

Welchen Einfluss hat die Bodenschutzkalkung auf die ober- und unterirdische Kohlenstoffspeicherung in Buchen- und Fichtenwaldökosystemen?



Foto: L. Kulp

Ergebnisse aus dem WKF-Projekt KalKo

Ulrike Talkner, Oliver van Straaten & Larissa Kulp

1. Februar 2023



Foto: O. van Straaten

Im Rahmen des **Waldklimafonds** gefördert durch:

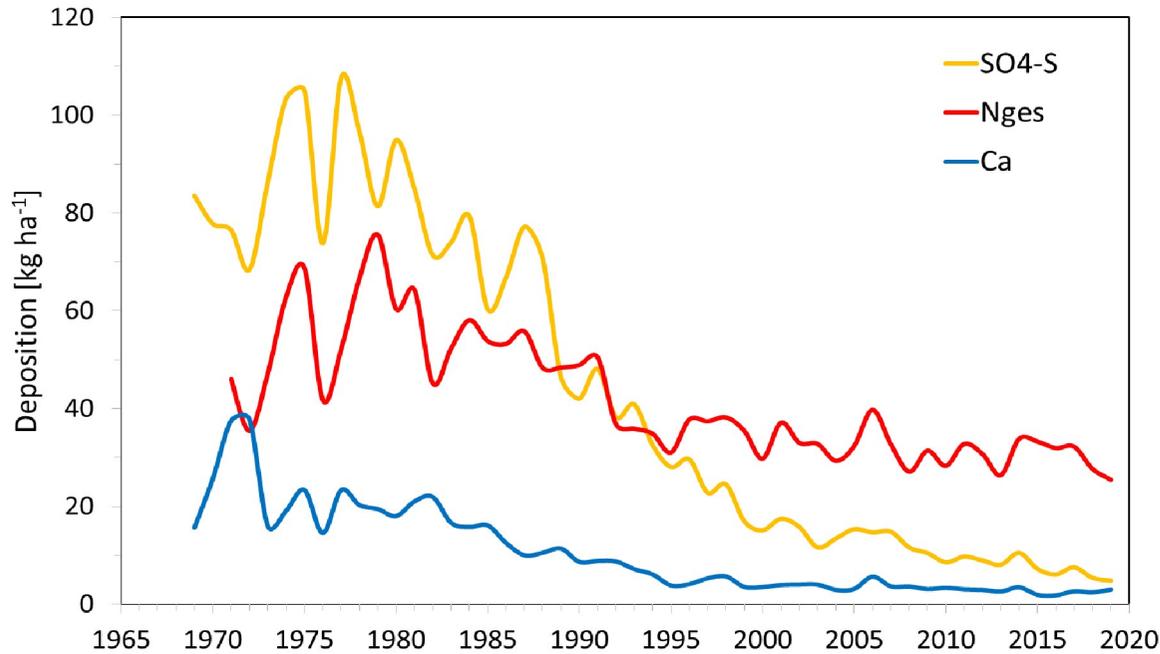


Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

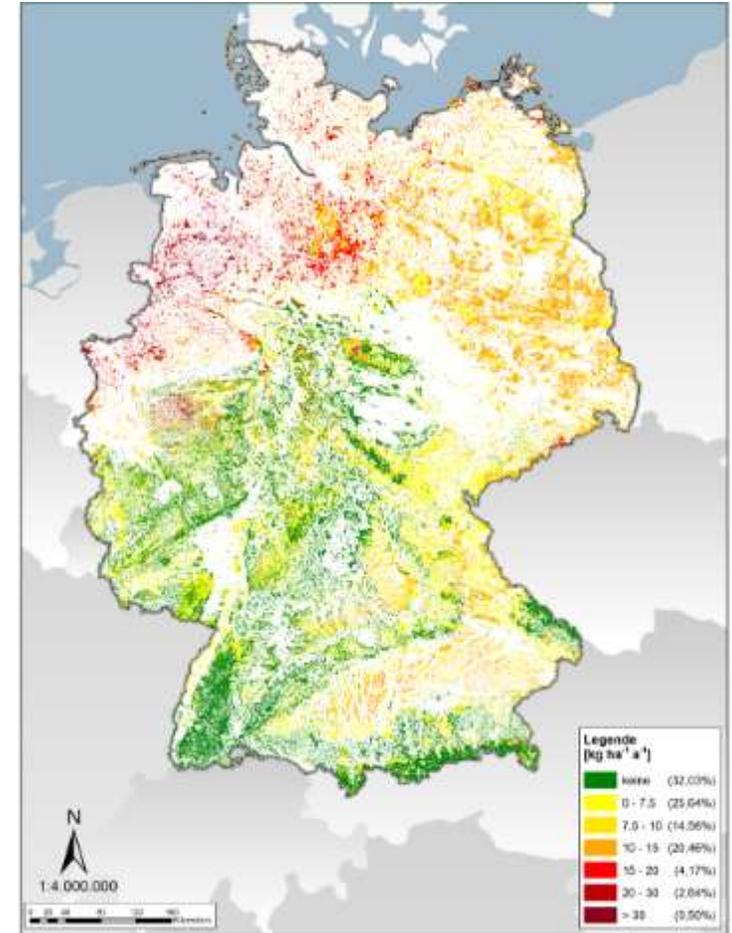


Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Warum wird gekalkt?



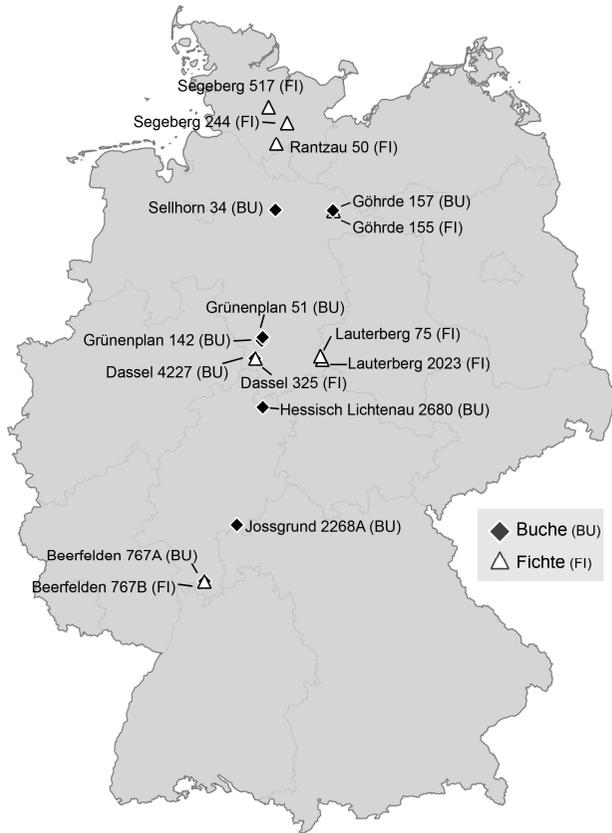
Zeitliche Entwicklung der atmosphärischen Deposition von Schwefel, Stickstoff und Calcium in einem Fichtenbestand im Solling (aktualisiert nach Meesenburg et al. 2014)



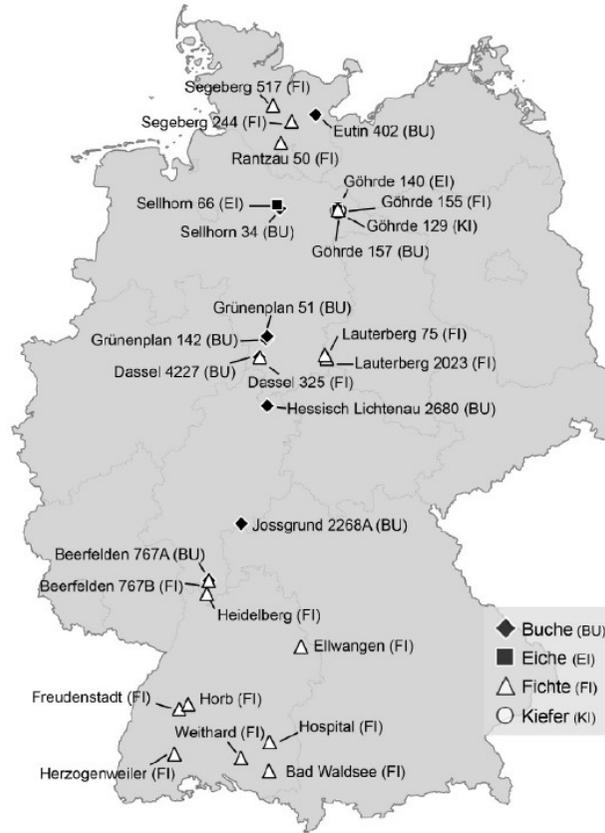
Überschreitung der kritischen Belastungsgrenze (Critical Load) für Säure durch Schwefel- und Stickstoffeinträge im Jahr 2015 (Schaap et al. 2018)

Was haben wir untersucht?

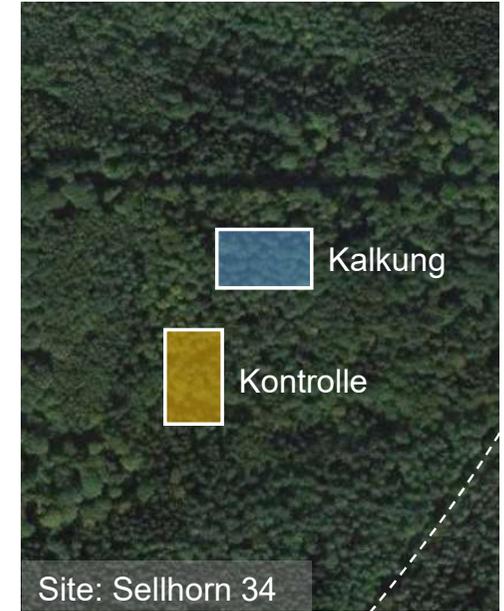
Bestand: 16 Versuchsflächen in SH, NI, HE
8 x Buche und 8 x Fichte



Boden: 28 Versuchsflächen in SH, NI, HE, BW
9 x Buche, 16 x Fichte, 2 x Eiche, 1 x Kiefer



Kalkungspärchen

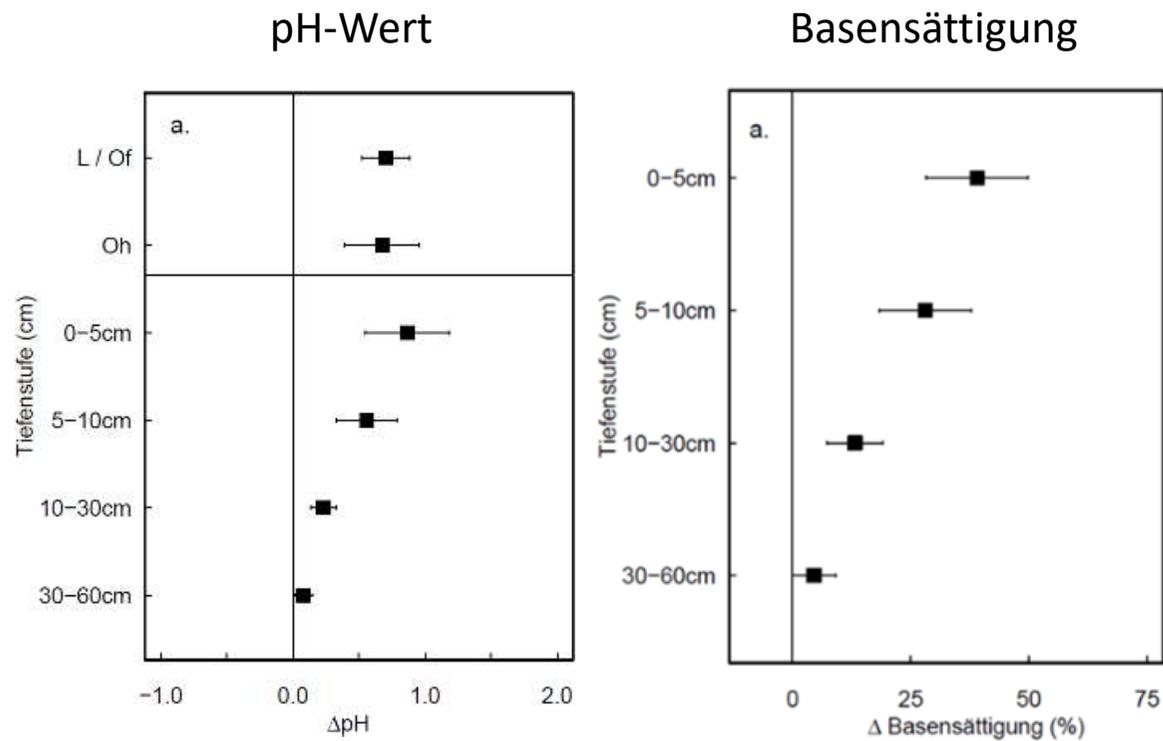


© Google

- Bestände zwischen 70-140 Jahre alt
- 1-3 Kalkungen zwischen 1981 und 2017 mit je ca. 3 t Kalk/ha

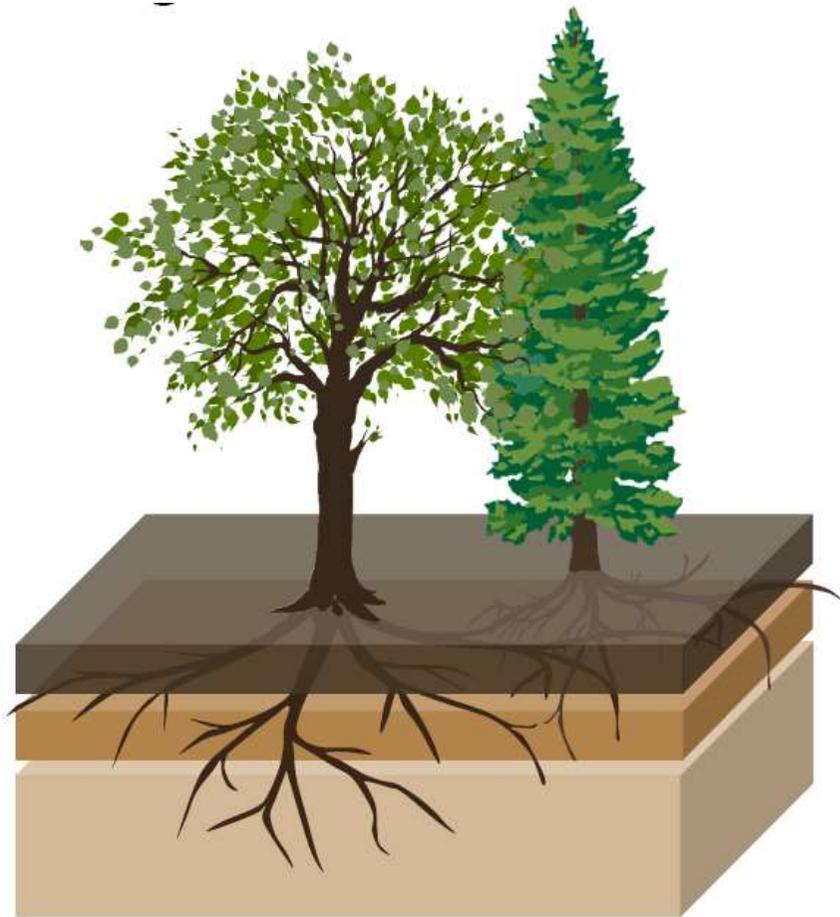
Wirkung der Kalkung

Differenz Kalkung – Kontrolle



Die Kalkung verbessert die bodenchemischen Eigenschaften signifikant.

Kohlenstoffvorrat im Überblick



Oberirdischer C = 143 Mg C ha⁻¹ (n=16) ~47 %

Feinwurzel C = 7 Mg C ha⁻¹ (n=15)
Grobwurzel C = 14 Mg C ha⁻¹ (n=16) } ~7 %

Humus C = 31 Mg C ha⁻¹ (n=28)
Mineralboden C (0-60 cm) = 103 Mg C ha⁻¹ (n=26) } ~45 %

Ergebnisse – Kohlenstoffveränderung im Bestand



Foto: L. Kulp

Differenz (Δ) zwischen gemessenen und erwarteten mittleren Kohlenstoffzunahmen [$\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]
(Mittelwert \pm Standardfehler)

	Buche ($p=0,04$, $\alpha=0,05$, $n=8$)	Fichte ($p=0,04$, $\alpha=0,05$, $n=8$)	Alle Baumarten ($p=0,003$, $\alpha=0,05$, $n=16$)
	Δ	Δ	Δ
Kalk	+0,06 \pm 0,24	+0,3 \pm 0,22	+0,19 \pm 0,13
Kontrolle	-0,13 \pm 0,24	+0,05 \pm 0,22	-0,02 \pm 0,13

Ergebnisse – Kohlenstoffvorrat im Bestand



Foto: L. Kulp

Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Baumbiomasse [t ha⁻¹] bei der letzten ertragskundlichen Aufnahme (2013-2017)

(Mittelwert ± Standardfehler)

	Buche (p=0,79, α=0,05, n=8)	Fichte (p=0,48, α=0,05, n=8)	Alle Baumarten (p=0,43, α=0,05, n=16)
Kalk	128,0 ± 12,9	114,2 ± 7,7	121,1 ± 7,5
Kontrolle	125,0 ± 10,5	109,2 ± 12,1	117,1 ± 8,0
Δ ¹	3,0 ± 7,3	4,9 ± 9,0	4,0 ± 5,6

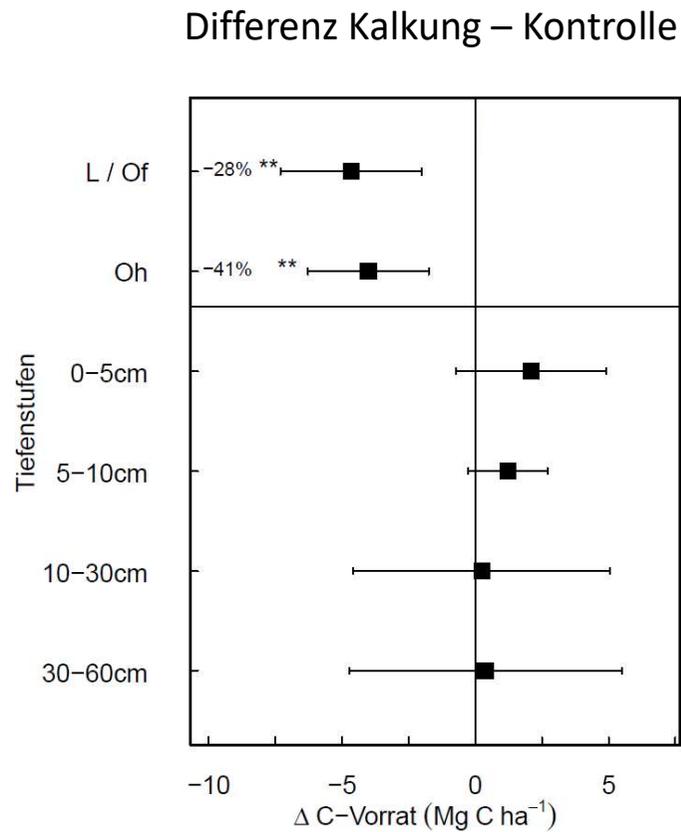
¹ Differenz zwischen Kalk und Kontrolle

- Die signifikante Zunahme des Baumwachstums nach Kalkung war nicht so groß, dass sie zu signifikant größeren Kohlenstoffvorräten in der Baumbiomasse geführt hätte.

Ergebnisse – Kohlenstoffvorrat im Boden



Foto: O. van Straaten



Im gesamten Bodenprofil (Humusaufgabe bis 60 cm) wurde kein signifikanter Kalkungseffekt gefunden.

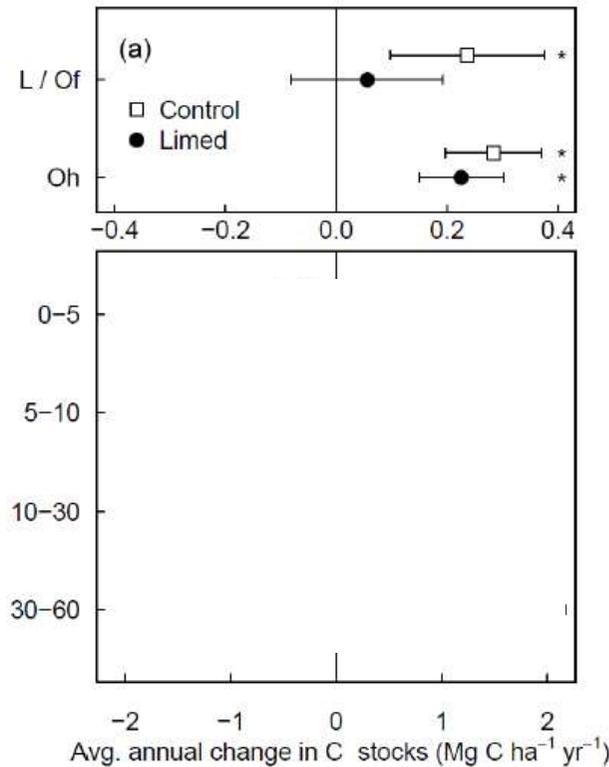
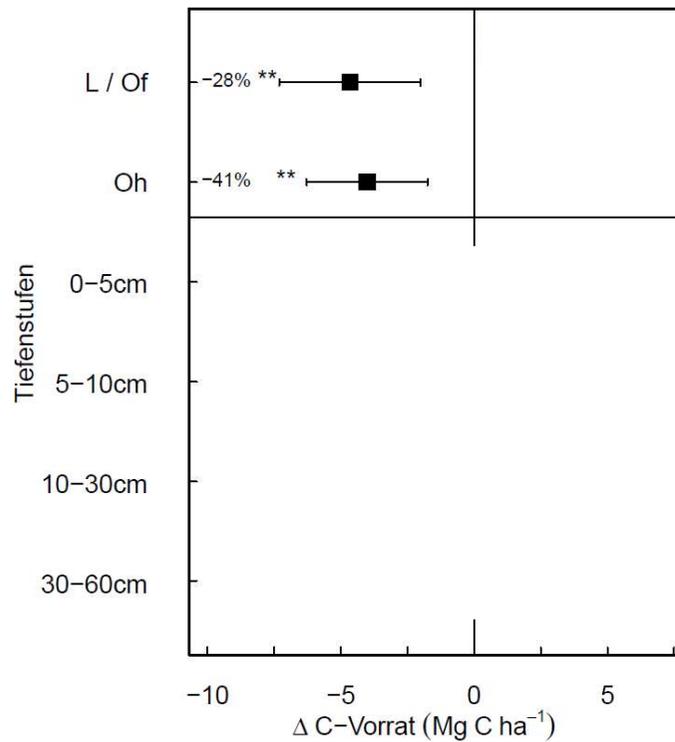
Ergebnisse – Kohlenstoffvorrat in der Humusauflage



Foto: O. van Straaten

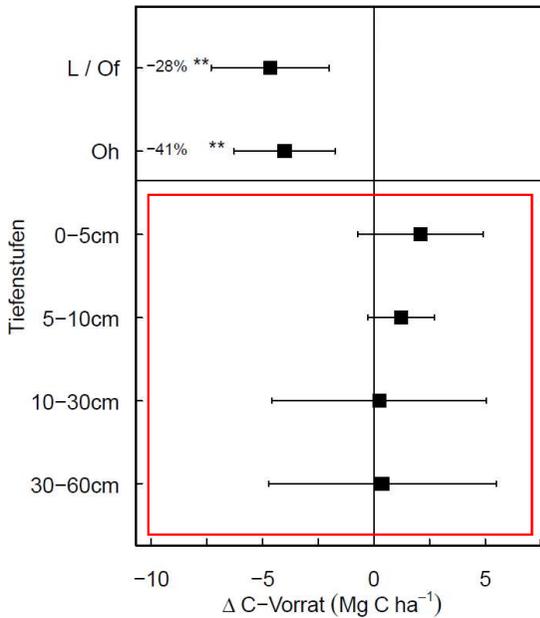
Differenz Kalkung – Kontrolle
-34 % | -8,8 t C/ha

zeitliche Veränderung



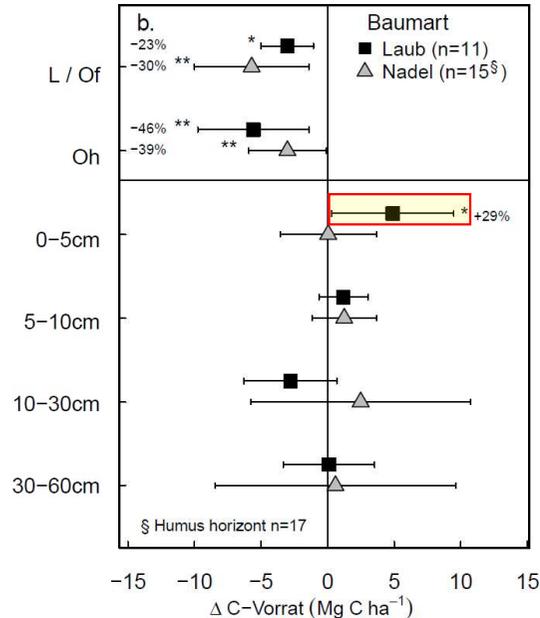
Die Kalkung hat die Nährstoffkreisläufe auf versauerten Standorten wieder in Gang gebracht, indem der Abbau der organischen Substanz gefördert wurde.

Ergebnisse – Kohlenstoffvorrat im Mineralboden



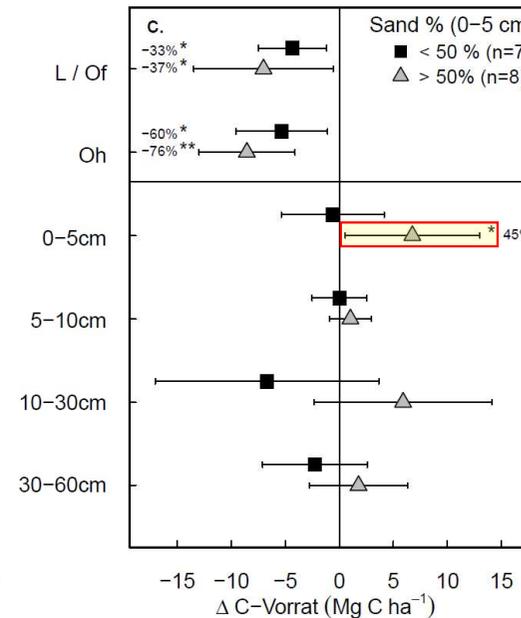
Mineralboden (0-60 cm)

keine signifikanten Effekte
(auch keine Zunahme im Oberboden)



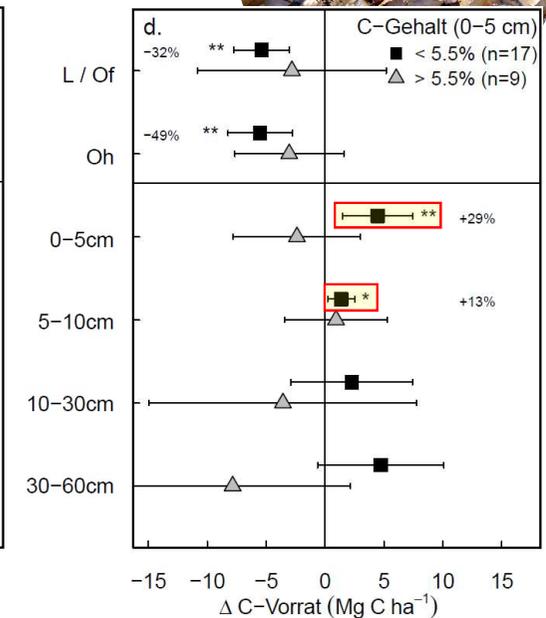
Baumart

Laubwälder: Zunahme um 29 % in 0-5 cm



Textur

Sandige Böden: Zunahme um 45 % in 0-5 cm
= ↑ Baumwachstum (NPP) auf sandigen Böden



C-Gehalt der Kontrolle

Geringer C-Gehalt: Zunahme in 0-10 cm
Hoher C-Gehalt: Tendenz zu Abnahme

Ergebnisse – Treibhausgasflüsse

- Die Kalkung führte zu einer kurz- bis mittelfristigen Erhöhung der CO₂-Flüsse zwischen Boden und Atmosphäre
 - ...sowie zu einer langfristigen Verdopplung der Methanaufnahmerate des Bodens.
 - Ob die Methanaufnahme die CO₂-Abgabe ausgleichen kann, hängt von Standortsfaktoren, aber auch von der Dauer der erhöhten CO₂-Flüsse und dem Kalkungsintervall ab.
- Vermutlich verändert Kalkung im Mittel (über Raum und Zeit) die Treibhausgasbilanz der Bestände nicht.

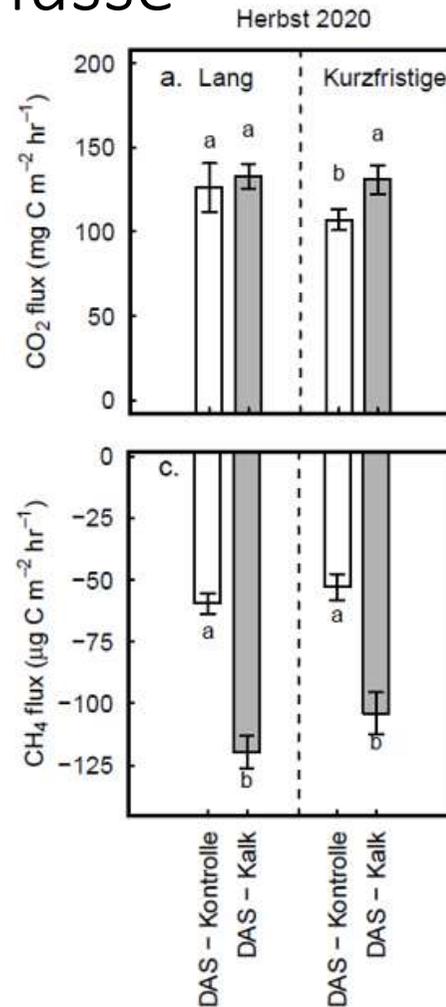


Foto: O. van Straaten



Foto: L. Kulp

Zusammenfassung



Foto: O. van Straaten

- Die Kalkung führte durch die Verbesserung des bodenchemischen Milieus zu einer Anregung der Nährstoffkreisläufe, indem die Anreicherung von Humusaufgabe gehemmt und der Abbau organischer Substanz gefördert wurde.
- Je nach standörtlichen Gegebenheiten wurde die Kohlenstoffspeicherung im Mineralboden durch die Kalkung verbessert.
- Die durch den Abbau der organischen Substanz angeregte CO₂-Freisetzung kann vermutlich – in Abhängigkeit von Standort und Kalkungsintervall – durch die kalkungsbedingte Verdopplung der Methanaufnahme des Bodens ausgeglichen werden.
- Die verbesserte Nährstoffverfügbarkeit führte zu einer Stabilisierung des Zuwachses. Die Wachstumssteigerung war allerdings so gering, dass es ca. 35 Jahre nach der ersten Kalkung nicht zu einer signifikanten Zunahme der Kohlenstoffvorräte in der Baumbiomasse gekommen ist.

Fazit

Die Kalkung verändert den Kohlenstoffhaushalt standortsabhängig.

Zwar gleichen sich die verschiedenen Effekte in der Summer sehr wahrscheinlich aus, allerdings ist eine Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit und eine stabilere Bindung von Kohlenstoff im Mineralboden (im Gegensatz zur Humusaufgabe) vor dem Hintergrund des Klimawandels von großem Wert.



Foto: M. Mindrup



Foto: L. Kulp



Foto: M. Mindrup



Foto: O. van Straaten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und die Förderung des Projekts „KalKo“



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



NW-FVA

Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt



Graphical Abstract zum Kalko-Projekt

Waldbodenkalkung als Maßnahme zur Erhöhung der Anpassungsfähigkeit der Wälder an den Klimawandel und zur Sicherung und Erhöhung der CO₂-Speicher und Senkenfunktion der Wälder

Treibhausgase

Fichte

CO₂, CH₄, N₂O =

Buche

CO₂ (kurzfristig), CH₄-Aufnahme (langfristig) ↑, N₂O =

Kronenzustand

Nadelverlust und Nadelvergilbung
Fichte ↓

Ertragskunde

Flächenbezogener Zuwachs und C-Vorrat ↑
Baumbezogener Zuwachs und C-Vorrat ↑
Jahrringanalysen ↑

Biodiversität in der Bodenvegetation

Artenzahl =/↑, Deckungsgrad =
N- und R-Zeigerwert ↑, L- und F-Zeigerwert =

Waldernährung

Ca ↑ Mg ↑ K ↓ Buche P =

C-Vorrat der Bodenvegetation bis 100 cm

Moosschicht ↓, Kraut- und Strauchschicht =

C-Vorrat/Gehalt

HA ↓ MB =
CN ↓ (Oh, 0-5 cm)

Feinwurzel C-Vorrat

HA ↓
5-10 cm Buche ↓

Wasserhaushalt (WHH)

WHH-Bilanz =
Buche evtl. Transpiration ↑ Evaporation ↓
(wg. geringerer Humusauflage)
Humus deutliche Strukturveränderung durch Abbau und Umbau

Stabilisierung org. Bodensubstanz

Anteil wasserstabiler Aggregate =
Dichtefraktionierung ↑↓

Bodenphysik

Lagerungsdichte HA ↑ MB ↓
TRD ↓ in 0-5 cm
nFK ↓ Fichte bis 12-17 cm / Buche bis 5 cm
Diffusivität ↑
Luftleitfähigkeit HA und OB ↑
Gesättigte Wasserleitfähigkeit BW ↑
NW =
GPV HA ↓ OB ↑
Groporen 0-5 cm Fichte ↑
Mittelporen ↓ = Groporen ↑ =
Tortuosität ↓

Abkürzungen

BS Basensättigung
BW Baden-Württemberg (FVA)
GPV Gesamtporenvolumen
HA Humusauflage
MB Mineralboden
NW Nordwestdeutschland (NW-FVA)
OB Oberboden

Kalkung wirkt...

↑ erhöhend
↓ vermindern
= nicht bzw. indifferent

Nährstoffvorrat

Ca ↑, Mg ↑, K =

Säure-/Basenzustand

pH-Wert ↑ bis 30 cm
BS ↑ bis 30 cm

Bodenlösung

Ca ↑
Mg ↑
K ↓ Buche
P ↓ Buche

Sickerwasserqualität

Durch Verdünnungseffekt geringere Unterschiede in Frachten als in Konzentrationen
Ca ↑ Mg ↑ DOC = NO₃ ↑ AI =

Kursive Befunde gelten nur für eine Baumart