

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 106 (1955)

Heft: 9-10

Artikel: Zur Physiologie des Eschenbraunkerns

Autor: Bosshard, H.H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-764553>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

gaben der modernen Forsteinrichtung, ganz besonders in jenen Ländern, die wenig Wald besitzen und dessen Produktivität erhöhen wollen. Gerade in dieser Hinsicht aber kann die Bedeutung der Eidg. Technischen Hochschule nicht hoch genug eingeschätzt werden.

Literaturverzeichnis

- A. K.:* Professor Dr. Hermann Knuchel siebzigjährig. SZF, 1954.
Baumann, H.: Rationelle Stichprobenverfahren in der Forsteinrichtung. Allg. Forst- u. Jagdztg. 1955.
Bolley, H.: L'aménagement des forêts par la méthode expérimentale et spécialement la méthode du contrôle, 1920. (Deutsche Übersetzung von Eberbach 1922.)
Georgopoulos, A.: Die Forsteinrichtung in Griechenland. Saloniki 1950.
Georgopoulos A.: Sur la nécessité de l'application de la méthode d'aménagement dite du contrôle. SZF, 1954.
Horky, A.: Die Waldstandsaufnahme in Österreich. SZF, 1955.
Huffel, G.: Economie forestière, Tome III, 1907, 2^{me} édition, 1926.
Huffel, G.: Les méthodes de l'aménagement forestier en France. Ann. de l'école nat. des eaux et forêts, Tome I, fasc. 2, 1927.
Knuchel, H.: Planung und Kontrolle im Forstbetrieb, 1950.
Kurth, A.: Forschungs- und Lehrziele auf dem Gebiete der Forsteinrichtung. SZF, 1954 a.
Kurth, A.: Die Forsteinrichtung in der Schweiz. SZF, 1954 b.
Leibundgut, H.: Beitrag zur Anwendung und zum Ausbau der Kontrollmethode im Plenter- und Femelschlagwald. SZF, 1953.
Loetsch, F.: Wesen und Anwendungsmöglichkeit der mathematischen Statistik in der Forstwirtschaft, speziell bei forstlichen Vorrats- und Zuwachs inventuren. SZF, 1954.
Meyer, H. A.: Die rechnerischen Grundlagen der Kontrollmethoden. Beih. Nr. 13 zu den Ztschr. des Schweiz. Forstvereins, 1934.

Zur Physiologie des Eschenbraunkerns¹

Von *H. H. Bosshard*

(Institut für Allgemeine Botanik ETH, Laboratorium für Holzuntersuchung.
Vorsteher: Prof. Dr. A. Frey-Wyssling)

Einleitung und Problemstellung

(Oxf.852.16)
(31.21.1)

Die Eschen neigen auf allen Standorten zur Braunkernbildung. Allerdings sind die Farbkerne verschieden groß und beginnen in verschiedenen Altersstufen. Diese Unregelmäßigkeiten sind dem Verbraucher besonders unerwünscht und unterstützen zudem die Ansicht, der braune Eschenkern sei eine eigentliche Baumkrankheit. Eingehende Untersuchungen der Eschenholzanatomie (Bosshard, 1951 und 1953) haben aber den deutlichen Beweis erbracht, daß das braunkernige

¹ Diese Arbeit ist vom Kuratorium des Holz- und Waldwirtschaftsfonds in großzügiger Weise finanziert worden. Für dieses Entgegenkommen möchte ich bestens danken.

Eschenholz vollständig *gesund* ist. Die Farbkernbildung muß vielmehr mit der *Holzstruktur* und dem *physiologischen Verhalten* des Eschenholzes in Zusammenhang gebracht werden.

Alle *Fraxinus*-Arten gehören zu den ringporigen Hölzern, welche durch die tangential laufenden Reihen weitlumiger Frühholzgefäße längs der Jahrringgrenzen charakterisiert sind (Abbildung 1). Im Frühholzbereich sind auch die meisten Parenchymzellen zu finden, welche in vasizentrischer Anordnung die aufsteigenden Gefäßstränge begleiten. Das dichte Fasergrundgewebe in der Spätholzzone des Jahrringes wird nur von einzelnen englumigen, dickwandigen Spätholzgefäßen und ihren einzelligen Parenchymscheiden unterbrochen. Die Markstrahlen fächern den Querschnitt in schmale, radiale Streifen, durchmustern das längsstreichende Grundgewebe der tangentialen Fläche als zwei bis drei Zellen breite und bis 25stöckige Spindeln, und durchziehen den Radialschnitt als gekammerte Bänder quer zur Faserrichtung (Abbildungen 2 und 3). Ihre Zellen sind längliche, liegende Elemente, die durch einfache Tüpfel mit den Nachbarzellen in Verbindung stehen. Durch die Braunkernbildung wird die mikroskopische Feinstruktur des Eschenholzes, wie sie die Bilder 1 bis 3 beschreiben, in keiner Weise verändert: der Zellverband bleibt trotz der Farbreaktion vollständig geschlossen, die einzelnen Zellformen unterscheiden sich keineswegs von Zellen aus dem Splintbereich, und auch die Zellwände verhalten sich bei polarisationsmikroskopischen Untersuchungen und mikrochemischen Reaktionen wie Membranen aus weißem Eschenholz. Der Unterschied zwischen den beiden Stammzonen ist somit nicht morphologischer, sondern physiologischer Art und äußert sich darin, daß die Speicherzellen des braunkernigen Holzes mit rotbraunen Kernstoffen angefüllt sind (Abbildungen 4 und 5). Diese Einlagerungen kommen in Parenchym- und Markstrahlzellen als verschieden dicke Wandbeläge oder tropfenförmige Zellinhalte vor und lassen durch ihre braune Farbe das Speichersystem aus dem übrigen Holzkörper heraustreten. Dies ist deshalb besonders deutlich, weil nur selten Kernstoffe auch im Leit- oder Festigungsgewebe zu beobachten sind. Die chemische Natur der Kernstoffe ist noch nicht bekannt, man kann aber spezifische Farbreaktionen finden, welche diese Substanzen markieren. So wird beispielsweise ihre rotbraune Farbe nach der Behandlung des angesäuerten Holzes mit Osmiumtetroxyd tiefschwarz. Dieses Hilfsmittel eignet sich ausgezeichnet, um die Verteilung der Kernstoffe im mikroskopischen Präparat zu studieren. Man macht dabei die interessante Feststellung, daß die Kernfarbstoffe im braunkernigen Eschenholz nicht in die Zellwände eindringen. Mindestens die primären und sekundären Wandschichten ändern ihre Farbe nach der Osmiumtetroxydreaktion nicht; wie sich die tertiäre Membran verhält, muß erst noch in weiteren Beobachtungen

mit feineren Methoden klargestellt werden. Die Untersuchung des mikroskopischen Feinbaues von braunkernigem Eschenholz ergibt das ermutigende Resultat, daß auch Eschen mit Farbkernen ein vollständig normales Holzgefüge, unveränderte Zellformen und Zellwände aufweisen, da sie von den Kernstoffen unberührt bleiben. Demzufolge können sich auch die mechanischen Eigenschaften dieses Holzes nicht wesentlich von den Merkmalen des weißen Eschenholzes unterscheiden. Zum gleichen Ergebnis sind Kollmann (1941) und Kühne (1954) auf Grund ihrer eingehenden mechanischen Prüfungen von Eschenholz gelangt. Kollmann betont in der Zusammenfassung seiner Vergleichsuntersuchungen, daß es verfehlt ist, «Eschenkernholz für hochbeanspruchte Teile auszuschließen; man kann hierbei sogar Gefahr laufen, an Stelle hochwertigen Kernholzes minderwertiges, sehr feinringiges Splintholz zu wählen, dem immer eine besonders helle, fast weiße Farbe zu eigen ist. Diese Erkenntnis sollte Allgemeingut werden und auch in der Preisgestaltung zum Ausdruck kommen. Es ist nicht gerechtfertigt, daß Eschennutzhholz mit braunem Kern erheblich unterbewertet wird.» Untersuchungen an Eschen von verschiedenen Standorten des Mittelrandes führen zum selben Resultat. Die Holzabteilung der EMPA hat in zuvorkommender Weise die mechanische Prüfung von Eschenstammabschnitten, welche zuvor in unserem Laboratorium mikroskopisch untersucht worden waren, durchgeführt. Nach Messungen der spezifischen Bruchschlagarbeit, einer der wichtigsten Eigenschaften für die Verwendung des Eschenholzes, der statischen Biegefestigkeit und der elastischen Eigenschaften kommt Kühne zum Schluß, daß «auf Grund der heute belegbaren Kenntnisse eine Unterbewertung verkernten Eschenholzes nicht am Platz ist, wo die mechanischen Eigenschaften des Materials maßgebend sind». Sowohl die mikroskopische Untersuchung wie auch die zwei voneinander unabhängigen mechanischen Prüfungen belegen eindeutig, daß das Braunkernholz der Esche vollständig gesund

Abbildung 1

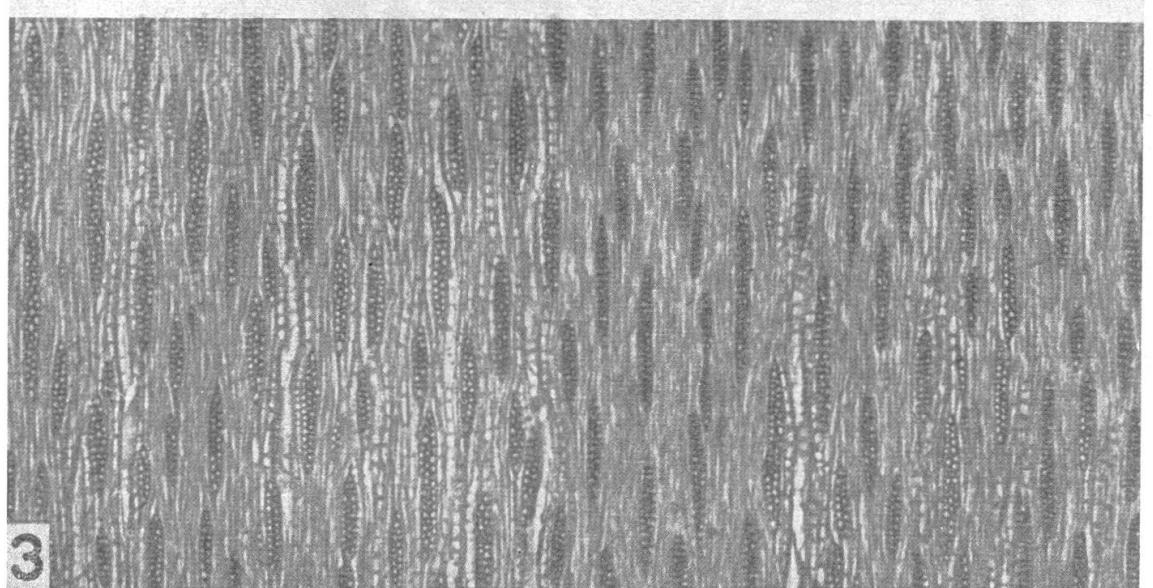
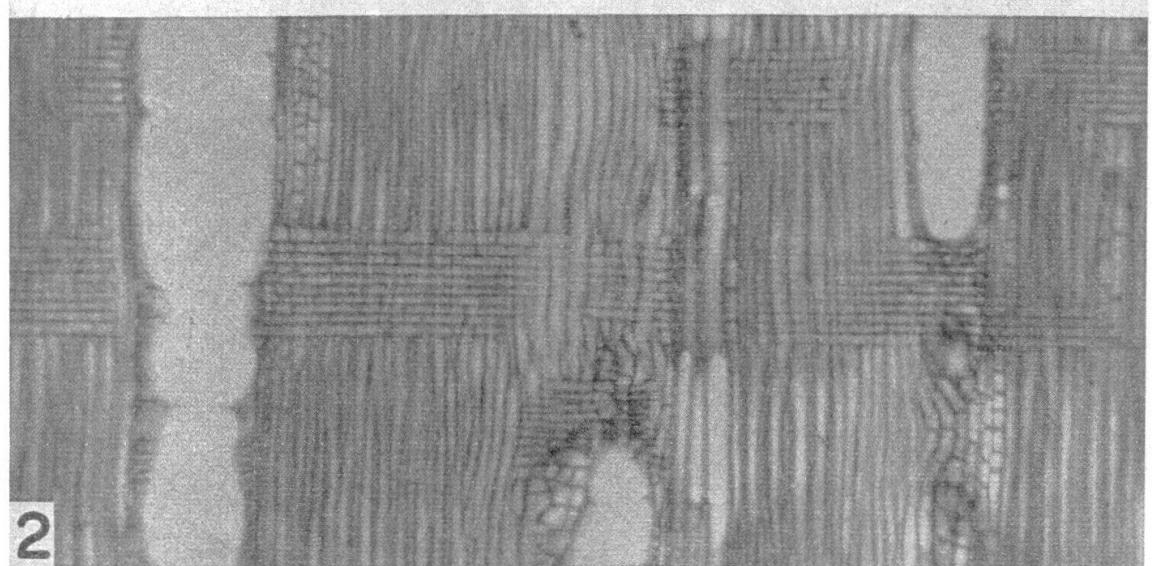
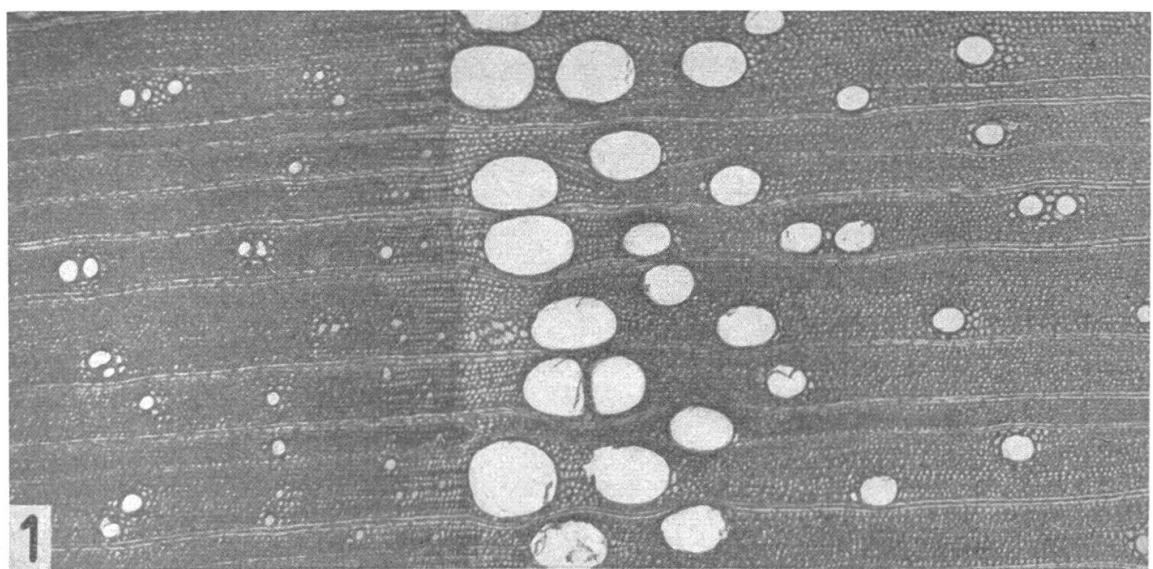
Querschnitt durch Eschenholz. Die weitlumigen Frühholzgefäße liegen in tangentialen Reihen längs der Jahrringgrenze. Vergrößerung 40×

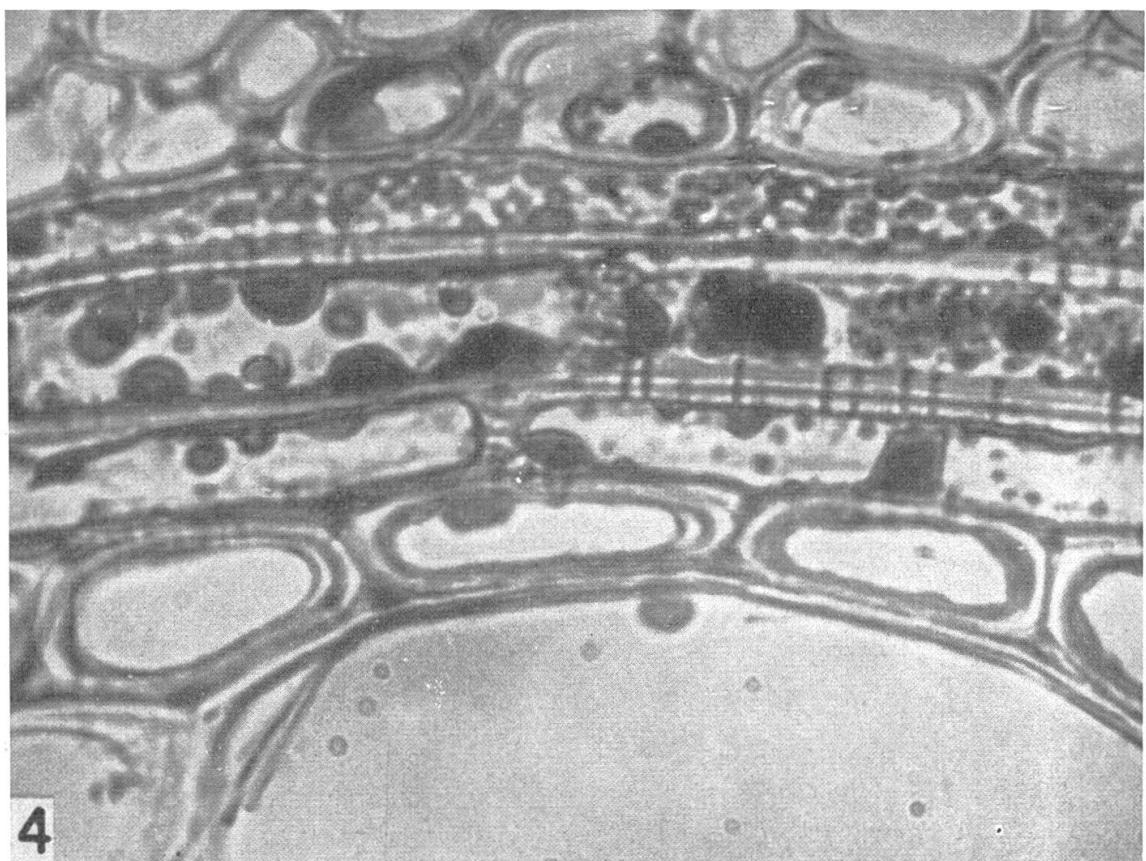
Abbildung 2

Radialschnitt durch Eschenholz. Die Markstrahlen bändern die Schnittfläche quer zur Faserrichtung. Das Grundgewebe wird von den weitlumigen Frühholzgefäßen und ihren Parenchymseiden durchbrochen. Vergrößerung 100×

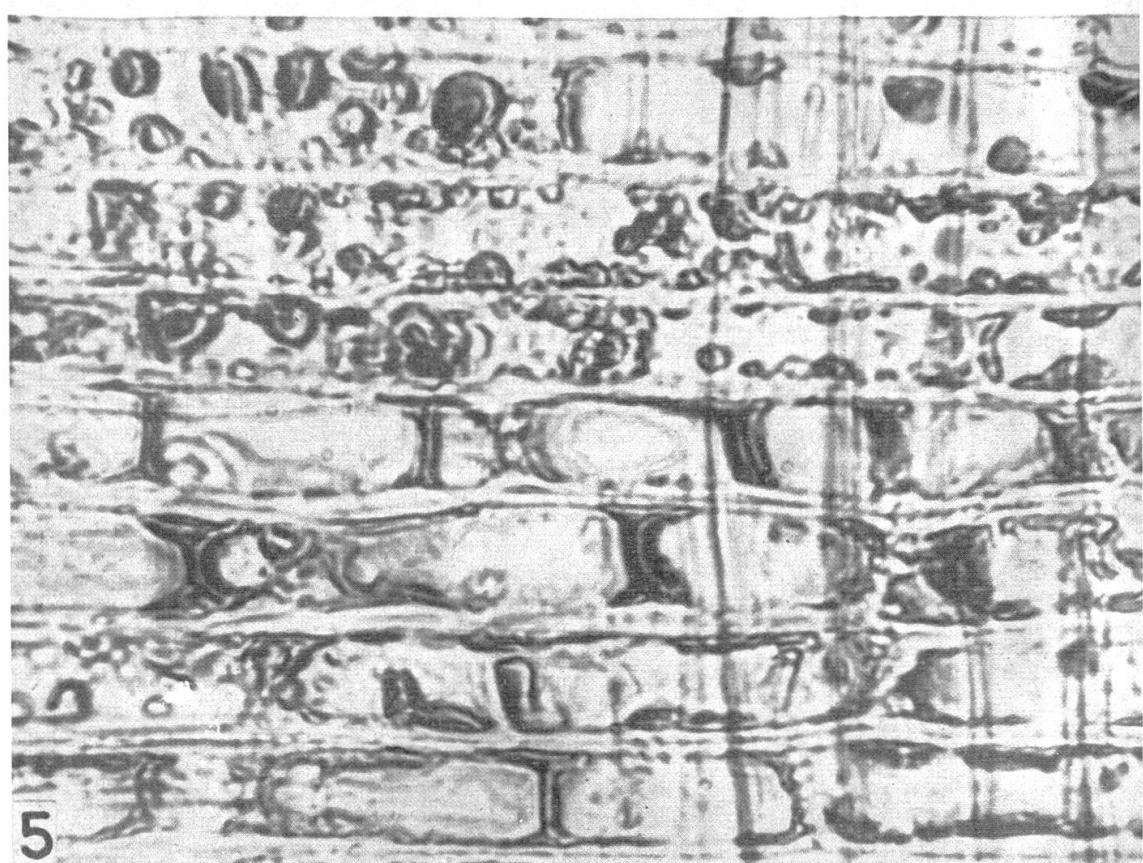
Abbildung 3

Tangentialschnitt durch Eschenholz. Der Schnitt liegt in der Spätholzzone; deshalb sind nur einzelne enge Gefäßbahnen und wenig Parenchymzellen abgebildet. Vergrößerung 50×





4



5

ist und unverminderte Festigkeiten aufweist. Es ist deshalb berechtigt, wenn in der forstlichen Praxis das alte Vorurteil gegen verkerntes Eschenholz zurückgewiesen und die noch bestehenden Preisdifferenzen zwischen weißem und farbkernigem Holz ausgeglichen werden.

Ein wesentlicher Grund, weshalb die Eschenverkernung, im Gegensatz zu den Farbkernbildungen beispielsweise in der Eiche oder Ulme, nicht geschätzt wird, liegt darin, daß die Esche einen *fakultativen* Farbkern bildet, während die andern genannten Holzarten als *obligatorische* Kernhölzer bekannt sind. Der Eschenbraunkern ist in dreifacher Hinsicht fakultativ:

1. *In bezug auf den Zeitpunkt der Verkernung:* Im allgemeinen ist bekannt, daß die Verkernung im Eschenholz in älteren, 60- bis 70jährigen, unter Umständen aber auch in 40jährigen Stämmen einsetzt (Kollmann, 1941). Wir haben überdies beobachtet, daß schon ganz junge Eschen in mannshohen Dickungen Farbkerne bilden können. Obwohl dies nur in Ausnahmefällen geschehen mag, ist damit doch angedeutet, daß der Verkernungsvorgang nicht eigentlich an eine bestimmte Altersstufe gebunden ist.

2. *In bezug auf die Dimension:* Untersuchungen in Eschenstämmen mit schönen, gut ausgebildeten Farbkernen haben ergeben, daß die Farbkernzone weder in horizontaler noch in vertikaler Richtung in konstanten Dimensionen gebildet wird. Der Braunkern kann die Querschnittsfläche praktisch von 10 bis 90 % beschlagen und auch im Stamm längsschnitt beliebige Ausdehnung annehmen.

3. *In bezug auf das Vorkommen im Stamm:* Die Verkernung kann sich sowohl im Stammfuß wie in der Nähe des Kronenansatzes oder im Geäste ausbreiten, ohne einer inneren Gesetzmäßigkeit zu folgen.

Diese Freiheiten im Verlauf der Verkernung weisen darauf hin, daß es sich dabei um eine *latente physiologische Bereitschaft* des Stammes handelt, welche sich durch verschiedene äußere Veranlassungen auswirken kann. Die Kenntnis der Verkernungsphysiologie sollte demzufolge bestimmte Aussagen über die verschiedenen äußeren Faktoren ermöglichen. In diesem Sinne wollen wir uns in der vorliegenden Arbeit

Abbildung 4

Querschnitt durch Farbkernholz der Esche. Strangparenchym- und Markstrahlzellen sind mit dunkelgefärbten Kernstoffen angefüllt, die als Wandbeläge oder als Kügelchen im Zellinneren vorkommen. Vergrößerung 500 ×

Abbildung 5

Radialschnitt durch Farbkernholz der Esche. Die dunklen Zellwandbeläge und Kernstoffkügelchen sind im ganzen Markstrahl gleichmäßig verteilt. Die Zellwände werden aber von den Kernstoffen nicht imprägniert. Vergrößerung 420 ×

Klarheit über den Wasserhaushalt des Eschenstammes im Zusammenhang mit der Kernbildung verschaffen.

Material und Methode

Das Holz wurde uns von den Forstämtern ² der Städte Winterthur (2 Stämme) und Solothurn (1 Stamm) und von der Verwaltung des Lehrwaldes der ETH (2 Stämme) zur Verfügung gestellt. Über Standort und Lage der fünf Eschen orientiert die nachfolgende Tabelle 1.

Tabelle 1

Übersicht über Herkunft, Standort, Fällzeit und Alter der fünf Eschenstämme

Probestamm	Herkunft	Standort	Fällzeit	Alter Jahre
Winterthur 1	Stadtwaldung Winterthur, Revier V, Töß, Abteilung 8	Ahorn-Eschenwald-Standort in nasser Hangfußlage	27.3.53	110
Winterthur 2	Stadtwaldung Winterthur, Revier V, Töß, Abteilung 8	Ahorn-Eschenwald-Standort in nasser Hangfußlage	30.4.53	90
Solothurn	Waldungen der Bürgergemeinde, Abteilung 9, Wildmannsgraben	Nasse Mulde, vorwiegend mit Eschen bestockt, zwischen die einzelne Ahorne und Weißtannen eingestreut sind	28.7.53	70
Lehrrevier 1	Lehrwald Albis- riederberg, Abtei- lung 5, Sädleneck	Mittlere Hanglage, Ahorn- Eschenwald-Standort; Boden mäßig feucht	10.11.52	54
Lehrrevier 2	Lehrwald Albis- riederberg, Abtei- lung 9, Im Gut	Flache Hanglage; Standort des aronstabreichen Eichen-Hage- buchenwaldes; Boden frisch	22.6.55	40

Der Wassergehalt des Stammholzes wird nach der Darrmethode bestimmt. Zur Probeentnahme wird der frisch gefällte Stamm in Zweimetersektionen eingeteilt. Von der untersten, zirka 5 cm dicken Stamm scheibe jeder Sektion werden die Proben längs einem bestimmten

² Den drei Forstverwaltungen, die auch in entgegenkommender Weise die Kosten für Gewinnung und Aufbereitung der Stämme übernommen haben, sei an dieser Stelle für ihr Verständnis und ihre bereitwillige Hilfe bestens gedankt.

Durchmesser entnommen, in tarierte Wägegläser eingefüllt und im Laboratorium gewogen. Die Holzwürfel, welche in der Regel zehn Jahrtringe einschließen, werden anschließend bei 103°C bis zur Gewichtskonstanz gedarrt. Da die Probeentnahme nach einem genauen Plan erfolgt, können die auf Prozente des Trockengewichts umgerechneten Meßwerte in ein Baumdiagramm eingetragen werden.

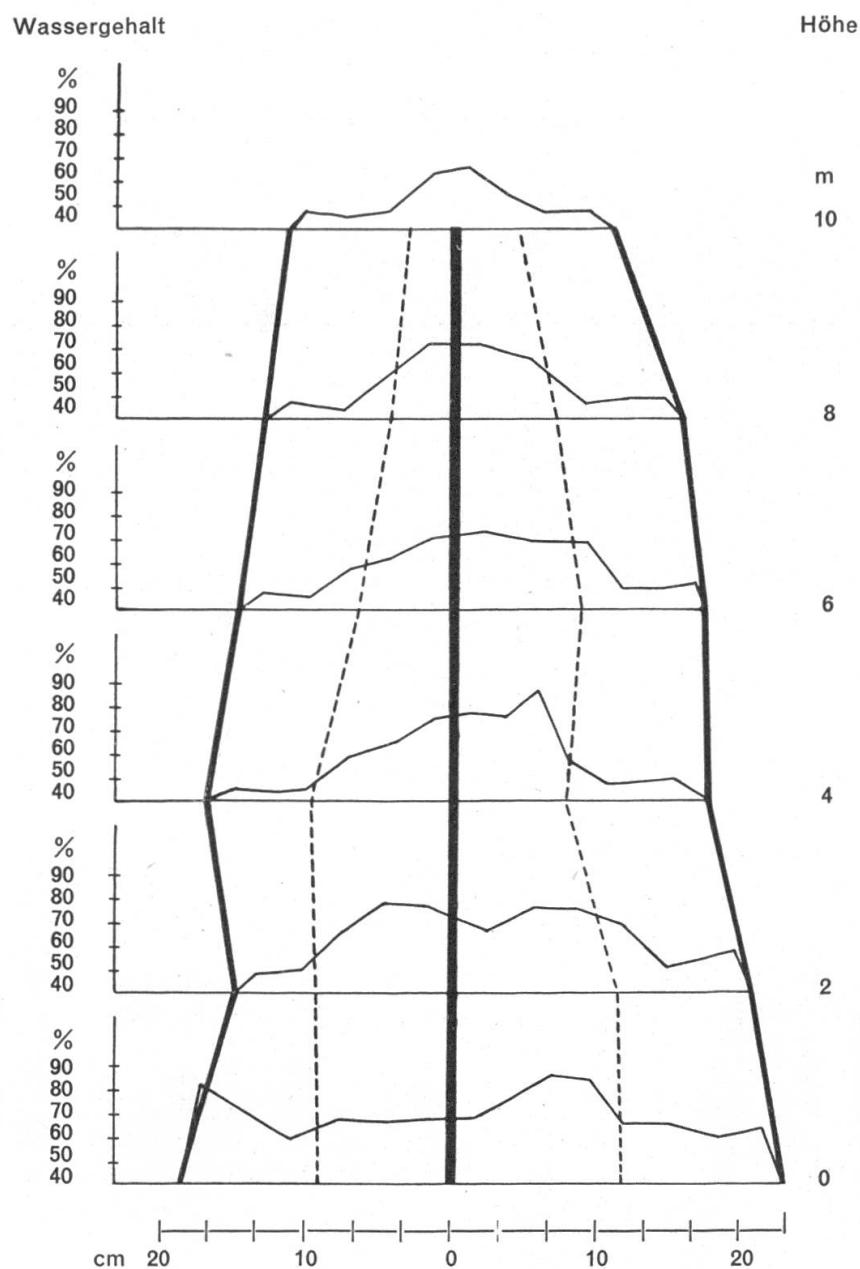


Abbildung 6

Diagramm des Eschenstammes «Winterthur 1». Die Wassergehaltskurven steigen in allen Querschnitten in der Farbkernzone beträchtlich an. Der Farbkern wird durch die gestrichelten Linien angegeben

Resultate

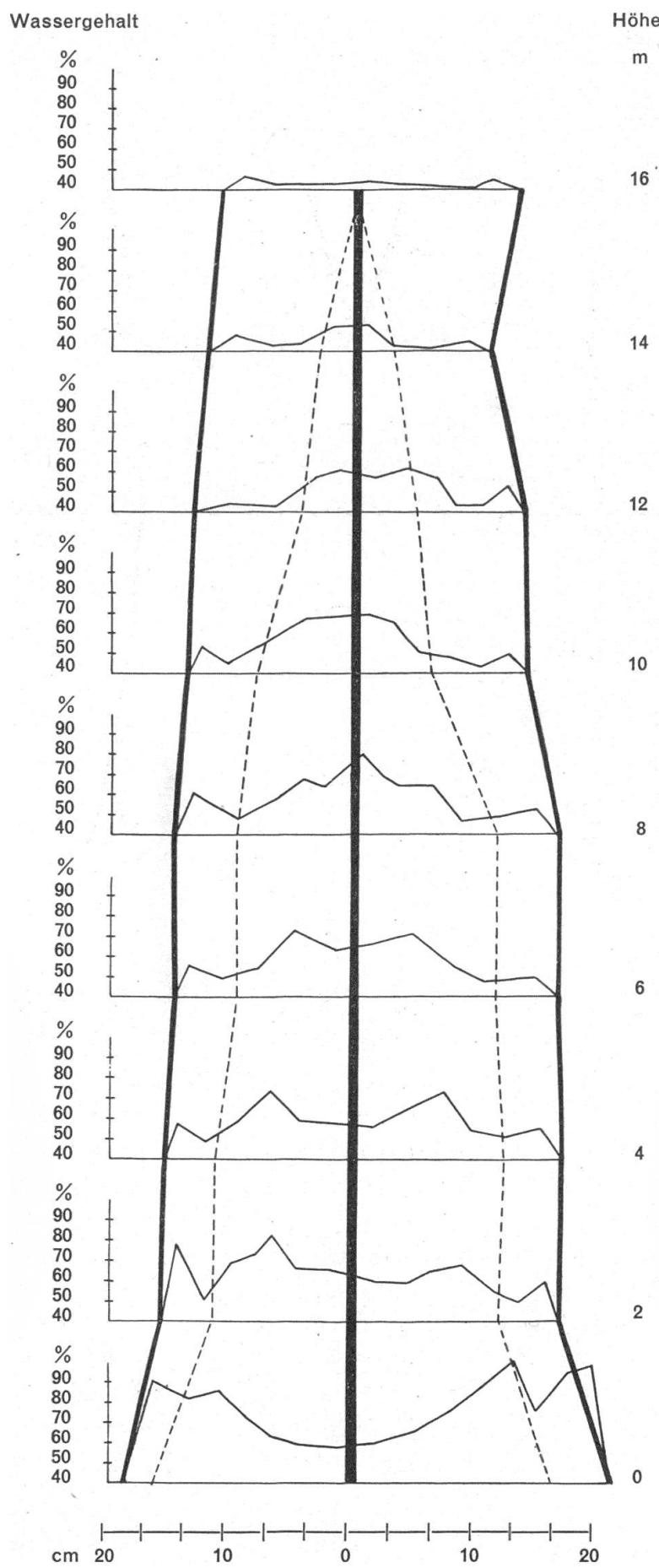
Die Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmungen von fünf Eschenstämmen sind in den Abbildungen 6 bis 10 dargestellt, in denen die prozentuale Verteilung der Feuchtigkeit von der Borke bis zum Mark über den Stammquerschnitten eingetragen worden ist. Die inneren, gestrichten Linien beidseitig vom Mark grenzen die Farbkernzonen ab.

Im Stamm «Winterthur 1» (Abbildung 6) ist der Farbkern sehr schön ausgebildet. Auf Bodenhöhe beansprucht die Braunkernzone mehr als 50 % der Querschnittfläche und schließt auf 10 m Höhe immer noch 30 % des Querschnittes ein. Die Kernfarbe ist in allen Stamm scheiben regelmäßig. Die Wassergehalkurven der einzelnen Stamm scheiben zeigen den für braunkerniges Eschenholz charakteristischen Verlauf: In der Splintnähe deuten sie einen relativ hohen Gehalt an Wasser an, beschreiben in den gegen das Mark hin folgenden Jahr ringen eine trockenere Zone und steigen im Farbkernbereich auf die Maximalwerte. Im Beispiel «Winterthur 1» liegt der Wassergehalt im physiologischen Splint um 50 %, im Braunkern hingegen bei 70 und 80 %. Der mittlere Wassergehalt der Stammquerschnitte sinkt von 69,7 % in Bodennähe bis 51,8 % in der obersten Stammscheibe dicht unter dem Kronenansatz.

Die Esche «Winterthur 2» (Abbildung 7) ist von besonderem Interesse, einerseits weil der Braunkern in der untersten Scheibe über 80 % des Querschnittes belegt und weil anderseits der Wassergehalt bis in die farbkernfreie Stammpartie in 16 m Höhe verfolgt werden kann. In diesem Stamm ist zudem die Braunkernzone ungleichmäßig gefärbt: In den unteren vier Stammscheiben liegt im Farbkernbereich ein 10 bis 15 Jahre umfassender Ring von intensiv brauner Farbe. In ihm sind die Kernstoffe in außergewöhnlicher Häufigkeit in den Speicherzellen angereichert. Interessanterweise sprechen die Wassergehalkurven auf die konzentrierte Kernstoffeinlagerung an und zeigen über diesen Ringen in allen vier Scheiben einen höheren Wassergehalt an, nämlich durch schnittlich 70 bis 80 % gegenüber 60 % in der dazwischen liegenden markständigen Zone. In den Stammscheiben 5 bis 8 verlaufen die Wassergehalkurven ähnlich wie im Stamm «Winterthur 1» und weisen ein deutliches Maximum in der Farbkernzone auf. In der obersten Scheibe ist das Holz bis zum Mark weiß. So kann dieser Stammquerschnitt als

Abbildung 7

Esche «Winterthur 2» mit ungleichmäßiger Bräunung im Farbkern der untersten vier Stammscheiben. Über den Stellen mit gehäufter Kernstoffeinlagerung steigen die Wassergehalkurven zu Maximalwerten an. In der obersten Stammscheibe ohne Farbkern bleibt der Wassergehalt in der inneren Stammpartie konstant



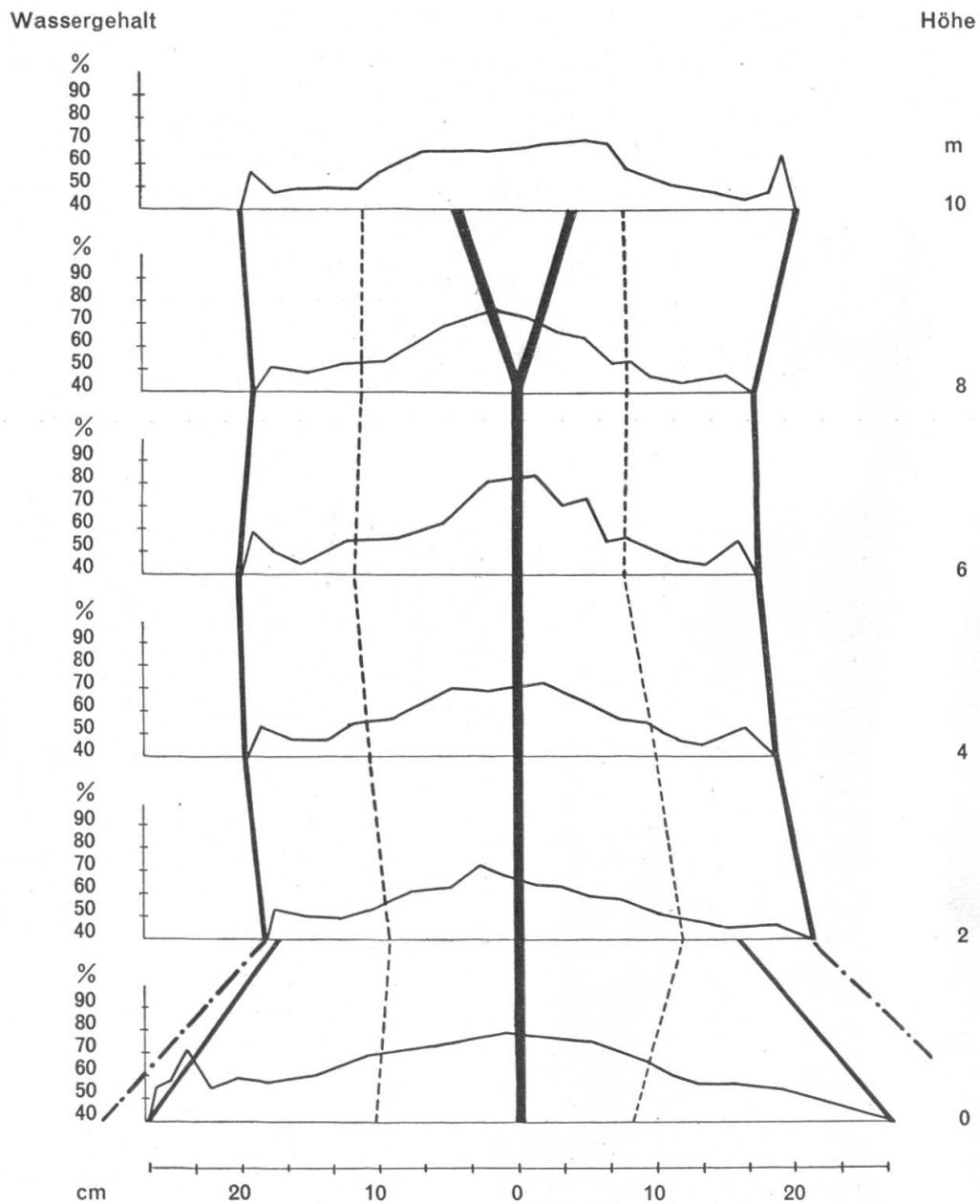


Abbildung 8

Diagramm der Esche aus Solothurn mit charakteristischer Wassergehältsverteilung:
Der Farbkernbereich ist wiederum wesentlich feuchter als das angrenzende Holz

Kontrollprobe betrachtet werden. Die Wassergehaltskurve zeigt eine, zwischen den beiden physiologischen Splintzonen liegende, gleichmäßig trockene Stammpartie mit 43,2 % Wassergehalt an. Der mittlere Wassergehalt der bodennahen Stammscheibe von 77,6 % unterscheidet sich somit um 34,4 % vom entsprechenden Wert auf 16 m Höhe.

Die Esche aus Solothurn (Abbildung 8) hat einen 10 m hohen astfreien Stammabschnitt. Dann gabelt der Stamm in zwei starke Zwiesel-

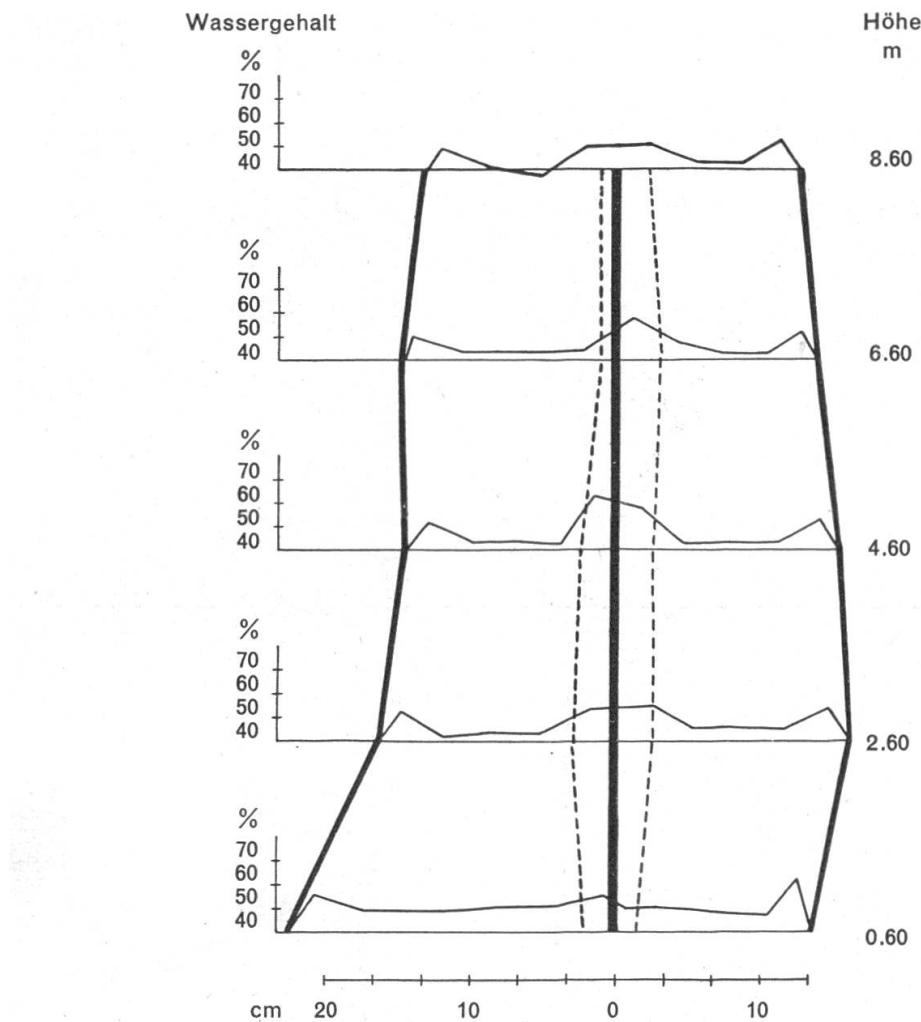


Abbildung 9

Diagramm der ersten Lehrrevieresche, die nur schwache Farbkernbildung aufweist. Die zwischen Splint und Braunkern liegende, trockenere Zone wird dadurch um so deutlicher

äste, von denen beide braunkernig sind. In der bodennahen Stamscheibe umfaßt der Farbkern zirka 50 % des Querschnittes. Diese unterste Scheibe wurde aber beim Fällen beschädigt, so daß die äußersten Jahrringe nicht mehr vollständig in die Messungen einbezogen werden konnten. Die Wassergehaltskurven verlaufen in allen Stamscheiben wiederum so, wie dies im Stamm «Winterthur 1» dargestellt worden ist, und bestätigen damit, daß die Farbkernzone, sogar gegenüber dem Splintbereich gesehen, nasses Holz einschließt.

Im Stamm «Lehrrevier 1» (Abbildung 9) ist der Braunkern auf zirka 10 % der Querschnittsflächen beschränkt, er ist aber in diesem Bereich regelmäßig verfärbt. Daraufhin deuten auch die Wassergehaltskurven, deren Maximalwerte symmetrisch im ganzen Kernbild liegen.

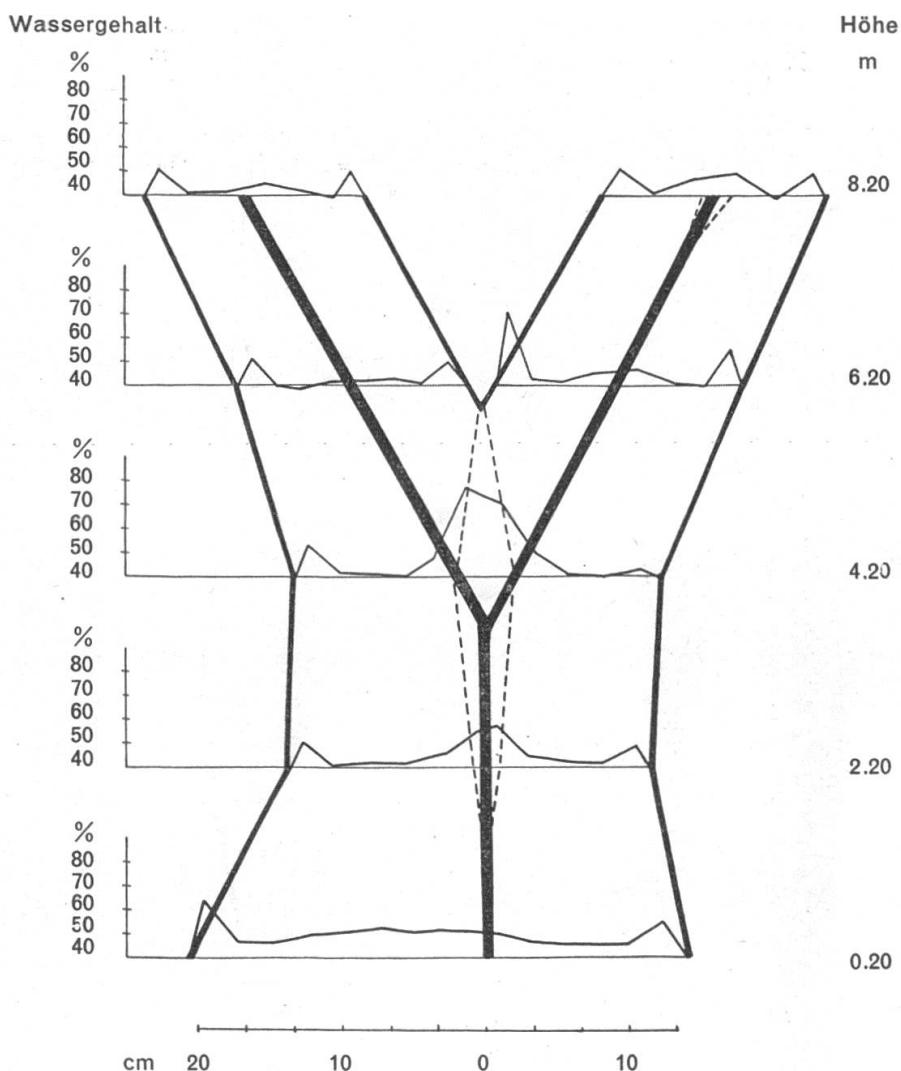


Abbildung 10

Diagramm der zweiten Lehrrevieresche. Der schmale Braunkern bleibt auf die zweite und dritte Stammscheibe beschränkt. Die anderen Stammquerschnitte, mit Ausnahme der Scheiben aus dem rechten Zwieselarm, gelten als Kontrollproben. In der rechtsseitigen Gabel wirkt sich der kleine Farbkern auch in der zweiten Stammscheibe aus

In dieser Esche ist zufolge der schwachen Farbkernbildung die Trockenzone zwischen physiologischem Splint und Farbkern besonders deutlich und weist ihrerseits wiederum darauf hin, daß Braunkernbildung immer verbunden ist mit hoher Holzfeuchtigkeit. Der mittlere Wassergehalt sinkt von der untersten bis zur obersten Stammscheibe von 51,1 % auf 45,1 %.

Die Esche «Lehrrevier 2» (Abbildung 10) teilt sich in 6 Meter Höhe in zwei gleich starke Zwieseläste. Von der Gabelstelle aus breitet sich längs dem Mark bis zirka 1 m über Boden ein Farbkern aus, der aber an den breitesten Stellen nur 4 cm mißt. Im rechten Zwieselarm ist zudem in 8 m Höhe eine kleine verfärbte Zone angedeutet, die ebenfalls

nur den markständigen Jahrring umfaßt und von der Schnittstelle her nur wenige Zentimeter stammabwärts zu verfolgen ist. Die Wassergehaltskurven beschreiben auch in diesem Stamm deutlich, daß überall da, wo brauner Eschenkern vorkommt, das Holz feuchter ist als in den weißen Zonen. Der mittlere Wassergehalt der Stamscheiben variiert von 50,3 % in Bodennähe bis 44,5 % in 8 m Höhe.

Diskussion

H a r t i g hat schon 1891 auf den Zusammenhang zwischen Ringporigkeit und Kernbildung hingewiesen, und H u b e r (1935) kommt in seiner Betrachtung über die physiologische Bedeutung der Ring- und Zerstreutporigkeit zu gleichen Ergebnissen. Die hier eingeschalteten Bemerkungen über die Wasserleitfähigkeit von ring- und zerstreutporigen Laubhölzern sollen deshalb erst darlegen, daß die Bezeichnung der Esche als *Kernholz* mit fakultativer Farbkernbildung berechtigt ist.

Der tägliche Wasserbedarf unserer Laubbäume ist groß: im Transpirationsstrom werden beispielsweise von der Stieleiche in günstigen Verhältnissen stündlich 14 Liter Wasser mit einer Geschwindigkeit von 40 m/h von den Wurzeln durch den Stamm der Krone zugeführt. H u b e r (1935) hat die Höchstgeschwindigkeiten des Transpirationsstromes in verschiedenen Holzarten gemessen und die Ergebnisse zusammengestellt (Tabelle 2).

Die Geschwindigkeiten der Wasserleitung in den ringporigen Holzarten sind im Durchschnitt etwa zehnmal höher als bei den zerstreut-

Tabelle 2

Übersicht der mittäglichen Höchstgeschwindigkeiten des Transpirationsstromes
(nach H u b e r 1935)

Ringporige Holzarten	Transpirationsgeschwindigkeit m/h	Mittlerer Durchmesser der Frühholzgefäß μ	Zerstreutporige Holzarten	Transpirationsgeschwindigkeit m/h	Mittlerer Gefäßdurchmesser μ
<i>Quercus robur</i>	43,6	200–300	<i>Populus balsamifera</i> ..	6,3	80–120
<i>Robinia pseudaccacia</i> ..	28,8	160–400	<i>Juglans regia</i>	4,1	120–160
<i>Quercus rubra</i>	27,7	250	<i>Tilia tomentosa</i>	3,4	25–90
<i>Fraxinus excelsior</i>	25,7	120–350	<i>Salix viridis</i>	3,0	80–120
<i>Castanea vesca</i>	24,0	300–350	<i>Acer pseudoplatanus</i> ..	2,4	30–110
<i>Ailanthes glandulosa</i> ..	22,2	170–250	<i>Alnus glutinosa</i>	2,0	20–90
<i>Carya alba</i>	19,2	180–300	<i>Betula verrucosa</i>	1,6	30–130
<i>Ulmus effusa</i>	6,0	130–340	<i>Fagus silvatica</i>	1,1	16–80

porenigen Hölzern. In der ringporigen Gruppe, die für uns von besonderer Bedeutung ist, zeichnet sich vor allem die Stieleiche durch sehr hohe Geschwindigkeiten des Transpirationsstromes aus, die Esche hingegen steht in dieser Hinsicht erst an vierter Stelle. Huber (1935) und Ledefoged (1952) haben darauf hingewiesen, daß in den zerstreutporigen Holzarten mit den kleinen Geschwindigkeiten die *wasserleitenden Flächen* dafür wesentlich größer sind als in den ringporigen. Ledefoged hat beobachtet, daß bei *Quercus robur* und *Fraxinus excelsior* der gesamte Wassertransport in den vier äußersten Jahrringen stattfindet, wobei allein im äußersten Ring zunächst dem Kambium 75 % der Wassermenge geleitet werden. In den zerstreutporigen Hölzern *Fagus silvatica*, *Acer pseudoplatanus* und *Betula pendula* nehmen durchschnittlich die äußern zwanzig Jahrringe am Wassertransport teil, wobei auf den äußersten Jahrring noch etwa 10 % der geleiteten Wassermenge entfallen. In den ringporigen Holzarten werden also die Gefäßbahnen schon nach der ersten Vegetationsperiode als Wasserleiter ausgeschaltet, teilweise mit Thyllen verschlossen oder mit Luft gefüllt. Priestley (1930) beobachtet in der Esche schon nach dem äußersten Jahrring Thyllen. Aus eigener Erfahrung kann bestätigt werden, daß nur die beiden äußersten Jahrringe bei der Esche thyllenfrei sind und daß in den anschließenden Ringen der Thyllengehalt sehr bald bis auf 40 % und mehr ansteigt. Das innere Eschenholz kann eine schön helle Farbe aufweisen und ist deshalb *physiologisch* trotzdem weitgehend *inaktiv*, was als erstes Anzeichen einer eigentlichen Verkernung gedeutet werden muß. Deshalb ist es auch berechtigt, die Esche als *Kernholzart* zu bezeichnen, um so mehr als sie noch zur ausgesprochenen Farbkernbildung neigt.

Im Stammholz wird aber nicht nur Wasser geleitet, sondern der porena reiche Holzkörper ist auch ein vorzügliches Wasserspeichersystem. Nach den interessanten Feststellungen von Knuchel (1935) enthält ein Kubikmeter frisches, im November gefälltes Holz von 100- bis 120jährigen Fichten 289 l, Tannen 375 l und Buchen 492 l Wasser. Dieses Wasser kommt als *gebundenes*, durch Dipolkräfte an Zelluloseketten festgehaltenes Wasser vor, neben dem *freien*, tropfbaren Wasser in den mikroskopischen Kapillaren. Das freie Wasser steht dem Baum jederzeit zur Verfügung und wird bei hoher Transpiration und kleinem Wasserangebot aus dem Stamminnern in die Splint- und Kronenpartie gebracht. Das gebundene Wasser, dessen prozentualer Anteil, bezogen auf die Holztrockensubstanz, als Fasersättigung definiert wird, kann nur dem geschlagenen Holz durch Trocknung entnommen werden. Trennlemburg (1939) klassiert die Holzarten nach ihrer verschiedenen Wasser- aufnahmefähigkeit. Nach dieser Einteilung gehört die Esche mit ihrem mittleren Wassergehalt von 51 % in die Gruppe der *feuchten* Hölzer,

während beispielsweise der Farbkern der Lärche mit nur 30 bis 40 % zum *mäßig feuchten* Holz gezählt wird und Buche, Eiche und Birke mit 80 bis 90 % als *nasse* Holzarten, und schließlich Ulme, Pappel und Edelkastanie mit 130 bis 200 % als *sehr nasse* Hölzer klassiert werden. Es ist erstaunlich, daß in dieser Zusammenstellung die Esche so nahe bei den trockenen Lärchen und Föhren zu finden ist, lassen ihre Standortsansprüche doch eher das Gegenteil vermuten. — Die Untersuchung über den Wasserhaushalt ganzer Eschenstämme hat einen deutlichen Zusammenhang zwischen Farbkernbildung und Wassergehalt des Holzes ergeben. In allen fünf Probestämmen kann beobachtet werden, daß braunkerniges Eschenholz gegenüber unverfärbtem im Durchschnitt einen 15 bis 25 %

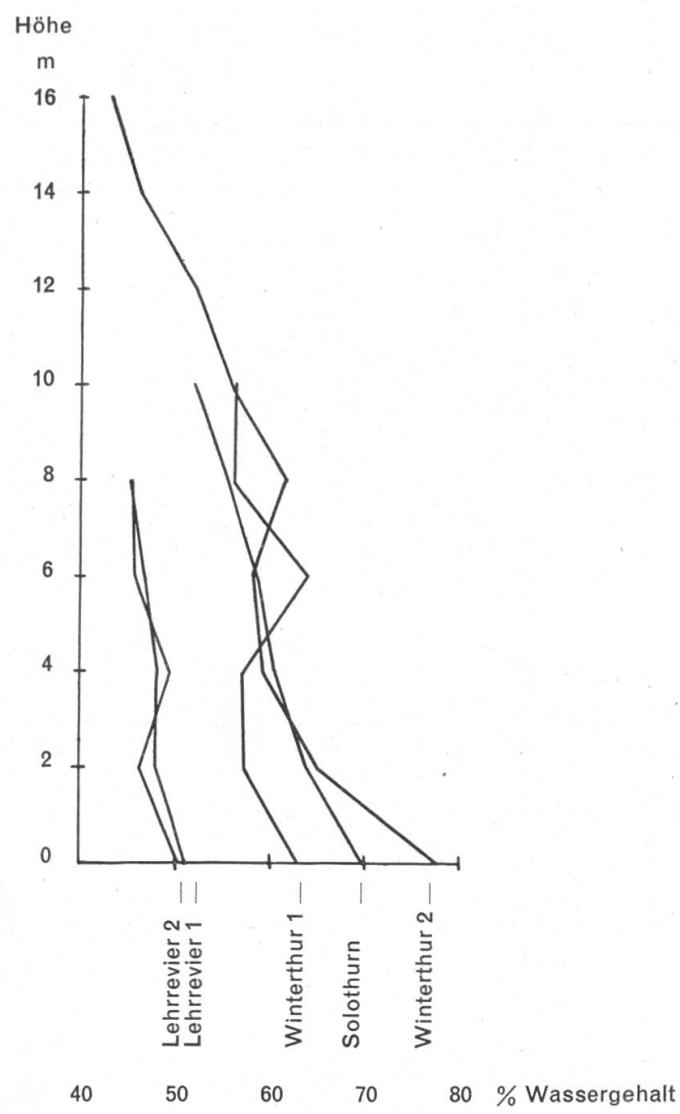


Abbildung 11

Mittlerer Wassergehalt für alle fünf Eschen eingezeichnet. Die Stämme von nassen Standorten haben im Durchschnitt einen um 15 % höher liegenden Wassergehalt als die beiden Eschen von *mäßig feuchten* Böden

höheren Wassergehalt aufweist. Weiter demonstrieren die verschiedenen Wassergehaltskurven, daß es sich da um eine sehr fein reagierende Abhängigkeit handelt, indem sich Stellen mit intensiver Kernstoffeinlagerung auch im Verlauf des Wassergehaltes bemerkbar machen. Daß dieses Zusammenspiel nicht etwa von jahreszeitlichen Schwankungen abhängig ist, beweisen die verschiedenen Fällzeiten, die in Tabelle 1 für jeden Stamm angegeben sind. Die jahreszeitlichen Unterschiede sind eher in den äußern Stammpartien zu beobachten, wo sie sich viel deutlicher auswirken. Diese Werte können aber nicht hinreichend sicher aus den Messungen der fünf Stämme herausgelesen werden, weil die Probestämme auf verschiedenen Standorten geschlagen wurden. In Abbildung 11 sind die mittleren Wassergehalte der Stammscheiben von allen Messungen eingezeichnet. Alle Kurven weisen darauf hin, daß, unabhängig von Standort und Fällzeit, die kronennahen Bereiche immer trockener sind als das Holz in Bodennähe. Ein deutlicher Unterschied besteht hingegen zwischen den Eschen aus Winterthur und Solothurn, welche auf nassen Hangfuß- oder Muldenlagen erwachsen sind, und den Lehrreviereschen von trockeneren Standorten. Die «Trockeneschen» haben einen um zirka 15 % geringeren Wassergehalt als die andern Stämme und gleichzeitig eine geringere Farbkernbildung. Die Erfahrung, daß Eschen von trockeneren Standorten weniger Farbkern bilden als «Wasseressen», ist auch in der forstlichen Praxis bekannt. Im Bericht über die Materialbeschaffung für die Eschenkernuntersuchungen ist ebenfalls die Beobachtung festgehalten worden, daß in trockenen Lagen die Eschen weniger zur Farbkernbildung neigen als auf feuchten Standorten. Im Zusammenhang mit den Wassergehaltsmessungen der fünf Eschenstämme führen diese Ergebnisse zum Schluß, daß für die Braunkernbildung ein Minimum an Speicherwasser nicht unterschritten werden darf. Bei der Esche liegt diese kritische Schwelle bei zirka 55 %. In Abbildung 12 ist der Verlauf des Wassergehaltes von der Borke bis zum Mark für verschiedene Holzarten zusammengestellt. Die Pappel liegt in dieser Darstellung als nasse Holzart entsprechend hoch über der Eiche, Buche, Esche und Lärche. Dabei sind die äußersten Farbkernringe extrem naß, während die markständigen Zonen wieder bedeutend trockener werden. Die Eichenkurve fällt zuerst vom Splint bis ungefähr in die Mitte des Farbkernes und steigt dann wieder leicht an bis zum Mark. Der Wassergehalt der Buche nimmt von der Rinde bis in den innersten Stammteil stetig ab, während braunkernige Eschen im Gegenteil eine anhaltende Wassergehaltszunahme zeigen. Die Eschen ohne Farbkern halten die Feuchtigkeit im Splint und in Marknähe auf 52 %. Das zwischen diesen beiden Bereichen liegende Holz ist nur 5 bis 6 % trockener. Die Lärchenkurve fällt anfänglich rasch bis zur Farbkerngrenze und steigt innerhalb dieser Zone bis zum Mark deutlich an. In dieser Holzartenauswahl müssen einerseits die

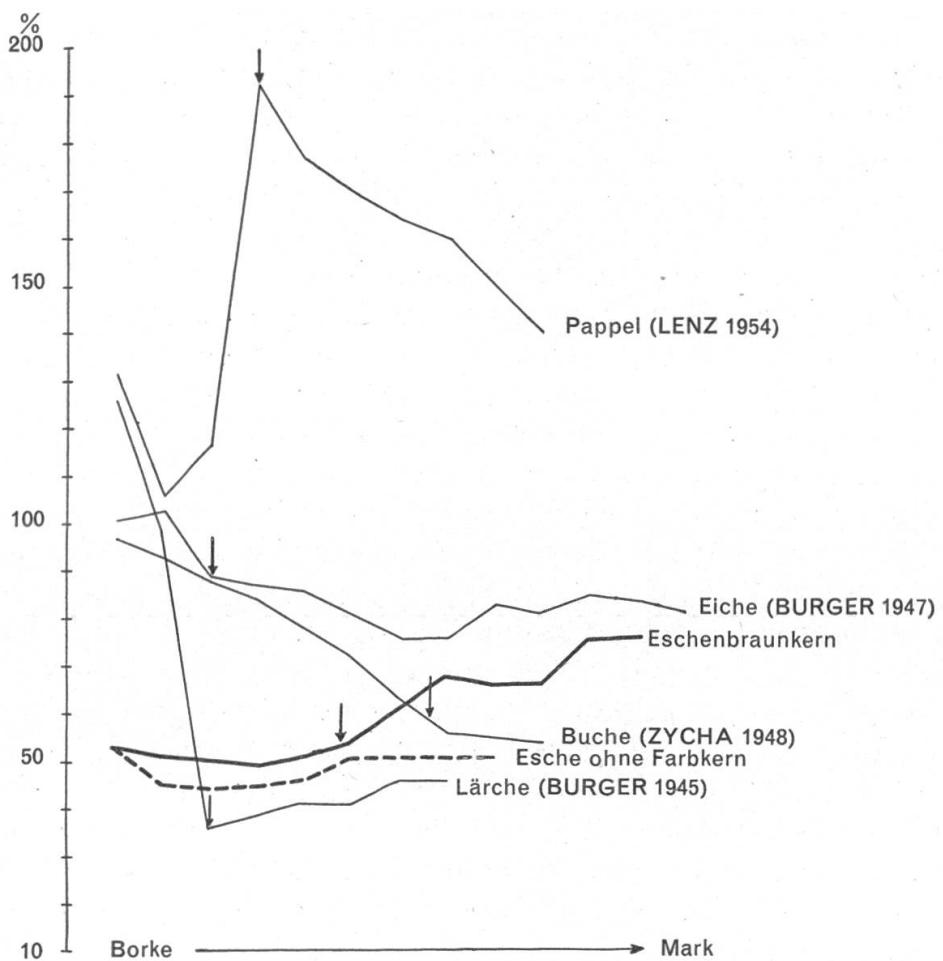


Abbildung 12

Mittlerer Wassergehalt von Pappel-, Eichen-, Buchen- und Lärchenholz verglichen mit dem Wassergehaltsverlauf in Eschenfarbkernholz und unverfärbtem Eschenholz. Die Kurven beschreiben von der Borke bis zum Mark fortlaufende Messungen. Die eingezzeichneten Pfeile geben die Farbkerngrenze an

«trockeneren» Lärchen und Eschen miteinander verglichen werden, anderseits ergibt sich auch eine Gegenüberstellung der ringporigen Eschen und Eichen. Für Lärchen und Eichen muß außerdem die gemeinsame Zugehörigkeit zur Gruppe der *obligatorischen* Farbkernholzarten hervorgehoben werden. Diese Zugehörigkeit äußert sich morphologisch darin, daß die Kernsubstanzen in diesen Holzarten in die Zellwände eingebaut werden und die Zellumina des Speichergewebes nur noch wenig berühren. Zudem sind hier *alle* Gewebearten von der Farbkernbildung erfaßt. Physiologisch macht sich dieses Obligatorium in einer größeren Regelmäßigkeit in bezug auf Zeitpunkt, Dimension und Vorkommen des Farbkernes bemerkbar. Die beiden Farbkerngruppen haben aber, nach der Esche als Vertreter der fakultativen, und der Lärche und Eiche als Vertreter der obligatorischen Gruppe beurteilt, das Merkmal gemeinsam,

daß sie innerhalb der Farbkernzone Tendenz zu Wasserspeicherung aufweisen. Der Umstand, daß dies bei der fakultativen Gruppe in besonderem Maß zutrifft, unterstützt die Vermutung, daß ein Teil der Wasserspeicherung auf einen zunehmenden Diffusionswiderstand zurückzuführen ist. Eschenholz wird bei einem Wassergehalt von 55 % braunkernig. Zufolge der Kernstoffbeläge in den Speicherzellen der Esche und der Kernstoffimprägnierung der Eichen- und Lärchenzellwände wird das Wasser in der inneren Zone aber viel stärker zurückgehalten, so daß der Wassergehalt im Farbkernbereich meist noch weiter ansteigt. Neben diesem reinen Speicherproblem im Farbkernholz muß dem höheren Wassergehalt aber noch eine aktiv-fördernde Wirkung auf die Kernstoffbildung zukommen, was auch durch Versuche der künstlichen Farbkernbildung bestätigt wird. Interessanterweise verläuft die Wassergehaltskurve des Buchenrotkernholzes zu derjenigen im Eschenbraunkern gegensinnig. Z y c h a (1948) hat die Physiologie der Buchenrotkernbildung untersucht und dabei entdeckt, daß bei der Buche erst dann Farbkernbildung eintritt, wenn der Wassergehalt unter die kritische Schwelle von 60 % gesunken ist. Nach der Erklärung von Z y c h a sind bis zu diesem Wassergehalt die lebenden Speicherzellen gerade noch mit Wasser gefüllt, so daß jeder weitere Wasserentzug direkt das Speichersystem betrifft und dessen Elemente zur Kernsubstanzbildung anregt. Diese Berechnungen, so bestechend einfach sie für die Buche erscheinen, treffen für die Esche nicht zu. Auch bei der Buche könnte aber die stetige Abnahme des Wassergehaltes im Rotkernholz, ähnlich wie im Schwarzkernholz der Pappel, auf die Holzstruktur zurückzuführen sein. In zerstreutporigen Laubhölzern wird selbst bei geschlossenen Speicherzellwänden der Diffusionsweg des Wassers weniger behindert als in den ringporigen Holzarten, weil hier die Parenchymzellen, im Gegensatz zu den vasizentrischen Gefäßmänteln in der Esche, bei der Buche und Pappel diffus ins Grundgewebe eingestreut sind und mit dem Leitsystem nicht in direkter Verbindung stehen. Dafür sprechen auch die Zahlen des volumenmäßigen Anteils an Strangparenchym (nach H u b e r und P r ü t z , 1938): Pappel: kein Strangparenchym → sehr rasche Wasserabnahme im Farbkern; Buche: 4,6 % Strangparenchym in apotracheal-diffuser Verteilung → langsame Wasserabnahme im Farbkern; Esche: 10,5 % Strangparenchym in paratracheal-vasizentrischer Anordnung → Zunahme des Wassergehaltes im Farbkern. So können die Wassergehaltskurven aller Holzarten in Abbildung 12 auf Grund der verschiedenen Holzstrukturen und der damit zusammenhängenden Wassertransportprobleme erklärt werden.

Neben dem für die Farbkernbildung notwendigen Wasser ist der Sauerstoffgehalt des Luftkörpers im Stamminnern an der Kernstoffbildung maßgebend beteiligt. Durch die Gegenwart von Sauerstoff wer-

den erst die Oxydationsvorgänge ermöglicht, denen man die eigentliche Farbstoffbildung in den Kernsubstanzen zuschreibt. Dies kann an frisch geschnittenen braunkernigen Eschenstammscheiben immer wieder beobachtet werden, wenn die Farbkernzonen um so dunkler werden, je länger sie dem Luftsauerstoff ausgesetzt sind. In Eschenstämmen kann die Farbkernbildung ferner dort besonders gut verfolgt werden, wo von Aststummeln oder äußeren Verletzungen her der Luftsauerstoff leichten Zutritt zum Stamminnern hat. In völlig unverletzten Eschenstämmen hingegen diffundiert der Sauerstoff nur mühsam durch die Borke in das Holz hinein oder wird in geringen Mengen mit dem Bodenwasser aufgenommen. Je sauerstoffärmer aber die innere Stammatmosphäre ist, desto geringer sind die Oxydationsmöglichkeiten und um so kleiner wird der Farbkern.

Schlußfolgerungen

Die Esche wird als Kernholzart bezeichnet, die auf Grund ihrer latenten physiologischen Bereitschaft in verschiedenen Altersstufen, verschiedenen Dimensionen und verschiedenen Stammvorkommen Farbkernholz bilden kann. Als direkte Veranlassung wird ein Wassergehalt von mindestens 55 %, bezogen auf die Holztrockensubstanz, und der Sauerstoffgehalt des inneren Luftkörpers im Stamm mit der Farbkernbildung in Zusammenhang gebracht und darauf hingedeutet, daß diese beiden Faktoren von außen beeinflußt werden können. Der Forstmann kann durch die Wahl des Standortes der Esche verschiedene Wassermengen zur Verfügung stellen und damit die Braunkernbildung hemmen oder fördern, denn die aus der Praxis bekannte Erfahrung, daß «Trockeneschen» weniger zur Farbkernbildung neigen als «Wasseressen» ist im Experiment eindeutig bestätigt worden. Gleichzeitig weist die Untersuchung des Eschenbraunkernes auch darauf hin, daß der Sauerstoff durch Aststummel oder Wunden irgendwelcher Art leicht in das Holz eindringen kann und damit im Stamminnern eine Atmosphäre schafft, in der die Farbkernbildung begünstigt wird. Zur Erziehung von weißem Eschenholz muß deshalb darauf geachtet werden, daß der Standort nicht zu feucht, vor allem nicht stagnierend naß ist, und daß jede Verletzung der Rinde durch Baumharz luftdicht abgeschlossen werden kann.

Zusammenfassung

1. Auf Grund von eingehenden mikroskopischen und mechanisch-technologischen Untersuchungen wird festgestellt, daß das braunkernige Eschenholz gesund und seine Festigkeit dem unverfärbten Holz in jeder Beziehung gleichzusetzen ist. Der immer noch bestehende Preisunterschied für braunkerniges Eschenholz ist deshalb nicht gerechtfertigt.

2. Die Esche ist eine Kernholzart mit fakultativer Farbkernbildung. Der Braunkern ist fakultativ in bezug auf Zeitpunkt, Dimension und Vorkommen im Stamm.
3. Wesentliche innere Veranlassungen zur Farbkernbildung sind: Mindestens 55 % Wassergehalt und die Gegenwart von Sauerstoff im stamminnern Luftkörper. Eschen auf trockenen Standorten haben einen geringeren Wassergehalt, und zu Eschenstämmen ohne äußere Verletzungen hat der Luftsauerstoff nur schwer Zutritt zum Stamminnern.
4. Zur Erziehung von weißem Eschenholz muß deshalb darauf geachtet werden, daß der Standort nicht feucht, vor allem nicht stagnierend naß ist, und daß in Qualitätsstämmen alle Rindenverletzungen sofort sorgfältig mit Baumharz verschlossen werden.

Résumé

1. Il a été constaté, à la suite d'études microscopiques et mécano-technologiques détaillées, que le duramen brun du frêne est un bois sain, de résistance équivalente à tous points de vue au bois non coloré.
2. Le frêne est une essence chez qui la coloration brune du duramen est facultative. Elle l'est quant au temps, à la dimension et à l'emplacement dans le tronc.
3. Il faut une teneur en eau d'au-moins 55 % et la présence d'oxygène dans le tronc pour que la coloration brune du duramen puisse se former. Les frênes des stations séchardes ont une moindre teneur en eau. L'oxygène ne pénètre que très difficilement dans les troncs qui n'ont pas de blessures périphériques.
4. Pour produire des frênes au bois blanc, il faut veiller à ce que la station ne soit pas trop humide, éviter surtout l'eau stagnante et recouvrir immédiatement avec une substance résineuse les blessures de l'écorce sur le tronc des arbres de qualité.

O. Lenz

Literaturverzeichnis

- Bosshard, H. H.: Schweiz. Zeitschr. Forstw., **102** (1951).
 Bosshard, H. H.: Holz als Roh- und Werkstoff, **11/9** (1953).
 Burger, H.: Mitt. d. schweiz. Anst. für das forstl. Versuchsw., **24/1** (1945).
 Burger, H.: Mitt. d. schweiz. Anst. für das forstl. Versuchsw., **25/1** (1947).
 Hartig, R.: Lehrbuch der Anatomie. Berlin 1891.
 Huber, B.: Ber. Deutscher Bot. Ges., **53/8** (1935).
 Huber, B., und Prütz, G.: Holz als Roh- und Werkstoff, **1/10** (1938).
 Knuchel, H., Mitt. d. schweiz. Anstalt für das forstl. Versuchsw., **19** (1935).
 Kollmann, F.: Die Esche und ihr Holz. Berlin 1941.
 Kühne, H.: Schweiz. Zeitschr. Forstw., **105/12** (1954).
 Ladefoged, K.: Dan. Biol. Skr., **7/3** (1952).
 Lenz, O.: Mitt. d. schweiz. Anst. für das forstl. Versuchsw., **30** (1954).
 Priestley, J. H.: The New Phytologist, **29** (1930).
 Trendelenburg, R.: Das Holz als Rohstoff. Berlin 1939.
 Zycha, H.: Forstw. Centralblatt, **67** (1948).