



# Baumvitalität im Bayerischen Wald – Einfluss von Geologie und Kalkung

In den 1990iger-Jahren sind mit dem Rückgang der  $\text{SO}_2$ -Belastung in Ostbayern auch die Kronenschäden abgeklungen. Seit gut 10 Jahren aber berichten die Waldbauern im Inneren Bayerischen Wald erneut vom schlechten Kronenzustand ihrer Wälder. Eine Fallstudie sollte klären, ob diese Verlichtungen abhängig vom geologischen Ausgangsgestein sind. Inwiefern kann die Waldkalkung hier helfen?

TEXT: MICHAEL ROSSKOPF, AXEL GÖTTLEIN

In den 1980er-Jahren, der Zeit der „neuartigen Waldschäden“, wurde ein erhöhter Blatt-/Nadelverlust vor allem auf eher nährstoffarmen Standor-

ten mit einem Schwerpunkt in Süddeutschland festgestellt. Der Kronenzustand der Waldbestände war oft stark an deren Versorgung mit Calcium (Ca)

und Magnesium (Mg) gekoppelt [3, 7]. Dementsprechend wurden in von Mg-Mängeln stark betroffenen Landschaften Kalkungsmaßnahmen durchge-



Foto: M. Rdßkopf

**Abb. 1a:** Entnadelte Zweige und fensterartige Verlichtungen der Fichte sind typische Kennzeichen des Befalls mit dem Pilz *Sirococcus conigenus*.

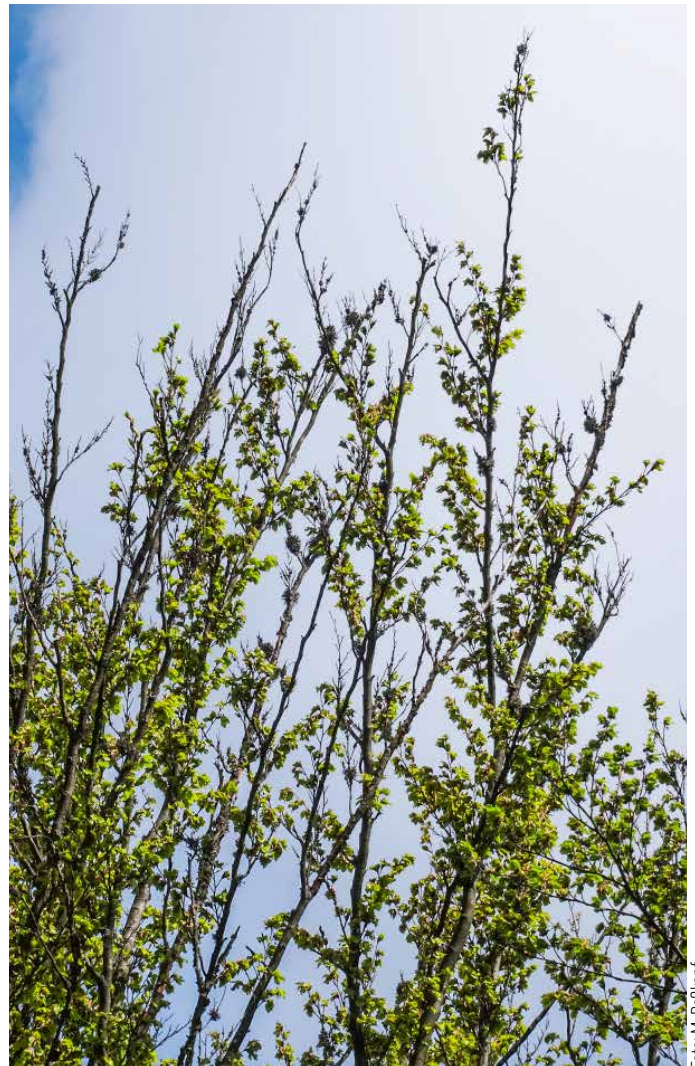


Foto: M. Rdßkopf

**Abb. 1b:** V. a. auf skelettreichen Standorten zeigen Buchen im Untersuchungsgebiet bereits über Jahre starke Verlichtungen, v. a. in der Oberkrone (hier beim Austrieb).

führt; zum einen, um der Bodenversauerung entgegenzuwirken [8], und zum anderen, um über die Zufuhr von Mg den Waldzustand zu verbessern [7]. Es wäre daher zu erwarten, dass sich eine unterschiedliche geologische Ausstattung mit Ca und Mg im Kronenzustand widerspiegeln sollte. Diesbezüglich bietet sich ein Vergleich des Waldzustandes auf sauren und basischen Silikatgesteinen an.

### Das Naturexperiment im Lamer Winkel

Die Geologie des im Inneren Bayerischen Wald gelegenen Lamer Winkels mit dem zum Großen Arber führenden Höhenzug des Kaitersbergs besteht im wesentlichen aus Ca- und Mg-armem Gneis. Lediglich der auf der nördlichen Talseite gelegene Hohe Bogen baut sich aus einem Ca- und Mg-haltigen, aber K-armen Mischsilikat (Metabasit) auf. Wenn die Nährstoffe Ca und Mg für die Vitalität der Bäume eine Rolle spielen, sollten sich die Unterschiede im Gestein über den Vorrat im Boden auch bei den Bäumen widerspiegeln. Um dies zu prüfen, wurde entlang von Transekten der Kronenzustand von Fichte und Buche auf beiden Bergrücken erhoben. Zusätzliche Boden- sowie Nadel-/Blattproben sollten zeigen, ob Bodenvorräte, Nährstoffversorgung und Kronenzustand zusammenhängen. Ergänzend wurden Zweige auf Schädlinge und die Wurzeln auf Vitalität, Feinwurzelmasse und -verteilung hin untersucht. Da am Kaitersberg auch viele gekalkte Bestände existieren, bietet diese Fallstudie die Möglichkeit, den Einfluss einer natürlich erhöhten Ca- und Mg-Verfügbarkeit mit dem einer künstlich durch Kalkung erhöhten Verfügbarkeit zu vergleichen.

### Arme Böden – eine lange Geschichte

Am Kaitersberg sind die Böden sehr arm an Ca, auch die Vorräte an Mg und Kalium (K) sind als gering zu bewerten (Tab. 1). Am Hohen Bogen liegen die im Wurzelraum verfügbaren Ca- und Mg-Vorräte aufgrund des dort vorkommenden Metabasit dagegen im mittleren Bereich, jedoch ist auch dieses Gestein relativ K-arm.

## „Kalkung alleine ist zu kurz gedacht.“

MICHAEL ROSSKOPF

Durch die seit dem Mittelalter intensive Walddnutzung für die Versorgung der Siedler, für den Bergbau, die Glasproduktion und für den Holzexport wurden die Nährstoffvorräte der Standorte deutlich abgesenkt. In jüngerer Zeit hat der durch die hohen Emissionen bedingte Eintrag von Sulfat- und

### Elementvorräte bis 1 m Tiefe

**Tab. 1:** Kennzeichnung der pflanzenverfügbaren Elementvorräte bis 100 cm Tiefe (inkl. Humusauflage; Einwertung nach [1])

kg/ha	Hoher Bogen	Kaitersberg
Calcium	889	193
Magnesium	274	92
Kalium	295	346
sehr gering	gering	mittel

## Schneller ÜBERBLICK

- » **Beim Vergleich von Wäldern auf saurem und basischem Silikat** zeigt sich kein signifikanter Unterschied im Kronenzustand
- » **Eine reine Zufuhr von Calcium und Magnesium** (Kalkung) wird den Waldzustand langfristig nicht verbessern
- » **Die Zunahme von sommerlichem Trockenstress sowie die insgesamt unbefriedigende Nährstoffversorgung** ist für den standorts- und baumartenübergreifend schlechten Kronenzustand verantwortlich
- » **Eine nachhaltige Forstwirtschaft** gelingt nur durch nährstoffschonendes Wirtschaften – bei standortsbezogener Berücksichtigung aller Hauptnährelemente

Nitrat-Ionen den Austrag der kationischen Nährelemente beschleunigt und damit die Verarmung der Standorte weiter vorangetrieben.

### Vital oder nicht vital?

Die Feinwurzeln der Bäume sind vital und gut mykorrhiziert, konzentrieren sich aber in den obersten Bodenschichten. Trotz der am Hohen Bogen deutlich besseren Verfügbarkeit von Ca und Mg unterscheiden sich beide Gebiete, sowohl bei Fichte als auch bei Buche, nur unwesentlich im Belaubungszustand (Tab. 2). Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die Kalkung am Kaitersberg den Nadelverlust der Fichte in signifikanter Weise um 9 % verringern konnte, wogegen bei der Buche nur eine nicht signifikante Verringerung des Blattverlustes um 2 bis 3 % zu beobachten war. Bei der Fichte trägt der Pilz *Sirococcus conigenus* wesentlich zur Kronenverlichtung bei. Andere biotische Schaderreger wurden bei beiden Baumarten nicht gefunden.

Nur mit allen Nährelementen ausreichend versorgte Pflanzen sind vital und widerstandsfähig. Wie die in Tabelle 3 dargestellte ernährungskundliche Bewertung zeigt, ist die Nährstoffversorgung der Bäume insgesamt sehr unbefriedigend. Auffällig ist der durchgehende Mangel an Schwefel (S) und Phosphor (P). Auch K befindet sich durchgehend im latenten oder echten Mangel, wobei sich der unterschiedliche K-Gehalt des Ausgangsgesteins hier durchprägt. Die höhere Ca- und Mg-Verfügbarkeit am Hohen Bogen spiegelt sich in der Baumernährung wider. Bei Ca werden beide Baumarten am Hohen Bogen um eine Ernährungsstufe besser eingewertet, wobei die Buche dennoch nicht den Bereich normaler Ernährung erreicht. Bei Mg fallen die Gehaltsunterschiede deutlich geringer aus, weshalb es hier nur bei der Buche zu einer Verbesserung der Ernährungsstufe kommt. Die Kalkung am Kaitersberg führt bei beiden Baumarten zu einer Erhöhung der Ca- und Mg-Spiegelwerte. Aufgrund des sehr ausgeprägten Ca-Mangels der Buche führt eine Kalkung jedoch nicht zu einer Verbesserung der Ernährungsstufe. Bei Mg wird bei der Buche durch Kalkung der Bereich der normalen Ernährung erreicht, bei der Fichte ändert sich hier aufgrund der





## Blatt-/Nadelverluste von Fichte und Buche

Tab. 2: Mittlerer Blatt-/Nadelverlust von Fichte und Buche in den Jahren 2017/18

Blatt-/Nadelverlust [%]	Hoher Bogen	Kaitersberg gekalkt	Kaitersberg ungekalkt
Fichte 2017	35,3	28,3	37,2
Fichte 2018	35	26,2	35
Buche 2017	34,2	28	31,4
Buche 2018	30	29,7	31,9

insgesamt guten Versorgung die Ernährungsstufe nicht. Es ist bekannt, dass die Zufuhr von Kalk die Aufnahme der Nährelemente K und P beeinträchtigen kann [2, 9]. Dieser Effekt zeigt sich sehr deutlich bei der Buche, wo auf den gekalkten Flächen beide Elemente aus dem latenten in den echten Mangel abrutschen. Bei Fichte sieht man bei K diesbezüglich keinen Effekt, es findet sich jedoch auf den gekalkten Flächen die niedrigste P-Konzentration.

### Welche Rolle spielt der Klimawandel?

Nachdem sich die Meldungen zum allgemein unbefriedigenden Baumzustand im Lamer Winkel erst nach 2000 wieder häuften, lohnt sich ein Blick in die Wetteraufzeichnungen. So ist die Jahresdurchschnittstemperatur seit 2000 um fast 1,5 °C im Vergleich zum Durchschnitt der Jahre 1961 bis 1990 angestiegen. Die Niederschläge haben sich in ihren Summen übers Jahr oder während der Vegetationszeit zwar im Durchschnitt kaum verändert, es errechnen sich insgesamt jedoch schärfere Trockenheits-Indizes [6]. Insofern gewinnt die Häufung von Trockenjahren zunehmend an Bedeutung, wobei das skelettreiche Substrat und die Konzentration der Feinwurzeln im Oberboden die Bäume besonders anfällig für Trockenstress machen.

### Wieder ein komplexes Wirkungsgefüge

Sucht man nach synchronisierenden Faktoren, die über die Baumarten und die Geologien hinweg den unbefriedigenden Kronenzustand bewirken können, so ist zum einen die allgemein mangelhafte Ernährung der Bäume mit P, S und K zu nennen. Da K eine wichtige Rolle für die Regulation des

Wasserhaushalts der Pflanze spielt [2], ist eine mangelhafte K-Versorgung zudem ein prädisponierender Faktor für Trockenheitsempfindlichkeit. Letztere ist auch standortkundlich gegeben, da die skelettreichen und oft auch flachgründigen Böden auf eine regelmäßige Niederschlagszufuhr angewiesen sind.

Warum wird der allgemein schlechte Kronenzustand erst wieder ab der Jahrtausendwende beobachtet? Hierzu gibt es zwei Erklärungsansätze. Zum einen sind durch die Effizienz der Luftreinhaltemaßnahmen die S-Emissionen und damit auch die S-Einträge in die Ökosysteme drastisch gesunken. Dies hat dazu geführt, dass sich von BZE1 (1987 bis 1993) zu BZE2 (2006 bis 2008) auf den sehr S-armen Gesteinen des nordostbayerischen Grenzgebirges die S-Ernährung der Bäume auf weitgehenden latenten Mangel und vereinzelt sogar echten Mangel verschlechtert hat [5]. Ein zweiter Erklärungsansatz ist die Tatsache, dass, wie bereits ausgeführt, seit dem Jahr 2000 sowohl das sommerliche Temperaturniveau als auch die Häufigkeit des Auftretens sommerlicher Trockenheit deutlich zugenommen hat.

### Ist Kalkung eine Option?

Bei knappen Nährstoffvorräten wird man gleich an eine Kalkung denken, zumal gekalkte Bestände zumindest bei der Fichte einen besseren Kronenzustand aufweisen. Beim direkten Vergleich der ungekalkten Standorte am Kaitersberg mit denen am Hohen Bogen zeigt sich aber trotz der geologisch bedingten besseren Ca- und Mg-Versorgung am Hohen Bogen kein signifikanter Unterschied im Kronenzustand. Der bessere Kronenzustand der gekalkten Bestände am Kaitersberg ist damit im Wesentli-

chen nicht allein mit der Zufuhr der beiden Elemente Ca und Mg zu erklären. Die Kalkung hat zwar nicht zu einer nachhaltigen Erhöhung der pH-Werte am Kaitersberg geführt, der pH-Wert im Humus liegt leicht erhöht in der Größenordnung des Hohen Bogen (Tab. 4). Sie beschleunigt offensichtlich aber dennoch durch eine Verbesserung des chemischen Milieus die Umsetzung der Humusaufgabe. Dies setzt dann mehrere Nährelemente zugleich frei, was insgesamt zu einer verbesserten Pflanzenvitalität beiträgt. Unterstützt wird diese These dadurch, dass die positive Wirkung der Kalkung im Belaubbungszustand sich vor allem bei der Fichte mit ihren mächtigeren Humusaufgaben zeigt (Medianwert Auflagehumusvorrat: fichtendominiert: 27,7 t/ha, buchendominiert: 19,5 t/ha). Langfristig jedoch wird die Kalkung keine Lösung des Problems bieten. Sind die Nährstoffe der Humusaufgaben mobilisiert und aufgebraucht, wird eine weitere Kalkzufuhr kaum mehr positiv wirken können. Zum einen werden dann aus dem Humus keine nennenswerten Nährelementmengen mehr mobilisiert, es wird nur Ca und Mg zugeführt. Zum anderen werden sich die negativen Auswirkungen dieser einseitigen Nährstoffgabe verstärken, nämlich die jetzt schon bei Buche abzusehenden Probleme bei der P- und K-Ernährung.

Längerfristig führt nur ein alle Makronährelemente berücksichtigendes Nährstoffmanagement zum Ziel. Oberstes Gebot muß ein nährstoffschonendes Wirtschaften sein, d. h., die Nährstoffexporte bei der Holzernte müssen auf ein Minimum reduziert werden. Nährstoffreiche Baumkompartimente wie Nadeln, Äste, Zweige, Rinde müssen in größtmöglichem Umfang flächig verteilt im Bestand belassen werden. Dies fördert auch den Humusaufbau. Humus ist auf diesen skelettreichen, armen Standorten ein wichtiger Nährstoff- und auch Wasserspeicher.

In Beständen mit stark verminderter Baumvitalität wird durch nährstoffschonendes Wirtschaften alleine kaum eine Verbesserung des Waldzustandes eintreten, da die Nährstoffdefizite oft zu groß sind. Hier

## Ernährungszustand von Fichte und Buche im Untersuchungsgebiet

**Tab. 3:** Nadel- und Blattspiegelwerte in mg/g; Kennzeichnung des Ernährungszustandes nach [4]

	Fichte			Buche		
	Hoher Bogen	Kaitersberg gekalkt	Kaitersberg ungekalkt	Hoher Bogen	Kaitersberg gekalkt	Kaitersberg ungekalkt
Anzahl	24	8	22	35	13	24
Calcium	2,54	2,78	1,49	4,34	2,76	1,90
Magnesium	1,14	1,12	0,97	1,03	1,06	0,72
Kalium	2,53	3,57	3,58	3,15	4,60	4,79
Stickstoff	11,50	10,80	10,80	19,70	21,7	21,20
Phosphor	0,99	0,89	1,05	0,77	0,88	0,97
Schwefel	0,61	0,63	0,66	1,10	1,20	1,12
Mangel	latenter Mangel	normale Ernährung				

ist über eine Nährstoffrückführung nachzudenken, welche den Umbau hin zu klimastabilen Mischwäldern unterstützt. Eine reine Kalkung wäre hier jedoch zu kurz gegriffen, da neben Ca und Mg auch die Nährelemente P, S und K limitierend wirken. Eine Option wäre im Sinne einer Kreislaufwirtschaft die Ausbringung von nährstoffoptimierten, sich langsam auflösenden Kalk-Asche-Granulaten.

### Ein langer Atem ist gefragt

Nährstoffschonendes Wirtschaften in Kombination mit moderater und standortsangepasster Nährstoffrückführung kann die Auswirkungen der Nährstoffentzüge, die dem Wald über einen Zeitraum mehrerer Jahrhunderte zugefügt wurden, nicht rasch beheben. Es wird Jahrzehnte dauern, bis sich deutliche Verbesserungen zeigen. Der Umbau

### pH-Werte in der Humusauflage

**Tab. 4:** Median der pH-Werte in der Humusaufgabe, gemessen in KCl

Humushorizont	Hoher Bogen	Kaitersberg gekalkt	Kaitersberg ungekalkt
Lof	3,53	3,55	3,00
Oh	2,96	2,84	2,67

hin zu klimatoleranteren Mischbeständen bedingt den Anbau von Laubbaumarten, die in der Regel einen höheren Nährstoffanspruch haben als Nadelbaumarten. Auch dieser Aspekt unterstreicht die Notwendigkeit eines auf Schonung der Nährstoffreserven ausgerichteten Wirtschaftens. Den Auswirkungen sommerlicher Dürreperioden, die auf den oft flachgründigen und skelettreichen Standorten des Inneren Bayerischen Waldes relativ schnell zu Trockenstress führen, bleibt der Waldbewirtschafter jedoch weitgehend hilflos ausgesetzt.



#### Dr. Michael Roskopf

**michael.rosskopf@aelf-rs.bayern.de**  
vertrat von März 2016 bis Februar 2020 an der HSWT das Lehrgebiet „Angewandte Standortkunde und Ressourcenschutz“, nun leitet er den Bereich Forsten des AELF Regensburg-Schwandorf.  
**Prof. Axel Göttlein** leitet die Professur für Waldernährung und Wasserhaushalt der TUM in Weihenstephan. Die Untersuchungen wurden vom StMELF unter Projekt ST326 gefördert.

### Literaturhinweise:

[1] AK Standortkunde (2016): Forstliche Standortaufnahme. 7. Aufl., IHW Verlag, Eching.  
[2] BECKER-DILLINGEN, J. (1939): Die Ernährung des Waldes. Verlagsgesellschaft für Ackerbau, Berlin.  
[3] BREDOW, B. von; BUGGERT, A.; ECKHOFF, A.; HOLLSTEIN, B.; NEUMANN, M.; SCHINDEL, R.; WEBER, A.; GLAVAC, V. (1986): Vergleichende Untersuchung der Boden-, Wurzel, und Blatt-Mineralstoffgehalte von Bäumen verschiedener Schadstufen in einem immissionsbelasteten Altbuchenbestand. Allgemeine Forstzeitschrift 20, 551-554.  
[4] GÖTTLEIN, A. (2015): Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche und Buche. Allgemeine Forst- und Jagdzeitschrift 186, 110-116.  
[5] GÖTTLEIN, A.; FÄTH, J.; RAU, M.; MELLERT, K. H. (2020): Schwefel - vom Überschuss zum Man-

gel. AFZ-DerWald 9/2020, 31-33. [6] HARTMANN, C. (2019): Untersuchungen von Klimatrends im Lamer Winkel im Zeitraum von 1951 bis 2017 und mögliche Auswirkungen auf den Kronenzustand. Bachelorarbeit, HSWT. [7] KAUPENJOHANN, M.; ZECH, W.; HANTSCH, R.; HORN, R. (1987): Ergebnisse von Düngungsversuchen mit Magnesium an vermutlich immissionsgeschädigten Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.) im Fichtelgebirge. Forstw. Cbl. 106, 78-84. [8] ULRICH, B. (1986): Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. Forstw. Cbl. 105, 421-435. [9] WELLBROCK, N.; BOLTE, A.; FLESSA, H. (2016): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Thünen Report 43, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.