Diepgeworteld: bodemkoolstof en –leven als indicatoren voor bodemgezondheid in het Europees bos

Insights uit SUPERB

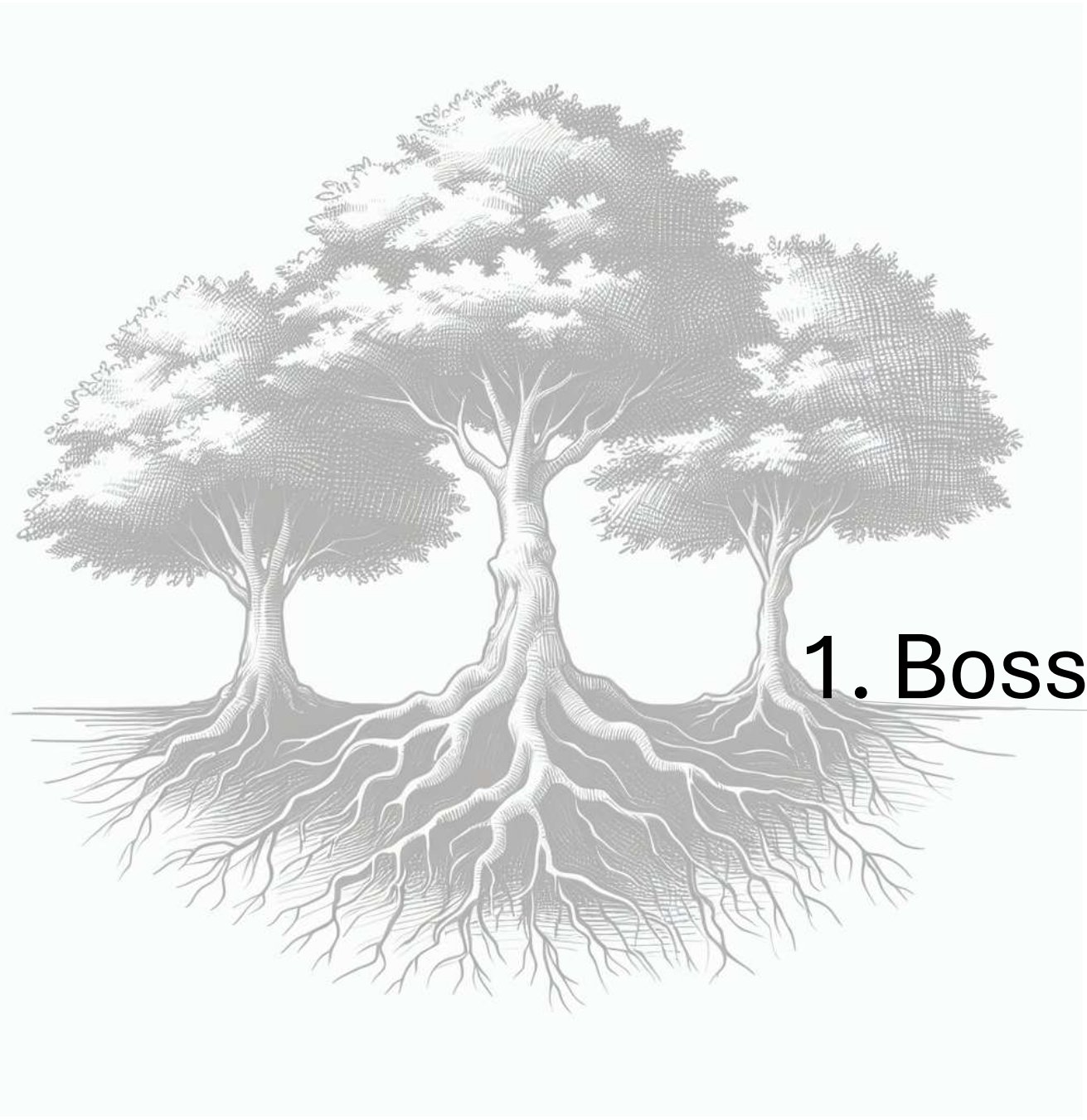
Treza Cordaro

26/06/2025

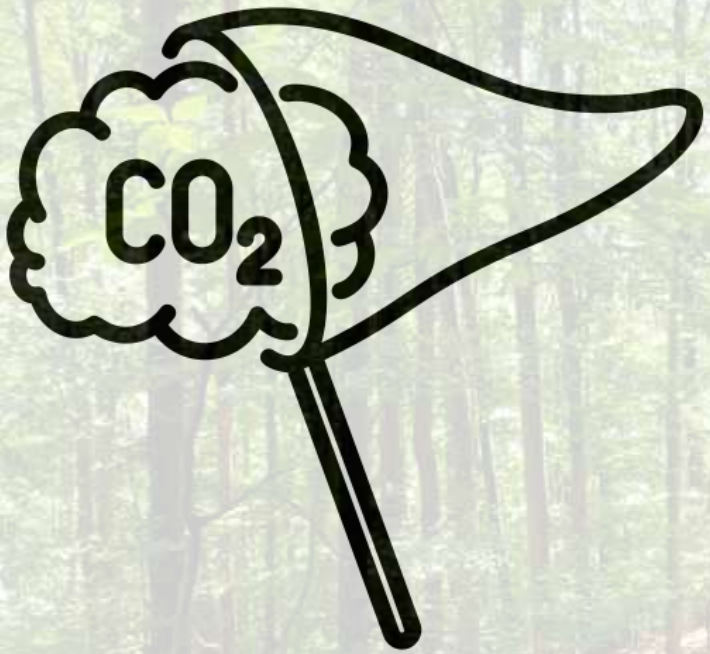
KU LEUVEN

SUPERB
Upscaling Forest Restoration

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 101036849.



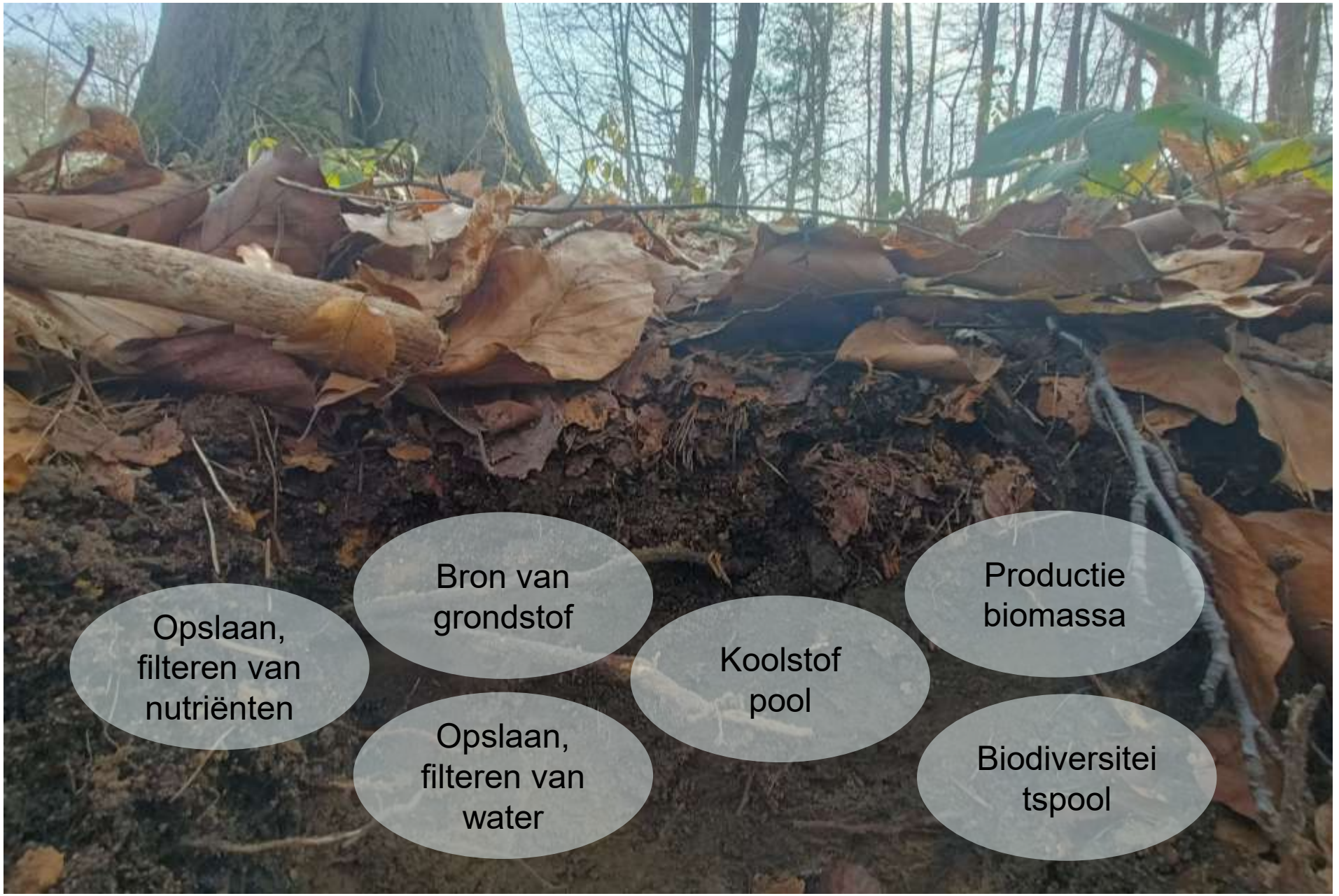
1. Bossen en bodemgezondheid



Levende biomassa

Dode biomassa

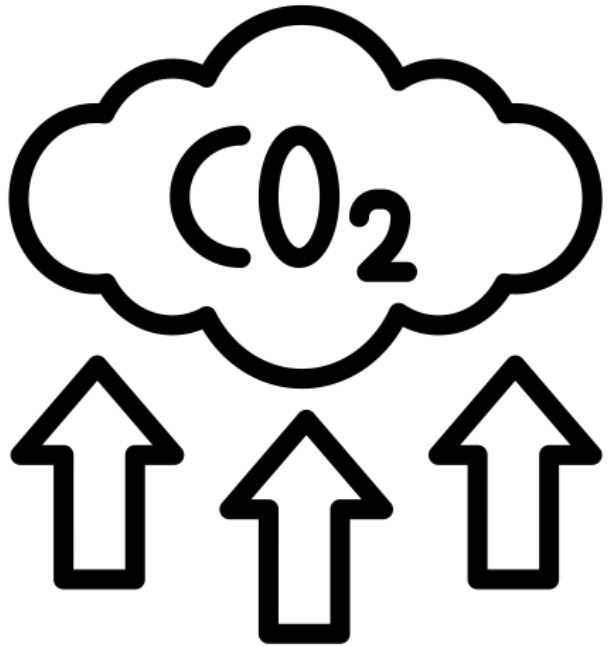
Bodem


Opslaan, filteren van nutriënten
Bron van grondstof
Opslaan, filteren van water
Koolstof pool
Productie biomassa
Biodiversitei tspool

Soil health is defined as ‘the continued capacity of soil to function as a vital living ecosystem that sustains plants, animals, and humans”

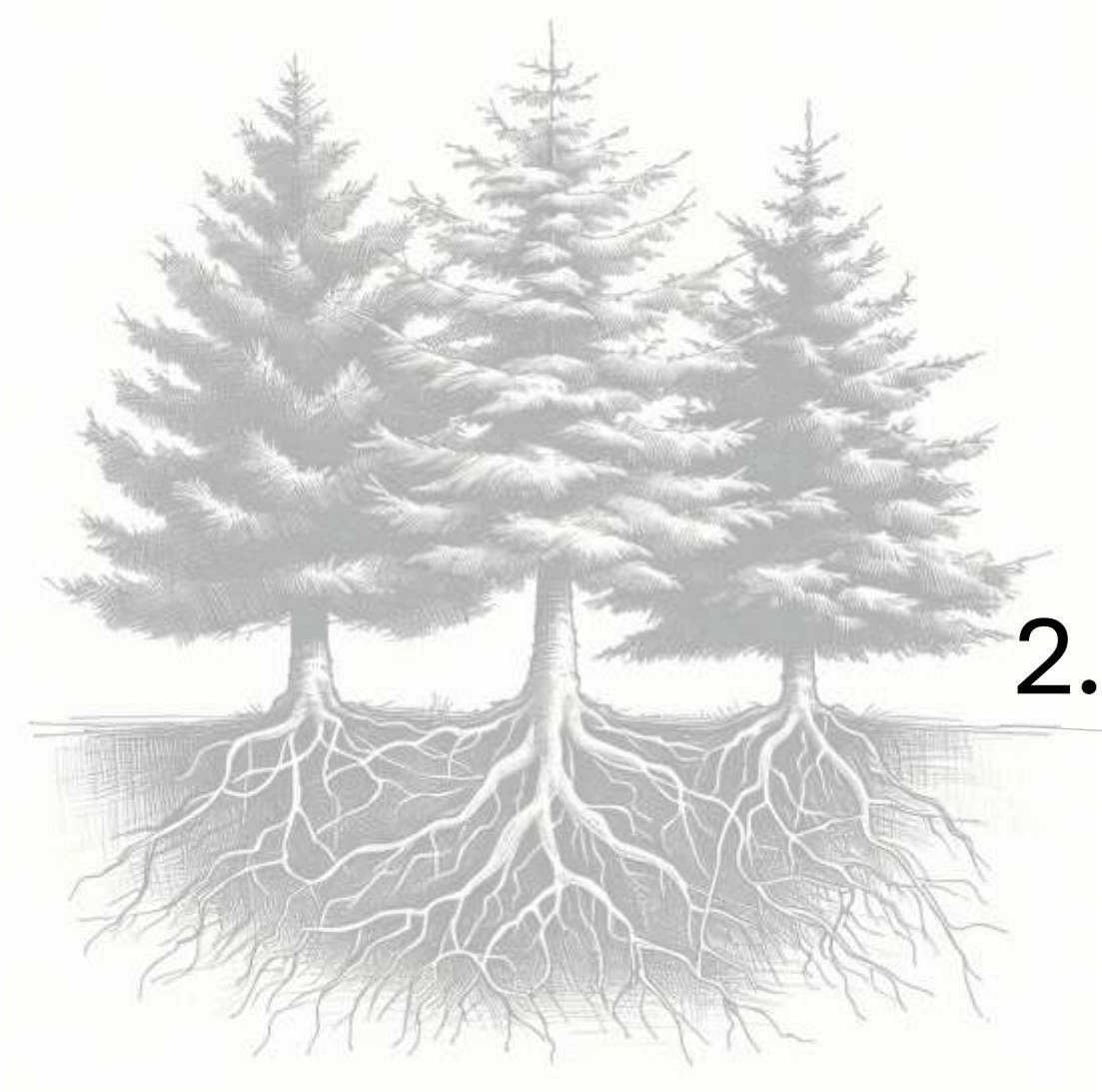
(U.S. Department of Agriculture, 2012)

Bosareaal degradeert wereldwijd



Van koolstof put naar koolstof bron

Bos- en bodemherstel zijn nauw met elkaar verbonden



2. SUPERB

Upscaling Forest Restoration

SUPERB

Upscaling Forest Restoration

12 demonstratie regio’s

Diverse degradatie problemen

Tsjechië
Schorskever en droogte in spar monoculturen

Zweden
Schotland
Denemarken
Nederland
Duitsland
Tsjechië
Frankijk
Spanje
Italië
Roemenië
Servië

Servië
Verlies van hakhoutbeheer

Zweden
Schotland
Denemarken
Nederland
Duitsland
Tsjechië
Frankijk
Spanje
Italië
Roemenië
Servië

Zweden
Kaalkap en vervanging door monocultuurplantages

Zweden
Schotland
Denemarken
Nederland
Duitsland
Tsjechië
Frankijk
Spanje
Italië
Roemenië
Servië

Roemenië
Kaalkap en verdwijnen van oude bossen

Zweden
Schotland
Denemarken
Nederland
Duitsland
Tsjechië
Frankijk
Spanje
Italië
Roemenië
Servië

Spanje
Struikgewas, bosbranden en agrarisch landschap

Zweden
Schotland
Denemarken
Nederland
Duitsland
Tsjechië
Frankijk
Spanje
Italië
Roemenië
Servië

Frankrijk
Pinus monoculturen en intensief management

Zweden
Schotland
Denemarken
Nederland
Duitsland
Tsjechië
Frankijk
Spanje
Italië
Roemenië
Servië

Nederland
Gedegradeerde Pinus bossen op arme zandbodems

Zweden
Schotland
Denemarken
Nederland
Duitsland
Tsjechië
Frankijk
Spanje
Italië
Roemenië
Servië

Italië
Gefragmenteerde bossen in agrarisch landschap

Zweden
Schotland
Denemarken
Nederland
Duitsland
Tsjechië
Frankijk
Spanje
Italië
Roemenië
Servië

Schotland
Spar monoculturen op natte bodems

Zweden
Schotland
Denemarken
Nederland
Duitsland
Tsjechië
Frankijk
Spanje
Italië
Roemenië
Servië

Denemarken
Gefragmenteerde bossen en intensief management

Zweden
Schotland
Denemarken
Nederland
Duitsland
Tsjechië
Frankijk
Spanje
Italië
Roemenië
Servië

Duitsland
Schorskever en droogte in spar monoculturen

Zweden
Schotland
Denemarken
Nederland
Duitsland
Tsjechië
Frankijk
Spanje
Italië
Roemenië
Servië

Bosbranden

Picea monoculturen

Verlies hakhoutbeheer

Kaalkap

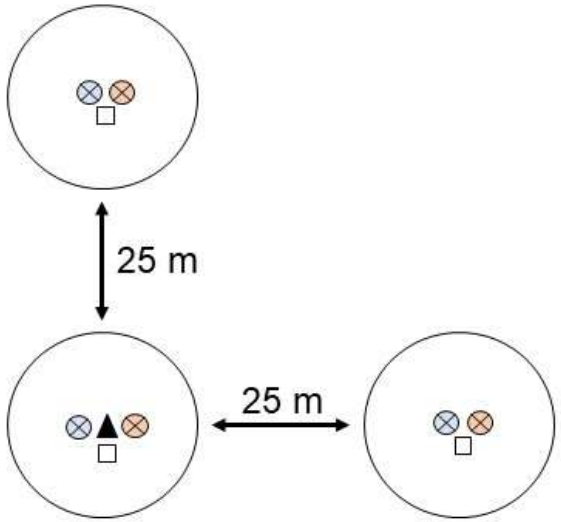
Gefragmenteerde bossen

Pinus monoculturen

Our restoration actions include:

18 of 36 stands (bossen)

3 plots binnen 1 stand



Physicochemical soil sampling 80 cm

Biological soil sampling 15 cm

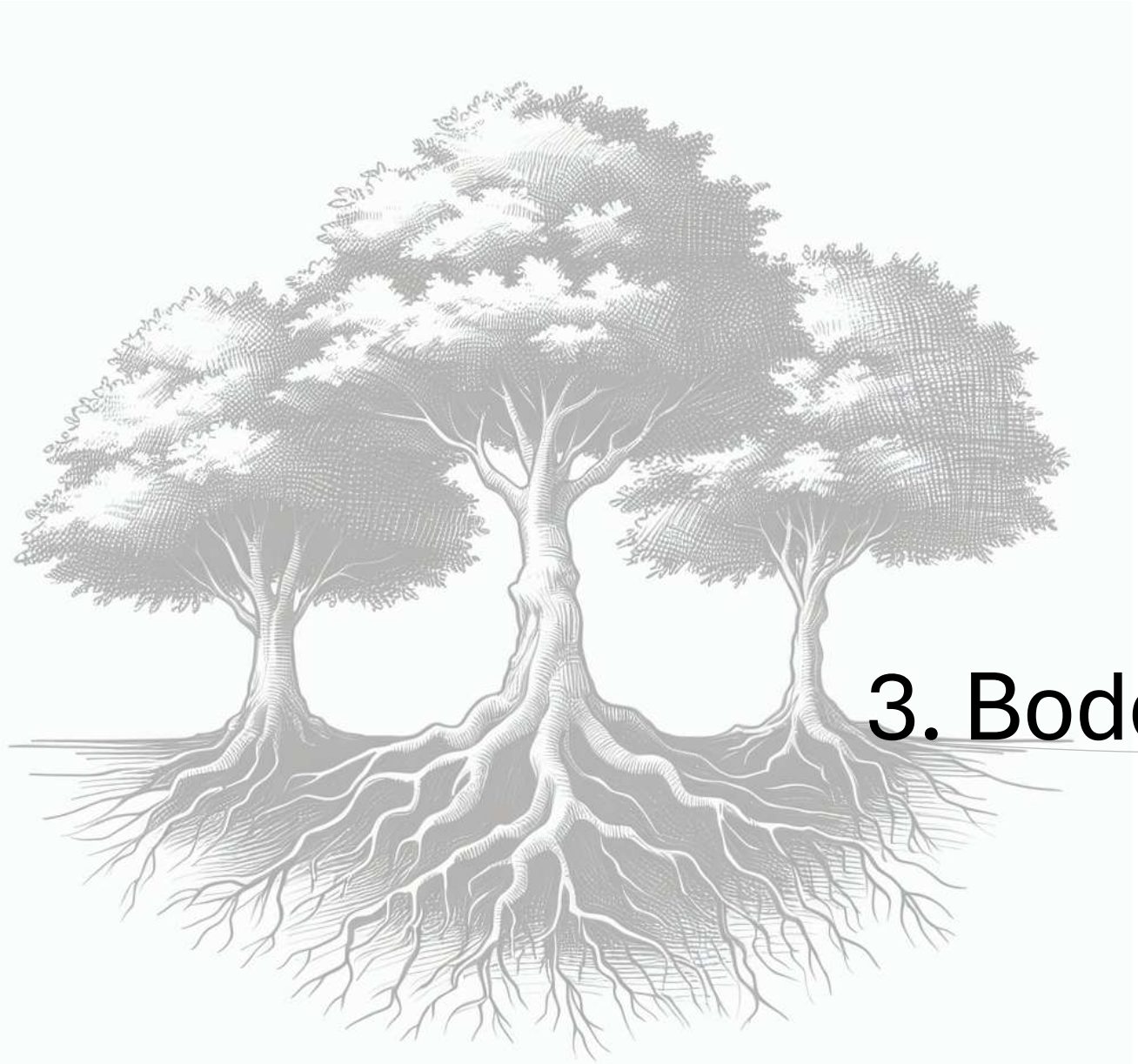
Basal area estimation

Humus- and Soil description

Organische laag

Minerale bodem

C, N, pH, bulkdichtheid, textuur, microbiële biomassa, potentiële microbiële activiteit, biomassa fijne wortels



3. Bodemkoolstof

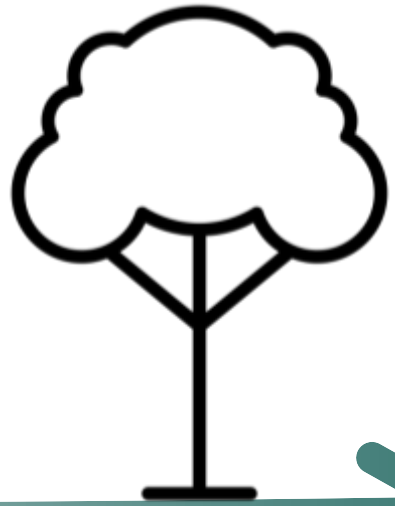
Cordaro et al. (2025) in preparation.

Soil carbon responses to **forest restoration trajectories**: lessons learned from four regions facing **spruce forest dieback**.


HELP, ik ben
niet resistent

Bosherstel is nodig!

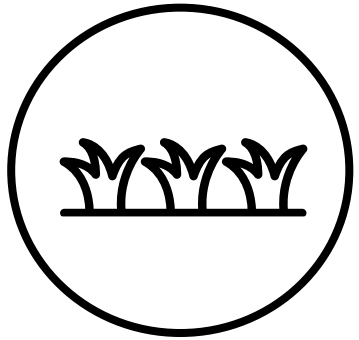
Bosherstel



Bodemgezondheid

Wat is het effect van bostype?

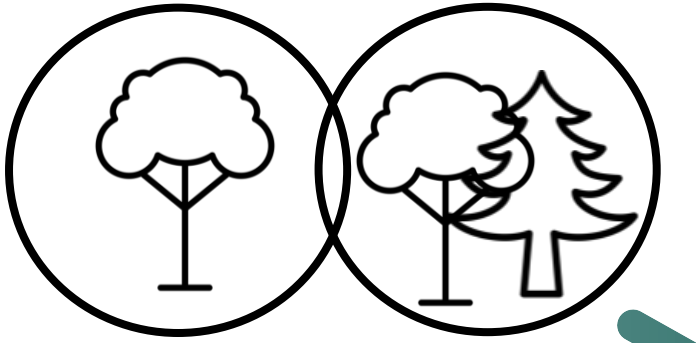
Kaalkap



Conifeer

Loof

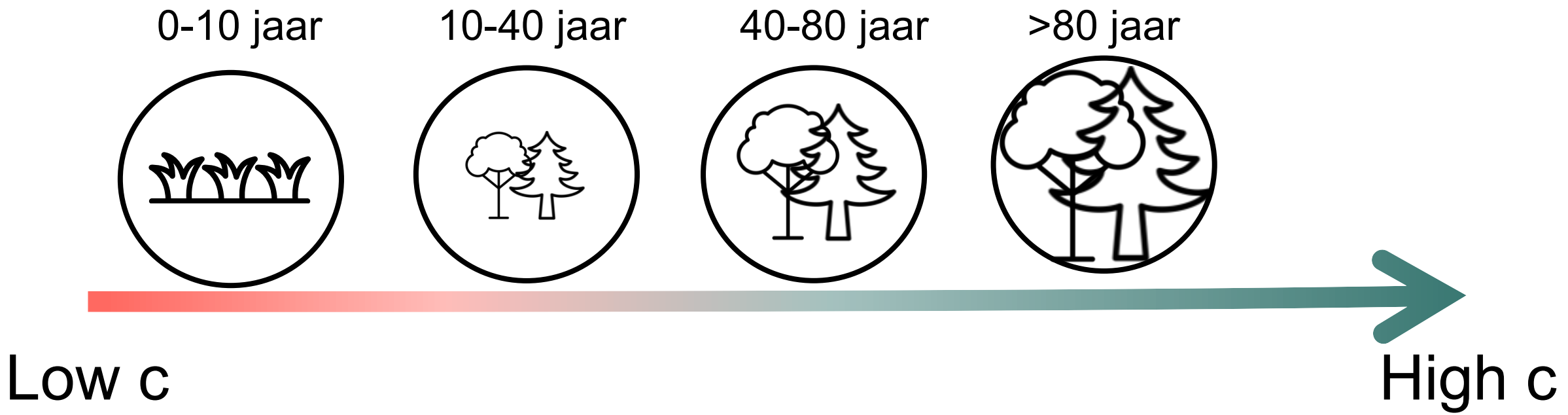
Gemengd

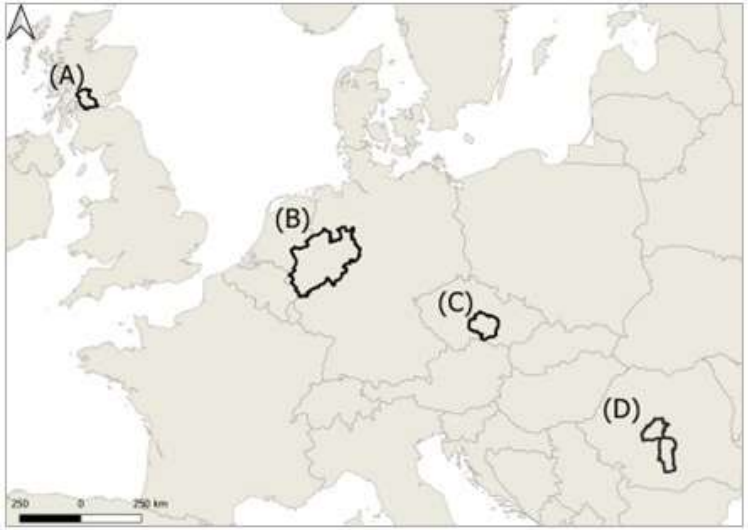


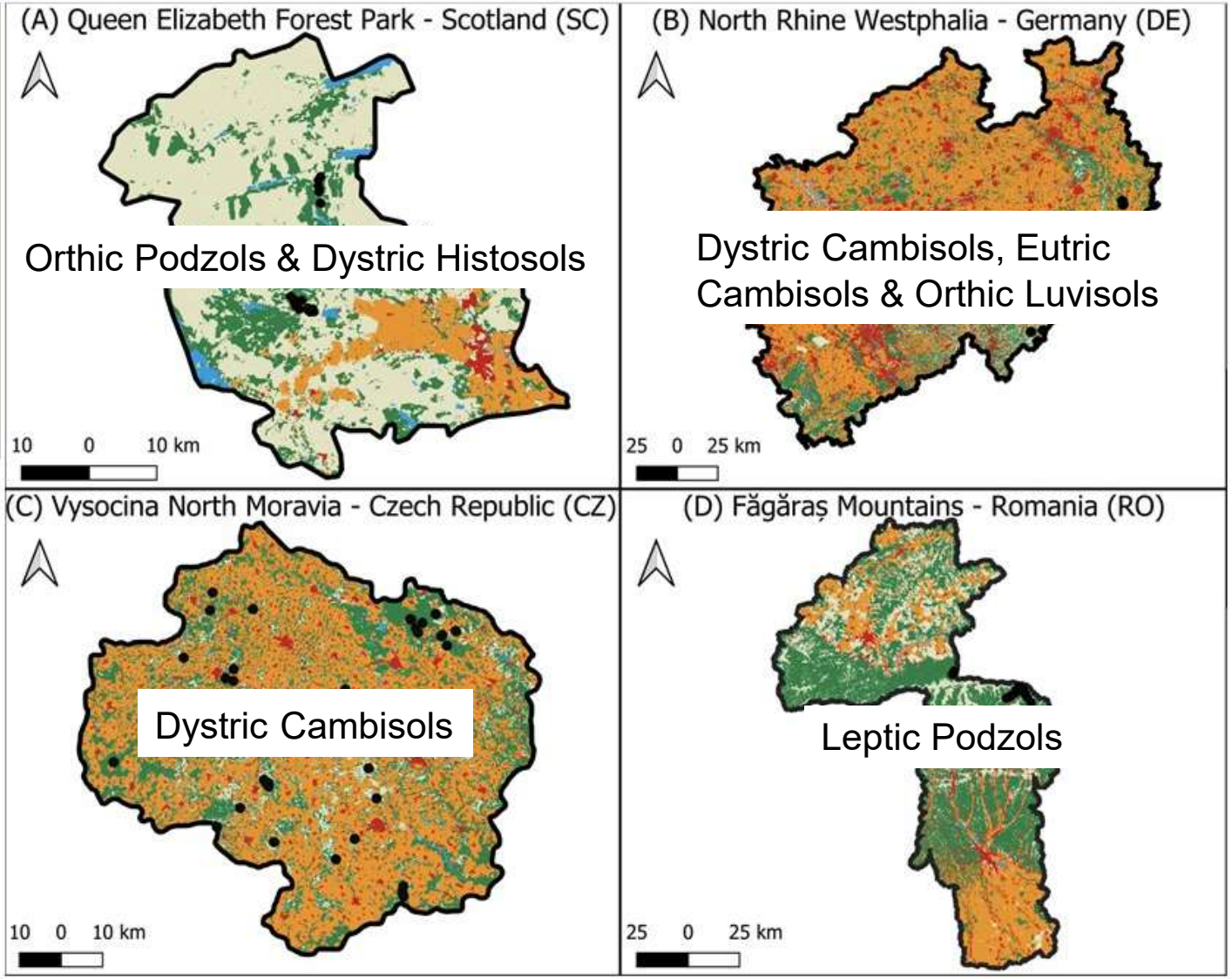
Low c → High c

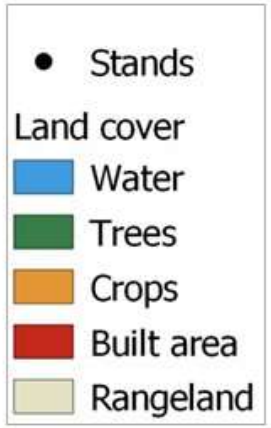
High c → Low c

Wat is het effect van bosleeftijd na bosherstel?




(A)
(B)
(C)
(D)


(A) Queen Elizabeth Forest Park - Scotland (SC)
Orthic Podzols & Dystric Histosols
10 0 10 km
(B) North Rhine Westphalia - Germany (DE)
Dystric Cambisols, Eutric Cambisols & Orthic Luvisols
25 0 25 km
(C) Vysocina North Moravia - Czech Republic (CZ)
Dystric Cambisols
10 0 10 km
(D) Făgăraș Mountains - Romania (RO)
Leptic Podzols
25 0 25 km


Stands
Land cover
Water
Trees
Crops
Built area
Rangeland

Kaalkap: 0-10 jaar

n=17 stands

10-40 jaar

n=14 stands

n=1 stand

n=19 stands

40-80 jaar

n=5 stands

n=10 stands

>80 jaar

n=21 stands

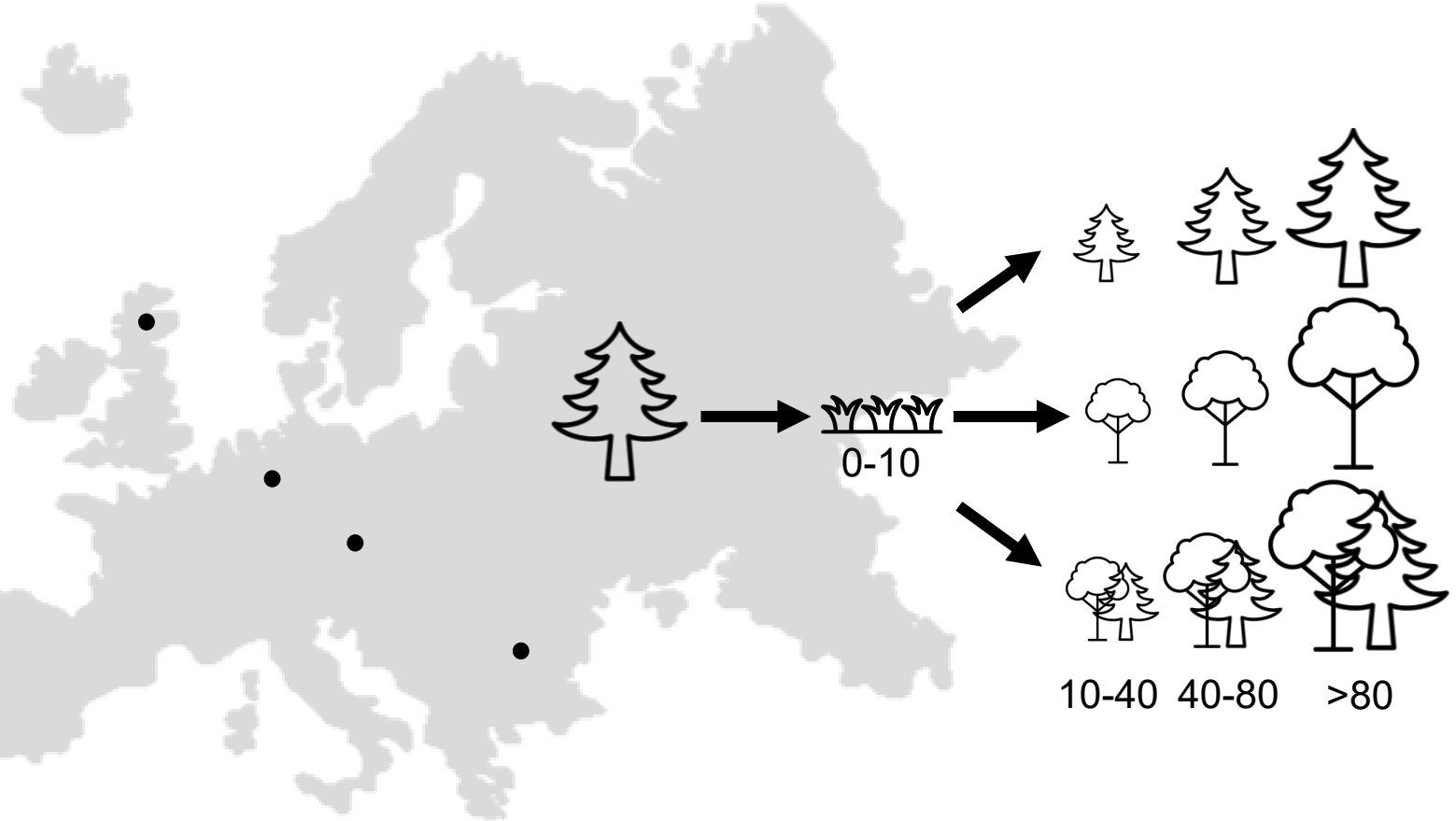
n=7 stands

n=11 stands

4 regio’s

4 bosleeftijden

3 bostypes



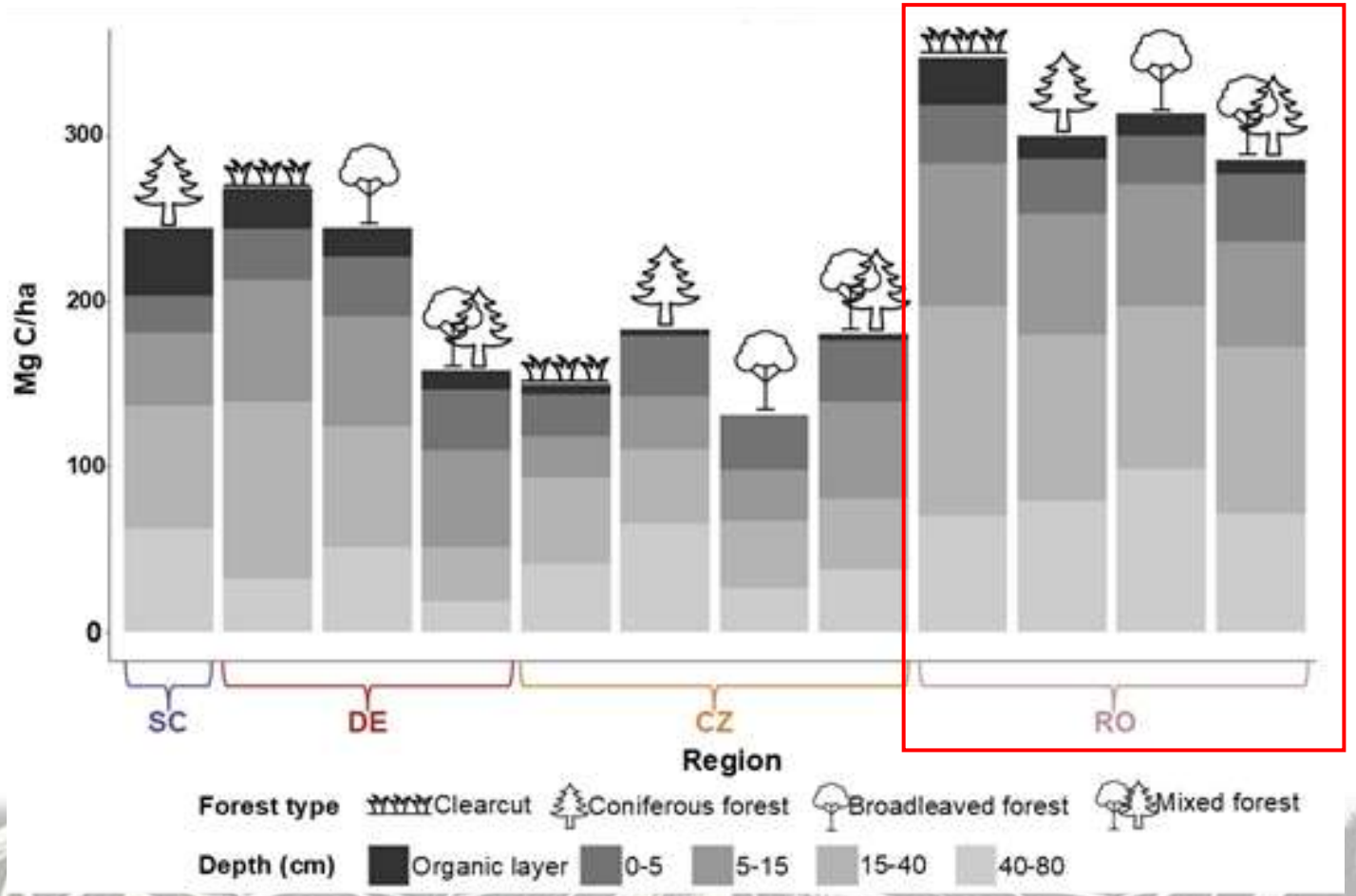
Herplanten met spar

Omvormen naar loofbos

Omvormen naar gemengd bos

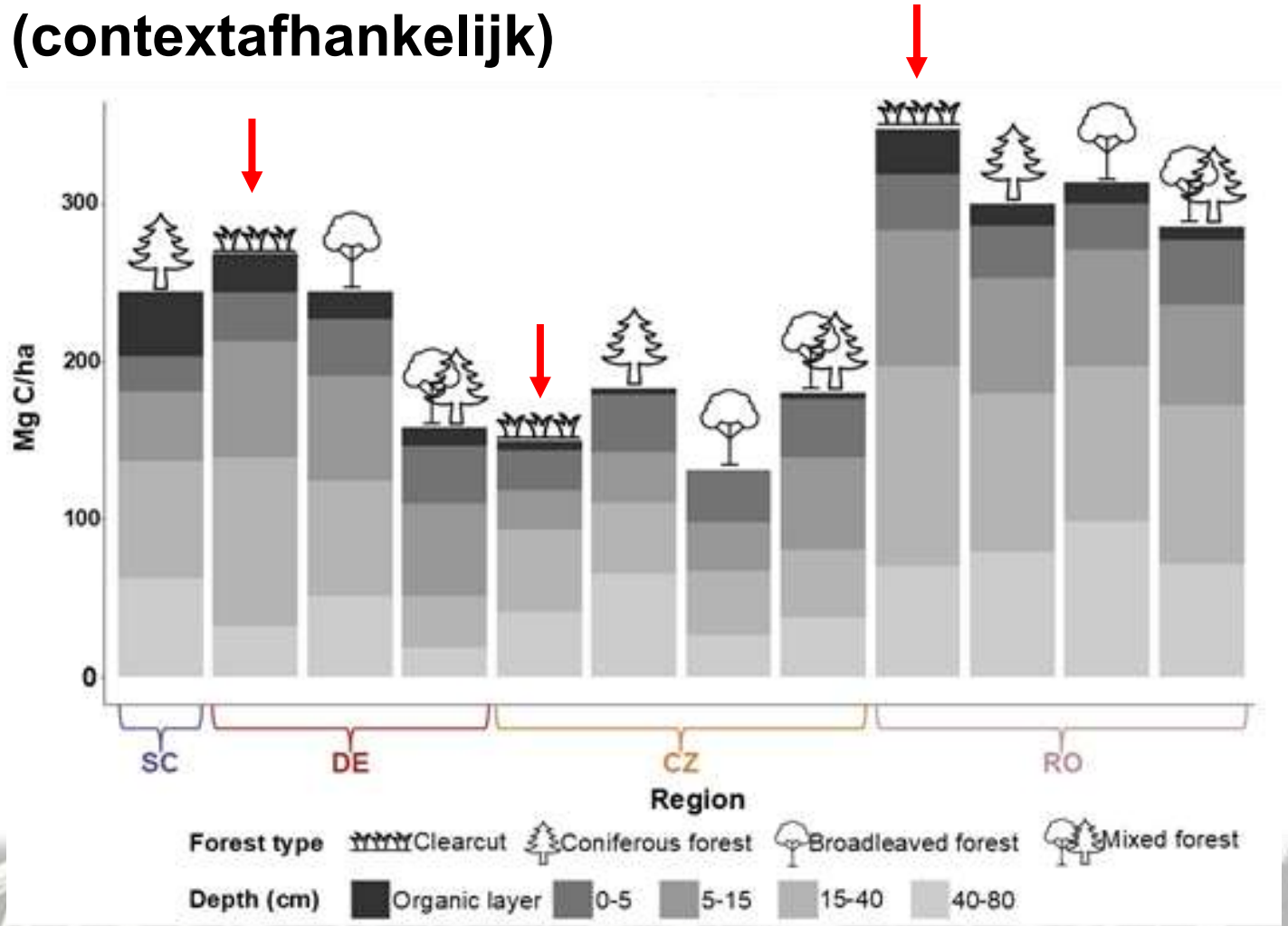
Wat hebben we geleerd?

- Belangrijkste voorspeller van bodemkoolstof
  - **Locatie (contextafhankelijk)**



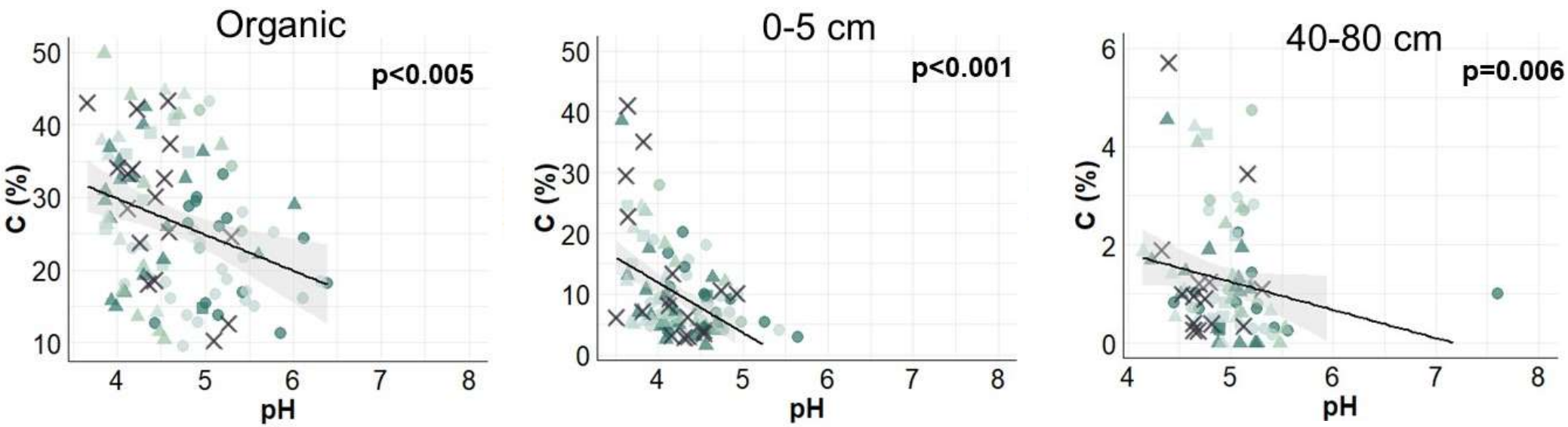
Wat hebben we geleerd?

- Belangrijkste voorspeller van bodemkoolstof
  - **Locatie (contextafhankelijk)**



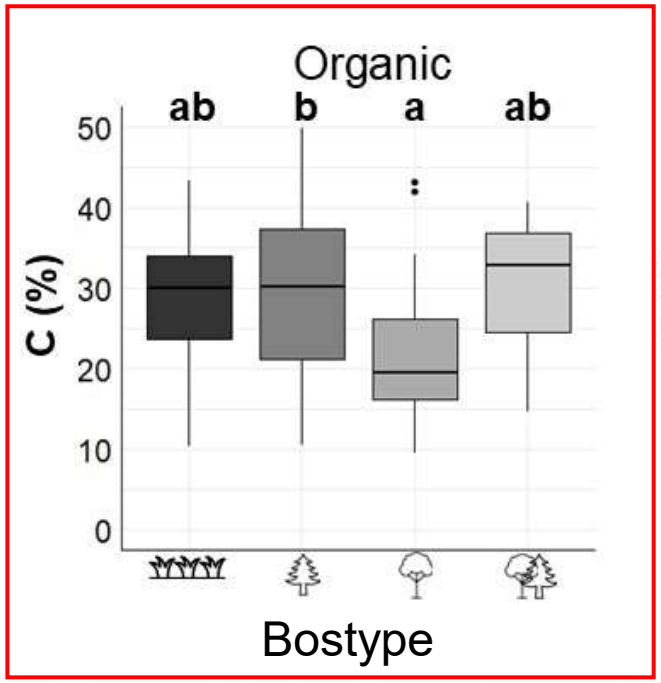
Wat hebben we geleerd?

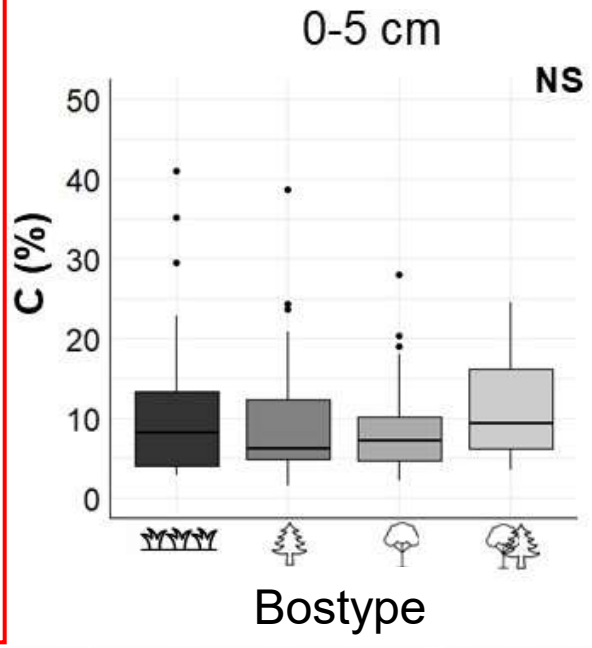
- Belangrijkste voorspeller van bodemkoolstof
  - Locatie (contextafhankelijk)
  - **pH**

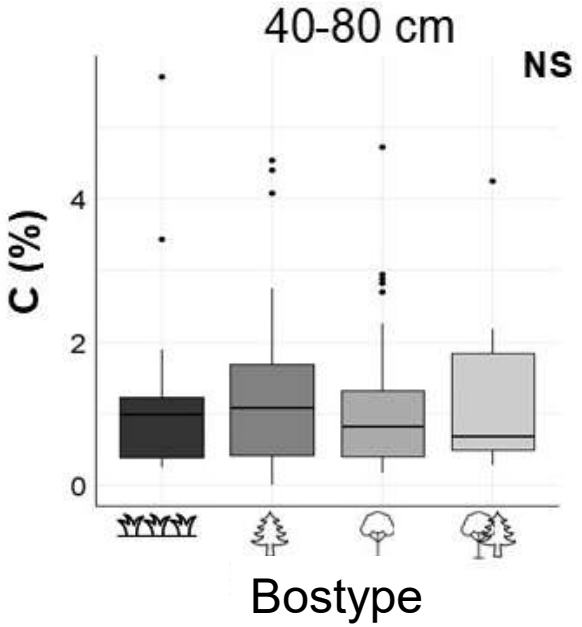


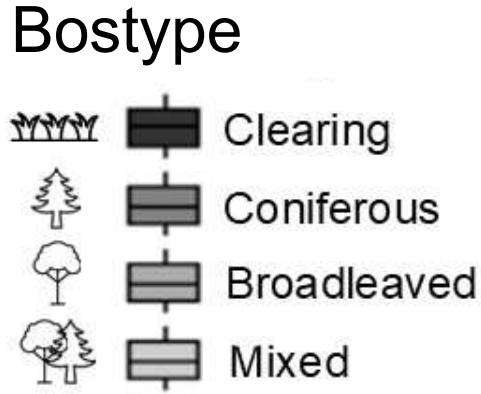
Wat hebben we geleerd?

- Belangrijkste voorspeller van bodemkoolstof
  - Locatie (contextafhankelijk)
  - pH
  - **Boomsoort**



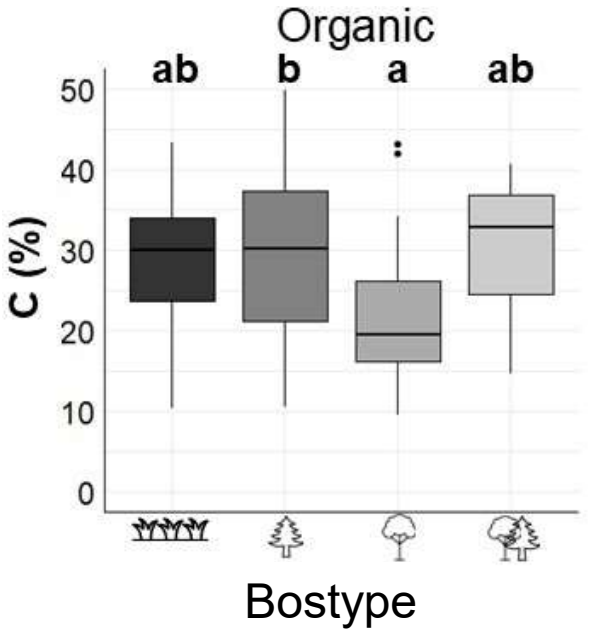


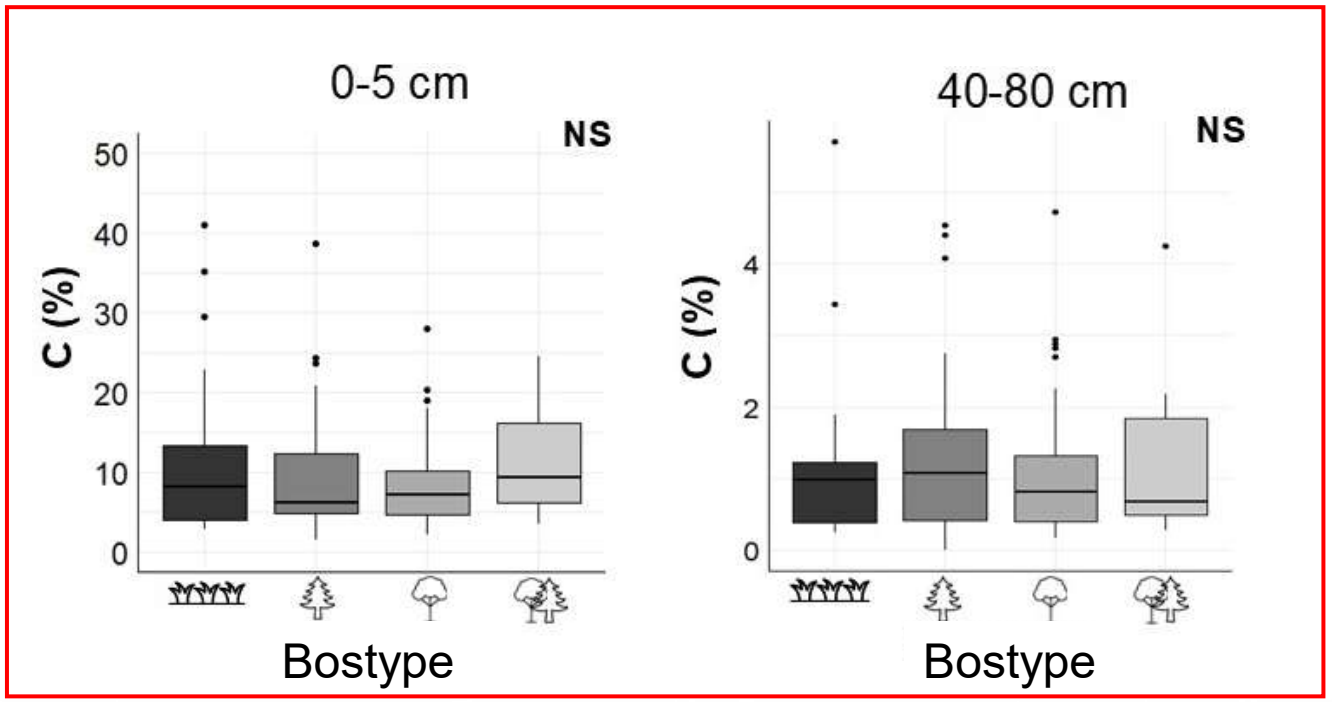


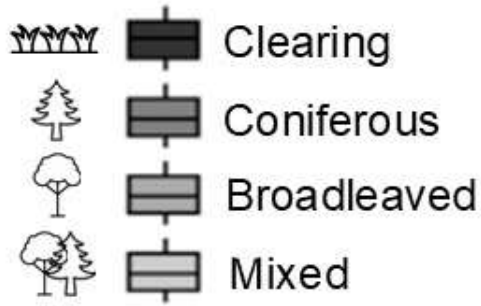


Wat hebben we geleerd?

- Belangrijkste voorspeller van bodemkoolstof
  - Locatie (contextafhankelijk)
  - pH
  - **Boomsoort**

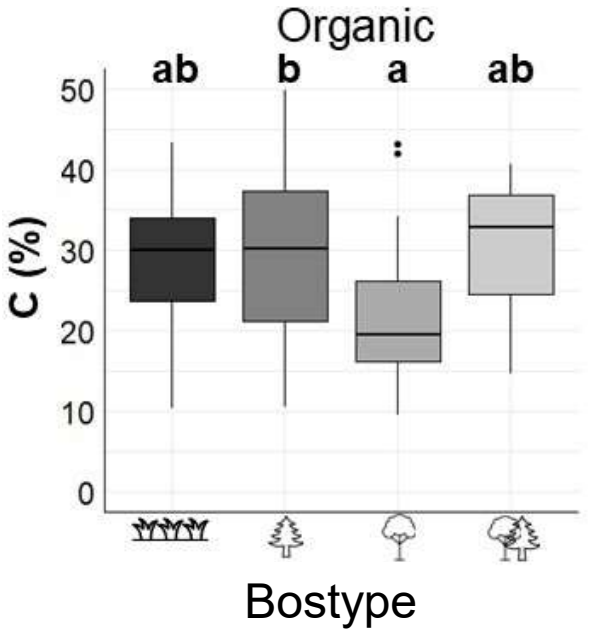


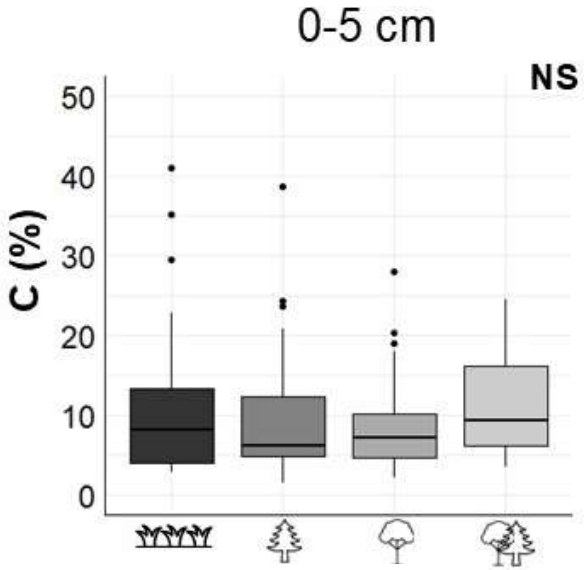


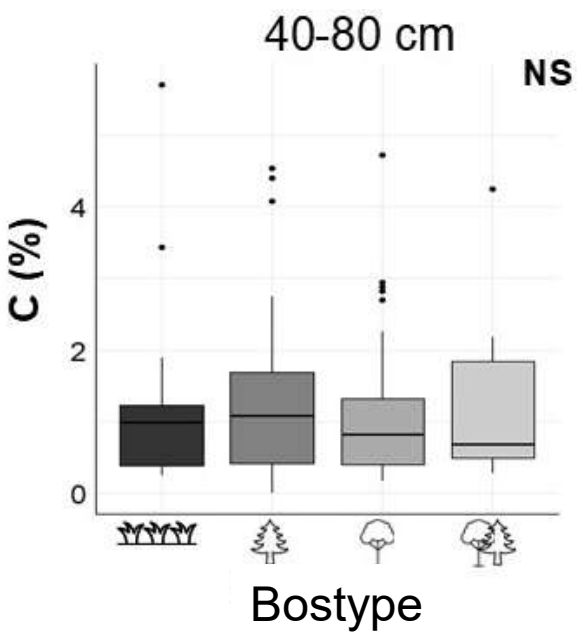


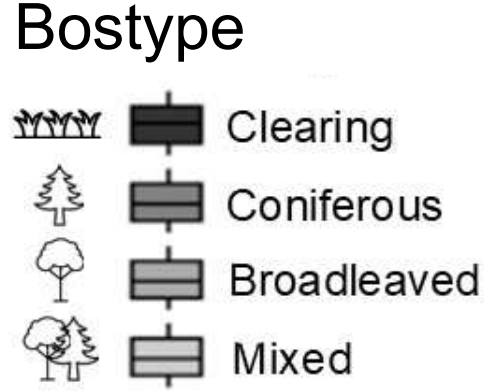
Wat hebben we geleerd?

- Belangrijkste voorspeller van bodemkoolstof
  - Locatie (contextafhankelijk)
  - pH
  - **Boomsoort**







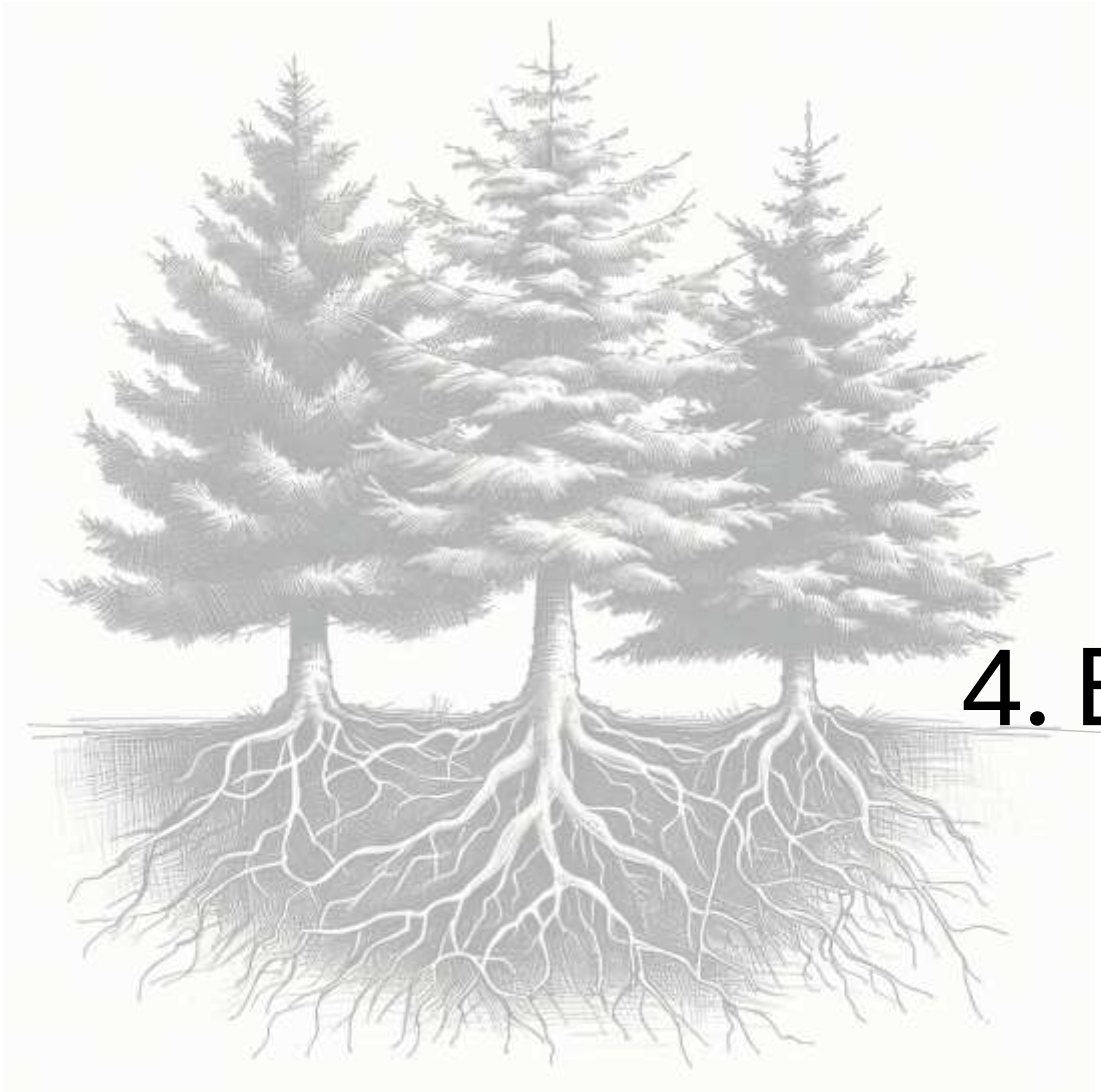


Wat hebben we geleerd?

- Belangrijkste voorspeller van bodemkoolstof
  - Locatie (contextafhankelijk)
  - pH
  - **Boomsoort**
    - Gemengde bossen kunnen voordelen combineren

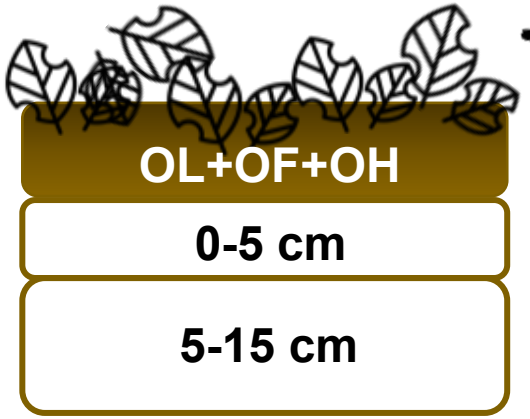
Wat hebben we geleerd?

- Belangrijkste voorspeller van bodemkoolstof
  - Locatie (contextafhankelijk)
  - pH
  - Boomsoort
    - Gemengde bossen kunnen voordelen combineren
- **Geen effect van leeftijd**
- Hoge vs. stabiele koolstof stocks?

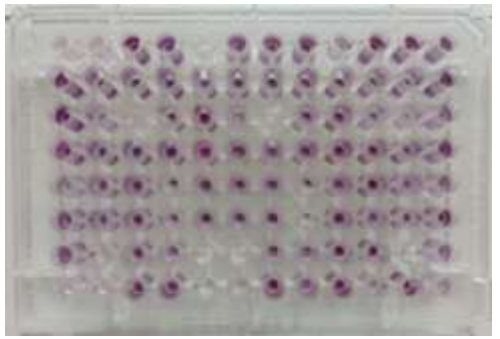


4. Bodemactiviteit

- Functie micro-organismen
  - Afbraak van organisch materiaal
  - Nutriëntenkringloop
  - Vorming van bodemstructuur
  - Algehele bodemvruchtbaarheid
- Gevoelig aan veranderingen in omgeving
- Bovenste deel van de bodem
- SUPERB: potentiële microbiële activiteit

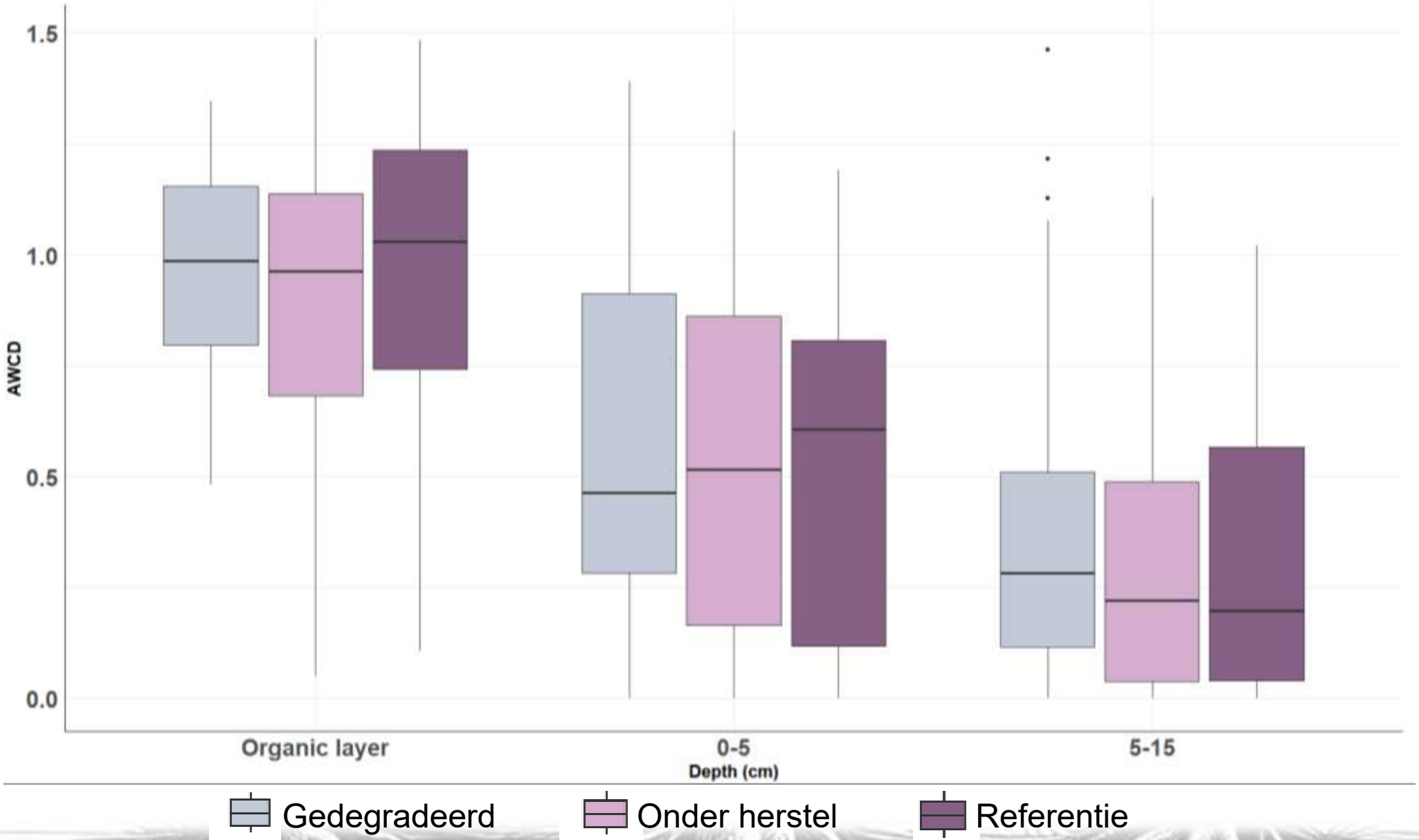


Meting 0

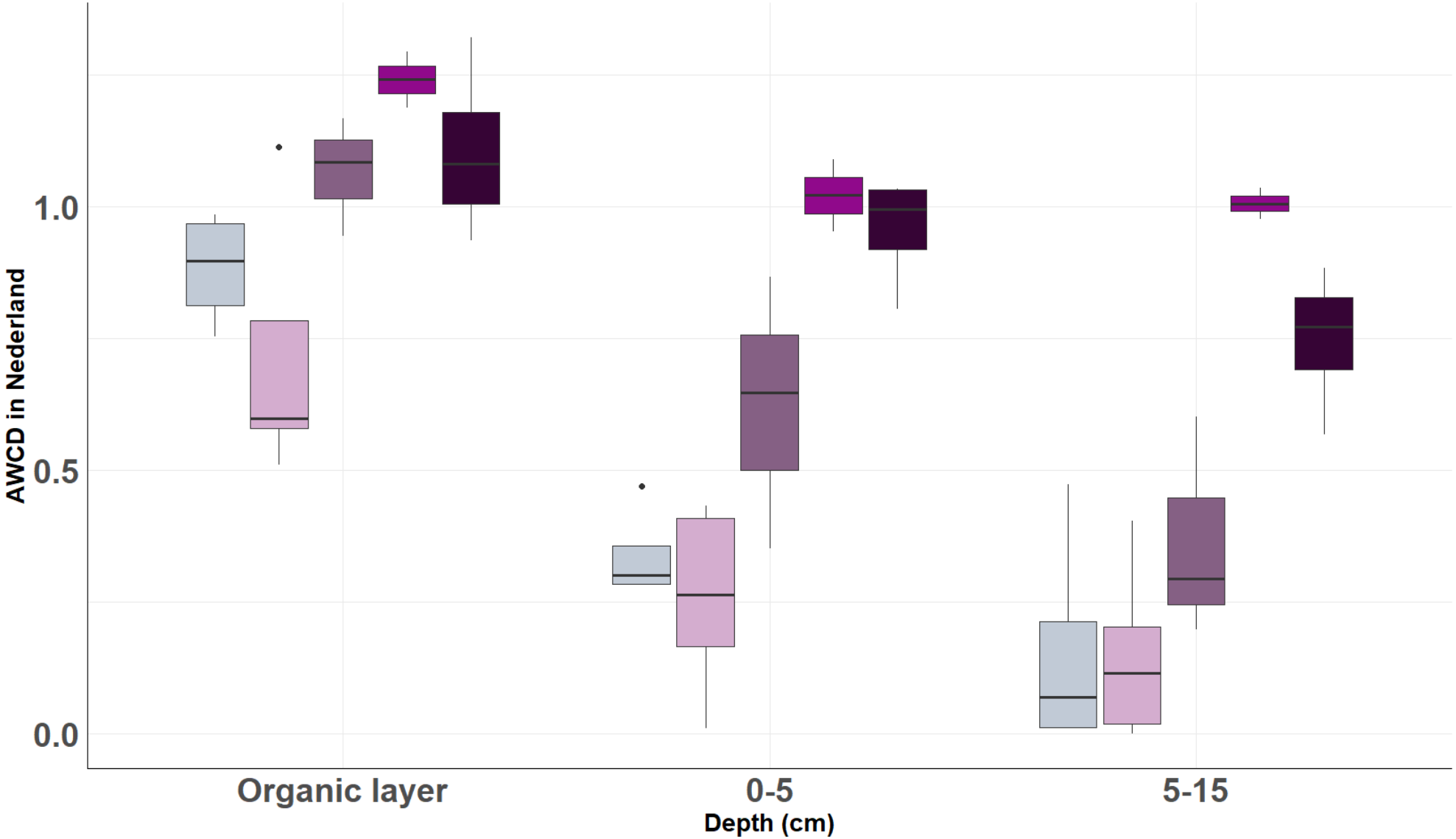


Meting 1

Effect van bosherstel op de Average Well Colour Development in **Europese bossen**



Effect van bosherstel op de Average Well Colour Development in **Nederland**



Verzuurd dennenbestand

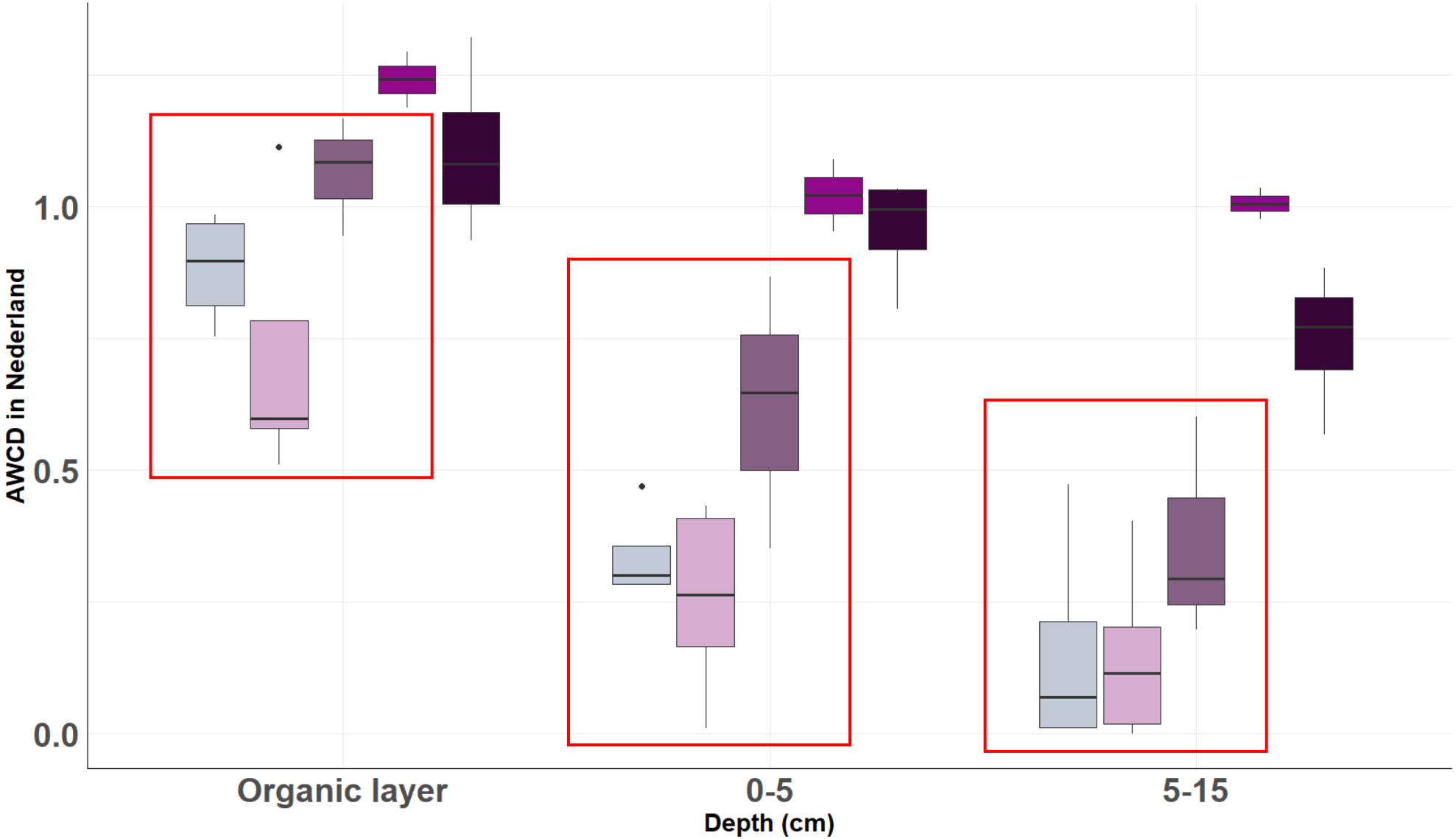
Rijk strooisel in dennenbestand (jong)

Rijk strooisel in dennenbestand (oud)

Arm strooisel op voorm LBgrond

Rijk strooisel voorm LBgrond

Effect van bosherstel op de Average Well Colour Development in **Nederland**



Verzuurd dennenbestand

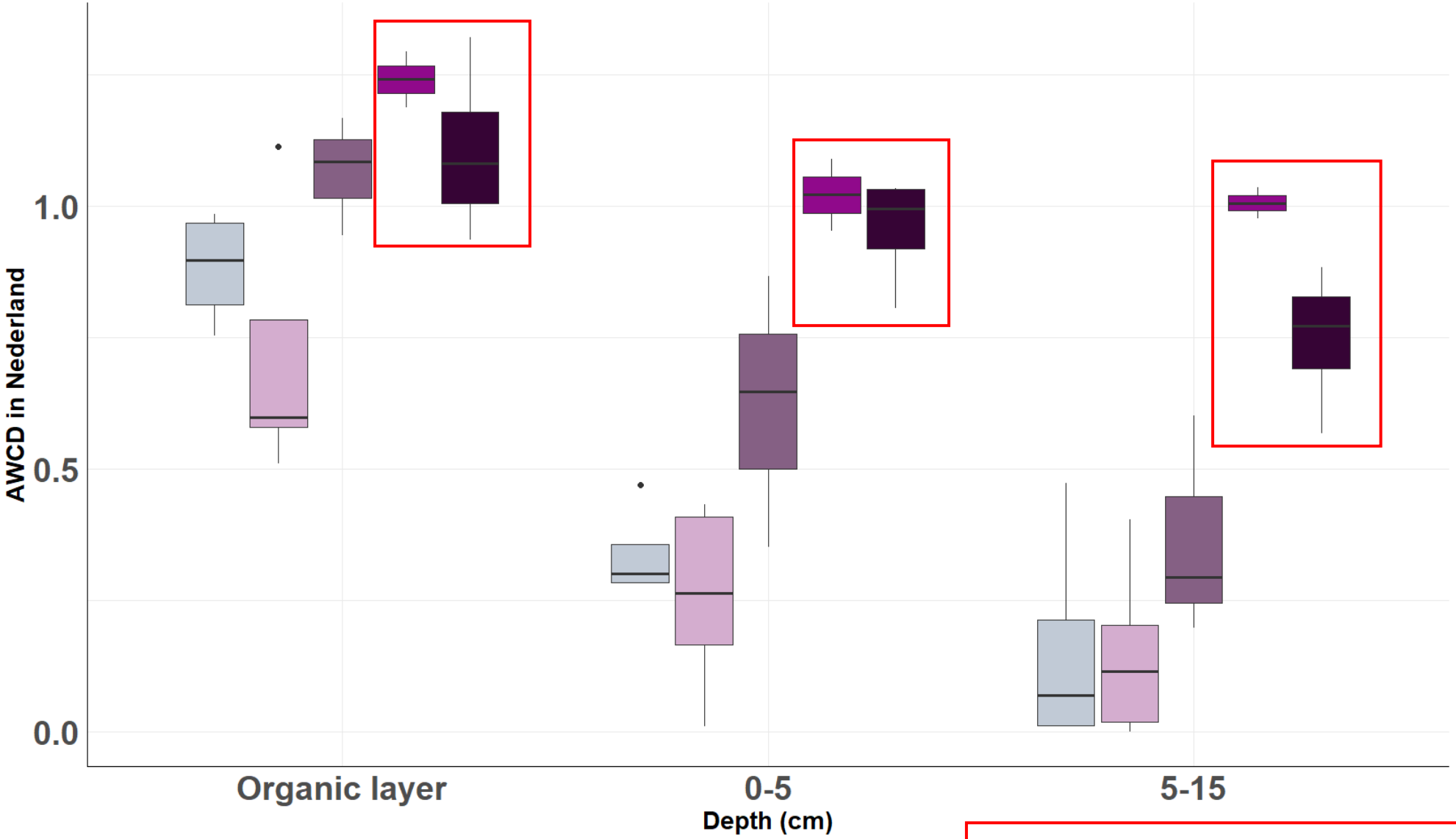
Rijk strooisel in dennenbestand (jong)

Rijk strooisel in dennenbestand (oud)

Arm strooisel op voorm LB grond

Rijk strooisel voorm LB grond

Effect van bosherstel op de Average Well Colour Development in **Nederland**



Verzuurd dennenbestand

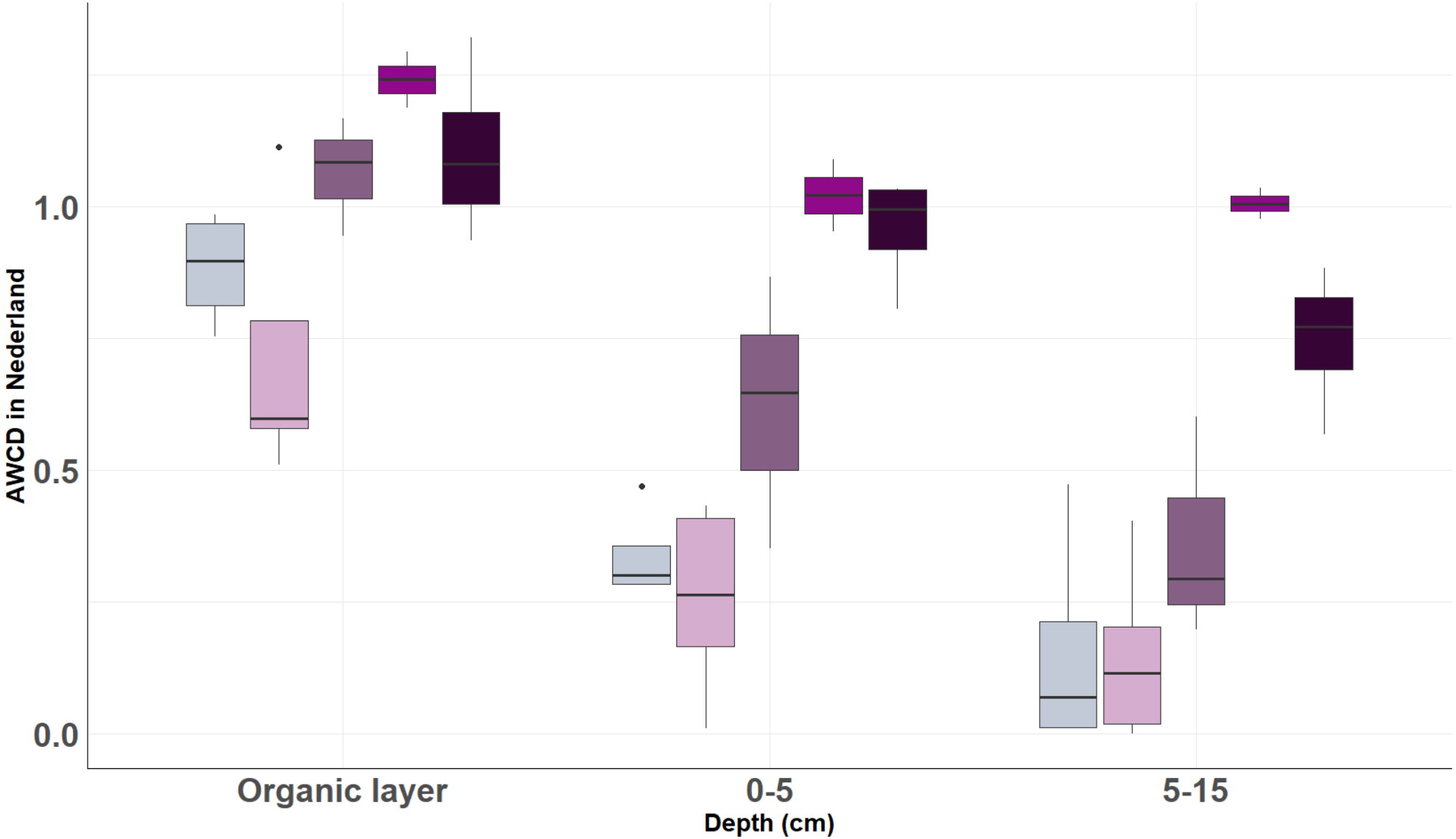
Rijk strooisel in dennenbestand (jong)

Rijk strooisel in dennenbestand (oud)

Arm strooisel op voorm LB grond

Rijk strooisel voorm LB grond

Effect van bosherstel op de Average Well Colour Development in **Nederland**



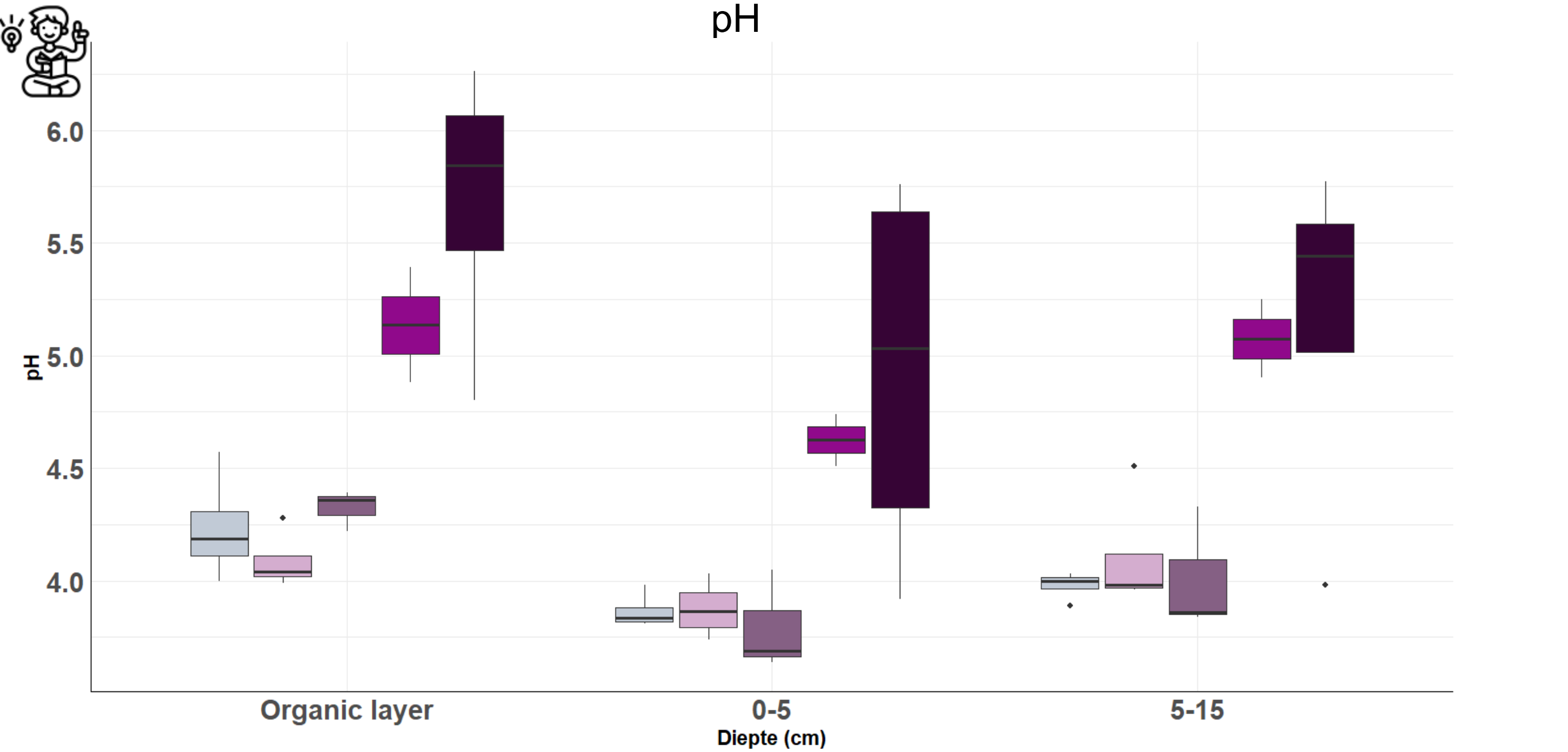
Verzuurd dennenbestand

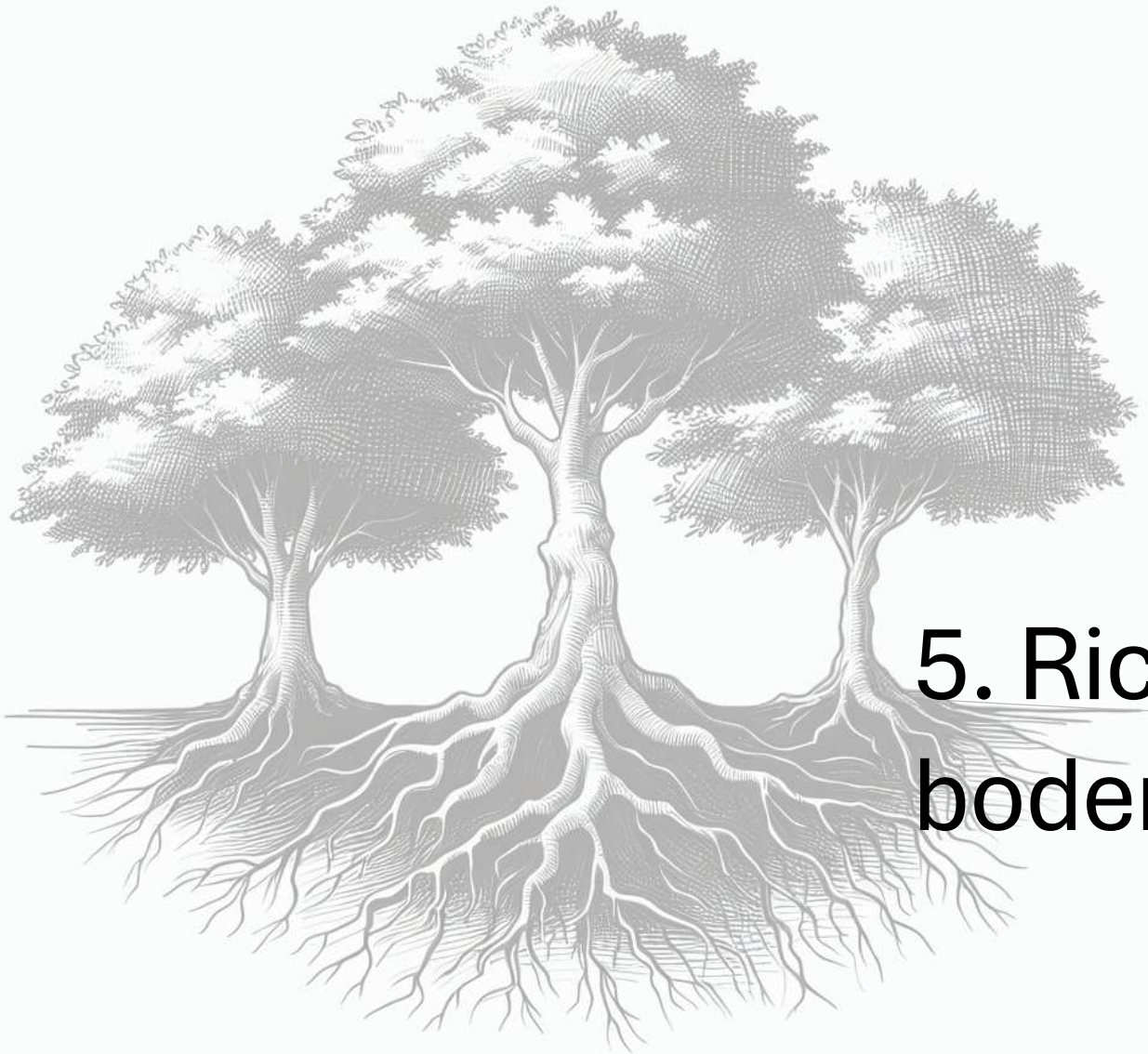
Rijk strooisel in dennenbestand (jong)

Rijk strooisel in dennenbestand (oud)

Arm strooisel op voorm LB grond

Rijk strooisel voorm LB grond


pH
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
pH
Organic layer
0-5
5-15
Diepte (cm)
Verzuurd dennenbestand
Rijk strooisel in dennenbestand (jong)
Rijk strooisel in dennenbestand (oud)
Arm strooisel op voorm LB grond
Rijk strooisel voorm LB grond



5. Richtlijnen voor bos-en bodemherstel

Hoe bosherstel meten en evalueren?

One-size-fits-all aanpak is niet mogelijk

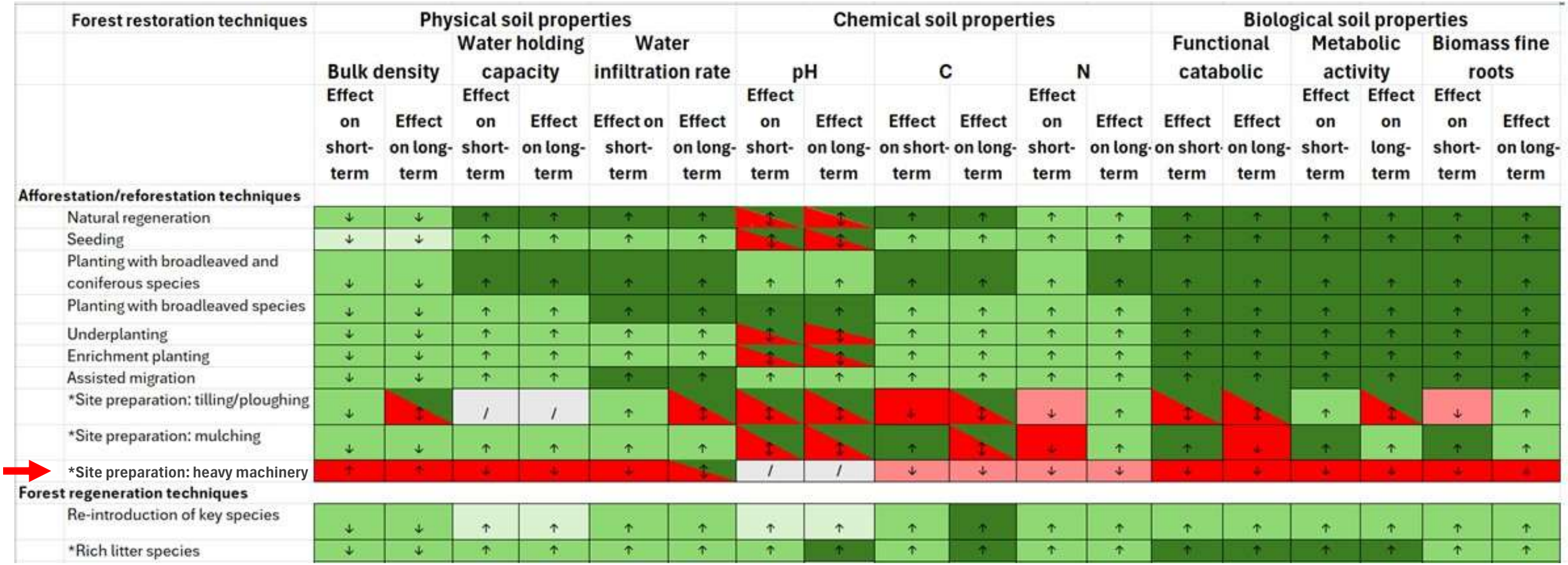
What to restore?
How to restore?
How to monitor?

What to **restore**

- Fysische, chemische en biologische parameters
- Scalable indicatoren

	Physical	Chemical	Biological
Scalable indicator	**Bulk density**	**Carbon**	**Metabolic activity**
	Aggregate stability	**Nitrogen**	
		pH	
		EC	
Nice-to-have	Water holding capacity	CEC	**Catabolic microbial activity and diversity**
	Water infiltration rate	Specific nutrient status (NO3-, NH4+, P, K, base cations)	**Biomass fine roots**

How to restore



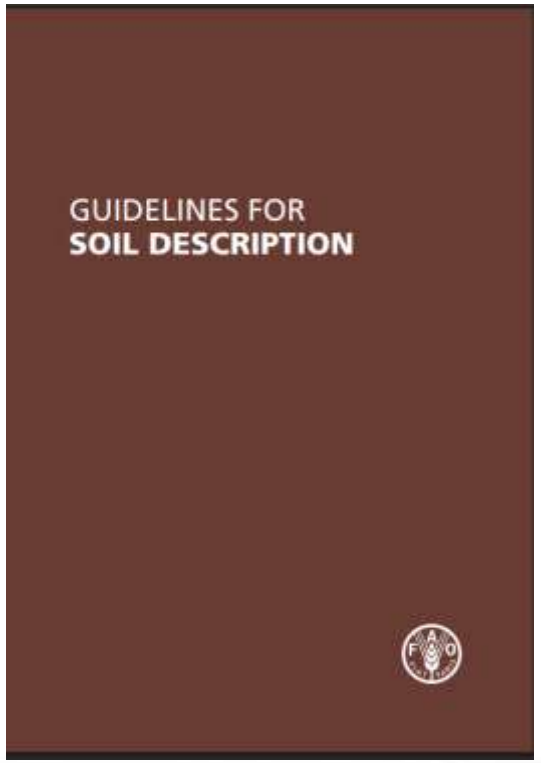
Forest restoration techniques	Physical soil properties						Chemical soil properties						Biological soil properties					
	Bulk density		Water holding capacity		Water infiltration rate		pH		C		N		Functional catabolic		Metabolic activity		Biomass fine roots	
	Effect on short-term	Effect on long-term	Effect on short-term	Effect on long-term	Effect on short-term	Effect on long-term	Effect on short-term	Effect on long-term	Effect on short-term	Effect on long-term	Effect on short-term	Effect on long-term	Effect on short-term	Effect on long-term	Effect on short-term	Effect on long-term	Effect on short-term	Effect on long-term
Afforestation/reforestation techniques																		
Natural regeneration	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↕	↕	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Seeding	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↕	↕	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Planting with broadleaved and coniferous species	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Planting with broadleaved species	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Underplanting	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↕	↕	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Enrichment planting	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↕	↕	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Assisted migration	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
*Site preparation: tilling/ploughing	↓	↕	/	/	↑	↕	↕	↕	↓	↕	↓	↑	↕	↕	↑	↕	↓	↑
*Site preparation: mulching	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↕	↕	↑	↕	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑
*Site preparation: heavy machinery	↑	↑	↓	↓	↓	↕	/	/	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Forest regeneration techniques																		
Re-introduction of key species	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
*Rich litter species	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

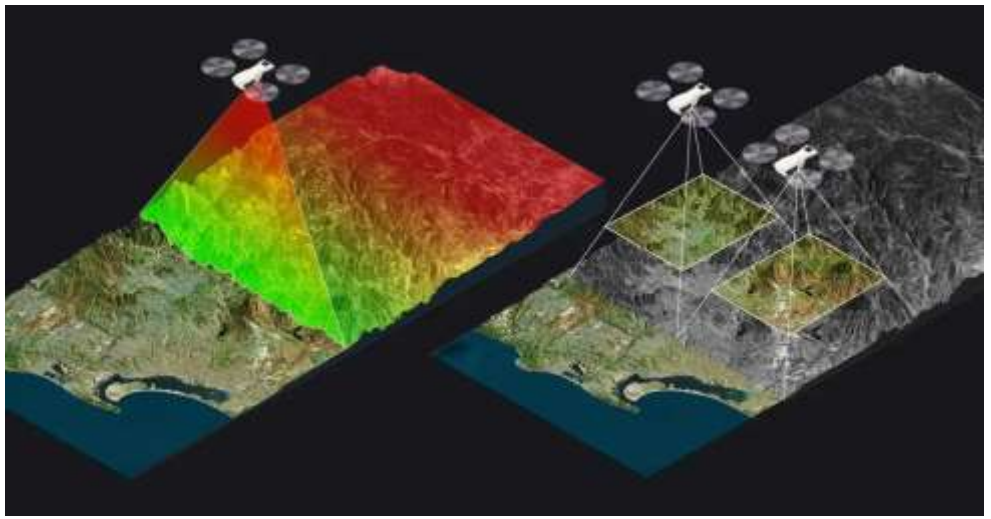
How to **restore**

- Richtlijnen zijn
  - Een **inschatting** van management-effecten op bodem
- Belangrijke kanttekening bij het interpreteren
  - Historisch landgebruik
  - Wijze waarop herstelmaatregelen worden uitgevoerd

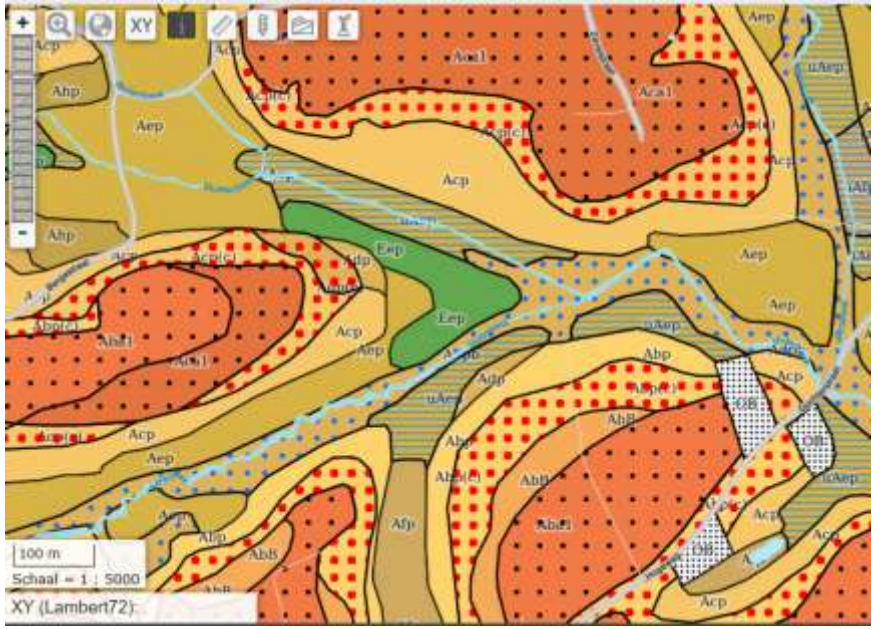
How to **monitor**

- Baseline vaststellen
  - Bodemcapaciteit (capability) in kaart brengen



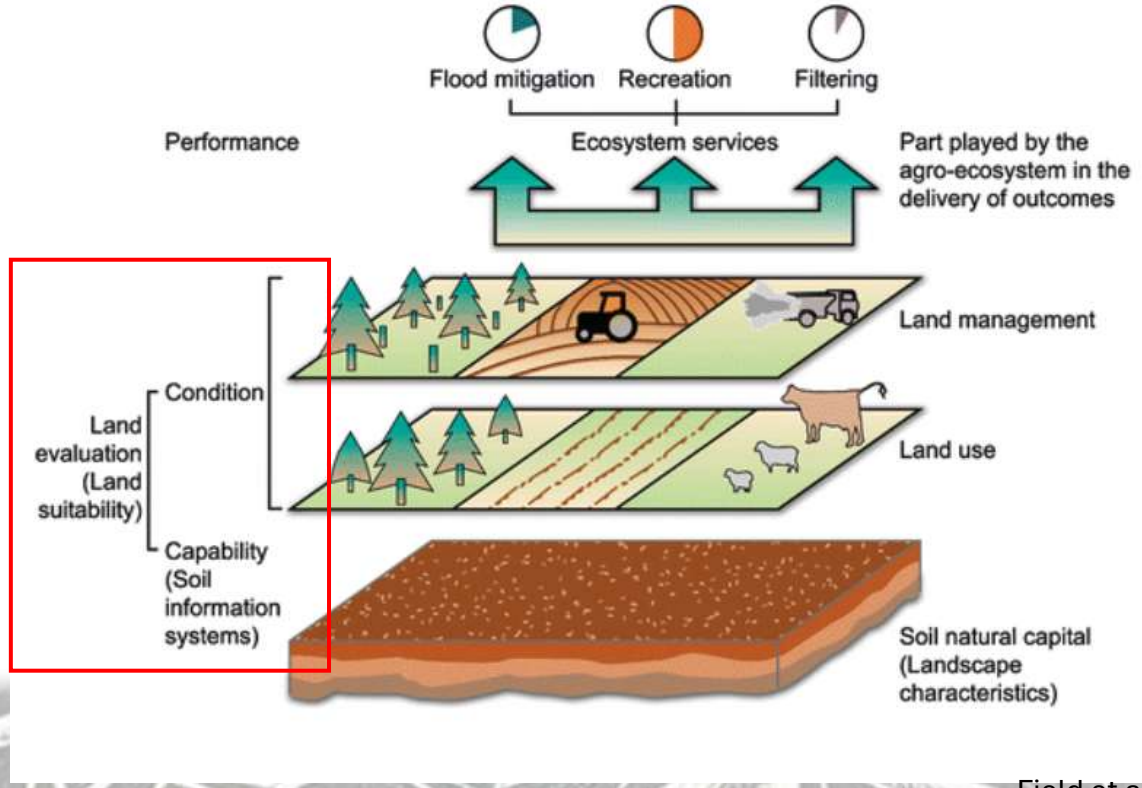


QGIS



How to **monitor**

- Baseline vaststellen
  - Bodemcapaciteit (capability) in kaart brengen
  - Bodemconditie (condition) monitoren



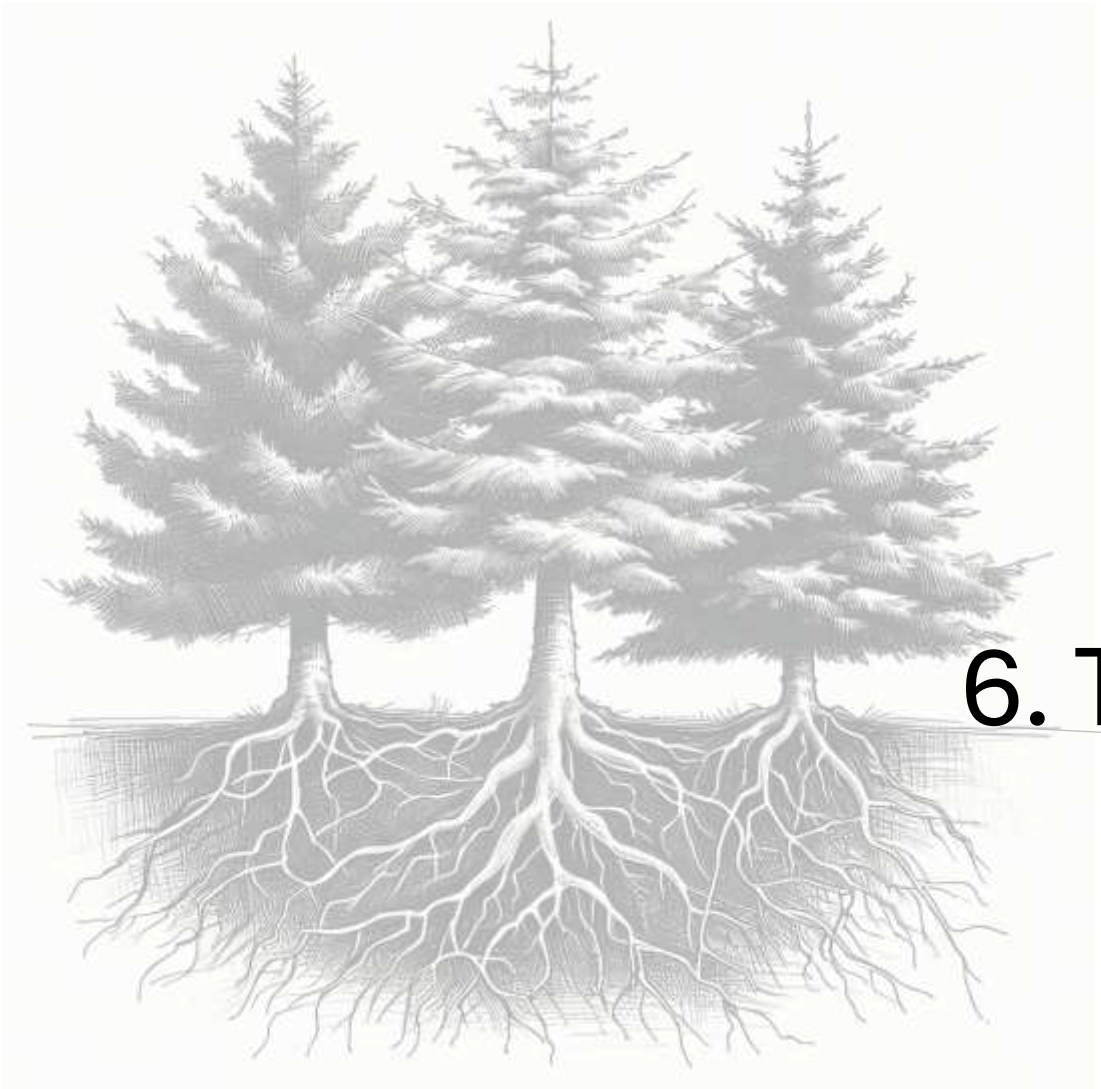
Field et al. (2017)

How to **monitor**

- Baseline vaststellen
  - Bodemcapaciteit (capability) in kaart brengen
  - Bodemconditie (condition) monitoren
  - Degradatie problemen in kaart brengen
  - Heldere hersteldoelen vooropstellen
- Monitoren vóór en na bosherstel
  - Scalable indicatoren

How to monitor

	Carbon (%)	Nitrogen (%)	pH	Bulk density (g/cm³)			
Soil property	Chemical	Chemical	Chemical	Physical			
Importance	Soil organic matter	Plant growth	Nutrient availability, microbial communities and decomposition rate	It reflects s compaction, influencing multip soil functions			
Sampling before every intervention?	Yes	Yes	Yes	Yes			
Sampling after every intervention?	Yes	Yes	Yes	Yes			
Long-term sampling frequency	Every 10 years	Every 10 years	Every 10 years	Every 5 years			
Sampling depths	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm 15-40 cm 40-80 cm	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm 15-40 cm 40-80 cm	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm 15-40 cm 40-80 cm	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm 15-40 cm 40-80 cm	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm 15-40 cm 40-80 cm	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm
Sampling time (3 augerings per site) *	~1 hour					~30 minutes	
Sampling method	Sampling for soil carbon stocks	Sampling for soil carbon stocks	Sampling for soil carbon stocks	Manual on methods for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis	Sampling for soil carbon stocks	Sampling for microorganisms	Sampling for microorganisms
Analysed depths	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm 15-40 cm 40-80 cm	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm 15-40 cm 40-80 cm	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm 15-40 cm 40-80 cm	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm 15-40 cm 40-80 cm	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm	OL+OF+OH 0-5 cm 5-15 cm	0-5 cm



6. Take-home message

- Bos en bodem zijn 1 geheel
- Bosherstel is
  - Contextafhankelijk
  - Een traag proces
- Do's:
  - Bodemproductiviteit kennen
  - Degradatie problemen kennen
  - Hersteldoelen vooropstellen
  - Gebruik scalable indicatoren

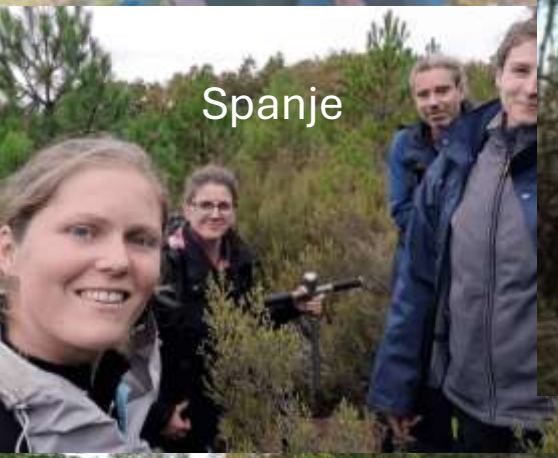

Tsjechië


Zweden


Duitsland


Frankrijk


Nederland


Spanje


Schotland

Bedankt!


Roemenië


Italië


Denemarken


Servië