



K O N I N K L I J K E N E D E R L A N D S E  
A K A D E M I E V A N W E T E N S C H A P P E N

**Duurzaam en klimaatbestendig bosbeheer in de 21ste eeuw: Een bosexperiment voor nieuwe inzichten en praktische oplossingen**

Sterck, Frank; Vos, Marleen; de Goede, Steven; van der Putten, W.H.; Hannula, Emilia; Meijeres, Eva; de Vries, Jorad; Nabuurs, Gert-Jan; den Ouden, Jan; de Vries, Wim; Veen, G.F.

***published in***

Vakblad natuur bos landschap  
2022

***document version***

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in KNAW Research Portal](#)

***citation for published version (APA)***

Sterck, F., Vos, M., de Goede, S., van der Putten, W. H., Hannula, E., Meijeres, E., de Vries, J., Nabuurs, G-J., den Ouden, J., de Vries, W., & Veen, G. F. (2022). Duurzaam en klimaatbestendig bosbeheer in de 21ste eeuw: Een bosexperiment voor nieuwe inzichten en praktische oplossingen. *Vakblad natuur bos landschap*, 184, 4.

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the KNAW public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the KNAW public portal.

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**E-mail address:**  
[pure@knav.nl](mailto:pure@knav.nl)

# Duurzaam en klimaatbestendig bosbeheer in de 21<sup>ste</sup> eeuw

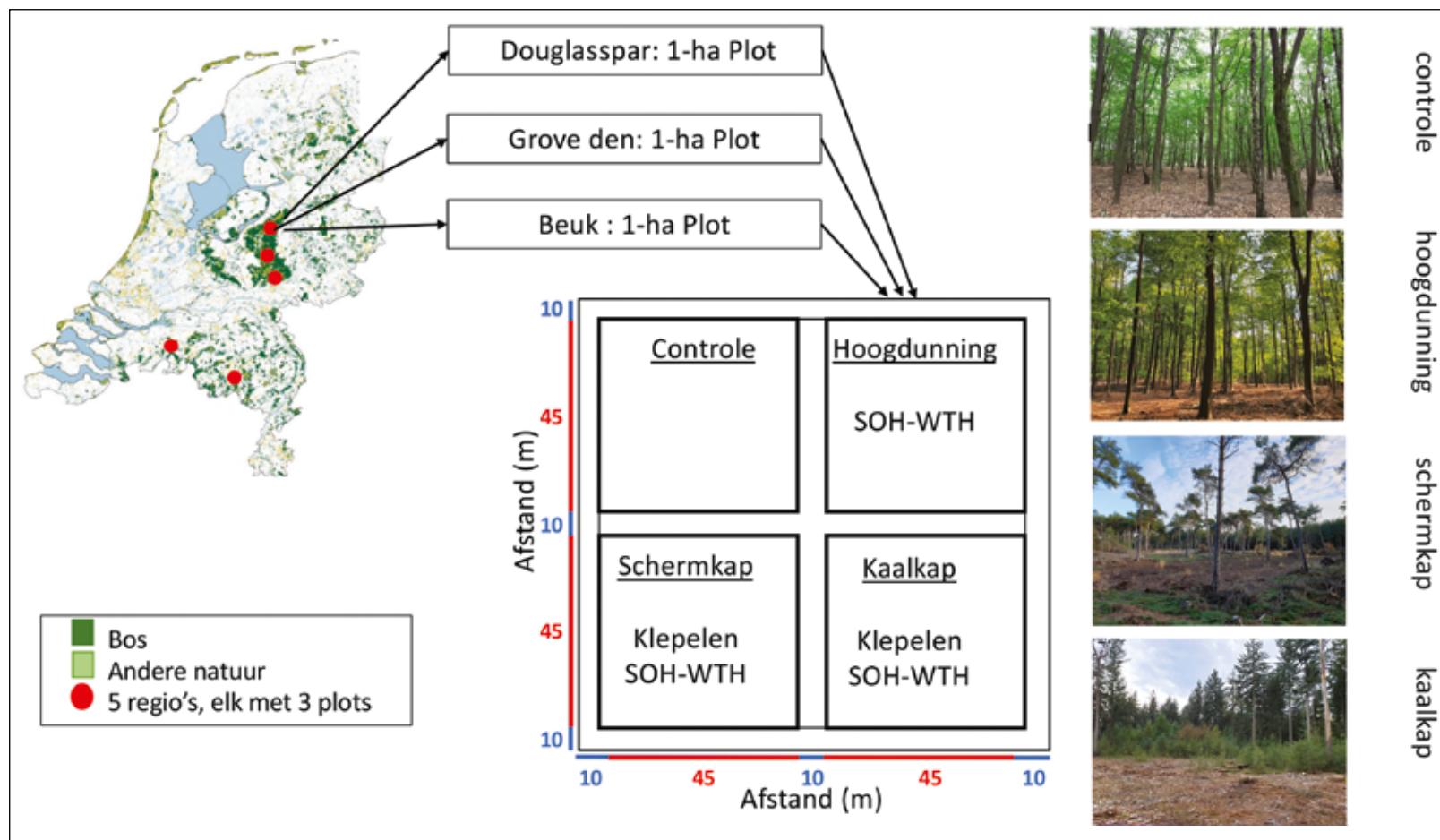
## Een bosexperiment voor nieuwe inzichten en praktische oplossingen

Is de veerkracht van onze bomen en bossen toereikend om hetere en drogere periodes en aanhoudende bodemverzuring in de toekomst te overleven? Welke bosbeheermaatregelen zijn mogelijk en nodig om de verschillende bosfuncties te behouden? Om deze vragen te beantwoorden en de gevolgen van klimaatverandering en bodemverzuring in kaart te brengen zijn wij – een consortium van wetenschappers en bosgebruikers – een bosexperiment gestart. Het doel is om de reacties van bomen, bodems en uiteindelijk hele bossen op verschillende beheeringrepen te begrijpen in relatie tot veranderingen in bodem en klimaat. Dit artikel geeft een introductie van het experiment.

— Frank Sterck<sup>1</sup>, Marleen Vos<sup>1</sup>, Steven de Goede<sup>2</sup>, Eva Meijers<sup>1</sup>, Jorad de Vries<sup>1</sup>, Emilia Hannula<sup>2</sup>, Gert-Jan Nabuurs<sup>1</sup>, Jan den Ouden<sup>1</sup>, Wim de Vries<sup>1</sup> & Wim van der Putten<sup>2</sup> & Ciska Veen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Wageningen University & Research (WUR)

<sup>2</sup>Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek (NIOO)



**Figuur 1.** Het ontwerp van het bosexperiment zoals uitgevoerd in februari-maart 2019. Dit bosexperiment bestaat uit vijftien circa 1 hectare grote bosplots verdeeld over vijf bosregio's (de rode stippen). SOH staat voor "stem-only-harvest" ofwel het oogsten en afvoeren van de stam en achterlaten van de kroon. WTH staat voor "whole-tree-harvest" ofwel het oogsten en afvoeren van stam en kroon. Zie dit artikel voor een toelichting op de ingrepen.

> In vijf regio's op de hogere zandgronden in Nederland hebben we drie bosplots van circa 1 hectare omvang geselecteerd met daarop 50-120 jaar oude beuken, grove dennen of douglassparren. In elk van de vijftien bosplots zijn dezelfde beheeringrepen uitgevoerd in vier 0,25 hectare grote subplots: kaalkap, controle (geen kap), hoogdunning (circa 80 procent van de bomen blijft staan) en schermkap (circa 20 procent van de bomen blijft staan). Vervolgens zijn in enkele subplots twee extra ingrepen uitgevoerd (figuur 1). De eerste ingreep betreft het afvoeren van de stam terwijl de kroon achterblijft in het bos dan wel de boom in zijn geheel, waarbij takken gebruikt worden voor energielevering. De tweede ingreep betreft klepelen (fijnslaan en mengen) van de achtergebleven kroondelen en de toplaag van de organische bodem. Al deze ingrepen zijn uitgevoerd in februari en maart 2019. Sindsdien is een groot aantal metingen uitgevoerd.

### Beschikbaarheid van voedingsstoffen

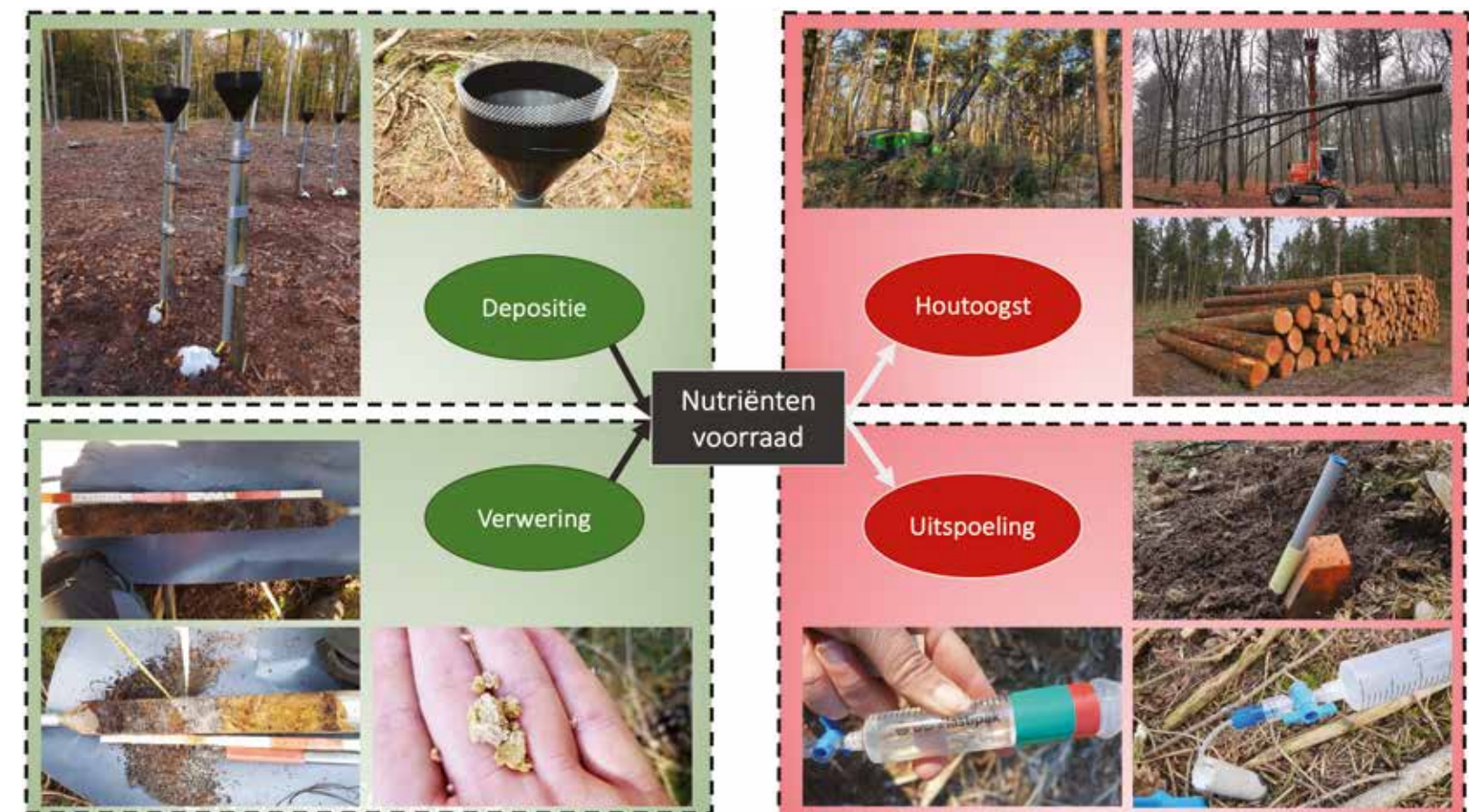
Allereerst kwantificeren we het nutriëntenbudget van deze bossen. Dit gebeurt door bepaling van de aanvoer- en afvoerstromen van voedingsstoffen (figuur 2). Hierbij wordt gekeken naar de macrovoedingsstoffen (stikstof, fosfaat, kalium, calcium,

magnesium en zwavel) en een aantal essentiële microvoedingsstoffen (mangaan, koper, ijzer en zink). De aanvoer van voedingsstoffen bestaat uit depositie vanuit de lucht en vertering van mineralen in de bodem. Voedingsstoffen worden afgevoerd bij de oogst van stammen en takken, en door uitspoeling van bodemvocht met daarin opgeloste voedingsstoffen die buiten bereik van de wortels komen. De eerste onderzoeksresultaten laten zien dat vooral de bodemvoorraad van kationen (calcium, magnesium en kalium) beperkend is en remmend zou kunnen werken op bosherstel, vooral na kaalkap en afvoer van stammen en kronen. De inzet van beheermaatregelen zou dergelijke tekorten kunnen verminderen. Zo laat ons onderzoek zien dat in het geval van conventionele houtoogst (alleen verwijdering van de stam) er tussen de 70 procent (beuk) tot 80 procent (douglasspar) van de bovengrondse biomassa en koolstof geoogst wordt. De 20-30 procent biomassa die achterblijft – hoofdzakelijk takken – bevat echter hogere concentraties van voedingsstoffen, waardoor bij conventionele stamoogst meer dan 50 procent van de voedingsstoffen in het bos achterblijft (fosfor bijvoorbeeld 50-70 procent). Aanvullend behoud van voedingsstoffen is te bereiken door de stambast achter te

laten. Voor bijvoorbeeld fosfor loopt die hoeveelheid afhankelijk van de boomsoort op tot 20-50 procent van de totale hoeveelheid fosfor in de stam. Daarnaast wijzen de eerste analyses over uitspoeling erop dat bij een lagere oogstintensiteit en afvoer de nutriëntenverliezen lager zijn. Hoe dit soort effecten gezamenlijk de bodemvoorraad en het bosherstel na de oogst beïnvloeden, wordt nog verder uitgezocht.

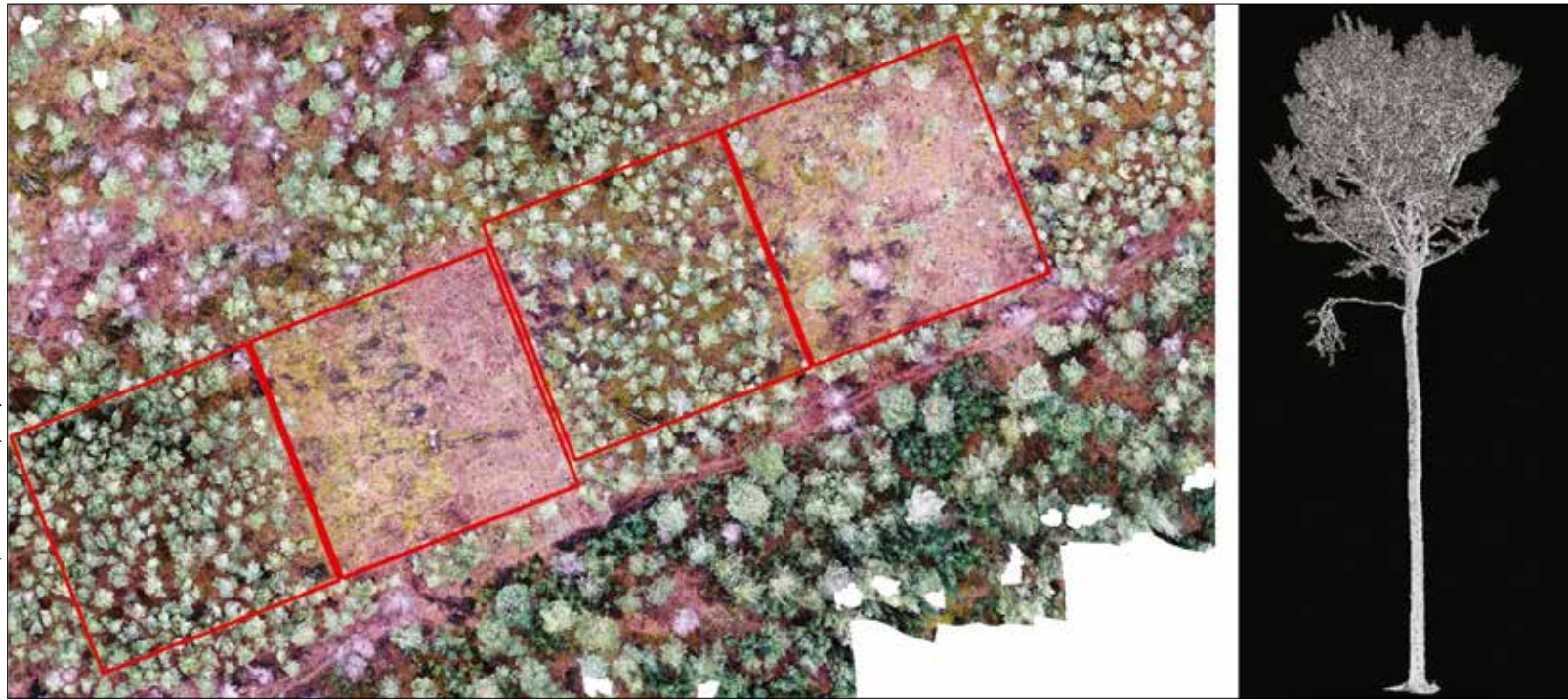
### De toekomst van bossen bij meer droogte

De reacties van bomen en bodem op vrijstelling en droogte worden de komende jaren in de bosplots in detail gemeten. Zo meten dendrometers volautomatisch de nettostamgroei en -stamkrimp (een maat voor droogte) van bomen bij verschillende mate van vrijstelling. Deze metingen doen we om te bepalen hoe vrijstelling de gevoeligheid van bomen op droogte en herstel na droogte gedurende het groeiseizoen beïnvloedt. Om reacties voor de langere termijn te kwantificeren nemen we ook stammonsters om de jaarringen te meten. Daarmee is te bepalen hoe bomen reageren op droge jaren en hoe ze daarvan herstellen, en ook of en hoe een verschillende mate van vrijstelling bomen in staat stelt om sneller te herstellen na de droge en warme jaren van 2018-



**Figuur 2.** Het kwantificeren van input fluxen van de voedingsstoffen (depositie en vertering) en output fluxen van de voedingsstoffen (houtoogst en uitspoeling) bij verschillende beheeringrepen (de mate van oogst, klepelen en afvoeren van stam of stam en kroon) in de plots. De foto's geven een impressie van het veldwerk gericht op het bepalen van deze fluxen. Depositie: opstelling die voedingsstoffen vangt. Houtoogst: het oogsten van bomen waaraan gehalten van voedingsstoffen bepaald zijn in stam, bast, takken en bladeren. Vertering: het nemen van bodemonsters die geanalyseerd zijn op verteringsnelheden. Uitspoeling: de spuitjes die een jaar lang bemonsterd zijn op bodemvocht en de voedingsstoffen daarin op een diepte van circa 60 centimeter in de bodem.





**Figuur 3.** A) Bovenaanzicht van een bosplot (grove den) met verschillende niveaus van vrijstelling (aangegeven met rode raster). Van links naar rechts: controle, kaalkap, hoogdunning en schermkap. B) Een Lidar-opname van een beuk zonder blad in de winter, geïsoleerd uit een Lidar-opname van een van de beukenplots in februari 2022. Vergelijking met nog te maken Lidar-scans in de zomer van 2022 zullen een goed beeld geven van de bladverdeling van deze beuk. Op dezelfde manier zullen ook alle andere bomen in alle vijftien bosplots in beeld worden gebracht.

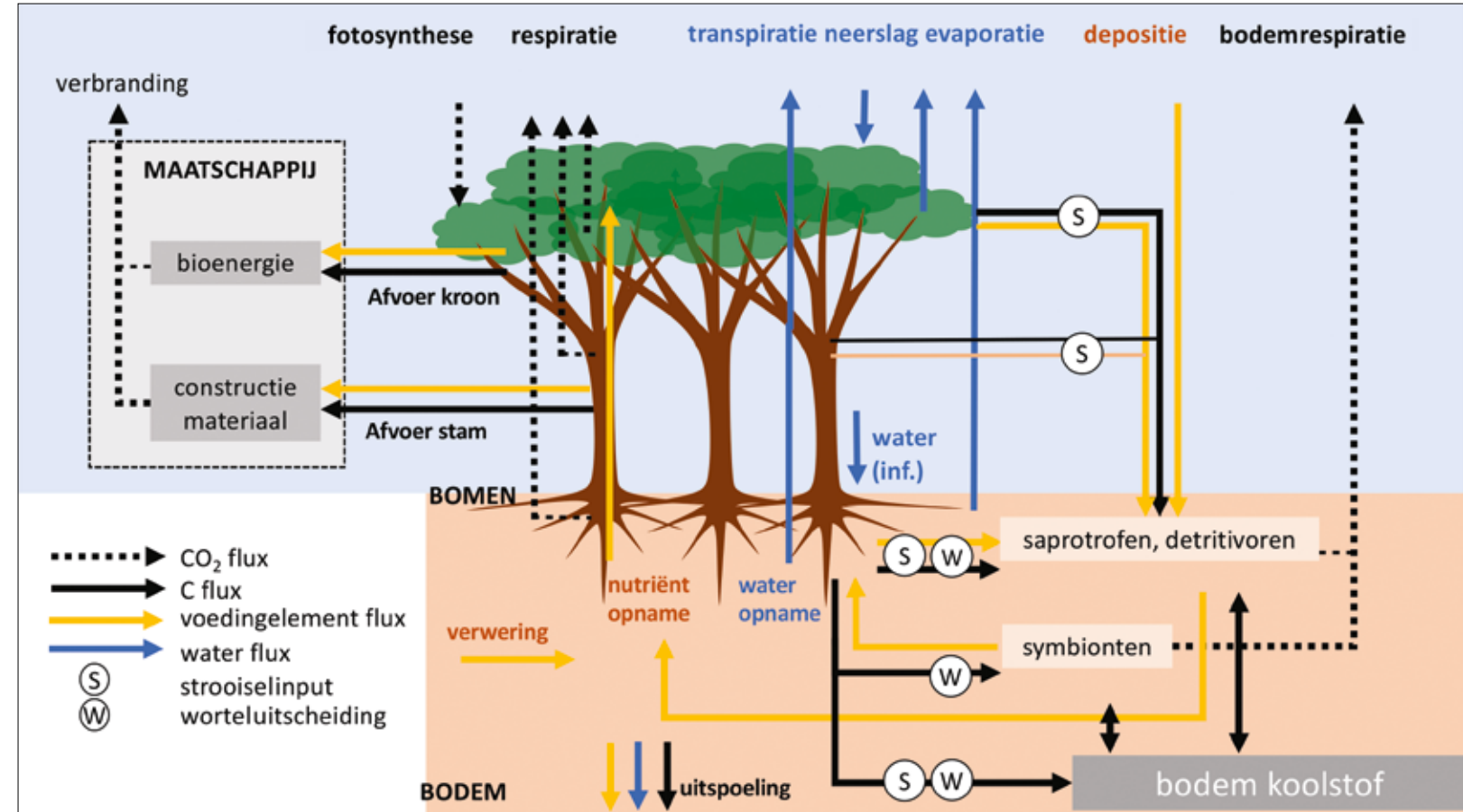


Het kwantificeren van input fluxen van de voedingsstoffen (depositie en verwerking), zie figuur 2.

2020. Tevens zullen we in 2022 Lidar- (acroniem voor "light detection and ranging") scans uitvoeren om de driedimensionale verdeling van hout en blad te bepalen in alle vijftien bosplots (zie deelopname van een gescande boom in figuur 3). Deze scans maken het mogelijk om de kroonvorm en grootte, die indicatief zijn voor de vitaliteit van bomen, in kaart te brengen. Zo valt te analyseren hoe de kronen van volwassen bomen, en ook hoe jonge bomen, reageren op vrijstelling op alle experimentele behandelingen. De focus bij de effecten van beheeringrepen en droogte op bodemprocessen richt zich op de gevolgen voor de biodiversiteit in de bodem, omdat die de kringloop van voedingsstoffen en opslag van koolstof in de bodem bepaalt. Vooral schimmels spelen een sleutelrol in bossen. Saprotrofe schimmels maken koolstof en voedingsstoffen vrij uit dood organisch materiaal zoals hout en strooisel. Mycorrhizaschimmels leven samen met boomwortels met uitruil van voedingsstoffen tegen koolstof. Wij meten de effecten van beheeringrepen op de aanwezigheid van deze schimmels en ander bodemleven, en de effecten daarvan op de beschikbaarheid van voedingsstoffen en bodemkoolstofopslag bij toename in droogteperiodes. Het koppelen van metingen in bomen en bodem, en de reactie van bomen en het bodemleven op droogte is nieuw, en zal naar verwachting nieuwe fundamentele inzichten opleveren over de reactie van bossen op droogte, en de rol van verschillende beheeringrepen daarop.

#### Opschalen van effecten naar bosniveau

Een van de grote uitdagingen is de integratie van de reacties van bomen en bodem, en de opschaling daarvan naar hele bossen. Deze stap is belangrijk, omdat die uiteindelijk de effecten van het gevoerde beheer op de productiviteit, veerkracht en koolstofopslag van bossen bij veranderend klimaat en bodem kwantificeren. Figuur 4 laat de belangrijkste processen zien die hierbij een rol spelen, en tevens de kringloop van koolstof, voedingsstoffen en water. De eerste stap is de integratie van de grootte en vorm van bomen en hun fysiologische processen met de bodemprocessen in een boom-bodemmodel. Daarin wordt voor elke boomsoort gemodelleerd hoe de groei afhangt van de specifieke kenmerken zoals boomgrootte en vorm (bijvoorbeeld de grootte van de kroon en de verdeling van bladeren binnen de kroon) en de omgeving (bijvoorbeeld de toegang tot licht, voedingsstoffen en water). Het doel is om de reacties van individuele bomen en de bodem op te schalen naar een bosmodel. De reacties op boom- en bosniveau – zoals voorspeld door deze modellen – zullen we dan vergelijken met metingen in ons experiment. Dat is de manier om tot geteste modellen met een betrouwbare voorspellingswaarde te komen. Dit geteste model zullen we ook gebruiken om groeireacties van bomen in andere bossen te voorspellen, in Nederland en elders in Europa, en wederom testen of onze voorspellingen ondersteund worden door observaties van de groei of bijvoorbeeld



**Figuur 4.** Visualisatie van het bossysteem inclusief bomen en bodems, en interacties met de samenleving en atmosferische omstandigheden. Grote fluxen zijn gegeven voor koolstof, water en voedingsstoffen. Bij BOMEN: koolstoffluxen omvatten fotosynthese, respiratie of boomademhaling (onderhoud en groei van bladeren, stengel en wortels), natuurlijk verlies van bladeren, twijgen, bast en wortels (S); afgifte van wortellexudaten (W) aan symbionten (suikers) en bodem; en verliezen door oogst van stam en/of kroon. Deze koolstoffluxen hangen samen met fluxen voor voedingsstoffen en water. BODEM: input van dode wortel- en scheutstrooisel (S) en wortellexudaten (W) worden verwerkt in het bodemvoedselweb. De saprotrofen en detritivoren zetten organische resten om in voedingsstoffen die worden opgenomen door bomen en bodemorganismen, CO<sub>2</sub> dat wordt uitgedemd (bodemrespiratie), en organische koolstofverbindingen die in de bodem kunnen worden opgeslagen. Symbionten, zoals ectomycorrhiza-schimmels, leveren voedingsstoffen aan bomen in ruil voor koolstofverbindingen. Voedingsstoffen in de bodem worden verder aangevuld door verwerking en depositie. MAATSCHAPPIJ is toegevoegd omdat met een geoogste stam (en eventueel kroon) koolstof en voedingsstoffen uit het bos verwijderd worden, maar koolstof kan worden opgeslagen indien stammen in producten met een lange levensduur terecht komen. (Aangepast uit Sterck et al., 2021).

koolstofreserves in de grond. Dit is een ambitieuze aanpak, waarmee we willen begrijpen hoe bomen en bodem reageren op droogte en hun directe omgeving, en hoe de bosbeheerder het best kan handelen om de ontwikkeling in productiviteit, veerkracht, koolstofopslag en biodiversiteit te behouden of te verhogen in een veranderend klimaat.

#### Naar praktische oplossingen

Het doel is om wetenschappelijke inzichten in te zetten voor praktische oplossingen in het bosbeheer. Hiermee sluit dit onderzoek aan bij twee bestaande tools, namelijk het beheeradviesstelsel (de Vries et al., 2019) dat is opgezet om de effecten van de voedingsstoffenvoorraad in de bodem op de productie en het bosherstel te kwantificeren, en de zogenaamde Bles-app ([www.marteloscoop.nl](http://www.marteloscoop.nl)) die in het onderwijs en veldcursussen wordt ingezet om de consequenties van dunningsingrepen direct te kunnen evalueren. Het bestaande beheeradviesstelsel zal verfijnd worden met de experimentele data van de eerste jaren na de oogst en met modelvoorspellingen, om zo een beter beeld te krijgen van de langetermijneffecten op de beschikbaarheid van voedingsstoffen, de potentiële oogst, de koolstofopslag en de veerkracht van het bos. Water en koolstof zullen als potentiële factoren aan dit (op voedingsstoffen gebaseerde) adviesstelsel toegevoegd worden om droogte-effecten te integreren. De Bles-app is bedoeld om bij

cursussen inzichtelijk te maken wat de gevolgen zijn van een geplande dunning voor de groei en ontwikkeling van een opstand, waarbij gebruik gemaakt wordt van algemene bijgroeimodellen. In dit project proberen we die bijgroei per boom beter te schatten in relatie tot de dichtheid van de opstand, en bij veranderend klimaat. Onze ambitie komt er dus op neer om deze bestaande, technische, hulpmiddelen "klimaatbestendig" of "klimaatstijl" te maken en daarmee om beheer concreet te sturen op behoud of toename van de productie, de veerkracht, de koolstofopslag en biodiversiteit onder verschillende toekomstige klimaatscenario's.<

[frank.sterck@wur.nl](mailto:frank.sterck@wur.nl)