

# Veränderungen der C-Vorräte im Boden bei forstlicher Nutzung

Martina Mund<sup>1</sup>, **Ingolf Profft<sup>2</sup>**, Marion Schrumpf<sup>1</sup>,  
Ingo Schöning<sup>3</sup>, Jana Wäldchen<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena

<sup>2</sup>Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei, Gotha

<sup>3</sup>Friedrich-Schiller-Universität, Jena

Makroklima

Bestandesklima

**Streu-  
fall**

$\text{CO}_2$

**Wurzel-  
streu**

**Erosion**

**Boden-C-Vorrat**

**DOC**

Makroklima

Bestandesklima

**Streu-  
fall**

$\text{CO}_2$

**Wurzel-  
streu**

**Erosion**

**Boden-C-Vorrat**  
Chemische, physikalische &  
biologische Stabilisierung  
(Ton, pH, Wasser, Nährstoffe)

**DOC**

Makroklima

Forstliche  
Bewirtschaftung

Bestandesklima

Streu-  
fall

CO<sub>2</sub>

Wurzel-  
streu

Erosion

Boden-C-Vorrat  
Chemische, physikalische &  
biologische Stabilisierung  
(Ton, pH, Wasser, Nährstoffe)

DOC



## Streueintrag

Phenylpropane  
Lignin

Gallsäurederivate  
Gerbstoffe

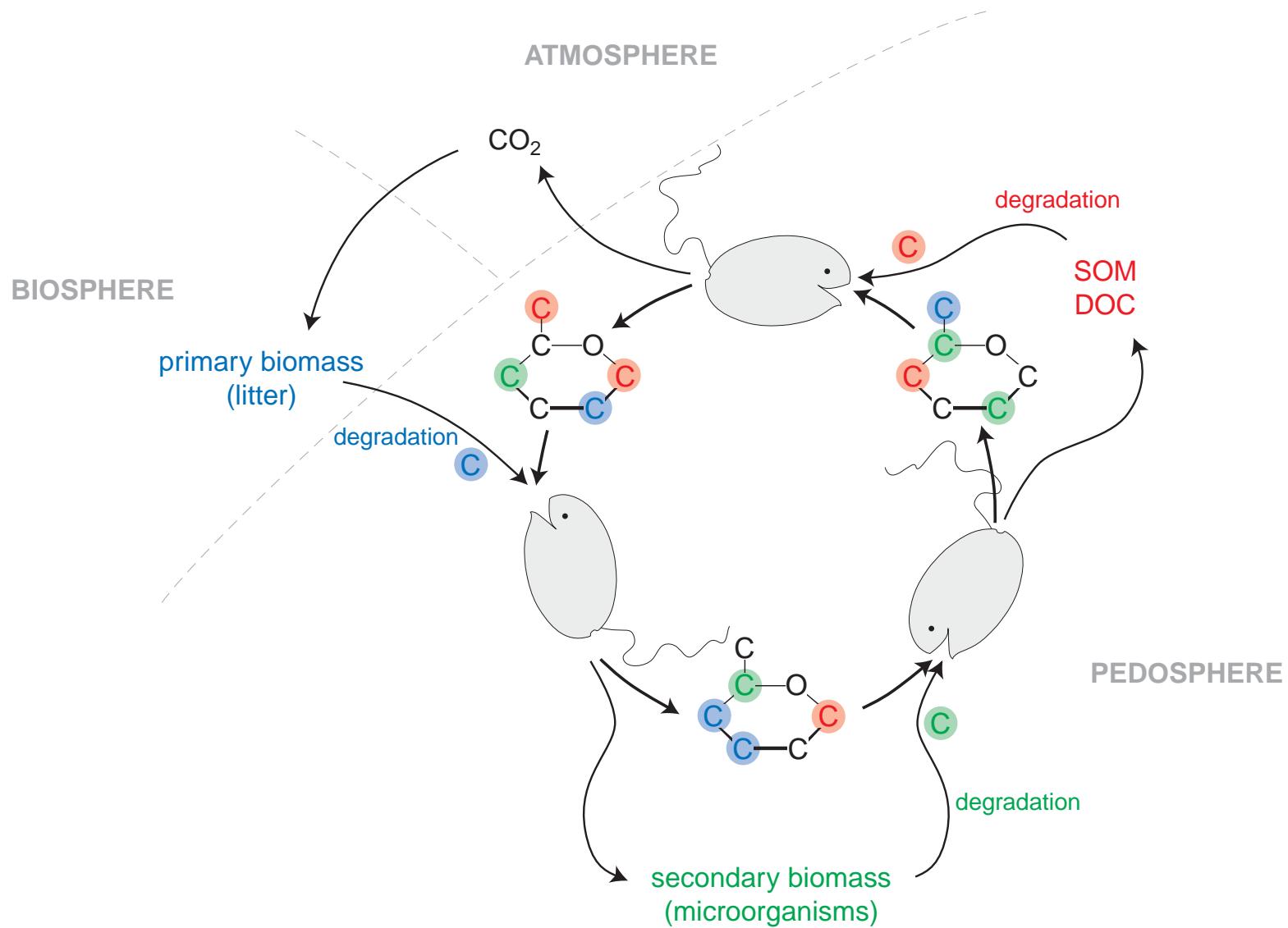
Kohlenhydrate  
Zucker, Zellulosen, Chitin

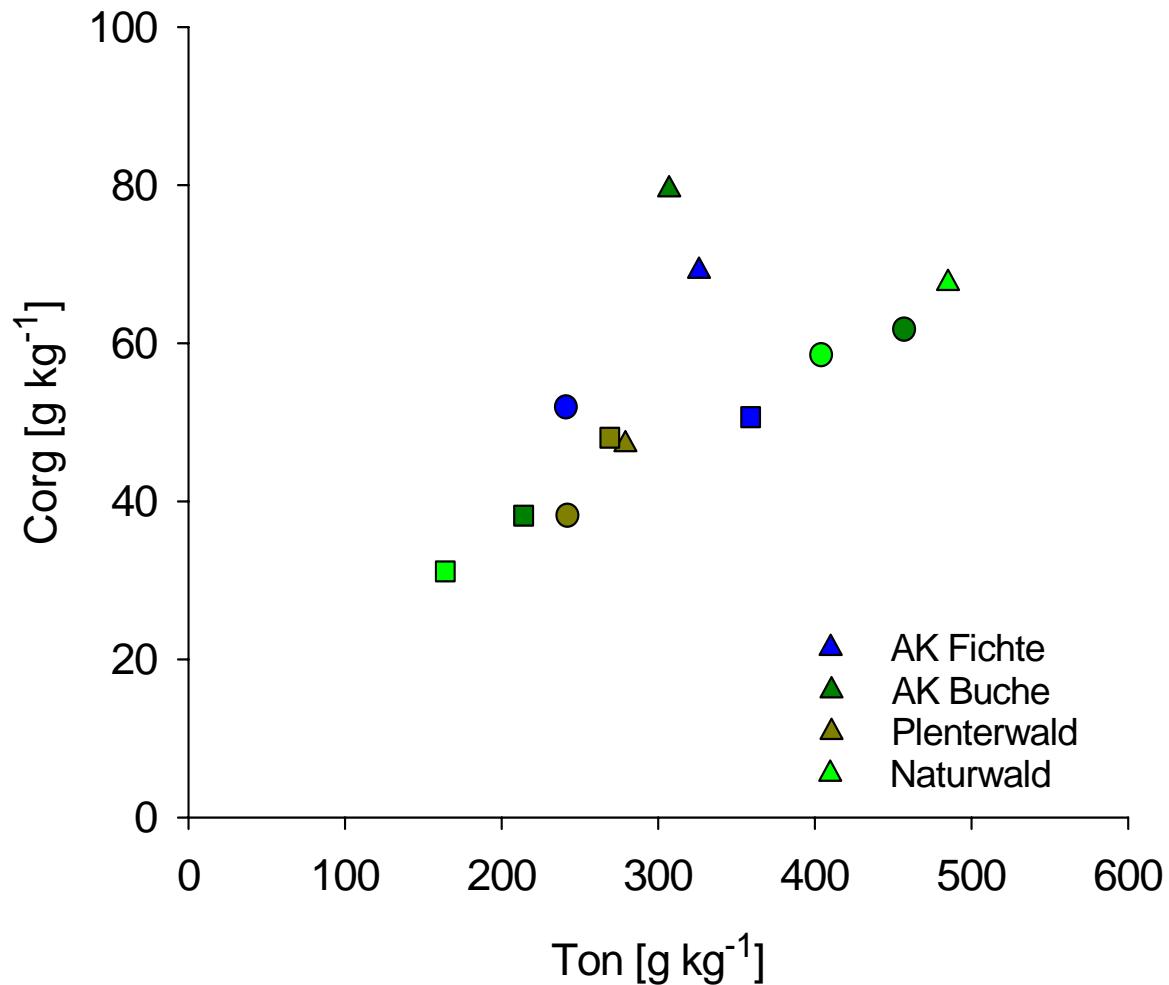
Aminosäuren  
Proteine

Lipide und Terpenoide  
Fette, Wachse, Phospholipide



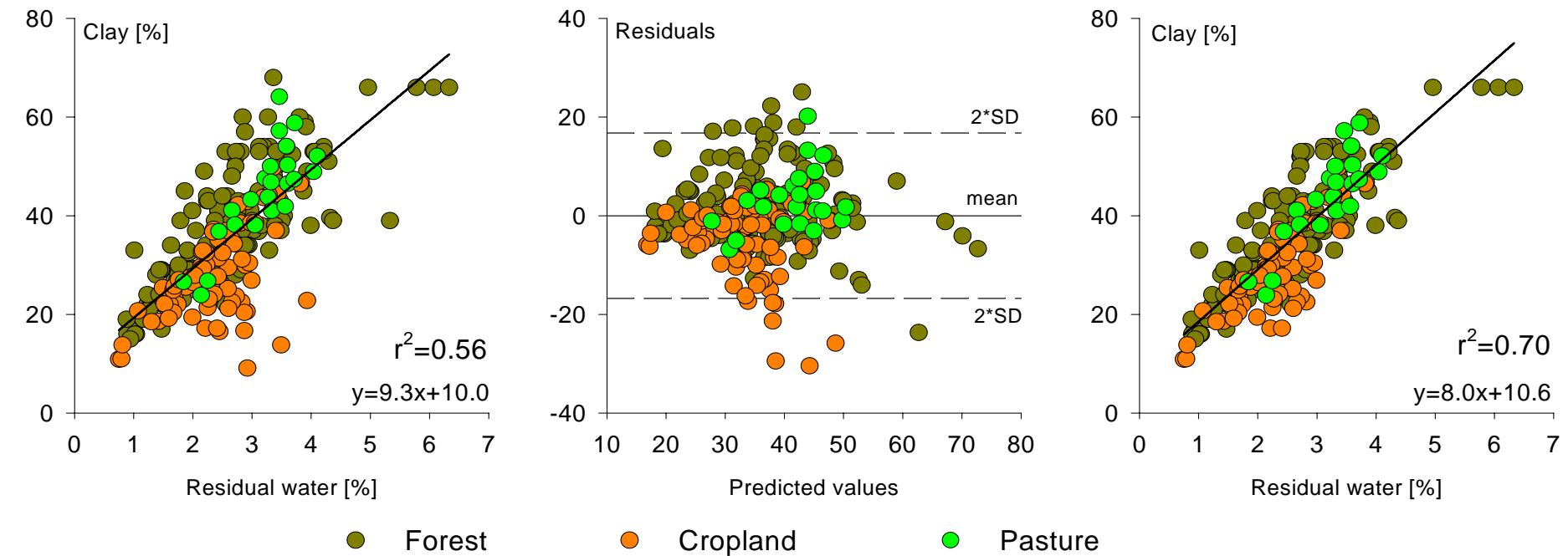
$\text{CO}_2$





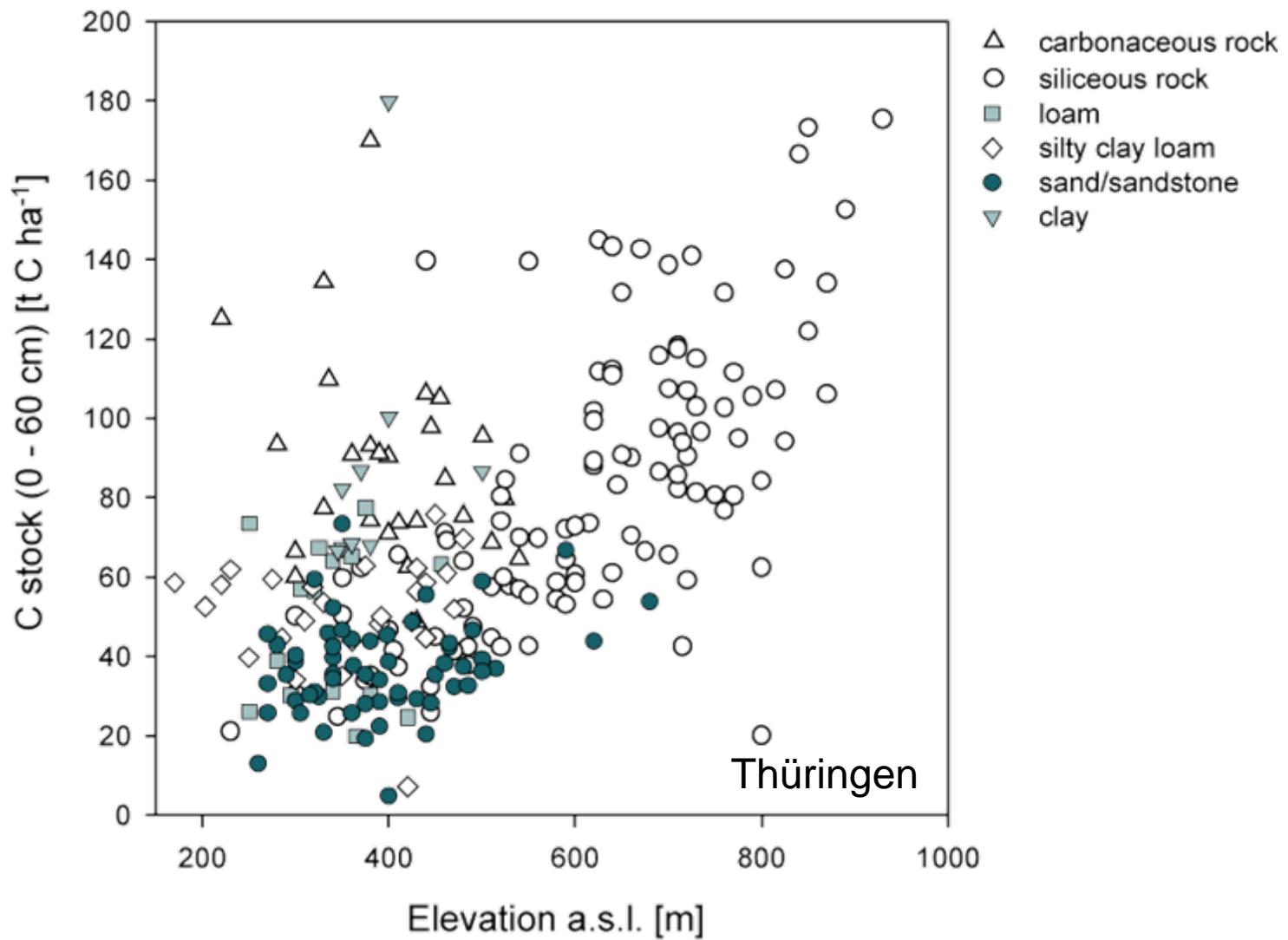
Schrumpf, unveröffentlicht

Einfluss von Bodeneigenschaften überlagert Bewirtschaftungseffekt



Wäldchen, in prep. 2009

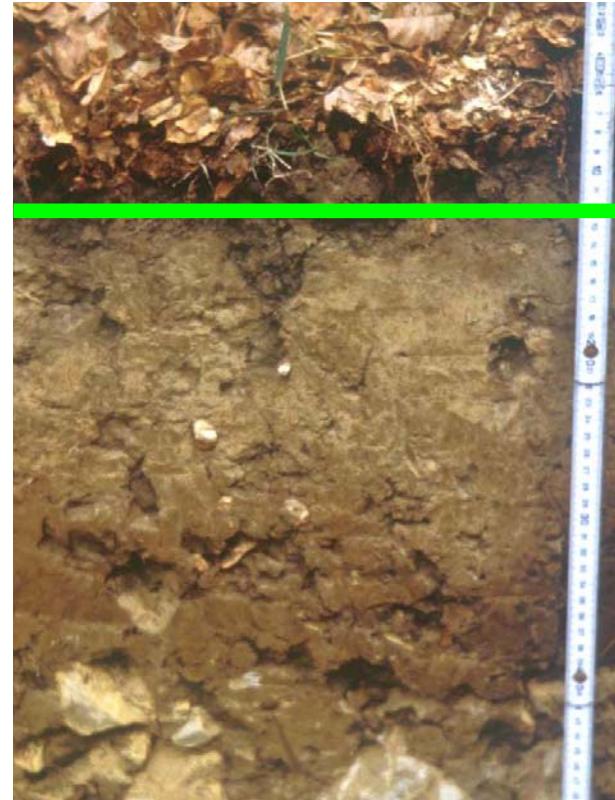
Tongehalt lässt sich über Wassergehaltsdifferenz zwischen getrocknetem Boden bei 40°C und 100°C abschätzen





Org. Auflage:  
nur chem.  
Stabilisierung

Mineralboden:  
chem. + phys.  
Stabilisierung

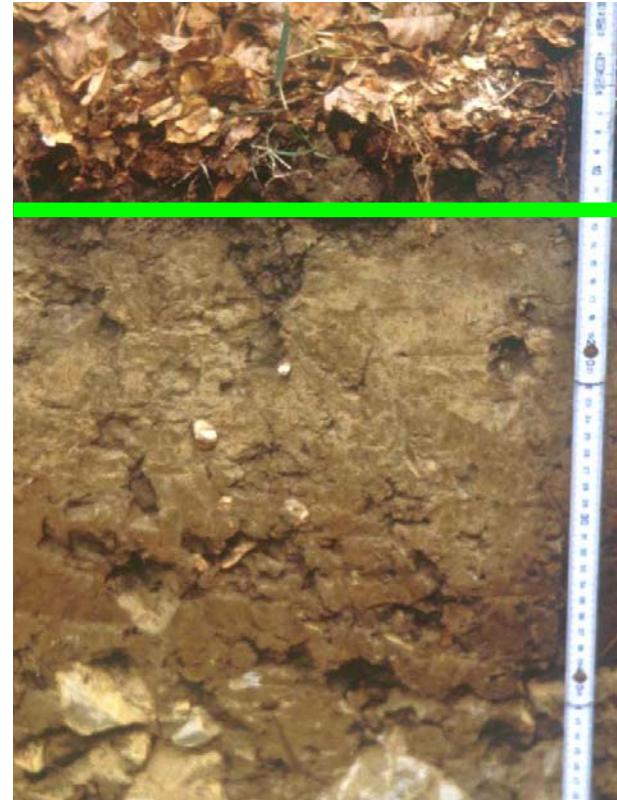


Podsolige Braunerde unter  
Fichte, Wetzstein, Thüringen  
(Foto: Schrumpf)

Braunerde-Terra fusca unter  
Buche (Es, Ah), Langula,  
Thüringen  
(Foto: Mund)

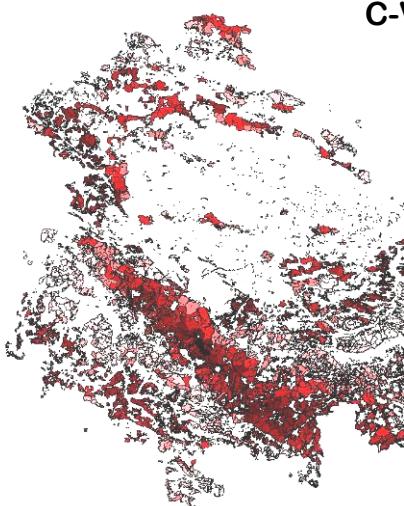


Org. Auflage:  
nur chem.  
Stabilisierung



Mineralboden:  
chem. + phys.  
Stabilisierung

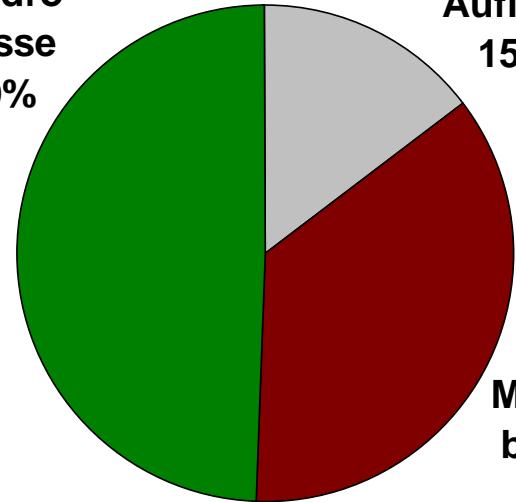
- \* Sensitiver gegenüber Baumartenwahl und allen biotischen & abiotischen Veränderungen
- \* Sehr hohe zeitliche und räumliche Variabilität



C-Vorräte im Mineralboden

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

Dendro-  
masse  
49%



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



C-Vorräte in der  
organischen Auflage  
 $28 \pm 10 \text{ t C ha}^{-1}$

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



Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung		
Naturwald in Plantage		
Kahlschlag		
Stammholz-/ Ganzbaumernte		
Bodenbearbeitung		
<del>Feuermanagement</del>		
<del>Düngung</del>		
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		

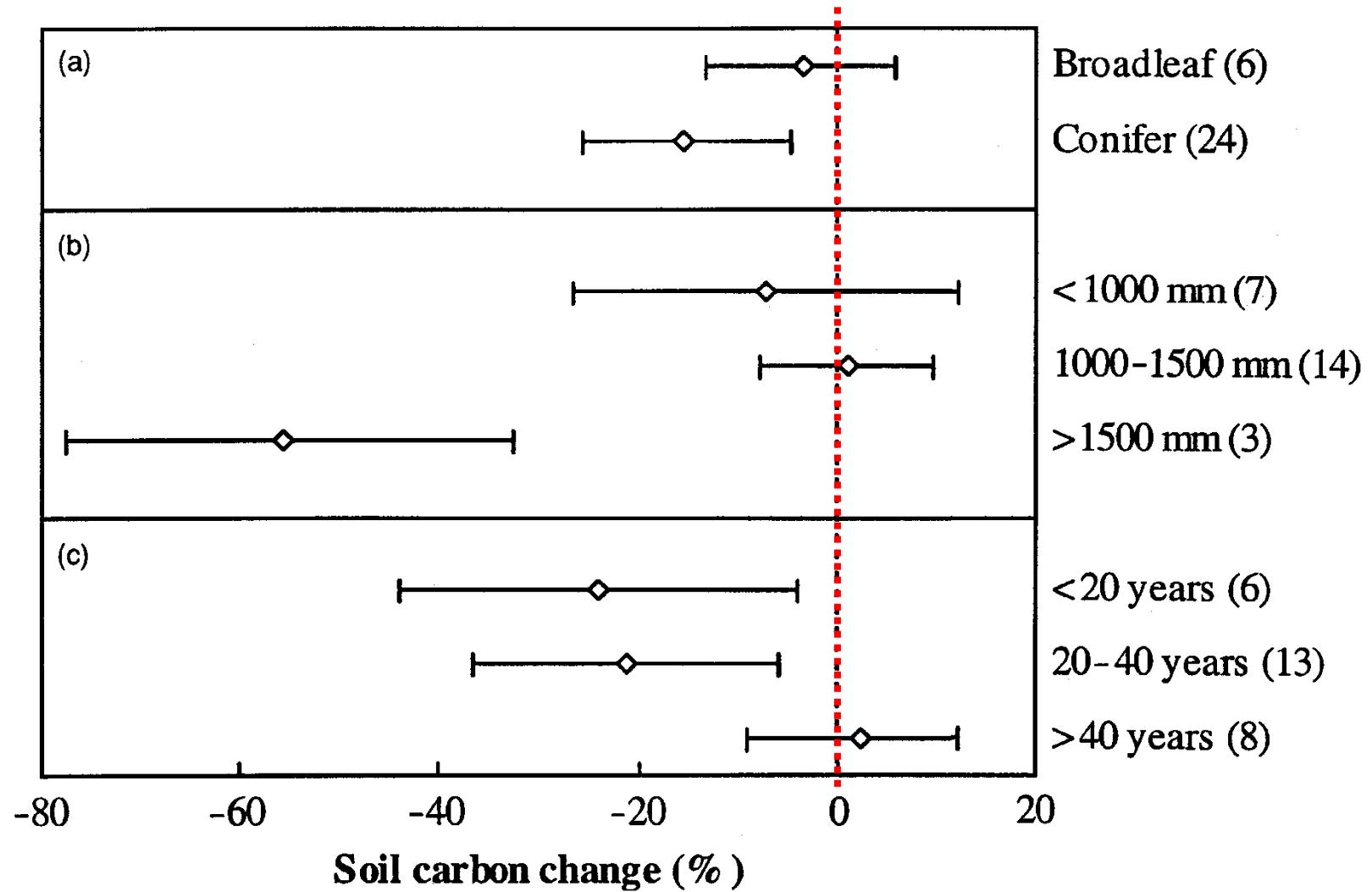
(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

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.)

## Review

### Umwandlung Primärwald in Plantage



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.)

## Erläuterung

### Kahlschlag

kontinuierliche Anlieferung von Streu wird unterbrochen

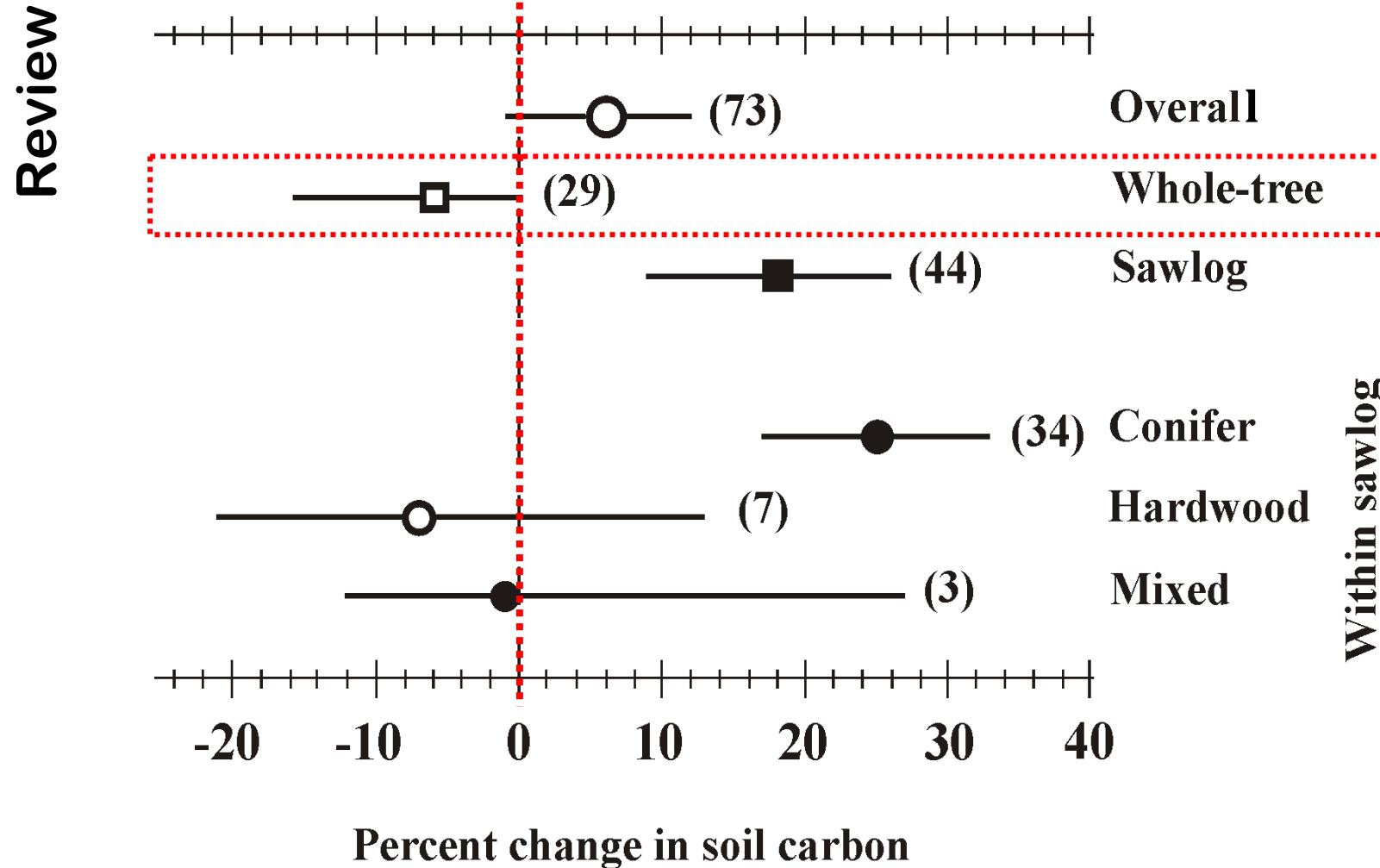
höhere Lichtintensität und höhere Temperatur an der Bodenoberfläche führen zu höherer Bodenaktivität

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)	Bestandesstabilität & Produktivität ↑	- / (+ kurzzeitig)
(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.)

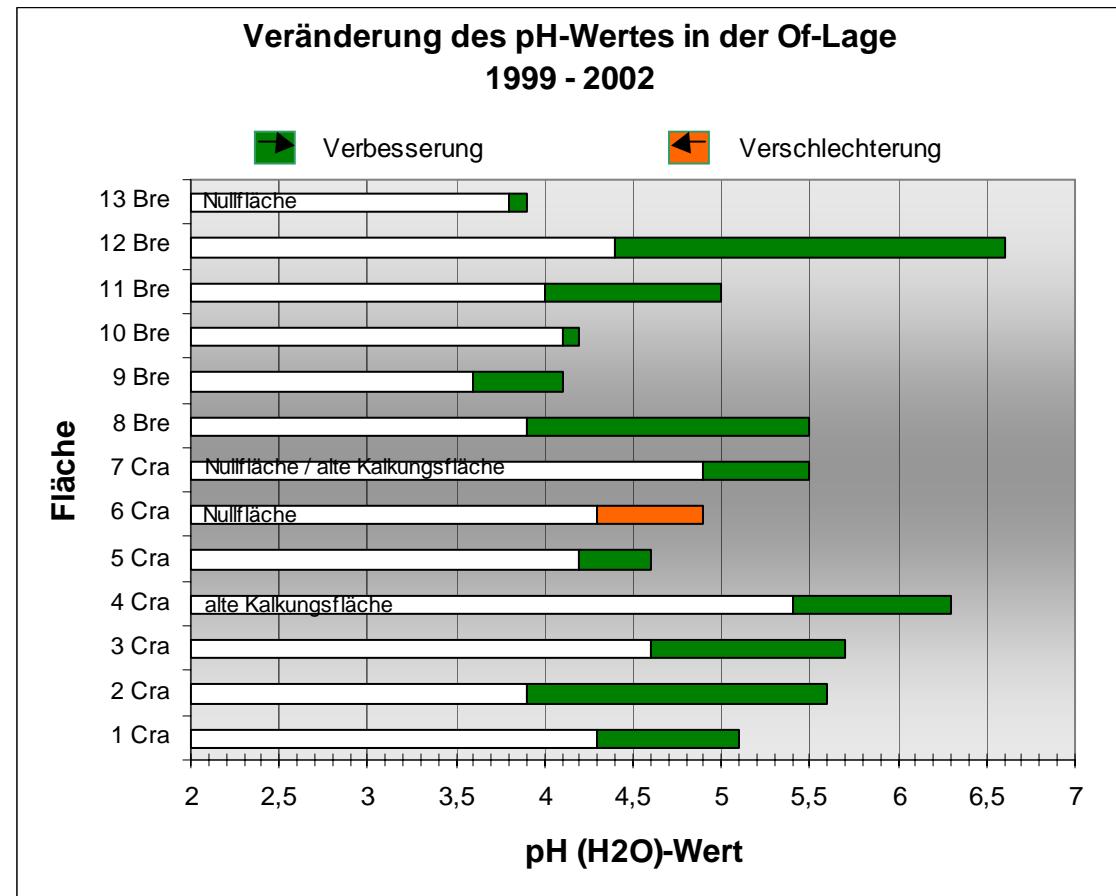
## Erläuterung

### Kalkung

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 Bodenlebewesen und dadurch Anregung der biologischen Aktivität



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

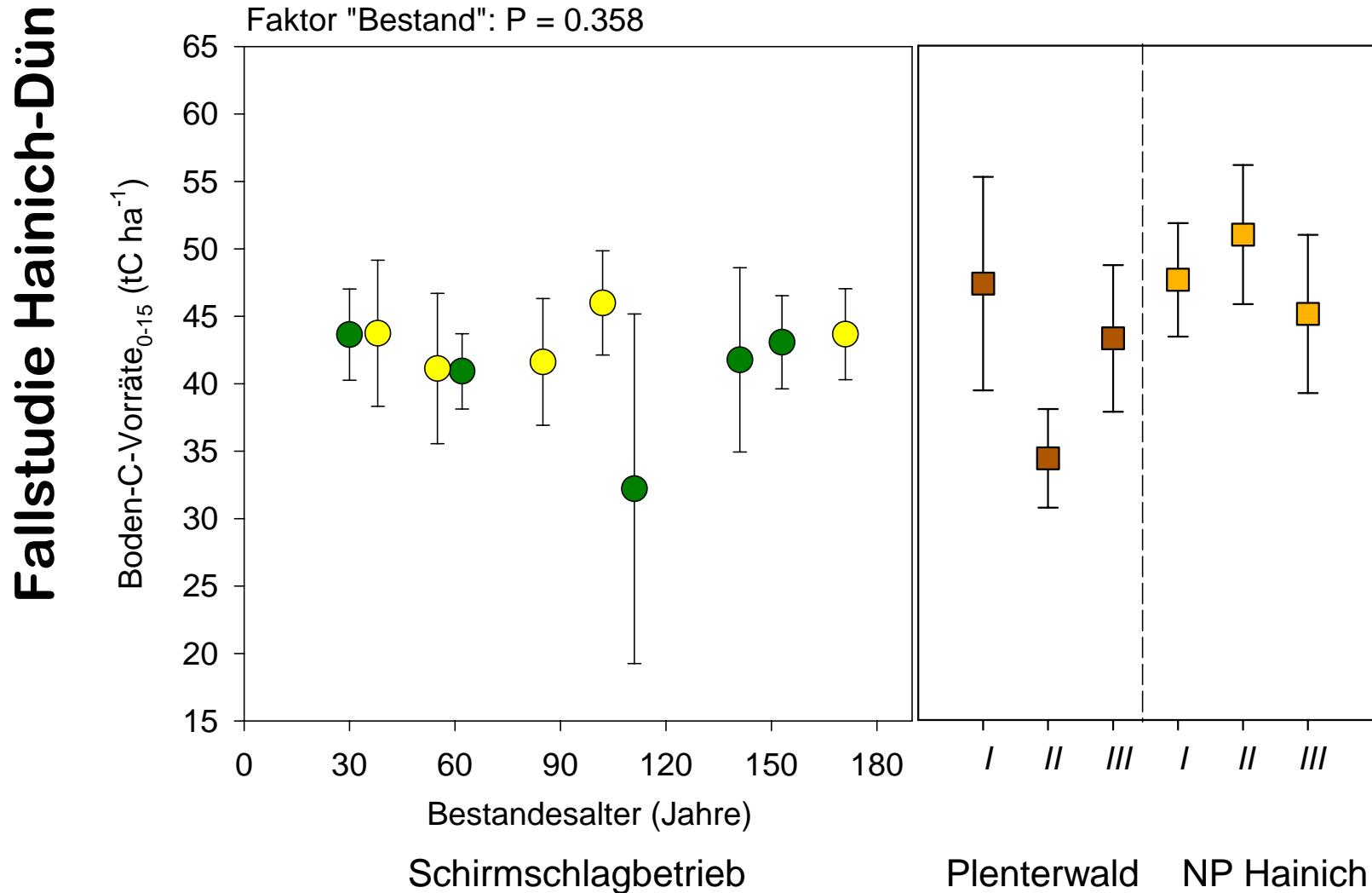
(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

Forstliche Maßnahme	Org. Auflage	Mineralboden
Aufforstung	++	+ / -
Naturwald in Plantage	--	- / 0
Kahlschlag	--	- / (+ kurzzeitig)
Stammholz-/ Ganzbaumernte	+ / -	+ / -
Bodenbearbeitung	--	- / (+ 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.)

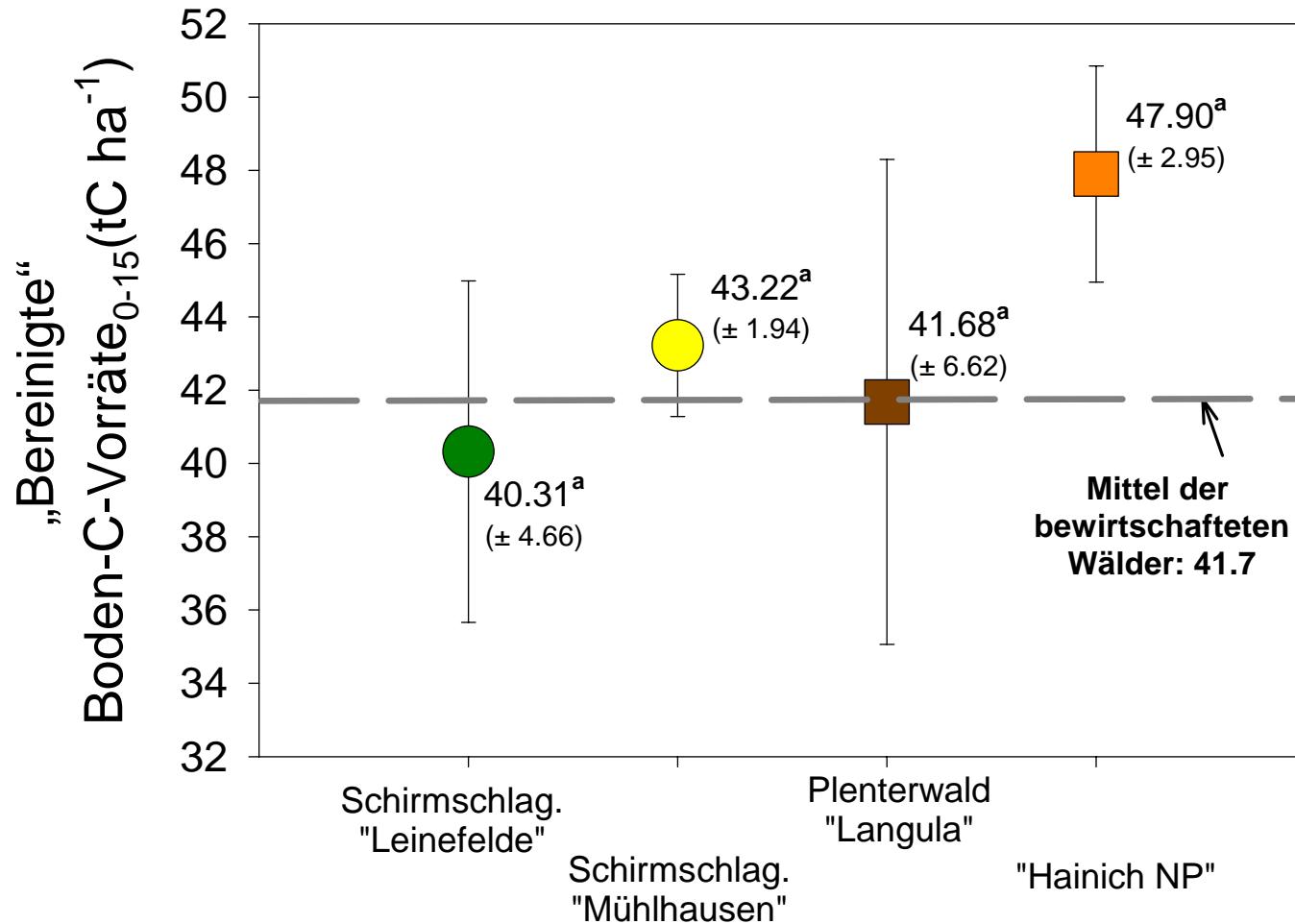
## Boden-C-Vorräte (0-15 cm)

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

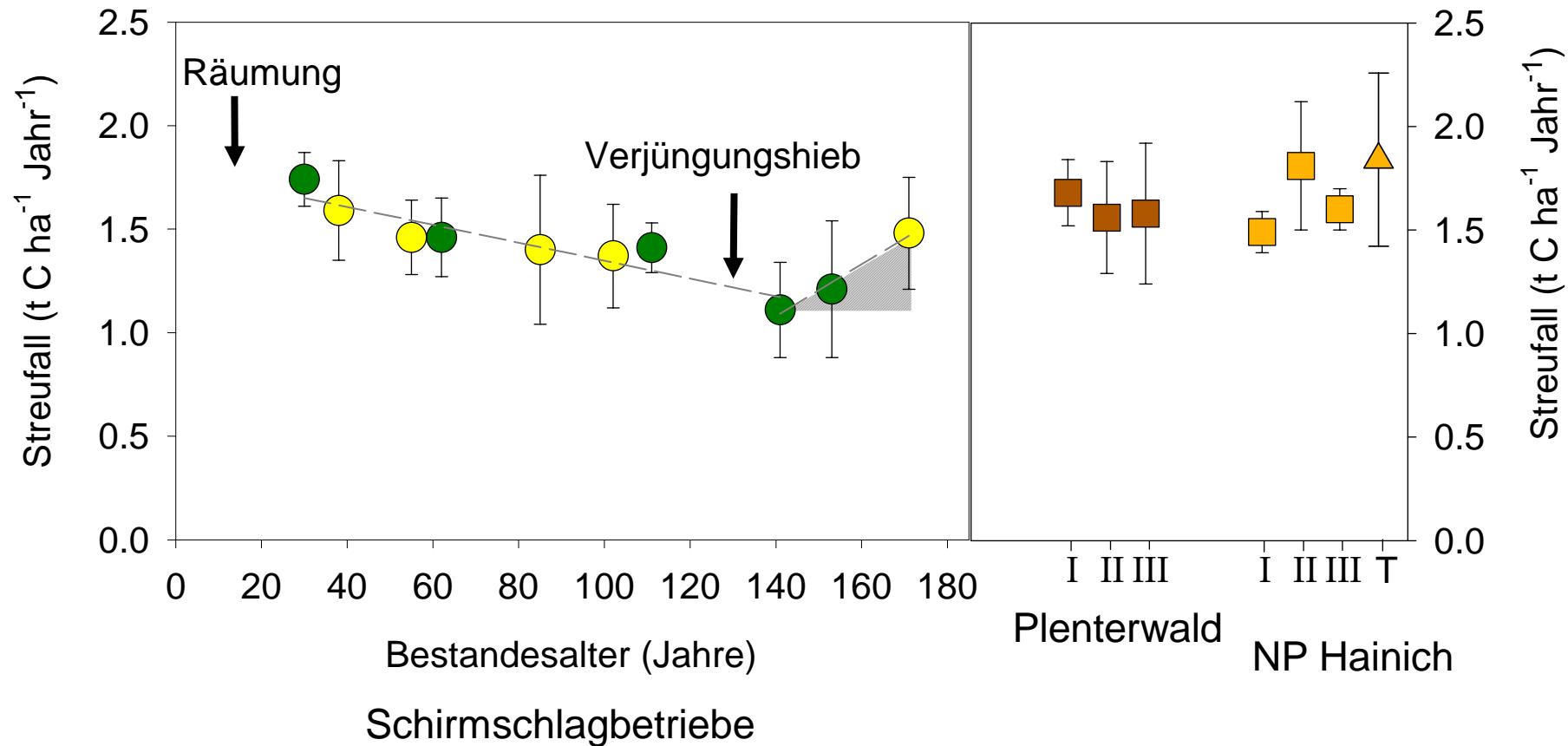


## Mittlere Boden-C-Vorräte (Oberboden 0-15 cm)

### Fallstudie Hainich-Dün



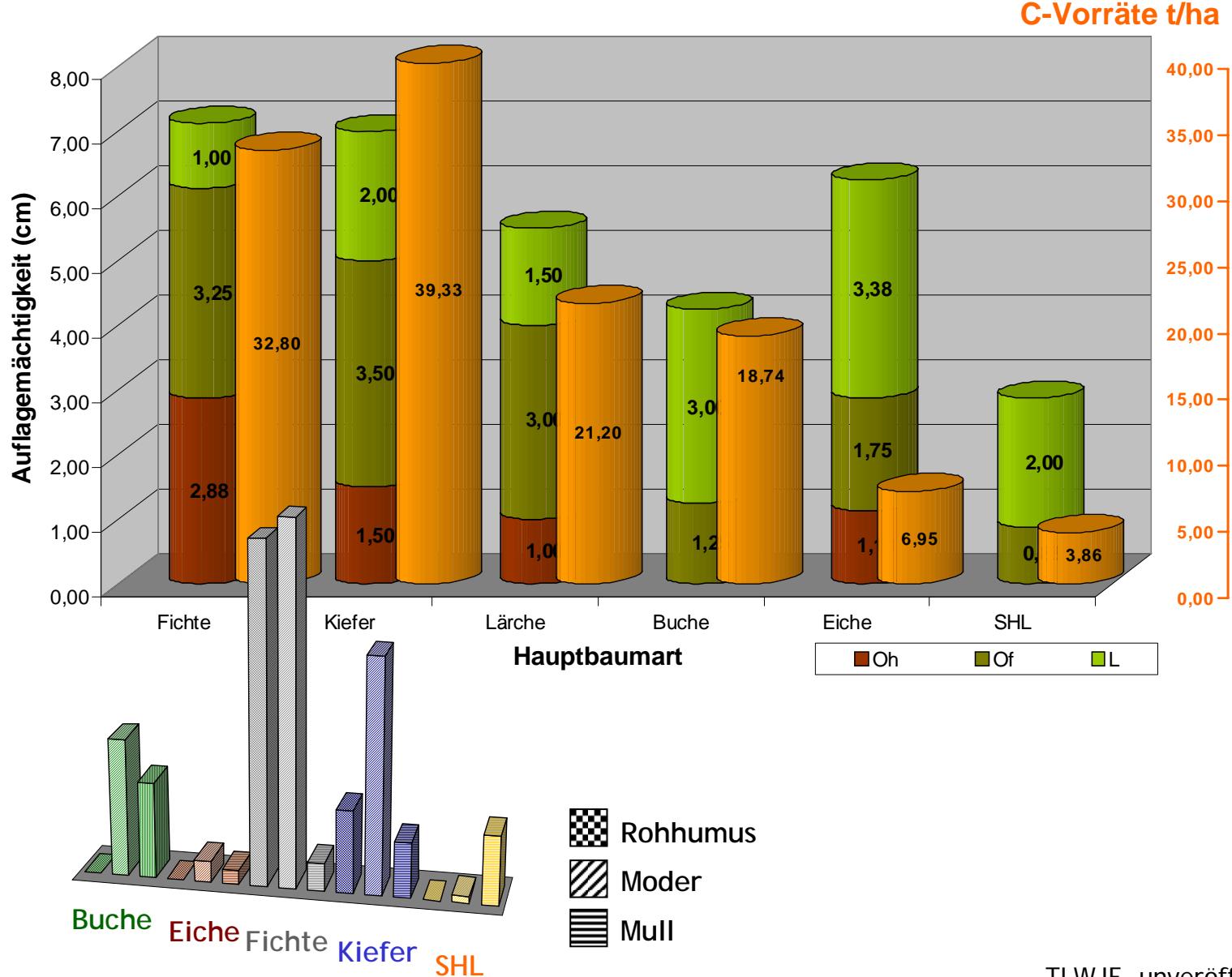
## Jährlicher Blattstreufall, Buchenwald



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	--	

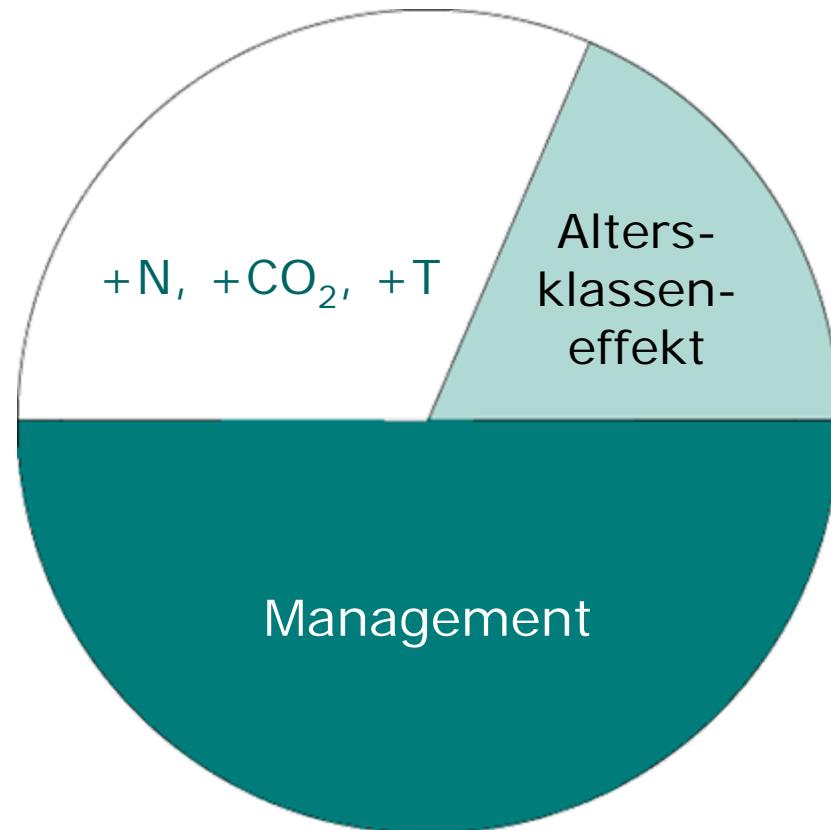
(Mund & Schulze 2005, Mund 2004, Jandl et al 2007, Schrumpf pers. comm., Schöning pers. comm., Wäldchen pers. comm.)

Beiträge verschiedener Einflussfaktoren

zur Änderung der Holzbiomasse

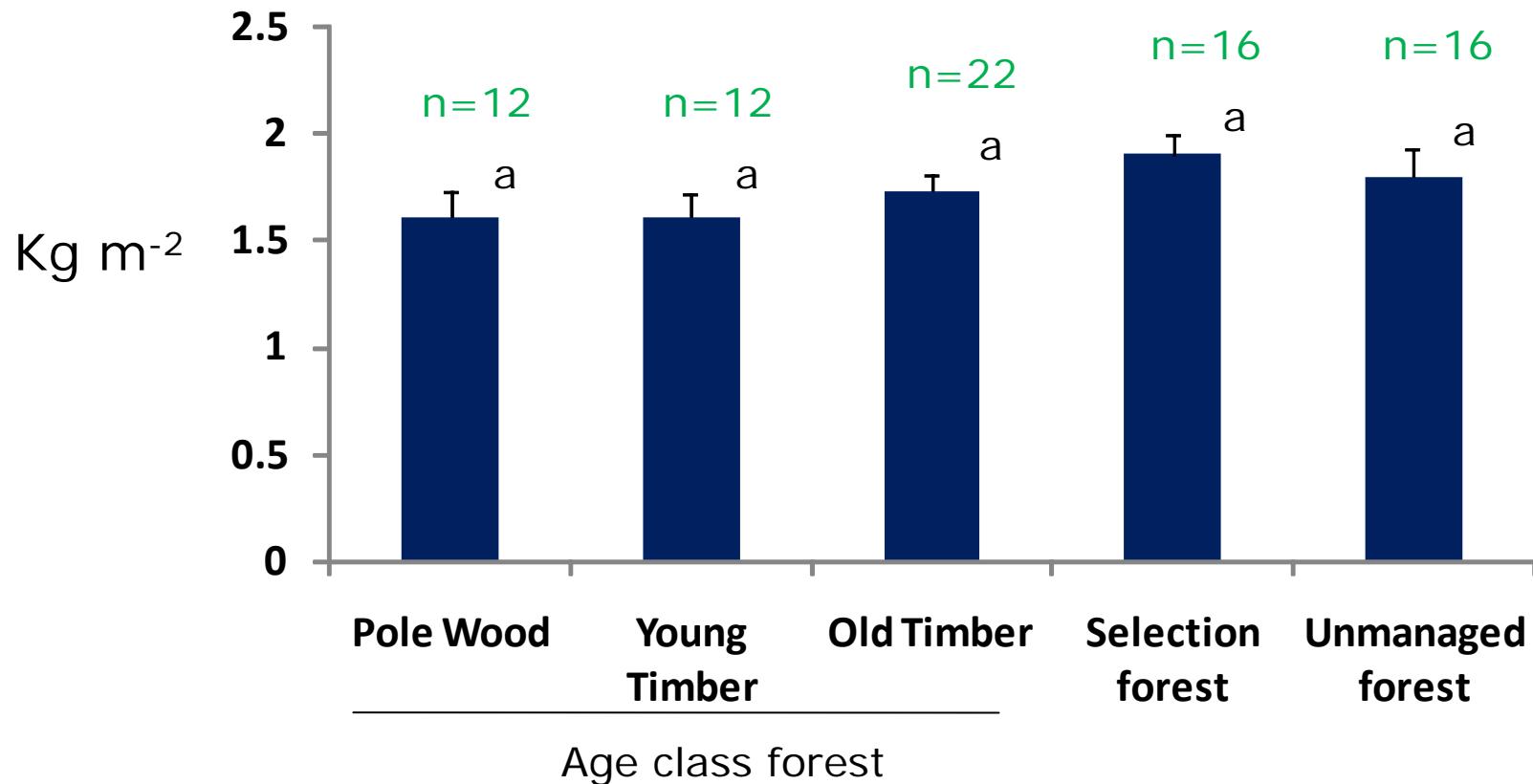
im Thüringer Landeswald

1993 - 2000



## Mittlere Boden-C-Vorräte bei unterschiedlicher Waldnutzung

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



## Boden-C-Akkumulations-Rate I

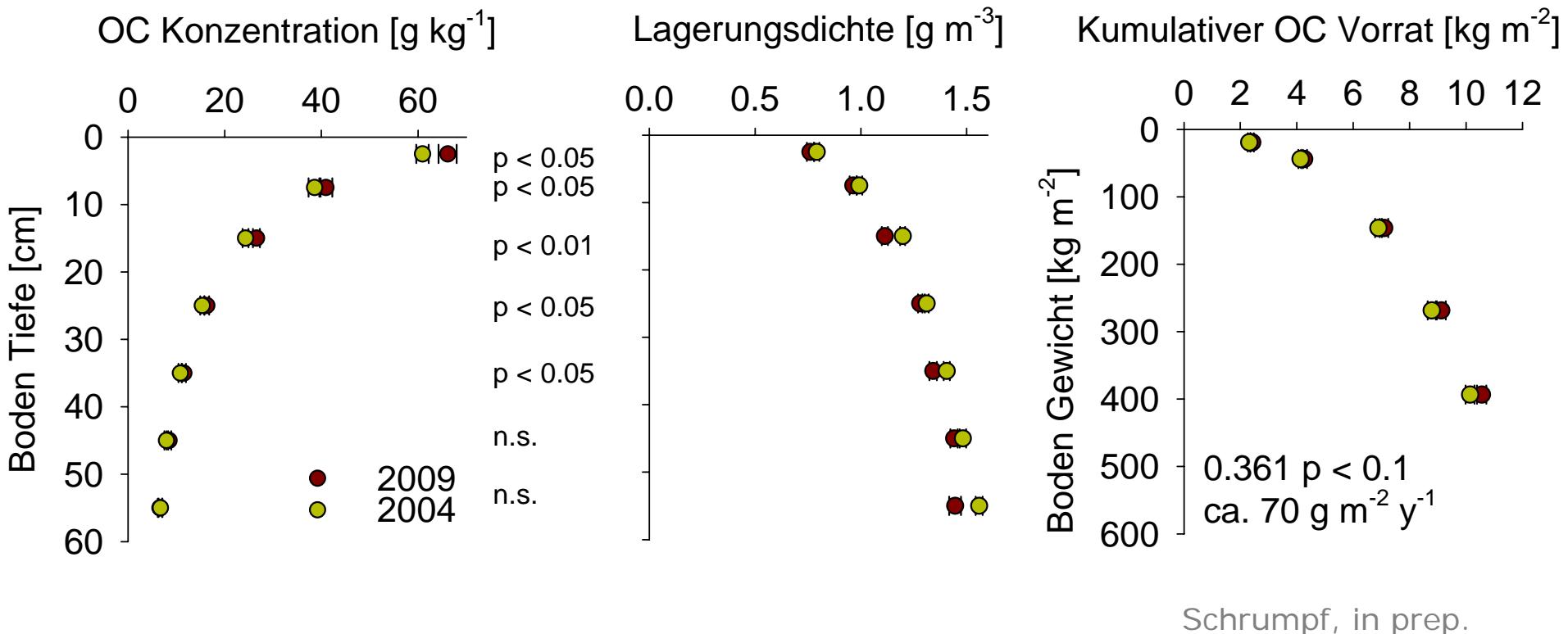
Jahr	Streueintrag	$R_{het}$ (Labor)	Boden-C-Bilanz
	(g C m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )	(g C m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )	(g C m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )
2002	426	437	-11
2003	427	395	32
2004	473	395	78
2005	453	443	10
2006	483	417	66
<b>Mittel</b>	<b>452</b>	<b>417</b>	<b>35</b>

## Boden-C-Akkumulations-Rate II

Jahr	Streu- eintrag	$R_{het}$ <b>(Model)</b>	Boden-C- Bilanz
	(g C m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )	(g C m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )	(g C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )
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
<b>Mittel</b>	<b>439</b>	<b>440</b>	<b>1 (16)*</b>

\*(2002-2006)

## Wiederholte Bodeninventur im Hainich 2004 und 2009



Schrumpf, in prep.

**Mund (2004)**

*(chronosequences/differences in  
C-stocks)*

**0 - 70 gC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>**

**Kutsch et al. (2009)**

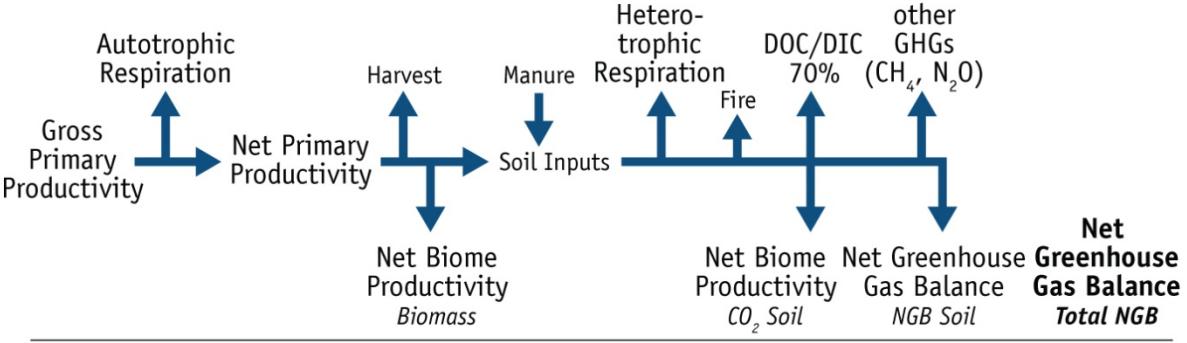
*(C-fluxes)*

**1 - 35 gC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>**

**Schrumpf (2009)**

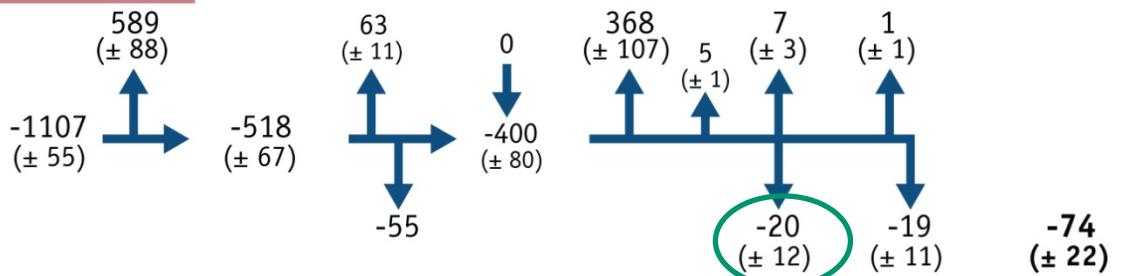
*(changes in C-stocks)*

**bis zu 70 gC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>**



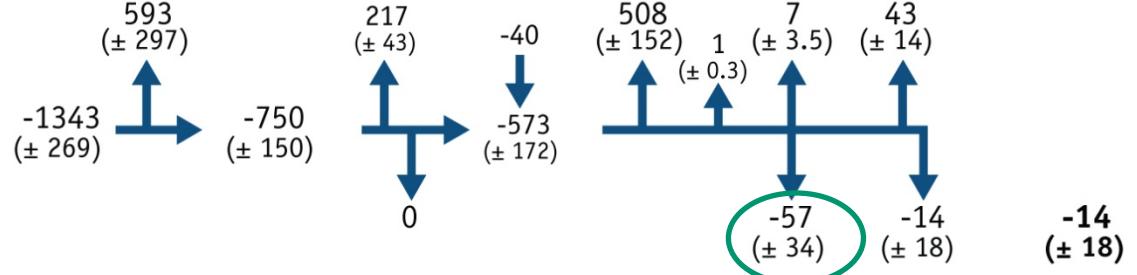
### a) Forests

[g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>]



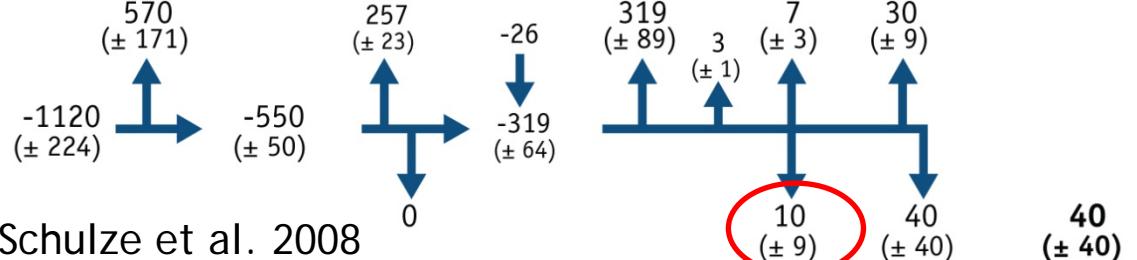
### b) Grasslands

[g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>]



### c) Croplands

[g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>]



# C-Bilanzen aus CarboEurope

Boden C Senke

Boden C Senke

Boden C Quelle

Das Ziel eines Boden-C-Waldmanagements muss sein:

- (1) C-Freisetzungen 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]

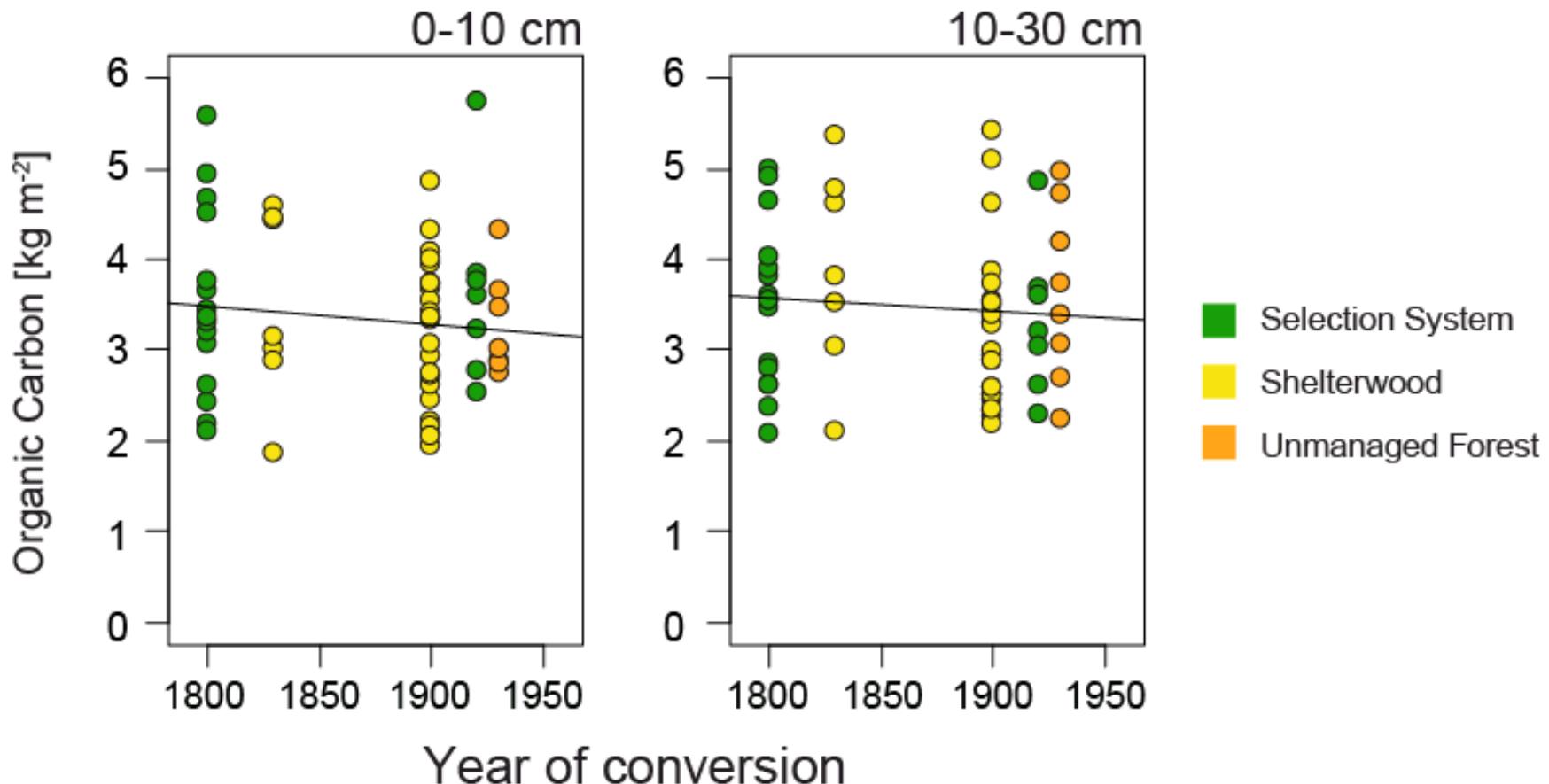


oder im Internet unter:

[www.waldundklima.net](http://www.waldundklima.net)



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

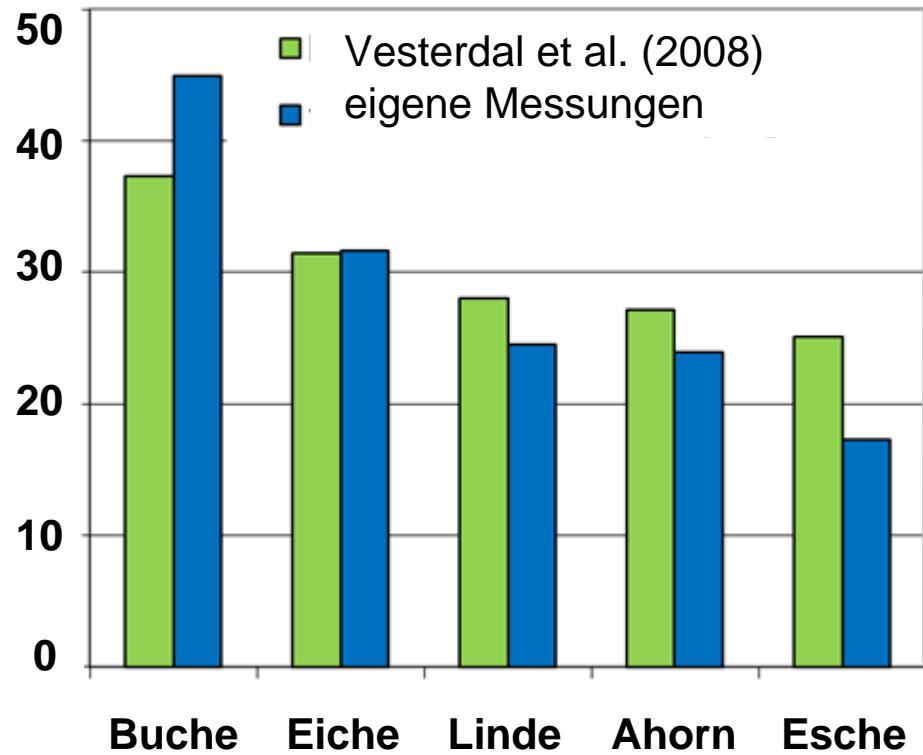


Wäldchen, pers. comm.



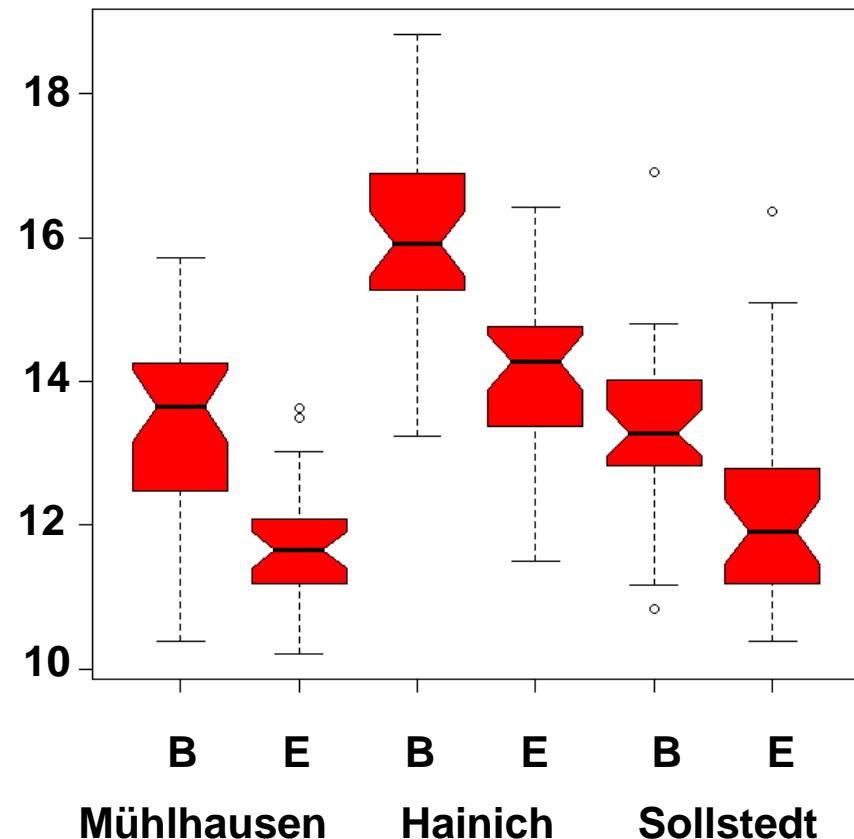
Schöning et al. 2009

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



B = Buche

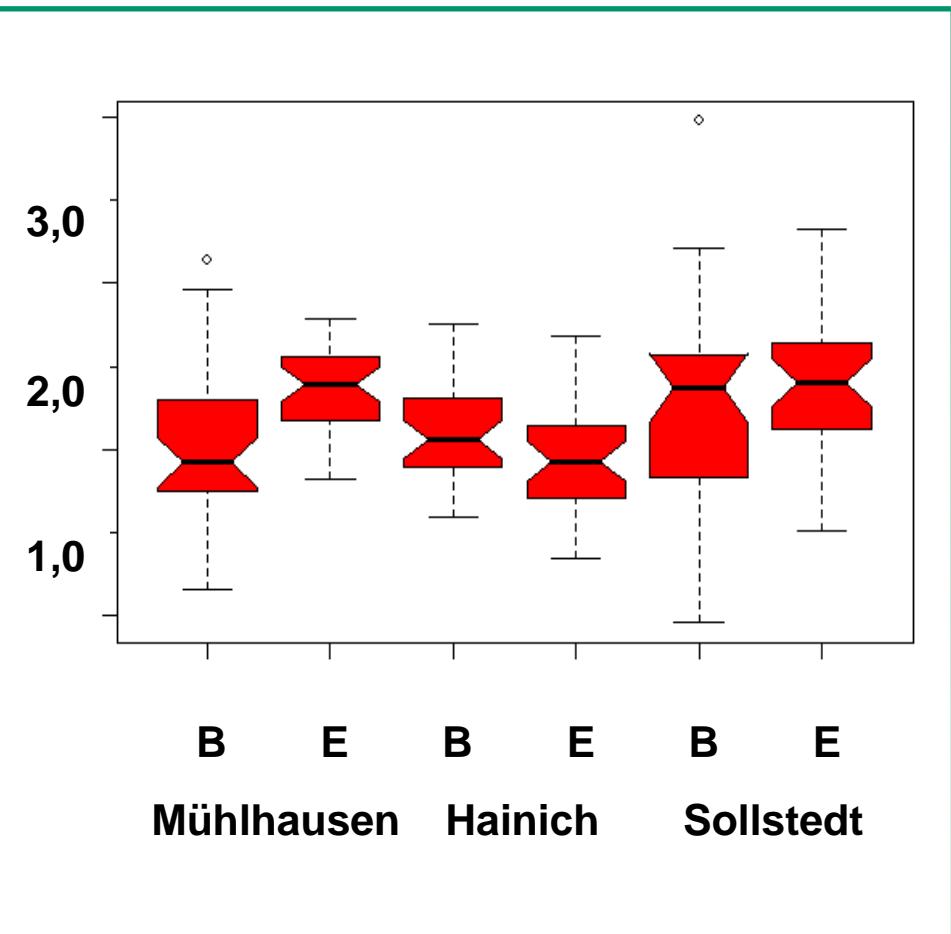
E = Edellaubholz





Schöning et al. 2009

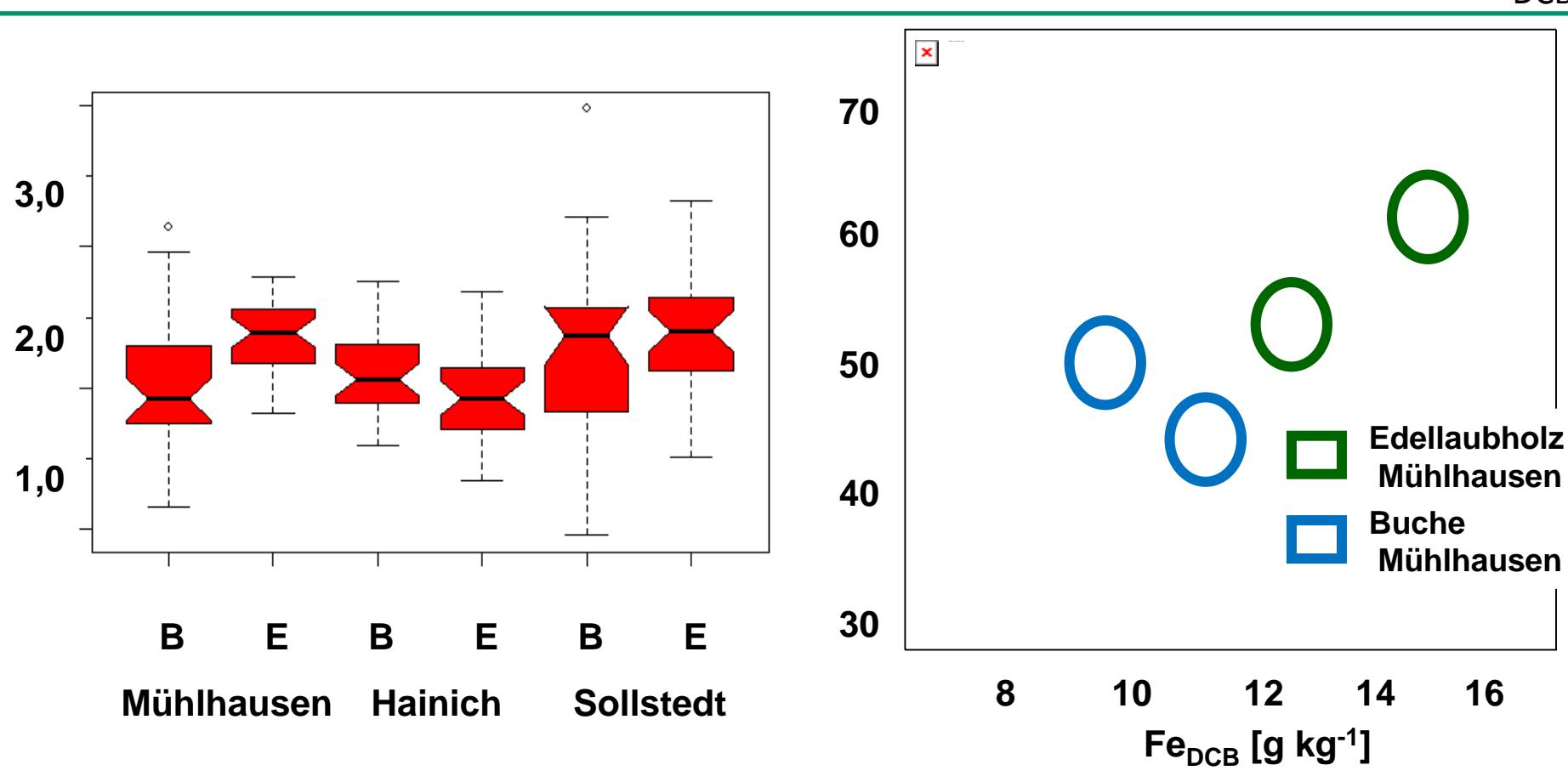
C-Vorräte im Mineralboden 0-4 cm [kg m<sup>-2</sup>]





Schöning et al. 2009

C Konzentration in  $\text{g kg}^{-1}$  vs.  $\text{Fe}_{\text{DCB}}$



## Mittlere Boden-C-Vorräte bei unterschiedlicher Waldnutzung

