in het bepalen van bodemleven.

Tabel 12. Selectie van 6 parameters voor bodembiodiversiteit die gebruikt zouden kunnen worden in Vlaanderen. Deze werden geselecteerd op basis van: (i) de expertise in Vlaanderen (Tabel 3 & 6), (ii) de oplistings- en de scoring van de technieken en indicatoren door de experts (Tabel 9, 10 & 11) en (iii) opgenomen in meer dan een van de initiatieven in het buitenland (bv. SoilBon, ontwerp soil monitoring law, LUCAS, Ecofinders,...).

Type	Subgroep	Techniek	Wat wordt bepaald	Waarom geselecteerd
MO	bacteriën en schimmels	PLFA	biomassa	(i), (ii), (iii)
MO	bacteriën en schimmels	eDNA metabarcoding	diversiteit	(i), (ii), (iii)
MO	nematoden	extractie + DNA metabarcoding	diversiteit	(i), (ii), (iii)
MM	1 groep organismen OP de bodem (bv. pissebedden)	vallen + morfologie	diversiteit biomassa	(i), (ii)
MM	1 groep organismen IN de bodem (bv. mijten)	extractie + morfologie	diversiteit biomassa	(i), (ii), (iii)
MM	regenwormen	extractie + morfologie	diversiteit biomassa	(i), (ii), (iii)

4.2.2. Opleidingen, overlegplatform en toekomstige projecten

De Vlaamse expertise rond bodembiodiversiteit is beperkt en gefragmenteerd (**Tabel 7**). Dit heeft zonder meer te maken met het feit dat er te weinig opleidingsmogelijkheden zijn aan hogescholen of universiteiten inzake bodembio- en -ecologie. We bevelen de Vlaamse onderwijsinstellingen aan om hun onderwijsaanbod te versterken zodat goed opgeleide experts in het brede werkveld dat focust op bodembiodiversiteit en biologische bodemkwaliteit terecht kunnen komen. Deze mensen dienen door te stromen naar studie bureaus, laboratoria, diverse beleidsniveaus en wetenschappelijke instellingen. Al deze actoren zullen maken dat er in de maatschappij meer aandacht besteed zal worden aan de cruciale rol van het bodemleven, de toestand en trends van de bodembiodiversiteit en de ecosysteemdiensten die erdoor geleverd worden.

Binnen de Vlaamse Overheid dient meer aandacht besteed te worden aan het thema bodembiodiversiteit. Een impulsprogramma dat voorziet in extra middelen voor de aanleg van een gestructureerd meetnet, wetenschappelijk onderzoek, kennisopbouw en implementatie van 'goede praktijken' in alle Departementen en Agentschappen die met (duurzaam) bodembeheer te maken hebben. Informatiedoorstroming kan gebeuren via het programma Grondzaken of andere netwerken.

De Vlaamse Wetenschappelijke Instellingen INBO en ILVO dienen een sterke tandem te vormen om (1) de toestand en de evoluties van de bodembiodiversiteit in Vlaanderen via surveys en lange termijn monitoring in kaart te brengen, (2) 'goede praktijken' uit te werken voor directe implementatie in de landbouwpraktijk, de bosbouw, regenererende of gesaneerde (industriële) bodems of marginale

In **Tabel 13** worden bovenstaande oplossingen voor de opgelijste leemtes en noden uit Tabel 7 samengevat.

Tabel 13. Overzicht van de aanbevelingen/acties op basis van de leemtes en noden geïdentificeerd in deze studie.

Leemtes	Noden	Oplossingen
Per initiatief/project is de scope beperkt: beperkt aantal type organismen, meestal geen tijd reeksen, beperkt aantal locaties, beperkt aantal types landgebruik of bodemtypes	Meer samenwerking en overleg over staalname en analyse technieken en over aanpakken om data uit verschillende initiatieven te bundelen	Oprichting kennisinstelling Bodembiodiversiteit (BODIV)
Geen referentiewaarden	Centraal coördinatiepunt (cfr. Nederland)	BODIV is het centrale coördinatie orgaan
Geen vertaalslag	“Soil Atlas” voor Vlaanderen (cfr. Nederland, global soil atlas, water index Vlaanderen)	BODIV werkt aan een bodemleven/biodiversiteit dashboard/atlas voor Vlaanderen
Niet systematisch (aparte initiatieven, elk met eigen methodes voor staalname en analyse)	Standaardisatie van methodes (staalname, staalbewaring, staalvoorbereiding en technieken)	BODIV ontwikkelt een "code van goede praktijk, handleiding, gids"
Geen lange termijn, weinig kennis over variabiliteit in tijd en ruimte	Monitoring op lange termijn en geografisch gespreide proefvlakken (LTER, ...)	BODIV zet in op specifieke calls in de komende 5 jaar, om monitoringscampagnes op punt te zetten
Weinig specialisten en weinig financiering Bv. er zijn te weinig (en voor de meeste groepen zelfs geen) professionele taxonomen voor bodemfauna in Vlaanderen. Taxonomie wordt nu eerder fragmentarisch door “amateur”-entomologen uitgevoerd.	Financieringskanalen waar dit type onderzoek in past Meer aandacht voor bodembiodiversiteit binnen het onderwijs	BODIV schrijft projecten uit voor calls waarin dit type onderzoek past (bv. soil mission Horizon Europe). Opleiden van nieuwe taxonomen (educatie), en erkenning volwaardige hoofd beroep

4.2.3. Concrete beleidsdoelen

Zowel aangehaald door de experts als tijdens de beleidsworkshop: bij het opstellen van een (set van) bodembiodiversiteitsindicator is er nood aan concrete voorbeelden van beleidsdoelen. Hieronder worden 3 voorbeelden dieper uitgewerkt. Hoe kan bodembiodiversiteitsmonitoring meegenomen worden in het kader van:

2030 te bekomen (de Haan et al. 2021). Deze indicatorset is echter gericht op de bodemkwaliteit in het algemeen, en niet op bodembiodiversiteit 'as such'. Voor specifieke doeleinden (bv. een indicatie krijgen van de kwaliteit van een landbouwbodem in Vlaanderen) is een aantal biologische parameters zoals de Haan et al. (2021) voorstelt de juiste keuze. Voor andere doeleinden (bv. om te bepalen hoe specifieke gewassen of beheermaatregelen biologische processen in landbouwbodems beïnvloeden), is een meer diepgaande analyse van de organismen aanwezig in de bodem nodig.

Kwaliteit van natuur en bos

Hier kan gewerkt worden met het voorbeeld van Rode Lijsten (RL) voor de evaluatie van de kwaliteit van natuur en bos. Helaas zijn maar weinig bodemfaunagroepen geëvalueerd. Er is de recente RL van de Vlaamse pissebedden waar we enkele goede indicatoren hebben voor oude bosbodems die de afgelopen eeuwen nooit sterk verstoord zijn geweest (De Smedt & Maes, 2023). Er zijn oude RL voor loopkevers en spinnen die helaas nooit gevalideerd werden. Die zijn niet meer up-to-date alhoewel een nieuwe lijst voor loopkevers in opmaak is en de Belgische Arachnologische Vereniging (ARABEL) vragende partij is om een nieuwe lijst voor spinnen op te stellen. Ook binnen deze groepen vinden we goede indicatoren voor relatief onverstoord bodems. Een pleidooi dus om meer bodemfaunagroepen te evalueren waar mogelijk, maar daar zal bij veel groepen eerst een goede basisinventarisatie voor nodig zijn. Ook zou er bekeken kunnen worden of bodemfauna kan meegenomen worden in bestaande meetnetten zoals <https://meetnetten.be/#group-1>.

Burki F, Sandin MM, Jamy M (2021). Diversity and ecology of protists revealed by metabarcoding. *Curr. Biol.* 31, R1267–R1280.

Butt KR & Nuutinen V (2021). Earthworms in past and present agricultural landscapes of Hebridean Scotland. *European Journal of Soil Biology*, 104, 103273. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103273>.

CBD (1992): Convention on Biological Diversity. Online. Cited 4 July 2023. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>

Coomans A (1989). Overzicht van de vrijlevende nematofauna van België (Nematoda), verhandelingen van het symposium "invertebrata van België", p. 43-56.

Crossley DA, Høglund MP (1962). A Litter-Bag Method for the Study of Microarthropods Inhabiting Leaf Litter. *Ecology*, 43(3), 571–573. <https://doi.org/10.2307/1933396>

de Haan JJ, van den Elsen E, Visser SM (2021). *Evaluatie van de Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN), versie 1.0: BLN, versie 1.1 en de schets van een ontwikkelpad naar een BLN, versie 2.0* (No. WPR-883). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research (WPR), Business unit Open Teelten.

De Pauw N, Vanhooren G (1983). Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia* 100, 153–168. <https://doi.org/10.1007/BF00027428>

De Schrijver A, De Frenne P, Staelens J, Verstraeten G, Muys B, Vesterdal L, Wuyts L, van Nevel L, Schelfhout S, de Neve S, Verheyen K (2012). Tree species traits cause divergence in soil acidification during four decades of postagricultural forest development. *Global Change Biology* 18, 1127-1140.

De Smedt P (2018). Edge effects on the distribution of litter-dwelling arthropods in small forest fragments in agricultural landscapes. PhD-thesis, Ghent University, Ghent, Belgium.

De Smedt P, Boeraeve P, Arijs G, Segers S (2020). *De landpissebedden van België : Isopoda: Oniscidea*. Bonheiden: Spinicornis.

De Smedt P & Maes D (2023). Eerste Rode Lijst van de Vlaamse landpissebedden wijst extra op het belang van grote oude bossen. *Bosrevue*, 105a, 1-6.

De Tender C, Mesuere B, Van der Jeugt F, Haegeman A, Ruttink T, Vandecasteele B, Dawyndt P, Debode J, Kuramae EE (2019). Peat substrate amended with chitin modulates the N-cycle, siderophore and chitinase responses in the lettuce rhizobiome. *Scientific Reports* 9, 9890.

Dopheide A, Xie D, Buckley TR, Drummond AJ, Newcomb RD. (2019). Impacts of DNA extraction and PCR on DNA metabarcoding estimates of soil biodiversity. *Methods in Ecology and Evolution*, 10, 120–133.

FAO, ITPS, GSBI, CBD, EC (2020). State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>

Hendrickx G (1995). An automatic apparatus for extracting free-living nematode stages from soil. *Nematologica* 41, 308.

Hermans SM, Lear G, Buckley TR, Buckley HL (2022). Environmental DNA sampling detects between-habitat variation in soil arthropod communities, but is a poor indicator of fine-scale spatial and seasonal variation. *Ecological Indicators*, 140, 109040.

Herren GL, Habraken J, Waeyenberge L, Haegeman A, Viaene N, Cougnon M, Reheul D, Steel H, Bert W. (2020) Effects of synthetic fertilizer and farm compost on soil nematode community in long-term crop rotation plots: A morphological and metabarcoding approach. *PLOS ONE* 15(3): e0230153. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230153>

Hugerth LW, Anders FA (2017). Analysing microbial community composition through amplicon sequencing: from sampling to hypothesis testing." *Frontiers in Microbiology* 8, 1561.

Hulsmans E, Peeters G, Honnay O (2022). Soil microbiomes in apple orchards are influenced by the type of agricultural management but never match the complexity and connectivity of a semi-natural benchmark. *Frontiers In Microbiology* 13, 830668. doi: 10.3389/fmicb.2022.830668

Joos L (2023). *Jumping over Hurdles : Deciphering the Soil Microbiome and Its Link to Soil Health..* PhD thesis, Faculty of Sciences, Ghent University 2023.

Kirse A, Bourlat SJ, Langen K, Fonseca VG (2021). Unearthing the potential of soil eDNA metabarcoding—Towards best practice advice for invertebrate biodiversity assessment. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 630560. 10.3389/fevo.2021.630560

Krüger I, Chartin C, van Wesemael B, Malchair S, Carnol M (2017). Integrating biological indicators in a Soil Monitoring Network (SMN) to improve soil quality diagnosis – a study case in Southern Belgium (Wallonia). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 21(S1)

Krüger I, Chartin C, van Wesemael B, Carnol M (2018). Defining a reference system for biological indicators of agricultural soil quality in Wallonia, Belgium. *Ecological Indicators* 95, 568-578.

Labouyrie M, Ballabio C, Romero F, Panagos P, Jones A, Schmid MW, Mikryukov V, Dulya O, Tedersoo L, Bahram M, Lugato E, van der Heijden MGA, Orgiazzi A (2023). Patterns in soil microbial diversity across Europe. *Nat Commun* 14, 3311. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37937-4>

Lawrence AP, Bowers MA (2002). A test of the 'hot' mustard extraction method of sampling earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 549-552.

Lilja MA, Buivydaite Ž, Zervas A, Krogh PH, Winding Hansen B, Winding A, Sapkota R (2023). Comparing earthworm biodiversity estimated by DNA metabarcoding and morphology-based approaches. *Applied Soil Ecology* 185, 104798.

Sabu TK, Shiju RT, Vinod K, Nithya S (2011). A comparison of the pitfall trap, Winkler extractor and Berlese funnel for sampling ground-dwelling arthropods in tropical montane cloud forests. *J Insect Sci.* 11:28. doi: 10.1673/031.011.0128.

Sapkota R & Nicolaisen M (2015). High-throughput sequencing of nematode communities from total soil DNA extractions. *BMC Ecology* 15, 1–8.

Schelfhout S, Wasof S, Mertens J, Vanhellemont M, Demey A, Haegeman A, DeCock E, Moeneclaeys I, Vangansbeke P, Viaene N, Baeyen S, De Sutter N, Maes M, van der Putten W, Verheyen K, De Schrijver A (2021). Effects of bioavailable phosphorus and soil biota on typical *Nardus* grassland species in competition with fast-growing plant species, *Ecological Indicators*, Volume 120, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106880>.

Schirmer M, Ijaz UZ, D'Amore R, Hall N, Sloan WT, Quince C (2015). Insight into biases and sequencing errors for amplicon sequencing with the Illumina MiSeq platform. *Nucleic Acids Research* 43.6, e37-e37.

Schouten AJ, Brussaard L, de Ruiter PC, Siepel H, van Straalen NM (1997). An Indicator System for Life support functions of the soil in relation to biodiversity. *Bilthoven: Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu*.

Southwood TRE & Southwood TRE (1978). Absolute Population Estimates by Sampling a Unit of Habitat—Soil and Litter. *Ecological Methods: With Particular Reference to the Study of Insect Populations* 170-201.

Steel H, Coomans A, Decraemer W, Moens T, Bert W (2014). Nematodes from terrestrial, freshwater and brackish water habitats in Belgium: an updated list with special emphasis on compost nematodes, *Zootaxa* 3765, 143-160.

Stone D, Blomkvist P, Bohse Hendriksen P, Bonkowski M, Bracht Jørgensen H, Carvalho F, Dunbar MB, Gardi C, Geisen S, Griffiths R, Hug AS, Jensen J, Laudon H, Mendes S, Morais PV, Orgiazzi A, Plassart P, Römbke J, Rutgers M, Schmelz RM, Sousa JP, Steenbergen E, Suhadolc M, Winding A, Zupan M, Lemanceau P, Creamer RE. (2016). A method of establishing a transect for biodiversity and ecosystem function monitoring across Europe. *Applied Soil Ecology* 97, 3-11.

Taberlet P, Prud'Homme SM, Campione E, Taberlet P, Prud'homme SM, Campione E, Roy J, Miquel C, Shehzad W, Gielly L, Rioux D, Choler P, Clément JC, Melodelima C, Pompanon F, Coissac E. (2012). Soil sampling and isolation of extracellular DNA from large amount of starting material suitable for metabarcoding studies. *Mol. Ecol.* 21, 1816–1820. doi: 10.1111/j.1365-294X.2011.05317.x

Tedersoo L, Anslan S (2019). Towards PacBio-based pan-eukaryote metabarcoding using full-length ITS sequences. *Environ. Microbiol. Rep.* 11 659–668. 10.1111/1758-2229.12776

Tedersoo L, Mikryukov V, Zizka A, Bahram M, Hagh-Doust N, Anslan S, Prylutskyi O, Delgado-Baquerizo M, Maestre FT, Pärn J, Öpik M, Moora M, Zobel M, Espenberg M, Mander U, Khalid AN, Corrales A, Agan A, Vasco-Palacios AM, Saitta A, Rinaldi AC, Verbeken A, Sulistyo BP, Tamgnoue B, Furneaux B, Duarte Ritter C, Nyamukondiwa C, Sharp C, Marín C, Gohar D, Klavina D, Sharmah D, Dai DQ, Nouhra E, Biersma EM, Rähn E, Cameron EK, De Crop E, Otsing E, Davydov EA, Albornoz FE, Brearley FQ,

Van Geel M, Aavik T, Ceulemans T, Träger S, Mergeay J, Peeters G, van Acker K, Zobel M, Koorem K, Honnay O (2021). The role of genetic diversity and arbuscular mycorrhizal fungal diversity in population recovery of the semi natural grassland plant species *Succisa pratensis*. *BMC Ecology* 21, 200. doi: 10.1186/s12862-021-01928-0

Van Geel M, Jacquemyn H, Peeters G, van Acker K, Honnay O, Ceulemans T (2020). Diversity and community structure of ericoid mycorrhizal fungi in European bogs and heathlands across a gradient of nitrogen deposition. *New Phytologist* 228, 1640-1651.

Van Geel M, Yu K, Peeters G, Van Acker K, Ramos M, Serafim C, Kastendeuch P, Najjar G, Ameglio T, Ngao J, Saudreau M, Castro P, Somers B, Honnay O (2019). Soil organic matter rather than ectomycorrhizal diversity is related to urban tree health. *PLoS One* 14, e0225714, 1-9. doi: 10.1371/journal.pone.0225714

Vervoort MTW, Vonk JA, Mooijman PJW, Van den Elsen SJJ, Van Megen HHB, Veenhuizen P, Landeweert R, Bakker J, Mulder C, Helder J (2012). SSU ribosomal DNA-based monitoring of nematode assemblages reveals distinct seasonal fluctuations within evolutionary heterogeneous feeding guilds. *PLoS ONE* 7, e47555.

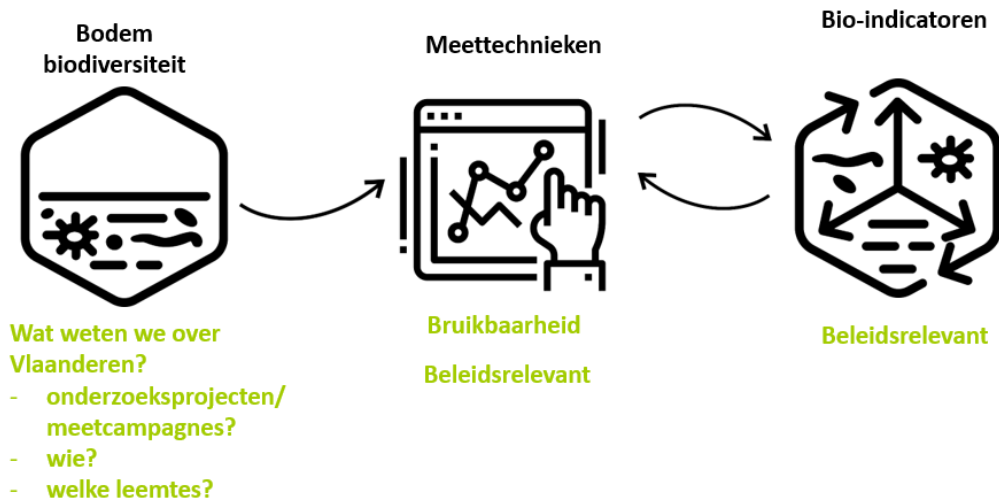
Waeyenberge L, de Sutter N, Viaene N, Haegeman A (2019). New insights into nematode DNA-metabarcoding as revealed by the characterization of artificial and spiked nematode communities. *Diversity* 11, 52.

Wasof S, De Schrijver A, Schelfhout S, Perring MP, Remy E, Mertens J, de la Peña E, De Sutter N, Viaene N, Verheyen K (2019). Linkages between aboveground and belowground community compositions in grasslands along a historical land-use intensity gradient. *Plant & Soil* 434, 289–304. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3855-7>

Winding A, Singh BK, Bach E, Brown G, Zhang J, Cooper M, Dion P, Mele P, Eisenhauer N, Sergio PN, Lindo Z (2020). State of Knowledge of Soil Biodiversity: Status, Challenges, and Potentialities.

Woodcroft BJ, Singleton CM, Boyd JA, Evans PN, Emerson JB, Zayed AAF, Hoelzle RD, Lamberton TP, McCalley CK, Hodgkins SB, Wilson RM, Purvine SO, Nicora CD, Li C, Froelking S, Chanton JP, Crill PM, Saleska SR, Rich VI, Tyson GW (2018) Genome-centric view of carbon processing in thawing permafrost. *Nature* 560, 49–54. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0338-1>

Young MR, Hebert PDN (2022). Unearthing soil arthropod diversity through DNA metabarcoding. *PeerJ.*, 10:e12845. doi: 10.7717/peerj.12845. PMID: 35178296; PMCID: PMC8815377.



VRAGEN

Wat weten we over de bodembiodiversiteit in Vlaanderen?



Vraag 1: Welke **onderzoeksprojecten en meetcampagnes** zijn er uitgevoerd, zijn lopend of worden gepland met betrekking tot bodembiodiversiteit in Vlaanderen?

- Type bodemleven: micro-organismen, mesofauna, macrofauna, interacties
- Type landgebruik: landbouw, bos, citizen, industrie
- Doel van het onderzoek/de meetcampagne: impact en/of monitoring

Vraag 2: **Wie** is er actief in bodembiodiversiteitsonderzoek in Vlaanderen en heeft er kennis over de Vlaamse bodembiodiversiteit?

Vraag 3: **Welke leemtes** zijn er in het huidige onderzoek naar bodembiodiversiteit in Vlaanderen?

Meettechnieken



Vraag 4: **Welke meettechnieken** zijn er voor de bodembiodiversiteit?

- Type bodemleven: micro-organismen, mesofauna, macrofauna, interacties
- Type landgebruik: landbouw, bos, citizen, industrie
- Wat? DNA, vetzuren, aantallen, biomassa,...
- Genotype, fenotype of functie

