



Wie lange wirkt Kalkung? Ergebnisse aus Pilgramsreuth

Langfristige Düngungsflächen, auch wenn sie nicht nach streng wissenschaftlichen Grundsätzen konzipiert und nur extensiv beobachtet wurden, bringen dennoch wertvolle Erkenntnisse für heutiges Handeln.

TEXT: AXEL GÖTTLEIN

Eine derartige Fläche ist die Versuchsanlage in Pilgramsreuth, die vor über 40 Jahren angelegt wurde und auf der die Wirkung einer reinen Kalkung mit der einer Mehrelement-Gabe verglichen werden kann.

Die Versuchsanlage

Im Jahr 1983 wurde auf einer Privatwaldfläche 14 km südöstlich von Hof (Oberfranken) in der Nähe der Ortschaft Pilgramsreuth von der damaligen Bayerischen Düngekalk GmbH eine Demonstrationsfläche mit 2 direkt nebeneinander liegenden Streifen von 25x100 m angelegt (Kontrolle; 30 dt/ha Tetrapur mit 35% CaO, 10% MgO, 6% P₂O₅, 6% K₂O). Im Jahr 1986 wurden die Streifen in der Mitte nochmals geteilt, so dass 4 Parzellen mit je 25x50 m entstanden sind, von denen zwei eine Zusatzdüngung mit 30 dt/ha Dolokorn (60% CaCO₃, 30% MgCO₃) erhielten (Abb.2). Ausgangsgestein der Bodenbildung ist gemäß geologischer Karte Granit und Wanderschutt aus dem sich sandig-lehmige, skelettführende Braunerden mit einer Tendenz zur Pseudovergleyung entwickeln (GK25 und BK25, Bayerisches Landesamt für Umwelt). Tab. 1 gibt eine kurze Übersicht über die wichtigsten Maßnahmen, die auf der Versuchsanlage im Laufe der Jahre durchgeführt wurden. 1995 wurde die Versuchsanlage durchforstet und mit Buchen unterbaut.

Im Jahr 1989 erfolgten Bodenuntersuchungen durch den damaligen Lehrstuhl für Bodenkunde der Universität München, welche im Jahr 2015 vom Fachgebiet Waldernährung der TU München wiederholt wurden. Da für die Untersuchungen von 1989 und 1995 die Originaldaten nicht mehr verfügbar sind, sondern nur noch die in entspre-



Foto: A. Weber

Abb. 1: Eine Gesamtansicht der direkt benachbarten Forschungsstreifen

chenden Berichten fertig ausgewerteten und zusammengefaßten Zahlen, können mit diesen Daten leider keine statistischen Auswertungen mehr durchgeführt werden. Zur Herausarbeitung signifikanter Unterschiede im Vergleich zur Kontrollfläche wurde für die neueren Daten der parameterfreie Mann-Whitney-U-Test durchgeführt (IBM, SPSS Version 22).

Der Boden

Tabb. 2 zeigt die pH-Tiefenverläufe, gemessen in KCl, der Jahre 1989 und 2015. Für das Probenahmejahr 1989, d.h. 3 Jahre nach der zweiten Kalkungsmaßnahme, wurden für die Humushorizonte auf allen behandelten Flächen (außer Oh Variante 0/30) um mindestens 0,25 Einheiten erhöhte pH-Werte gemessen.

Nov 83	Versuchsanlage und Ausbringung von 30dt/ha Tetrapur
Nov 86	Ausbringung von 30dt/ha Dolokorn auf der Hälfte der Fläche
17.10.89	Bodenuntersuchung, Lehrstuhl für Bodenkunde, Forstfakultät der LMU München
Winter 94/96	Durchforstung und Unterbau mit Buche; Analyse je 2 gefällter Fichten durch LWF
22.07.15	Entnahme von Buchenblättern aus der Lichtkrone (5-7 Äste pro Parzelle)
06.10.15	Bodenprobenahme (vier Einstiche pro Parzelle)
11.11.15	Entnahme des Probematerials an gefällten Fichten (2 Bäume pro Parzelle)
02.08.22	Entnahme von Buchenblättern aus der Lichtkrone (4 Bäume pro Parzelle)
22.03.24	Beprobung von 3 bzw. 4 Fichten pro Parzelle mit Baumsteiger

Tabelle 1: Historie der Maßnahmen auf der Praxisversuchsfläche Pilgramsreuth

Dabei ergaben sich im obersten Horizont (L+Of) auf den gedüngten Parzellen Werte von 4,0 und höher. Ca. 30 Jahre nach der Kalkung, im Jahr 2015, ergaben sich statistisch abgesicherte Änderungen für die Varianten 0/30 und 30/30 mit einer pH-Werterhöhung im L-Of. Bei der doppelt gedüngten Variante 30/30 war auch die Änderung im Oh noch signifikant. Wie bei anderen Kalkungsexperimenten blieb auch auf der Versuchsfäche Pilgramsreuth der pH-Effekt der Kalkung im Wesentlichen im Auflagehumus „stecken“ [1, 2], so dass selbst im obersten Mineralbodenhorizont (0 bis 5 cm Tiefe) bei beiden Beobachtungsterminen keine nennenswerte pH-Erhöhung festgestellt werden konnte.

Bei den austauschbar gebundenen Kationen (NH_4Cl -Extrakt) ergibt sich das in Tab.3 dargestellte Verhalten. Für Kalzium waren in 1989 die Werte in der Humusaufage bei allen Düngevarianten deutlich erhöht, im Mineralboden bis 20 cm Tiefe nur bei den beiden Varianten mit

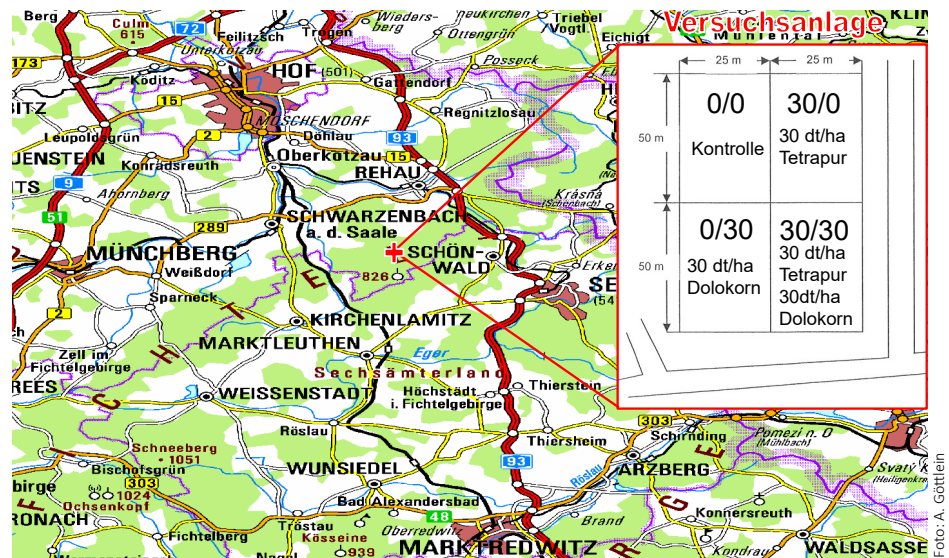


Abb. 2: Lage und schematische Darstellung der Versuchsfächen bei Pilgramsreuth (DTK500; www.geodaten.bayern.de).

Tetrapur. Im Jahr 2015 waren die Werte im Humus schon wieder zurückgegangen, aber bis auf eine Ausnahme (L-Of, Variante 30/0) immer noch deutlich erhöht. Signifikant war dieser Effekt jedoch nur auf den Dolokorn-Varianten (0/30; 30/30). Bei diesen beiden Varianten ist auch eine signifikante Erhöhung bis in 5 cm bzw. 20m Bodentiefe zu beobachten. Bei Magnesium war schon 1989 zu beobachten, dass die Düngewirkung bei allen Varianten bis in den Mineralboden reicht. 2015 sind die Werte bei den

beiden Dolokorn-Varianten sogar im gesamten Bodenprofil, d.h. bis 40 cm signifikant erhöht. Dass bei einer Dolomit-Ausbringung Magnesium dem Kalzium im Boden „vorausleilt“ wurde auch im Kalkungsexperiment Höglwald beobachtet [1].

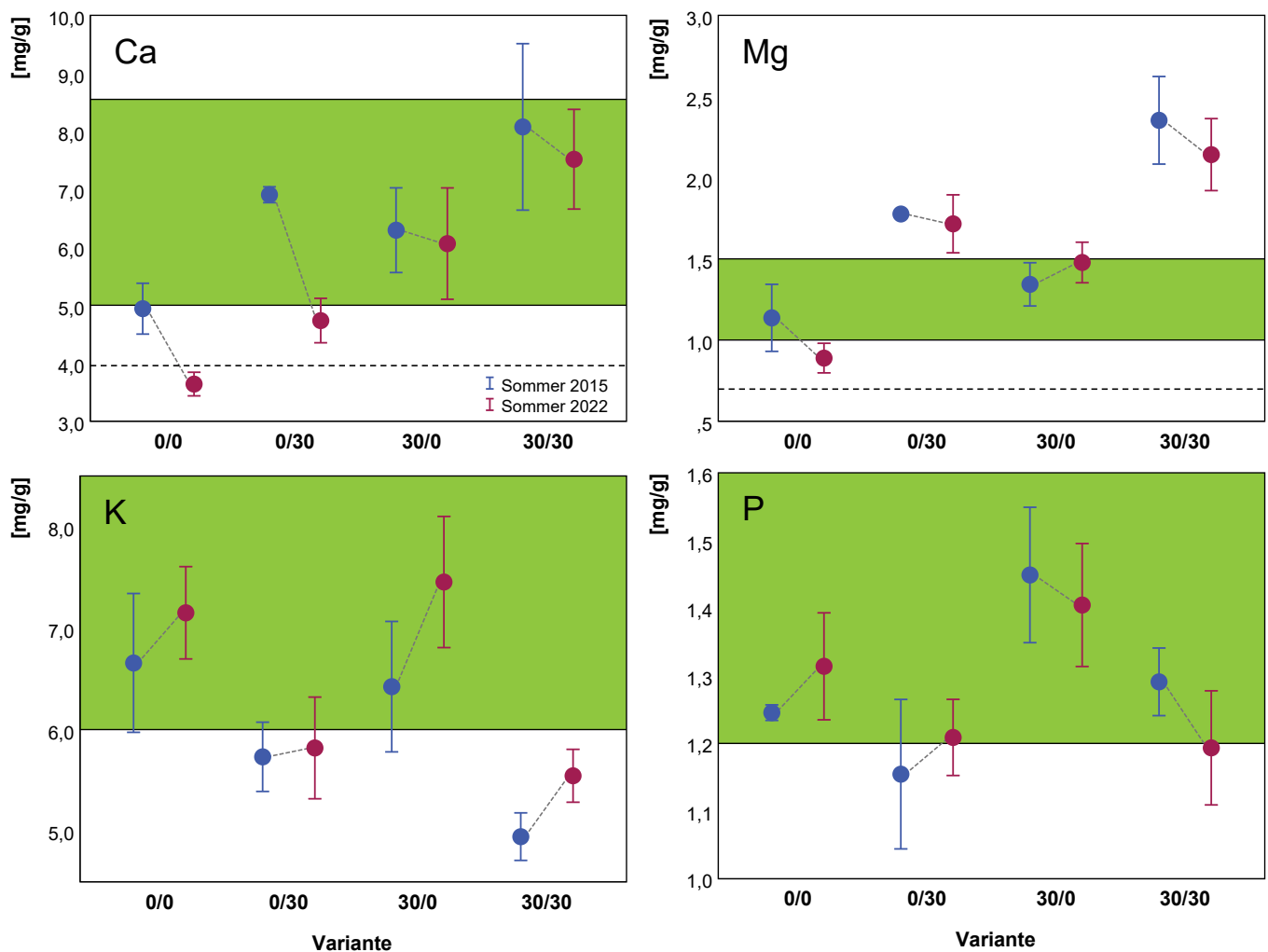
Erstaunlich ist das Verhalten der Tetrapur-Varianten beim Element Kalium. Obwohl Tetrapur 6% K_2O enthält ergaben sich 2015 keine statistisch signifikanten Änderungen bei der K-Belegung. Auch in der Untersuchung von 1989 zeigt sich

Schneller ÜBERBLICK

- » Die Ernährungssituation des Fichtenaltbestandes hat sich im letzten Untersuchungsjahr auf allen Varianten bei K, P, S, und N deutlich verschlechtert
- » Der Buchen-Unterbau zeigt auch nach fast 30 Jahren noch eine Wirkung der Düngungs-Varianten, wobei die Düngung mit Tetrapur eine ausgeprägtere Ernährung erbrachte als die reine dolomitische Kalkung
- » Auf armen Standorten ist eine moderate Mehrrährelement-Düngung eine sinnvolle Maßnahme zur Unterstützung des Waldumbaus - sie erlaubt aber nicht eine intensivere Biomassenutzung im Altbestand
- » Der pH-Effekt ist im Auflage-Humus „stecken“ geblieben. Im NH_4Cl -Bodenextrakt ergab sich eine signifikante Anhebung der Ca- und Mg-Konzentrationen nur auf den Kalkvarianten. Die K-Ausbringung mit Tetrapur zeigte keine langfristige Wirkung

pH _{KCl}	0/0		0/30		30/0		30/30	
	1989	2015	1989	2015	1989	2015	1989	2015
L-Of	2.8	2.60	<u>4.7</u>	2.81	<u>4.0</u>	2.74	<u>5.4</u>	<u>3.45</u>
Oh	2.7	2.63	2.8	2.71	<u>3.1</u>	2.66	<u>3.1</u>	<u>3.17</u>
0-5 cm	3.0	2.68	3.0	2.66	3.1	2.69	3.1	2.88
10-20 cm	3.9	3.54	3.8	3.42	3.9	3.63	3.9	3.58
30-40 cm	4.2	3.91	4.2	3.88	4.2	3.99	4.2	3.89

Tabelle 2: pH-Werte in Humus und Mineralboden; unterstrichene Werte in Fettdruck sind 0,25 pH-Einheiten höher als die jeweilige Kontrolle; grau hinterlegte Zellen zeigen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) zur Kontrollfläche im Jahr 2015



Quelle: A. Göttlein

Abb 3: Gehalte an Ca, Mg, K und P der Buchenvorausverjüngung, dargestellt mit einfachem Standardfehler (grüner Bereich = Normalbereich; gestrichelte horizontale Linie = Grenze latenter Mangel zu echtem Mangel; nach [7]).

	0/0		0/30		30/0		30/30	
	1989	2015	1989	2015	1989	2015	1989	2015
Ca								
L-Of	67.1	97.24	353.6	124.52	358.8	119.5	470.3	239.24
Oh	73.7	25.39	103.5	98.93	213.4	66.21	205.9	240.84
0-15 cm	4.9	2.51	5.3	10.35	16	6.54	9.1	52.28
10-20cm	0.5	1.66	0.7	1.76	1.8	1.98	1.4	4.33
30-40 cm	0.3	1.48	0.4	1,04	0.7	2.56	0.5	1.00
Mg								
L-Of	8.0	20.28	193.0	44.69	75.4	21.91	213.6	47.35
Oh	7.4	12.58	61.4	53.06	49.5	17.49	80	42.14
0-15 cm	1.3	1.23	4.7	9.84	6.7	2.59	6.2	13.60
10-20cm	0.3	0.37	0.8	2.76	1.3	0.39	1.2	3.25
30-40 cm	0.1	0.18	0.3	0.84	0.6	0.59	0.5	0.90
K								
L-Of	7.5	17.73	12.5	12.78	14	17.88	17.5	16.61
Oh	5.5	11.07	8.1	10.39	8.2	10.61	8.9	8.39
0-15 cm	1.8	1.30	1.9	1.49	2.2	1.56	1.9	1.36
10-20cm	0.9	0.92	1.1	1.15	1.5	0.83	1.2	0.93
30-40 cm	1.0	0.96	0.9	1.18	1.2	0.85	1.1	1.03

Tabelle 3: austauschbar gebundene Kationen (gemessen im NH_4Cl -Extrakt, Werte in μmol Ionenäquivalent pro g Boden) in Humus und Mineralboden; unterstrichene Werte in Fettdruck sind mindestens 25 % und mindestens 0,5 Einheiten höher als die jeweilige Kontrolle; grau hinterlegte Zellen zeigen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) zur Kontrollfläche im Jahr 2015

„Es ist erstaunlich, dass die Düngerausbringung fast 30 Jahre nach Pflanzung immer noch eine deutliche Wirkung zeigt.“

AXEL GÖTTLEIN

kein deutlicher Einfluss der Tetrapur-Gabe auf das austauschbare Kalium, da Kalium sowohl in den Tetrapur-Varianten als auch bei der reinen Kalkvariante in der Humusaufgabe in gleicher Größenordnung erhöht war.

Fichten-Altbestand

Der Fichtenbestand liegt zwar in der aus der Basenaustattung der Böden abgeleiteten Kalkungskulisse Bayerns, wäre aber aufgrund seiner bis 2015 guten ernährungskundlichen Werte für Ca und Mg (Tab. 4) nicht kalkungswürdig gewesen [3]. Auch bei den anderen Nährelementen, mit einziger Ausnahme der N-Versorgung in 1995, steht der Bestand bis 2015 ernährungskundlich sehr gut da. Die Probenahme 2023 dokumentiert eine drastische Verschlechterung des Ernährungszustandes, da Mg

und K in den latenten Mangel und P, S und N sogar in den Mangelbereich absackten. Diese Verschlechterung zeigte sich, mit Ausnahme von Mg welches durch die dolomitische Kalkung im Normalbereich gehalten wurde, auch bei allen Düngungspartikeln. Der bei der reinen Dolomitdüngung zu beobachtende P-Mangel wird bei den beiden Tetrapur-Flächen auf einen latenten Mangel abgeschwächt. Da Tetrapur neben P auch K enthält wäre zu erwarten gewesen, dass bei K ebenfalls ein positiver Düngungseffekt zu beobachten wäre. Dies ist jedoch nicht der Fall, da K auf allen Flächen im Jahr 2023 im Bereich des latenten Mangels liegt.

Vergleichbar zu den hier gefundenen Ergebnissen zeigt auch eine Studie zu Fichte in Ostbayern (Kaitersberg und Hoher Bogen) von 2017/18 dass N, P, S und K, gekalkt oder ungekalkt, heutzutage als Mangellemente eingestuft werden müssen [5]. Insgesamt ergibt sich bei Fichte in Europa ein Trend abnehmender Nährstoffkonzentrationen dieser Elemente in diesjährigen bzw. einjährigen Nadeln [4].

Buchenverjüngung

Abb. 3 zeigt die Entwicklung des Buchenunterbaus bezüglich der mit der Düngung ausgebrachten Nährelemente. Da die Blattspiegelwerte der beiden Aufnahmejahre 2015 und 2022 jeweils recht nahe beieinander liegen (Überlappung der Fehlerbalken) wird auf eine Beschreibung der zeitlichen Entwicklung verzichtet, da die Unterschiede eher im Bereich der natür-

lichen Fluktuation liegen. Einzige Ausnahme diesbezüglich sind beim Element Ca die Kontrollfläche (0/0) und die reine Kalkung (0/30) wo jeweils ein deutliches Absacken der Werte in den Bereich des echten bzw. latenten Mangels zu beobachten ist. Bei den mit Tetrapur gedüngten Varianten ist ein derartiger Effekt nicht zu beobachten, wobei die doppelt gedüngte Variante (30/30) insgesamt jeweils die höchsten Ca-Gehalte aufweist. Bei Mg, bei dem in 2022 die Kontrollvariante ebenfalls in den Bereich des latenten Mangels abgesunken ist, zeigt sich bei den beiden Dolomitvarianten eine Anhebung der Gehalte in den Überschussbereich. Die Anhebung der Mg-Gehalte bei der reinen Tetrapur-Variante erfolgte bis in den oberen Normalbereich.

Besonders interessant sind die Ergebnisse für die beiden Elemente K und P. Hier ist ein negativer Effekt der dolomitischen Kalkung zu erkennen, da sowohl beim Vergleich 0/0 zu 0/30 als auch beim Vergleich 30/0 zu 30/30 die Dolomitvarianten jeweils niedriger liegen. Dies gilt vor allem für das Element K, für welches die Werte sogar im Bereich des latenten Mangels liegen. Auffällig ist für K zudem, dass die Düngung mit dem K-haltigen Tetrapur nicht zu einer positiven Veränderung der K-Ernährung des Voranbaus führt. Dieses Ergebnis passt auch zu den Befunden der Bodenchemie und der Ernährung des Altbestandes wo ebenfalls kein positiver Effekt der K-Düngung beobachtet werden konnte. Demgegenüber



	0/0			0/30			30/0			30/30		
	1995	2015	2023	1995	2015	2023	1995	2015	2023	1995	2015	2023
Ca	4.96	6.37	2.95	5.96	5.05	5.67	4.44	5.97	5.10	7.12	8.01	4.81
Mg	1.06	1.59	0.68	1.37	1.46	0.99	1.40	0.94	0.90	1.44	1.52	1.14
K	5.16	6.79	3.63	5.29	5.98	4.01	8.76	7.39	4.27	5.96	6.69	4.07
P	1.70	2.03	0.97	1.62	1.81	0.95	1.96	2.06	1.15	1.47	2.42	1.28
S	1.30	1.15	0.69	1.37	1.02	0.70	1.32	1.05	0.69	1.11	1.05	0.66
N	13.0	13.47	9.62	14.0	13.29	9.86	12.0	11.41	9.57	13.4	11.88	9.98
		Mangel			latenter Mangel			Normalbereich				Überschuss

Tabelle 4: Entwicklung der Nadelspiegelwerte (Werte in mg/g) des Fichtenaltbestandes (1995: Mittelwert aus 2 gefällten Bäumen pro Parzelle (Analytik LWF); 2015: Mittelwert aus 2 gefällten Bäumen pro Parzelle; 2023 Mittelwert aus 3 oder 4 mit Baumsteiger beprobten Bäumen pro Parzelle); die Einwertung der Nährelementgehalte erfolgte nach [7]; unterstrichene Werte in Fettdruck sind mindestens 25 % höher als die der Kontrolle im jeweiligen Jahr

kann beim Element P, wie auch im Fichtenaltbestand, ein Düngungseffekt der Tetrapur-Gabe festgestellt werden (Vergleich 0/0 zu 30/0).

Daß eine dolomitische Kalkung negative Effekte auf die Ernährung der Buchen mit K und P haben kann wurde auch im Bayerischen Wald am Kaitersberg festgestellt [5]. Auch die BZE2 hat diesen Effekt bei K bestätigt [2].

Einordnung

Was bedeuten die Ergebnisse für den Waldbesitz? Die schlechten ernährungskundlichen Werte der Beprobung 2023 sind ein Indiz für die Notwendigkeit einer nährstoffschonenden Waldbewirtschaftung auf diesem Standort. Dies unterstützt auch eine modellhafte Abschätzung der erntebedingten Nährstoffentzüge bei einer hypothetischen Endnutzung des Altbestandes. Die Tetrapur-Variante kann die

Entzüge an Ca, Mg, P und K einer Derbolznutzung mit Rinde knapp kompensieren. Darüber hinaus gehende Ernteentzüge (Äste, Zweige, Nadeln) sind unbedingt zu vermeiden, insbesondere auch im Hinblick auf das immer knapper werdende Nährelement S [6].

Es ist erstaunlich und auch erfreulich, dass die Düngerausbringung fast 30 Jahre nach Pflanzung des Buchen-Unterbaus hier immer noch eine deutliche Wirkung zeigt. D.h. auf ärmeren, eventuell auch nicht düngungswürdigen Standorten, ist eine Nährstoffgabe eine gute Maßnahme zur Unterstützung des Waldumbaus. Dabei ist aber zu beachten, dass nur die Ausbringung eines Mehrnährstoffdüngers

Literaturhinweise:

Download des Literaturverzeichnisses in der digitalen Ausgabe von AFZ-DerWald (<https://www.digitalmagazin.de/marken/afz-derwald>) sowie unter: www.forstpraxis.de/downloads

(Tetrapur) insgesamt zu einer Verbesserung der Ernährungssituation führt. Eine dolomitische Kalkung alleine, die nur die Nährstoffe Ca und Mg mit sich bringt, ist für eine ausreichende Ernährung des Buchen-Unterbaus nicht ausreichend.

Axel Göttlein

goettlein@tum.de,

Prof. Axel Göttlein leitet das Fachgebiet Waldernährung an der TU München in Freising/Weihenstephan.