

# Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung in Wäldern unterschiedlicher Nutzungsintensität

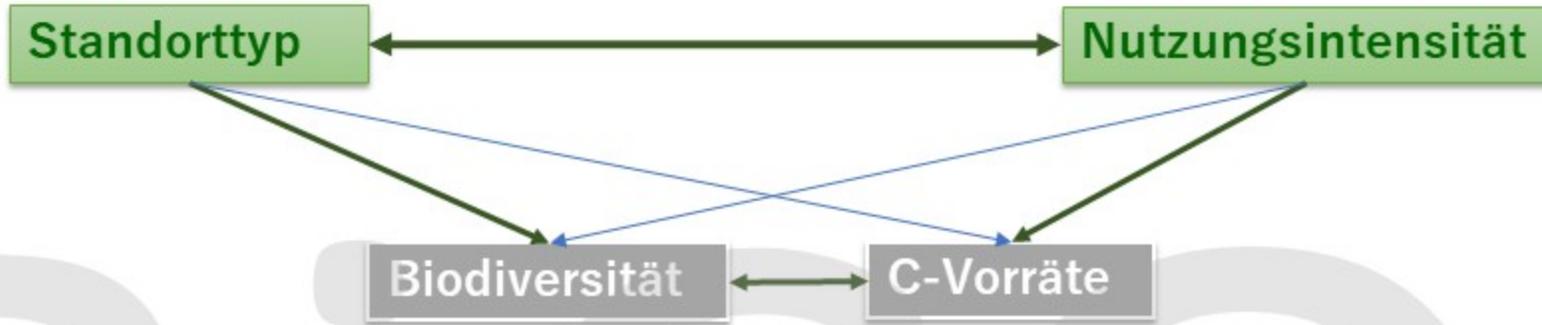


Ute Hamer, Theresa Klein-Raufhake, Jens Schaper,  
Michael U. T. Meyer, Norbert Hölzel (**Uni Münster**)

B. Linnemann, K. Rentemeister, L. Santora, J. Wöllecke  
(NABU Münsterland)

M. Elmer, M. Fornfeist (Wald und Holz NRW)





Erstellung einer **Bewertungsmatrix** und ableiten von **Handlungsempfehlungen** für die Bewirtschaftung der Wälder



# bedeutsame Standorttypen NRW

## BiCO<sub>2</sub> - Untersuchungsgebiete



Flachland

- 1 Eichen-Mischwälder saurer Standorte (Braunerden / Pseudogley-Braunerden)
- 2 Eichen-Hainbuchenwälder wechselfeuchter Standorte (Pseudogleye / Podsol-Pseudogleye)

Mittelgebirge

- 3 Buchenwälder stark saurer Standorte (Braunerden / Pseudogley-Braunerden)
- 4 Buchenwälder basenreicher Standorte (Braunerden)

# Untersuchungsflächen

Insgesamt 200 Probekreise

WALDNUTZUNGSINTENSITÄT (ermittelt durch ForMI\*)

ForMI: 0

ForMI: 3



Wälder ohne forstliche Nutzung



Wirtschaftswälder mit standortheimischer Bestockung



Wirtschaftswälder mit standortfremder Bestockung

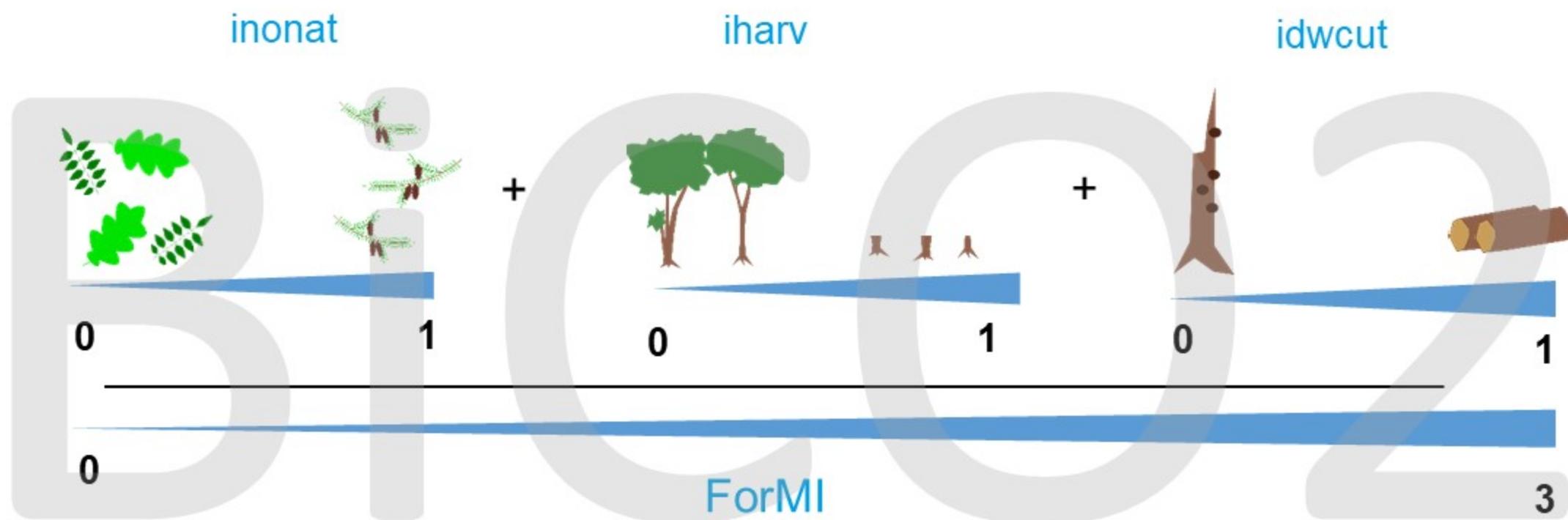
STANDORTHEIMISCHE BAUMARTEN

HOLZENTNAHME

natürlich entstandenes TOTHOLZ

\* Forest Management Intensity index (Kahl & Bauhus 2014)

# Bewirtschaftungsintensität - ForMI



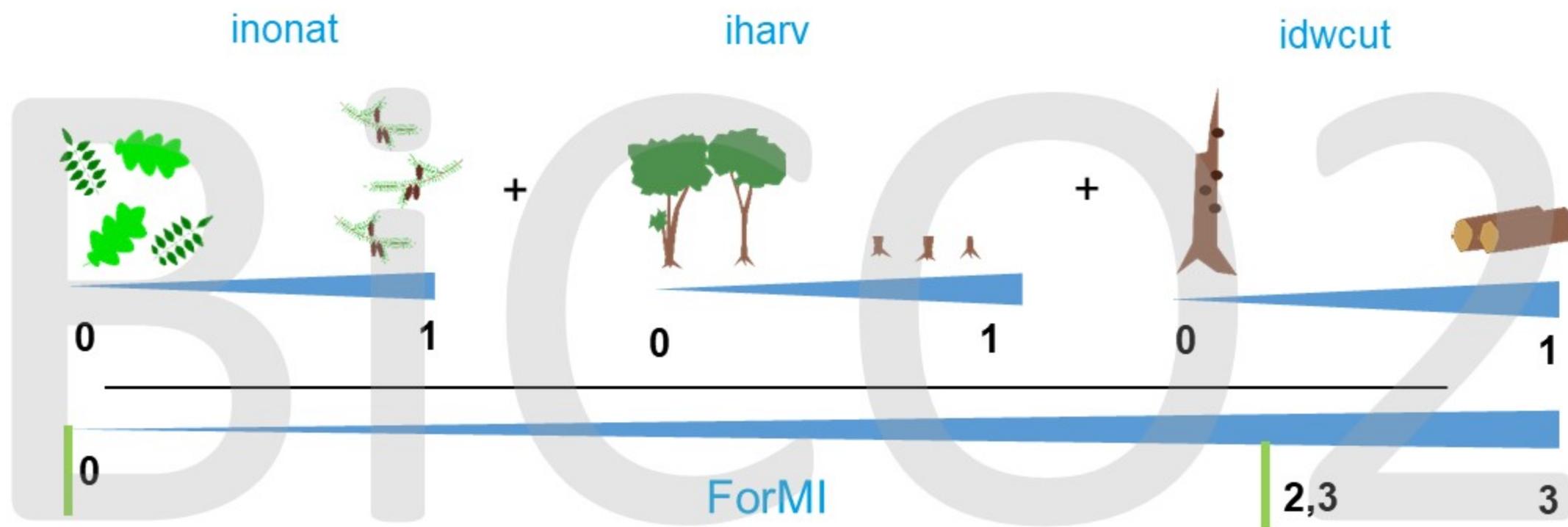
## Bestand

- nur aus einheimischen Baumarten
- ohne erkennbare Holzentnahmeaktivitäten
- mit ausschließlich natürlich entstandenem Totholz

## Bestand

- nur aus standortfremden Baumarten
- vollständig abgeerntet (Kahlschlag)
- mit Baumstümpfen als einzig verbliebenem Totholz

# Bewirtschaftungsintensität - ForMI



## Bestand

- nur aus einheimischen Baumarten
- ohne erkennbare Holzentnahmeaktivitäten
- mit ausschließlich natürlich entstandenem Totholz

## Bestand

- nur aus standortfremden Baumarten
- vollständig abgeerntet (Kahlschlag)
- mit Baumstümpfen als einzig verbliebenem Totholz

# 50 Probekreise pro Untersuchungsgebiet

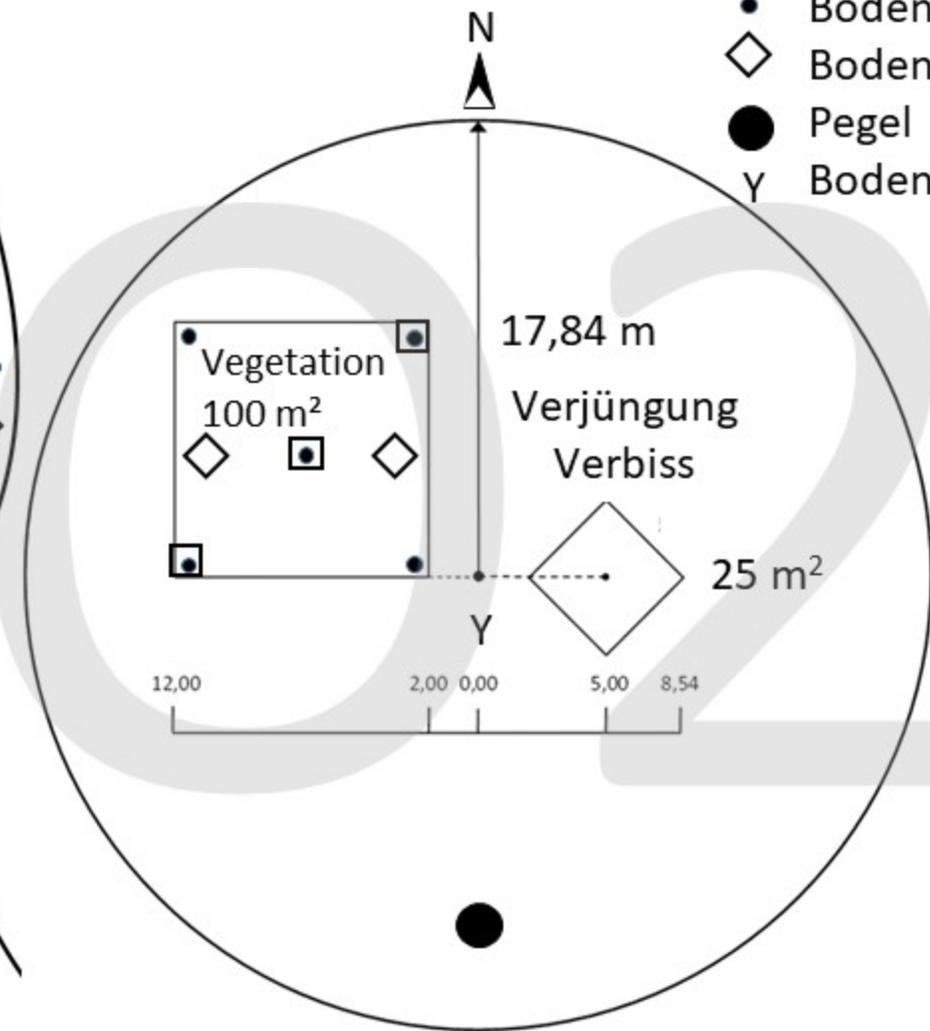
- Humusproben
- Bodenproben
- ◇ Bodenzoologie
- Pegel
- Y Bodenfeuchte

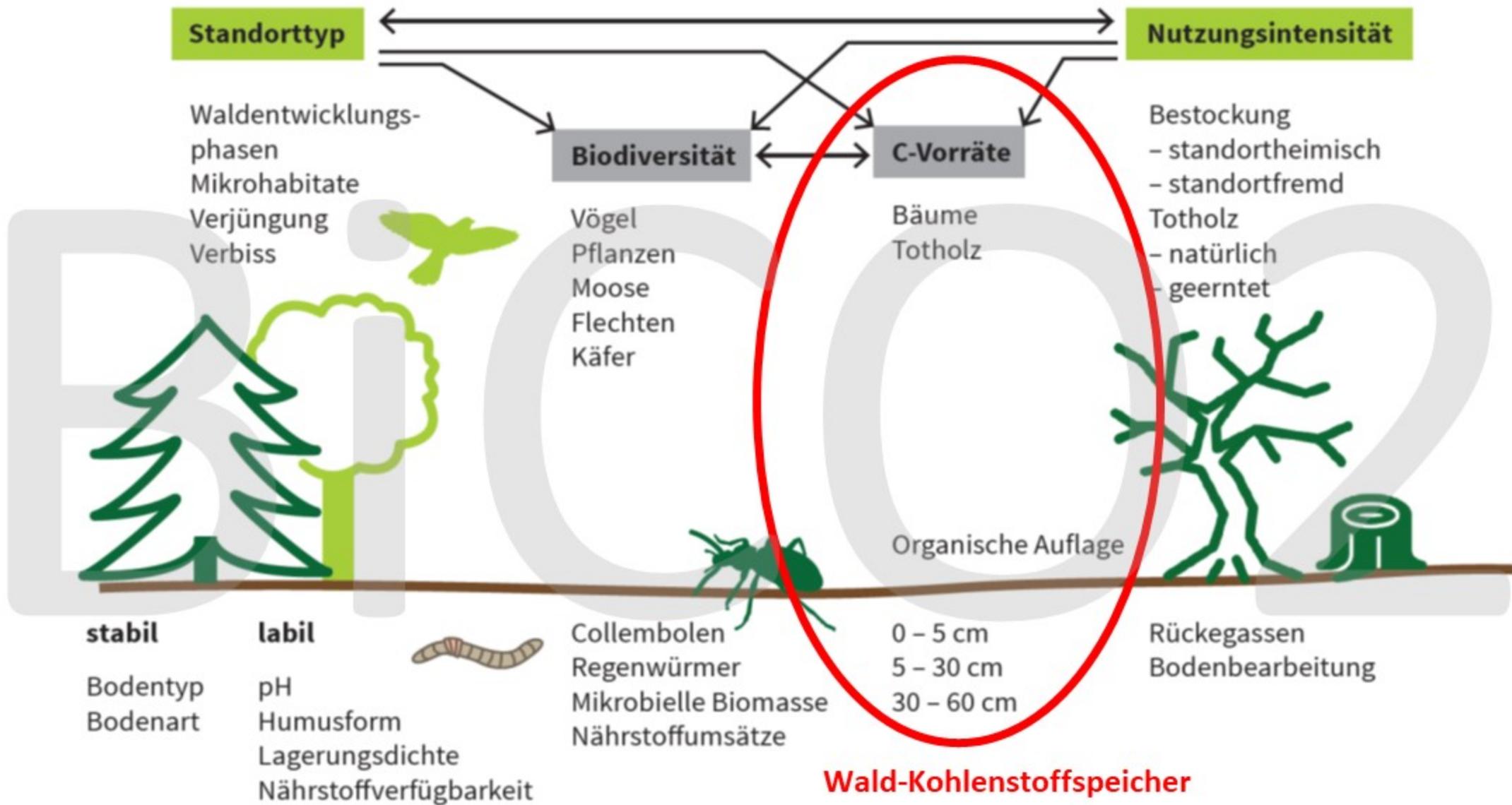
+ 21 Rückegassen



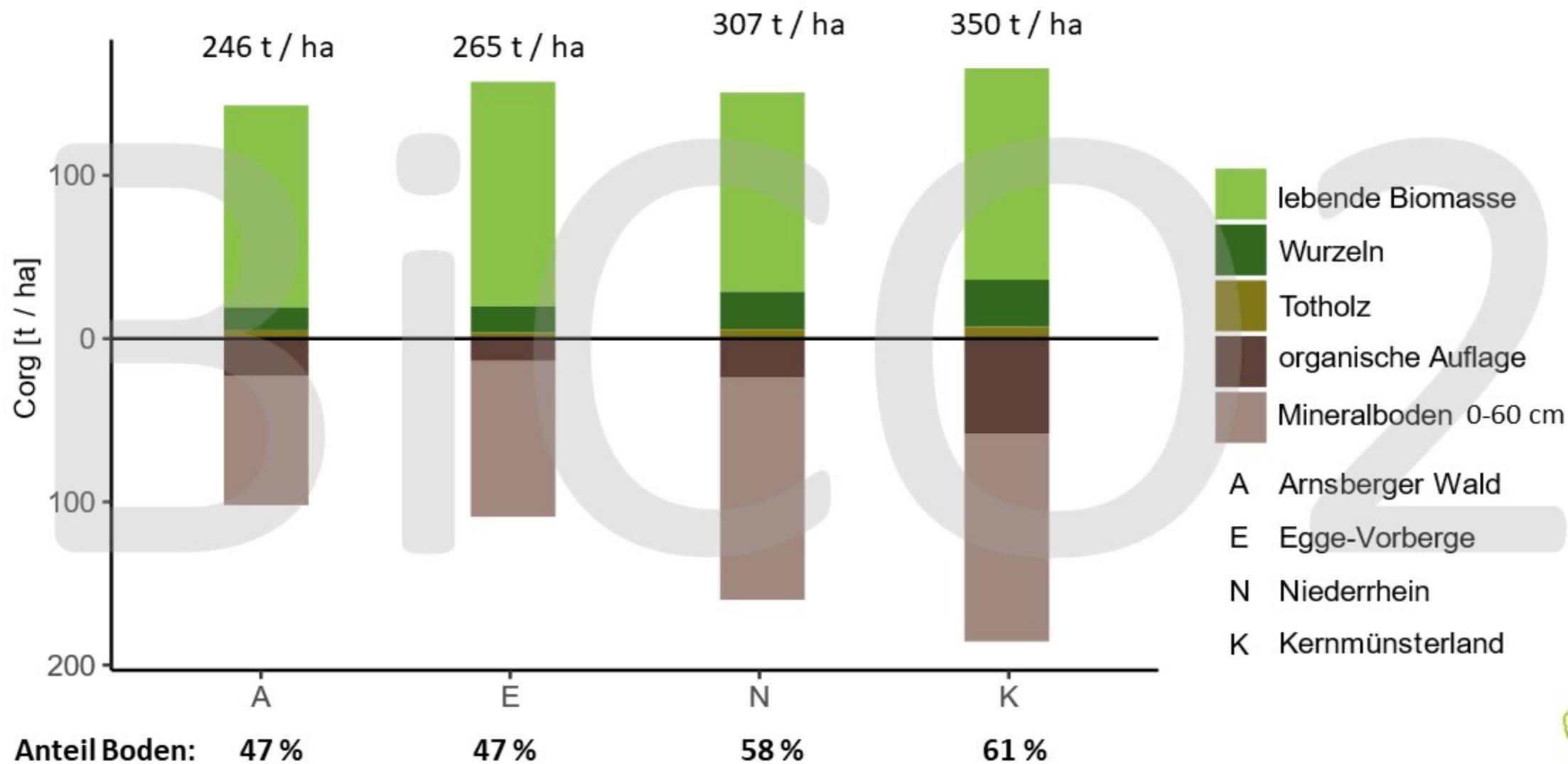
25 m

Rückegasse





# Kohlenstoffspeicherung ( $C_{org}$ ) in Wäldern NRW's



Klein-Raufhake et al., 2024: Natur in NRW, im Druck.  
Hamer et al., 2023: AFZ DerWALD. 21/2023

# Take-Home Kohlenstoffspeicherung im Waldboden:

**feuchte / wechselfeuchte Standorte**

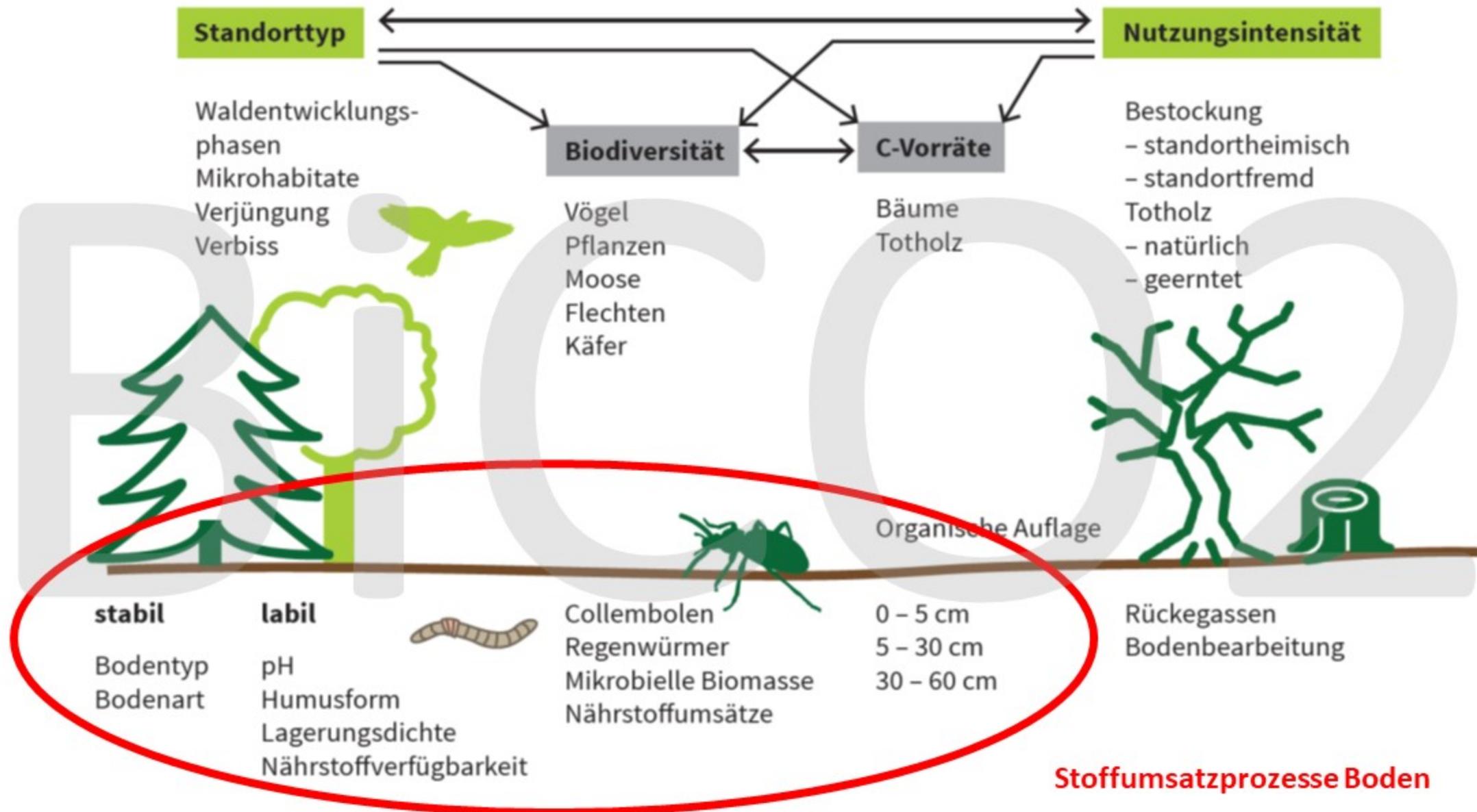
→ höhere C-Speicherung

**skelettreiche / flachgründige Standorte**

→ geringere C-Speicherung

→ **Dominanz abiotischer Standortbedingungen!**





Welchen Einfluss hat die Nutzungsintensität (ForMi) unabhängig vom Untersuchungsgebiet und von Standortverhältnissen auf Stoffumsatzprozesse im Boden?



## linear models:

feste variable (ForMI, Bodenart, Bodenfeuchte, Untersuchungsgebiet);

abhängige Variable (Bodenparameter X)

```
m = lm (X ~ ForMI + soil.texture + moisture + site, data= M)
```

Klassifikation der Bodenart (LUFA\_grp in BK50)

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1 | Sand                             |
| 2 | loamy sand, sandy silt           |
| 3 | very sandy loam, loamy silt      |
| 4 | sandy loam, silty loam, loam     |
| 5 | silty clay loam, clay loam, clay |

Ökologisches Bodenfeuchtelevel (feu in BK50)

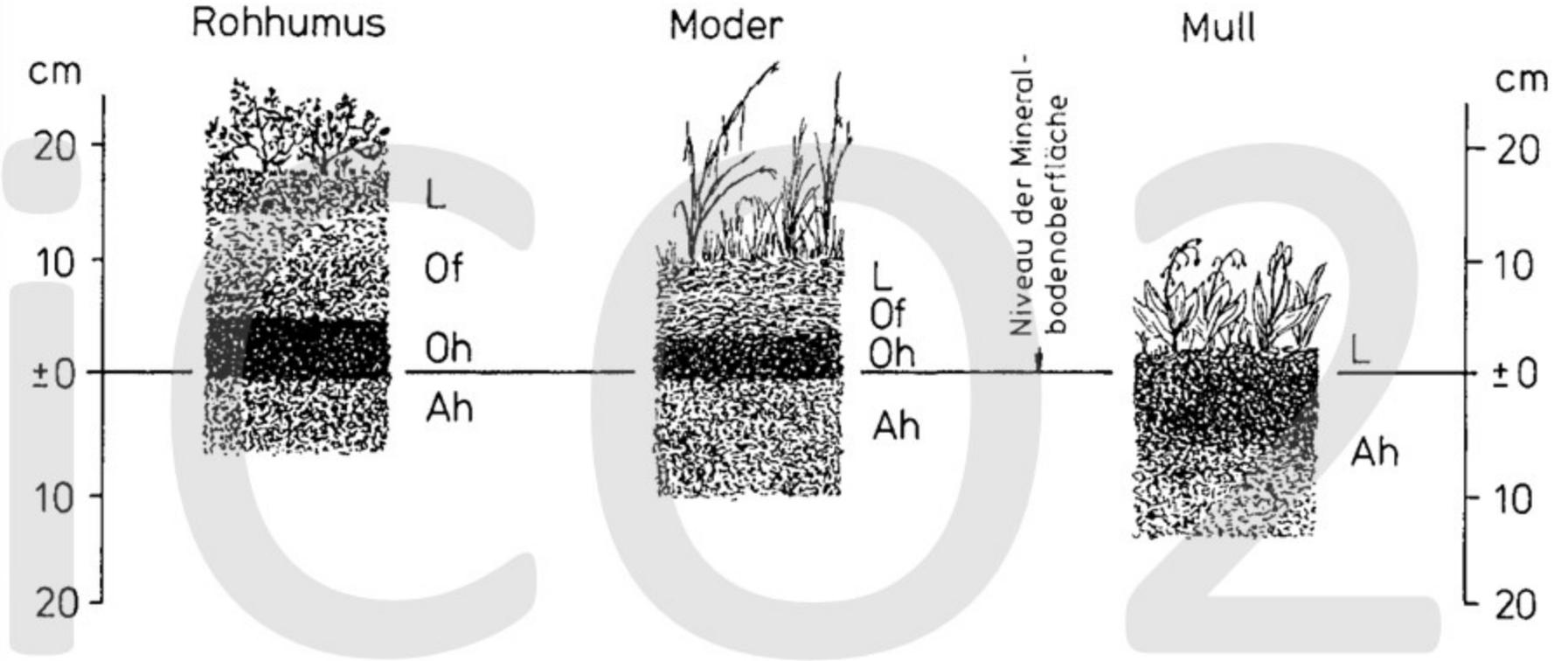
- |    |                                    |
|----|------------------------------------|
| 1  | moist                              |
| 2  | basic moist                        |
| 3  | alternating moist                  |
| 4  | moderately alternating moist       |
| 5  | moderately alternating dry         |
| 6  | alternating dry                    |
| 7  | very fresh                         |
| 8  | fresh                              |
| 9  | moderately fresh to moderately dry |
| 10 | dry                                |

Arnsberger Wald  
Egge  
Niederrhein  
Kernmünsterland

# Umsatzgeschwindigkeit der Streu – Indikator Humusform



FOTOS: UTE HAMER & JOHANNA KLOSE

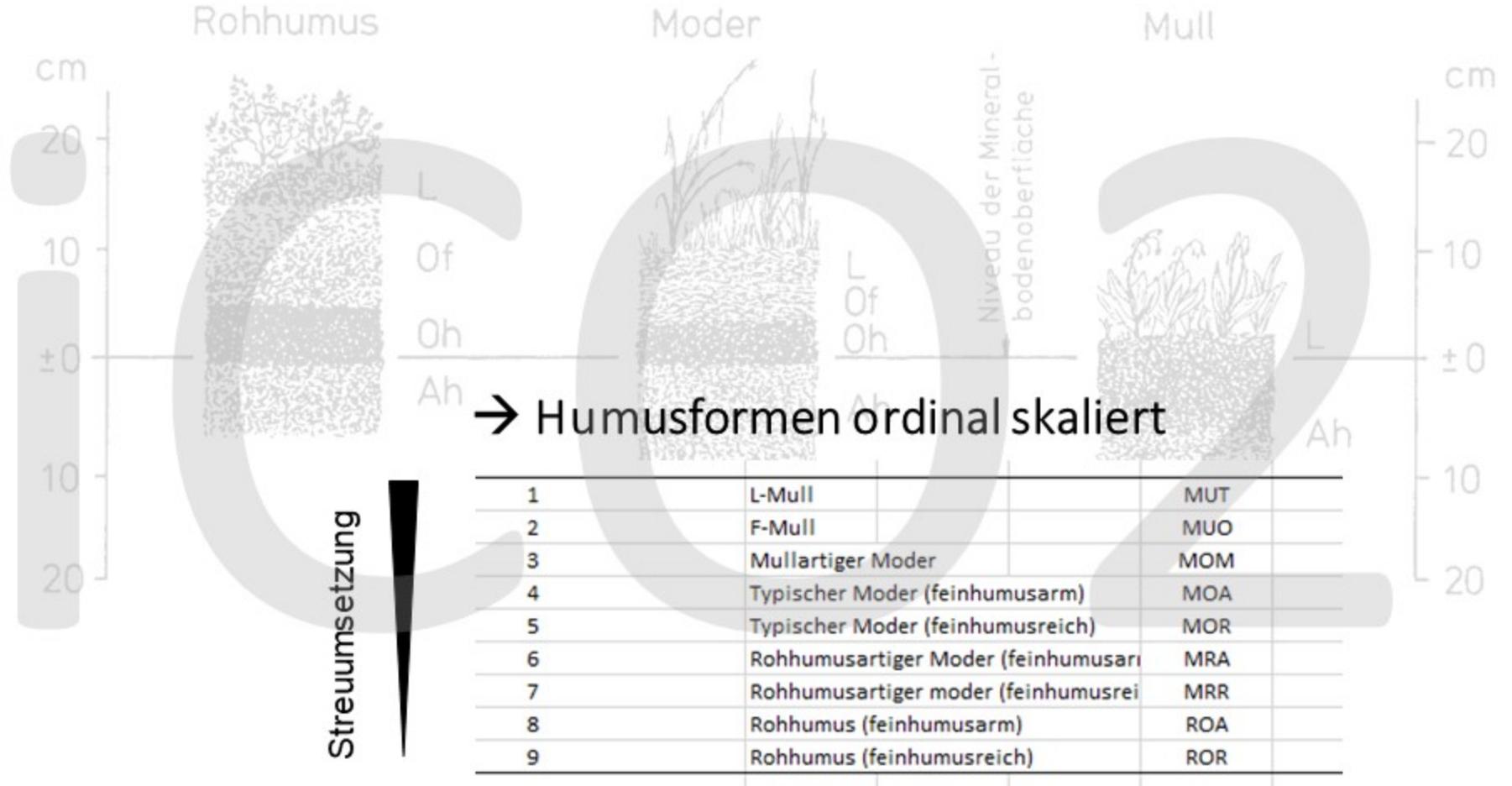


Laatsch (1954) Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden

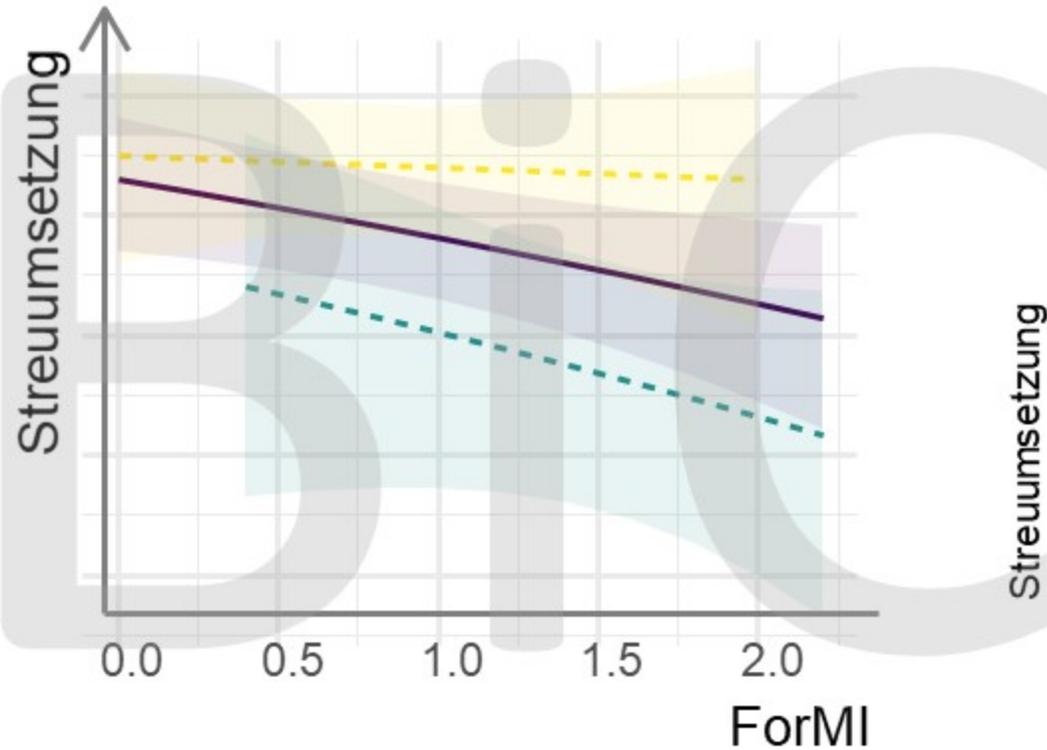
# Umsatzgeschwindigkeit der Streu – Indikator Humusform



FOTOS: UTE HAMER & JOHANNA KLOSE



## Humusformen



→ Humusformen ordinal skaliert

1	L-Mull	MUT
2	F-Mull	MUO
3	Mullartiger Moder	MOM
4	Typischer Moder (feinhumusarm)	MOA
5	Typischer Moder (feinhumusreich)	MOR
6	Rohhumusartiger Moder (feinhumusarm)	MRA
7	Rohhumusartiger moder (feinhumusrei)	MRR
8	Rohhumus (feinhumusarm)	ROA
9	Rohhumus (feinhumusreich)	ROR

— p-value < 0.05    - - - nicht signifikant

Probekreise:  alle     Nadelbäume     Laubbäume

**Steigende Nutzungsintensität (ForMi):**

→ langsamere Streuumsetzung

# Einflussfaktoren- Streuabbau – Bildung humusreicher Mineralböden

## Streuqualität (ober- und unterirdisch)

- Stoffliche Zusammensetzung
- Nährstoffgehalt
- Hemmstoffe

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	

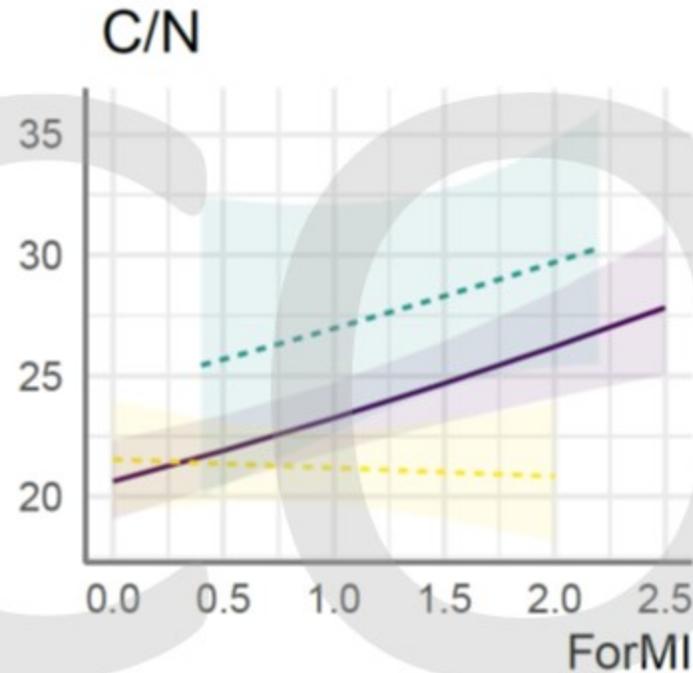
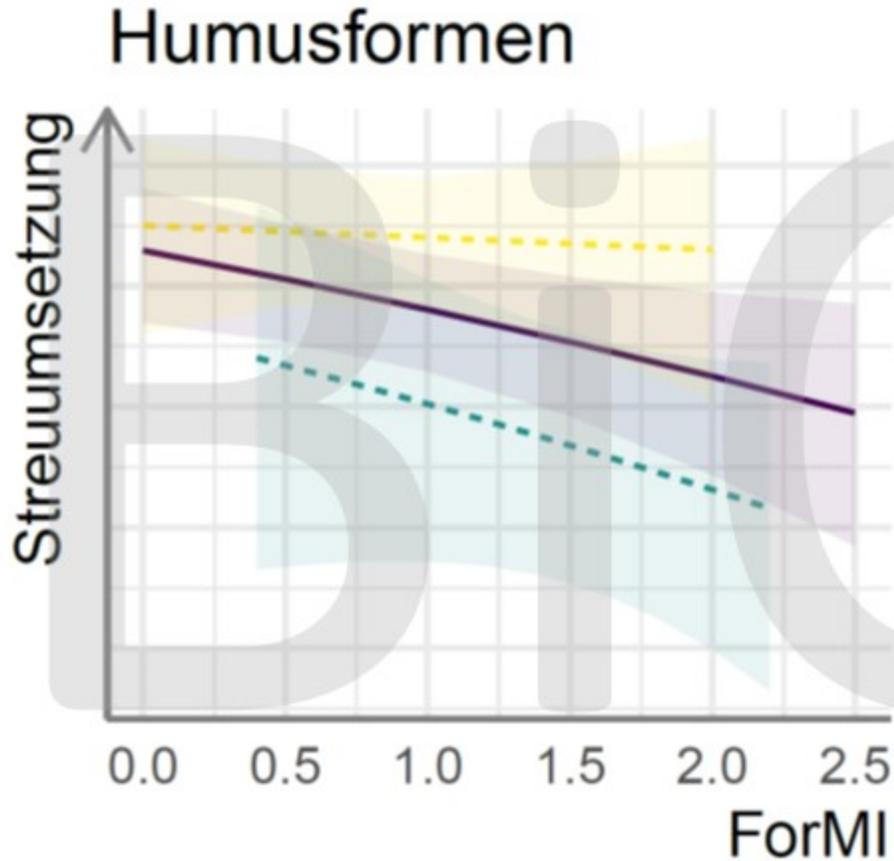
nach AK Standortskartierung, 2016: Forstliche Standortsaufnahme.



Bartsch & Röhrig (2016): Waldökologie. Springer

# Einflussfaktoren- Streuabbau – Bildung humusreicher Mineralböden

PhD Theresa Klein-Raufhake



**Steigende Nutzungsintensität (ForMI):**

- Zunahme C:N
- ➔ Abnahme der Streuqualität

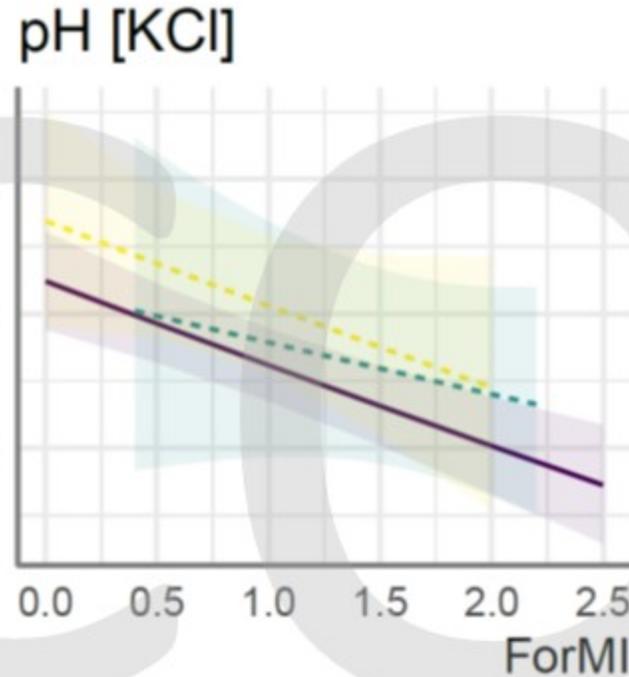
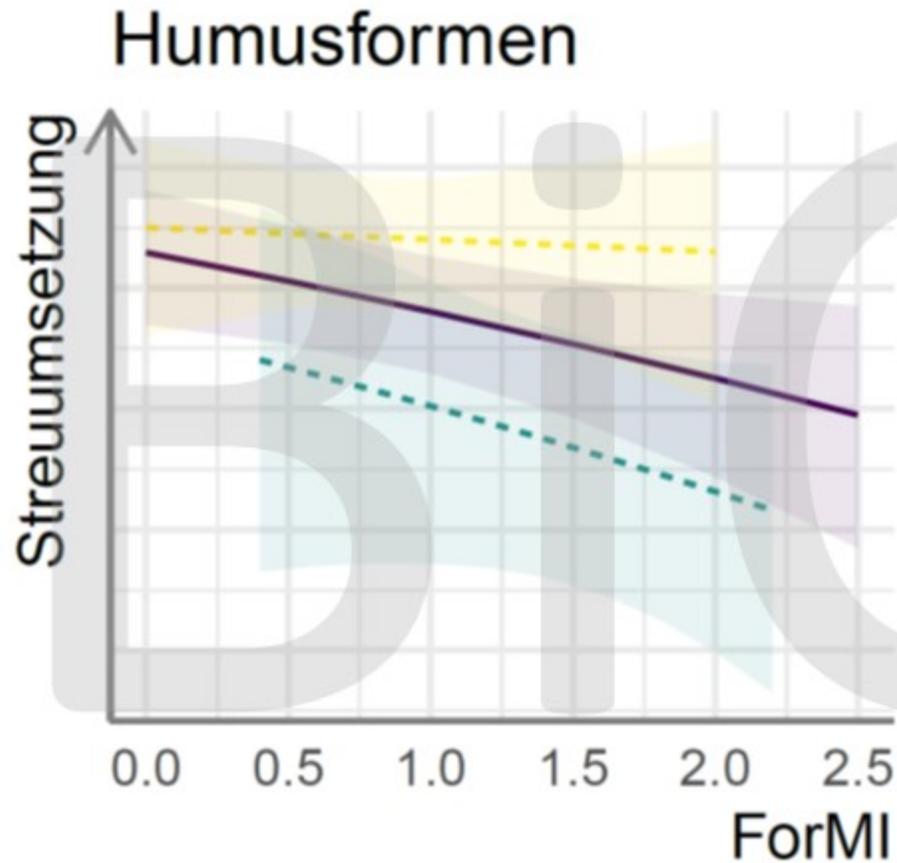
— p-value < 0.05 --- nicht signifikant

Probekreise — alle — Nadelbäume — Laubbäume



# Einflussfaktoren- Streuabbau – Bildung humusreicher Mineralböden

PhD Theresa Klein-Raufhake



## Steigende Nutzungsintensität (ForMI):

- Zunahme C:N
- Abnahme pH im Mineralboden
- ➔ Abnahme der Häufigkeit endogäischer Regenwurmarten
- ➔ langsamere Streuumsatzung
- ➔ höhere C-Speicherung in der organischen Auflage

— p-value < 0.05 --- nicht signifikant

Probekreise — alle — Nadelbäume — Laubbäume



# Kohlenstoffvorräte in der organischen Auflage



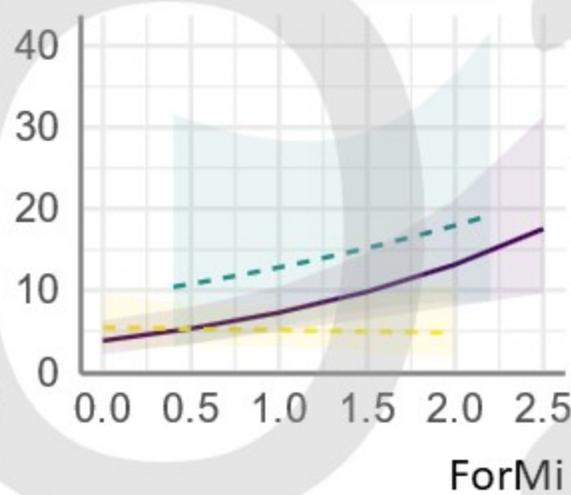
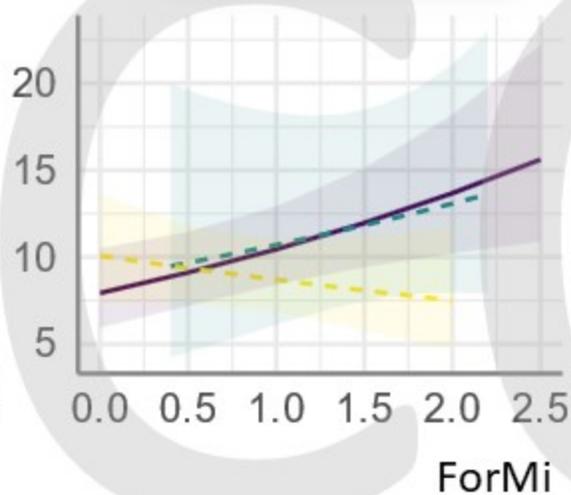
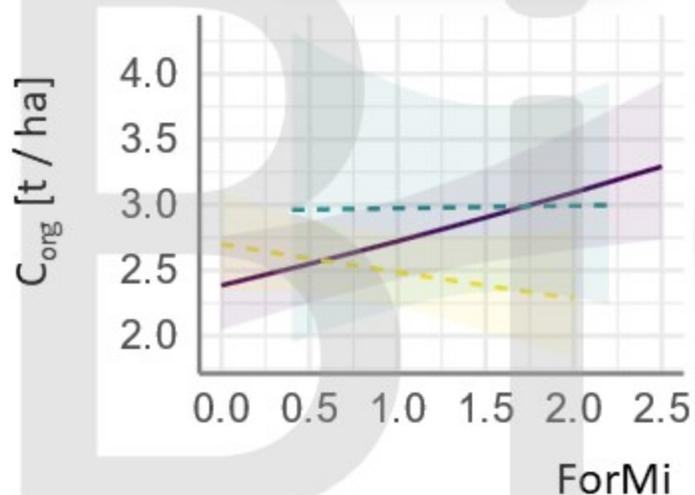
L



Of



Oh



**Steigende Nutzungsintensität (ForMi):**

➔ höhere C-Speicherung in der organischen Auflage

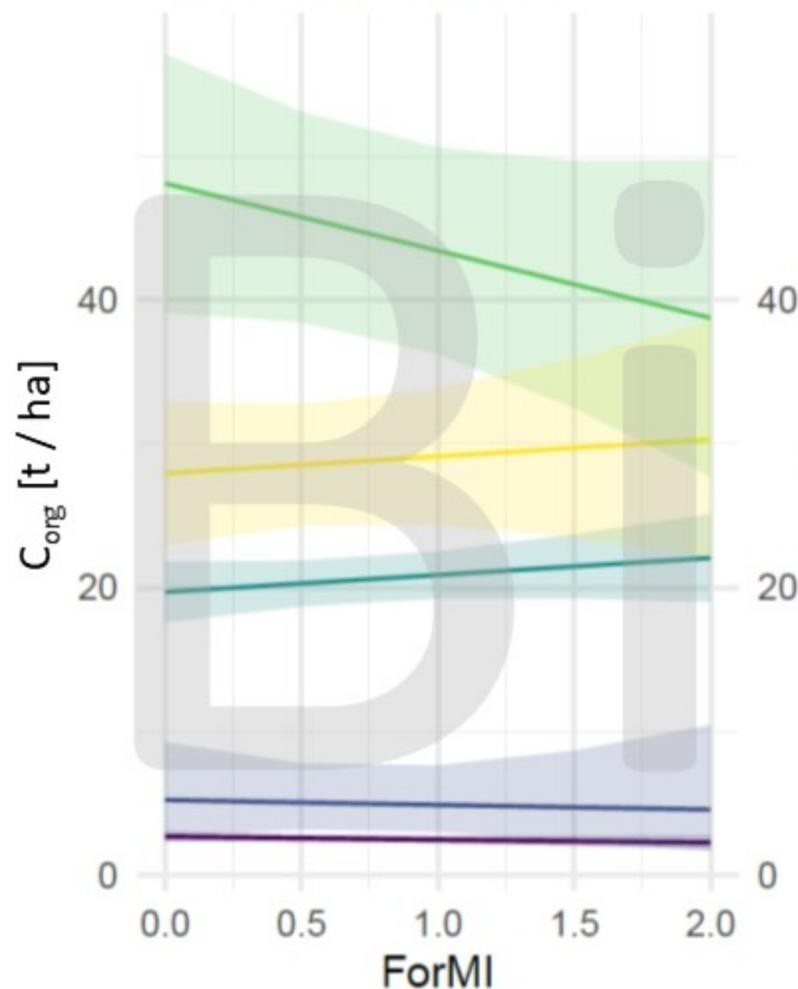
(im Mittel bis zu 22 t C / ha, aber labiler C-Pool !)

— p-value < 0.05 --- nicht signifikant

Probekreise — alle — Nadelbäume — Laubbäume

# Kohlenstoffvorräte im Mineralboden

Laubbaumbestände



Laubbaumbestände (n = 160):

- Tendenz höhere C-Speicherung in **5-30 cm** in reinen Laubbaumbeständen mit alten (> 120 Jahre) Tiefwurzlern (Eiche, Buche)
- im Mittel bis zu  $10 \text{ t C}_{\text{org}} \text{ ha}^{-1}$

**linear models:**

feste variable (ForMI, Bodenart, Bodenfeuchte, Skelett, Untersuchungsgebiet);  
abhängige Variable ( $\text{C}_{\text{org}} \text{ t / ha}$ )



Horizont L OfOh 1 2 3



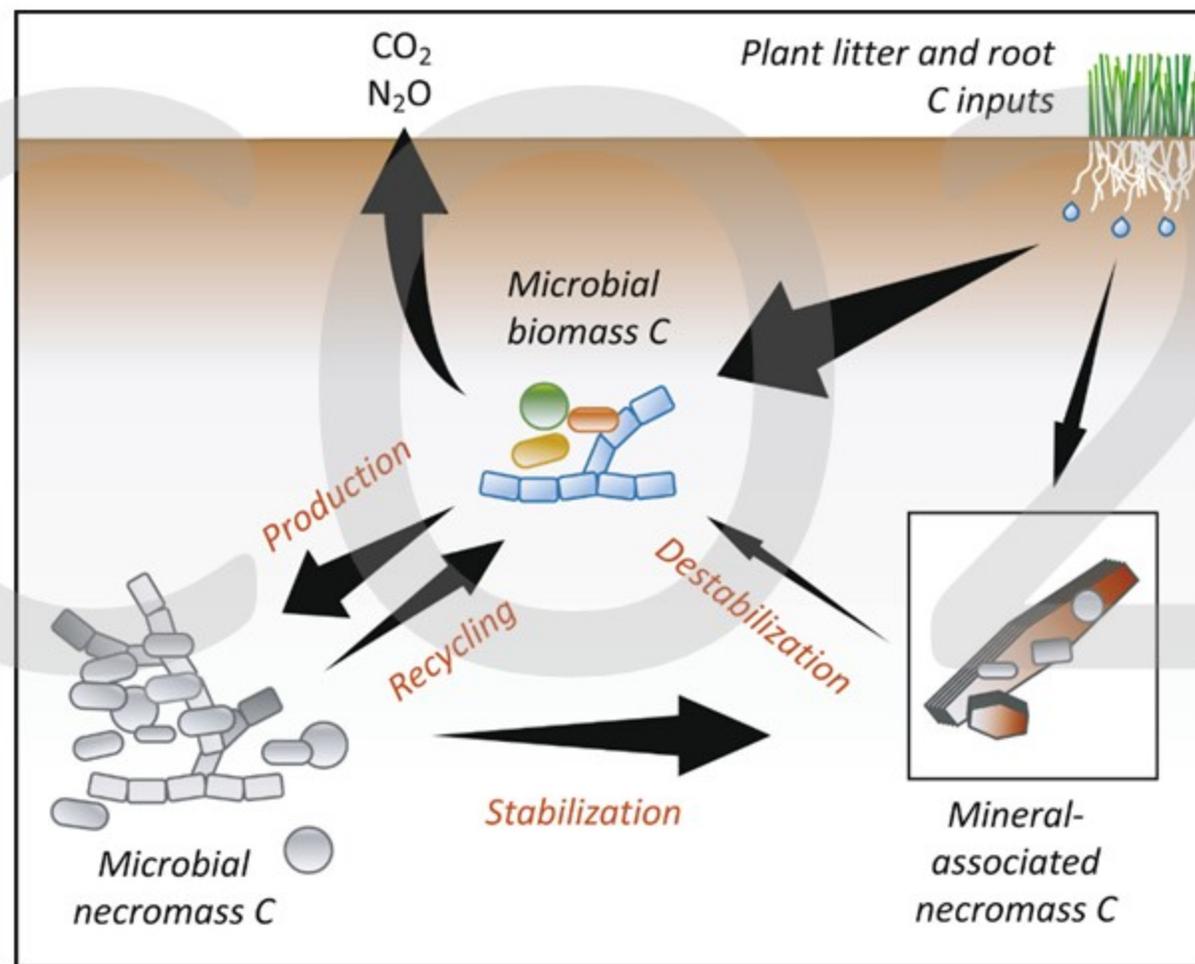
# Bodenmikroorganismen und Kohlenstoffspeicherung im Boden – aktuelle Studien

- abgestorbene Mikroorganismen = wichtige Quelle für Organische Substanz im Boden

(Kästner et al. 2021, Front Environ. Sci. 9: 756378)

- in Waldböden Beitrag von ca. 35 %

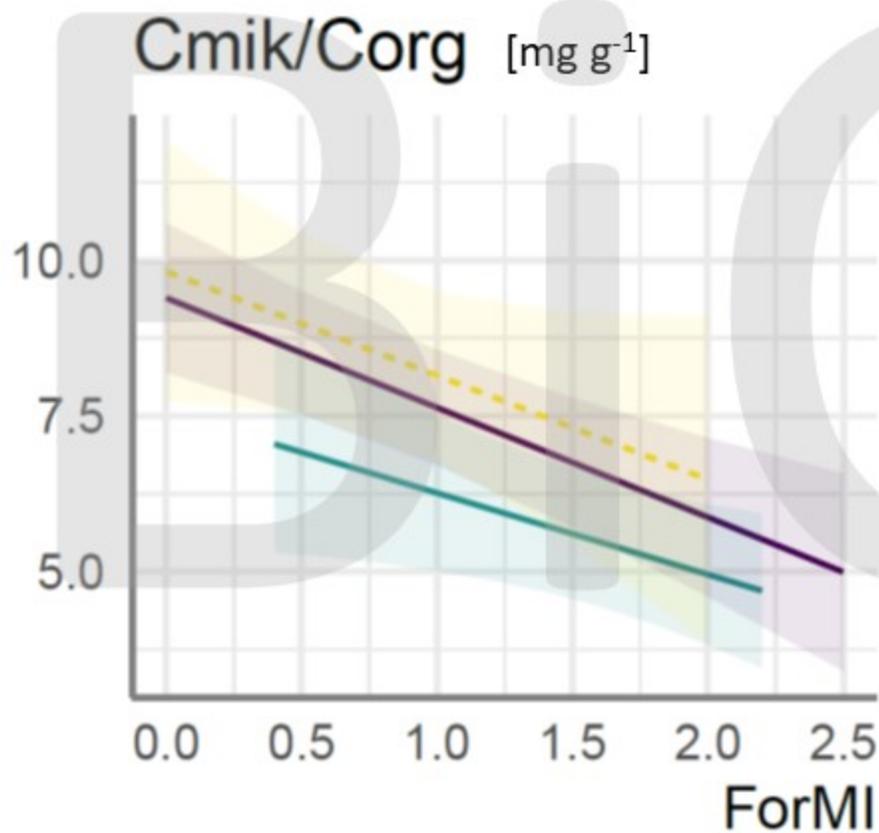
(Wang et al. 2021, SBB 162: 108422)



Buckeridge KM, Creamer C & Whitaker J (2022) Deconstructing the microbial necromass continuum to inform soil carbon sequestration. 36: 1396-1410.

# Bodenmikroorganismen und Kohlenstoffspeicherung im Boden – $\text{BiCO}_2$

PhD Theresa Klein-Raufhake



## Abnahme der Nutzungsintensität:

- Zunahme der mikrobiellen Biomasse ( $C_{\text{mik}}$ ) im Verhältnis zum gesamten organischen Kohlenstoff ( $C_{\text{org}}$ )

**In Nadelbeständen** wirkt sich v.a. die Beimischung von Laubbäumen positiv aus.

0-5 cm



— p-value < 0.05 --- nicht signifikant Probekreise — alle — Nadelbäume — Laubbäume



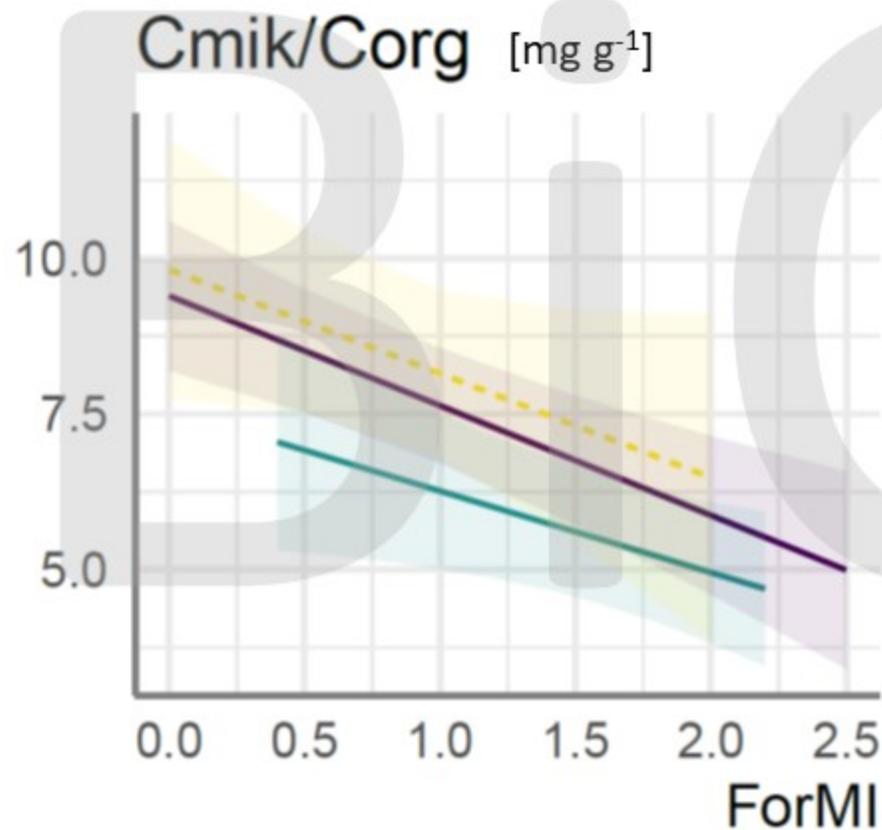
# Bodenmikroorganismen und Kohlenstoffspeicherung im Boden – aktuelle Studien

Regenwürmer katalysieren die Bildung und Stabilisierung von organischer Bodensubstanz aus abgestorbenen Mikroorganismen (Angst et al. 2022, Global Change Biol. 28: 4775-4782)

0- 5 cm



PhD Theresa Klein-Raufhake



## Abnahme der Nutzungsintensität:

- Zunahme der mikrobiellen Biomasse ( $C_{mik}$ ) im Verhältnis zum gesamten organischen Kohlenstoff ( $C_{org}$ )

**In Nadelbeständen** wirkt sich v.a. die Beimischung von Laubbäumen positiv aus.

— p-value < 0.05 --- nicht signifikant Probekreise — alle — Nadelbäume — Laubbäume



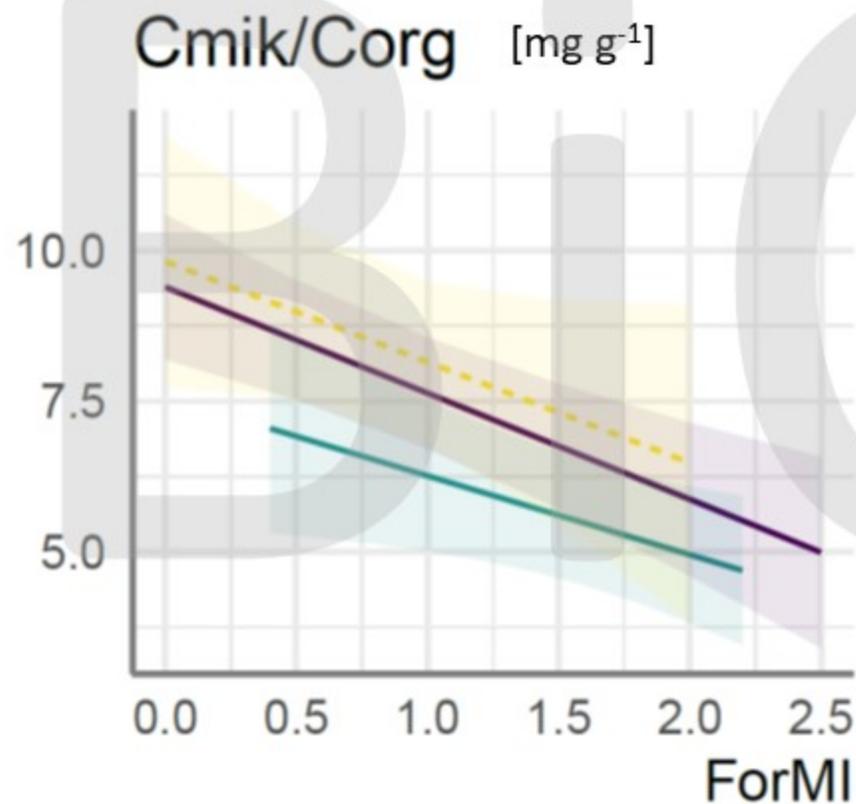
# Bodenmikroorganismen und Kohlenstoffspeicherung im Boden – $\text{BiCO}_2$

Regenwürmer katalysieren die Bildung und Stabilisierung von organischer Bodensubstanz aus abgestorbenen Mikroorganismen (Angst et al. 2022, Global Change Biol. 28: 4775-4782)

0- 5 cm



PhD Theresa Klein-Raufhake



## Abnahme der Nutzungsintensität:

- Zunahme der mikrobiellen Biomasse ( $C_{\text{mik}}$ ) im Verhältnis zum gesamten organischen Kohlenstoff ( $C_{\text{org}}$ )

→ zeigt signifikant positiven Zusammenhang zur Häufigkeit endogäischer Regenwurmarten (Sekundärzersetzer im Wurzelbereich)

— p-value < 0.05 --- nicht signifikant Probekreise — alle — Nadelbäume — Laubbäume

höherer Anteil an **Laubbäumen** führt zu

- höherer Streuqualität (v.a. auf nährstoffreichen Standorten)
  - langsamerer Bodenversauerung
  - stärkerem Wachstum der mikrobiellen Biomasse
  - Zunahme der Häufigkeit endogäischer Regenwurmarten
- ➔ schnellere Nährstoffumsatzprozesse

Humusformen sind für viele Bodenparameter ein guter Indikator für nutzungsbedingte Veränderungen

**Alte Tiefwurzler** (Eiche, Buche) bringen den Kohlenstoff tiefer in den Mineralboden ein

➔ stabilere Speicherung von bis zu 10 t SOC ha<sup>-1</sup>

**Biodiversität im Boden (Aktivität, Menge, Zusammensetzung) ist verknüpft mit der (Bio)diversität im Bestand**

# Vielen Dank!



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

**Absolventinnen und Absolventen (Thema Bodenökologie):** Sarah Funken, Meret Olsen, Lena Lambeck, Konstantin Engelmayer, Anja Hortmann, Hannah Siepker, Ellen Brans, Clara Neugebauer, Madleen Schnieder, 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