

Veränderungen der C-Vorräte im Boden bei forstlicher Nutzung

Martina Mund¹, Ingolf Profft², Marion Schrumpf¹,
Ingo Schöning³, Jana Wäldchen¹

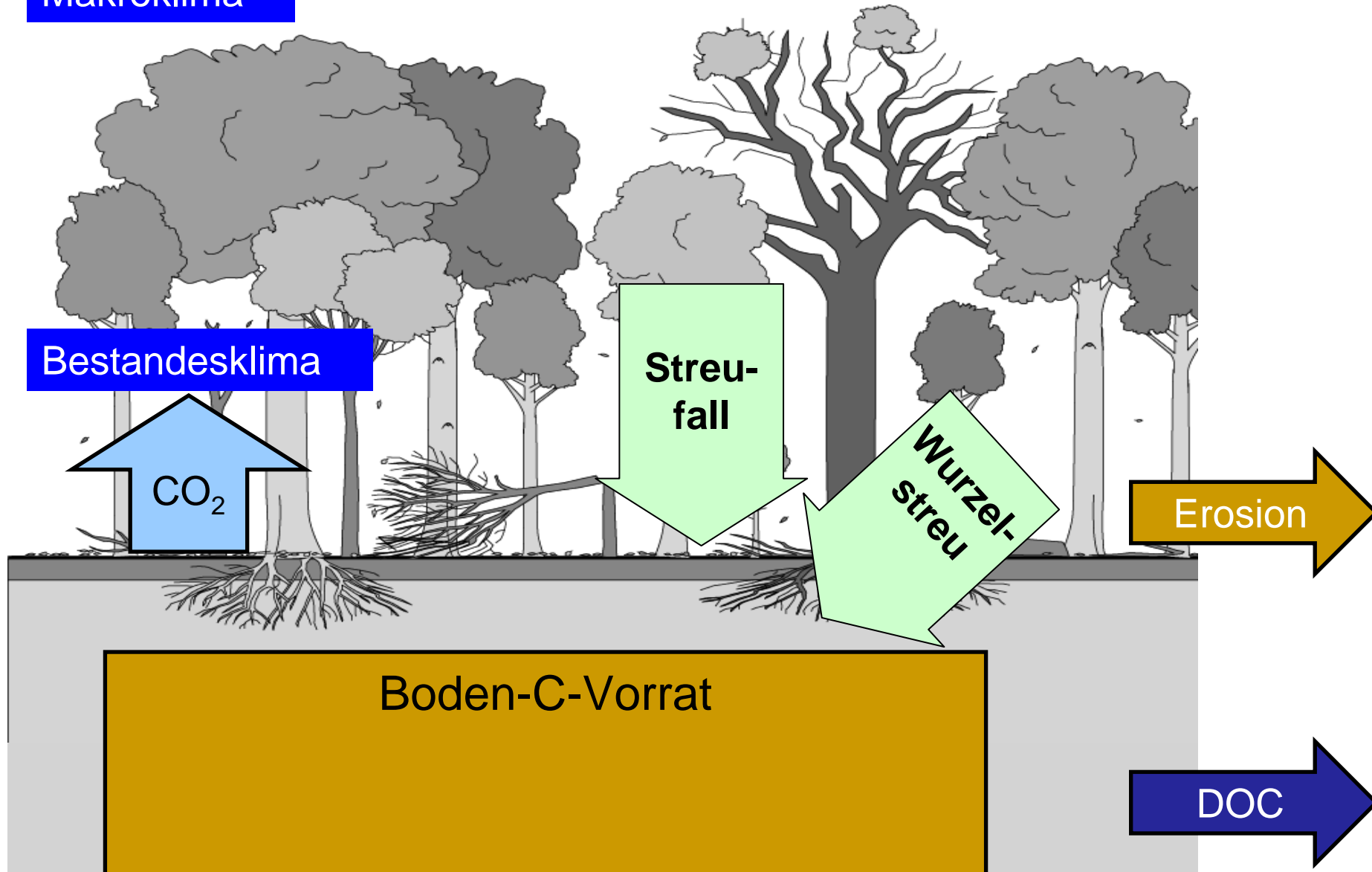


¹Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena

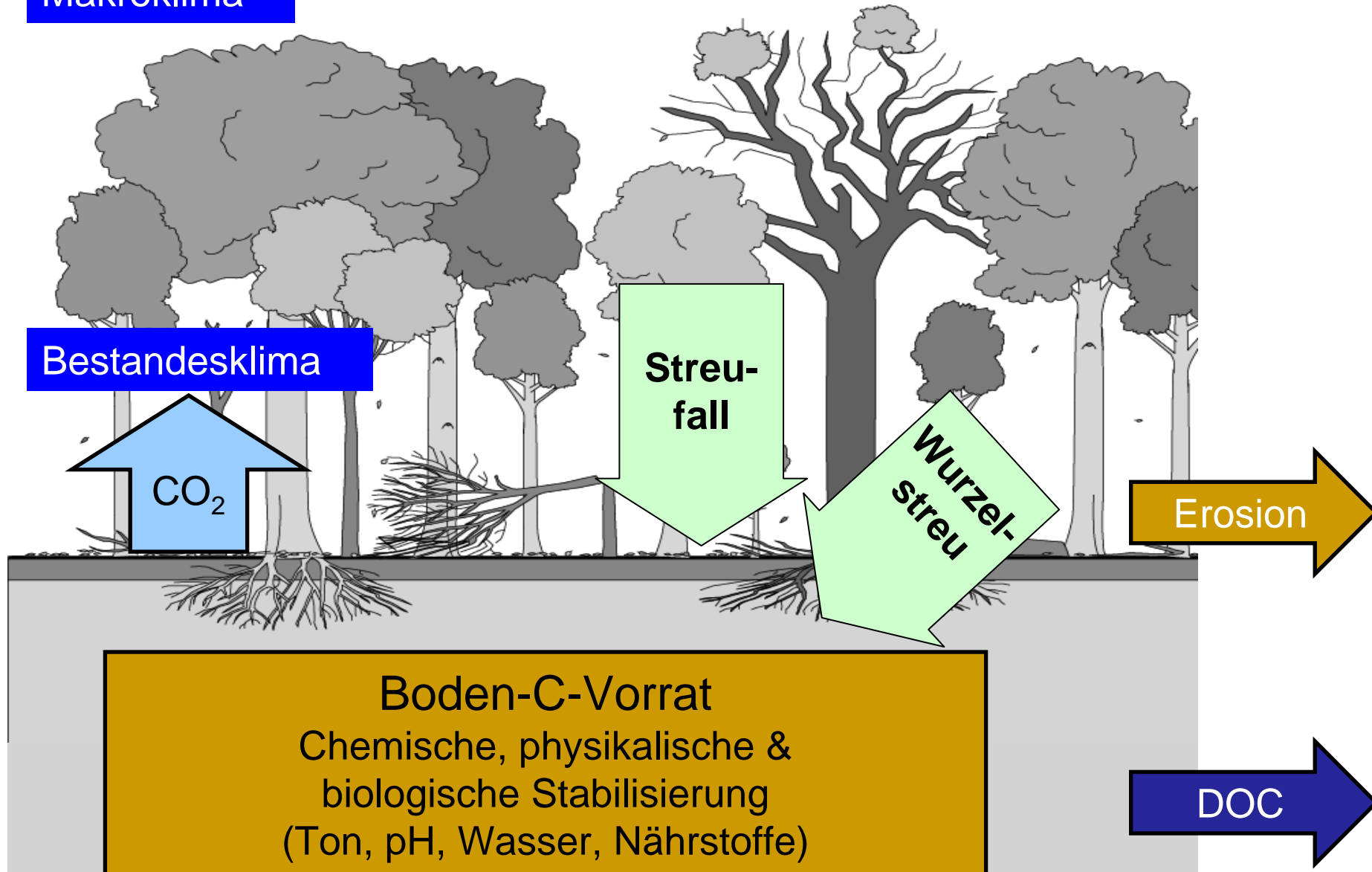
²Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei, Gotha

³Friedrich-Schiller-Universität, Jena

Makroklima



Makroklima



Makroklima

Forstliche
Bewirtschaftung

Bestandesklima

CO₂

Streu-
fall

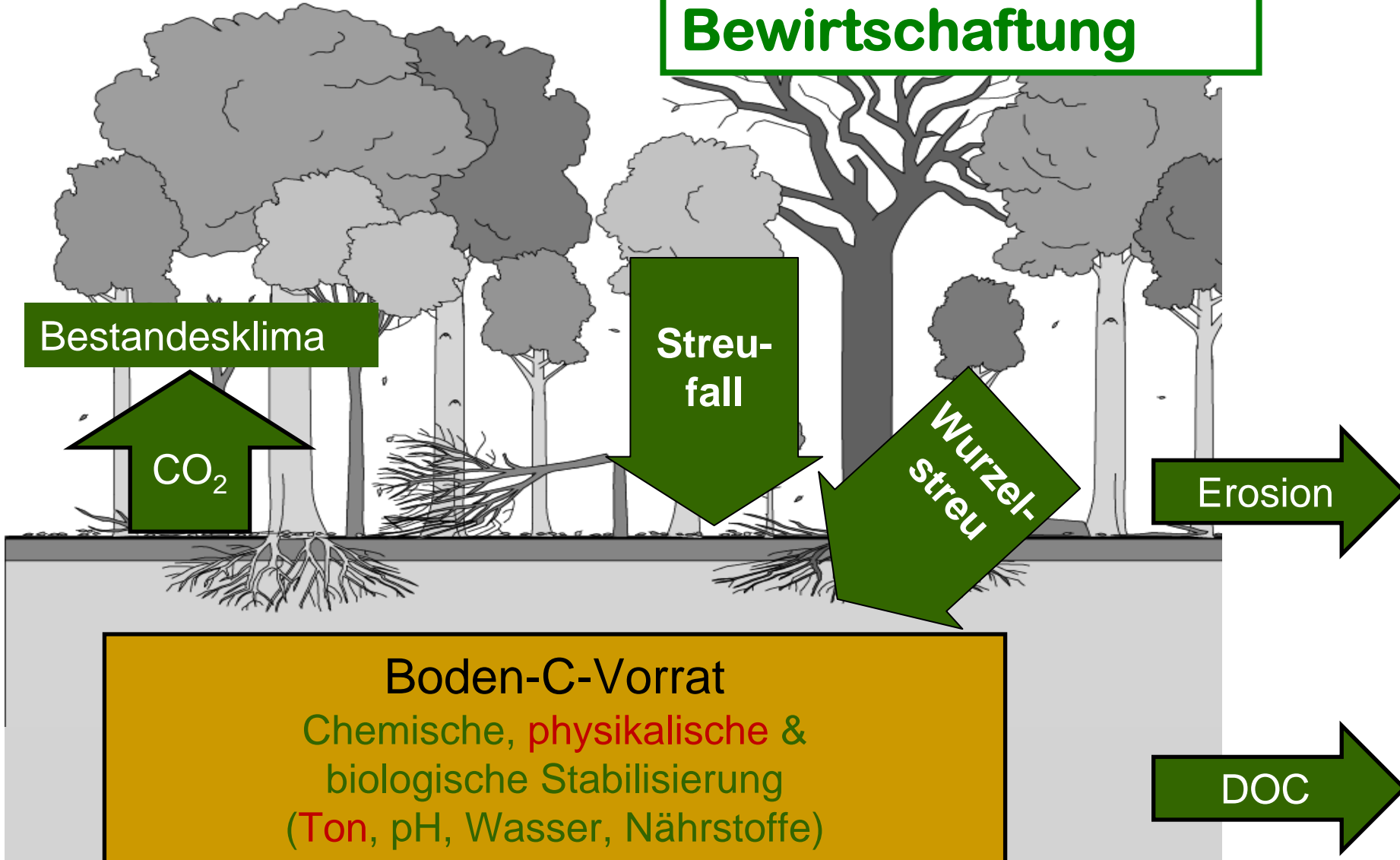
Wurzel-
streu

Erosion

Boden-C-Vorrat

Chemische, physikalische &
biologische Stabilisierung
(Ton, pH, Wasser, Nährstoffe)

DOC





Streueintrag

Phenylpropane

Lignin

Gallsäurederivate

Gerbstoffe

Kohlenhydrate

Zucker, Zellulosen, Chitin

Aminosäuren

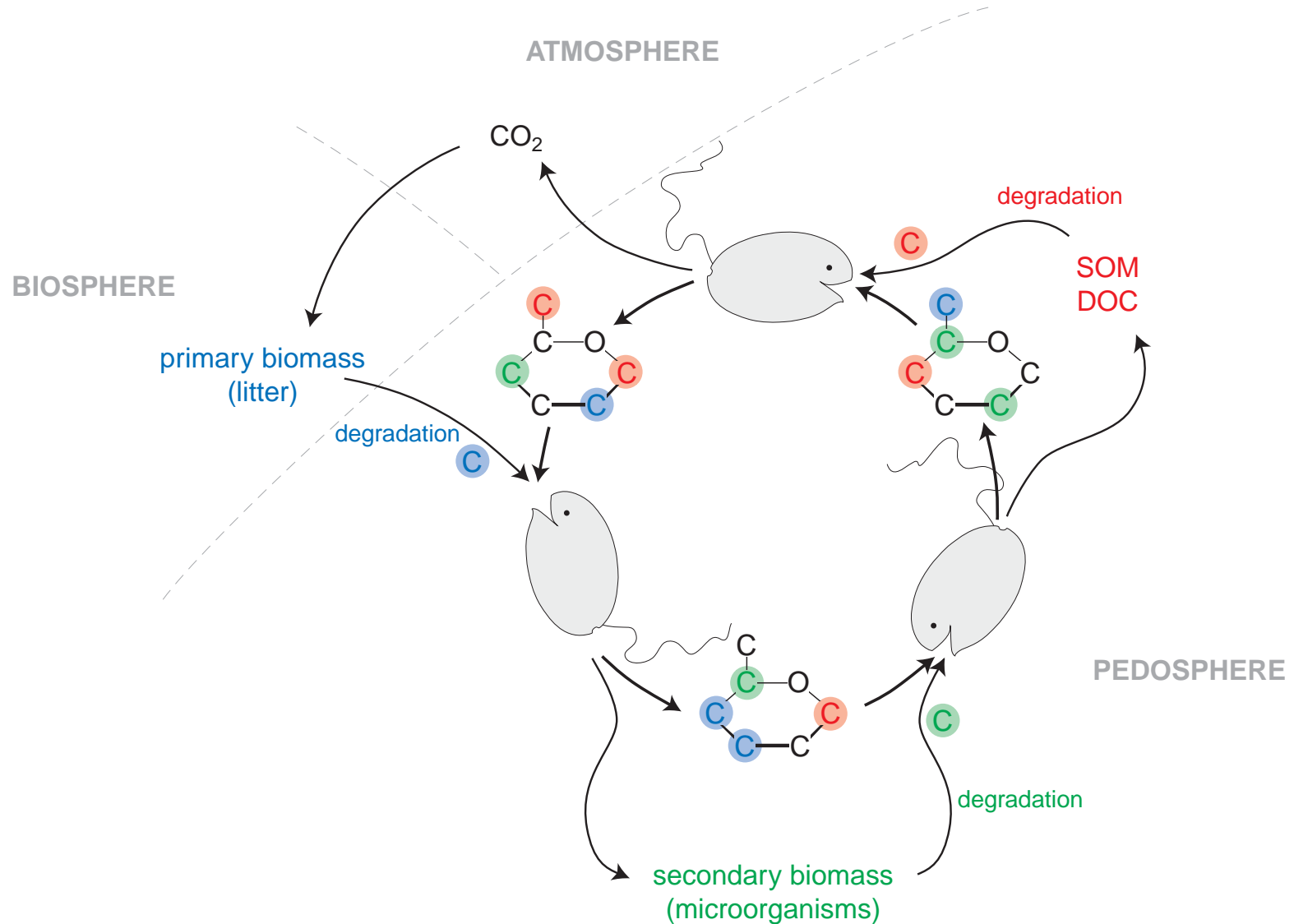
Proteine

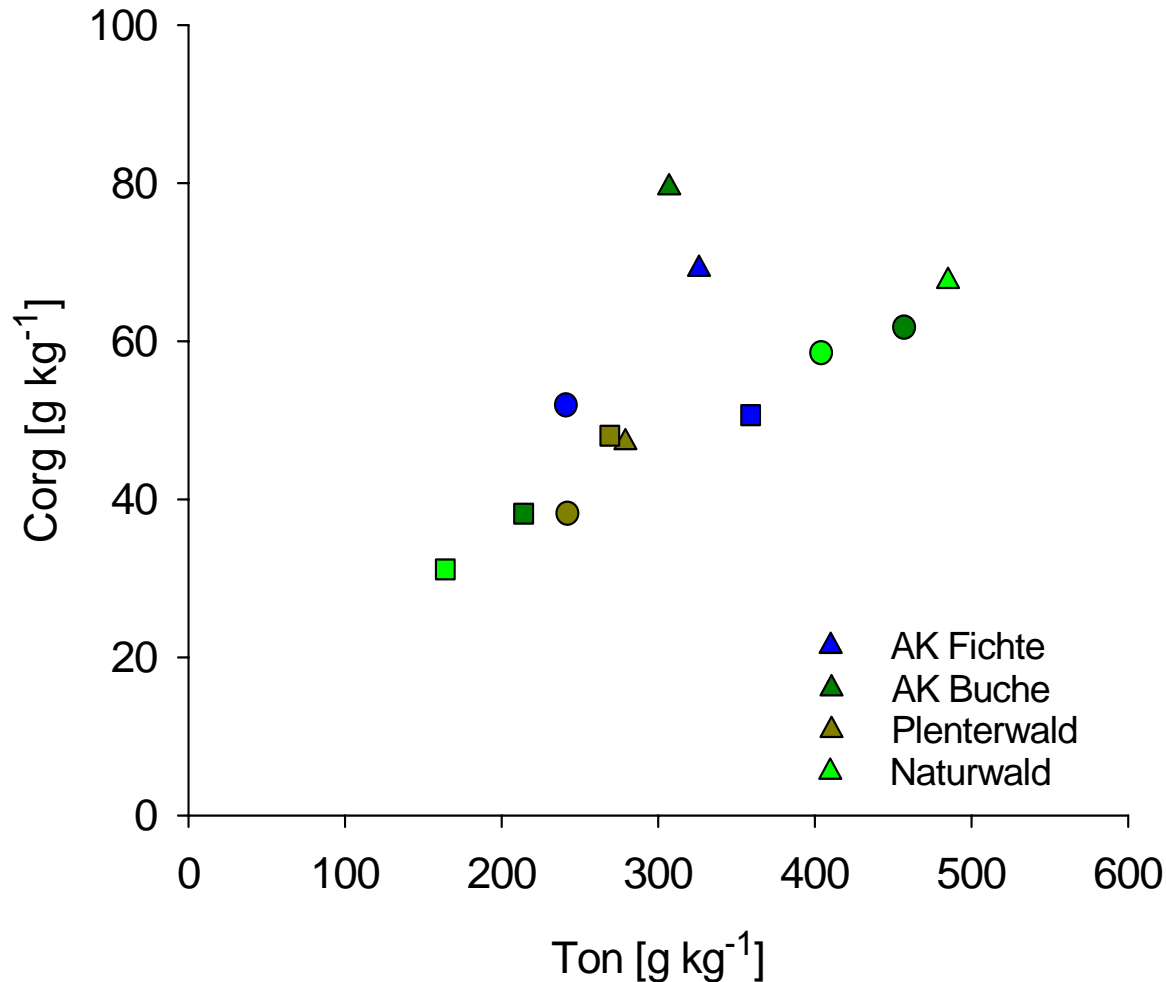
Lipide und Terpenoide

Fette, Wachse, Phospholipide



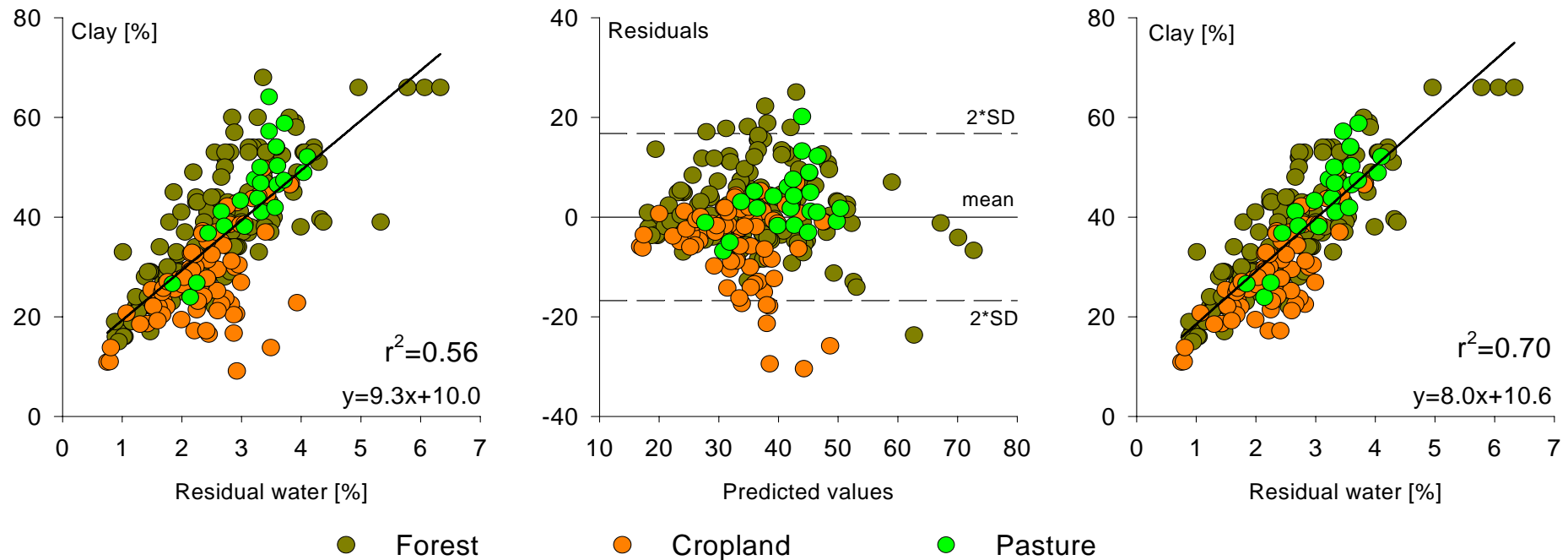
CO₂





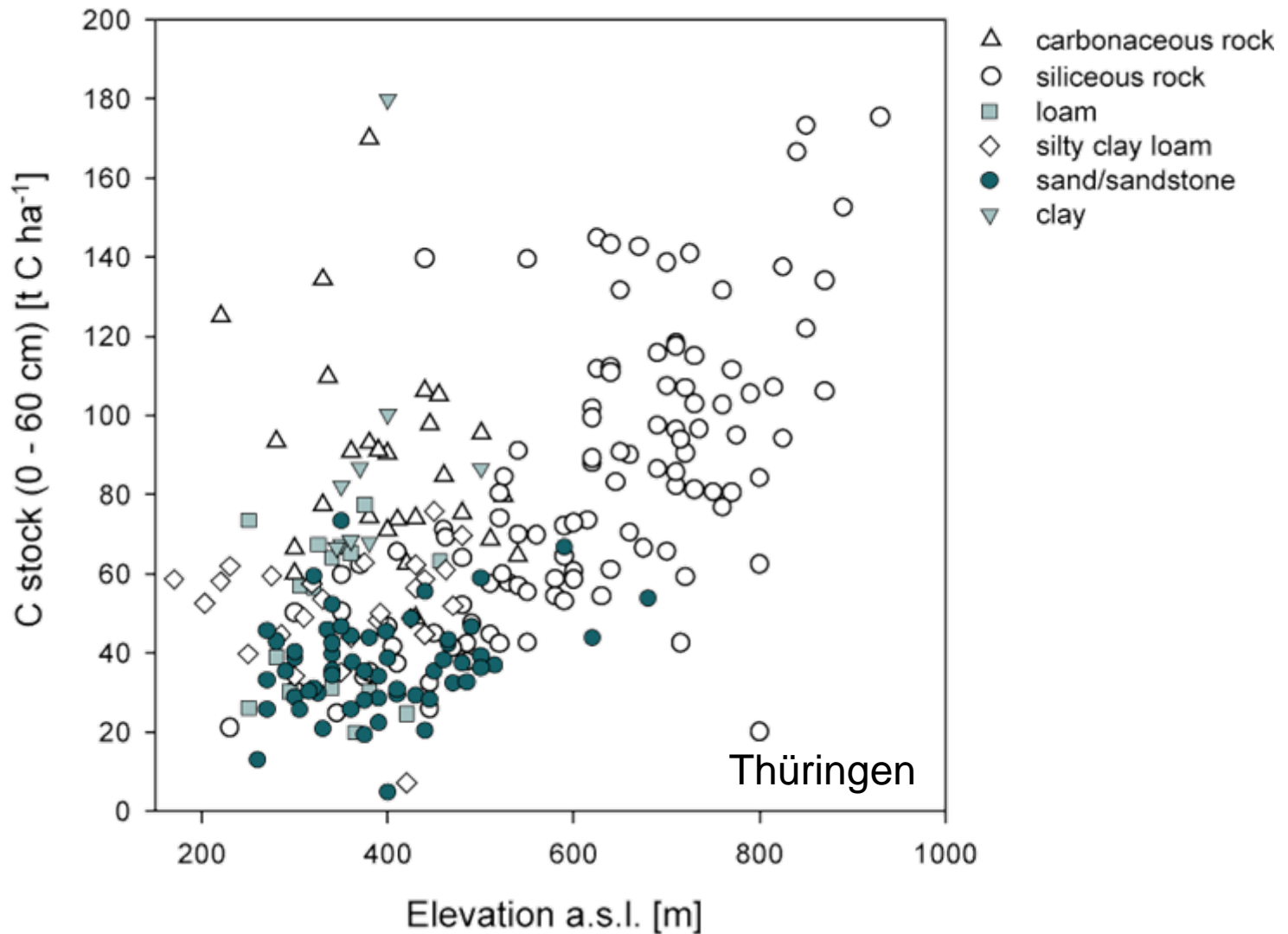
Schrumpf, unveröffentlicht

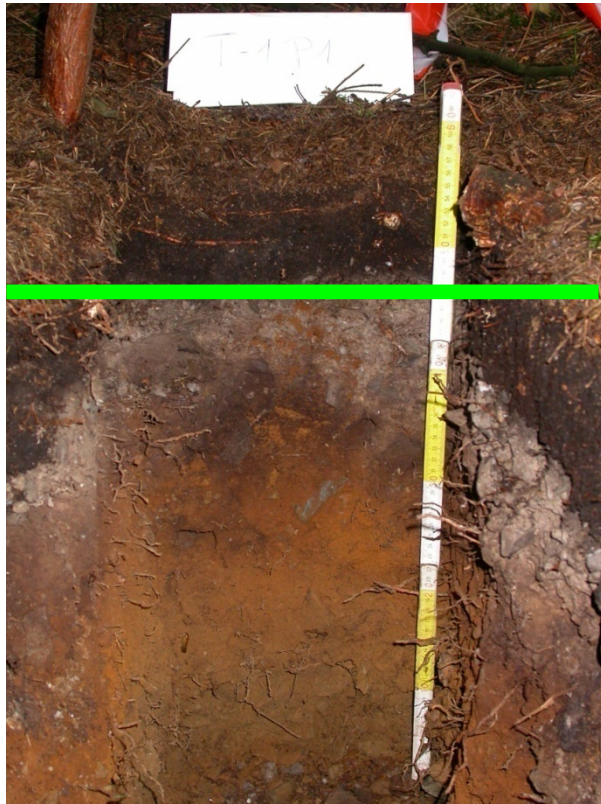
Einfluss von Bodeneigenschaften überlagert Bewirtschaftungseffekt



Wäldchen, in prep. 2009

Tongehalt lässt sich über Wassergehaltsdifferenz zwischen getrocknetem Boden bei 40°C und 100°C abschätzen

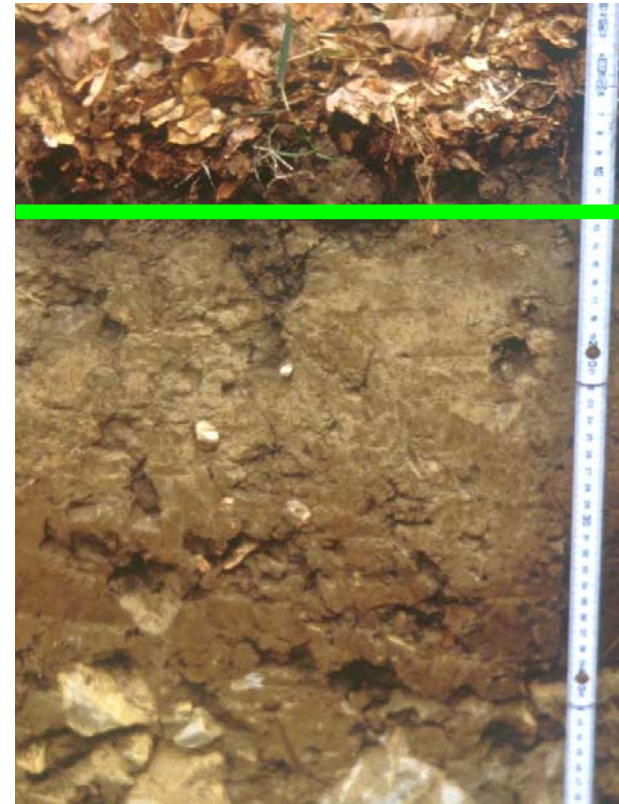




Org. Auflage:
nur chem.
Stabilisierung

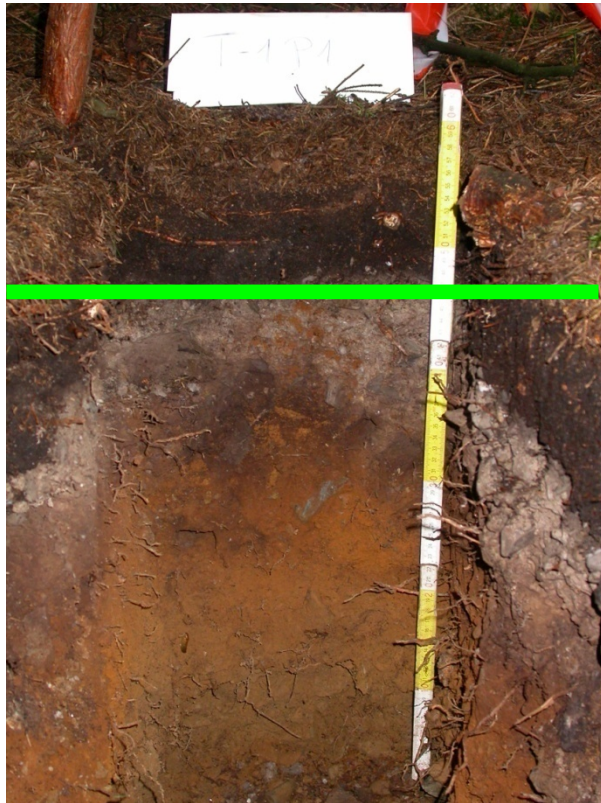
Mineralboden:
chem. + phys.
Stabilisierung

**Podsolige Braunerde unter
Fichte, Wetzstein, Thüringen**
(Foto: Schrumpf)



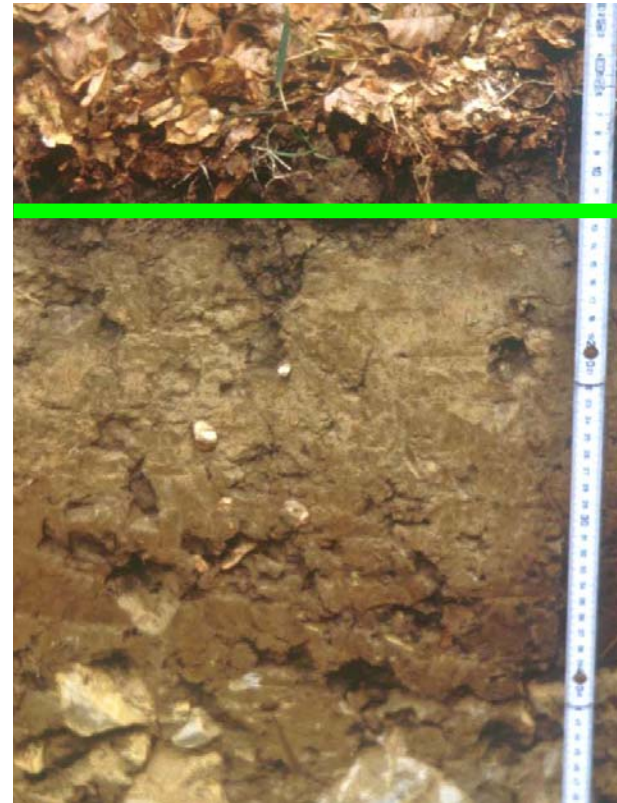
**Braunerde-Terra fusca unter
Buche (Es, Ah), Langula,
Thüringen**

(Foto: Mund)



Org. Auflage:
nur chem.
Stabilisierung

Mineralboden:
chem. + phys.
Stabilisierung



- * Sensitiver gegenüber Baumartenwahl und allen biotischen & abiotischen Veränderungen
- * Sehr hohe zeitliche und räumliche Variabilität

C-Vorräte im Mineralboden

$69 \pm 26 \text{ t C ha}^{-1}$

C-Vorräte in der
organischen Auflage

$28 \pm 10 \text{ t C ha}^{-1}$

Dendro-
masse
49%

organ.
Auflage
15%

Mineral-
boden
36%

[t C / ha]
10 - 15
16 - 20
21 - 25
26 - 30
31 - 35
36 - 40
41 - 45
46 - 50

Gesamt-C-Vorräte ohne
Totholz und Bodenvegetation
 $192 \pm 10 \text{ t C ha}^{-1}$

[t C / ha]
117 - 147
148 - 162
163 - 175
176 - 189
190 - 203
204 - 226
227 - 270
271 - 414

80 - 90
91 - 105
106 - 128
129 - 172
173 - 321

0 50 100 Kilometers

0 100 Kilometers

Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung		
Naturwald in Plantage		
Kahlschlag		
Stammholz-/ Ganzbaumernte		
Bodenbearbeitung		
Feuermanagement		
Düngung		
Kalkung		
Durchforstung		
Betriebs-/ Verjüngungs- formen (ohne Kahlschlag)		
Nadelwald in Laubwald		
Drainage		

(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung	++	+ / -
Naturwald in Plantage		
Kahlschlag		
Stammholz-/ Ganzbaumernte		
Bodenbearbeitung		
(Feuermanagement)		
(Düngung)		
Kalkung		
Durchforstung		
Betriebs-/ Verjüngungs- formen (ohne Kahlschlag)		
Nadelwald in Laubwald		
Drainage		

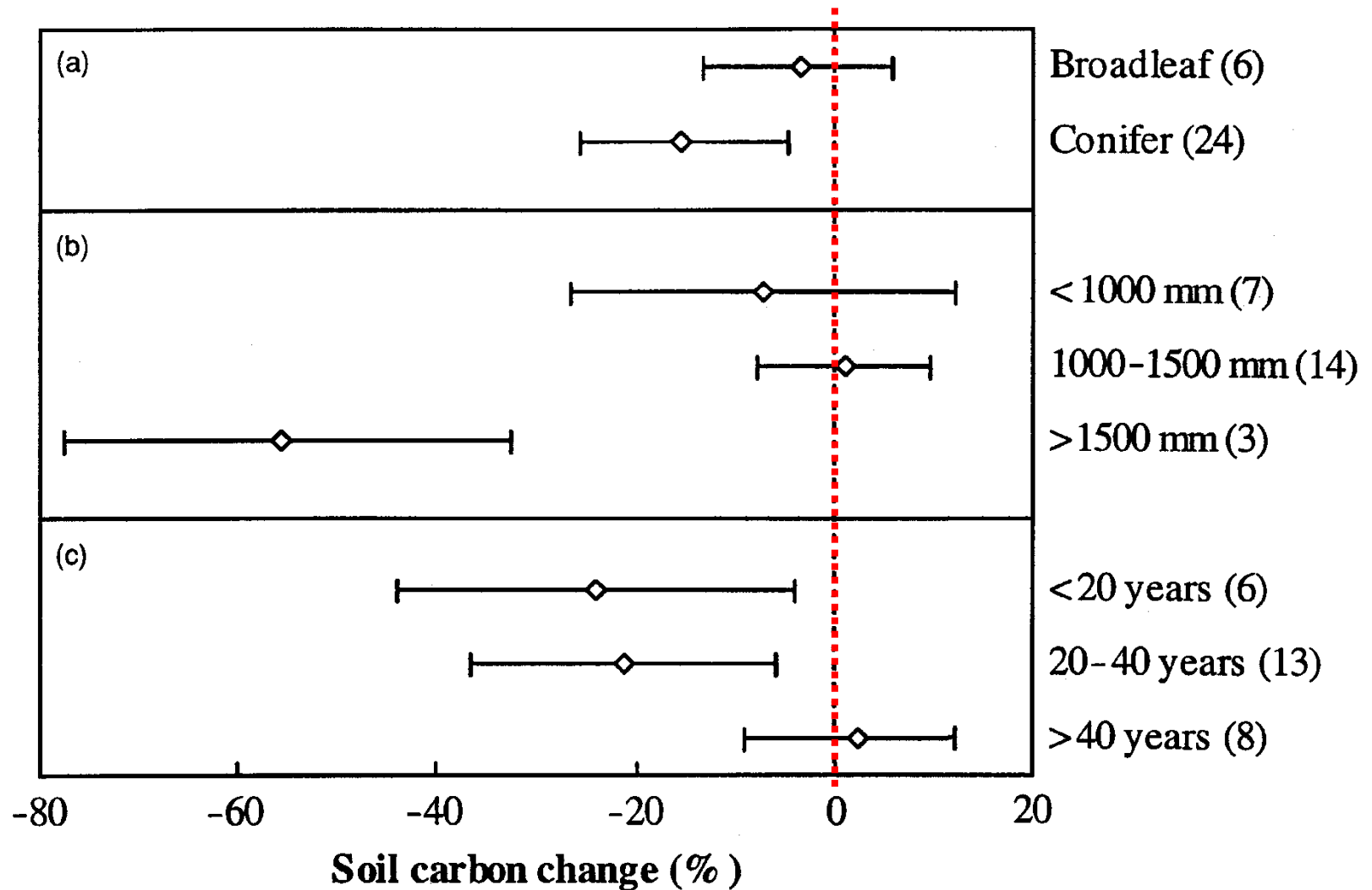
(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung	++	+ / -
Naturwald in Plantage	--	- / 0
Kahlschlag		
Stammholz-/ Ganzbaumernte		
Bodenbearbeitung		
(Feuermanagement)		
(Düngung)		
Kalkung		
Durchforstung		
Betriebs-/ Verjüngungs- formen (ohne Kahlschlag)		
Nadelwald in Laubwald		
Drainage		

(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

Umwandlung Primärwald in Plantage

Review



Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung	++	+ / -
Naturwald in Plantage	--	- / 0
Kahlschlag	--	- / (+ kurzzeitig)
Stammholz-/ Ganzbaumernte		
Bodenbearbeitung		
(Feuermanagement)		
(Düngung)		
Kalkung		
Durchforstung		
Betriebs-/ Verjüngungs- formen (ohne Kahlschlag)		
Nadelwald in Laubwald		
Drainage		

(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

Kahlschlag

Erläuterung

kontinuierliche Anlieferung von Streu wird unterbrochen

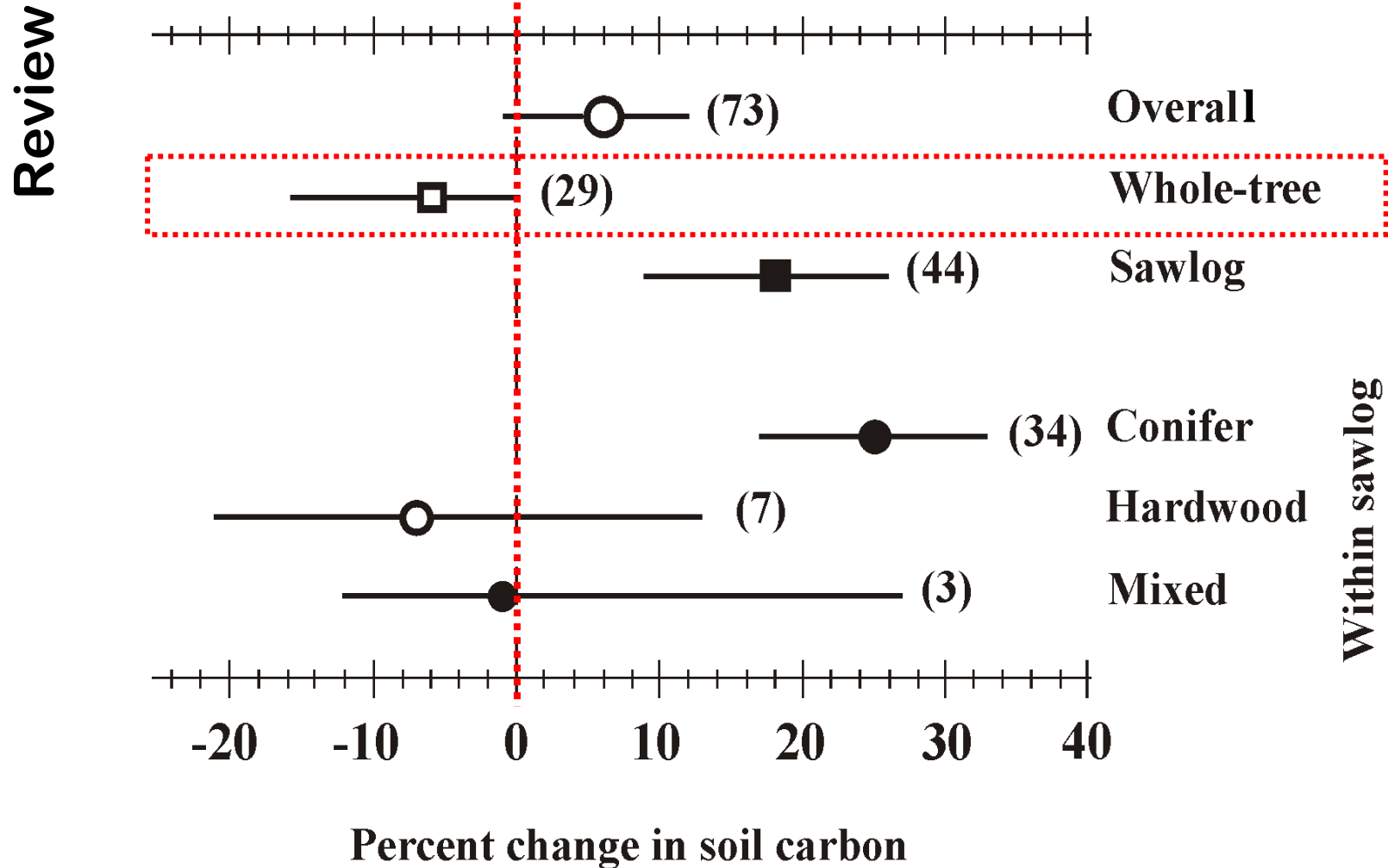
höhere Lichtintensität und höhere Temperatur an der Bodenoberfläche führen zu höherer Bodenaktivität

es findet vermehrter Streuabbau statt, d.h. der C-Vorrat des Bodens nimmt ab, humos gebundene Nährelemente und Stickstoff werden freigesetzt (Nährelementverluste)

Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung	++	+ / -
Naturwald in Plantage	--	- / 0
Kahlschlag	--	- / (+ kurzzeitig)
Stammholz-/ Ganzbaumernte	+ / -	+ / -
Bodenbearbeitung		
(Feuermanagement)		
(Düngung)		
Kalkung		
Durchforstung		
Betriebs-/ Verjüngungs- formen (ohne Kahlschlag)		
Nadelwald in Laubwald		
Drainage		

(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

Baumernte und C-Vorräte im A-Horizont



Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung	++	+ / -
Naturwald in Plantage	--	- / 0
Kahlschlag	--	- / (+ kurzzeitig)
Stammholz-/ Ganzbaumernte	+ / -	+ / -
Bodenbearbeitung	--	- / (+ kurzzeitig)
(Feuermanagement)	+ / -	+ / -
(Düngung)	+ / -	+ / -
Kalkung	- / +	+ / -
Durchforstung		
Betriebs-/ Verjüngungs- formen (ohne Kahlschlag)		
Nadelwald in Laubwald		
Drainage		

(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung	++	+ / -
Naturwald in Plantage	--	- / 0
Kahlschlag	--	- / (+ kurzzeitig)
Stammholz-/ Ganzbaumernte	+ / -	+ / -
Bodenbearbeitung (Feuermanagement)	+ / -	- / (+ kurzzeitig)
(Düngung)	+ / -	+ / -
Kalkung	- / +	+ / -
Durchforstung		
Betriebs-/ Verjüngungs- formen (ohne Kahlschlag)		
Nadelwald in Laubwald		
Drainage		

Bestandesstabilität
& Produktivität ↑

(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

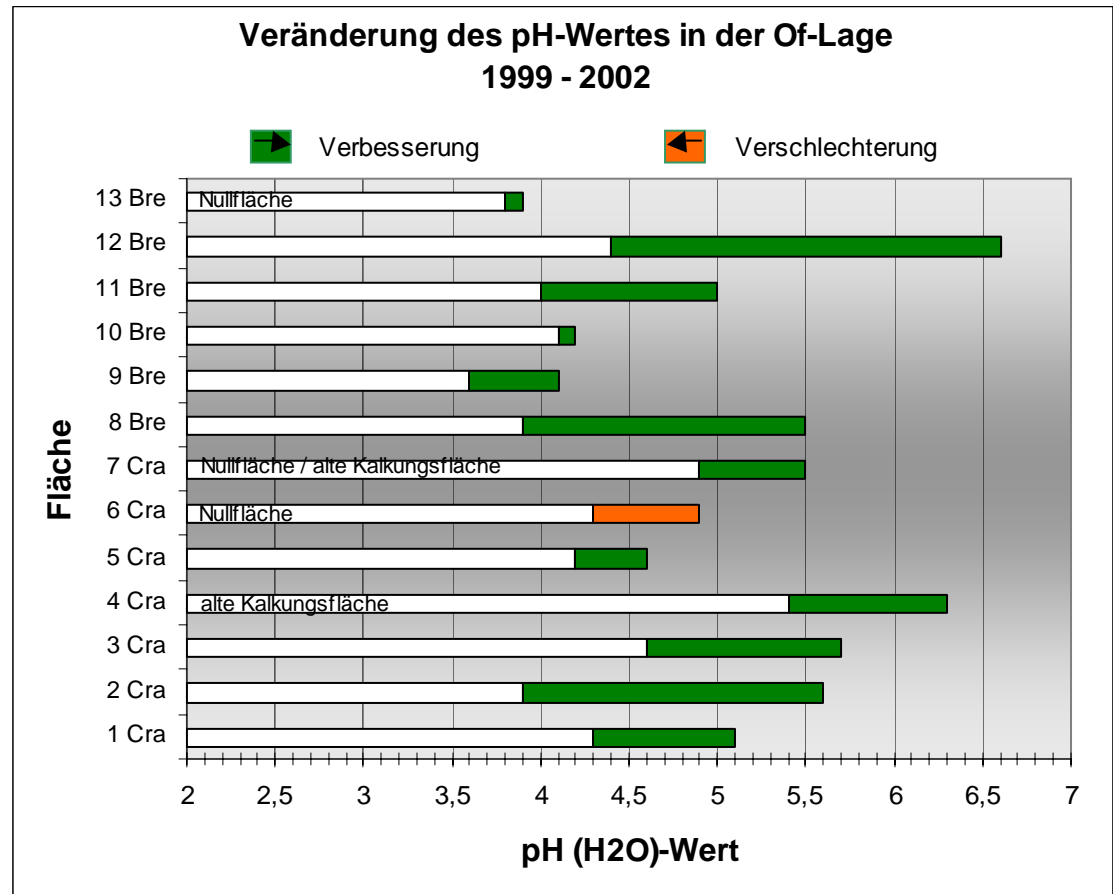
Kalkung

Erläuterung

Die Kompensationskalkung dient dazu, eine Verschlechterung des Zustands der Waldökosysteme zu verhindern

Verbesserung der
Magnesium- und
Calciumversorgung der
Waldökosysteme

Verbesserung des
chemischen Milieus für
Wurzeln und Boden-
lebewesen und
dadurch Anregung der
biologischen Aktivität



Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung	++	+ / -
Naturwald in Plantage	--	- / 0
Kahlschlag	--	- / (+ kurzzeitig)
Stammholz-/ Ganzbaumernte	+ / -	+ / -
Bodenbearbeitung	--	- / (+ kurzzeitig)
(Feuermanagement)	+ / -	- / +
(Düngung)	+ / -	- / +
Kalkung	- / +	+ / -
Durchforstung	+ / -	0
Betriebs-/ Verjüngungs- formen (ohne Kahlschlag)		
Nadelwald in Laubwald		
Drainage		

Bestandesstabilität
& Produktivität ↑

(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

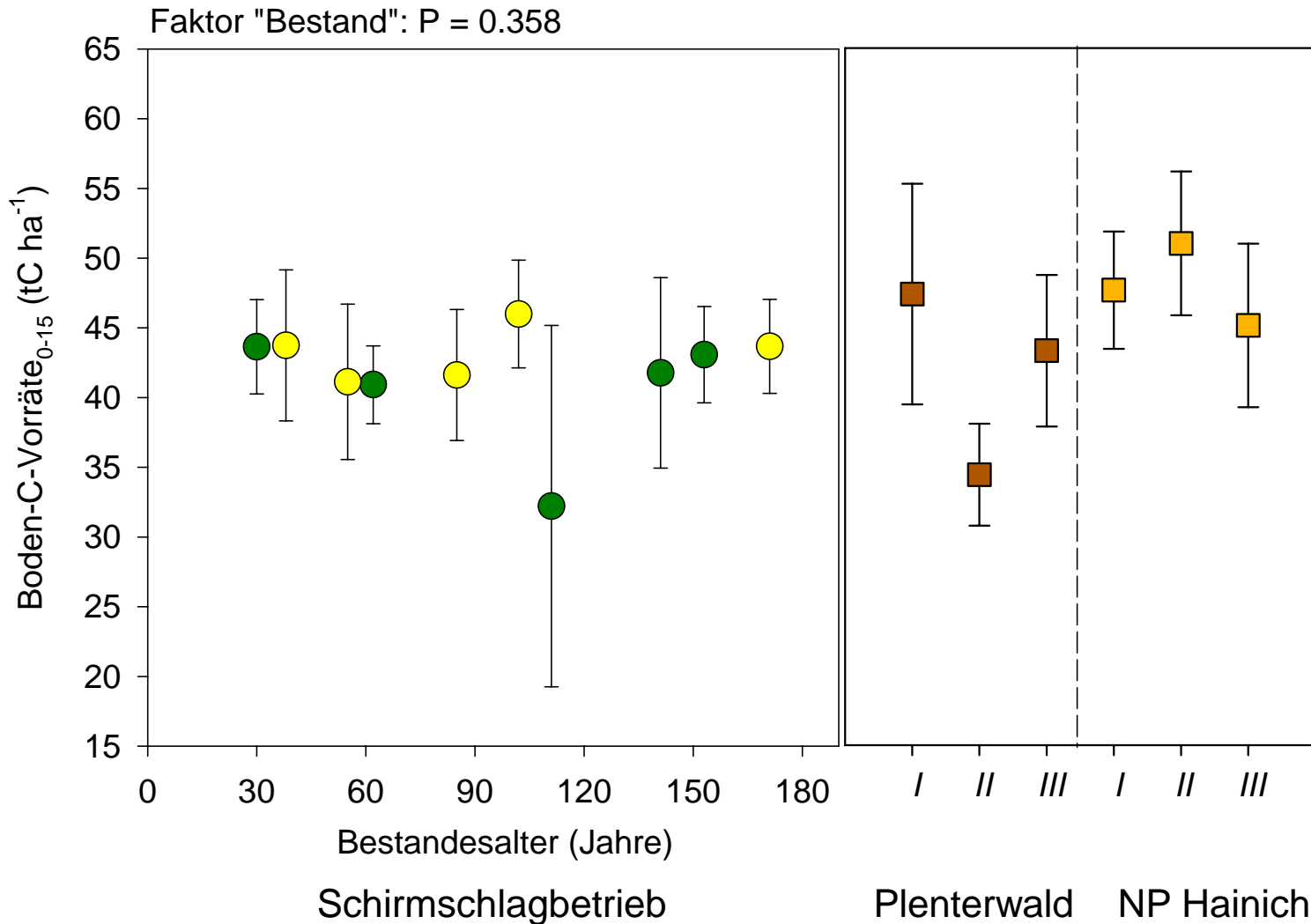
Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung	++	+ / -
Naturwald in Plantage	--	- / 0
Kahlschlag	--	- / (+ kurzzeitig)
Stammholz-/ Ganzbaumernte	+ / -	+ / -
Bodenbearbeitung	--	- / (+ kurzzeitig)
(Feuermanagement)	+ / -	+ / -
(Düngung)	+ / -	+ / -
Kalkung	- / +	+ / -
Durchforstung	+ / -	0
Betriebs-/ Verjüngungs- formen (ohne Kahlschlag)	+ / -	+ / 0
Nadelwald in Laubwald		
Drainage		

(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

Boden-C-Vorräte (0-15 cm)

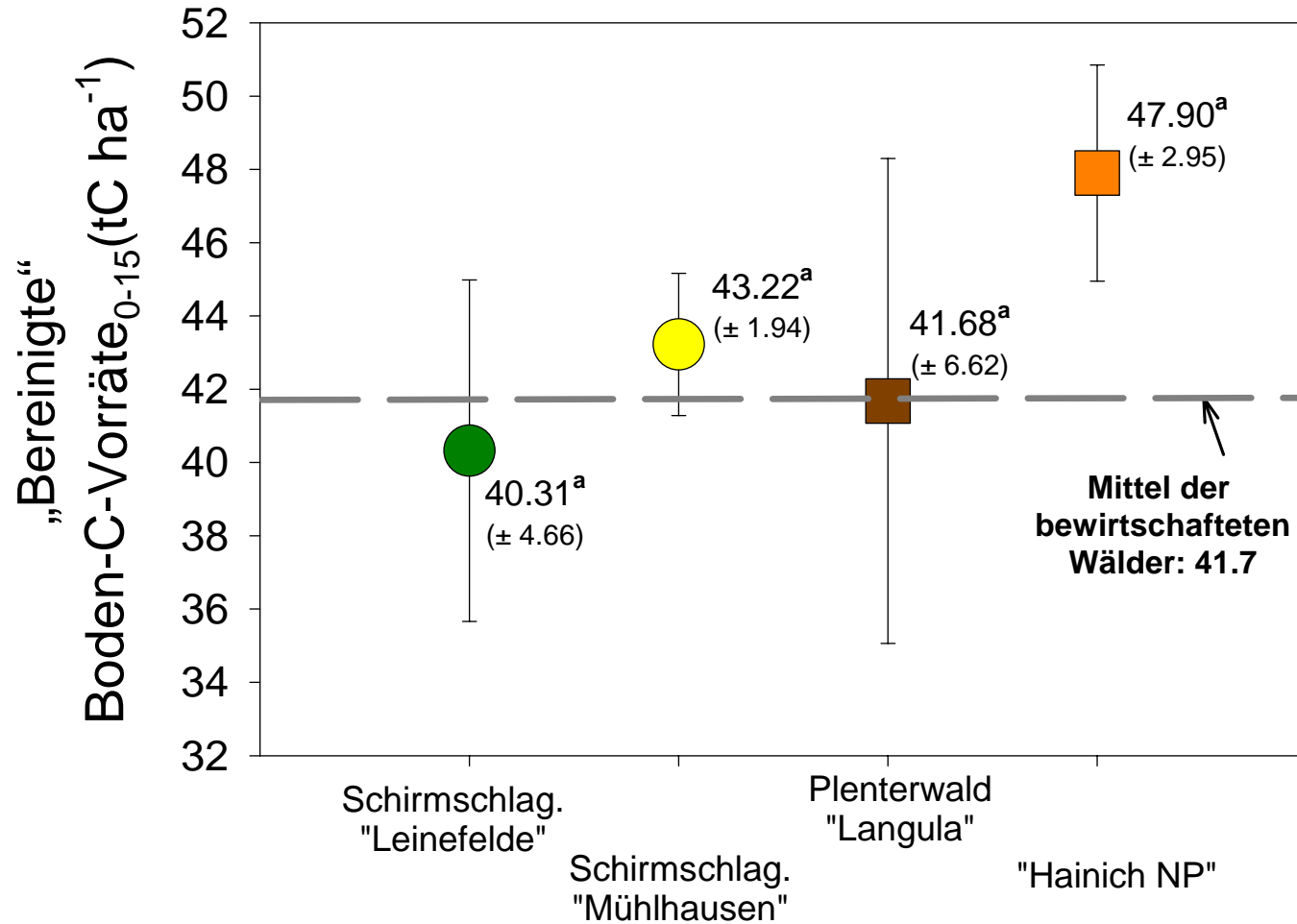
„bereinigt“ um den Einfluss von Tongehalt und C/N-Verhältnis

Fallstudie Hainich-Dün

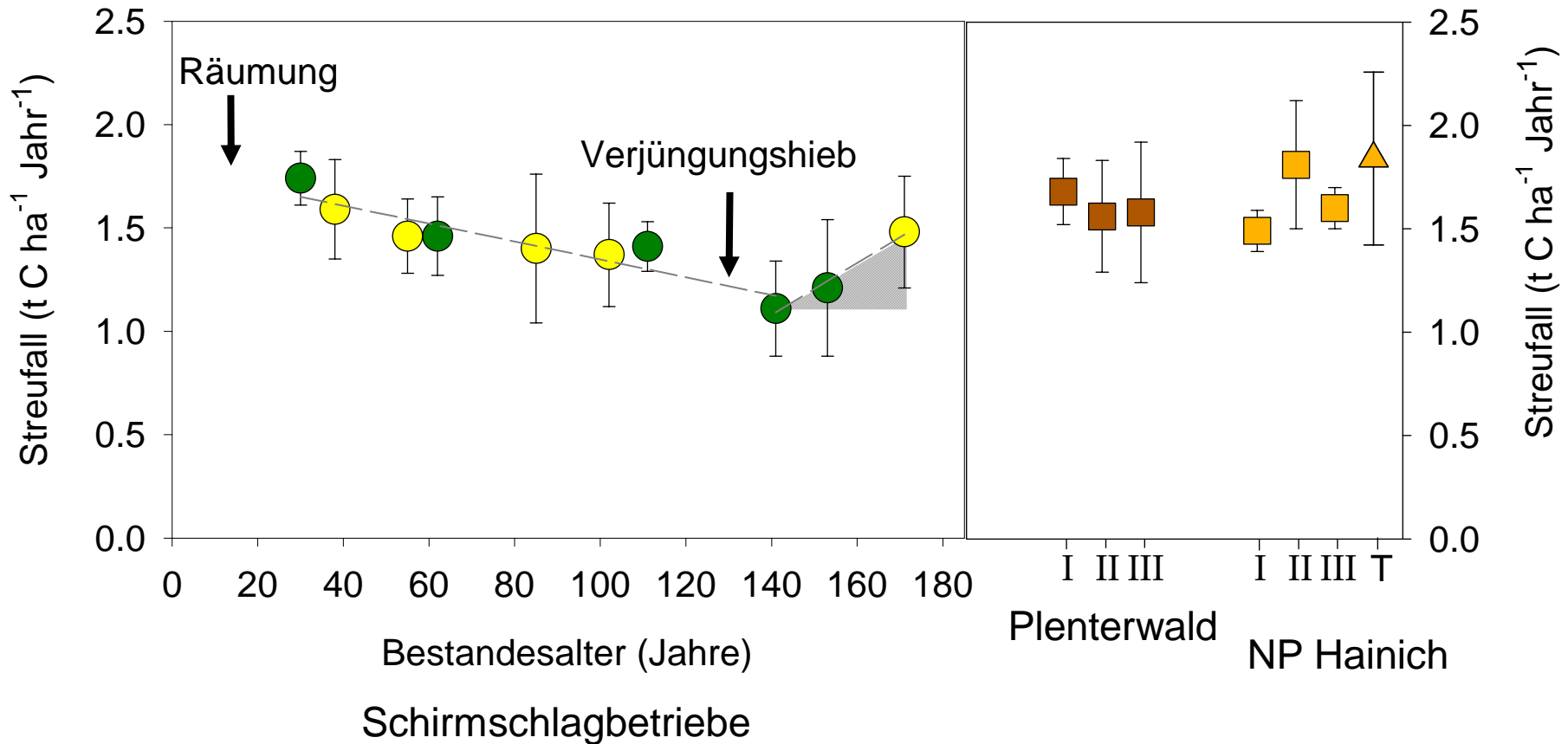


Mittlere Boden-C-Vorräte (Oberboden 0-15 cm)

Fallstudie Hainich-Dün



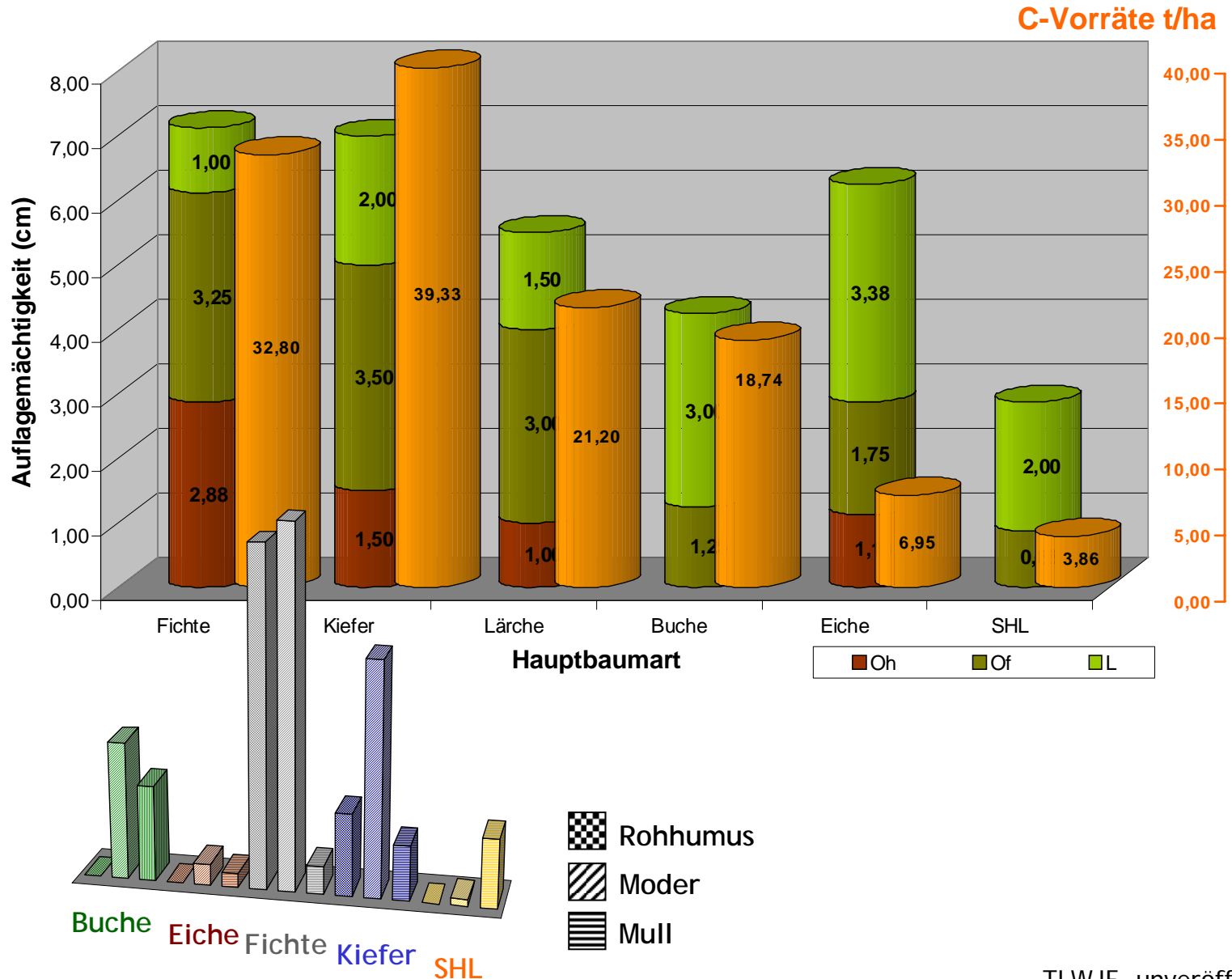
Jährlicher Blattstreufall, Buchenwald



Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung	++	+ / -
Naturwald in Plantage	--	- / 0
Kahlschlag	--	- / (+ kurzzeitig)
Stammholz-/ Ganzbaumernte	+ / -	+ / -
Bodenbearbeitung	--	- / (+ kurzzeitig)
(Feuermanagement)	+ / -	+ / -
(Düngung)	+ / -	+ / -
Kalkung	- / +	+ / -
Durchforstung	+ / -	Menge ↓ aber pH, biol. Aktivität, Bestandesstabilität ↑
Betriebs-/ Verjüngungs- formen (ohne Kahlschlag)	+ / -	
Nadelwald in Laubwald	- / +	+ / - / 0
Drainage		

(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

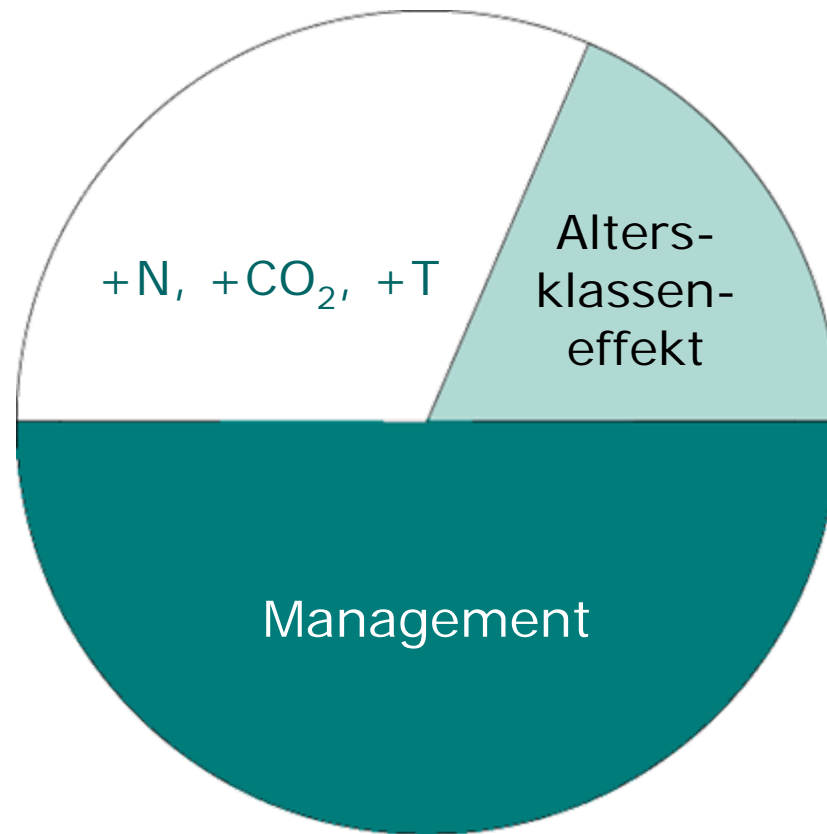
BZE II – Auswertung C-Vorräte Humus nach Baumarten



Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung	++	+ / -
Naturwald in Plantage	--	- / 0
Kahlschlag	--	- / (+ kurzzeitig)
Stammholz-/ Ganzbaumernte	+ / -	+ / -
Bodenbearbeitung	--	- / (+ kurzzeitig)
(Feuermanagement)	+ / -	+ / -
(Düngung)	+ / -	+ / -
Kalkung	- / +	+ / -
Durchforstung	+ / -	0
Betriebs-/ Verjüngungs- formen (ohne Kahlschlag)	+ / -	+ / 0
Nadelwald in Laubwald	- / +	+ / - / 0
Drainage	--	

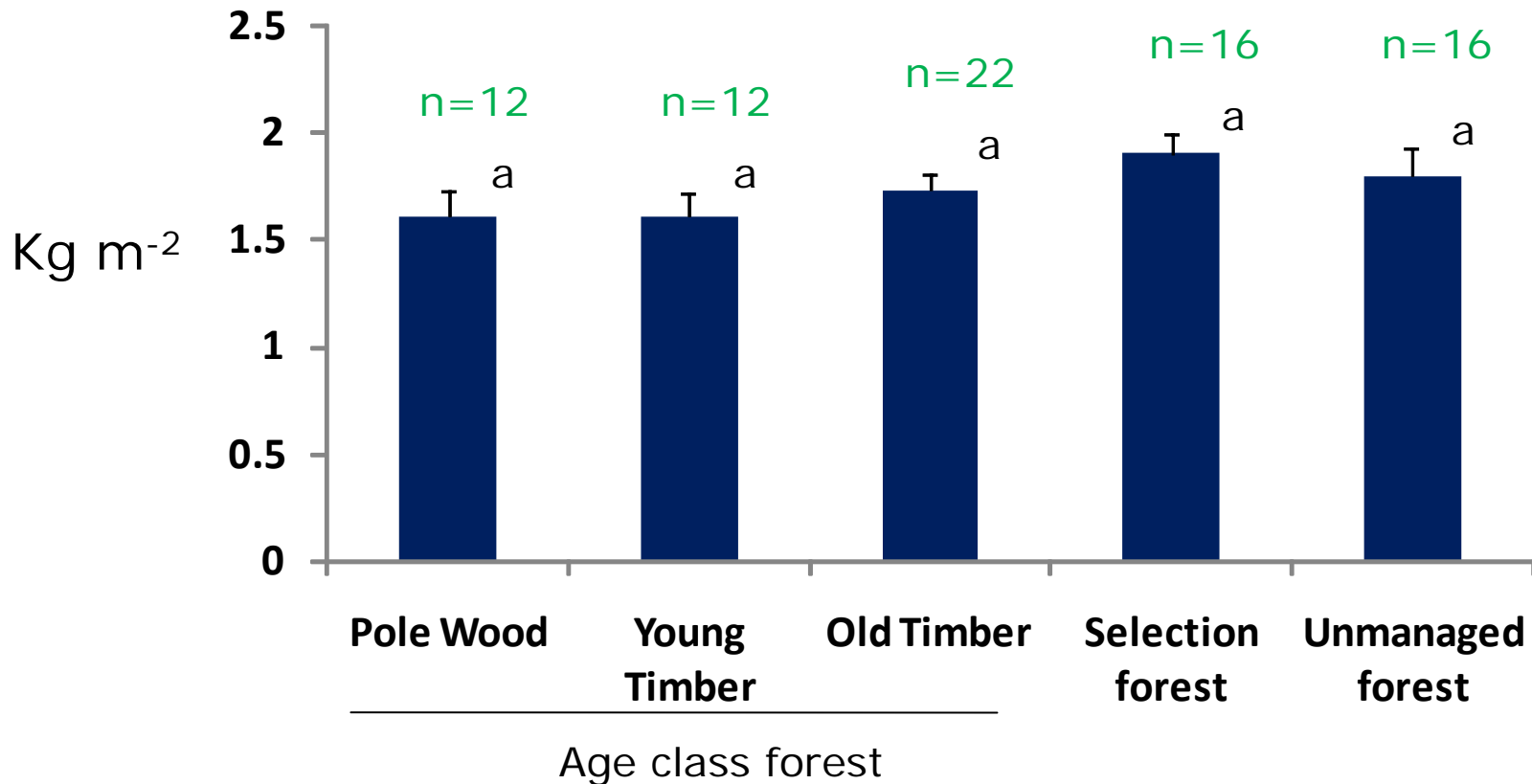
(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

Beiträge verschiedener Einflussfaktoren
zur Änderung der Holzbiomasse
im Thüringer Landeswald
1993 - 2000



Mittlere Boden-C-Vorräte bei unterschiedlicher Waldnutzung

Bereinigte Boden-C-Vorräte (Bodentiefe: 7 cm, Tongehalt: 30%)



Boden-C-Akkumulations-Rate I

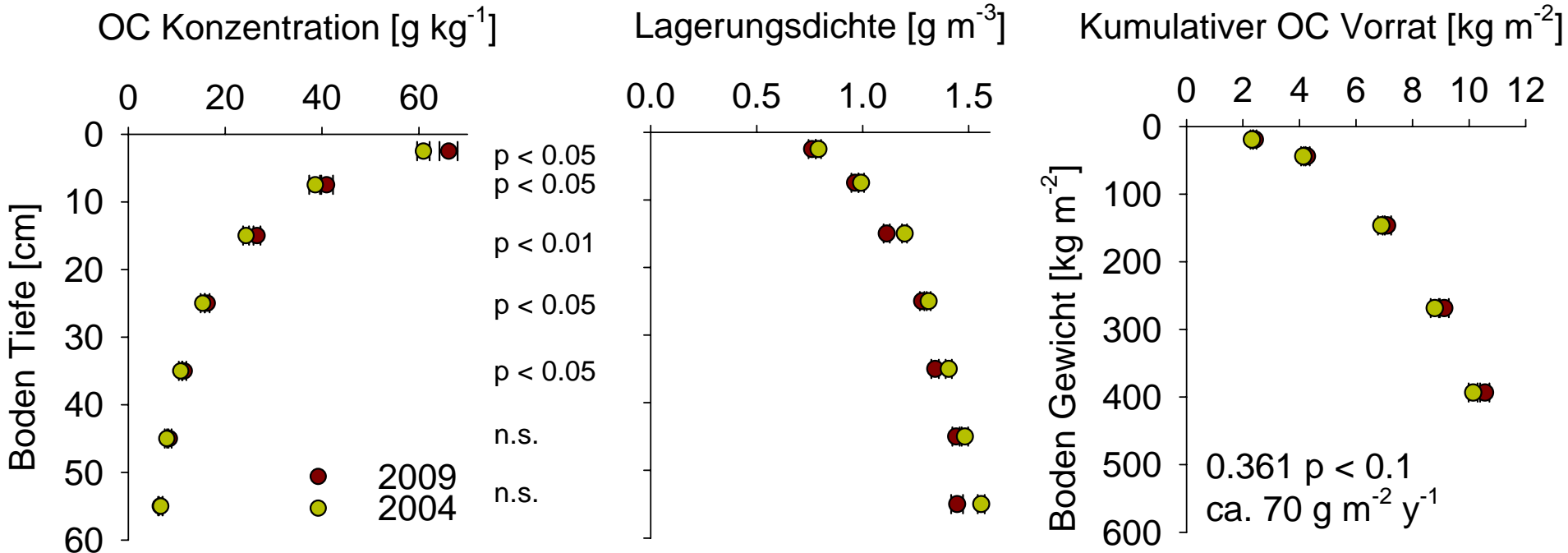
Jahr	Streueintrag (g C m ⁻² a ⁻¹)	R _{het} (Labor) (g C m ⁻² a ⁻¹)	Boden-C-Bilanz (g C m ⁻² a ⁻¹)
2002	426	437	-11
2003	427	395	32
2004	473	395	78
2005	453	443	10
2006	483	417	66
Mittel	452	417	35

Boden-C-Akkumulations-Rate II

Jahr	Streu- eintrag	R_{het} (Model)	Boden-C- Bilanz
	(g C m ⁻² a ⁻¹)	(g C m ⁻² a ⁻¹)	(g C m ⁻² y ⁻¹)
2000	401	432	-31
2001	411	408	3
2002	426	430	-4
2003	427	385	42
2004	473	437	36
2005	453	474	-21
2006	483	454	29
2007	451	497	-46
Mittel	439	440	1 (16)*

*(2002-2006)

Wiederholte Bodeninventur im Hainich 2004 und 2009



Schrumpf, in prep.

Mund (2004)

*(chronosequences/differences in
C-stocks)*

0 - 70 gC m⁻² a⁻¹

Kutsch et al. (2009)

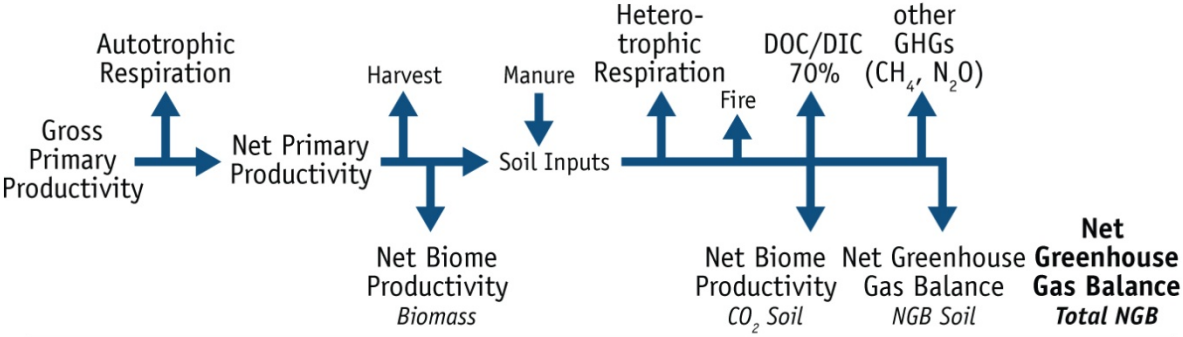
(C-fluxes)

1 - 35 gC m⁻² a⁻¹

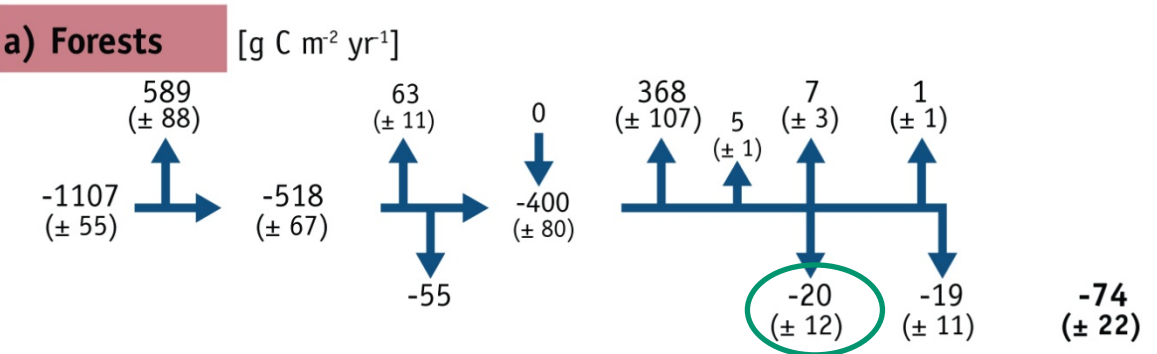
Schrumpf (2009)

(changes in C-stocks)

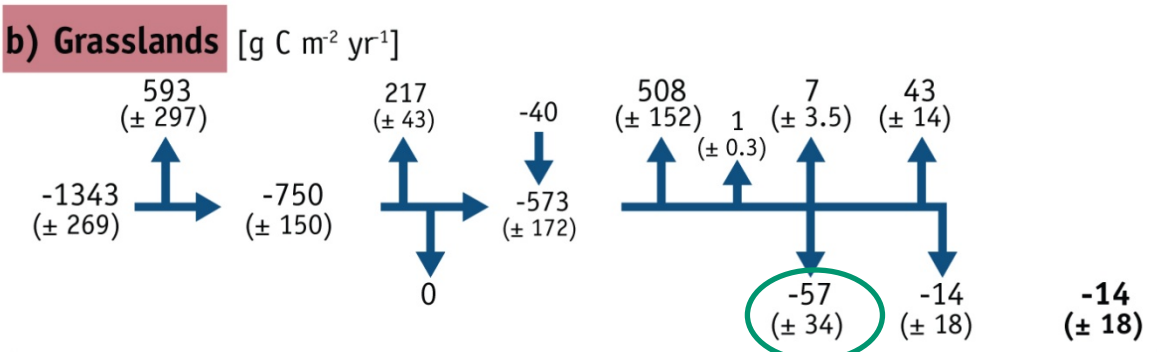
bis zu 70 gC m⁻² a⁻¹



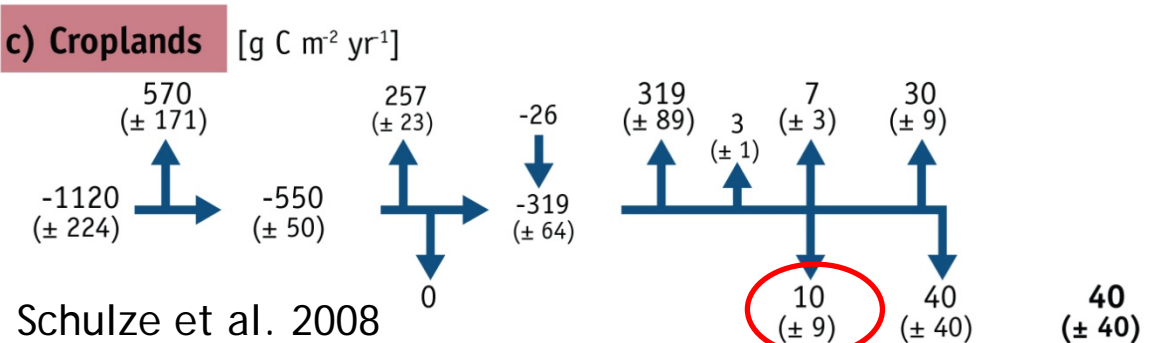
C-Bilanzen aus CarboEurope



Boden C Senke



Boden C Senke



Boden C Quelle

Das Ziel eines Boden-C-Waldmanagements muss sein:

- (1) C-Freisetzen aus dem Boden durch die Bewirtschaftung oder durch andere Störungen (z.B. Sturm) zu minimieren und
- (2) den C-Eintrag über die Streu kontinuierlich möglichst hoch zu halten.

Dies gelingt durch:

- standortsgerechte Baumarten
- stabile Bestandesstrukturen mit nachhaltig hohen Biomassevorräten (und hochwertigen, langlebigen Holzprodukten)
- nur kleinräumigen und kurzzeitigen Auflichtungen des Kronendaches durch die Stammnutzung
- Verzicht auf Bodenbearbeitung und Ganzbaumernte



Weitere Informationen unter:

Martina Mund [mund-schindek@versanet.de]

Marion Schrumpf [mschrumpf@bgc-jena.mpg.de]

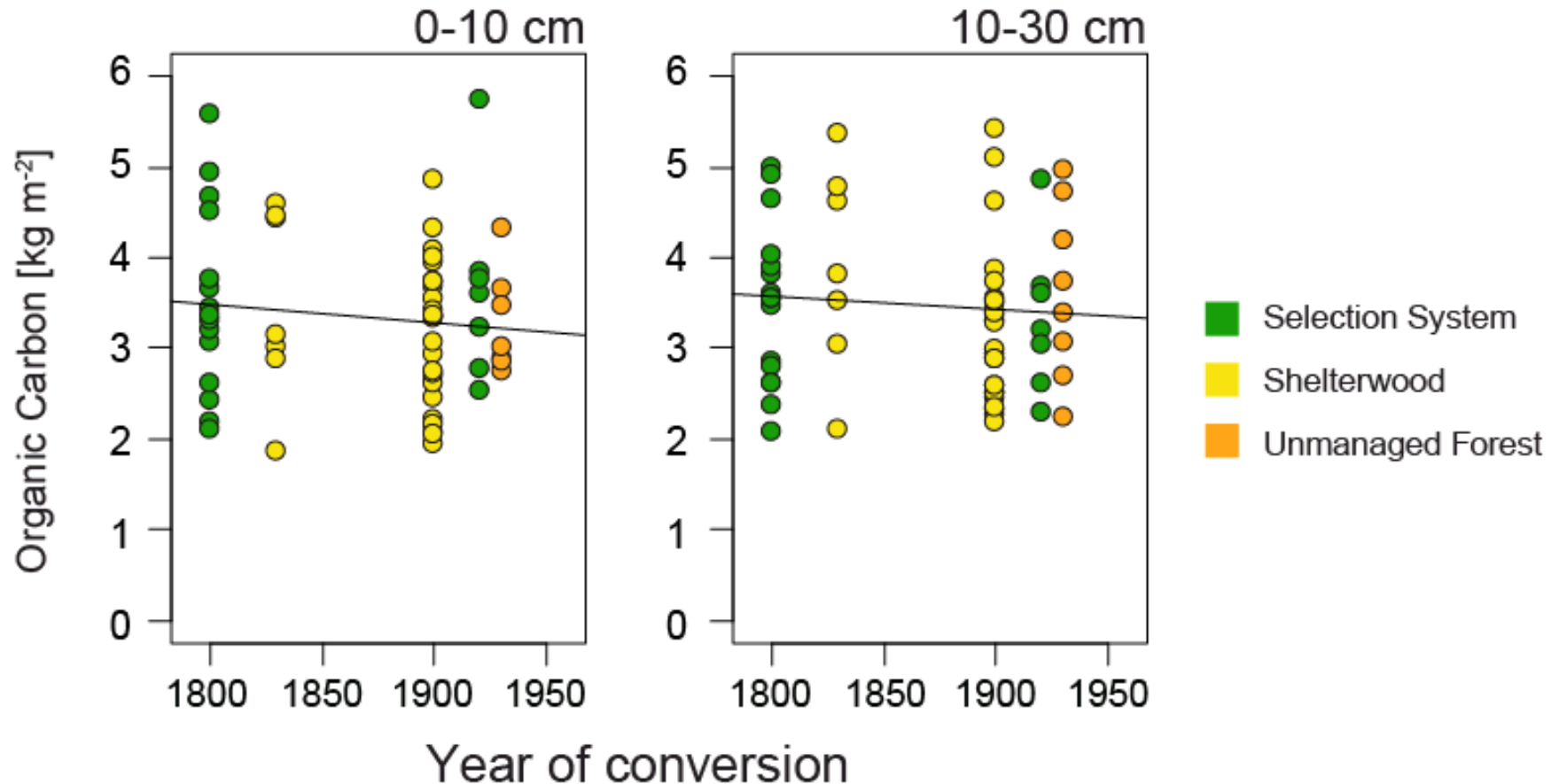
Ingolf Profft [ingolf.profft@forst.thueringen.de]

oder im Internet unter:

www.waldundklima.net



C-Vorräte in Böden 60-200 Jahre nach der Umwandlung von Mittelwald in Hochwald

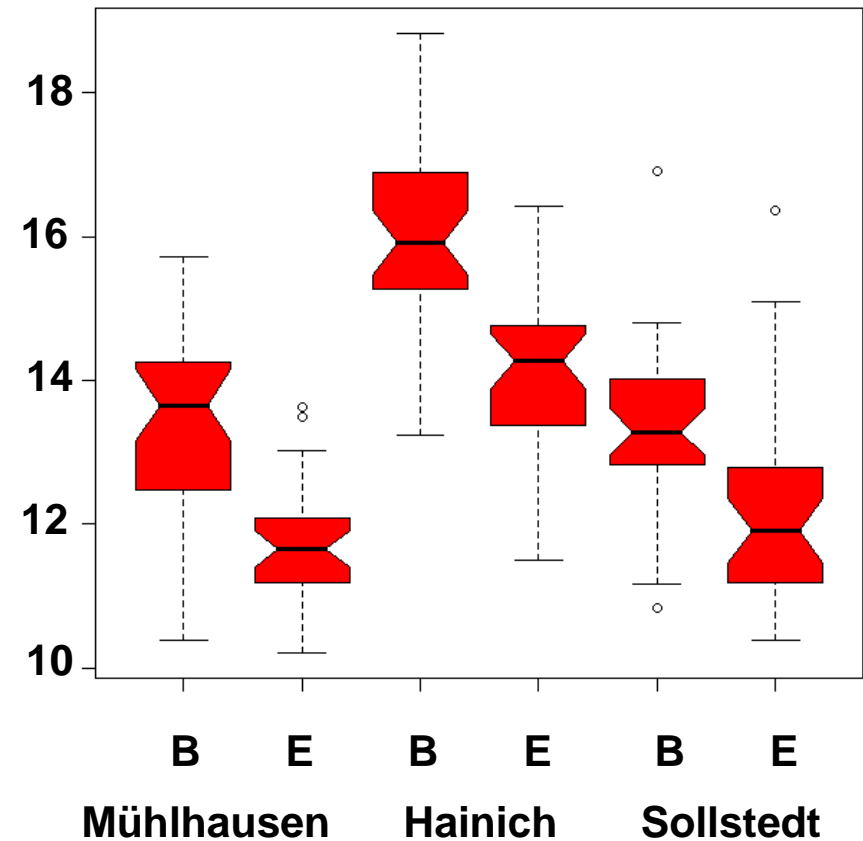
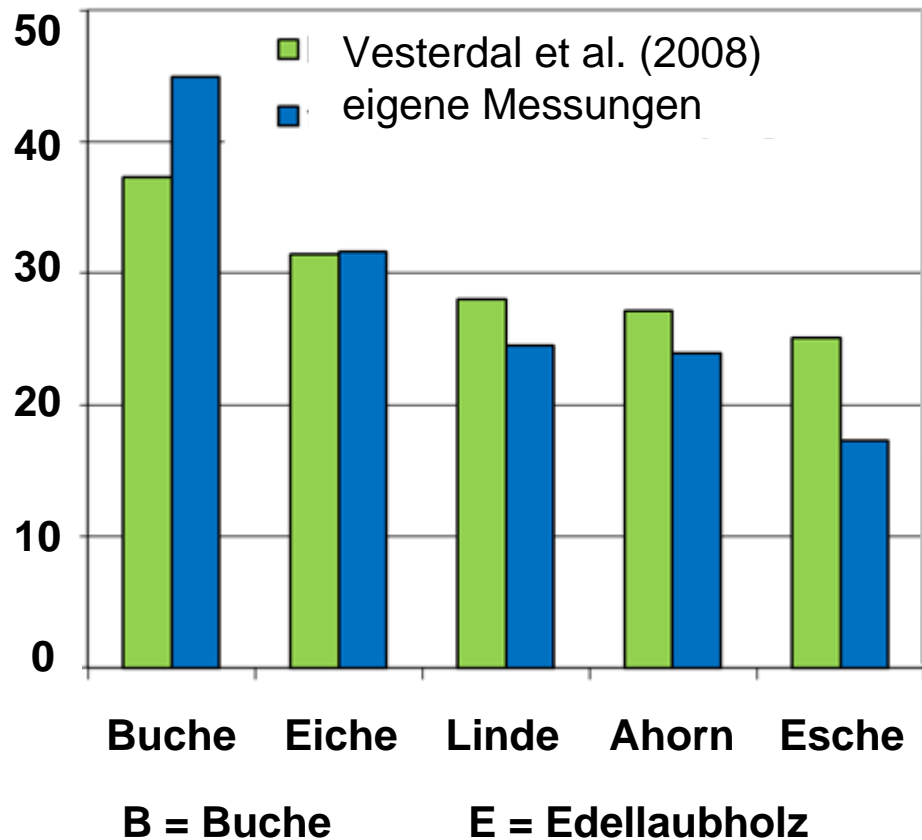


Wäldchen, pers. comm.



Schöning et al. 2009

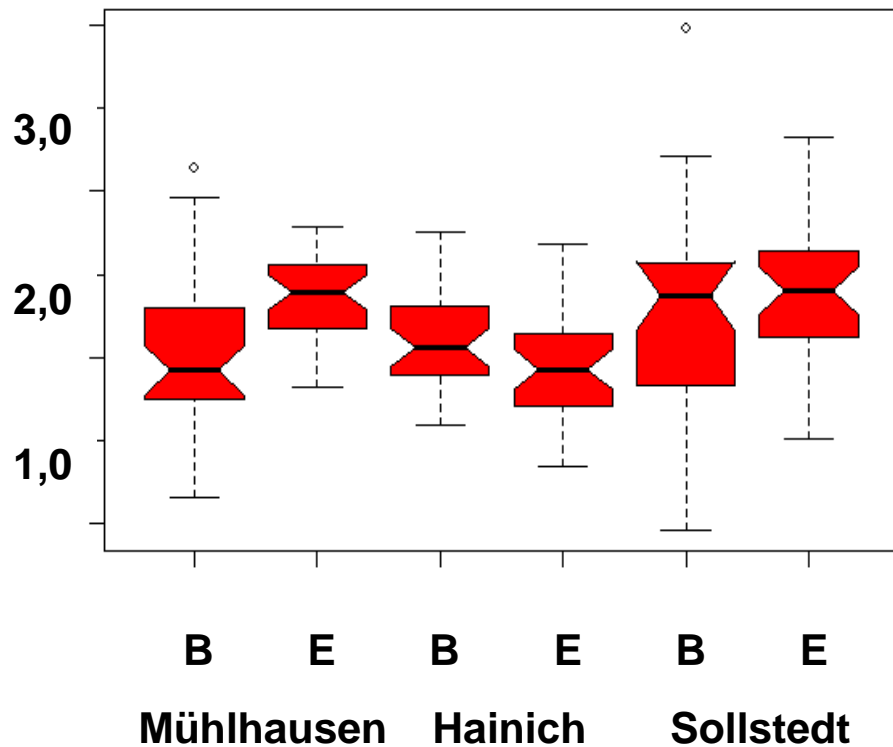
C/N-Verhältnis in der organischen Auflage und Mineralboden 0-4 cm





Schöning et al. 2009

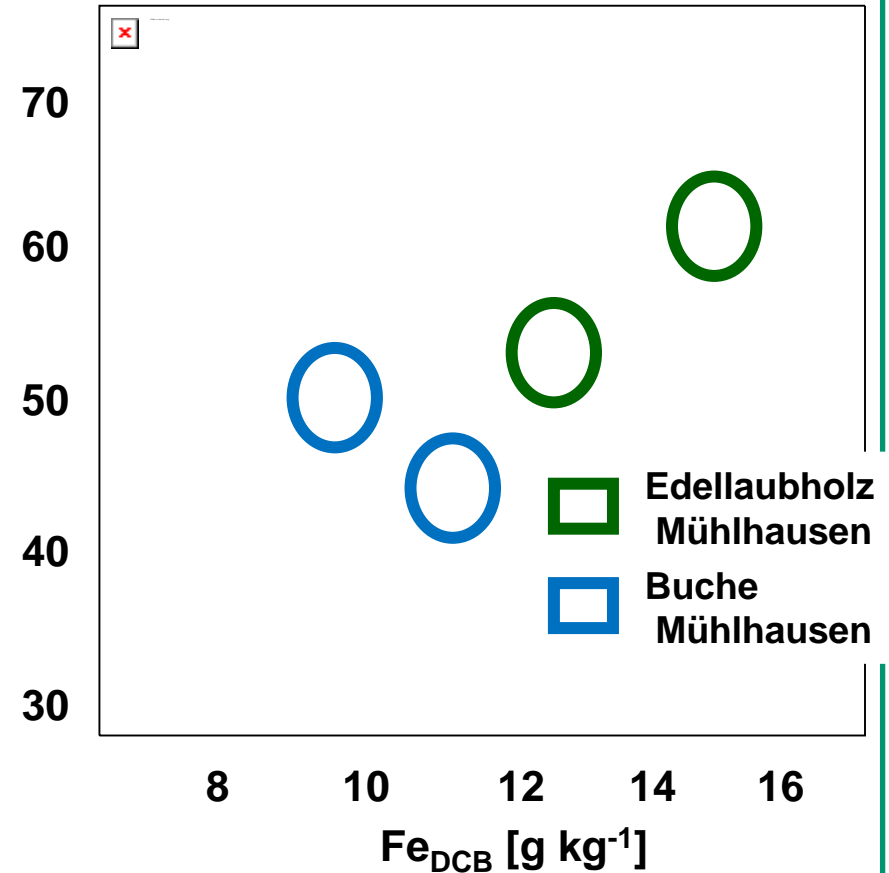
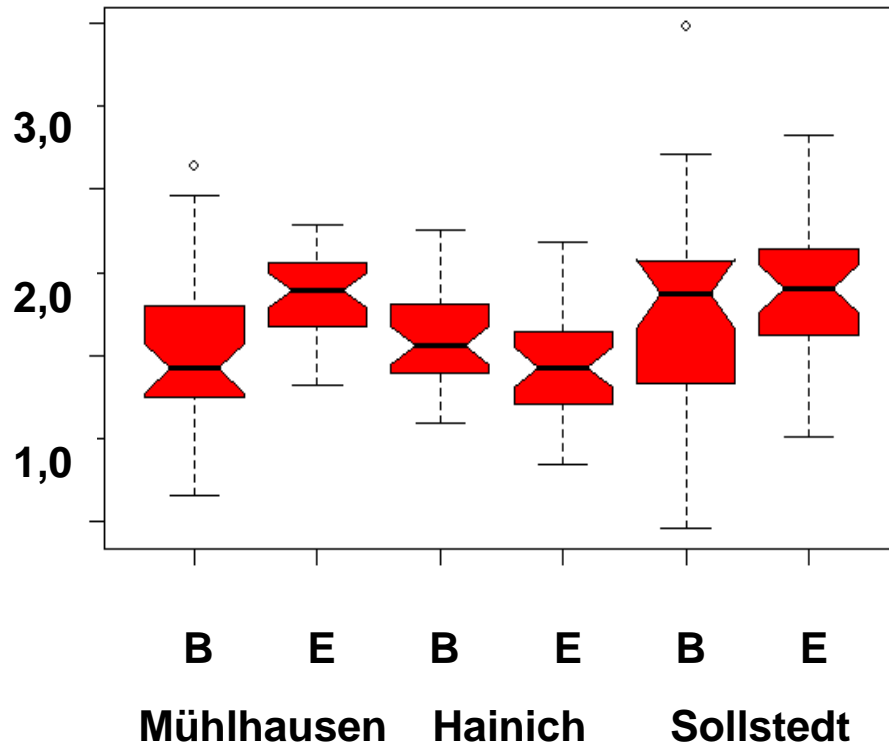
C-Vorräte im Mineralboden 0-4 cm [kg m⁻²]





Schöning et al. 2009

C Konzentration in g kg^{-1} vs. Fe_{DCB}



Mittlere Boden-C-Vorräte bei unterschiedlicher Waldnutzung

