



Op zoek naar het bodemleven in Voedselbos Eemvallei Zuid

Rapportage nulmeting bodemonderzoek Voedselbos Eemvallei Zuid
in het kader van het programma Nieuwe Natuur van de provincie Flevoland en
het topsectorenonderzoek *Wetenschappelijke Bodemvorming onder de Voedselbosbouw*

Onderzoek in opdracht van Stichting Voedselbosbouw Nederland

Auteurs: Gerard Korthals¹, Johnny Visser¹, Isabelle van der Zanden² & Ciska Veen²

¹ Wageningen Plant Research (WUR-WPR)

² Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW)

Wageningen, 29-06-2021



Colofon:

Titel: *Op zoek naar het bodemleven in Voedselbos Eemvallei Zuid; nulmeting bodem in het kader van het topsectorenonderzoek 'Wetenschappelijke Bodemvorming onder de Voedselbosbouw' en het programma Nieuwe Natuur van de provincie Flevoland.*

Datum: 31 december 2021

Opdrachtgever: Stichting Voedselbosbouw Nederland

Uitgave: Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW)

Auteurs: Gerard Korthals, Johnny Visser, Isabelle van der Zanden & Ciska Veen

Postadres: Postbus 50, 6700 AB Wageningen

Bezoekadres: Droevendaalsesteeg 10, 6708 PB Wageningen

Mail: Gerard.korthals@wur.nl

Internet: www.nioo.knaw.nl

Omslagfoto: Luchtfoto Eemvallei Zuid, Almere Oosterwold



INHOUD

1.	INLEIDING	3
1.1	Achtergrond	3
1.2	De stand van het bodemonderzoek	4
1.3	Bodemonderzoek in voedselbossen in Schijndel en Almere.....	5
1.4	Doelstelling bodemonderzoek	6
1.5	Onderzoeksmethode nulmeting	6
1.6	Onderzoeksteam	6
2.	ANALYSE NULMETING	7
2.1	Analyse onderzoeksresultaten	7
2.2	Voorlopige conclusies en vooruitblik.....	9
	GERAADPLEEGDE LITERATUUR	10

1. INLEIDING

1.1 Achtergrond

Voedselbossen bieden een veelbelovende systeemoplossing voor een aantal actuele maatschappelijke uitdagingen. Of het nu het streven naar biodiversiteitsherstel betreft, de gewenste omslag naar 'kringlooplandbouw' op gezonde bodems, verbetering van het verdienvermogen in de landbouw (LNV, 2018), het streven naar een 'klimaatbestendige en waterrobuuste' inrichting van gebieden (IenM & EZ, 2015), of de ambitie uit het klimaatverdrag van Parijs (2015) om 4 promille extra koolstof op te slaan in landbouwbodems ter verbetering van bodemgezondheid en het tegengaan van klimaatverandering; goed ontworpen voedselbossen bieden steeds het wenkende perspectief van forse bijdragen aan een effectieve aanpak van deze grote duurzaamheidsuitdagingen.

Definitie voedselbos*

Een voedselbos is een productief ecosysteem dat door mensen is ontworpen naar het voorbeeld van een natuurlijk bos met het doel om voedsel te produceren. Voedselbossen zijn een specifieke vorm van boslandbouw ('agroforestry') met als onderscheidende kenmerken: een vegetatielaag met hoge kruinbomen, minimaal drie andere vegetatielagen, een rijk bosbodemleven en een robuuste omvang. Een 'robuuste' omvang is nodig om te komen tot een vitaal, zelfvoorzienend bosecosysteem en staat gelijk aan minimaal 0,5 hectare in een ecologisch rijke omgeving en minimaal 20 hectare in een ernstig verarmde omgeving. Een Voedselbos herbergt een rijkgeschakeerde, snel toenemende biodiversiteit. In een voedselbos is geen plaats voor landbouwhuisdieren of éénjarige teelten.

*Bron: Green Deal Voedselbossen (2017)

Tot op heden is er echter weinig wetenschappelijk onderzoek uitgevoerd naar de impacts van voedselbossen in gematigde klimaatzones. Om de (potentiële) meerwaarde van deze innovatieve, agrarische productiesystemen te toetsen en te onderbouwen zijn 10 consortiumpartners (o.a. provincie Flevoland) in 2020 van start gegaan met het vierjarige topsectorenonderzoek [*Wetenschappelijke Bodemvorming onder de Voedselbosbouw*](#). Doel van het project is: wetenschappelijk verantwoorde inzichten genereren in de duurzaamheidsimpacts van voedselbossen in termen van verdienvermogen, klimaatmitigatie, (agro-)biodiversiteit¹, bodemkwaliteit en ecologische veerkracht (mede met het oog op de voortgaande klimaatverandering).

De twee grootschalige voedselbossen die Stichting Voedselbosbouw momenteel aanlegt in Almere (Eemvallei Zuid, 30 ha.) en Schijndel (20 ha.) fungeren als zogenoemde 'living labs' voor dit praktijkonderzoek naar de beloften van de professionele voedselbosbouw. Het feit dat deze beide voedselbossen gedurende het onderzoeksproject worden aangelegd, biedt een unieke kans om de ontwikkeling van deze voedselbossen wetenschappelijk te monitoren vanaf de aanleg. Het meetbaar maken van het biodiversiteitsherstel, de koolstofopslag (klimaatmitigatie) en de waterretentie is in toenemende mate een randvoorwaarde voor beloning van onder meer agrarische grondgebruikers die zich inzetten voor versterking van deze ecosystemendiensten. De studie sluit daarmee aan bij de ambities en aanpak van het Deltaplan Biodiversiteitsherstel, het Klimaatakkoord en de missies van de ministeries van LNV, EZ en I&W.

Het onderzoeksproject *Wetenschappelijke Bodemvorming onder de Voedselbosbouw* wordt uitgevoerd en medefinancierd in het kader van het topsectorenbeleid voor de sectoren Agri & Food en Tuinbouw & Uitgangsmaterialen. Het projectconsortium bestaat uit: Wageningen Environmental Research (WEnR), het Centrum voor bodemecologie (CSE), het Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), Stichting Voedselbosbouw Nederland, de provincie Flevoland, de Aeres hogeschool in Almere, de HAS Den Bosch, het Groen Ontwikkelfonds Brabant,

¹ Biodiversiteit is de graad voor de verscheidenheid aan dier- en plantensoorten die zich in een ecosysteem bevinden. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen taxonomische en functionele diversiteit. Bij taxonomische diversiteit wordt er gekeken naar de verschillende soorten, bij functionele diversiteit wordt er gekeken naar welke rol of functie deze soorten vervullen in een ecosysteem.

de regio Noordoost-Brabant en de waterschappen De Dommel en Aa en Maas. Het project is mede voortgekomen uit de onderzoeksagenda van de Green Deal Voedselbossen (2017).

1.2 De stand van het bodemonderzoek

‘Intensieve, conventionele landbouw heeft in veel gevallen geleid tot een verlies van bodemorganische stofgehalte. Een recente, wereldwijde analyse laat zien dat organische stofgehalte positief gerelateerd is aan opbrengst in landbouwsystemen (Oldfield *et al.*, 2019). Ook is bekend dat organische stof een belangrijke rol speelt voor bodemgezondheid: het helpt bij het onderdrukken van ziektes in de bodem en draagt bij aan voorziening van voedingsstoffen voor gewassen (Lal, 2016). Menselijke activiteiten hebben geleid tot een verhoogde concentratie van CO₂ in de atmosfeer, een van de belangrijkste broeikasgassen die bijdraagt aan de opwarming van de aarde. Er is ook daarom grote belangstelling om koolstof uit de atmosfeer vast te leggen in biomassa van planten (bijvoorbeeld door de aanplant van bossen, Bastin *et al.*, 2019) en op te slaan in de bodem als organische stof (Heimann & Reichstein, 2008; Jackson *et al.*, 2017).

In het topsectorenonderzoek *Wetenschappelijke Bodemvorming onder de Voedselbosbouw* kwantificeren we hoeveel koolstof wordt opgeslagen (bovengronds in plantenbiomassa en ondergronds als organische stof) in voedselbossystemen van verschillende leeftijden. Hoe en hoeveel koolstof wordt opgeslagen in voedselbossystemen is cruciaal om te bepalen hoe we landbouwbodems kunnen beheren om 4 promille extra koolstof op te slaan volgens de doelstelling van de COP21 (<https://www.4p1000.org/>). We zullen ook dieper ingaan op de rol van microbiële gemeenschappen in voedselbossystemen bij het opslaan van koolstof in de bodem.

De nieuwste wetenschappelijke studies laten zien dat de meeste koolstofopslag plaatsvindt via microbiële processen. Veel micro-organismen kunnen de koolstof uit plantenresten (strooisel) en wortellexudaten² gebruiken als energiebron. Nadat deze organische verbindingen zijn uitgescheiden door de wortels worden ze verteerd en uitgescheiden door micro-organismen; de resten van dode micro-organismen (“necromass”) kunnen vervolgens makkelijk binden aan bodemdeeltjes en daarna redelijk stabiel in de bodem verblijven (Kallenbach *et al.*, 2016, Sokol & Bradford, 2019). Hiermee draagt het onderzoek bij aan state-of-the-art, fundamenteel wetenschappelijk inzicht naar mechanismen van koolstofopslag in landbouwsystemen. In dit onderzoek gebruiken we de nieuwste methoden om koolstofopslag en bodemgemeenschappen te analyseren (amplicon sequencing, stabiele isotopen, DNA-sip etc.). De onderzoeksdata kunnen ook worden gebruikt in toekomstige modelstudies om voorspellingen te doen over de impact van voedselbossen als vorm van landgebruik.

Conventionele landbouw heeft geleid tot een sterke afname van de abundantie en biodiversiteit van bodemorganismen (Tsiafouli *et al.*, 2015) en insecten bovengronds (Hallmann *et al.*, 2017). Het zogenoemde IPBES-rapport³ toonde aan dat de globale biodiversiteit dermate is afgenomen dat onze natuurlijke vangnetten en evenwichten in groot gevaar zijn (Diaz *et al.*, 2019). Verandering in landgebruik – voornamelijk omschakeling van bossen en andere natuurgebieden tot landbouwgrond – wordt als grootste drijvende kracht genoemd voor deze historische biodiversiteitsverliezen. Biodiversiteit staat aan de basis van de meeste ecosystemendiensten, zoals bestuiving, natuurlijk plaagbeheer en koolstofopslag; het herstellen van de biodiversiteit is dan ook een belangrijk doel van het huidige natuur- en landbouwbeleid. Voedselbossen zijn waardevolle innovaties waarmee grote stappen kunnen worden gezet op weg naar realisatie van deze beleidsdoelstelling omdat ze de agrarische voedselproductie combineren met biodiversiteit; ze zijn een goed voorbeeld van het ondernemen met natuur!

² Wortellexudaten zijn uitscheidingsproducten van wortels; deze worden ook wel aangeduid met de bredere verzamelnaam ‘metaboliëten’: uitscheidingsproducten van wortels, bacteriën en schimmels.

³ Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services (2019).

1.3 Bodemonderzoek in voedselbossen in Schijndel en Almere

De professionele voedselbosbouw – dat wil zeggen: de bedrijfsmatige exploitatie van voedselbossen die zijn ontworpen naar het voorbeeld van natuurlijke bossen – staat wereldwijd in de kinderschoenen. Een langdurige monitoring en analyse van de duurzaamheidsimpacts van de grootschalige voedselbossen in Almere (Eemvallei Zuid) en Schijndel kan daarom een schat aan kennis en ervaring opleveren ter ondersteuning van nieuwe voedselbosprojecten in binnen- en buitenland en aanpassing van beleid, wet- en regelgeving. Daarnaast kan het onderzoek een waardevolle bijdrage leveren aan de ontwikkeling van Kritische Prestatie Indicatoren (KPIs) voor klimaat en biodiversiteit op gebieds- en grondgebruikersniveau, een noodzakelijke randvoorwaarde voor de verzilvering van ecosystemendiensten. Omdat er vrijwel nergens ter wereld uitgebreid systematisch wetenschappelijk onderzoek is of wordt verricht naar professionele voedselbosbouw kan dit onderzoek ten slotte veel bijdragen aan de mondiale ontwikkeling van kennis, producten en diensten op het gebied van (natuurinclusieve) kringloplandbouw.



Foto 1: Onderzoeker Isabelle van der Zanden (NIOO-KNAW) neemt bodemonster in Voedselbos Eemvallei Zuid.

Met de start van de aanplant van de twee grote voedselbossen in Schijndel (20 ha.) en Almere (30 ha.), in 2019 en 2020 respectievelijk, doet de unieke kans zich voor om de ontwikkeling van een rationeel ontworpen voedselbos vanaf het begin te volgen. Hiervoor is een nulmeting noodzakelijk. In december 2018 zijn er bodemonsters genomen op locatie Hardekamp (16 ha) van Voedselbos Schijndel. Hiermee zijn verschillende koolstofbepalingen gedaan. Daarnaast is een chemische analyse uitgevoerd en is er gekeken naar de nematodengemeenschappen.

Ook in Voedselbos Eemvallei Zuid, Almere hebben we in 2020 een nulmeting uitgevoerd. Eemvallei Zuid is een gezamenlijk initiatief van Stichting Voedselbosbouw Nederland, Staatsbosbeheer, Stichting Het Buytenwold en maatschap De Stadsboerderij Almere voor de realisatie van een nieuw, publiek toegankelijk natuurgebied (ca. 50 ha) in Almere Oosterwold in het kader van het programma Nieuwe Natuur van de provincie Flevoland. Begin 2020 zijn met behulp van plantmachines pioniersbomen (o.a. elzen, populieren, wilgen) aangeplant in grids van 10x10 of 8x8 meter, aangevuld met dubbele of driedikke randrijen om de vakken. Daarnaast zijn met behulp van vrijwilligers door het hele gebied pluklinten aangeplant langs de fiets- en wandelpaden. Er staan nog geen eetbare voedselbossoorten in de vakken, deze zullen later worden aangeplant. Deze rapportage richt zich uitsluitend op de eerste bemonstering en analyse – de zogenoemde T0-meting – van de bodem van Voedselbos Eemvallei Zuid.

1.4 Doelstelling bodemonderzoek

Het doel van de monitoring van de bodem in het kader van het topsectorenonderzoek *Wetenschappelijke Bodemvorming onder de Voedselbosbouw* is het meten van verschillende bodem-chemische en biologische waarden, zoals de zuurgraad (pH), nutriëntenconcentraties (N, P, K), aaltjes en micro-organismen, voor het LNV-meetnet dat verschillende landbouwmethodes met elkaar vergelijkt. Daarnaast willen we met deze monitoring een wetenschappelijk verantwoorde basis leggen voor de langetermijn-monitoring van een aantal voedselbossen die we de komende decennia willen blijven volgen.

1.5 Onderzoeksmethode nulmeting

Binnen het Nationaal Monitoringsprogramma Voedselbossen (NMVB) zijn er 6 plots (10x10m) bepaald in Eemvallei Zuid waar verschillende metingen zijn verricht (vegetatieopname, indringingsweerstand, infiltratiesnelheid etc.). De plots zijn gekozen door middel van een grid waar willekeurig 6 vakjes uit zijn geselecteerd. In het kader van het onderhavige topsectorenonderzoek hebben we in 4 van deze 6 plots de nulmeting van de bodem uitgevoerd. Het betreft de plots met de codes GA1, GA2, GA3, GB1; zie kaartje:

https://www.google.com/maps/@52.3257163,5.3245487,1004m/data=!3m1!1e3!4m2!6m1!1s1JkQ2WQBedapcoNzgzHvwF4z_IkKlBlcW). Binnen elk plot is een mengmonster gemaakt van 40 à 50 boringen van 0-25 cm diep. Deze boringen zijn genomen tijdens het lopen van een 'W' patroon in het plot. Bij de monsternames is gebruik gemaakt van materialen zoals een grondboor, plastic zakken, touwtjes, geplastificeerde labels en een koelbox.

De mengmonsters zijn vervolgens naar het lab in Lelystad gebracht voor de volgende analyses:

- ✓ Chemische analyse
- ✓ Aaltjesgemeenschap
- ✓ PLFA (Phospholipid Fatty Acid Analysis)
- ✓ Koolstofmetingen SBL (HWC, POXC etc.)

De bovenstaande analyses zijn geselecteerd om een optimale aansluiting te krijgen met o.a. het programma *Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN)*. In 2019 is de minister van LNV gestart met het Nationaal programma landbouwbodems (NPL; Ministerie van LNV, 2019). Het doel van dit programma is om publieke en private partijen te committeren aan het streefdoel dat in 2030 alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam beheerd zijn. Een onderdeel daarvan is een geharmoniseerd instrumentarium om bodemkwaliteit te bepalen. De selectie van een praktische meetset is gebaseerd op bestaande kennis en heeft geleid tot een eerste versie van de *Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN)* (Hanegraaf, M.C. et al., 2019). Het voornemen is om de BLN en de referentiewaarden door te ontwikkelen in de *PPS Beter Bodembeheer*. Hiermee kunnen de data uit voedselbossen worden vergeleken.

De eerste ruwe data uit de nulmeting van het bodemonderzoek in Voedselbos Eemvallei Zuid in 2020 worden in hoofdstuk 2 kort verwerkt tot een aantal tabellen. Dit hoofdstuk wordt afgerond met enkele, zeer voorlopige conclusies getrokken en een vooruitblik naar het vervolgonderzoek.

1.6 Onderzoeksteam

De volgende onderzoekers vormen samen het onderzoeksteam voor het bodemonderzoek in het kader van het topsectorenonderzoek *Wetenschappelijke Bodemvorming onder de Voedselbosbouw*:

- Johnny Visser is onderzoeker bij Wageningen plant research van de WUR
- Isabelle van der Zanden is Assistent In Opleiding (AIO) bij het NIOO-KNAW
- Ciska Veen, begeleider van de AIO (Isabelle) en wetenschappelijk onderzoeker bij het NIOO-KNAW en
- Gerard Korthals, onderzoekscoördinator bij het centrum voor bodemecologie, een samenwerking tussen het NIOO en de WUR.

2. ANALYSE NULMETING

In dit hoofdstuk worden de eerste ruwe data uit de nulmeting van het bodemonderzoek in Voedselbos Eemvallei Zuid in 2020 worden kort verwerkt tot een aantal tabellen. Dit verslag van de nulmeting dient als basisdocument voor onder meer het AIO-onderzoek en latere metingen (T1, T2, etc.).

2.1 Analyse onderzoeksresultaten

De **chemische analyse** van de eerste bodemmonsters (T0) leert dat Eemvallei Zuid een goede uitgangssituatie biedt voor de aanleg van een voedselbos. De kleibodem heeft een hoge bodemvruchtbaarheid. De verkruiembaarheid is minder goed en er zijn risico's op verslemping. Dit zal voor de aanleg van een voedselbos echter geen probleem vormen.

Met behulp van verschillende technieken is een analyse gemaakt van de **bodemaaltjesgemeenschappen**. Daarbij is eerst 100 milliliter grond gespoeld met de zogenoemde 'oostenbrinktrechter'. Hierna is de gespoelde fractie van het bodemmonster vier weken geïncubeerd om zodoende een aantal plant-parasitaire aaltjes de kans te geven uit wortels en/of eieren te kruipen. Uit de spoel-monsters zijn de aaltjes (NPP) geteld die niet parasitair zijn voor planten. Daarnaast zijn de spoel- en incubatiefraction geanalyseerd op plant-parasitaire aaltjes, zie tabel 1.

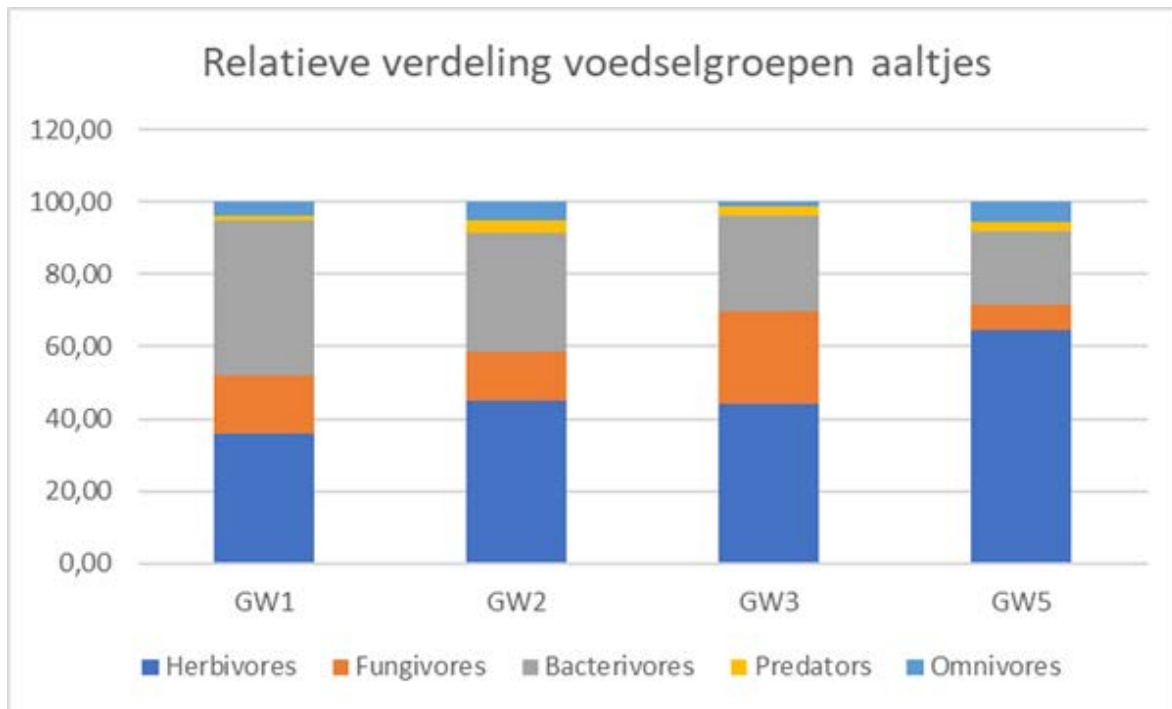
Tabel 1: Niet-plant-parasitaire aaltjes (NPP) en plant-parasitaire aaltjes.

Eemvallei N/100ml	GW1	GW2	GW3	GW5	Gemiddelde
NPP	1050	510	1570	1100	1058
Pratylenchus	105	0	0	580	171
Tylenchorhynchus	111	21	10	122	66
Rotylenchus+Helicotylenchus	20	0	0	0	5

Uit tabel 1 komt naar voren dat er in de bodem van Eemvallei Zuid gemiddeld ongeveer 1058 aaltjes/100 ml grond aanwezig waren. In vergelijking met gangbare landbouwpercelen zijn dit relatief lage aantallen. Daarbij moet worden opgemerkt dat er tussen de plots zit redelijk wat spreiding is. Van de plant-parasitaire aaltjes zijn met deze methode slechts 3-4 verschillende geslachten gevonden, namelijk Pratylenchus, Tylenchorhynchus en juvenielen van Rotylenchus en Helicotylenchus. Van die laatste categorie is het verschil tussen beide geslachten niet waar te nemen. Tylenchorhynchus is een plant-parasitaire aaltjesgroep die een brede groep van waardplanten kent, maar niet direct bekend staat vanwege schade aan gewassen. Het geslacht Pratylenchus, bevat meerdere soorten aaltjes, die wel bekend staan om de schade die ze aan landbouwgewassen kunnen aanbrengen. Binnen dit geslacht zitten ook soorten die, zeker als ze samen voorkomen met bepaalde bodemschimmels zoals *Verticillium dahliae*, verwelkingsziekte aan meerjarige bomen en struiken kunnen veroorzaken.

In figuur 1 op de volgende bladzijde wordt de relatieve verdeling tussen verschillende voedselgroepen getoond. Wat hierbij opvalt, met name in GW5, is het relatief grote aandeel aan plant-parasitaire aaltjes (de herbivoren). Bij met name akkerbouwpercelen op vergelijkbare grondsoorten worden veel lagere percentages plant-parasitaire aaltjes gevonden. Waarschijnlijk is dit het gevolg van de grassen, klavers en kruiden die op het veld in de Eemvallei Zuid groeien. De andere dominante voedselgroep wordt gevormd door bacterie-etende aaltjes (de bacterievoren). De andere voedselgroepen (schimmeleters, omnivoren en predatore aaltjes) komen op dit moment relatief weinig voor. Bij de verdere ontwikkeling van het voedselbos zal het percentage plant-parasitaire aaltjes en bacterie-etende aaltjes naar verwachting dalen ten gunste van met name de schimmel-etende aaltjes (de fungivoren). Deze verwachting vloeit voort uit het gegeven dat een voedselbos zich net als een natuurlijk bos in successie ontwikkelt, waarbij de landbouwgrond langzamerhand transformeert van een bacteriedominante bodem naar een schimmeldominante bodem.

Figuur 1: Relatieve verdeling voedselgroepen aaltjes als percentage van het totaal aantal aaltjes.



Tabel 2: Overzicht van verschillende klimaatgerelateerde bodemanalyses

Eemvallei Zuid 6-11-2020	Ca-Cl	LECO	Moffel- oven	Spectrofoto- meter	HWC	POX-C		
Parameters	C	C-ele- mentair	N-ele- mentair	Organische stof	C	DS	C	C
Eenheden	[mg/kg]	[g/kg]	[g/kg]	[%]	[g/kg]	[%]	[mg/kg]	[mg/kg]
GW1	105	33	2,24	6,4	27	63,9	725	699
GW2	98	32,5	2,2	6,6	28	65,0	775	851
GW3	101	37,8	2,56	7,2	32	75,4	570	921
GW5	122	33	2,29	6,3	29	69,0	638	851

Als laatste onderdeel van de nulmeting van de bodemkwaliteit in Voedselbos Eemvallei Zuid bepaling is een aantal klimaatgerelateerde analyses uitgevoerd en samengevat in tabel 2.

In de eerste kolom gaat het om koolstofbepalingen met behulp van een extractie op basis van calciumchloride (CaCl). C-elementair en N-elementair zijn een maat voor alle, in de bodem aanwezige koolstof (C) en stikstof (N), dus zowel in anorganische vorm als in organische vorm. Beide worden bepaald na verhitting van een bodemonster tot meer dan 900 °C. Bij het % organische stof na de moffeloven in de vierde kolom, gaat het om het percentage organisch materiaal in een monster dat bij verhitting wordt verbrand. Dit is echter niet altijd de volledige hoeveelheid organisch materiaal, omdat sommige organische verbindingen niet verbrand worden doordat ze als het ware gevangen zitten in zogenoemde 'complexen' met kleideeltjes.

De spectrofotometer (5^e kolom) is een machine die verschillende frequenties licht door een monster stuurt. De mate van absorptie en doorlating van dit licht vormt een maat voor de aanwezige hoeveelheid koolstof. De gegevens in de vijfde kolom vertegenwoordigen dus een schatting van de hoeveelheid koolstof (C) per kilogram bodem. Daarnaast zijn er nog metingen gedaan aan het % droge stof (DS) en makkelijk beschikbaar koolstof (HWC en POX-C). Al deze analyses worden te zijner tijd gekoppeld aan data met betrekking tot het (microbiële)

bodemleven om zo een beter begrip te krijgen over onder meer de koolstofvastlegging en organische-stof-productie in een voedselbos. In een later stadium van dit project worden nieuwe bodemmonsters genomen (T1), en worden alle data met elkaar vergeleken, zowel in de tijd als tussen de voedselbossen Eemvallei Zuid en Schijndel.

2.2 Voorlopige conclusies en vooruitblik

De nulmeting (T0) van Voedselbos Eemvallei Zuid uit 2020 levert slechts een eerste dataset op die bedoeld om een wetenschappelijk verantwoord beeld te krijgen van de uitgangssituatie bij de start van de aanplant. Deze eerste data zijn in dit verslag opgenomen. Met het oog op de gemeten bodemgesteldheid en bodemvruchtbaarheid lijkt de uitgangssituatie voor de aanleg van het voedselbos prima. Pas nadat het voedselbos volledig is aangeplant en er meer data in de loop van het project worden verzameld en geanalyseerd, kan beoordeeld worden hoe de bodemkwaliteit verandert onder invloed van het voedselbos en alle daarmee gepaard gaande veranderingen zoals koolstofvastlegging, de opbouw van organische stof en veranderingen in het bodemvoedselweb.

Dit verslag dient als basisdocument voor o.a. het AIO-onderzoek en eventueel latere metingen (T1, T2, etc.). De data zullen te zijner tijd binnen het topsectorenonderzoek *Wetenschappelijke Bodemvorming onder de Voedselbosbouw* worden vergeleken met data uit:

- een zogenoemde ‘chronosequentie’⁴ van voedselbossen van verschillende leeftijden en referentielocaties door heel Nederland (o.a. Voedselbos Schijndel),
- het Nationaal Meetnet Voedselbossen,
- het programma “Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN)” en
- het postcodeloterij project “onder het maaiveld” met het ijkcentrum bodem.

Op deze manier kunnen de individuele datasets beter geïnterpreteerd en op hun waarde ingeschat worden.

Het Voedselbos Eemvallei Zuid dient als living lab voor meerdere deelonderzoeken. De aanleg van zo’n groot voedselbos is uniek, die zich uitstekend leent voor verzameling en analyse van nog veel meer (bodem)data in de komende decennia. Met het topsectorenonderzoek *Wetenschappelijke Bodemvorming onder de Voedselbosbouw* streven we ernaar om de komende jaren nog vele nieuwe monsternames en aanvullende data-analyses uit te voeren zodat er een stevige basis ontstaat voor wetenschappelijk verantwoorde inzichten in enkele belangrijke duurzaamheidsimpacts van voedselbossen. Hiermee kan de volledige successie⁵ van een landbouwperceel naar een duurzaam beheerd voedselbos worden onderzocht. Zodoende kunnen de langetermijneffecten van een voedselbos op verschillende ecosystemendiensten⁶ zoals klimaatmitigatie, voedselproductie en (bodem)bio-diversiteit op wetenschappelijk verantwoorde wijze worden onderbouwd.

⁴ Een chronosequentie is een wetenschappelijke beschrijving van een set van ecologische locaties met diverse gemeenschappelijke kenmerken maar met verschillende leeftijden.

⁵ Successie is de spontane verandering van structuur en soortensamenstelling van de vegetatie in de tijd. Successie verloopt vaak via stadia met een karakteristieke structuur en opeenvolging van soorten. Er wordt onderscheid gemaakt tussen primaire en secundaire successie. Primaire successie vindt plaats op vers moedermateriaal waarin zich nog geen bodemprofiel heeft ontwikkeld (bv. open stuifzand en polders). Secundaire successie treedt op in bestaande vegetaties op ontwikkelde bodems en is vooral goed zichtbaar na het stoppen van gebruik of beheer (bv. verlaten landbouwgrond” (Den Ouden et al., 2010). Voor de beschrijving van een min of meer natuurlijke ontwikkeling van een bos onderscheidt men in de bosecologie de ‘pioniersfase’, de ‘mid-successie’ en de ‘climaxfase’.

⁶ Een ecosystemedienst is een dienst van het ecosysteem aan de mens op basis van één of meer ecosystemefuncties (bestuiving, fotosynthese, e.d.). Voorbeelden van ecosystemendiensten zijn waterzuivering, koolstofopslag en voedselproductie.

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

1. Hooper, D. U. et al. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature* 486, 105–108 (2012).
2. Rockström, J. et al. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio* 46, 4–17 (2017).
3. Altieri, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. in *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes* (ed. Paoletti, M. G.) 19–31 (Elsevier, 1999). doi:10.1016/B978-0-444-50019-9.50005-4.
4. Benton, T. G., Vickery, J. A. & Wilson, J. D. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends Ecol. Evol.* 18, 182–188 (2003).
5. Malézieux, E. Designing cropping systems from nature. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 15–29 (2012).
6. Chapman, M. et al. Large climate mitigation potential from adding trees to agricultural lands. *Glob. Change Biol.* 26, 4357–4365 (2020).
7. Kay, S. et al. Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. *Land Use Policy* 83, 581–593 (2019).
8. Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G. & Plieninger, T. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 230, 150–161 (2016).
9. Doimo, I., Masiero, M. & Gatto, P. Forest and Wellbeing: Bridging Medical and Forest Research for Effective Forest-Based Initiatives. *Forests* 11, 791 (2020).
10. Felipe-Lucia, M. R. et al. Multiple forest attributes underpin the supply of multiple ecosystem services. *Nat. Commun.* 9, 4839 (2018).
11. Lehmann, L. M., Lysák, M., Schafer, L. & Henriksen, C. B. Quantification of the understorey contribution to carbon storage in a peri-urban temperate food forest. *Urban For. Urban Green.* 45, 126359 (2019).
12. Nytofte, J. L. S. & Henriksen, C. B. Sustainable food production in a temperate climate – a case study analysis of the nutritional yield in a peri-urban food forest. *Urban For. Urban Green.* 45, 126326 (2019).
13. Park, H., Kramer, M., Rhemtulla, J. M. & Konijnendijk, C. C. Urban food systems that involve trees in Northern America and Europe: A scoping review. *Urban For. Urban Green.* 45, 126360 (2019).
14. Riolo, F. The social and environmental value of public urban food forests: The case study of the Picasso Food Forest in Parma, Italy. *Urban For. Urban Green.* 45, 126225 (2019).
15. Schafer, L. J., Lysák, M. & Henriksen, C. B. Tree layer carbon stock quantification in a temperate food forest: A peri-urban polyculture case study. *Urban For. Urban Green.* 45, 126466 (2019).
16. De Deyn, G. B. & Van der Putten, W. H. Linking aboveground and belowground diversity. *Trends Ecol. Evol.* 20, 625–633 (2005).
17. Nair, P. K. R., Viswanath, S. & Lubina, P. A. Cinderella agroforestry systems. *Agrofor. Syst.* 91, 901–917 (2017).
18. Crawford, M. *Creating a forest garden.* (Green Books, 2010).
19. Jacke, D. & Toensmeier, E. *Edible Forest Gardens, Volume II: Ecological Design And Practice for Temperate-Climate Permaculture.* (Chelsea Green Publishing, 2005).
20. Levis, C. et al. Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science* 355, 925–931 (2017).
21. Nair, P. K. *Agroforestry: Practices and Systems.* in *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* 270–282 (2014). doi:10.1016/B978-0-444-52512-3.00021-8.
22. Buiters, M. & de Waard, F. *Duurzame Schaalsprong Voedselbosbouw; een masterplan voor de realisatie van minimaal 1.000 hectare voedselbossen op Nederlandse landbouwgronden in de periode 2020-2030.* (2020).
23. Kardol, P. & Wardle, D. A. How understanding aboveground–belowground linkages can assist restoration ecology. *Trends Ecol. Evol.* 25, 670–679 (2010).
24. Galdo, I. D., Six, J., Peressotti, A. & Cotrufo, M. F. Assessing the impact of land-use change on soil C sequestration in agricultural soils by means of organic matter fractionation and stable C isotopes. *Glob. Change Biol.* 9, 1204–1213 (2003).

25. van der Wal, A. et al. Fungal biomass development in a chronosequence of land abandonment. *Soil Biol. Biochem.* 38, 51–60 (2006).
26. Rillig, M. C., Muller, L. A. & Lehmann, A. Soil aggregates as massively concurrent evolutionary incubators. *ISME J.* 11, 1943–1948 (2017).
27. Xiao, L. et al. Increased soil aggregate stability is strongly correlated with root and soil properties along a gradient of secondary succession on the Loess Plateau. *Ecol. Eng.* 143, 105671 (2020).
28. De Deyn, G. B., Cornelissen, J. H. & Bardgett, R. D. Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. *Ecol. Lett.* 11, 516–531 (2008).
29. Holtkamp, R. et al. Modelling C and N mineralisation in soil food webs during secondary succession on ex-arable land. *Soil Biol. Biochem.* 43, 251–260 (2011).
30. Wardle, D. A. et al. Linking vegetation change, carbon sequestration and biodiversity: insights from island ecosystems in a long-term natural experiment. *J. Ecol.* 100, 16–30 (2012).
31. Dou, X., Xu, X., Shu, X., Zhang, Q. & Cheng, X. Shifts in soil organic carbon and nitrogen dynamics for afforestation in central China. *Ecol. Eng.* 87, 263–270 (2016).
32. Foote, R. L. & Grogan, P. Soil Carbon Accumulation During Temperate Forest Succession on Abandoned Low Productivity Agricultural Lands. *Ecosystems* 13, 795–812 (2010).
33. Barrios, E. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecol. Econ.* 64, 269–285 (2007).
34. Fierer, N. Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nat. Rev. Microbiol.* 15, 579–590 (2017).
35. Ito, T., Araki, M., Komatsuzaki, M., Kaneko, N. & Ohta, H. Soil nematode community structure affected by tillage systems and cover crop managements in organic soybean production. *Appl. Soil Ecol.* 86, 137–147 (2015).
36. Morriën, E. Understanding soil food web dynamics, how close do we get? *Soil Biol. Biochem.* 102, 10–13 (2016).
37. Verbruggen, E., Xiang, D., Chen, B., Xu, T. & Rillig, M. C. Mycorrhizal fungi associated with high soil N:P ratios are more likely to be lost upon conversion from grasslands to arable agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 86, 1–4 (2015).
38. Zhou, Z., Wang, C., Jiang, L. & Luo, Y. Trends in soil microbial communities during secondary succession. *Soil Biol. Biochem.* 115, 92–99 (2017).
39. Morriën, E. et al. Soil networks become more connected and take up more carbon as nature restoration progresses. *Nat. Commun.* 8, 14349 (2017).
40. Schmidt, M. W. I. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, 49–56 (2011).
41. Paustian, K. et al. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use Manag.* 13, 230–244 (1997).
42. Paustian, K. et al. Climate-smart soils. *Nature* 532, 49–57 (2016).
43. Montagnini, F. & Nair, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. in *New Vistas in Agroforestry: A Compendium for 1st World Congress of Agroforestry, 2004* (eds. Nair, P. K. R., Rao, M. R. & Buck, L. E.) 281–295 (Springer Netherlands, 2004). doi:10.1007/978-94-017-2424-1_20.
44. Nair, P. K. R., Nair, V. D., Mohan Kumar, B. & Showalter, J. M. Chapter Five - Carbon Sequestration in Agroforestry Systems. in *Advances in Agronomy* (ed. Sparks, D. L.) vol. 108 237–307 (Academic Press, 2010).
45. Deng, L., Zhu, G., Tang, Z. & Shanguan, Z. Global patterns of the effects of land-use changes on soil carbon stocks. *Glob. Ecol. Conserv.* 5, 127–138 (2016).
46. Post, W. M. & Kwon, K. C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Glob. Change Biol.* 6, 317–327 (2000).
47. Kallenbach, C. M., Frey, S. D. & Grandy, A. S. Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. *Nat. Commun.* 7, 13630 (2016).
48. Liang, C., Amelung, W., Lehmann, J. & Kästner, M. Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter. *Glob. Change Biol.* 25, 3578–3590 (2019).
49. Dignac, M.-F. et al. Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 14 (2017).
50. Sokol, N. W. & Bradford, M. A. Microbial formation of stable soil carbon is more efficient from belowground than aboveground input. *Nat. Geosci.* 12, 46–53 (2019).

51. Hooper, D. U. et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecol. Monogr.* 75, 3–35 (2005).
52. Lange, M. et al. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nat. Commun.* 6, 6707 (2015).
53. Pei, Z. et al. Leaf litter diversity alters microbial activity, microbial abundances, and nutrient cycling in a subtropical forest ecosystem. *Biogeochemistry* 134, 163–181 (2017).
54. Liu, X. et al. Tree species richness increases ecosystem carbon storage in subtropical forests. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 285, 20181240.
55. Plassart, P. et al. Evaluation of the ISO Standard 11063 DNA Extraction Procedure for Assessing Soil Microbial Abundance and Community Structure. *PLOS ONE* 7, e44279 (2012).
56. Santos, S. S., Nielsen, T. K., Hansen, L. H. & Winding, A. Comparison of three DNA extraction methods for recovery of soil protist DNA. *J. Microbiol. Methods* 115, 13–19 (2015).
57. Oostenbrink, M. Estimating nematode populations by some selected methods. *Nematology* 85–102 (1960).
58. Geisen, S. et al. Integrating quantitative morphological and qualitative molecular methods to analyse soil nematode community responses to plant range expansion. *Methods Ecol. Evol.* 9, 1366–1378 (2018).
59. Arribas, P., Andújar, C., Hopkins, K., Shepherd, M. & Vogler, A. P. Metabarcoding and mitochondrial metagenomics of endogean arthropods to unveil the mesofauna of the soil. *Methods Ecol. Evol.* 7, 1071–1081 (2016).
60. Pepe-Ranney, C., Campbell, A. N., Koehler, C. N., Berthrong, S. & Buckley, D. H. Unearthing the Ecology of Soil Microorganisms Using a High Resolution DNA-SIP Approach to Explore Cellulose and Xylose Metabolism in Soil. *Front. Microbiol.* 7, (2016).