

Einfluss forstlichen Managements auf ober- und unterirdische Kohlenstoffspeicherung im Wald

Die Folien dienen der Rekapitulation des Vortrags anlässlich der Tagung „Kohlenstoffbindung in Waldökosystemen und Holzprodukten“ vom 12. bis 14.03.25 in Göttingen.

Sie sind urheberrechtlich geschützt und dürfen nicht an Dritte weitergegeben werden

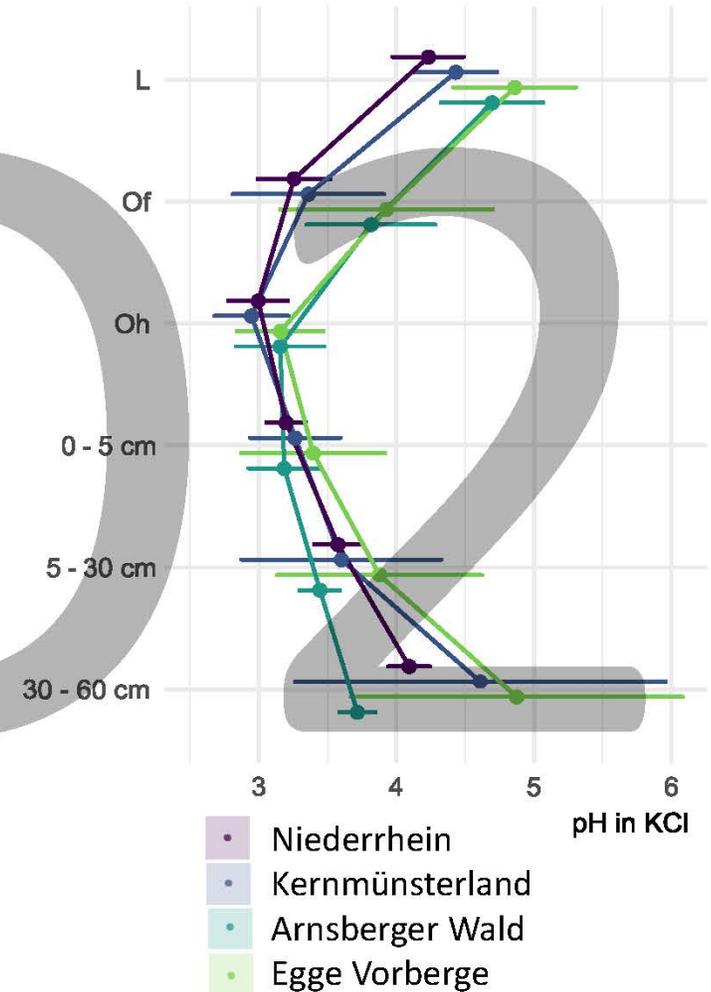
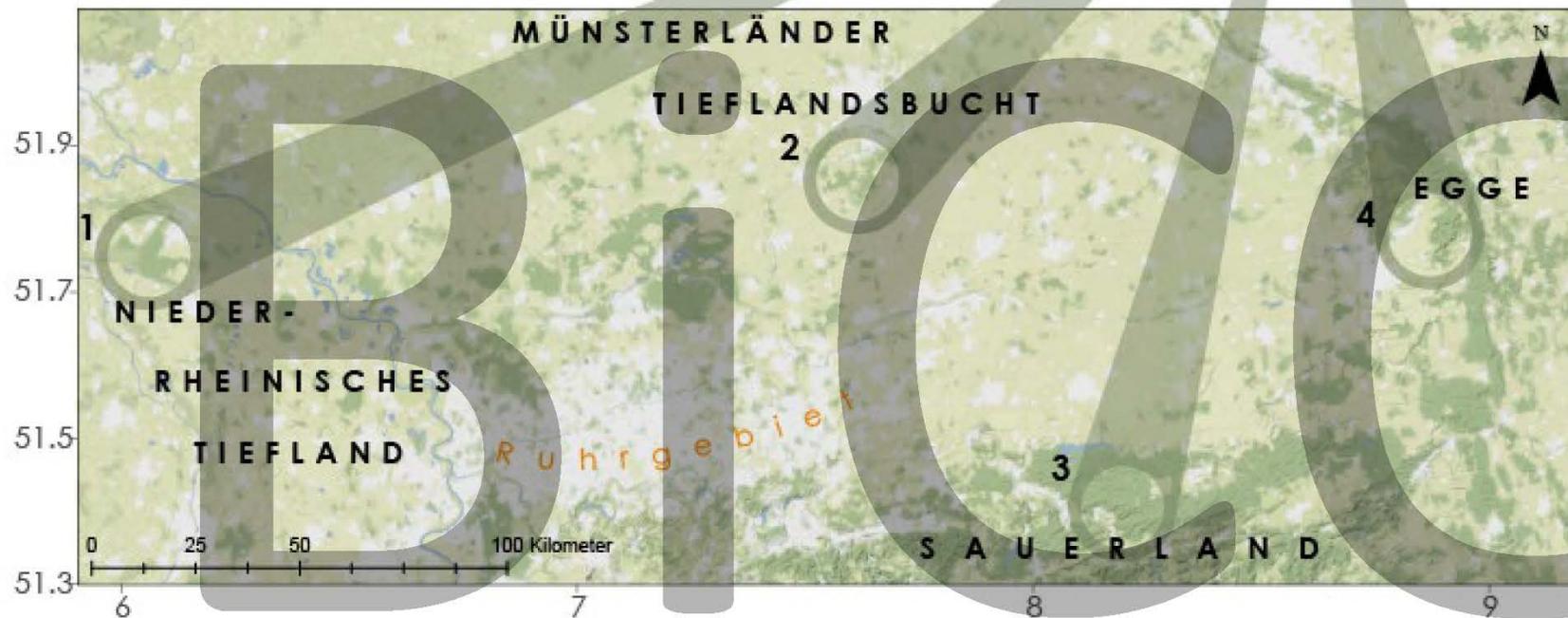
Teilweise beinhalten die Folien vorläufige Ergebnisse. Über aktuelle Publikationen wird auf der Projekthomepage www.bico2.de informiert..

Theresa Klein-Raufhake, Ute Hamer, Norbert Hölzel, Jens Schaper, Michael Meyer (Uni Münster)
Britta Linnemann, Katharina Rentemeister, Lea Santora, Jens Wöllecke (NABU Münsterland)
Michael Elmer, Max Fornfeist (Wald und Holz NRW)

Abkürzungen

- L - Litter
- Of - Fermentationshorizont
- Oh - Feinhumus-Horizont

BiCO2 - Untersuchungsgebiete



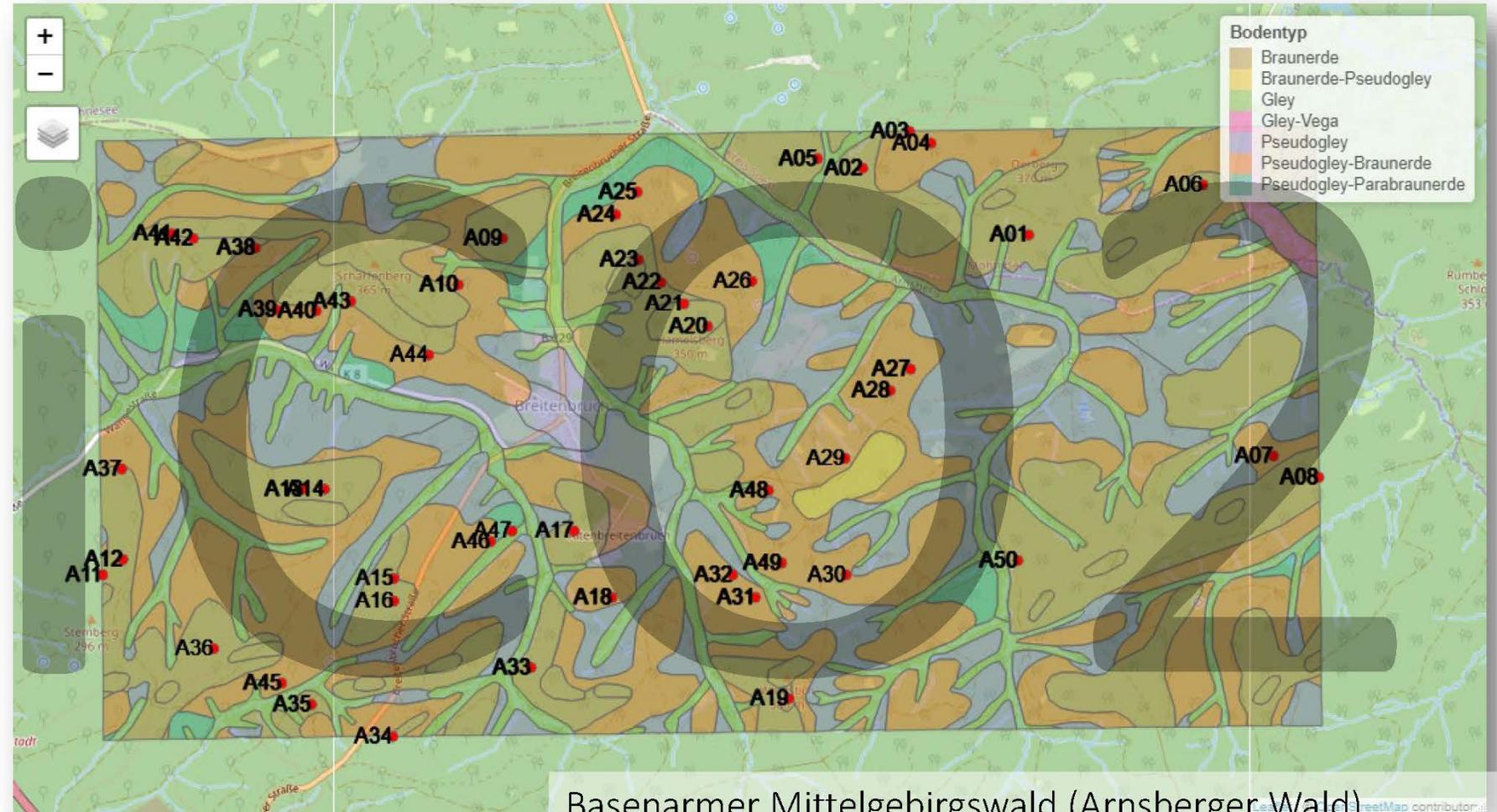
- 1 **Eichen-Mischwälder saurer** Standorte (**Braunerden / Pseudogley-Braunerden**)
- 2 **Eichen-Hainbuchenwälder** wechselfeuchter Standorte (**Pseudogleye / Podsol-Pseudogleye**)
- 3 **Buchenwälder stark saurer** Standorte (**Braunerden / Pseudogley-Braunerden**)
- 4 **Buchenwälder basenreicher** Standorte (**Braunerden**)

Map Tiles by Stamen Design, Data by OpenStreetMap



Foto: Ute Hamer

basenreiche Braunerde, Egge



- Braunerde
- Pseudogley-Braunerde



10 Plots

Naturwaldzellen,
Wildnisentwicklungsgebiete

Standortheimische Baumarten



~ 15 Plots (Alter 40 - 80)
~ 15 Plots (Alter > 80)

Wirtschaftswälder,
standortheimische Bestockung



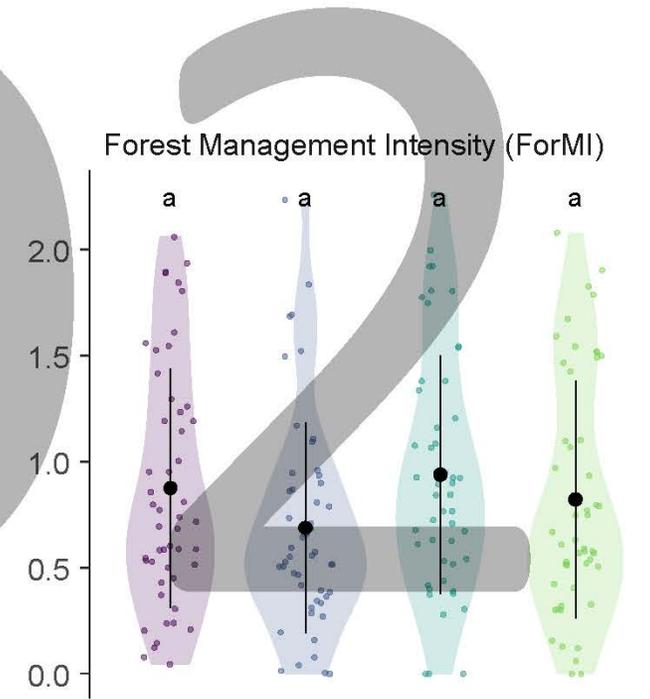
10 Plots

Wirtschaftswälder,
standortfremde Bestockung

Holzerntevolumen

Natürlich entstandenes Totholz

4 * 50 = 200 plots insgesamt!



- Niederrhein
- Kernmünsterland
- Arnsberger Wald
- Egge Vorberge

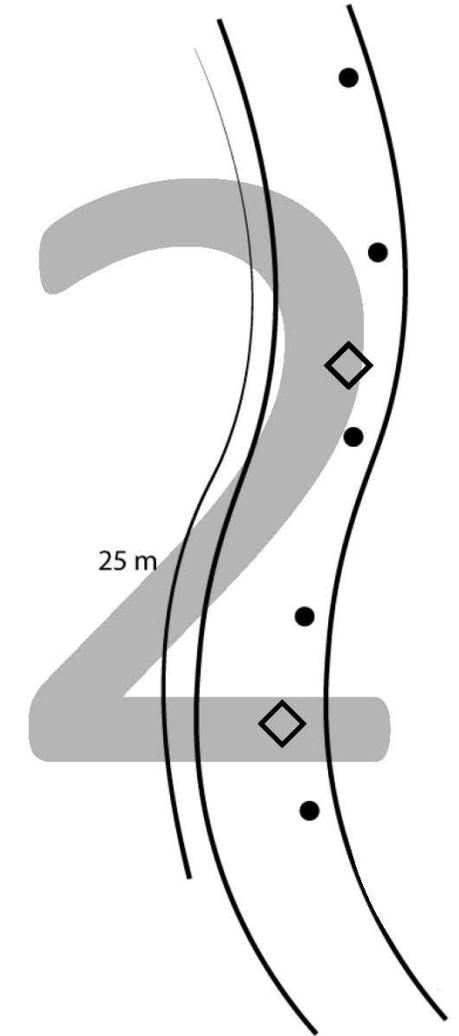
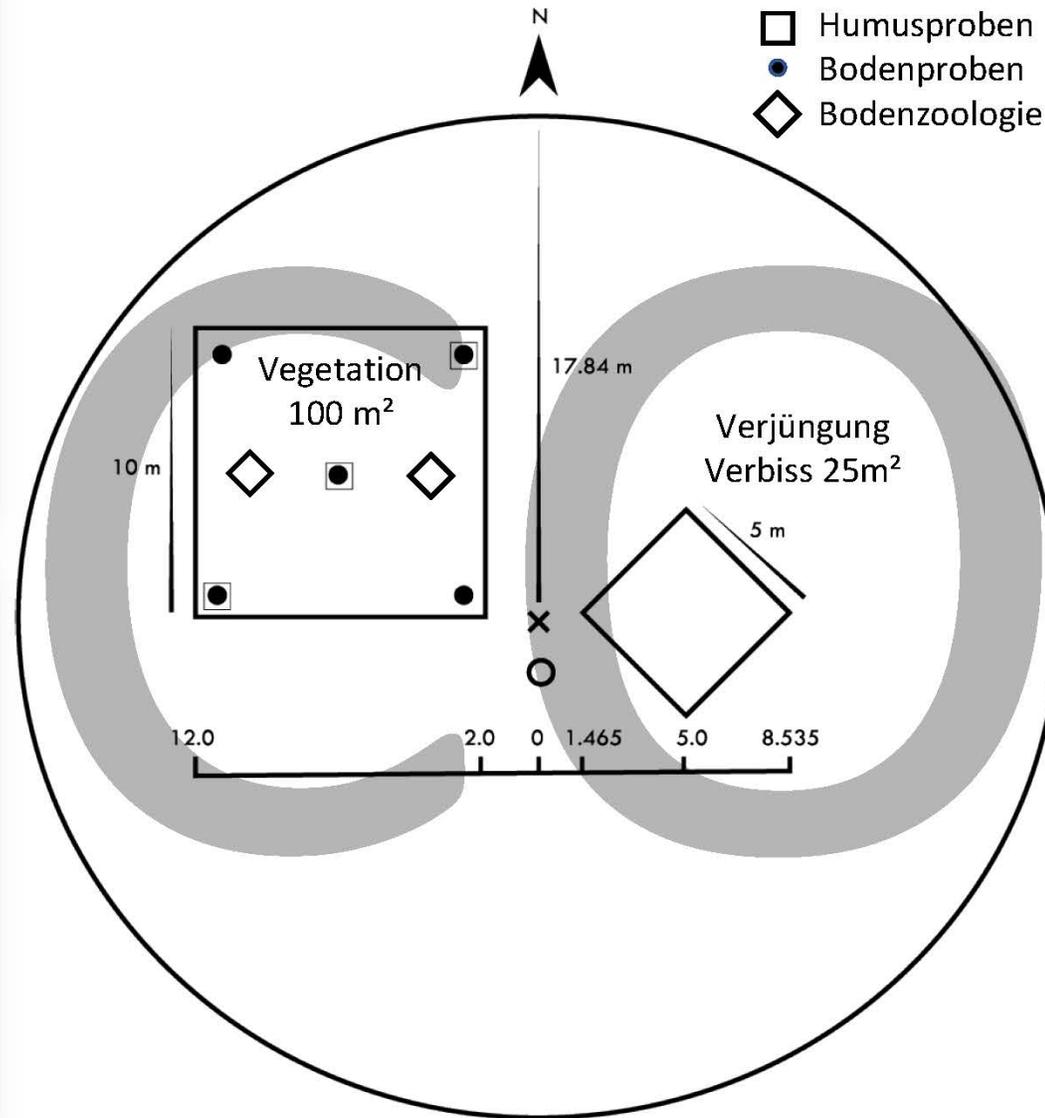
EXPERIMENTELLES DESIGN

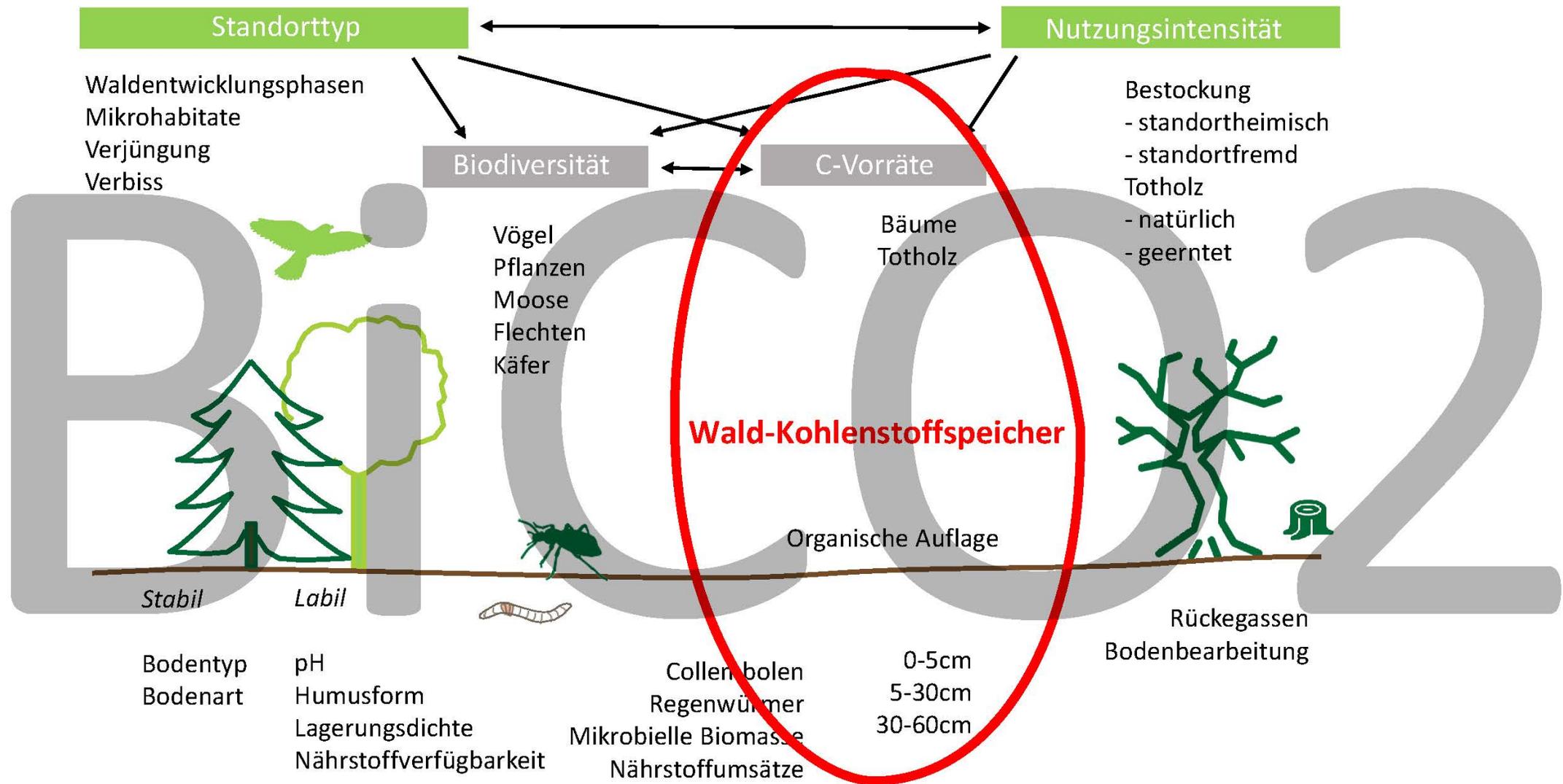
50 Probekreise pro
Untersuchungsgebiet

+ 21 Rückegassen

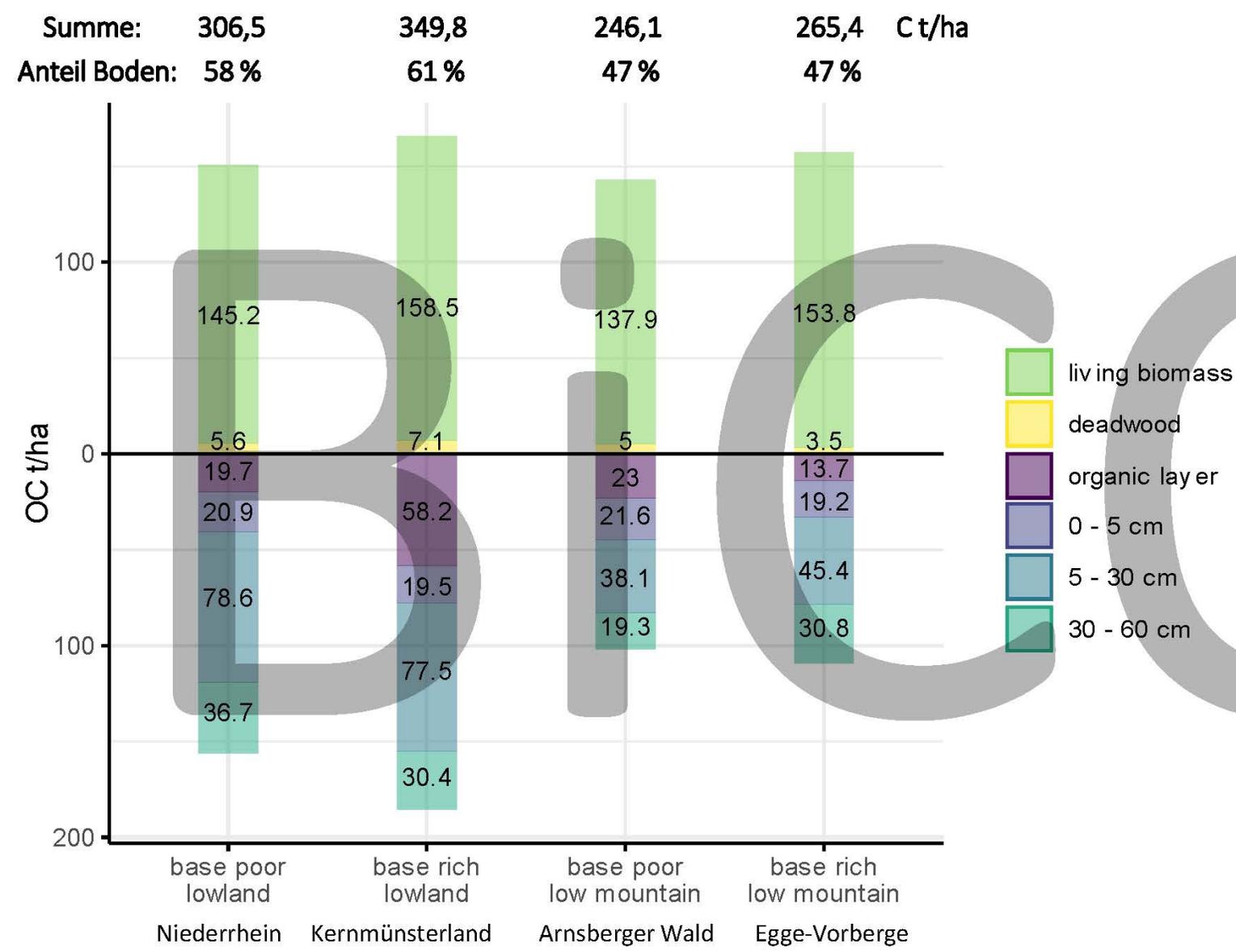


Fotos: Anja Hortmann, Theresa Klein-Raufhake | Videos: Johanna Klose





KOHLENSTOFFSPEICHERUNG NACH KOMPARTIMENT



basenreiche Standorte
 → höhere C-Vorräte in Baumbiomasse

skelettreiche/ flachgründige Standorte
 → ~ 50 – 70 t/ha geringere C-Speicherung im Boden



feuchte/ wechselfeuchte Standorte
 → höhere unterirdische C-Speicherung

linear mixed effects model

lmer(organischer Kohlenstoff



Wie wirkt sich das Waldmanagement auf die Kohlenstoffspeicherung aus?



BICO2

OBERIRDISCHE KOHLENSTOFFSPEICHERUNG



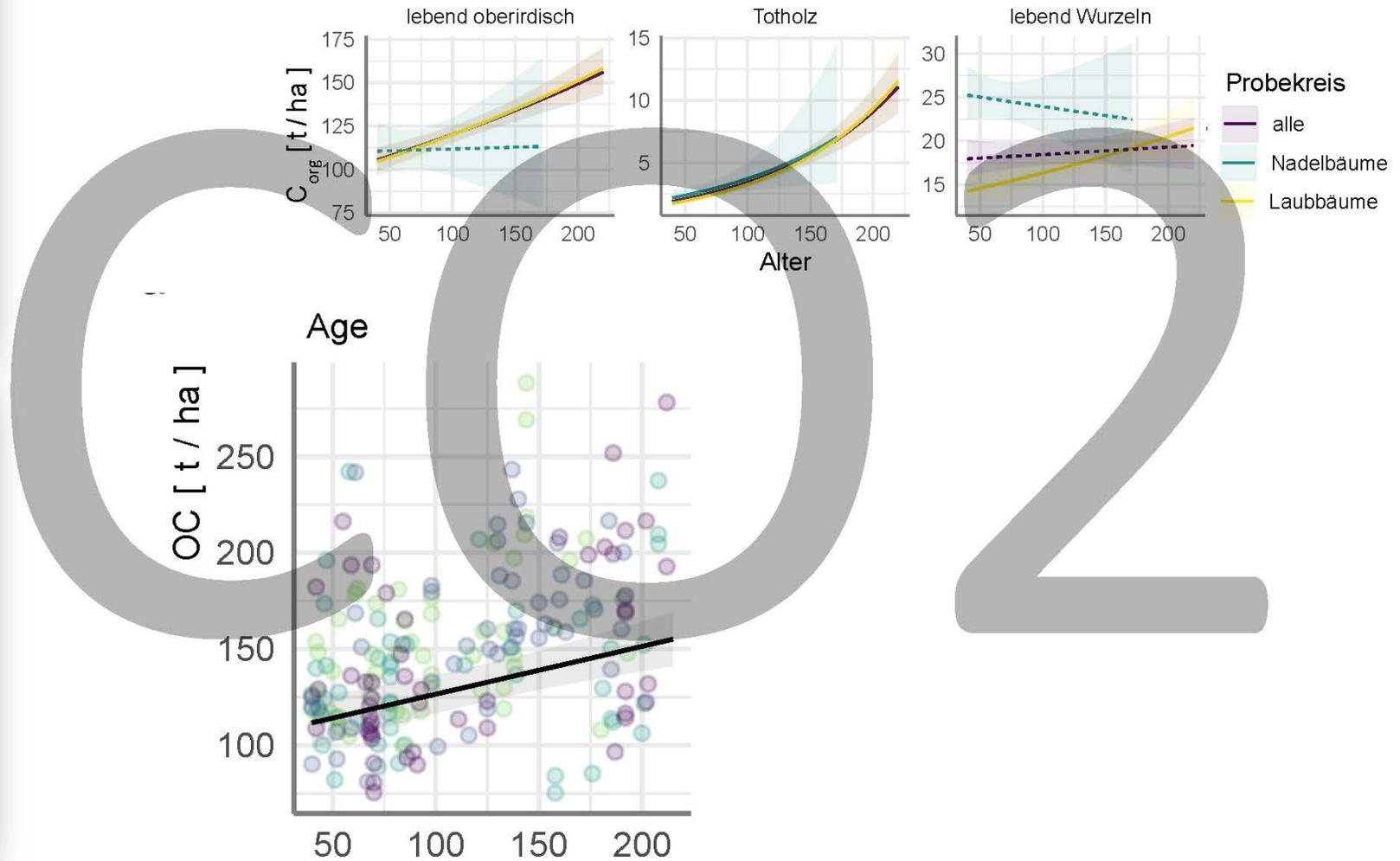
linear mixed effects model

$\ln(\text{organischer Kohlenstoff}) \sim \text{Laubbaumanteil} + \text{Holzerntevolumen} + \text{Anteil natürlichen Totholzes} + \text{Kalkung} + \text{Bestandesalter} + \text{TWI} + \text{Bodenart} + \text{Skelettgehalt} + \text{Stauwasserstufe} + \text{pH } 30-60 \text{ cm} + \text{Stickstoffvorrat} + (1 | \text{Untersuchungsgebiet}) + (\text{Kalkung} | \text{Untersuchungsgebiet})$

BESTANDEESALTER



Fotos: Theresa Klein-Raufhake | Johanna Klose



OBERIRDISCHE KOHLENSTOFFSPEICHERUNG



linear mixed effects model

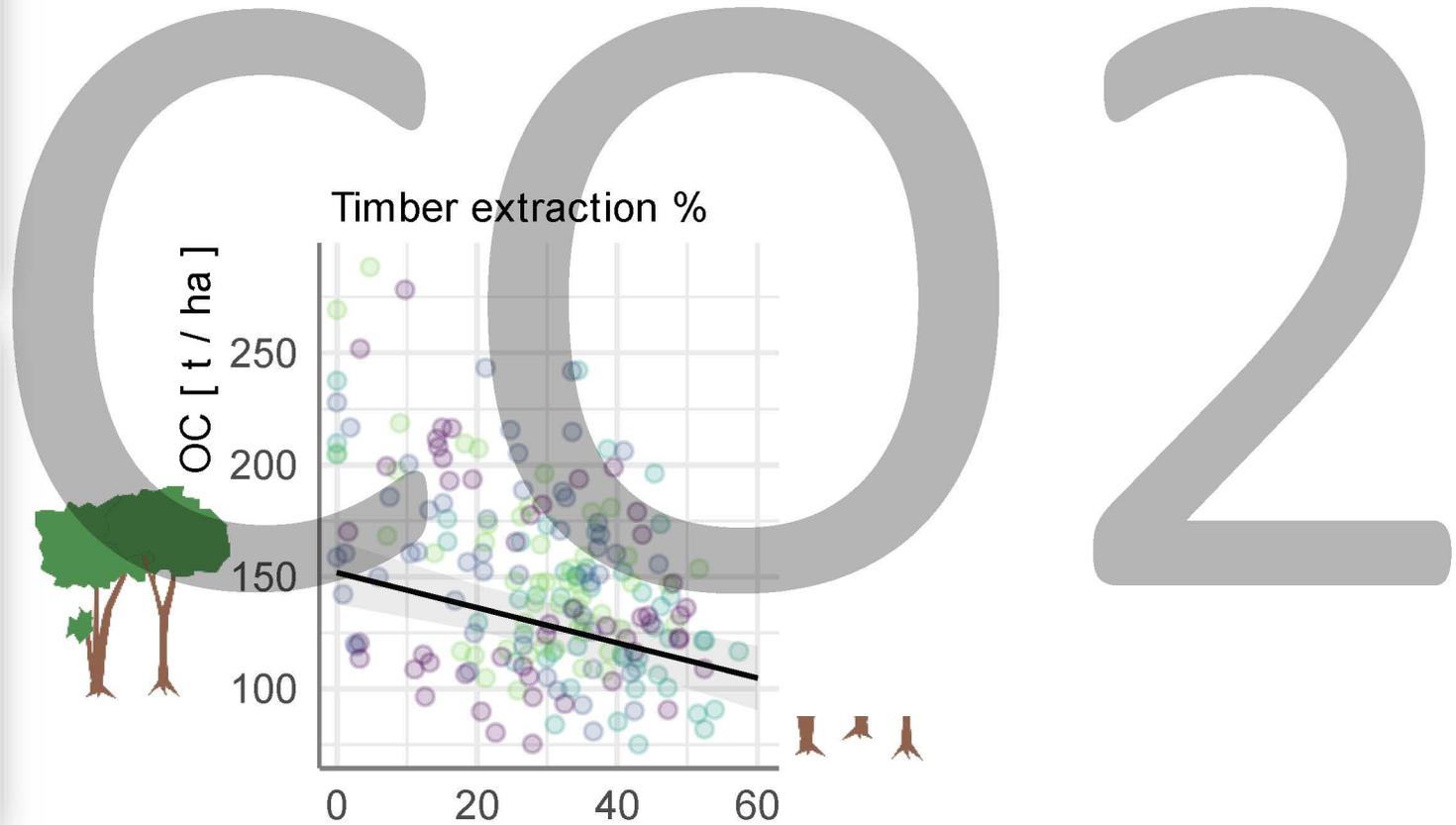
lmer(organischer Kohlenstoff ~ Laubbaumanteil + Holzerntevolumen + Anteil natürlichen Totholzes + Kalkung + Bestandesalter + TWI + Bodenart + Skelettgehalt + Stauwasserstufe + pH 30–60 cm + Stickstoffvorrat + (1|Untersuchungsgebiet) + (Kalkung|Untersuchungsgebiet))

HOLZENTNAHMEVOLUMEN



Fotos: Johanna Klose

→ Bedeutung von Naturwaldzellen und Wildnisentwicklungsgebieten!



OBERIRDISCHE KOHLENSTOFFSPEICHERUNG



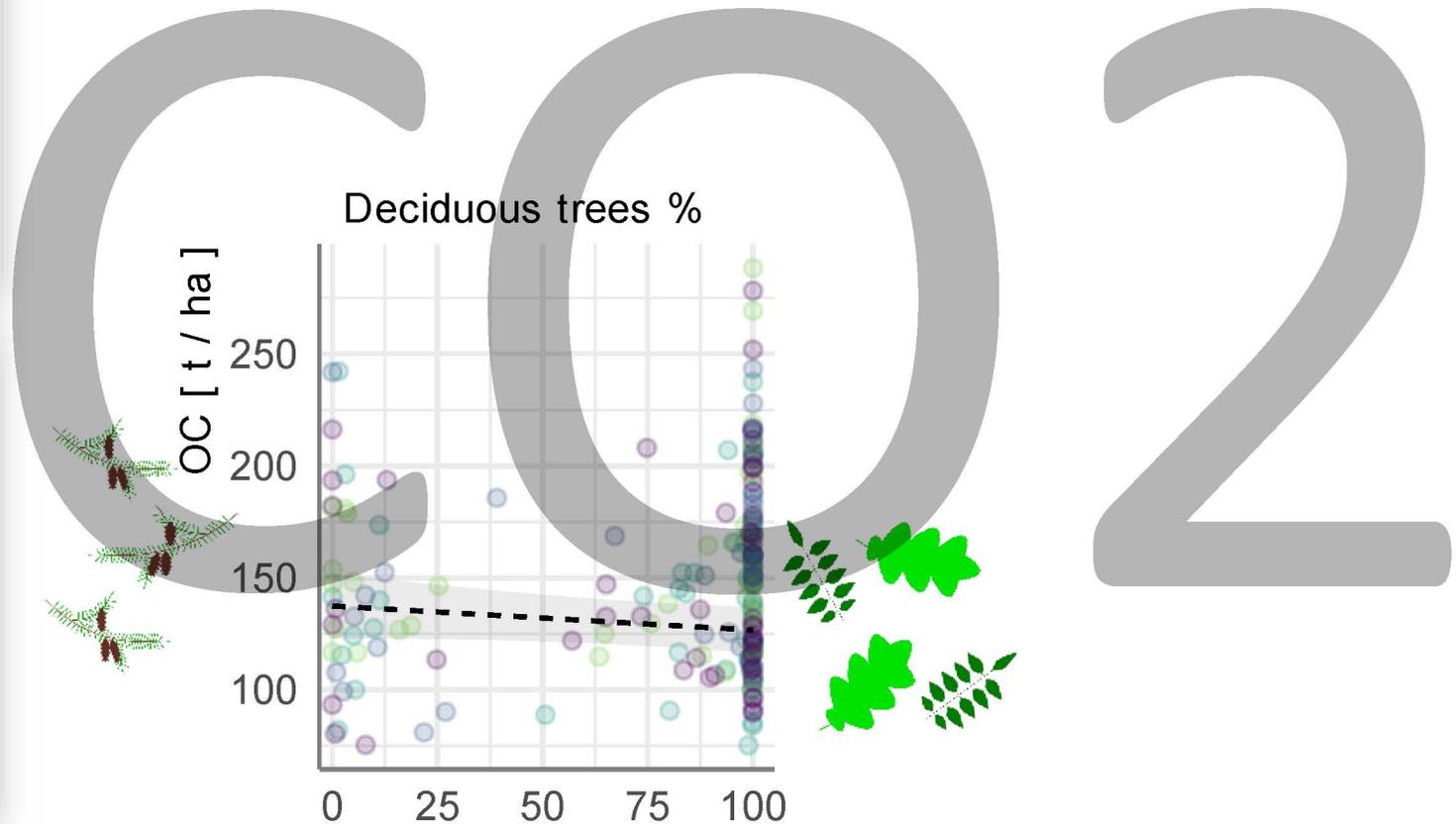
linear mixed effects model

lmer(organischer Kohlenstoff ~ Laubbaumanteil + Holzerntevolumen + Anteil natürlichen Totholzes + Kalkung + Bestandesalter + TWI + Bodenart + Skelettgehalt + Stauwasserstufe + pH 30–60 cm + Stickstoffvorrat + (1|Untersuchungsgebiet) + (Kalkung|Untersuchungsgebiet))

LAUBBAUMANTEIL



Fotos: Johanna Klose



OBERIRDISCHE KOHLENSTOFFSPEICHERUNG



linear mixed effects model

lmer(organischer Kohlenstoff ~ Laubbaumanteil + Holzerntevolumen + Anteil natürlichen Totholzes + Kalkung + Bestandesalter + TWI + Bodenart + Skelettgehalt + Stauwasserstufe + pH 30–60 cm + Stickstoffvorrat + (1|Untersuchungsgebiet) + (Kalkung|Untersuchungsgebiet))

KALKUNG

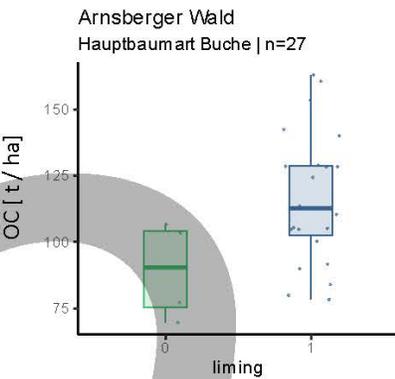
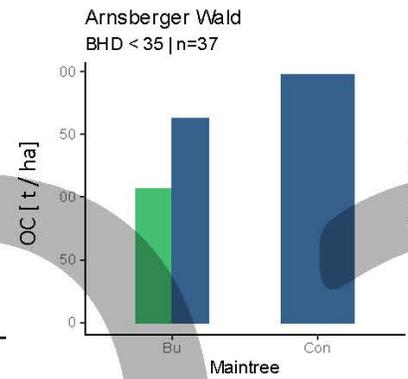
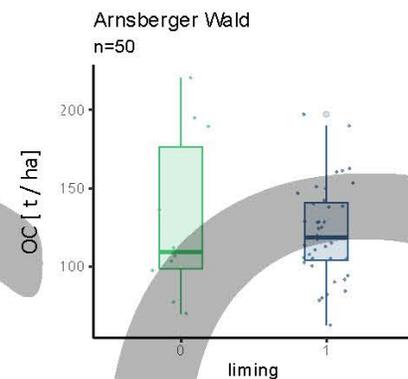


Foto: Lars Langhans

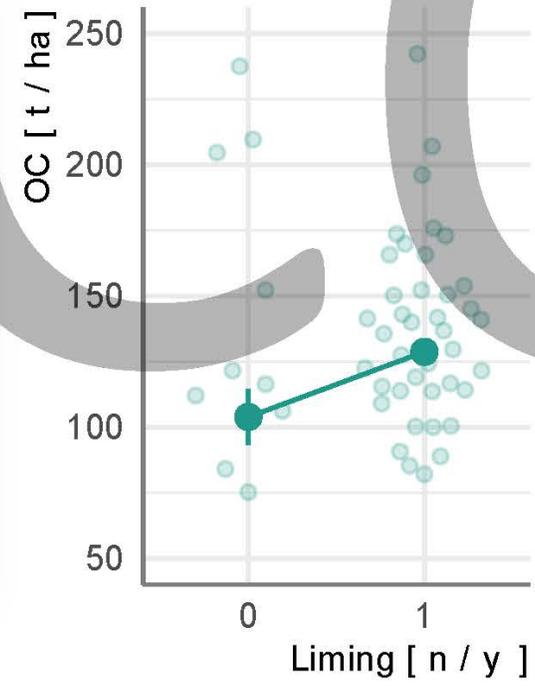
Bi

CO

2



ungekalkt gekalkt



+ 25 t/ha
base poor low mountain

Ergebnisse Kalko (NW-FVA):

- Zunahme des Grobwurzelwachstums auf gekalkten Flächen
- Steigerung der Zuwächse der Baumbiomasse nach Kalkungen



KOHLENSTOFFSPEICHERUNG IM BODEN – AUFLAGEHUMUS

linear mixed effects model

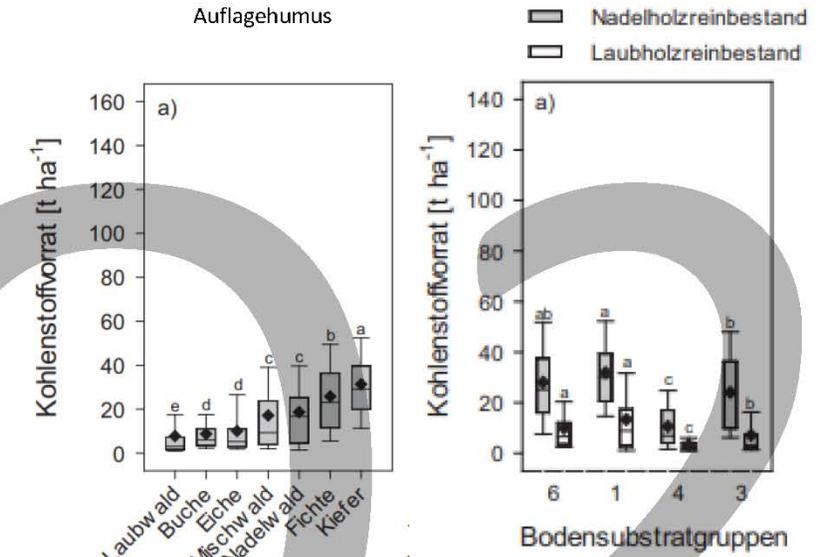
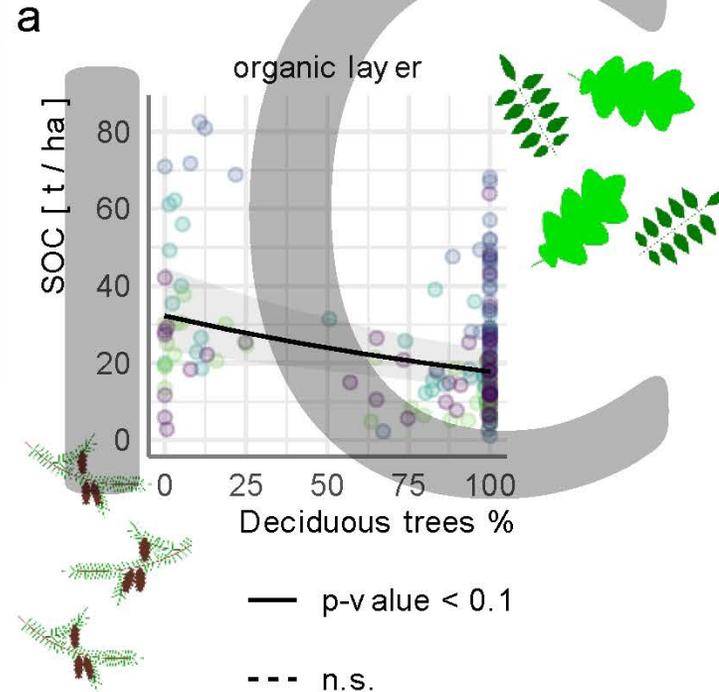
lmer(organischer Kohlenstoff ~ Laubbaumanteil + Holzerntevolumen + Anteil natürlichen Totholzes + Gesamtotholzvolumen + Kalkung + Bestandesalter + TWI + Bodenart + Skelettgehalt + Stauwasserstufe + pH 30–60 cm + Cmic + Regenwurmabundanz + (1|Untersuchungsgebiet) + (Kalkung|Untersuchungsgebiet))

LAUBBAUMANTEIL



Fotos: Johanna Klose

10% Zunahme
an Laubbäumen: - 1,8 t/ha



Wellbrock, Bolte & Flessa | Thünen Report 34

> Auflagehumus: höhere C Vorräte unter Nadelbeständen

KOHLENSTOFFSPEICHERUNG IM BODEN – AUFLAGEHUMUS

linear mixed effects model

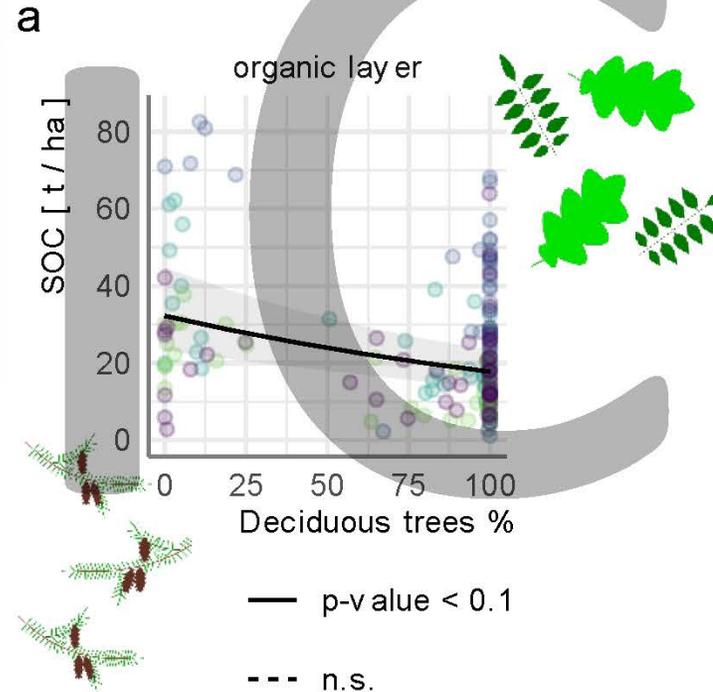
lmer(organischer Kohlenstoff ~ Laubbaumanteil + Holzerntevolumen + Anteil natürlichen Totholzes + Gesamtotholzvolumen + Kalkung + Bestandesalter + TWI + Bodenart + Skelettgehalt + Stauwasserstufe + pH 30–60 cm + Cmic + Regenwurmabundanz + (1|Untersuchungsgebiet) + (Kalkung|Untersuchungsgebiet))

LAUBBAUMANTEIL



Fotos: Johanna Klose

10 % Zunahme
an Laubbäumen: - 1,8 t/ha



Laubstreu		Nadelstreu
leichter zersetzbar	schwerer zersetzbar	sehr schwer zersetzbar
Schwarzerle	Linde	Fichte
Weißerle	Eiche	Kiefer
Esche	Birke	Douglasie
Traubenkirsche	Buche	Lärche
Hainbuche	Bergahorn	
Ulme	Roteiche	
	Pappel	

nach AK Standortskartierung, 2016: Forstliche Standortsaufnahme.

> höhere C-Speicherung in der organischen Auflage
unter Nadelbäumen, aber **labiler C-Pool!**

KOHLENSTOFFSPEICHERUNG IM BODEN – MINERALBODEN

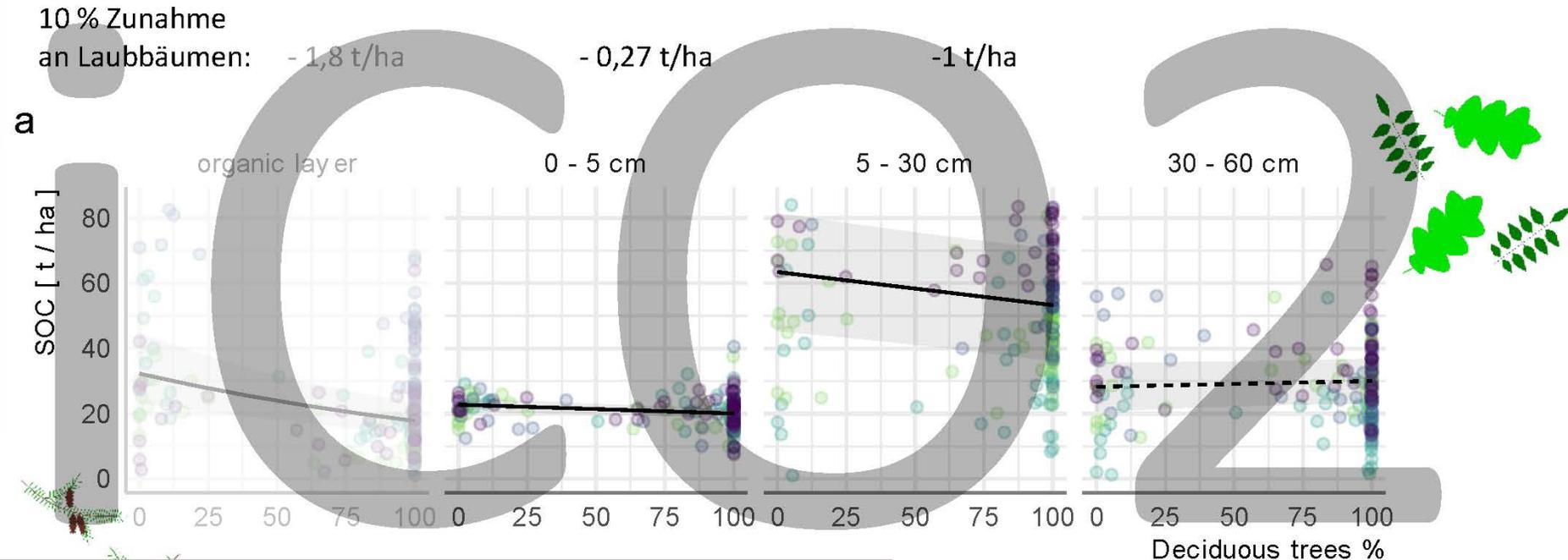
linear mixed effects model

lmer(organischer Kohlenstoff ~ Laubbaumanteil + Holzerntevolumen + Anteil natürlichen Totholzes + Gesamtotholzvolumen + Kalkung + Bestandesalter + TWI + Bodenart + Skelettgehalt + Stauwasserstufe + pH 30–60 cm + Cmic + Regenwurmabundanz + (1|Untersuchungsgebiet) + (Kalkung|Untersuchungsgebiet)

LAUBBAUMANTEIL



Fotos: Johanna Klose



BZE II (Thünen Report 43):

- 0 – 30 cm: höhere C-Vorräte unter Laubbäumen oder keine Unterschiede zw. Laub- und Nadelbeständen
- Keine einheitlichen Muster in 30 – 60 cm Tiefe

Rehschuh et al. (2021):

- Mineralboden: höhere C-Vorräte unter Nadelmisch- und Reinbeständen ggü. Buchenreinbeständen

KOHLENSTOFFSPEICHERUNG IM BODEN



linear mixed effects model

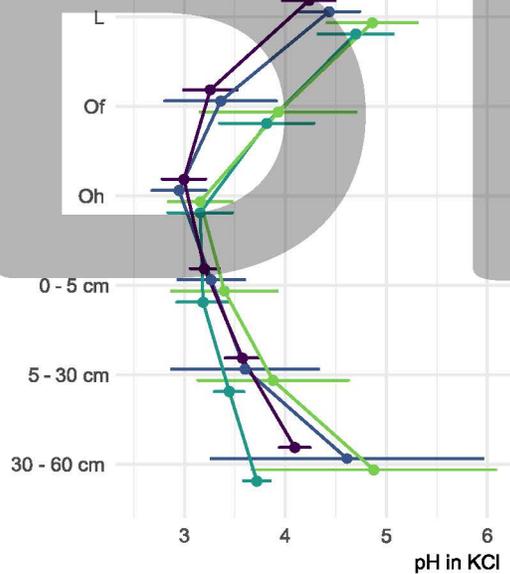
lmer(organischer Kohlenstoff ~ Laubbaumanteil + Holzerntevolumen + Anteil natürlichen Totholzes + Gesamttotholzvolumen + Kalkung + Bestandesalter + TWI + Bodenart + Skelettgehalt + Stauwasserstufe + pH 30 – 60 cm + Cmic + Regenwurmabundanz + (1|Untersuchungsgebiet) + (Kalkung|Untersuchungsgebiet))

KALKUNG

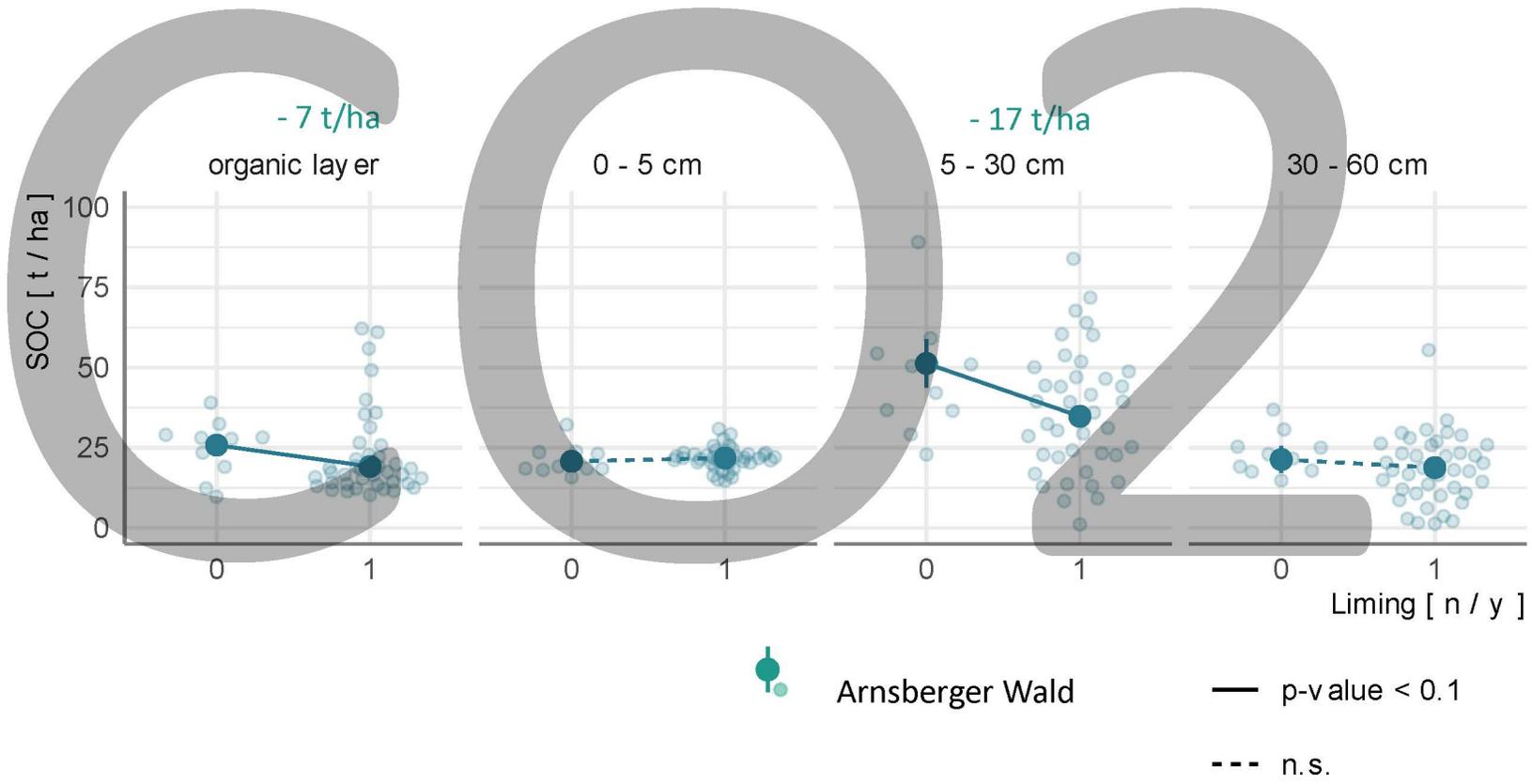


Foto: Lars Langhans

B



Kalkung führt zu Verlusten von Corg bis in 30 cm Mineralbodentiefe!



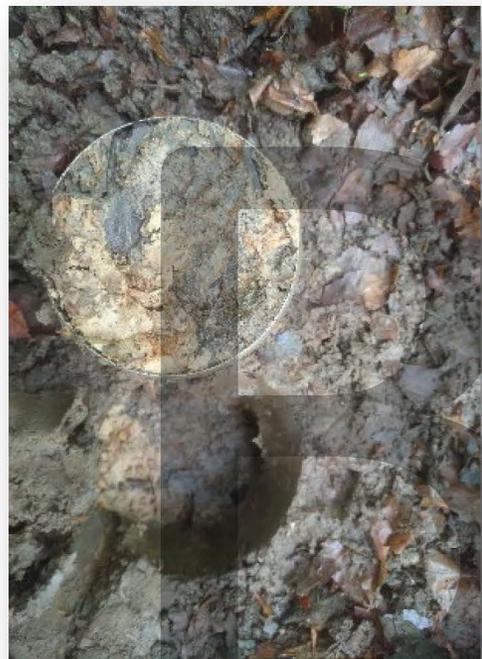
Arnsberger Wald
 — p-value < 0.1
 - - - n.s.

Abkürzungen

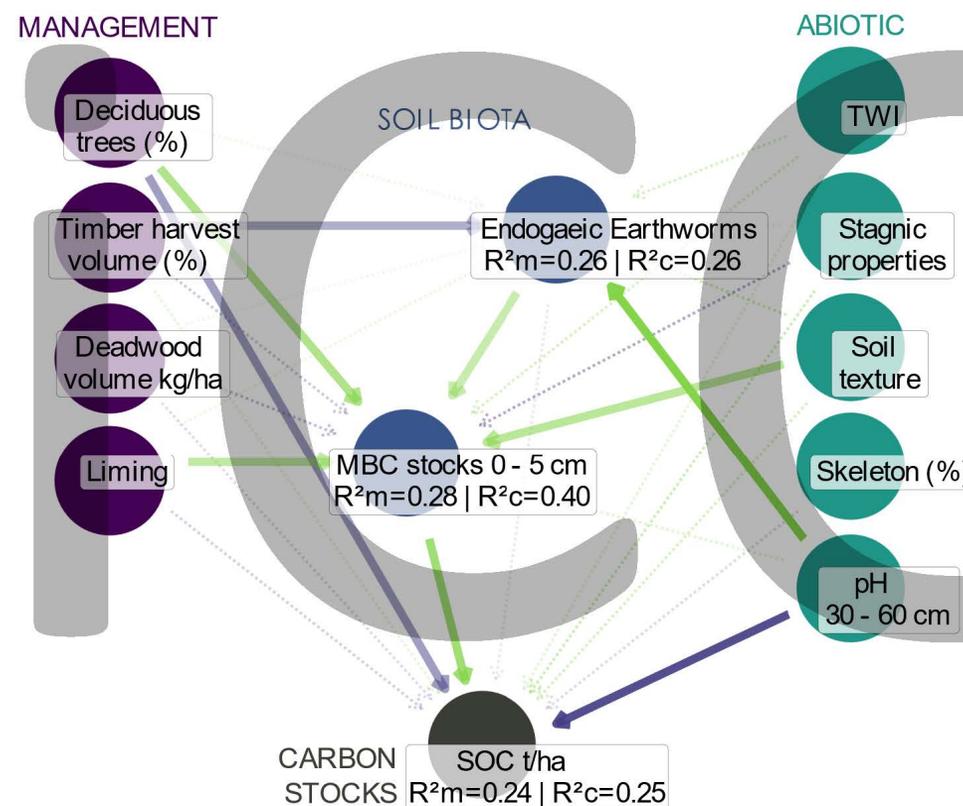
MBC: mikrobiell gebundener C

TWI: Topographischer Feuchteindex

STRUKTURGLEICHUNGSMODELL



b mineral topsoil 0 - 5 cm | N = 200



- abgestorbene Mikroorganismen = wichtige Quelle für organische Substanz im Boden (Kästner et al. 2021)
- Regenwürmer katalysieren die Bildung und Stabilisierung organischer Bodensubstanz aus abgestorbenen Mikroorganismen (Angst et al. 2022)
- Erhöhte Laubbaumanteile fördern das mikrobielle Wachstum, mikrobielle Aktivität und Nährstoffumsatzprozesse (Klein-Raufhake et al. 2025)

→ Effektrichtung positive

→ Effektrichtung negativ

Fisher's C= 3.96 | P-value=0.41 | Df= 4

Dominanz abiotischer Faktoren bzgl. C-Speicherung

- > basenreiche Standorte > höhere *oberirdische* C-Speicherung
- > feuchte / wechselfeuchte Standorte > höhere C-Speicherung *im Auflagehorizont*
- > skelettreiche / flachgründige Standorte > geringere C-Speicherung *im Mineralboden*

Alte, naturnaher Wälder sind von besonderer Bedeutung für die *oberirdische* C-Speicherung

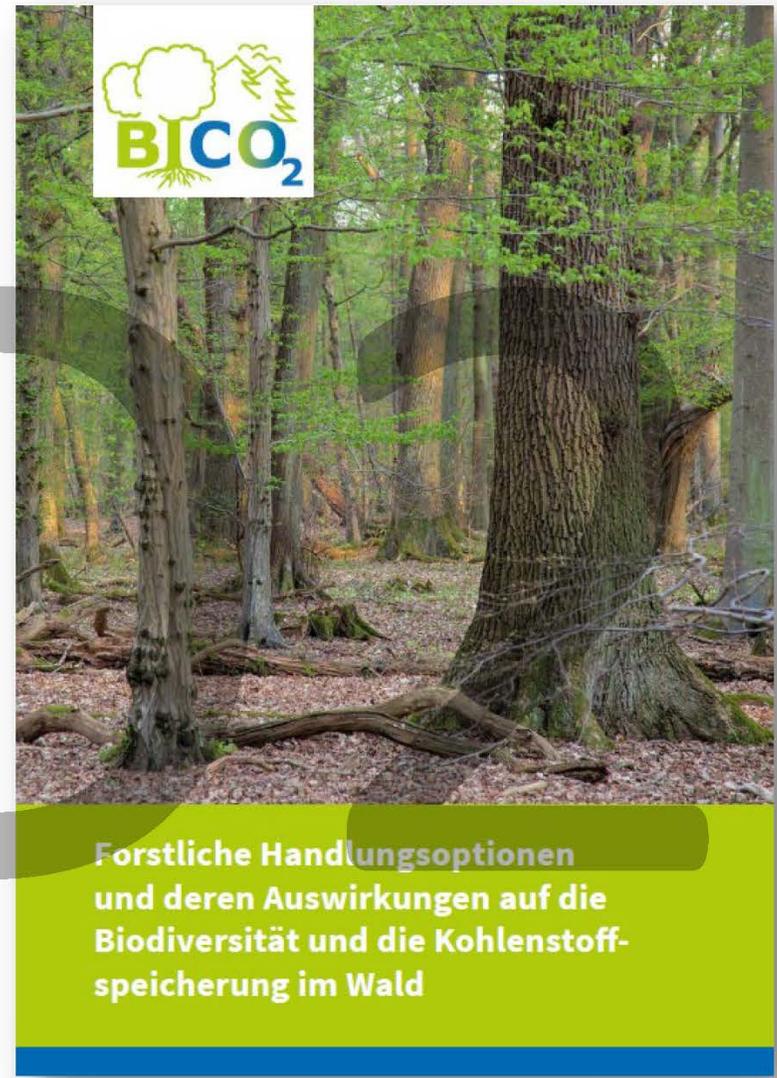
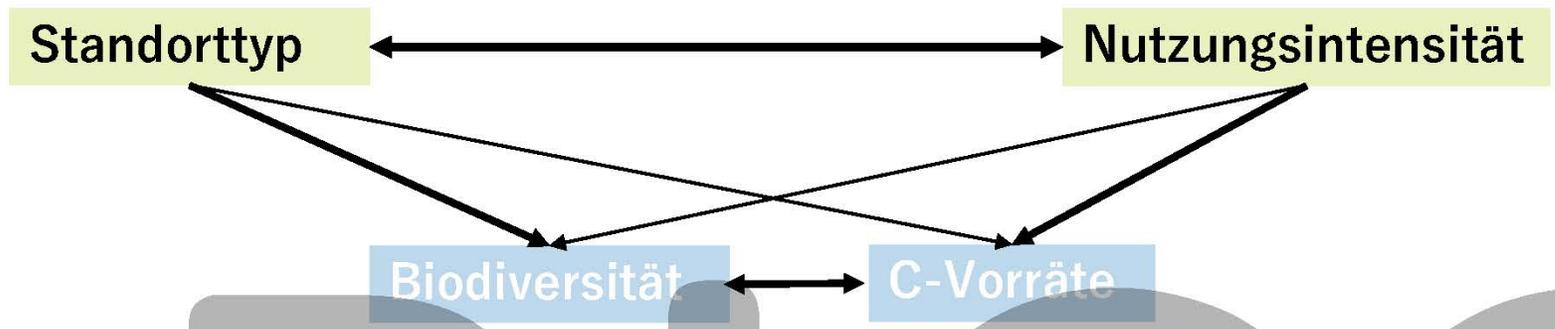
C-Speicherung im Arnsberger Wald: Kalkungseffekte ambivalent je nach Kompartiment

- > Förderung der C-Speicherung in der *lebenden Biomasse*
- > Aufzehrung der C-Vorräte in *organischer Auflage und Mineralboden*

> mehr Forschung nötig!

C-Speicherung im *Mineralboden* profitiert von aktiver Bodenfauna

- > Förderung über höheren Laubbaumanteil
 - > stärkeres Wachstum der mikrobiellen Biomasse
 - > schnellere Nährstoffumsatzprozesse
 - > langsamere Bodenversauerung



Ableiten von **Handlungsempfehlungen** für die Bewirtschaftung der Wälder

Vielen Dank!

FÖJ, BFD, EhrenamtlerInnen, PraktikantInnen, HiWis, ILÖK Laborteam

Universität Münster, Abschlussarbeiten (Thema Bodenökologie): Sarah Funken, Meret Olsen, Lena Lambeck, Konstantin Engelmayer, Anja Hortmann, Hannah Siepker, Ellen Brans, Clara Neugebauer, Madleen Schnieder, Sebastian Straub, Alexander Wulff

externe Partner:

Arbeitsgemeinschaft Biologischer Umweltschutz im Kreis Soest e.V.

Naturschutzzentrum - Biologische Station - Hochsauerlandkreis e.V.

Biologische Station Kreis Paderborn - Senne e.V.

Soil Organism Research, Görlitz

ECT Oekotoxikologie GmbH

Planungsbüro STERNA

Und weitere Einzelpersonen, insbesondere Dr. C. Schmidt, Dr. H. Bültmann, M. Preussing, Dr. J.-A. Salamon

Regionalforstämter: Arnsberger Wald, Hochstift, Niederrhein, Münsterland

Forstbetriebsbezirks-Leitungen: Christoph Grüner, Andreas Bathe, Frank Florian Bitter, Diethild Nordhues-Heese, Daniel Hook, Jan Senger, Joachim Böhmer, Stefan Spinner
Herzoglich Holstein-Glücksburgische Forstverwaltung