

## **Ein Ansatz zur Beschreibung von Wahrscheinlichkeit und Ausmaß der Farbkernbildung bei Buche (*Fagus sylvatica* L.)**

An approach to predict probability and extend of red coloured heartwood in beech (*Fagus sylvatica* L.)

Von THOMAS KNOKE und STEPHANIE SCHULZ WENDEROTH

### **Zusammenfassung**

Der vorliegende Beitrag untersucht, von welchen Faktoren es abhängt, ob eine Buche an einer Schnittfläche einen Farbkern aufweist oder nicht und durch welche Faktoren der Kerndurchmesser beeinflusst wird. Die Farbkernereigenschaften werden als abhängige Variablen anhand der Daten von 195 gefällten Buchen analysiert.

Die Streuung der abhängigen Variablen lässt sich zu einem großen Teil durch den BHD der Buche, die Höhe, in der der Farbkern analysiert wurde und den durchschnittlichen Durchmesserzuwachs erklären. Als waldbaulich wichtigstes Ergebnis zeigte die Analyse, dass Bäume mit hohem durchschnittlichen Durchmesserzuwachs bei sonst gleichen Eigenschaften weniger wahrscheinlich einen Farbkern bzw. einen Farbkern mit bestimmtem Mindestdurchmesser aufwiesen. Daraus lässt sich ableiten, dass Waldbaukonzepte, die es ermöglichen, Buchenholz bestimmter Dimensionen in kürzerer Zeit zu produzieren, das Risiko der Qualitätsminderung durch Farbkern reduzieren. Der Standort erwies sich nur im Zuge der Analyse des Kerndurchmessers als wesentlicher Einflussfaktor, nicht jedoch bezüglich der Wahrscheinlichkeit, dass eine Buche einen Farbkern aufweist. Neben den genannten erklärenden Variablen beeinflusste die Anzahl der aktuellen bzw. ehemaligen Lufteintrittspforten (Totäste, Beulen, große Astnarben) den Kerndurchmesser und die Wahrscheinlichkeit auf einer Schnittfläche einen Farbkern mit bestimmtem Mindestdurchmesser zu finden. Der Faktor „Anzahl Lufteintrittspforten“ wirkte sich jedoch nur in geringem Maße auf den Kerndurchmesser und die Wahrscheinlichkeit mit der eine Buche einen Kern mit bestimmtem Mindestdurchmesser aufweist aus.

**Schlagwörter:** *Fagus sylvatica*, Waldbaukonzept, Buchenfarbkern, Lufteintrittspforten, Qualitätsminderung

### **Summary**

This study analyses data collected from 195 felled beech trees. The probability of the occurrence and heartwood diameter were used as dependent variables.

All dependent variables were significantly affected by the dbh of the stem, the height on the stem where colouration occurred and mean diameter increment. The analyses show that the most important result, from a silvicultural point of view, is that growing trees within a short time exhibited low probability of forming red coloured heartwood and thus, low probability of having poor quality wood. It is therefore concluded that a silvicultural treatment, which allows the production of beech timber of specific dimension within a short time is efficient in reducing the risk of devaluation by coloured heartwood. Site was only found to significantly affect the estimation of heartwood diameter. The number of injuries in the bark (dead branches, knobs, big scars) through which oxygen enters the stem significantly affected the extent of the heartwood as well as the probability that a beech tree exhibits coloured heartwood of more than 33 % of the stem cross section. However, the latter factor only slightly affected the diameter of coloured heartwood.

**Keywords:** *Fagus sylvatica*, silvicultural treatment, red coloured heartwood, injuries in the bark, probability of having poor quality wood

## 1 Einleitung

Die Buche stockt in den alten Bundesländern auf einer Fläche von 1,22 Millionen ha (BML, 1990) und ist hier mit einem Anteil an der Waldfläche von 16 % die wichtigste Laubbaumart<sup>1</sup>. Für starkes Buchenstammholz werden derzeit hohe Preise erzielt (Bayerisches Staatsministerium für ELF, 2000). Es liegt deshalb zunächst nahe, starke Buchen zu erziehen. Das Produktionsziel „Starkholz“ ist bei der Buche allerdings mit dem Risiko der Qualitätsminderung durch Bildung eines Farbkerns verbunden (MOOG und KARBERG, 1992; SEELING, 1998; SPELLMANN, 1999), der bei der Buche fakultativ auftritt.

Aufgrund der hohen Wertverluste durch Farbkernbildung (z.B. SEELING, 1998) versuchen moderne Behandlungskonzepte dem Risiko Buchen mit Farbkern zu produzieren durch waldbauliche Maßnahmen gezielt entgegenzuwirken (WILHELM et al., 1999; Bayerisches Staatsministerium für ELF, 2000). Inwieweit sich die Bildung des Farbkerns überhaupt waldbaulich steuern lässt, ist jedoch bislang keineswegs geklärt. Einige Autoren stellen die besondere Bedeutung des BHD für Wahrscheinlichkeit und Ausmaß der Farbkernbildung heraus (z.B. WOBST, 1972; RACZ et al., 1961; BECKER et al., 1989; HÖWECKE, 1998). Wäre der BHD aber wirklich der einzige die Farbkernbildung beeinflussende Faktor, wie in einer Reihe betriebswirtschaftlicher Studien unterstellt wird (HOLM, 1974; MOOG und KARBERG, 1992; BÖRNER, 1998), so könnte durch stärkere Umlichtung der Bäume zur Verkürzung der Produktionszeit der Anteil farbkernigen Holzes bei gleichem Zieldurchmesser nicht reduziert werden.

Es stellt sich deshalb von wissenschaftlicher Seite die folgende zentrale Frage:

### ***Können Wahrscheinlichkeit und Ausmaß der Farbkernbildung durch waldbauliche Maßnahmen beeinflusst werden?***

Um diese Frage zu klären, ist das Ziel einer derzeit laufenden Studie, die freundlicherweise durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziell unterstützt wird, zum einen Modellansätze zur Beschreibung der Wahrscheinlichkeit mit der eine Buche einen Farbkern aufweist zu entwickeln. Zum anderen soll das Ausmaß des Farbkernes, also der Farbkerndurchmesser, modellhaft abgebildet werden. Hierzu wird der Einfluss potentieller Faktoren auf diese beiden Farbkernneigenschaften (vorhanden/nicht vorhanden, Durchmesser) mit statistischen Methoden getestet. Erste Ergebnisse der Studie werden hier publiziert.

## 2 Datenmaterial und Auswertungskonzept

Um statistische Gleichungen zur Beschreibung von Wahrscheinlichkeit und Ausmaß der Farbkernbildung aufzustellen, wurden Aufnahmen an 195 Buchen aus den Bayerischen Forstämtern Arnstein, Ebrach und Schwabmünchen durchgeführt, die im Winter 1999/2000 gefällt wurden.

### 2.1 Untersuchungsbestände

Die Untersuchungsbestände stockten in vier verschiedenen Wuchsbezirken auf überwiegend frischen Standorten. Ihr Durchschnittsalter reichte von 126 bis 180 Jahre (Tab. 1). Um Bäume mit möglichst extremen Merkmalen zu erfassen, wurden zwei durchgewachsene Mittelwälder (Abteilung Hirschruh, Staatswald des FoA Arnstein und Abteilung Brandrain, Gemeindewald

---

<sup>1</sup> In den neuen Bundesländern nimmt die Buche mit 208.040 ha zwar nur 7 % der Waldfläche ein (BML, 1994). Aber auch hier ist ihr Flächenanteil nach dem der Gruppe der „Anderen Laubhölzer mit niedriger Lebensdauer“ (z.B. Birke, Erle, Pappel, Weide, Vogelbeere) der höchste.

Himmelstadt) in die Untersuchung einbezogen. Der mittlere Durchmesser der Mittelwaldstämme (rund 70 cm) hob sich, bei niedrigerem Alter, von dem der Stämme der Hochwaldbestände in Arnstein und Ebrach um 15 bis 20 cm deutlich nach oben ab.

In den Untersuchungsbeständen der Forstämter Arnstein und Ebrach wurden nach der Fällung der Probestämme stichprobenartig deren sechs nächste Nachbarn erfasst, so dass eine gute Charakterisierung dieser Bestände hinsichtlich Stammzahl, Vorrat und Grundfläche je ha möglich war. Die Stammzahlen lagen bei etwa 100 Stämmen/ha. Die niedrigste Grundflächen- bzw. Vorratshaltung wies der durchgewachsene Mittelwald in Himmelstadt auf (Abteilung Brandrain) (Tab. 2).

## **2.2 Datenaufnahme**

Die aufgenommenen Messgrößen können in zu erklärende Variablen (abhängige Variablen), das sind die Farbkerneigenschaften (vorhanden/nicht vorhanden, Durchmesser), und erklärende Variablen (unabhängige Variablen), das sind die Baummerkmale (wie BHD, Alter, Kronenansatz) sowie die Standortseigenschaften, unterteilt werden.

### **2.2.1 Abhängige Variablen**

Im Zuge der Feldaufnahmen wurde das **Vorkommen** des Farbkerns, also ob eine solche Erscheinung entweder am Fällschnitt oder am Zopfschnitt vorhanden war, erfasst. Die Kerne wurden nach Vorschlägen von SACHSSE (1991) und SEELING (1992) typisiert. Der klassische Rotkern (der auch Wolken- oder Mosaikkern genannt wird) hatte danach mit Abstand den größten Anteil. So wiesen 89 % der Schnittflächen mit Kern einen klassischen Rotkern auf. Schnittflächen mit Spritzkern oder abnormem Kern kamen in so geringer Zahl vor, dass solche Beobachtungen zunächst im Rahmen dieser Vorstudie aus der Untersuchung ausgeschlossen wurden. Der Wundkern trat nur in Form von schwachen Verfärbungen um kleine zentrale Risse auf. Dieser Kerntyp wurde von KLEMMT (1996) auch als Risskern bezeichnet. Schnittflächen mit diesem Kerntyp wurden als solche ohne Kern gewertet, da die Verfärbung aufgrund ihrer länglichen und nur geringen Ausdehnung nicht belangvoll war.

Zudem wurde die Ausdehnung der Verfärbung über den Stammquerschnitt, also der **Kerndurchmesser**, gemessen. Der Kerndurchmesser wurde immer in Richtung der längsten Ausdehnung des Kernes erfasst. Wenn allerdings der größte Kerndurchmesser mehr als doppelt so groß war wie der kleinste (längliche Kerne), wurden Maximal- und Minimaldurchmesser gemittelt, da längliche Kerne bei identischem Maximaldurchmesser die Ausbeute an weißem Holz nicht im selben Maße einschränken wie runde. Dies gilt zumindest dann, wenn das Rundholz im Sägegatter bearbeitet oder gemessert wird. Um den Kerndurchmesser auf den Durchmesser des Stammquerschnittes beziehen zu können (relativer Kerndurchmesser), wurde der Durchmesser des Stammes am Fällschnitt und am Zopfschnitt durch kreuzweise Klappung erfasst.

### **2.2.2 Erklärende Variablen**

Wie eine große Zahl an Beiträgen belegt, werden Zusammenhänge zwischen der fakultativen Kernholzbildung bei Buche und einer Reihe von Baum- sowie Standortmerkmalen vermutet (z.B. ZYCHA, 1948; RAUNECKER, 1956; RACZ et al., 1961; KELLER, 1961; KREML und MARK, 1962; CONRAD, 1963; NECESSANY, 1969; SACHSSE und SIMONSEN, 1981; MAHLER et al., 1988; BECKER et al., 1989; WALTER und KUCERA, 1991; WALTER et al., 1991; BUCHER und KUCERA, 1991; MAHLER und HÖWECKE, 1991; KUCERA, 1991; SEELING und SACHSSE, 1992; PALMER,

1994; KLEMMT, 1996; FRANK, 1996; HÖWECKE, 1998; SEELING, 1998; von BÜREN, 1998 und BÖRNER, 1998).

Aufgrund der vermuteten Zusammenhänge wurden an den Probestämmen die folgenden Messgrößen erhoben:

### **Alter**

Das Alter wurde für 164 der 195 analysierten Stämme (84 %) durch Jahrringzählung an Stammscheiben mit Hilfe des Digitalpositionimeters nach JOHANN bestimmt. Um die Stammstücke nicht zu entwerten, wurden die Stammscheiben jeweils am Zopf des Erdstammstückes entnommen. An dieser Stelle wird bei wertvollen Stämmen häufig ein Säuberungsschnitt durchgeführt. Das Alter der Stammscheibe am Zopf des Erdstammstückes entspricht jedoch nicht dem Baumalter. Um das Alter der Bäume korrekt zu bestimmen, hätten Stockscheiben gewonnen werden müssen, was bei Stockdurchmessern von zum Teil über einem Meter den Aufwand der Untersuchung erheblich gesteigert hätte. Um zu einem korrekten Baumalter zu kommen, wurde die Zeit, die der Baum benötigte, um die Höhe der Entnahmestelle der Stammscheibe zu erreichen, mit Hilfe der von KENNEL (2000) für die Überlebensprognose von Verjüngungspflanzen konstruierten Höhenentwicklungskurven berechnet. Diese Kurven bilden ab einem Alter von 30 Jahren in etwa die Höhenentwicklung des Mittelstammes der Buchenertragstafel von WIEDEMANN ab und geben darüber hinaus über die Höhenentwicklung jüngerer Bäume Auskunft. Sie lassen es zu, bei bekannter Bonität für eine bestimmte Baumhöhe (hier die Entnahmehöhe der Stammscheibe) das Alter zu bestimmen. Dieses Alter wurde zum Alter der Stammscheibe addiert, um das tatsächliche Alter des Baumes zu ermitteln.

### **Plausibilität der Altersermittlung**

Im Folgenden soll gezeigt werden, dass das beschriebene Vorgehen zu plausiblen Ergebnissen geführt hat. Dazu wurde der Quotient aus dem Durchmesser der Stammscheibe und dem anhand der Stammscheibe bestimmten Alter (durchschnittlicher Durchmesserzuwachs am Zopf des Erdstammstückes  $id_{Zopf}$ ) verglichen mit dem Quotienten aus BHD und dem berechneten Alter des Baumes in 1,3 m Höhe (durchschnittlicher Durchmesserzuwachs in 1,3 m Höhe  $id_{BHD}$ ). Bis zum Erreichen von 1,3 m Höhe wurde für die wahrscheinlich aus Naturverjüngung hervorgegangenen Bäume ein Zeitraum von 10 Jahren unterstellt. Es wurde zudem angenommen, dass der durchschnittliche Durchmesserzuwachs im unteren Schaftbereich relativ unabhängig von der genauen Höhe am Schaft ist. Trifft dies zu, so müssen der durchschnittliche Durchmesserzuwachs am Zopf des Erdstammstückes und derjenige in 1,3 m Höhe gut übereinstimmen, wenn die Altersermittlung für die Probestämme korrekt war.

Die mit Hilfe der Regressionsanalyse hergeleitete Beziehung zwischen den beiden verglichenen Durchmesserzuwächsen (Abb. 1):

$$id_{Zopf} = -0,0006 + 1,0066 \cdot id_{BHD}$$

ist mit einem Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) von 0,96 sehr straff. Der mittlere einfache Fehler beträgt nur  $\pm 0,02$  cm. Mit einem Achsenabschnitt von annähernd 0 ergab die Regressionsanalyse eine Gerade, die durch den Ursprung geht. Der Steigungsparameter beträgt nahezu 1. Damit entsprechen sich der auf dem berechneten Alter basierende Durchmesserzuwachs ( $id_{BHD}$ ) und der wirklich gemessene Durchmesserzuwachs ( $id_{Zopf}$ ) sehr gut, was die Richtigkeit der Altersermittlung unterstützt.

Für 16 % der Stämme konnte keine Stammscheibe genommen werden. Das Alter dieser Stämme wurde mit Hilfe einer anhand der Daten der 164 gemessenen Stämme

parametrisierten Regressionsgleichung aus BHD, Behandlung (Hochwald/Mittelwald) und Wuchsgebiet geschätzt ( $R^2=0,69$ ).

### **BHD**

Der Stammdurchmesser in 1,3 m Stammhöhe wurde am liegenden Stamm unter Berücksichtigung der Stockhöhe durch kreuzweise Klappung erhoben.

### **Totäste, Beulen und Astnarben**

Sämtliche am liegenden Stamm erkennbaren Totäste und Astnarben, deren Durchmesser in stammachsenparalleler Richtung (Totast- bzw. Astnarbenhöhe) sowie Beulen unterhalb der Kronenbasis wurden untersucht. Die Anzahl der beschriebenen Merkmale wurde als Summe der Lufteintrittspforten (*SuL*) in die Analysen eingeführt.

### **Zwiesel**

Zwei Typen von Zwieseln wurden unterschieden: Solche mit deutlichen Verwachsungsnähten (Zwiesel mit „Ohren“) und solche ohne diese Auffälligkeit, die allerdings sehr selten waren.

### **Kronenbasis und Höhe, in der der Farbkern erfasst wurde**

Die Kronenbasis wurde definiert als Ansatzhöhe des ersten grünen Primärastes. Die Höhe dieses Astes wurde am liegenden Stamm gemessen. Die Höhe, in der der Farbkern analysiert wurde, ist die Stockhöhe für den Farbkern am Fällschnitt und die Stockhöhe plus die Länge des Erdstammstückes für den Farbkern am Zopfschnitt des Erdstammstückes.

### **Standort**

Um den Standort zu beschreiben, wurden Informationen aus der Standortkartierung verwendet (Tab. 1). Im Zuge der Analysen wurde der Bestand, aus dem der Probebaum stammte, als erklärende Variable (also als Varianzquelle) getestet. Unterschiede zwischen den Beständen unter sonst gleichen Bedingungen wurden auf den unterschiedlichen Standort zurückgeführt. Zudem wurde der Einfluss des Reliefs am Wuchsort des gefällten Stammes mit den Kategorien „Plateau/Ebene“, „Rücken“, „Oberhang“, „Mittelhang“ und „Unterhang/Mulde“ analysiert. Der Bestand und das Relief wurden mit Hilfe von Dummy-Variablen (vgl. BORTZ, 1985) berücksichtigt (Tab. 3 und 4).

## **2.3 Statistische Auswertung**

Um den Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variablen Y (hier die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kern vorhanden ist bzw. der Farbkerndurchmesser) und einer oder mehreren unabhängigen Variablen  $X_i$  zu beschreiben, eignet sich die Regressionsanalyse. Durch die lineare Regressionsrechnung kann so z.B. die Beziehung zwischen dem Farbkerndurchmesser (als metrischer Größe) und bestimmten unabhängigen Variablen gut analysiert werden. Es ist allerdings nicht möglich, eine kategoriale Variable wie z.B. die Färbung (verfärbt/weiß), als abhängige Variable in die Regressionsrechnung einzuführen. Dies ermöglicht die Probitanalyse (WEBER, 1986; SCHUEMER et al., 1990), mit deren Hilfe quantifiziert werden kann, wie wahrscheinlich ein Buchenstamm mit bestimmten Merkmalen einen Kern (oder einen Kern mit bestimmtem Mindestdurchmesser) aufweist.

### **2.3.1 Wahrscheinlichkeit mit der eine Schnittfläche einen Kern aufweist**

Die Probitanalyse wird häufig zur Untersuchung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen eingesetzt (WEBER, 1986). In vorliegendem Falle kann z.B. der BHD eines Stammes als eine Dosis betrachtet werden, die im Stamm mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eine Wirkung in Form des Farbkerns hervorruft. Um die Beziehung zwischen der Wahrscheinlichkeit, dass ein Farbkern vorhanden ist (Wirkung) und verschiedenen Baumeigenschaften (Dosen) zu analysieren, wurde das Statistik-Programmpaket SAS (Version 6.12) eingesetzt. Das Programm liefert Parameterschätzungen ( $b_1$ - $b_i$ ) für eine lineare Funktion, die „Probit-Werte“ für einen Baum mit bestimmten Eigenschaften ( $X_1$ - $X_i$ ) berechnet<sup>2</sup>:

$$PROBIT = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_i X_i \quad (1)$$

Der mit Hilfe der Regressionsgleichung berechnete „Probit-Wert“ muss in die Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung ( $\phi$ ) eingesetzt werden, um die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt eines bestimmten Zustandes zu berechnen ( $P$ ).

$$P = \phi(PROBIT) \quad (2)$$

Zur Beurteilung der Modellgüte wurden zwei Anpassungstests durchgeführt (der Pearson „ $\chi^2$ -Test“ und der „log likelihood-Verhältnis- $\chi^2$ -Test“). Wenn die durch das Modell geschätzten Wahrscheinlichkeiten gut mit dem Datenmaterial übereinstimmen, sollten beide Teststatistiken annähernd mit der  $\chi^2$ -Verteilung vereinbar sein. Das bedeutet, der Signifikanztest sollte keine wesentlichen Abweichungen zwischen Teststatistik und  $\chi^2$ -Verteilung ergeben.

### 2.3.2 Beschreibung des Farbkerndurchmessers

Zur Analyse des Zusammenhanges zwischen Kerndurchmesser bzw. relativem Kerndurchmesser (Durchmesser des Kerns geteilt durch Durchmesser des Stammes an derselben Stelle) ( $KD$ ) und bestimmten Baum- ( $X_1$ - $X_i$ ) und Standortsmerkmalen ( $R1$ - $R4$ ,  $B1$ - $B5$ ) wurde die lineare Regressionsrechnung verwendet. Es wurde das folgende allgemeine Regressionsmodell formuliert, welches keine Wechselwirkungen berücksichtigt, die in multivariaten Modellen häufig schwer interpretierbar sind ( $\varepsilon$  bezeichnet die nicht erklärte Streuung):

$$KD = b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_i X_i + b_{i+1} R1 + \dots + b_{i+4} R4 + b_{i+5} B1 + \dots + b_{i+10} B5 + \varepsilon \quad (3)$$

Wie bereits erwähnt, wurden die Standortsmerkmale mit Hilfe von Dummy-Variablen in die Regressionsanalyse eingeführt (vgl. Tab. 3 und 4). Durch diese Variablen wird geprüft, ob sich für unterschiedliche Standortsmerkmale unterschiedliche, jedoch parallel verlaufende Kurven ergeben. Für die Lehme der Fränkischen Platte und aus dem Tertiären Hügelland (vier Bestände in Arnstein und Schwabmünchen) wurde z.B. die Variable  $B1$  mit +1 kodiert, wohingegen für die Sande des Keupers (zwei Bestände in Ebrach) der Kode -2 verwendet wurde. Erweist sich der Parameter der Variable  $B1$  als signifikant und ist positiv, so bedeutet das, dass die Funktion für Bäume der Bestände aus Ebrach im Vergleich zu den übrigen

<sup>2</sup> Die Parametrisierung der Funktionsgleichung (1) erfolgt iterativ. Zunächst werden alle Parameter gleich Null gesetzt. Dann werden die Parameter solange versuchsweise verändert, bis die sogenannte „Log Likelihood“-Funktion ein Maximum erreicht hat (SAS Institute, 1990; S. 1334 f.). Das Programm berechnet dazu für jede Beobachtung den Logarithmus der geschätzten Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Farbkerns und summiert diese Werte auf. Würde das Programm für jede Beobachtung mit Farbkern diesen mit 100 % Wahrscheinlichkeit vorhersagen, könnte sich theoretisch ein maximaler „Log Likelihood“-Wert von Null ergeben, denn der natürliche Logarithmus von 1 ist Null. Für alle anderen Fälle sind negative Werte zu erwarten.

Probebäumen bei sonst gleichen Eigenschaften niedrigere Kerndurchmesser ergibt. Der Achsenabschnitt  $b_0$  der Funktion (3) wird dann für die Bäume von sandigen Standorten aus Ebrach um den Faktor  $-2 b_{i+5}$  reduziert, während für die Bestände mit Standortseinheit Lehm (in Arnstein und Schwabmünchen) der Achsenabschnitt  $b_0$  um den Faktor  $+1 b_{i+5}$  erhöht wird. Es ergeben sich also zwei verschiedene, parallel verlaufende Kurven für die beiden Standortseinheiten.

Zur Beurteilung der Modellgüte wurde vor allem die Streuung der Restfehler (Residuen=geschätzter Wert-gemessener Wert) analysiert.

Als Ausreißer wurden Beobachtungen, deren standardisierte Residuen (zur Standardisierung wurde die Studentverteilung verwendet) außerhalb bestimmter Grenzen lagen. Hierbei wurden die Grenzen schrittweise bis auf einen Bereich von  $\pm 2$  verengt.

Da die analysierten Schnittflächen als Stichprobeneinheit aufgefasst wurden, liegen von jedem Probestamm zwei Beobachtungen vor. Um sicherzustellen, dass die Residuen (Restfehler) der Schätzgleichungen nicht korreliert sind, wurde ein DURBIN-WATSON Test durchgeführt.

### **3 Ergebnisse**

Durch die Analyse von je zwei Schnittflächen (Fäll- und Zopfschnitt) an jedem der 195 Probestämme ergaben sich insgesamt 390 Beobachtungen. An 98 Schnittflächen fand sich kein Kern oder nur ein kleiner Riss mit leichten Verfärbungen im Randbereich. Nur 26 Probestämme waren an beiden Schnittflächen weiß (13 %). 31 der analysierten Schnittflächen (8 %) zeigten einen abnormen Kern oder einen Spritzkern. Diese Beobachtungen wurden nicht mit in die Analyse einbezogen.

Die Merkmale Zwiesel und Höhe der Kronenbasis waren im Rahmen der Analyse der aufgenommenen Bäume nicht von wesentlichen Bedeutung, d.h., diese Faktoren erwiesen sich als nicht signifikant.

#### **3.1 Exemplarische Beschreibung des Datenmaterials**

Eine Auswertung von Streudiagrammen einer Vielzahl denkbarer Zusammenhänge zwischen Farbkerneigenschaften und den Einflussvariablen erbrachte nur für die Faktoren BHD und Alter Ergebnisse. Die Streuung der Farbkerneigenschaften wurde allerdings durch diese beiden Faktoren allein nur unzureichend erklärt, was die Notwendigkeit einer multivariaten Analyse unterstreicht. Die Zusammenhänge zwischen Farbkerneigenschaften und BHD sowie Alter sollen zunächst beispielhaft beschrieben werden, bevor die Ergebnisse der statistischen Analyse des Datenmaterials dargestellt werden.

##### **3.1.1 Häufigkeit des Farbkerns**

In den starken Durchmesser- und in den hohen Altersklassen war der Anteil von Schnittflächen mit Farbkern höher als in den schwachen, ein systematischer Unterschied zwischen den Betriebsarten Hoch- und Mittelwald konnte jedoch nicht aufgedeckt werden.

Der Anteil an Schnittflächen mit einem relativen Farbkerndurchmesser über 33 % des Stammdurchmessers (Abb. 2 oben) war jedoch im Hochwald, in dem die Bäume bei gleichem BHD älter waren, in jeder Durchmesserklasse mehr oder weniger deutlich höher als im

Mittelwald (wobei im Hochwald erwachsene Stämme über 85 cm BHD nicht zur Verfügung standen).

Wird der Anteil an Schnittflächen mit einem Farbkern von über 33 % des Stammdurchmessers nicht abhängig von der Durchmesserklasse sondern abhängig von der Altersklasse analysiert, so ergibt sich ebenfalls ein steigender Trend mit zunehmendem Alter. Die Unterschiede zwischen Mittelwald und Hochwald sind in diesem Falle jedoch anders gerichtet und deutlicher ausgeprägt: Mittelwaldbuchen, die bei vergleichbarem Alter im Durchschnitt deutlich dicker als Hochwaldbuchen waren, hatten - verglichen mit Hochwaldbuchen derselben Altersklasse - wesentlich häufiger Farbkern mit einer Ausdehnung über 33 % des Stammdurchmessers (Abb. 2 unten).

### 3.1.2 Relativer Farbkerndurchmesser

Je größer der BHD des Probestamms war desto größer war im Durchschnitt auch der relative Durchmesser des Farbkerns. Die Mittelwaldbuchen wiesen bei gleichem BHD die etwas geringeren Farbkerndurchmesser auf (Abb. 3 oben). Der Unterschied ist zwar nur klein aber statistisch signifikant. Der durchschnittliche Unterschied zwischen dem relativen Kerndurchmesser der Hochwaldbuchen und demjenigen der Mittelwaldbuchen betrug 6 %.

Die Analyse der Farbkerndurchmesser über dem Alter zeigte, dass die älteren Buchen im Durchschnitt größere Farbkern hatten. Bei gleichem Alter wiesen die - deutlich stärkeren - Mittelwaldbuchen die größeren Farbkern auf (Abb. 3 unten). Der Unterschied zwischen den Bäumen der beiden Betriebsarten ist ebenfalls statistisch signifikant. Im Durchschnitt waren die relativen Kerndurchmesser von Mittelwaldbuchen bei gleichem Alter um 10 % größer als die der Hochwaldbuchen.

## 3.2 Statistische Analyse des Datenmaterials

### 3.2.1 Wahrscheinlichkeit mit der eine Schnittfläche einen Farbkern aufweist

Die Probit-Analyse der Wahrscheinlichkeit mit der eine Schnittfläche bei der betreffenden Buche einen Kern aufweist ergab die folgende Funktion:

$$PROBIT = b_0 + b_1 BHD + b_2 hrel + b_3 hrel^2 + b_4 \frac{BHD}{Alter} \quad (4)$$

*hrel* bezeichnet die relative Höhe der Schnittfläche am Stamm im Bereich des astfreien Schaftes. Eine *hrel* von 0,4 bedeutet, dass der Farbkern in einer Höhe von 40 % des astfreien Schaftes vom Boden her analysiert wurde.

Die Wahrscheinlichkeit mit der eine Stammquerschnittsfläche einen Farbkern aufweist hängt nach Gleichung (4) wesentlich vom BHD des Stammes, der Höhe der Schnittfläche und dem durchschnittlichen Durchmesserzuwachs ( $\frac{BHD}{Alter}$ ) ab. Die Höhe, in der der Farbkern im

Bereich des astfreien Schaftes analysiert wurde, geht als Parabel ein, wodurch die Spindelform (z.B. SEELING, 1992) des Farbkerns gut abgebildet wird.

Wie Tabelle 5 zu entnehmen ist, hat der Parameter des *BHD* ein positives Vorzeichen. Mit zunehmendem BHD steigt demnach die Wahrscheinlichkeit mit der der Stamm an einer bestimmten Stelle einen Kern aufweist. Es kommt aber entscheidend darauf an, welche Zeit der Baum benötigt hat, um diesen *BHD* zu erreichen, denn der Parameter des Quotienten

$\frac{BHD}{Alter}$ , also der des durchschnittlichen Durchmesserzuwachses, ist negativ. Mit anderen

Worten: Je weniger Zeit der Baum bis zum Erreichen eines bestimmten BHD benötigt hat, um so deutlicher sinkt die Wahrscheinlichkeit einen Kern an einer bestimmten Stelle im Stamm zu finden. Diese Wahrscheinlichkeit steigt zunächst mit zunehmender Höhe im Stamm an (positiver Parameter der Variable  $hrel$ ) und nimmt ab einer gewissen Höhe wieder ab (negativer Parameter der Variable  $hrel^2$ , vgl. Tab. 5).

Die Anpassungstests ergaben mit Signifikanzniveaus von 0,81 (Pearson  $\chi^2$ -Test) und 0,64 (Verhältnis- $\chi^2$ -Test) keine Hinweise darauf, dass die geschätzten Wahrscheinlichkeiten schlecht mit dem Datenmaterial übereinstimmen, denn es liegen keine signifikanten Abweichungen von der  $\chi^2$ -Verteilung vor.

Der Parameter des durchschnittlichen Durchmesserzuwachses  $\frac{BHD}{Alter}$  hat den größten Betrag

(Tab. 5) und übt damit einen betragsmäßig sehr bedeutenden Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit aus mit der eine Buche an einer Schnittfläche einen Kern aufweist (Abb. 4 oben). Während ein 50 cm starker Stamm, der sehr langsam gewachsen ist (0,2 cm/J), am Zopfschnitt eines 9 m langen Stammstückes fast sicher einen Farbkern aufweist, ist dies bei einem vitalen Stamm (Durchmesserzuwachs 0,8 cm/J) sehr unwahrscheinlich. Am Zopfschnitt eines 50 cm starken Stammes mit mäßigem Durchmesserzuwachs (0,5 cm/J) findet sich mit etwa 50 % Wahrscheinlichkeit ein Kern.

### 3.2.2 Farbkerndurchmesser

Zur Analyse des Farbkerndurchmessers  $KD$  wurden nur solche Schnittflächen verwendet, die einen klassischen Rotkern aufwiesen (261 Schnittflächen). In einem ersten Schritt wurde versucht, die Streuung der absoluten Farbkerndurchmesser zu erklären. In einem zweiten Schritt wurde die Streuung der relativen Farbkerndurchmesser analysiert, weil der relative Farbkerndurchmesser in der forstwirtschaftlichen Praxis für die Einwertung der Qualität der Stammstücke relevant ist.

Die Regressionsanalyse führte zu einer Gleichung, die eine ähnliche Struktur aufwies, wie diejenige zur Beschreibung der Wahrscheinlichkeit mit der eine Schnittfläche überhaupt einen Farbkern zeigt. Allerdings wurde in das Regressionsmodell zusätzlich die Summe der Lufteintrittspforten ( $SuL$ ) als signifikant aufgenommen. Auch Variablen, die den Standort beschreiben, erwiesen sich als signifikante Einflussgrößen. Dabei handelte es sich um folgende drei Standortmerkmale:

- 1) Das Relief am Wuchsort des Baumes mit der Variable  $R1$ , die einen Unterschied zwischen den trockeneren Kleinstandorten („Rücken“ sowie „Oberhang“) und den übrigen Kleinstandorten indiziert.
- 2) Die Variable  $B1$ , die einen Unterschied zwischen den Beständen in Ebrach (Sande im Fränkischer Keuper) und den übrigen Beständen anzeigt.
- 3) Die Variable  $B2$ , die auf einen Unterschied zwischen den Ebracher Abteilungen Pflanzung (frischer bis sehr frischer Standort) und Köhler (mäßig frischer Standort) hindeutet.

Die Regressionsgleichung lautet:

$$KD = b_0 + b_1 BHD + b_2 hrel + b_3 hrel^2 + b_4 \frac{BHD}{Alter} + b_5 SuL + b_6 R1 + b_7 B1 + b_8 B2 \quad (5)$$

Die Parameter  $b_1$  bis  $b_4$  der Variablen  $BHD$ ,  $hrel$ ,  $hrel^2$  und  $\frac{BHD}{Alter}$  haben dieselben Vorzeichen, wie diejenigen in der Probit-Gleichung. Das bedeutet, dass der Farbkerndurchmesser von diesen Einflussgrößen ähnlich beeinflusst wird, wie die Wahrscheinlichkeit mit der auf einer Schnittfläche ein Farbkern auftritt.

Der zur Summe der Lufteintrittspforten  $SuL$  (das ist die Anzahl der Totäste über 6 cm, der Beulen und der Narben über 9 cm)<sup>3</sup> gehörende Parameter  $b_5$  hat ein positives Vorzeichen (Tab. 6). Demnach ist der Farbkerndurchmesser um so größer, je mehr Möglichkeiten der Luftsauerstoff hat ins Stamminnere einzudringen. Der Wert des Parameters ist allerdings sehr klein. Auch ein großer Totast (kleine Totäste waren überhaupt nicht von Bedeutung) mehr bedeutet statistisch gesehen also nur einen um rund 0,38 cm größeren Farbkerndurchmesser.

Die Variable  $RI$  berücksichtigt das Relief am Wuchsort des Stammes.  $RI$  wurde für die trockeneren Kleinstandorte „Rücken“ und „Oberhang“ mit jeweils -3 und für die eher frischeren Kleinstandorte „Plateau/Ebene“, „Mittelhang“ sowie „Unterhang/Mulde“ mit jeweils +2 kodiert (Tab. 4). Das positive Vorzeichen des Parameters  $b_6$  (Tab. 6) zeigt an, dass statistisch gesehen die Bäume auf den eher trockeneren Kleinstandorten geringere Farbkerndurchmesser aufwiesen.

Mit den Variablen  $B1$  und  $B2$  wurde berücksichtigt, aus welchen Beständen die Probestämme stammten. Dabei wurde mit der Variable  $B1$  getestet, ob sich der Farbkerndurchmesser von Bäumen aus Beständen des Wuchsgebietes Fränkische Platte und Tertiäres Hügelland, mit vorwiegend lehmigen, durch Löß beeinflussten Substrattypen, von dem der Buchen des Fränkischen Keupers (mit eher sandigen Substrattypen) unterscheidet. Der Parameter der Variable  $B1$  ist positiv und signifikant von Null verschieden. Das heißt: Bäume aus Ebrach (Fränkischer Keuper, ungünstigere, sandige Substrattypen) hatten bei sonst gleichen Eigenschaften kleinere Farbkern. Mit der Variablen  $B2$  wurde getestet, ob ein ebenfalls standortsbezogener Unterschied zwischen den beiden in Ebrach untersuchten Beständen (Köhler und Pflanzung) vorliegt. Der positive und signifikante Parameter der Variable  $B2$  belegt, dass Probestämme aus der Abteilung Pflanzung bei sonst gleichen Eigenschaften größere Farbkern hatten als solche aus der Abteilung Köhler. In der Abteilung Pflanzung herrschen günstigere Substrateigenschaften (frische Lehme) vor als in der Abteilung Köhler (mäßig frische Sande). Dies drückt sich auch durch die erheblich größere durchschnittliche Höhe der Probestämme aus der Abteilung Pflanzung bei geringerem Alter in der Wuchsleistung aus. Auch dieses Ergebnis deutet also darauf hin, dass die absoluten Farbkerndurchmesser unter sonst gleichen Bedingungen auf den ärmeren Standorten geringer zu sein scheinen.

Wird die erste Ableitung der Regressionsgleichung (5) nach  $hrel$  (relative Höhe im Bereich des astfreien Schaftes) gebildet und gleich Null gesetzt, so lässt sich die Höhe, in der der Farbkerndurchmesser im Durchschnitt sein Maximum erreicht, berechnen. Diese lag bei 62 % der astfreien Schaftlänge vom Boden her.

Das Bestimmtheitsmaß von Regressionsgleichung (5) beträgt 0,61. Das Streudiagramm der Residuen über den geschätzten Farbkerndurchmessern (Abb. 5) gibt keinen Anlass anzunehmen, dass die der Regressionsrechnung zugrunde liegenden Voraussetzungen verletzt wurden. Da von jedem Baum zwei Schnittflächen analysiert wurden, wurde wie schon erwähnt auch die DURBIN-WATSON-Teststatistik berechnet, um zu prüfen, ob die Fehler

<sup>3</sup> In die Analyse wurde nur die Summe der Totäste über 6 cm, der Beulen und der Narben über 9 cm Durchmesser (Messrichtung parallel zur Stammachse) als erklärende Variable „Lufteintrittspforten“ eingeführt, da die Berücksichtigung kleinerer Totäste und Astnarben zu einer Verschlechterung der Schätzergebnisse führte.

autokorreliert sind. Es ergab sich ein Wert von 1,8, der auf eine schwache positive Autokorrelation der Fehler hindeutet, die aber in Kauf genommen wurde.

### 3.2.3 Relativer Farbkerndurchmesser

Zur Einwertung von Stammstücken in eine Güteklasse werden anstelle der absoluten häufig die relative Kerndurchmesser verwendet. Deshalb wurde eine zweite Gleichung konstruiert, die es zulässt, den relativen Kerndurchmesser zu schätzen.

Die Analyse der relativen Farbkerndurchmesser ergab eine zur Beziehung (5), die den Einfluss verschiedener Variablen auf den absoluten Farbkerndurchmesser beschreibt, nahezu analoge Gleichung:

$$KD_{rel} = b_0 + b_1 BHD + b_2 h_{rel} + b_3 h_{rel}^2 + b_4 \frac{BHD}{Alter} + b_5 SuL + b_6 R1 + b_7 R2 + b_8 B1 + b_9 B2 \quad (6)$$

Lediglich die Variable *R2* wurde zusätzlich in das Modell mit aufgenommen. Dies bedeutet, dass Bäume in Plateaulage (bzw. in ebener Lage) bei sonst gleichen Eigenschaften größere relative Kerndurchmesser aufwiesen, als solche am Mittel- bzw. Unterhang. Der Parameter der Variable (Tab. 7) war allerdings nur schwach signifikant.

Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgleichung liegt mit 0,52 deutlich niedriger als dasjenige der Gleichung zur Schätzung der absoluten Kerndurchmesser. Der DURBIN-WATSON-Test ergab einen Wert von 1,8, also genau in derselben Höhe wie im Falle der Analyse der absoluten Farbkerndurchmesser.

Auch für diese Regressionsgleichung ergab die Analyse der Residuen (Abb. 6) keine Hinweise darauf, dass die Voraussetzungen verletzt wurden, an die die Regressionsrechnung gebunden ist.

Das Maximum des relativen Kerndurchmessers lag bei 69 % der astfreien Schaftlänge vom Boden her. Der absolute Kerndurchmesser hatte sein Maximum, wie oben erwähnt, in etwas niedrigerer Höhe (62 % der astfreien Schaftlänge vom Boden her).

### 3.2.4 Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Kernes mit bestimmtem Minstdurchmesser

Bei der Beurteilung, ob der Farbkerndurchmesser für die preisliche Bewertung eines Buchenstammstückes überhaupt relevant ist, handelt es sich um ein Schwellenwertproblem (BÖRNER, 1998). Eine Wertminderung tritt erst dann ein, wenn der Farbkerndurchmesser einen gewissen Anteil vom Stammdurchmesser überschreitet. Häufig wird in diesem Zusammenhang ab einem Anteil des Farbkernes am Stammdurchmesser von etwa 30 % (in Baden-Württemberg, vgl. BÖRNER, 1998) oder 1/3 von einer solchen Wertminderung gesprochen.

Um angeben zu können, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Schnittfläche an einer Buche einen Farbkern von über 33 % des Stammdurchmessers aufweist, wurde eine weitere Probit-Analyse durchgeführt. Dazu wurde für alle Schnittflächen mit einem relativen Kerndurchmesser von über 33 % des Stammdurchmessers davon ausgegangen, dass eine Wirkung (Wertminderung) eingetreten ist. Für alle Schnittflächen mit niedrigerem relativen Kerndurchmesser wurde unterstellt, dass noch keine entsprechende Wirkung eingetreten ist.

So ergab sich eine Probit-Gleichung, die praktisch identisch ist mit derjenigen, die für die Wahrscheinlichkeit berechnet wurde mit der eine Schnittfläche überhaupt einen Farbkern

aufweist. Allerdings änderten sich die Parameter der Gleichung (Tab. 8), und die Variable „Anzahl der Lufteintrittspforten“  $SuL$  erwies sich als signifikant.

$$PROBIT_{33} = b_0 + b_1 BHD + b_2 hrel + b_3 hrel^2 + b_4 \frac{BHD}{Alter} + b_5 SuL \quad (7)$$

Der Achsenabschnitt  $b_0$  (Tab. 8) von Gleichung 7 ist stärker negativ als derjenige von Gleichung (4), so dass sich die Kurven nach rechts verschieben (Abb. 4 unten).

## 5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Um die eingangs formulierte Frage

**„Können Wahrscheinlichkeit und Ausmaß der Farbkernbildung durch waldbauliche Maßnahmen beeinflusst werden?“**

beantworten zu können, wurden Modellansätze zur Beschreibung der Wahrscheinlichkeit einen Farbkern (oder einen solchen mit bestimmtem Mindestdurchmesser) an einer Schnittfläche zu finden und zur Erklärung des Farbkerndurchmessers erarbeitet.

Die dabei abgeleiteten Modellgleichungen besagen, dass die Wahrscheinlichkeit mit der an einer Stammquerschnittfläche einer Buche einen Farbkern auftritt, vor allem von deren BHD, der Höhe der Schnittfläche im Bereich des astfreien Schaftes und dem durchschnittlichen Durchmesserzuwachs abhängt. Je schneller eine Buche gewachsen ist, desto geringer ist bei gleichem BHD und gleicher Höhe der Schnittfläche die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kern auftritt.

Der Farbkerndurchmesser wird zusätzlich zu den bereits genannten Größen von der Summe an Lufteintrittspforten (starke Totäste, Beulen und große Astnarben) und von Standortmerkmalen beeinflusst. Auf den tendenziell nährstoffärmeren Standorten im Forstamt Ebrach und auf eher trockeneren Kleinstandorten wurden bei gleichen sonstigen Baumeigenschaften etwas kleinere Farbkerndurchmesser gefunden. Die Standortseigenschaften wirkten sich jedoch nicht signifikant auf die Wahrscheinlichkeit aus mit der ein Farbkerndurchmesser von über 33 % des Stammdurchmessers auftrat.

Zumindest anhand des vorliegenden Datenmaterials kann damit belegt werden, dass es sehr wohl möglich ist, Wahrscheinlichkeit und Ausmaß der Farbkernbildung durch Förderung des Durchmesserzuwachses waldbaulich zu steuern.

### *Modellansatz*

Um das Problem der Farbkernbildung statistisch bearbeiten zu können, wurde die Wahrscheinlichkeit mit der ein Farbkern auftritt getrennt vom Farbkerndurchmesser betrachtet. Alternativ hätten in die statistische Analyse der Farbkerndurchmesser auch die nicht verkernten Schnittflächen mit einem Farbkerndurchmesser von Null eingehen können. Dieser Ansatz ergab jedoch einen systematischen Trend für die Residuen des Modells: Für Schnittflächen ohne Farbkern wurden häufig negative Farbkerndurchmesser geschätzt. Ein weiterer Nachteil dieses Ansatzes ist, dass sich eine Beziehung, die lediglich die Größe des Farbkerndurchmesser beschreibt, nicht gut in betriebswirtschaftliche Berechnungen integrieren lässt. Betriebswirtschaftliche Bewertungsansätze arbeiten häufig mit Eintrittswahrscheinlichkeiten (vgl. TEETER und CAULFIELD, 1991; VALSTA, 1994; VALSTA, 1998; DIETER, 1997).

Bei der Interpretation der Modellansätze zur Schätzung der Wahrscheinlichkeit mit der ein Farbkern an einer Schnittfläche auftritt ist zu beachten, dass diese Größe anhand von relativen Häufigkeiten verkernter Schnittflächen berechnet wird. Das bedeutet, der steigende Anteil

verkernter Schnittflächen mit z.B. zunehmendem BHD oder Alter wird als Entwicklung der Wahrscheinlichkeit betrachtet mit der Farbkern an einer bestimmten Stelle in einem Stamm auftritt. Tatsächlich werden aber verschiedene Zustände miteinander verglichen. Solange es allerdings nicht hinreichend genau möglich ist, die wirkliche Entwicklung des Farbkerns an ein und demselben Stamm zu verfolgen - und dies bedeutet den Einsatz zerstörungsfreier Messmethoden (vgl. z.B. WEIHS et al., 1999; GRUBER, 2000) -, ist ein anderes Vorgehen als das hier beschriebene kaum möglich.

### ***Datenmaterial***

Die dieser Studie zugrundeliegende Stichprobenanzahl von 195 Bäumen ist gemessen an anderen Untersuchungen zum Buchenfarbkern relativ gering. Die Ergebnisse können deshalb nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. Dennoch haben sich aufgrund der Einbeziehung von Bäumen mit extremen Eigenschaften (76 Mittelwaldbuchen), die sehr lange Kronen und damit hohe durchschnittliche Durchmesserzuwächse aufwiesen, und der Berücksichtigung von bislang vernachlässigten Variablen bereits klare Resultate ergeben.

### ***Plausibilität der Ergebnisse***

Alle vorgestellten Schätzgleichungen sind ähnlich strukturiert. In die Analyse des relativen Farbkerndurchmessers gingen nur die verkernten Schnittflächen ein, wohingegen die Wahrscheinlichkeit, dass ein Farbkern (oder einen Farbkern mit bestimmtem Minstdurchmesser) an einer Schnittfläche auftritt auch auf Schnittflächen basiert, die keinen Kern aufwiesen. Zumindest für die drei in allen Modellgleichungen vertretenen Variablen (BHD, relative Höhe im Bereich des astfreien Schaftes und durchschnittlicher Durchmesserzuwachs) kann von einem wesentlichen Einfluss auf Wahrscheinlichkeit der Farbkernbildung und Durchmesser des Farbkerns ausgegangen werden.

Die Reduktion der denkbaren Variablen, die die Wahrscheinlichkeit der Verkernung bzw. Wertminderung durch Farbkern beeinflussen, auf ausschließlich den BHD (vgl. RACZ et al., 1961; HOLM, 1974; BÖRNER, 1998) ist damit fragwürdig. Dafür spielt die Zeit, die eine Buche bis zum Erreichen eines bestimmten BHD benötigt, eine viel zu entscheidende Rolle, denn je länger eine Buche im Bestand verbleibt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Lufteintrittspforten am Stamm entstehen. Ein vitaler, schnell wachsender Stamm erreicht einen bestimmten BHD aber nicht nur schneller, er kann auch Unterbrechungen des Rindenperiderms schneller überwallen.

In anderen Untersuchungen häufig genannte Faktoren, wie z.B. der Zwiesel (z.B. KLEMMT, 1996), erwiesen sich bislang als nicht signifikant. Möglicherweise ändert sich dies, wenn die Stichprobenzahl erhöht wird. Auch der Standort zeigte nur bei der Analyse der Farbkerndurchmesser wesentlichen Einfluss. Die Tendenz, dass auf den etwas ärmeren und trockeneren Ausgangssubstraten ein eher kleinerer relativer Farbkerndurchmesser gefunden wurde, deckt sich jedoch mit den Ergebnissen von MAHLER und HÖWECKE (1991). Dagegen steht sie im Widerspruch zu den Resultaten von WALTER und KUCERA (1991), die den Farbkern auf trockeneren Standorten häufiger fanden. Um abschließende Aussagen zum Einfluss des Standortes auf den Farbkern machen zu können, ist die Stichprobenanzahl noch zu gering. Hier werden die bereits laufenden weiteren Aufnahmen Klarheit schaffen. Hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit der Wertminderung scheint aber zumindest kein besonders großer Einfluss des Standortes vorzuliegen.

### ***Ausblick***

Um die Untersuchungen als betriebswirtschaftliche Entscheidungshilfen nutzbar zu machen, werden die beschriebenen Modellansätze im Zuge weiterer Studien in Berechnungen zur Herleitung optimaler Nutzungsstrategien für Buchenbestände einfließen.

## 6 Literatur

- Bay. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2000): Pflege und Verjüngung der Buche. München: Bay. Staatsministerium für ELF.
- BECKER, D., FREIST, H. und OLLGAARD, M. (1989): Zielstärkennutzung und Buchenrotkern. *Forst und Holz* 44: 12-14.
- BML (1990): Bundeswaldinventur 1986-1990. Bundesministerium für ELF.
- BML (1994): Der Wald in den neuen Bundesländern. Bundesministerium für ELF.
- BÖRNER, M. (1998): Zu Wachstum und Wachstumsreaktion der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) nach Freistellung im fortgeschrittenen Alter. *Lincom Studien zur Forstwissenschaft* 03. Lincom Europa academic publishers.
- BORTZ, J. (1985): Lehrbuch der Statistik: Für Sozialwissenschaftler. Zweite Auflage. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.
- BUCHER, H.P. und KUCERA, L.J. (1991): Vergleich der Holzeigenschaften gesunder und geschädigter Buchen (*Fagus sylvatica* L.): Feuchtegehalt und Feuchteverteilung, Vorkommen von Farbkernholz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 142: 415-426.
- CONRAD, J. (1963): Spritzkern der Buche - eine Begleiterscheinung des Buchensterbens? *Der Forst- und Holzwirt* 18: 303-304.
- DIETER, M. (1997): Berücksichtigung von Risiko bei forstbetrieblichen Entscheidungen. *Schriften zur Forstökonomie*, Bd. 16, Frankfurt/Main: J.D. Sauerländer's.
- FRANK, A. (1996): Rotkernbildung und Zielstärkennutzung in Buchenbeständen im FA Minden. *Allg. Forstz./Der Wald* 51: 683-685.
- FREIST, H. (1962): Untersuchungen über den Lichtungszuwachs der Rotbuche und seine Ausnutzung im Forstbetrieb. Beiheft zum *Forstw. Cbl.* Nr. 17.
- GFELLER, B. (1998): Weisses und verkerntes Buchenholz in der Holzwirtschaft. *Schweiz. Z. Forstwes.* 149: 943-953.
- GRUBER, F. (2000): Messergebnisse zur Identifizierung von Buchenfarbkernen (*Fagus sylvatica* L.) mit den Bohrmessgeräten Teredo und Resistograph 1410 sowie dem Impulshammer-Schallmesssystem. *Allg. Forst- u. J. Ztg.* 171: 117-123.
- HOLM, M. (1974): Untersuchungen zur einzelstammweisen Nutzung nach Zieldurchmessern. Dissertation an der Forstw. Fak. der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- HÖWECKE, B. (1998): Untersuchungen zum Farbkern der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Baden-Württemberg. *Schweiz. Z. Forstwes.* 149: 971-990.
- KELLER, H. (1961): Vom Rotkern der Buche. *Schweiz. Z. Forstwes.* 112: 498-502.
- KENNEL, E. (2000): Die Überlebensprognose: Ein Verfahren zur Wertung von Verbissbefunden im Rahmen von Vegetationsgutachten. München: Bay. Staatsministerium für ELF.
- KLEMMT, H.-J. (1996): Untersuchungen zum Auftreten des Buchenfarbkerns in unterfränkischen Beständen. Diplomarbeit Forstw. Fak. LMU München.
- KREMPL, H. und MARK, E. (1962): Untersuchungen über den Kern der Rotbuche. *Allgemeine Forstzeitung* Wien: 186-191.

erschienen in *Forstw. Cbl.* 120 (2003), S. 154-172

- KUCERA, L.J. (1991): Die Buche und ihr Holz - eine Einführung in die Problematik. Schweiz. Z. Forstwes. 142: 363-373.
- MAHLER, G. und HÖWECKE, B. (1991): Verkernungserscheinungen bei der Buche in Baden-Württemberg in Abhängigkeit von Alter, Standort und Durchmesser. Schweiz. Z. Forstwes. 142: 375-390.
- MAHLER, G., KLEBES, J. und HÖWECKE, B. (1988): Holzkundliche Untersuchungen an Buchen mit neuartigen Waldschäden. Allg. Forst- u. J. Ztg. 159: 121-125.
- MOOG, M. und KARBERG, B. (1992): Ökonomische Gesichtspunkte zur Zielstärke von Kiefern und Buchen. Allg. Forstz. 47: 85-90.
- NECESSARY, V. (1969): Forstliche Aspekte bei der Entstehung des Falschkernes bei der Buche. Holz-Zentralblatt 95: 563-564.
- PALMER, S. (1994): Von der Auslesedurchforstung zur Zieldurchmesser-Ernte bei Buche. Allg. Forstz. 49: 528-531.
- RACZ, J., SCHULZ, H. und KNIGGE, W. (1961): Untersuchungen über das Auftreten des Buchenrotkerns. Der Forst- und Holzwirt 16: 413-417.
- RATHKE, K.-H. (1996): Zu: Rotkern bei Buche. Allg. Forstz./Der Wald 51: 1312.
- RAUNECKER, H. (1956): Der Buchenrotkern eine Alterserscheinung? Allg. Forst- u. J. Ztg. 127: 16-31.
- SACHSSE, H. (1991): Kerntypen der Rotbuche. Forstarchiv 62: 238-242.
- SACHSSE, H. und SIMONSEN, D. (1981): Untersuchungen über mögliche Zusammenhänge zwischen mechanischen Stammverletzungen und Kernbildung bei *Fagus sylvatica* L. Forstarchiv 52: 179-183.
- SAS Institute (1990): SAS/STAT® User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 2. Cary, USA: SAS Institute.
- SCHUTE, R. (1986): Zu den Ursachen von Holzverfärbungen bei der Buche. Allg. Forstz. 41: 652-657.
- SEELING, UTE (1992): Abnorme Kernbildung bei Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und ihr Einfluß auf holzbiologische und holztechnische Kenngrößen. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Band 77.
- SEELING, UTE (1998): Kerntypen im Holz- Konsequenzen für die Verwertung am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Schweiz. Z. Forstwes. 149: 991-1004.
- SEELING, UTE und SACHSSE, H. (1992): Abnorme Kernbildung bei der Rotbuche und ihr Einfluß auf holzbiologische und holztechnische Kenngrößen. Forst und Holz 47: 210-217.
- SPELLMANN, H. (1999): Überführung als betriebliche Aufgabe. Forst und Holz 54: 110-116.
- TEETER, L.D. und CAULFIELD, J.P. (1991): Stand density management under risk: effects of stochastic prices. Can. J. For. Res. 21, 1373-1379.
- VALSTA, L.T. (1994): Silvicultural guidelines based on optimizing with stochastic price and growth. In: Sessions, J. and Brodie, J.D. (eds.). Proceedings of the 1994 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources. Asilomar Conference Center, Pacific Grove, California, 172-180.

erschienen in *Forstw. Cbl.* 120 (2003), S. 154-172

- VALSTA, L.T. (1998): Economy in the short and long term perspectives. In: *New Stand Types in Boreal Forestry*. Finnish Forest Research Institute, research paper 714.
- VON BÜREN, SUSANNE (1998): Buchenrotkern: Erkennung, Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 149: 955-970.
- WÄLCHLI, O. (1971): Verschiedene Kastanien-Rundhölzer der Standorte Gorduna, Osogna und Valcolla: Untersuchung der natürlichen Widerstandsfähigkeit gegen Pilzangriffe. Externer Bericht des Eidg. Inst. f. Schnee- und Lawinenforschung, Nr. 2296.
- WALTER, M. (1993): Wassergehalt und Kationenkonzentration im Naßkern der Buche (*Fagus sylvatica* L.). *Forstw. Cbl.* 112: 257-268.
- WALTER, M. und KUCERA, L.J. (1991): Vorkommen und Bedeutung verschiedener Kernformen bei der Buche (*Fagus sylvatica* L.). *Schweiz. Z. Forstwes.* 142: 391-406.
- WALTER, M.; KUCERA, L.J. und BONSEN, K.J.M. (1991): Zur Frage der Nasskernbildung bei der Buche (*Fagus sylvatica* L.). *Schweiz. Z. Forstwes.* 142: 435-442.
- WEBER, E. (1986): *Grundriß der biologischen Statistik*. 9. Auflage. Stuttgart: Fischer.
- WEIHS, U.; DUBBEL, V.; KRUMMHEUER, F. und JUST, A. (1999): Die elektrische Widerstandstomographie – Ein vielversprechendes Verfahren zur Farbkerndiagnose am stehenden Rotbuchenstamm -. *Forst und Holz* 54: 166-170.
- WILHELM, G.J.; LETTER, H.-A. und EDER, W. (1999): Konzeption einer naturnahen Erzeugung von starkem Wertholz. *Allg. Forstz./Der Wald* 54: 232-240.
- WOBST, H. (1972): Über die Auswirkungen der Rotkernigkeit des Buchenholzes auf seine Verwendung. *Der Forst- und Holzwirt* 27: 80-83.
- ZYCHA, H. (1948): Über die Kernbildung und verwandte Vorgänge im Holz der Rotbuche. *Forstw. Cbl.* 67: 80-109.

Anschrift des Verfassers: Dr. Thomas Knoke, Stephanie Schulz Wenderoth  
Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung  
der TU München  
Am Hochanger 13  
85354 Freising

### **Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen:**

Tab. 1. Kenngrößen der Versuchsbestände

Table 1. Description of sample stands

Tab. 2. Stammzahlen, Grundflächen und Vorräte der Untersuchungsbestände (Standardfehler in Klammern)

Table 2. Stem number, basal area and growing stock of sample stands (standard error in parentheses)

Tab. 3. Dummy-Kodierung der Versuchsbestände

Table 3. Dummy-codification of the sample stands

Tab. 4. Dummy-Kodierung des Reliefs am Wuchsort

Table 4. Dummy-codification of the local relief

Tab. 5. Parameterschätzungen für die Probit-Gleichung zur Schätzung der Wahrscheinlichkeit mit der eine Schnittfläche einen Farbkern aufweist

Table 5. Parameter estimates for the probit-equation on the probability to find colouration at a cross-section

Tab. 6. Parameterschätzungen für die Regressionsgleichung zur Schätzung des absoluten Farbkerndurchmessers (N=261 Schnittflächen vor und 244 Schnittflächen nach der Ausreißerelimination)

Table 6. Parameter estimates for the regression analysis on absolute heartwood diameter

Tab. 7. Parameterschätzungen für die Regressionsgleichung zur Schätzung des relativen Farbkerndurchmessers (N=261 Schnittflächen vor und 244 Schnittflächen nach der Ausreißerelimination)

Table 7. Parameter estimates for the regression analysis on relative heartwood diameter

Tab. 8. Parameterschätzungen für die Probit-Gleichung zur Schätzung der Wahrscheinlichkeit mit der eine Schnittfläche einen Farbkern über 33 % des Stammdurchmessers aufweist

Table 8. Parameter estimates for the probit-equation on the probability to find red colouration of more than 33 % of the stem diameter at a cross-section

Abb. 1. Gegenüberstellung der durchschnittlichen Durchmesserzuwächse am Zopf des Erdstammstückes (gemessene Werte) und in 1,3 m Höhe (berechnete Werte)

Figure 1. Comparison of mean diameter increment at the top of the butt log (measured values) and in 1.3 m height (computed values)

Abb. 2. Relative Häufigkeit von Schnittflächen mit über 33 % Farbkern in verschiedenen Durchmesser- (oben) und Altersklassen (unten)

Figure 2. Relative frequency of cross sections with more than 33 % red coloured heartwood in several diameter- (top) and age-classes (bottom)

Abb. 3. Relativer Farbkern Durchmesser (Farbkern Durchmesser geteilt durch Stammdurchmesser) in Abhängigkeit vom BHD (oben) und Alter (unten)

Figure 3. Relative heartwood diameter depending on dbh (top) and age (bottom)

Abb. 4. Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom BHD und vom durchschnittlichen Durchmesserzuwachs des Baumes am Zopf eines 9 m langen Stammstückes überhaupt einen Farbkern (oben) oder einen Farbkern ab 34 % des Stammdurchmessers in 9 m Stammhöhe (unten) zu finden (Stockhöhe 0,3 m)

Figure 4. Probability to find colouration at the top of a 9 m long butt log (top) or to find colouration of 34 % of the stem diameter or more at this place (bottom) depending on dbh and mean diameter increment (stump height 0,3 m)

Abb. 5. Standardisierte Residuen der Regressionsanalyse des Farbkern Durchmessers

Figure 5. Standardised Residuals of the regression analysis of the diameter of colouration

Abb. 6. Standardisierte Residuen der Regressionsanalyse des relativen Farbkern Durchmessers

Figure 6. Standardised Residuals of the regression analysis of the relative diameter of colouration

---

Forstamt	Abteilung	Wuchs- bezirk	Standorts- einheit	Betriebs- art	An- zahl	Alter	arithmet. gemitt. BHD (cm)	arithmet. gemitt. Höhe (m)
----------	-----------	------------------	-----------------------	------------------	-------------	-------	-------------------------------------	-------------------------------------

---

Arnstein, Fränkische Platte	Ochsenknuck	4.1	frische bis mä. frische Feinlehme	Hochwald	27	166	49,3	35,9
	Hirschruh	4.2	mä. frische bis frische Fein- bzw. Schicht- lehme	durchgew. Mittelwald	26	147	70,0	32,2
	Brandrain, Gemeindewald Himmelstadt	4.2	frischer Feinlehm ü. Kalklehm	durchgew. Mittelwald	50	148	71,7	32,0
Ebrach, Fränkischer Keuper und Albvorland	Köhler	5.1	mä. frische sandige Lehme bis lehmige Sande	Hochwald	34	180	56,3	34,3
	Pflanzung		frische bis sehr frische sandige Lehme, mä. frische Schlufflehme	Hochwald	45	169	58,4	37,3
Schwab- münchen, Tertiäres Hügelland	Brunnen	12.7	frische, kieshaltige Lehmböden	Hochwald	13	126	43,3	32,1

Tab. 1. Kenngrößen der Versuchsbestände

Table 1. Description of sample stands

Abteilung	Stammzahl je ha	Grundfläche (m <sup>2</sup> /ha)	Vorrat (VfmD m.R./ha)
Ochsenknuck	95 (8)	23,4 (1,8)	375 (31)
Hirschruh	112 (8)	24,1 (1,4)	349 (22)

Brandrain, Gemeindewald Himmelstadt	79 (7)	19,2 (1,5)	268 (22)
Köhler	98 (5)	26,7 (1,2)	406 (19)
Pflanzung	82 (6)	23,8 (1,3)	388 (22)

Tab. 2. Stammzahlen, Grundflächen und Vorräte der Untersuchungsbestände (Standardfehler in Klammern)

Table 2. Stem number, basal area and growing stock of sample stands (standard error in parentheses)

Dummy-Variablen		B1	B2	B3	B4	B5
Forstamt	Abteilung					
Arnstein, Fränkische Platte	Ochsenknuck	+1	0	-1	-2	0
	Hirschruh	+1	0	-1	+1	+1
	Brandrain, Gemeindewald Himmelstadt	+1	0	-1	+1	-1
Schwab- münchen, Tertiäres Hügelland	Brunnen	+1	0	+3	0	0
Ebrach, Fränkischer Keuper und Albvorland	Köhler	-2	-1	0	0	0
	Pflanzung	-2	+1	0	0	0

Tab. 3. Dummy-Kodierung der Versuchsbestände

Table 3. Dummy-codification of the sample stands

Dummy-Variablen	R1	R2	R3	R4
Relief				
Rücken	-3	0	-1	0
Oberhang	-3	0	+1	0

Plateau/Ebene	+2	+2	0	0
Mittelhang	+2	-1	0	-1
Unterhang/Mulde	+2	-1	0	+1

Tab. 4. Dummy-Kodierung des Reliefs am Wuchsort

Table 4. Dummy-codification of the local relief

Variable	Parameter	Signifikanzniveau
	b <sub>0</sub>	-1,663 ***
<i>BHD</i>	b <sub>1</sub>	+0,075 ***
<i>hrel</i>	b <sub>2</sub>	+1,306 ***
<i>hrel</i> <sup>2</sup>	b <sub>3</sub>	-0,295 *
<u><i>BHD</i></u>	b <sub>4</sub>	-6,258 ***
<i>Alter</i>		

Tab. 5. Parameterschätzungen für die Probit-Gleichung zur Schätzung der Wahrscheinlichkeit mit der eine Schnittfläche einen Farbkern aufweist

Table 5. Parameter estimates for the probit-equation on the probability to find colouration at a cross-section

Variable	Parameter	Signifikanzniveau
	b <sub>0</sub>	+10,62 ***
<i>BHD</i>	b <sub>1</sub>	+0,80 ***
<i>hrel</i>	b <sub>2</sub>	+20,90 ***
<i>hrel</i> <sup>2</sup>	b <sub>3</sub>	-17,28 ***
<u><i>BHD</i></u>	b <sub>4</sub>	-63,44 ***
<i>Alter</i>		
<i>SuL</i>	b <sub>5</sub>	+0,38 ***
<i>R1</i>	b <sub>6</sub>	+1,21 ***
<i>B1</i>	b <sub>7</sub>	+1,61 ***
<i>B2</i>	b <sub>8</sub>	+1,84 **

Tab. 6. Parameterschätzungen für die Regressionsgleichung zur Schätzung des absoluten Farbkerndurchmessers (N=261 Schnittflächen vor und 244 Schnittflächen nach der Ausreißerelimination)

Table 6. Parameter estimates for the regression analysis on absolute heartwood diameter

Variable	Parameter	Signifikanzniveau
	b <sub>0</sub>	+0,106 *
<i>BHD</i>	b <sub>1</sub>	+0,007 ***
<i>hrel</i>	b <sub>2</sub>	+0,606 ***

$hrel^2$	$b_3$	-0,443	***
$\frac{BHD}{Alter}$	$b_4$	-0,980	***
$SuL$	$b_5$	+0,006	***
$R1$	$b_6$	+0,016	**
$R2$	$b_7$	+0,011	*
$B1$	$b_8$	+0,023	***
$B2$	$b_9$	+0,044	***

Tab. 7. Parameterschätzungen für die Regressionsgleichung zur Schätzung des relativen Farbkerndurchmessers (N=261 Schnittflächen vor und 244 Schnittflächen nach der Ausreißerelimination)

Table 7. Parameter estimates for the regression analysis on relative heartwood diameter

Variable	Parameter	Signifikanzniveau
	$b_0$	-2,646 ***
$BHD$	$b_1$	+0,062 ***
$h$	$b_2$	+2,055 ***
$h^2$	$b_3$	-0,427 ***
$\frac{BHD}{Alter}$	$b_4$	-5,509 ***
$SuL$	$b_5$	+0,044 *

Tab. 8. Parameterschätzungen für die Probit-Gleichung zur Schätzung der Wahrscheinlichkeit mit der eine Schnittfläche einen Farbkerne über 33 % des Stammdurchmessers aufweist

Table 8. Parameter estimates for the probit-equation on the probability to find red colouration of more than 33 % of the stem diameter at a cross-section

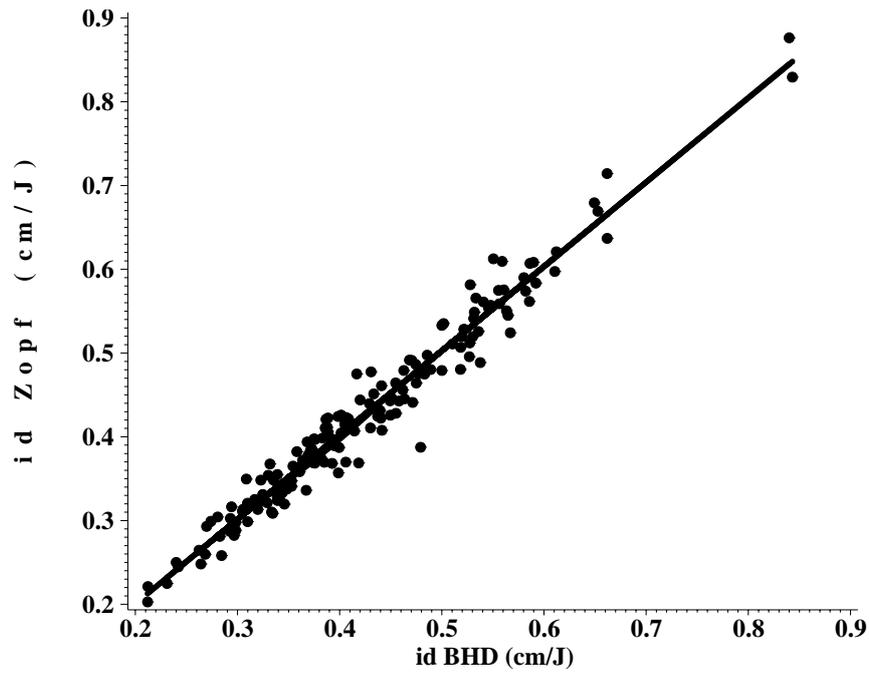


Abb. 1. Gegenüberstellung der durchschnittlichen Durchmesserzuwächse am Zopf des Erdstammstückes (gemessene Werte) und in 1,3 m Höhe (berechnete Werte)

Figure 1. Comparison of mean diameter increment at the top of the butt log (measured values) and in 1.3 m height (computed values)

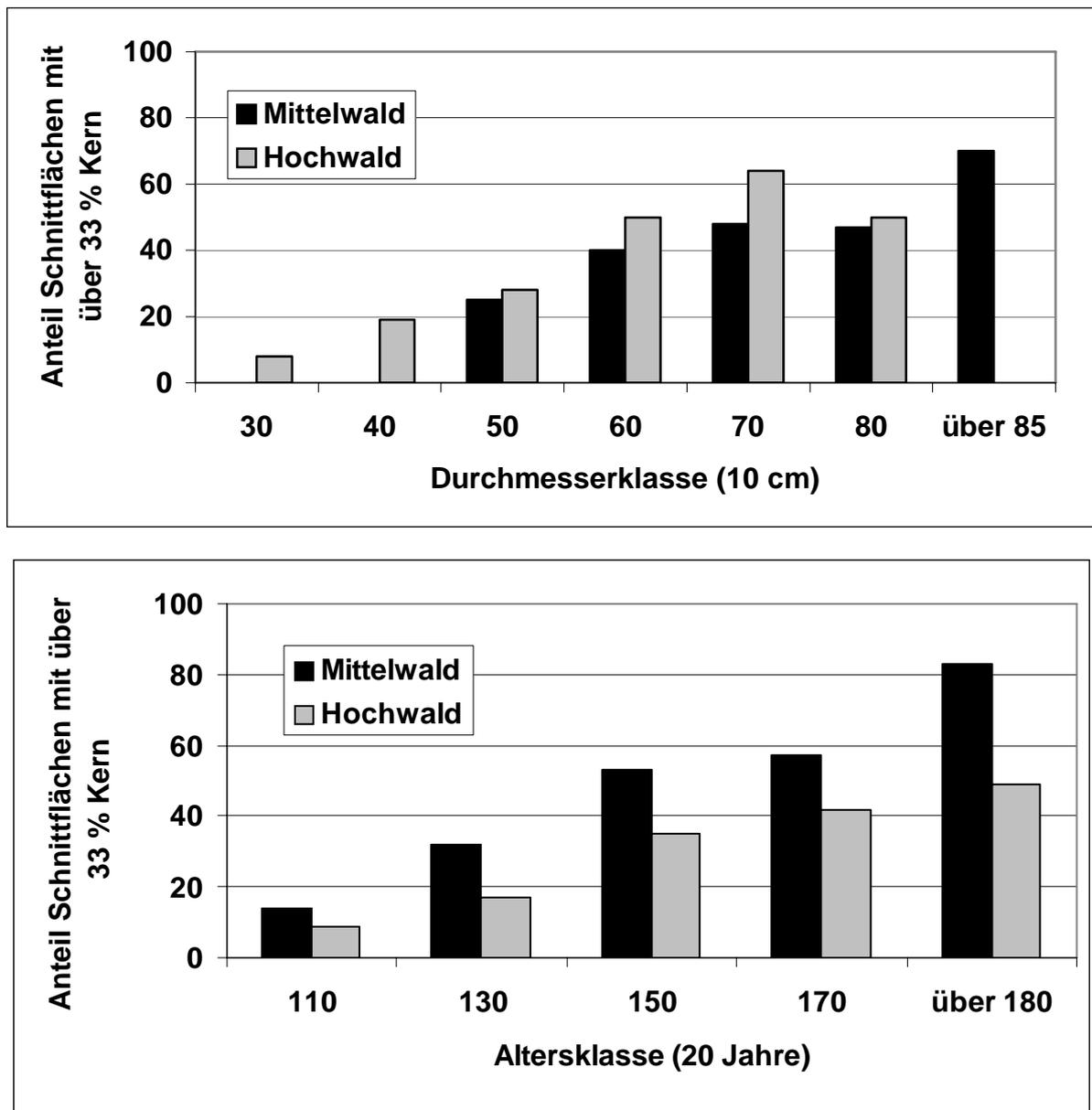


Abb. 2. Relative Häufigkeit von Schnittflächen mit über 33 % Farbkern in verschiedenen Durchmesser- (oben) und Altersklassen (unten)

Figure 2. Relative frequency of cross sections with more than 33 % red coloured heartwood in several diameter- (top) and age-classes (bottom)

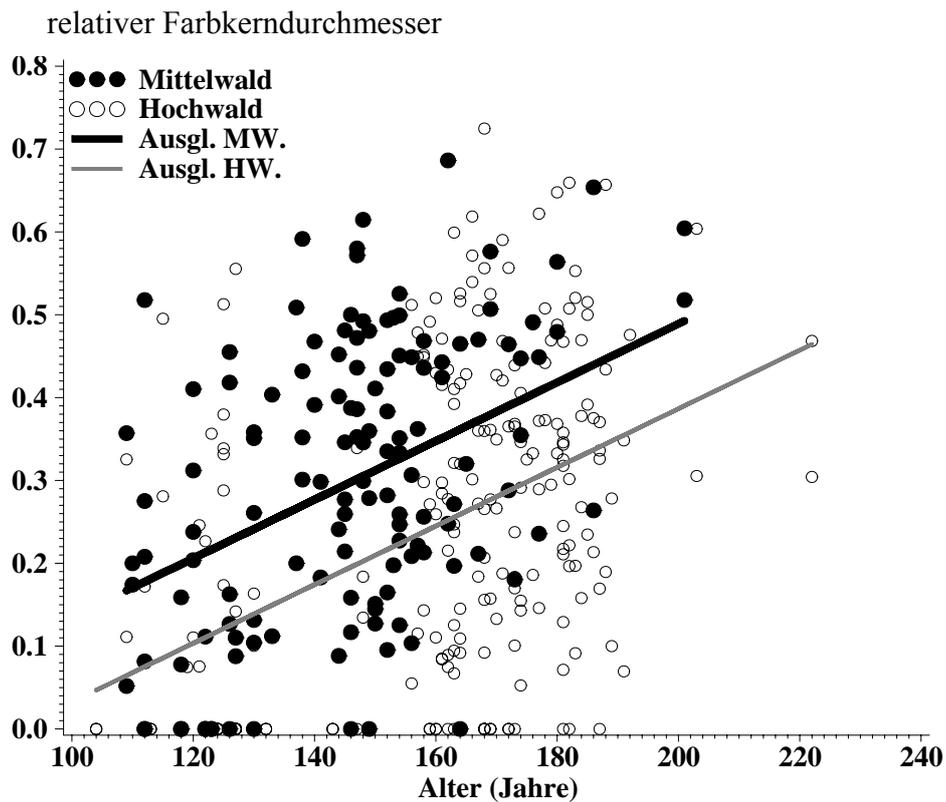
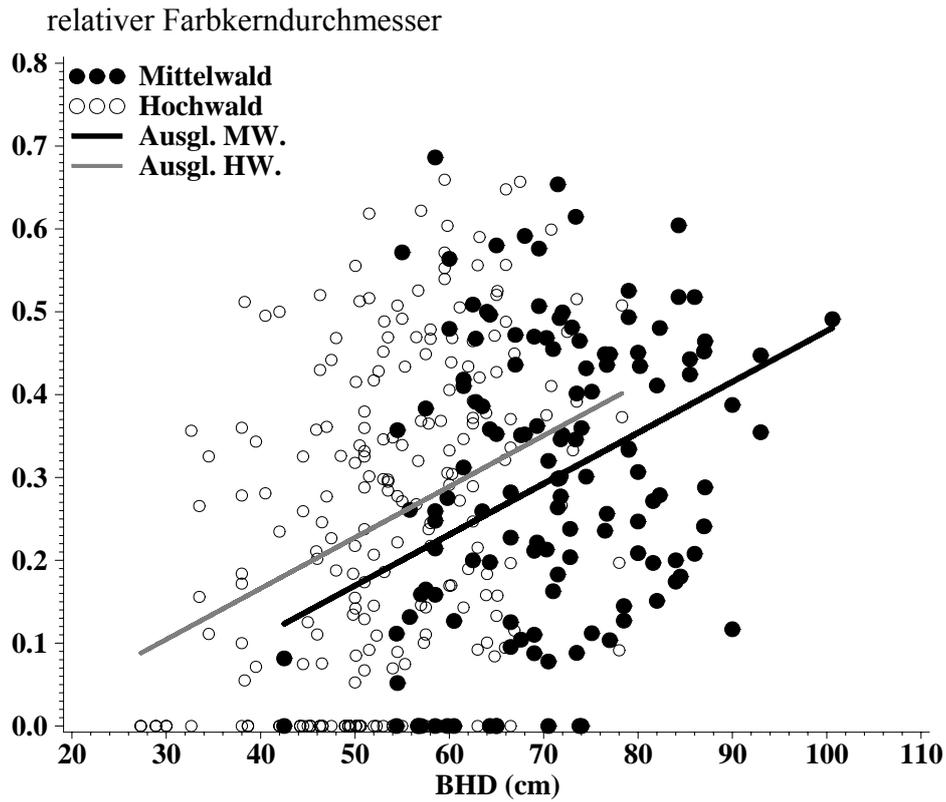


Abb. 3. Relativer Farbkerndurchmesser (Farbkerndurchmesser geteilt durch Stammdurchmesser) in Abhängigkeit vom BHD (oben) und Alter (unten)

Figure 3. Relative heartwood diameter depending on dbh (top) and age (bottom)

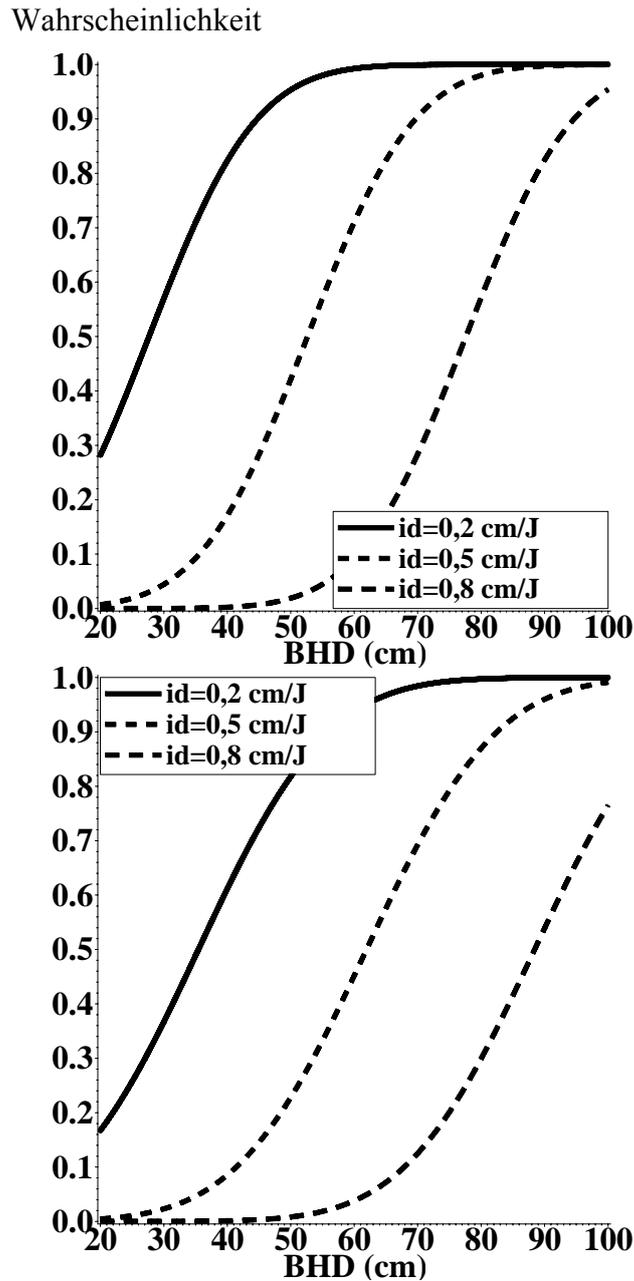


Abb. 4. Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom BHD und vom durchschnittlichen Durchmesserzuwachs des Baumes am Zopf eines 9 m langen Stammstückes überhaupt einen Farbkern (oben) oder einen Farbkern ab 34 % des Stammdurchmessers in 9 m Stammhöhe (unten) zu finden (Stockhöhe 0,3 m)

Figure 4. Probability to find colouration at the top of a 9 m long butt log (top) or to find colouration of 34 % of the stem diameter or more at this place (bottom) depending on dbh and mean diameter increment (stump height 0,3 m)

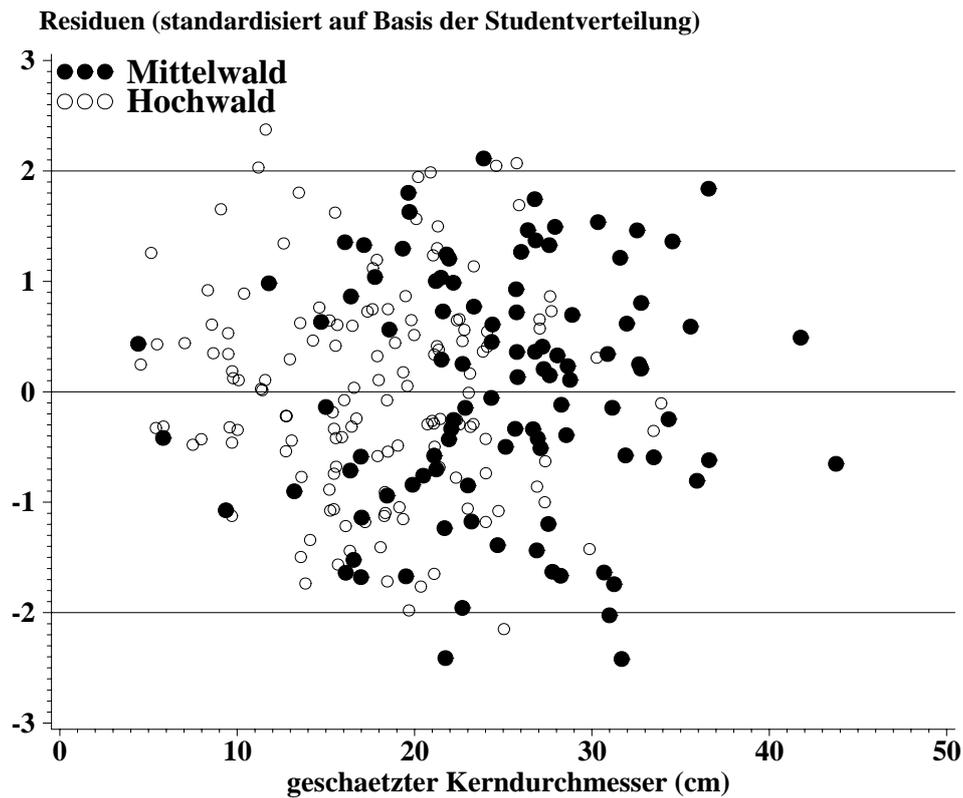


Abb. 5. Standardisierte Residuen der Regressionsanalyse des Farbkerndurchmessers  
Figure 5. Standardised residuals of the regression analysis of the diameter of colouration

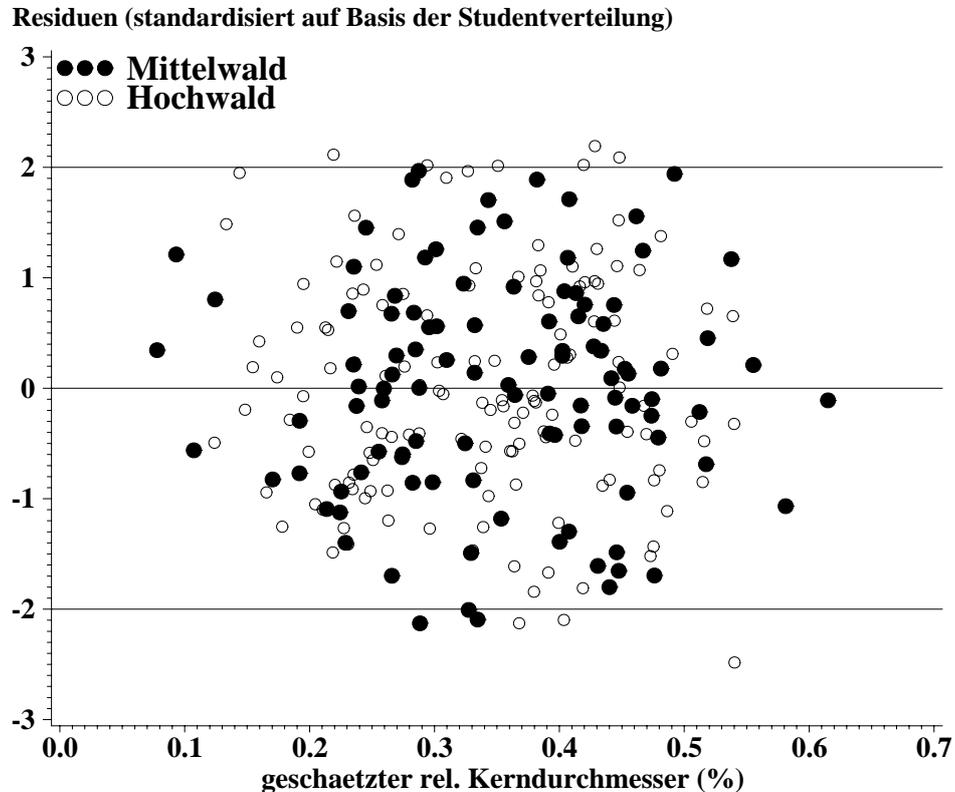


Abb. 6. Standardisierte Residuen der Regressionsanalyse des relativen Farbkerndurchmessers  
Figure 6. Standardised residuals of the regression analysis of the relative diameter of colouration