

# Bodenstruktur und Bestandeswachstum

Forschungen in Fichten- und Laubbaumbeständen bestätigen den Einfluss der bodenstrukturellen Güte eines Standortes auf das Wachstum

Enno Uhl

**Eine Vielzahl ineinander greifender, standortsabhängiger Faktoren bestimmt das Wachstum der Bäume. Unter anderem beeinflussen Lagerungsdichte und Porenverteilung die Wasserversorgung und Belüftung der Wurzeln. In Waldbeständen wurden nun Zusammenhänge zwischen Bestandeswachstum und der bodenstrukturellen Güte nachgewiesen. Die Bodennote (siehe Kasten) charakterisiert die bodenphysikalische Güte eines Standortes. Sie gibt Auskunft über die Belüftungssituation und die Wasserleitfähigkeit des Bodens. Für die Bewirtschaftung des Waldes spielt der Zusammenhang zwischen bodenstruktureller Güte und Bestandeswachstum hinsichtlich des Maschineneinsatzes eine wichtige Rolle, wenn ein unsachgemäßer Einsatz die Bodenstruktur verschlechtert und Zuwachsverluste hervorruft.**

Ein komplexes Gefüge aus Standortfaktoren bestimmt das Wachstum der Bäume. Allerdings ist über den Einfluss bodenstruktureller Eigenschaften eines Standortes auf das Wachstum bisher nur wenig bekannt. Doch beeinflussen gerade Lagerungsdichte oder Porenverteilung die Wasserversorgungs- und Belüftungssituation im Wurzelraum der Bäume. Neben externen Standortfaktoren wie Niederschlag oder Temperatur bestimmen diese bodeninhärenten Faktoren das Wachstum. Wolf (2005) stellte auf einem Schüttsubstrat auf einer Rekultivierungsfläche einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der bodenstrukturellen Güte und dem Höhenwachstum von Laubhölzern fest. Sie entwickelte aus den bodenphysikalischen Parametern *Gesamtporenraum*, *Wasserleitfähigkeit* und *Porenquotient* ein Bewertungsmaß (*Bodennote*) für die bodenphysikalische Güte eines Standortes (siehe Kasten). Der Gesamtporenraum gibt dabei Auskunft über den effektiven Wurzelraum sowie über die Wasserspeicherkapazität. Über Wasserleitfähigkeit und Porenquotient lässt sich die Belüftungssituation im Boden charakterisieren. Dieser Zusammenhang ist für die Forstwirtschaft wichtig, weil die Befahrung des Waldbodens mit Forstmaschinen das strukturelle Gefüge im Boden verändern und gegebenenfalls zu einer Verschlechterung des Standortes führen kann. In einer Vorstudie waren daher zwei wichtige Fragen zu beantworten:

- Lässt sich auf Waldböden ein Zusammenhang zwischen strukturellen Eigenschaften des Bodens und dem Bestandeswachstum feststellen?
- Stellt die Bodennote ein geeignetes Maß für die Bewertung der strukturellen Güte eines Standortes dar?

## Untersuchungsbestände

Zur Klärung dieser Fragen wurden Versuchsflächen des langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächennetzes ausgewählt, das der Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München unter Beobachtung hält. Untersucht wurden reine Fichtenbestände im südlichen Bayern sowie Laubholzbestände aus Bergahorn, Esche und Buche in

Nordbayern (Tabelle 1). Bei der Auswahl der Fichtenversuche wurde darauf geachtet, Standorte mit guter Nährstoff- und Wasserversorgung auszuwählen. Zudem sollten hinsichtlich dieser Standortseigenschaften annähernd gleiche Bedingungen vorherrschen.

Als wachstumskundliche Größen wurde der *laufende jährliche Volumenzuwachs (iV)*, die Entwicklung der *Oberhöhe (HO)* sowie die *Gesamtwuchsleistung (GWL)* des Bestandes herangezogen. In der Regel unterscheiden sich die Parzellen eines Versuches durch die Ausgangsstammzahl bei der Begründung sowie durch das Behandlungsregime. Beide Aspekte beeinflussen neben den Standortfaktoren auf Grund ihrer konkurrenzbeeinflussenden Wirkung die Entwicklung eines Bestandes wesentlich. Für die Vergleichbarkeit der Fichten-Parzellen wurde deshalb das Dichtemaß *stand density index (SDI)* (Reineke 1933; Pretzsch et al. 2005) berücksichtigt, das die vorhandenen Unterschiede in der Bestandesdichte normiert. Für die Laubbaumflächen wurde auf Grund der gemischten Bestände statt des SDI das Verhältnis aus Höhe und Brusthöhendurchmesser (*h/d-Verhältnis*) als indirektes Dichtemaß verwendet. Das *h/d-Verhältnis* liefert zwar keine Aussage über die aktuelle Dichte eines Bestandes, jedoch lässt es Rückschlüsse auf die Dichtesituationen während der Bestandesentwicklung zu.

Auf den Versuchsflächen wurden die zur Ermittlung der Bodennote erforderlichen Bodenparameter erhoben. Die gemessenen Bodeneigenschaften wurden als konstant über die waldwachstumskundliche Beobachtungsdauer der Versuchsflächen angenommen. Dies ist zulässig, da eine bewirtschaftungsbedingte Beeinflussung dieser Eigenschaften für den Beobachtungszeitraum ausgeschlossen werden kann und natürliche Prozesse der Strukturveränderung im Boden (abgesehen von Erdbeben, Sturmwurf und dergleichen) sehr langfristig ablaufen.

**Bodennote (Wolf 2005)**

Die Bodennote integriert die Bodenstrukturparameter Wasserleitfähigkeit (kf-Wert), das Gesamtporenvolumen (GVP) sowie den Porenquotienten (PQ) eines Standortes. Sie beschreibt dessen bodenstrukturelle Güte und nimmt auf Grund ihrer numerischen Behandlung Werte zwischen 0,70 und 3,30 an. Eine äquidistante Differenzierung der Wertespanne mündet in eine fünfskalige Klasseneinteilung.

Klasse	Bodennote	Beschreibung
1	> 2,78–3,30	sehr gut
2	> 2,26–2,78	gut
3	> 1,74–2,26	mittel
4	> 1,22–1,74	schlecht
5	0,70–1,22	sehr schlecht

Dichte, Bestandesalter und Bodennote wurden als erklärende Variablen in einem regressionsanalytischen Ansatz verwendet mit dem Ziel, ihren Zusammenhang mit iV, HO und GWL zu klären. Werden Daten verschiedener Parzellen, von denen jeweils mehrere Beobachtungen vorliegen, miteinander verglichen, können Zufallseffekte sowohl auf der Ebene der einzelnen Beobachtungen als auch auf Parzellenebene auftreten. Diesem Umstand wurde durch die Verwendung gemischter Regressionsmodelle Rechnung getragen (Pinheiro et al. 2000).

**Zusammenhänge zwischen Wachstum und Bodennote**

Die Gesamtwuchsleistung summiert die oberirdische Holzvolumenproduktion über das ganze Bestandesleben auf. Sie zeigt für die Fichtenbestände einen statistisch signifikanten Zusammenhang zur bodenstrukturellen Güte. Auch die Entwicklung der Oberhöhe steht auf den Fichtenversuchsflächen in Korrelation zur Bodennote. Hingegen ergab sich kein statistischer Zusammenhang zwischen dem laufenden Volumenzuwachs eines Bestandes und der Bodennote. Werden bei der Regressionsanalyse nicht die integrierende Größe Bodennote, sondern ihre einzelnen Parameter untersucht, so beeinflusst die Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) des Standortes die Entwicklung des Wachstums am stärksten. Dies gilt sowohl für die Gesamtwuchsleistung als auch für die Entwicklung der Oberhöhe.

Auf den stärker strukturierten Laubholzflächen konzentrierte sich die Analyse wegen der geringeren Anzahl an Wiederholungsaufnahmen auf den Zusammenhang zwischen Bodenstruktur und Oberhöhenentwicklung. Auch hier wurde eine auf Ebene der baumartenbezogenen Oberhöhen signifikante Abhängigkeit festgestellt. Anders als bei Fichtenbeständen zeigen alle drei in die Bodennote integrierten Parameter (Wasserleitfähigkeit, Porenquotient und Gesamtporenvolumen) einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit der Oberhöhenentwicklung. Dabei besaß der Porenquotient gegenüber den anderen Parametern einen geringfügig höheren Einfluss.

Tabelle 1: Übersicht der Versuchsflächen

Versuch (Anzahl der Parzellen)	Bestandes-typ	Geologie	Substrat	Niederschlag [mm]
<b>Fichte</b>				
Denklingen (4)	Fichte	Münchener Schotterebene	schluffiger Lehm	1200
Sachsenried (3)	Fichte	Altmoräne	sandiger Lehm	1200
Fürstenfeldbruck (3)	Fichte	Altmoräne	sandiger Lehm	825
Platten (1)	Fichte	Kreidesand	schluffiger Sand	700
Scheibental (2)	Fichte	Tertiär	Schichtlehm	660
<b>Laubholz</b>				
Mellrichstadt (2)	Buche-Edellaubholz	Muschelkalk	toniger Lehm	970
Arnstein (3)	Edellaubholz	Muschelkalk	toniger Schluff	670
Olching (1)	Edellaubholz, Weichlaubholz	Münchener Schotterebene	sandiger Schluff	830

Die Stichprobengröße der Vorstudie ist sicherlich zu gering, um generelle Aussagen über das Verhältnis zwischen Bodenstruktur und Bestandeswachstum abzuleiten. Auf Grund des gewählten statistischen Verfahrens der Gemischten Modelle lassen sich aber für die gewählten Standorte Tendenzen ableiten. Die anfangs gestellte Frage nach einem Zusammenhang zwischen bodenstrukturellen Eigenschaften eines Standortes und dem Bestandeswachstum lässt sich klar bejahen. Die Ergebnisse bestätigen den Einfluss bodenphysikalischer Bodenparameter auf das Bestandeswachstum.

In den untersuchten Fichtenbeständen zeigt die Bodennote einen statistischen Zusammenhang sowohl zur Gesamtwuchsleistung als auch zur Oberhöhenentwicklung. Auf Grund der Ähnlichkeit der gewählten Standorte hinsichtlich der Niederschläge und Nährstoffversorgung gewinnt das Ergebnis zur Gesamtwuchsleistung eine besondere Bedeutung. Selbst bei hoher Standortsgüte rufen Unterschiede in bodenphysikalischen Merkmalen noch Unterschiede in der Gesamtwuchsleistung hervor. Für die Laubbaumflächen wurde ein Zusammenhang zwischen Bodennote und Oberhöhenentwicklung nachgewiesen. Gerade diesen Zusammenhang stellte auch Wolf (2005) in Laubholzkulturen auf einem künstlichen Schüttsubstrat fest.

Unterschiede zwischen Laubbaum- und Fichtenbeständen zeigten sich auch im Hinblick auf die Wirkung der einzelnen Bodenstrukturparameter, aus denen sich die Bodennote zusammensetzt. Für die Fichte spielt die Belüftung des Bodens eine wichtige Rolle (kf-Wert). Beim Laubholz unterscheiden sich die einzelnen physikalischen Bodenparameter nicht wesentlich in ihrem Einfluss auf das Wachstum. Dies könnte auf einen insgesamt höheren Anspruch der Laubhölzer an die Bodengüte hinweisen. Dies scheint eine zwischen Fichte und Laubholz differenzierte Gewichtung der Parameter bei der Berechnung der Bodennote zu erfordern. Auch ist die Bodennote in Zusammenhang mit den übrigen Standortfaktoren zu sehen. Eine unterschiedliche Bedeutung der Bodennote in Abhängigkeit von der Standortgüte deutet sich an.

Für die Bewirtschaftung des Waldes spielt der Zusammenhang zwischen bodenstruktureller Güte und Bestandeswachstum hinsichtlich des Maschineneinsatzes eine wichtige Rolle. Hier kann unter Umständen die Bodenstruktur bei unsachgemäßem Einsatz (u.a. flächige Befahrung, hohe Wassersättigung des Bodens, hoher Reifeninnendruck) langfristig negativ beeinflusst werden, sodass Zuwachsverluste eintreten.

## Literatur

Pinheiro, J.; Bates, D. (2000): *Statistics and Computing - Mixed-Effects Models in S and S-Plus*. Springer Verlag, New York, 528 S.

Pretzsch, H.; Biber, P. (2005): *A Re-evaluation of Reineke's rule and stand density index*. Forest Science 51, S. 304–320

Reineke, L. H. (1933): *Perfecting a stand density index for even-aged forests*. Forest Science 37, S. 574–592

Wolf, B. (2005): *Boden- und vegetationskundliche Untersuchungen zur Rekultivierung eines mittelständischen Bergbaubetriebs am Beispiel der GKB-Bergbau GmbH, Köflach*. Dissertation TU München

---

Enno Uhl ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München. Er bearbeitete zusammen mit Dr. Bettina Wolf die beiden Forschungsvorhaben. [Enno.Uhl@lrz.tu-muenchen.de](mailto:Enno.Uhl@lrz.tu-muenchen.de)

## Zu den Forschungsprojekten

Die Ergebnisse stammen aus zwei Forschungsprojekten (ST 174 und ST 193) mit dem Kurztitel »Bodenstruktur und Baumwachstum«. Die Arbeiten führte der Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik unter der Projektleitung von PD Dr. Dietmar Matthies zusammen mit dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München durch. Projektbearbeiter waren Dr. Bettina Wolf und Enno Uhl.

## 1958: Letztes gewerbliches Floß im Frankenwald



Foto: H. Schreiber (Archiv Flößermuseum: G. Wich-Heiter)

Vor 50 Jahren ging mit der Fahrt des letzten gewerblichen Floßes auf dem kleinen Flüsschen Grümpel die lange Tradition eines sehr bedeutungsvollen Holztransportsystems aus dem Frankenwald zu Ende. Im Frühjahr 1958 ließ die Firma Gottfried Fischer etwa 100 Festmeter Fichtenlangholz aus dem Grümpeltal auf dem traditionellen Wasserweg in ihr Sägewerk nach Friesen bei Kronach flößen.

Am vorderen Ende der Flosse wurden die Stämme mit einem Querholz (Joch) fest verbunden. Das hintere Ende sollte bei diesem Floßtypus flexibel bleiben, um sich engen Stellen im Flusslauf anpassen zu können.

Nach Fertigstellung der so genannten Grundkuppeln wurden sie mit einem Wasserschwall (»Schutz«) aus einem eigens hierfür aufgestauten Floßteich zu Tal gefloßt. Auf jeder Kuppel stand ein Flößer und steuerte sie mit seinem Floßhaken, einer Stange aus zähem Tannenholz mit Eisenspitze und einem Widerhaken. Die Fahrt um enge Flusswindungen und durch die Stauwehre erforderte viel Kraft und Geschick.

Die Bevölkerung des Frankenwaldes hat bis heute großen Respekt vor den Leistungen des Flößerhandwerks und bewahrt die Erinnerungen daran in verschiedenen Vereinen und Museen.

G. Müller, Nordhalben

---

Weitere Informationen unter: [www.floessermuseum.de](http://www.floessermuseum.de)