

Wald als neue CO₂-Quelle?

Beitrag des Wald-um-baus zum Klimaschutz – Rolle der Böden

Prof. Dr. Reinhard Hüttl & Dr. Uwe Schneider

Eco-Environment Innovation, Berlin

Brandenburgische Energieholztage 2026

Unsere Böden: Kohlenstoff-Speicher oder Kohlenstoff-Quelle?

Aktuelle Situation und Perspektiven

Prof. Dr. Reinhard Hüttl

Dr. Uwe Schneider

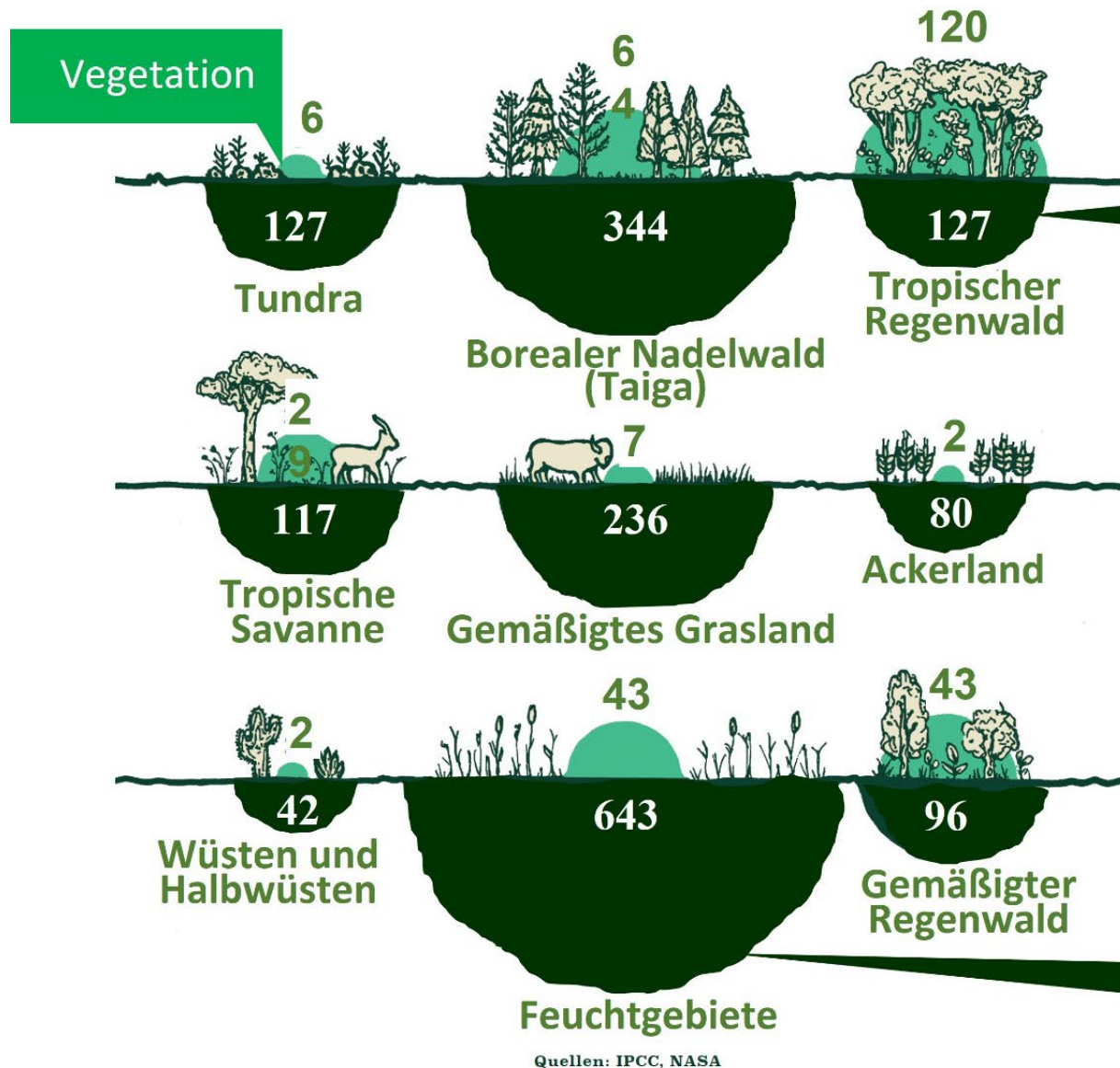
Juli 2025



Impuls-Studie Nr. 5

Vorge stellt am 27. Juli 2025
„Energiegespräche am Reichstag“
in der *Parlamentarischen Gesellschaft*

Boden: Herausforderung Klimaschutz und CO₂-Speicherung

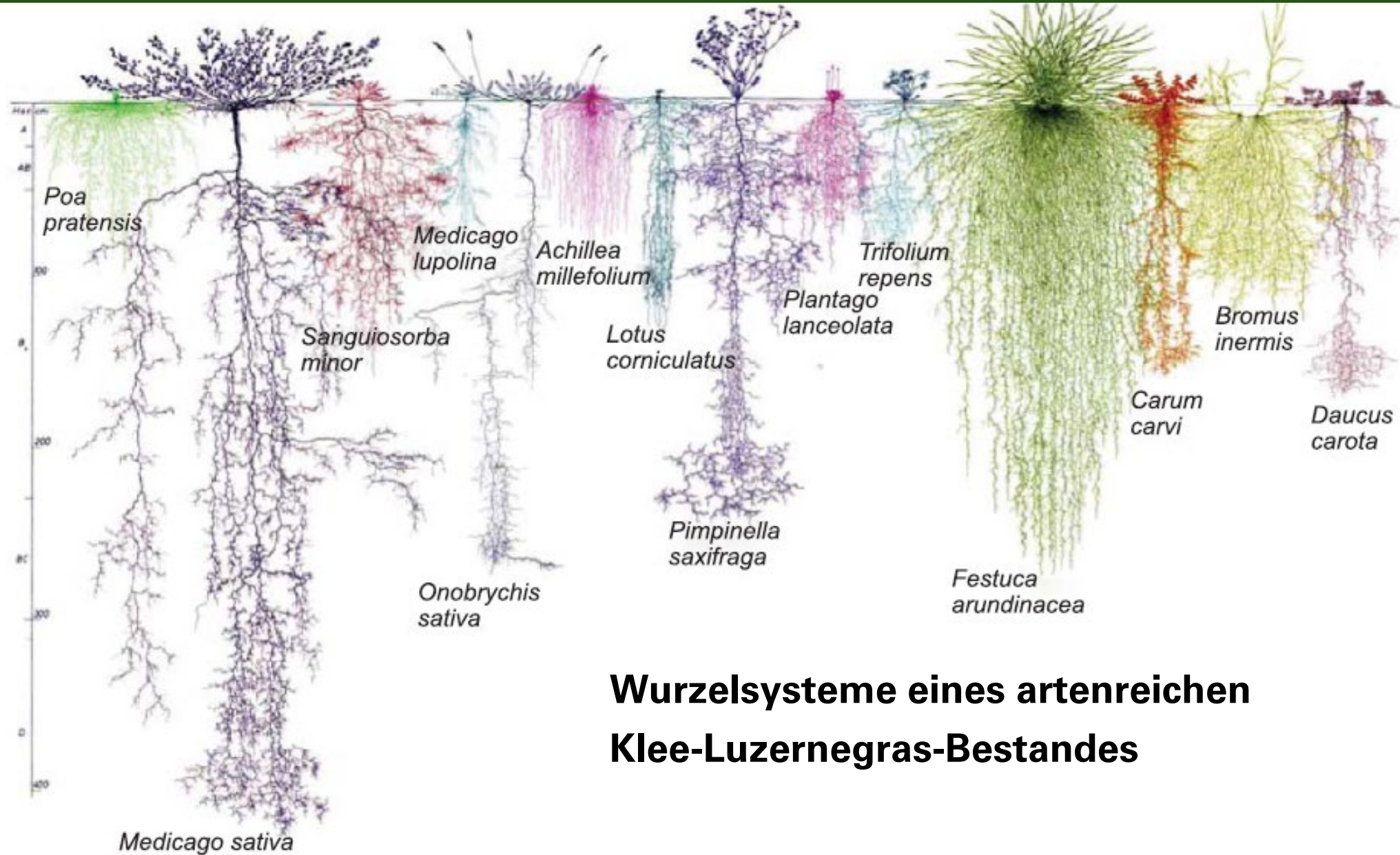


Kohlenstoffspeicher Boden
(Angaben in Tonnen je Hektar)

**Kohlenstoffspeicherung in Böden
nach Klimazonen und Biomen**

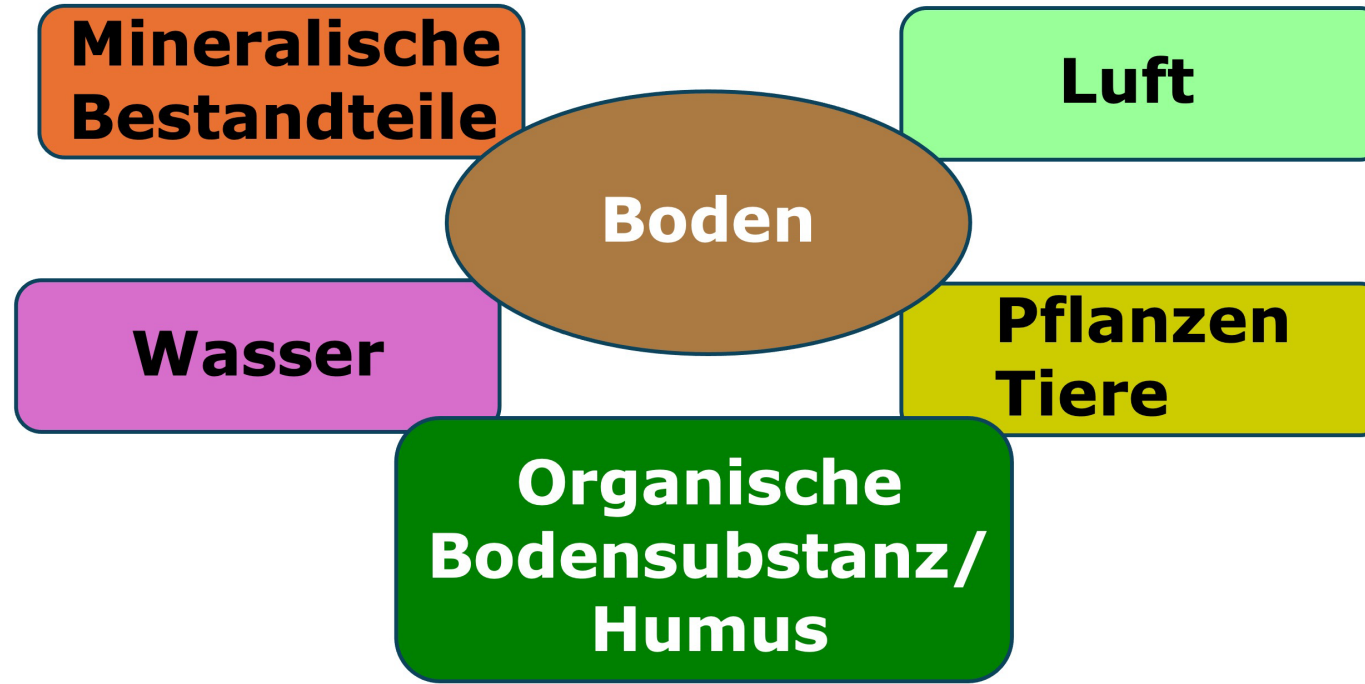
Wie gut Böden Kohlenstoff speichern, hängt von Bodenart, Vegetation und Klima ab. Je feuchter und kühler, desto besser.

Boden – Black Box tiefe Rhizosphäre



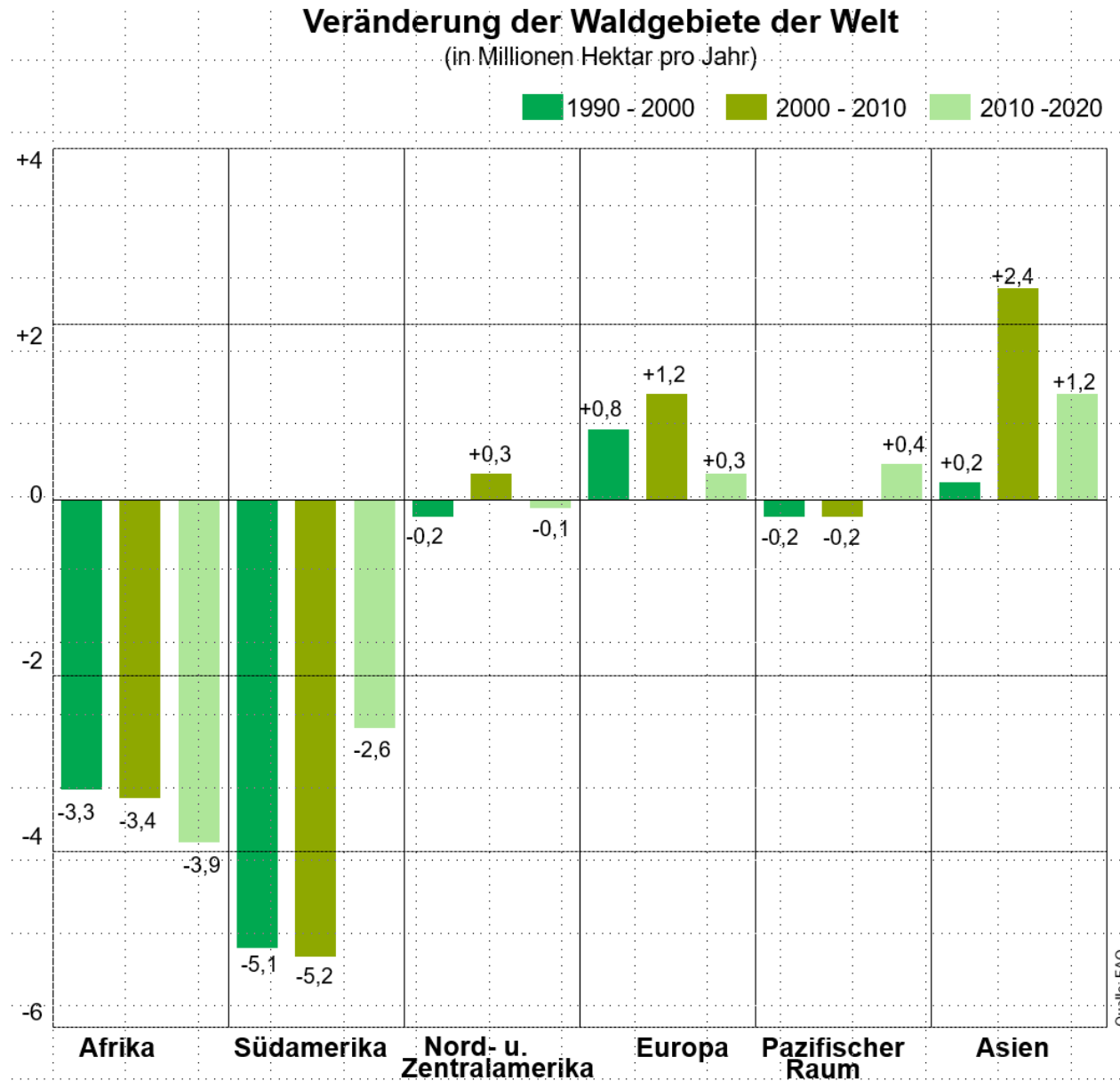
**Wurzelsysteme eines artenreichen
Klee-Luzernegras-Bestandes**

Haupt- Bestandteile des Bodens



- ➡ **Kohlenstoffspeicherung**
- ➡ **Wasserspeicherung**
- ➡ **Lebensraum und Nährstoffquelle für Pflanzen und Bodentiere / Mikrobiom**

Veränderung der Waldgebiete der Welt (in Millionen Hektar pro Jahr)



Allein in Deutschlands Wäldern waren im Jahr 2017 nach den Ergebnissen der Kohlenstoffinventur des Thünen-Instituts 1,2 Milliarden t Kohlenstoff gebunden (ca. 4,5 Mrd. t CO₂)

Der deutsche Wald entlastete 2017 die Atmosphäre um rund 62 Millionen Tonnen Kohlendioxid und kompensierte so etwa 7 % der deutschen Treibhausgasemissionen.

Durch Stürme, Hitzesommer und Borkenkäferbefall wurden ca. 285.000 ha Wald (eine Fläche so groß wie das Saarland) zerstört; Fichtenwald:

- oberirdisch 100-150 t C / ha
- Wurzeln 20-40 t C / ha
- Boden und Streu 100-200 t C / ha
- $\varnothing$ 250-400 t C / ha x 3,67 $\hat{=}$ **350 Mio. t CO₂**

Andres Bolte, Leiter Thünen-Institut für Waldökologie:
„Der gebundene Kohlenstoffvorrat ist zwar noch immer sehr hoch. Doch in den letzten Jahren dürfte der Deutscher Wald eher Kohlenstoffquelle statt Kohlenstoffsenke gewesen sein.“

Boden: Herausforderung Wald- und Forstwirtschaft

- **Desiderat des Waldsterbens:** Ökologischer Waldumbau der Reinbestände (Fichte / Kiefer)
- **Desiderat des Klimawandels:** Klima-resiliente Wälder (Baumarten / Struktur)
- **Wald als CO₂-Speicher in DE:** 62 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr
 - *Standpunkt 1: Bauen vorrangig mit Holz*
 - *Standpunkt 2: Wald sich selbst überlassen*
 - *Standpunkt 3: Ökologischer Waldbau / Ökosystemdienstleistungen*

Boden: Herausforderung Wald- und Forstwirtschaft



1. sub-maritimes Tieflandsklima

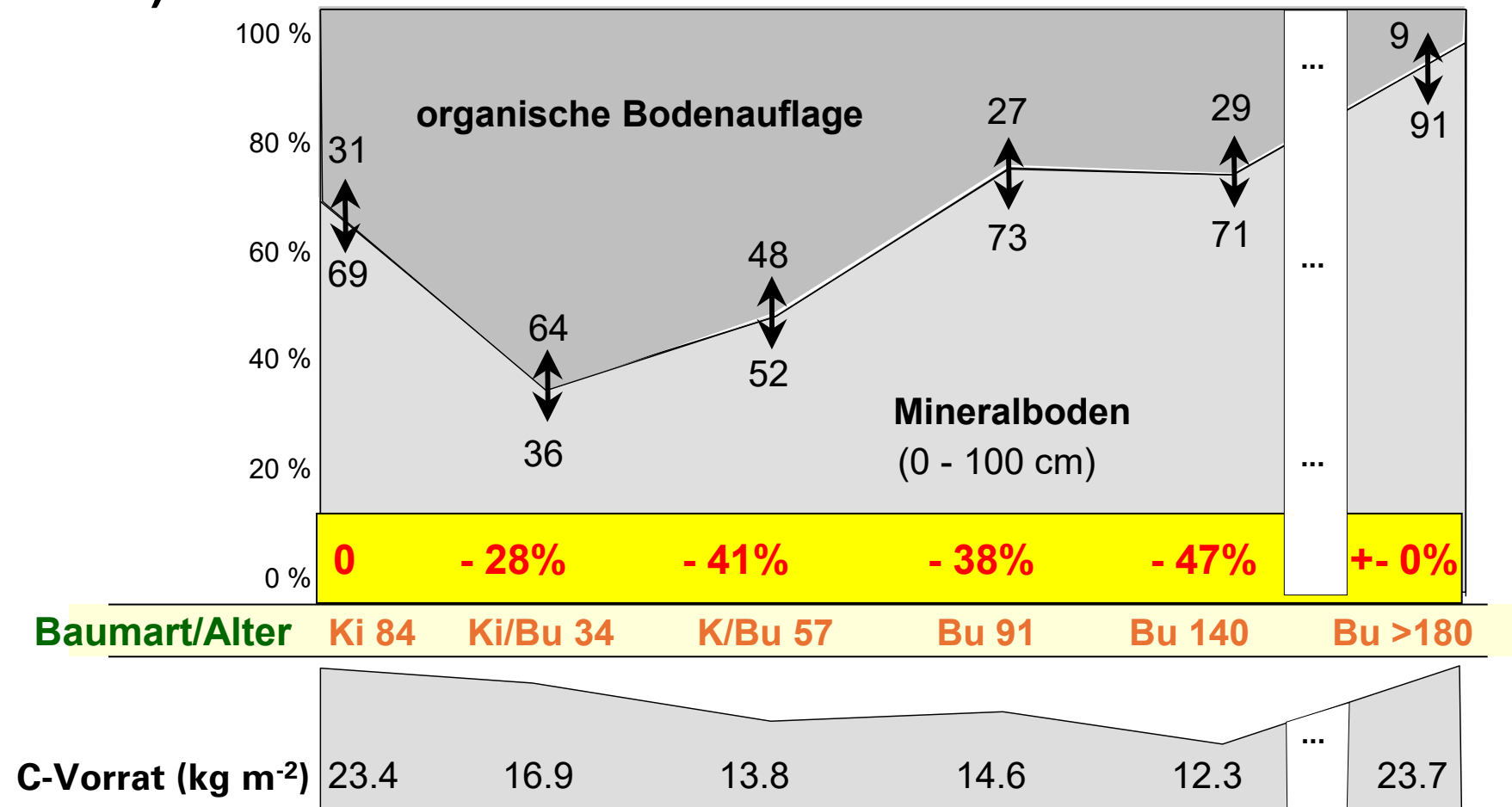
- Buchen-Wälder

2. sub-kontinentales Tieflandsklima

- Eichen-Kiefern-Wälder



Wirkung des Waldumbaus auf die Verteilung von organisch gebundenem Kohlenstoff [kg m⁻²] in der organischen Bodenauflage und im Mineralboden (bis 100 cm Tiefe)

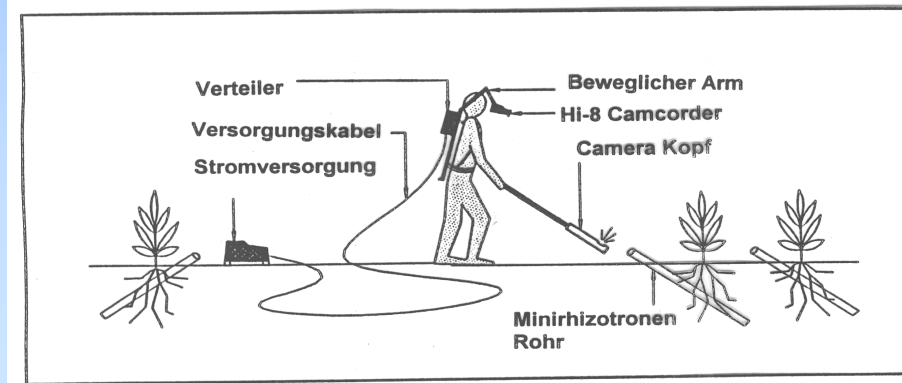
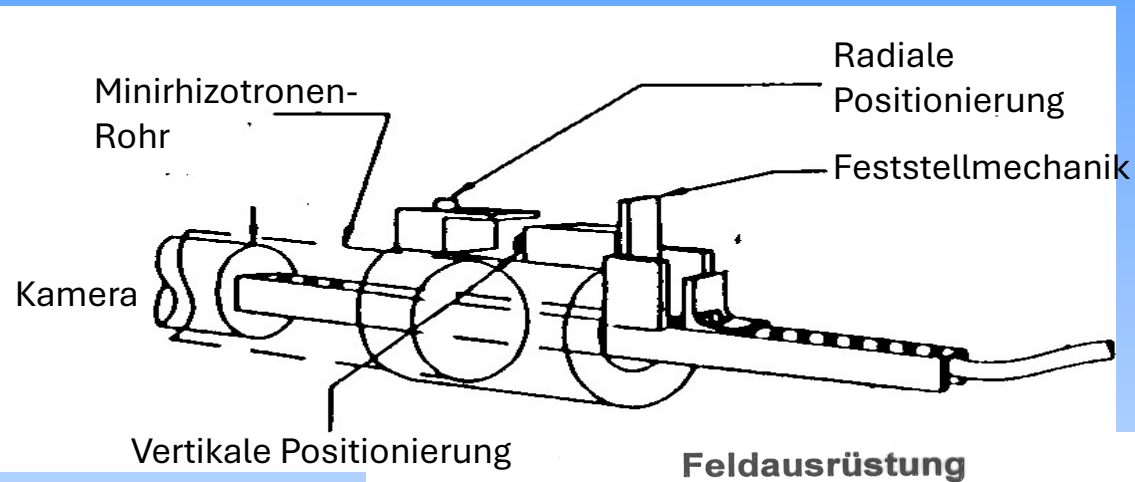


Ein neuer Bodengleichgewichtszustand
wird erst nach über 100 Jahren erreicht!

Bens et al., 2007

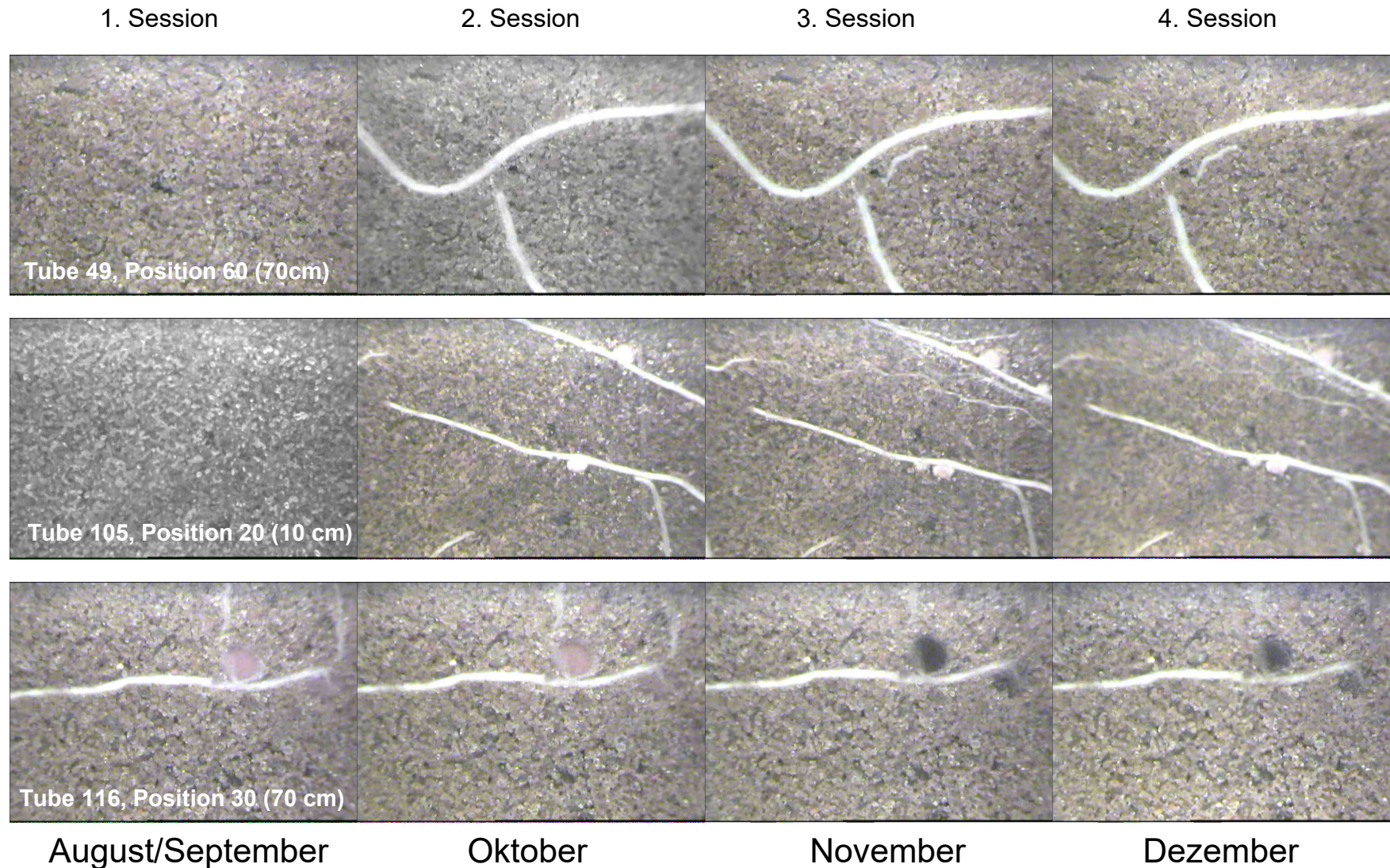
Minirhizotronen-Technik

Einzigste Methode für die kontinuierliche Aufzeichnung des Wachstums von Feinwurzeln sowie des Feinwurzelsatzes an identischen Proben



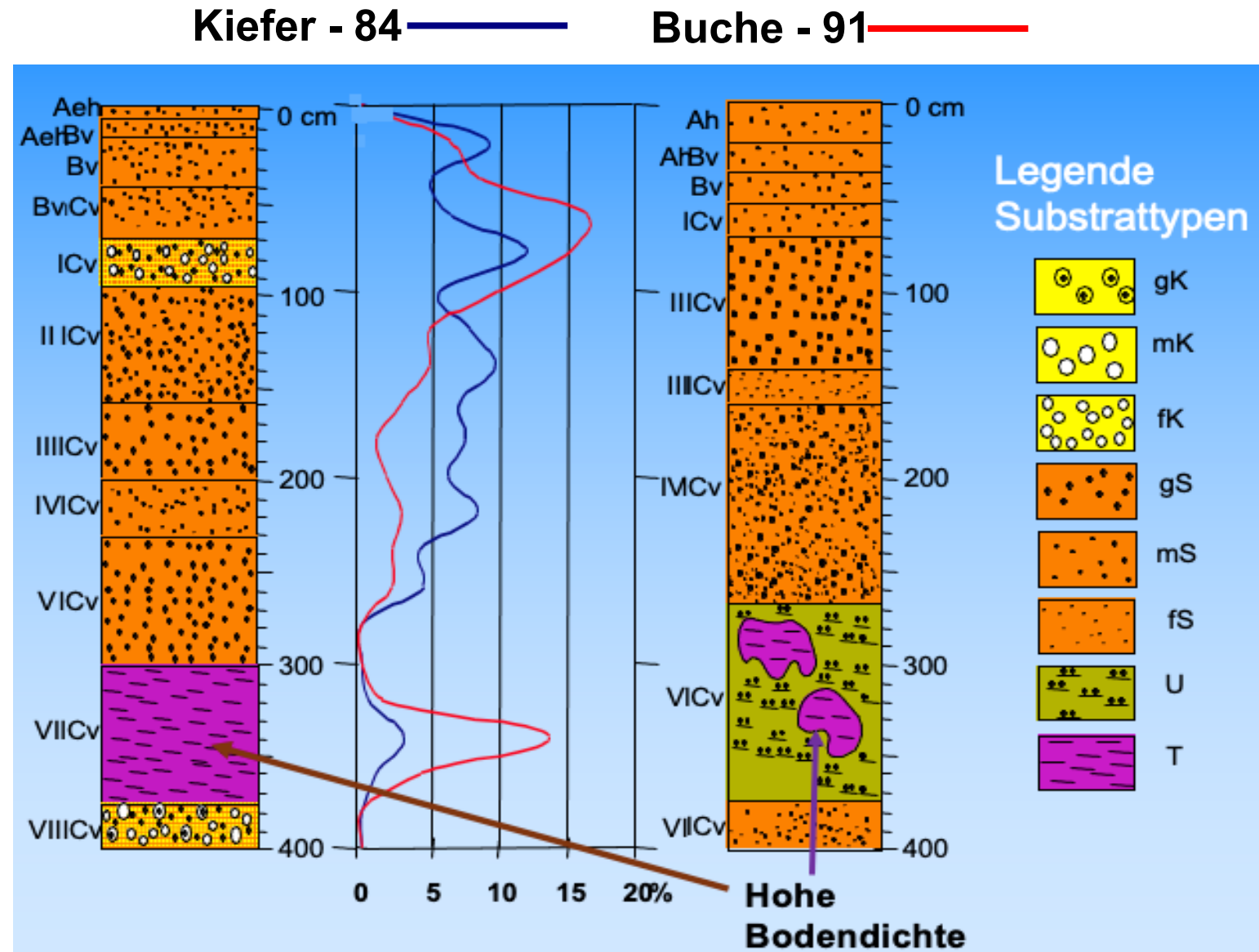
Beispiel aus der Rekultivierungsforschung:

Rhizotronenbilder zum Wachstum von von *Lotus corniculatus* Wurzeln in der Vegetationsperiode 2006



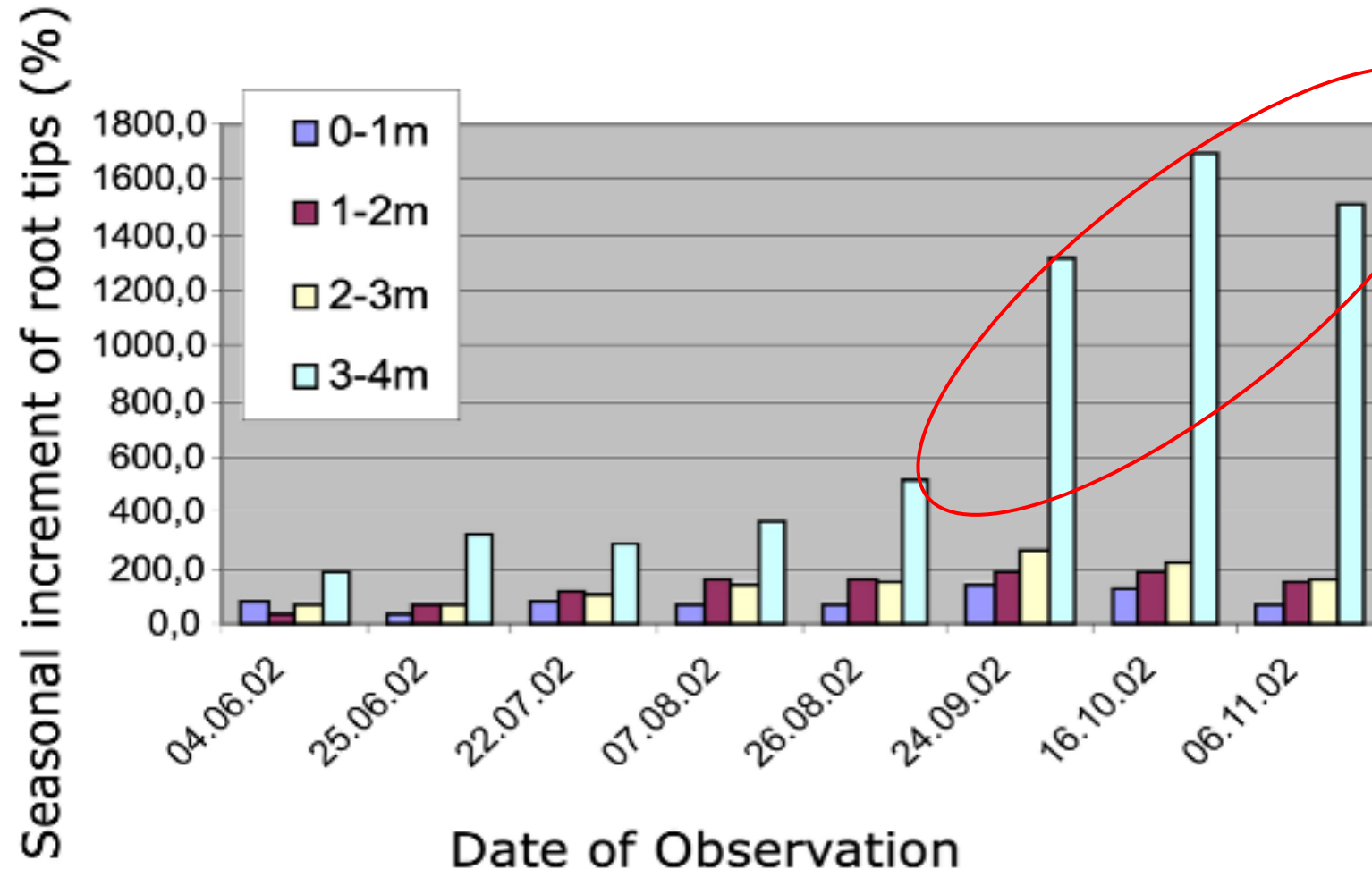
Boden – Black Box tiefe Rhizosphäre

**Vertikale Verteilung der
Wurzelspitzen in einem
Kiefernaltbestand (K 84) und
einem Buchenaltbestand (B 91)
in % der Gesamtspitzenzahl**



Boden – Black Box tiefe Rhizosphäre

Saisonale Dynamik der Wurzelspitzenbildung in einem Kiefernaltbestand (Alter 84) im Nordostdeutschen Tiefland

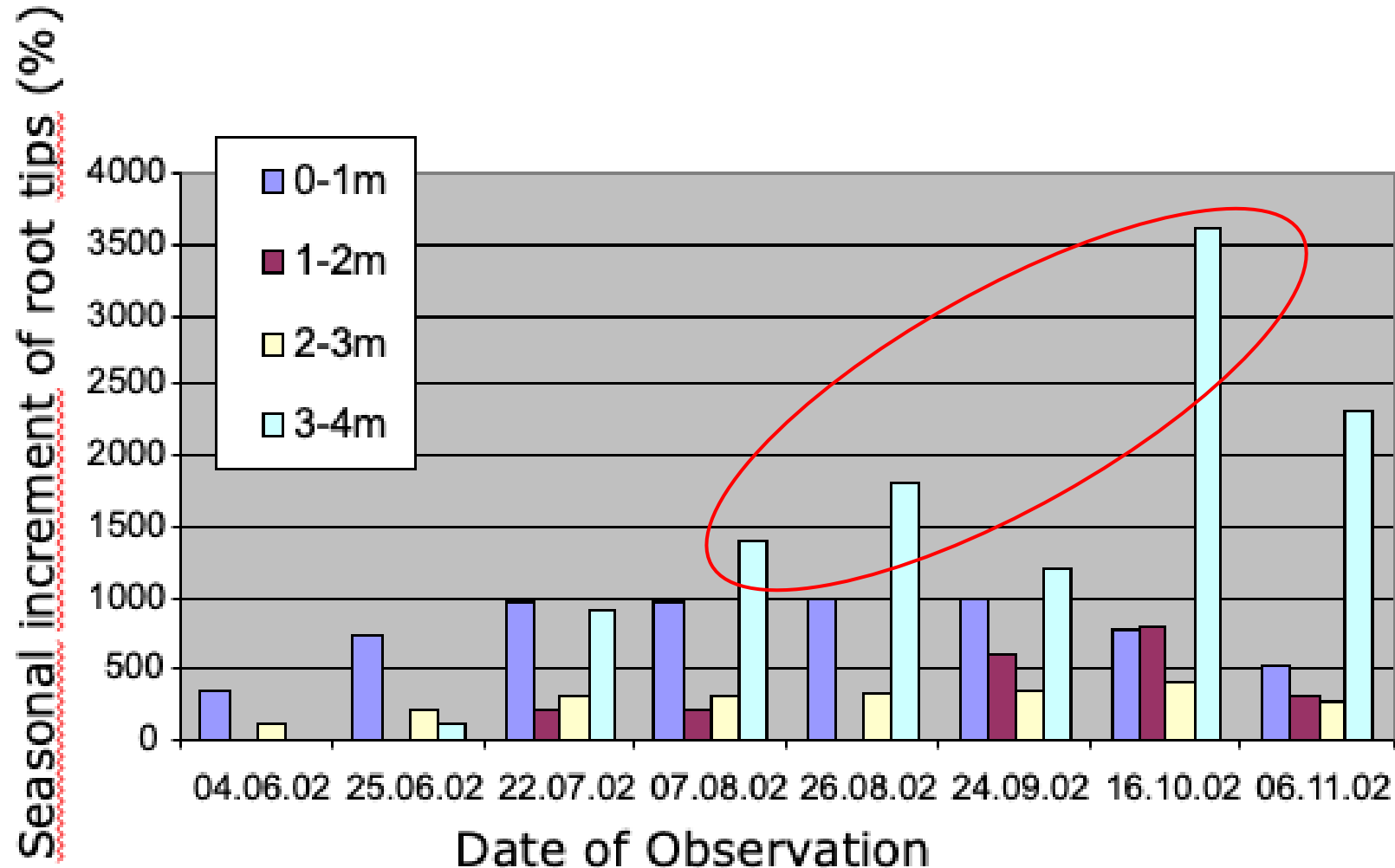


Referenzpunkt:

Anzahl der Wurzelspitzen
im März 2002

Boden – Black Box tiefe Rhizosphäre

Saisonale Dynamik der Wurzelspitzenbildung in einem Buchenaltbestand (Alter 91) im Nordostdeutschen Tiefland



Referenzpunkt:

Anzahl der Wurzelspitzen
im März 2002

Schlüsselfunktion von Böden beim Waldumbau

Elementgehalte in Blattoorganen eines Kiefern- und eines Buchenaltbestande bei gleichem Bodensubstrat

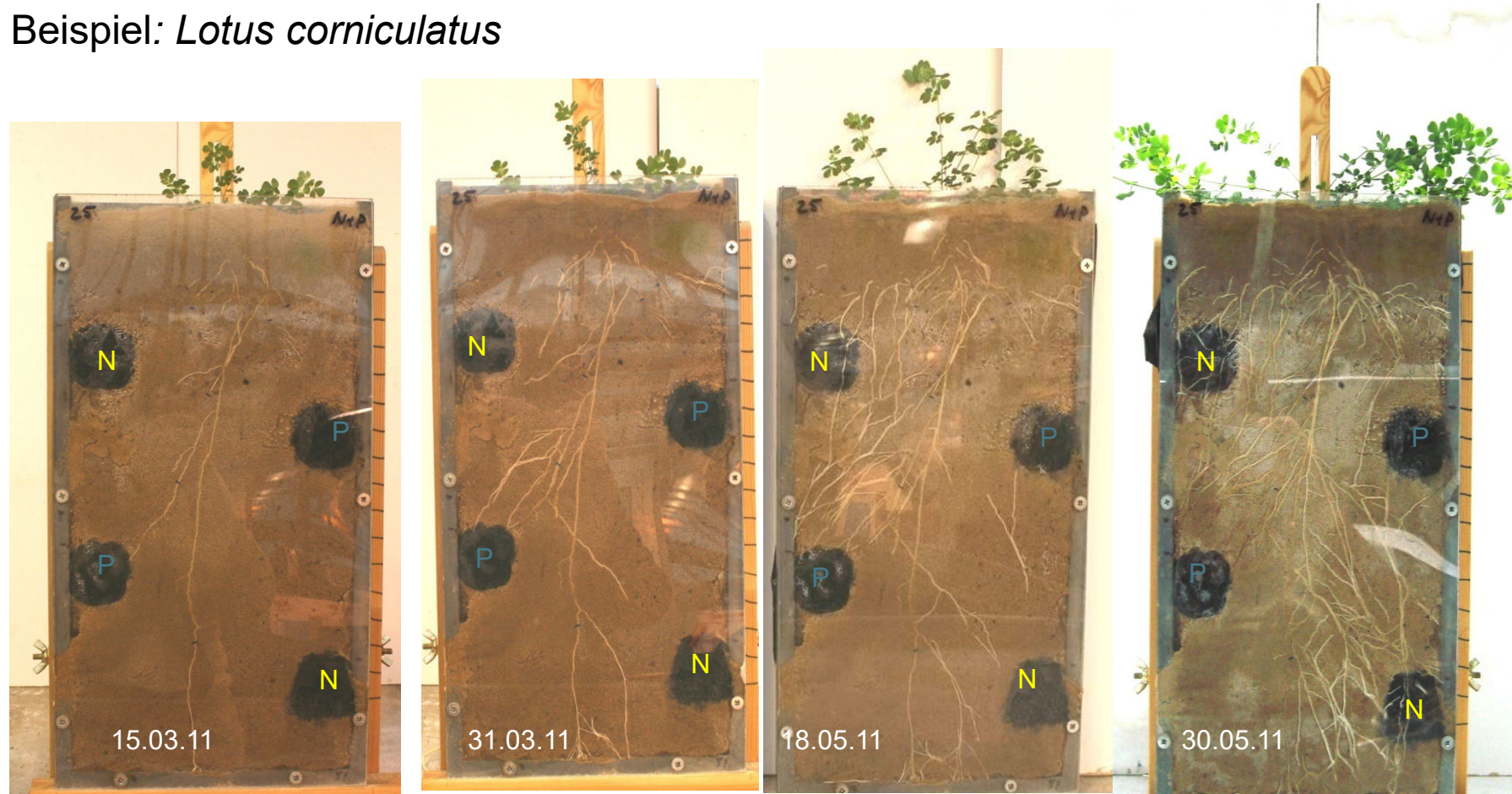
	N [%]	P [mg/g]	K [mg/g]	Ca [mg/g]	Mg [mg/g]
Kiefer 84	1,92	1,86	6,46	3,03	0,95
Buche 91	1,92	0,86	4,22	8,93	1,49

Kalk-Pumpe!

Trophotropismus: Gerichtetes Wurzelwachstum zu Wasser- und / oder Nährstoffquellen

hier: Nährstoffangereicherte Ton-Fragmente in einer nährstoffarmen sandigen Matrix

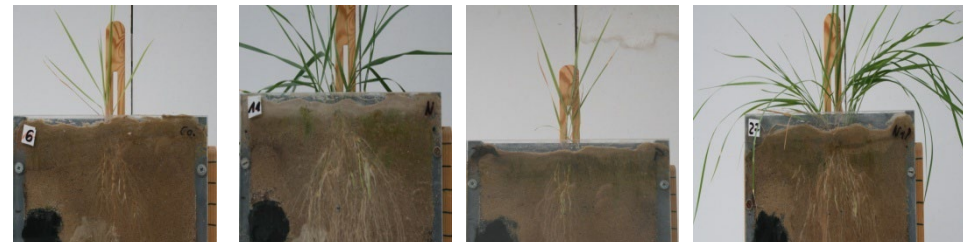
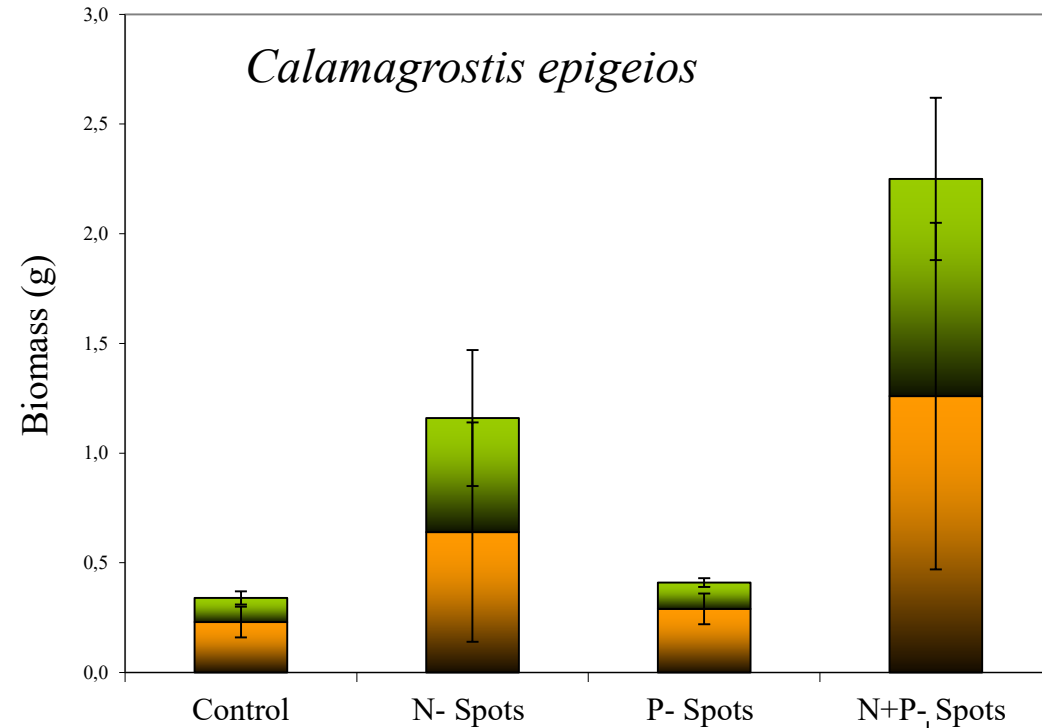
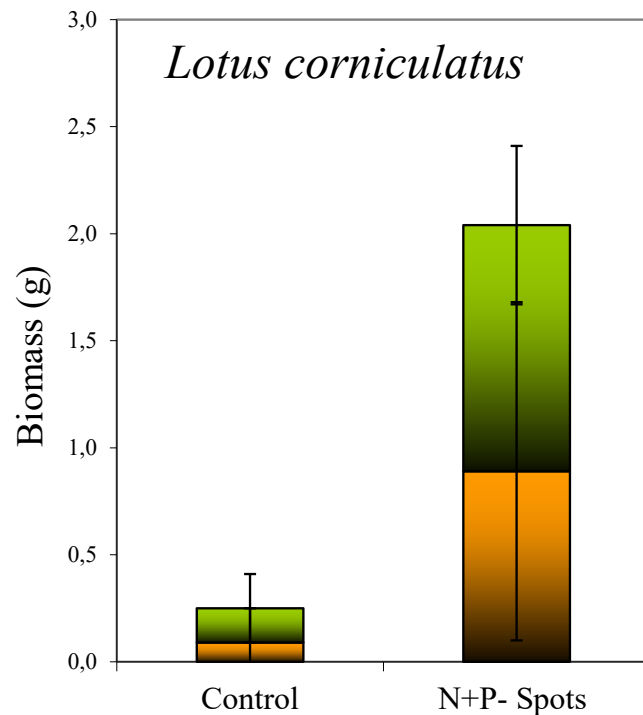
Beispiel: *Lotus corniculatus*



Trophotropismus: Gerichtetes Wurzelwachstum zu Wasser- und / oder Nährstoffquellen

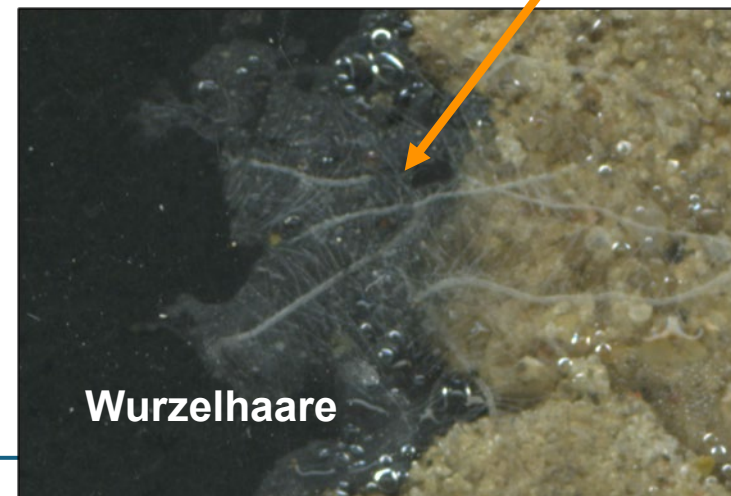
hier: Wirkung von Stickstoff, Phosphor sowie Stickstoff + Phosphor in angereicherten Ton-Fragmenten in einer nährstoffarmen sandigen Matrix

■ Spross
■ Wurzel



Calamagrostis epigeios

Eindringen von Wurzeln und Wurzelhaaren in poröse mit Ammonium-Nitrat angereicherte Kohlefragmete



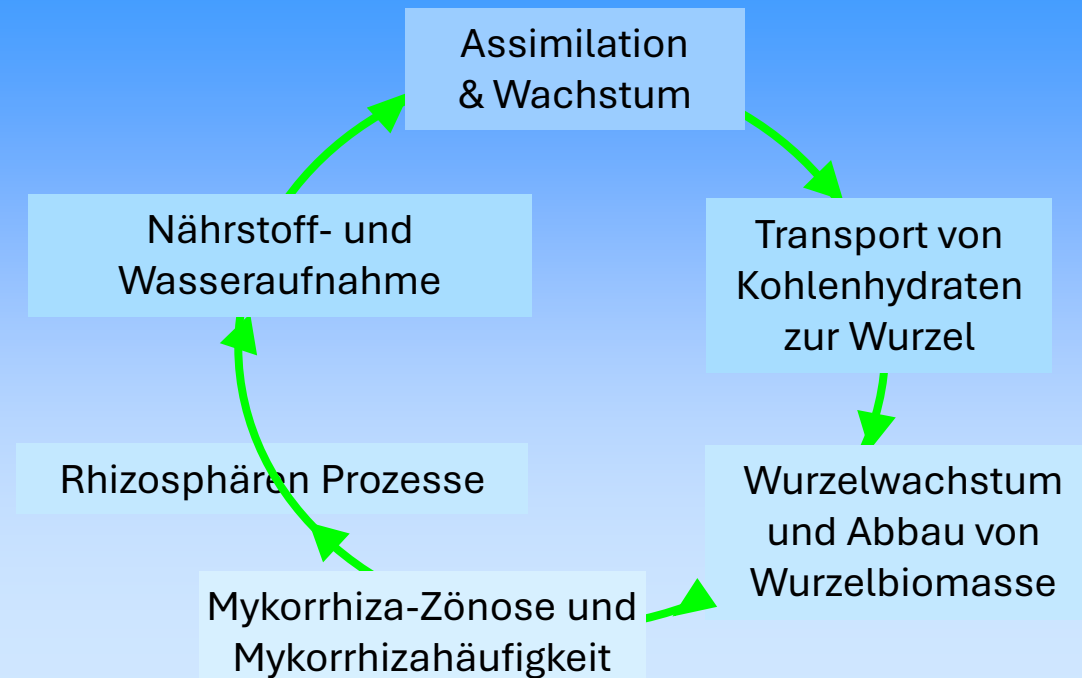
Integrierte Bodenforschung im Rahmen des Waldumbaus

Wurzelwachstum
und Wurzelumsatz

Diversität und
Funktionalität von
Mykorrhiza-Pilzen

Bildung und
Verteilung von
organischer
Bodensubstanz

Funktion von Wurzeln und Mykorrhizen in Waldökosystemen





Über die Prozesse im unterirdischen Wald wissen wir immer noch viel zu wenig!

- Quantifizierung der Umsatzrate von Wurzeln
- Speicherung von Kohlenstoff in Wurzeln/Mykorrhizen und Bodenorganismen
- Bedeutung von Tiefwurzelsysteme für die Resilienz
- Standraumanspruch von Bäumen
- Kohlenstoff-Speicherung im tiefen Unterboden
- Interaktionen gesättigte/ungesättigte Zone (Wasserdampf, kapillarer Aufstieg)



Flachwurzler



Tiefwurzler

Jährliche Umsatzraten von Feinwurzeln ($\varnothing < 2\text{mm}$) in einem Kiefern- und Buchenaltbestand

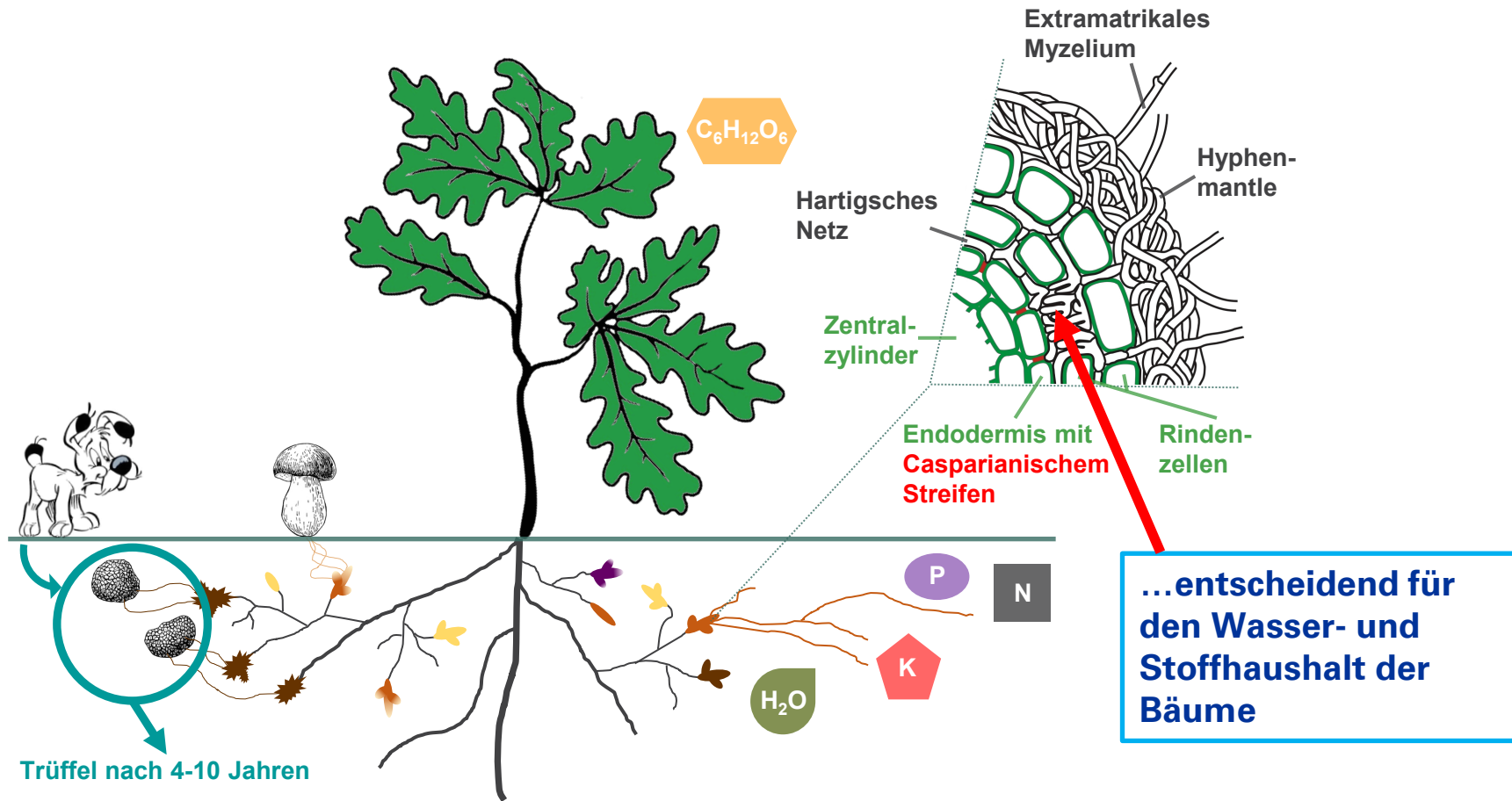
	Häufigkeit des Feinwurzelumsatzes pro Jahr
Kiefer (Alter 84)	0.3
Buche (Alter 91)	0.7

Die Umsatzrate für Feinwurzeln der Buche ist mehr als doppelt so hoch wie die von Kiefernfeinwurzeln!

Deswegen und wegen des höheren Verzweigungsgrades von Buchenfeinwurzeln spielt der Feinwurzelumsatz in Buchenbeständen eine zentrale Rolle für die Anreicherung von organischem Material im Mineralboden und damit für die langfristige Festlegung von Kohlenstoff im Boden: **Die Buche baut sich ihr Bett!**

Schlüsselfunktion von Böden beim Waldumbau

Schematische Übersicht zur Symbiose zwischen einer Eiche und Mykorrhiza-Pilzen und der daraus resultierenden Fruchtkörper

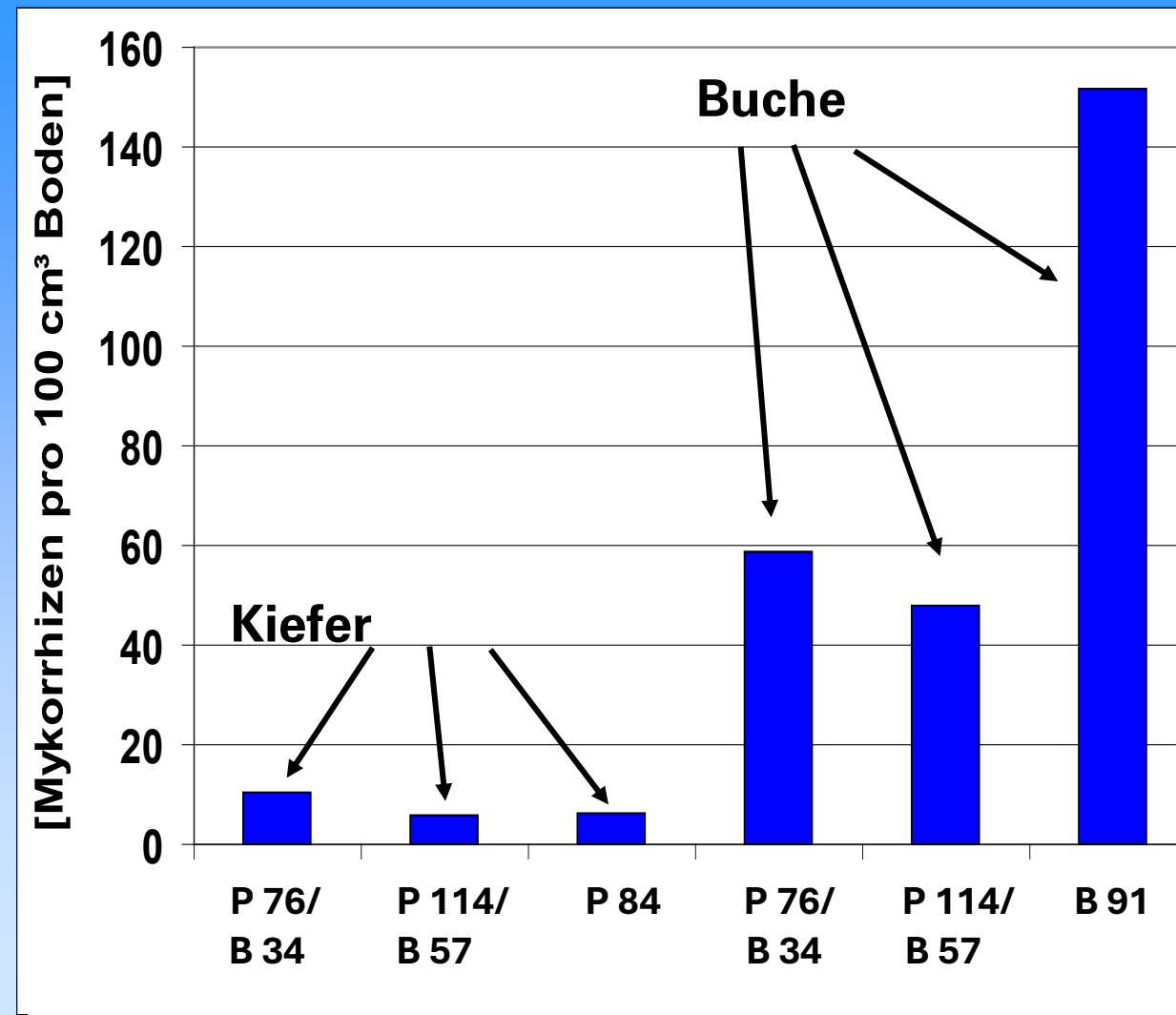


Mykorrhiza-Häufigkeit in Kiefern- und Buchen-Misch- und Reinbeständen

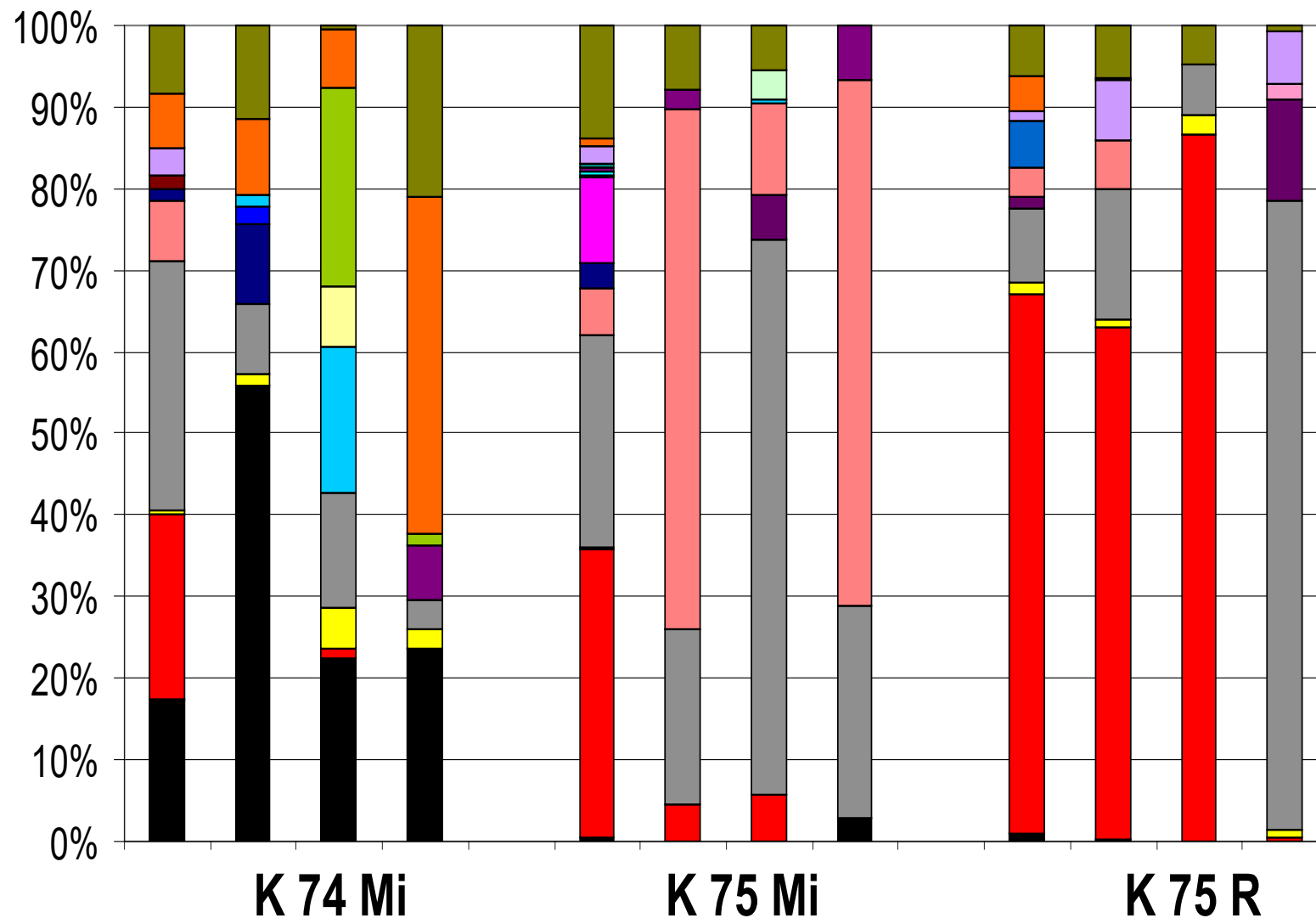
Verzweigungsgrad von
Feinwurzeln bei Buche
signifikant höher als bei
Kiefer

Buche bildet pro Einheit
Bodenvolumen deutlich
mehr Wurzelspitzen aus

Dadurch mehr Speicherung
von stabilen Kohlenstoff-
Verbindungen (auch im
tiefen) Mineralboden



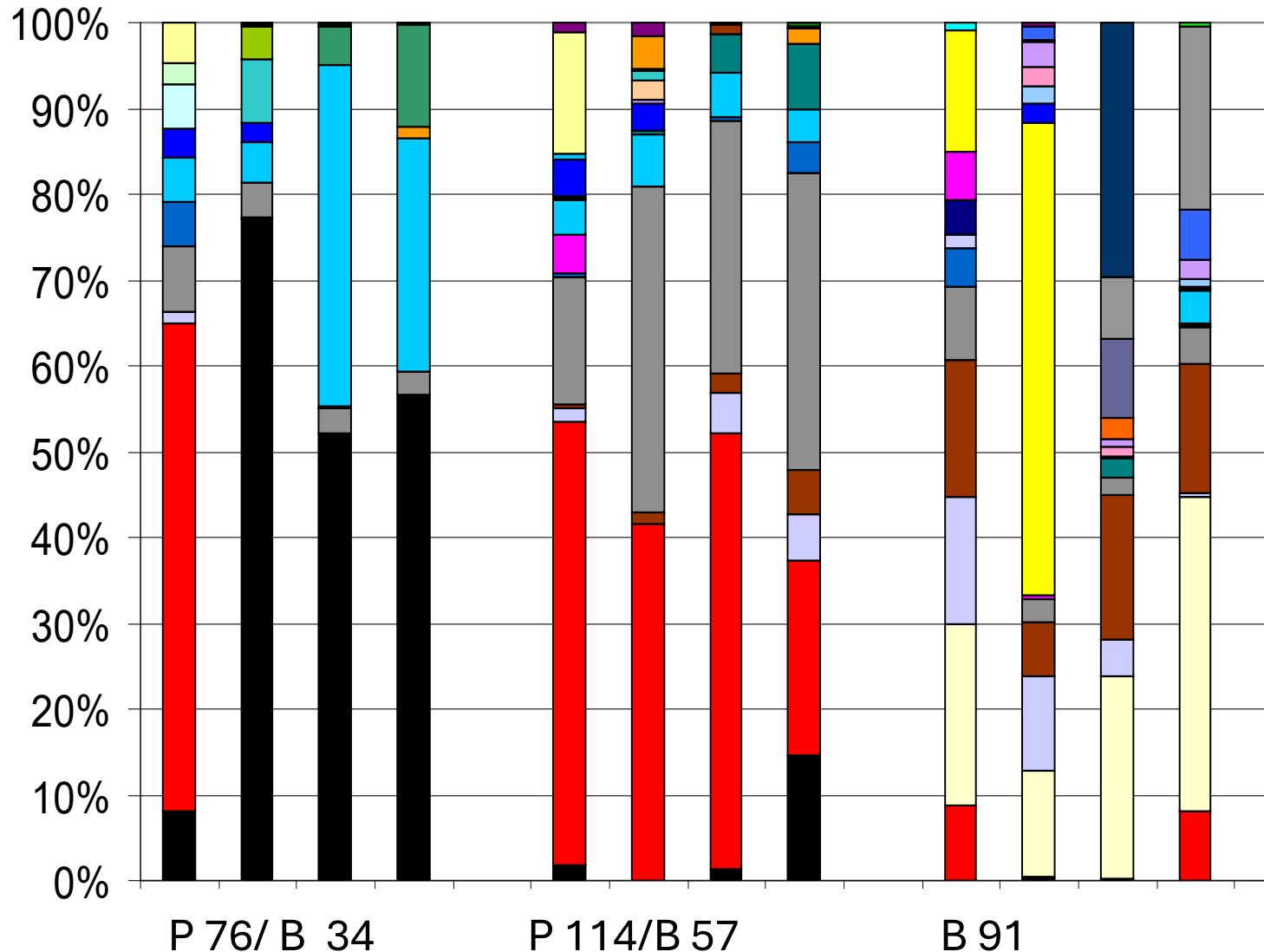
Dominanz-Struktur von Mykorrhiza-Gemeinschaften **der Kiefer** in Kiefer-Rein- und in Kiefer-Buchen-Mischbeständen



Verschiebung des Spektrums
und eine mit dem Bestandesalter
abnehmende Vielfalt

hier: Mykorrhiza an Kiefer

Dominanz-Struktur von Mykorrhiza-Gemeinschaften **der Buche** in Kiefer-Rein- und in Kiefer-Buchen-Mischbeständen



Verschiebung des Spektrums
und Erhöhung der Vielfalt im
Buchenaltbestand

hier: Mykorrhiza an Buche

Boden: Herausforderung Klimaschutz und CO₂-Speicherung

CO₂ Emissionen in Deutschland – Status 2024:

- *Alle Sektoren*¹ (Energie, Mobilität, Industrie, Gebäude, Landwirtschaft, Sonstige): ≈ 650 Mio t pro Jahr¹
- *Sektor Landwirtschaft (62 Mio. t¹)
und LULUCF (68 Mio. t) und Böden (?)* ≥ 130 Mio. t pro Jahr
- **Zum Vergleich:** *Sektor Mobilität*¹: ≈ 143 Mio t pro Jahr¹

Fokus: *Als Kohlenstoff-Speicher und -Senke erfüllen Böden eine Schlüsselfunktion beim Klimaschutz!?!*

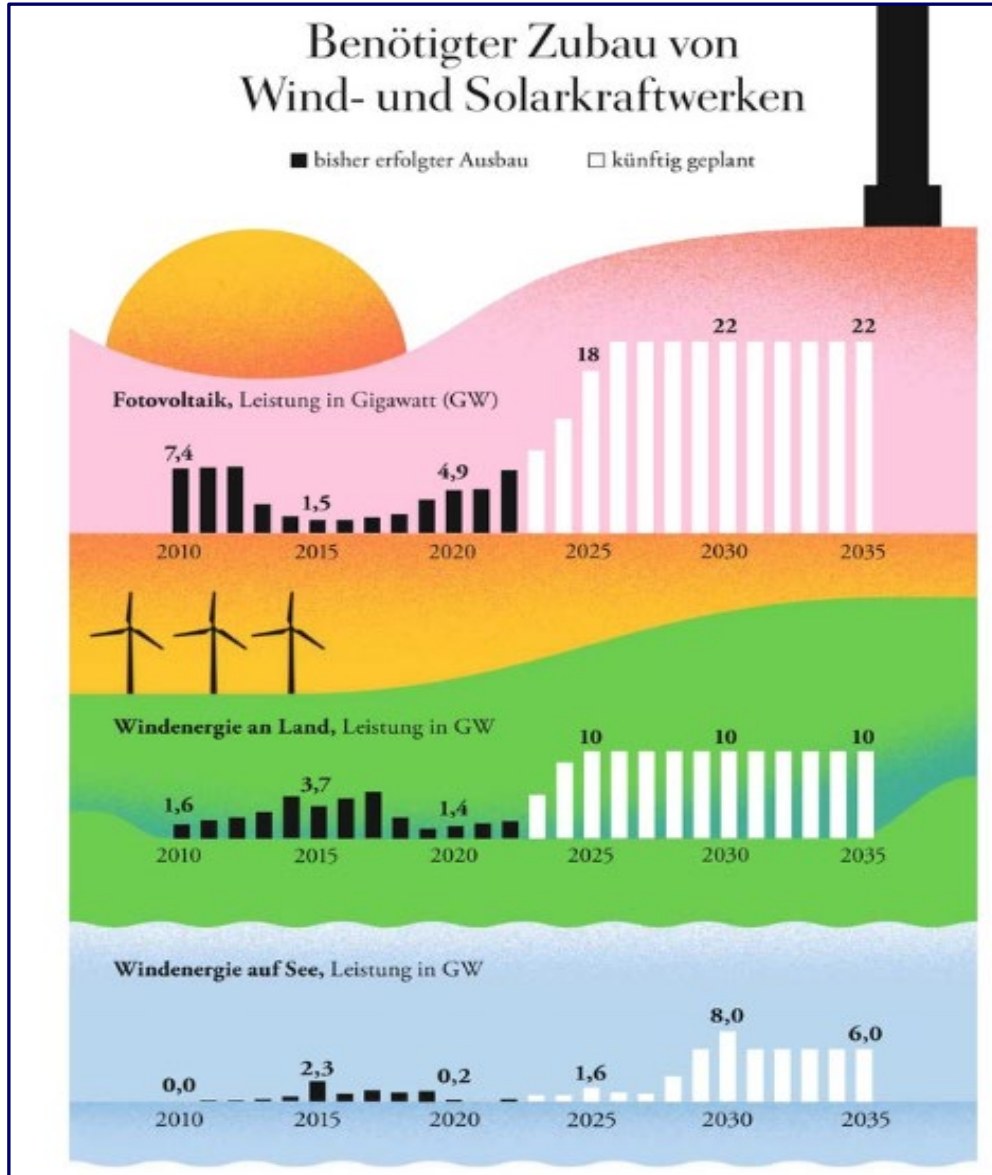
Ziel: Förderung der Kohlenstoffsenkenfunktion von Böden

Boden: Herausforderung Boden- (Flächen-) Versiegelung

- Bezogen auf die Gesamtfläche Deutschlands beträgt der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche 14,5 % und der Anteil der versiegelten Fläche 6,5 %.
- Pro Tag werden in Deutschland aktuell 52 ha Bodenfläche versiegelt; das Ziel war eine Reduktion auf 30 ha / Tag; 2050 soll diese Rate auf Netto-Null reduziert sein.

Quelle: UBA

Boden: Herausforderung Klimaschutz und Energiewende



Beispiel Bayern: 2040 Klimaneutralität

- Zubau über PV-Freiflächen:
26 Fußballfelder pro Tag
bis 2040 (BDEW 2023)
- Flächen- und Rohstoffbedarf

→ ...auch für Ausbau der
deutschen Stromnetze
(ca. 10.000 km)

Fazit

**Der aktuelle Umgang mit unseren Böden
ist nicht nachhaltig!**

Fazit: Wald und Klimawandel

- Vom Klimaschützer zum Mit-Verursacher:
Von einer Kohlenstoff-Senke zur Kohlenstoff-Quelle!
- Kohlenstoff-Haushalt der Wälder gesamthaft betrachten;
50+ % des Kohlenstoffs enthalten die Böden:
 - ▶ Auflagehumus vs. Humus im Mineralboden/tiefer Mineralboden
 - ▶ Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf (Stichwort „lebendige Böden“)
- **Effekte**
 - ▶ Großflächige Kalamitäten, d. h. absterbende Nadelholzbestände (Auflagehumus; keine weitere Photosynthese bzw. CO₂-Festlegung)
 - **Humusschwund**
 - Ökologischer Waldumbau mit veränderter Kohlenstoffdynamik
 - **Humusschwund**
 - ▶ Waldbrände: Erhebliche Kohlenstoffverluste/CO₂-Emissionen
 - **Humusschwund**
 - ▶ Klimawandel verstärkt mikrobielle Aktivität in den Böden
 - **Humusschwund**

Fazit: Wald und Klimawandel

- Kaskaden-Nutzung von Holz nach wie vor zielführend
- Energetische Nutzung von Restholz leistet nach wie vor Beitrag zum Klimaschutz (v. a. Substitution von fossilen Brennstoffen)
- 25 Jahre nach Erlass des Erneuerbare-Energien-Gesetzes:
Aktuelle Energiebereitstellung in Deutschland

20% Erneuerbare Energien (davon lediglich die Hälfte aus Sonne und Wind
Rest Biomasse/Holz und Wasser)

► 80% fossile Energien!

Fazit:

„Böden sind wertvoller als Diamanten!“

(Cem Özdemir, ehemaliger Bundeslandwirtschaftsminister)