

Minster

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen  
Universität Karlsruhe (TH)

Bericht

Untersuchungen über die Abhängigkeit der Form-  
beständigkeit des Kiefernholzes vom Jahrringbau

## Inhalt

1. Zweck der Versuche
2. Anlage und Durchführung der Versuche
  - 2.1. Abmessungen, Jahrringbreiten und Zuschnitt der ausgewählten Stämme
  - 2.2. Entnahme der Proben
  - 2.3. Ermittlung der Rohdichte
  - 2.4. Ermittlung der Druckfestigkeit parallel zur Faser
  - 2.5. Ermittlung des Elastizitätsmoduls
  - 2.6. Ermittlung der Quell- und Schwindmaße
  - 2.7. Bestimmung der Jahrringbreiten und des Spätholzanteils
  - 2.8. Durchführung der Verwerfungsversuche
3. Ergebnis der Versuche
  - 3.1. Rohdichte
  - 3.2. Druckfestigkeit  $\sigma_D$
  - 3.3. Elastizitätsmodul aus Biegeversuch
  - 3.4. Quell- und Schwindmaße
  - 3.5. Jahrringbreiten, Spätholzanteil
  - 3.6. Verwerfungsversuche
4. Zusammenfassung

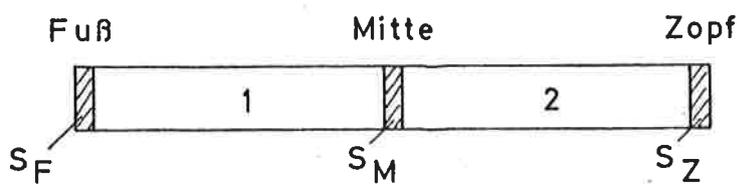
## 1. Zweck der Versuche

Zur Klärung der Frage, wie in den Kiefernbeständen der nordbadischen Rheinebene in Zukunft eine erhöhte Qualitätsholzerzeugung erreicht werden könne, sollten Untersuchungen durchgeführt werden, ob und wenn ja in welchem Maße das Stehvermögen des infrage kommenden Kiefernholzes von der Jahrringbreite und gegebenenfalls vom Spätholzanteil beeinflußt wird. Dabei war davon auszugehen, daß durch künstliche Astung ein praktisch astreines Holz erzeugt wird. Zur Erfassung der Formbeständigkeit wurden nach Beratung mit dem Institut für Fenstertechnik e.V., Rosenheim, Versuche zur Ermittlung der maximalen Schwind- und Quellmaße und des Verlaufes der Formänderungen bei einseitiger Befeuchtung und Rückklimatisierung vorgesehen. Daneben waren Rohdichte, Druckfestigkeit und E-Modul sowie die Jahrringbreiten und der Spätholzanteil zur Einordnung der untersuchten Stämme festzustellen.

## 2. Anlage und Durchführung der Versuche

### 2.1. Abmessungen, Jahrringbreiten und Zuschnitt der ausgewählten Stämme

Aus den Bereichen der Staatlichen Forstämter Karlsruhe-Hardt, Bruchsal und Philippsburg wurden je 2 Kiefernstämme von 5 bis 9 m Länge für die Versuche zur Verfügung gestellt. Jeweils ein Stamm hatte "enge" und ein Stamm "weite" Jahrringe im Kernbereich. Das Alter der Stämme schwankte zwischen 101 bis 114 Jahre, 1 Stamm war 137 Jahre alt. Die Stämme wurden im Sägewerk Moll KG in Schwetzingen nach Bild 1 eingeschnitten.



$S_F$  = Stammscheibe Fußende    1 = Unterer Stammabschnitt  
 $S_M$  = Stammscheibe Mitte        2 = Oberer Stammabschnitt  
 $S_Z$  = Stammscheibe Zopfende

Bild 1: Schnittplan der Kiefernstämmen

Die Stammabschnitte 1 und 2 wurden in Blockware von 60 mm Dicke aufgeschnitten und zusammen mit den Stammscheiben angeliefert. Nach 16monatiger natürlicher Trocknung in einem offenen Schuppen wurden an den  $6 \times 3 = 18$  Stammscheiben die jeweiligen Stammdurchmesser, die Splintholzdicke und die Anzahl der Jahrringe festgestellt. Bild 2 (Anlage 1) zeigt die Schnittflächen der mittleren Stammscheiben  $S_m$ . Die Holzfeuchtigkeit wurde mit einem elektrischen Feuchtemesser ermittelt.

Die festgestellten Werte sind in Tabelle 1 (Anlage 2) zusammengestellt. Tabelle 1a (Anlage 3) enthält die mittleren Jahrringbreiten für Splint, Kern und den Gesamtquerschnitt. Dabei ist zu bemerken, daß die als "engringig" oder "weitringig" von der Forstbehörde ausgewählten Stämme nur in ihrem Kernholz einen deutlichen Unterschied in den Jahrringbreiten aufwiesen, während im Splintholz teilweise umgekehrte Verhältnisse vorlagen.

## 2.2. Entnahme der Proben

Aus den Stämmen Nr. 1 bis 6 wurden jeweils aus den Bohlen des oberen (mit 2 bezeichneten) Stammabschnittes 4 "Rohlinge" pro Stamm entnommen. Die Rohlinge wurden so ausge-

wählt, daß jeweils zwei aus dem Kernholz und zwei aus dem Splintholz stammten. Die Jahrringe sollten möglichst parallel zu den Schnittkanten des Rohlings verlaufen. Aus dem inneren Kernbereich (Durchmesser etwa 10 cm) wurden keine Proben entnommen. Die Lage der Rohlinge im Stammquerschnitt ist Bild 3 (Anlage 4) zu entnehmen.

Dabei bezeichnet die erste Ziffer der Probennummer den Stamm, die zweite Ziffer den Stammabschnitt, die dritte Ziffer die Bohlen-Nr., der Buchstabe K steht für Kernholz und der Buchstabe S für Splintholz.

Die herausgesägten Rohlinge mit den Abmessungen  $b/h/l = 60/60/1300$  mm wurden bis zur Gewichtskonstanz in Normalklima 20/65 (d.h. bei 20°C Temperatur und 65 % rel. Luftfeuchtigkeit) gelagert. Anschließend wurden aus diesen Rohlingen gemäß Bild 4 folgende Einzelproben herausgearbeitet.

- a Verwerfungsprobe 40/60/1000 mm
- b Längsschwindprobe 20/20/100 mm
- c Querschwindprobe 20/20/10 mm
- d Längsdruckprobe 40/40/80 mm

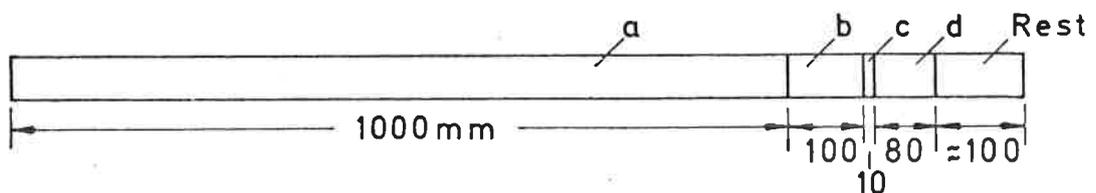


Bild 4: Aufteilung der Rohlinge 60/60/1300

Bei den Verwerfungsproben bezieht sich die Angabe stehende bzw. liegende Jahrringe auf die längere Querschnittsseite, d.h. bei den Proben mit liegenden Jahrringen verlaufen die Jahrringe parallel zur 60 mm langen Querschnittsseite und bei Proben mit stehenden Jahrringen verlaufen die Jahrringe senkrecht zur 60 mm langen Querschnittsseite.

### 2.3. Ermittlung der Rohdichte

Die Rohdichte und Darrohdichte wurde an den Druckproben und an den Schwind- und Quellproben ermittelt. Die Darrohdichte der Druckproben wurde aus dem Darrgewicht und dem Volumen der Probe berechnet, die sich bei Lagerung im Normalklima 20/65 einstellten. Die Darrohdichte der radialen und tangentialen Quellproben wurden aus dem Darrgewicht und dem Volumen  $V = l_t (u = 0 \%) \times l_r (u = 0 \%) \times t (u = u \%)$  berechnet. Bei den Proben für longitudinales Quellen und Schwinden mußte die Darrohdichte aus dem Darrgewicht und dem Volumen  $V = l_t (u = u \%) \times l_r (u = u \%) \times l_L (u = 0 \%)$  errechnet werden.

### 2.4. Ermittlung der Druckfestigkeit parallel zur Faser

An 24 Druckproben 40/40/80 mm wurde im Druckversuch nach DIN 52185 Bl. 1 die Druckfestigkeit parallel zur Faser bestimmt.

### 2.5. Ermittlung des E-Moduls der Verwerfungsproben

Aus dem Biegeversuch nach DIN 52186 wurde an den Verwerfungsproben 40/60/1000 mm der E-Modul bestimmt. Jede Probe wurde einmal hochkant ( $\frac{1}{h} = 13,3$ ) und einmal flachliegend ( $\frac{1}{h} = 20$ ) belastet.

Um den Schubverformungseinfluß zu eliminieren, wurde bei Annahme eines Schubmoduls  $G = 5000 \text{ kp/cm}^2$  der E-Modul nach folgender Gleichung berechnet:

$$E = \frac{P \cdot l \cdot G}{4 \cdot f \cdot G \cdot F - 1,2 \cdot P \cdot l} \left(\frac{1}{h}\right)^2 \quad (\text{kp/cm}^2)$$

Darin bedeutet f die bei der Last P gemessene Durchbiegung in  $l/2$ , h die Probenhöhe und l die Stützweite.

## 2.6. Ermittlung der Quell- und Schwindmaße

Ermittelt wurden die Quell- und Schwindmaße in longitudinaler, radialer und tangentialer Richtung.

Die Versuchsdurchführung gliederte sich in 3 Abschnitte.

### 1. Versuchsabschnitt:

Lagerung der Proben in Normalklima 20/65 bis zur Gewichtskonstanz. Ermittlung der Maße, Gewichte und der mittleren Jahrringbreiten der Proben im klimatisierten Zustand.

### 2. Versuchsabschnitt:

Beim Trocknen der Proben nach DIN E 52184 zeigte sich zum Teil ein starker Harzaustritt. Um die dadurch entstehende Verfälschung der Meßergebnisse auszuschließen, wurde die Trocknung bei 40 bis 60°C im Exsikkator mit Trockenmittel bis zur Gewichtskonstanz der Proben durchgeführt. Anschließend wurden erneut Maße und Gewichte der Proben ermittelt.

### 3. Versuchsabschnitt:

Die Proben wurden anschließend mindestens 3 Tage in Normalklima 20/65, anschließend mindestens 2 Wochen in Wasser von  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  Temperatur gemäß DIN E 52184, Abschnitt 5.2 gelagert. Die endgültige Messung der Probenabmessungen erfolgte dann, wenn sich die Maße nicht mehr als 0,02 mm veränderten.

Nach Abschluß der Versuche wurden alle Proben zunächst etwa 8 Tage in Normalklima 20/65 zur Rücktrocknung gelagert und dann noch einmal im Darrofen bei  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  getrocknet, wobei das austretende Harz in Schälchen ausgefangen wurde.

### 2.7. Bestimmung der Jahrringbreiten und des Spätholzanteils

Nach DIN 52181 wurden an den Druckproben zunächst die mittleren Jahrringbreiten bestimmt. Anschließend wurden mit Hilfe einer Lupe auf 1/10 mm genau die Spätholzbreiten eines jeden Jahrringes gemessen. Die mittlere Spätholzbreite ergab sich dann zu

$$s_m = \frac{\sum s_i}{z_i} \quad (\text{mm}) \quad \begin{array}{l} \sum s_i = \text{Summe der einzelnen Spätholzbreiten} \\ z_i = \text{Anzahl der Jahrringe entlang der Meßstrecke.} \end{array}$$

Der mittlere Spätholzanteil  $s$  wird damit

$$s = \frac{s_m}{j_m} \cdot 100 \% \quad j_m = \text{mittlere Jahrringbreite}$$

Die Bestimmung der Spätholzbreiten in dieser einfachen Form war in diesem Falle möglich, da bei Kiefernholz im allgemeinen die Uebergänge von Früh- zum Spätholz ziemlich scharf und abrupt und somit unter der Lupe gut feststellbar sind.

### 2.8. Durchführung der Verwerfungsversuche

Es standen drei wasserdichte Blechwannen zur Verfügung. Ueber dem Wasserspiegel wurden zunächst die ersten  $3 \times 4 = 12$  Proben nach Bild 5 eingebaut, nachdem zuvor die Hirnflächen der Proben mit einem doppelten PERFALON-Anstrich versehen worden waren. Die Proben wurden rundum elastisch abgedichtet, so daß die obere Hälfte der Proben dem Klima 20/65 und die untere Hälfte dem Klima 20/90 ausgesetzt war. Die Abdichtungen aus wasserdichter Leinwand wurden so nachgiebig angebracht, daß Bewegungen der Proben dadurch nicht behindert werden konnten.

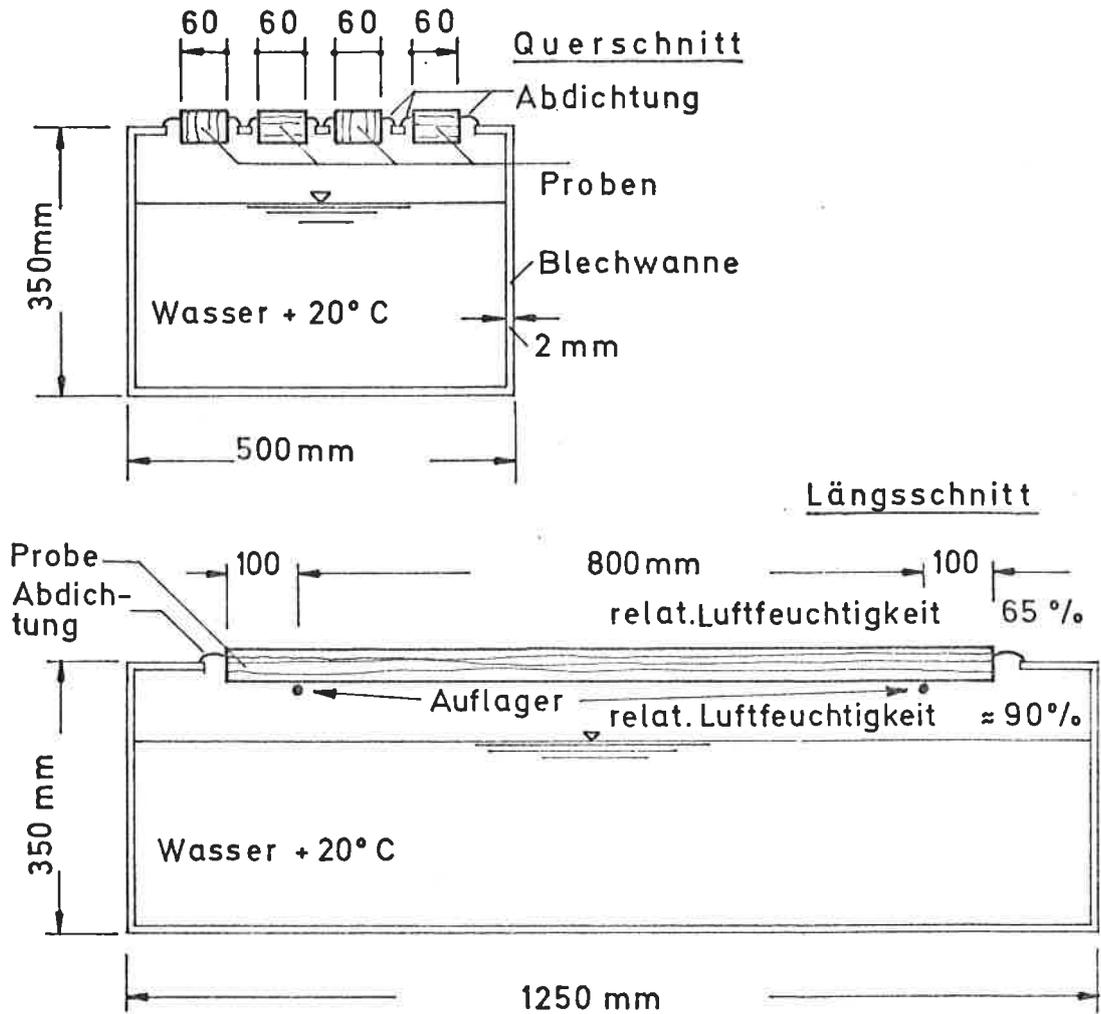


Bild 5: Anordnung der Verwerfungsversuche

Folgende 12 Proben wurden im ersten Versuchsabschnitt eingebaut:

Bottich A	Bottich B	Bottich C
123 Ks	123 Ss	322 K1
124 K1	125 S1	323 Ks
223 Ks	223 Ss	424 Ks
225 K1	225 S1	425 K1

Die Verformungen wurden über einen Zeitraum von 63 Tagen gemessen. Anschließend wurden die Proben rückklimatisiert, d.h. die Proben wurden von den Bottichen abgenommen und in Normalklima 20/65 bei gleichbleibender Stützweite von 80 cm 55 Tage gelagert.

Im Versuchsabschnitt 2 wurden die Verformungen der Proben-Nr.

Bottich D	Bottich E	Bottich F
323 Ss	522 Kl	521 Sl
325 Sl	523 Ks	523 Ss
421 Sl	624 Ks	621 Sl
424 Ss	626 Kl	624 Ss

über einen Zeitraum von 50 Tagen beobachtet. Die Rückklimatisierung dauerte 20 Tage.

Der Aufbau der Meßeinrichtung geht aus Bild 6 hervor.

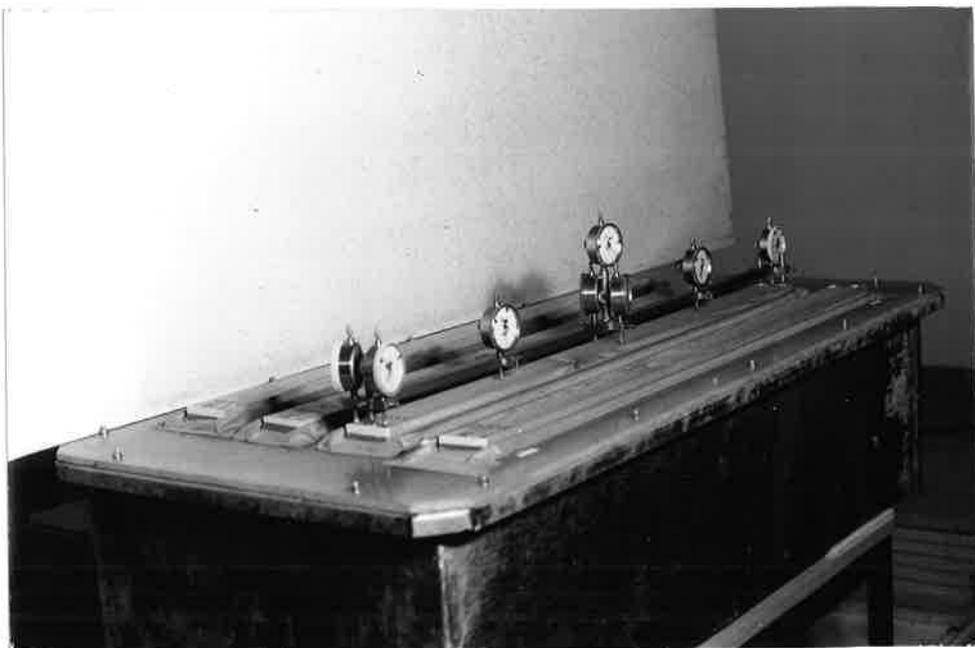


Bild 6: Aufbau der Meßeinrichtung für die Verwerfungsproben.

### 3. Ergebnis der Versuche

#### 3.1. Rohdichte

Die ermittelten Rohdichten der Proben in klimatisiertem Zustand und die Darrohdichten sind in Tabelle 2 (Anlage 5) zusammengestellt. Bildet man das Gesamtmittel der Rohdichte der Druck- und Quellproben, so ergeben sich folgende Werte:

$$\begin{array}{ll} \text{Kernholz: } r_o = 0,556 \text{ g/cm}^3 & \text{Splintholz: } r_o = 0,499 \text{ g/cm}^3 \\ r_{12} = 0,622 \text{ g/cm}^3 & r_{12} = 0,559 \text{ g/cm}^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Gesamtmittel: } r_o = 0,528 \text{ g/cm}^3 \\ r_{12} = 0,590 \text{ g/cm}^3 \end{array}$$

In [1] wird für deutsches Kiefernholz aus Oberhessen und Oberpfalz der Mittelwert  $r_{12} = 0,583 \text{ g/cm}^3$ , für schwedische Kiefern der Mittelwert  $r_{12} = 0,546 \text{ g/cm}^3$  angegeben.

#### 3.2. Druckfestigkeit $\sigma_{D \parallel}$

Die aus den Druckversuchen ermittelten Werte sind aus Tabelle 3 (Anlage 6) zu ersehen. Die auf den Feuchtigkeitsgehalt  $u = 12 \%$  umgerechneten Druckfestigkeiten ergeben sich nach der Gleichung:

$$\underline{\sigma_{D12} = \sigma_{Du} \cdot \frac{20}{32-u} \%}$$

Die Versuche ergaben einen Mittelwert  $\sigma_{D12} = 533 \text{ kp/cm}^2$ . Die Mittelwerte, die in [1] angegeben sind, liegen für deutsche Kiefer mit  $613 \text{ kp/cm}^2$  um  $15 \%$  und für schwedische Kiefer mit  $567 \text{ kp/cm}^2$  um  $6,5 \%$  höher.

### 3.3. Elastizitätsmodul aus Biegeversuch

Die gemessenen Werte mit und ohne Schubanteil sind in Tabelle 4 (Anlage 7) zusammengestellt. Hieraus läßt sich kein eindeutiger Unterschied zwischen Kern- und Splintholz erkennen, außer bei den Stämmen 3 und 4 war auch kein Unterschied zwischen "eng"- und "weitringig" feststellbar, der darauf schließen ließe, daß die Jahrringbreite einen eindeutigen Einfluß auf den E-Modul hat.

### 3.4. Quell- und Schwindmaße

In Tabelle 5 (Anlage 8) sind die Quell- und Schwindmaße zusammengestellt. Eindeutige Unterschiede zwischen Kern- und Splintholz sowie zwischen "eng" - und "weitringig" konnten nicht festgestellt werden.

### 3.5. Jahrringbreiten, Spätholzanteil

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 (Anlage 9) zusammengestellt. Bei einem Vergleich mit den mittleren Jahrringbreiten von Kiefernholz aus Oberhessen/Oberpfalz und aus Schweden [1] zeigt sich, daß die untersuchten nordbadischen Kiefernstämme eine wesentlich größere mittlere Jahrringbreite aufweisen.

Standort	mittlere Jahrringbreite
Oberhessen/Oberpfalz	1,09 mm
Schweden	1,20 mm
Nordbaden	2,12 mm

### 3.6. Verwerfungsversuche

In Tabelle 7 (Anlage 10) sind die  $10^3$ fachen Verdrehungswinkel  $\varphi$  des End- und Mittenquerschnittes nach 50-tägiger Lagerung der Probekörper über den Bottichen zusammengestellt. Das Vorzeichen von  $\varphi$  gibt an, ob sich die Querschnitte im Uhrzeigersinn oder umgekehrt verdreht haben. Da in der Regel die Verdrehungen immer die einmal eingeschlagene Richtung bis zu Beginn der Rückklimatisierung beibehalten, werden im weiteren nur die Absolutbeträge des Verdrehungswinkels  $\varphi$  verwendet. Ein eindeutiger Unterschied zwischen Kern- und Splintholz sowie zwischen "eng-" und "weitringig" kann aus den gemessenen Verdrehungswinkeln nicht herausgelesen werden. In den Diagrammen Bild 7 bis 12 (Anlage 11 - 16) sind die  $10^3$ fachen Absolutbeträge des Verdrehungswinkels des Querschnittes  $Q_a$  in Abhängigkeit von der Zeit für die Befeuchtung und Rückklimatisierung aufgetragen. Bei der Befeuchtung wächst in der Regel der Endverdrehungswinkel der "liegenden" Probekörper rasch an und erreicht wesentlich höhere Werte als die "stehenden" Probekörper. Bei der Rückklimatisierung erreichen die "stehenden" Proben rascher den Ausgangszustand als die Proben mit liegenden Jahrringen.

### 4. Zusammenfassung

Bei der Anwendung von Kiefernholz für Fenster und Türen kommt es vorwiegend darauf an, daß das verwendete Holz ein gutes "Stehvermögen" hat, d.h. daß bei Änderungen der Holzfeuchtigkeit keine schädlichen Verformungen auftreten. Betrachtet man in diesem Zusammenhang die ermittelten

Eigenschaften, vor allem die Quell- und Schwindmaße und die beim Verwerfungsversuch aufgetretenen Verdrehungen, so muß man feststellen, daß zwischen den Stämmen aus den verschiedenen Standorten einerseits und zwischen den eng-ringigen und weitringigen Stämmen der gleichen Provenienz andererseits keine eindeutig feststellbaren Unterschiede aufgezeigt werden konnten. Dabei muß beachtet werden, daß auch die "engringigen" Kiefern mit Jahrringbreiten im Kernholz von mehr als 2 mm die mittlere Jahrringbreite anderer Kiefernbestände (z.B. Oberhessen, Schweden) um nahezu 100 % übertrafen. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, daß bei Jahrringbreiten von 2 mm und mehr der Einfluß der Jahrringbreite auf die maßgebenden Eigenschaften weitgehend zurück geht.

- [ 1 ] Kollmann, F., E. Schmidt, R. Teichgräber u. E. Baur:  
Vergleichende Untersuchungen an deutschem und schwedischem Kiefernholz für Masten. Holz als Roh- und Werkstoff 17 (1959) Nr. 12, S. 474/83.

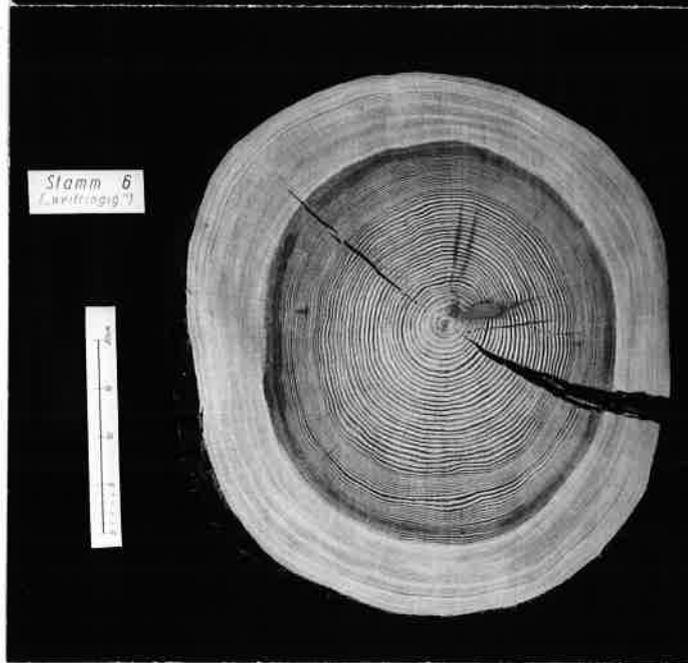


Bild 2: Schnittflächen der mittleren Stammscheiben  $S_m$ .

Tabelle 1: Zusammenstellung der an den Stammscheiben ermittelten Holzfeuchtigkeit, Stammdurchmesser, mittleren Splintholzdicke u. Anzahl der Jahrringe

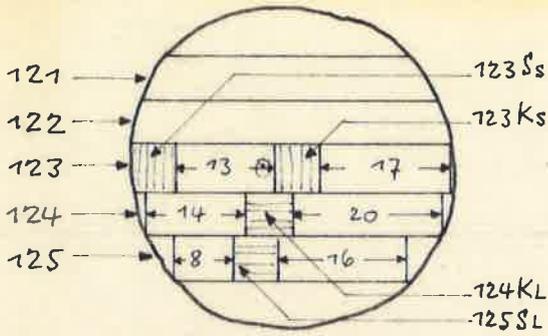
STAMM-NR.	WALD-NR.	FAHRUNGE	STAMMLÄNGE [m]	HOLZFEUCHTIGKEIT [%]	mittlerer Stamm - durchmesser			mittlere Splintholz- dicke			Anzahl der Jahrringe								
					Fuß [cm]	Mitte [cm]	Zopf [cm]	Fuß [cm]	Mitte [cm]	Zopf [cm]	am Fußende			in Stammmitte			am Zopfende		
											Splint	Kern	gesamt	Splint	Kern	gesamt	Splint	Kern	gesamt
1	697	aug	8	13	57.6	44.0	39.9	16.5	9.6	7.7	73	50	123	52	65	117	48	55	103
KARLSRUHE																			
2	712	weil	7	13	49.7	39.6	37.3	12.4	5.6	5.0	88	34	122	74	45	119	74	40	114
3	218	aug	9	13	45.5	37.4	35.0	8.2	5.0	4.8	74	50	124	51	64	115	45	62	107
BRUCHSAL																			
4	54	weil	7	13	63.3	51.4	48.0	15.2	10.7	9.0	85	41	126	75	45	120	70	45	115
5	772	aug	7	213	44.7	36.3	34.2	11.1	7.1	6.2	68	46	114	54	52	106	50	51	101
PHILIPPSBURG																			
6	629	weil	5		68.5	55.5	52.2	11.6	8.4	7.2	97	56	153	87	55	142	80	57	137

Tabelle 1a: Zusammenstellung der mittleren Jahringbreiten

STAMM-NR	mittlere Jahringbreite								
	am Fußende			in Stammmitte			am Zapfende		
	Splint	Kern	gesamt	Splint	Kern	gesamt	Splint	Kern	gesamt
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1 eng <u>KAELSRUHE</u>	2,3	2,5	2,3	1,8(5)	1,9	1,9	1,6	2,2	1,8
2 weit	1,4	3,7	2,1	0,8	3,2	2,0	0,7	3,4	2,1(5)
3 eng <u>BRUCHSAL</u>	1,1	2,9	1,8	1,0	2,1	1,6	1,1	2,0	1,6
4 weit	1,8	4,0	2,4	1,4	3,3	2,0	1,3	3,3	2,1
5 eng <u>PHILIPPSBURG</u>	1,6	2,45	1,8	1,3	2,1	1,6	1,2	2,1	1,6
6 weit	1,2	4,0	2,4	1,0	3,5	2,1	0,9	3,3	2,2

Bohle-Nr.

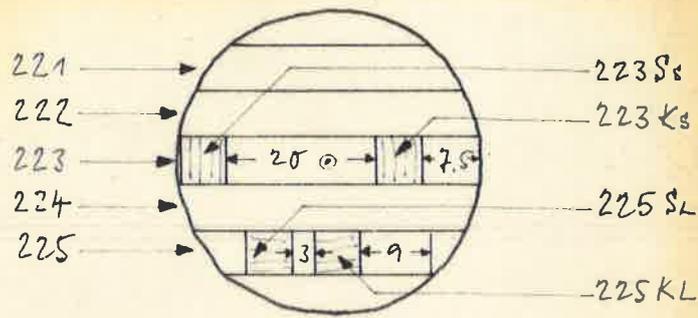
Probe-Nr.



Stamm 1

Bohle-Nr.

Probe-Nr.

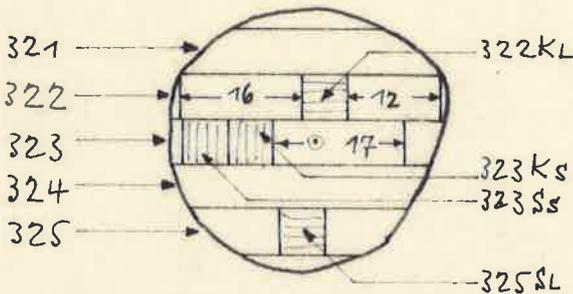


Stamm 2

Maße in cm

Bohle-Nr.

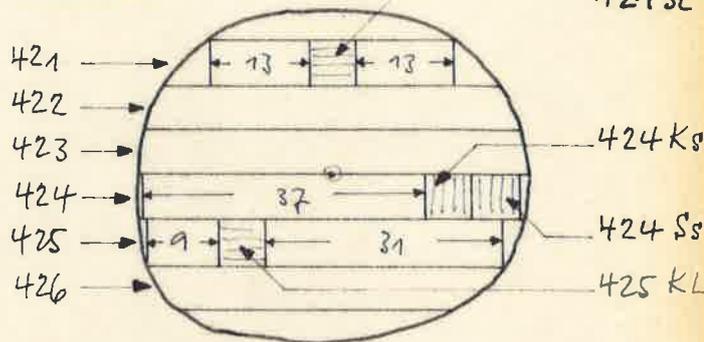
Probe-Nr.



Stamm 3

Bohle-Nr.

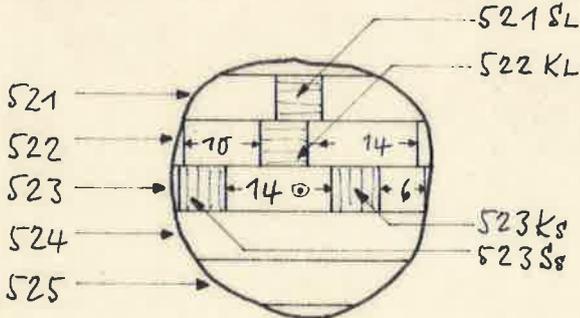
Probe-Nr.



Stamm 4

Bohle-Nr.

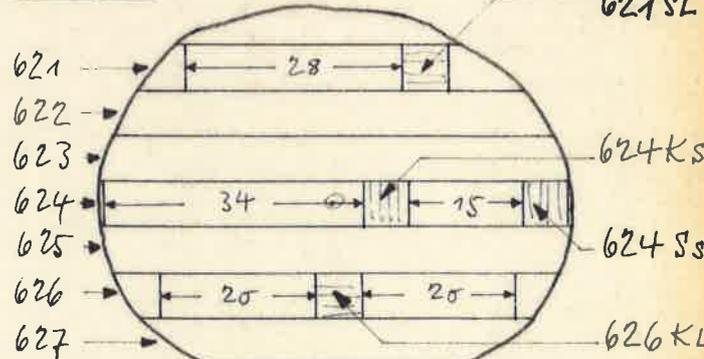
Probe-Nr.



Stamm 5

Bohle-Nr.

Probe-Nr.



Stamm 6

Bild 3: Lage der Rohlinge für die Probe Körper

Tabelle 2: Zusammenstellung der Rohdichten

Probe-Nr.	Druckproben			Quellproben radial / tang.			Quellproben longitudinal			Mittel $\rho_0$ [g/cm <sup>3</sup> ]
	$r_u$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$u$ [%]	$\rho_0$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$r_u$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$u$ [%]	$\rho_0$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$r_u$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$u$ [%]	$\rho_0$ [g/cm <sup>3</sup> ]	
123 S	0.467	11.3	0.420	0.471	12.3	0.450	0.469	13.45	0.422	0.440
125 S	0.494	11.7	0.442	0.501	12.3	0.477	0.480	13.40	0.430	
123 K	0.578	11.7	0.517	0.575	12.6	0.543	0.598	13.38	0.541	0.550
124 K	0.601	11.8	0.538	0.675	12.8	0.590	0.627	11.99	0.569	
223 S	0.660	12.3	0.587	(0.830)	15.6	(0.810)	0.597	13.45	0.539	0.558
225 S	0.586	11.4	0.526	0.777	12.6	0.596	0.599	12.74	0.543	
223 K	0.602	12.6	0.541	0.646	13.0	0.611	0.539	12.94	0.488	0.538
225 K	0.565	10.7	0.510	0.545	12.8	0.522	0.611	12.40	0.553	
323 S	0.537	11.4	0.481	0.543	14.0	0.520	0.511	13.67	0.459	0.466
325 S	0.491	11.3	0.441	0.477	13.5	0.451	0.494	13.51	0.444	
323 K	0.521	10.6	0.471	0.549	12.2	0.525	0.545	12.32	0.493	0.487
322 K	0.532	11.1	0.478	0.505	13.3	0.482	0.521	12.37	0.471	
421 S	0.651	11.3	0.584	0.565	14.5	0.538	0.561	13.70	0.503	0.534
424 S	0.585	12.4	0.520	0.575	13.0	0.548	0.573	13.94	0.512	
(424 K)	(0.885)	(15.7)	(0.764)	(0.840)	(15.7)	(0.799)	(0.918)	(13.42)	(0.853)	0.595
425 K	0.664	10.9	0.598	0.624	12.6	0.612	0.626	11.98	0.574	
521 S	0.510	11.4	0.458	0.520	13.5	0.495	0.524	13.65	0.469	0.471
523 S	0.509	11.7	0.456	0.513	14.1	0.490	0.508	13.69	0.455	
522 K	0.556	10.6	0.503	0.589	12.8	0.564	0.586	12.30	0.529	0.522
523 K	0.626	10.3	0.567	0.551	12.0	0.530	0.485	12.25	0.438	
621 S	0.539	11.1	0.485	0.531	13.7	0.502	0.576	13.83	0.518	0.485
624 S	0.525	11.6	0.470	0.503	14.0	0.480	0.507	13.77	0.457	
624 K	0.572	11.1	0.516	0.578	12.9	0.549	0.586	12.87	0.530	0.542
626 K	0.609	10.8	0.548	0.581	12.4	0.556	0.609	12.67	0.554	

Tabelle 3: Druckfestigkeiten  $\sigma_D$  parallel zur Faser

Probe-Nr.	$\sigma_{DII}$ (u) [kp/cm <sup>2</sup> ]	u [%]	$\sigma_{DI}$ (u=12%) [kp/cm <sup>2</sup> ]	Mittel S <sub>i</sub> K [kp/cm <sup>2</sup> ]	Mittel [kp/cm <sup>2</sup> ]	
123S 125S	475 530	11.3 11.7	459 522	491	555	
123K 124K	595 660	11.7 11.8	586 653	620		
223S 225S	308 456	12.3 11.4	313 443	378		491
223K 225K	592 635	12.6 10.7	610 596	603		
323S 325S	562 530	11.4 11.3	546 512	529	483	
323K 322K	393 528	10.6 11.1	367 505	436		
421S 424S	666 549	11.3 12.4	643 560	602		612
424K 425K	549 605	15.7 10.9	673 574	624		
521S 523S	576 569	11.4 11.7	559 561	560	540	
522K 523K	660 460	10.6 10.3	617 424	521		
621S 624S	556 578	11.1 11.6	532 508	520		517
624K 626K	510 570	11.1 10.8	488 538	513		

Tabelle 4: E-Moduln der Verwerfungsproben aus Biegeversuch

Probe-Nr.	Probe hochkantstehend		Probe flachliegend		Mittel S,K ohne Schub- anteil [Kp/cm <sup>2</sup> ]	Mittel [Kp/cm <sup>2</sup> ]
	mit Schub- anteil [Kp/cm <sup>2</sup> ]	ohne Schub- anteil [Kp/cm <sup>2</sup> ]	mit Schub- anteil [Kp/cm <sup>2</sup> ]	ohne Schub- anteil [Kp/cm <sup>2</sup> ]		
123S	117 700	140 000	128 800	139 500	137 200	148 400
125S	118 500	141 000	119 500	128 800		
123K	135 400	164 900	149 000	163 300		
124K	128 600	154 800	142 000	154 900		
223S	117 800	139 200	134 800	146 000	144 700	146 700
225S	121 600	144 700	136 800	148 800		
223K	134 700	164 500	147 100	161 300		
225K	112 500	132 600	126 100	136 400		
323S	137 000	167 400	147 900	160 700	159 300	148 800
325S	127 700	153 500	142 600	155 700		
323K	122 400	145 900	128 600	139 100		
322K	113 900	133 900	124 400	134 200		
421S	143 600	176 700	155 900	172 000	150 200	160 800
424S	115 400	135 500	109 300	116 600		
(424K)	(89 500)	(101 400)	(91 200)	(96 000)		
425K	140 500	171 300	156 800	171 400		
521S	139 700	171 200	148 200	162 500	160 900	156 200
523S	132 700	161 500	136 400	148 500		
522K	136 700	166 900	156 100	171 200		
523K	120 500	143 700	115 700	123 800		
621S	117 800	139 500	126 200	135 700	134 400	139 700
624S	111 100	130 700	122 000	131 600		
624K	121 200	143 600	125 500	133 700		
626K	127 700	153 500	137 400	149 500		

Tabelle 5: Zusammenstellung der Ergebnisse aus den Schwind- und Quellversuchen

Probe-Nr.	Differenzielle Quellung			max. Quellmaß			max. Schwindmaß			Volumen-	
	tang.	rad.	long.	tang.	rad.	long.	tang.	rad.	long.	Quellmaß	Schwindmaß
	$q_t$	$q_r$	$q_l$	$d_t$	$d_r$	$d_l$	$\beta_t$	$\beta_r$	$\beta_l$	$d_v$	$\beta_v$
	[%/ %]	[%/ %]	[%/ %]	[ %]	[ %]	[ %]	[ %]	[ %]	[ %]	[ %]	[ %]
123S	0,302	0,170	0,007	9,98	4,84	0,271	9,07	4,61	0,270	14,82	13,68
125S	0,324	0,191	0,003	9,99	4,89	0,135	9,09	4,66	0,135	14,88	13,75
123K	0,232	0,170	0,011	7,03	3,62	0,302	6,56	3,49	0,302	10,65	10,05
124K	0,303	0,183	0,007	9,17	5,70	0,146	8,40	4,85	0,146	14,27	13,25
223S	0,260	0,169	0,005	9,25	5,78	0,177	8,47	4,93	0,177	14,43	13,40
225S	0,312	0,211	0,006	10,10	5,51	0,188	9,18	5,22	0,187	15,61	14,40
223K	0,315	0,194	0,005	11,19	5,50	0,167	10,06	5,21	0,166	16,69	15,27
225K	0,337	0,167	0,005	10,03	3,76	0,115	9,12	3,63	0,115	13,79	12,75
323S	0,270	0,157	0,003	10,78	5,27	0,135	9,24	5,00	0,135	15,45	14,24
325S	0,284	0,154	0,005	10,76	4,73	0,167	9,22	4,51	0,167	14,89	13,73
323K	0,308	0,209	0,004	10,57	4,44	0,136	9,04	4,25	0,135	15,01	13,29
322K	0,319	0,111	0,000	10,56	3,60	0,125	9,56	3,48	0,125	14,16	13,04
421S	0,249	0,191	0,002	10,22	6,20	0,104	9,28	5,84	0,104	16,42	15,12
424S	0,293	0,184	0,001	10,25	5,81	0,146	9,30	5,49	0,146	16,06	14,79
424K	(0,159)	(0,080)	(0,026)	6,77	2,93	0,659	5,81	2,84	0,654	9,10	8,65
425K	0,308	0,203	0,008	10,52	5,78	0,167	9,52	4,92	0,167	15,70	14,44
521S	0,312	0,170	-	10,44	5,60	0,125	9,45	5,31	0,125	16,04	14,76
523S	0,286	0,170	0,002	10,45	5,35	0,104	9,47	5,08	0,104	15,80	14,55
522K	0,315	0,172	0,003	9,47	5,16	0,115	8,65	4,91	0,114	14,63	13,56
523K	0,305	0,204	0,009	9,70	5,71	0,250	8,85	4,86	0,250	14,88	13,71
621S	0,194	0,137	0,002	8,30	5,03	0,063	7,67	4,79	0,620	13,33	12,46
624S	0,212	0,161	0,000	8,69	5,24	0,073	8,00	4,98	0,730	13,93	12,98
624K	0,263	0,141	0,003	9,72	4,46	0,104	8,86	4,27	0,104	14,18	13,13
626K	0,291	0,173	0,005	10,60	4,99	0,083	9,59	4,75	0,083	15,59	14,34

Tabelle 6: Zusammenstellung der mittleren Jahrring-, Spätholz- und Frühholzbreite

Probe-Nr.	mittlere Jahrringbreite [mm]		mittlere Spätholzbreite [mm]		mittlere Frühholzbreite [mm]		Spätholzanteil [%]	
	Splint	Kern	Splint	Kern	Splint	Kern	Splint	Kern
123 S	1.11		0.36		0.75		32	
125 S	2.67		0.92		1.75		34	
123 K		2.21		0.92		1.29		42
124 K		2.00		0.72		1.28		36
223 S	0.96		0.29		0.67		30	
225 S	1.62		0.49		1.13		30	
223 K		3.65		1.01		2.64		28
225 K		3.08		1.09		1.99		35
323 S	1.00		0.34		0.66		34	
325 S	0.89		0.22		0.67		25	
323 K		2.62		0.74		1.88		28
322 K		2.09		0.67		1.42		32
421 S	1.60		0.62		0.98		39	
424 S	1.44		0.57		0.87		40	
424 K		3.66		2.04		1.62		56
425 K		2.74		0.87		1.87		32
521 S	1.17		0.37		0.80		32	
523 S	1.38		0.42		0.96		30	
522 K		1.90		0.72		1.18		38
523 K		1.55		0.48		1.07		31
621 S	1.02		0.29		0.73		29	
624 S	0.93		0.26		0.67		28	
624 K		5.11		1.30		3.81		25
626 K		4.58		1.58		3.00		34

Tabelle 7: Verdrehungswinkel  $\varphi$  nach 50 Tagen  
( $\varphi$  in Bogenmaß)

Probe-Nr.	Lage der Fahrriuge $l \triangleq$ liegend $s \triangleq$ stehend	mittlere Fahr- ringbreite [ mm ]	$10^3$ facher Verdre- hungswinkel $\varphi$ des Endquer- schnittes $Q_a$	$10^3$ facher Verdre- hungswinkel $\varphi$ des Mittenquer- schnittes $Q_m$
123s	s	1,11	- 22,75	- 9,00
125s	l	2,67	- 26,50	- 8,50
123k	s	2,21	- 11,25	- 7,50
124k	l	2,00	- 34,75	- 12,50
223s	s	0,96	- 9,75	- 1,00
225s	l	1,62	(+117,25)	(+61,75)
223k	s	3,65	- 2,25	+ 2,25
225k	l	3,08	+ 77,00	+ 49,50
323s	s	1,00	- 24,75	- 16,75
325s	l	0,89	- 40,50	- 17,25
323k	s	2,62	- 11,75	- 6,50
322k	l	2,09	- 66,00	- 31,25
421s	l	1,60	+ 5,00	+ 4,00
424s	s	1,44	- 8,50	- 7,75
424k	s	3,66	- 1,25	+ 0,75
425k	l	2,74	+ 45,00	+ 23,25
521s	l	1,17	- 6,75	- 7,25
523s	s	1,38	- 4,25	- 3,50
522k	l	1,90	+ 33,00	+ 13,25
523k	s	1,55	+ 3,25	- 2,00
621s	l	1,02	+ 14,00	+ 7,00
624s	s	0,93	- 9,75	- 8,25
624k	s	5,11	+ 8,25	+ 1,75
626k	l	4,58	+ 47,50	+ 31,25

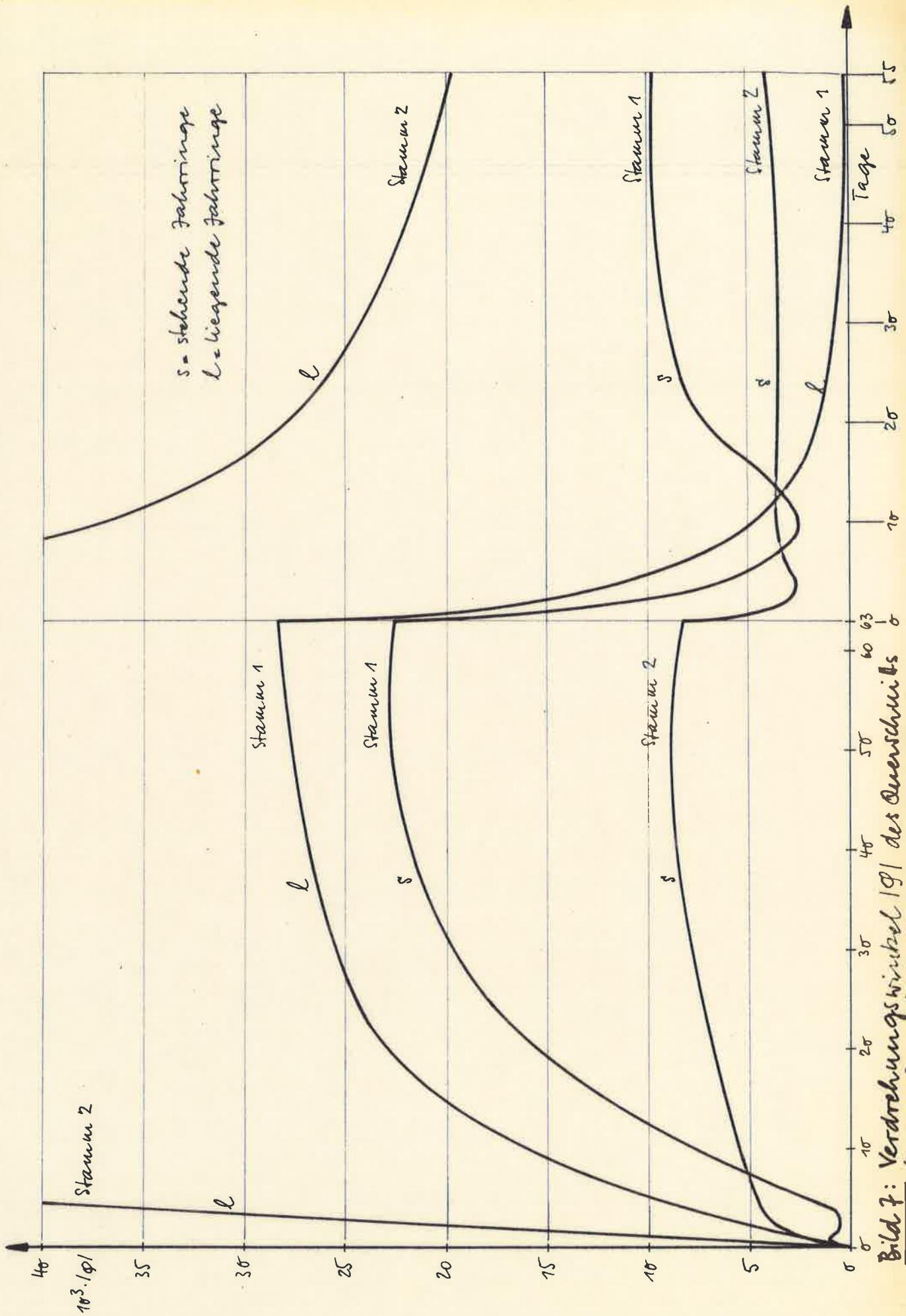
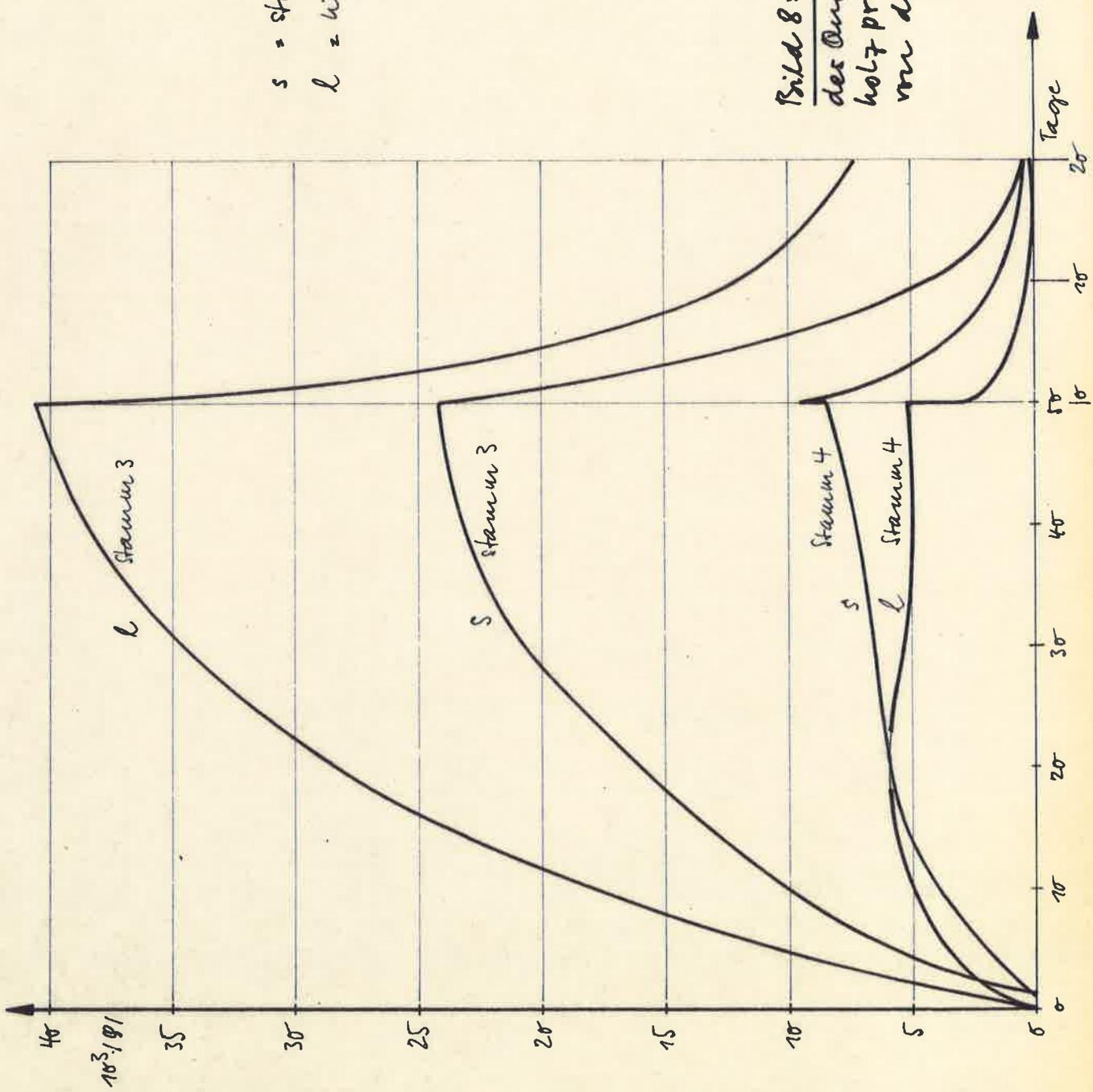


Bild 7: Verdrehungswinkel  $|\varphi|$  des Querschnitts  $\sigma$  von Spinnholzproben in Abhängigkeit von der Zeit



s = stehende Jahninge  
 l = liegende Jahninge

Bild 8: Verdrehungswinkel  $\alpha$  des Querschnitts  $\alpha_a$  von Splint-  
 holzproben in Abhängigkeit  
 von der Zeit

s = stehende Jahrringe  
 l = liegende Jahrringe

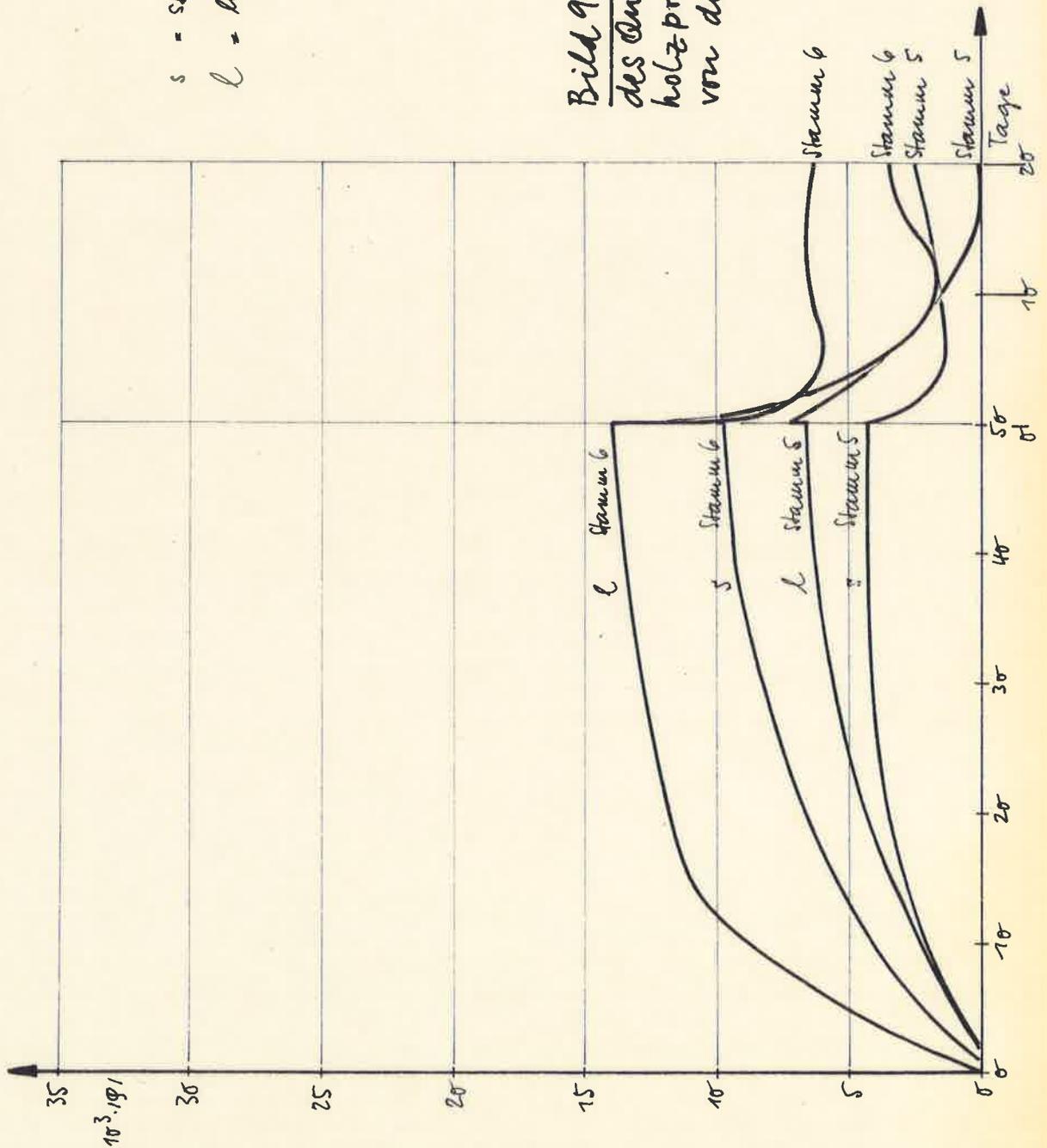


Bild 9: Verdrehungswinkel  $|\alpha|$  des Querschnitts  $D$  von Splintholzproben in Abhängigkeit von der Zeit

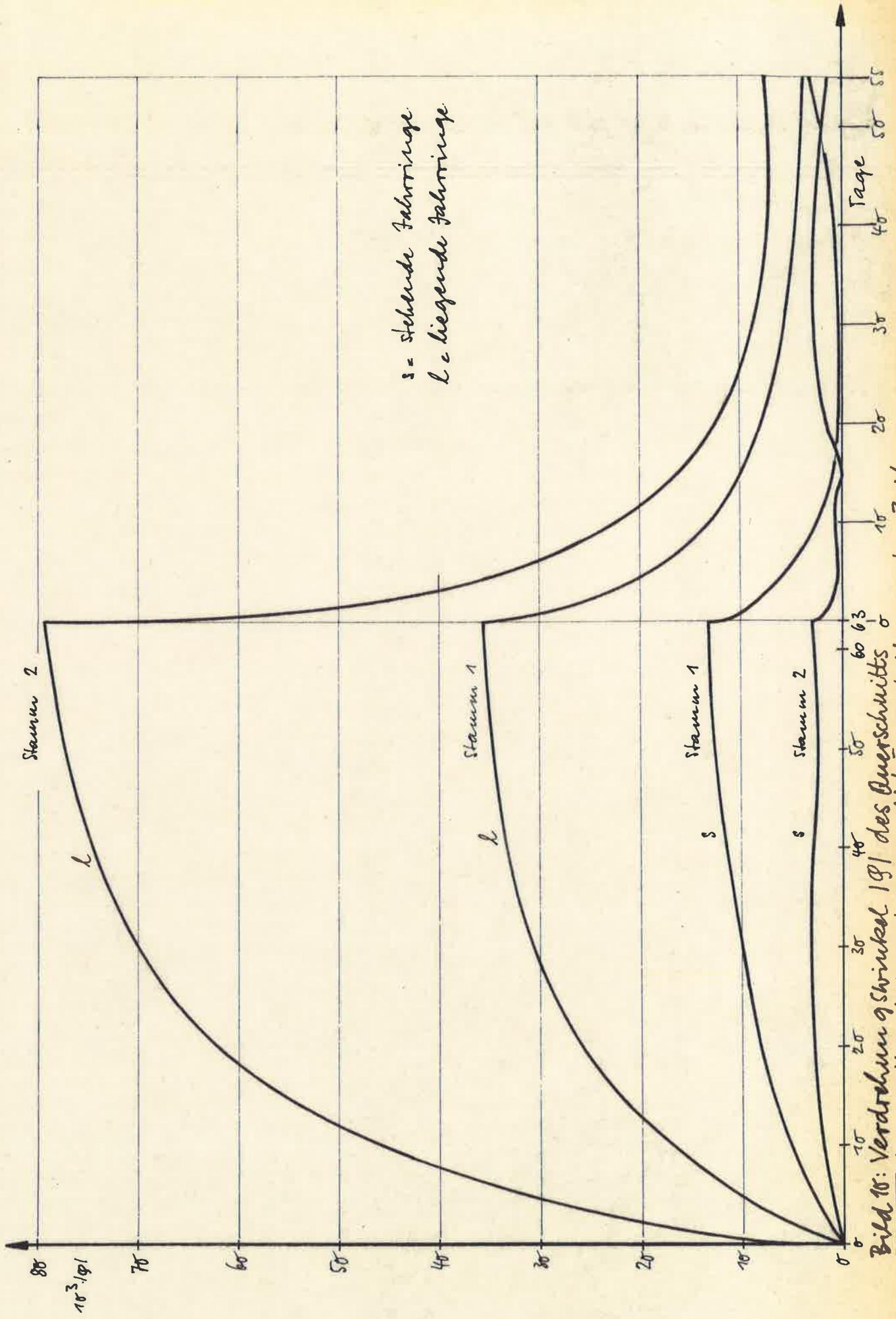


Bild 18: Verdrehungswinkel  $\alpha$  des Querschnittes  $\sigma$  von Kernholzproben in Abhängigkeit von der Zeit

s = stehende Jahrminge  
 l = liegende Jahrminge

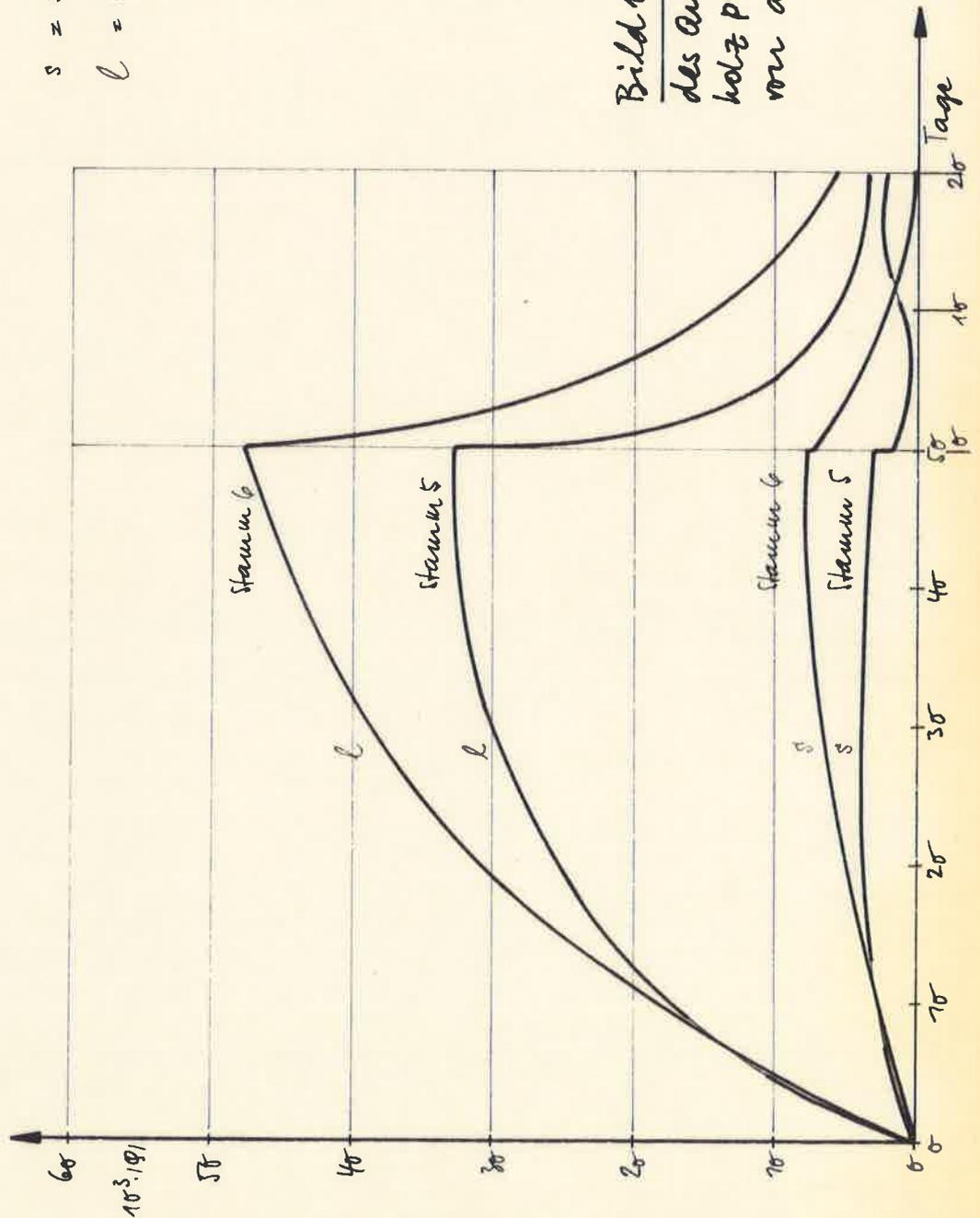
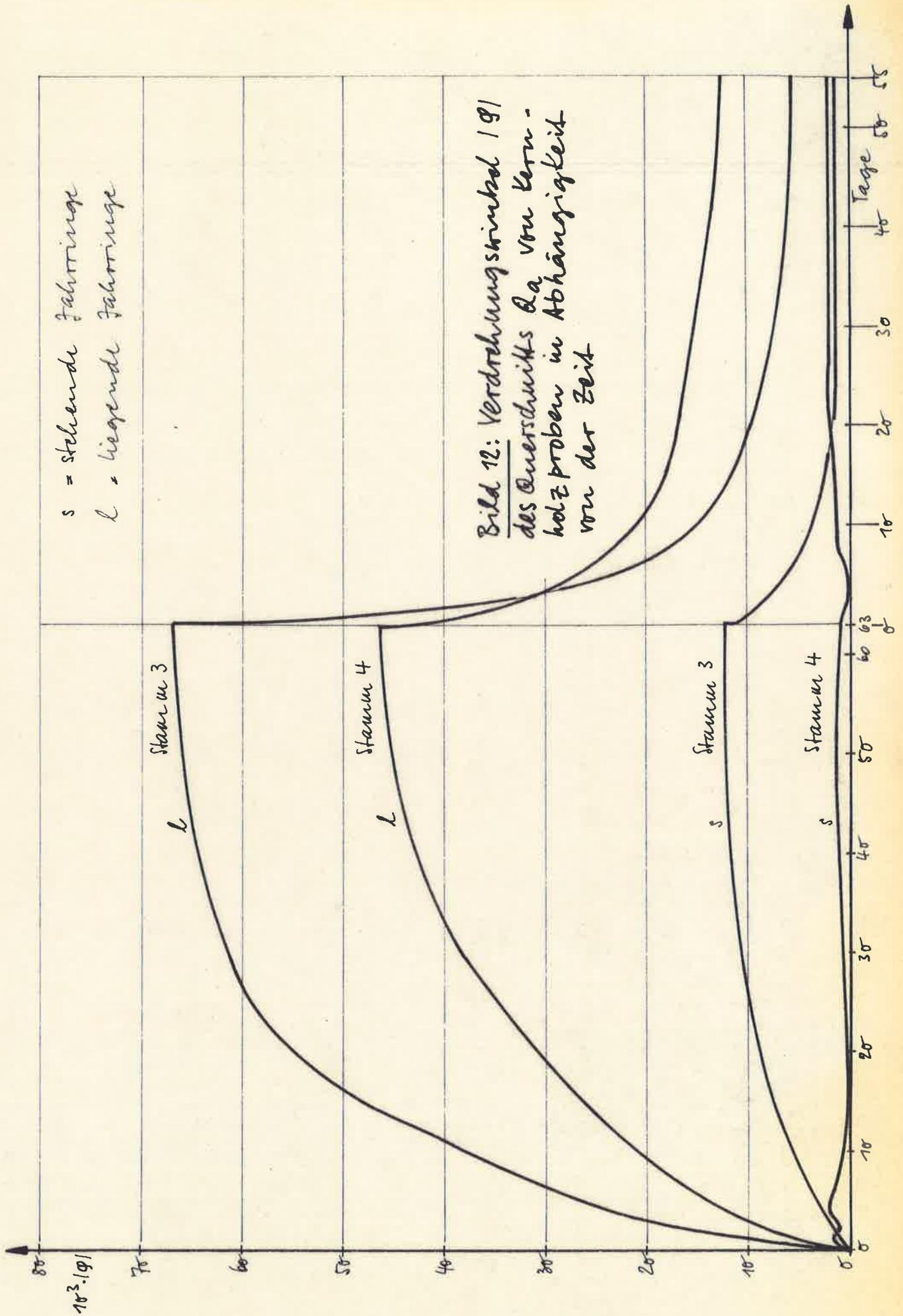


Bild 11: Verdrehungswinkel  $\varphi$  des Querschnitts  $Q_a$  von Kernholzproben in Abhängigkeit von der Zeit



UNTERSUCHUNGEN UEBER DIE ABHAENGIGKEIT DER FORM-  
BESTAENDIGKEIT DES KIEFERNHOLZES VOM JAHRRINGBAU

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen  
Universität Karlsruhe (TH)

Bericht

Untersuchungen über die Abhängigkeit der Form-  
beständigkeit des Kiefernholzes vom Jahrringbau

März 1976

## Inhalt

1. Zweck der Versuche
2. Anlage und Durchführung der Versuche
  - 2.1. Abmessungen, Jahrringbreiten und Zuschnitt der ausgewählten Stämme
  - 2.2. Entnahme der Proben
  - 2.3. Ermittlung der Rohdichte
  - 2.4. Ermittlung der Druckfestigkeit parallel zur Faser
  - 2.5. Ermittlung des Elastizitätsmoduls
  - 2.6. Ermittlung der Quell- und Schwindmaße
  - 2.7. Bestimmung der Jahrringbreiten und des Spätholzanteils
  - 2.8. Durchführung der Verwerfungsversuche
3. Ergebnis der Versuche
  - 3.1. Rohdichte
  - 3.2. Druckfestigkeit  $\sigma_D \parallel$
  - 3.3. Elastizitätsmodul aus Biegeversuch
  - 3.4. Quell- und Schwindmaße
  - 3.5. Jahrringbreiten, Spätholzanteil
  - 3.6. Verwerfungsversuche
4. Zusammenfassung Versuche
5. Zusammenfassung

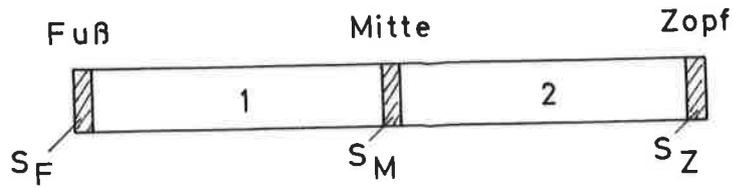
## 1. Zweck der Versuche

Zur Klärung der Frage, wie in den Kiefernbeständen der nordbadischen Rheinebene in Zukunft eine erhöhte Qualitätsholzerzeugung erreicht werden könne, sollten Untersuchungen durchgeführt werden, ob und wenn ja in welchem Maße das Stehvermögen des infrage kommenden Kiefernholzes von der Jahrringbreite und gegebenenfalls vom Spätholzanteil beeinflusst wird. Dabei war davon auszugehen, daß durch künstliche Astung ein praktisch astreines Holz erzeugt wird. Zur Erfassung der Formbeständigkeit wurden nach Beratung mit dem Institut für Fenstertechnik e.V., Rosenheim, Versuche zur Ermittlung der maximalen Schwind- und Quellmaße und des Verlaufes der Formänderungen bei einseitiger Befeuchtung und Rückklimatisierung vorgesehen. Daneben waren Rohdichte, Druckfestigkeit und E-Modul sowie die Jahrringbreiten und der Spätholzanteil zur Einordnung der untersuchten Stämme festzustellen.

## 2. Anlage und Durchführung der Versuche

### 2.1. Abmessungen, Jahrringbreiten und Zuschnitt der ausgewählten Stämme

Aus den Bereichen der Staatlichen Forstämter Karlsruhe-Hardt, Bruchsal und Philippsburg wurden je 2 Kiefernstämme von 5 bis 9 m Länge für die Versuche zur Verfügung gestellt. Jeweils ein Stamm hatte "enge" und ein Stamm "weite" Jahrringe im Kernbereich. Das Alter der Stämme schwankte zwischen 101 bis 114 Jahre, 1 Stamm war 137 Jahre alt. Die Stämme wurden im Sägewerk Moll KG in Schwetzingen nach Bild 1 eingeschnitten.



$S_F$  = Stammscheibe Fußende      1 = Unterer Stammabschnitt  
 $S_M$  = Stammscheibe Mitte        2 = Oberer Stammabschnitt  
 $S_Z$  = Stammscheibe Zopfende

Bild 1: Schnittplan der Kiefernstämmen

Die Stammabschnitte 1 und 2 wurden in Blockware von 60 mm Dicke aufgeschnitten und zusammen mit den Stammscheiben angeliefert. Nach 16monatiger natürlicher Trocknung in einem offenen Schuppen wurden an den  $6 \times 3 = 18$  Stammscheiben die jeweiligen Stammdurchmesser, die Splintholzdicke und die Anzahl der Jahrringe festgestellt. Bild 2 (Anlage 1) zeigt die Schnittflächen der mittleren Stammscheiben  $S_M$ . Die Holzfeuchtigkeit wurde mit einem elektrischen Feuchtemesser ermittelt.

Die festgestellten Werte sind in Tabelle 1 (Anlage 2) zusammengestellt. Tabelle 1a (Anlage 3) enthält die mittleren Jahrringbreiten für Splint, Kern und den Gesamtquerschnitt. Dabei ist zu bemerken, daß die als "engringig" oder "weitringig" von der Forstbehörde ausgewählten Stämme nur in ihrem Kernholz einen deutlichen Unterschied in den Jahrringbreiten aufwiesen, während im Splintholz teilweise umgekehrte Verhältnisse vorlagen.

## 2.2. Entnahme der Proben

Aus den Stämmen Nr. 1 bis 6 wurden jeweils aus den Bohlen des oberen (mit 2 bezeichneten) Stammabschnittes 4 "Rohlinge" pro Stamm entnommen. Die Rohlinge wurden so ausge-

wählt, daß jeweils zwei aus dem Kernholz und zwei aus dem Splintholz stammten. Die Jahrringe sollten möglichst parallel zu den Schnittkanten des Rohlings verlaufen. Aus dem inneren Kernbereich (Durchmesser etwa 10 cm) wurden keine Proben entnommen. Die Lage der Rohlinge im Stammquerschnitt ist Bild 3 (Anlage 4) zu entnehmen.

Dabei bezeichnet die erste Ziffer der Probennummer den Stamm, die zweite Ziffer den Stammabschnitt, die dritte Ziffer die Bohlen-Nr., der Buchstabe K steht für Kernholz und der Buchstabe S für Splintholz.

Die herausgesägten Rohlinge mit den Abmessungen  $b/h/l = 60/60/1300$  mm wurden bis zur Gewichtskonstanz in Normalklima 20/65 (d.h. bei 20°C Temperatur und 65 % rel. Luftfeuchtigkeit) gelagert. Anschließend wurden aus diesen Rohlingen gemäß Bild 4 folgende Einzelproben herausgearbeitet.

- |   |                   |            |    |
|---|-------------------|------------|----|
| a | Verwerfungsprobe  | 40/60/1000 | mm |
| b | Längsschwindprobe | 20/20/100  | mm |
| c | Querschwindprobe  | 20/20/10   | mm |
| d | Längsdruckprobe   | 40/40/80   | mm |

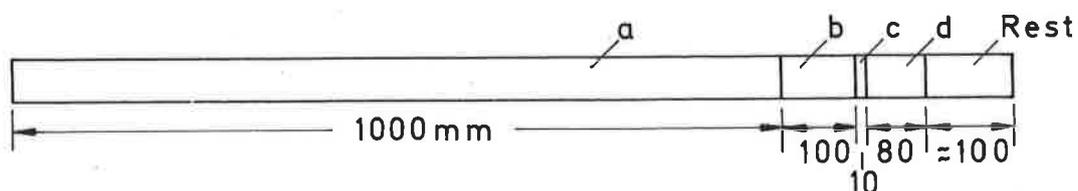


Bild 4: Aufteilung der Rohlinge 60/60/1300

Bei den Verwerfungsproben bezieht sich die Angabe stehende bzw. liegende Jahrringe auf die längere Querschnittsseite, d.h. bei den Proben mit liegenden Jahrringen verlaufen die Jahrringe parallel zur 60 mm langen Querschnittsseite und bei Proben mit stehenden Jahrringen verlaufen die Jahrringe senkrecht zur 60 mm langen Querschnittsseite.

### 2.3. Ermittlung der Rohdichte

Die Rohdichte und Darrohdichte wurde an den Druckproben und an den Schwind- und Quellproben ermittelt. Die Darrohdichte der Druckproben wurde aus dem Darrgewicht und dem Volumen der Probe berechnet, die sich bei Lagerung im Normalklima 20/65 einstellten. Die Darrohdichte der radialen und tangentialen Quellproben wurden aus dem Darrgewicht und dem Volumen  $V = l_t (u = 0 \%) \times l_r (u = 0 \%) \times t (u = u \%)$  berechnet. Bei den Proben für longitudinales Quellen und Schwinden mußte die Darrohdichte aus dem Darrgewicht und dem Volumen  $V = l_t (u = u \%) \times l_r (u = u \%) \times l_L (u = 0 \%)$  errechnet werden.

### 2.4. Ermittlung der Druckfestigkeit parallel zur Faser

An 24 Druckproben 40/40/80 mm wurde im Druckversuch nach DIN 52185 Bl. 1 die Druckfestigkeit parallel zur Faser bestimmt.

### 2.5. Ermittlung des E-Moduls der Verwerfungsproben

Aus dem Biegeversuch nach DIN 52186 wurde an den Verwerfungsproben 40/60/1000 mm der E-Modul bestimmt. Jede Probe wurde einmal hochkant ( $\frac{l}{h} = 13,3$ ) und einmal flachliegend ( $\frac{l}{h} = 20$ ) belastet.

Um den Schubverformungseinfluß zu eliminieren, wurde bei Annahme eines Schubmoduls  $G = 5000 \text{ kp/cm}^2$  der E-Modul nach folgender Gleichung berechnet:

$$E = \frac{P \cdot l \cdot G}{4 \cdot f \cdot G \cdot F - 1,2 \cdot P \cdot l} \left(\frac{l}{h}\right)^2 \quad (\text{kp/cm}^2)$$

Darin bedeutet f die bei der Last P gemessene Durchbiegung in l/2, h die Probenhöhe und l die Stützweite.

## 2.6. Ermittlung der Quell- und Schwindmaße

Ermittelt wurden die Quell- und Schwindmaße in longitudinaler, radialer und tangentialer Richtung.

Die Versuchsdurchführung gliederte sich in 3 Abschnitte.

### 1. Versuchsabschnitt:

Lagerung der Proben in Normalklima 20/65 bis zur Gewichtskonstanz. Ermittlung der Maße, Gewichte und der mittleren Jahrringbreiten der Proben im klimatisierten Zustand.

### 2. Versuchsabschnitt:

Beim Trocknen der Proben nach DIN E 52184 zeigte sich zum Teil ein starker Harzaustritt. Um die dadurch entstehende Verfälschung der Meßergebnisse auszuschließen, wurde die Trocknung bei 40 bis 60°C im Exsikkator mit Trockenmittel bis zur Gewichtskonstanz der Proben durchgeführt. Anschließend wurden erneut Maße und Gewichte der Proben ermittelt.

### 3. Versuchsabschnitt:

Die Proben wurden anschließend mindestens 3 Tage in Normalklima 20/65, anschließend mindestens 2 Wochen in Wasser von  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  Temperatur gemäß DIN E 52184, Abschnitt 5.2 gelagert. Die endgültige Messung der Probenabmessungen erfolgte dann, wenn sich die Maße nicht mehr als 0,02 mm veränderten.

Nach Abschluß der Versuche wurden alle Proben zunächst etwa 8 Tage in Normalklima 20/65 zur Rücktrocknung gelagert und dann noch einmal im Darrofen bei  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  getrocknet, wobei das austretende Harz in Schälchen ausgefangen wurde.

## 2.7. Bestimmung der Jahrringbreiten und des Spätholzanteils

Nach DIN 52181 wurden an den Druckproben zunächst die mittleren Jahrringbreiten bestimmt. Anschließend wurden mit Hilfe einer Lupe auf 1/10 mm genau die Spätholzbreiten eines jeden Jahrringes gemessen. Die mittlere Spätholzbreite ergab sich dann zu

$$s_m = \frac{\sum s_i}{z_i} \quad (\text{mm}) \quad \begin{array}{l} \sum s_i = \text{Summe der einzelnen Spätholzbreiten} \\ z_i = \text{Anzahl der Jahrringe entlang der Meßstrecke.} \end{array}$$

Der mittlere Spätholzanteil  $s$  wird damit

$$s = \frac{s_m}{j_m} \cdot 100 \% \quad j_m = \text{mittlere Jahrringbreite}$$

Die Bestimmung der Spätholzbreiten in dieser einfachen Form war in diesem Falle möglich, da bei Kiefernholz im allgemeinen die Uebergänge von Früh- zum Spätholz ziemlich scharf und abrupt und somit unter der Lupe gut feststellbar sind.

## 2.8. Durchführung der Verwerfungsversuche

Es standen drei wasserdichte Blechwannen zur Verfügung. Ueber dem Wasserspiegel wurden zunächst die ersten  $3 \times 4 = 12$  Proben nach Bild 5 eingebaut, nachdem zuvor die Hirnflächen der Proben mit einem doppelten PERFALON-Anstrich versehen worden waren. Die Proben wurden rundum elastisch abgedichtet, so daß die obere Hälfte der Proben dem Klima 20/65 und die untere Hälfte dem Klima 20/90 ausgesetzt war. Die Abdichtungen aus wasserdichter Leinwand wurden so nachgiebig angebracht, daß Bewegungen der Proben dadurch nicht behindert werden konnten.

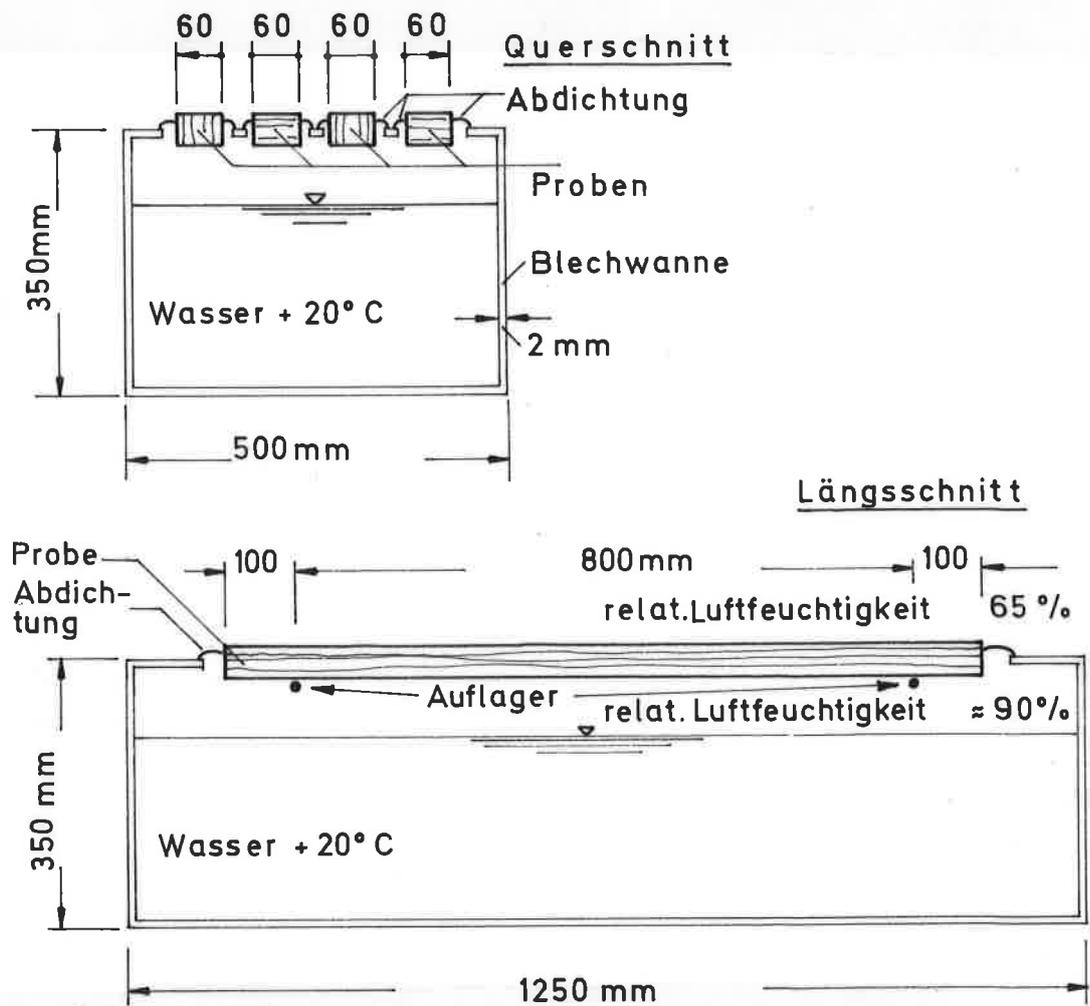


Bild 5: Anordnung der Verwerfungsversuche

Folgende 12 Proben wurden im ersten Versuchsabschnitt eingebaut:

Bottich A	Bottich B	Bottich C
123 Ks	123 Ss	322 Kl
124 Kl	125 Sl	323 Ks
223 Ks	223 Ss	424 Ks
225 Kl	225 Sl	425 Kl

Die Verformungen wurden über einen Zeitraum von 63 Tagen gemessen. Anschließend wurden die Proben rückklimatisiert, d.h. die Proben wurden von den Bottichen abgenommen und in Normalklima 20/65 bei gleichbleibender Stützweite von 80 cm 55 Tage gelagert.

Im Versuchsabschnitt 2 wurden die Verformungen der Proben-Nr.

Bottich D	Bottich E	Bottich F
323 Ss	522 Kl	521 Sl
325 Sl	523 Ks	523 Ss
421 Sl	624 Ks	621 Sl
424 Ss	626 Kl	624 Ss

über einen Zeitraum von 50 Tagen beobachtet. Die Rückklimatisierung dauerte 20 Tage.

Der Aufbau der Meßeinrichtung geht aus Bild 6 hervor.

Foto  
085/73  
Bild 57

Bild 6: Aufbau der Meßeinrichtung für die Verformungsproben.

### 3. Ergebnis der Versuche

#### 3.1. Rohdichte

Die ermittelten Rohdichten der Proben in klimatisiertem Zustand und die Darrohdichten sind in Tabelle 2 (Anlage 5) zusammengestellt. Bildet man das Gesamtmittel der Rohdichte der Druck- und Quellproben, so ergeben sich folgende Werte:

$$\begin{array}{ll} \text{Kernholz: } r_o = 0,556 \text{ g/cm}^3 & \text{Splintholz: } r_o = 0,499 \text{ g/cm}^3 \\ r_{12} = 0,622 \text{ g/cm}^3 & r_{12} = 0,559 \text{ g/cm}^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Gesamtmittel: } r_o = 0,528 \text{ g/cm}^3 \\ r_{12} = 0,590 \text{ g/cm}^3 \end{array}$$

In [1] wird für deutsches Kiefernholz aus Oberhessen und Oberpfalz der Mittelwert  $r_{12} = 0,583 \text{ g/cm}^3$ , für schwedische Kiefern der Mittelwert  $r_{12} = 0,546 \text{ g/cm}^3$  angegeben.

#### 3.2. Druckfestigkeit $\sigma_{D12}$

Die aus den Druckversuchen ermittelten Werte sind aus Tabelle 3 (Anlage 6) zu ersehen. Die auf den Feuchtigkeitsgehalt  $u = 12 \%$  umgerechneten Druckfestigkeiten ergeben sich nach der Gleichung:

$$\underline{\sigma_{D12} = \sigma_{Du} \cdot \frac{20}{32-u \%}}$$

Die Versuche ergaben einen Mittelwert  $\sigma_{D12} = 533 \text{ kp/cm}^2$ . Die Mittelwerte, die in [1] angegeben sind, liegen für deutsche Kiefer mit  $613 \text{ kp/cm}^2$  um  $15 \%$  und für schwedische Kiefer mit  $567 \text{ kp/cm}^2$  um  $6,5 \%$  höher.

### 3.3. Elastizitätsmodul aus Biegeversuch

Die gemessenen Werte mit und ohne Schubanteil sind in Tabelle 4 (Anlage 7) zusammengestellt. Hieraus läßt sich kein eindeutiger Unterschied zwischen Kern- und Splintholz erkennen, außer bei den Stämmen 3 und 4 war auch kein Unterschied zwischen "eng"- und "weiringig" feststellbar, der darauf schließen ließe, daß die Jahrringbreite einen eindeutigen Einfluß auf den E-Modul hat.

### 3.4. Quell- und Schwindmaße

In Tabelle 5 (Anlage 8) sind die Quell- und Schwindmaße zusammengestellt. Eindeutige Unterschiede zwischen Kern- und Splintholz sowie zwischen "eng" - und "weiringig" konnten nicht festgestellt werden.

### 3.5. Jahrringbreiten, Spätholzanteil

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 (Anlage 9) zusammengestellt. Bei einem Vergleich mit den mittleren Jahrringbreiten von Kiefernholz aus Oberhessen/Oberpfalz und aus Schweden [1] zeigt sich, daß die untersuchten nordbadischen Kiefernstämme eine wesentlich größere mittlere Jahrringbreite aufweisen.

Standort	mittlere Jahrringbreite
Oberhessen/Oberpfalz	1,09 mm
Schweden	1,20 mm
Nordbaden	2,12 mm

### 3.6. Verwerfungsversuche

In Tabelle 7 (Anlage 10) sind die  $10^3$ fachen Verdrehungswinkel  $\varphi$  des End- und Mittenquerschnittes nach 50-tägiger Lagerung der Probekörper über den Bottichen zusammengestellt. Das Vorzeichen von  $\varphi$  gibt an, ob sich die Querschnitte im Uhrzeigersinn oder umgekehrt verdreht haben. Da in der Regel die Verdrehungen immer die einmal eingeschlagene Richtung bis zu Beginn der Rückklimatisierung beibehalten, werden im weiteren nur die Absolutbeträge des Verdrehungswinkels  $\varphi$  verwendet. Ein eindeutiger Unterschied zwischen Kern- und Splintholz sowie zwischen "eng-" und "weitringig" kann aus den gemessenen Verdrehungswinkeln nicht herausgelesen werden. In den Diagrammen Bild 7 bis 12 (Anlage 11 - 16) sind die  $10^3$ fachen Absolutbeträge des Verdrehungswinkels des Querschnittes  $Q_a$  in Abhängigkeit von der Zeit für die Befeuchtung und Rückklimatisierung aufgetragen. Bei der Befeuchtung wächst in der Regel der Endverdrehungswinkel der "liegenden" Probekörper rasch an und erreicht wesentlich höhere Werte als die "stehenden" Probekörper. Bei der Rückklimatisierung erreichen die "stehenden" Proben rascher den Ausgangszustand als die Proben mit liegenden Jahrringen.

### 4. Zusammenfassung

Bei der Anwendung von Kiefernholz für Fenster und Türen kommt es vorwiegend darauf an, daß das verwendete Holz ein gutes "Stehvermögen" hat, d.h. daß bei Änderungen der Holzfeuchtigkeit keine schädlichen Verformungen auftreten. Betrachtet man in diesem Zusammenhang die ermittelten

Eigenschaften, vor allem die Quell- und Schwindmaße und die beim Verwerfungsversuch aufgetretenen Verdrehungen, so muß man feststellen, daß zwischen den Stämmen aus den verschiedenen Standorten einerseits und zwischen den eng-ringigen und weitringigen Stämmen der gleichen Provenienz andererseits keine eindeutig feststellbaren Unterschiede aufgezeigt werden konnten. Dabei muß beachtet werden, daß auch die "engringigen" Kiefern mit Jahrringbreiten im Kernholz von mehr als 2 mm die mittlere Jahrringbreite anderer Kiefernbestände (z.B. Oberhessen, Schweden) um nahezu 100 % übertrafen. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, daß bei Jahrringbreiten von 2 mm und mehr der Einfluß der Jahrringbreite auf die maßgebenden Eigenschaften weitgehend zurück geht.

- [ 1 ] Kollmann, F., E. Schmidt, R. Teichgräber u. E. Baur:  
Vergleichende Untersuchungen an deutschem und schwedischem Kiefernholz für Masten. Holz als Roh- und Werkstoff 17 (1959) Nr. 12, S. 474/83.

Bild 2: Schnittflächen der mittleren Stammscheiben  $S_m$ .

Tabelle 1: Zusammenstellung der an den Stammscheiben ermittelten Holzfeuchtigkeit, Stammdurchmesser, mittleren Splintholzdicke u. Anzahl der Jahrringe

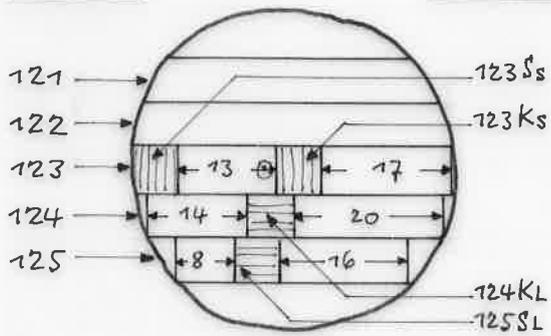
STAMM-NR.	WALD-NR.	FAHRRINGE	STAMMLÄNGE [m]	HOLZFEUCHTIGKEIT [%]	mittlerer Stamm - durchmesser			mittlere Splintholz- dicke			Anzahl der Jahrringe								
					Fuß	Mitte	Zopf	Fuß	Mitte	Zopf	am Fußende			in Stammmitte			am Zopfende		
											Splint	Kern	gesamt	Splint	Kern	gesamt	Splint	Kern	gesamt
					[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
1	697	aug	8	13	57.6	44.0	39.9	16.5	9.6	7.7	73	50	123	52	65	117	48	55	103
KARLSRUHE																			
2	712	weil	7	13	49.7	39.6	37.3	12.4	5.6	5.0	88	34	122	74	45	119	74	40	114
3	215	aug	9	13	45.5	37.4	35.0	8.2	5.0	4.8	74	50	124	51	64	115	45	62	107
BRUCHSAL																			
4	54	weil	7	13	63.3	51.4	48.0	15.2	10.7	9.0	85	41	126	75	45	120	70	45	115
5	772	aug	7	13	44.7	36.3	34.2	11.1	7.1	6.2	68	46	114	54	52	106	50	51	101
PHILIPPSBURG																			
6	629	weil	5	13	68.5	55.5	52.2	11.6	8.4	7.2	97	56	153	87	55	142	80	57	137

Tabelle 1a: Zusammenstellung der mittleren  
Fahringbreiten

STAMM-NR.	mittlere Fahringbreite								
	am Fußende			in Stammmitte			am Zopfende		
	Splint	Kern	gesamt	Splint	Kern	gesamt	Splint	Kern	gesamt
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1 eng <u>KAELSRUHE</u>	2,3	2,5	2,3	1,8(5)	1,9	1,9	1,6	2,2	1,8
2 weit	1,4	3,7	2,1	0,8	3,2	2,0	0,7	3,4	2,1(5)
3 eng <u>BRUCHSAL</u>	1,1	2,9	1,8	1,0	2,1	1,6	1,1	2,0	1,6
4 weit	1,8	4,0	2,4	1,4	3,3	2,0	1,3	3,3	2,1
5 eng <u>PHILIPPSBURG</u>	1,6	2,45	1,8	1,3	2,1	1,6	1,2	2,1	1,6
6 weit	1,2	4,0	2,4	1,0	3,5	2,1	0,9	3,3	2,2

Bohle-Nr.

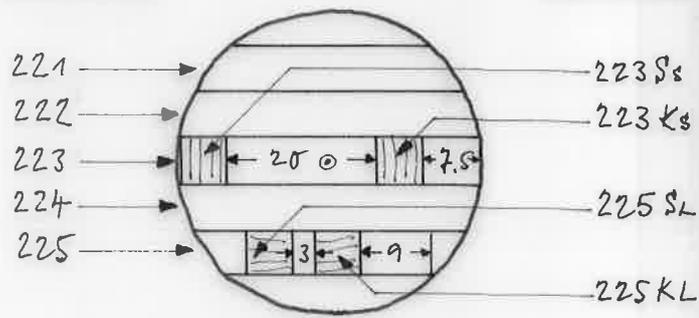
Probe-Nr.



Stamm 1

Bohle-Nr.

Probe-Nr.

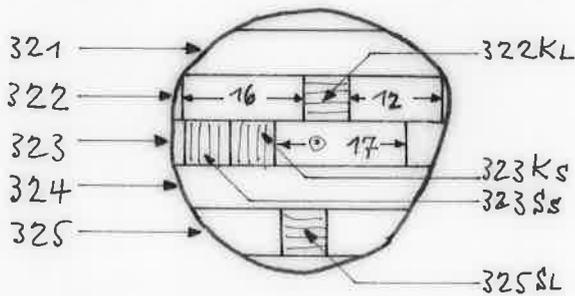


Stamm 2

Maße in cm

Bohle-Nr.

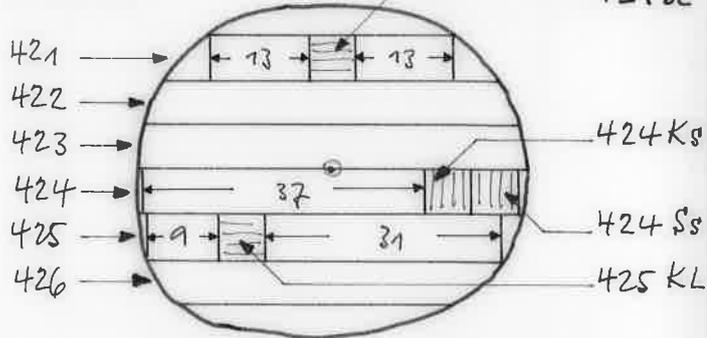
Probe-Nr.



Stamm 3

Bohle-Nr.

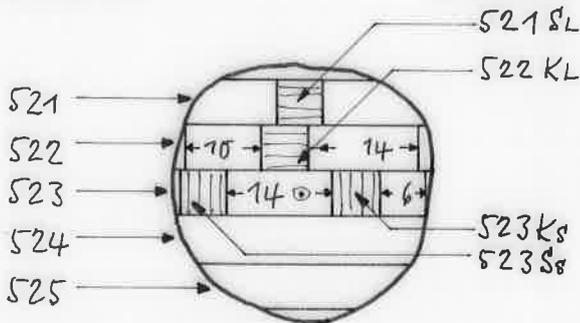
Probe-Nr.



Stamm 4

Bohle-Nr.

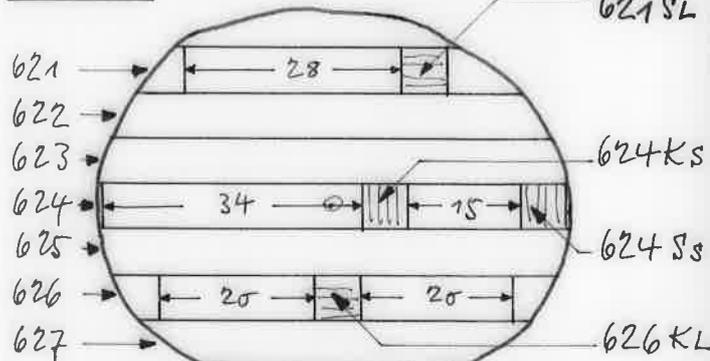
Probe-Nr.



Stamm 5

Bohle-Nr.

Probe-Nr.



Stamm 6

Bild 3: Lage der Rohlinge für die Probe Körper

Tabelle 2: Zusammenstellung der Rohdichten

Probe-Nr.	Druckproben			Quellproben radial / tang.			Quellproben longitudinal			Mittel $\rho_0$ [g/cm <sup>3</sup> ]
	$r_u$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$u$ [%]	$\rho_0$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$r_u$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$u$ [%]	$\rho_0$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$r_u$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$u$ [%]	$\rho_0$ [g/cm <sup>3</sup> ]	
123 S	0.467	11.3	0.420	0.471	12.3	0.450	0.469	13.45	0.422	0.440
125 S	0.494	11.7	0.442	0.501	12.3	0.477	0.480	13.40	0.430	
123 K	0.578	11.7	0.517	0.575	12.6	0.543	0.598	13.38	0.541	0.550
124 K	0.601	11.8	0.538	0.615	12.8	0.590	0.627	11.99	0.569	
223 S	0.660	12.3	0.507	(0.830)	15.6	(0.810)	0.597	13.45	0.539	0.558
225 S	0.586	11.4	0.526	0.777	12.6	0.596	0.599	12.74	0.543	
223 K	0.602	12.6	0.541	0.646	13.0	0.611	0.539	12.94	0.488	0.538
225 K	0.565	10.7	0.510	0.545	12.8	0.522	0.611	12.40	0.553	
323 S	0.537	11.4	0.481	0.543	14.0	0.520	0.511	13.67	0.459	0.466
325 S	0.491	11.3	0.441	0.477	13.5	0.451	0.494	13.51	0.444	
323 K	0.521	10.6	0.471	0.549	12.2	0.525	0.545	12.32	0.493	0.487
322 K	0.532	11.1	0.478	0.505	13.3	0.482	0.521	12.37	0.471	
421 S	0.651	11.3	0.584	0.565	14.5	0.538	0.561	13.70	0.503	0.534
424 S	0.585	12.4	0.520	0.575	13.0	0.548	0.573	13.94	0.512	
(424 K)	(0.885)	(15.7)	(0.704)	(0.840)	(15.7)	(0.799)	(0.918)	(13.42)	(0.853)	0.595
425 K	0.664	10.9	0.598	0.624	12.6	0.612	0.626	11.98	0.574	
521 S	0.510	11.4	0.458	0.520	13.5	0.495	0.524	13.65	0.469	0.471
523 S	0.509	11.7	0.456	0.513	14.1	0.490	0.508	13.69	0.455	
522 K	0.556	10.6	0.503	0.589	12.8	0.564	0.586	12.30	0.529	0.522
523 K	0.626	10.3	0.567	0.551	12.0	0.530	0.485	12.25	0.438	
621 S	0.539	11.1	0.485	0.531	13.7	0.502	0.576	13.83	0.518	0.485
624 S	0.525	11.6	0.470	0.503	14.0	0.480	0.507	13.77	0.457	
624 K	0.572	11.1	0.516	0.578	12.9	0.549	0.586	12.87	0.530	0.542
626 K	0.609	10.8	0.548	0.581	12.4	0.556	0.609	12.67	0.554	

Tabelle 3: Druckfestigkeiten  $\sigma_D$  parallel zur Faser

Probe-Nr.	$\sigma_{D  }$ ( $u$ ) [kp/cm <sup>2</sup> ]	$u$ [%]	$\sigma_{D  }$ ( $u=12\%$ ) [kp/cm <sup>2</sup> ]	Mittel S,K [kp/cm <sup>2</sup> ]	Mittel [kp/cm <sup>2</sup> ]	
123S 125S	475 530	11.3 11.7	459 522	491	555	
123K 124K	595 660	11.7 11.8	586 653	620		
223S 225S	308 456	12.3 11.4	313 443	378		491
223K 225K	592 635	12.6 10.7	610 596	603		
323S 325S	562 530	11.4 11.3	546 512	529	483	
323K 322K	393 528	10.6 11.1	367 505	436		
421S 424S	666 549	11.3 12.4	643 560	602		612
424K 425K	549 605	15.7 10.9	673 574	624		
521S 523S	576 569	11.4 11.7	559 561	560	540	
522K 523K	660 460	10.6 10.3	617 424	521		
621S 624S	556 518	11.1 11.6	532 508	520		517
624K 626K	510 570	11.1 10.8	488 538	513		

Tabelle 4: E-Moduln der Verwerfungsproben aus Biegeversuch

Probe-Nr.	Probe hochkantstehend		Probe flachliegend		Mittel S,K ohne Schubanteil [Kp/cm <sup>2</sup> ]	Mittel [Kp/cm <sup>2</sup> ]
	mit Schubanteil [Kp/cm <sup>2</sup> ]	ohne Schubanteil [Kp/cm <sup>2</sup> ]	mit Schubanteil [Kp/cm <sup>2</sup> ]	ohne Schubanteil [Kp/cm <sup>2</sup> ]		
123S	117700	140000	128800	139500	137300	148400
125S	118500	141000	119500	128800		
123K	135400	164900	149000	163300		
124K	128600	154800	142000	154900		
223S	117300	139200	134800	146000	144700	146700
225S	121600	144700	136800	148800		
223K	134700	164500	147100	161300		
225K	112500	132600	126100	136400		
323S	137000	167400	147900	160700	159300	148800
325S	127700	153500	142600	155700		
323K	122400	145900	128600	139100		
322K	113900	133900	124400	134200		
421S	143600	176700	155900	172000	150200	160800
424S	115400	135500	109300	116600		
(424K)	(89500)	(101400)	(94200)	(96000)		
425K	140500	171300	156800	171400		
521S	139700	171200	148200	162500	160900	156200
523S	132700	161500	136400	148500		
522K	136700	166900	156100	171200		
523K	120500	143700	115700	123800		
621S	117800	139500	126200	135700	134400	139700
624S	111100	130700	122500	131600		
624K	121200	143600	125500	133700		
626K	127700	153500	137400	149500		

Tabelle 5: Zusammenstellung der Ergebnisse aus den Schwind- und Quellversuchen

Probe-Nr.	Differentielle Quellung			max. Quellmaß			max. Schwindmaß			Volumen-	
	tang.	rad.	long.	tang.	rad.	long.	tang.	rad.	long.	Quellmaß	Schwindmaß
	$q_t$	$q_r$	$q_l$	$d_t$	$d_r$	$d_l$	$\beta_t$	$\beta_r$	$\beta_l$	$d_v$	$\beta_v$
	[%/ %]	[%/ %]	[%/ %]	[ % ]	[ % ]	[ % ]	[ % ]	[ % ]	[ % ]	[ % ]	[ % ]
123S	0,302	0,170	0,007	9,98	4,84	0,271	9,07	4,61	0,270	14,82	13,68
125S	0,324	0,191	0,003	9,99	4,89	0,135	9,09	4,66	0,135	14,88	13,75
123K	0,232	0,170	0,011	7,03	3,62	0,302	6,56	3,49	0,302	10,65	10,05
124K	0,303	0,183	0,007	9,17	5,70	0,146	8,40	4,85	0,146	14,27	13,25
223S	0,260	0,169	0,005	9,25	5,18	0,177	8,47	4,93	0,177	14,43	13,40
225S	0,312	0,211	0,006	10,10	5,51	0,188	9,18	5,22	0,187	15,61	14,40
223K	0,315	0,194	0,005	11,19	5,50	0,167	10,06	5,21	0,166	16,69	15,27
225K	0,337	0,167	0,005	10,03	3,76	0,115	9,12	3,63	0,115	13,79	12,75
323S	0,270	0,157	0,003	10,18	5,27	0,135	9,24	5,00	0,135	15,45	14,24
325S	0,284	0,154	0,005	10,16	4,73	0,167	9,22	4,51	0,167	14,89	13,73
323K	0,308	0,209	0,004	10,57	4,44	0,136	9,04	4,25	0,135	15,01	13,29
322K	0,319	0,111	0,000	10,56	3,60	0,125	9,56	3,48	0,125	14,16	13,04
421S	0,249	0,191	0,002	10,22	6,20	0,104	9,28	5,84	0,104	16,42	15,12
424S	0,293	0,184	0,001	10,25	5,81	0,146	9,30	5,49	0,146	16,06	14,79
424K	(0,159)	(0,080)	(0,026)	6,17	2,93	0,659	5,81	2,84	0,654	9,10	8,65
425K	0,308	0,203	0,008	10,52	5,18	0,167	9,52	4,92	0,167	15,70	14,44
521S	0,312	0,170	-	10,44	5,60	0,125	9,45	5,31	0,125	16,04	14,76
523S	0,286	0,170	0,002	10,45	5,35	0,104	9,47	5,08	0,104	15,80	14,55
522K	0,315	0,172	0,003	9,47	5,16	0,115	8,65	4,91	0,114	14,63	13,56
523K	0,305	0,204	0,009	9,70	5,11	0,250	8,85	4,86	0,250	14,88	13,71
621S	0,194	0,137	0,002	8,30	5,03	0,063	7,67	4,79	0,620	13,33	12,46
624S	0,212	0,161	0,000	8,69	5,24	0,073	8,00	4,98	0,730	13,93	12,98
624K	0,263	0,141	0,003	9,72	4,46	0,104	8,86	4,27	0,104	14,18	13,13
626K	0,291	0,173	0,005	10,60	4,99	0,083	9,59	4,75	0,083	15,59	14,34

Tabelle 6: Zusammenstellung der mittleren Jahring-, Spätholz- und Frühholzbreite

Probe-Nr.	mittlere Jahringbreite [mm]		mittlere Spätholzbreite [mm]		mittlere Frühholzbreite [mm]		Spätholzanteil [%]	
	Splint	Kern	Splint	Kern	Splint	Kern	Splint	Kern
123 S	1.11		0.36		0.75		32	
125 S	2.67		0.92		1.75		34	
123 K		2.21		0.92		1.29		42
124 K		2.00		0.72		1.28		36
223 S	0.96		0.29		0.67		30	
225 S	1.62		0.49		1.13		30	
223 K		3.65		1.01		2.64		28
225 K		3.08		1.09		1.99		35
323 S	1.00		0.34		0.66		34	
325 S	0.89		0.22		0.67		25	
323 K		2.62		0.74		1.88		28
322 K		2.09		0.67		1.42		32
421 S	1.60		0.62		0.98		39	
424 S	1.44		0.57		0.87		40	
424 K		3.66		2.04		1.62		56
425 K		2.74		0.87		1.87		32
521 S	1.17		0.37		0.80		32	
523 S	1.38		0.42		0.96		30	
522 K		1.90		0.72		1.18		38
523 K		1.55		0.48		1.07		31
621 S	1.02		0.29		0.73		29	
624 S	0.93		0.26		0.67		28	
624 K		5.11		1.30		3.81		25
626 K		4.58		1.58		3.00		34

Tabelle 7: Verdrehungswinkel  $\varphi$  nach 50 Tagen  
( $\varphi$  in Bogenmaß)

Probe-Nr.	Lage der Fahrriuge $l \triangleq$ liegend $s \triangleq$ stehend	mittlere Fahr- ringbreite [ mm ]	$10^3$ facher Verdre- hungswinkel $\varphi$ des Endquer- schnittes $\varphi_a$	$10^3$ facher Verdre- hungswinkel $\varphi$ des Mittenquer- schnittes $\varphi_m$
123s	s	1,11	- 22,75	- 9,00
125s	l	2,67	- 26,50	- 8,50
123k	s	2,21	- 11,25	- 7,50
124k	l	2,00	- 34,75	- 12,50
223s	s	0,96	- 9,75	- 1,00
225s	l	1,62	(+117,25)	(+61,75)
223k	s	3,65	- 2,25	+ 2,25
225k	l	3,08	+ 77,00	+ 49,50
323s	s	1,00	- 24,75	- 16,75
325s	l	0,89	- 40,50	- 17,25
323k	s	2,62	- 11,75	- 6,50
322k	l	2,09	- 66,00	- 31,25
421s	l	1,60	+ 5,00	+ 4,00
424s	s	1,44	- 8,50	- 7,75
424k	s	3,66	- 1,25	+ 0,75
425k	l	2,74	+ 45,00	+ 23,25
521s	l	1,17	- 6,75	- 7,25
523s	s	1,38	- 4,25	- 3,50
522k	l	1,90	+ 33,00	+ 13,25
523k	s	1,55	+ 3,25	- 2,00
621s	l	1,02	+ 14,00	+ 7,00
624s	s	0,93	- 9,75	- 8,25
624k	s	5,11	+ 8,25	+ 1,75
626k	l	4,58	+ 47,50	+ 31,25

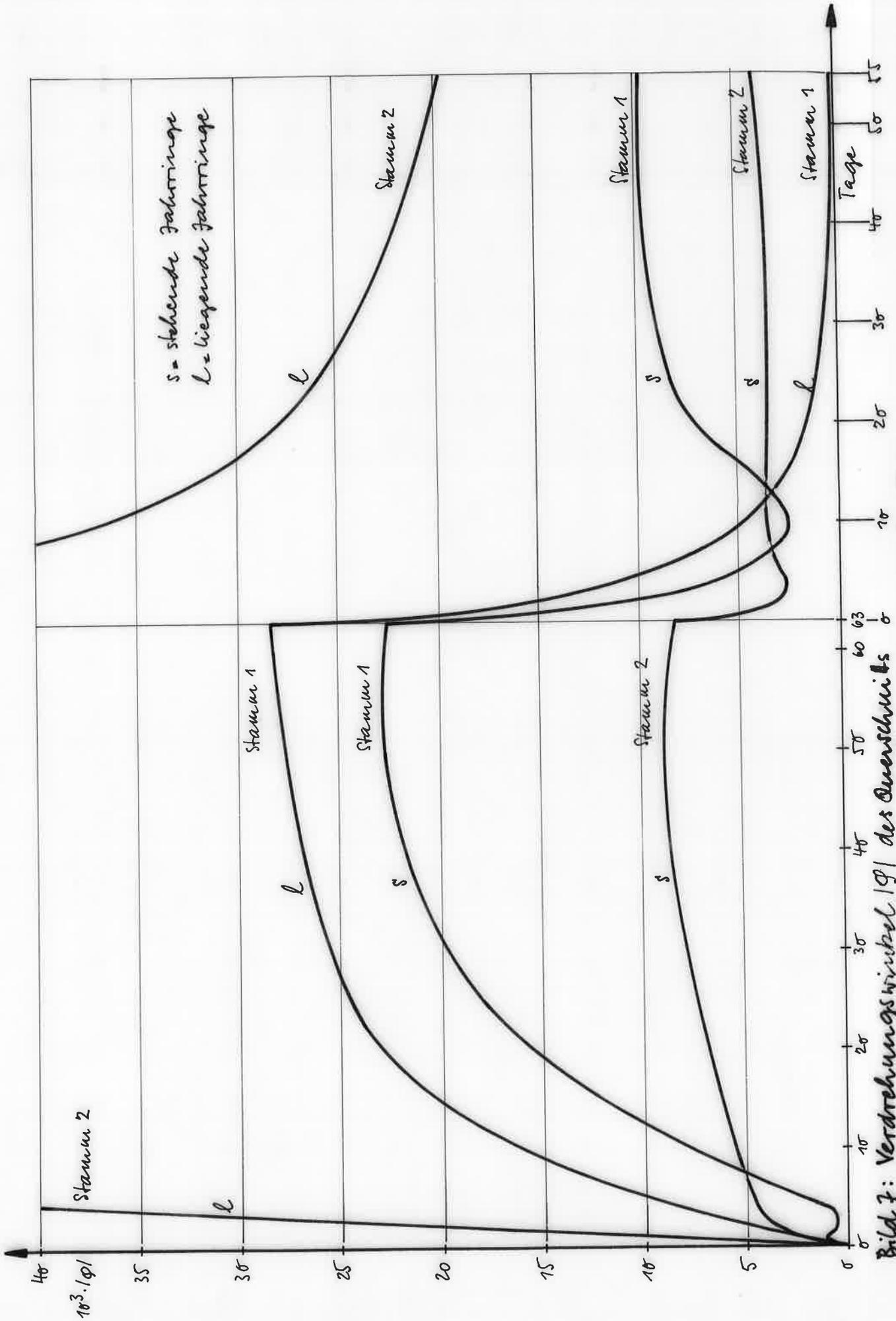
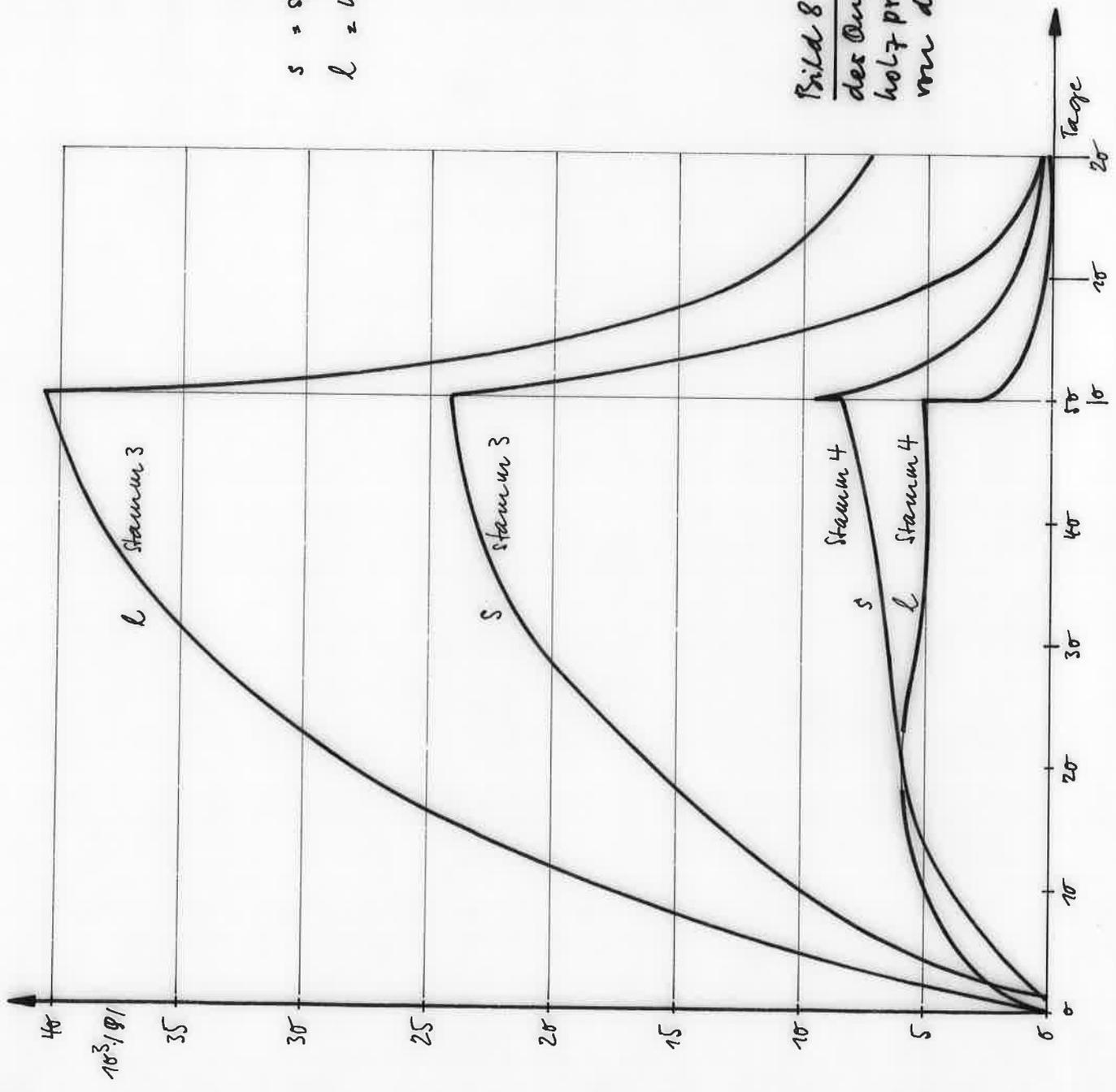


Bild 7: Verdrehungswinkel  $|\varphi|$  des Querschnitts  $\sigma$  & von Spinnholzproben in Abhängigkeit von der Zeit

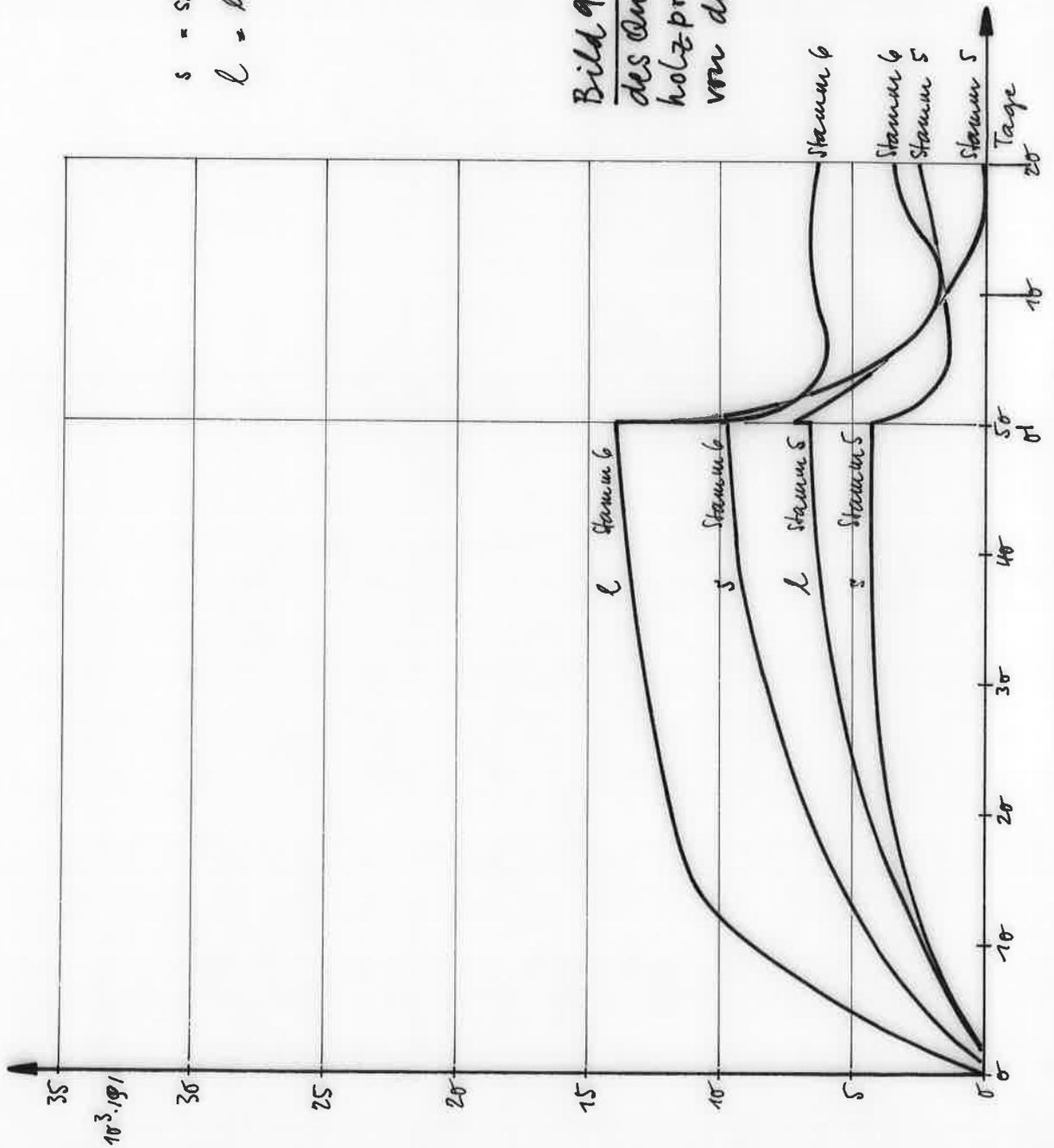
s = stehende Jahninge  
 l = liegende Jahninge

Bild 8: Verdrehungswinkel  $\varphi$  des Querschnitts  $Q_a$  von Splint-holzproben in Abhängigkeit von der Zeit



s = stehende Jahrringe  
 l = liegende Jahrringe

Bild 9: Verdrehungswinkel  $\varphi$  des Querschnitts  $Q_a$  von Splintholzproben in Abhängigkeit von der Zeit



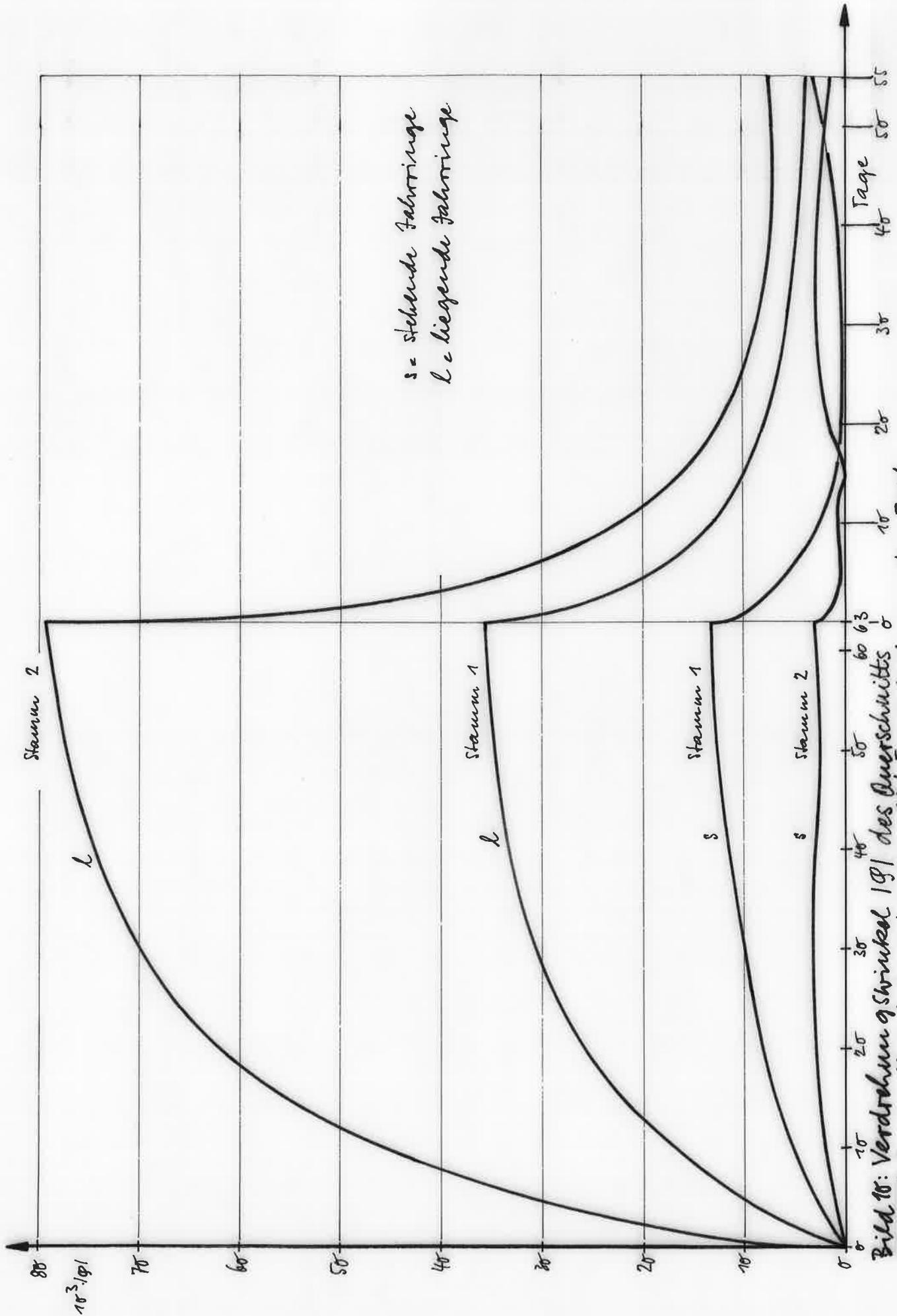


Bild 10: Verdrehungswinkel  $|\alpha|$  des Querschnitts  $d$  von Kernholzproben in Abhängigkeit von der Zeit

s = stehende Jahrringe  
 l = liegende Jahrringe

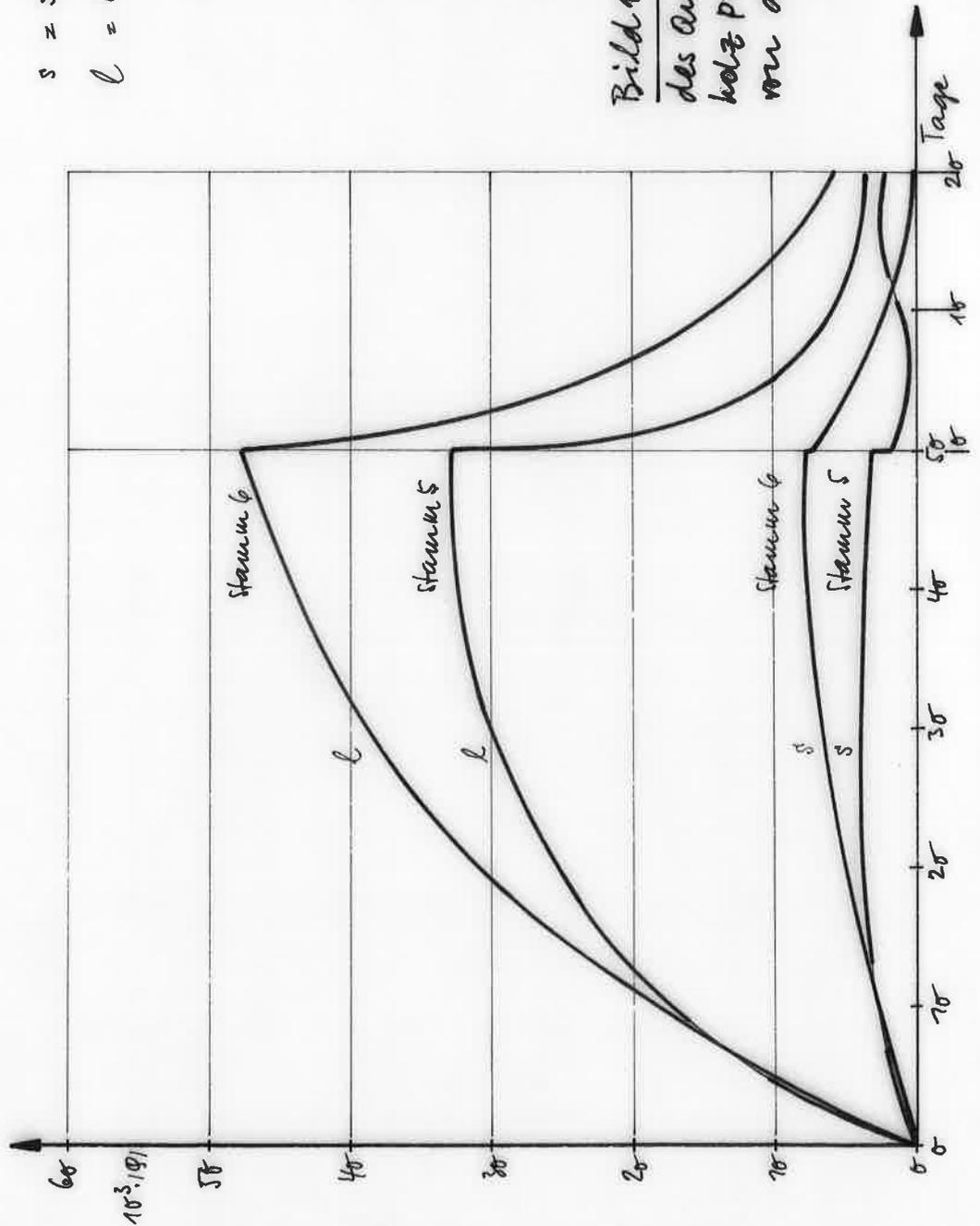
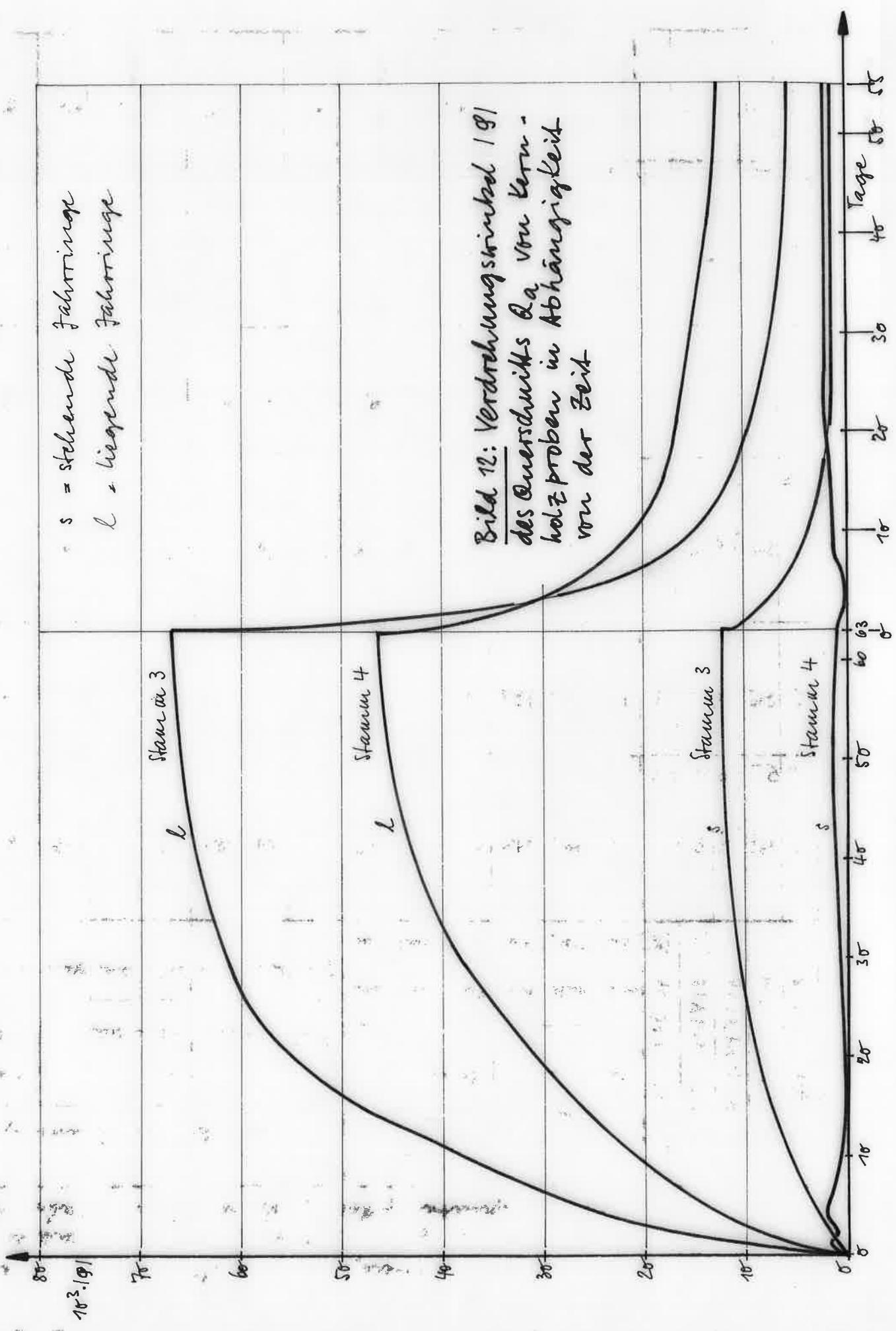


Bild 11: Verdrehungswinkel /  $\rho$  /  
 des Querschnitts  $Q_a$  von Kern-  
 holzproben in Abhängigkeit  
 von der Zeit



s = stehende Fahrtlinge  
 l = liegende Fahrtlinge

Bild 12: Verdrehungswinkel / ρ  
 des Querschnitts  $\rho_a$  von Kern-  
 holzproben in Abhängigkeit  
 von der Zeit

