

VOEDSELBOSSEN:

Bodem, biodiversiteit, biomassa,
business & beweging

Drie jaar onderzoek naar voedselbossen in Nederland.

De huidige stand van zaken binnen het Nationaal
Monitoringsprogramma Voedselbossen.

VOORWOORD

Dit rapport is gemaakt in opdracht van het ministerie van LNV en geeft een overzicht van het onderzoek dat binnen het kader van het Nationaal Monitoringsprogramma Voedselbossen (NMVB) wordt gedaan in Nederland. Sinds 2019 voert het NMVB een intensief monitoringsprogramma uit waarin ecologische, economische en sociale indicatoren centraal staan. De afgelopen drie jaar zijn er metingen verricht in voedselbossen door heel Nederland. Dit rapport heeft het doel dit onderzoek nader toe te lichten en de resultaten inzichtelijk en toegankelijk te maken voor beleidsmakers, boeren en overige belanghebbenden. Voor alle gedetailleerde rapportering verwijzen we door naar de individuele onderzoeken (zie tabel op pagina 38).

Auteurs: Bram Wendel, , Bastiaan Rooduijn en Eline Disselhorst

Foto kافت : Jacob Kaptein

Dit rapport is gemaakt in opdracht van LNV, ter uitbrengen van drie jaar onderzoek van het NMVB.

© 2023 Nationaal Monitoringsprogramma Voedselbossen (NMVB)

**Nationaal Monitoringsprogramma
Voedselbossen**

Het NMVB is onderdeel van:



INHOUD

2	INLEIDING	
4	DANKWOORD	
6	SAMENVATTING	
8	INTRODUCTIE	
	Wat is een voedselbos?	8
	Het belang van monitoren	8
	Criteria voor deelname	10
10	HET NATIONAAL MONITORINGSPROGRAMMA VOEDSELBOSSEN (NMVB)	
	Selectie van meetpunten	12
	Indicatoren	12
16	RESULTATEN	
	Bodem	
	Bodemtextuur	16
	Bodemcompactie	17
	pH	19
	Bodemleven	19
	Regenwormen	19
	Bovengrondse biodiversiteit	
	Vegetatie	24
	Vogels	26
	Insecten	26
	Case Study: Ketelbroek	28
	Koolstof	29
	Bovengrondse koolstofopslag	29
	Bodem organisch koolstof (ondergronds)	31
	Sociaal en Economisch	33
	Economisch	33
	Sociaal	35
37	TOEKOMSTIG ONDERZOEK	
39	ONDERZOEKEN NMVB	
40	BRONNENLIJST	

DANKWOORD

Dit document is het resultaat van drie jaar onderzoek binnen het NMVB, ontstaan in 2019 vanuit de Green Deal Voedselbossen. In dat jaar begonnen voedselbossen net voorzichtig de kranten te vullen, en terwijl de vraag naar monitoring binnen de beweging al sterk was gegroeid, was er zowel binnen de grote onderzoeksinstituten als in de diverse overheden nog geen breed gedragen animo voor (grootschalig) onderzoek. Dankzij de inzet van de Green Deal kerngroep en een startbijdrage van Rijkswaterstaat kregen we desalniettemin de kans om een langjarig monitoringsprogramma op te starten, en daar zijn we enorm dankbaar voor. Vanaf het begin is het NMVB mogelijk gemaakt en gedragen door een brede groep enthousiastelingen, van studenten tot voedselbosboeren, van beleidsmedewerkers tot wetenschappers. De gezamenlijke inzet die iedereen heeft geleverd om tot dit resultaat te komen is motiverend en hartverwarmend. Zonder alle hulp hadden we ons nooit een weg kunnen banen door het oerwoud van complexiteit, zowel in de formele organisatie, fondsenwerving, de methodiek, de coördinatie en begeleiding en de weerbarstige praktijk.

Voor de financiering willen we graag de volgende partijen hartelijk bedanken: Rijkswaterstaat, Greenchoice, De Koningschool, Fred Foundation, Waterschap de Dommel, Waterschap Aa & Maas, het Koepelplan Voedselbossen, Wageningen Environmental Research en in het bijzonder het ministerie van LNV voor het mogelijk maken van ons onderzoek en dit rapport. Voor een vruchtbare samenwerking spreken we veel dank uit naar Stichting Both ENDS, Stichting Voedselbosbouw Nederland, Stichting AKVO en alle overige betrokken partijen bij de onderzoeksgroep van de Green Deal Voedselbossen. Speciale dank gaat uit naar Roos Nijpels, Pieter Janssen en Erik Verhallen, voor de onmisbare ondersteuning vanaf het prille begin.

Verder grote dank aan alle voedselbosbeheerders, eigenaren, vrijwilligers en de hele praktijkbeweging, voor het aanmoedigen en evalueren van ons werk, het verwelkomen en faciliteren van de studenten, het uitvoeren van de dataverzameling en het deelnemen en bijdragen aan alle geslaagde bijeenkomsten.

Speciale dank aan Maarten Schrama en Jan Degenaar van Voedselbos Haarzuilens voor het nauwkeurig bijhouden en met ons delen van de oogst in de afgelopen vier jaar.

Ook bedanken we alle academici die hebben bijdragen aan het NMVB en dit rapport, dan wel via de begeleiding van studenten en/of rechtstreeks middels een kritisch oog. Speciale dank aan Gerard Korthals en collegae, Pita Verweij, Isabelle van Zanden, Jeroen Kruijt, Anna Roodhof, Lieke Moereels, Heitor Mancini Teixeira, Arni Janssen, Jordy van Eijk en Kees van Veluw.

Afsluitend een bijzonder dankwoord aan alle studenten die we hebben mogen begeleiden. Zonder jullie onvoorwaardelijke inzet en tomeloze enthousiasme waren we nergens gekomen. Er is voortreffelijk werk verzet en gepionierd op elk vlak, ondanks alle uitdagingen in het veld. Daarom bedanken we Esther, Kaspar, Fleur, Eva, Merel, Lewis, Feline, Roy, Jillya, Anna, Suzy, Jurian, Raoul, Rintje, Eline, Rosalba, Rintje, Rohan en Robin voor hun harde werk.



SAMENVATTING

Het Nationaal Monitoringsprogramma Voedselbossen (NMVB) onderzoekt voedselbossen door heel Nederland sinds 2019 op gebied van bodem, biodiversiteit, koolstof, verdienmodel en sociale impact. Voor een robuuste datacollectie zetten we in op gestandaardiseerde methodes, zo veel mogelijk overeenkomstig met wat gangbaar is in Nederland, die we herhalen voor een zo lang mogelijke tijd. Dit document geeft de resultaten weer van de eerste drie jaar onderzoek.

Bodem

We vonden dat de bodemtextuur (zand, leem of klei) veruit de meest bepalende factor is, voor bijvoorbeeld de pH, de beschikbaarheid van nutriënten en het aantal regenwormen, en tot nu toe de invloed van andere factoren, zoals leeftijd en voormalig landgebruik, overschaduwt. Het is daarom van belang resultaten in de context van de bodemtextuur te vermelden. Op zandbodems vonden we dat oudere voedselbossen een wat lagere pH krijgen, vermoedelijk door de invloed van steeds meer strooisel dat humuszuren vormt. Tegelijkertijd vonden we steeds minder regenwormen op zuurdere gronden, waardoor die, zeker op zandbodems, niet de ideale indicator voor bodemgezondheid zijn. Aanvullende monitoring

naar andere bodemfauna zoals potwormen, mijten, springstaarten en pissebedden is daarom aanbevolen. Er is wel uitgebreid gekeken naar nematoden, microscopische wormpjes met een cruciale rol in het bodemvoedselweb. We vonden dat in voedselbossen, in vergelijking met akkers en graslanden, de nematodengemeenschap duidelijke indicatie geeft van een steeds minder verstoord, stabiel en complexer bodemecosysteem.

Biodiversiteit

De soortenrijkdom van houtige en kruidige planten ligt in voedselbossen gemiddeld hoog ten opzichte van akkers en bossen. In oudere voedselbossen vonden we een steeds hogere diversiteit van houtige soorten. Ook vonden we meer soorten vogels en kruipende insecten in bossen met een hogere diversiteit aan houtige planten. Dit is een duidelijke indicatie dat de aanplant van een grote diversiteit aan plantensoorten ook veel soorten dieren aantrekt. Het biodiversiteitsonderzoek is nog volop in ontwikkeling, voor veel soortengroepen is specifieke expertise en veel herhaling nodig. Voor dagvlinders hebben we dit jaar een programma opgezet in samenwerking met de Vlinderstichting, waar eind 2023 de eerste resultaten van zullen binnenkomen. Tot slot vonden

we een positief verband tussen de soortenrijkdom van plantensoorten en de totale bovengrondse biomassa, wat impliceert dat diversere bossen meer koolstof opslaan.

Koolstof

Na twee meetrondes van de bovengrondse biomassa van voedselbossen tussen de 1 en 28 jaar, is een duidelijke groeicurve over de leeftijd zichtbaar, die nog niet lijkt af te nemen. Het oudste voedselbos slaat na 28 jaar gemiddeld 325 ton CO₂ op per hectare. Na 30 jaar lijkt een opslag van tussen de 180 tot 550 ton CO₂ per hectare realistisch. Dit is beduidend meer dan akkers en graslanden die bovengronds netto geen koolstof opslaan, en minstens zoveel als het gemiddelde voor bestaand Nederlandse bos, dat veelal ouder is. Betreft de ondergronds opgeslagen koolstof vonden we veel variatie per voedselbos, mede door verschillen in voorgaand landgebruik en bodemtextuur, en konden we nog geen heldere trend vinden. Onze conservatieve schatting is een netto (boven- en ondergronds) positieve koolstofopslag voor voedselbossen van minimaal 180 ton CO₂ per hectare na 30 jaar, dat is 6 ton CO₂ per hectare per jaar.

Economisch & sociaal

Het gestandaardiseerd en nauwkeurig monitoren van data over arbeidsuren, oogst en netto inkomsten is zeer uitdagend gebleken, onder andere vanwege het complexe karakter van een voedselbos, de lange aanlooptijd en capaciteitstekort. Makkelijke tools in combinatie met meer persoonlijke ondersteuning en meer aandacht voor het verdienmodel van voedselbossen zal hier hopelijk verandering in brengen. Op basis van gedetailleerde cijfers van een enkel voedselbos, lijkt vanaf drie jaar na aanleg de oogst elk jaar toe te nemen, met inmiddels meer dan 100 oogstbare soorten. In een ander voedselbos is, 12 jaar na aanplant, een netto saldo van €3500 per hectare per jaar bereikt, puur uit de verkoop van voedsel. Dat is ruim boven het Nederlands gemiddelde voor granen, snijmais en grasland. Middels een enquête en verdiepende interviews in 2021 zagen we dat de voedselbosbeweging tot dan toe natuur en biodiversiteit duidelijk belangrijker vond dan geld verdienen. Inmiddels zijn er wel meer voedselbossen met commerciële focus, dus mogelijk verandert dat in de toekomst. We vonden tevens dat mensen betrokken bij een voedselbos veel nieuwe sociale contacten hebben opgedaan.



INTRODUCTIE

Een voedselbos levert naast voedsel ook belangrijke andere ecosysteem diensten.

Wat is een voedselbos?

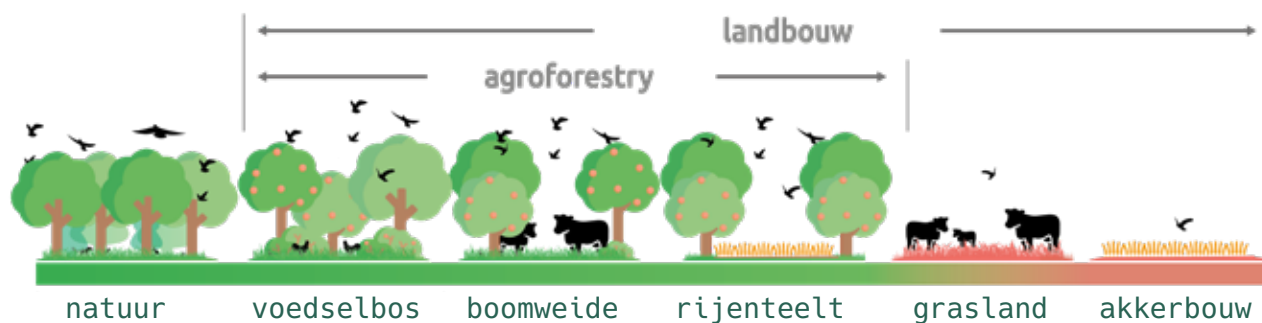
Een voedselbos is een door mensen ontworpen productief ecosysteem naar het voorbeeld van een natuurlijk bos, met een hoge diversiteit aan meerjarige en/of houtige soorten planten (Greendeal Voedselbossen, 2019). Dit systeem kent een eeuwenoud gebruik in de tropen, maar wordt de laatste jaren steeds populairder in meer gematigde klimaten, zoals in Nederland. Voor de voedselproductie wordt gebruik gemaakt van de verschillende vegetatielagen van een natuurlijk bos, van bodembedekkers tot hoge bomen en alles wat daartussen zit. In een voedselbos worden die lagen gevormd door de bewuste inzet van een hoge diversiteit aan eetbare soorten die zich daar thuis voelen, zoals daslook als bodembedekker en walnoot als kruinlaag. Hiermee zijn voedselbossen de meest complexe vorm van agroforestry (zie figuur 1).

In een voedselbos kunnen bekende producten, zoals appels, peren en pruimen geoogst worden. Daarnaast is productie van meer exotische producten die nu nog van ver moeten komen, zoals szechuan peper, pijnboompit en kweeper, in een Nederlands voedselbos ook mogelijk.

Omdat voedselbossen lijken op natuurbossen, kunnen ze naast voedsel nog andere belangrijke diensten leveren die typisch zijn voor bosccosystemen, zoals het bufferen van weersextremen en het recyclen van nutriënten.

Het belang van monitoren

Voedselbosbouw is een nieuw fenomeen in Nederland. Er worden veel claims gemaakt over de positieve functies of diensten van voedselbossen, zogenaamde ecosysteemdiensten. Deze claims komen uit de literatuur (zie bijv. Kumar & Nair



Figuur 1. De gradient tussen natuur en landbouw, met daarin verschillende vormen van agroforestry. Een voedselbos benadert het sterkst de structuur en processen van een natuurlijk (half open/jong) bos ecosysteem. © Boeren-bos.nl - 2022

2006) , ervaringen in andere landen (met name de tropen) en/of de zeldzame oudere voedselbossen die Nederland heeft. Niet alleen de kwaliteit en kwantiteit van geproduceerd voedsel worden genoemd, maar ook de opslag van koolstof, het creëren van een gezonde bodem, het bufferen van een tekort en/of overschot aan water en het herbergen van biodiversiteit. Daarnaast kunnen voedselbossen ook een belangrijke sociale rol spelen: door mensen met elkaar en hun omgeving in verbinding te brengen, te inspireren en te onderwijzen. Tot slot kan een voedselbos de mogelijkheid tot een goed inkomen bieden. Naast dat we nog weinig weten van hoe groot en belangrijk al deze individuele diensten kunnen zijn, is er ook nog nauwelijks kennis over hun onderlinge verhouding. Bijvoorbeeld, zorgt een hogere biodiversiteit ook voor meer voedselproductie, of juist niet, en van welke factoren hangt dat af?

Ondanks een groot gebrek aan kennis, ontwikkelt de voedselbosbouw zich de laatste jaren in een sneltreinvaart. Gegeven alle huidige crises waarmee we worstelen, zoals klimaatverandering, lucht- en waterkwaliteit, sociale ongelijkheid en de afhankelijkheid van een kwetsbare wereldmarkt

van grondstoffen zoals olie en granen, is het maatschappelijk belang van de diensten die voedselbossen kunnen leveren enorm.

Om een beter beeld te krijgen van de ontwikkelingen en meer te weten te komen over de mogelijkheden van voedselbossen in Nederland, is gedegen en gestandaardiseerde monitoring van voedselbossen nodig. Aangezien voedselbossen zich kenmerken door continue groei en veranderingen de levensloop van een voedselbos van aanplant tot volgroeide status wel enkele decennia kan duren (zie figuur 2), is het belangrijk om de ecosystemediensten in alle stadia te onderzoeken. Hiervoor is lange termijn monitoring noodzakelijk.



Figuur 2 . De visualisatie van de verschillende lagen in een voedselbos o.b.v. twee fases, links is 1-3 jaar oud (veel jonge boompjes en bamboestokken, rechts is ouder dan 10 jaar (de verschillende lagen worden daarin duidelijk zichtbaar). © NMVB - 2023

HET NATIONAAL MONITORINGSPROGRAMMA VOEDSELBOSSEN (NMVB)

Vanwege het toenemende belang van gedegen monitoring van voedselbossen, is in 2019 het NMVB opgericht vanuit de Green Deal Voedselbossen. In het NMVB worden milieuparameters zoals bodemgezondheid, biodiversiteit en koolstofopslag meegenomen, maar ook diverse sociale en economische parameters. Om de data goed te kunnen vergelijken worden gestandaardiseerde wetenschappelijke methodes toegepast. Metingen worden dus volgens een vast protocol uitgevoerd en meetmethodes zijn gebaseerd op vergelijkbare onderzoeken naar gangbare bosbouw- en landbouwsystemen. De meeste metingen worden door studenten en onderzoekers herhaaldelijk en met vaste regelmaat uitgevoerd, zoals een tweejaarlijkse meting van bovengrondse biomassa (voor het bepalen van de opgeslagen koolstof).

Hiertoe werkt het NMVB samen met allerhande universiteiten en onderzoeksinstituten, zoals de Wageningen Universiteit, Utrecht Universiteit, de Vlinderstichting en het Nederlands Instituut voor Ecologie. Ook streven we naar monitoren met participerende deelnemers binnen het NMVB, zodat input van arbeid en productie- en verkoopcijfers inzichtelijker wordt. Tot slot wordt er projectmatig extra onderzoek gedaan, afhankelijk van de vraag van deelnemende voedselbossen en/of betrokken organisaties en het aanbod van studenten die een onderzoek willen uitvoeren.

Naast het doen van onderzoek, vormt het NMVB een praktijknetwerk van deelnemende

voedselbossen, die middels online bijeenkomsten en halfjaarlijkse fysieke bijeenkomsten met elkaar in contact komen en kennis uitwisselen. Zo zijn er bijeenkomsten geweest op onder andere Voedselbos Lekkerlandgoed in Haarzuilens en De Overtuin in Rotterdam, en zijn er ook speciale thema sessies waarbij gesproken wordt onder andere over aanplant methodiek, omgaan met gras/onkruid, boombescherming en droogte. Deze bijeenkomsten worden tevens gebruikt om deelnemers op de hoogte te brengen van (voorlopige) resultaten, nieuw onderzoek te introduceren, en het gedeelde belang van de indicatoren en methodes te toetsen.

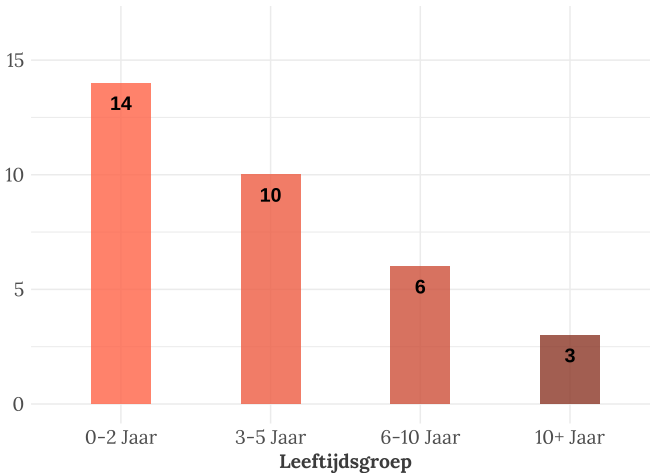
Bij de start van het programma in 2019 sloten zich 19 voedselbossen aan. Inmiddels is dat aantal gegroeid tot 33 voedselbossen verspreid over Nederland (zie figuur 6). De ambitie is om verder te groeien naar 50 verschillende voedselbossen, welke representatief zullen zijn voor de verschillende mogelijkheden en omstandigheden van voedselbosbouw in Nederland.

Criteria voor deelname

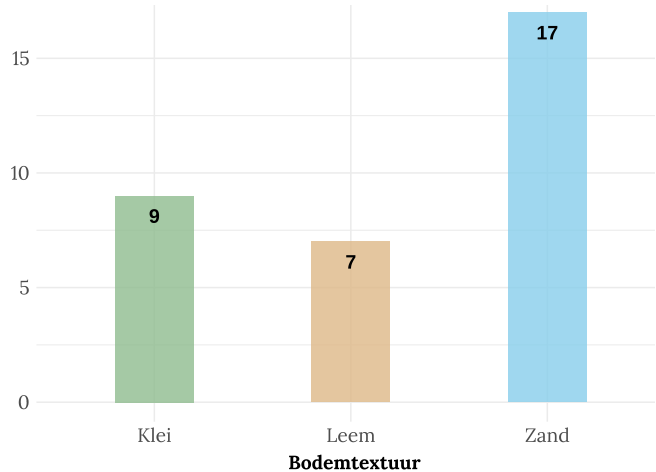
Om de kwaliteit van de metingen te garanderen, zijn er criteria opgesteld waaraan een voedselbos moet voldoen om deel te mogen nemen aan het monitoringsprogramma. Zo moet een voedselbos voldoen aan de Green Deal definitie, minimaal 0.5 hectare zijn en bereid zijn om actief deel te nemen aan het programma. Niet alleen door onderzoek op hun locatie te faciliteren, maar ook door deelname aan de bijeenkomsten en waar mogelijk het zelf

uitvoeren van monitoring naar bijv. productie. Tot slot wordt er bij de toelating van nieuwe locaties rekening gehouden met een zo goed mogelijke landelijke dekking en spreiding in leeftijd, bodem- en voedselbostypes, om de wetenschappelijke kwaliteit van de data te bevorderen.

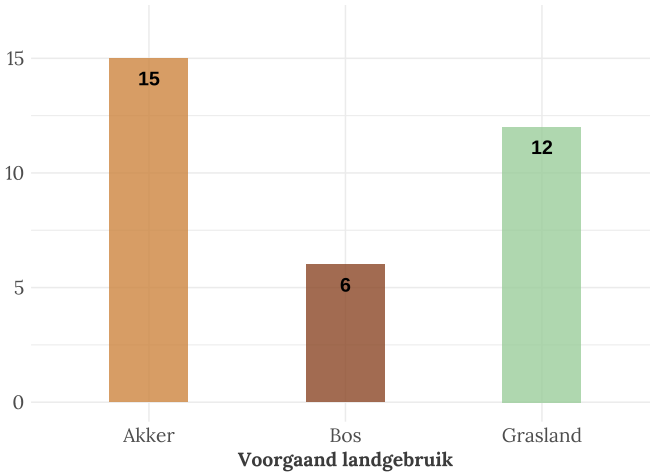
In figuur 3, 4 en 5 vindt men de huidige spreiding in leeftijd, bodemtypes en voorgaand landgebruik van de deelnemende voedselbossen.



Figuur 3: De verdeling van de 33 voedselbossen aangesloten bij het NMVB over vier leeftijdsgroepen (n=33).



Figuur 4: Spreiding van bodemtextuur van voedselbossen aangesloten bij het NMVB (n=33).



Figuur 5: Spreiding van voorgaand landgebruik van voedselbossen aangesloten bij het NMVB (n=33).

Figuur 6. Overzicht van bij het NMVB aangesloten voedselbossen (2022)



Aangezien voedselbosbouw pas de laatste jaren sterk in opkomst is, zijn de meeste deelnemende voedselbossen nog relatief jong (tussen de 0 en 5 jaar oud). Verder valt op dat de meeste voedselbossen zich op zandgrond begeven. Belangrijk om te vermelden is dat de oudste twee voedselbossen in het programma beiden op zandgrond gevestigd zijn.

Selectie van meetpunten

Vanwege de hoge diversiteit tussen en binnen voedselbossen in bijvoorbeeld opzet, gebruikte plantensoorten en grootte, is het van groot belang dat er voldoende willekeurig gekozen meetpunten worden geselecteerd voor de verschillende milieuparameters. Hiertoe wordt een gestandaardiseerd protocol uitgevoerd op elke deelnemende locatie. Een gestandaardiseerd protocol waarborgt de onpartijdigheid (voorkomt bias) en minimaliseert de invloed van individuele afwijkende metingen.

Het aantal meetpunten per voedselbos wordt bepaald door de grootte van het betreffende bos. Met behulp van het programma QGIS wordt bovenop elk voedselbos een grid van 10 X 10 meter gelegd. Vervolgens wordt met behulp van een algoritme willekeurig een x aantal tegels (15 per hectare, minimaal 15 en maximaal 30) geselecteerd om de diverse metingen in uit te voeren (zie figuur 7). Verder wordt er rekening gehouden met het ontwerp, zonering en landschapselementen zoals poelen, paden en gebouwen. Eenmaal geselecteerd, vormen deze meetpunten voor elk onderzoek de vaste plek waar gemeten wordt.

Indicatoren

In tabel 1 is te zien op welke thema's gemonitord wordt en welke indicatoren daarvoor zijn gekozen. Dit is geen compleet overzicht, voor meer detail betreft de methodiek, zie www.monitoringvoedselbossen.nl/indicatoren en alle individuele rapporten (zie tabel op pagina 38)

Figuur 7. Voorbeeld van het 10x10m selectiegrid met alle meetpunten, de de zonering en de monitoringsroute voor vlinders in Voedselbos De Overtuin in Rotterdam.



Bodem

De bodem vormt de basis van elk volvelds landbouwsysteem. Planten halen er hun voeding en water uit, leven er samen met allerlei andere organismen en zijn er voor een goede groei en productie dus sterk van afhankelijk. Daarnaast is een gezonde bodem belangrijk voor een goede waterhuishouding. Daarom is er binnen het NMVB relatief veel aandacht voor de bodem. Om de resultaten te kunnen vergelijken met ander onderzoek naar reguliere landbouwsystemen, is er gekozen voor indicatoren en methodes volgens de opgestelde lijst van Bodemindicatoren van Landbouwgronden in Nederland (BLN versie 1.1, De Haan al. 2021).

Bodemmonsters zijn verzameld op 15-30 monsterpunten (afhankelijk van de grootte) per voedselbos van de bovenste 25 centimeter van de bodem. Alle verzamelde aarde van één bos wordt gemengd om zo een representatief monster te maken. Van dit monster wordt een deel gebruikt voor

een analyse van het bodemleven (met name aaltjes, microscopische wormpjes die een belangrijke rol spelen in het bodemvoedselweb) en een deel voor chemische en fysische analyse. Verder worden er bij een subselectie van punten ook metingen gedaan naar het aantal regenwormen, bodemcompactie en de strooisellaag. De bodemmetingen worden minimaal elke drie jaar herhaald.

Biodiversiteit

Om een idee te krijgen van de invloed van voedselbossen op de biodiversiteit, monitoren we verschillende soortgroepen, zoals vogels, vlinders en vegetatie. Het monitoren is zo veel mogelijk overeenkomstig met methodes die voor reeds bestaande nationale meetnetten zijn opgesteld, zoals het Meetnet Vlinders van de Vlinderstichting. Het betrouwbaar kunnen vaststellen van de rijkdom aan en verhouding tussen soorten is voor veel soortgroepen een flinke uitdaging, onder meer omdat het voorkomen en de zichtbaarheid van soorten sterk afhangt van het weer en het

Tabel 1. Versimpeld overzicht van gemonitorde thema's en indicatoren van het NMVB.

Thema	Indicator	Metingen
Ecologisch	Bodemgezondheid	% organische stof, macro en micronutriënten, bodemcompactie en dichtheid, infiltratiesnelheid, aantal regenwormen en de nematoden gemeenschap
	Biodiversiteit	vlinders, vogels, insecten, regenwormen, nematoden (klein bodemleven).
	Biomassa & Koolstof	Vegetatiestructuur, bovengrondse biomassa en koolstof en ondergrondse koolstof
Economisch	Voedselproductie	Oogst per jaar, aantal soorten, oogst per hectare en oogst per ras.
	Verdienmodel	Totale opbrengst, totale kosten, arbeid per oogst.
Sociaal	Extern	Bezoekers, evenementen, vrijwilligers
	Intern	Drijfveer, relatie mens-natuur-maatschappij

seizoen. Daarnaast is er veel kennis en ervaring nodig om soorten te kunnen onderscheiden. Voor veel soortgroepen zijn onze monitoringsmethodes daarom nog in ontwikkeling.

Koolstof

Naast diverse bodemmetingen wordt er uitgebreid gekeken naar boven- en ondergrondse koolstofopslag. Voor de bovengrondse koolstofopslag wordt de bovengrondse biomassa van de vegetatie in meerdere permanente plots per voedselbos vastgesteld. De opslag wordt vastgesteld door de dikte, hoogte en dichtheid van het hout van elk individu in het plot te bepalen en vervolgens om te rekenen naar vastgelegde koolstof per hectare. Deze metingen worden tweejaarlijks herhaald. Het gehalte ondergrondse koolstof wordt uitgerekend met behulp van het organisch stofgehalte en de dichtheid van de bodem.

Economisch & sociaal

Tot slot hebben we op basis van input van de deelnemers een start gemaakt met onderzoek naar de economische en sociale ontwikkelingen. Zo zijn er online tools ontwikkeld waarin beheerders hun kosten, inkomsten, oogst en uren kunnen bijhouden en overzien, die in combinatie met een reeds ontwikkeld rekenmodel tevens voorspellingen kan maken voor opbrengsten in de toekomst, is er een enquête uitgegaan naar voedselbosbeheerders en vrijwilligers en hebben er interviews plaatsgevonden om te achterhalen wat de beweegredenen zijn om met voedselbossen te werken. De uitdagingen van de monitoring (middels citizen science) zijn echter aanzienlijk, omdat dit tot nu toe voor een groot deel afhangt van een vrijwillige en continue bijdrage van deelnemers. Daarnaast zijn we voor complete economische analyse afhankelijk van oogstdata, die nu voor veel jonge bossen nog ontbreekt. De diversiteit en kleine hoeveelheden oogst per soort maken de documentatie ook nog eens extra tijdsintensief.

Figuur 8. De vlindermonitoring in volle gang, door Lewis Jansen, destijds student aan de HAS.



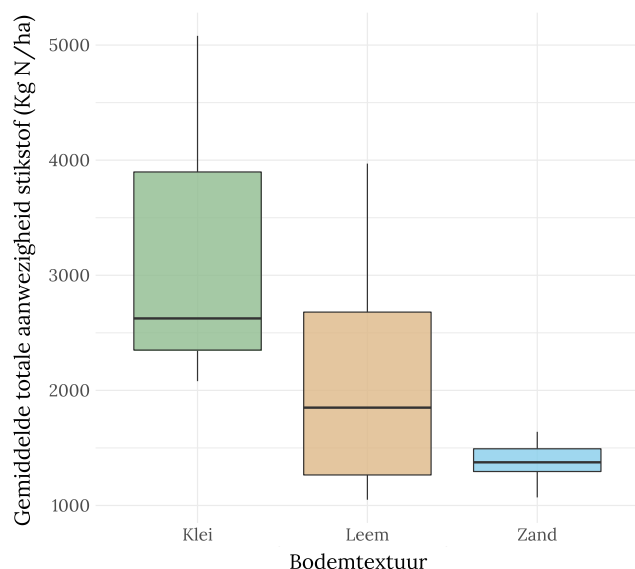


Figuur 9. De bodemmetingen uitgevoerd in Sualmana, met Bastiaan Rooduijn en Esther De Groot: het nemen van een bodemonster met een guts (links) en het meten van de bodemcompactie met een penetrometer (rechts). Fotografie: Jacob Kaptein

RESULTATEN

Bodem

- Bodemtextuur (zand, leem of klei) is de leidende factor voor alle bodemparameters
- Op zand lijkt de pH af te nemen (bodem wordt zuurder) naarmate de leeftijd van het voedselbos toeneemt
- Regenwormen zijn een minder waardevolle indicator dan gedacht in de voedselboscontext
- De nematodengemeenschap impliceert een stabiel en minder verstoord bodemvoedselweb in voedselbossen in vergelijking met akkers en graslanden



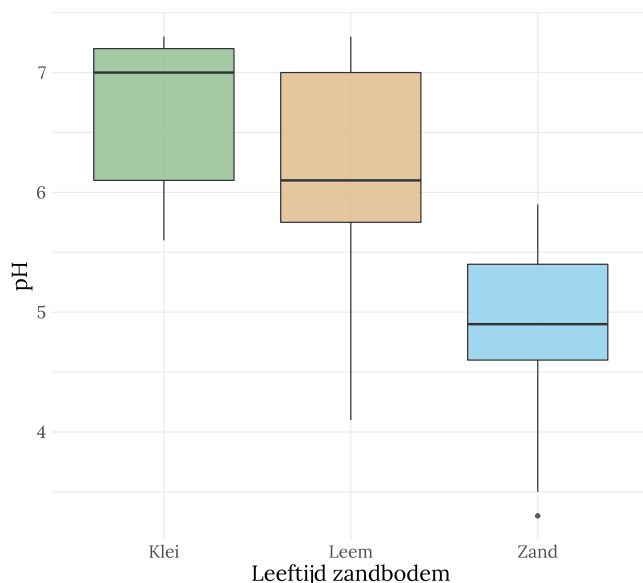
Figuur 10: Totale aanwezigheid van stikstof in de bodemmeting, gemeten in de winterperiode 2019-2020, n=19

Een voedselbos levert naast voedsel ook belangrijke andere ecosysteem diensten.

In de winter van 2019/2020 zijn er bodemmetingen bij 19 voedselbossen gedaan en in de winter van 2021/2022 bij 33 voedselbossen. Factoren zoals bodemtextuur, leeftijd van het voedselbos, voedselbostype (focus op productie of op recreatie, klein of grootschalig, etc.) en voormalig landgebruik werden hierin meegenomen.

Bodemtextuur

De belangrijkste conclusie is dat bodemtextuur (zand, leem of klei) tot nu toe de meest bepalende factor is voor bijna alle fysische, chemische en biologische parameters. De eventuele effecten van de leeftijd, het voormalig landgebruik en het type voedselbos zijn nog niet goed zichtbaar. Zo was in voedselbossen op zandgrond de pH (veel) lager, werden er consequent minder wormen gevonden en zaten er ook duidelijke verschillen



Figuur 11: pH van voedselbossen, uitgezet tegen de verschillende bodemtypes. Gemeten in de winterperiode 2021-2022, n=33

in de beschikbare nutriënten (zie figuur 10, 14 & 15). Dit benadrukt zowel het belang van een goede landelijke spreiding, lokale referentieakkers en -bossen en een goede representatie van alle bodemtypes in de totale pool van deelnemende voedselbossen, als de noodzaak voor duiding van de verschillende bodemtypes in elke weergave van resultaten van het bodemonderzoek.

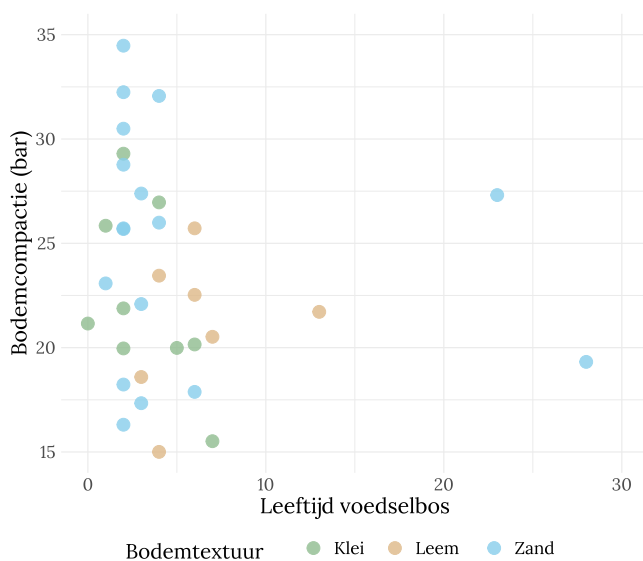
Helaas kan er nog niet voor verschillen in bodemtextuur gecorrigeerd worden, omdat de totale dataset hier nog niet groot genoeg is (te veel variatie). In 2021/2022 is wel een selectie aan voedselbossen op zandgrond apart geanalyseerd (zie verder onder kopje pH).

Bodemcompactie

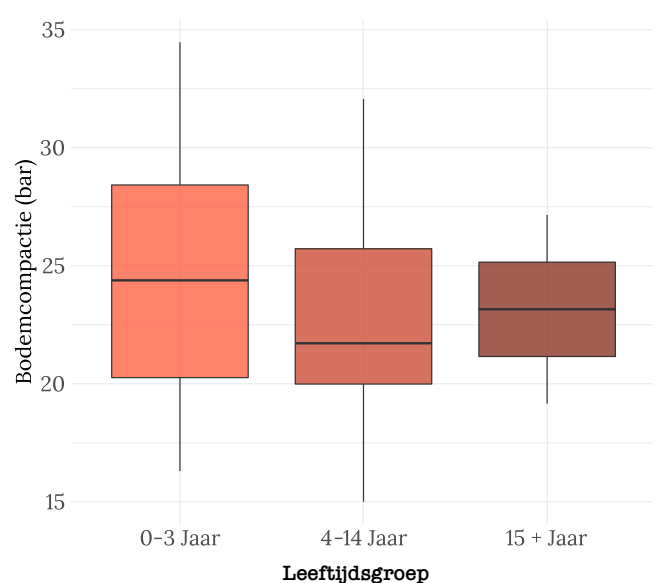
Bodemcompactie, met als belangrijkste oorzaken groot vee (paarden, koeien) en machinale bewerking van de grond, remt de doorworteling en het bodemleven, waardoor planten minder groeien, de bodem minder water vast houdt en dus planten sneller uitdrogen en eerder ziek worden (Shah et al., 2017). In een voedselbos wordt de bodem niet

meer bewerkt of betreden door zware machines of landbouwdieren. De verwachting is daarom dat de compactie met de tijd afneemt.

De bodemcompactie is op verschillende punten in het voedselbos gemeten met een penetrometer; een apparaat dat meet hoeveel druk er nodig is om door de verschillende lagen bodem heen te gaan. De gemiddelde druk (in bar) die nodig is om de bodem te doorboren, uitgezet tegen de leeftijd per voedselbos, is te zien in figuur 12 en 13. Hoewel een significant effect van leeftijd vooralsnog ontbreekt, valt wel op dat de voedselbossen met gemiddeld de meeste compactie (boven de 25 bar) voornamelijk jong (0-5 jaar) zijn. Alle metingen zijn uitgevoerd in de winter, zodat de bodem zo veel mogelijk verzadigd is met vocht. De streefwaarde voor landbouwgronden is beneden de 30 bar (de Haan et al. 2021), maar gemiddeld in Nederland zien we dat deze waarde, vooral in de onderlaag beneden de 30cm, ruim overschreden wordt (Van Den Elsen et al. 2020)



Figuur 12: Gemiddelde bodemcompactie in de eerste 52,5 cm bodem in voedselbossen in NL, uitgezet tegen de leeftijd in jaren, gemeten in winter 2021/2022 (n=33).



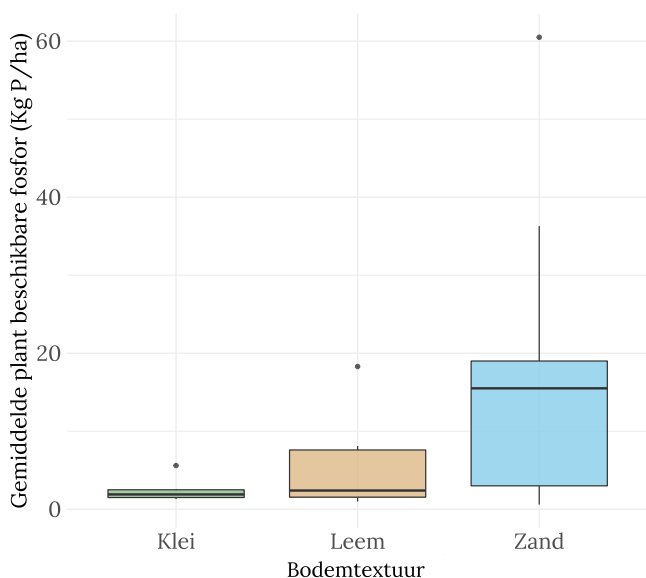
Figuur 13: Gemiddelde bodemcompactie in de eerste 52,5 cm bodem in voedselbossen in NL, per leeftijdscategorie, gemeten in winter 2021/2022 (n=33).

Nutriënten

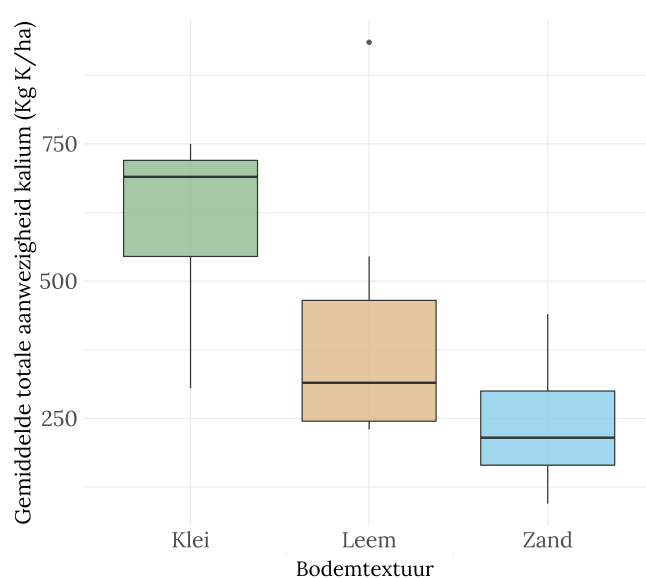
De hoeveelheid beschikbare bodemnutriënten in voedselbossen lijkt in eerste instantie vooral afhankelijk van de bodemtextuur: Zandgronden zijn gemiddeld armer dan kleigronden (figuur 14 en 15). De hogere beschikbaarheid van fosfor in zandbodems kan worden uitgelegd door de lagere pH, die fosfaat oplosbaar maakt en zo direct opneembaar voor planten (Penn et al 2019). Effecten van leeftijd zijn, onafhankelijk van de bodemtextuur, vooralsnog niet zichtbaar.

De vraag is evenwel of de beschikbaarheid van nutriënten middels een chemische bodemanalyse van de eerste 25 cm bodem daadwerkelijk representeert waar planten toegang toe hebben. Steeds verder ontwikkelende samenwerkingen met mycorrhiza schimmels en bacteriën zullen voor planten niet-direct opneembare nutriënten, zoals stikstof uit de lucht of fosfor in kiezels, toch beschikbaar maken (Clark & Zeto, 2000), waardoor voedselbossen in theorie heel lang vooruit kunnen

zonder bemesting (zie bijv. Pepels, 2019). Dit is op korte termijn nauwelijks meetbaar. Op langere termijn zou dit echter kunnen leiden tot een grotere meetbare beschikbaarheid aan nutriënten, zoals bij het vrijkomen van deze nutriënten door de afbraak van strooisel en/of wortellexudaten. We hopen dit met doorgaande monitoring in de toekomst nader vast te stellen.



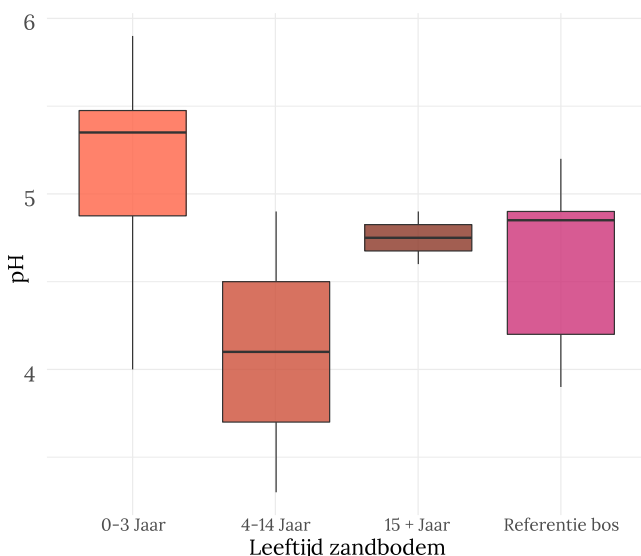
Figuur 14: Totale plant beschikbare fosfor in de bodem, gemeten in de winterperiode 2021-2022, n=33



Figuur 15: Totale aanwezigheid van kalium in de bodem, gemeten in de winterperiode 2021-2022, n=33

pH

De pH van de bodem heeft een sterke invloed op veel bodemprocessen, van het bodemleven tot de beschikbaarheid van nutriënten. Bij een voedselbos in ontwikkeling komt er steeds meer bladval terecht op de bodem, wat middels de vorming van humuszuren een lichte verzuring van de bodem tot gevolg kan hebben. Bovendien worden voedselbossen niet (systematisch) bekalkt, zoals zeker op de landbouwgronden op zand in Nederland wel het geval is. We zien inderdaad een dalende pH terug in de data van voedselbossen op zandgrond. Oudere voedselbossen (vanaf 4 jaar, N=5) hebben allen een pH beneden de 5, terwijl bossen tussen de 0 en 3 jaar (N=12) nog gemiddeld boven de 5 zitten (zie figuur 16). De pH van de referentie loofbossen, lag tussen de 4 en 5, terwijl die voor de gemiddelde Nederlandse akker en grasland op zandgrond boven de 5 ligt (Van den Elsen et al. 2020). De pH is zeer afhankelijk van de bodemtextuur, en veranderingen in pH vinden het snelst plaats op zandgrond, vandaar dat dit effect vooralsnog alleen op zandgrond zichtbaar lijkt.



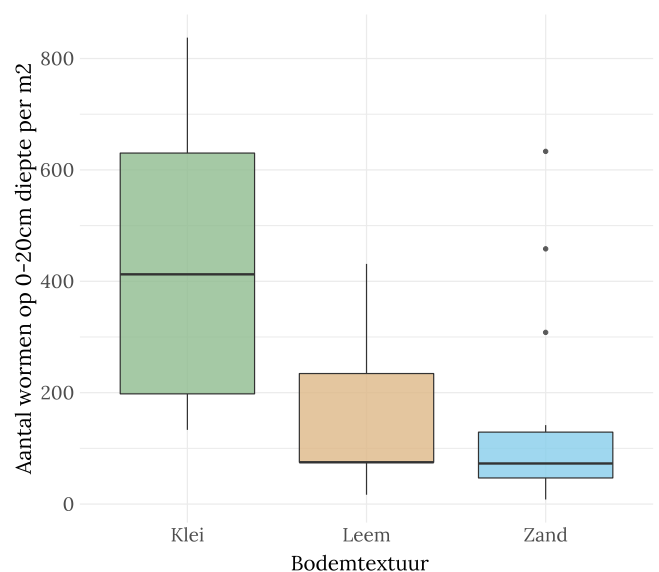
Figuur 16: H van op zandbodembodem gevestigde voedselbossen (N=17) uitgezet tegen de leeftijd, en referentiebossen (N=6), gemeten in de winter van 2021/2022.

Bodemleven

Regenwormen

Regenwormen zijn een populaire indicator voor bodemgezondheid, ze zorgen door hun gangen en uitwerpselen namelijk voor een luchtige bodem rijk in organisch materiaal (Blouin et al. 2019). In figuur 17 is terug te zien hoe binnen het NMVB gemiddeld gezien de meeste wormen gevonden worden op klei en de minste op zand. Verder zien we dat de oudste voedselbossen minder regenwormen tellen dan de jongste, ook als we alleen naar zandbodems kijken.

Regenwormen zijn erg gevoelig voor de pH en geven de voorkeur aan een minder zure bodem (Muys & Granval, 1997). Binnen het voedselbosonderzoek zijn regenwormen op zichzelf dus niet de ideale indicator voor een gezonde bodem, zeker niet op zandgrond, vanwege de dalende pH over de tijd, die tot nu toe wordt gevonden. Bovendien is er geen goede referentiedata beschikbaar van wat een gezonde dichtheid van regenwormen zou moeten zijn. Aanvullend onderzoek naar andere macrofauna zoals potwormen, mijten, springstaarten en pissebedden en op meer referentiepercelen zou een veel completer beeld kunnen schetsen.



Figuur 17: Aantal gevonden regenwormen in voedselbossen op verschillende bodemtextuur gronden van 0 tot 20 cm diepte (n=33), gemeten in winter 2021/2022. Gebaseerd op een meeting van 20 x 20 x 20 cm (lxbxh), geschaald naar m2.

Nematoden

Nematoden, ook bekend als aaltjes, zijn microscopische wormpjes die leven in de bodem. Aaltjes zijn een veel bestudeerd, alom aanwezig en cruciaal onderdeel van het bodemvoedselweb. Ze eten plantenwortels, bacteriën, schimmels of bodemdiertjes en verschillen naast hun dieet ook sterk in hun voortplantingsstrategie; sommige aaltjes kunnen zich in verstoorde bodems met hoog voedselaanbod zeer snel voortplanten, terwijl andere aaltjes alleen gedijen in een gestabiliseerde bodem. Hierdoor kunnen aaltjes goed worden gebruikt als indicator van de bodemgezondheid. We lichten hier de belangrijkste punten toe, voor meer detail verwijzen we naar Korthals et al., 2023.

De plantenetende groep aaltjes (herbivoren) komt het meeste voor in de bodemanalyse. Van de niet-plantenetende groep wordt het grootste aandeel gevormd door de bacterie-etende aaltjes, gevolgd door schimmeletende aaltjes (fungivoren), allesetende aaltjes (omnivoren) en predatore aaltjes. De variatie tussen de voedselbossen in onderlinge verhouding van de voedselgroepen is

groot (zie figuur 20). Voormalig landgebruik en bodemtextuur konden de verschillen veelal het beste verklaren. Zo vertonen de fungivoren een duidelijke verschil per bodemtextuur, ze zijn het meest talrijk op klei en leem en veel minder talrijk op zand (zie figuur 18). We sluiten de invloed van de gemiddeld jonge leeftijd en de voorgeschiedenis van de locaties hierbij niet uit.

Met behulp van diverse indices die worden berekend aan de hand van de aantallen van verschillende groepen aaltjes, is het mogelijk meer te zeggen over de status van de bodem. Zo is de Enrichment Index (EI) een maat voor de aanwezigheid van bacterie- en schimmeleters die snel reageren op een toename in voedselaanbod. Een hoge EI geeft aan dat het voedselaanbod voor deze aaltjes hoog is, wat een sterke indicatie is van verstoring en (over)bemesting. De Structure Index (SI) is een maat voor de complexiteit en interacties van de aaltjesgemeenschap in de grond. Hoe hoger de SI, hoe complexer en diverser het bodemvoedselweb. Als de EI en SI waarden van de 33 voedselboslocaties van 2021/2022 tegen elkaar worden uitgezet, en worden vergeleken met een dataset van akkers

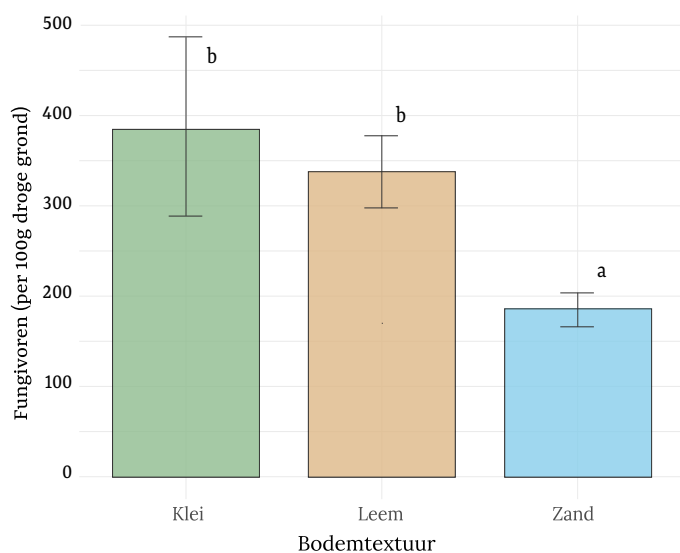


Fig 18: Het aantal fungivoren aaltjes per 100 gram droge grond (n=33), gemeten in winter 2021/2022.

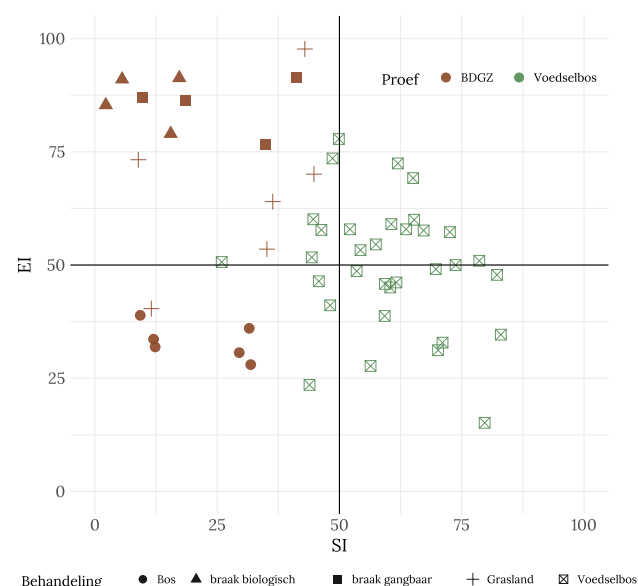
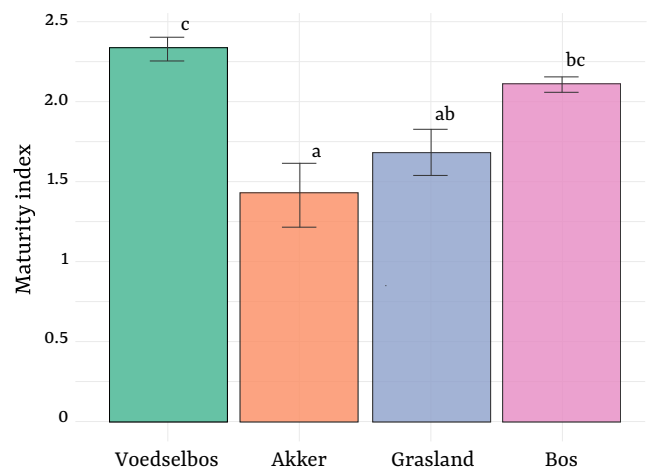
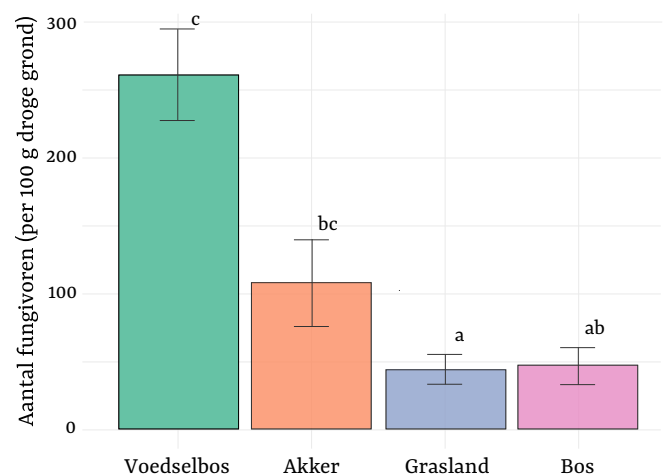


Fig 19: De resultaten van EI en SI gepresenteerd in vier kwadranten. 33 voedselbossen (groen), referentielocaties (bruin)

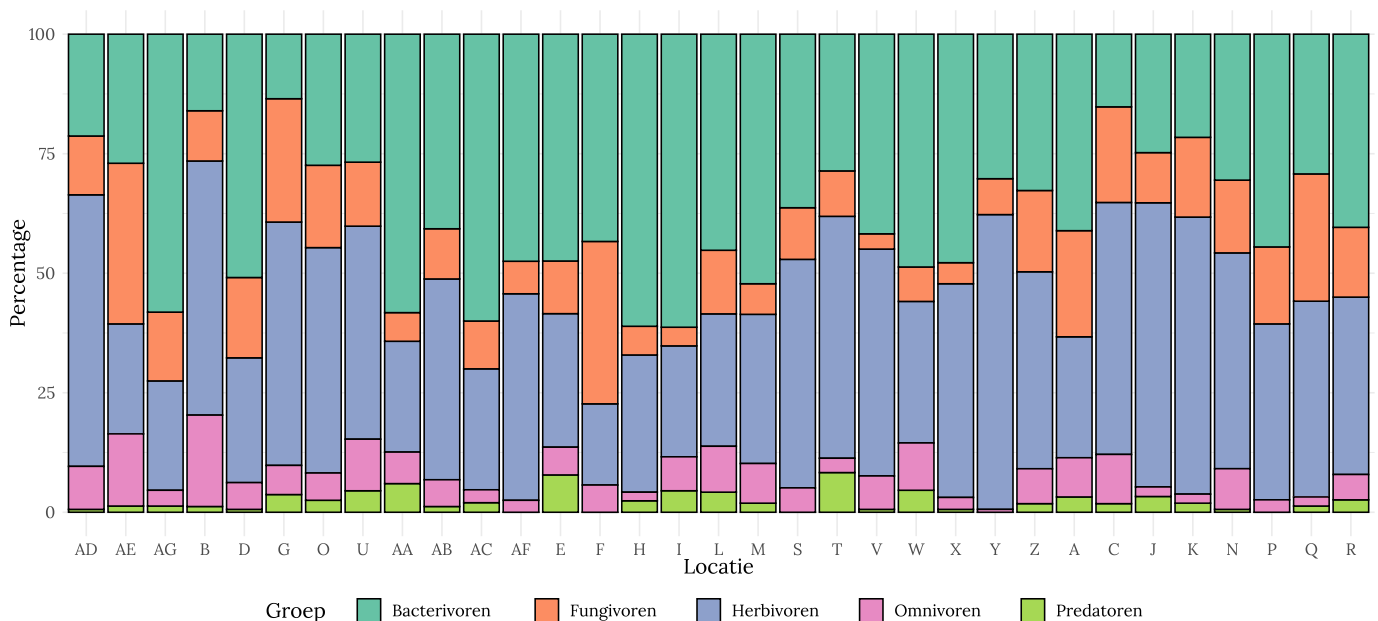
en graslanden uit de Bodemgezondheidproef 2021, dan blijkt dat voedselbossen zich goed ontwikkelen richting minder verstoorde en stabielere ecosystemen (richting de rechter kwadranten met hogere SI waarden en lagere EI waarden, zie figuur 19). Dit zien we ook terug in de Maturity Index (MI). De MI geeft middels de onderlinge verhouding van snel- en langzaam voortplantende aaltjes weer hoe ver de bodem is in haar ontwikkeling (bodemsuccesie). Een hogere MI is een maat voor een verder ontwikkelde bodem. De MI van voedselbossen is significant hoger dan van akkers en graslanden, maar niet van bos (zie figuur 21). Tot slot zien we dat het absolute aantal fungivoren significant hoger ligt in voedselbossen dan in akkers en graslanden (zie figuur 22). Deze resultaten sluiten goed aan bij het verwachte effect dat voedselbossen hebben op de bodem, namelijk dat deze zal stabiliseren door minder verstoring (bewerking en bemesting) en meer input van houtig organisch materiaal (herfstblad en takken) waar schimmels beter raad mee weten dan bacteriën.



Figuur 21: De Maturity index van de 33 voedselbossen in vergelijking met akker (n=6), grasland (n=6) en bos (n=6), bron: Bodemgezondheidsproef 2021



Figuur 22: Het aantal schimmelaars gevonden in de 33 voedselbossen, in vergelijking met akker (n=6), grasland (n=6) en bos (n=6), bron: Bodemgezondheidsproef 2021



Figuur 20: Een procentuele weergave van de verschillende aaltjes groepen, gemeten winter 2021 (n=33).

Bij zes voedselbossen zijn er tevens monsters genomen van nabijgelegen reeds ontwikkelde loofbossen (leeftijdsschatting van circa 50 jaar). Het meest opvallende verschil is dat de procentuele verhouding aan schimmelelers in alle referentiebossen hoger is dan in de voedselbossen (zie figuur 23). Dit komt overeen met de literatuur, omdat oudere bosbodems door de stijgende input van moeilijk af te breken organisch materiaal zoals dood blad en hout steeds meer gedomineerd worden door schimmels (Phillips et al. 2013).

We hebben in zowel 2019/2020 als in 2021/2022 monsters genomen voor het bekijken van de aaltjesgemeenschap. De dataset in 2019 was echter te klein (19 voedselbossen) en variabel om trends te destilleren. Wel zien we een opvallend verschil tussen de set van 2019 en 2021, wanneer we beiden uitzetten in een EI-SI kwadrant (zie figuur 24). De EI-SI waarden van de set in 2021 lijken gemiddeld meer naar rechts en naar onderen lijken te verschuiven t.o.v. de data uit 2019. Dit is een

indicatie voor minder verstoring en het ontstaan van meer stabiele aaltjesgemeenschappen. Meer analyse in detail en herhaling van metingen is nodig om dit wetenschappelijk nader te onderbouwen.

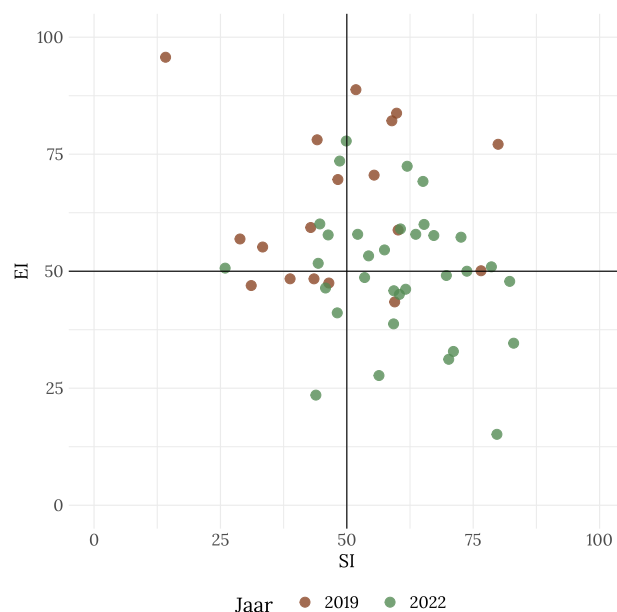
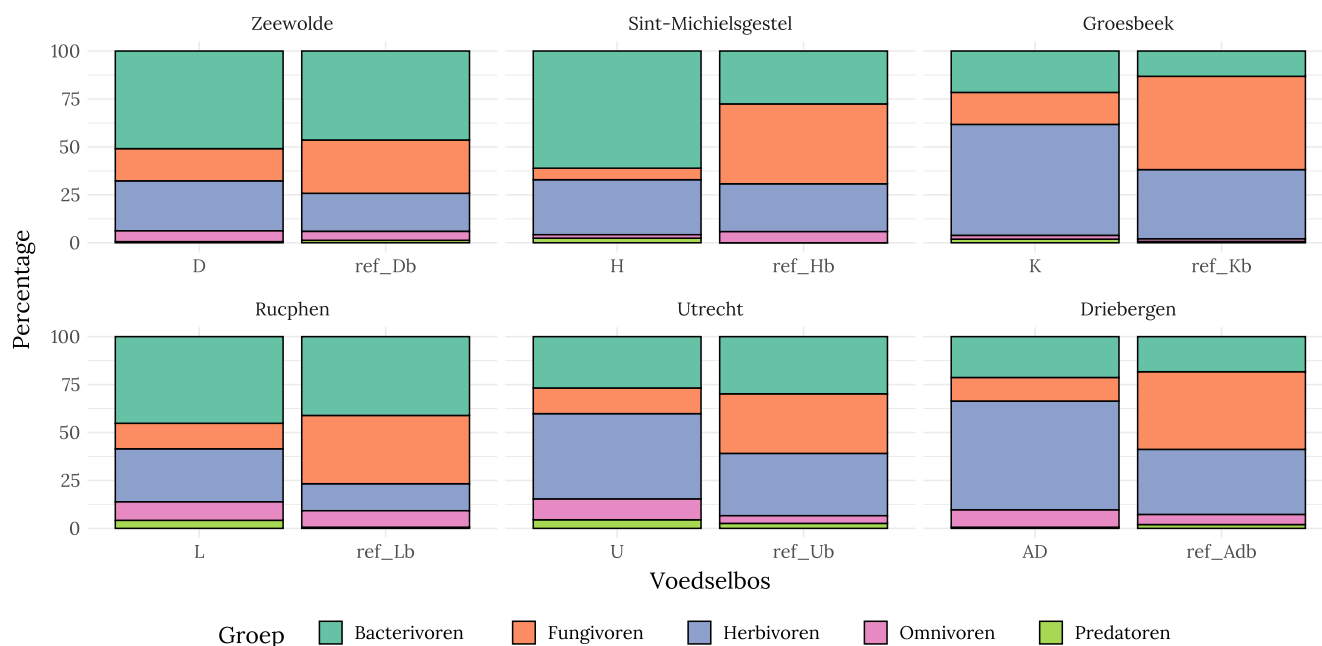


Fig 24: De EI en SI van de jaren 2019 (N=19) en 2022 (N=33). Linksboven geeft aan dat het gemeenschappen zijn typisch voor verstoorde gronden, rechtsonder geeft aan dat het complexere en stabielere systemen zijn.



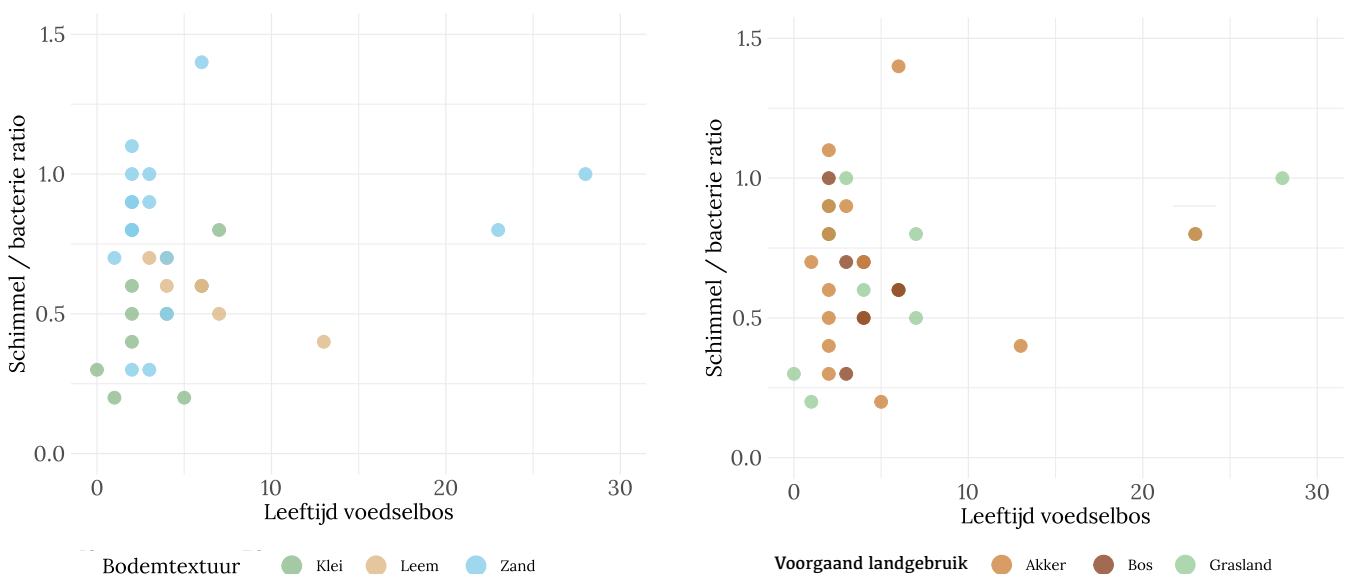
Figuur 23 Relatieve verdeling voedselgroepen in 6 voedselbossen en de aangelegen referenties.

Bacteriën & schimmels

In de bodemmonsters is onder meer de totale biomassa aan en de onderlinge verhouding tussen schimmels en bacteriën bepaald (met infraroodstraling, NIRS). Gedetailleerd onderzoek naar schimmels en bacteriën is erg complex en valt daarom buiten de scope van dit programma. In een systeem dat zich richting bos ontwikkelt, zoals een voedselbos, wordt verwacht dat schimmels steeds dominanter zullen worden in de bodem. Schimmels gaan namelijk nauwe samenwerkingsverbanden aan met bomen en prefereren vaak ook een lagere pH (Rousk et al. 2009).

Hoewel er in de nematodendata wel een duidelijke aanwijzing zit voor een hoger aandeel schimmels in zich ontwikkelende voedselbossen t.o.v. akker- en grasland (zie figuur 22), zien we dat nog niet terug in de NIRS bepalingen. Er zit vooral veel variatie in jonge voedselbossen, waardoor een duidelijke trend ontbreekt (zie figuur 25 A en B). Deze variatie kon

niet verklaard worden door verschillen in voormalig landgebruik. Voor alle drie de categorieën (akker, grasland en bos) is de ratio schimmels en bacteriën gemiddeld bijna hetzelfde (zie figuur 22). Evenwel lijkt er onder de oudere voedselbossen een stijgende trend zichtbaar (het relatieve aandeel schimmels neemt toe).



Figuur 25 A en B: Verhouding van bodemschimmels en bacteriën, uitgezet tegen de leeftijd van voedselbossen. Hoe hoger de ratio, hoe groter het aandeel schimmels. A (links) gecategoriseerd per bodemtype en B (rechts) gecategoriseerd per voorgaand landgebruik

Bovengrondse biodiversiteit

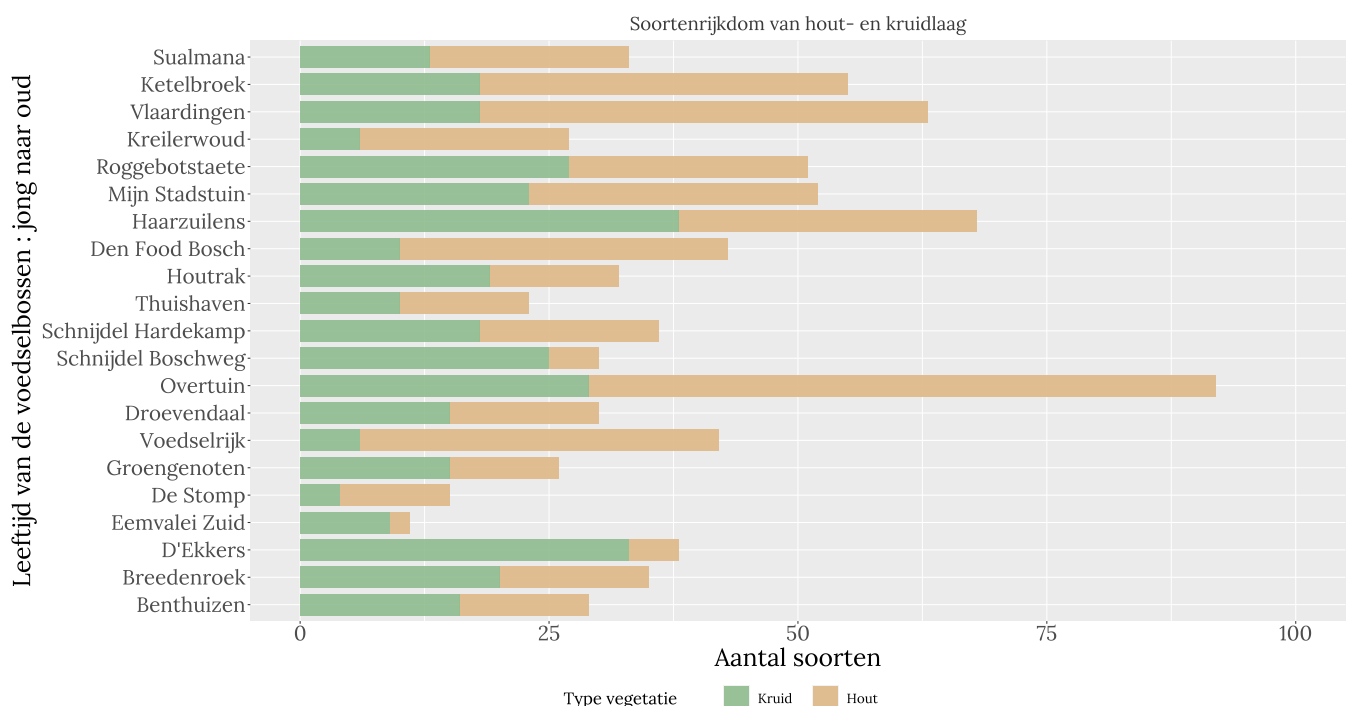
- Hoge diversiteit aan vegetatie, zowel houtig (aangeplant) als kruidig (wild)
- Hoe ouder het voedselbos, hoe hoger de diversiteit aan houtige planten
- Hoe diverser de vegetatie, hoe meer soorten vogels en insecten.
- Hoe diverser de vegetatie, hoe meer koolstof er wordt opgeslagen.

Een voedselbos wordt aangeplant met veel oog voor biodiversiteit. Zo worden er veel verschillende, eetbare en niet eetbare, inheemse en uitheemse bomen en struiken in het systeem gezet. De verwachting is dat deze diversiteit aan ingebrachte vegetatie, ook een hoge diversiteit aan wilde flora en fauna aantrekt zoals insecten, vogels en zoogdieren. Deze steeds hoger wordende biodiversiteit zorgt

voor een veerkrachtig ecosysteem dat beter opgewassen is tegen weersextremen en andere verstoringen, en draagt bij aan ecosysteemdiensten zoals bestuiving en plaagcontrole (Brockerhoff et al, 2017). Binnen het monitoringsprogramma is er tot nu toe onderzoek gedaan naar de diversiteit van planten, vogels en insecten. De voorlopige resultaten presenteren we hier.

Vegetatie

In 2020 zijn in 21 voedselbossen in totaal 168 unieke houtige en 189 kruidachtige plantensoorten waargenomen, gemiddeld 22 houtige en 17 kruidige soorten per voedselbos. Dit is in verhouding tot Nederlandse land- en bosbouwgronden (CBS et al. 2020; Schelhaas et al. 2022) een flinke vooruitgang, terwijl dit slechts een representatie is van de permanente plots (3 tot 6 plots van 10 x 10 meter per voedselbos). Het werkelijke getal zal voor zowel houtige als kruidachtige soorten nog hoger liggen. Opvallend is het hoge aantal houtige soorten van De Overtuin (zie figuur 26). Dit komt



Figuur 26: Soortenrijkdom van de hout- en kruidlaag in 21 voedselbossen gemeten in 2019. Gesorteerd op leeftijd, met oudste voedselbossen bovenin. De data geeft de soortenrijkdom aan, gevonden in de 100m2 plots (3 tot 6 per voedselbos).

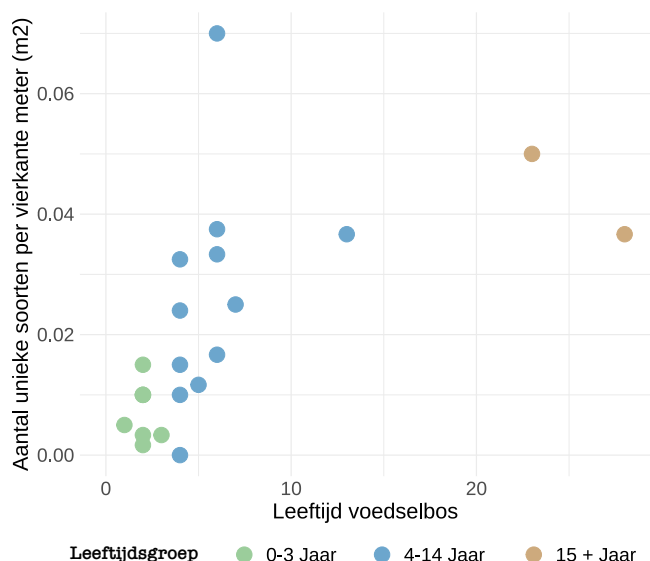
omdat dit voedselbos gevestigd is in een bestaand arboretum. Er is in 2020 voor de diversiteit van houtige gewassen geen significante trend in de tijd gevonden, hoewel het er bij het weglaten van De Overtuin al wel sterk de schijn van heeft: de oudste voedselbossen hebben duidelijk meer soorten dan de jongste bossen (zie figuur 26). In 2022 is opnieuw de soortenrijkdom van houtige soorten bepaald, ditmaal in 22 voedselbossen. Hieruit blijkt wel een positieve correlatie tussen de diversiteit van vegetatie en de leeftijd van het voedselbos (zie figuur 27). Deze positieve relatie betekent dat hoe ouder de voedselbossen, des te meer houtige soorten worden waargenomen. We weten nog niet in welke mate verschillen in geplande diversiteit (het ontwerp) en natuurlijke regeneratie hier invloed op hebben gehad.

Verder is gebleken dat voedselbossen die starten op bosgrond minder diversiteit aan wilde kruiden hebben dan wanneer gestart op akker of grasland (zie figuur 28), maar de diversiteit in deze bossen (op bosgrond) neemt, in ieder geval de eerste jaren, wel toe. Dit komt omdat de meeste soorten kruiden niet gedijen in schaduw, en bij de aanleg van voedselbos

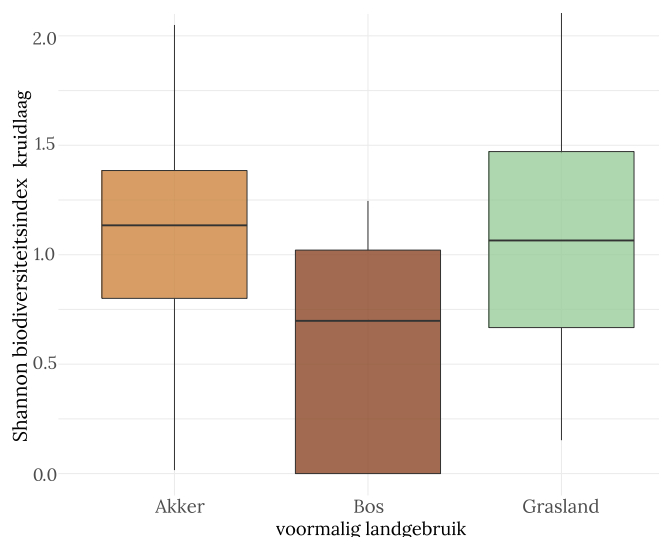
in bestaand bos tijdelijk meer licht wordt gecreëerd door het openmaken van de kruinlaag.

Aan de hand van een complexe multivariate analyse (PCA), blijkt dat leeftijd de samenstelling van de kruidengemeenschap het beste verklaarde, samen met pH en bodemtype. Het lijkt er dus op dat hoewel het aantal soorten kruiden dat samen groeit in een voedselbos misschien weinig verandert, soorten elkaar wel afwisselen met de tijd. Dit proces heet (ecologische) successie en is samen met de toenemende diversiteit aan houtige soorten een teken dat voedselbossen inderdaad steeds meer op een bos gaan lijken. Of ze daarmee ook steeds meer dezelfde diensten zullen produceren als natuurbossen (zoals het opslaan van water, of het beschikbaar maken en recyclen van nutriënten) zal nader moeten blijken. In de zomer van 2023 gaan we opnieuw de diversiteit van de vegetatie (kruidlaag en houtige soorten) onderzoeken.

Tot slot hebben we een positieve correlatie gevonden tussen het aantal plantensoorten en de bovengrondse koolstofopslag in het voedselbos (zie figuur 29). Dit is een mooie eerste indicatie



Figuur 27: De waargenomen individuele soorten (N = 22) in het koolstof onderzoek tegenover het totaal aantal tons opgeslagen koolstof, gemeten in de winter van 2021-2022.



Figuur 28: De biodiversiteit (uitgedrukt met de Shannon index) van de kruidlaag gemeten in de zomer van 2020 (N = 21), uitgezet tegenover de verschillende types voorgaand landgebruik.

dat een hogere biodiversiteit, typisch voor oudere voedselbossen, ecosysteemdiensten zoals koolstofopslag verder kan versterken. Dit effect is al eerder gevonden in natuurlijke bossen (Diaz et al. 2009, Framstad 2013).

Vogels

De diversiteit van vogels is een belangrijke indicator voor de gezondheid van het ecosysteem. De aanwezigheid van vogels is gedurende het broedseizoen van 2021 in 20 voedselbossen gemonitord door middel van geluidsopnameapparatuur (zogenaamde AudioMoths). In totaal werden er 106 verschillende soorten waargenomen, gemiddeld 27 per voedselbos, waarvan verreweg de meeste soorten insecteneters waren (zie figuur 30). Dit is een sterke indicatie dat het voedselbos een goede habitat biedt voor veel insecten en daardoor deze vogels aantrekt, maar dient met nader insectenonderzoek hard gemaakt te worden.

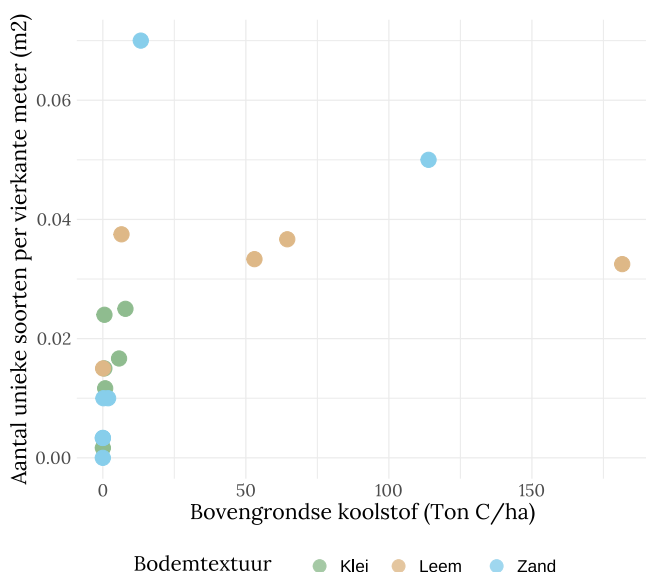
Verder is gebleken dat bossen rijker aan vegetatiesoorten ook meer soorten vogels

aantrekken (zie figuur 31). Dit vormt een eerste indicatie dat de aanplant van veel soorten bomen in voedselbossen inderdaad meer soorten dieren, in dit geval vogels, aantrekt. In andere agroforestry systemen is al eerder aangetoond dat er meer vogels aangetrokken worden door een hoge diversiteit aan bomen (Udawatta et al., 2019).

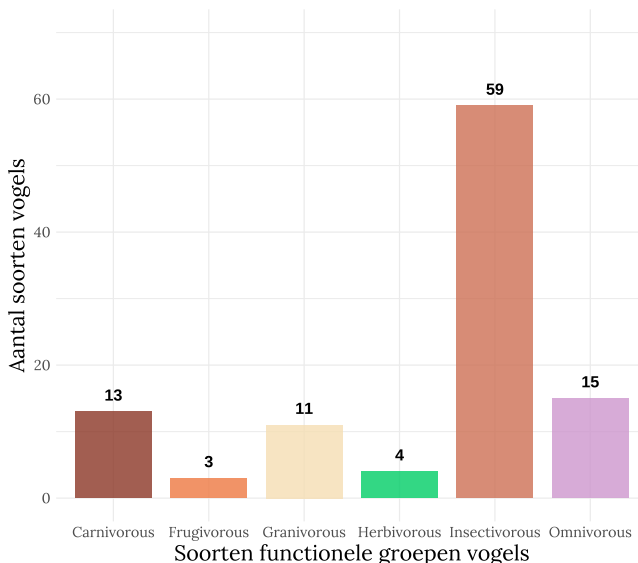
Verder hadden ook de fractie vruchtdragende bomen, de gemiddelde boomhoogte en de aanwezigheid van water in een straal van 500 meter een positieve invloed op de soortenrijkdom, maar minder groot dan de diversiteit van de vegetatie.

Insecten

Insecten vervullen tal van functies, zoals bestuiving en plaagbestrijding, en vormen belangrijk voedsel voor veel andere soorten dieren. Een gezond ecosysteem heeft dus een hoge diversiteit aan insecten, maar het aantal en de rijkdom van insecten is op het Europese platteland juist enorm achteruitgegaan, met mogelijk desastreuze gevolgen voor de maatschappij (Habel et al. 2019). Voedselbossen kunnen dit tij wellicht keren, door



Figuur 29: Aantal unieke houtige plantensoorten (N = 22 voedselbossen) tegenover het totaal aantal tons opgeslagen koolstof, gemeten in de winter van 2021-2022

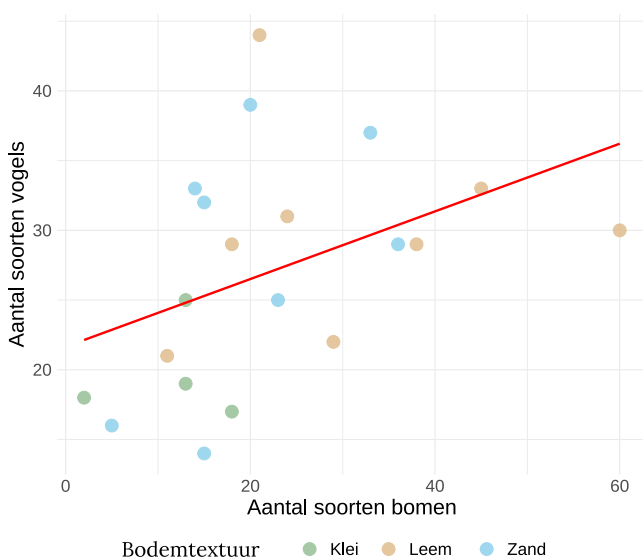


Figuur 30: Weergave van de verschillende vogelsoorten die zijn gevonden in de zomer van 2021 (N=20), gerangschikt o.b.v. het type vogel (dieet).

een aantrekkelijke habitat te bieden. Insecten zijn evenwel de meest talrijke soortgroep op aarde en goed onderzoek vereist het nodige geduld en veel expertise.

Binnen het NMVB is er tot nu toe onderzoek gedaan naar kruipende insecten en vlinders. Voor beide groepen is er in 2020 een eenmalige quickscan in voedselbossen uitgevoerd, met behulp van respectievelijk potvallen en monitoringsroutes. De belangrijkste conclusie uit beide onderzoeken is dat herhaaldelijke monitoring gedurende het seizoen cruciaal is voor betrouwbare resultaten, hierdoor vermindert de ruis van invloeden zoals weersomstandigheden. Tevens is er een grotere selectie voedselbossen nodig. Desondanks zijn er de eerste inzichten die in de komende alinea's worden beschreven.

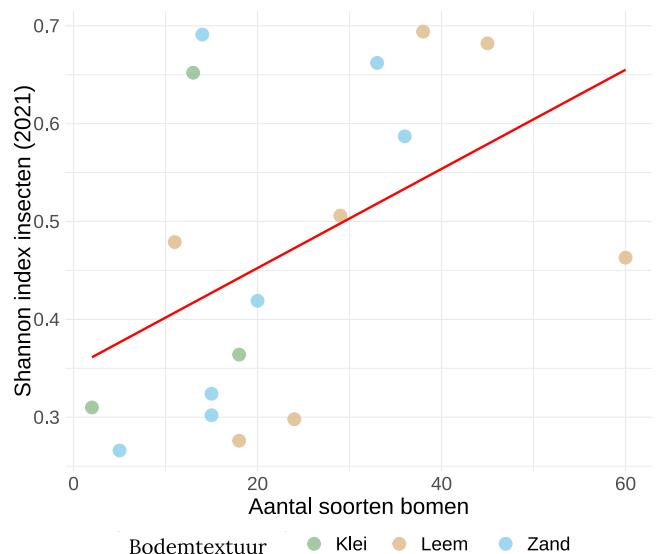
Er zijn 154 kruipende insecten gevonden over 23 families bij het plaatsen van de potvallen in 18 voedselbossen. Het aantal families lijkt toe te nemen met de leeftijd van het voedselbos, maar deze trend is niet significant. Wel hebben we een significante link waargenomen tussen de diversiteit aan kruipende insecten en planten (zie



Figuur 31 : De trendlijn tussen het aantal gevonden vogelsoorten tegenover de soortenrijkdom van de bomen. $R^2 = 0.174$, $p < 0.01$, $n = 20$.

figuur 32), wat wederom bevestigt dat de steeds rijkere vegetatie die voedselbossen kenmerkt ook steeds meer fauna aantrekt.

In de meetrondes voor vlinders zijn 434 vlinders gevonden van 15 soorten in 13 voedselbossen. Voor de monitoring was gebruik gemaakt van het nationale meetnet van de Vlinderstichting, waardoor volgens protocol aan bepaalde weersomstandigheden voldaan moet worden om een monitoring uit te mogen voeren. Hierdoor werd een deel van de metingen ongeldig, en was de overgebleven data te beperkt voor een robuuste analyse. Om betere kwaliteit data te verzamelen, is vanuit het NMVB gestart met een lange-termijn gestandaardiseerd monitoringsplan voor dagvlinders in samenwerking met de Vlinderstichting. In deze nieuwe opzet kunnen vrijwilligers van de Vlinderstichting of voedselbouseigenaren zelf de monitoring wekelijks of tweewekelijks uitvoeren gedurende het monitoringsseizoen. Om de kwaliteit van de metingen te waarborgen worden de voedselbouseigenaren begeleidt in het herkennen van de vlinders. De eerste resultaten hiervan hopen we eind 2023 te kunnen presenteren.

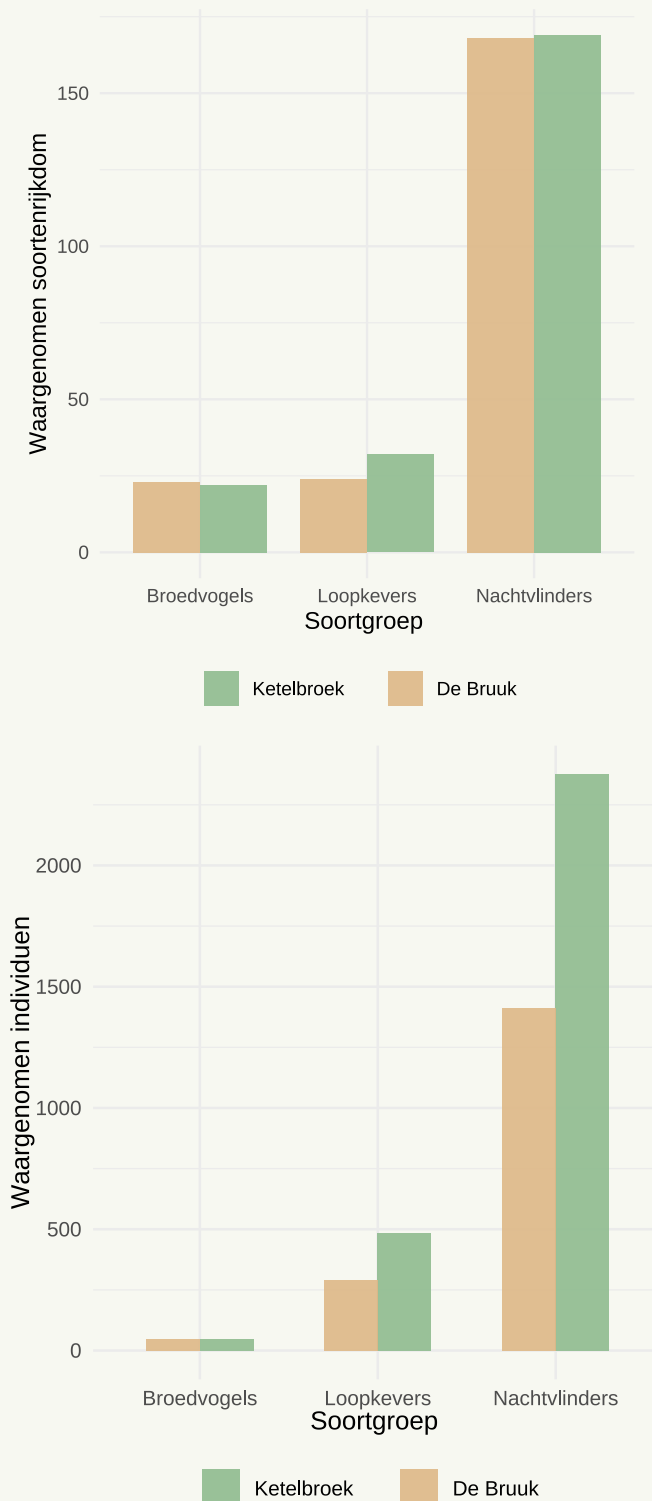


Figuur 32: De trendlijn tussen de shannon biodiversiteitsindex van kruipende insecten tegenover de soortenrijkdom van de bomen. $R^2 = 0.37$, $p < 0.01$, $n = 17$.

Case Study: Ketelbroek

In een van de oudste voedselbossen van Nederland, Ketelbroek in Groesbeek, is een uitgebreid onderzoek naar de biodiversiteit uitgevoerd in de zomer van 2016 (Breidenbach et al., 2017). Dit onderzoek is geen onderdeel van het NMVB, maar wel een voorloper en directe aanleiding geweest hiervoor. De soortenrijkdom en abundantie van broedvogels, macronachtvlinders en loopkevers is vergeleken met een nabijgelegen loofbos (de Bruuk). Deze studie vond dat het slechts 7 jaar oude ketelbroek een net zo hoge biodiversiteit had als het natuurgebied De Bruuk (zie figuur 33). Dit laat zien dat een voedselbos de biodiversiteit van een Nederlandse natuurgebied kan evenaren. Belangrijk om te vermelden is dat Ketelbroek in dit stadium al productief was en er werd geoogst en verkocht. Het is dus mogelijk in een voedselbos om voedsel te produceren en tegelijkertijd evenveel biodiversiteit te herbergen als een systeem dat puur beheerd wordt voor natuurdoeleinden.

Onderzoek biodiversiteit voedselbos Ketelbroek



Figuur 33. Biodiversiteitsonderzoek in voedselbos Ketelbroek, destijds zeven jaar oud, uitgevoerd in 2016, en een aangelegen loofbos (de Bruuk). Zie Breidenbach et al. (2017) voor volledig onderzoek.

Koolstof

- **Bovengronds** lijkt na 30 jaar een opslag van tussen de 50 en 150 ton koolstof (C) per hectare realistisch, omgerekend tot 180 tot 550 ton CO₂ per hectare.
- Voedselbossen kunnen waarschijnlijk net zo veel koolstof opslaan als Nederlandse bossen.
- **Ondergronds** is er veel variatie per voedselbos, mede door voorgaand landgebruik en bodemtypes. Nader onderzoek is nodig.
- We verwachten een netto (boven- en ondergronds) positieve koolstofopslag voor voedselbossen van minimaal 50 ton koolstof per hectare na 30 jaar, wat gelijkstaat aan 180 ton CO₂ per hectare en 6 ton CO₂ per hectare per jaar.

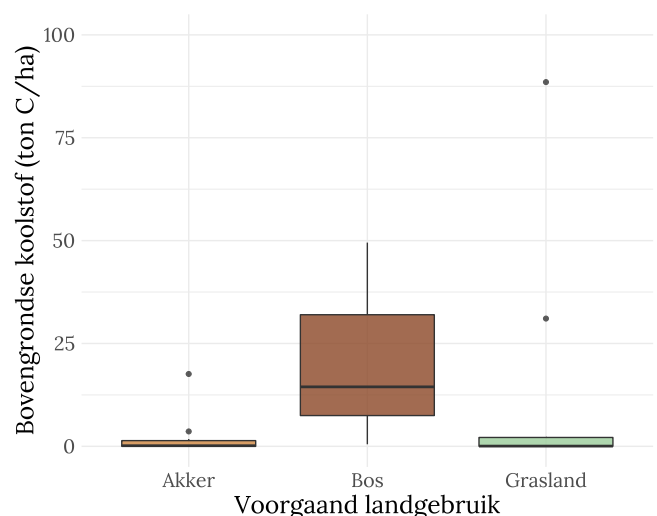
Koolstof wordt in planten vastgelegd door middel van fotosynthese. Via dit proces wordt er enerzijds in de levende biomassa (hout) koolstof opgeslagen, zowel bovengronds als ondergronds (wortels), anderzijds wordt er koolstof opgeslagen in het bodem organisch materiaal. Hierbij is van belang te begrijpen dat voorafgaand aan het aanleggen van een voedselbos natuurlijk ook al organisch materiaal in de bodem is opgeslagen (mogelijk van duizenden jaren oud), maar dat dit door bodemverstoringen (bijvoorbeeld ploegen) kan afnemen. Door de aanplant van bomen en struiken in voedselbossen en het met rust laten van de bodem (niet ploegen en geen zware machines of hoge dichtheden vee), wordt verwacht dat de totale hoeveelheid opgeslagen koolstof zich opbouwt, zowel bovengronds als ondergronds. Om dit te

kunnen verifiëren, is zowel de bovengrondse biomassa en het organische stofgehalte van de bodem gemeten, in 21 voedselbossen in 2020 en 22 voedselbossen in 2022.

Bovengrondse koolstofopslag

De hoeveelheid koolstof opgeslagen bovengronds neemt significant toe met de leeftijd. Er wordt een exponentiële groei waargenomen vanaf 5 jaar. Voedselbossen die voorheen bos waren, hadden bij aanvang al een flinke bovengronds koolstofvoorraad en zijn daarom uitgesloten in deze analyse (zie figuur 34).

In figuur 35 is zichtbaar dat een opslag van 50-150 ton bovengrondse koolstof per hectare na 30 jaar reëel lijkt voor voedselbossen. De voedselbossen hebben meerdere meetpunten in de grafiek volgens de verschillende plots per voedselbos, hierdoor is de variatie goed zichtbaar. Doordat voedselbossen heterogeen zijn, geven de random geselecteerde plots verschillende resultaten weer. Het oudste



Figuur 34. Bovengrondse koolstofopslag in voedselbossen van verschillende leeftijden, gecategoriseerd in drie types voormalig landgebruik (akker, bos, grasland).

voedselbos heeft in 28 jaar gemiddeld 88.5 ton C/ha vastgelegd. Aangezien er slechts twee voedselbossen ouder zijn dan 20 jaar, is er nog weinig duidelijk over wanneer de groei afneemt. De data impliceert dat een voedselbos na 30 jaar 180 tot 550 ton CO₂/ha zou kunnen opslaan in de bovengrondse biomassa.

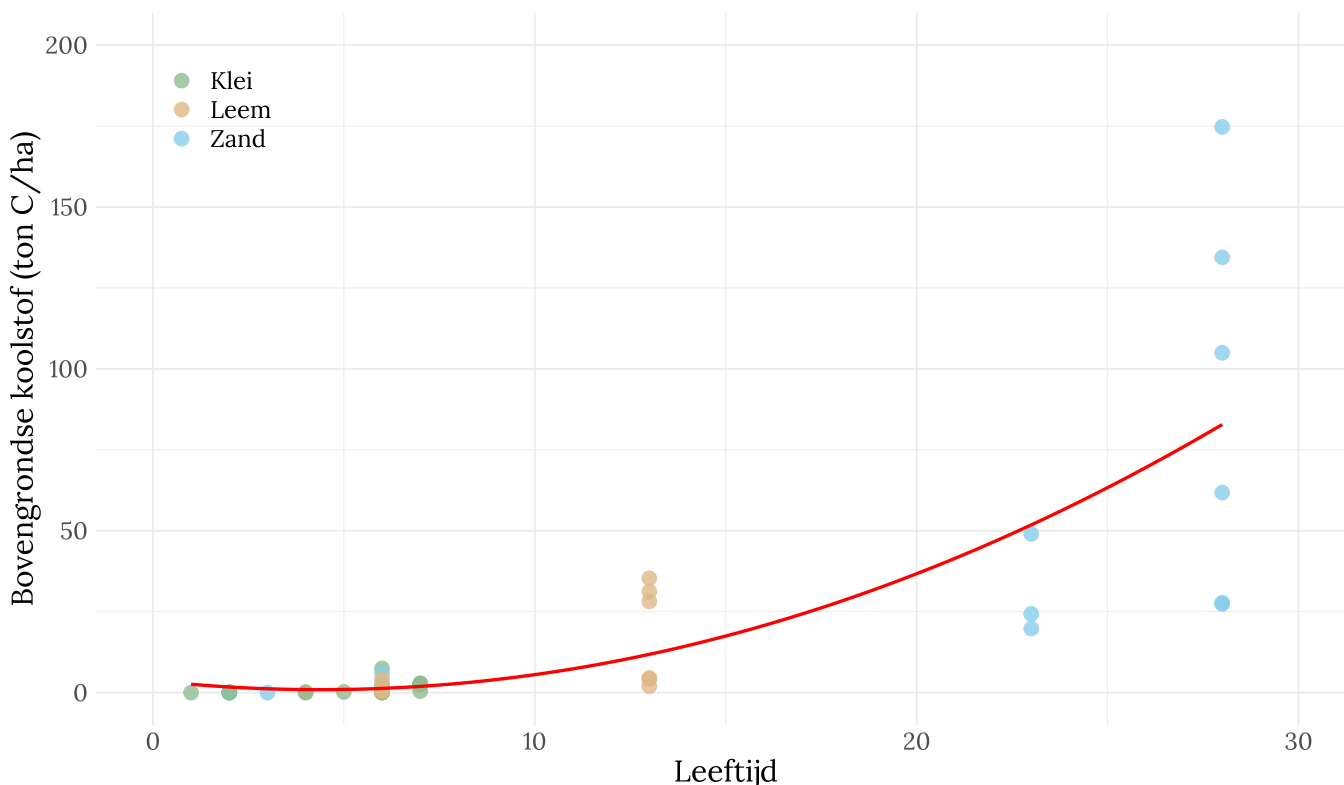
De twee oudste voedselbossen binnen het NMVB staan allebei op zandgrond op voormalige akkers. We verwachten dat de groei op rijkere leem- en kleigronden hoger is en dus dat de koolstofvoorraad sneller opbouwt, en we verwachten ook verschillen in groei tussen voormalige akkers en graslanden. We kunnen dit echter nog niet uit de data afleiden.

In Engeland is in een 23-jarig voedselbos een bovengrondse opslag van 35 ton C (130 ton CO₂) per ha gevonden (Schafer et al. 2019), wat dus goed aansluit bij onze bevindingen. In de huidige akkers en graslanden is de netto bovengrondse opslag 0, er wordt immers jaarlijks gemaaid en/of geploegd.

Verwarring 'C' en 'CO₂'

Een grote bron van verwarring ontstaat bij het door elkaar gebruiken van C (koolstof) en CO₂ (Koolstofdioxide). CO₂ is een gas dat door planten wordt opgenomen uit de lucht, maar dat wordt omgezet in andere koolstofhoudende verbindingen. De fractie van C in CO₂ is de verhouding van het molecuulair gewicht, namelijk 44/12 (CO₂ / C). Er zit daarom 1 ton C in 3.67 ton CO₂. In het onderzoek meten we de koolstof, wat daarom met factor 3.67 vertaald kan worden naar CO₂, belangrijk voor in het klimaatbeleid.

In Nederlandse bossen wordt gemiddeld 59 ton C (216 ton CO₂) in bovengronds biomassa per hectare gevonden, met een leeftijd van gemiddeld 50 jaar (Nabuurs & Mohren, 1993). Voor bossen tot 120 jaar



Figuur 35. Bovengrondse koolstofopslag in 19 voedselbossen binnen het monitoringsprogramma, voedselbossen met voorgaand landgebruik 'bos' zijn niet meegenomen in de weergave.

hebben Sikkema & Nabuurs (1994) tot 200 ton C/ha gevonden. We hebben zelf ook 6 Nederlandse volwassen loofbossen gemeten (preciese leeftijd onbekend, naar schatting minimaal 50 jaar) met een gemiddelde van 173 ton C/ha, en 106 ton C/ha op zand. De koolstofvoorraad in het oudste voedselbos op zand (28 jaar) is 88.5 ± 34 ton C/ha, en ligt dus niet ver onder het referentiebos, terwijl dit bos waarschijnlijk veel ouder is. We kunnen concluderen dat de bovengrondse koolstofopslag in voedselbossen in de eerste decennia niet onderdoet voor andere bossen en dat er dus enorme potentie zit in koolstofopslag op de lange termijn. De variatie en context tussen (voedsel)bossen zal beter onderzocht moeten worden om de potentie van bovengrondse koolstof nauwkeuriger te bepalen, vooral op de lange termijn.

Voedselbossen maken, in tegenstelling tot natuur- of productiebossen, veel gebruik van hagen, terwijl deze verhoudingsgewijs niet goed worden meegenomen in de bemonstering (ze vallen meestal buiten de plots omdat ze aan de randen staan). Uit een aparte meting van de hagen blijkt dat ze in verhouding zeer veel koolstof opslaan, nadrukkelijk in de beginjaren van het voedselbos, door de hoge dichtheid van bomen/struiken. De werkelijke bovengrondse koolstofvoorraad van voedselbossen is inclusief hagen dus nog groter.

Bodem organisch koolstof (ondergronds)

De opslag van koolstof in de bodem is een lastig en nog weinig begrepen onderwerp, wat aan veel verschillende factoren onderhevig is. Omdat de potentie van koolstofopslag in de bodem enorm is, is het van groot belang er wel goed naar te kijken.

In de winter van 2021/2022 zijn we begonnen met metingen van zowel bodemorganisch materiaal en bodemdichtheid, om zo de voorraad bodemkoolstof te kunnen bepalen. Zoals zichtbaar in figuur 36, bevat het bodem organisch materiaal veel meer koolstof dan jonge voedselbossen opgeslagen hebben in levende biomassa, terwijl het erg weinig zegt over het relatieve aandeel van het voedselbos hierin. De voorraad bodemkoolstof is voor jonge voedselbossen immers vooral het netto resultaat van eerder landgebruik. Dit is belangrijk om rekening mee te houden in de bepaling van de totale koolstofvoorraad.

Er is een hoge variatie in de metingen, zowel binnen als tussen de verschillende bodemtexturen en voormalig landgebruik. Hierdoor zijn trends over de tijd nog niet zichtbaar. We verwachten dat voedselbossen op voormalige akkers al snel netto koolstof zullen opslaan in de bodem. Uit een eerdere studie bij voedselbos Ketelbroek zien we een verdubbeling van het organisch materiaal in de bovenste 5cm grond in 10 jaar tijd (Rebisz, 2019). Voor de conversie van blijvend grasland, waar hoge hoeveelheden C in de bodem kunnen worden opgeslagen (Lesschen et al. 2019), ligt het ingewikkelder. Volgens eerdere studies kan het zijn dat de bodem in de beginjaren van het voedselbos wat organische koolstof verliest, bijvoorbeeld door de lichte verstoring (aanplant) en het wegvallen van dierlijke mest, maar deze kan op de lange termijn weer opbouwen naar een uiteindelijk netto positieve verandering (Poeplau et al. 2011). Hoe het voor Nederlandse voedselbossen zal uitpakken, zal pas op langere termijn blijken.

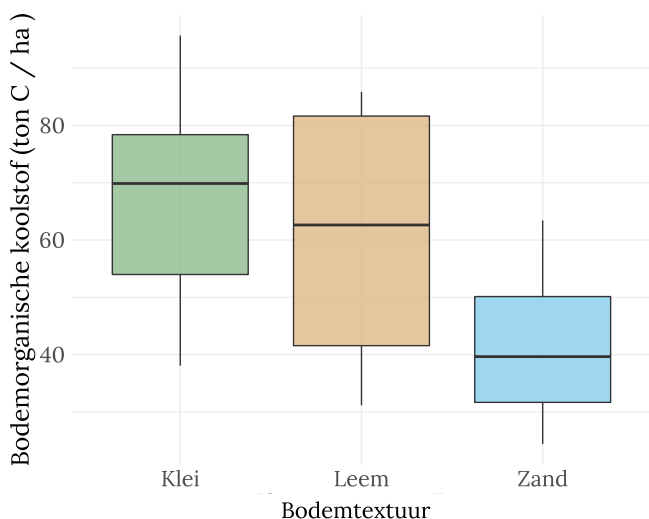
We vonden al wel dat voor alle voedselbossen in zandbodems gemiddeld significant minder koolstof ligt opgeslagen dan in leem- en kleibodems (zie figuur 36), wat overeenkomst met eerdere studies (Arets et al., 2014). In de huidige dataset is nog geen trendlijn zichtbaar over de verschillende leeftijden (zie figuur 37), door aankomende jaren te blijven monitoren kunnen we zien hoe dit over tijd per voedselbos verandert.

Op basis van de huidige bevindingen, schatten we een netto positieve koolstofopslag in voedselbossen van minimaal 50 ton per hectare in 30 jaar, omgerekend 180 ton CO₂ per hectare, 6 ton CO₂ per hectare per jaar. De bovengrondse koolstof neemt elk jaar toe en ondergronds is er zeker op lange termijn geen afname te verwachten. Dit is evenwel een conservatieve schatting, omdat de koolstof in de bodem ook kan opbouwen (zeker bij conversie van akkers), en de koolstof opgeslagen in ondergrondse biomassa (wortels), de kruidlaag, dood hout, strooisel nog helemaal niet en van hagen

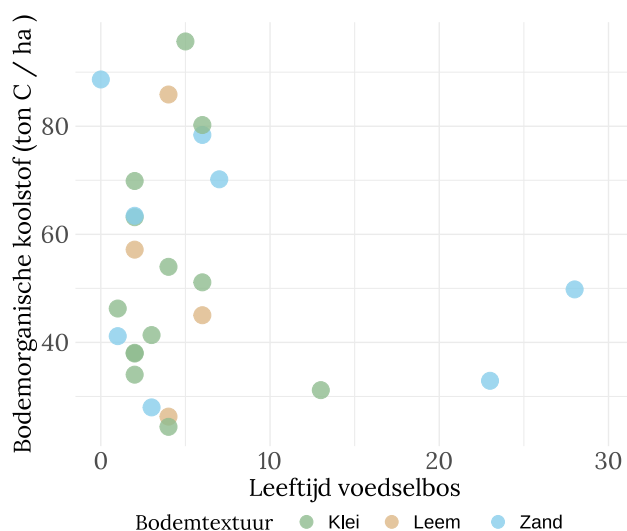
Carbon Credits

De verwachte netto koolstofopname van voedselbossen zou met de groeiende aandacht voor koolstofcompensatie gebruikt kunnen worden als extra inkomstenbron. Boeren die voedselbossen willen beginnen, kunnen de hoeveelheid koolstof die zij verwachten op te slaan (het aantal carbon credits) verkopen als 'certified credits' aan bedrijven of organisaties die hun uitstoot willen compenseren. Dit kan helpen om de hoge startkosten van een voedselbos te financieren.

slechts beperkt is meegenomen. Bovendien staan de twee oudste voedselbossen op arme zandgrond. We verwachten een snellere groei van biomassa op de rijkere gronden. Voedselbossen kunnen dus een belangrijke bijdrage leveren aan het opslaan van koolstof in de landbouw.



Figuur 36. Bodemorganische koolstof op basis van het organisch stof gehalte en de bodemdichtheid (N=25).



Figuur 37. Bodemorganisch koolstof (N=25) uitgezet tegen de leeftijd.

Economisch en Sociaal

- Vanaf drie jaar na aanleg lijkt de oogst elk jaar toe te nemen
- Een netto saldo van €3500 per hectare is haalbaar
- Gebruiksvriendelijke en snelle tools, ruime persoonlijke ondersteuning en consistente monitoring zijn nodig voor betrouwbare agronomische data.
- De voedselbosbeweging vindt natuur en biodiversiteit belangrijker dan geld verdienen
- Beheerder, vrijwilligers en overige betrokkenen hebben middels het voedselbos veel nieuwe sociale contacten opgedaan

Economisch

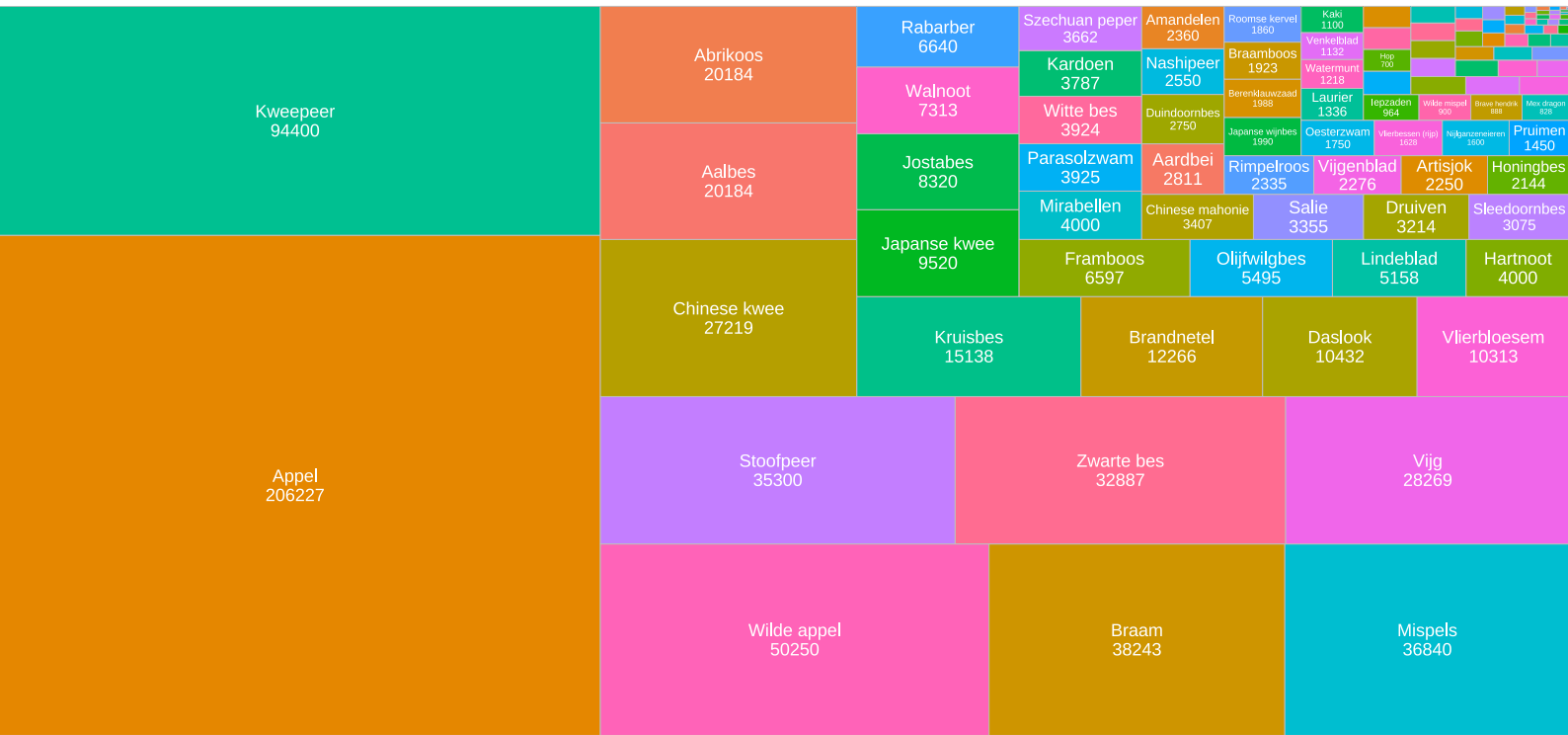
Hoewel er grote vraag is naar praktijkcijfers betreft de investeringen en opbrengsten van voedselbossen, is het bijzonder uitdagend gebleken om dit nauwkeurig en gestandaardiseerd bij

te houden. De ontwikkeling van diverse online tools en modellen heeft hier nog weinig verschil in kunnen maken. Dit komt onder meer door de agronomische en bedrijfstechnische diversiteit (van plukabonnement voor een vaste prijs tot levering aan restaurants), maar ook door het feit dat de meeste voedselbossen nog jong zijn (en geen oogst hebben) en dat de capaciteit voor gedegen en gestandaardiseerde agronomische monitoring, die om extra administratie vraagt, veelal ontbreekt. Desondanks is één voedselbos de afgelopen jaren al nauw bezig geweest met het monitoren van meer dan 100 verschillende soorten (zie jaarverslag Lekkerlandgoed 2022).

In voedselbos LekkerLandgoed is de afgelopen vier jaar de oogst gemonitord. Lekkerlandgoed is ca. 5 ha groot en vanaf 2016 aangelegd in 5 delen (elk jaar een nieuw deel) op een zware kleigrond. De oogst komt hoofdzakelijk van de eerste twee delen (aangelegd in 2016 en 2017), gezamenlijk circa 0.75 hectare.

In 2022 zijn ten minste 106 verschillende soorten geoogst. In figuur 38 is zichtbaar hoe de verdeling

Figuur 38. Visuele weergave van de oogst van 2022 in voedselbos Lekker Landgoed, uitgedrukt in gram. De blokken zijn geschaald naar de grote van de oogst.

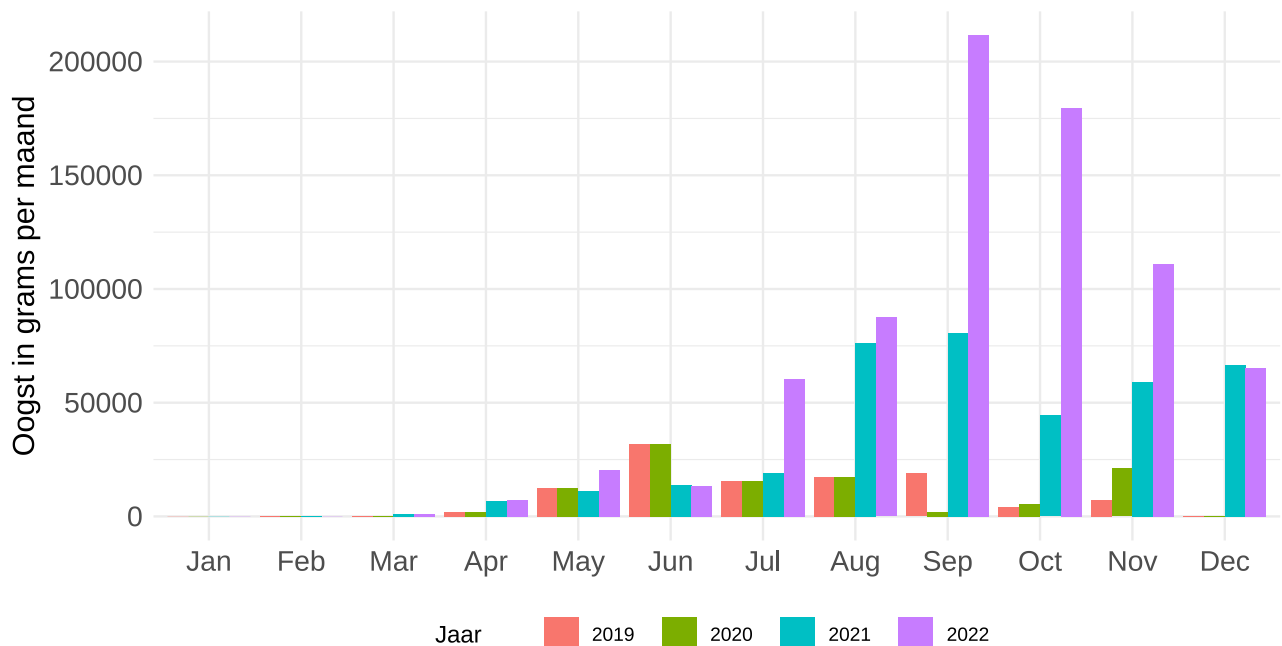


is ten opzichte van gewicht, waarin de grote vruchten (appels en peren) domineren, dan de bessen en daarna kruiden. Tevens is zichtbaar dat er langzaam steeds meer eiwitbronnen zoals zwammen en noten, bijvoorbeeld amandel, hartnoot en walnoot, zijn geoogst. Daarnaast is er een weergave van de oogst gedurende het jaar (zie figuur 39 en 40), waarin we zowel zien hoe de oogst in soorten en gewicht elk jaar en dat vanaf juli tot november verhoudingsgewijs veel kilo's oogst genereert, door het grootfruit en de noten. In het voorjaar zijn juist veel soorten oogstbaar, maar dit zijn voornamelijk kruiden en meerjarige groenten en die geven verhoudingsgewijs weinig gewicht. Deze data illustreert goed hoe de jaarlijkse oogst toeneemt, maar door het jaar heen wel wisselt en dat een langere oogstperiode, indien gewenst, mogelijk is.

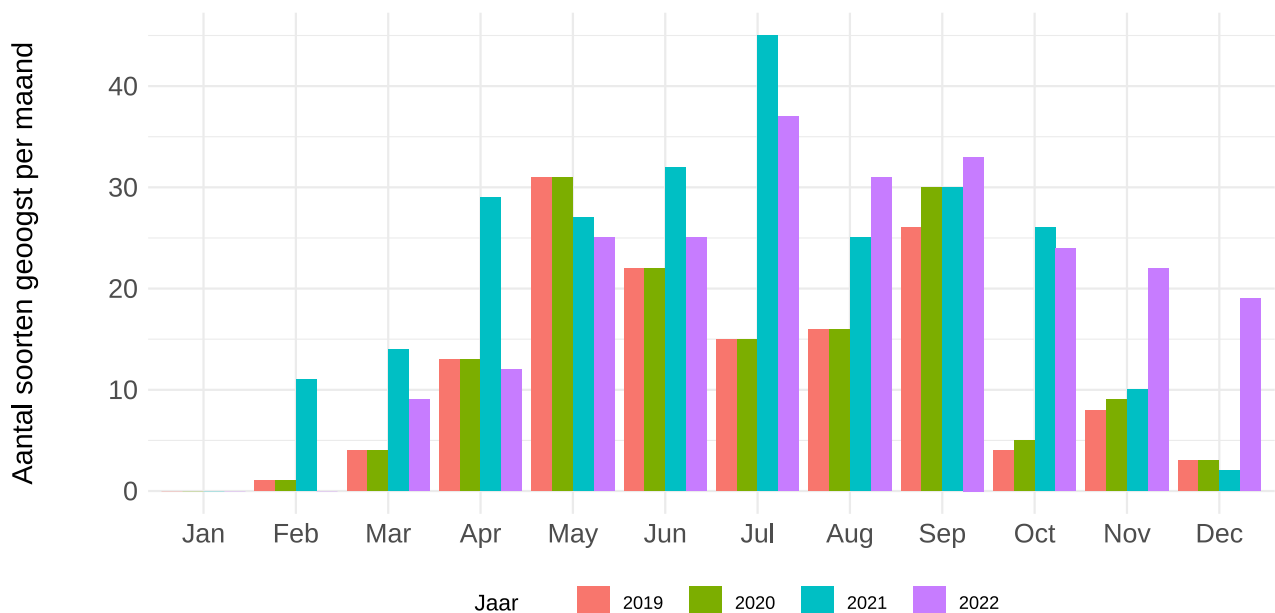
Daarnaast zijn de inkomsten uit voedselproductie in haarzuilens in 2021 en 2022 circa 4000 euro per jaar (zie Schrama & Degenaar, 2022), behaald uit plukabbonementen en losse verkoop, wat bijna geheel uit de oudste percelen komt (circa 0.75 ha).

In 2021, 11 jaar na aanplant, was het netto saldo van Ketelbroek €3500 per hectare, ruim boven het gemiddelde van bijv. granen, snijmais en grasland, en gelijk aan zaaiuien (Agrimatie, 2021). Inkomsten werden verkregen uit de verkoop van voedsel aan een restaurant, een brouwerij en de Ekoplaza.

Van arbeidsinvestering hebben we helaas nog nauwelijks data. We gaan in 2023 verder met het ontwikkelen van de monitoring op dit gebied en hopen door meer persoonlijke en groeiende aandacht voor het thema meer consistente datacollectie van veel meer voedselbossen te verkrijgen.



Figuur 39. Oogst van 2022 (paars) in voedselbos Lekker Landgoed, uitgesplitst in de totale oogst in grammen, vergeleken met eerdere jaren. De oogst (in gram) in de zomer en het najaar steeds hoger wordt. Dat is grotendeels te verklaren door de oogst van kruiden en groenten, in het voorjaar en steeds grotere oogsten van vruchten in het najaar.



Figuur 40. Oogst van 2022 (paars) in voedselbos Lekker Landgoed, uitgesplitst in het aantal gewassen geoogst per maand, vergeleken met eerdere jaren. Het aantal verschillende soorten is in het voorjaar (t/m juni) erg hoog, terwijl de oogst (in gram) in de zomer en het najaar steeds hoger wordt. Dat is grotendeels te verklaren door de oogst van kruiden en groenten, in het voorjaar en steeds grotere oogsten van vruchten in het najaar.

Sociaal

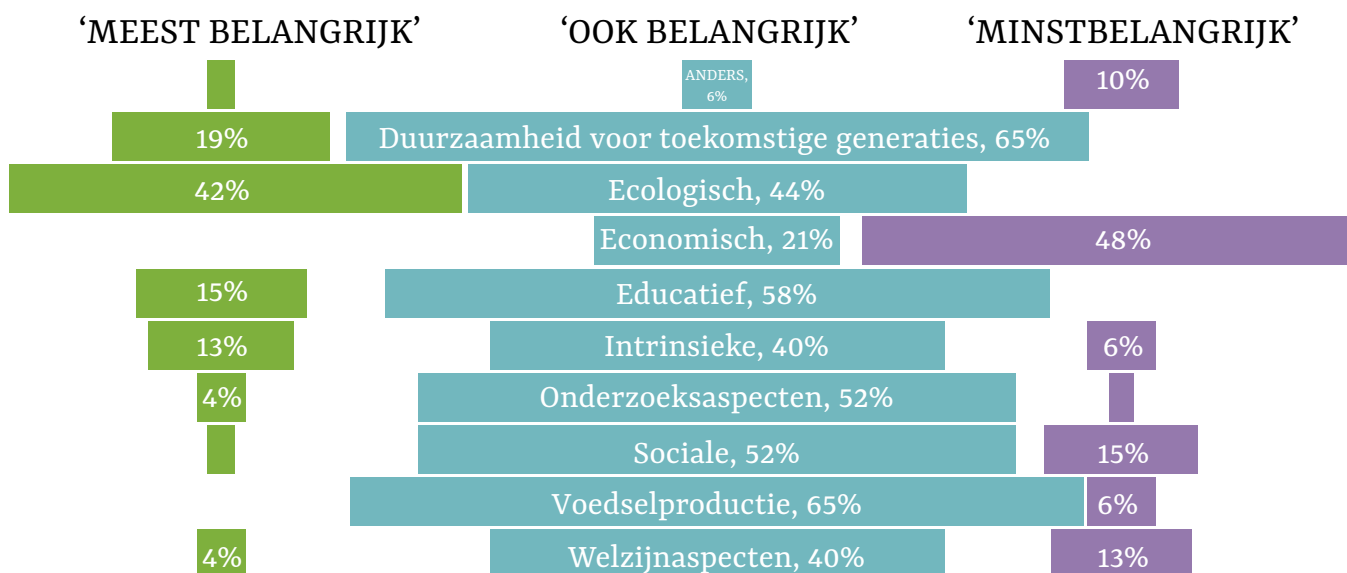
Uit een uitvoerige enquête in 2021 onder 48 belanghebbenden van 24 voedselbossen, kwam nadrukkelijk naar voren dat onder alle groepen belanghebbenden (van initiatiefnemer tot afnemer) ecologische en sociale motieven de belangrijkste aspecten zijn, terwijl de economische aspecten het minst belangrijk werden gevonden (zie figuur 41). Dit geeft aan dat de pioniers minder economisch gedreven zijn. Dat is niet verwonderlijk, er is immers nog nauwelijks bewijs voor een verdienmodel. Daarnaast is belangrijk om te beseffen dat een deel van de participanten het produceren van voedsel op commercieel niveau niet als hoofddoel hebben, maar eerder inzetten op educatie en beleving. In de afgelopen drie jaar is er evenwel een verschuiving gaande, omdat er steeds meer (grootschalige) voedselbossen starten met de focus op commerciële voedselproductie. De voedselbossen die zich na dit onderzoek (sinds 2021) aan het monitoringsprogramma hebben toegevoegd, hebben gemiddeld al meer focus op

productie.

Het ondergeschikte belang van geld verdienen voor de pioniers enerzijds en de lange opstarttijd anderzijds verklaart ook mede dat onderzoek naar het verdienmodel op dit moment nog uitdagend is.

Tot slot is uit de enquête gekomen dat elke groep belanghebbende veel nieuwe contacten heeft opgedaan, variërend van 10 tot soms wel 80 nieuwe contacten. Dit is niet verrassend, gegeven dat in veel voedselbossen groepen vrijwilligers en/of klanten regelmatig samen komen om te werken, oogsten en genieten. Dit is dus een belangrijk onderdeel van de groeiende beweging. Het versterkt de sociale cohesie en helpt mensen niet alleen om meer in verbinding te komen met elkaar, maar ook om te bewegen en in contact te komen met hun leefomgeving, met veel positieve gevolgen van dien (Biglan et al. 2012). Hoewel niet eenvoudig vast te leggen, is het samen aanplanten van een voedselbos waarschijnlijk dus al de eerste “oogst” van positieve effecten op het menselijk welzijn.

Figuur 41. Waardes van verschillende groepen belanghebbenden (N=48), van eigenaar en vrijwilliger tot afnemer.



Toekomstig onderzoek

In dit rapport zijn de resultaten gepresenteerd van de eerste drie jaar monitoring van het Nationaal Monitoringsprogramma Voedselbossen (NMVB). Het feit dat dit programma door een maatschappelijke beweging is gestart en nu gestaag doorgaat, met een groeiend netwerk en enthousiasme is een mooi resultaat. In drie jaar tijd zijn we gegroeid van 19 naar 33 deelnemende voedselbossen, en hebben 17 studenten hun thesis of stage gedaan in samenwerking met het programma. Daarin zijn de eerste inzichten naar voren gekomen. Desalniettemin staan we nog steeds aan de wieg van het wetenschappelijke onderzoek naar voedselbossen in Nederland (en gematigde klimaatzones in het algemeen).

De complexiteit, schaal en beperkte beschikbaarheid van middelen en capaciteit maakt dat veel indicatoren nog maar 1 of 2 keer zijn onderzocht. Hierdoor zijn directe veranderingen in situ nog nauwelijks meetbaar. Ook zijn er meer en hoogwaardigere referentiedata nodig van bossen, graslanden en akkers om de resultaten beter in perspectief te kunnen zetten. We moeten benadrukken dat voedselbossen een meerjarig en traagontwikkellend systeem vormen, dat om langjarig onderzoek vraagt om eventuele trends zichtbaar te maken. Verder zijn er door de inherente complexiteit van voedselbossen ontzettend veel onderwerpen te onderzoeken. Hieronder doen we een aanzet als aanvulling op de onderzoeksresultaten tot dusver:

Bodem

Bodemprocessen zijn in de wetenschap in het algemeen nog een black box, laat staan in voedselbossen. We zien een enorme variatie tussen de verschillende bodems (onder voedselbossen), die voor nadere duiding vraagt om meer context, precisie en herhaling. Op die manier kunnen we beter inzichtelijk maken of bijvoorbeeld de compactie over de tijd afneemt, het waterbufferend vermogen toeneemt, hoe het bodemvoedselweb zich ontwikkelt – hiervoor zouden we naast regenwormen ook graag naar andere macrofauna kijken zoals potwormen en mijten - of en hoe organische stof zich opbouwt en hoe de nutriëntenbeschikbaarheid voor planten zich ontwikkelt.

Biodiversiteit

Het monitoren van biodiversiteit vraagt veel aandacht, geduld en specialisme, zeker in een complexe en dynamische omgeving als een voedselbos. Langdurig frequent onderzoek is nodig om door de ruis zoals van weersomstandigheden heen te kunnen kijken. Daarom zijn we vanaf begin 2023 gestart met een samenwerking met de Vlinderstichting, voor wekelijkse metingen door getrainde vrijwilligers gedurende het seizoen. Het vogelonderzoek zouden we graag voortzetten voor het monitoren van trends in de tijd en uitbreiden met referentieplots en meer landschappelijke context, om te achterhalen in hoeverre vogels daadwerkelijk meer voorkomen in voedselbossen dan in aangelegen gebieden. Ook zouden we graag aandacht besteden aan de relatie tussen inheemse en exotische plantensoorten en hun geassocieerde biodiversiteit (vogels, insecten, schimmels, etc.), gezien het maatschappelijk debat hierover. Later in 2023 gaan we nog een uitbreiding doen van het

vegetatieonderzoek, voor zowel kruid- als houtige soorten. Ook zouden we de monitoring willen uitbreiden naar zoogdieren middels cameravallen. Tot slot zouden we graag meer doen met DNA gebaseerde technieken, die de identificatie van complexe groepen zoals insecten en het bodemleven kan versnellen en vergemakkelijken.

Koolstof

Meer onderzoek is nodig voor een duidelijker beeld van de variatie en lange termijn ontwikkeling van koolstofopslag in voedselbossen bovengronds, maar voornamelijk ook ondergronds, en in vergelijking met natuurlijke bossen en houtplantages. Daarmee wordt duidelijker op welke manier de bodem, het voorgaand landgebruik en ontwerp- en beheerkeuzes impact hebben op de koolstofopslag. Zo kunnen we beheer gericht op meer koolstofopslag beter informeren. De grote potentie voor koolstofopslag in voedselbossen die onze resultaten impliceren, spreekt ook voor meer praktijkonderzoek naar combinaties tussen voedsel- en biomassaproductie, voor meer hout en biobased materialen zonder verlies van landbouwareaal.

Verdienmodel

Mede door de trage ontwikkeling van voedselbossen en het gebrek aan tijd en financiële motivaties onder voedselbos pioniers, weten we nog weinig van verdienmodellen in de praktijk. Er zijn inmiddels diverse rekenmodellen beschikbaar, maar geen van allen kan nog rekenen op robuuste cijfers uit de Nederlandse praktijk. Dit zouden we nadrukkelijk willen uitbreiden met zoveel mogelijk andere voedselbossen om een breder beeld te krijgen van de ontwikkeling over de tijd. Dit jaar willen we beginnen met een verdiepend onderzoek naar de oogst van voedselbossen ouder dan 5

jaar. Daarnaast zijn we al twee jaar bezig met het opzetten van een langjarige monitoring naar de arbeid, oogst en netto inkomen, middels de directe medewerking van deelnemende voedselbossen. We hebben geleerd dat naast een gebruiksvriendelijke tool, vooral meer persoonlijke aandacht cruciaal is voor een gedegen en continue monitoring. Met meer capaciteit hopen we dit in de toekomst beter op poten te zetten.

Sociale en culturele functies

We hebben een eerste beeld van de sociale waardes van voedselbossen en hun pioniers, maar met de groeiende aandacht voor (commercieel gedreven) voedselbossen is herhaling en uitbreiding nodig om te onderzoeken hoe deze waardes zich in de toekomst zullen ontwikkelen. Verder zouden we graag beter in kaart brengen of, hoe en hoeveel mensen er in hun welzijn en geluksgevoel op vooruit gaan door hun betrokkenheid bij voedselbossen. Ook culturele ontwikkelingen geïnspireerd door de voedselbosbeweging en alternatieve landbouw in zijn algemeenheid verdienen aandacht.

Plantniveau en proefboerderij

Tot dusver monitoren we voornamelijk op systeemniveau, maar we zullen in de toekomst ook op plantniveau onderzoek willen doen, om grip te krijgen op welke soorten, cultivars en onderstammen het beste presteren op welke plek. Dankzij de inzet van Stichting Regeneratie en St. Voedselbosbouw NL wordt er nu een database ontwikkelt op cultivarniveau die we rechtstreeks willen koppelen aan onze monitoring om zo de database te voeden. Tot slot zou een experimentele proefboerderij van zeer groot nut zijn om onderzoek naar cultivars, onderstammen, maar ook soortcombinaties en ontwerpkeuzes te faciliteren. Hier werken we graag aan mee.

Onderzoeken NMVB

Indicator	Jaar	Student	Referentie
Bodem	2019-2020	Esther de Groot	De Groot, E. M. (2020). Exploring soil restoration potential in Dutch food forests - a baseline study of soil ecological performance.
Bodem	2020-2021	Merel Prot	Prot, M. (2021). Bodemonderzoek voedselbospercelen Noord-Brabant. Ontwikkeling bodemgezondheid van vijf jonge voedselbossen.
Bodem	2020-2021	Eva van Dijk	van Dijk, E. (2021). Onderzoek naar de waterinfiltratiesnelheid van voedselbossen in vergelijking met reguliere bossen.
Bodem	2021	Roy Martherus	Martherus, R. (2021). Betere bodemkwaliteit door middel van voedselbossen?
Bodem	2020-2021	Jillya van den Biggelaar	van den Biggelaar, J. (2021). Vrij om te groeien tot een meesterlijk succes.
Bodem	2021-2022	Eline Disselhorst	Disselhorst, E. (2022). The effect of food forests establishment on soil biota and water cycling on sandy soils in The Netherlands
Biodiversiteit	2019-2020	Fleur Colen	Colen, Fleur (2019). Agricultural systems as biodiversity hotspots - Baseline study on herb layer biodiversity in Dutch food forests
Biodiversiteit	2021	Feline Wiegers	Wiegers, F (2021). Wat beweegt daar in het voedselbos. Nulmeting voor biodiversiteit van kruipende insecten en geleedpotigen.
Biodiversiteit	2021	Lewis Jansen	Jansen, L. (2021). Vlindermonitoring in voedselbossen. Een dagvlindermonitoringsmethodiek en nulmeting voor het 'NMVB'.
Biodiversiteit	2021	Raoul Ratnavel	Ratnavel, R. (2021). Assessing the variation in bird species richness across Dutch food forests
Koolstof	2019-2020	Kaspar Buinink	Buinink, K. (2020). Assessment on the variation in carbon stock of Dutch food forests
Koolstof	2021	Bram Wendel	Wendel, B. (2021). Carbon sequestration in young temperate food forests: A case study analysis on a chronosequence of the transition from grassland to food forests.
Koolstof Bodem	& 2023	Rosalba Hendriks	Hendriks, R. (2023). Aboveground carbon stock and soil properties of Dutch food forests: trends and connections.
Koolstof	2023	Loet Paulussen	Paulussen, L (2023). Investigating successional parameters in Dutch food forests. Do food forests mimic natural forests succession?
Sociaal	2020	Anna Roodhof	Roodhof, A. (2020). Finding Quality in Quantitative Methods Documenting Socio-Cultural Values of Food Forests using a Questionnaire.
Sociaal	2021	Suzy Rebisz	Rebisz, S. (2021). The socio-cultural values of food forests in the Netherlands. An exploratory study of perceived values by participants of the National Monitoring Programme on Food Forests (NMVB)
Sociaal	2021	Jurian Schepers	Schepers, J. (2021). Digitally monitoring food forests A social study looking to improve collaborations with food forest farmers by analysing the existing monitoring system's recording application.
Economisch	2022	Rintje Frankena	Frankena, R. (2022). Financial stability in the early stages of Dutch food forests.
Alle	2022-2023	Rohan Gupta	Gupta, R. (2023). Ecosystem Services Assessment of Dutch Food Forests.

Bronnenlijst

Arets, E., Hengeveld, G. M., Lesschen, J. P., Kramer, H., & Kuikman, P. J. (2014). Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector for the UNFCCC and Kyoto Protocol.

Biglan, A., Flay, B. R., Embry, D. D., & Sandler, I. N. (2012). The critical role of nurturing environments for promoting human well-being. *American Psychologist*, 67(4), 257.

Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., ... & Brun, J. J. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, 64(2), 161-182.

Breidenbach, J., Dijkgraaf E., Rooduijn, B., Nijpels-cieremans R. & Strijkstra A. "Voedselbossen van belang voor biodiversiteit." *De Levende Natuur* 118.3 (2017): 90-93.

Brockerhoff, E. G., Barbaro, L., Castagneyrol, B., Forrester, D. I., Gardiner, B., González-Olabarria, J. R., ... & Jactel, H. (2017). Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 26, 3005-3035.

CBS, PBL, RIVM, WUR (2020). Akkergewassen en akkerflora, 1900-2018 (indicator 1179, versie 15 , 5 februari 2020)

Clark, R. Á., & Zeto, S. K. (2000). Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of plant Nutrition*, 23(7), 867-902.

Díaz, S., Hector, A., & Wardle, D. A. (2009). Biodiversity in forest carbon sequestration initiatives: not just

a side benefit. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 55-60.

van den Elsen, E., van Tol-Leenders, D., Teuling, K., Römkens, P., de Haan, J., Korthals, G., & Reijneveld, A. (2020). *De staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018: Op basis van beschikbare landsdekkende dataset (CC-NL) en bodem-indicatorenlijst (BLN)*. (Wageningen Environmental Research rapport; No. 3048). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/537281>

Framstad, E. (2013). Biodiversity, carbon storage and dynamics of old northern forests. *Nordic Council of Ministers*.

Green Deal voedselbossen. (2017). C-219 - Voedselbossen. 1-13. <http://www.greendeals.nl/wp-content/uploads/2017/11/GD219-dealtekst-Voedselbossen.pdf>

Guo L, Gifford R (2002) Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis. *Global Change Biology* 8, 345- 360

Habel, J. C., Samways, M. J., & Schmitt, T. (2019). Mitigating the precipitous decline of terrestrial European insects: Requirements for a new strategy. *Biodiversity and Conservation*, 28, 1343-1360.

Korthals, G., Brinkman P., Kurm V., Wendel B., Rooduijn B. (2023). Monitoring van milieuaaltjes in het NMVB

Kumar, B. Mohan, and P. K. R. Nair. (2006) *Tropical homegardens*. Dordrecht: Springer.

- Lesschen, J. P., Hendriks, C., Slier, T., Porre, R., Velthof, G., & Rietra, R. (2021). De potentie voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3130). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/557330>
- Muys, B., & Granval, P. H. (1997). Earthworms as bio-indicators of forest site quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(3-4), 323-328.
- M.J. Schelhaas, S. Teeuwen, J. Oldenburger, G. Beerkens, G. Velema, J. Kremers, B. Lerink, M.J. Paulo, H. Schoonderwoerd, W. Daamen, F. Dolstra, M. Lusink, K. van Tongeren, T. Scholten, I. Pruijsten, F. Voncken en A.P.P.M. Clerkx (2022). Zevende Nederlandse Bosinventarisatie: methoden en resultaten. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 142.
- Pepels, N. (2019). "Do food forests need fertilizer". MSc thesis, WUR.
- Penn, C. J., & Camberato, J. J. (2019). A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. *Agriculture*, 9(6), 120.
- Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J., & Gensior, A. (2011). Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone.. *Global Change Biology*, 17(7), 2415-2427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x>
- Rousk, Johannes, Philip C. Brookes, and Erland Bååth. "Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization." *Applied and environmental microbiology* 75.6 (2009): 1589-1596.
- Schafer, L. J., Lysák, M., & Henriksen, C. B. (2019). Tree layer carbon stock quantification in a temperate food forest. *Urban Forestry and Urban Greening*, 45(June 2018), 126466. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126466>
- Schrama, M., & Degenaar, J. (2022). Jaarverslag 2022 - LekkerLandgoed. Retrieved from <http://www.lekkerlandgoed.nl/jaarverslagen/>
- Shah, A. N., Tanveer, M., Shahzad, B., Yang, G., Fahad, S., Ali, S., ... & Souliyanonh, B. (2017). Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 10056-10067.
- Sikkema & Nabuurs Sikkema, R., & Nabuurs, G. J. (1994). Forests and wood in the carbon cycle.
- Udawatta, R. P., Rankoth, L. M., & Jose, S. (2019). Agroforestry and biodiversity. *Sustainability (Switzerland)*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/su11102879>
- J. de Haan, H.G.M. van den Elsen, M.C. Hanegraaf, S.M. Visser (2021). Evaluatie van de BLN, versie 1.0; Voorstel voor BLN, versie 1.1 en schets van een ontwikkelpad naar een BLN, versie 2.0. Wageningen Research, Rapport WPR-883



Auteurs: Bram Wendel, Bastiaan Rooduijn en Eline
Disselhorst

Foto kapt : Jacob Kaptein

Dit rapport is gemaakt in opdracht van LNV,
ter uitbrengen van drie jaar onderzoek van het
NMVB.

© 2023 | Nationaal Monitoringsprogramma
Voedselbossen (NMVB)