

Waldzustand, Klimawandel und Perspektiven einer zukunftsorientierten Waldwirtschaft - Der Boden macht den Unterschied -

Reinhard Hüttl und Uwe Schneider

Brandenburger Energieholztage 2025

28. August 2024

Bloischdorf, Lausitz

Die 4. Bundeswaldinventur BWI 2022

– mit überraschenden Ergebnissen –

Datengrundlage

- Erhebung in einem 4 x 4 km Raster
- Baummerkmale: Baumart, Durchmesser, Höhe und Anzahl
- Waldstruktur: Schichtung, Totholzmenge, Verjüngung
- Eigentumsart / Nutzungseinschränkungen

Informationen

- Waldfläche, Holzboden, Nichtholzboden
- Holzvorrat
- Holzzuwachs
- Holznutzung
- Waldzustand
- Nachhaltigkeit

Berücksichtigung weiterer Inventuren und Analysen in der Bundeswaldinventur:

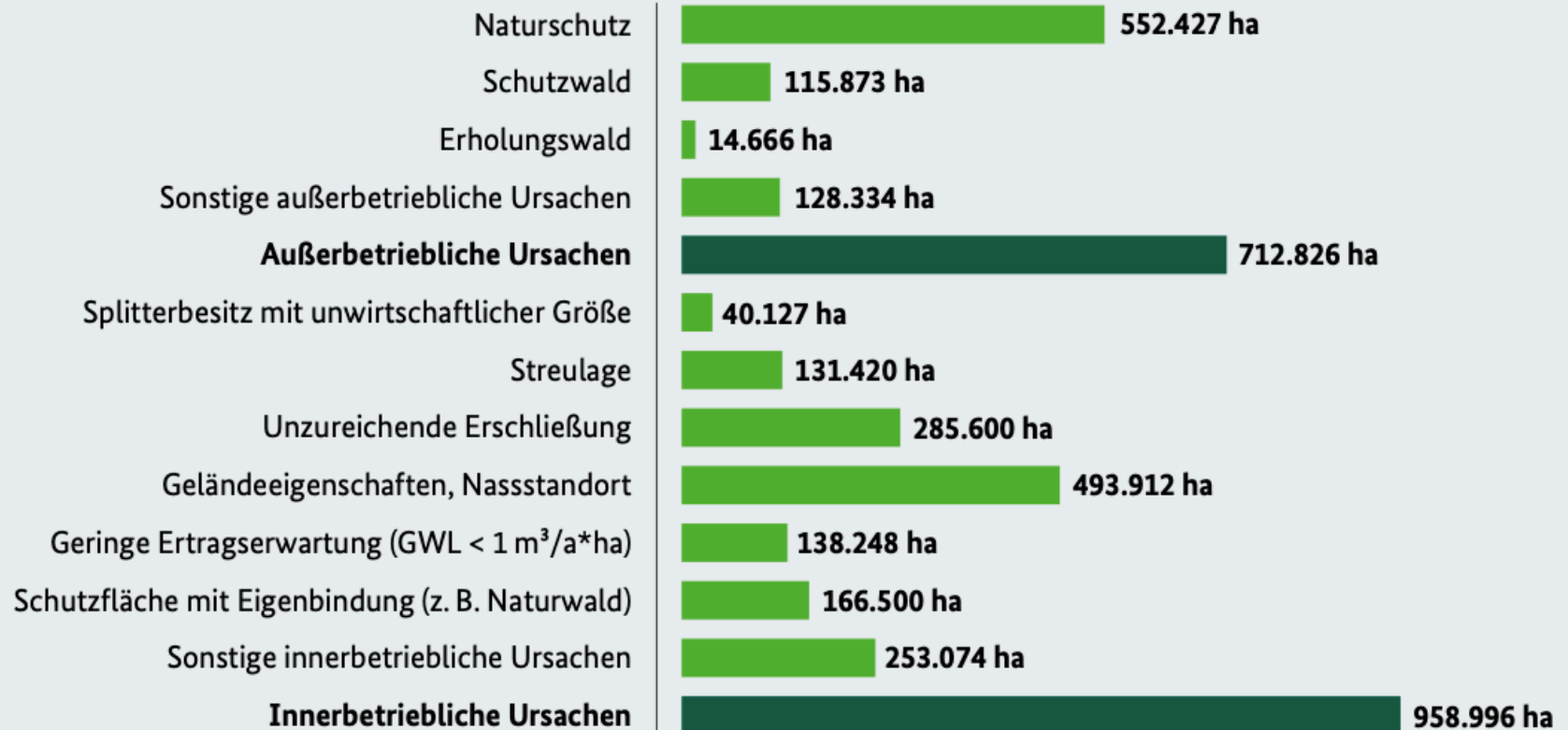
- Waldzustandserhebung (u. a. Belaubung / Benadelung)
- Bodenzustandserhebung
- Naturschutzfachliche Erhebungen (Natura-2000-Monitoring)
- Betriebswirtschaftliche Analysen

Rahmenbedingungen:

- 11,5 Millionen Hektar ($\triangleq$ 32% der gesamten Landesfläche)
- Aktuelle Besitzverteilung:
 - knapp 50 % Privatwald (5,5 Mio. Hektar)
 - 29 % Staatswald im Besitz der Länder (3,3 Mio. Hektar)
 - 19% Körperschaftswald (2,2 Mio. Hektar)
 - 4 % Staatswald im Besitz des Bundes (0,4 Mio. Hektar)
- Uneingeschränkte Holznutzung ist auf 87 % der Waldfläche grundsätzlich möglich

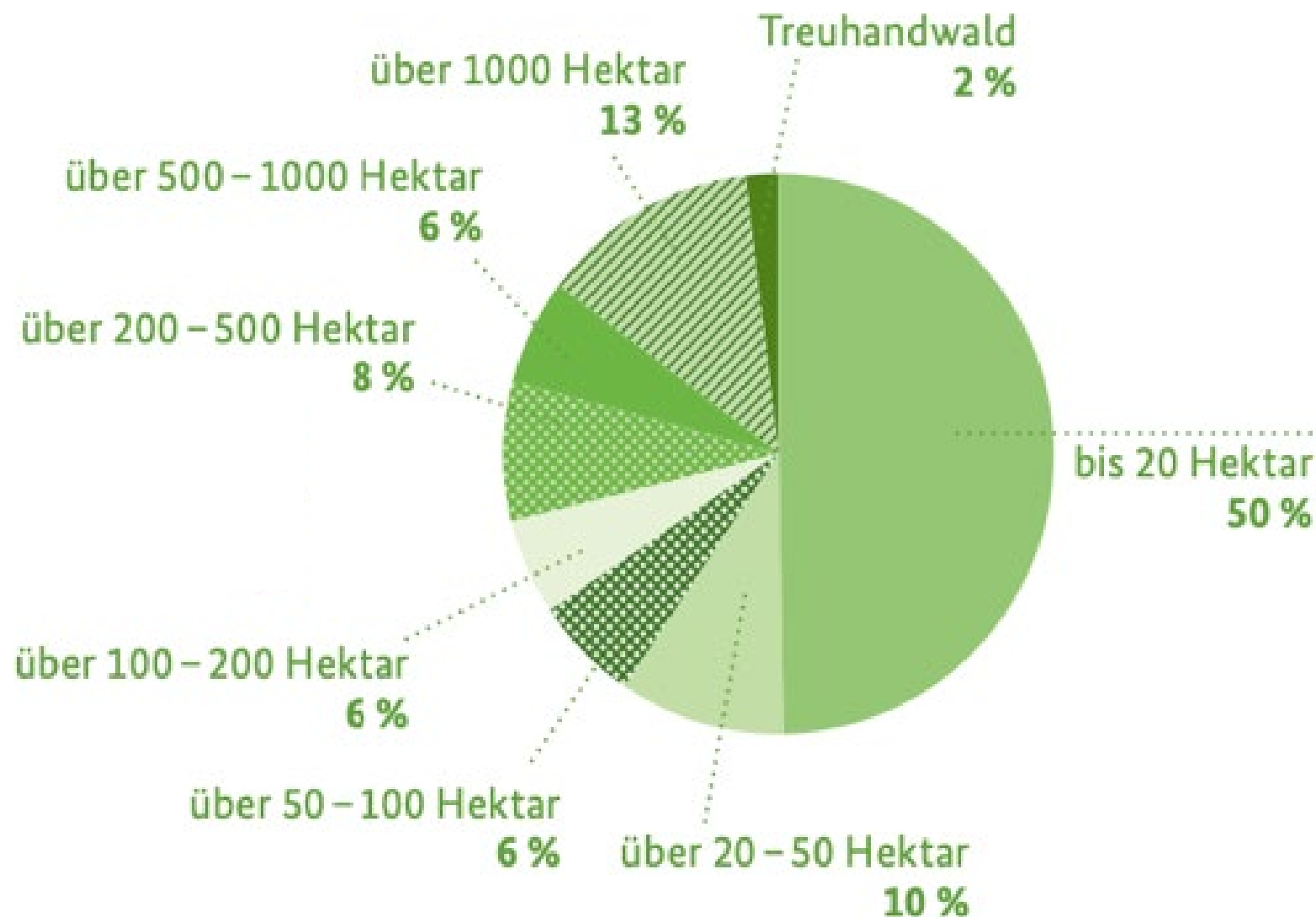


Ursache der Nutzungseinschränkung



Basis: 959.000 Hektar Holzboden, auf dem eine Holznutzung nicht erlaubt oder nicht zu erwarten ist.

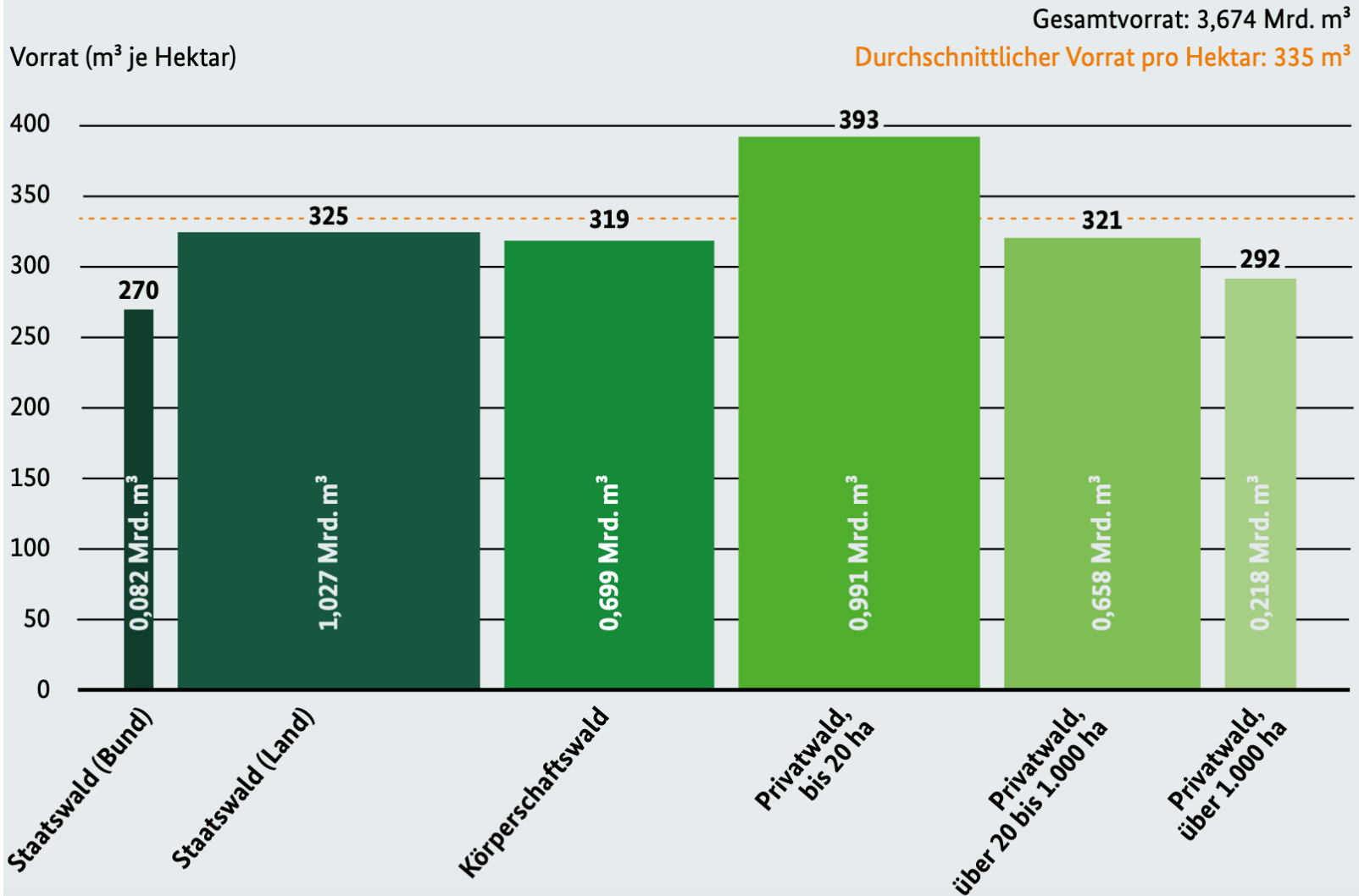
Eigentumsgröße im Privatwald



Die häufigsten Baumarten (bezogen auf Bodenfläche)



Holzvorrat nach Eigentumsart



Ergebnisse

- ◆ **Holzvorrat** in deutschen Wäldern: 3,7 Mrd. m³ ($\triangleq$ 335 m³ je Hektar).
- ◆ **Aufwuchs** zu 91 % aus Naturverjüngung
- ◆ **Extensive Forstwirtschaft:** In der Inventurperiode kein Holzeinschlag auf 4,8 Mio. Hektar (43 % der Holzbodenfläche)
- ◆ **Totholzmenge** auf der gesamten Fläche: 323 Mio. m³.
Ca. 30 % mehr als vor 10 Jahren als Folge der starken Kalamitäten.
- ◆ **Kalamitäten** auf 2 Mio. Hektar bzw. 19 % des Holzbodens;
dort Abgang von 49 % des lebenden Bestandes ($\triangleq$ 44,8 Mio. m³).
- ◆ Auf 34 % dieser Fläche ist das Kalamitätsholz im Wald verblieben.
- ◆ Flächige Nutzung erfolgte auf 5 % der Holzbodenfläche, v. a. Fichte auf Kalamitätsflächen.
- ◆ **Rückgang Fichten-Vorrat** um 220,0 Mio. m³ oder 18,2 %; der Gesamtvorrat aller Baumarten erreicht etwa das Niveau der BWI 2012.
- ◆ **Aktueller Holzzuwachs:** rd. 9,4 m³ je Hektar und Jahr, $\triangleq$ 101,5 Mio. m³ pro Jahr; damit Abnahme des Zuwachses im Vergleich zur BWI 2012 um 16 %

Ergebnisse

- ◆ **Zunahme der Waldfläche** um 15.000 Hektar
- ◆ **Starke Schäden** bis hin zum flächenhaften Absterben von Bäumen in mittelalten Beständen durch Dürren seit 2018:
 - *Borkenkäfer-Befall bei Fichte (Abnahme der Fläche um 17 %)*
 - *Phloem-Kollaps bei Buche*
 - *Starke Zuwachseinbußen*
- ◆ Zunahme des Totholzanteils im Vergleich zur Inventur 2017 um ein Drittel
- ◆ Zunahme der Fläche an Laubbäumen im Vergleich zu 2012 um 7 %
- ◆ Zunahme des Struktureichtums durch Schichtung und Mischung mit naturnahen Baumarten: 79% der Fläche sind Mischwald
- ◆ **1.184 Mio. Tonnen Kohlenstoff (108 Tonnen Kohlenstoff je Hektar) sind derzeit in den lebenden Bäumen gebunden**
- ◆ **Etwa die gleiche Menge Kohlenstoff je Hektar ist in den Böden gebunden!**

Überraschendes Ergebnis:

Kohlenstoff: Der Wald ist keine Kohlenstoff-Senke mehr !

Seit der Kohlenstoffinventur 2017 hat der Kohlenstoffvorrat im Wald um 41,5 Mio. Tonnen (-3 %) abgenommen

- ◆ **Starke Zuwachseinbußen**
- ◆ Der **Fichten-Vorrat** ist um 220,0 Mio. m³ oder 18,2 % zurückgegangen.
- ◆ **Zunahme des Totholzanteils:** 46,1 Mio. Tonnen Kohlenstoff im Totholz gebunden; Zunahme gegenüber Inventur 2017 um ein Drittel.
- ◆ Erhöhung des **Durchschnittsalters** seit 2012 um 5 Jahre auf 82 Jahre; 30 % des Waldes sind älter als 100 Jahre. 20 % sind älter als 120 Jahre.
- ◆ **Klimawandel:** durch verlängerte Vegetationsperioden, weniger Frosttage, seltenere Schneedecken und tiefer reichende Bodenerwärmung kommt es zu verstärktem Humus-Vorratsabbau und CO₂-Emissionen.
- ◆ **Durch klimabedingte Schäden gibt der Wald seit 2017 mehr Kohlenstoff ab als er aufnimmt ! ! !**

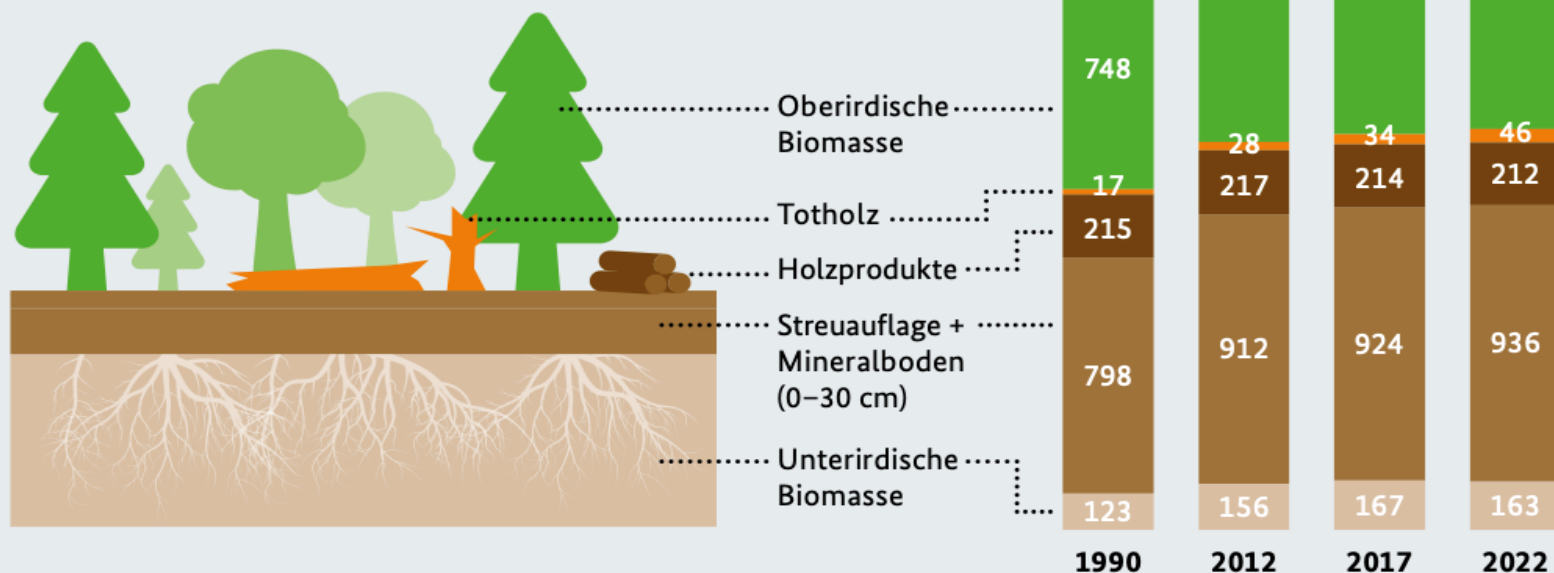
Fazit: Unsere Wälder wurden zur Kohlenstoff-Quelle



Kohlenstoffvorrat in Wald und Holzprodukten Deutschlands

CO₂

in Mio. Tonnen Kohlenstoff

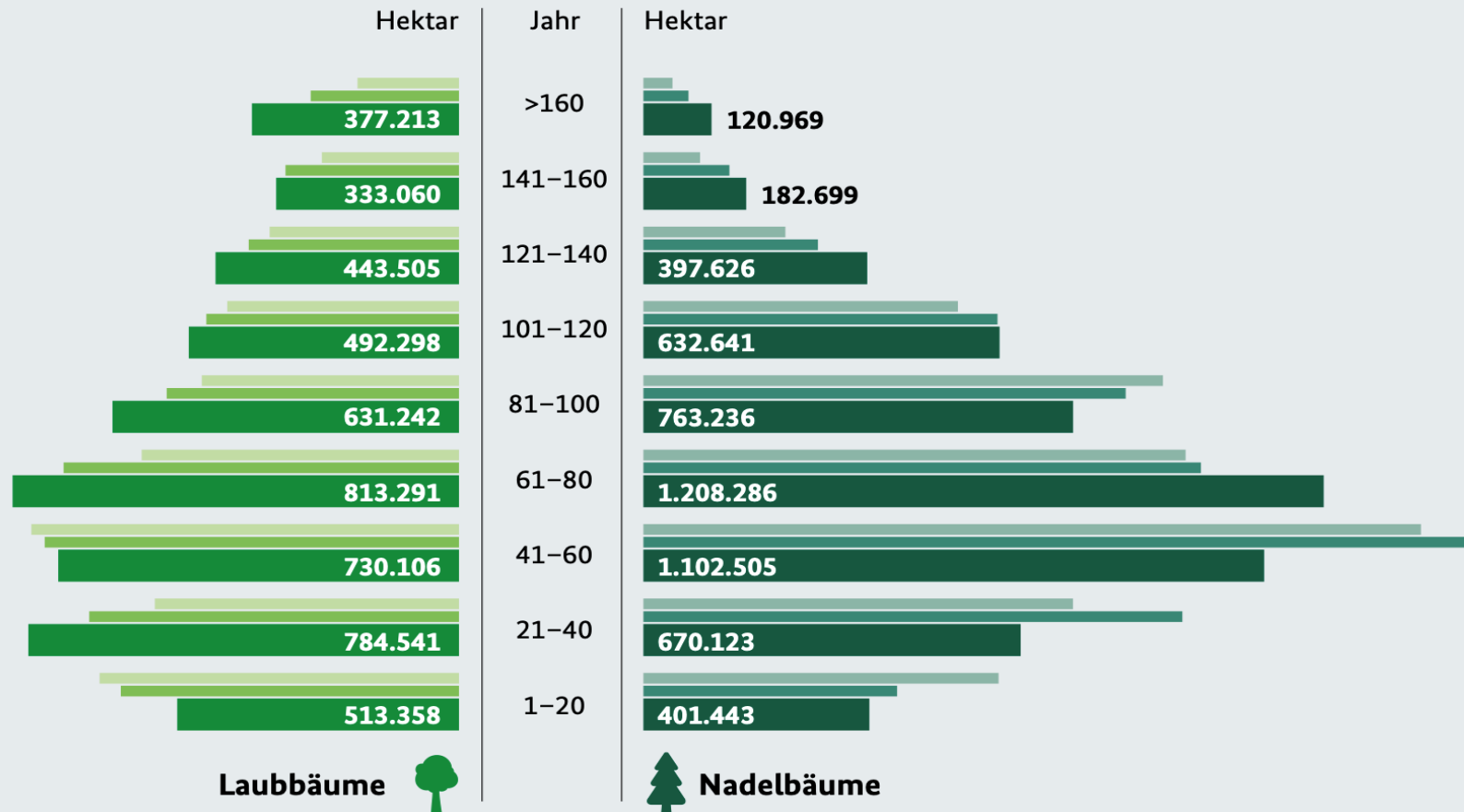


In den Produktspeicher fließen nur inländische Speicher ein. Verarbeitetes Exportholz bleibt unberücksichtigt

4. Bundeswaldinventur

Durch die Erhöhung des Durchschnittsalters der Waldbestände sinkt deren CO₂-Speicherleistung

Alterspyramide des Waldes



Basis: rechnerischer Reinbestand

2022 2012 2002

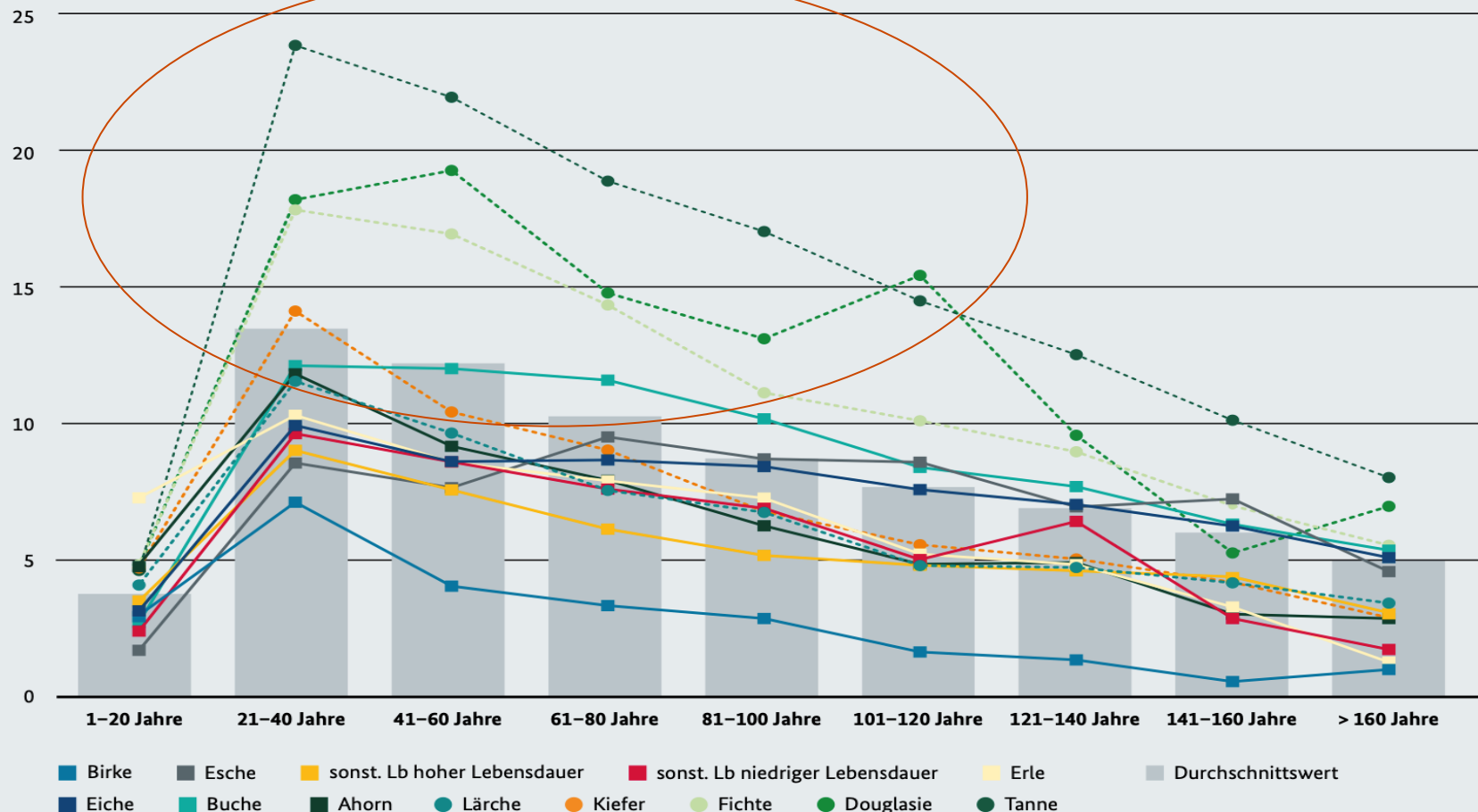
Tanne, Fichte und Douglasie leisten bezogen auf den Zuwachs den höchsten Beitrag für die CO₂-Speicherung

Zuwachs des Vorrates nach Alter und Baumartengruppe



Zuwachs des Vorrats (m³ je Hektar und Jahr)

Durchschnittlicher Zuwachs je Hektar und Jahr: 9,23 m³



Entwicklung in Mio. t CO₂ eq. und Minderung gegenüber 1990 in Prozent; ohne LULUCF***



- ♦ Die durch das Klimaschutzgesetz erfassten CO₂Äq-Emissionen der Landwirtschaft (Viehwirtschaft, betriebsbedingter Energieverbrauch inkl. Betrieb von Gewächshäusern sowie Düngung → NO_x-Freisetzung) betragen aktuell (2024) 62 Mio. Tonnen pro Jahr.
- ♦ Für den Bereich Landnutzung, Landnutzungswandel und Forstwirtschaft (*Land-Use, Land-Use Change and Forestry; LULUCF*) wurde für 2024 eine CO₂Äq-Emissionrate von 68 Mio. Tonnen ermittelt.
- ♦ In Summe werden durch direkt und indirekt wirksame Faktoren aus dem gesamten Landnutzungsbereich inkl. Moorstandorte **130 Mio. Tonnen CO₂Äq** emittiert. Laut BMU emittieren allein die Moore (3,7 % Flächenanteil) aktuell 50 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr.
- ♦ Das ist konservativ geschätzt und entspricht in etwa den jährlichen Emissionen aus dem Sektor Verkehr.
- ♦ Noch nicht berücksichtigt ist hierbei die voranschreitende Versiegelung u. a. durch Logistik-Zentren und Städtebau, und der Verlust bzw. die starke Einschränkung der Kohlenstoff-Speicher- und Senkenfunktion von Böden durch die für das neue Energiesystem entstehenden Energieinfrastrukturen: Freiflächen-PV, Großbatteriespeicher, Umspannwerke, Leitungs-(Pipeline)-Bau

Die Optionen für eine auf den Schutz der Bodenfunktionen und die Förderung der damit verbundenen Ökosystemleistungen gerichtete Forstwirtschaft sind bekannt:

Bodenverdichtung vermeiden

- Keine flächige Befahrung
- Fahrbewegungen nur auf festen, markierten Rückegassen
- Schutz von Böden auf Rückegassen durch Reisigmatten
- Bodendruck durch zu schwere Fahrzeuge oder zu hohem Reifendruck vermeiden
- Kein Holzrücken bei schlechten (nassen) Witterungsbedingungen
- Keine konventionelle Holzernte und -bringung auf Nassstandorten

Bodenbearbeitung unterlassen

- Keine tiefreichende Bodenbearbeitung
- Zur Förderung der Naturverjüngung allenfalls oberflächliche Bodenverwundung

Nährstoffentzüge minimieren

- Bei der Holzernte das Feinreisig/den Schlagabraum auf der Fläche belassen
- Erntemenge und Schlagabraum nach der Standortgüte bemessen
- Weitgehender Verzicht auf Vollbaumernten (v.a. auf armen Standorten)

Waldbauliche Optionen:

Standortangepasste Baumartenwahl

- Keine Monokulturen, sondern standortangepasste Mischpflanzungen anlegen
- Beachtung der Baumarten-Provenienz
- Naturverjüngung nutzen
- Klimaangepasste Baumarten wählen - in angemessenem Umfang auch Fremdländer

Zielgerichtete Bestandspflege

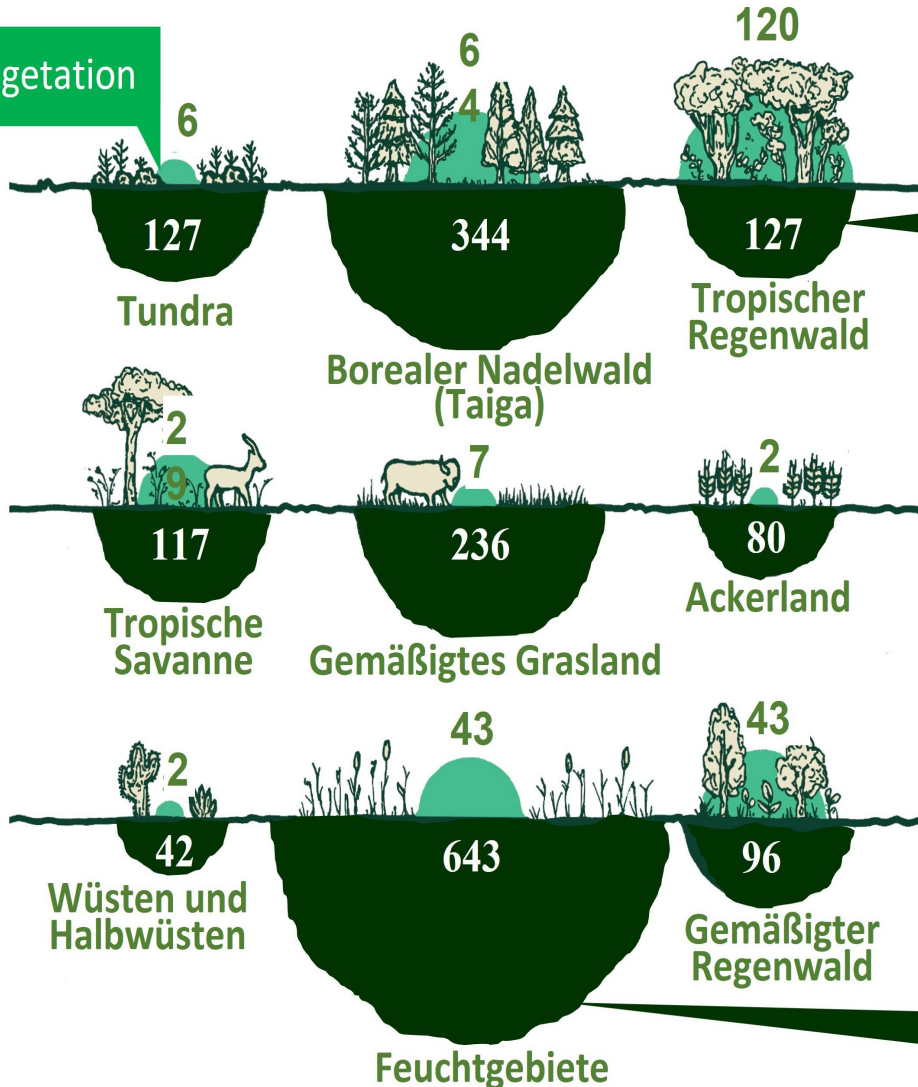
- Mischbaumarten fördern
- Struktur und Stabilität verbessern

Schonende Endnutzung

- Keine größeren Kahlschläge
- Schnelle Bodendeckung anstreben, um Humusverluste zu vermeiden
- Dauerwaldstrukturen fördern

Die Bedeutung von Wäldern für den Klimaschutz

Die Wälder der verschiedenen klimatischen Zonen (inkl. Savannen) speichern so viel Kohlenstoff wie die Feuchtgebiete dieser Welt.

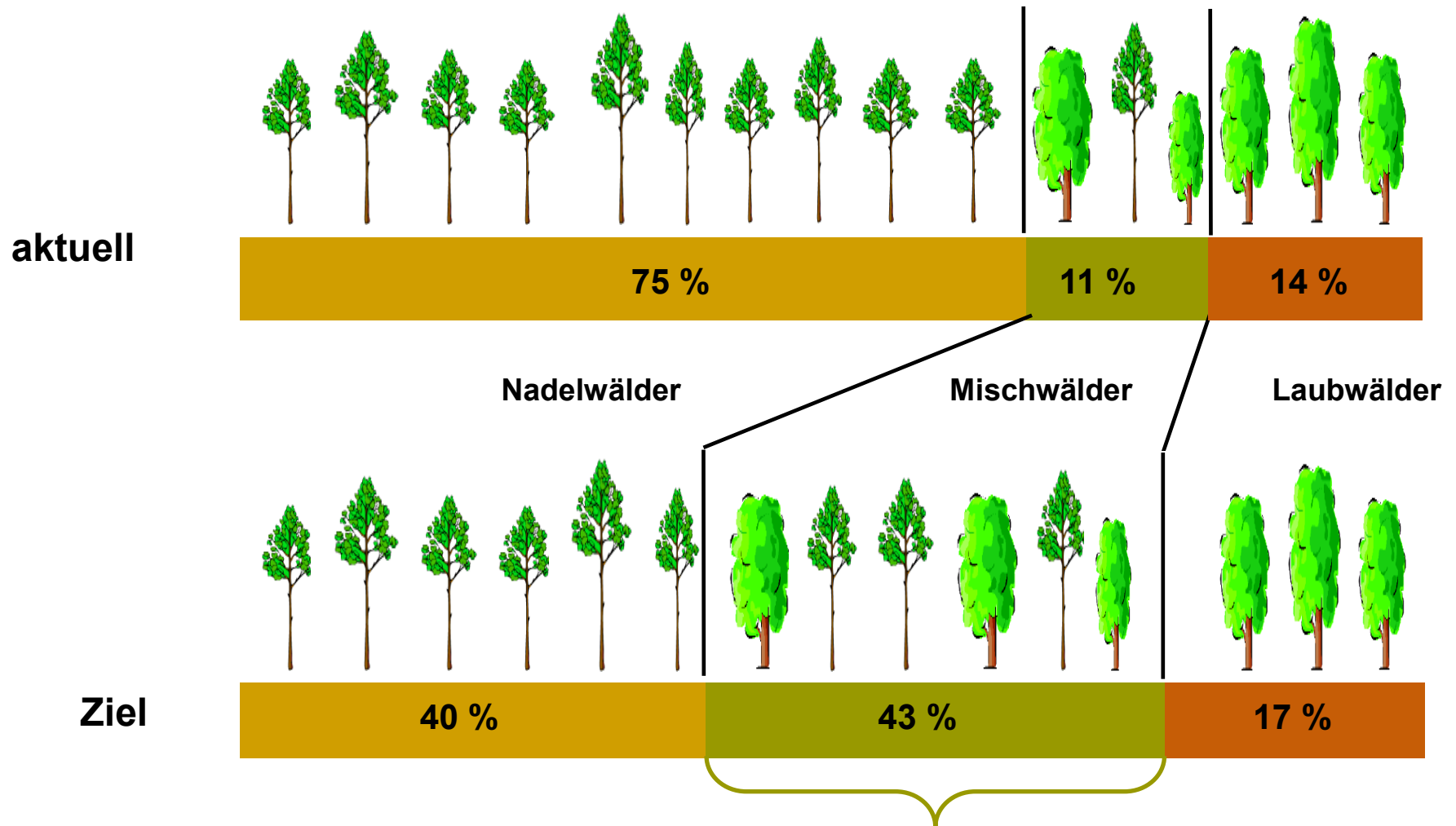


Kohlenstoffspeicher Boden
(Angaben in Tonnen je Hektar)

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.

Zielsetzung des Waldumbaus in Brandenburg: Steigerung des Anteils naturnaher Laub-Mischwälder





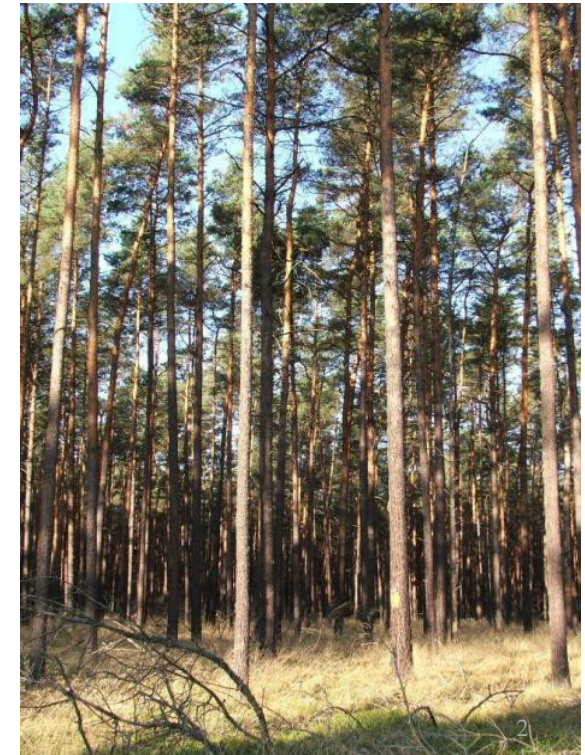
1. sub-maritimes Tieflandsklima

- Buchen-Wälder

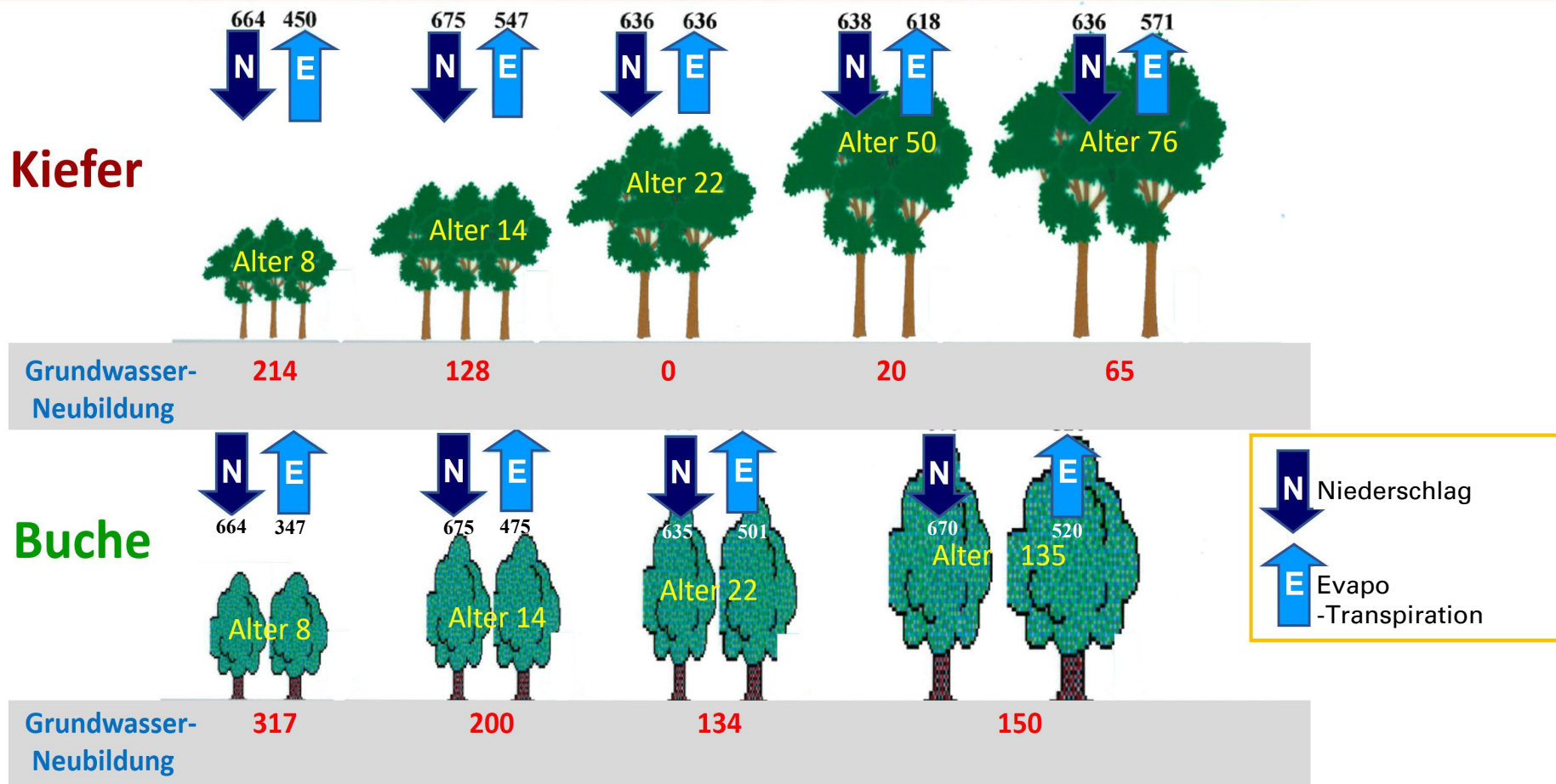
2. sub-kontinentales Tieflandsklima

- Eichen-Kiefern-Wälder

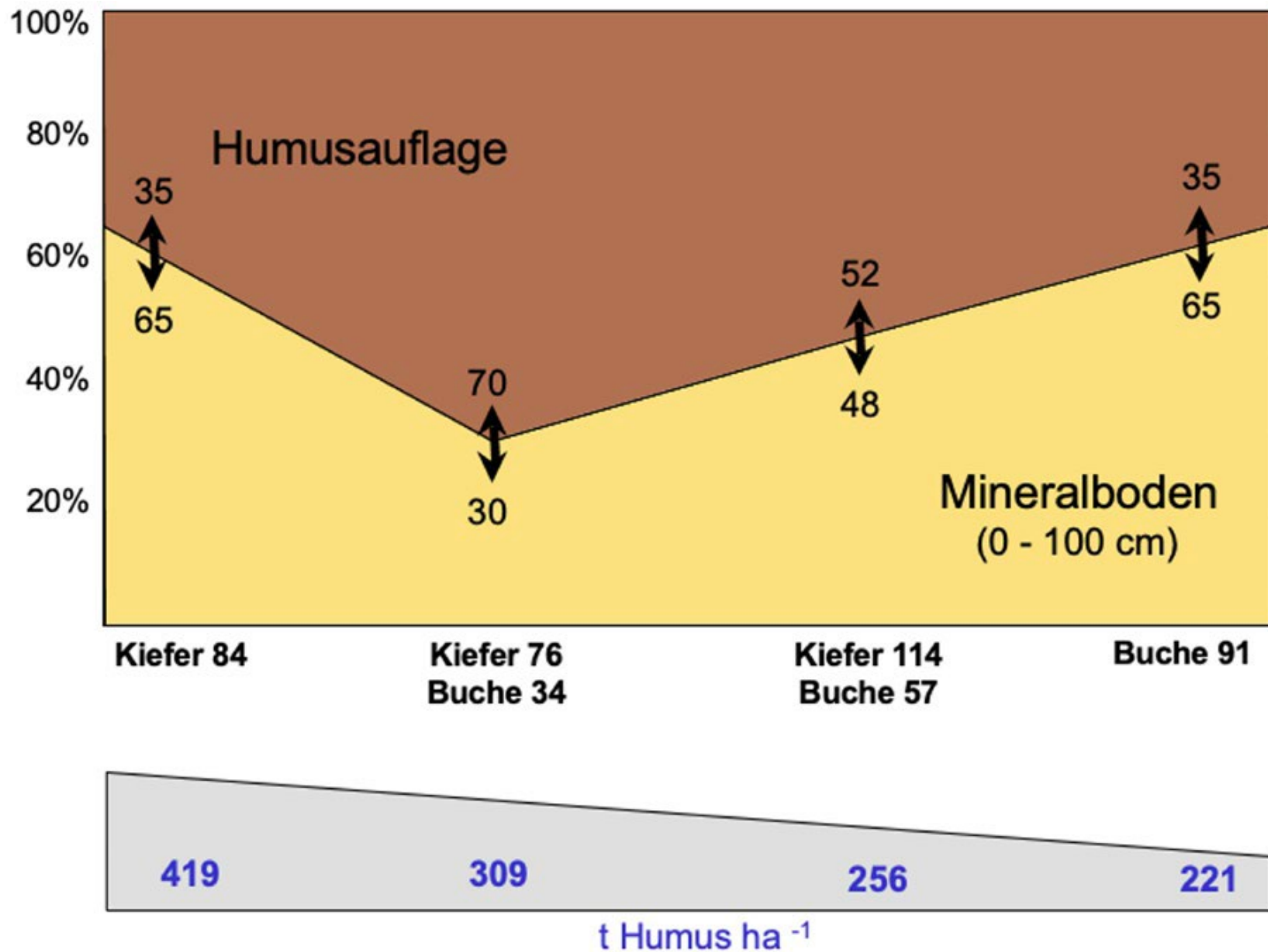
Großforschungs-
Projekte der BTU



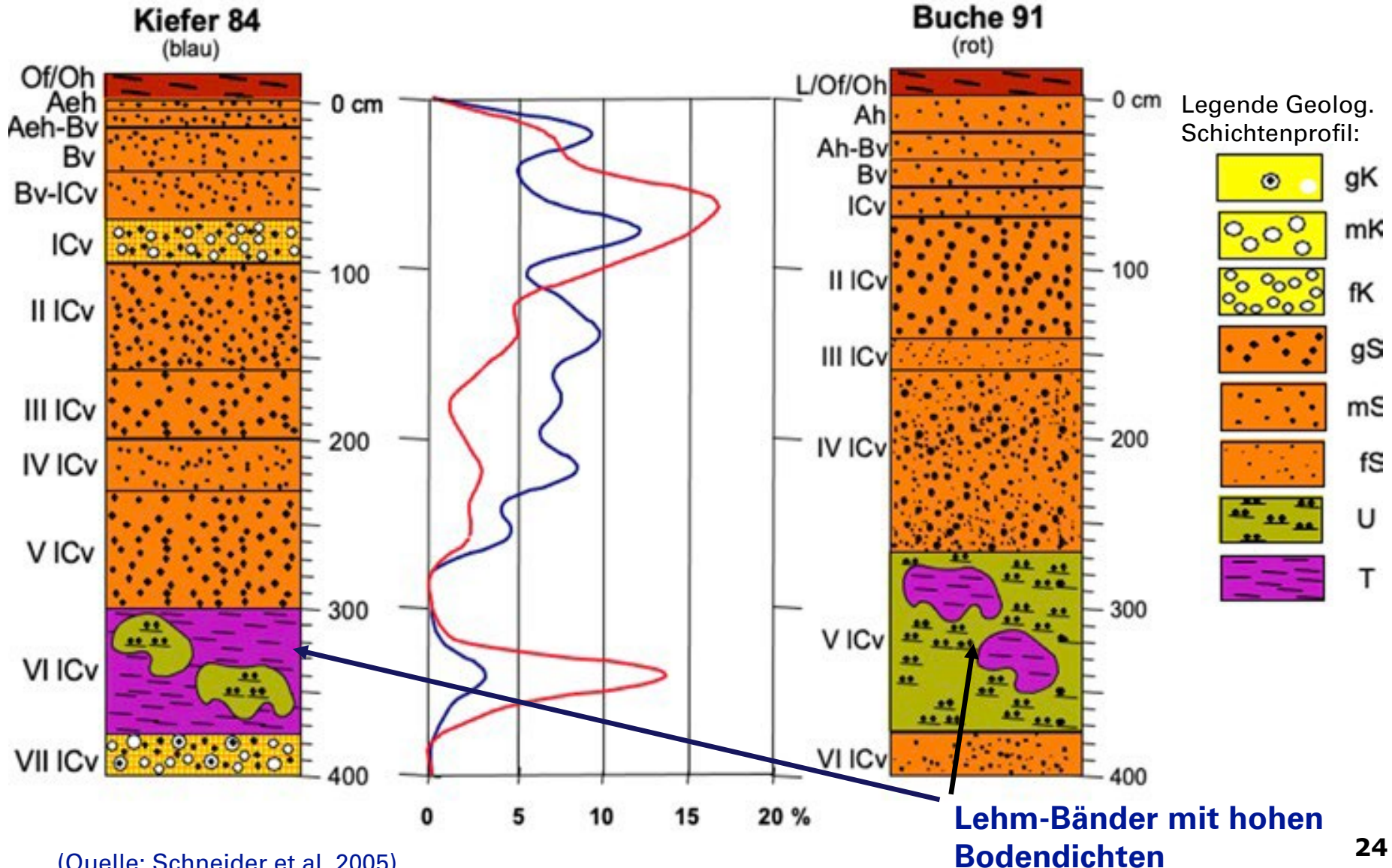
Wasserbilanz forstlicher Ökosysteme (Beispiel Brandenburg) in Abhängigkeit von Baumart, Alter und Bestandsstruktur (Angaben in mm pro Jahr)



cf. Müller et al, 2007



Prozentuale Verteilung der Wurzelspitzen in Kiefern- und Buchen-Altbeständen bis 4 m Bodentiefe



Elementgehalte in Blattorganen von Kiefern- und Buchen in Rein- und Mischbeständen

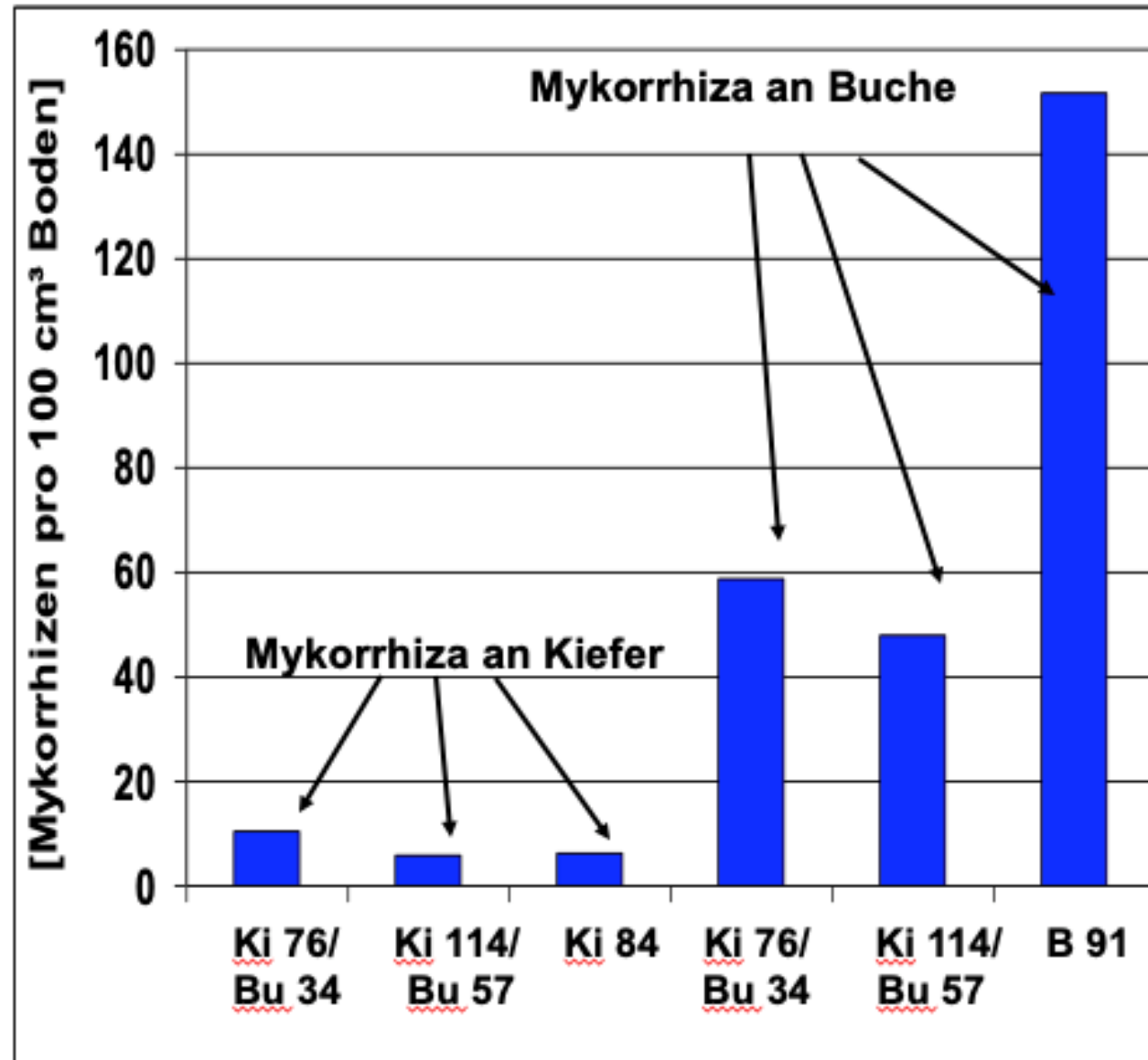
	N [%]		P [mg/g]		K [mg/g]		Ca [mg/g]		Mg [mg/g]	
	Bu	Ki	Bu	Ki	Bu	Ki	Bu	Ki	Bu	Ki
Kiefer 84	-	1,92	-	1,86	-	6,46		3,03	-	0,95
Kiefer 74 Buche 34	2,32	1,63	1,57	1,63	5,04	4,96	8,71	2,95	1,36	1,05
Kiefer 114 Buche 57	2,70	1,67	1,20	1,58	7,19	6,49	13,1	2,3	1,84	1,01
Buche 91	1,92	-	0,86	-	4,22	-	8,93	-	1,49	-

Verzweigungsgrad von
Feinwurzeln bei Buche
signifikant höher als
bei Kiefer;

Buche bildet pro
Einheit Bodenvolumen
deutlich mehr
Wurzelspitzen aus

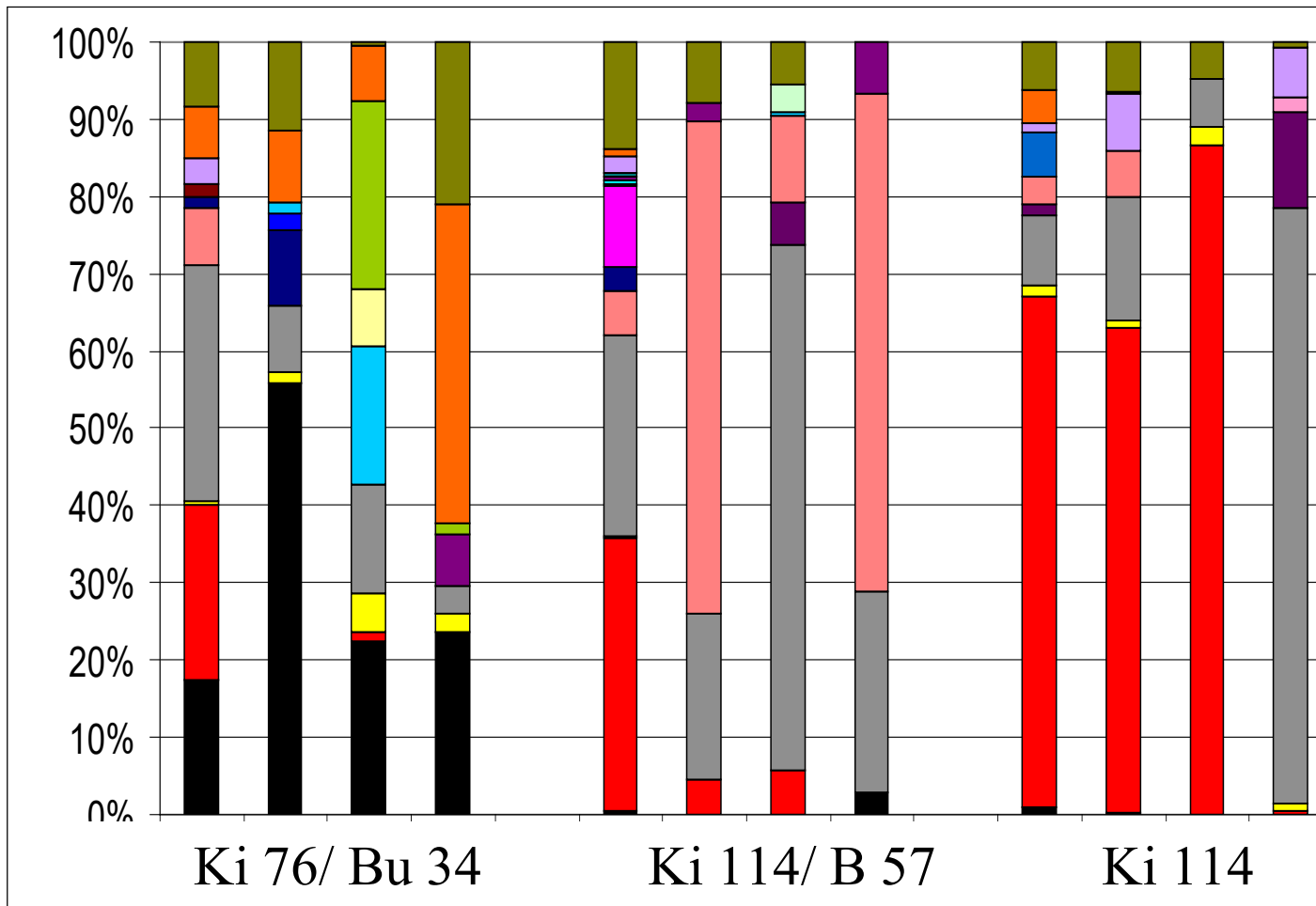
Dadurch mehr
Speicherung von
stabilen Kohlenstoff-
Verbindungen (auch
im tiefen)
Mineralboden

Anzahl mykorrhizierter Wurzelspitzen (April 2002)



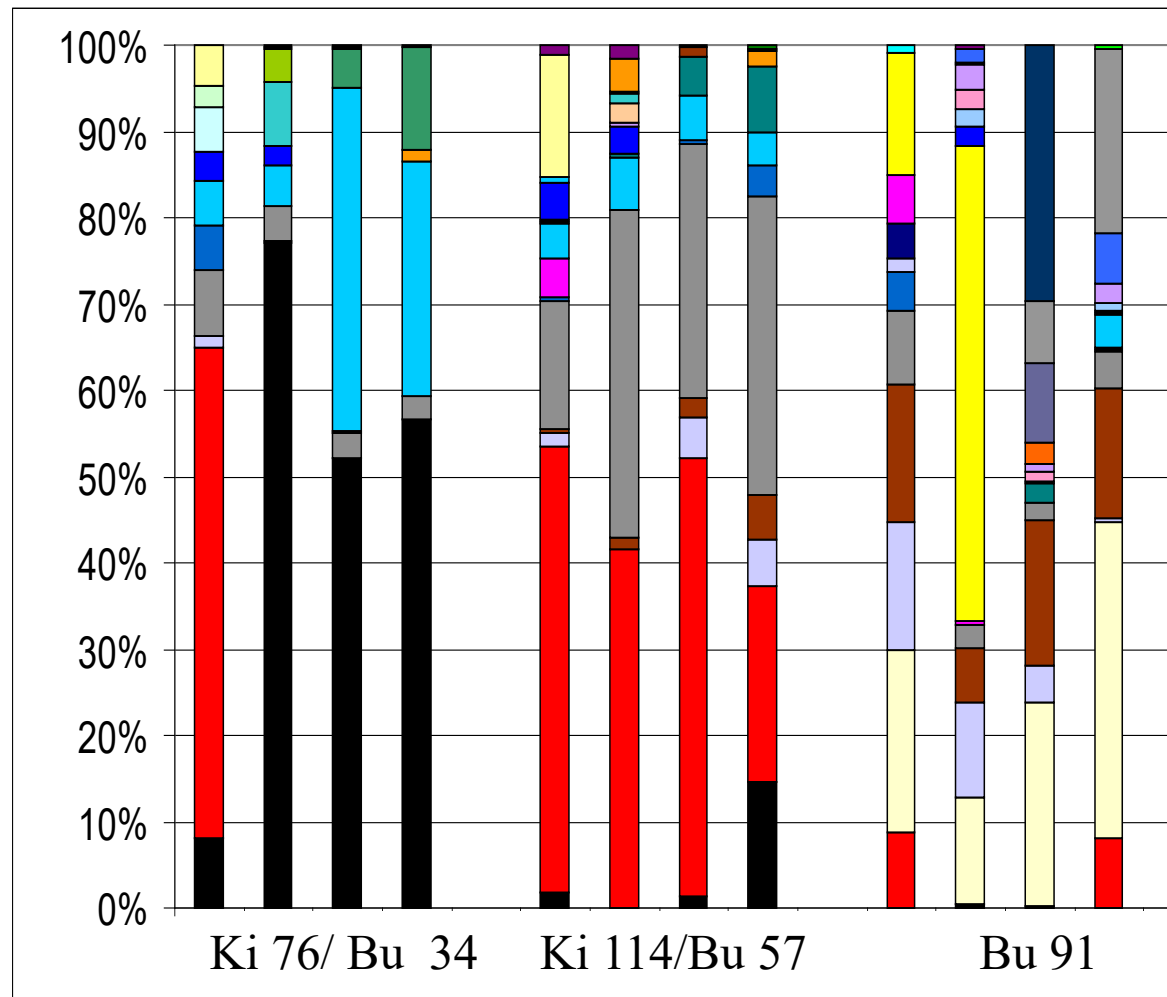
Verschiebung des Spektrums und Erhöhung der Vielfalt von Mykorrhiza-Arten im Zuge des Umbaus von Kiefern-Rein- zu Buchen-Misch- und Buchen-Reinbeständen

hier: Mykorrhiza an Kiefer



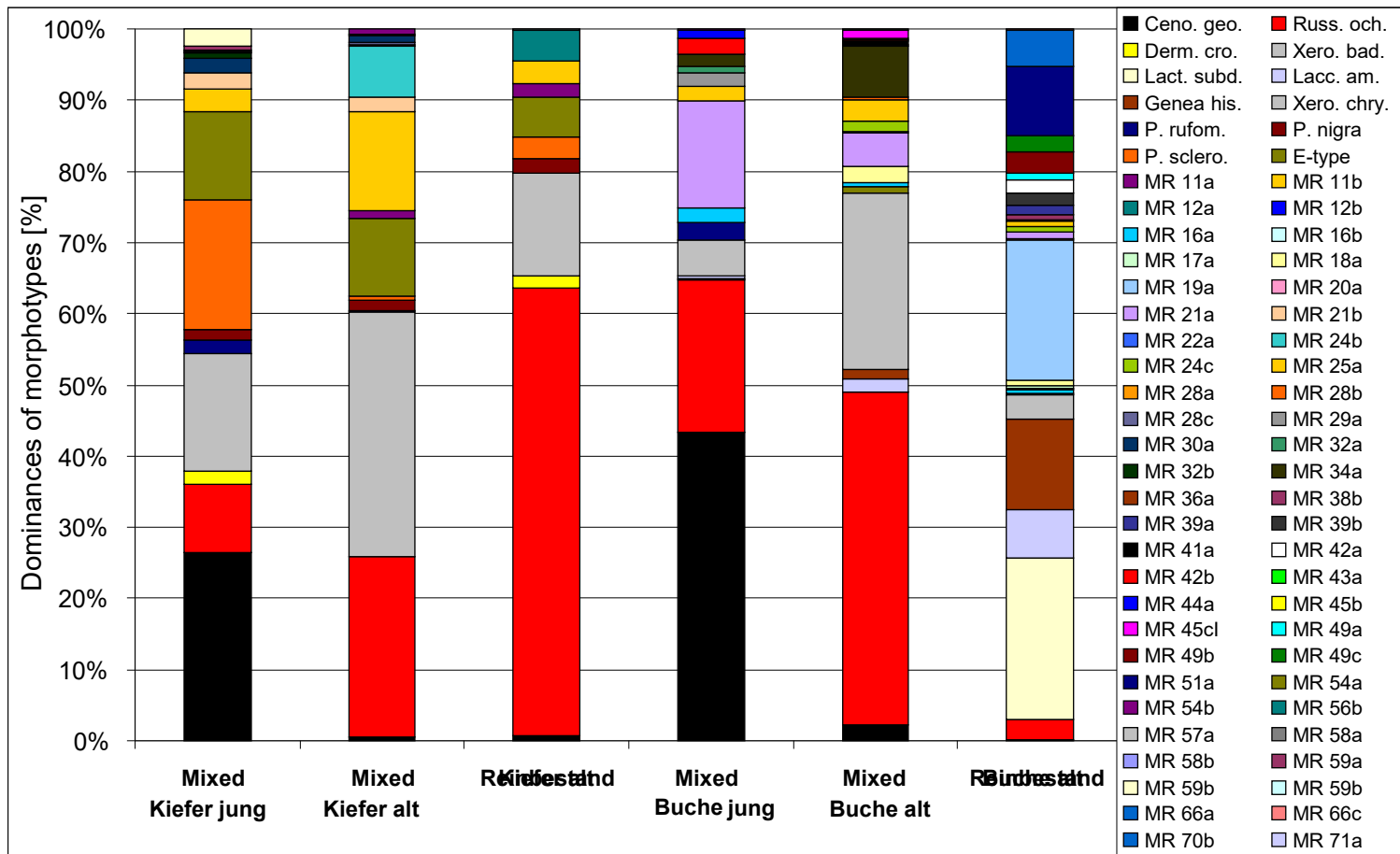
Verschiebung des Spektrums und Erhöhung der Vielfalt von Mykorrhiza-Arten im Zuge des Umbaus von Kiefern-Rein- zu Buchen-Misch- und Buchen-Reinbeständen:

hier: Mykorrhiza an Buche

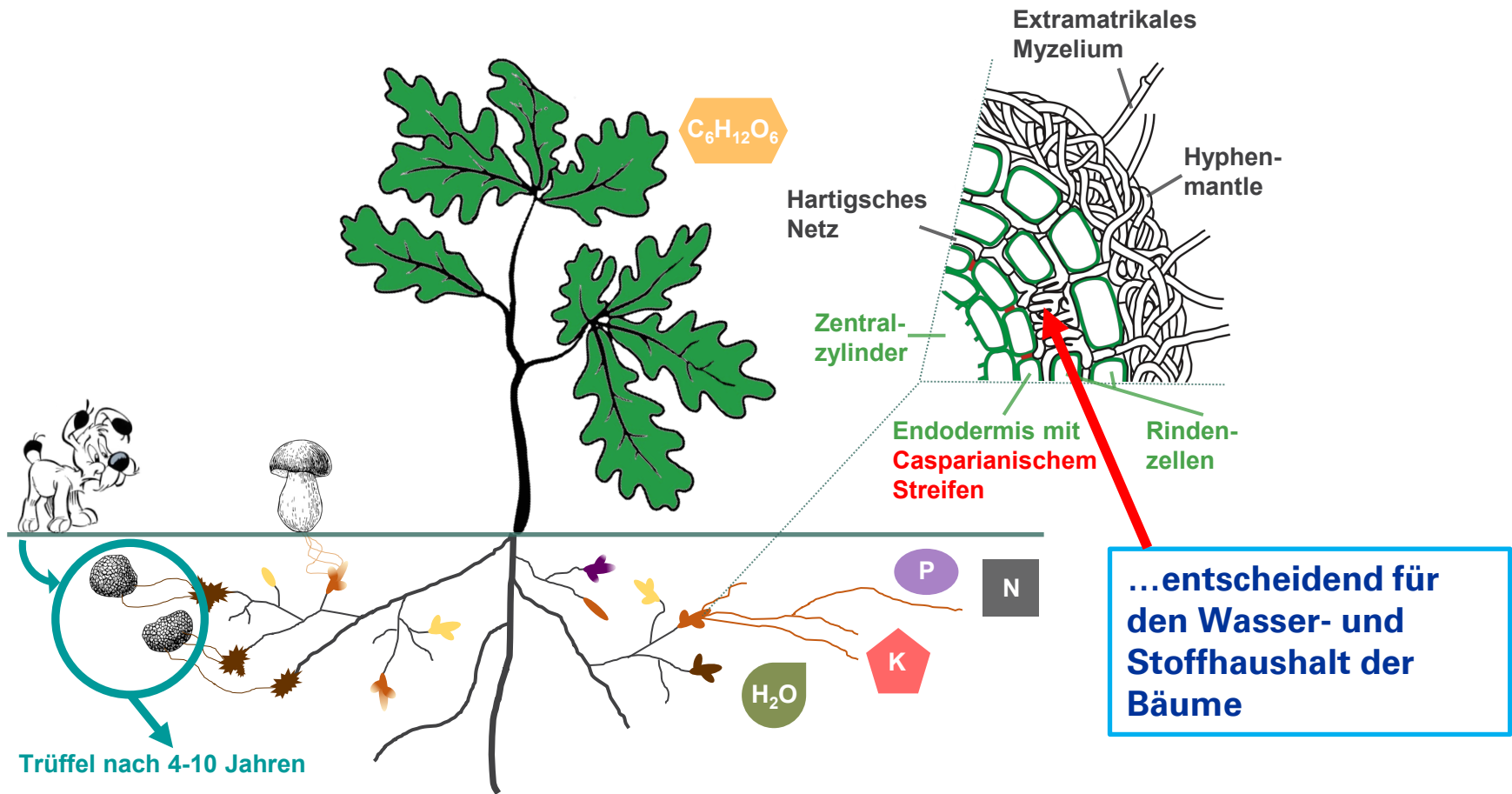


Münzenberger et al., 2005

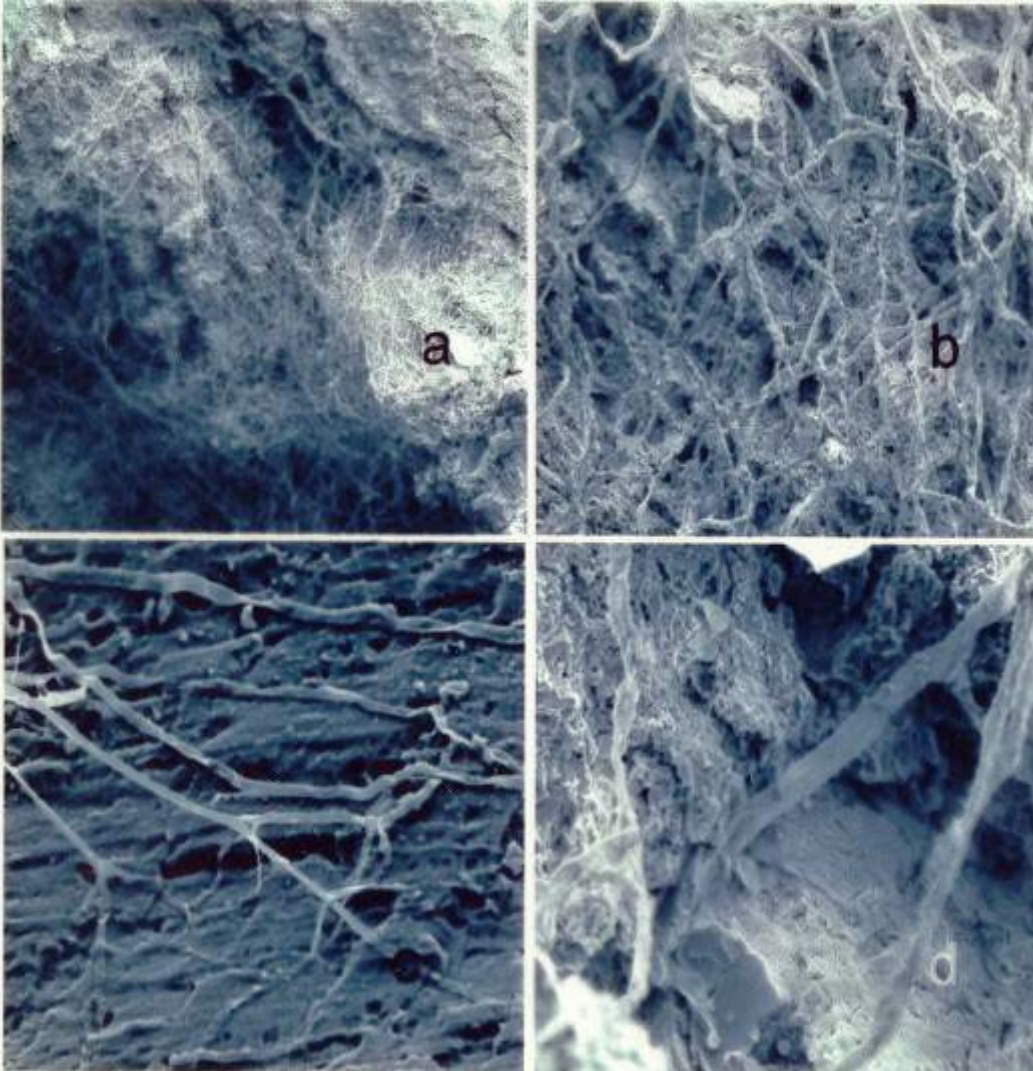
Verschiebung des Spektrums und Erhöhung der Vielfalt von Mykorrhiza-Arten im Zuge des Umbaus von Kiefern-Rein- zu Buchen-Misch- und Buchen-Reinbeständen



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



Besiedelung von Kohle-Fragmenten durch Hyphen von Mykorrhiza-Pilzen



Bereits 3 Monate nach Versuchsbeginn ist eine intensive Durchdringung von initial Mykorrhiza-freien Kohle-Fragmenten mit Hyphen von Mykorrhiza-Pilzen 2-jähriger Kiefern-Sämlingen festzustellen.

[Magnification:

a) 1 : 1.000, b) 1 : 2.500,

c) 1 : 25.000, d) 1 : 60.000]

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)

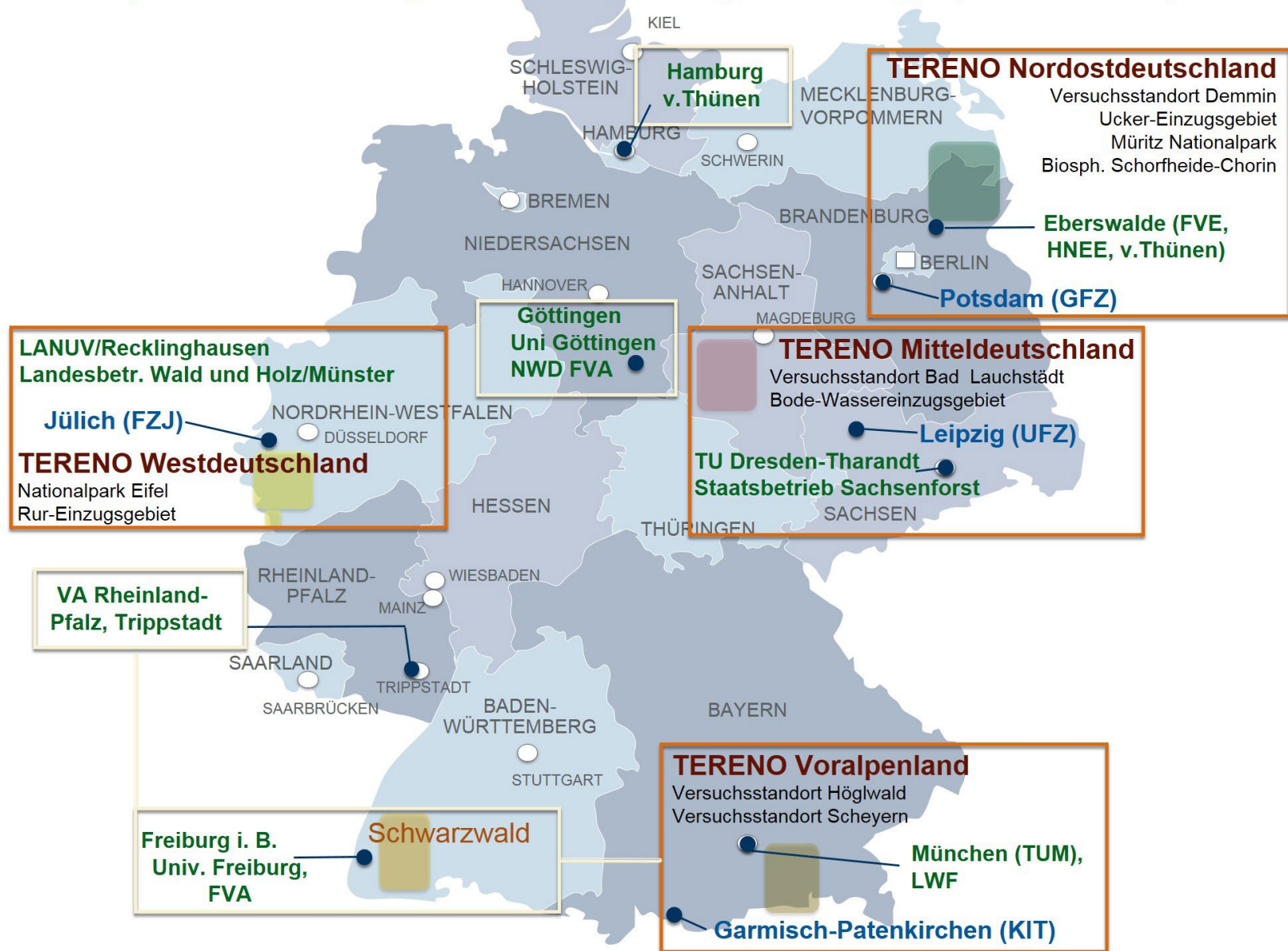


Flachwurzler



Tiefwurzler

Schwerpunktregionen für Forstliche Forschung in Deutschland (Helmholtz-Zentren, Forstliche Forschungseinrichtungen, Universitäten)



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**

- 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)
 - ▶ 80% fossile Energien!

Fazit:

„Böden sind wertvoller als Diamanten!“

(Cem Özdemir, ehemaliger Bundeslandwirtschaftsminister)