

# Zur Morphologie der Interzellularen in den Markstrahlen. Teil 3: Gewebeanalytische Untersuchungen

Ladislav J. Kučera, ETH Zürich

Form, Grösse und Verteilung radialer Interzellularen werden statistisch charakterisiert, wobei die Buche von den Eichen abweicht, die Eichenarten jedoch diesbezüglich identisch sind. Die Interzellularen-Parameter sind mit jenen der benachbarten Markstrahlzellen stark positiv korreliert. In den breiten Markstrahlen der Fagaceen sind interzellulärhaltige Aussen- und interzellulärfreie Innenbereiche zu unterscheiden. Ein Zusammenhang zwischen den Interzellularen-Parametern und der Position der Probe im Jahrring oder am Baumradius besteht teilweise auf dem Wege der Markstrahlontogenie.

## **On the Morphology of the Intercellular Spaces in the Wood Rays. Part 3: Histological Analysis**

Shape, size and distribution of intercellular spaces are statistically analysed. Beech is shown to differ from the two oak species; however, the results for the two oak species are identical. The parameters of the intercellular spaces are strongly correlated with those of the adjacent ray cells. In the Fagaceae broad rays consist of outer areas with intercellular spaces and inner areas where intercellular spaces do not occur. Certain relationships between the intercellular spaces and their position within the growth ring or the trunk radius arise from the process of ray ontogeny.

## 5.2 Gewebeanalytische Untersuchungen

### *5.2.1 Die untersuchten Markstrahlen*

Die Markstrahldimensionen und der Markstrahlanteil am Holzgewebe sind biologisch wie technisch wichtige Merkmale des sekundären Dickenwachstums, deren Variabilität im Baumkörper verhältnismässig schwer zu ergründen ist. Wie alle Zellen und Gewebe, werden auch die Markstrahlen in ihrer Ontogenie durch endogene (Kambium- und Baumalter, Höhe im Baum) und exogene (Klima, Standort) Einflüsse bestimmt. Zusätzlich und im Gegensatz zu den axialen Geweben ist den radialorientierten Markstrahlen jedoch eine langjährige Kontinuität in der Ontogenie eigen, wodurch sich kurzfristige Einflüsse nicht, verspätet oder nur teilweise auf sie auswirken. Auf diese Besonderheiten haben bereits K. Sanio (1872) und B. Essner (1886) hingewiesen. Durch die Untersuchungen von P. Jaccard (1915), G. Schultze-Dewitz (1960, 1961), L. Kučera und J. Kučera (1967), L. Kučera (1968), L. Kučera und V. Nečesaný (1970), L. Kučera und M. Bariska (1972) u. v. a. konnten im homoxylen Nadelholz etliche Zusammenhänge klargestellt werden. Die Entwicklung und Verteilung der Markstrahlen im Laubholz ist komplizierter durch das Vorhan-

densein mehrreihiger Markstrahlen und Scheinmarkstrahlen. Die Markstrahlentwicklung hängt ferner mit dem Auftreten bestimmter Zelltypen («liegende» und «stehende» Zellen; Kontakt- und Isolationszellen) zusammen. Die breiten Markstrahlen der Fagaceen sind in dieser Hinsicht wiederholt untersucht worden. Angaben über ihre Ontogenie findet man für die Buche in den Arbeiten von L. Jost (1901), K. Zijlstra (1908), H. J. Braun (1955), H. Süß und W. R. Müller-Stoll (1970; jahrringinterne Entwicklung) sowie L. Kučera, H. H. Bosshard und E. Katz (1980; Keilwuchs), für eine oder mehrere Eichenarten in den Werken von K. Zijlstra (1908), A. J. Eames (1910; auch Phylogenie), P. Groom (1911; vergleichende Morphologie) und H. J. Braun (1955). Quantitative Angaben über die Markstrahlverteilung nach verschiedenen Gesichtspunkten liegen ebenfalls vor. Tabelle 10 zeigt eine Zusammenstellung derartiger Daten für das Holz der Buche und Stieleiche; man beachte die stattliche Anzahl von erkannten Einflussgrößen und die beträchtliche zahlenmäßige Variabilität. Diese Umstände erforderten eine eigene Bestimmung des Markstrahlanteiles.

Die Bestimmung des Anteiles der Markstrahlen am Holzvolumen dient mehreren Zwecken:

- Die Angabe ist nötig zur Bestimmung des Anteiles der Markstrahl-Interzellularen am Holzvolumen,
- allfällige Schwankungen des Markstrahlanteiles könnten mit Veränderungen im Interzellularsystem in Zusammenhang gebracht werden und
- es besteht die Möglichkeit eines Vergleiches beider Eichenarten.

Der Markstrahlanteil wurde in den Positionen 1–8 (vgl. Tabelle 6) aller drei Holzarten bestimmt. Die statistisch notwendige Fläche des Tangentialschnittes für ein vertrauenswürdiges Resultat wurde nach der Methode der schrittweisen Annäherung ermittelt. Bei diesem arbeitssparenden Verfahren werden kleine Tangentialschnittflächen ausgesteckt, gemessen und nach jeder Messung ein Zwischenresultat berechnet. Bei der Buche bezog sich dieses Verfahren auf die Gesamtheit der Markstrahlen, bei den Eichen nur auf die einreihigen MS. Die breiten MS wurden hier separat jeweils aus der gesamten Schnittfläche bestimmt. Die notwendige Anzahl 0,9 mm<sup>2</sup> grosser Tangentialschnittflächen für die gewählte 95%ige Signifikanz des Ergebnisses betrug je nach Position für die Buche 6–16, für die einreihigen MS der Stieleiche 1–7 und der Traubeneiche 1–5. Die grössere Homogenität des Eichenstrahlensystems ist offenbar, sie ist aber überwiegend das Resultat des separaten Ausmessens der breiten MS. Tatsächlich wurden in jeder Position bei der Buche 20, bei den Eichen 11 Flächen ausgemessen. Bild 61 zeigt ein Beispiel der Methode der schrittweisen Annäherung.

Der Markstrahlanteil wurde bei den Eichen aus dem Anteil der breiten und der einreihigen Markstrahlen nach folgender Formel berechnet:

$$At = \frac{(Ft - Fb) \times Ae}{100} + Fb \times 100(\%);$$

$$At = \frac{(Ft - Fb) \times Ae}{Ft} \times 100(\%);$$

eine vereinfachte Formel zur Berechnung lautet:

$$A_t = A_b + A_e \times \frac{F_t - F_b}{F_t} (\%),$$

wobei die Symbole stehen für

F ... Fläche (mm<sup>2</sup>),

A ... Anteil an der Fläche (%),

t ... total Markstrahlen,

b ... breite Markstrahlen und

e ... einreihige Markstrahlen.

Diese Art der Berechnung ist notwendig, weil der nichtkorrigierte Flächenanteil der einreihigen Markstrahlen  $A_s$  sich nur auf die Schnittfläche ohne die Fläche der breiten Markstrahlen bezieht. Die Auswertung der Messresultate aus den 8 Positionen ergab die Resultate in der Tabelle 11. Einen Vergleich des Markstrahlanteiles der untersuchten Holzarten hinsichtlich der Streuung der Messwerte und der Mittelwerte enthält die Tabelle 12. Die Streuungen sind in den Stichproben nicht signifikant verschieden; der mittlere Markstrahlanteil der Buche unterscheidet sich hingegen signifikant von den Eichenwerten, die ihrerseits nach diesem Argument nicht unterschieden werden können. Der Markstrahlanteil der Eichen setzte sich aus zwei Eingangsgrößen zusammen (Tabelle 13): Auch ein Vergleich der Anteile an einreihigen und breiten Markstrahlen zeigte bei den Eichen keine signifikanten Unterschiede.

Die Entwicklung des Markstrahlanteiles mit dem Baumalter ist in den Bildern 62–64 festgehalten. Die Veränderungen erwiesen sich als eher tendenzlos. Die Korrelationskoeffizienten sind nicht signifikant, mit Ausnahme der Stieleiche ( $r = 0,91$ ); eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist Tabelle 14 zu entnehmen. Die vier geprüften Regressionstypen (linear, logarithmisch, exponential, polynomial) erwiesen sich im Falle der Buche und der Traubeneiche als statistisch nicht signifikant, dagegen besteht zwischen dem Markstrahlanteil und der radialen Position der Probe bei der Stieleiche ein signifikanter polynomialer Zusammenhang. Tabelle 14 enthält die Angaben über den jeweils besten Regressionstypus. Der gesamte Messumfang für die Bestimmung des Markstrahlanteiles (%) an Holzgewebe betrug 288 mm<sup>2</sup>.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass

- die Buche und die Eichen hinsichtlich Markstrahlanteil verschieden sind,
- die Eichen nach diesem Argument nicht unterschieden werden können; dies trifft auf die einreihigen wie auf die breiten Markstrahlen zu,
- der Markstrahlanteil mit dem Baumalter korreliert ist in der Stieleiche, nicht aber in der Buche und der Traubeneiche.

### 5.22 Die Markstrahlzellen

Die Markstrahlen der Buche und der Eichen bestehen ausschliesslich aus radialgestreckten Parenchymzellen, die durch verschiedenartige offene Tüpfel untereinander und mit den benachbarten Gefässen und Strangparenchymzel-

Bild 61 Ermittlung des Markstrahlanteiles (%) mittels der Methode der schrittweisen Annäherung (volle Linie) bei der Buche. Einzel- und Mittelwerte (· resp. \*) gestrichelte Linie = Endresultat. Erklärungen im Text. N = 20.

Fig. 61 Determination of percentage ray tissue by means of stepwise approximation (solid line) in beech: individual (·) and mean (\*) values; dotted line = final result. Explanation in text. N = 20.

Bild 62 Zusammenhang zwischen dem Markstrahlanteil (%) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei der Buche. Einzel- und Mittelwerte (· resp. \*) und Regressionslinie. N = 160.

Fig. 62 Relationship between percentage of ray tissue and radial position of specimen (rank number) in beech: individual (·) and mean (\*) values and regression line. N = 160.

Bild 63 Zusammenhang zwischen dem Markstrahlanteil (%) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei der Stieleiche. Einzel- und Mittelwerte der einreihigen Markstrahlen (· resp. E). Werte der breiten Markstrahlen (B), Mittelwerte der Markstrahlen zusammen (\*) und Regressionslinie. N = 160.

Fig. 63 Relationship between percentage of ray tissue and radial position of specimen (rank number) in pedunculate oak: individual (·) and mean (E) values for uniseriate rays. B = values for broad rays; \* = mean values of both ray types; regression line shown. N = 160.

Bild 64 Zusammenhang zwischen dem Markstrahlanteil (%) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei der Traubeneiche. Einzel- und Mittelwerte der einreihigen Markstrahlen (· resp. E), Werte der breiten Markstrahlen (B), Mittelwerte der Markstrahlen zusammen (\*) und Regressionslinie. N = 160.

Fig. 64 Relationship between percentage of ray tissue and radial position of specimen (rank number) in sessile oak: individual (·) and mean (E) values for uniseriate rays. B = values for broad rays; \* = mean values for both ray types; regression line shown. N = 160.

Bild 65 Umfang der Markstrahlparenchymzellen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}$ ) bei den Holzarten Buche, Stieleiche und Traubeneiche. Häufigkeitsverteilungen der Messwerte in 5er-Klassen. N = 8000 pro Holzart.

Fig. 65 Circumference of ray parenchyma cells in tangential section ( $\mu\text{m}$ ) in beech, pedunculate oak, and sessile oak: frequency distribution of measured values in class intervals of 5  $\mu\text{m}$ . N = 8000 per species.

Bild 66 Fläche der Markstrahlparenchymzellen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}^2$ ) bei den Holzarten Buche, Stieleiche und Traubeneiche. Häufigkeitsverteilungen der Messwerte in 50er-Klassen. N = 8000 pro Holzart.

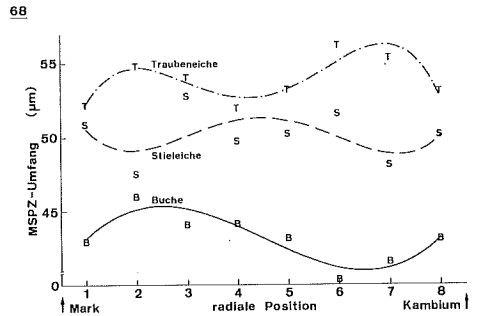
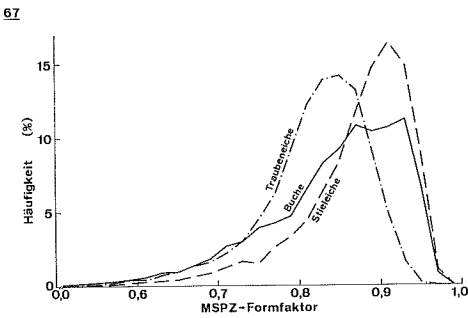
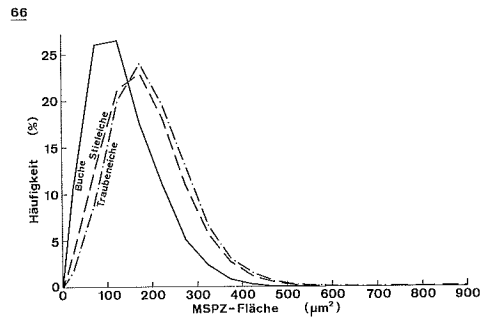
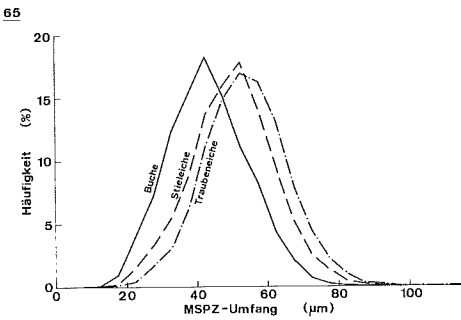
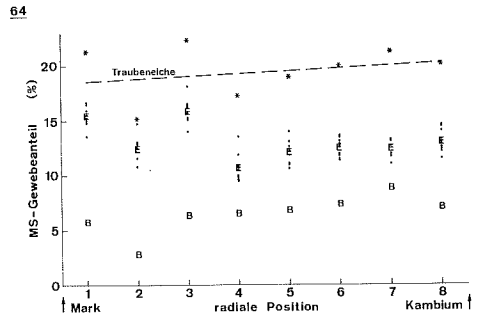
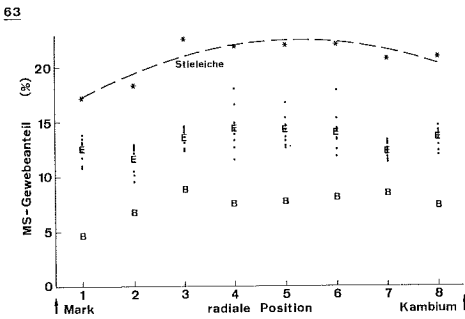
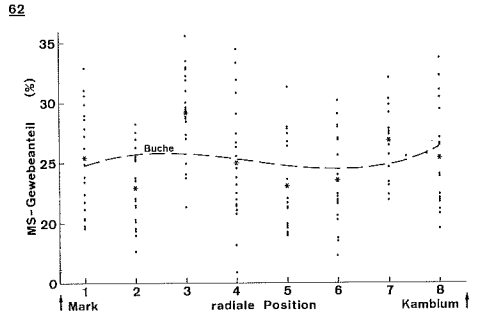
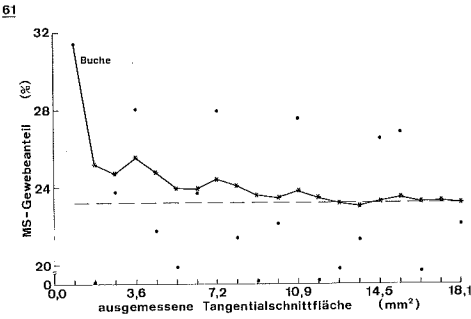
Fig. 66 Area of ray parenchyma cells in tangential section ( $\mu\text{m}^2$ ) in beech, pedunculate oak, and sessile oak: frequency distribution of measured values in class intervals of 50  $\mu\text{m}^2$ . N = 8000 per species.

Bild. 67 Formfaktor der Markstrahlparenchymzellen im Tangentialschnitt bei den Holzarten Buche, Stieleiche und Traubeneiche. Häufigkeitsverteilungen der Messwerte in 0,02er-Klassen. N = 8000 pro Holzart.

Fig. 67 Shape factor of ray parenchyma cells in tangential section in beech, pedunculate oak, and sessile oak: frequency distribution of measured values in class intervals of 0.02 shape factor. N = 8000 per species.

Bild 68 Zusammenhang zwischen dem Umfang der Markstrahlparenchymzellen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte und Regressionslinien. N = 8000 pro Holzart.

Fig. 68 Relationship between circumference of ray parenchyma cells in tangential section ( $\mu\text{m}$ ) and radial position of specimen (rank number) in beech (B), pedunculate oak (S) and sessile oak (T): mean values and regression lines. N = 8000 per species.



len verbunden sind. Eine Besonderheit stellen die blinden Tüpfel zwischen den MSPZ und den IZ dar. Solche Tüpfel kommen in den Wänden der MSPZ zahlreich und regelmässig vor. Ihre Existenz stellt einen Hinweis auf die Funktion der IZ und auf den engen physiologischen Zusammenhang zwischen den Markstrahlparenchymzellen und dem Interzellulärsystem dar. Im Sinne einer Arbeitshypothese wurde angenommen, dass zwischen den morphologischen Parametern der Markstrahlzellen und dem sie direkt umgebenden Interzellulärsystem Korrelationen bestehen könnten. Ferner wurde die Möglichkeit geprüft, die untersuchten Eichenarten auf Grund der Morphologie der MSPZ voneinander zu unterscheiden. Die Morphologie der MSPZ wurde auf einige Merkmale beschränkt, nämlich auf den Umfang, die Fläche und den Formfaktor im Tangentialschnitt. Es wurde untersucht, ob diese Parameter

- eine mit dem Kambiumalter korrelierte radiale Entwicklung zeigen und
- eine Unterscheidung der Eichenarten ermöglichen.

Der Zusammenhang zwischen den MSPZ und dem sie umgebenden Interzellulärsystem wurde auf zweierlei Art geprüft, nämlich

- durch den Vergleich der morphologischen Zellmerkmale aus IZf- und IZh-Bereichen und
- durch die Untersuchung der Korrelationen zwischen den morphologischen Zellmerkmalen und der Anzahl die Zelle umgebender IZ.

Die morphologischen Zellmerkmale wurden in den Tangentialschnitten aus den Positionen 1–8 am Baumradius bei allen drei Holzarten bestimmt (vgl. Tabelle 6). Die Tangentialschnitte entstammten der gleichen relativen Jahringposition (Spätholz). In jeder Position wurden je 1000 MSPZ ausgemessen, die teilweise dem IZf-, teilweise dem IZh-Bereich angehört haben. Zu jeder MSPZ wurde die Anzahl umgebender IZ zugewiesen. In der Position 7 wurden noch je 1000 MSPZ ausgemessen, die ausschliesslich dem IZh- resp. dem IZf-Bereich entstammten. Der gesamte Messumfang betrug somit je vier Parameter (Umfang, Fläche, Formfaktor, Anzahl umgebender IZ) von total 30 000 Markstrahlparenchymzellen.

### 5.221 Morphologie

Die morphologischen Merkmale der Markstrahlparenchymzellen, wie sie im Tangentialschnitt erfasst werden können, eignen sich sehr gut für quantitative Untersuchungszwecke durch relativ geringe Streuungen innerhalb der Klassen und ausgeprägte Unterschiede zwischen den Klassen (Holzarten). Die Bilder 65–67 zeigen die Häufigkeitsverteilungen der Merkmale Umfang, Fläche und Formfaktor der MSPZ (Anzahl Messungen je Kurve = 8000) und die Tabellen 15–17 die dazugehörigen Mittelwerte und statistischen Parameter. Die Häufigkeitsverteilungen sind regelmässig mit Ausnahme des Formfaktors der Buchenmarkstrahlparenchymzellen. Die Verteilung der Umfangswerte ist annähernd symmetrisch. Die Flächenwerte besitzen eine leicht asymmetrische Verteilung mit positiver Schiefe. Hinsichtlich der Breite der Verteilungen

(Exzess) bestehen zwischen den untersuchten Arten keinerlei Unterschiede. Die Buche besitzt durchschnittlich die kleinsten, die Stieleiche die grössten MSPZ; die Traubeneiche nimmt eine mittlere Stellung ein. Die Unterschiede sind statistisch hoch signifikant (Tabellen 18, 19): es kann auf Grund des durchschnittlichen Zellumfanges und der durchschnittlichen Zellfläche der MSPZ zwischen diesen Holzarten unterschieden werden. Hinsichtlich Formfaktor sind die Unterschiede ebenfalls hoch signifikant (Tabelle 20). Die Stieleiche besitzt durchschnittlich die rundlichsten Zellen (Formfaktor 0,87), die Traubeneiche die länglichsten (0,82) und die Buche nimmt eine mittlere Stellung ein (Formfaktor 0,84). Hiermit scheint ein anatomisches Merkmal zur Unterscheidung der beiden Eichenarten gefunden worden zu sein. Die Bestimmungsversuche von B. Huber, W. Holdheide und K. Raack (1941) basierten auf den Querschnittsmerkmalen des Gefässsystems (Verhältnis Porenkreis/Jahrring, Anzahl Gefässreihen im Frühholzporenkreis, Gefässform, Flammung des Spätholzes) und erreichten eine Treffsicherheit beim Vorliegen typischer Merkmale bis zu 90% bei der Stiel- und bis zu 75% bei der Traubeneiche. Durch das hier beschriebene Merkmal «Formfaktor der Markstrahlparenchymzellen» dürfte die Treffsicherheit weiter verbessert werden können. Die Buche unterscheidet sich von den Eichen besonders durch ihre kleineren MSPZ; die Eichen können anhand der Zellform am sichersten auseinandergelassen werden. Das Merkmal «Formfaktor» zeichnet sich über eine bemerkenswerte Homogenität aus, bereits rund 5 Messungen genügen, um statistisch gesicherte Mittelwerte zu erarbeiten. Dagegen beträgt der Mindestprobenumfang für die Merkmale «Umfang» rund 30 und «Fläche» rund 100–130 Messungen (Tabellen 15–17). Ähnliche Erkenntnisse gewinnt man auch aus dem Vergleich der Variabilitätskoeffizienten des Mittelwertes. Offenbar ist die Form der MSPZ im Tangentialschnitt ein sehr konstantes und holzartspezifisches Merkmal, das bei Bestimmungsaufgaben berücksichtigt werden sollte. Im Gegensatz zum Umfang und zur Fläche kann zudem der Formfaktor aus zwei Längenmessungen mit den einfachsten Mitteln errechnet werden.

Die Veränderungen der beschriebenen Merkmale mit dem Kambiumalter sind gering. Der Zusammenhang zwischen diesen Merkmalen und der radialen Position der Probe folgt in den meisten Fällen einem sinusförmigen höheren polynomialen Muster (Bilder 68–70), der in allen Fällen statistisch sehr hoch gesichert ist (Tabellen 21–23). Gering ist jedoch das Ausmass dieses Zusammenhanges; das Bestimmtheitsmass erreicht Werte um 1% für den Zusammenhang Umfang – radiale Position und Fläche – radiale Position und zwischen 1% und 6% für den Zusammenhang Formfaktor – radiale Position. Zellform und -grösse sind in den Markstrahlen der untersuchten Holzarten nur geringfügig vom Kambiumalter abhängig. Dadurch wird die diagnostische Bedeutung dieser Merkmale akzentuiert.

Zwischen den MSPZ-Merkmalen können natürlich auch Zusammenhänge bestehen, die für die Deutung der weiteren Ergebnisse von Bedeutung sein

Bild 69 Zusammenhang zwischen der Fläche der Markstrahlparenchymzellen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}^2$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte und Regressionslinien.  $N = 8000$  pro Holzart.

Fig. 69 Relationship between area of ray parenchyma cells in tangential section ( $\mu\text{m}^2$ ) and radial position of specimen (rank number) in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): mean values and regression lines.  $N = 8000$  per species.

Bild 70 Zusammenhang zwischen dem Formfaktor der Markstrahlparenchymzellen im Tangentialschnitt und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte und Regressionslinien.  $N = 8000$  pro Holzart.

Fig. 70 Relationship between shape factor of ray parenchyma cells in tangential section and radial position of specimen (rank number) in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): mean values and regression lines.  $N = 8000$  per species.

Bild 71 Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzelle im Tangentialschnitt bei den Holzarten Buche, Stieleiche und Traubeneiche. Häufigkeitsverteilungen der Zählungen.  $N = 8000$  pro Holzart.

Fig. 71 Number of intercellular spaces per ray parenchyma cell in tangential section in beech, pedunculate oak, and sessile oak: frequency distribution of counts.  $N = 8000$  per species.

Bild 72 Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzelle aus dem interzellularrhaltigen Markstrahlbereich im Tangentialschnitt bei den Holzarten Buche, Stieleiche und Traubeneiche. Häufigkeitsverteilungen der Zählungen.  $N = 1000$  pro Holzart.

Fig. 72 Number of intercellular spaces per ray parenchyma cell in ray area with intercellular spaces in tangential section in beech, pedunculate oak, and sessile oak: frequency distribution of counts.  $N = 1000$  per species.

Bild 73 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzelle und dem Zellumfang ( $\mu\text{m}$ ) im Tangentialschnitt bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte von 10er-Klassen und Regressionslinien.  $N = 8000$  pro Holzart.

Fig. 73 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell circumference ( $\mu\text{m}$ ) in tangential section in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): mean values for class intervals of 10  $\mu\text{m}$  and regression lines.  $N = 8000$  per species.

Bild 74 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzelle und der Zellfläche ( $\mu\text{m}^2$ ) im Tangentialschnitt bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte von 50er-Klassen und Regressionslinien.  $N = 8000$  pro Holzart.

Fig. 74 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell area ( $\mu\text{m}^2$ ) in tangential section in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): mean values for class intervals of 50  $\mu\text{m}^2$  and regression lines:  $N = 8000$  per species.

Bild 75 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzelle und dem Formfaktor im Tangentialschnitt bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte von 0,05er-Klassen und Regressionslinien.  $N = 8000$  pro Holzart.

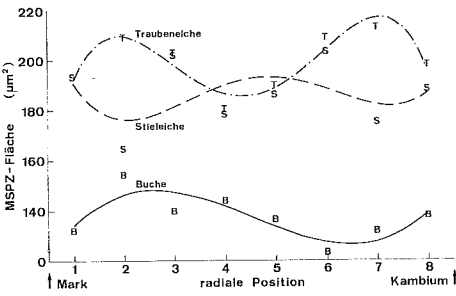
Fig. 75 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell shape factor in tangential section in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): mean values for class intervals of 0.05 shape factor and regression lines.  $N = 8000$  per species.

Bild 76 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzelle und dem Zellumfang ( $\mu\text{m}$ ) aus dem interzellularrhaltigen Markstrahlbereich im Tangentialschnitt bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte von 10er-Klassen und Regressionslinien.  $N = 1000$  pro Holzart.

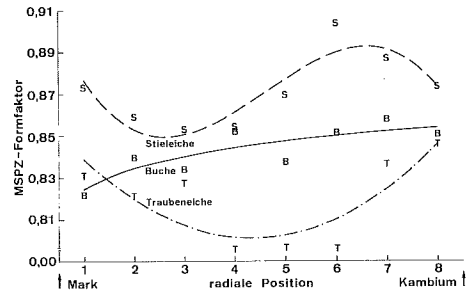
Fig. 76 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell circumference ( $\mu\text{m}$ ) in ray area with intercellular spaces in tangential section in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): mean values for class intervals of 10  $\mu\text{m}$  and regression lines.  $N = 1000$  per species.



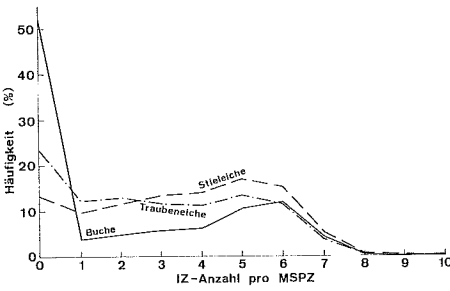
69



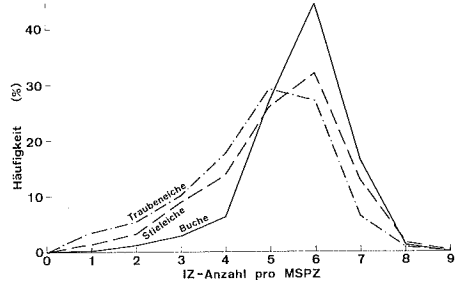
70



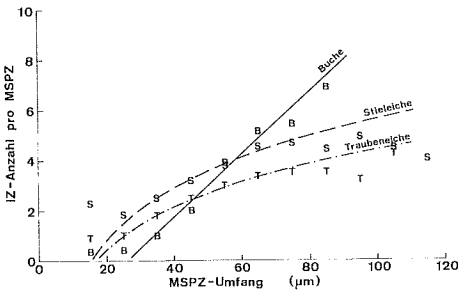
71



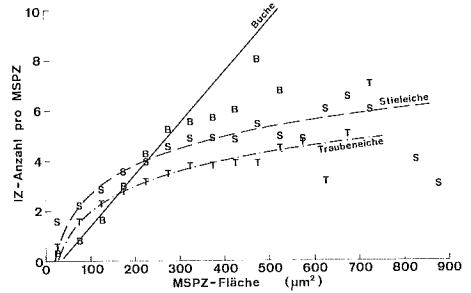
72



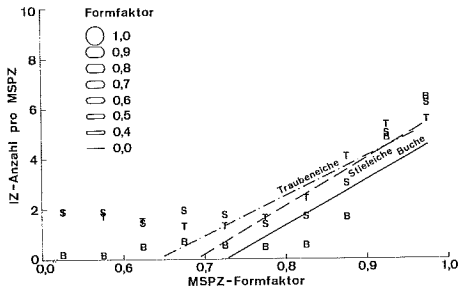
73



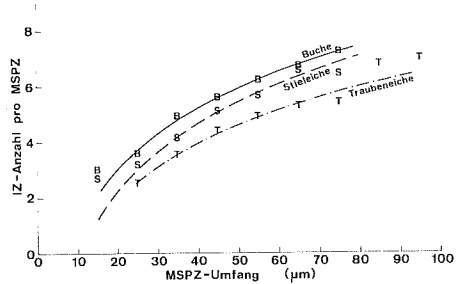
74



75



76



könnten. Der Zusammenhang zwischen dem Umfang und der Fläche der Zellen ist offensichtlich und wurde nicht untersucht. Dagegen stellte sich die Frage nach dem Zusammenhang zwischen dem Zellumfang und der Zellfläche einerseits und dem Zellfaktor (definiert *nota bene* als  $4\pi F/U^2$  aus der Annahme, dass die Kreisform = 1 gesetzt wird) andererseits. Die Analyse zeigte für alle drei Holzarten sehr hoch signifikante positive Korrelationen. Dies heisst, dass grössere Zellen rundlicher, kleinere eher länglich sind, soweit es die breiten MS der Buche und Eichen in Tangentialschnitten betrifft. Die geprüften Zusammenhänge folgen sehr hoch signifikanten exponentialen Mustern (Tabellen 24, 25). Der engste Zusammenhang besteht zwischen der Form und Fläche der MSPZ in der Buche: hier können 50,39% der Variabilität des Formfaktors aus den Veränderungen der Zellgrösse erklärt werden. Die Fläche ist etwas enger mit der Zellform korreliert als der Umfang. Von den untersuchten Holzarten zeigt die Buche die deutlichsten, die Traubeneiche die schwächsten Zusammenhänge; die Stieleiche nimmt eine mittlere Position ein.

#### 5.222 Beziehung zu den Interzellularen

Die Arbeitshypothese über mögliche Zusammenhänge zwischen den morphologischen Parametern der Markstrahlparenchymzellen und dem sie umgebenden Interzellularsystem wurde in zwei Etappen geprüft. Zunächst wurden getrennte Stichproben der MSPZ-Merkmale erhoben, wobei die Zugehörigkeit der Zellen zum IZf- oder IZh-Bereich als klassifizierendes Kriterium verwendet wurde. Tabellen 26–31 enthalten eine Zusammenfassung dieser Ergebnisse. Die früheren Feststellungen über die Form und Grösse der MSPZ und über die Variabilität der Mittelwerte wurden bestätigt: die Buche besitzt die grössten, die Traubeneiche die länglichsten MSPZ. Die Variabilität der Merkmale «Umfang», «Fläche» und «Formfaktor», charakterisiert auf Grund des Mindestprobenumfangs ( $P = 95\%$ ), zeigt etwa das Verhältnis 20 : 100 : 2. Die Untersuchungen ergaben auf morphologischer Basis eine eindeutige Bestätigung der Annahme über die engen Beziehungen zwischen den MSPZ und dem sie umgebenden Interzellularsystem. Der Vergleich der IZf- und IZh-Bereiche innerhalb der gleichen Holzart brachte deutliche Unterschiede zum Vorschein, die bei allen drei untersuchten Holzarten gleichsinnig ausgefallen sind. Die Zellen im IZh-Bereich besitzen durchschnittlich einen grösseren Umfang, eine grössere Fläche und sind rundlicher als jene im IZf-Bereich des gleichen Markstrahles. Dieses Resultat weist auf die Bedeutung der IZ für die Physiologie der Markstrahlparenchymzellen hin. Die Unterschiede zwischen den Mittelwerten sind in allen Fällen statistisch sehr hoch signifikant (Tabellen 32–34). Ein Vergleich der Variabilität der Merkmale kann auf Grund der Variabilitätskoeffizienten der Mittelwerte gemacht werden (Tabellen 26–31) und zeigt mit einer Ausnahme höhere Werte im IZf-Bereich der untersuchten Holzarten. Dies heisst, dass die Zellen im IZh-Bereich gleichförmiger ausgebildet sind als im IZf-Bereich. Die Unterschiede zwischen den Bereichen sind

mit einer Ausnahme (MSPZ-Fläche bei der Traubeneiche) sehr hoch signifikant (F-Test, Tabelle 33).

In einem zweiten Schritt wurden die Zusammenhänge zwischen den morphologischen Merkmalen der MSPZ und der Anzahl die Zelle unmittelbar umgebender IZ geprüft. Die Untersuchung wurde einmal ohne Rücksicht auf die IZf-, IZh-Bereiche und einmal auf den IZh-Bereich beschränkt durchgeführt. Die Bilder 71 und 72 zeigen die Häufigkeitsverteilungen der Anzahl IZ pro MSPZ aus den beiden Durchgängen. Auffallend sind die unterschiedlichen Anteile der MSPZ ohne Interzellularkontakt (Buche = 55 %, Traubeneiche = 23 %, Stieleiche = 13 %; Bild 71). Die Häufigkeitsverteilungen aus den kombinierten IZf-, IZh-Bereichen im Bild 71 sind zweigipfelig; sie lassen die Annahme zu, dass hier jeweils zwei Populationen zusammengefasst dargestellt wurden. Beschränkt man sich auf den IZh-Bereich, so erhält man ausgesprochen regelmässige Verteilungsmuster mit einer geringen negativen Schiefe. Die Anzahl IZ pro MSPZ variiert zwischen 0 und 9 (Buche) resp. 0 und 10 (Eichen; Tabelle 35). Die Buche besitzt im kombinierten (IZf- und IZh-)Bereich die geringste mittlere Anzahl IZ pro MSPZ (= 2,1), die Stieleiche die höchste (= 3,5; Tabelle 35). Beschränkt man sich auf den IZh-Bereich, so findet man den höchsten Mittelwert bei der Buche (= 5,6), gefolgt von der Stieleiche (= 5,2; Tabelle 36). Das Verhältnis der Eichen ist das gleiche im kombinierten wie im reinen IZh-Bereich. Durch die Beschränkung der Untersuchung auf den IZh-Bereich wird die Variabilität innerhalb der Stichprobe, gemessen an dem Variabilitätskoeffizienten des Mittelwertes und den Mindeststichprobenumfängen, bei der Buche deutlich herabgesetzt, bei den Eichen dagegen unverändert bleiben. Aus diesen Feststellungen lässt sich folgern, dass

- die Buche einen höheren Anteil an IZf-Bereichen als die Eichen besitzt,
- im reinen IZh-Bereich das Interzellularsystem bei der Buche am stärksten ausgebildet ist und
- die Trennung zwischen den Bereichen schärfer bei der Buche als bei den Eichen ist.

Auf Grund der Anzahl IZ pro MSPZ lassen sich die untersuchten Holzarten auf statistischer Basis mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit unterscheiden, und zwar sowohl im kombinierten als auch im reinen IZh-Bereich. Letzteres trifft auch auf die Streuung der Einzelwerte, mit der Ausnahme der Paarung Stieleiche-Traubeneiche, zu (Tabellen 37, 38).

Die Anzahl IZ pro MSPZ ist sowohl im kombinierten als auch im reinen IZh-Bereich mit den Merkmalen Umfang, Fläche und Form bei allen drei Holzarten sehr hoch signifikant positiv korreliert (Tabellen 39–44). Grössere und rundlichere Zellen werden durchschnittlich von zahlreicheren IZ umgeben als kleinere und elliptische Zellen. Das Ausmass der Zusammenhänge lässt sich aus den Bestimmtheitsmasswerten wie folgt beurteilen: Die Zusammenhänge sind im IZh-Bereich 1,5–3mal enger als im kombinierten Bereich. Die Holzarten ergeben eine Rangfolge mit den engsten Zusammenhängen in

der Buche, gefolgt von der Stiel- und Traubeneiche, im Verhältnis ca. 3 : 2 : 1. Bei der Buche ist der engste Zusammenhang zwischen der Zellfläche und der Anzahl IZ im IZh-Bereich; hier werden 57% der Variabilität des zweiten Argumentes durch die Veränderungen des ersten erklärt (Tabelle 43). Bei den Eichen ist der engste Zusammenhang zwischen der Zellform und der Anzahl umgebender IZ ebenfalls im IZh-Bereich (Bestimmtheitsmass = 45% bei der Stieleiche resp. 24% bei der Traubeneiche; Tabelle 44). Die Zellfläche und die Zellform sind etwas enger als der Zellumfang mit der Anzahl IZ korreliert. Der Charakter des Zusammenhanges ist vorwiegend linear bei der Buche und eher logarithmisch bei den Eichen (Bilder 73–78). Daraus ist unter anderem der starke Anstieg der Anzahl IZ pro MSPZ im IZh-Bereich der Buche zu erklären. Es gilt ferner im Falle der logarithmischen Regressionslinien, dass die geprüften Zusammenhänge bei relativ kleinen Zellen deutlicher als bei den grossen Zellen zutreffen.

Die Anzahl IZ pro MSPZ ist keine Konstante, sondern eine mit dem Kambiumalter positiv sehr hoch signifikante korrelierte Grösse. Allerdings beträgt das Bestimmtheitsmass dieses Zusammenhanges nur 1% bei der Buche, 5% bei der Stieleiche und 24% bei der Traubeneiche (Tabelle 45). Der polynomiale Zusammenhang zwischen Kambiumalter und Anzahl IZ pro MSPZ (Bild 79) ist schwer interpretierbar; er dürfte auch mit der Ontogenie des gewählten Markstrahles zu tun haben. Eine vorsichtige Folgerung über den Anteil an durch Kernpolyphenole verstopften IZ ist zulässig; das Bestimmtheitsmass ist zumindest als eine mit dem Anteil verstopfter IZ verwandte Grösse anzusehen.

Die im Kapitel 5.22 geprüften Vergleiche und Zusammenhänge sind übersichtshalber in den Tabellen 46 und 47 zusammengestellt worden. Die Vergleiche werden durch den Testwert des t-Testes charakterisiert; alle Testwerte der Zusammenstellung erwiesen sich als statistisch sehr hoch gesichert ( $P = 99,9\%$ ). Dementsprechend entstammen die Mittelwerte mit besagter Wahrscheinlichkeit unterschiedlichen Grundgesamtheiten. Dem Überblick zu entnehmen ist, dass die Unterschiede zwischen der Buche einerseits und den Eichen andererseits bis auf eine Ausnahme (MSPZ-Formfaktor) grösser sind als jene zwischen den Eichenarten. Die Zusammenhänge werden durch ihre Art (positiv, negativ, polynomial) und ihr Ausmass (Bestimmtheitsmass in %) charakterisiert. Die dazugehörigen Korrelationskoeffizienten sind getestet und in jedem Fall als von Null sehr hoch signifikant verschieden befunden worden ( $P = 99,9\%$ ). Die Zusammenhänge können grob in zwei Gruppen unterteilt werden:

1. Die Markstrahlparenchymzellenmerkmale und radiale Position der Probe: mit einer Ausnahme sehr schwache Zusammenhänge ( $B = 0,4\text{--}5,5\%$ ) von überwiegend polynomialem, schwer interpretierbarem Charakter. Keine Unterschiede zwischen den Holzarten.

2. Die Markstrahlparenchymzellenmerkmale und Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen: Zusammenhänge mittlerer Stärke ( $B =$

6,4–56,9%) mit ausschliesslich positivem Charakter. Die Rangfolge der Holzarten nach der Stärke der Zusammenhänge ist Buche – Stieleiche – Traubeneiche.

Die Resultate dieses Kapitels 5.22 können wie folgt zusammengefasst werden:

- Auf Grund der morphologischen Merkmale der Markstrahlparenchymzellen können die untersuchten Holzarten sicher unterschieden werden; insbesondere ist das Merkmal «Zellform» für die Unterscheidung der Eichenarten geeignet.
- Das Merkmal «Zellform» variiert innerhalb einer Stichprobe wesentlich weniger als die Merkmale «Zellumfang» und «Zellfläche» und eignet sich somit am besten für vergleichende Zwecke.
- Die morphologischen Merkmale sind zwar mit dem Kambiumalter korreliert; das Ausmass dieser Beziehung beträgt jedoch nur 1–6%.
- Zwischen den Merkmalen «Umfang» und «Fläche» einerseits und «Zellform» andererseits bestehen sehr hoch signifikante Beziehungen mit Bestimmtheitsmassen bei der Buche bis zu 50%.
- Die Zellen aus den interzellularhaltigen und interzellularfreien Bereichen unterscheiden sich in ihrem Umfang, ihrer Fläche und in der Zellform; die Zellen aus dem interzellularhaltigen Bereich sind durchschnittlich grösser und rundlicher als jene aus dem interzellularfreien Bereich.
- Die Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen ist eine holzartspezifische Grösse, die innerhalb jeder der untersuchten Arten mit dem Umfang, der Fläche und dem Formfaktor der Zellen positiv korreliert ist; grössere, umfangreichere und rundlichere Zellen weisen mehr umgebende Interzellularen auf als kleinere und länglichere Markstrahlparenchymzellen.
- Die Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen ist mit dem Kambiumalter korreliert; das Ausmass dieser Beziehung beträgt 1% bei der Buche, 5% bei der Stieleiche und 24% bei der Traubeneiche; aus diesen Angaben darf vorsichtig auf den Anteil verstopfter Interzellularen im Kernholz gefolgert werden.

### 5.23 Die Interzellularen

Im Rasterelektronenmikroskop wurden in und um das Markstrahlgewebe verschiedene Interzellulartypen beobachtet (vgl. Kapitel 5.1). Sie unterschieden sich bezüglich Grösse, Form und Orientierung. Die Gewebeanalyse beschränkt sich auf die radialorientierten Markstrahlinterzellularen: die Dreieck-Interzellularen und die Viereck-Interzellularen. Neben objektbezogenen Überlegungen spielte hierfür auch die Methode eine Rolle, denn die übrigen Interzellulartypen (zirkulare Interzellularen, axiale Interzellularen) können im Lichtmikroskop nur ausnahmsweise beobachtet werden. In einigen wenigen Fällen wurden zudem in den Eichenmarkstrahlen mehr als viereckige Inter-

zellularen beobachtet, wobei es sich möglicherweise um Artefakte handelte. Die IZ wurden durch vier morphologisch-gewebeanalytische Merkmale charakterisiert, nämlich

- den Umfang der einzelnen Interzellularen ( $\mu\text{m}$ ),
- die Fläche der einzelnen Interzellularen ( $\mu\text{m}^2$ ),
- die Dichte des Interzellularkommens, die Anzahl Interzellularen pro  $\text{mm}^2$  Markstrahlfläche im Tangentialschnitt und
- den Anteil der Interzellularen am Markstrahlvolumen (%), berechnet als ihr Flächenanteil im Tangentialschnitt des Markstrahles.

In einem ersten Schritt wurde bei allen drei Holzarten die Interzellularmorphologie und ihr Zusammenhang mit der Markstrahlontogenie untersucht. Dabei wurden als Messstellen die Positionen 1–8 am Baumradius berücksichtigt (vgl. Tabelle 6). Die Schnitte entstammten stets der gleichen relativen Position innerhalb des Jahrringes (Spätholz). Bei den Eichen wurden die Schnitte projiziert und in jeder Position je 1000 DIZ und die adäquate Anzahl VIZ ausgemessen; bei der Buche mussten in Anbetracht der wesentlich kleineren IZ zuerst Diapositive mit Ölimmersionsoptik hergestellt werden, deren Projektion dann hinreichend scharfe und vergrößerte Bilder von Interzellularen ergab. Die Anzahl der ausgemessenen IZ betrug bei der Buche aus diesen Gründen nur ca. 380 je Position resp. 3063 im Total. Es wurden im ersten Schritt 19 817 Interzellularen erfasst. Der zweite Schritt diente der Abklärung der jahrringinternen Entwicklung der Interzellularmorphologie, wobei die gleichen Merkmale wie im ersten Schritt erfasst wurden. Je ein Jahrring der Buche und der Stieleiche wurden in 8 gleiche Abschnitte unterteilt (vgl. Tabelle 5), und die untersuchten Tangentialschnitte entstammten diesen Positionen. Es wurden in jeder Position je 200 Buchen- und 300 Stieleichen-DIZ gemessen. Auf die Untersuchung der Traubeneiche wurde mit Rücksicht auf den zusätzlichen Arbeitsaufwand verzichtet. Der zweite Schritt umfasste 4115 Interzellularen, worin 115 Stieleichen-VIZ eingeschlossen sind. Gesamthaft wurden je drei Parameter (Typ, Umfang, Fläche) von 23 932 Interzellularen ausgemessen sowie die Dichte und der Flächenanteil in den 40 untersuchten Tangentialschnitten ( $3 \times 8$  Positionen am Radius und  $2 \times 8$  innerhalb eines Jahrringes) bestimmt.

### 5.231 Morphologie

Das Interzellularsystem aller drei untersuchten Holzarten besteht aus Dreieck-Interzellularen und Viereck-Interzellularen. Die DIZ stehen dabei eindeutig im Vordergrund; die VIZ sind in den Eichenmarkstrahlen regelmäßig vertreten, im Buchenholz sind sie eher selten (Tabelle 48). Die relative Häufigkeit der VIZ ist in den Eichenmarkstrahlen 30–40mal höher als in den Buchenmarkstrahlen. Bei der Auswertung der morphologischen Merkmale «Umfang» und «Fläche» wurden die vier Buchen-VIZ vernachlässigt; dagegen wurden sie bei der Ermittlung der Dichte der Interzellularen im Markstrahl und des Anteiles der IZ am Markstrahlvolumen berücksichtigt. Die

Bezeichnung IZ wird nachfolgend für die Summe DIZ und VIZ verwendet. Den Bildern 80–83 sind die Häufigkeitsverteilungen der Umfang- und Flächenwerte der DIZ und VIZ zu entnehmen. Die Umfangwerte sind symmetrisch verteilt, die Flächenwerte zeigen dagegen, ähnlich wie bei den Markstrahlparenchymzellenflächen, eine positive Schiefe. Die Verteilungen der DIZ-Merkmale der Buche sind schmäler als jene der Eichen-DIZ; sie unterscheiden sich aber nicht nur durch die Form, sondern auch durch die Lage des Gipfels. Die Unterschiede zwischen den Eichen sind vergleichsweise eher geringfügig, sowohl bei den DIZ als auch bei den VIZ. Die statistischen Grundwerte aus den Stichproben dieser Merkmale sind in den Tabellen 49 bis 52 zusammengestellt. Die Stieleiche besitzt durchschnittlich die grössten DIZ, die Buche die kleinsten. Das Verhältnis der mittleren DIZ-Flächen Buche : Stieleiche : Traubeneiche beträgt 1:2,2:2,1. Dagegen besitzt die Traubeneiche durchschnittlich die geringfügig grösseren VIZ als die Stieleiche. Die Unterschiede zwischen den DIZ der Buche einerseits und der Eichen andererseits sind statistisch durchwegs sehr hoch gesichert (Tabellen 53, 54). Die Eichen lassen sich anhand der durchschnittlichen Flächen der DIZ und VIZ unterscheiden, nicht aber auf Grund der mittleren Umfangwerte (Tabellen 53–55). Die auf Grund der Häufigkeitsverteilungen festgestellten Unterschiede der Streuungen der DIZ-Merkmale zwischen der Buche einerseits und den Eichen andererseits wurden rechnerisch bestätigt (Tabelle 53; F-Test). Das Merkmal «Umfang» erwies sich im Vergleich zum Merkmal «Fläche» als wesentlich homogener, sowohl bei den DIZ als auch bei den VIZ, denn die entsprechenden Variabilitätskoeffizienten der Mittelwerte stehen im Verhältnis ca. 1:2 und der Umfang der erforderlichen Stichproben für eine 95%ige Wahrscheinlichkeit gar im Verhältnis von ca. 1:4.

Die Dichte und der Flächenanteil der Interzellularen im Markstrahl wurden jeweils als ein Wert pro Schnitt (= Position) ermittelt. Damit wurde die Stichprobengrösse auf jeweils 8 Werte festgelegt. Beide Merkmale zeigten eine sehr hohe Streuung der Messwerte, die durch das unterschiedliche Auftreten von IZf-Bereichen verursacht wurde. Die kleinen Stichproben und die grossen Streumasse bewirkten, dass die Mittelwerte durchwegs statistisch nicht gesichert sind. Dies ist sowohl an hohen Werten des Variabilitätskoeffizienten des Mittelwertes als auch aus dem Umstand ersichtlich, dass die für die 95%ige Wahrscheinlichkeit notwendige Stichprobengrösse in allen Fällen unterschritten wurde (Tabellen 56, 57). Erwartungsgemäss sind die Unterschiede zwischen den untersuchten Holzarten hinsichtlich Dichte und Flächenanteil der IZ im MS statistisch nicht gesichert, was natürlich nicht heisst, dass die wahren Unterschiede (also jene zwischen den unbekanntem Grundgesamtheiten) ebenfalls nicht gesichert sind (Tabellen 58, 59). Tendenziell lässt sich immerhin festhalten, dass die Dichte der IZ im MS etwa gleich gross ist bei der Stieleiche und der Buche und geringer bei der Traubeneiche; das Verhältnis der Mittelwerte Buche : Stieleiche : Traubeneiche beträgt 1,28:1,30:1. Der Flächenanteil der IZ im MS weist für diese Holzarten Mittelwerte auf,

Bild 77 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzelle und der Zellfläche ( $\mu\text{m}^2$ ) aus dem interzellulärhaltigen Markstrahlbereich im Tangentialschnitt bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte von 50er-Klassen und Regressionslinien.  $N = 1000$  pro Holzart.

Fig. 77 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell area ( $\mu\text{m}^2$ ) in ray area with intercellular spaces in tangential section in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): mean values for class intervals of 50  $\mu\text{m}^2$  and regression lines.  $N = 1000$  per species.

Bild 78 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzelle und dem Formfaktor aus dem interzellulärhaltigen Markstrahlbereich im Tangentialschnitt bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte von 0,05er-Klassen und Regressionslinien.  $N = 1000$  pro Holzart.

Fig. 78 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell shape factor in ray area with intercellular spaces in tangential section in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): mean values for class intervals of 0.05 shape factor and regression lines.  $N = 1000$  per species.

Bild 79 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzelle im Tangentialschnitt und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte und Regressionslinien.  $N = 8000$  pro Holzart.

Fig. 79 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell in tangential section and radial position of specimen (rank number) in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): mean values and regression lines.  $N = 8000$  per species.

Bild 80 Umfang der Dreieck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}$ ) bei den Holzarten Buche, Stieleiche und Traubeneiche. Häufigkeitsverteilungen der Messwerte in 0,5er-Klassen.  $N = 3059$  (Buche) resp.  $N = 8000$  (Eichen).

Fig. 80 Circumference of triangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}$ ) in beech, pedunculate oak, and sessile oak: frequency distribution of measured values in class intervals of 0.5  $\mu\text{m}$ .  $N = 3059$  (beech) and 8000 (oaks).

Bild 81 Fläche der Dreieck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}^2$ ) bei den Holzarten Buche, Stieleiche und Traubeneiche. Häufigkeitsverteilungen der Messwerte in 0,2er-Klassen.  $N = 3059$  (Buche) resp.  $N = 8000$  (Eichen).

Fig. 81 Area of triangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}^2$ ) in beech, pedunculate oak, and sessile oak: frequency distribution of measured values in class intervals of 0.2  $\mu\text{m}^2$ .  $N = 3059$  (beech) and 8000 (oaks).

Bild 82 Umfang der Viereck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}$ ) bei den Holzarten Stiel- und Traubeneiche. Häufigkeitsverteilungen der Messwerte in 2er-Klassen.  $N = 415$  (Stieleiche) resp.  $N = 339$  (Traubeneiche).

Fig. 82 Circumference of rectangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}$ ) in pedunculate and sessile oak: frequency distribution of measured values in class intervals of 2  $\mu\text{m}$ .  $N = 415$  (pedunculate oak) and 339 (sessile oak).

Bild 83 Fläche der Viereck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}^2$ ) bei den Holzarten Stiel- und Traubeneiche. Häufigkeitsverteilungen der Messwerte in 2er-Klassen.  $N = 415$  (Stieleiche) resp.  $N = 339$  (Traubeneiche).

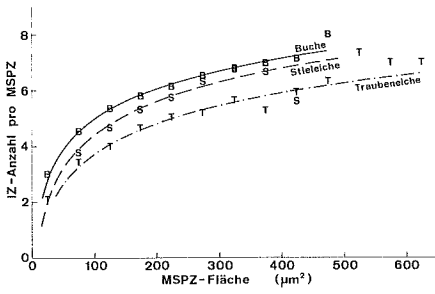
Fig. 83 Area of rectangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}^2$ ) in pedunculate and sessile oak: frequency distribution of measured values in class intervals of 2  $\mu\text{m}^2$ .  $N = 415$  (pedunculate oak) and 339 (sessile oak).

Bild 84 Zusammenhang zwischen dem Umfang der Dreieck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte und Regressionslinien.  $N = 3059$  (Buche) resp.  $N = 8000$  (Eichen).

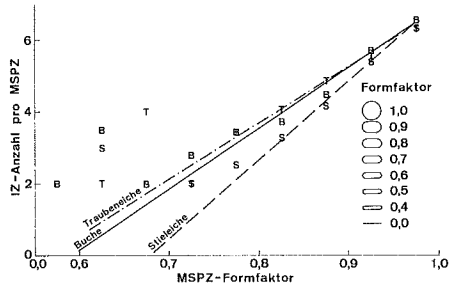
Fig. 84 Relationship between circumference of triangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}$ ) and radial position of specimen (rank number) in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): mean values and regression lines.  $N = 3059$  (beech) and 8000 (oaks).



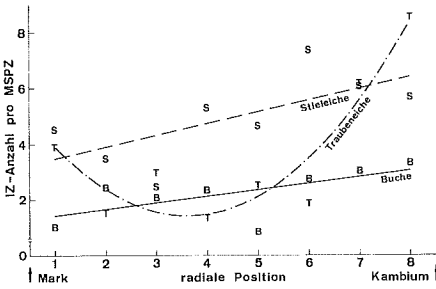
77



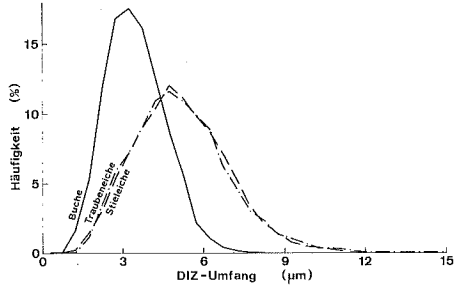
78



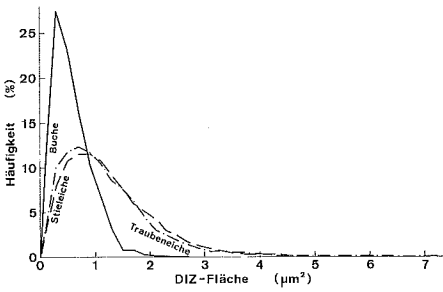
79



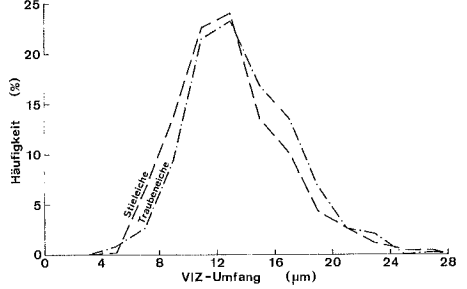
80



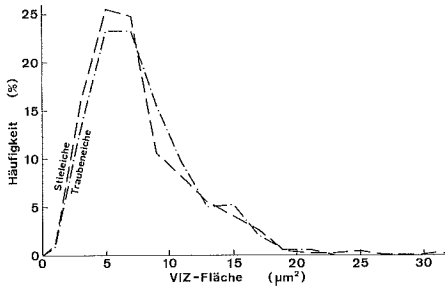
81



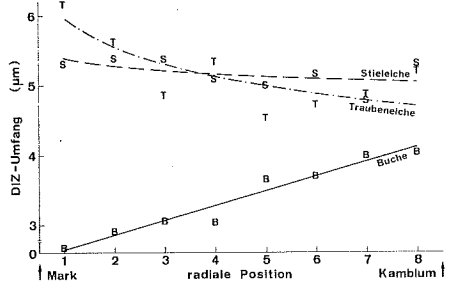
82



83



84



die zueinander im Verhältnis 1:2,8:2,0 stehen. Der höchste Flächenanteil der IZ im MS der Stieleiche ergibt sich aus der Grösse und Dichte der IZ in dieser Holzart, bei der Buche hingegen fällt die verhältnismässig kleine DIZ-Fläche entscheidend ins Gewicht.

Aus dem Flächenanteil der Interzellularen im Markstrahl und dem Markstrahlanteil dieser Holzarten (Tabellen 57 und 48) kann der durchschnittliche Anteil der Interzellularen am sekundären Xylem errechnet werden. Dieser beträgt 0,080% für die Buche; 0,170% für die Stieleiche und 0,097% für die Traubeneiche (Verhältnis 1:2,13:1,21).

### 5.232 Radiale Entwicklung

Eine Auswertung der Morphologie der Interzellularen auf ihren Zusammenhang mit dem Kambiumalter führte zu einer Reihe interessanter Erkenntnisse, die in den Bildern 84–93 und den Tabellen 60–69 zusammengestellt sind. Die Buchen-IZ sind mit dem Radius (= Kambiumalter) positiv korreliert; das Ausmass des Zusammenhanges beträgt 18–19% bei den IZ-Dimensionen, 70% bei der Dichte und 94% beim Flächenanteil der Interzellularen im Markstrahl (Tabellen 60, 61, 64, 65, 67, 68). Die IZ der Stieleiche sind hinsichtlich ihrer Dimensionen geringfügig negativ (B unter 1%) mit der radialen Position korreliert, während die Dichte und der Flächenanteil der IZ im MS mit dem Kambiumalter ansteigen (B = 35% resp. 54%; Tabellen 60, 61, 64, 65, 67, 68). Die Traubeneicheninterzellularen zeigen uneinheitliche Zusammenhänge mit dem Kambiumalter, die bei den Interzellulardimensionen schwach (B 1–5%), bei der Dichte und dem Flächenanteil der IZ im MS stark (B 77% resp. 82%) sind (Tabellen 60, 61, 64, 65, 67, 68). Die Erkenntnisse über die Grösse und Häufigkeit der Eichen-VIZ sind in den beiden Arten gegensätzlich und vielfach statistisch nicht gesichert (Tabellen 62, 63, 66). Die Dichte und der Flächenanteil der IZ im MS sind generell enger mit der radialen Position korreliert als die IZ-Dimensionen. Demgegenüber steht allerdings die Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse, die am besten bei den Interzellulardimensionen ist, weniger gut bei den Merkmalen «Dichte» und «Flächenanteil» der Interzellularen im Markstrahl und am geringsten bei den Viereck-Interzellulardimensionen (Tabellen 60–69). Die Zusammenhänge im Buchenholz sind durch ihren Charakter (linear oder schwach exponential) deutlich besser interpretierbar als in den Eichen, die überwiegend polynomialen und logarithmischen Gesetzmässigkeiten folgen (Bilder 84–93). Wie bereits im Kapitel 5.222, lassen sich aus den obigen Zahlen einige qualitative Schlussfolgerungen ziehen. Die Veränderungen in der Häufigkeit und Grösse der IZ können auf einen Zusammenhang mit der kambialen Tätigkeit ebenso wie auf ihre selektive alterungsbedingte Verstopfung hinweisen. Festzuhalten ist indessen, dass es auch im Kernholz einen beträchtlichen Anteil an leeren Interzellularen gibt.

### 5.233 Jahrringinterne Morphologie und Entwicklung

Die Markstrahlentwicklung zeigt eine deutliche Jahresperiodizität, die beispielsweise im Keilwuchs der breiten Buchenmarkstrahlen zum Ausdruck kommt (L. Kučera, H. H. Bosshard und E. Katz, 1980). D. Fengel (1966) stellte bei der Buche die Erweiterung der breiten Markstrahlen und die damit einhergehende Vergrößerung des Gewebeanteiles (%) als Folge vergrößerter Zelldimensionen bei nahezu unveränderter Anzahl Zellreihen im Bereich des Spätholzes und der Jahrringgrenze fest. Die jahrringinterne Entwicklung des Markstrahlanteiles wurde bei der Buche bereits von H. Schulz (1957) und später von H. Süss und W. R. Müller-Stoll (1970) untersucht. In all diesen Erhebungen wurde die Erweiterung der Markstrahlen an und in der Nähe der Jahrringgrenze bestätigt. B. Huber und G. Prütz (1938) fanden bei der Stieleiche den höchsten Markstrahlanteil innerhalb eines Jahrringes ebenfalls an der Jahrringgrenze. Untersuchungen von M. W. Bannan (1951) bei *Thuja*, von H. J. Braun (1955) bei Föhre (*Pinus silvestris* L.) und von L. Kučera und J. Kučera (1967) bei Tanne (*Abies alba* Mill.) zeigten übereinstimmend ein Maximum in der Erweiterung bestehender und der Anlage neuer Markstrahlen innerhalb eines Jahrringes im Spätholz und an der Jahrringgrenze.

In Anlehnung an diese Resultate untersuchten wir die Veränderungen des Interzellularsystems innerhalb eines Jahrringes bei der Buche und der Stieleiche. Die Versuchsanordnung war dabei im wesentlichen die gleiche wie in den Kapiteln 5.231 und 5.232: eine definierte radiale Distanz wurde durch 8 Positionen gleichmässig unterteilt. Da die gleichen Mess- und Auswertungsmethoden angewendet wurden, können hier Vergleiche angestellt werden. Man muss dabei aber auch die Unterschiede beider Versuchsanordnungen beachten. Im ersten Fall wurde als radiale Distanz der Baumradius, im zweiten ein Jahrring berücksichtigt. Im ersten Fall wurde der Einfluss des Kambiumalters, im zweiten jener der jahrringinternen Entwicklung untersucht. Der Messumfang der beiden Versuche stand im Verhältnis 380:200 bei der Buche und 1000:300 bei der Stieleiche. Deshalb muss man sich bei den Vergleichen auf Tendenzen und Grössenordnungen beschränken; eine exakte zahlenmässige Übereinstimmung ist dagegen nicht zu erwarten. Bei der Buche fanden wir ausschliesslich Dreieck-Interzellularen; bei der Stieleiche war das Verhältnis  $DIZ : VIZ = 2400:115$ , was einem Viereck-Interzellularanteil von 4,57% (Tabelle 48: 4,93%) entspricht. Die Häufigkeitsverteilungen der Umfang- und Flächenwerte der DIZ sind in den Bildern 94 und 95 dargestellt. Die Verteilungsformen und -positionen sind die gleichen wie im ersten Versuch: eine symmetrische Verteilung der Umfangwerte und eine positive Schiefe in der Verteilung der Flächenwerte. Die statistischen Grundwerte der Stichproben sind in den Tabellen 70–75 zusammengestellt. Die DIZ der Stieleiche sind grösser als jene der Buche (Umfang 1:2; Fläche 1:4,5), was tendenziell mit den Ergebnissen im Kapitel 5.231 übereinstimmt. Die Durchschnittswerte der Eicheninterzellularen sind etwas grösser als im Kapitel 5.231 (DIZ-Umfang 5%, DIZ-Fläche 12%, VIZ-Umfang 8%, VIZ-Fläche 10%), jene der

Bild 85 Zusammenhang zwischen der Fläche der Dreieck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}^2$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte und Regressionslinien.  $N = 3059$  (Buche) resp.  $N = 8000$  (Eichen).

Fig. 85 Relationship between area of triangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}^2$ ) and radial position of specimen (rank number) in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): mean values and regression lines.  $N = 3059$  (beech) and 8000 (oaks).

Bild 86 Zusammenhang zwischen dem Umfang der Viereck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte und Regressionslinien.  $N = 415$  (Stieleiche) resp.  $N = 339$  (Traubeneiche).

Fig. 86 Relationship between circumference of rectangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}$ ) and radial position of specimen (rank number) in pedunculate oak (S) and sessile oak (T): mean values and regression lines.  $N = 415$  (pedunculate oak) and 339 (sessile oak).

Bild 87 Zusammenhang zwischen der Fläche der Viereck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}^2$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Mittelwerte und Regressionslinien.  $N = 415$  (Stieleiche) resp.  $N = 339$  (Traubeneiche).

Fig. 87 Relationship between area of rectangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}^2$ ) and radial position of specimen (rank number) in pedunculate oak (S) and sessile oak (T): mean values and regression lines.  $N = 415$  (pedunculate oak) and 339 (sessile oak).

Bild 88 Zusammenhang zwischen der Dichte der Interzellularen im Markstrahl im Tangentialschnitt (Anzahl/ $\text{mm}^2$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Einzelwerte und Regressionslinien.  $N = 8$  pro Holzart.

Fig. 88 Relationship between density of intercellular spaces in rays in tangential section (no./ $\text{mm}^2$ ) and radial position of specimen (rank number) in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): single values and regression lines.  $N = 8$  per species.

Bild 89 Zusammenhang zwischen der Dichte der Dreieck-Interzellularen im Markstrahl im Tangentialschnitt (Anzahl/ $\text{mm}^2$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Einzelwerte und Regressionslinien.  $N = 8$  pro Holzart.

Fig. 89 Relationship between density of triangular intercellular spaces in rays in tangential section (no./ $\text{mm}^2$ ) and radial position of specimen (rank number) in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): single values and regression lines.  $N = 8$  per species.

Bild 90 Zusammenhang zwischen der Dichte der Viereck-Interzellularen im Markstrahl im Tangentialschnitt (Anzahl/ $\text{mm}^2$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Einzelwerte und Regressionslinien.  $N = 8$  pro Holzart.

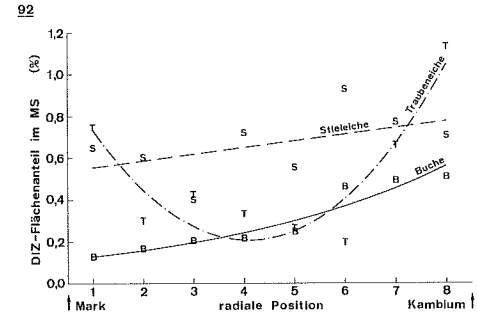
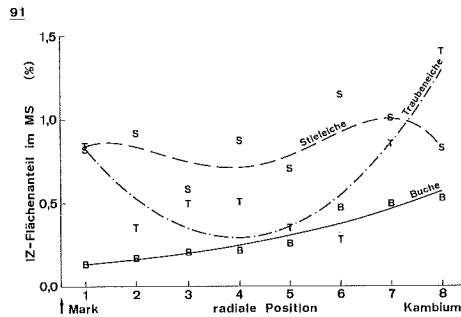
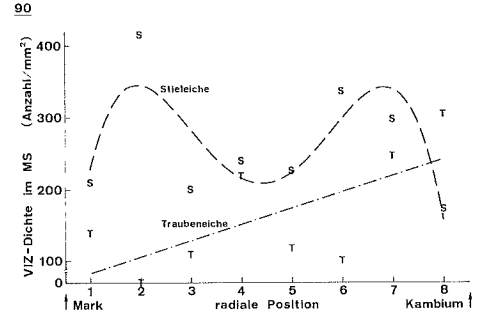
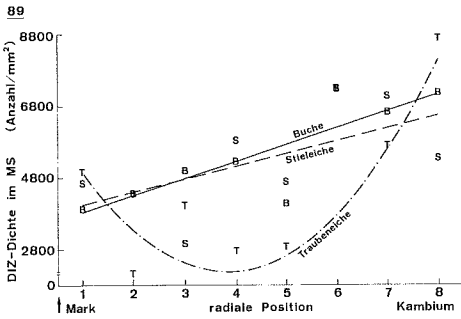
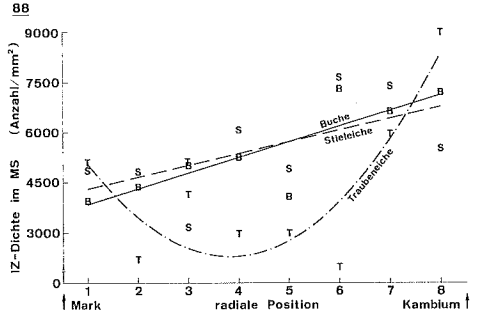
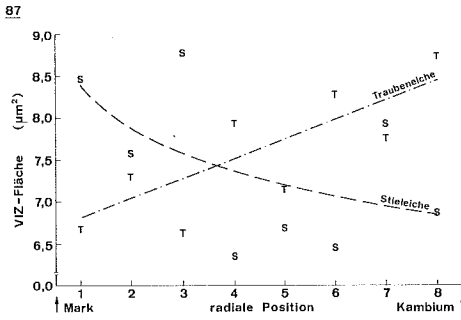
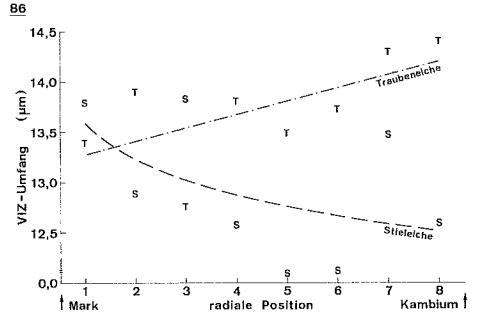
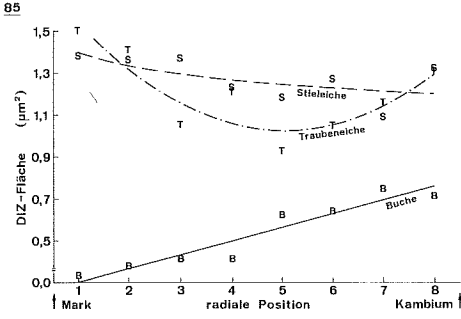
Fig. 90 Relationship between density of rectangular intercellular spaces in rays in tangential section (no./ $\text{mm}^2$ ) and radial position of specimen (rank number) in pedunculate oak (S) and sessile oak (T): single values and regression lines.  $N = 8$  per species.

Bild 91 Zusammenhang zwischen dem Flächenanteil der Interzellularen im Markstrahl im Tangentialschnitt (%) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Einzelwerte und Regressionslinien.  $N = 8$  pro Holzart.

Fig. 91 Relationship between percentage area of intercellular spaces in rays in tangential section and radial position of specimen (rank number) in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): single values and regression lines.  $N = 8$  per species.

Bild 92 Zusammenhang zwischen dem Flächenanteil der Dreieck-Interzellularen im Markstrahl im Tangentialschnitt (%) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B), Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Einzelwerte und Regressionslinien.  $N = 8$  pro Holzart.

Fig. 92 Relationship between percentage area of triangular intercellular spaces in rays in tangential section and radial position of specimen (rank number) in beech (B), pedunculate oak (S), and sessile oak (T): single values and regression lines.  $N = 8$  per species.



Buchen-DIZ kleiner (Umfang 23%, Fläche 44%). Ausgezeichnete Übereinstimmung besteht im Hinblick auf die Streuung der Messergebnisse, was durch Vergleiche der Extremwerte, der Variabilitätskoeffizienten der Mittelwerte und ganz besonders der erforderlichen Mindestprobenumfangwerte für eine 95%ige Wahrscheinlichkeit belegt wird (vgl. die kleinsten und grössten Werte in den Tabellen 49 und 70, 50 und 71, 51, 52 und 72). Die grössere Homogenität des Merkmales «Umfang» verglichen mit dem Merkmal «Fläche» wird bestätigt; das Verhältnis der Variabilitätskoeffizienten der Mittelwerte ist erneut ca. 1:2, und der Umfang der erforderlichen Stichproben für eine 95%ige Wahrscheinlichkeit steht ebenfalls im Verhältnis von ca. 1:4 (vgl. Tabellen 49, 50 und 70, 71). Die Dichte der DIZ im MS ist gleich bei den beiden Holzarten (Tabelle 73), was dem früher ermittelten Verhältnis (Tabelle 56) entspricht; die ca. 40%ige Zunahme der Durchschnittswerte erklärt sich aus der Korrelation dieses Merkmales mit dem Baumradius und der Position im Jahrring. Der Flächenanteil der DIZ im MS steht im Verhältnis Buche : Stieleiche = 1:4,4, vgl. Tabelle 74; damit werden die Ergebnisse aus dem Kapitel 5.231 (Verhältnis 1:2,8; vgl. Tabelle 57) zumindest tendenziell bestätigt. Die Angaben über die Dichte und den Flächenanteil der VIZ im Eichen-MS vervollständigen die Ergebnisse. Die Vergleiche der DIZ-Merkmale ergaben im ersten wie im zweiten Versuch die gleichen Ergebnisse; die Übereinstimmung der t-Testwerte (Tabelle 78) ist bemerkenswert. Daraus geht hervor, dass der mittlere Umfang, die mittlere Fläche und der durchschnittliche Flächenanteil der DIZ in den MS der Buche und der Stieleiche sehr hoch signifikant verschieden sind, ob nun die Stichproben aus mehreren Positionen am Baumradius (vgl. Tabellen 53–56) oder aus solchen eines Jahrringes (vgl. Tabellen 76, 77) erhoben werden.

Die Veränderungen im Interzellularsystem innerhalb eines Jahrringes sind bei den untersuchten Holzarten Buche und Stieleiche ähnlich. Die DIZ-Dimensionen nehmen von Frühholz in Richtung Spätholz ab; die Abnahme folgt einem logarithmischen Muster bei der Buche und einem linearen bei der Stieleiche (Bilder 96, 97). Die Zusammenhänge zwischen der Position der Probe im Jahrring und den DIZ-Dimensionen sind statistisch sehr hoch gesichert, ihr Ausmass bewegt sich jedoch lediglich zwischen 3 und 9% (Tabellen 79, 80). Die Veränderungen der Dichte und des Flächenanteiles der DIZ im MS folgen schwer interpretierbaren polynomialen Mustern (Bilder 98, 99), die statistisch hoch bis sehr hoch gesichert sind und Bestimmtheitsmasse zwischen 75 und 95% aufweisen (Tabellen 81, 82). Diese Veränderungen dürften unter anderem durch Verschiebungen der Bereichsgrenzen IZf-IZh beeinflusst worden sein. Einleitend wurde auf das Grösserwerden der MSPZ im Jahrring vom Frühholz zum Spätholz hin auf Grund zitierter Literatur hingewiesen. Die DIZ-Dimensionen folgen in gleicher Richtung statistisch einem umgekehrten Trend (Bilder 96, 97). Eine sorgfältige Betrachtung der Mittelwerte aus den einzelnen Positionen zeigt jedoch bei den beiden Holzarten an resp. in der Nähe der Jahrringgrenze ein Maximum der IZ-Dimensionen.

Damit wird die These über die enge Beziehung zwischen den MSPZ und den umgebenden IZ einmal mehr belegt.

Die im Kapitel 5.23 geprüften Vergleiche und Zusammenhänge sind in den Tabellen 83 und 84 zusammengestellt. Die Vergleiche werden durch den Testwert des t-Testes und seine statistische Signifikanz charakterisiert. Dem Überblick kann entnommen werden, dass die Unterschiede zwischen den Bucheninterzellularen einerseits und den Eicheninterzellularen andererseits mit einer Ausnahme (Dichte der IZ im MS) grösser sind als jene zwischen den Eichenarten. Die IZ-Dimensionen (Umfang, Fläche) eignen sich für Vergleichszwecke besser als die Dichte und der Flächenanteil der IZ im MS, die eine grössere klasseninterne Variabilität aufweisen. Die Zusammenhänge werden durch ihre Art (positiv, negativ, polynomial), ihr Ausmass (Bestimmtheitsmass in %) und durch die statistische Signifikanz des Korrelationskoeffizienten gekennzeichnet. Die Korrelation des Interzellularsystems mit dem Baumradius ist positiv bei der Buche und verschieden bei den Eichen; das Ausmass der Zusammenhänge ist vergleichbar in der Buche und der Traubeneiche und geringer im Holz der Stieleiche. Die IZ-Dimensionen sind wesentlich weniger mit der radialen Position korreliert als die Dichte und der Flächenanteil der IZ im MS. Innerhalb eines Jahrringes nehmen die IZ-Dimensionen, die Dichte und der Flächenanteil der IZ im MS in der Buche wie in der Stieleiche mit einer Ausnahme ab. Die Zusammenhänge weisen in den untersuchten Holzarten vergleichbare Ausmasse auf.

Die Resultate des Kapitels 5.23 kann man wie folgt zusammenfassen:

- Die Merkmale «Umfang» und «Fläche» der Interzellularen sind holzartbezogene Grössen, die sich für Vergleichszwecke aus statistischen Gründen sehr gut eignen.
- Die Merkmale «Dichte» und «Flächenanteil» der Interzellularen im Markstrahl sind mit der Markstrahlontogenie korreliert und eignen sich aus arbeitstechnischen und statistischen Gründen für Vergleichszwecke weniger gut.
- Die Unterschiede zwischen den Interzellularen der Buche einerseits und der Eichen andererseits sind von grundlegender Natur.
- Die Unterschiede zwischen den Eicheninterzellularen sind eher graduellen Charakters.
- Das Interzellularsystem der Buche ist deutlich positiv mit dem Kambiumalter korreliert.
- Bei den Eichen besteht eine schwache und variable Korrelation zwischen dem Kambiumalter und den Dreieck-Interzellulardimensionen.
- Die Erkenntnisse über die Viereck-Interzellularen der Eichen sind nicht in jedem Fall statistisch gesichert.
- Die Dichte und der Flächenanteil der Interzellularen im Markstrahl sind wesentlich stärker mit der radialen Position korreliert als die Interzellulardimensionen.

Bild 93 Zusammenhang zwischen dem Flächenanteil der Viereck-Interzellularen im Markstrahl im Tangentialschnitt (%) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Stieleiche (S) und Traubeneiche (T). Einzelwerte und Regressionslinien. N = 8 pro Holzart.

Fig. 93 Relationship between percentage area of rectangular intercellular spaces in rays in tangential section and radial position of specimen (rank number) in pedunculate oak (S) and sessile oak (T): single values and regression lines: N = 8 per species.

Bild 94 Umfang der Dreieck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}$ ) bei den Holzarten Buche und Stieleiche; alle Schnitte aus einem Jahrring. Häufigkeitsverteilungen der Messwerte in 0,5er- (Buche) resp. 1er-Klassen (Stieleiche). N = 1600 (Buche) resp. N = 2400 (Stieleiche).

Fig. 94 Circumference of triangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}$ ) in beech and pedunculate oak, all specimens from single growth rings: frequency distribution of measured values in class intervals of 0.5  $\mu\text{m}$  (beech) and 1.0  $\mu\text{m}$  (pedunculate oak). N = 1600 (beech) and 2400 (pedunculate oak).

Bild 95 Fläche der Dreieck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}^2$ ) bei den Holzarten Buche und Stieleiche; alle Schnitte aus einem Jahrring. Häufigkeitsverteilungen der Messwerte in 0,1er- (Buche) resp. 0,5er-Klassen (Stieleiche). N = 1600 (Buche) resp. N = 2400 (Stieleiche).

Fig. 95 Area of triangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}^2$ ) in beech and pedunculate oak, all specimens from single growth rings: frequency distribution of measured values in class intervals of 0.1  $\mu\text{m}^2$  (beech) and 0.5  $\mu\text{m}^2$  (pedunculate oak). N = 1600 (beech) and 2400 (pedunculate oak).

Bild 96 Zusammenhang zwischen dem Umfang der Dreieck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}$ ) und der radialen Position der Probe im Jahrring (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B) und Stieleiche (S). Mittelwerte und Regressionslinien. N = 1600 (Buche) resp. N = 2400 (Stieleiche).

Fig. 96 Relationship between circumference of triangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}$ ) and radial position of specimen in growth ring (rank number) in beech (B) and pedunculate oak (S): mean values and regression lines. N = 1600 (beech) and 2400 (pedunculate oak).

Bild 97 Zusammenhang zwischen der Fläche der Dreieck-Interzellularen im Tangentialschnitt ( $\mu\text{m}^2$ ) und der radialen Position der Probe im Jahrring (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B) und Stieleiche (S). Mittelwerte und Regressionslinien. N = 1600 (Buche) resp. N = 2400 (Stieleiche).

Fig. 97 Relationship between area of triangular intercellular spaces in tangential section ( $\mu\text{m}^2$ ) and radial position of specimen in growth ring (rank number) in beech (B) and pedunculate oak (S): mean values and regression lines. N = 1600 (beech) and 2400 (pedunculate oak).

Bild 98 Zusammenhang zwischen der Dichte der Dreieck-Interzellularen im Markstrahl im Tangentialschnitt (Anzahl/ $\text{mm}^2$ ) und der radialen Position der Probe im Jahrring (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B) und Stieleiche (S). Mittelwerte und Regressionslinien. N = 8 pro Holzart.

Fig. 98 Relationship between density of triangular intercellular spaces in rays in tangential section (no./ $\text{mm}^2$ ) and radial position of specimen in growth ring (rank number) in beech (B) and pedunculate oak (S): mean values and regression lines. N = 8 per species.

Bild 99 Zusammenhang zwischen dem Flächenanteil der Dreieck-Interzellularen im Markstrahl im Tangentialschnitt (%) und der radialen Position der Probe im Jahrring (Ordnungsziffer) bei den Holzarten Buche (B) und Stieleiche (S). Mittelwerte und Regressionslinien. N = 8 pro Holzart.

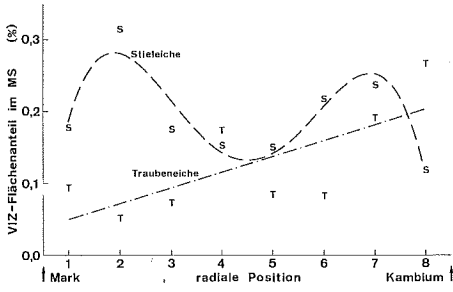
Fig. 99 Relationship between percentage area of triangular intercellular spaces in tangential section and radial position of specimen in growth ring (rank number) in beech (B) and pedunculate oak (S): mean value and regression lines. N = 8 per species.

Bild 106 Länge der Viereck-Interzellularen in radialer Richtung ( $\mu\text{m}$ ) in den Markstrahlen der Buche und der Stieleiche. Häufigkeitsverteilungen der Messwerte. N = 328 (Buche) resp. N = 995 (Stieleiche).

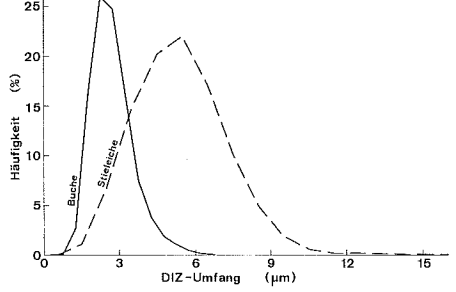
Fig. 106 Length of rectangular intercellular spaces in radial direction ( $\mu\text{m}$ ) in rays of beech and pedunculate oak: frequency distribution of measured values. N = 328 (beech) and 995 (pedunculate oak).



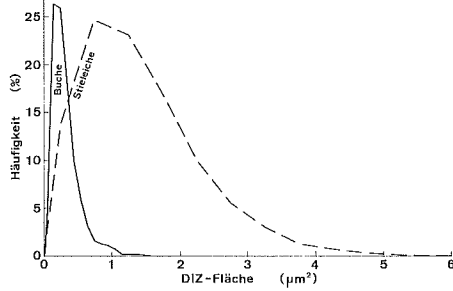
93



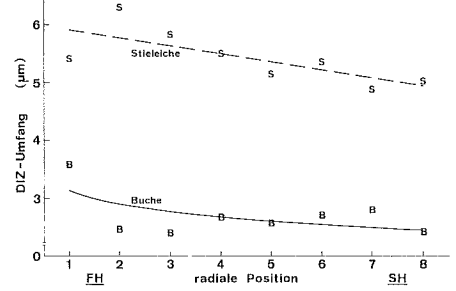
94



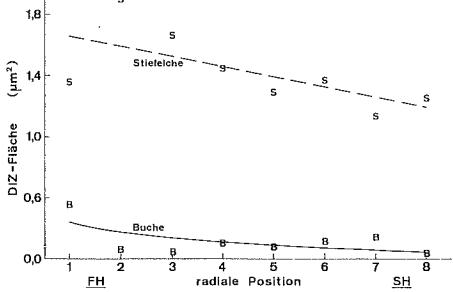
95



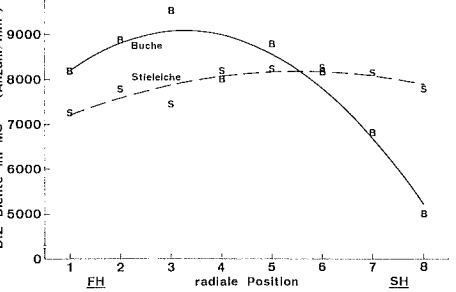
96



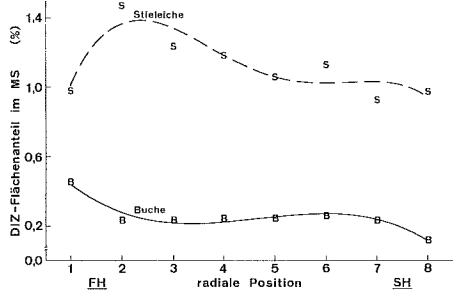
97



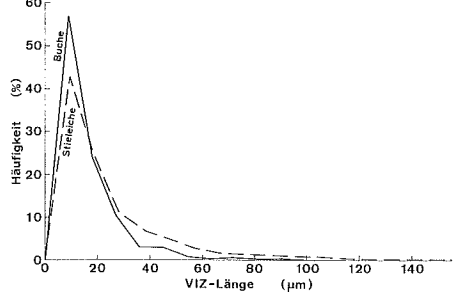
98



99



106



- Die statistische Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse ist am höchsten bei der Buche und den Dreieck-Interzellulardimensionen, am geringsten bei der Stieleiche und den Viereck-Interzellulardimensionen; die Traubeneiche und die Merkmale «Dichte» und «Flächenanteil» der Interzellularen im Markstrahl nehmen hierbei eine mittlere Stellung ein.
- Die Dreieck-Interzellulardimensionen der Buche und der Stieleiche sind mit der Position der Probe innerhalb des Jahrringes negativ korreliert.
- Die Dichte und der Flächenanteil der Dreieck-Interzellularen im Markstrahl zeigen keinen interpretierbaren Zusammenhang zur Jahrringentwicklung.
- Die Buchen- und Stieleichen-Dreieck-Interzellularen folgen innerhalb eines Jahrringes ähnlichen Entwicklungsmustern.
- Die Ergebnisse des zweiten Versuches (jahrringinterne Interzellularentwicklung) bestätigen jene aus dem ersten Versuch (Entwicklung der Interzellularen am Baumradius) weitgehend.

#### 5.24 *Topographie des Interzellularsystems im Markstrahl*

Die Messergebnisse der Dichte und des Flächenanteiles der Interzellularen im Markstrahl zeigten im ersten Versuch (am Baumradius) wie auch im zweiten Versuch (jahrringintern) starke Schwankungen, die uns auf die Variabilität in der Verteilung der IZf- und IZh-Bereiche im MS aufmerksam gemacht haben. Eine Untersuchung der topographischen Verteilung der IZ im MS der drei Holzarten erfolgte auf qualitativer und quantitativer Ebene, wobei die Topographie auf die Verteilung im Tangentialschnitt beschränkt wurde. Die qualitative Untersuchung bezweckte die Klärung der Frage nach den Gesetzmässigkeiten der topographischen Verteilung der IZf- und IZh-Bereiche im Markstrahl. Bilder 100 und 101 zeigen das Ergebnis dieser Untersuchung.

Der interzellulare freie Bereich des Buchenmarkstrahles stellt eine kompakte mittenständige Einheit dar, die nicht an die Markstrahloberfläche grenzt; die IZf-Bereiche der Eichenmarkstrahlen bestehen aus mehreren Einheiten, die in vertikaler Linie, oder in besonders breiten Markstrahlen in vertikalen Linien, angeordnet sind und ausnahmsweise auch anliegend an der Markstrahloberfläche gefunden werden können (Bild 101). Die quantitative Untersuchung dehnte die erste Fragestellung aus im Sinne der topographischen Verteilung der Zonen mit gleicher Dichte des Interzellularsystems im Markstrahl; das Ergebnis dieser Untersuchung ist im Bild 102 dargestellt.

Aus diesem Bild ist ersichtlich, dass nicht nur die IZf- und IZh-Bereiche, sondern auch die Zonen gleicher Interzellulardichte in den Markstrahlen der untersuchten Holzarten in vertikalen Gewebeabschnitten angeordnet sind. Die IZf-Bereiche sind mittenständig, die Bereiche der grössten Interzellulardichte sind aber nicht randständig, sondern lateral im Markstrahlgewebe eingepackt (Bild 102). Zwischen der Topographie des Interzellularsystems der Buchen- und der Eichenmarkstrahlen bestehen grundsätzliche Unterschiede,

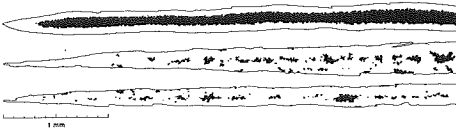


Bild 100 (links) Verteilung der interzellularenfreien Bereiche in den Markstrahlen der Buche, Stiel- und Traubeneiche (schwarze Flächen). Erklärungen im Text.

Fig. 100 (left) Distribution of areas without intercellular spaces in rays of beech, pedunculate oak and sessile oak (black areas). Explanation in text.

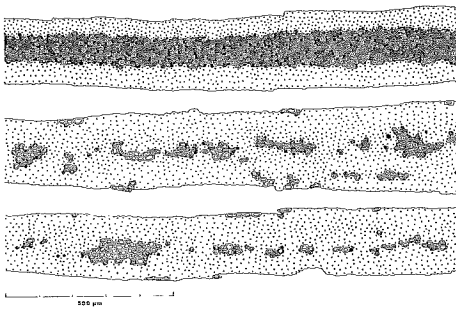


Bild 101 (rechts) Zelluläre Organisation der interzellularenfreien Bereiche in den Markstrahlen der Buche, Stiel- und Traubeneiche. Die Zellen in den interzellularenhaltigen Bereichen sind mit Punkten symbolisiert. Ausschnitte aus dem vorangehenden Bild. Erklärungen im Text.

Fig. 101 (right) Arrangement of cells in areas without intercellular spaces in rays of beech, pedunculate oak, and sessile oak. The cells of the area with intercellular spaces are represented by dots. Details from the preceding figure. Explanation in text.

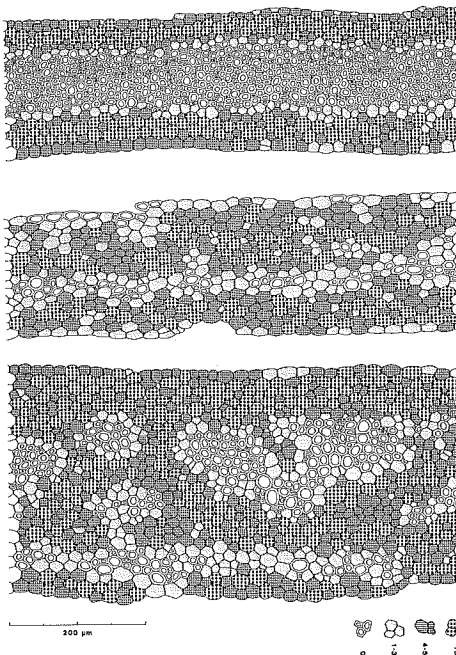


Bild 102 Zelluläre Organisation der interzellularenfreien Bereiche und leicht schematisierte Darstellung von Zonen gleicher Interzellulardichte in den interzellularenhaltigen Bereichen in den Markstrahlen der Buche, Stiel- und Traubeneiche. Erklärungen im Text.

Fig. 102 Arrangement of cells in areas without intercellular spaces and somewhat schematised representation of zones of equal density of intercellular spaces in areas with intercellular spaces in rays of beech, pedunculate oak, and sessile oak. Explanation in text.

dagegen können die Eichen aus dieser Sicht als identisch betrachtet werden. Interessant ist festzustellen, dass in den breiten Markstrahlen der Platane (*Platanus acerifolia* Willd., *P. occidentalis* L., *P. orientalis* L.) keine interzellularen Bereiche vorkommen. Zieht man die aussergewöhnliche holzanatomische Ähnlichkeit der Buche mit der Platane dieser beiden phylogenetisch und taxonomisch völlig unverwandten Arten in Betracht, so erscheint dieser Unterschied – IZf-Bereiche in den breiten Markstrahlen der Buche vorhanden, bei der Platane fehlend – aus diagnostischer Sicht als sehr nützlich. Das Differenzierungsprinzip IZf–IZh scheint in den breiten Markstrahlen der Fagaceen allgemeingültig zu sein, ungeachtet allfälliger Unterschiede in der Markstrahlontogenie. Umgekehrt fehlt dieses Prinzip in den breiten Markstrahlen der Platanaceen trotz vordergründiger Ähnlichkeiten im Bau und der Ontogenie der breiten Markstrahlen mit der Buche. Die ausgedehnteren interzellularen Bereiche der Stieleiche verglichen mit der Traubeneiche sind zur Breite der untersuchten Markstrahlen proportional.

Die Resultate können übersichtshalber wie folgt zusammengefasst werden:

- der interzellularen Bereich des Buchenmarkstrahles stellt eine kompakte mittenständige Einheit dar, die nicht an die Markstrahloberfläche grenzt,
- die interzellularen Bereiche der Eichenmarkstrahlen stellen mehrere Einheiten pro Markstrahl dar, die ausnahmsweise auch an der Markstrahloberfläche gefunden werden können,
- die interzellularen Bereiche und die Zonen gleicher Interzellulardichte sind in vertikalen Gewebeabschnitten angeordnet und
- zwischen der Topographie des Interzellularsystems im Buchen- und im Eichenmarkstrahl bestehen grundsätzliche Unterschiede, welche zwischen den Eichenmarkstrahlen fehlen.

### 5.25 Zusammenfassung, Vergleich der Holzarten und funktionelle Deutung der Ergebnisse

Die Gewebeanalyse wurde bei den drei Holzarten Buche, Stieleiche und Traubeneiche ausgeführt. Gegenstand der Untersuchung waren die Markstrahlen, die Markstrahlparenchymzellen und die Interzellularen; untersucht wurden morphologische Merkmale (Typ, Umfang, Fläche, Formfaktor) und mengenmässiges Vorkommen (Dichte, Volumenanteil) dieser Objekte. Als differenzierende Faktoren wurden die Artzugehörigkeit, die Position der Probe im Baumradius, die radiale Position im Jahrring und die Position der Probe im Markstrahl hinsichtlich der interzellularen freien und interzellularenhaltigen Bereiche berücksichtigt.

Die Ergebnisse können folgendermassen zusammengefasst werden:

1. Der Gewebeanteil der Markstrahlen und Markstrahltypen (bei den Eichen) ist ein gattungsspezifisches Merkmal. Ein Zusammenhang zwischen dem Markstrahlanteil und der radialen Position der Probe wurde nur im Holz der Stieleiche festgestellt.
2. Die Morphologie der Markstrahlparenchymzellen ist artspezifisch und

wird nur geringfügig von der radialen Position der Probe beeinflusst. Das Merkmal «Zellform» eignet sich für artbezogene Vergleichszwecke besser als die Merkmale «Zellumfang» oder «Zellfläche», da es eine wesentlich geringere klasseninterne Streuung aufweist als die beiden anderen Zellmerkmale. Form und Dimension der Markstrahlparenchymzellen sind eng miteinander korreliert: rundlichere Zellen sind grösser als längliche. Die Morphologie der Markstrahlparenchymzellen ist auch mit deren Position im Markstrahl korreliert: Zellen aus dem interzellularhaltigen Bereich sind durchschnittlich grösser und rundlicher als jene aus der interzellularfreien Zone des Markstrahles.

3. Die Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen ist eine holzartspezifische Grösse, welche mit der radialen Position der Probe schwach positiv korreliert ist. Ein mittelstarker Zusammenhang besteht zwischen der Morphologie der Markstrahlparenchymzellen und der Anzahl umgebender Interzellularen: grössere und rundlichere Zellen weisen durchschnittlich mehr umgebende Interzellularen auf als kleinere und längliche Markstrahlparenchymzellen.

4. Die Interzellularmorphologie ist eher gattungs- als holzartspezifisch, sie ist bei der Buche (nicht aber bei den Eichen) mit der radialen Position der Probe mittelstark positiv korreliert. Innerhalb eines Jahrringes besteht zwischen der radialen Position der Probe und der Interzellularmorphologie bei der Buche und der Stieleiche ein negativer Zusammenhang.

5. Das mengenmässige Vorkommen der Interzellularen zeigt einen deutlichen Zusammenhang mit der radialen Position der Probe, jedoch keinen interpretierbaren Zusammenhang mit der jahrringinternen Position. Ein klarer Zusammenhang mit den untersuchten Holzarten fehlt.

6. Die interzellularfreie – interzellularhaltige – Differenzierung ist gattungsspezifisch ausgebildet. Bei der Buche besteht im Markstrahl eine kompakte mittenständige interzellularfreie Einheit; bei den Eichen sind stets mehrere interzellularfreie Bereiche vorhanden, die ausnahmsweise auch an der Markstrahloberfläche anzutreffen sind. Die interzellularfreien Bereiche und die Zonen gleicher Interzellulardichte sind überall in vertikalen Gewebeabschnitten angeordnet.

Der Einfluss der differenzierenden Faktoren war wie folgt:

1. Die Buche unterscheidet sich grundlegend von den Eichen hinsichtlich Markstrahlanteil, Markstrahlparenchymzellenmorphologie, Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen und Interzellularmorphologie; die Unterschiede im mengenmässigen Vorkommen der Interzellularen sind nur teilweise statistisch gesichert. Die Eichen unterscheiden sich eher graduell, besonders nach dem Formfaktor der Markstrahlparenchymzellen, aber auch generell in der Markstrahlparenchymzellenmorphologie und nach der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen. Die Unterschiede in der Interzellularmorphologie sind wenig ausgeprägt; im Anteil der Markstrahlen und der Interzellularen bestehen keine Unterschiede zwischen diesen Holzarten.

2. Die radiale Position der Probe steht zur Hauptsache mit der Dichte und dem Flächenanteil der Interzellularen im Markstrahl in einem stärkeren Zusammenhang. Obschon von grösserem Ausmass, sind die diesbezüglichen Zusammenhänge zumeist von einem schwer interpretierbaren polynomialen Charakter und bisweilen statistisch nicht gesichert. Das Interzellularsystem der Buche ist enger mit der radialen Position der Probe korreliert als jenes der Eichen.

3. Die jahrringinterne Position der Probe steht im negativen Zusammenhang mit den Dreieck-Interzellularen in der Buche und der Stieleiche, während der polynomiale Zusammenhang zum mengenmässigen Vorkommen der Interzellularen bei den gleichen Holzarten schwer interpretierbar ist.

4. Die Zugehörigkeit zum interzellularen resp. interzellularenhaltigen Bereich steht in einem markanten Zusammenhang zur Markstrahlparenchymzellenmorphologie: die Zellen aus dem interzellularenhaltigen Bereich sind durchschnittlich grösser und rundlicher als jene aus dem interzellularenfreien Bereich.

Aus der Sicht der statistischen Signifikanz und praktischer Brauchbarkeit der Resultate für diagnostische und vergleichende Zwecke, beurteilt nach den Mindeststichprobenumfängen für die 95%ige Wahrscheinlichkeit, können die untersuchten Merkmale wie folgt bewertet werden:

1. Die besten Werte ergibt die Morphologie der Markstrahlparenchymzellen und hier ganz besonders der Zellformfaktor, der für die Unterscheidung der Eichenarten geeignet ist.

2. An zweiter Stelle steht die Interzellularmorphologie, wobei die Umfangwerte und die Dreieck-Interzellulardimensionen statistisch gesicherter sind als die Flächenwerte und die Viereck-Interzellulardaten.

3. Die Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen ergibt sehr homogene Stichproben, falls die Untersuchung auf den interzellularenhaltigen Bereich beschränkt wird.

4. Der Markstrahlanteil kann ebenfalls mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden, vorausgesetzt, dass die Anteile der breiten und einreihigen Markstrahlen bei den Eichen getrennt bestimmt werden.

5. Die Interzellulardichte und der Interzellularanteil in den Markstrahlen sind starken Schwankungen unterworfen und sind für die obigen Zwecke nicht gut geeignet.

Aus funktioneller Sicht können folgende Feststellungen und Folgerungen gemacht werden:

1. Eine topographische und gattungstypische Markstrahldifferenzierung in interzellularenfreien und interzellularenhaltigen Bereichen ist charakteristisch für die breiten Markstrahlen von *Fagus* und *Quercus*.

2. Die Markstrahlparenchymzellen und die Interzellularen stehen in engstem morphologischen Zusammenhang, was auf eine funktionelle Bedeutung der Interzellularen für die Markstrahlparenchymzellen schliessen lässt zum Beispiel im Gasaustausch.

2. Auf Grund der Ergebnisse kann folgende Arbeitshypothese aufgestellt werden: Die breiten Markstrahlen der Fagaceen bestehen im Splintholz aus zellphysiologisch verschiedenen Bereichen. Der zentralgelegene interzellularfreie Bereich ist aus kleinen und länglichen Zellen mit reduzierter oder fehlender Vitalität aufgebaut und dient vorwiegend dem radialen Wassertransport. Der randständige interzellularhaltige Bereich setzt sich aus Markstrahlparenchymzellen höherer Vitalität zusammen, die sich am Transport, der Speicherung und der Veratmung der Assimilate, der Bildung der Farbkernstoffe und an dem Gefässverschluss durch die Verthyllung beteiligen. Die Gültigkeit dieser Arbeitshypothese kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit aus methodischen und sachlichen Gründen nicht überprüft werden.

Tabelle 10 Markstrahlanteil der Buche und der Stieleiche im Zusammenhang mit ausgewählten Faktoren

Table 10 Percentage of ray tissue in beech and pedunculate oak in relation to selected factors

Holzart – Faktor	Markstrahlanteil (%)			Autor	
	$x_{\min}$	$\bar{x}$	$x_{\max}$		
<b>Buche</b>					
– allgemein	22,6	27,0	30,0	B. Huber und G. Prütz 1938	
	3,6		36,7	G. Linnemann 1953	
	10	17	25	H. Schulz 1957	
	11,2	15,7	21,2	H. Süss und W. R. Müller-Stoll 1972	
– Alter (Jahre)	1– 90	17,4		H. Schulz 1957	
	91–180	17,7			
	1– 30	18,9			
	31– 60	17,8			
	61– 90	14,2			
	91–120	17,2			
	121–150	17,2			
	151–180	18,8			
– Baumklasse	6		19	Ch. Koltzenburg 1967	
– Bestand: freiwachsend geschlossen		17,3		H. Schulz 1957	
		14,4			
– Beschattungsstufe	24		28	Ch. Koltzenburg 1967	
– Bodenbeschaffenheit	15		17	Ch. Koltzenburg 1967	
– Jahrringbreite (mm)	0,1– 1	13,7		H. Schulz 1957	
	1,1– 3	16,7			
	3,1–10	18,2			
– Raumdichtezahl (kg/fm)	440–510	14,3		H. Schulz 1957	
	511–580	16,0			
	581–640	18,5			
<b>Stieleiche</b>					
– Jahrringbreite	eng	14,4	16,2	17,9	B. Huber und G. Prütz 1938
	weit	25,1	29,3	33,0	

Tabelle 11 Markstrahlanteil (%) der untersuchten Holzarten

Table 11 Percentage of ray tissue in the species investigated

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	8	8	8
Mittelwert	25,26	20,79	19,54
Vertrauensintervall (P = 95%)	± 1,75	± 1,63	± 1,96
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	2,94	3,32	4,25
Mindestprobenumfang (P = 95%)	2,8	3,5	5,8
kleinster Wert	22,98	17,24	15,21
grösster Wert	29,23	22,61	22,33



Tabelle 12 Vergleich des Markstrahlanteiles (%) der untersuchten Holzarten

Table 12 Comparison of percentage ray tissue in the species investigated

Parameter/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
Tabellenwert F	3,79	3,79	3,79
bei P (%)	95	95	95
und FG	7/7	7/7	7/7
Testwert F	1,16	1,25	1,45
Signifikanz	–	–	–
Tabellenwert t	2,14	2,14	2,14
bei P (%)	95	95	95
und FG	14	14	14
Testwert t	4,41	5,14	1,16
Signifikanz	**	**	–

Tabelle 13 Zusammensetzung des Markstrahlanteils der Eichen (%): Mittelwerte mit Vertrauensgrenzen (P = 95%)

Table 13 Percentage of ray types in ray tissue in the oak species investigated: mean values and limits of confidence (P = 95%)

Typus/Holzart	Stieleiche	Traubeneiche
einreihige Markstrahlen	13,30 ± 0,83	13,09 ± 1,49
breite Markstrahlen	7,49 ± 1,11	6,45 ± 1,45
Markstrahlentotal	20,79 ± 1,63	19,54 ± 1,96

Tabelle 14 Zusammenhang zwischen dem Markstrahlanteil (%) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)

Table 14 Relationship between percentage of ray tissue and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,300	0,909	0,213
Bestimmtheitsmass (%)	8,98	82,55	4,52
Tabellenwert t <sub>r</sub>	2,45	3,71	2,45
bei P (%)	95	99	95
und FG	6	6	6
Testwert t <sub>r</sub>	0,77	5,34	0,53
Signifikanz	–	**	–
Regressionstypus	polynomial	polynomial	linear
Tabellenwert F	6,59	5,79	5,99
bei P (%)	95	95	95
und FG	3/4	2/5	1/6
Testwert F	0,13	11,84	0,28
Signifikanz	–	*	–

Tabelle 15 Umfang der Markstrahlparenchymzellen ( $\mu\text{m}$ )Table 15 Circumference of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}$ )

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	8000	8000	8000
Mittelwert	43,15	50,10	53,82
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,25	0,26	0,26
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	0,29	0,26	0,24
Mindestprobenumfang (P = 95%)	27,3	22,4	19,0
kleinster Wert	13,22	15,68	15,30
grösster Wert	91,01	110,77	109,14

Tabelle 16 Fläche der Markstrahlparenchymzellen ( $\mu\text{m}^2$ )Table 16 Area of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}^2$ )

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	8000	8000	8000
Mittelwert	137,13	185,95	198,85
Vertrauensintervall (P = 95%)	1,67	1,96	1,92
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	0,62	0,54	0,49
Mindestprobenumfang (P = 95%)	124,0	92,4	77,6
kleinster Wert	7,85	16,58	12,75
grösster Wert	530,88	855,44	748,81

Tabelle 17 Formfaktor der Markstrahlparenchymzellen

Table 17 Shape factor of ray parenchyma cells

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	8000	8000	8000
Mittelwert	0,8433	0,8716	0,8188
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,0018	0,0015	0,0015
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	0,11	0,09	0,09
Mindestprobenumfang (P = 95%)	4,0	2,4	2,6
kleinster Wert	0,5005	0,5078	0,5019
grösster Wert	0,9760	0,9755	0,9586

Tabelle 18 Vergleich des Markstrahlparenchymzellen-Umfanges ( $\mu\text{m}$ )Table 18 Comparison of circumference of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}$ )

Parameter/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
Tabellenwert F	1,11	1,08	1,08
bei P (%)	99	95	95
und FG	7999/7999	7999/7999	7999/7999
Testwert F	1,11	1,08	1,02
Signifikanz	**	*	–
Tabellenwert t	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	15957	15973	15998
Testwert t	37,93	58,64	19,98
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 19 Vergleich der Markstrahlparenchymzellen-Fläche ( $\mu\text{m}^2$ )Table 19 Comparison of area of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}^2$ )

Parameter/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
Tabellenwert F	1,15	1,15	1,08
bei P (%)	99,9	99,9	95
und FG	7999/7999	7999/7999	7999/7999
Testwert F	1,37	1,32	1,04
Signifikanz	***	***	–
Tabellenwert t	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	15617	15705	15998
Testwert t	37,15	47,51	9,22
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 20 Vergleich des Markstrahlparenchymzellen-Formfaktors

Table 20 Comparison of shape factor of ray parenchyma cells

Parameter/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
Tabellenwert F	1,15	1,15	1,08
bei P (%)	99,9	99,9	95
und FG	7999/7999	7999/7999	7999/7999
Testwert F	1,53	1,60	1,05
Signifikanz	***	***	–
Tabellenwert t	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	15325	15181	15998
Testwert t	23,46	20,45	49,75
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 21 Zusammenhang zwischen dem Umfang der Markstrahlparenchymzellen ( $\mu\text{m}$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)Table 21 Relationship between circumference of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}$ ) and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,129	0,066	0,111
Bestimmtheitsmass (%)	1,65	0,43	1,22
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	7998	7998	7998
Testwert $t_r$	11,63	5,88	9,99
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	polynomial	polynomial	polynomial
Tabellenwert F	5,43	4,62	4,62
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	3/7996	4/7995	4/7995
Testwert F	44,81	8,65	24,78
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 22 Zusammenhang zwischen der Fläche der Markstrahlparenchymzellen ( $\mu\text{m}^2$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)Table 22 Relationship between area of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}^2$ ) and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,096	0,060	0,112
Bestimmtheitsmass (%)	0,91	0,36	1,25
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	7998	7998	7998
Testwert $t_r$	8,59	5,38	10,08
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	polynomial	polynomial	polynomial
Tabellenwert F	5,43	4,62	4,62
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	3/7996	4/7995	4/7995
Testwert F	24,59	7,24	25,26
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 23 Zusammenhang zwischen dem Formfaktor der Markstrahlparenchymzellen und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)

Table 23 Relationship between shape factor of ray parenchyma cells and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,112	0,214	0,234
Bestimmtheitsmass (%)	1,25	4,56	5,49
Tabellenwert $t_r$ bei P (%) und FG	3,34 99,9 7998	3,34 99,9 7998	3,34 99,9 7998
Testwert $t_r$	10,08	19,59	21,52
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	logarithmisch	polynomial	polynomial
Tabellenwert F bei P (%) und FG	10,83 99,9 1/7998	5,43 99,9 3/7996	6,91 99,9 2/7997
Testwert F	100,90	127,31	232,33
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 24 Zusammenhang zwischen dem Umfang ( $\mu\text{m}$ ) und dem Formfaktor der MarkstrahlparenchymzellenTable 24 Relationship between circumference ( $\mu\text{m}$ ) and shape factor of ray parenchyma cells

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,606	0,398	0,229
Bestimmtheitsmass (%)	36,78	15,82	5,23
Tabellenwert $t_r$ bei P (%) und FG	3,34 99,9 7998	3,34 99,9 7998	3,34 99,9 7998
Testwert $t_r$	68,13	38,80	21,04
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	exponential	exponential	exponential
Tabellenwert F bei P (%) und FG	10,83 99,9 1/7998	10,83 99,9 1/7998	10,83 99,9 1/7998
Testwert F	4653,56	1503,44	441,26
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 25 Zusammenhang zwischen der Fläche ( $\mu\text{m}^2$ ) und dem Formfaktor der MarkstrahlparenchymzellenTable 25 Relationship between area ( $\mu\text{m}^2$ ) and shape factor of ray parenchyma cells

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,710	0,523	0,393
Bestimmtheitsmass (%)	50,39	27,39	15,42
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	7998	7998	7998
Testwert $t_r$	90,17	54,88	38,22
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	exponential	exponential	exponential
Tabellenwert F	10,83	10,83	10,83
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	1/7998	1/7998	1/7998
Testwert F	8124,88	3017,61	1457,60
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 26 Umfang der Markstrahlparenchymzellen ( $\mu\text{m}$ ) im interzellularen BereichTable 26 Circumference of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}$ ) in ray area without intercellular spaces

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	1000	1000	1000
Mittelwert	37,78	42,52	49,75
Vertrauensintervall (P=95%)	0,58	0,60	0,78
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	0,79	0,72	0,80
Mindestprobenumfang (P=95%)	24,7	20,7	25,61
kleinster Wert	13,46	19,57	19,05
grösster Wert	68,81	83,68	92,81

Tabelle 27 Umfang der Markstrahlparenchymzellen ( $\mu\text{m}$ ) im interzellularen BereichTable 27 Circumference of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}$ ) in ray area with intercellular spaces

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	1000	1000	1000
Mittelwert	46,91	47,66	53,74
Vertrauensintervall (P=95%)	0,66	0,68	0,67
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	0,72	0,73	0,63
Mindestprobenumfang (P=95%)	20,6	21,3	16,0
kleinster Wert	15,75	15,11	24,15
grösster Wert	78,62	79,71	93,13

Tabelle 28 Fläche der Markstrahlparenchymzellen ( $\mu\text{m}^2$ ) im interzellularen BereichTable 28 Area of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}^2$ ) in ray area without intercellular spaces

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	1000	1000	1000
Mittelwert	104,25	126,69	171,54
Vertrauensintervall (P = 95%)	3,27	3,88	5,48
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	1,60	1,56	1,63
Mindestprobenumfang (P = 95%)	102,2	97,9	106,1
kleinster Wert	11,02	21,21	19,61
grösster Wert	351,48	511,78	526,00

Tabelle 29 Fläche der Markstrahlparenchymzellen ( $\mu\text{m}^2$ ) im interzellularen BereichTable 29 Area of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}^2$ ) in ray area with intercellular spaces

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	1000	1000	1000
Mittelwert	171,56	175,76	208,06
Vertrauensintervall (P = 95%)	4,84	4,94	5,22
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	1,44	1,44	1,28
Mindestprobenumfang (P = 95%)	83,0	82,4	65,5
kleinster Wert	16,78	15,42	36,81
grösster Wert	472,75	490,03	624,40

Tabelle 30 Formfaktor der Markstrahlparenchymzellen im interzellularen Bereich

Table 30 Shape factor of ray parenchyma cells in ray area without intercellular spaces

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	1000	1000	1000
Mittelwert	0,8483	0,8192	0,8045
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,0039	0,0039	0,0039
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	0,24	0,24	0,25
Mindestprobenumfang (P = 95%)	2,2	2,4	2,5
kleinster Wert	0,6065	0,5319	0,5034
grösster Wert	0,9653	0,9610	0,9365

Tabelle 31 Formfaktor der Markstrahlparenchymzellen im interzellularen Bereich

Table 31 Shape factor of ray parenchyma cells in ray area with intercellular spaces

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	1000	1000	1000
Mittelwert	0,9239	0,9141	0,8674
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,0027	0,0027	0,0029
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	0,15	0,15	0,17
Mindestprobenumfang (P = 95%)	0,9	0,9	1,1
kleinster Wert	0,5984	0,6088	0,6092
grösster Wert	0,9718	0,9780	0,9589

Tabelle 32 Vergleich des Markstrahlparenchymzellen-Umfanges ( $\mu\text{m}$ ) in den untersuchten MarkstrahlbereichenTable 32 Comparison of circumference of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}$ ) in the different ray areas investigated

Parameter/Vergleich	Buche IZf-IZh	Stieleiche IZf-IZh	Traubeneiche IZf-IZh
Tabellenwert F bei P (%) und FG	1,22 99,9 999/999	1,22 99,9 999/999	1,22 95 999/999
Testwert F Signifikanz	1,29 ***	1,29 ***	1,37 ***
Tabellenwert t bei P (%) und FG	3,34 99,9 1966	3,34 99,9 1965	3,34 99,9 1950
Testwert t Signifikanz	20,36 ***	11,09 ***	7,62 ***

Tabelle 33 Vergleich der Markstrahlparenchymzellen-Fläche ( $\mu\text{m}^2$ ) in den untersuchten MarkstrahlbereichenTable 33 Comparison of area of ray parenchyma cells ( $\mu\text{m}^2$ ) in the different ray areas investigated

Parameter/Vergleich	Buche IZf-IZh	Stieleiche IZf-IZh	Traubeneiche IZf-IZh
Tabellenwert F bei P (%) und FG	1,22 99,9 999/999	1,22 99,9 999/999	1,11 95 999/999
Testwert F Signifikanz	2,20 ***	1,62 ***	1,10 -
Tabellenwert t bei P (%) und FG	3,34 99,9 1751	3,34 99,9 1892	3,34 99,9 1998
Testwert t Signifikanz	22,58 ***	15,30 ***	9,46 ***

Tabelle 34 Vergleich des Markstrahlparenchymzellen-Formfaktors in den untersuchten Markstrahlbereichen

Table 34 Comparison of shape factor of ray parenchyma cells in the different ray areas investigated

Parameter/Vergleich	Buche IZf-IZh	Stieleiche IZf-IZh	Traubeneiche IZf-IZh
Tabellenwert F bei P (%) und FG	1,22 99,9 999/999	1,22 99,9 999/999	1,22 95 999/999
Testwert F Signifikanz	2,10 ***	2,13 ***	1,85 ***
Tabellenwert t bei P (%) und FG	3,34 99,9 1773	3,34 99,9 1768	3,34 99,9 1835
Testwert t Signifikanz	31,04 ***	39,29 ***	25,42 ***



Tabelle 35 Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzelle

Table 35 Number of intercellular spaces per ray parenchyma cell

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	8000	8000	8000
Mittelwert	2,121	3,473	2,806
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,056	0,047	0,049
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	1,34	0,70	0,89
Mindestprobenumfang (P = 95%)	577	155	255
kleinster Wert	0	0	0
grösster Wert	9	10	10

Tabelle 36 Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen aus dem interzellularen Bereich

Table 36 Number of intercellular spaces per ray parenchyma cell in ray area with intercellular spaces

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	1000	1000	1000
Mittelwert	5,642	5,159	4,741
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,066	0,087	0,091
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	0,60	0,86	0,98
Mindestprobenumfang (P = 95%)	14,2	29,9	38,4
kleinster Wert	1	1	1
grösster Wert	8	9	8

Tabelle 37 Vergleich der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen

Table 37 Comparison of number of intercellular spaces per ray parenchyma cell

Parameter/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
Tabellenwert F	1,15	1,15	1,08
bei P (%)	99,9	99,9	95
und FG	7999/7999	7999/7999	7999/7999
Testwert F	1,39	1,29	1,08
Signifikanz	***	***	*
Tabellenwert t	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	15583	15742	15976
Testwert t	36,19	18,05	19,16
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 38 Vergleich der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen aus dem interzellulärhaltigen Bereich

Table 38 Comparison of number of intercellular spaces per ray parenchyma cell in ray area with intercellular spaces

Parameter/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
Tabellenwert F	1,22	1,22	1,11
bei P (%)	99,9	99,9	95
und FG	999/999	999/999	999/999
Testwert F	1,76	1,91	1,08
Signifikanz	***	***	–
Tabellenwert t	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	1857	1820	1998
Testwert t	8,65	15,72	6,49
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 39 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen und dem Zellumfang ( $\mu\text{m}$ )Table 39 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell circumference ( $\mu\text{m}$ )

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,551	0,350	0,253
Bestimmtheitsmass (%)	30,40	12,22	6,40
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	7998	7998	7998
Testwert $t_r$	59,05	33,41	23,39
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	linear	logarithmisch	logarithmisch
Tabellenwert F	10,83	10,83	10,83
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	1/7998	1/7998	1/7998
Testwert F	3492,99	1113,81	547,18
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 40 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen und der Zellfläche ( $\mu\text{m}^2$ )Table 40 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell area ( $\mu\text{m}^2$ )

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,611	0,413	0,318
Bestimmtheitsmass (%)	37,29	17,05	10,14
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34	3,34
bei P (%) und FG	99,9 7998	99,9 7998	99,9 7998
Testwert $t_r$	69,03	40,56	30,00
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	linear	logarithmisch	logarithmisch
Tabellenwert F	10,83	10,83	10,83
bei P (%) und FG	99,9 1/7998	99,9 1/7998	99,9 1/7998
Testwert F	4755,90	1644,02	902,68
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 41 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen und dem Formfaktor

Table 41 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell shape factor

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,599	0,597	0,469
Bestimmtheitsmass (%)	35,87	35,70	21,98
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34	3,34
bei P (%) und FG	99,9 7998	99,9 7998	99,9 7998
Testwert $t_r$	66,90	66,55	47,49
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	linear	linear	linear
Tabellenwert F	10,83	10,83	10,83
bei P (%) und FG	99,9 1/7998	99,9 1/7998	99,9 1/7998
Testwert F	4472,84	4440,60	2253,50
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 42 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen und dem Zellumfang ( $\mu\text{m}$ ) im interzellulärhaltigen BereichTable 42 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell circumference ( $\mu\text{m}$ ) in ray area with intercellular spaces

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,722	0,632	0,418
Bestimmtheitsmass (%)	52,06	40,00	17,46
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	998	998	998
Testwert $t_r$	32,97	25,76	14,54
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	logarithmisch	logarithmisch	logarithmisch
Tabellenwert F	10,89	10,89	10,89
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	1/998	1/998	1/998
Testwert F	1083,80	665,26	211,11
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 43 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen und der Zellfläche ( $\mu\text{m}^2$ ) im interzellulärhaltigen BereichTable 43 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell area ( $\mu\text{m}^2$ ) in ray area with intercellular spaces

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,754	0,660	0,466
Bestimmtheitsmass (%)	56,86	43,60	21,72
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	998	998	998
Testwert $t_r$	36,26	27,75	16,64
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	logarithmisch	logarithmisch	logarithmisch
Tabellenwert F	10,89	10,89	10,89
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	1/998	1/998	1/998
Testwert F	1315,20	771,65	276,90
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 44 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen und dem Formfaktor im interzellulärhaltigen Bereich

Table 44 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and cell shape factor in ray area with intercellular spaces

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,697	0,671	0,494
Bestimmtheitsmass (%)	48,55	45,06	24,38
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	998	998	998
Testwert $t_r$	30,71	28,59	17,95
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	linear	linear	linear
Tabellenwert F	10,89	10,89	10,89
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	1/998	1/998	1/998
Testwert F	941,80	818,52	321,77
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 45 Zusammenhang zwischen der Anzahl Interzellularen pro Markstrahlparenchymzellen und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)

Table 45 Relationship between number of intercellular spaces per ray parenchyma cell and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,104	0,223	0,494
Bestimmtheitsmass (%)	1,09	4,97	24,37
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	7998	7998	7998
Testwert $t_r$	9,35	20,46	50,81
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	linear	linear	polynomial
Tabellenwert F	10,83	10,83	6,91
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	1/7998	1/7998	2/7997
Testwert F	88,20	418,15	1288,31
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 46 Übersicht der geprüften Vergleiche nach Holzarten geordnet; Erklärungen im Text  
 Table 46 Summary of comparisons by species; explanation in text

Merkmal/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
MSPZ-Umfang	37,93	58,64	19,98
MSPZ-Fläche	37,15	47,51	9,22
MSPZ-Formfaktor	23,46	20,45	49,75
Anzahl IZ pro MSPZ	36,19	18,05	19,16
Anzahl IZ pro MSPZ im IZh-Bereich	8,65	15,72	6,49

	Buche IZf–IZh	Stieleiche IZf–IZh	Traubeneiche IZf–IZh
MSPZ-Umfang	20,36	11,09	7,62
MSPZ-Fläche	22,58	15,30	9,46
MSPZ-Formfaktor	31,04	39,29	25,42

Tabelle 47 Übersicht der geprüften Zusammenhänge nach Holzarten geordnet; Erklärungen im Text  
 Table 47 Summary of relationships by species; explanation in text

Zusammenhang/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
MSPZ-Umfang			
– radiale Position	p 1,7	p 0,4	p 1,2
MSPZ-Fläche			
– radiale Position	p 0,9	p 0,4	p 1,3
MSPZ-Formfaktor			
– radiale Position	+ 1,3	p 4,6	p 5,5
Anzahl IZ pro MSPZ			
– radiale Position	+ 1,1	+ 5,0	p 24,4
MSPZ-Umfang			
– MSPZ-Formfaktor	+ 36,8	+ 15,8	+ 5,2
MSPZ-Fläche			
– MSPZ-Formfaktor	+ 50,4	+ 27,4	+ 15,4
Anzahl IZ pro MSPZ			
– MSPZ-Umfang	+ 30,4	+ 12,2	+ 6,4
Anzahl IZ pro MSPZ			
– MSPZ-Fläche	+ 37,3	+ 17,1	+ 10,1
Anzahl IZ pro MSPZ			
– MSPZ-Formfaktor	+ 35,9	+ 35,7	+ 22,0
Anzahl IZ pro MSPZ			
– MSPZ-Umfang im IZh-Bereich	+ 52,1	+ 40,0	+ 17,5
Anzahl IZ pro MSPZ			
– MSPZ-Fläche im IZh-Bereich	+ 56,9	+ 43,6	+ 21,7
Anzahl IZ pro MSPZ			
– MSPZ-Formfaktor im IZh-Bereich	+ 48,6	+ 45,1	+ 24,4

Tabelle 48 Anzahl der untersuchten Interzellularen, nach der Holzart und dem Interzellulartypus geordnet

Table 48 Number of intercellular spaces observed by species and type of intercellular space

IZ-Typus	Holzart					
	Buche		Stieleiche		Traubeneiche	
	abs.	%	abs.	%	abs.	%
DIZ	3059	99,87	8000	95,07	8000	95,93
VIZ	4	0,13	415	4,93	339	4,07
Total	3063	100,00	8415	100,00	8339	100,00

Tabelle 49 Umfang der Dreieck-Interzellularen ( $\mu\text{m}$ )Table 49 Circumference of triangular intercellular spaces ( $\mu\text{m}$ )

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	3059	8000	8000
Mittelwert	3,499	5,174	5,169
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,038	0,038	0,039
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	0,56	0,38	0,39
Mindestprobenumfang (P = 95%)	38,0	45,5	48,0
kleinster Wert	0,905	1,087	1,233
grösster Wert	7,723	14,781	14,891

Tabelle 50 Fläche der Dreieck-Interzellularen ( $\mu\text{m}^2$ )Table 50 Area of triangular intercellular spaces ( $\mu\text{m}^2$ )

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	3059	8000	8000
Mittelwert	0,568	1,275	1,200
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,012	0,019	0,018
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	1,10	0,74	0,77
Mindestprobenumfang (P = 95%)	147,6	177,5	191,5
kleinster Wert	0,038	0,051	0,060
grösster Wert	2,475	7,382	7,130

Tabelle 51 Umfang der Viereck-Interzellularen ( $\mu\text{m}$ )Table 51 Circumference of rectangular intercellular spaces ( $\mu\text{m}$ )

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	4	415	339
Mittelwert		12,966	13,765
Vertrauensintervall (P = 95%)		0,357	0,377
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes		1,40	1,40
Mindestprobenumfang (P = 95%)		32,7	26,4
kleinster Wert		5,942	5,911
grösster Wert		27,180	26,847

Tabelle 52 Fläche der Viereck-Interzellularen ( $\mu\text{m}^2$ )Table 52 Area of rectangular intercellular spaces ( $\mu\text{m}^2$ )

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	4	415	339
Mittelwert		7,493	7,674
Vertrauensintervall (P = 95%)		0,402	0,397
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes		2,74	2,64
Mindestprobenumfang (P = 95%)		124,2	94,3
kleinster Wert		1,349	1,390
grösster Wert		30,406	20,665

Tabelle 53 Vergleich des Dreieck-Interzellular-Umfanges ( $\mu\text{m}$ )Table 53 Comparison of circumference of triangular intercellular spaces ( $\mu\text{m}$ )

Parameter/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
Tabellenwert F bei P (%) und FG	1,15 99,9 3058/7999	1,15 99,9 3058/7999	1,08 95 7999/7999
Testwert F	2,61	2,76	1,05
Signifikanz	***	***	–
Tabellenwert t bei P (%) und FG	3,34 99,9 8847	3,34 99,9 9054	1,97 95 15998
Testwert t	60,72	59,73	0,19
Signifikanz	***	***	–

Tabelle 54 Vergleich der Dreieck-Interzellular-Fläche ( $\mu\text{m}^2$ )Table 54 Comparison of area of triangular intercellular spaces ( $\mu\text{m}^2$ )

Parameter/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
Tabellenwert F bei P (%) und FG	1,15 99,9 3058/7999	1,15 99,9 3058/7999	1,08 95 7999/7999
Testwert F	6,07	5,80	1,05
Signifikanz	***	***	–
Tabellenwert t bei P (%) und FG	3,34 99,9 11023	3,34 99,9 10992	3,34 99,9 15998
Testwert t	62,27	56,55	5,66
Signifikanz	***	***	***



Tabelle 55 Vergleich der Viereck-Interzellulärmerkmale der Stiel- und Traubeneiche

Table 55 Comparison of parameters for rectangular intercellular spaces in pedunculate oak and sessile oak

Parameter/Merkmal	Umfang ( $\mu\text{m}$ )	Fläche ( $\mu\text{m}^2$ )
Tabellenwert F	1,19	1,19
bei P (%)	95	95
und FG	414/338	414/338
Testwert F	1,26	1,10
Signifikanz	*	—
Tabellenwert t	1,95	2,60
bei P (%)	95	99
und FG	746	752
Testwert t	0,63	3,01
Signifikanz	—	**

Tabelle 56 Dichte der Interzellularen im Markstrahl (Anzahl/mm<sup>2</sup>)Table 56 Density of intercellular spaces within rays (no./mm<sup>2</sup>)

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	8	8	8
Mittelwert	5488	5556	4290
Vertrauensintervall (P = 95%)	1147	1223	1961
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	8,86	9,33	19,37
Mindestprobenumfang (P = 95%)	25,1	27,9	120,0
kleinster Wert	3972	3178	1981
grösster Wert	7301	7648	8986

Tabelle 57 Flächenanteil der Interzellularen im Markstrahl (%)

Table 57 Percentage area of intercellular spaces within rays

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Anzahl Messungen	8	8	8
Mittelwert	0,309	0,859	0,633
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,133	0,144	0,314
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	18,21	7,11	21,03
Mindestprobenumfang (P = 95%)	106,1	16,2	141,5
kleinster Wert	0,135	0,582	0,279
grösster Wert	0,525	1,144	1,396

Tabelle 58 Vergleich der Dichte der Interzellularen im Markstrahl (Anzahl/mm<sup>2</sup>)Table 58 Comparison of density of intercellular spaces within rays (no./mm<sup>2</sup>)

Parameter/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
Tabellenwert F	3,79	3,79	3,79
bei P (%)	95	95	95
und FG	7/7	7/7	7/7
Testwert F	1,14	2,92	2,57
Signifikanz	–	–	–
Tabellenwert t	2,15	2,15	2,15
bei P (%)	95	95	95
und FG	14	14	14
Testwert t	0,10	1,24	1,29
Signifikanz	–	–	–

Tabelle 59 Vergleich des Flächenanteils der Interzellularen im Markstrahl (%)

Table 59 Comparison of percentage area of intercellular spaces within rays

Parameter/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
Tabellenwert F	3,79	3,79	3,79
bei P (%)	95	95	95
und FG	7/7	7/7	7/7
Testwert F	1,18	5,58	4,75
Signifikanz	–	*	*
Tabellenwert t	4,14	2,26	2,26
bei P (%)	99,9	95	95
und FG	14	9	9
Testwert t	6,61	2,24	1,54
Signifikanz	***	–	–

Tabelle 60 Zusammenhang zwischen dem Dreieck-Interzellular-Umfang (µm) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)

Table 60 Relationship between circumference of triangular intercellular spaces (µm) and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,438	0,061	0,226
Bestimmtheitsmass (%)	19,18	0,38	5,09
Tabellenwert t <sub>r</sub>	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	3057	7998	7998
Testwert t <sub>r</sub>	26,94	5,47	20,75
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	linear	logarithmisch	logarithmisch
Tabellenwert F	10,86	10,83	10,83
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	1/3057	1/7998	1/7998
Testwert F	725,63	30,34	428,84
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 61 Zusammenhang zwischen der Dreieck-Interzellular-Fläche ( $\mu\text{m}^2$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)Table 61 Relationship between area of triangular intercellular spaces ( $\mu\text{m}^2$ ) and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,424	0,074	0,198
Bestimmtheitsmass (%)	17,99	0,555	3,92
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	3057	7998	7998
Testwert $t_r$	25,88	6,64	18,07
Signifikanz	***	***	***
Regressionstypus	linear	logarithmisch	polynomial
Tabellenwert F	10,86	10,83	10,83
bei P (%)	99,9	99,9	99,9
und FG	1/3057	1/7998	2/7997
Testwert F	670,38	44,61	163,10
Signifikanz	***	***	***

Tabelle 62 Zusammenhang zwischen dem Viereck-Interzellular-Umfang ( $\mu\text{m}$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)Table 62 Relationship between circumference of rectangular intercellular spaces ( $\mu\text{m}$ ) and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,087	0,077
Bestimmtheitsmass (%)	0,76	0,60
Tabellenwert $t_r$	1,97	1,97
bei P (%)	95	95
und FG	413	337
Testwert $t_r$	1,77	1,42
Signifikanz	-	-
Regressionstypus	logarithmisch	linear
Tabellenwert F	3,86	3,87
bei P (%)	95	95
und FG	1/413	1/337
Testwert F	3,15	2,02
Signifikanz	-	-

Tabelle 63 Zusammenhang zwischen der Viereck-Interzellular-Fläche ( $\mu\text{m}^2$ ) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)

Table 63 Relationship between area of rectangular intercellular spaces ( $\mu\text{m}^2$ ) and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,112	0,130
Bestimmtheitsmass (%)	1,25	1,68
Tabellenwert $t_r$	1,97	1,97
bei P (%)	95	95
und FG	413	337
Testwert $t_r$	2,29	2,41
Signifikanz	*	*
Regressionstypus	logarithmisch	linear
Tabellenwert F	3,86	3,87
bei P (%)	95	95
und FG	1/413	1/337
Testwert F	5,24	5,75
Signifikanz	*	*

Tabelle 64 Zusammenhang zwischen der Dichte der Interzellularen im Markstrahl (Anzahl/mm<sup>2</sup>) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)

Table 64 Relationship between density of intercellular spaces within rays (no./mm<sup>2</sup>) and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,837	0,589	0,877
Bestimmtheitsmass (%)	70,10	34,64	76,94
Tabellenwert $t_r$	3,71	2,45	3,71
bei P (%)	99	95	99
und FG	6	6	6
Testwert $t_r$	3,75	1,79	4,47
Signifikanz	**	-	**
Regressionstypus	linear	linear	polynomial
Tabellenwert F	13,75	5,99	5,79
bei P (%)	99	95	95
und FG	1/6	1/6	2/5
Testwert F	14,07	3,18	8,34
Signifikanz	**	-	*

Tabelle 65 Zusammenhang zwischen der Dichte der Dreieck-Interzellularen im Markstrahl (Anzahl/mm<sup>2</sup>) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)Table 65 Relationship between density of triangular intercellular spaces within rays (no./mm<sup>2</sup>) and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,839	0,609	0,878
Bestimmtheitsmass (%)	70,39	37,14	77,05
Tabellenwert $t_r$	3,71	2,45	3,71
bei P (%)	99	95	99
und FG	6	6	6
Testwert $t_r$	3,78	1,88	4,49
Signifikanz	**	–	**
Regressionstypus	linear	linear	polynomial
Tabellenwert F	13,75	5,99	5,79
bei P (%)	99	95	95
und FG	1/6	1/6	2/5
Testwert F	14,26	3,55	8,39
Signifikanz	**	–	*

Tabelle 66 Zusammenhang zwischen der Dichte der Viereck-Interzellularen im Markstrahl (Anzahl/mm<sup>2</sup>) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)Table 66 Relationship between density of rectangular intercellular spaces within rays (no./mm<sup>2</sup>) and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,809	0,671
Bestimmtheitsmass (%)	65,38	45,00
Tabellenwert $t_r$	2,45	2,45
bei P (%)	95	95
und FG	6	6
Testwert $t_r$	3,37	2,22
Signifikanz	*	–
Regressionstypus	polynomial	linear
Tabellenwert F	9,12	5,99
bei P (%)	95	95
und FG	4/3	1/6
Testwert F	1,42	4,91
Signifikanz	–	–

Tabelle 67 Zusammenhang zwischen dem Flächenanteil der Interzellularen im Markstrahl (%) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)

Table 67 Relationship between percentage area of intercellular spaces within rays and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,970	0,735	0,904
Bestimmtheitsmass (%)	94,06	54,00	81,76
Tabellenwert $t_r$ bei P (%) und FG	5,96 99,9 6	2,45 95 6	3,71 99 6
Testwert $t_r$ Signifikanz	9,77 ***	2,66 *	5,18 **
Regressionstypus	exponential	polynomial	polynomial
Tabellenwert F bei P (%) und FG	35,51 99,9 1/6	9,12 95 4/3	5,79 95 2/5
Testwert F Signifikanz	95,06 ***	0,88 -	11,20 *

Tabelle 68 Zusammenhang zwischen dem Flächenanteil der Dreieck-Interzellularen im Markstrahl (%) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)

Table 68 Relationship between percentage area of triangular intercellular spaces within rays and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,971	0,505	0,917
Bestimmtheitsmass (%)	94,33	25,54	84,03
Tabellenwert $t_r$ bei P (%) und FG	5,96 99,9 6	2,45 95 6	3,71 99 6
Testwert $t_r$ Signifikanz	9,95 ***	1,43 -	5,63 **
Regressionstypus	exponential	linear	polynomial
Tabellenwert F bei P (%) und FG	35,51 99,9 1/6	5,99 95 1/6	5,79 95 2/5
Testwert F Signifikanz	99,83 ***	2,06 -	13,15 *

Tabelle 69 Zusammenhang zwischen dem Flächenanteil der Viereck-Interzellularen im Markstrahl (%) und der radialen Position der Probe (Ordnungsziffer)

Table 69 Relationship between percentage area of rectangular intercellular spaces within rays and radial position of specimen (rank number)

Parameter/Holzart	Stieleiche	Traubeneiche
Korrelationskoeffizient	0,937	0,719
Bestimmtheitsmass (%)	87,76	51,73
Tabellenwert $t_r$	5,96	2,45
bei P (%)	99,9	95
und FG	6	6
Testwert $t_r$	6,57	2,53
Signifikanz	***	*
Regressionsstypus	polynomial	linear
Tabellenwert F	9,12	5,99
bei P (%)	95	95
und FG	4/3	1/6
Testwert F	5,38	6,43
Signifikanz	-	*

Tabelle 70 Umfang der Dreieck-Interzellularen ( $\mu\text{m}$ ) aus einem JahrringTable 70 Circumference of triangular intercellular spaces within one growth ring ( $\mu\text{m}$ )

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche
Anzahl Messungen	1600	2400
Mittelwert	2,708	5,432
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,040	0,073
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	0,75	0,69
Mindestprobenumfang (P = 95%)	35,9	45,6
kleinster Wert	0,966	1,103
grösster Wert	6,189	19,182

Tabelle 71 Fläche der Dreieck-Interzellularen ( $\mu\text{m}^2$ ) aus einem JahrringTable 71 Area of triangular intercellular spaces within one growth ring ( $\mu\text{m}^2$ )

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche
Anzahl Messungen	1600	2400
Mittelwert	0,319	1,425
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,010	0,039
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	1,59	1,38
Mindestprobenumfang (P = 95%)	162,3	183,3
kleinster Wert	0,030	0,042
grösster Wert	1,487	9,319

Tabelle 72 Merkmale der Viereck-Interzellularen aus einem Jahrring der Stieleiche

Table 72 Parameters of rectangular intercellular spaces within one growth ring of pedunculate oak

Merkmal/Merkmal	Umfang ( $\mu\text{m}$ )	Fläche ( $\mu\text{m}^2$ )
Anzahl Messungen	115	115
Mittelwert	14,043	8,278
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,751	0,814
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	2,70	4,96
Mindestprobenumfang (P = 95%)	33,4	113,1
kleinster Wert	7,115	1,854
grösster Wert	29,366	25,201

Tabelle 73 Dichte der Dreieck-Interzellularen im Markstrahl (Anzahl/mm<sup>2</sup>) aus einem JahrringTable 73 Density of triangular intercellular spaces within rays in one growth ring (no./mm<sup>2</sup>)

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche
Anzahl Messungen	8	8
Mittelwert	7916	7877
Vertrauensintervall (P = 95%)	1181	324
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	6,32	1,74
Mindestprobenumfang (P = 95%)	12,8	1,0
kleinster Wert	5011	7234
grösster Wert	9520	8262

Tabelle 74 Flächenanteil der Dreieck-Interzellularen im Markstrahl (%) aus einem Jahrring

Table 74 Percentage area of triangular intercellular spaces within rays in one growth ring

Merkmal/Holzart	Buche	Stieleiche
Anzahl Messungen	8	8
Mittelwert	0,254	1,120
Vertrauensintervall (P = 95%)	0,077	0,149
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	12,93	5,62
Mindestprobenumfang (P = 95%)	53,5	10,1
kleinster Wert	0,119	0,926
grösster Wert	0,456	1,470

Tabelle 75 Merkmale der Viereck-Interzellularen aus einem Jahrring der Stieleiche

Table 75 Parameters of rectangular intercellular spaces within one growth ring of pedunculate oak

Merkmal/Merkmal	Dichte im MS (Anzahl/mm <sup>2</sup> )	Flächenanteil im MS (%)
Anzahl Messungen	8	8
Mittelwert	375	0,309
Vertrauensintervall (P = 95%)	82	0,057
Variabilitätskoeffizient des Mittelwertes	9,30	7,82
Mindestprobenumfang (P = 95%)	27,7	19,6
kleinster Wert	248	0,200
grösster Wert	516	0,401



Tabelle 76 Vergleich der Dreieck-Interzellular-Merkmale aus einem Jahrring der Buche und der Stieleiche

Table 76 Comparison of parameters of triangular intercellular spaces in single growth rings of beech and pedunculate oak

Parameter/Merkmal	Umfang ( $\mu\text{m}$ )	Fläche ( $\mu\text{m}^2$ )
Tabellenwert F	1,18	1,18
bei P (%)	99,9	99,9
und FG	1599/2399	1599/2399
Testwert F	5,11	22,50
Signifikanz	***	***
Tabellenwert t	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9
und FG	3554	2711
Testwert t	63,96	54,37
Signifikanz	***	***

Tabelle 77 Vergleich der Dreieck-Interzellular-Merkmale aus einem Jahrring der Buche und der Stieleiche

Table 77 Comparison of parameters of triangular intercellular spaces in single growth rings of beech and pedunculate oak

Parameter/Merkmal	Dichte im MS (Anzahl/mm <sup>2</sup> )	Flächenanteil im MS (%)
Tabellenwert F	6,99	3,79
bei P (%)	99	95
und FG	7/7	7/7
Testwert F	13,31	3,69
Signifikanz	**	–
Tabellenwert t	2,31	4,14
bei P (%)	95	99,9
und FG	8	14
Testwert t	0,08	12,20
Signifikanz	–	***

Tabelle 78 t-Testwerte aus dem Vergleich der Dreieck-Interzellular-Merkmale der Buche und der Stieleiche

Table 78 t-test values for comparison of parameters for triangular intercellular spaces in beech and pedunculate oak

Versuch/Merkmal	Umfang	Fläche	Dichte im MS	Flächenanteil im MS
Baumradius	60,72 ***	62,27 ***	0,10 –	6,61 ***
Jahrring	63,96 ***	54,37 ***	0,08 –	12,20 ***

Tabelle 79 Zusammenhang zwischen dem Dreieck-Interzellular-Umfang ( $\mu\text{m}$ ) und der radialen Position der Probe im Jahrring (Ordnungsziffer)

Table 79 Relationship between circumference of triangular intercellular spaces ( $\mu\text{m}$ ) and radial position of specimen in growth ring (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche
Korrelationskoeffizient	0,262	0,171
Bestimmtheitsmass (%)	6,85	2,92
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9
und FG	1598	2398
Testwert $t_r$	10,85	8,50
Signifikanz	***	***
Regressionstypus	logarithmisch	linear
Tabellenwert F	10,89	10,86
bei P (%)	99,9	99,9
und FG	1/1598	1/2398
Testwert F	117,45	72,02
Signifikanz	***	***

Tabelle 80 Zusammenhang zwischen der Dreieck-Interzellular-Fläche ( $\mu\text{m}^2$ ) und der radialen Position der Probe im Jahrring (Ordnungsziffer)

Table 80 Relationship between area of triangular intercellular spaces ( $\mu\text{m}^2$ ) and radial position of specimen in growth ring (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche
Korrelationskoeffizient	0,303	0,157
Bestimmtheitsmass (%)	9,18	2,47
Tabellenwert $t_r$	3,34	3,34
bei P (%)	99,9	99,9
und FG	1598	2398
Testwert $t_r$	12,71	7,78
Signifikanz	***	***
Regressionstypus	logarithmisch	linear
Tabellenwert F	10,89	10,86
bei P (%)	99,9	99,9
und FG	1/1598	1/2398
Testwert F	161,61	60,66
Signifikanz	***	***

Tabelle 81 Zusammenhang zwischen der Dichte der Dreieck-Interzellularen im Markstrahl (Anzahl/mm<sup>2</sup>) und der radialen Position der Probe im Jahrring (Ordnungsziffer)Table 81 Relationship between density of triangular intercellular spaces within rays (no./mm<sup>2</sup>) and radial position of specimen in growth ring (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche
Korrelationskoeffizient	0,946	0,866
Bestimmtheitsmass (%)	89,53	75,05
Tabellenwert $t_r$	5,96	3,71
bei P (%)	99,9	99
und FG	6	6
Testwert $t_r$	7,15	4,24
Signifikanz	***	**
Regressionstypus	polynomial	polynomial
Tabellenwert F	13,27	5,79
bei P (%)	99	95
und FG	2/5	2/5
Testwert F	21,38	7,52
Signifikanz	**	*

Tabelle 82 Zusammenhang zwischen dem Flächenanteil der Dreieck-Interzellularen im Markstrahl (%) und der radialen Position der Probe im Jahrring (Ordnungsziffer)

Table 82 Relationship between percentage area of triangular intercellular spaces within rays and radial position of specimen in growth ring (rank number)

Parameter/Holzart	Buche	Stieleiche
Korrelationskoeffizient	0,947	0,890
Bestimmtheitsmass (%)	94,86	79,27
Tabellenwert $t_r$	5,96	3,71
bei P (%)	99,9	99
und FG	6	6
Testwert $t_r$	10,53	4,78
Signifikanz	***	**
Regressionstypus	polynomial	polynomial
Tabellenwert F	16,69	9,12
bei P (%)	99	95
und FG	3/4	4/3
Testwert F	24,60	2,87
Signifikanz	**	-

Tabelle 83 Zusammenstellung der geprüften Vergleiche nach Holzarten geordnet; Erklärungen im Text

Table 83 Summary of comparisons by species; explanation in text

Merkmal/Vergleich	Buche – Stieleiche	Buche – Traubeneiche	Stieleiche – Traubeneiche
DIZ-Umfang	60,72 ***	59,73 ***	0,19 –
DIZ-Fläche	62,27 ***	56,55 ***	5,66 ***
VIZ-Umfang			0,63 –
VIZ-Fläche			3,01 **
Dichte der IZ im MS	0,10 –	1,24 –	1,29 –
Flächenanteil der IZ im MS	6,61 ***	2,24 –	1,54 –
DIZ-Umfang aus 1 Jahrring	63,96 ***		
DIZ-Fläche aus 1 Jahrring	54,37 ***		
Dichte der DIZ im MS aus 1 Jahrring	0,08 –		
Flächenanteil der DIZ im MS aus 1 Jahrring	12,20 ***		

Tabelle 84 Übersicht der geprüften Zusammenhänge nach Holzarten geordnet; Erklärungen im Text

Table 84 Summary of relationships by species; explanation in text

Zusammenhang/Holzart	Buche	Stieleiche	Traubeneiche
DIZ-Umfang			
– radiale Position	+ 19,2 ***	– 0,4 ***	– 5,1 ***
DIZ-Fläche			
– radiale Position	+ 18,0 ***	– 0,6 ***	p 3,9 ***
VIZ-Umfang			
– radiale Position		– 0,8 –	+ 0,6 –
VIZ-Fläche			
– radiale Position		– 1,3 *	+ 1,7 *
Dichte der IZ im MS			
– radiale Position	+ 70,1 **	+ 34,6 –	p 76,9 **
Dichte der DIZ im MS			
– radiale Position	+ 70,4 **	+ 37,1 –	p 77,1 **
Dichte der VIZ im MS			
– radiale Position		p 65,4 *	+ 45,0 –
Flächenanteil der IZ im MS			
– radiale Position	+ 94,1 ***	p 54,0 *	p 81,8 **
Flächenanteil der DIZ im MS			
– radiale Position	+ 94,3 ***	+ 25,5 –	+ 84,0 **
Flächenanteil der VIZ im MS			
– radiale Position		p 87,8 ***	+ 51,7 *
DIZ-Umfang			
– radiale Position im Jahrring	– 10,9 ***	– 8,5 ***	
DIZ-Fläche			
– radiale Position im Jahrring	– 12,7 ***	– 7,8 ***	
Dichte der DIZ im MS			
– radiale Position im Jahrring	p 7,2 ***	p 4,2 **	
Flächenanteil der DIZ im MS			
– radiale Position im Jahrring	p 10,5 ***	p 4,8 **	