

# Auswirkungen einer Waldkalkung auf den Bodenzustand und Holzabbau von Kiefernforsten in Brandenburg



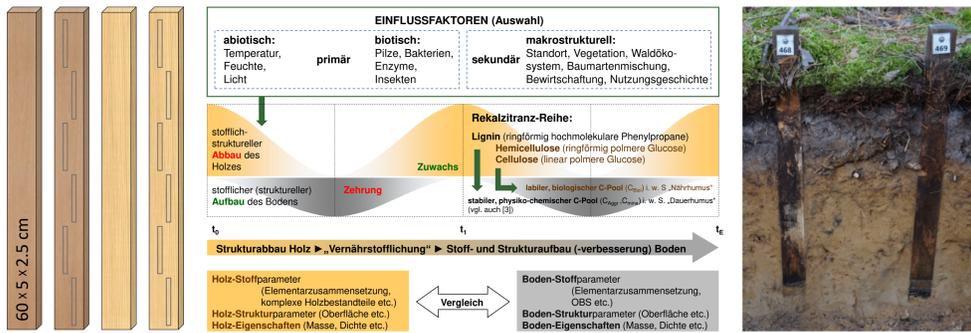
Landeskompetenzzentrum Forst Brandenburg (LFE)

WALDWIRTSCHAFT ABER NATÜRLICH

Die Beteiligung des Landes Brandenburg am Länder-Verbundprojekt „Modellvorhaben zur Förderung von Maßnahmen zur nachhaltigen Nährstoffversorgung und Gesunderhaltung von Wäldern“, das vom BMEL in den Jahren von 2015 bis 2017 gefördert wurde, war Ausgangspunkt für die Erforschung der bodenökologischen Auswirkungen einer **versuchsweisen Waldkalkung** in Kiefernforsten [1,2]. Im Mittelpunkt des Vorhabens stand dabei die Etablierung eines Monitorings auf ausgewählten Inventurpunkten der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE). Auswertungsgrundlage bildeten dabei die gewonnenen Analysedaten zu chemischen Kenngrößen der Bodenfest- und Bodenlösungsphase sowie zum Baumernährungszustand auf paarweise (gekalkt / nicht gekalkt) angelegten Versuchspartellen. Arbeitsschwerpunkt war u. a. auch die Erfassung des zeitlichen Verlaufs bodenchemischer Effekte (vor / nach der Kalkung). Darüber hinaus wurden Untersuchungen zur **Holzerzersetzung**, als wichtigen Teilprozess des Stoffkreislaufs in Wäldern, im **Projekt HolzDeko** (gefördert durch den Waldklimafonds) durchgeführt. Es sollte geprüft werden, ob ein beschleunigter mikrobieller Umsatz nach Kalkung festzustellen ist. Hauptversuchsgegenstand waren in den Boden eingebrachte Prüfkörper der Holzarten Kiefer und Buche. Neben der Erfassung des Status quo einer standörtlich differenzierten, unterirdischen Holzerzersetzung stützt sich der Ansatz dabei auf die Charakterisierung einer Auswahl von weiteren durch eine Kalkung veränderten Umweltfaktoren und der in der Folge typisch auftretenden Erscheinungen und Variationen in der Holzerzersetzung. Er leistet damit einen Beitrag zur Klärung der Prozesse und Mechanismen im Ursache-Wirkungs-Komplex der **stofflichen und strukturellen Transformation des Holzes** und der **Speicherung von Kohlenstoff im Boden**. Es wurden diagnostische Methoden angewendet, die für eine weitestgehend standardisierte Bewertung und Quantifizierung der Holzerzersetzung im Boden in Frage kommen können. Das Methodenportfolio reicht dabei von der visuellen / physikalischen Begutachtung der Holzprüfkörper, der mikroskopischen Untersuchung holzanatomischer Veränderungen, der mikrobiellen und molekularen Pilzdiagnostik, von thermogravimetrischen Analysen bis hin zur Bestimmung von Aktivitäten und Kinetiken extrazellulärer Enzyme. Zudem wurden Bodenproben der Versuchsflächen bodenchemisch und bodenbiologisch (Pilze, Enzymaktivitäten) untersucht.

## Untersuchungsgegenstand und -ansatz

Vom Baum → ins Sägewerk → in die Tischlerei → in den Boden → ins Labor

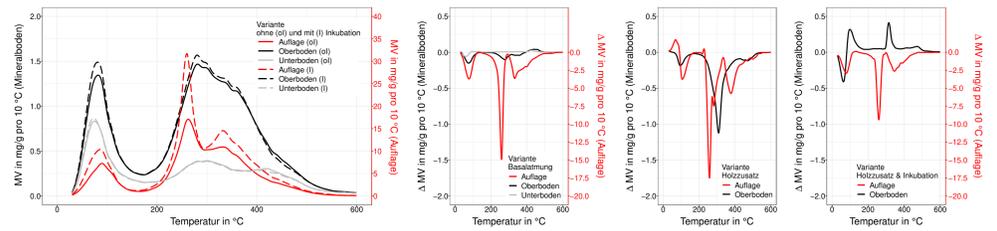


Holzprüfkörperausführungen (Buche/Kiefer)

Intermediale Stoff- und Strukturtransformation (i. S. einer Verbesserung des Humuszustandes) infolge der Holzerzersetzung

Freilegung der in den Boden eingebrachten Prüfkörper

## Thermogravimetrische Analyse: Zerfallsdynamik dokumentiert biologische Umsetzung



Absolute thermische Masseverluste ohne Holzzusatz (Inkubation über 6 Wochen)

Masseverluständerung ohne Holzzusatz

Masseverluständerung bei Holzzusatz

... bei Holzzusatz (Inkubation über 10 Wochen)

## Pilzdiagnostik: Ergebnisse der Sequenzierung und DNA-Chip-Technologie

### Kiefernholz

FT <sup>1</sup>	VFT <sup>2</sup>	Art/Gattung: Abundanz
W	nK	<i>Resinicium bicolor</i> : 11, <i>Sistotrema sueticum</i> : 2, <i>Exidia glandulosa</i> : 1, <i>Myceia galopus</i> : 1, <i>Myceia rubromarginata</i> : 1, <i>Myceia sp.</i> : 1, <i>Neohyphochytrium geogenum</i> : 1, <i>Phlebotopsis gigantea</i> : 1, <i>Pholiota mitis</i> : 1, <i>Postia rennyi</i> : 1, <i>Postia sp.</i> : 1, <i>Rhizoctonia quercus</i> : 1, <i>Sclerotinia bicolor</i> : 1, <i>Exidia glandulosa</i> : 3, <i>Myceia epityrgia</i> : 3, <i>Myceia galopus</i> : 5, <i>Russula decolorans</i> : 3, <i>Myceia sp.</i> : 2, <i>Pholiota mitis</i> : 2, <i>Postia rennyi</i> : 2, <i>Sistotrema sueticum</i> : 2, <i>Fomes sordidatus</i> : 1, <i>Gymnopilus penetrans</i> : 1, <i>Myceia amata</i> : 1, <i>Myceia metae</i> : 1, <i>Pholiota sp.</i> : 1, <i>Rickenella fibula</i> : 1, <i>Sistotrema sueticum</i> : 1, <i>Sphaerobolus stielatus</i> : 1, <i>Stereum hirsutum</i> : 1, <i>Xenasmattella vaga</i> : 1
B	nK	<i>Serpula himantoides</i> : 23, <i>Coniophora arida</i> : 10, <i>Russula vesca</i> : 2, <i>Coniophora olivacea</i> : 1, <i>Hyphoporia aurantica</i> : 1, <i>Oligoporus rennyi</i> : 1, <i>Trechispora sp.</i> : 1, <i>Serpula himantoides</i> : 26, <i>Coniophora arida</i> : 5, <i>Fibroporia noronhaiensis</i> : 2, <i>Russula puellari</i> : 2, <i>Fibroporia gossypium</i> : 1, <i>Gleophyllum striatum</i> : 1, <i>Sistotrema birkenmanni</i> : 1, <i>Sphaerobolus iowensis</i> : 1, <i>Tapinella atrotementosa</i> : 1
M	nK	<i>Humicola fuscoatra</i> : 1
M	K	<i>Humicola fuscoatra</i> : 1
?	nK	<i>Clavulicium sp.</i> : 1, <i>Hyphodiscus sp.</i> : 1
?	K	<i>Saizyuma podzolica</i> : 2, <i>Tomentella badia</i> : 1

### Buchenholz

FT <sup>1</sup>	VFT <sup>2</sup>	Art/Gattung: Abundanz
W	nK	<i>Resinicium bicolor</i> : 7, <i>Myceia epityrgia</i> : 3, <i>Xenasmattella vaga</i> : 3, <i>Exidia glandulosa</i> : 2, <i>Myceia cinerella</i> : 2, <i>Myceia galopus</i> : 2, <i>Myceia zephyrus</i> : 2, <i>Schizophyllum commune</i> : 2, <i>Xenasmattella vaga</i> : 2, <i>Delicatula integrella</i> : 1, <i>Gymnopilus decipiens</i> : 1, <i>Hypholoma fasciculare</i> : 1, <i>Luella recedens</i> : 1, <i>Macrospora fuliginea</i> : 1, <i>Myceia sanguinolenta</i> : 1, <i>Peniophora cinerea</i> : 1, <i>Phlebia radiata</i> : 1, <i>Postia rennyi</i> : 1, <i>Trametes hirsuta</i> : 1, <i>Xeromphalia sp.</i> : 1, <i>Myceia zephyrus</i> : 5, <i>Myceia sp.</i> : 5, <i>Clitocybe phyllophila</i> : 2, <i>Myceia leptocarpus</i> : 2, <i>Postia rennyi</i> : 2, <i>Berkandera adusta</i> : 1, <i>Exidia glandulosa</i> : 1, <i>Myceia sanguinolenta</i> : 1, <i>Myceia zephyrus</i> : 1, <i>Peniophora sp.</i> : 1, <i>Pholiota sp.</i> : 1, <i>Stereum ochraceum</i> : 1, <i>Stereum hirsutum</i> : 1, <i>Trametes hirsuta</i> : 1, <i>Xenasmattella vaga</i> : 1
B	nK	<i>Serpula himantoides</i> : 21, <i>Coniophora arida</i> : 10, <i>Sistotrema birkenmanni</i> : 2, <i>Coniophora olivacea</i> : 1, <i>Fibroporia gossypium</i> : 1, <i>Hyphoporus yunnanensis</i> : 1, <i>Oligoporus rennyi</i> : 1, <i>Serpula himantoides</i> : 15, <i>Sistotrema birkenmanni</i> : 8, <i>Coniophora arida</i> : 7, <i>Coniophora sp.</i> : 2, <i>Tapinella atrotementosa</i> : 2, <i>Sphaerobolus iowensis</i> : 1
B	K	<i>Serpula himantoides</i> : 21, <i>Coniophora arida</i> : 10, <i>Sistotrema birkenmanni</i> : 2, <i>Coniophora olivacea</i> : 1, <i>Fibroporia gossypium</i> : 1, <i>Hyphoporus yunnanensis</i> : 1, <i>Oligoporus rennyi</i> : 1, <i>Serpula himantoides</i> : 15, <i>Sistotrema birkenmanni</i> : 8, <i>Coniophora arida</i> : 7, <i>Coniophora sp.</i> : 2, <i>Tapinella atrotementosa</i> : 2, <i>Sphaerobolus iowensis</i> : 1
M	K	<i>Humicola fuscoatra</i> : 2
?	nK	<i>Saizyuma podzolica</i> : 3, <i>Soytaldium sp.</i> : 1
?	K	<i>Saizyuma podzolica</i> : 4, <i>Soytaldium abum</i> : 1

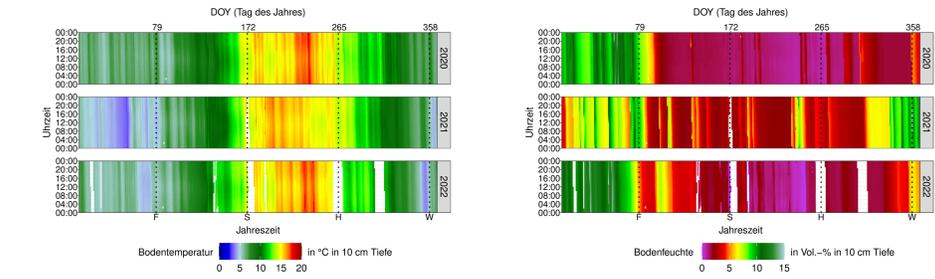
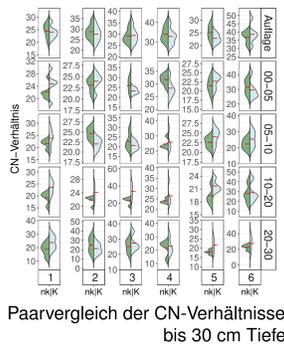
<sup>1</sup> FT: Fäuletyp (W - Weißfäule, B - Braunfäule, M - Moderfäule); <sup>2</sup> VFT: Versuchsflächentyp (nK - nicht gekalkt, k - gekalkt)

## Aggregatssituation und Erfassung abiotischer Einflussfaktoren

Die im Rahmen des Kalkungsprojektes installierte Infrastruktur (z. B. Sensorik, Sickerwasser-Sauganlage) auf 6 der insgesamt 16 neu angelegten Kalkungsversuchsflächen konnte vom Projekt HolzDeko genutzt werden.

Die Versuche zur Holzerzersetzung erfolgten jeweils auf einer **unbehandelten (nK)** und **behandelten (K)** Fläche für die Holzarten **Kiefer (GKI, Ki)** und **Buche (RBU, Bu)**. Die Entnahmen der eingebrachten und in Blöcken pro Holzart angeordneten Prüfkörper erfolgten nach 10, 16, und 28 Monaten. Der Abstand der Stäbe betrug etwa 30 cm.

Die Bodenfestphase wurde u. a. hinsichtlich der Parameter pH-Werte, KAK, C, N, Basensättigung, Nährstoffe und Schwermetalle untersucht.



## Makroskopische Aspekte des Holzabbaus: Masseverluste und Fäuletypen der Prüfkörper

### Fäuletypen Kiefernholz

im Kiefernforst: nach 10 Monaten Braun-, später auch Weißfäule, meist in Kombination mit Braunfäule

im Buchenforst: \* anfangs vorrangig Braunfäule

Erntehaltermin	1	2	3	4	5	6
00-10	118	88	101	103	101	101
10-20	118	101	101	101	101	101
20-30	118	101	101	101	101	101
30-40	118	101	101	101	101	101
40-50	118	101	101	101	101	101
50-60	118	101	101	101	101	101

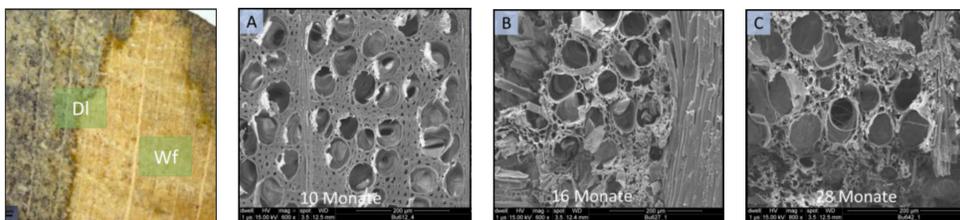
### Fäuletypen Buchenholz

im Kiefernforst: nach 10 Monaten Weiß-, später auch Braunfäule mit hoher Konkurrenzkraft und späterer Dominanz

im Buchenforst: \* anfangs vorrangig Weißfäule

Masseverluste in % von Buchen- und Kiefernholz aller 6 Flächen; nK: nicht gekalkt, K: gekalkt \* Buchenforst=Zusatzstudie

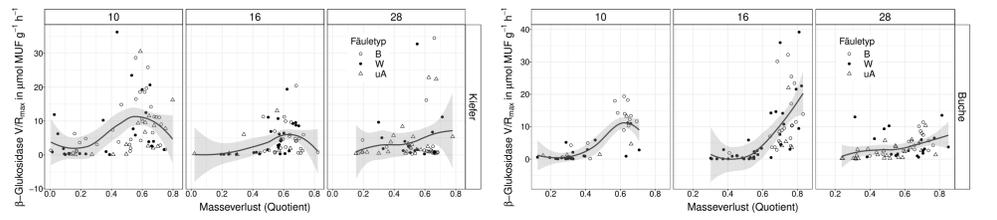
## Mikroskopie der Holzanatomie: Zeitliche Dynamik des Buchenholz-Abbaus (hier: Weißfäule)



HANNEMANN, J.<sup>1</sup>, BOROWY, P.<sup>1</sup>, ERDMANN, M.<sup>2</sup>, KRAHL, I.<sup>4</sup>, LAUTNER, S.<sup>3</sup>, MÖHRING, M.<sup>3</sup>, NÄTHE, K.<sup>6</sup>, POMMER, U.<sup>1</sup>, RANGNO, N.<sup>5</sup>, REICHHARDT, S.<sup>1</sup>, RIEK, W.<sup>1,3</sup>, SCHUMACHER, P.<sup>2</sup>, SIEWERT, C.<sup>4</sup>, TISCHER, G.<sup>6</sup> & R. KÄTZEL <sup>1</sup>

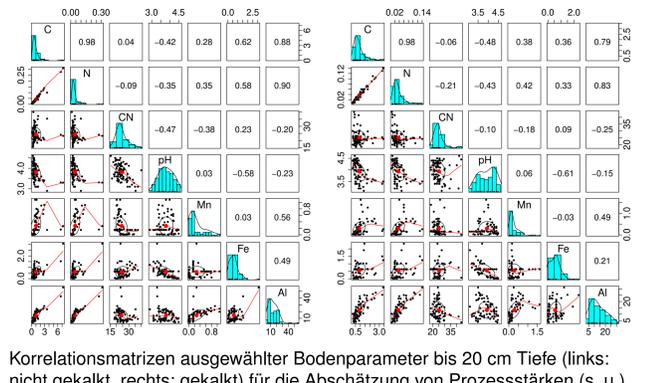
1: LFE Eberswalde, 2: MPA Eberswalde, 3: HNE Eberswalde, 4: HTW Dresden, 5: IHD Dresden, 6: FSU Jena | **Quellen:** [1,2] RIEK et al. (2015, 2019): Waldbodenbericht Brandenburg. Bd. 1 & 2, EFS 60/1 & 68/2, [3] VON LÜTZOW et al. (2008): Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils, JPNSS 171, S. 111–124, [4] Abschlussbericht HolzDeko-Projekt [5] R Statistics & Pakete (ggplot2 & extensions, sets) | C-Tagung Göttingen 03/2025

## Enzymaktivitäten: Aktivität des Exoenzyms β-Glukosidase als Funktion des Massenverlustes

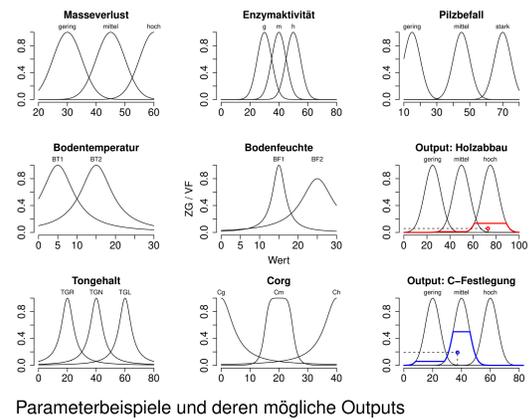


## Wichtige Ergebnisse des Holzabbaus

- Kalkungseffekte bezüglich des Holzabbaus nicht (eindeutig) feststellbar
- Hoher Einfluss der Standortunterschiede und der kleinräumigen Bodenheterogenität
- Schnellerer Abbau von Kiefernholz im Kiefern- und von Buchenholz im Buchenbestand
- Abbau in den oberen 20 cm des Waldbodens am stärksten
- Dominanz Braunfäule an Kiefernholz, Weißfäule an Buchenholz



## Ausblick



links: Abschätzung von Prozessstärken (z. B. Holzabbau, C-Festlegung im Boden) durch Zugehörigkeits- und Verteilungsfunktionen von Parametern sowie Wenn-Dann-Regeln (Korrelationsbeziehungen (s. o.) als Basis für deren Ableitung):

- **Holzabbau:** Masseverlust, Anatomischer Destruktionsgrad, Fäuletyp, Thermische Stabilität, Pilzbefall, Enzymaktivität etc.
- **C-Festlegung:** C<sub>org</sub>-Gehalt, Trockendichte, Horizontmächtigkeit, Steingehalt, Tongehalt, Gehalte pedogener Oxide (Fe, Mn, Al), Aggregatgröße, (Ton-)Mineralart etc. (vgl. auch [3])