

*Samen naar een circulaire Bollenstreek*

# Bodemkwaliteit in de Bollenstreek

# Inzicht in het Bodemleven

Fleur van Duin

1 juni 2023

# Inhoud

**Voorwoord - 2**

**Samenvatting - 4**

**1. Inleiding - 6**

1.1 Bodem & bollenteelt - 6

1.2 Kennisvraag - 6

**2. Bodemkwaliteit - 7**

2.1 Wat is het? - 7

2.2 Fysisch & chemisch – 7

2.3 Biologisch: bodemleven - 8

**3. Bodemkwaliteit meten - 10**

3.1 De Open Bodemindex – 10

3.2 Profielkuil – 10

3.3 Regenwormen – 11

3.4 Aaltjes – 11

3.5 Schimmels & bacteriën – 12

Schimmel/bacterie ratio – 13

Microbiële activiteit – 13

Soil Your Undies – 14

3.6 DNA in de bodem: eDNA – 14

DNA barcoding – 15

DNA metabarcoding – 15

**4. Gebruik van de methodes – 16**

**5. Ontwikkelingen – 17**

Meer weten? – 17

**Literatuurlijst – 18**

# Voorwoord

## Project ‘Samen naar een circulaire Bollenstreek’

De wereldberoemde Bollenstreek is een nationale trots en van grote waarde voor de Nederlandse economie. Hoe zit het met de toekomst van de regio? De centrale vraag in dit project is: wat is er nodig om te komen tot een transitie naar een circulaire economie, betere gezondheid, duurzamer gebruik van grondstoffen, en hogere kwaliteit van werk- en woonomgeving met meer natuur en biodiversiteit.

In het project ‘Samen naar een circulaire Bollenstreek’ werken ondernemers, bedrijven, lokale overheden en kennispartijen samen om bij te dragen aan een winstgevende, natuurinclusieve bollenteelt.

Het project wordt geleid door Naturalis Biodiversity Center. Hoofdpartners zijn Greenport Duin- en Bollenstreek, Erasmus Universiteit Rotterdam (EUR), Centrum voor Milieuwetenschappen, Universiteit Leiden (CML) en Living Lab B7. De looptijd van het project is 1 januari 2021 tot en met juni 2023.

## Van onderzoek naar kennis in de praktijk

Een van de onderdelen van het project zijn ‘KICK’ vouchers. KICK is een afkorting voor Kennis en Innovatie voor Circulaire Economie en Kringlopen. Deze vouchers zijn kennisvragen die uit de sector komen en door jonge onderzoekers worden beantwoord onder leiding van het projectteam van Naturalis. Vertegenwoordigers uit de sector denken mee om de beantwoording in goede banen te leiden. Het doel daarvan is enerzijds om de onderzoekers te ondersteunen en hun vragen te beantwoorden. Anderzijds om erop te letten dat de antwoorden praktisch nut hebben of waar mogelijk toe te passen zijn in de praktijk.

## Vijf kennisvragen over duurzame bollenteelt

In december 2021 heeft het [‘GreenportLIVE’ event](#) plaatsgevonden en zijn de kennisvragen uit de sector opgehaald. Het was een digitaal overleg waar de bollenteelt sector uitgenodigd was. In groepen zijn de deelnemers aan de slag gegaan met de drie thema’s: bodemkwaliteit, residuvrije teelt en circulariteit<sup>1</sup>. Deelnemers hebben hun uitdagingen in kaart gebracht en aan de hand daarvan ook oplossingen en de kennisvragen die helpen om de oplossingen in de praktijk te brengen. De belangrijkste kennisvragen zijn vervolgens door de deelnemers geselecteerd. De volgende vragen zijn gekozen:

Vraag 1 – Hoe zet je hoge bodemkwaliteit in geld om? Deze wordt beantwoord door Martine Trip, Wageningen University & Research (WUR) Open teelten

Vraag 2 – Als bodemkwaliteit beter in balans is, hebben we dan minder last van ziekteverwekkende organismen? Deze wordt beantwoord door Sjoerd van Vilsteren, WUR, Glastuinbouw en bloembollen

Vraag 3 – Hoe kan bodemkwaliteit gemeten worden? En hoe kan eDNA analyse daarbij ingezet worden? Deze wordt beantwoord door Fleur van Duin en Vincent Merckx, Naturalis Biodiversity Center

Vraag 4 – Hoe kun je strokenteelt inzetten bij een duurzame bollenteelt? Deze wordt beantwoord door een studententeam, HAS Hogeschool

<sup>1</sup> Deze drie thema’s zijn door de onderzoekers / projectleden van Erasmus Universiteit Rotterdam opgesteld aan de hand van een serie interviews met telers.

Een vijfde geprioriteerde vraag wordt geïncorporeerd in de serious game: Wat zijn de risico's van verduurzaming? Wie draagt die? En hoe ga je met de risico's om? Deze wordt beantwoord door Wiesje Korf en Hedi Westerduin, Erasmus Universiteit Rotterdam (EUR), in samenwerking met Centrum voor Milieuwetenschappen, Universiteit Leiden (CML).

#### **Eindresultaat**

De kennisvragen worden door de onderzoekers beantwoord in de vorm van een verslag en een presentatie. Ook zal Naturalis een infographic maken als onderdeel van het platform 'Kennis Natuurlijk!' (zie als voorbeeld <https://www.naturalis.nl/natuurinclusief>). We willen de beantwoording van deze vragen graag zo praktisch mogelijk invullen, zodat de resultaten direct bruikbaar zijn in de praktijk.

#### **Meer projectinformatie**

Meer informatie over het *Samen naar een circulaire Bollenstreek* project kun je vinden op <https://www.naturalis.nl/wetenschap/bloeiende-bollenstreek>. Het project wordt mogelijk gemaakt door ACCEZ: Accelerating Circular Economy Zuid-Holland. ACCEZ versnelt de circulaire economie in de provincie Zuid-Holland op thema's als circulaire gebiedsontwikkeling en circulaire land- en tuinbouw. Zie voor meer informatie <https://accezn.nl/>

# Samenvatting

Er is steeds meer aandacht voor bodemkwaliteit in de bollenteelt. Enerzijds vanwege bodem-gerelateerde problemen (ziektedruk, meststoffen), anderzijds vanwege de verwachte baten bij goede bodemkwaliteit. Op basis van de GreenportLIVE-sessie (16 december 2021) is een aantal kennisvragen opgehaald uit de bollensector. In dit rapport wordt één van die kennisvragen – hoe kan bodemkwaliteit worden gemeten? – beantwoord.

Er zijn veel componenten die bepalend zijn voor bodemkwaliteit. De fysische en chemische componenten zijn veelal bekend. De biologische componenten van de bodem zijn minder onderzocht en worden nog in beperkte mate aangeboden in commerciële bodemanalyses.

Voor de bollenteler kan het nuttig zijn om meer inzicht te krijgen in de biologische componenten van de bodem – ofwel het bodemleven – omdat deze essentiële functies vervullen.

Het rapport biedt een overzicht van verschillende methodes (zie lijst hieronder) die hiervoor gebruikt kunnen worden. Uiteindelijk is het essentieel dat methodes worden gecombineerd en verschillende resultaten (over tijd, tussen locaties) worden vergeleken om inzicht te krijgen in de bodemkwaliteit. Onderzoek en innovaties zijn gewenst om de resultaten beter te kunnen interpreteren.

## Overzicht methodes & soortgroepen

- H3.1 Methode: online tool (Open Bodemindex)  
Inzicht in: Algehele bodemkwaliteit  
Waarom interessant voor de bollenteler? Handig platform om bodemkwaliteit te evalueren en advies te krijgen.
- H3.2 Methode: Profielkuil  
Inzicht in: Algemene staat van de bodem  
Waarom interessant voor de bollenteler? Snel inzicht in structuurproblemen en de samenhang tussen alle bodemcomponenten.
- H3.3 Methode/soortgroep: Regenwormen tellen (aantal)  
Inzicht in: Aantal regenwormen; biologische bodemkwaliteit  
Waarom interessant voor de bollenteler? Activiteit van regenwormen is belangrijk voor bodemvruchtbaarheid, structuur, waterregulatie, microbiële activiteit
- H3.4 Methode/soortgroep: Aaltjesdiversiteit; morfologisch determineren of o.b.v. DNA  
Inzicht in: Aaltjesgemeenschap; biologische bodemkwaliteit  
Waarom interessant voor bollenteler? Hoge diversiteit aan aaltjes kan duiden op een stabiel bodemecosysteem, waarin bijvoorbeeld plantparasitaire aaltjes worden onderdrukt door omnivore aaltjes.
- H3.5.1 Methode/soortgroep: Schimmel/bacterie ratio; microscopie of PLFA analyse  
Inzicht in: Mate van bodemverstoring; organische stof dynamiek  
Waarom interessant voor bollenteler? Opbouw van organisch stof is een grote uitdaging in de Bollenstreek; inzicht in schimmel/bacterie ratio biedt mogelijk meer inzicht in de situatie. Daarnaast zijn bodems met een relatief hogere schimmel/bacterie ratio weerbaarder tegen ziektes en droogte.
- H3.5.2 Methode/soortgroep: Microbiële activiteit; meten o.b.v. respiratie of mineralisatie  
Alternatieve methode: Soil Your Undies (onderbroek begraven)

Inzicht in: Afbraak organisch stof

Waarom interessant voor bollenteler? Actief bodemleven is belangrijk voor een productieve, weerbare bodem.

#### H3.6.1 Methode/soortgroep: DNA barcoding van specifieke pathogenen

Inzicht in: Aanwezigheid pathogene organismen in bodem

Waarom interessant voor bollenteler? Vanwege strenge fytosanitaire eisen voor de export van bollen lijkt het voor een teler interessant om vóór de teelt al te weten of een pathogeen aanwezig is in de bodem. Echter, onderzoek laat zien dat de meeste pathogenen in iedere bodem aanwezig zijn. Dat betekent niet dat ze tot uiting hoeven te komen en voor problemen voor de teler hoeven te zorgen. DNA barcoding zou dus in veel gevallen onnodig verontrustende resultaten opleveren.

#### H3.6.2 Methode/soortgroep: DNA metabarcoding van bodembiodiversiteit (eDNA)

Inzicht in: Totale biodiversiteit in de bodem

Waarom interessant voor bollenteler? Het kan leerzaam en interessant zijn om de resultaten van verschillende metingen te vergelijken. Echter, onderzoek laat zien dat de totale biodiversiteit van 'gezonde' en 'verstoorde' bodems vaak niet significant van elkaar verschillen. Veel belangrijker is om inzicht te krijgen in het daadwerkelijk functioneren van het bodemecosysteem. Dit is helaas (nog) niet mogelijk met DNA metabarcoding alleen.

# 1. Inleiding

## 1.1 Bodem & bollenteelt

Er is steeds meer aandacht voor bodemkwaliteit, ook in de bollensector. Veel bollentelers kennen het belang van goede bodemkwaliteit. Bodemkwaliteit is sterk afhankelijk van het bodemleven. De hoeveelheid en diversiteit van bodemleven wordt beïnvloed door onder andere het type bodem, het weer, grondwater, bemesting en het bouwplan. Onder de juiste omstandigheden kan in bijna iedere bodem een gezond bodemleven vestigen. Het is bekend dat niet al het bodemleven altijd gunstig is voor landbouw: sommige organismen kunnen veel problemen veroorzaken. In de bollenteelt kan de financiële schade door bijvoorbeeld virussen, schimmels of aaltjes enorm zijn, ook vanwege de strenge fytosanitaire eisen voor export. Het juiste bodemgebruik en -beheer kan ervoor zorgen dat problemen beheersbaar blijven (Termorshuizen et al., 2019).

Al heel lang vraagt de bollenteelt (in de Bollenstreek) veel van de bodem. Dit heeft geleid tot verminderde bodemkwaliteit en hoge ziektedruk (KAVB et al., 2018; De Wolf et al., n.d.). Er is veel input nodig van meststoffen en pesticiden om de productie op peil te houden en te kunnen voldoen aan de hoge eisen voor export. Het gebruik van deze middelen heeft een negatieve invloed op water- en bodemkwaliteit en bodemleven. Het middelengebruik wordt steeds meer beperkt vanuit wetgeving, waardoor ziekte- en onkruiddruk lijken toe te nemen. Het belang van een gezonde, weerbare bodem neemt dus toe.

## 1.2 Kennisvraag

Uit de [GreenportLIVE-sessie van 16 december 2021](#) bleek dat bollentelers, die het belang van bodemkwaliteit en bodemleven begrijpen, behoefte hebben aan praktische handvatten om ermee aan de slag te gaan. Een vraag die naar voren kwam, was: Hoe kan bodemkwaliteit gemeten worden? Deze kennisvraag staat centraal in dit rapport. Daarnaast was er interesse in een relatief nieuwe methode om inzicht te krijgen in bodemleven: de analyse van DNA uit de bodem (environmental DNA). Daarom wordt in de beantwoording van bovengenoemde kennisvraag extra aandacht besteed aan het onderwerp en de mogelijke inpassing van DNA analyses in de monitoring van bodemkwaliteit.

Het doel van dit rapport is om inzicht te bieden in de bestaande kennis over bodemkwaliteit en meetmethodes. Het onderzoek naar het bodemleven in de bollenteelt is nog beperkt, dus voor dit rapport is ook veel kennis geput uit andere sectoren en teelten. Daarnaast moet het rapport een handreiking zijn om in de praktijk aan de slag te kunnen gaan met het verkrijgen van inzicht in het bodemleven aan de hand van de methoden die worden beschreven. Ook zal het verslag belichten welke (essentiële) kennis nog ontbreekt en welke methoden in ontwikkeling zijn. Uiteindelijk moet het rapport daarmee bijdragen aan het duurzaam benutten van bodemkwaliteit en bodemleven in de bollenteelt in de Bollenstreek.

# 2. Bodemkwaliteit

## 2.1 Wat is het?

Bodemkwaliteit kan gedefinieerd worden als de capaciteit van de bodem om te functioneren binnen het landgebruik én binnen de grenzen van het natuurlijke systeem. In het geval van bollenteelt in de Bollenstreek, betekent dat (1) dat de bodem de bollenteelt ondersteunt – door bijvoorbeeld nutriëntenlevering & ziekteverend vermogen – en (2) dat de bodem de biodiversiteit kan ondersteunen. Het bodemleven verbindt deze twee punten aan elkaar. Om te kunnen voldoen aan deze definitie is inzicht in bodemkwaliteit en bodemleven dus essentieel.

Er zijn veel componenten die bepalend zijn voor de kwaliteit van de bodem. Deze componenten kunnen worden onderverdeeld in drie categorieën: fysisch, chemisch en biologisch. Over de eerste twee categorieën is al relatief veel kennis. Die kennis wordt in de volgende paragraaf (2.1) kort beschreven. In paragraaf 2.2 wordt de biologie verder toegelicht.

De uiteindelijke bodemkwaliteit is het resultaat van de interacties tussen alle componenten<sup>2</sup>. Om inzicht te krijgen in bodemkwaliteit is het dus essentieel om alle componenten in samenhang te bekijken en te evalueren hoe deze worden beïnvloed door het bodemgebruik.

## 2.2 Fysisch & chemisch

Fysische eigenschappen van de bodem zijn bijvoorbeeld structuur en textuur, en hebben veel te maken met het bodemtype. De textuur wordt bepaald door de verhouding tussen zand-, silt- en kleideeltjes. De samenhang van deze deeltjes bepaalt de structuur van de bodem. Samen hebben textuur en structuur invloed op de waterregulatie, zuurstofhuishouding, draagkracht en de doorwortelbaarheid. Veel fysische eigenschappen kunnen geëvalueerd worden door een profielkuil te graven (zie H3.2).

Chemische eigenschappen van de bodem zijn bijvoorbeeld de zuurgraad (pH), organische stof (Box 1) en de kationenuitwisselingscapaciteit (CEC). De

chemische gezondheid van een bodem draait met name om een evenwichtige aan- en afvoer van nutriënten. Om de gewasbehoeften te bepalen worden chemische aspecten op veel bedrijven met regelmaat gemeten.

Problemen en oplossingen met betrekking tot de fysische en chemische aspecten van de bodem worden verder beschreven in het verslag Bodemkwaliteit in de Bollenstreek: invloed op ziektedruk & rendement (Van Vilsteren & Trip, 2023).

### Box 1. Organische stof

Organische stof is niet alleen een chemische component, maar heeft ook veel invloed op de fysische en biologische componenten, en op andere chemische componenten:

- Organische stof beïnvloedt fysische componenten, zoals samenhang tussen deeltjes en de bodemstructuur. Daarnaast houdt een bodem met voldoende organische stof meer water vast.
- Organische stof zorgt voor bodemvruchtbaarheid en is voeding voor het bodemleven. De mineralisatie van organische stof door het bodemleven zorgt ervoor dat nutriënten weer vrijkomen en opgenomen kunnen worden door gewassen.
- Organische stof draagt bij aan het vasthouden en opslaan van nutriënten in de bodem en heeft invloed op de CEC.

Organische stof wordt opgebouwd en afgebroken door het bodemleven. De snelheid waarmee dit gebeurt kan worden beïnvloed door grondbewerking en bemesting. Zo kan grondbewerking schimmelnetswerken breken, waardoor opbouw verstoord raakt. Meststoffen met een lage C:N ratio worden snel afgebroken, een hoge C:N ratio zorgt voor tragere afbraak.

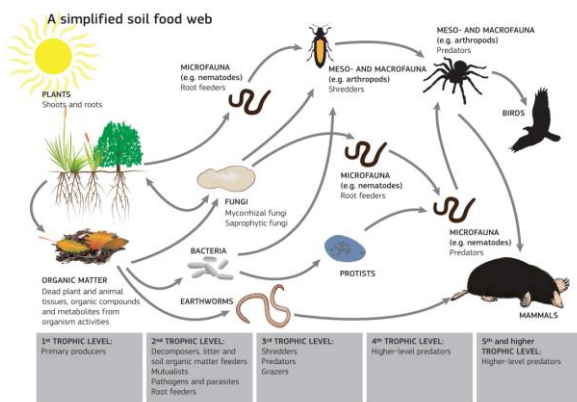
<sup>2</sup> Meer hierover wordt beschreven in Van Vilsteren, S. & Trip, M. (2023). Bodemkwaliteit in de Bollenstreek: Invloed op

ziektedruk & rendement. Wageningen Plant Research, Rapport WPR-1215.



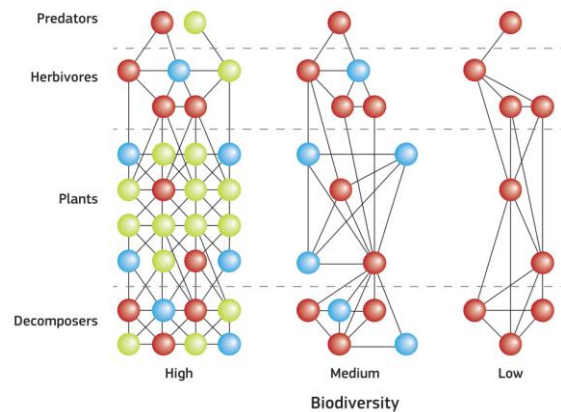
## 2.3 Biologisch: bodemleven

De bodem bevat heel veel leven, in iedere minuscule porie tussen ieder kleideeltje en zandkorreltje. Het bodemleven bestaat onder andere uit micro-organismen, zoals bacteriën en schimmels, en fauna, zoals wormen en aaltjes. En natuurlijk (de wortels) van planten. Al deze organismen vormen samen het bodemecosysteem waarin complexe interacties plaatsvinden, tussen individuen, tussen soorten en tussen het bodemleven en de fysische en chemische componenten (Figuur 1 en 2). Deze interacties zijn de drijvende kracht achter bodemprocessen die op grotere schaal belangrijke functies vervullen. Zo eten schimmels en bacteriën de plantenresten, meststoffen en elkaar op, waardoor afbraak van organische stof plaatsvindt (Figuur 1). En alle afbraakprocessen in de bodem zorgen er vervolgens voor dat de nutriëntenkringloop goed functioneert en voedingsstoffen weer voor planten vrijkomen (Van den Elsen et al., 2019; FAO, 2020).



*Figuur 1. Versimpelde weergave van het bodemvoedselweb. De pijlen wijzen van de soort die gegeten wordt naar de consument (Bron: Global Soil Biodiversity Atlas, 2016).*

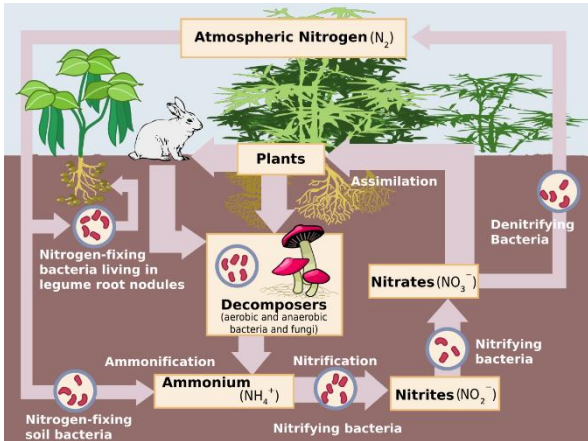
Diversiteit in het bodemleven zorgt voor balans in soorten en dus balans in de interacties, processen en functies die plaatsvinden. Deze functies worden ook wel ecosystemendiensten genoemd en zijn essentieel in onze maatschappij (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). In het bijzonder kunnen de bodem-ecosysteemdiensten die hieronder beschreven staan de bollenteelt ondersteunen. Wanneer de diversiteit van het bodemleven afneemt, zal dat ook invloed hebben op de ecosystemendiensten die geleverd kunnen worden.



*Figuur 2. Schematische weergave van het bodemecosysteem. De verbindingen tussen de bollen geven de interacties tussen soorten weer. Bij hogere biodiversiteit zijn er meer soorten en meer interacties, waardoor het ecosysteem robuuster en weerbaarder is (Bron: Global Soil Biodiversity Atlas, 2016).*

### Bodem-ecosysteemdiensten

- **Decompositie:** decompositie is de afbraak van organische stof door bacteriën, schimmels en ongewervelde dieren (zoals wormen, mijten, springstaarten, aaltjes).
- **Nutriëntenkringloop:** de nutriëntenkringloop is het recycle-systeem van de natuur waarbij organische en anorganische vormen van bijvoorbeeld stikstof, fosfaat en zwavel continu door een cyclus van afbraak van organisch materiaal en opbouw van biomassa gaan. Verschillende soorten bacteriën voeren verschillende processen binnen deze cyclus uit (zie Figuur 3).
- **Bodemstructuur (behouden):** structuur in de bodem wordt gecreëerd en behouden door bodemdieren die bodemdeeltjes opnemen of gangen graven, door plantenwortels en door schimmels die een soort kit-stof uitscheiden. Hierdoor ontstaan gangen voor zuurstof en bodemaggregaten (samenhangende bodemdeeltjes die met organisch materiaal een stabiel geheel vormen).
- **Regulatie biologische populatie:** door bijvoorbeeld begrazing, predatie en concurrentie blijft de omvang van populaties van verschillende soorten beperkt. Hierdoor zal een soort niet snel overheersend zijn en worden ziektes en plagen voorkomen. Hoe groter de variatie in bodemleven, hoe kleiner de kans is dat een ziekteverwekker de kans krijgt om zodanig groot te worden dat hij voor problemen zorgt. Dat geldt bijvoorbeeld voor *Pythium*, dat zijn kans grijpt als er weinig concurrerend bodemleven meer is (Dwarswaard, 2015).

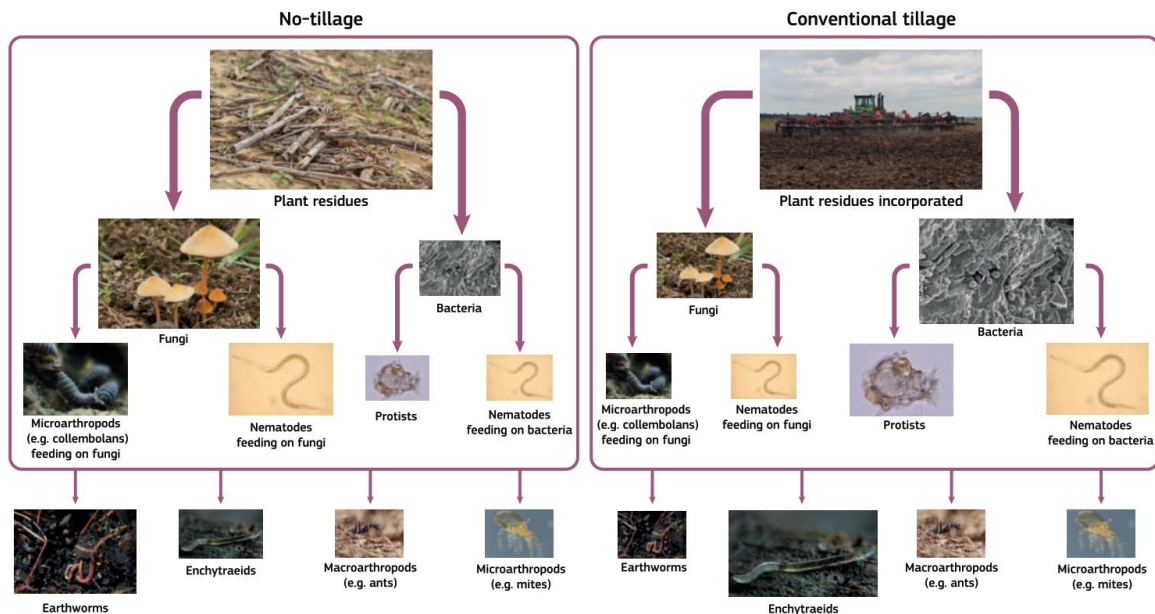


Figuur 3. Schematisch overzicht van de stikstofkringloop.

Meer over bodemkwaliteit in relatie tot ziektes en plagen in Van Vilsteren, S. & Trip, M. (2023). Bodemkwaliteit in de Bollenstreek: invloed op ziektedruk & rendement. Wageningen Plant Research, Rapport WPR-1215. <https://doi.org/10.18174/629916>

Meer over het bodemleven en de functies ervan: FAO, ITPS, GSBI, SCBD, en EC. (2020). *State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities*, Report 2020. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>

Meer over het bodemvoedselweb in relatie tot het verkrijgen van inzicht in bodemkwaliteit: Potapov et al. (2022). Feeding habits and multifunctional classification of soil-associated consumers from protists to vertebrates. *Biological Reviews*, 97, 1057-1117. <https://doi.org/10.1111/brv.12832>



Figuur 4. Verstoring beïnvloedt de soortensamenstelling van het bodemleven. Bovenstaand schema geeft weer hoe de soortensamenstelling kan verschillen tussen een bodem waar niet-kerende grondbewerking (NKG) wordt toegepast (links) en een bodem waar gangbare grondbewerking plaatsvindt (rechts). Bij NKG zijn de hoeveelheden schimmels en regenwormen opvallend hoger dan bij gangbare grondbewerking.

# 3. Bodemkwaliteit meten

Bodemanalyses kunnen worden gedaan om inzicht te krijgen in de benodigde maatregelen voor optimale gewasgroei. Tegenwoordig wordt hierbij door sommige instellingen ook aandacht besteed aan het bodemleven. Echter ligt de focus nog voornamelijk op pathogenen en zeer algemene kengetallen, en is er weinig aandacht voor nuttige organismen en het daadwerkelijk functioneren van het bodemecosysteem.

Het meeste bodemleven is erg gevoelig voor veranderingen in de omgeving, en is daardoor zeer geschikt als indicator voor bodemkwaliteit – als het bodemleven floreert, zijn de chemische en fysische omstandigheden gunstig. Het meten van bodemleven kan de bollenteler nieuwe inzichten geven en kan een goed vertrekpunt zijn richting bollenteelt die meer samenwerkt met het bodemleven.

In de volgende paragrafen worden verschillende manieren beschreven om inzicht te krijgen in het bodemleven. Uiteenlopend van relatief laagdrempelige methoden die zeer algemeen inzicht bieden tot laboratoriumanalyses die hele specifieke conclusies kunnen opleveren, en van bekende, veelvuldig toegepaste analyses tot recente innovaties die nog volop in ontwikkeling zijn.

## 3.1 De Open Bodemindex

De Open bodemindex is een tool voor het meten van agrarische bodemkwaliteit door ruimte en tijd en houdt rekening met de meetbare bodemkenmerken, algemene locatienmerken en uitgevoerde beheerkenmerken. De tool heeft als uitgangspunt dat de bodem zo beheerd wordt dat er sprake is van een duurzame landbouwproductie. Dit past nog niet helemaal in de bovengenoemde definitie van bodemkwaliteit, maar is zeker een stap in de goede richting. Met de tool is het mogelijk de bodemkwaliteit te meten, te kijken hoe deze verbeterd kan worden en deze door de tijd te volgen. De tool houdt rekening met bodemsoort en gebruiksdoel. Op basis van de metingen kan automatisch advies gegeven worden.

Meer informatie op de website

<https://www.openbodemindex.nl>

De tool is te bereiken via <https://tools.wenr.wur.nl/obi/>

## 3.2 Profielkuil

Het graven van een profielkuil biedt de mogelijkheid voor een visuele, kwalitatieve beoordeling van de bodem. De profielkuil kan inzicht bieden in bijvoorbeeld bodemstructuur, beworteling van gewas en de samenhang hiertussen. Ook kan het beoordelen van de profielkuil leiden tot beter begrip van de soms abstracte waarden die uit bodemmetingen komen.

Voor het graven van een profielkuil zijn geen strikte voorschriften, maar er zijn wel handleidingen die hulp kunnen bieden (bijvoorbeeld [het rapport van Koopmans, Zanen & Ter Berg \(2005\)](#)<sup>3</sup> of [de video van de Bollenacademie](#)). Daarbij kan het ook nuttig zijn om een invulformulier te gebruiken waarmee gestructureerd naar de kuil kan worden gekeken en om achteraf observaties te kunnen evalueren. Tijdens het beoordelen van de profielkuil is het goed om na te denken over de mogelijke invloed van bouwplan, bemesting, grondbewerking en groenbemester op de bodem.

<sup>3</sup> Hierin wordt de methode voor het graven van de kuil beschreven op pagina 6. Een invulformulier is beschikbaar op pagina 15.

### 3.3 Regenwormen

Regenwormen zijn de reuzen van het bodemleven, de zogenaemde macrofauna. Er zijn 25 verschillende soorten regenwormen in Nederland en die kunnen worden onderverdeeld in drie functionele groepen: pendelaars, strooiselbewoners en bodembewoners.

- Pendelaars graven diepe verticale gangen (tot 3 m) en brengen plantenresten van het oppervlak diep de bodem in. Ze vergroten het gehalte organisch stof, verbeteren bodemvruchtbaarheid, versterken vochtregulerend vermogen van de bodem en verbeteren diepere beworteling.
- Strooiselbewoners leven vlak onder de oppervlakte (0-20 cm) en composteren daar plantaardig materiaal. Hierdoor komt veel stikstof, fosfaat en kalium vrij.
- Bodembewoners leven iets dieper in de bodem dan strooiselbewoners (0-40 cm) en komen eigenlijk nooit aan het oppervlak. Ze verbeteren de bodemstructuur, bevorderen de beluchting en stimuleren de microbiële activiteit in de bodem.

De aanwezigheid van regenwormen is sterk afhankelijk van de zuurgraad, vochtigheid, temperatuur en textuur van de bodem. Ook de hoeveelheid voedsel (plantenresten) en de mate van grondbewerking hebben invloed op de hoeveelheid regenwormen in een bodem. Grondbewerking en mestinjectie hebben negatieve invloed op de wormen.

Op basis van bovengenoemde functies die de wormen in de bodem vervullen, kan worden verwacht dat regenwormen gunstig zullen zijn voor de bollenteelt. Zo kunnen regenwormen mogelijk structuurschade en bodemverdichting verhelpen. Door een verbeterde bodemstructuur kunnen bollen beter wortelen. Ook zorgen wormen voor een verhoging van organische stof, vooral in de strooisellaag, en daarmee hebben ze een positieve impact op de waterbufferende werking, bodemvruchtbaarheid, en de rest van het bodemleven.

In de profielkuil kunnen de strooiselbewoners en bodembewoners vaak al zichtbaar zijn. Ook de gangen van pendelaars zou je kunnen zien. Voor een exacte bepaling van het aantal regenwormen kun je een plag uitsteken en daar de wormen uitzoeken. Meestal wordt er gewerkt met een plag van 20x20x20 cm. Ook daarin kom je vooral de strooiselbewoners tegen. Verder is de activiteit van regenwormen zichtbaar in de vorm van wormgangen. In [dit document](#) wordt een methode voor het tellen van regenwormen beschreven.

In wetenschappelijk onderzoek wordt ook wel gewerkt met mosterddextract of elektrische schokken om ook wormen uit diepere lagen naar het oppervlak te halen.

In The Global Soil Biodiversity Atlas (Orgiazzi et al., 2016; pagina 161) wordt een vergelijkbare methode (voor niet-wetenschappers) beschreven waarbij een zelfgemaakt mengsel van mosterd in water kan worden gebruikt.

Helaas worden er meestal weinig regenwormen aangetroffen in bollengrond in de Bollenstreek - verwacht 1-2 wormen per plag. Dit kan komen door het bodemtype, want op zandgronden worden over het algemeen minder wormen gevonden dan op bijvoorbeeld kleigronden. Toch werden in metingen in grasland op zand gemiddeld 10 wormen per kluit gevonden (Van Eekeren et al., 2014), dus alleen bodemtype lijkt niet bepalend. Mogelijk kan gericht bodembeheer (met name minder intensieve grondbewerking) verandering teweegbrengen.

In het [rapport van Van Eekeren et al. \(2014\)](#) is meer informatie over regenwormen te lezen.

### 3.4 Aaltjes

Aaltjes zijn rondwormen, ook wel nematoden genoemd. Het zijn heel kleine wormpjes van 0,1-5 millimeter. Veel aaltjes zijn gevoelig voor de omstandigheden in de bodem, maar ze zijn in vrijwel elke bodem in hoge dichtheden aanwezig. Aaltjesgemeenschappen zijn soortenrijk met vertegenwoordigers in alle niveaus van het bodemvoedselweb. Dat alles maakt aaltjes goede indicatoren voor bodemkwaliteit.

Plantparasitaire aaltjes hebben een stilet (mondstekel) waarmee ze plantencellen aanprikken en leegzuigen. Ze kunnen veel schade aan landbouwgewassen aanrichten. In de bollenteelt zijn deze aaltjes vooral berucht vanwege de virusoverdracht. Maar er zijn veel verschillende soorten aaltjes, die zich niet allemaal met planten voeden en dus niet allemaal gevaarlijk zijn voor landbouw. Aaltjes zijn een zeer belangrijk onderdeel van het bodemecosysteem en spelen een belangrijke rol in het reguleren van chemische cycli (Puissant et al., 2021).

In onderzoek van Quist et al. (2016) werd geen verschil gevonden in de hoeveelheid aaltjes tussen gangbare en biologische akkerbouw, maar wel in de samenstelling van soorten. Het aantal aaltjes in een bodem zegt dus weinig over de staat van bodem. Wat voor een bollenteler interessanter kan zijn, is of het bodemvoedselweb op een gunstige manier functioneert. Bijvoorbeeld: worden de plantparasitaire aaltjes voldoende bestreden door de omnivore aaltjes. Het functioneren van de aaltjesgemeenschap kan worden ingeschat op basis van verschillende kenmerken, bijvoorbeeld:



- Trofische groepen: aaltjes categoriseren op basis van wat ze eten. Fungivore aaltjes eten schimmels en bacterivore aaltjes eten bacteriën. Aaltjes die alles (ook andere aaltjes) eten zijn omnivore predatoren en plantenetende aaltjes zijn herbivoor of plantparasitair. Helaas is van veel soorten aaltjes nog niet volledig bekend waar ze zich mee voeden.
- Maturity index: aaltjes categoriseren op basis van hun levensstrategie en ecologische vereisten – de index is de verhouding tussen zogenaamde ‘colonizers’ en ‘persisters’. Colonizers zijn relatief klein, hebben een korte levensduur, hoge tolerantie voor verstoring en koloniseren een plek snel wanneer de condities gunstig zijn. Persisters zijn wat groter, hebben een langere levenscyclus en zijn gevoelig voor verstoringen (Bongers, 1990).

Omnivore predatoren zijn vaak persisters. De aanwezigheid van deze soorten aaltjes kan gunstig zijn voor de bollenteelt en duidt waarschijnlijk op een betere bodemkwaliteit.

Om inzicht te krijgen in de aaltjesgemeenschap kan een grondmonster genomen worden. Met een microscoop kunnen de aaltjes daarin op uiterlijke kenmerken (met name de monddelen) onderzocht worden voor identificatie. Bij BKD wordt deze methode ook wel gebruikt om stengelaaftjes uit bloembollen te identificeren. Er is echter veel expertise en inspanning vereist om dat goed te kunnen doen. Een andere manier is identificatie op basis van DNA. Eurofins biedt al op DNA gebaseerd aaltjes onderzoek aan. Er zijn nog wel wat punten van discussie omtrent deze methode, meer daarover wordt beschreven in hoofdstuk 3.7 van dit verslag.

### Box 2. Mijten en springstaarten

Mijten en springstaarten behoren tot de micro-arthropoden en zijn familie van insecten en spinnen. Mijten hebben 8 poten en springstaarten hebben er 6. Ze zijn 0.2 tot 2 mm groot en leven vaak in de bovengrond. Mijten en springstaarten zijn erg gevoelig voor verstoring en vervuiling, waardoor ze vaak gebruikt worden als indicator in ecotoxicologische analyses.

Verschiedende soorten mijten spelen een belangrijke rol in de regulatie van populaties (van bijvoorbeeld plantparasitaire aaltjes). Springstaarten spelen een belangrijke rol in decompositie processen en de vorming van bodemstructuur.

Net als bij aaltjes, zijn er binnen de mijten en springstaarten veel verschillende soorten te onderscheiden met verschillende levenswijzen en diëten. De samenstelling van de gemeenschap zou dus veel kunnen vertellen over het functioneren van het bodemecosysteem. Helaas is er van heel veel soorten nog niet bekend wat ze eten (Potapov et al., 2022), waardoor het lastig is om uitspraken te doen op basis van de mijten- en springstaartengemeenschap.

## 3.5 Schimmels & bacteriën

Schimmels en bacteriën zijn micro-organismen en maken dus deel uit van het microbiële bodemleven. Bacteriën zijn eencellig en kun je niet met het blote oog zien. Schimmels zijn meestal meercellig, waardoor er wel grotere structuren, zoals paddestoelen of schimmeldraden (hyphen) zichtbaar kunnen zijn. Sommige schimmels en bacteriën zijn pathogeen (ziekteverwekkend), maar de meeste zijn nuttig voor de teelt. Schimmels en bacteriën zijn de belangrijkste afbrekers van organische stof en vormen de basis van het bodemvoedselweb. Ze zijn essentieel in de cyclus van chemische elementen zoals koolstof, zwavel en stikstof. Binnen deze processen vervullen verschillende soorten verschillende rollen. Een paar voorbeelden zijn:

- **Decompositie:** afbraak van organische stof. Schimmels breken vooral lastig afbreekbaar koolstof af, bacteriën zijn meer betrokken bij snel afbreekbare stoffen.
- **Symbiose:** symbiose is een samenwerkingsverband waar beide partijen profijt van hebben. Sommige bacteriën (o.a. Rhizobium) vormen een symbiose met vlinderbloemige planten. De bacteriën leggen stikstof uit de lucht vast in de vorm van ammoniak. Andere soorten (vrijlevende) bacteriën vormen ammoniak om tot nitraat, wat door de plant kan worden opgenomen. De bacteriën krijgen er glucose van de plant voor terug. Mycorrhiza zijn speciale schimmelsoorten die in symbiose leven met plantenwortels. De plant krijgt door de schimmeldraden meer toegang tot voedingsstoffen en water uit de bodem. Ook mycorrhiza krijgen daarvoor suikers terug van de plant.
- **Parasitisme:** er zijn veel ziekten bekend in de bollenteelt die worden veroorzaakt door plant-parasitaire schimmels, zoals Fusarium, Botrytis en Rhizoctonia. Er zijn ook schimmels die juist problemen met plant-parasitaire aaltjes tegengaan. Vooral binnen het geslacht Trichoderma zijn er soorten die bijdragen aan de biologische bestrijding van aaltjes (Poveda, Abril-Urias & Escobar, 2020).

Om inzicht te krijgen in het microbiële bodemleven kunnen verschillende metingen worden gedaan. Traditionele methoden berusten op het cultiveren van schimmels en bacteriën in het lab, maar dat was niet voor alle soorten mogelijk. Tegenwoordig worden veelal moleculaire technieken gebruikt, waardoor een grotere diversiteit aan soorten schimmels en bacteriën geïdentificeerd kan worden. In de paragrafen hieronder worden methoden beschreven die vooral gebruikt kunnen worden om inzicht te krijgen in de processen die worden uitgevoerd door schimmels en bacteriën. In hoofdstuk 3.6 komen DNA technieken voorbij die gebruikt kunnen worden voor soort-identificatie.

### Schimmel/bacterie ratio

De schimmel/bacterie ratio is de verhouding tussen de totale biomassa aan schimmels en de totale biomassa aan bacteriën. De ratio geeft dus aan in hoeverre de het micro-bodemleven wordt gedomineerd door schimmels of bacteriën. Omdat schimmels en bacteriën gevoelig zijn voor andere omstandigheden in de bodem, geeft de ratio inzicht in deze omstandigheden. Zo zijn vooral schimmels gevoelig voor grondbewerking, en worden landbouwgronden daarom vaak gedomineerd door bacteriën.

Daarnaast voeren schimmels en bacteriën verschillende processen uit, dus geeft de ratio ook inzicht in deze processen. Zo zegt de schimmel/bacterie ratio iets over het mineralisatieproces in de bodem: Als er relatief veel schimmels zijn, bestaat de organische stof overwegend uit moeilijk afbreekbare koolstofbronnen en is er opbouw van organisch stof. Meer bacteriën in de bodem duiden op meer labiele koolstofbronnen en dus snellere afbraak van organische stof. Er wordt in dat laatste geval meer stikstof en zwavel gemineraliseerd (anorganische verbindingen, zoals nitraat, worden dan vrijgemaakt uit organische verbindingen). Dat is op de korte termijn gunstig voor het gewas, maar op de lange termijn vermindert de bodemvruchtbaarheid als er te weinig aanvoer is.

Om de schimmel/bacterie ratio te kunnen bepalen, moeten de biomassa van schimmels en de biomassa van bacteriën worden gemeten. Dat kan door met behulp van een microscoop de schimmels en bacteriën in een grondmonster te tellen en hun volumes te schatten. Een andere, minder tijdrovende methode is PLFA analyse. PLFA staat voor phospholipid fatty acids, in het Nederlands fosfolipidenvetzuren. Deze vetzuren komen voor in de celmembranen van levende organismen, zoals schimmels en bacteriën. De samenstelling van de vetzuren verschilt tussen

schimmels en bacteriën. Daardoor kan het meten en kwantificeren van PLFA's inzicht geven in de hoeveelheid schimmels en bacteriën in de bodem. De PLFA methode wordt gebruikt door Eurofins en is onderdeel van bijvoorbeeld de BemestingsWijzer en BodemlevenMonitor<sup>4</sup>.

De schimmel/bacterie ratio kan worden beïnvloed met verschillende maatregelen. Intensieve grondbewerking en het verwijderen van gewasresten verminderen de schimmel biomassa, en laten dus de schimmel/bacterie ratio dalen. Bacteriën profiteren van gemakkelijk afbreekbare meststoffen met een lage C/N-ratio (bijv. drijfmest). Het gebruik daarvan heeft dus ook negatieve impact op de schimmel/bacterie ratio. Schimmels worden gestimuleerd door producten met een hoge C/N-ratio (bijv. stro, compost). Het gebruik van deze producten heeft dus positieve impact op de schimmel/bacterie ratio en de opbouw van organische stof in de bodem (Malik et al., 2016; Orgiazzi et al., 2016).

### Microbiële activiteit

Microbiële activiteit in de bodem wordt vaak bepaald op basis van de afbraak van organisch stof, ofwel decompositie. Bij decompositie komen voedingsstoffen vrij. Hoe actiever het bodemleven is, hoe meer organische stof er dus wordt afgebroken en hoe meer voedingsstoffen beschikbaar zijn voor de teelt. Om de kwaliteit en balans van het bodemecosysteem te kunnen beoordelen is het goed om naast microbiële activiteit ook te kijken naar bijvoorbeeld de soortensamenstelling van de bodem.

Microbiële activiteit kan op veel verschillende manieren worden gemeten. Een toegankelijke methode die een teler zelf kan toepassen is gepromoot als de Soil Your Undies challenge (zie volgende paragraaf). Daarnaast zijn er verschillende analyses die in het lab kunnen worden uitgevoerd:

- Op basis van respiratie: Naast voedingsstoffen, komt er bij decompositie ook CO<sub>2</sub> vrij. De activiteit van het bodemleven wordt daarom vaak bepaald door CO<sub>2</sub> te meten. Hoe meer CO<sub>2</sub> er wordt gemeten, hoe actiever het bodemleven is. Tegelijkertijd neemt het bodemleven zuurstof (O<sub>2</sub>) op, waardoor een verandering in de zuurstofconcentratie gemeten kan worden. Deze methode wordt beschreven door [Veeken et al. \(2003\)](#).
- Op basis van voedselaanbod: methodes die meten hoeveel voeding er voor het bodemleven beschikbaar is, om op basis daarvan de mogelijke

bodems met elkaar te vergelijken, te monitoren door de tijd heen en om het effect van verschillende behandelingen op het bodemleven te meten. Het interpreteren van de resultaten blijft, net als bij veel methoden, nog wel lastig.

<sup>4</sup> In de [BodemlevenMonitor](#) worden naast de schimmel/bacterie ratio ook nog verschillende soortgroepen van schimmels en bacteriën onderscheiden. De analyseresultaten maken het mogelijk om verschillende

afbraaksnelheid van organische stof te berekenen. [Eurofins](#) gebruikt hiervoor een PMN (Potentially Mineralizable Nitrogen) analyse. [Normec Groen Agro Control](#) gebruikt de HWC (How Water Carbon) methode.

### Soil Your Undies

In 2019 haalde de [KAVB de Soil Your Undies challenge](#) naar Nederland. De challenge bestaat uit een toegankelijk experiment waarbij een 100% katoenen onderbroek wordt begraven en na twee maanden weer wordt opgegraven om te zien in hoeverre deze nog intact is. Het katoen van de onderbroek is organisch materiaal dat kan worden afgebroken door de micro-organismen in de bodem. De mate van afbraak geeft daarmee inzicht in de microbiële activiteit: hoe minder er van de onderbroek over is, hoe actiever het bodemleven.

De methode is niet wetenschappelijk getest en helaas niet kwantificeerbaar<sup>5</sup>, het resultaat kan alleen visueel beoordeeld worden. Toch kan de methode een goede

manier zijn om zelf aan de slag te gaan met inzicht krijgen in bodemkwaliteit.

Het kan nuttig zijn om onderbroeken te begraven op plekken met verschil in kwaliteit, beheer of gewas. Door onderbroeken te vergelijken krijg je inzicht in het verschil in invloed van deze aspecten op de activiteit van het bodemleven. Hierbij is het essentieel om dezelfde onderbroeken (merk, formaat, materiaal) te gebruiken en deze op dezelfde dag te begraven en op te graven.

Er is een korte [instructievideo](#) die laat zien hoe de onderbroek precies begraven moet worden. In [deze video](#) wordt ook meer uitgelegd over de werking van de biologische activiteit in het experiment.

Een vergelijkbare, maar wel kwantificeerbare methode wordt beschreven in [Nchimuthu et al. \(2007\)](#). Hierbij worden speciale katoenen strips gebruikt in plaats van onderbroeken, en met gebruik van Photoshop kwantitatief beoordeeld.

### Box 3. Tea Bag Index

Een ander experiment dat zelfstandig kan worden uitgevoerd berust op het begraven van theezakjes. In tegenstelling tot het Soil Your Undies experiment, kunnen er bij deze methode wel exacte metingen gedaan worden.

Twee verschillende theezakjes worden begraven (groene thee & rooibos) en na drie maanden weer opgraven. De inhoud van de zakjes is organisch materiaal dat kan worden afgebroken door het microbiële bodemleven, de zakjes zelf zijn niet afbreekbaar. Er kan een gewichtsverschil bepaald worden door de zakjes te wegen voor en na begraven, en daarmee kan de afbraaksnelheid van organische stof kwantitatief worden bepaald. De rooibos thee en groene thee verschillen in hun chemische samenstelling, waardoor dit experiment inzicht geeft in de afbraak van labiele en lastig afbreekbare koolstof.

Het experiment is ontworpen als onderdeel van een wereldwijd onderzoek (Keuskamp et al., 2013) naar klimaatverandering. Door de [resultaten door te geven](#) kun je bijdragen aan dit onderzoek. De exacte methode wordt beschreven in [dit protocol](#).

## 3.6 DNA in de bodem: eDNA

Uit monsters van de bodem kunnen DNA-fragmenten van bodemleven gedetecteerd en geanalyseerd worden. Deze DNA-fragmenten worden ook wel environmental DNA (eDNA) genoemd. Bodemmonsters voor eDNA analyse zijn snel en gemakkelijk te nemen en de kleinste sporen DNA kunnen worden gedetecteerd. Dit biedt aanzienlijke voordelen ten opzichte van traditionele methoden (Bohmann et al., 2014).

Uit een bodemmonster wordt eDNA geïsoleerd in het laboratorium en met een speciale techniek, PCR genaamd, vele keren gekopieerd, zodat het beter te analyseren is. Hiervoor worden “primers” gebruikt, die matchen met een kort fragment van het DNA. Alleen het DNA dat matcht met de primer zal worden gekopieerd. Bij het uitlezen (sequensen) van de gekopieerde fragmenten, worden miljoenen stukjes van het eDNA vertaald naar een digitale code. Het uitgelezen eDNA resulteert dan in een enorme dataset waarop vervolgens verschillende kwaliteitschecks en analyses uitgevoerd worden. De verkregen dataset kan worden vergeleken met referentiedatasets om te bepalen van welke soorten DNA is gedetecteerd.

<sup>5</sup> Door de onderbroek voor en na begraven op de weegschaal te leggen zouden kwantitatieve resultaten verkregen kunnen worden, maar schoonmaken (om klei- en zandresten te

verwijderen) kan leiden tot meer schade aan de onderbroek, waardoor de meting weer onbetrouwbaar wordt.

Er kunnen twee manieren van eDNA analyse worden onderscheiden: barcoding en metabarcoding. De eerste is gericht op het detecteren van specifieke soorten, de tweede is bedoeld om de volledige diversiteit aan organismen in een monster in kaart te brengen. Voor beide geldt dat de analyses vooralsnog alleen uitgevoerd kunnen worden in een gespecialiseerd laboratorium en het nog moeilijk is om de resultaten te vertalen naar inzichten over bodemkwaliteit.

#### Box 4. Eurofins & DNA

Eurofins biedt verschillende technieken aan om op basis van DNA het bodemleven in kaart te brengen. Deze voldoen niet volledig aan de definities van eDNA en (meta)barcoding, maar kunnen wel vergelijkbare doelen ondersteunen. Een van deze diensten van Eurofins is de DNA Multiscan, waarmee pathogene schimmels gedetecteerd kunnen worden in bijvoorbeeld de bodem, ook wanneer deze in hele lage concentraties aanwezig zijn. Per schimmel wordt aangegeven hoeveel DNA er gedetecteerd is op een schaal van 1 (zeer licht) tot 6 (zeer sterk). Voor de bloembollenteelt is er een speciaal pakket ontwikkeld, genaamd DNA previscan bloembollen. Binnen dit pakket kan worden gekeken naar *Botrytis cinerea*, *Botrytis tulipae*, *Cylindrocarpon destructans*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Penicillium* spp., *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* en *Trichoderma* spp.

Met behulp van High-throughput Sequencing kan het gehele bodemleven geanalyseerd worden. Deze methode lijkt meer op metabarcoding. Het resultaat geeft ook een indicatie van hoeveel DNA in het monster van een bepaalde soort is, dus geeft al iets meer inzicht in de samenstelling van de bodemgemeenschap.

Voor beide methoden geldt dat de bottleneck in de interpretatie zit. Eurofins laat weten: We weten grotendeels wat 'goede' en wat 'slechte' soorten voor de teelt zijn, maar wat er dan precies in de bodem gebeurt, kunnen we nog niet goed inschatten. Dat betekent dat het eigenlijk nog onbekend is of de aanwezigheid van een pathogeen daadwerkelijk impact zal hebben op de teelt.

#### DNA barcoding

Een primer kan zo ontwikkeld worden dat deze alleen het DNA van een specifieke soort of soortgroep detecteert. Hiermee kan dus de aan- of afwezigheid van een belangrijke soort worden aangetoond. Deze methode wordt DNA barcoding genoemd. Barcoding zou een interessante methode kunnen zijn om de aanwezigheid van een ziekteverwekkend organisme, zoals stengelaaltjes of *Pythium*, aan te tonen. DNA barcoding kan echter niet gebruikt worden om aan te tonen hoeveel individuen er van een soort aanwezig zijn (Kestel et al., 2022). Met meer geavanceerde technieken, zoals qPCR of ddPCR is het wel mogelijk om een schatting te maken van hoe abundant een soort aanwezig is.

Onderzoek heeft laten zien dat veel ziekteverwekkers in nagenoeg alle bodems voorkomen, ook in gezonde bodems, waar planten niet ziek lijken te worden (Gómez Expósito et al., 2017; Coque et al., 2020). Het lijkt erop dat het bodemleven in zulke bodems zo in balans is, waardoor ziekteverwekkers onderdrukt worden<sup>6</sup>. De eDNA analyse van deze gezonde bodem zou dan dus onnodig verontrustende resultaten opleveren.

DNA barcoding kan een vraag zoals 'zitten er stengelaaltjes in de bodem?' beantwoorden. DNA

metabarcoding kan (in theorie) inzicht bieden in vraagstukken met betrekking tot het functioneren van het bodemvoedselweb – kunnen de plantparasitaire aaltjes worden bestreden door omnivore aaltjes?

#### DNA metabarcoding

Bodemmonsters kunnen middels eDNA geanalyseerd worden op soortensamenstelling. De methode die hiervoor gebruikt wordt heet DNA metabarcoding. Bij metabarcoding kunnen verschillende soorten tegelijkertijd uit een monster geïdentificeerd worden doordat er een universele primer gebruikt wordt. Deze primer matcht met een stukje DNA dat bij veel soorten hetzelfde is, waardoor het DNA van al deze soorten gekopieerd en gesequenced kan worden.

Succesvolle DNA metabarcoding geeft als resultaat een overzicht van alle soorten in de bodem, maar helaas is identificatie op soortniveau meestal niet mogelijk. Dan lukt het bijvoorbeeld niet om *Rhizoctonia solani* (soort) te identificeren, maar zegt het resultaat: *Rhizoctonia* sp. (genus, minder specifiek) of slechts Ceratobasidiaceae (familie, nog minder specifiek). En omdat niet alle soorten binnen het genus *Rhizoctonia* schadelijk zijn voor ieder gewas, is het lastig om conclusies te trekken. Logischerwijs is het nog lastiger

<sup>6</sup> Uit de kasteelt weten we dat na ontsmetting van de bodem de kans op een zwakteparasiet zoals *Pythium* juist toeneemt (Dwarswaard, 2015). Dat zou kunnen komen doordat de

balans in de bodem verdwenen is, waardoor ziekteverwekkers niet kunnen worden onderdrukt.



om uitspraken te doen over het functioneren van het hele bodemecosysteem<sup>7</sup>.

Desalniettemin geeft het resultaat van DNA metabarcoding inzicht in de algemene biodiversiteit van de bodem en kan het leerzaam zijn om de resultaten van verschillende metingen met elkaar te vergelijken. Bovendien is het eDNA onderzoek nog volop in ontwikkeling en neemt de nauwkeurigheid toe. Een overzicht van de huidige wetenschappelijke kennis en verwachte ontwikkelingen met betrekking tot eDNA barcoding en metabarcoding in agrarische ecosystemen in Kestel et al. (2022).

Meer lezen? Rossmann, S., Lysøe, E., Skogen, M., Talgø, V. & Brurberg, M. B. (2021). DNA Metabarcoding Reveals Broad Presence of Plant Pathogenic Oomycetes in Soil From Internationally Traded Plants. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.637068>

## 4. Gebruik van de methodes

Er zijn veel methodes die inzicht kunnen geven in het bodemleven. Dit verslag bevat slechts een kleine selectie daarvan. Er lijkt nog geen ultieme methode te zijn die het daadwerkelijke functioneren van het gehele bodemecosysteem in kaart kan brengen. Daarvoor ontbreekt nog te veel kennis. Toch kan het toepassen van de beschreven methodes al leiden tot nieuwe inzichten. De belangrijkste aanbevelingen die volgen uit dit verslag zijn daarom:

1. Pas meerdere methodes toe om inzicht te krijgen in verschillende aspecten. Combineer veld- en labanalyses, kijk naar specifieke soort(groepen) én naar de hele gemeenschap.
2. Vergelijk metingen. Vooral bij gebrek aan referentiewaarden of moeilijk te interpreteren resultaten. Maak vergelijkingen over tijd, tussen percelen, bedrijven en teelten. Bedenk wat de oorzaak zou kunnen zijn voor de verschillen die te zien zijn.

<sup>7</sup> 'Omics' onderzoek zou uitkomst kunnen bieden. Hierover meer in hoofdstuk 5.

## 5. Ontwikkelingen

De bodem blijft een complex systeem waar nog veel onderzoek naar gedaan wordt. Een aantal ontwikkelingen kan interessant zijn om te volgen:

- DNA analyse in het veld: met PCR machines en sequencers van zakformaat (bijv. [Oxford MinION](#)) kan eDNA in het veld geanalyseerd worden, om bijvoorbeeld (meerdere) pathogenen in real time te monitoren (Kestel et al., 2022). Er zijn momenteel helaas nog wat beperkingen die moeten worden opgelost voordat implementatie mogelijk is.
- 'Omics' (analyses van biologische moleculen en interacties): omics-onderzoeken kunnen, naast de microbiële diversiteit, ook inzicht bieden in de reacties van micro-organismen op veranderingen in de omgeving. Omics-onderzoek lijkt geschikt te zijn voor onderzoek naar de ziekteverende-werking van de bodem. Meer hierover is te lezen [in de review van Priya, Aaneesh & Harikrishnan \(2021\)](#).
- Bodeminoculatie: bodem injecteren met grond dat gunstig bodemleven bevat. In de bollenteelt is [geëxperimenteerd met inoculatie van mycorrhiza](#). Dit leverde weinig noemenswaardige resultaten op. Dat is niet geheel verrassend, omdat de omstandigheden in de bodem waarschijnlijk niet optimaal zijn voor mycorrhiza. Mogelijk zou de kans op succes vergroot kunnen worden wanneer er een meer integrale aanpak kan worden toegepast, waarbij er rekening wordt gehouden met het hele bodemecosysteem ([Expósito et al., 2017](#)). Hier moet nog meer onderzoek naar worden gedaan.
- ObsIdentify: is een gratis fotoherkenningsapp die wilde planten, dieren en paddenstoelen uit Nederland en België op naam kan brengen. Door middel van een database met gevalideerde referentiebeelden herkent de app meer dan 13.000 soorten. Deze tool kan mogelijk ook gebruikt worden voor het herkennen van bijvoorbeeld plaaginsecten, natuurlijke vijanden, regenwormen en meer. Met elke nieuwe herkenning wordt deze database verder uitgebreid en verbeterd. Uitleg over het gebruik van de app [op de website van IVN](#).

### Meer weten?

- De Bodem: toegankelijke cursus van de Bollenacademie, waarin onderwerpen zoals ecosysteemdiensten, organische stof en bodembioïologie aan bod komen in de vorm van tekst, video en quizzes. Via: <https://cursussen.bollenacademie.nl/course/index.php?categoryid=8>
- Kiss the Ground: documentaire over bodemgezondheid, regeneratieve landbouw en klimaatverandering. Via: <https://www.netflix.com/nl/title/81321999>.
- Bodemindicatoren voor landbouwgronden in Nederland (BLN, versie 1.1): indicatorset voor het meten van bodemkwaliteit.
  - Infoblad: <https://edepot.wur.nl/550065>
  - Achtergrondrapport: Hanegraaf, M.C., Van den Elsen, H.G.M., De Haan, J.J. & Visser, S.M. (2019). Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland - indicatorset en systematiek, versie 1.0. Wageningen Research, Rapport WPR-795. <https://doi.org/10.18174/498307>
  - Website: <https://www.beterbodembeheermagazine.nl/wur-najaar-2020/bodemindicatoren-voor-landbouwgronden-in-nl>
- Meer van Samen naar een Circulaire Bollenstreek:
  - Van Vilsteren, S. & Trip, M. (2023). Bodemkwaliteit in de Bollenstreek: invloed op ziektedruk & rendement. Wageningen Plant Research, Rapport WPR-1215. <https://doi.org/10.18174/629916>
  - Cuppen, B., Verwaaij, S. & Van 't Westeinde, M. (2023). BO Strokenteelt in Bollenstreek. HAS Hogeschool.

# Literatuurlijst

- Bohmann, K., Evans, A., Gilbert, M.T.P., Carvalho, G.R., Creer, S., Knapp, M., Yu, D.W. & De Bruyn, M. (2014). Environmental DNA for wildlife biology and biodiversity monitoring. *Trends in Ecology and Evolution*, 29(6). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.04.003>
- Bongers, T. (1990). The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83.
- Coque, J.J.R., Álvarez-Pérez, J.M., Cobos, R., González-García, S., Ibáñez, A.M., Díez Galán, A. en Calvo-Peña, C. (2020). Advances in the control of phytopathogenic fungi that infect crops through their root system. *Advances in Applied Microbiology*, 111. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2020.01.003>
- De Wolf, P.L., Ros, G.H. en Berkhout, P. (n.d.). Is something up with soil? wur.nl <https://www.wur.nl/en/show-longread/is-something-up-with-soil.htm>
- Dwarswaard, A. (5 september 2014 - 20 februari 2015). Serie: Bodem. *Bloembollennisie*. <https://www.greenity.nl/media/download/bodem-serie-2.pdf>
- FAO, ITPS, GSBI, SCBD, en EC. (2020). *State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities*, Report 2020. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>
- Gómez Expósito, R., De Bruijn, I., Postma, J. en Raaijmakers, J.M. (2017). Current insights into the role of rhizosphere bacteria in disease suppressive soils. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02529>
- Kestel, J.H., Field, D.L., Bateman, P.W., White, N.E., Allentoft, M.E., Hopkins, A.J.M., Gibberd, M. en Nevill, P. (2022). Applications of environmental DNA (eDNA) in agricultural systems: Current uses, limitations and future prospects. *Science of the Total Environment*, 847. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157556>
- Keuskamp, J.A., Dingemans, B.J.J., Lehtinen, T., Sarneel, J.M. & Hefting, M.M. (2013). Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution*, 4. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12097>
- Koninklijke Algemeene Vereeniging voor Bloembollencultuur (KAVB), Wageningen University & Research (WUR), Greenport Duin- en Bollenstreek, & GreenPort Noord-Holland Noord. (2018). *Vitale Teelt 2030*. [https://vitaleteelt.nl/wp-content/uploads/2018/08/VT-2030\\_16.08.2018-brochure-definitief.pdf](https://vitaleteelt.nl/wp-content/uploads/2018/08/VT-2030_16.08.2018-brochure-definitief.pdf)
- Koopmans, C., Zanen, M., en Ter Berg, C. (2005). *De Kuil - Bodembeoordeling aan de hand van een kuil*. <https://www.louisbolk.nl/sites/default/files/publication/pdf/1725.pdf>
- Malik, A.A., Chowdhury, S., Schlager, V., Oliver, A., Puissant, J., Vazques, P.G.M., Jehmlich, N., Von Bergen, M., Griffiths, R.I. en Gleixner, G. (2016). Soil fungal:bacterial ratios are linked to altered carbon cycling. *Frontiers in microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01247>
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC. Copyright.
- Nchimuthu, G., King, K., Kristiansen, P., Lockwood, P. en Guppy, C. (2007). Comparison of methods for measuring soil microbial activity using cotton strips and a respirometer. *Journal of Microbial Methods*, 69, 322-329. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2007.02.002>

Orgiazzi, A., Bardget, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J-L., De Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N.C., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., Miko, L., Montanarella, L., Moreira, F.M.S., Ramirez, K.S., Scheu, S., Singh, B.K., Six, J., van der Putten, W.H., Wall, D.H. (Eds.). (2016). *Global Soil Biodiversity Atlas*. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://data.europa.eu/doi/10.2788/2613>

Potapov, A.M., Beaulieu, F., Birkhofer, K., Bluhm, S.L., Degtyarev, M.I., Devetter, M., Goncharov, A.A., Gongalsky, K.B., Klärner, B., Korobushkin, D.I., Liebke, D.F., Maraun, M., Mc Donnell, R.J., Pollierer, M.M., Schaefer, I., Shrubovych, J., Semenyuk, I.I., Sendra, A., Tuma, J., Tůmová, M., Vassilieva, A.B., Chen, T.-W., Geisen, S., Schmidt, O., Tiunov, A.V. en Scheu, S. (2022), Feeding habits and multifunctional classification of soil-associated consumers from protists to vertebrates. *Biological Reviews*, 97, 1057-1117. <https://doi.org/10.1111/brv.12832>

Poveda, J., Abril-Urias, P. en Escobar, C. (2020). Biological control of plant-parasitic nematodes by filamentous fungi inducers of resistance: Trichoderma, mycorrhizal and endophytic fungi. *Frontiers in Microbiology*, 11(992). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00992>

Priya, P., Aneesh, B. en Harikrishnan, K. (2021). Genomics as a potential tool to unravel the rhizosphere microbiome interactions on plant health. *Journal of Microbial Methods*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2021.106215>

Puissant, J., Villenave, C., Chauvin, C., Plassard, C., Blanchart, E. en Trap, J. (2021). Quantification of the global impact of agricultural practices on soil nematodes: a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108383>

Quist, C.W., Schrama, M., De Haan, J.J., Smant, G., Bakker, J., Van der Putten, W.H. en Helder, J. (2016). Organic farming practices result in compositional shifts in nematode communities that exceed crop-related changes. *Applied Soil Ecology*, 98, 254-260. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.022>

Termorshuizen, A.J., Molendijk, L.P.G. en Postma, J. (2019). *Beheersing van bodempathogenen via bodemgezondheidsgewassen; Een overzicht van de beschikbare kennis voor een selectie van akkerbouwgewassen met hun bijbehorende bodemziekten*. Wageningen Research, Rapport WPR-955. <https://edepot.wur.nl/513197>

Van den Elsen, H.G.M., Knotters, M., Heinen, M., Römken, P.F.A.M., Bloem, J. en Korthals, G.W. (2019). Noodzakelijke indicatoren voor de beoordeling van de gezondheid van Nederlandse landbouwbodems. *Wageningen Environmental Research*. <https://doi.org/10.18174/475874>

Van Vilsteren, S. & Trip, M. (2023). Bodemkwaliteit in de Bollenstreek: invloed op ziektedruk & rendement. Wageningen Plant Research, Rapport WPR-1215. <https://doi.org/10.18174/629916>

Veeken, A.H.M., De Wilde, V., Hamelers, H.V.M., Molenaar, S.W. en Postma, R. (2003). Oxitop measuring system for standardised determination of the respiration rate and N-mineralisation rate of organic matter in waste material, compost and soil. Wageningen University & NMI. <https://www.nmi-agro.nl/wp-content/uploads/2010/06/Oxitop.pdf>