

# Haben Standortfaktoren einen Einfluss auf die Holzqualität von Buche (*Fagus sylvatica*, L.)?\*

Ergebnisse einer Vorstudie zu Buchenrotkern

Do site factors affect the wood quality of European beech (*Fagus sylvatica*, L.)?

Results from a pre-study on red heartwood

Christine Fürst, Thomas Seifert und Franz Makeschin

## Einleitung

Die Buche bildet mit aktuell 14,8 % der Waldfläche die bedeutendste Laubholzart in Deutschland (BWI II 2002). Das Einschlagsvolumen beläuft sich sogar auf rund 17 % des jährlichen Gesamteinschlags in der Bundesrepublik Deutschland (ZMP 2005). Die Buche ist also ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor in den Wäldern Deutschlands. Gleichzeitig sind jedoch nennenswerte Einbußen bei der Vermarktung von Buchenholz infolge von Merkmalen zu verzeichnen, die die Verwertung des Stammholzes in Möbelbau und Innenausbau beeinträchtigen. Wichtigstes Merkmal hier ist der Buchenrotkern (KNOKE et al. 2006). Allerdings sind die ökonomischen Konsequenzen bei der Vermarktung rotkerniger Buche, die KNOKE (2002, 2003 a) beleuchtet, stark mit dem Problem einer kontinuierlichen Versorgung des Holzmarktes mit einem homogenen Produkt „Rotkernholz“ verknüpft (KOCH et al. 2000). Rotkernholz – das zeigen Eindrücke bei den Buchensägern vor Ort – kann gut verwertbar und vermarktbar sein, wenn der Rotkern selbst einen Mindestdurchmesser von 25–30 cm, respektive 50–60 % des Stammquerschnitts aufweist und im Stamm einen einigermaßen gleichmäßigen Verlauf über die Stammlänge zeigt. Problematisch hinsichtlich einer kontinuierlichen Versorgung ist von Seiten der Forstwirtschaft allerdings die nach wie vor bestehende Unsicherheit, auf welchen Standorten Rotkern zu erwarten ist und mit welchem Alter bestimmte Rotkernanteile zu erwarten sind (FÜRST et al. im Druck). Hätte man Kenntnis über den

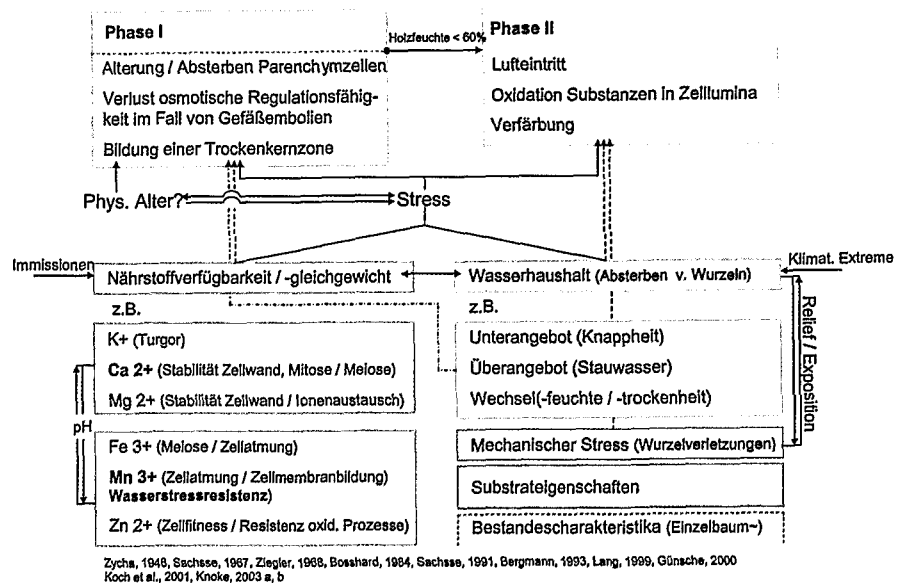


ABBILDUNG 1: Wesentliche Faktoren der zweiphasigen Bildung von Rotkern in Buche. FIGURE 1: Key factors of red heartwood formation in European beech.

Einfluss des Standortes auf das Auftreten von Rotkern an sich, das Alter in dem er zuerst auftritt und die Geschwindigkeit, mit der der Rotkern Durchmesser zunimmt, dann könnte eine Produktionsentscheidung „Buche mit Rotkern“ auf für Wertholzproduktion ansonsten ungeeigneten Standorten eine Alternative zu „weißer Buche“ sein. Ziel der Vorstudie war es, entlang einer einfachen Standortmatrix den Zusammenhang zwischen der visuell, respektive aus Einschlagsergebnissen hergeleiteten Häufigkeit und Intensität von Rotkern mit verschiedenen Standortfaktoren zu prüfen, um die Fragestellungen für eine tiefer gehende Untersuchung einzuengen.

## Material und Methoden

### Literaturstudie

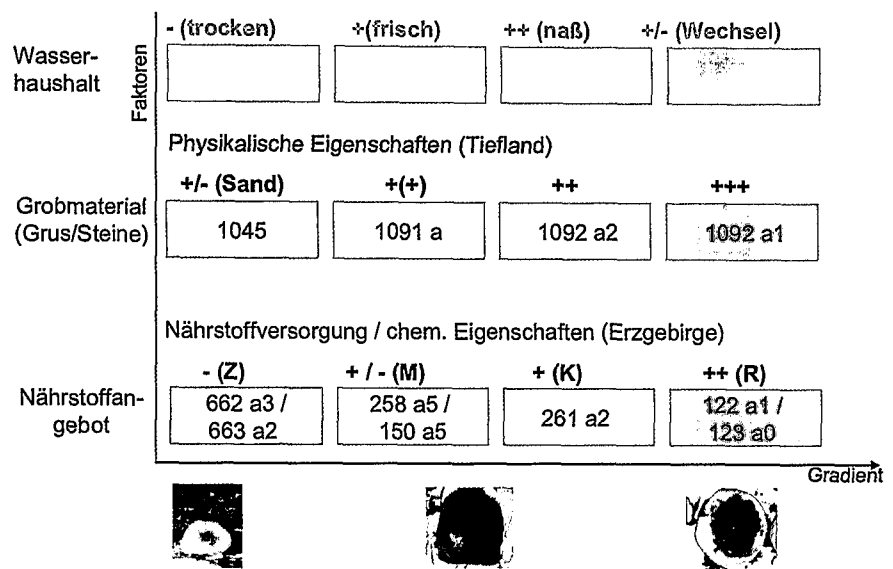
Eine erste Grundlage zur Identifikation der wesentlichen Standortfaktoren bildete eine Literaturstudie. Abbildung 1 gibt einen Überblick zu den am häufigsten zitierten Standortfaktoren, die mit zwei zu unterscheidenden Phasen der Entstehung von Rotkern verbunden sind (siehe ZYCHA 1948, SACHSSE 1967, ZIEGLER 1968, BOSSHARD 1984, SACHSSE 1991, BERGMANN 1993, LANG 1999, GÜNSCHE 2000, KOCH et al. 2000, KNOKE 2003 b).

Abbildung 1 zeigt, dass die für Phase I charakteristischen Prozesse der Alterung und des Absterbens von Parenchymzellen

durch die Verfügbarkeit von einigen wesentlichen Makro- und Mikronährelementen beeinflusst werden können. HOLBROOK und ZWIENIECKI (1999) sowie TYREE (1999) und LANG (1999) heben die Rolle von funktionsfähigen Parenchymzellen in Buche bei der Regeneration von Gefäßembolien hervor. Zellalterung, Nährstoffungleichgewichte, aber auch kumulative Embolien im Fall von akutem Wasserstress führen auf lange Sicht zur Ausbildung einer „Trockenkernzone“ im Stamm. Sinkt dort die Holzfeuchte unter einen Wert von 60 %, so können Prozesse der Phase II greifen, die letztlich zu den sichtbaren farblichen Veränderungen führen. In der Tat fand SACHSSE (1967) einen deutlichen Feuchtigkeitsgradienten in rotverkernten Buchen im Vergleich zu unverkernten Buchen. Erste Tests an gefällten Buchen im Erzgebirge mit Hilfe einer Thermokamera zeigten gleichfalls einen nachweislichen Zusammenhang zwischen sichtbarer Verfärbung und messbar geringerer Holzfeuchte im verfärbten Bereich gegenüber dem noch unverfärbten Splintholz (SEIFERT et al. im Druck). Die oxidativen Prozesse in Phase II verlangen allerdings das Vorhandensein von Lufteintrittspforten. Diese können beispielsweise durch Wurzelverletzungen und -absterben oder Trockenrisse infolge des standorttypischen Wasserregimes und der Substrateigenschaften entstehen. Natürlich auch durch die z. B. von KNOKE (2002) klassifizierten Eintrittspforten am Stamm. Diese waren jedoch nicht Gegenstand der Vorstudie.

### Auswahl der Testflächen

Gestützt auf die Ergebnisse der Literaturstudie wurde eine Standortmatrix gebildet (siehe Abb. 2), entlang derer Flächen im sächsischen Forstbezirk Bärenfels (Erzgebirge) sowie im sachsen-anhaltinischen Forstbetrieb Anhalt (Tiefland) ausgewählt wurden. Deren Eignung leitete sich aus den „gewünschten“ standörtlichen Eigenschaften, den Bestandeseigenschaften „Buchenreinbestand“, „mind. 1 ha Fläche“ und „Alter > 100 a“ sowie der Verfügbarkeit von Einschlagsdaten, respektive laufender Einschläge zur Abschätzung der Rotkernintensität her. Die Auswahl, der auch eine regional vergleichbare waldbauliche Behandlung und Bestandesqualität zugrunde gelegt werden sollte, wurde von den Forstbetrieben



**ABBILDUNG 2:** Testmatrix und -flächen im sächsischen Forstbezirk Bärenfels (Erzgebirge) sowie dem Forstbetrieb Anhalt (Tiefland).

Trophiestufen: Z = ziemlich arm, M = mittel, K = kräftig, R = reich

**FIGURE 2:** Test matrix and selected plots (stands) in the forest districts Bärenfels (Ore Mts., Saxony) and Anhalt (Lowlands, Saxony-Anhalt).

Trophic unit: Z = fairly poor, M = medium, K = good, R = rich

vorbereitet. Die Testbestände im Tiefland sind ca. 150–160 Jahre alt, die Erzgebirgsbestände etwa 120–130 Jahre. Die ausgewählten Flächen (Abteilungs- und Teilflächenkennung) sind in Abbildung 2 dargestellt.

Die Matrix umfasst distinkte Standortssituationen entlang eines standörtlichen Gradienten, zu dem die Faktoren (1) Wasserregime, (2) physikalische Standorteigenschaften (Bodenskelett, Substrateigenschaften, Gründigkeit als Faktorkombination) und (3) chemische Eigenschaften (Nährstoffe, pH-Wert) gehören. Der Einfluss des Wasserhaushalts wurde noch nicht getestet. Zunächst sollte der Zusammenhang der einzelnen Faktoren mit Ergebnissen aus Einschlagsanalysen, respektive soweit möglich, einer gutachterlichen Einschätzung von Rotkernhäufigkeit und -intensität geprüft werden.

### Analysen der Standorteigenschaften und der Einschlagsergebnisse

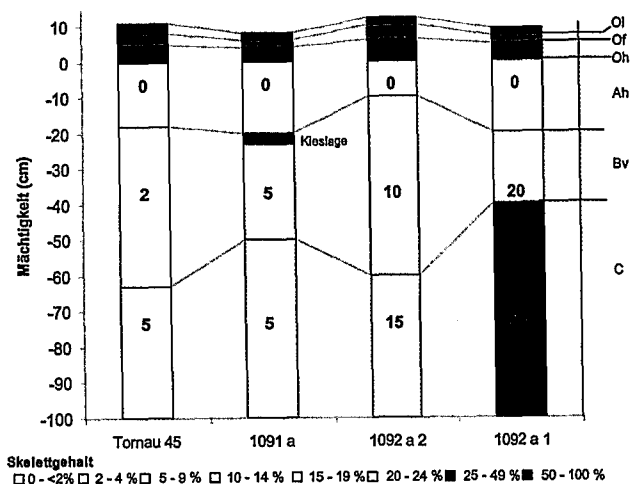
Die Tieflandstandorte für den Test des Einflusses von Substrateigenschaften bezogen sich durchgehend auf sandige Standorte mit mittlerer Nährstoffausstattung. An den Erzgebirgsstandorten wurde auf eine weitestgehende Ver-

gleichbarkeit der bodenphysikalischen Eigenschaften geachtet. An allen Standorten wurden die physikalischen Eigenschaften entsprechend der Anweisungen der Forstlichen Standortsaufnahme (AK STANDORTKARTIERUNG 1996) anhand jeweils 2–4 Schürfgaben vorerst angesprochen, eine weitergehende Analyse folgt nach.

Die bodenchemischen Kennwerte an den Standorten im Erzgebirge wurden auf Basis von jeweils zwei Testprofilen horizontweise (Hauptprofile A(h), B(v), C(v), Mischproben aus jeweils vier Stechzylinderproben à 100 g/Horizontal) erfasst, die Humusaufgabe wurde nicht in die Analyse einbezogen. Ermittelt wurden in diesem Vortest zunächst nur die wasserextrahierbaren Kationen ( $W_2\text{-HNO}_3$ , 10 g/100ml Wasser), der Schwefelgehalt ( $S_{\text{tot}}$ ) sowie der pH-Wert ( $\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{KCl}$ ) mit jeweils zwei Wiederholungen.

Eine gesonderte Dokumentation von Rotkern wird in der Einschlagsstatistik und Verbuchung nicht vorgenommen. Eine direkte Aussage zum Vorkommen von Rotkern lässt sich auf dieser Grundlage also nicht treffen. Um dennoch zu einer bestandesweise Abschätzung der Rotkernhäufigkeit und durchschnittlichen -intensität zu kommen, wurden die um Erfahrungswerte (max. Rotkern-%

<sup>1</sup> Der pH( $\text{H}_2\text{O}$ ) wird als Maß für aktuelle Azidität, der pH( $\text{KCl}$ ) für die potenzielle Azidität genutzt.



**ABBILDUNG 3:** Horizontmächtigkeit und Skelettgehalt im Mineralboden der vier Tieflandstandorte. **FIGURE 3:** Horizon thickness and skeleton content in the mineral soil for the four test plots in the Lowlands.

der Durchwurzelung der Kieslage und nachfolgenden mechanischen Schädigungen zugeschrieben werden kann. Dies deutete sich zumindest bei stichprobenartigen Grabungen an. Insgesamt scheint der Anteil an geringerwertigen und (zumindest in den Probebeständen) gleichzeitig stark rotkerngeprägten Sortimenten mit steigendem Skelettanteil zuzunehmen.

### Standorteigenschaften und Sortenverteilung im Erzgebirge

Hinsichtlich der bodenphysikalischen Eigenschaften zeigten die vier Standorte einen gegenüber den Tieflandstandorten höheren Skelettgehalt in den C-Horizonten (im Schnitt 50%), und eine geringere Gründigkeit. Für die Darstellung der bodenchemischen Kennwerte wurden exemplarisch die zwei Standorte 261 a2 (beste Nährstoffversorgung im Gradient, K) und 258 a5 (mittlere Nährstoffversorgung, M) ausgewählt. Beide Standorte zeigen einen relativ ähnlich gelagerten pH(H<sub>2</sub>O) (Abb. 5), wobei die Spannweite zwischen pH(H<sub>2</sub>O) und pH(KCl) bei dem „besseren“ Standort 261 a2 zumindest in den Horizonten Ah und Bv etwas größer ist, also eine etwas bessere Pufferkapazität vorhanden sein dürfte.

Betrachtet man die Ergebnisse der Wasserextraktion, so zeigt der „K“ Standort 261 a2 mit Abweichung im Bv ein etwas höheres Äquivalent an Basenkationen, insbesondere an Calcium und Magnesium und auch etwas höhere Schwefelgehalte (Abb. 6).

Dagegen weist der „M“ Standort 285 a5 mit Ausnahme des Cv etwas höhere Äquivalente an Aluminium und Eisen, dagegen ein etwas geringeres Äquivalent des für die Zellfitness verantwortlichen Zink auf. Hinsichtlich der Ausstattung mit den in Abbildung 1 erwähnten Makro- und Mikronährstoffen ist abschließend festzustellen, dass Vorhandensein und Verfügbarkeit der wesentlichen Elemente für die Standorte entlang der Nährstoffgradienten zunehmen, also – zumindest in der Theorie – die Bedingungen für eine optimale Versorgung der so wichtigen Parenchymzellen besser werden.

Stellt man dem Nährstoffgradienten die Ergebnisse aus der um regionale Erfahrungen korrigierten Einschlagsanalyse gegenüber (Abb. 7), so zeigt sich in der Tendenz, dass mit besserer Nährstoffversorgung der Anteil höherwertiger Sortimente zunimmt. In Abbildung 7 ist der Rotkernanteil ausgewiesen, der regio-

am Stammquerschnitt für die ausgehaltenen Sortimente, Basis Holzverkaufsverträge) korrigierten Einschlagsanalysen der Jahre 1995–2004 (Tiefland) und 2000–2004 (Erzgebirge) sowie Ergebnisse aus ergänzenden Begängen vor Ort im Winter 2005/2006 herangezogen.

## Ergebnisse

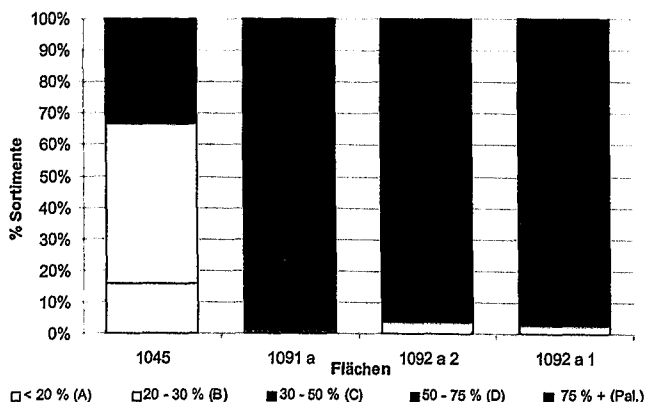
### Bodenphysikalische Eigenschaften und Sortenverteilung im Tiefland

Abbildung 3 gibt einen Überblick zu Horizontmächtigkeit und Skelettgehalt sowie standörtlichen Besonderheiten der Tieflandstandorte. Es zeigt sich, dass ein „durchgehender“ Gradient mit steigendem Skelettgehalt schwer durchzuhalten ist. Dennoch dürfte der Standort „Tornau 45“ eine gute Referenz für einen optimalen Buchenstandort im Hinblick auf gute Durchwurzelbarkeit und geringes Risiko von Wurzelverletzungen darstellen.

Als Besonderheit war der Standort 1091 a durch eine zwar geringmächtige aber durchgängige Kieslage in etwa 20 cm

Tiefe gekennzeichnet. Der Standort 1092 a2 zeichnete sich durch einen vergleichsweise geringmächtigen mineralischen Oberbodenhorizont Ah aus, der Standort 1092 a1 durch vergleichsweise hohen Skelettgehalt und einen geringmächtigen Bv.

Stellt man diesen lediglich grob klassifizierten physikalischen Eigenschaften der vier Standorte die Ergebnisse der Holzeinschlagsanalyse gegenüber (Abb. 4), so zeigt sich am „Optimalstandort“ Tornau 45 ein trotz hohen Alters vergleichsweise hoher Anteil an besser bewerteten Sortimenten, während die weiteren Versuchsstandorte durch einen deutlich höheren Anteil an geringerwertigen Sortimenten gekennzeichnet sind. Dargestellt sind in der Legende die Rotkernanteile am Stammquerschnitt, die nach regional üblicher Aushaltung den Sortimenten auf Basis der HKS (BRD 1969) zugeordnet werden. Das Sortiment Palette ist dabei regional maßgeblich durch hohe Rotkernanteile bestimmt. Auffällig ist der hohe Anteil an D in der Testfläche 1091 a, der möglicherweise Problemen bei



**ABBILDUNG 4:** Sortimentsverteilung auf den vier Tieflandstandorten nach Einschlagsanalyse 1995–2004. **FIGURE 4:** Assortment distribution in the Lowland test stands (harvesting period 1995–2004, timber assortments according to the regional timber purchase contracts).

nalüblich den Sortimenten auf Basis HKS zugeordnet wird. Aushaltung und Rotkernanteile in den Sorten sind nicht mit dem Tiefland vergleichbar. Für den „M“-Standort 285 a5 wurden aufgrund noch ausstehender Einschlagsergebnisse die Ergebnisse eines vergleichbaren Standortes eingesetzt.

Abbildung 7 zeigt, dass die Sortenverteilung auch auf vergleichbar eingestuft Standorten („Z“-Standorte 662 a2 und 663 a2) nicht in jedem Fall vergleichbar ausfällt. Dies indiziert zum einen die natürliche Spannbreite standörtlicher Rahmenbedingungen, zum anderen aber vor allem die Problematik, von Einschlagsergebnissen auf Bestandesqualitäten zu schließen. Einen entsprechenden Ausreißer aus der generellen Tendenz etwas besserer Sortimente mit besserer Nährstoffversorgung bildet der „R“-Standort 120 a1, dessen Einschlagsergebnisse durch gezielte Negativauslese gekennzeichnet waren. Allerdings treten als Erfahrung aus der Praxis sowohl auf dem „K“ Standort 261 a2 als auch auf dem „R“ Standort kaum rotverkernte Stämme auf. Die schlechte Qualität ergibt sich infolge der durch die Höhenlage bedingten klimatischen Extreme, die zu Stammdeformationen, Rindenverletzungen und Grobastigkeit führen. Ein nachfolgender

Begang konnte diese Beobachtung bestätigen.

### Diskussion und Ausblick

Ein wesentliches Problem bei der Bewertung der Ergebnisse stellt der Bezug auf

Ergebnisse aus der Holzeinschlagsanalyse dar. Hier werden zum einen unterschiedliche Kollektive betrachtet – die Qualität des ausscheidenden Bestandes besitzt nur einen sehr bedingten Erklärungswert für die Qualität des verbleibenden Bestandes. Zum anderen ergibt

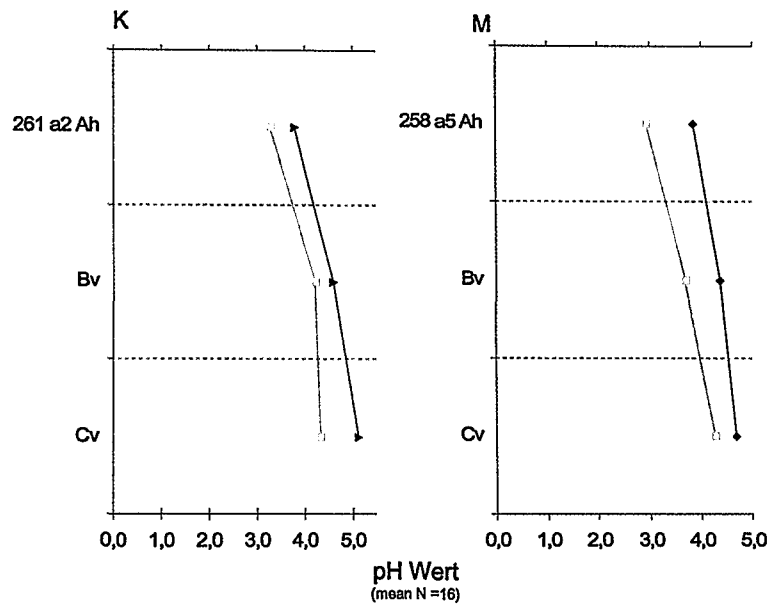


ABBILDUNG 5: Vertikaler  $pH(H_2O)$  und  $pH(KCl)$  Verlauf bei den Standorten 261 a2 und 258 a5.

FIGURE 5: Vertical  $pH(H_2O)$  and  $pH(KCl)$  trend at the test sites 261 a2 and 258 a5.

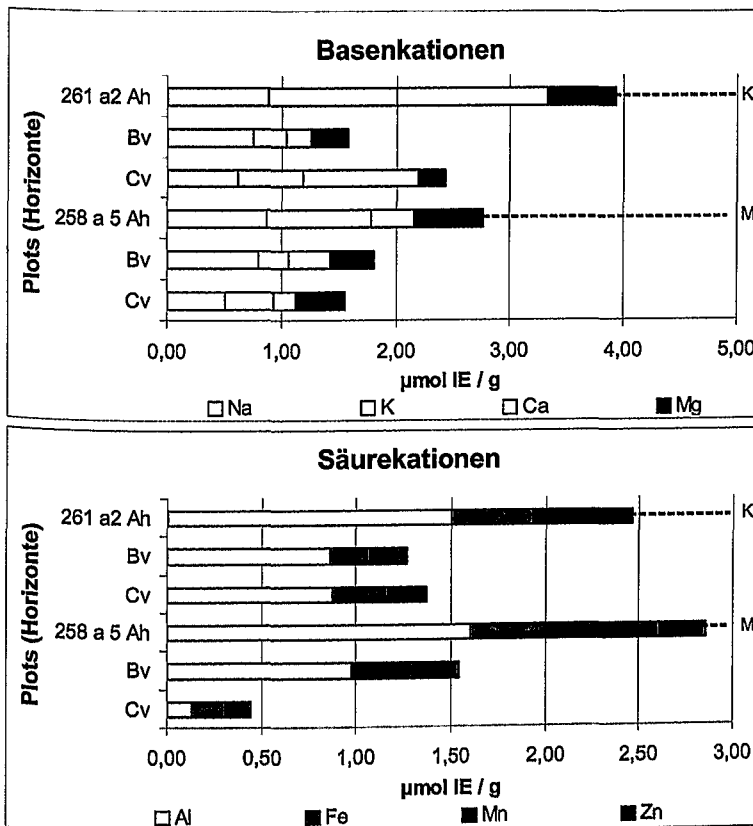
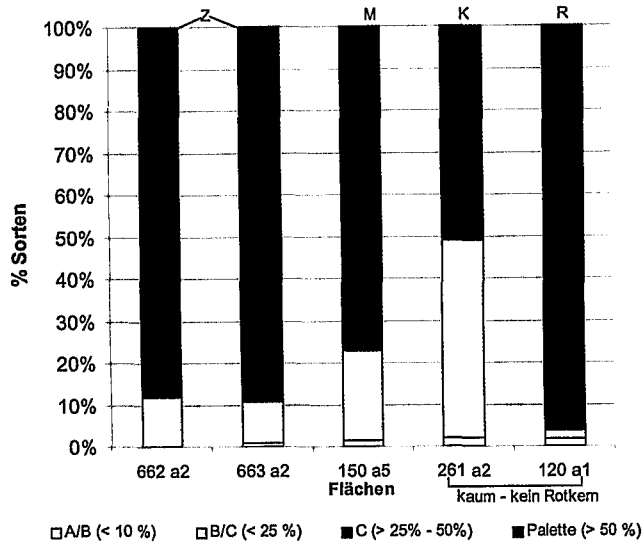


ABBILDUNG 6: Äquivalente an Basen- und Säurekationen sowie Gesamtschwefelgehalt an den Standorten 261 a2 (K) und 285 a5 (M).  
FIGURE 6: Alkaline and acidic cation equivalents and  $S_{tot}$  for the sites 261 a2 (K) and 285 a5 (M).



**ABBILDUNG 7:** Sortenverteilung auf den Erzgebirgsstandorten nach Einschlagsanalyse 2000–2004.  
**FIGURE 7:** Assortment distribution in the Ore Mts. test stands (harvesting period 2000–2004, timber assortments according to the regional timber purchase contracts).

WENDEROTH (2001) bewerten den Einfluss von Standortfaktoren nur als indirekt relevant im Zusammenhang mit dem Durchmesserzuwachs. Dies kann zum Teil durch die vorliegenden Ergebnisse aus den Erzgebirgsstandorten bestätigt werden – gleichaltrige aber langsamere erwachsene Buchen zeigen eine vergleichsweise geringere Qualität, die hier durch höhere Rotkernanteile bedingt ist. Auf den Tieflandsstandorten konnte ein solcher Zusammenhang allerdings nicht festgestellt werden. Vor diesem Hintergrund erscheint ein Test von Faktorkombinationen als besonders interessant.

Von Bedeutung für die weiteren Untersuchungen ist allerdings, der reinen „Rotkernanalyse“ eine Analyse voranzustellen, ab welchem Alter in Abhängigkeit von den beschriebenen Standortfaktoren die Ausbildung einer Trockenkernzone im Buchenstamm beginnt. Dies scheint viel versprechend, da diese erste Phase der Rotkernbildung wesentlich enger an Standortfaktoren geknüpft ist, als das „Endergebnis“ Rotkern, das zusätzlich vom Vorhandensein von Luft Eintrittspforten abhängt. Ziel weitergehender Untersuchungen ist eine Klassifikation der Standorte nach dem potenziellen Rotkernrisiko, das über die weiteren Produktionsziele entscheiden kann.

die Einschlagsanalyse auch nur eine verzerrte Informationsbasis hinsichtlich der tatsächlichen Rotkernintensitäten, da die Zuordnung zu den Sortimenten der HKS auch aufgrund anderer Stammeigenschaften erfolgt und einer Variation in Abhängigkeit von den jeweiligen Anforderungen des Holzmarktes unterliegt. Zwar wurde versucht, qualitativ optisch ansprechende Bestände auszuwählen, bei denen eine Zuordnung zu den schlechteren Qualitäten maßgeblich rotkernbedingt ist, dennoch sind die Sortenverteilungen nicht mit Rotkernintensitäten gleichzusetzen. Den Ansatz einer Klassifikation von Buchenrotkernhäufigkeiten und -intensitäten auf Basis der Einschlagsergebnisse verfolgten allerdings auch PÖHLER et al. (2004) in der Schweiz vor dem Hintergrund fehlender vollständiger Informationen und waren so zumindest in der Lage, eine – wenn auch gewissen Unsicherheiten unterworfen – Rotkernkarte der Schweiz zu erstellen. Dies bildet sicherlich eine wertvolle Zusatzinformation bei den überregionalen Produktionsentscheidungen mit Buche (Umtriebszeit, Wertholz-/Spezialsortimente).

Ein Vergleich zwischen den Ergebnissen aus Tieflandsstandorten und Erzgebirge verbietet sich infolge der unterschiedlichen naturräumlichen Ausgangssituation. Dennoch konnten einige erste Tendenzen festgestellt werden, eine statistische Absicherung ist aufgrund des geringen Umfangs an Testbeständen in der Vorstudie allerdings nicht möglich: Der Einfluss von physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften auf qualitative Eigenschaften der Buche scheint

gleichermaßen wirksam zu sein. Höhere Skelettgehalte und eine schlechtere Nährstoffausstattung bedingen offensichtlich auch einen höheren Anteil an geringwertigen Sortimenten. Ergänzende Analysen entlang eines Nährstoffgradienten im Tiefland und eines bodenphysikalischen Gradienten im Erzgebirge müssen folgen. KNOKE und SCHULZ-

## Abstract

The influence of site factors on the occurrence of red heartwood in European beech was tested along a gradient in the test regions “Ore Mountains” and “Lowlands” (Saxony/Saxony-Anhalt, Germany). A total of four test stands was selected in the Lowlands for analysing the role of soil skeleton content. In the Ore Mts. seven test stands were chosen in order to evaluate the influence of nutrition (site quality). An increasing soil skeleton content and a decreasing site quality (poor nutrition) tended to result in a decreasing timber quality and higher percentage of red heartwood. The study revealed the necessity to focus the ongoing work on the starting age/diameter of “dry heartwood” formation of European beech on different sites. The “dry heartwood” reveals better the potential for later red heartwood formation and thus can be used as indicator for the risk of later quality losses for forest management.

## Danksagung

Für die große Hilfsbereitschaft und sehr wertvolle Unterstützung bei der oft mühsamen Suche nach geeigneten Versuchsgliedern möchten wir sehr herzlich Andre Kubatzsch und Dr. Wolfram Gläser, Sächs. Forstbezirk Bärenfels, Dr. Klaus Dittrich und Ingo Reinhold, Sächs. Forstbezirk Marienberg sowie Dr. Dr. habil. Bernd Bendix, Forstbetrieb Anhalt und Dr. Dr. habil. Dorothea Gerold, TU Dresden danken. Ohne ihre Hilfe wäre die Voruntersuchung nicht möglich gewesen.

*Das Literaturverzeichnis kann bei der Autorin angefordert werden.*

**CHRISTINE FÜRST\***,  
**PROF. DR. FRANZ MACKESCHIN**  
 Institut für Bodenkunde  
 und Standortslehre, TU Dresden,  
 01737 Tharandt  
**DR. THOMAS SEIFERT**  
 Lehrstuhl für Waldwachstumskunde,  
 TU München  
 \* E-Mail: fuerst@forst.tu-dresden.de