

ABBAU VON EIGENSPANNUNGEN AUS FEUCHTEÄNDERUNGEN
BEI BRETTSCHICHTHOLZ DURCH SÄGESCHNITTE

von

Günter Steck

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Abt. Ingenieurholzbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
o.Prof.Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck
1985

VORWORT

Starke Schwankungen des Umgebungsklimas von Brettschichtholzbauteilen können Rißbildungen zur Folge haben, die je nach Lage und Tiefe der Risse und je nach Beanspruchungsart des Bauteils eine Beeinträchtigung des Aussehens und des Tragverhaltens bedeuten. Zur Verringerung der Holzfeuchteänderungen und damit der rißauslösenden Eigenspannungen sind Feuchteschutzmittel entwickelt worden, die zumindest für einige Monate eine wirksame Dämpfung der Feuchteaufnahme und -abgabe bewirken. Als konstruktive Möglichkeit für den Abbau von Eigenspannungen wurden mit diesem Forschungsvorhaben Sägeschnitte an den Längsseiten von Brettschichtholzbauteilen untersucht, um damit dem Holzleimbau einen eventuell dauerhaften Schutz vor Rißbildungen vorschlagen zu können.

Die Arbeit wurde im Jahre 1980 noch unter der Federführung von Herrn Prof.Dr.-Ing.Dr.-Ing.E.h. Karl Möhler begonnen. Nach einer durch die Emeritierung von Herrn Prof. Möhler und den Wechsel in der Institutsleitung bedingten Unterbrechung wurde das Vorhaben im Jahre 1985 zum Abschluß gebracht. Die Ergebnisse der noch andauernden Bewitterungsversuche können erst nach Abschluß der Versuche in einem Ergänzungsbericht mitgeteilt werden. Durchgeführt wurde diese Arbeit im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. und finanziert wurde sie aus Forschungsmitteln des Institutes für Bautechnik.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Möhler ausdrücklich danken für die Anleitung zu dieser Arbeit sowie die Übertragung der Aufgabe, dieses Vorhaben zum Abschluß zu bringen.

Zu danken habe ich auch den Herren Felix Müller und Peter Obergfell, die im Rahmen studentischer Arbeiten am Einsatz des FE-Programmes beteiligt waren.

Günter Steck

I N H A L T

- 1 Einleitung**
 - 1.1 Ziel des Forschungsvorhabens
 - 1.2 Literaturdurchsicht

- 2 Berechnung der Eigenspannungen mit dem FE-Programm SAP IV**
 - 2.1 Allgemeines
 - 2.2 Querschnitt ohne Sägeschnitte
 - 2.2.1 Einfluß der Feuchtigkeitsverteilung über die Querschnittshöhe
 - 2.2.2 Einfluß der Materialkennwerte
 - 2.3 Querschnitt mit Sägeschnitten
 - 2.3.1 Querschnitt mit zwei Schlitzen pro Seitenfläche
 - 2.3.2 Querschnitt mit vier Schlitzen pro Seitenfläche
 - 2.3.3 Querschnitt mit sechs Schlitzen pro Seitenfläche
 - 2.3.4 Einfluß der Trocknung im Schlitzgrund
 - 2.3.5 Einfluß der Querschnittshöhe
 - 2.4 Zusammenfassung

- 3 Klimawechselversuch**
 - 3.1 Versuchskörper
 - 3.2 Versuchsdurchführung
 - 3.3 Ergebnisse

- 4 Relaxationsversuch**
 - 4.1 Versuchskörper
 - 4.2 Versuchsdurchführung und Ergebnisse
 - 4.3 Auswertung der Ergebnisse

- 5 Bewitterungsversuch**
 - 5.1 Versuchskörper
 - 5.2 Versuchsaufbau

- 6 Zusammenfassung**

- 7 Literatur**

Anhang: Über die Wirksamkeit von Feuchteschutzmitteln

1 Einleitung

1.1 Ziel des Forschungsvorhabens

Feuchteänderungen in Brettschichtholzbauteilen führen zu Feuchteverteilungen, die über die Querschnittsbreite und -höhe ungleichmäßig sind. Dadurch entstehen Querspannungen, die ein Aufreißen des Holzes oder der Leimfugen verursachen können. Diese Querspannungen überlagern sich mit den Querspannungen aus äußeren Lasten bei gekrümmten Trägern und Satteldachträgern, bei Ausklinkungen und Durchbrüchen. Die für das Holz gefährlichen Querspannungen aus äußeren Lasten werden rechnerisch erfaßt im Gegensatz zu den Eigenspannungen infolge Feuchteänderungen. Es wurde deshalb bereits in [1, 2] die Wirkung von Feuchteschutzanstrichen hinsichtlich der Reduzierung von Feuchteänderungen und damit von Querspannungen in Brettschichtholz (BSH) untersucht. Als eine weitere Maßnahme, feuchtebedingte Eigenspannungen und Rißbildungen zu beeinflussen, werden Sägeschnitte an den Längsseiten von Brettschichtholzbauteilen angesehen. In erster Linie werden in der Praxis solche Längsnuten angebracht, um z.B. in Anschlußbereichen eine eventuelle Rißbildung aus behinderter Schwindung in vorgegebene "Bahnen" zu lenken. Ein eventuelles Aufreißen soll dadurch auf die bereits vorhandene Kerbe begrenzt bleiben und nicht die unmittelbaren Anschlußflächen der Verbindungsmittel gefährden. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit von Sägeschnitten wird darin gesehen, daß sie als "Entlastungsnut" den Abbau von Eigenspannungen bewirken bzw. ihre Entstehung weitgehend verhindern sollen.

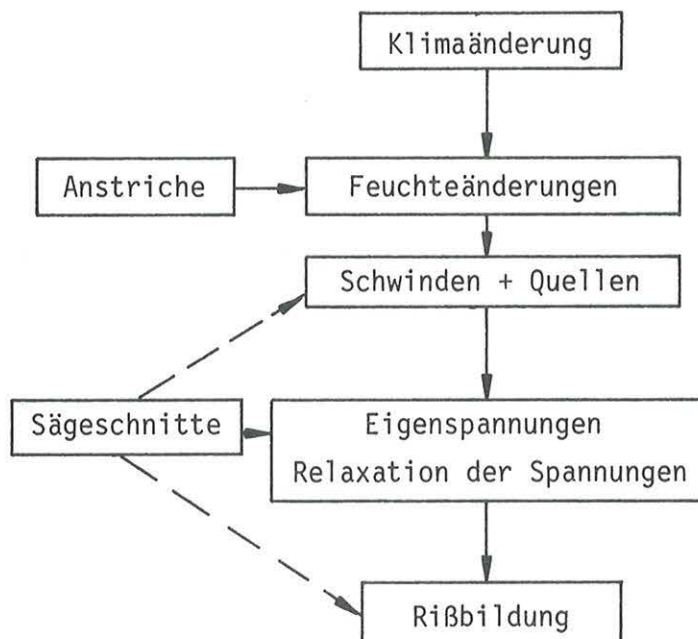
Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben sollte die letztgenannte Wirkung und Wirksamkeit solcher Sägeschnitte an den Längsseiten von Brettschichtholzbauteilen geklärt werden. Zunächst wurden auf rechnerischem Wege Verlauf und Höhe der Eigenspannungen infolge Feuchteänderungen untersucht und in anschließenden Versuchen die Wirksam-

keit von Sägeschnitten beobachtet. Um die Berechnung von Eigenspannungen verbessern zu können, wurde ein Relaxationsversuch durchgeführt. Bei dem seit Oktober 1984 laufenden Bewitterungsversuch soll neben unbehandeltem BSH und BSH-Versuchskörpern mit Sägeschnitten auch die Wirksamkeit von verschiedenen Anstrichen untersucht werden. Im Anhang wird über die Wirksamkeit von Feuchteschutzmitteln berichtet, die in früheren Untersuchungen getestet worden sind.

1.2 Literaturdurchsicht

Veröffentlichungen über bereits durchgeführte Untersuchungen der Wirkung von Sägeschnitten in Brettschichtholzbauteilen wurden beim Literaturstudium nicht gefunden. Es liegt jedoch eine Vielzahl von Berichten über die Klimabeanspruchung von BSH vor.

Anstriche und Sägeschnitte wirken auf die folgende Kausalkette ein, der das BSH ausgesetzt sein kann:



Eine Gruppe der Untersuchungen und Beschreibungen dieser Kausalkette befaßt sich sehr ausführlich mit den Einzelgliedern Klimaänderung, Feuchteänderung, Anstriche und z.T. Rißbildung. Nur wenige Veröffentlichungen existieren über das Problem der Eigenspannungen und der Relaxation.

Klimabeanspruchung von BSH

An der EMPA wurde die Klimabeanspruchung von BSH untersucht [3 bis 7], indem über Zeiträume von bis zu zwei Jahren Holzbauteile im Freien unter Dach [4] und auf offenem Gelände [5, 6] der Witterung ausgesetzt wurden. Gemessen wurden während der Versuchsdauer Holzfeuchtigkeit und Holztemperatur sowie Schwind- und Quellbewegungen. Die Ergebnisse sollen nicht hier diskutiert sondern nach Abschluß der Bewitterungsversuche zu Vergleichen herangezogen werden. In [6, 7] wird bereits auch über die Wirkung von Oberflächenbehandlungen berichtet (siehe unten und Anhang). Die Klimaverhältnisse in Räumen mit verschiedenen Dach- und Deckenkonstruktionen werden in dem z.Z. noch laufenden Forschungsvorhaben [8] über einen längeren Zeitraum erfaßt.

Anstriche auf BSH-Oberflächen

Außer in den Veröffentlichungen, die im Anhang zu diesem Forschungsbericht ausgewertet wurden, gehen auch Sell in [9, 10] und Meierhofer in [6, 11] auf die Wirkung von Anstrichen auf BSH-Oberflächen ein. In [9] wird die Notwendigkeit betont, großformatige BSH-Träger zumindest für die Bauphase durch eine Oberflächenbehandlung vor dem Eindringen von Wasser zu schützen und hygroskopische Feuchteänderungen zu dämpfen. Werden von dem Anstrich Haltbarkeiten von mehr als etwa 3 Monaten gefordert, ist eine Verwendung pigment-

tierter, merklich schichtbildender Lasuren unumgänglich. Werden BSH-Bauteile direkt wetterbeansprucht, bieten Oberflächenbehandlungen allein keinen sicheren Schutz vor Rißbildungen. Aus diesem Grund wird in [10] die Forderung erhoben, daß BSH-Bauteile bei direkter Bewitterung eine chemische Vollimprägnierung erhalten sollten. Die nicht befriedigende Imprägnierbarkeit von Fichtenholzlamellen führte inzwischen zu Versuchen mittels Perforiertechniken die Tränkbarkeit des Holzes zu verbessern.

Eigenspannungen

Außer in [1, 2] wird auch von Krabbe [12] der Eigenspannungszustand in BSH infolge Feuchtigkeitsänderungen rechnerisch untersucht. Bei solchen Berechnungen ist es sehr entscheidend, daß man möglichst wirklichkeitsnahe Materialkenndaten des BSH einsetzt. In seiner Dissertation [13] untersucht Kurt die Entstehung und Größe der Querspannungen in BSH infolge Schwinden. Die zur Ermittlung der Feuchteverteilungen durchgeführten Versuche wurden an 1 m langen BSH-Proben mit einem Querschnitt 10/30 cm und mit versiegelten Hirnholzflächen vorgenommen. Die Versuchsergebnisse sind mit den in [1] mitgeteilten Ergebnissen (siehe auch Anhang) wegen unterschiedlicher Probekörperabmessungen, Holzfeuchten bei Versuchsbeginn und Klimaeinstellungen zwar nicht direkt vergleichbar, zeigen aber dennoch in etwa übereinstimmende Feuchteverteilungen über die Querschnittsbreite. Die Eigenspannungen direkt an der BSH-Oberfläche werden von Kurt versuchstechnisch ermittelt, indem er mit Dehnungsmeßstreifen die Dehnungsänderung mißt, die durch das Herausschneiden eines kleinen Holzkeiles ausgelöst wird. Von den fünf verschiedenen Versuchen läßt sich nur ein Versuch in etwa mit dem in [1] beschriebenen Trocknungsversuch vergleichen (siehe Tabelle 1/1).

Tabelle 1/1: Vergleich des Trocknungsversuches (Nr. 2) nach Möhler/Steck [1] und des Versuches Nr. 4 nach Kurt [13]

Versuchskörper aus BSH b/h/l [cm]		Anfangsfeuchte im Randstreifen (1 cm) [%]		Trocknungsklima [% rel.Lf.] [°C]		Holzfeuchte im Randstreifen nach 14täg. Trocknung [%]		Querzugspannung [N/mm ²]	
nach [1]	nach [13]	nach [1]	nach [13]	nach [1]	nach [13]	nach [1]	nach [13]	nach [1]	nach [13]
15/45/60	10/30/100	12,5	17,5	19	37	8,0	11,8	1,2 ¹⁾	1,2 ²⁾
				32	30				

1) Querzugspannung am Querschnittsrand nach 14tägiger Trocknung.
Am 15. Tag traten 7 bis zu 0,2 mm breite und bis zu 35 cm lange Risse auf.

2) maximale Querzugspannung am Querschnittsrand nach 3tägiger Trocknung.

Relaxation

Unter Relaxation versteht man die Spannungsveränderungen bei konstanter Formänderung in Abhängigkeit von der Zeit. Bei Brettschichtholzbauteilen unter Klimabeanspruchung sind die Formänderungen infolge Schwinden oder Quellen bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchtigkeit nicht konstant. Trotzdem sind die Eigenspannungen, die sich infolge Feuchtigkeitsänderung aufbauen, auch einer Relaxation unterworfen. Kenntnisse darüber liegen nicht vor. Für lufttrockenes und nasses Fichtenholz unter Querdruckbeanspruchung fanden Möhler und Maier [14] bei konstanter Zusammendrückung nach 72 Stunden Spannungsreduktionen von ca. 50 bzw. ca. 60 % der anfänglichen Spannung.

Rißbildung

Während in [1] durch Laborversuche ungünstige Klimabeanspruchungen von BSH während Transport, Montage und erster Heizperiode simuliert wurden, konzentrierten sich die Arbeiten [3] bis [7] auf wetterbeanspruchte BSH-Bauteile. Ein Resümee über die Rißbildung bei wetterbeanspruchten BSH-Bauteilen gibt Sell in [15]. Er beschreibt konstruktive, oberflächentechnische und imprägniertechnische Maßnahmen zur Vermeidung von Rißbildungen. Bei den konstruktiven Maßnahmen ist das Anbringen von Sägeschnitten nicht erwähnt.

2 Berechnung der Eigenspannungen mit dem FE-Programm SAP IV

2.1 Allgemeines

Der Einsatz der Finite Element Methode ermöglicht eine praktikable Näherungslösung für die rechnerische Ermittlung von Eigenspannungen in Holzquerschnitten infolge Feuchtigkeitsänderungen. Das hier verwendete FE-Programm SAP IV [16] kann analog zum Temperaturlastfall bei Eingabe der Feuchtigkeitsänderungen und des Schwindmaßes auch zur Berechnung der Eigenspannungen benutzt werden. Dem Programm liegt ein linear-elastisches Stoffgesetz zugrunde. Das Problem der Rißbildung in Brettschichtholz infolge Feuchtigkeitsänderung kann auf ein ebenes Spannungsproblem vereinfacht werden, für das sich das Rechteckelement Typ 4 von SAP IV gut eignet. Hierfür wird die zu berechnende BSH-Scheibe in einzelne rechteckige Elemente gerastert. Die Scheibendicke hat dabei keinen Einfluß auf die Berechnung. Außerdem kann man von einer doppelten Symmetrie der Scheibeneigenschaften sowie der Feuchteverteilung ausgehen, so daß die Untersuchung einer Viertelscheibe ausreicht (siehe Bild 2/1).

Jedem Element sind eine Reihe von Daten zuzuordnen:

Daten zu Geometrie: - Nummern der Elementknoten
- Koordinaten der Knoten
- Lagerungsart der Knoten

Daten zum Material: - Elastizitätsmoduln E_x, E_y, E_z
- Schubmoduln G_{yz}, G_{xz}, G_{yx}
- Querdehnungsquotienten $\nu_{yz}, \nu_{xz}, \nu_{xy}$
- Schwind- bzw. Quellmaße $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$

Daten zur Belastung: - Feuchtigkeitsänderung Δu

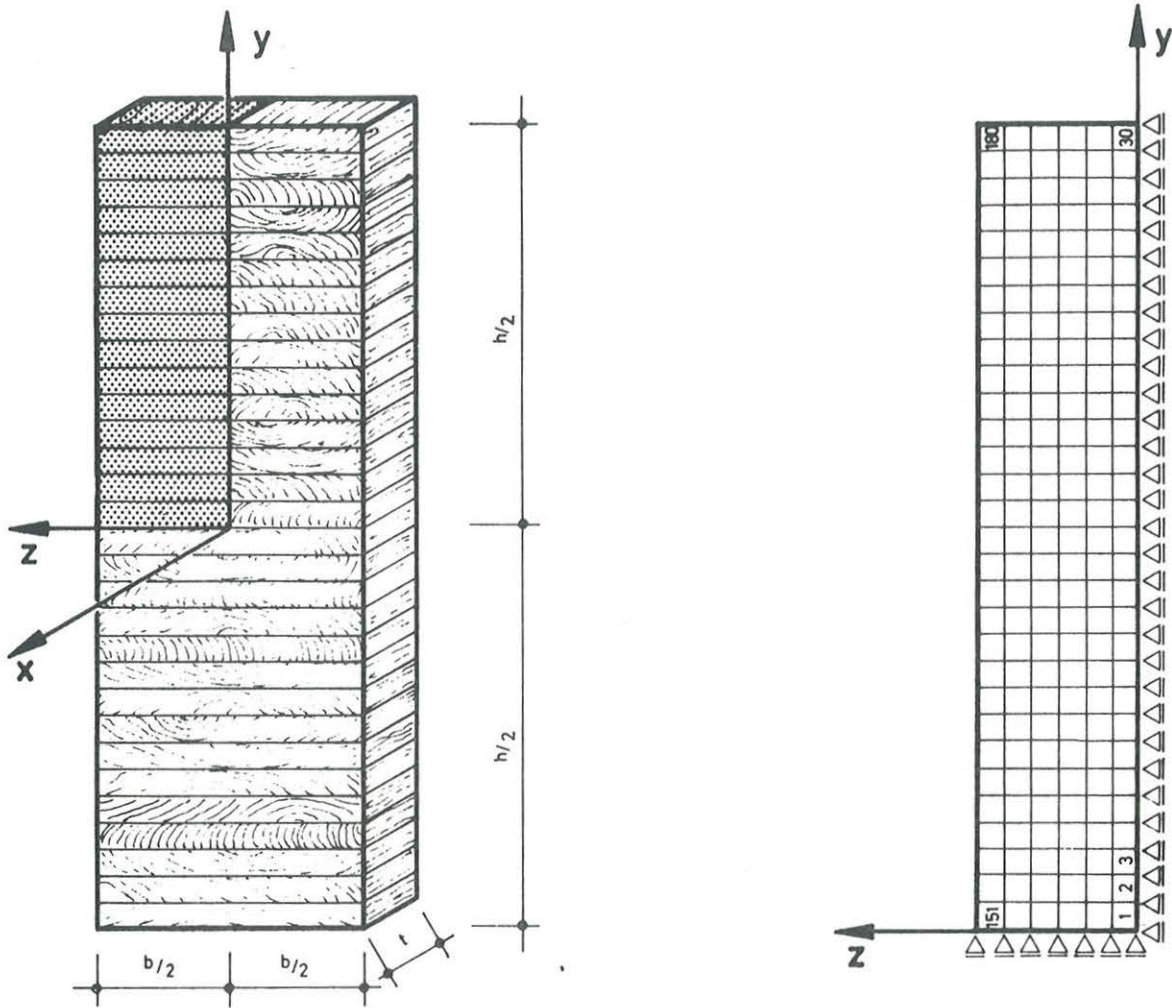


Bild 2/1: Brettschichtholzscheibe und Elemente-Raster für das SAP IV-Programm

Mit dem SAP IV-Programm können die Spannungen in Elementmitte und mit geringerer Genauigkeit an den Elementrändern bestimmt werden. Vor allem in Bereichen großer Spannungsunterschiede von Element zu Element und bei veränderlichen Elastizitätsmoduln und Schwindmaßen von Element zu Element treten größere Abweichungen der Spannungen am gemeinsamen Rand benachbarter Elemente auf. Aus diesem Grund sind die Spannungen am Scheibenrand in den nachfolgenden Bildern teilweise punktiert dargestellt.

2.2 Querschnitt ohne Sägeschnitte

Ausgehend von der in [12] untersuchten BSH-Scheibe werden zunächst die Eigenspannungen infolge Feuchtigkeitsänderung berechnet, wenn der Querschnitt keine Sägeschnitte aufweist. Der Einfluß der verwendeten Materialdaten für das Brettschichtholz soll dabei verdeutlicht werden. Wie in [12] wird eine BSH-Scheibe mit den Abmessungen $b/h = 15/75$ cm zugrunde gelegt und eine maximale Feuchtigkeitsdifferenz von $\Delta u = 1$ % zwischen innen und außen angenommen.

2.2.1 Einfluß der Feuchtigkeitsverteilung über die Querschnittshöhe

Mit einer parabelförmigen Δu -Verteilung sowohl über die Scheibenhöhe als auch die Scheibenbreite kommt man zu den von Krabbe in [12] ermittelten Spannungen, wenn man in das SAP IV-Programm $E_{\perp} = 628,2$ N/mm², $G_{yz} = 36,6$ N/mm² und das Schwindmaß $\alpha_y = \alpha_z = 0,18$ %/% eingibt. Der Fall A in Bild 2/2 entspricht dieser Konstellation. Ändert sich lediglich die Δu -Verteilung über die Scheibenhöhe von einer Parabel zu einem Rechteck bleiben die maximalen Querkzug- und Querkdruckspannungen in halber Scheibenhöhe nahezu unverändert (siehe Fall B in Bild 2/2). Damit läßt sich die Programmeingabe wesentlich vereinfachen und es wird die Rechteckverteilung von Δu über die Scheibenhöhe für die weiteren Untersuchungen beibehalten.

2.2.2 Einfluß der Materialkennwerte

Setzt man anstelle des mehr als zweifachen Normwertes für den Elastizitätsmodul E_{\perp} einen durchschnittlichen Wert ein, der sich z.B. aus Untersuchungen an Brettschichtholz von Möhler/Steck [1] ergeben hat, so erhält man Eigenspannungsspitzen bei $\Delta u = 1$ %, die

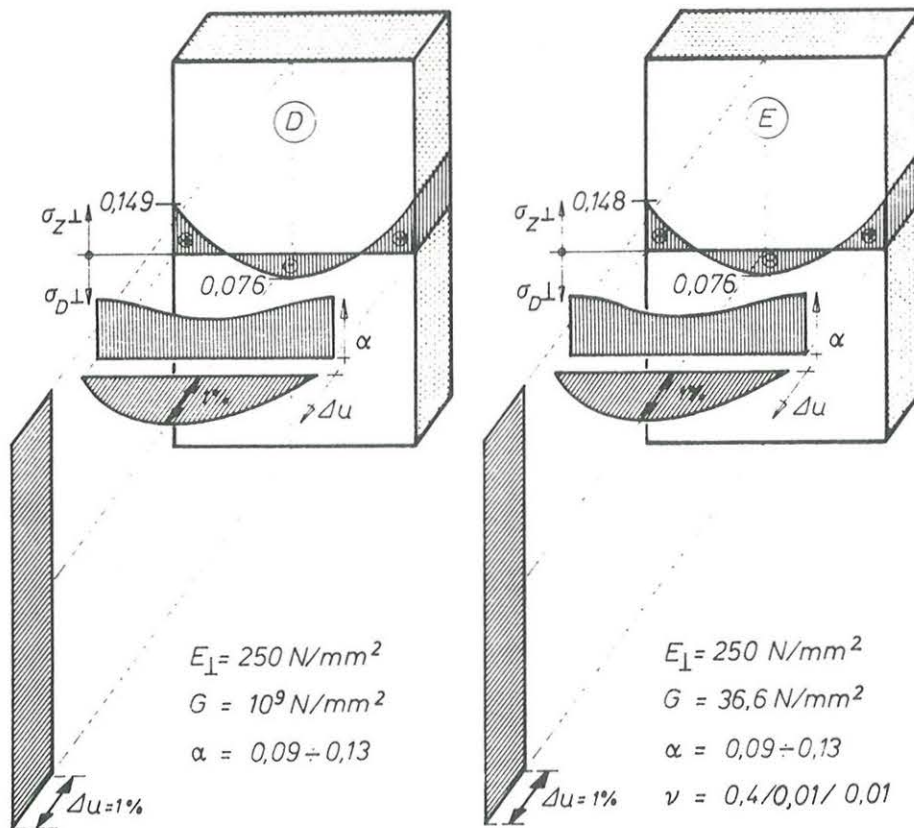
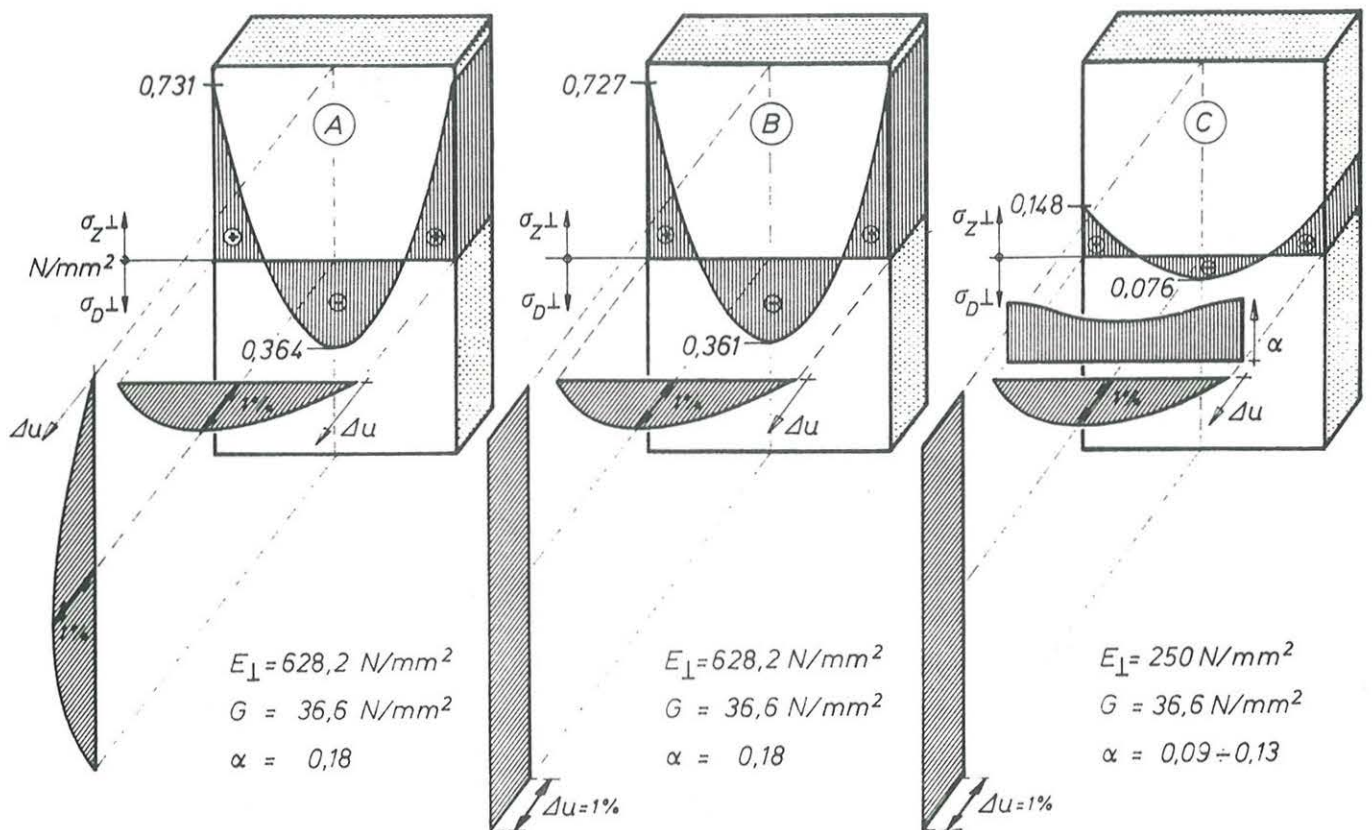


Bild 2/2: Eigenspannungen in einer BSH-Scheibe bei verschiedenen Materialdaten und Verteilungen von Δu

in wesentlich wahrscheinlichere Bereiche zu liegen kommen. Außerdem ist nicht das Quellmaß für unbehindertes sondern für behindertes Quellen einzusetzen. Berücksichtigt man die Quellbehinderung durch Verkleinern des Quellmaßes auf die Hälfte (Vorgehensweise der DIN 1052) und führt man zudem die in [1] gefundene charakteristische Verteilung von α über die Querschnittsbreite ein, ergeben sich die als Fall C in Bild 2/2 dargestellten Eigenspannungen. Die gefährliche Spitze der Querzugspannung an den Scheibenrändern beträgt jetzt nur noch 20 % des Maximalwertes im Fall B. Zur Abschätzung des Schubeinflusses wurde in das SAP IV-Programm ein theoretischer Schubmodul $G = 10^9 \text{ N/mm}^2$ eingegeben. Die daraus resultierenden Spannungen (siehe Fall D in Bild 2/2) unterscheiden sich von denen des Falles C praktisch nicht. Schwankungen des Schubmoduls bzw. Unkenntnis des genauen Wertes sind somit bei der Verwendung des SAP IV-Programmes in diesem Fall ohne Bedeutung. Dies trifft auch für die Wahl der Querdehnungsquotienten ν zu. Den Fällen A bis D liegen die Querdehnungsquotienten $\nu_{zx} = \nu_{yx} = 0,01$ und $\nu_{zy} = 0,1$ zugrunde, während im Fall E ein $\nu_{zy} = 0,4$ eingesetzt worden ist.

2.3 Querschnitt mit Sägeschnitten

Das oben beschriebene FE-Programm SAP IV wurde im folgenden auch dazu benutzt, die Wirkung von Sägeschnitten an den Längsseiten von Brettschichtholzträgern beim Lastfall Feuchtigkeitsänderung zu untersuchen. Zweck der Sägeschnitte ist es, als sogenannte Entlastungsnut die infolge Schwinden oder Quellen entstehenden Spannungsspitzen abzubauen. Die Nuttiefen sind in allen Fällen so festgelegt worden, daß Schubspannungen in den verschwächten Querschnitten nicht größer werden als $\max \tau = 1,5 \text{ Q/A}$ in halber Trägerhöhe. Die Querschnittsabmessungen $b/h = 15/45 \text{ cm}$ stimmen mit den Probekörpern nach [1] überein mit Ausnahme der Variante von $h = 180 \text{ cm}$. Die Anlehnung an die Querschnittsabmessungen der Proben, die in [1]

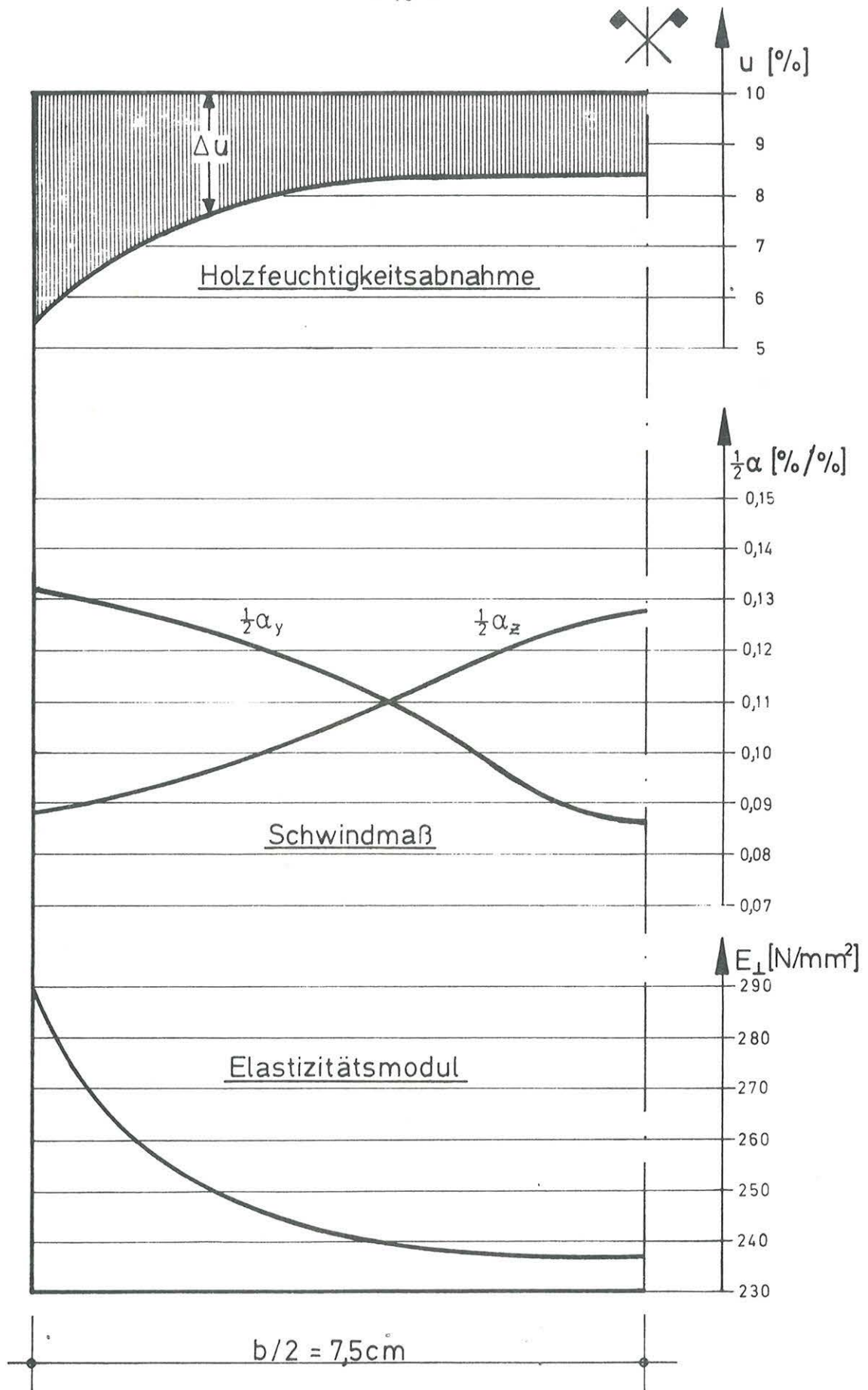


Bild 2/3: Feuchtedifferenz und Materialdaten für die Querspannungsberechnung nach Abschnitt 2.3

untersucht wurden, hat den Vorteil, daß auch wirklichkeitsnahe Materialdaten in die Rechnung eingesetzt werden konnten. Alle nachfolgenden Fälle sind mit den in Bild 2/3 zusammengestellten Materialdaten bzw. Feuchtigkeitsdifferenzen berechnet worden.

2.3.1 Querschnitt mit zwei Schlitzen pro Seitenfläche

Die maximalen Querkzug- und Querdruckspannungen in einer BSH-Scheibe ohne Schlitze treten in halber Scheibenhöhe auf. Für die in Bild 2/4 angegebene Scheibe interessierte deshalb die spannungsabbauende Wirkung der Schlitze im Schnitt $z - z$ (siehe Bild 2/5). Im untersuchten Falle einer Feuchtigkeitsabnahme gemäß Bild 2/3 erweist sich die spannungsmindernde Wirkung der Schlitze als sehr gering. Betrachtet man den Schnitt 1 - 1 auf Höhe der Schlitze so stellt man eine hohe Spannungsspitze im Schlitzgrund fest, die um ca. 50 % über der maximalen Querkzugspannung eines Querschnittes ohne Schlitze liegt.

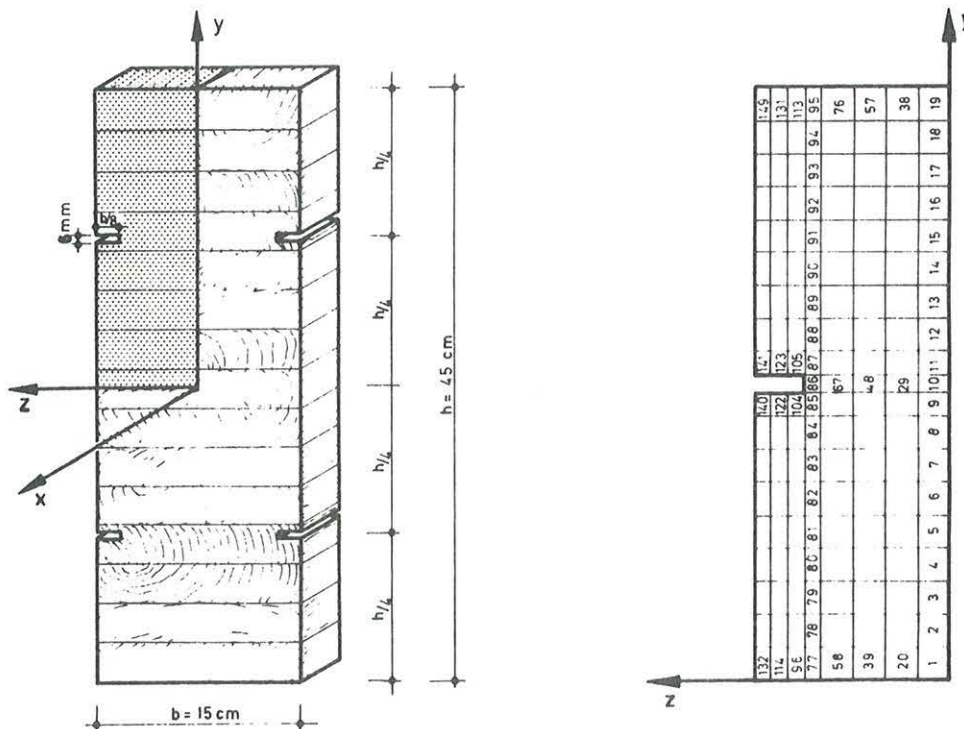


Bild 2/4: BSH-Scheibe mit zwei Schlitzen pro Seitenfläche und das Elemente-Raster für das SAP IV-Programm

2.3.2 Querschnitt mit vier Schlitzten pro Seitenfläche

Auch für eine Scheibe mit 4 Schlitzten pro Seitenfläche gemäß Bild 2/6 liegen die Spannungsspitzen im Schlitzgrund um 50 bis 60 % über den Maximalwerten eines Querschnittes ohne Sägeschnitte. In Bild 2/7 sind die Spannungsverläufe in den entsprechenden Schnitten 1 - 1 und 2 - 2 dargestellt.

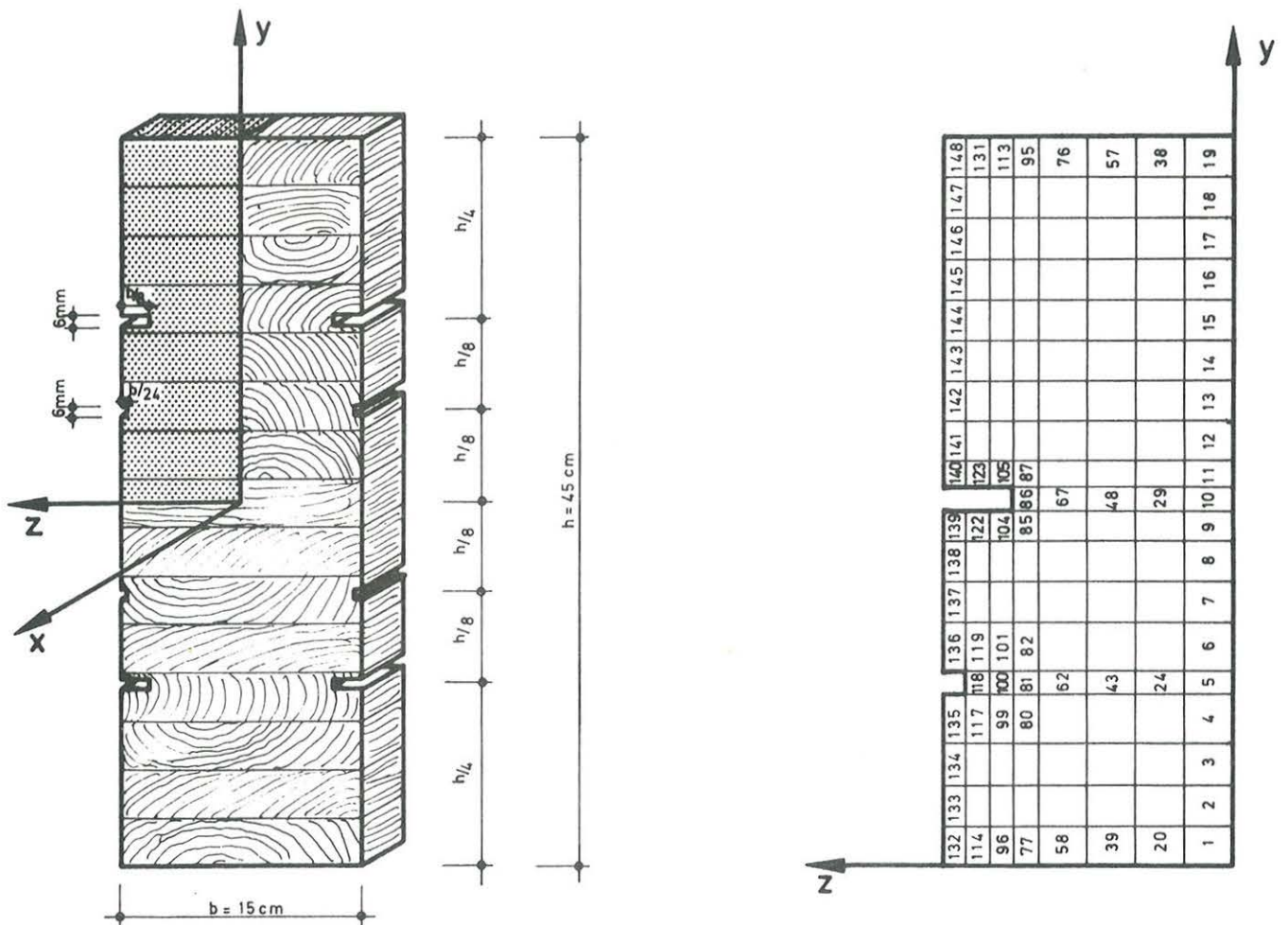


Bild 2/6: BSH-Scheibe mit vier Schlitzten pro Seitenfläche und das Elemente-Raster für das SAP IV-Programm

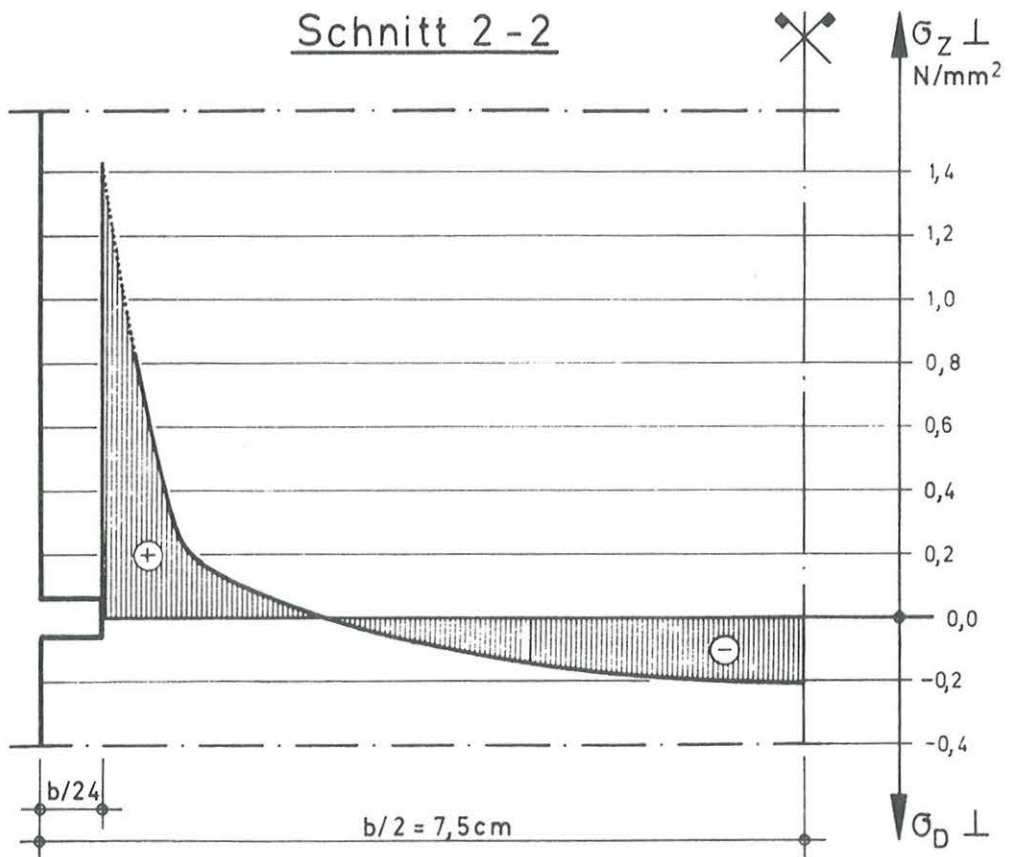
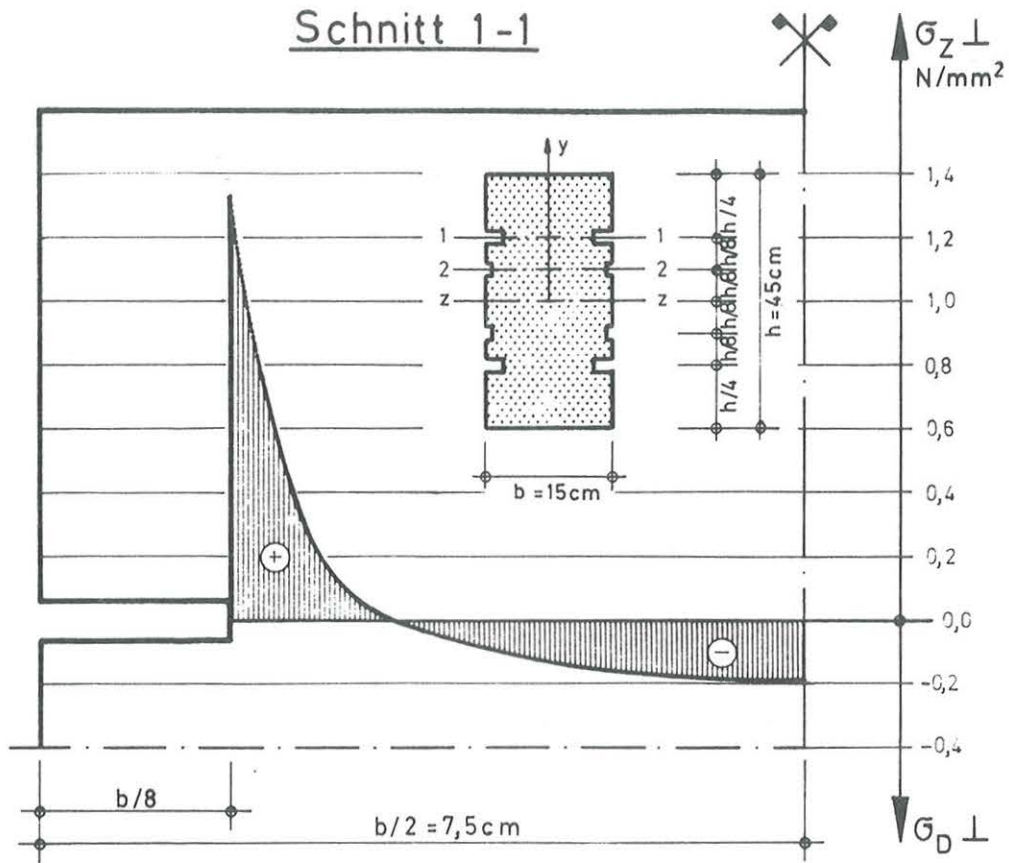


Bild 2/7: Querspannungsverteilung über die halbe BSH-Scheibe infolge Trocknung

2.3.3 Querschnitt mit 6 Schlitzen pro Seitenfläche

Werden die Schlitze im Abstand von $h/8$ über die Seitenflächen verteilt angeordnet wobei aber in Scheibenmitte die Sägeschnitte nicht angebracht werden, so ergibt sich ein Querschnitt gemäß Bild 2/8. Die kritischen Spannungsspitzen jeweils im Schlitzgrund sind in Bild 2/9 dargestellt. Hier sind auch die Spannungsverteilungen in den Schnitten durch die Schlitze eingetragen, wenn die Scheibe nicht mit Sägeschnitten versehen ist. Die durch die Sägeschnitte hervorgerufenen Spannungsspitzen liegen im Schnitt 3 - 3 um ca. 65 % über und erst im Schnitt 1 - 1 um ca. 12 % unter den Maximalwerten am Rand eines ungeschlitzten Querschnittes.

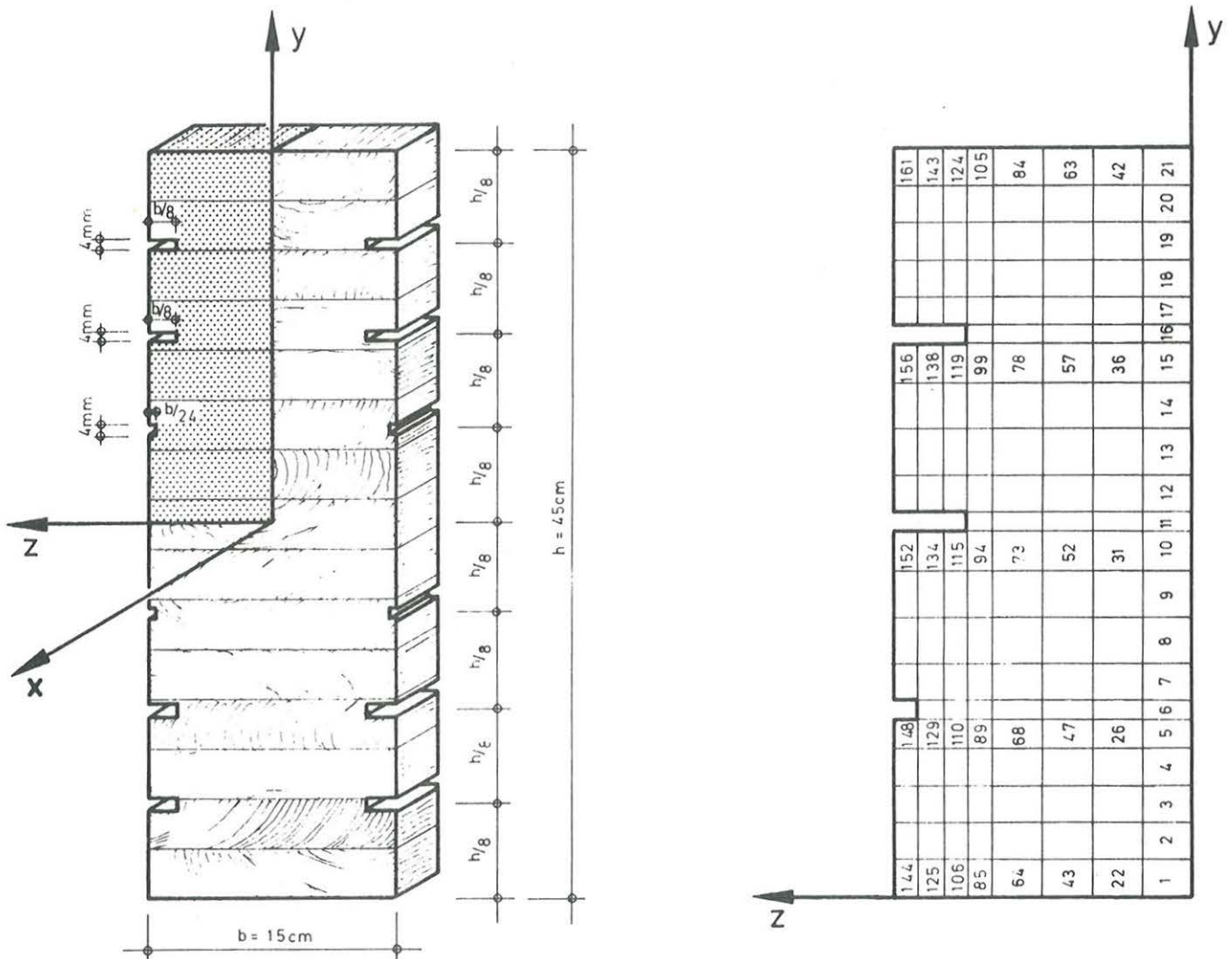


Bild 2/8: BSH-Scheibe mit 6 Schlitzen pro Seitenfläche und das Elemente-Raster für das SAP IV-Programm

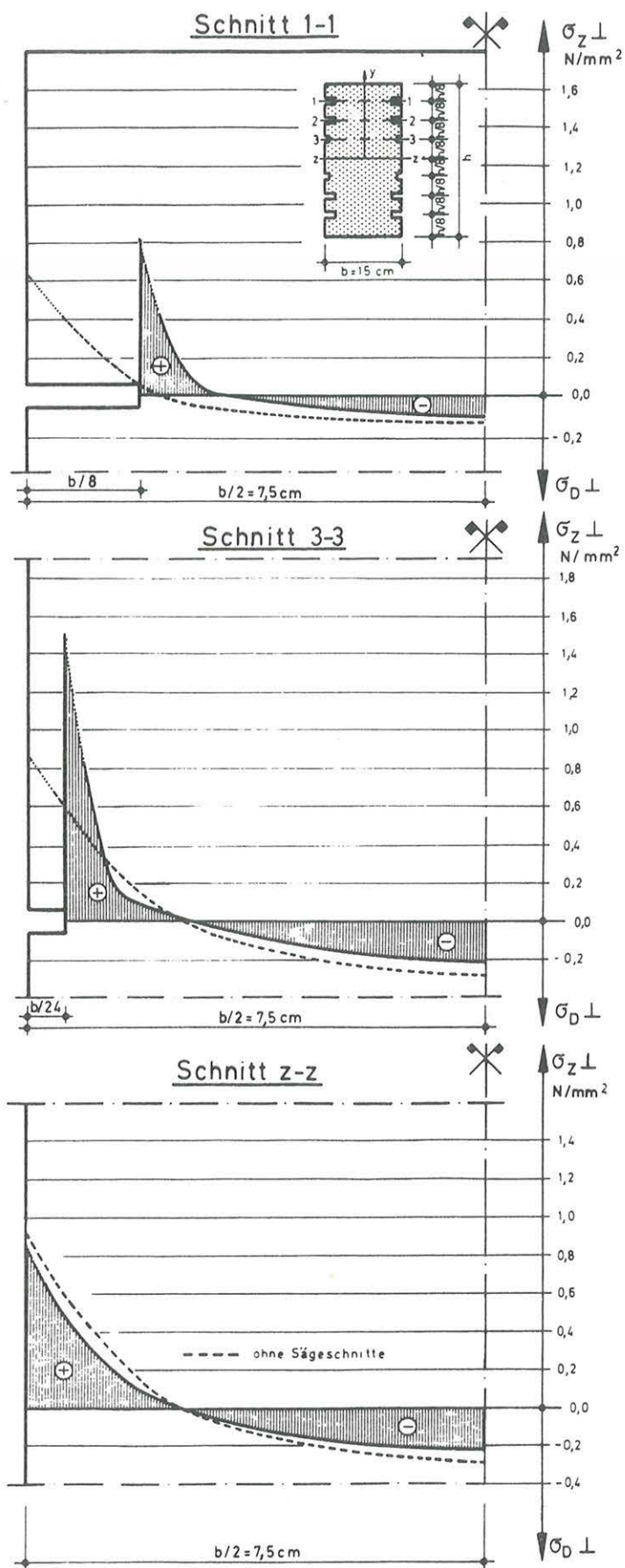


Bild 2/9: Querspannungsverteilung über die halbe BSH-Scheibe infolge Trocknung

2.3.4 Einfluß der Trocknung im Schlitzgrund

Bei allen Berechnungen wurde von der in Bild 2/3 angegebenen Feuchtigkeitsänderung auch im Bereich der Schlitze ausgegangen. Ein Einfluß der Sägeschnitte auf den Feuchtetransport ist jedoch wahrscheinlich, so daß im Bereich der Sägeschnitte von veränderten Holzfeuchtigkeitsverteilungen ausgegangen werden sollte. In Bild 2/10 ist ein solcher möglicher Isohygrenverlauf dargestellt. Die Linien gleicher Holzfeuchtigkeit legen sich um den Schlitz herum, da von der neuen Oberfläche aus, die durch den Sägeschnitt entstanden ist, das Holz zusätzlich austrocknen kann. Für diese neue Feuchtigkeitsverteilung wurden wieder die Eigenspannungen berechnet und es zeigte sich am Beispiel des Querschnittes mit zwei Schlitzten pro Seitenfläche eine Zunahme der Querspannung von $1,4 \text{ N/mm}^2$ auf ca. $1,8 \text{ N/mm}^2$. Wenn dieser krasse Fall auch kaum auftreten dürfte, so ist aber dennoch dieser Effekt der zusätzlichen Austrocknung vom Sägeschnitt aus zu beachten.

2.3.5 Einfluß der Querschnittshöhe

Bisher wurden Querschnitte mit einer Höhe von 45 und 75 cm untersucht. Für die im Abschnitt 2.2 behandelten Feuchtedifferenzen und Materialkennwerte wurde bereits von Krabbe in [12] eine sehr geringe Abhängigkeit der Querspannungen σ_y von der Querschnittshöhe festgestellt. Für Beanspruchungs- und Materialverhältnisse nach Bild 2/3 konnte diese praktische Unabhängigkeit der Spannung σ_y von h bestätigt werden. So ergaben sich z.B. für eine Scheibe $b/h = 15/180 \text{ cm}$ (Bild 2/11) - in diesem Fall ohne Sägeschnitte - Unterschiede im Spannungsverlauf, die bei dem in Bild 2/12 gewählten Maßstab nicht sichtbar werden.

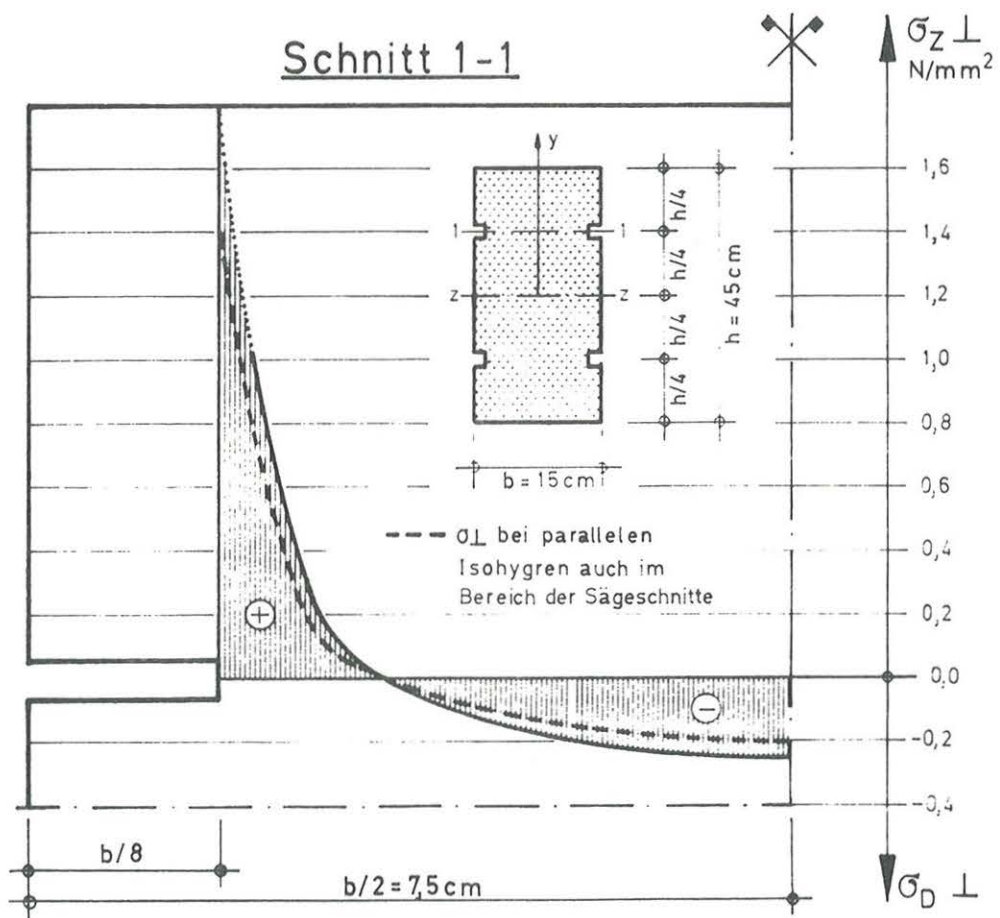
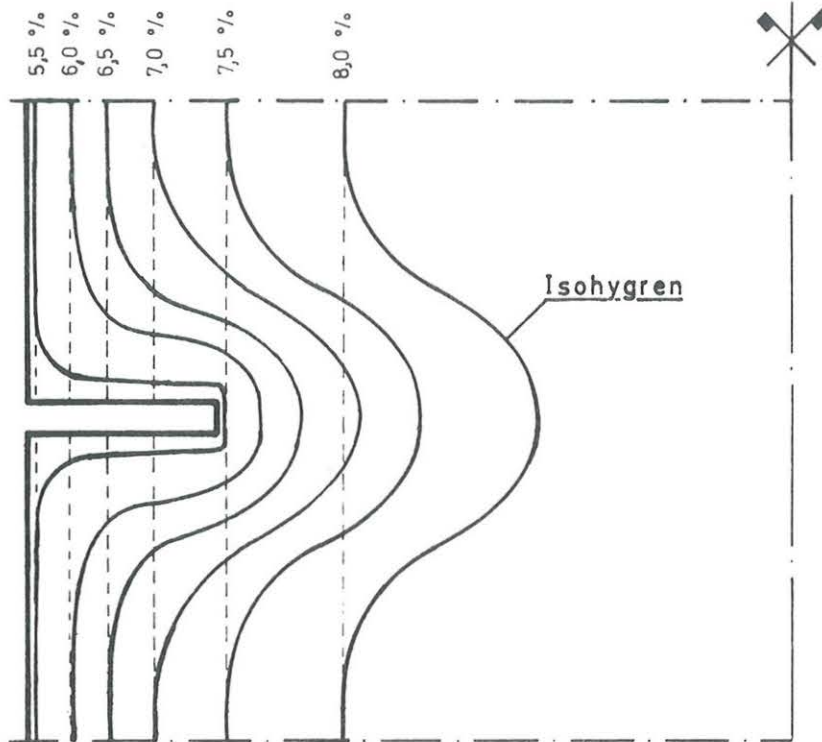


Bild 2/10: Isohygenverläufe im Schlitzbereich und zugehörige Querspannungsverteilung

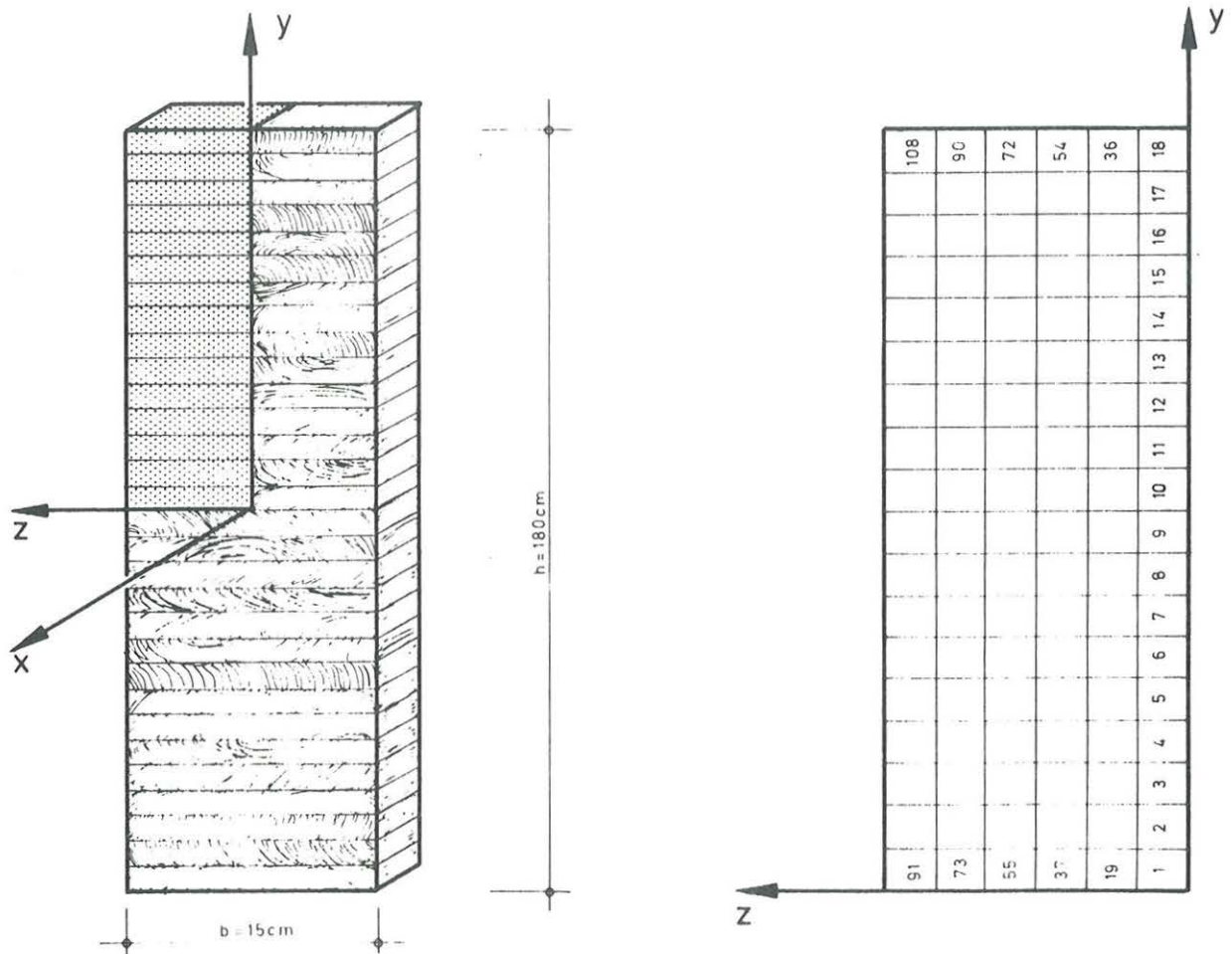


Bild 2/11: BSH-Scheibe mit der Höhe $h = 180\text{ cm}$ und Elemente-Raster für das SAP IV-Programm

Schnitt z-z

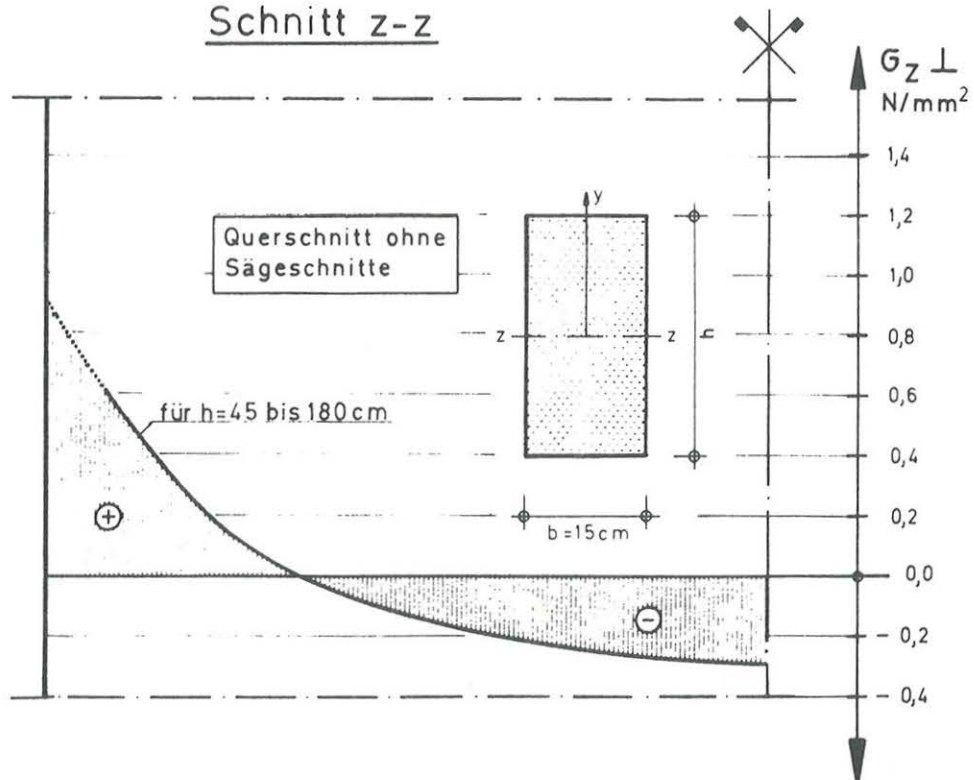


Bild 2/12: Querspannungsverteilung über die halbe BSH-Scheibe infolge Trocknung

2.4 Zusammenfassung

Der Einsatz von FE-Programmen zur Berechnung von Eigenspannungen in BSH-Querschnitten infolge Feuchtigkeitsänderungen ist dann sinnvoll, wenn möglichst zutreffende Daten über die Materialkennwerte wie Elastizitätsmodul E_L und Schwind- bzw. Quellmaß α sowie über die Feuchteverteilung eingegeben werden können. Bei der Beurteilung der Zuverlässigkeit der Ergebnisse muß aber beachtet werden, daß einige Einflüsse bzw. Fehlerquellen bisher noch nicht ausgeschaltet worden sind. Das hier verwendete FE-Programm SAP IV rechnet linear-elastisch und weist die bereits angesprochenen Ungenauigkeiten der Spannungen an den Elementrändern auf. Außerdem finden Relaxationsvorgänge keine Berücksichtigung. Trotzdem lassen sich mit Hilfe der Ergebnisse aus der FE-Berechnung gewisse Schlüsse über eventuelle kritische Eigenspannungszustände in BSH-Querschnitten und über die Wirkung von Sägeschnitten ziehen:

- Die Ergebnisse bei den Querschnitten mit eingeschlitzten Seitenflächen zeigen eine Verschärfung der Eigenspannungszustände anstatt des erhofften Spannungsabbaues. Der Aufbau von Spannungsspitzen im Schlitzgrund wird noch verstärkt, wenn ein zusätzlicher Feuchtetransport über die Oberflächen der Sägeschnitte erfolgen kann.
- Die Querschnittshöhe hat nur einen geringen Einfluß auf die Größe der Querspannungen.

Eine Berechnung von Eigenspannungen infolge Holzfeuchtigkeitsänderung wurde von Möhler/Steck [1] auch mit einem anderen Verfahren durchgeführt. Vergleichsrechnungen für den Fall B in Bild 2/2 ergaben, daß die Ergebnisse aus der SAP IV-Berechnung und der in [1] beschriebenen Methode bei den Spannungsspitzen am Rand um maximal 20 % voneinander abweichen. Bei beiden Verfahren sind diese Rand-

spannungen extrapolierte Werte. Die Spannungsverläufe über die Querschnittsbreite aus beiden Berechnungsmethoden stimmen überein.

Verbesserte Ergebnisse könnten gewonnen werden, wenn die in diesem Abschnitt vorgestellten Fälle mit einem Programm untersucht werden, in das ein nichtlineares Stoffgesetz eingebaut ist, und außerdem Relaxationsvorgänge simuliert werden können. Die Frage der Relaxation wird im Abschnitt 4 dieses Berichtes aufgegriffen und über den Einsatz eines leistungsfähigeren FE-Programmes sollen im Bericht über die Ergebnisse der Bewitterungsversuche Angaben gemacht werden.

3 Klimawechselversuch

Bei einem ersten Trocknungsversuch an zwei BSH-Abschnitten (1 x mit, 1 x ohne Sägeschnitte) hatten sich an den Seitenflächen des Abschnittes mit beidseitigen Schlitzten wesentlich weniger Risse gezeigt. Da die rechnerischen Ergebnisse des Abschnittes 2 dem Versuchsergebnis widersprachen, wurde ein Klimawechselversuch durchgeführt.

3.1 Versuchskörper

Aus großformatigen BSH-Trägern, die seit ca. 1 1/2 Jahren in der klimatisierten Prüfhalle lagerten, wurden insgesamt 10 Versuchskörper mit folgenden Abmessungen entnommen:

- 2 ∅ b/h/l = 10/22/30 cm
- 4 ∅ b/h/l = 10/45/30 cm
- 2 ∅ b/h/l = 10/67/30 cm
- 2 ∅ b/h/l = 10/90/30 cm.

Die mittlere Holzfeuchtigkeit betrug 10,7 %. Bei vier Versuchskörperpaaren wurde je ein Versuchskörper mit 1,5 cm tiefen und ca. 4 mm breiten mittigen Sägeschnitten an den Seitenflächen versehen. Beim Versuchskörper 5s wurden zwei Schlitzte je Seitenfläche eingeschnitten. Der Jahrringverlauf in den 33 mm dicken Lamellen kann dem Bild 3/1 entnommen werden, das die Stirnflächen aller Versuchskörper zeigt.

Für die Versuchsdurchführung wurden die Stirnflächen sowie die Ober- und Unterseiten der Versuchskörper mit einem zweifachen Perfalon-Anstrich versehen, so daß nur noch über die Seitenflächen ein Feuchte-transport möglich war.

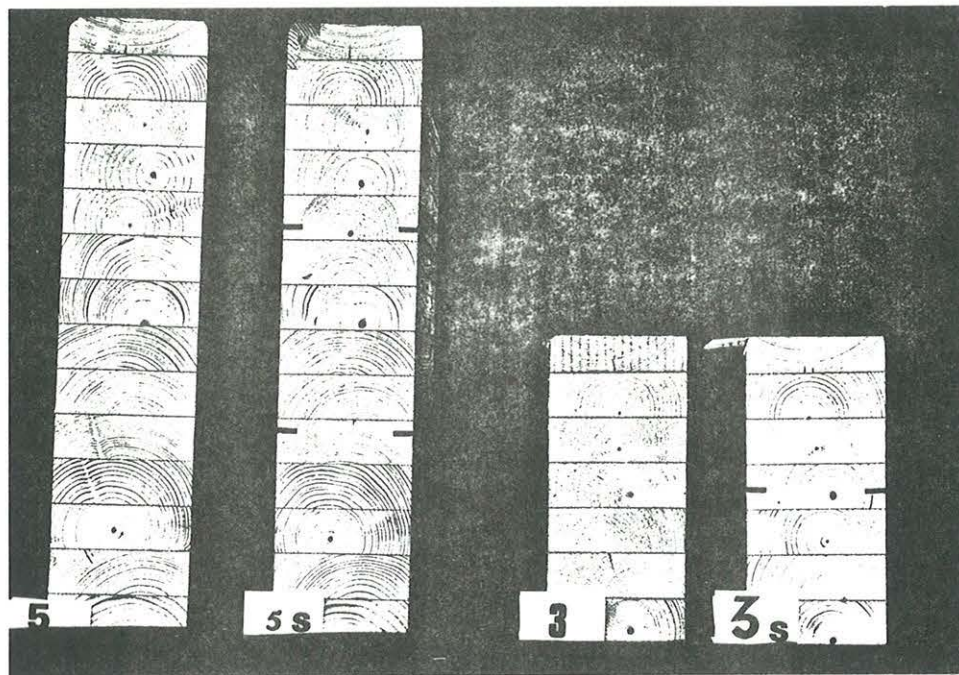
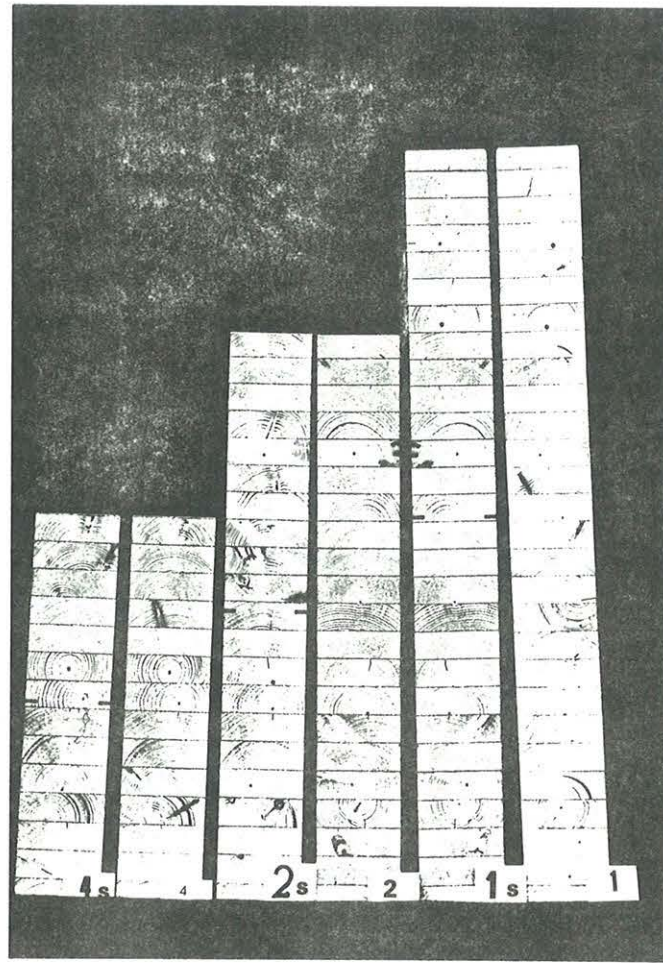


Bild 3/1: Stirnflächen der Versuchskörper für den Klimawechselversuch

3.2 Versuchsdurchführung

Alle Versuchskörper wurden unmittelbar vor Versuchsbeginn auf bereits vorhandene Risse an den Seitenflächen hin untersucht. Der Versuchsablauf ist auf dem Bild 3/2 dargestellt und setzt sich aus einer Befeuchtungsphase von 7 Tagen und einer direkt anschließenden Trocknungsphase von 14 Tagen zusammen. Die über alle 10 Versuchskörper gemittelte Holzfeuchtigkeit nimmt in der Befeuchtungsphase um 1,25 % zu und sinkt dann in der 14tägigen Trocknungszeit um 3,3 % wieder ab. Nach 3, 5, 7, 10 und 14 Tagen der Trocknungsphase wurden die Seitenflächen der Versuchskörper auf Risse hin untersucht wobei die Rißanzahl, Rißlage, Rißlänge und bei markanten Rissen die Rißbreite aufgezeichnet wurde.

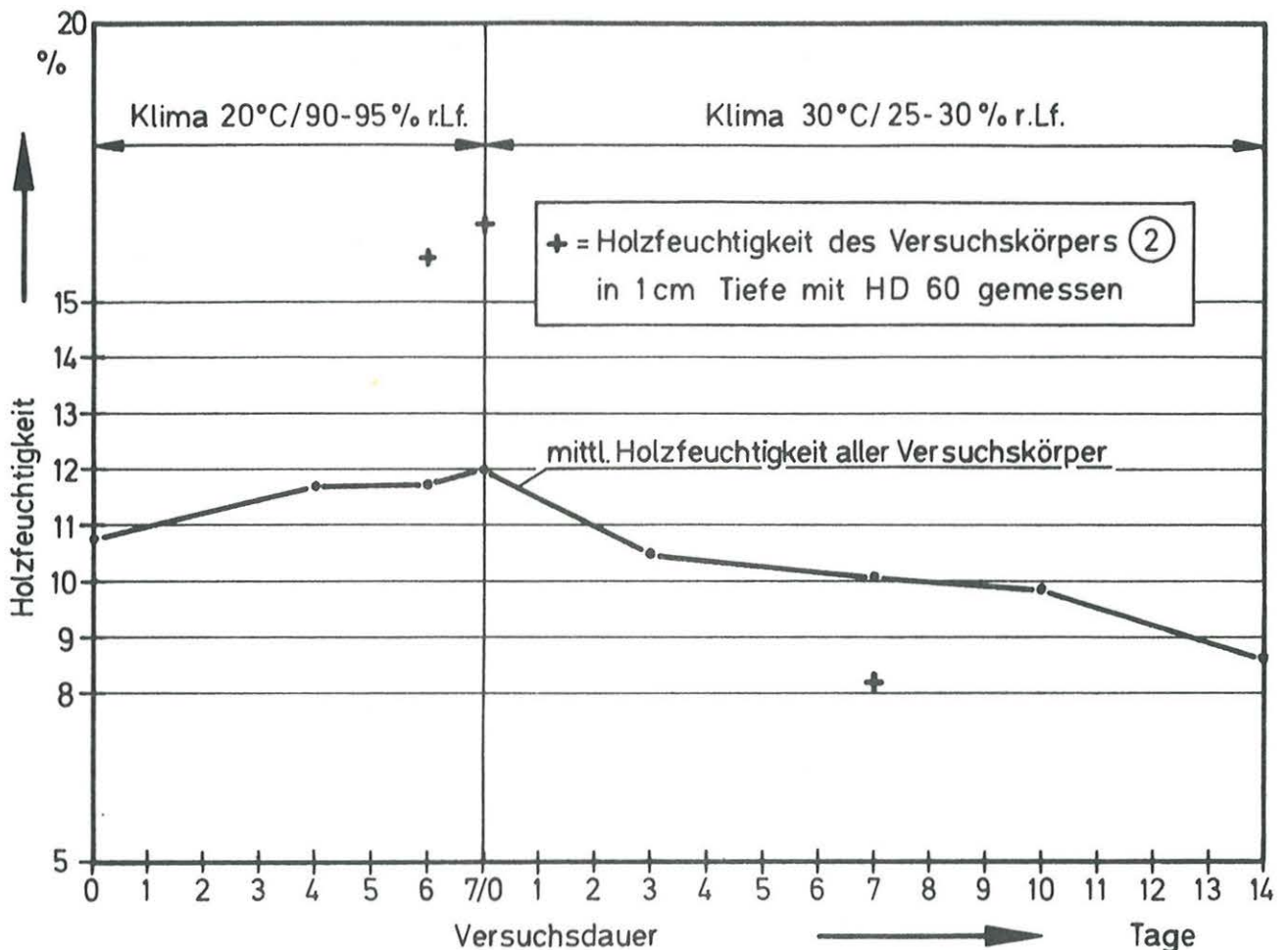


Bild 3/2: Klima und mittlere Holzfeuchtigkeit während des Versuchsablaufes

3.3 Ergebnisse

Bereits vor Versuchsbeginn vorhandene Risse wiesen die Körper 1, 1s und 5s auf. Diese und alle während der Trocknung entstandenen Risse wurden nach Lage und Länge aufgezeichnet, um als Grundlage für die Auswertung dienen zu können (siehe Bilder 3/3 bis 3/5 in Anlage 1 bis 3).

Bei allen fünf Versuchskörpern mit Sägeschnitten wurde nur ein einziger RiB im Nutgrund festgestellt. Zwischen dem 3. und 5. Tag der Trocknungsphase entstand dieser ca. 6 cm lange RiB im Nutgrund des Versuchskörpers 4s (siehe Bild 3/5). Die RiBbildungen in den Seitenflächen der Versuchskörper wurden nach zwei Kriterien ausgewertet:

- RiBlängensumme bezogen auf die Versuchskörperhöhe.
Die RiBlängensumme ist die Summe aller RiBlängen in den Seitenflächen I und II eines Versuchskörpers.
- RiBanzahl bezogen auf die Versuchskörperhöhe.
Die Risseanzahl ergibt sich aus der Summe aller Risse in den Seitenflächen I und II. Dabei blieben Risse mit einer Länge unter 5 cm unberücksichtigt. Für beide Kriterien wurden bereits vor Versuchsbeginn vorhandene Risse in die Rechnung nicht miteinbezogen.

In Bild 3/6 sind die bezogene RiBlängensummen dargestellt, die sich nach 3, 5 und 14 Tagen Trocknung ergeben haben. Das Kriterium bezogene RiBlängensumme weist für alle Versuchskörperpaare eine Verringerung der RiBbildung infolge Sägeschnittanordnung auf. Der Grad der Reduktion ist zwar uneinheitlich aber in allen Fällen deutlich erkennbar. Bezogen auf die Werte der ungeschlitzten Körper liegen die Werte der geschlitzten Versuchskörper z.B. nach 14 Tagen Trocknung um 16 % (Körper 2s) bis 70 % (Körper 3s) niedriger. Nach einer dreitägigen Trocknungszeit liegen diese Werte zwischen 18 % (Körper 1s) und 90 % (Körper 3s).

Normiert man die bezogene Rißlängensumme auf den Wert nach 14 Tagen Trocknung und betrachtet man diesen normierten Wert in Abhängigkeit von der Trocknungsdauer so zeigt sich, daß - ausgenommen Körper 1s und 4s - die Versuchskörper mit Sägeschnitten im Vergleich zu den ungeschlitzten Körpern in den ersten fünf Tagen eine verzögerte Rißbildung aufweisen (siehe Bild 3/7).

Das Kriterium bezogene Risseanzahl (Bild 3/8) zeigt dieselbe Tendenz wie die bezogene Rißlängensumme. Bezogen auf die Werte der ungeschlitzten Körper liegen die Werte der geschlitzten Versuchskörper z.B. nach 14 Tagen Trocknung um 17 % (Körper 2s) bis 71 % (Körper 3s) niedriger. Nach einer dreitägigen Trocknungszeit liegen diese Werte zwischen 23 % (Körper 1s) und 100 % (Körper 3s). Nach beiden Kriterien ergeben sich in nahezu allen Fällen nur wenig unterschiedliche Grade der Reduktion.

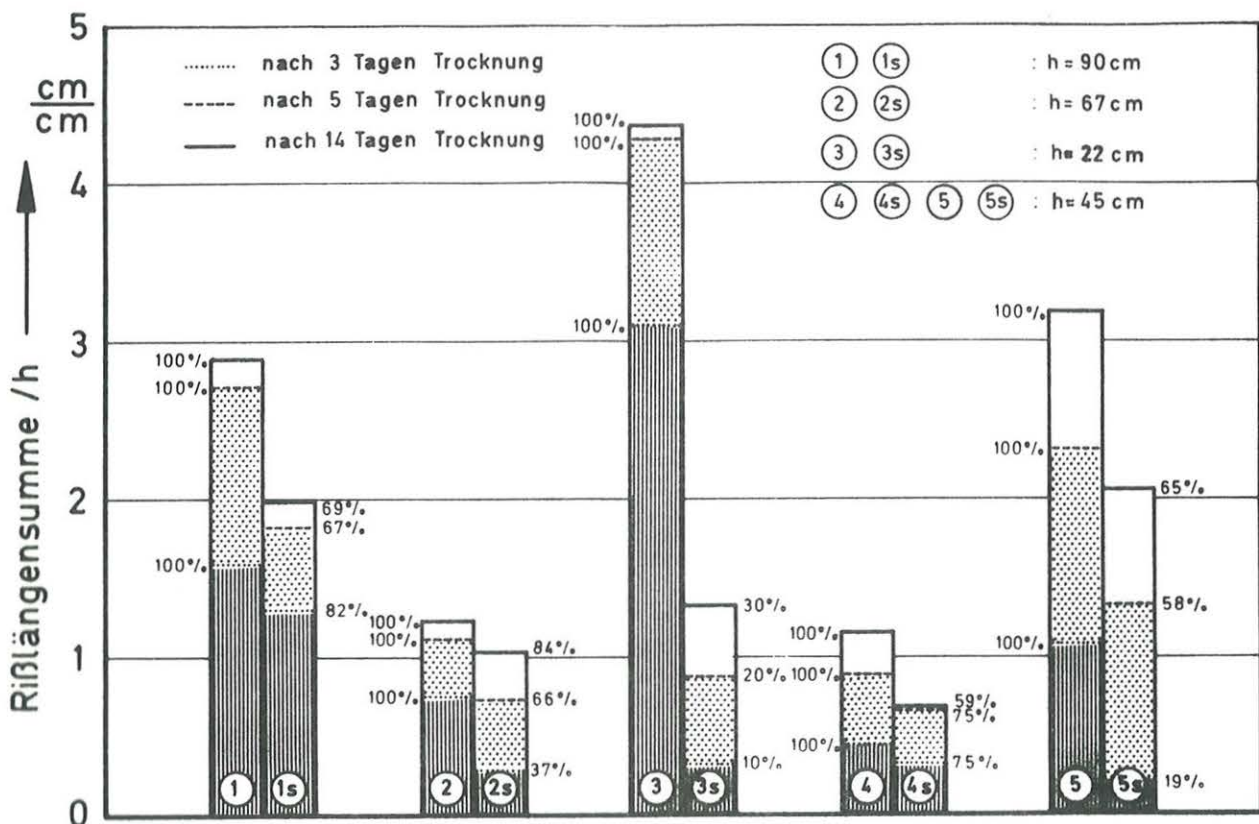


Bild 3/6: Auf die Versuchskörperhöhe h bezogene Rißlängensumme nach 3, 5 und 14 Tagen Trocknung

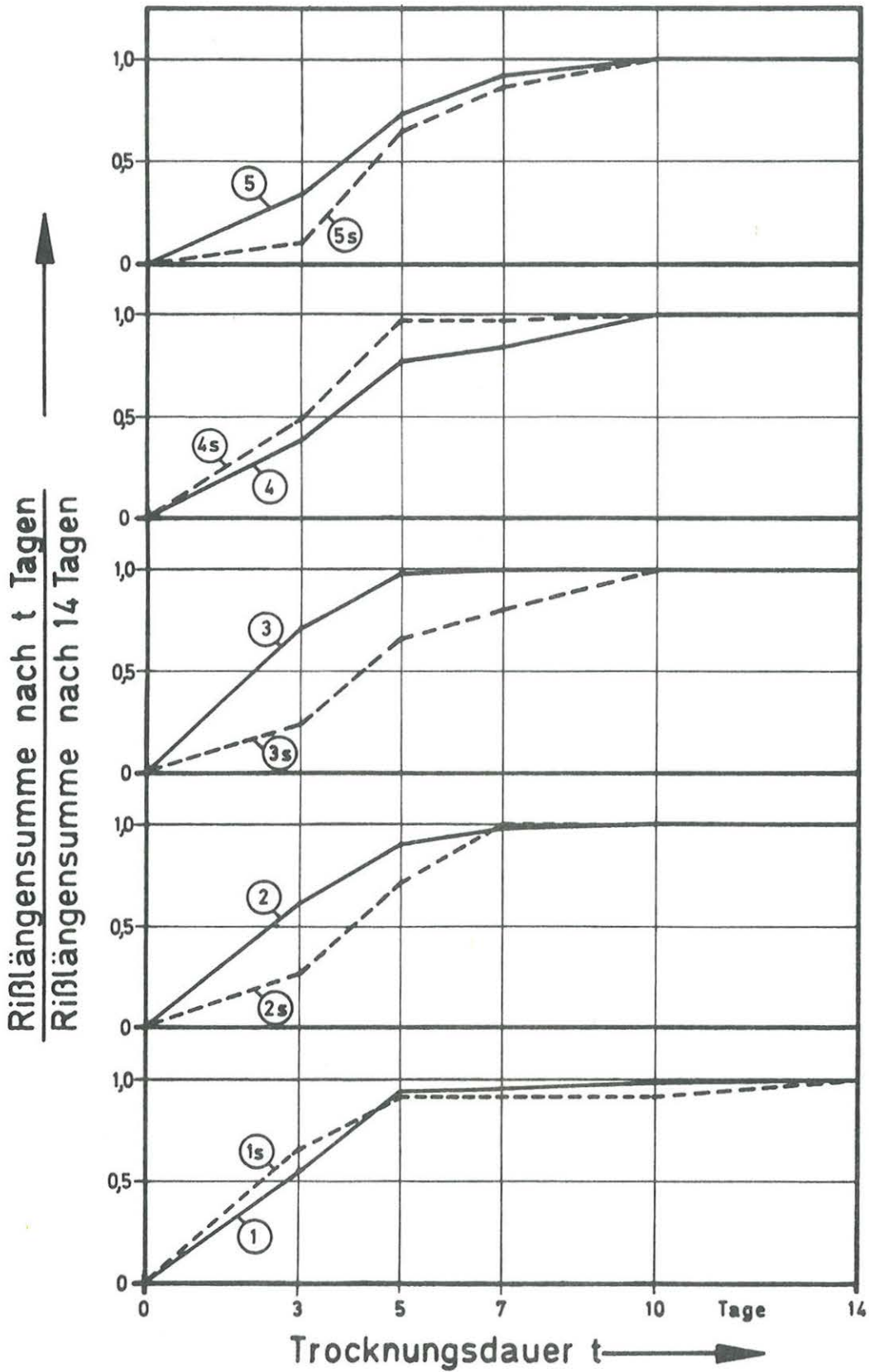


Bild 3/7: Zunahme der Rißlängensumme in Abhängigkeit von der Trocknungsdauer

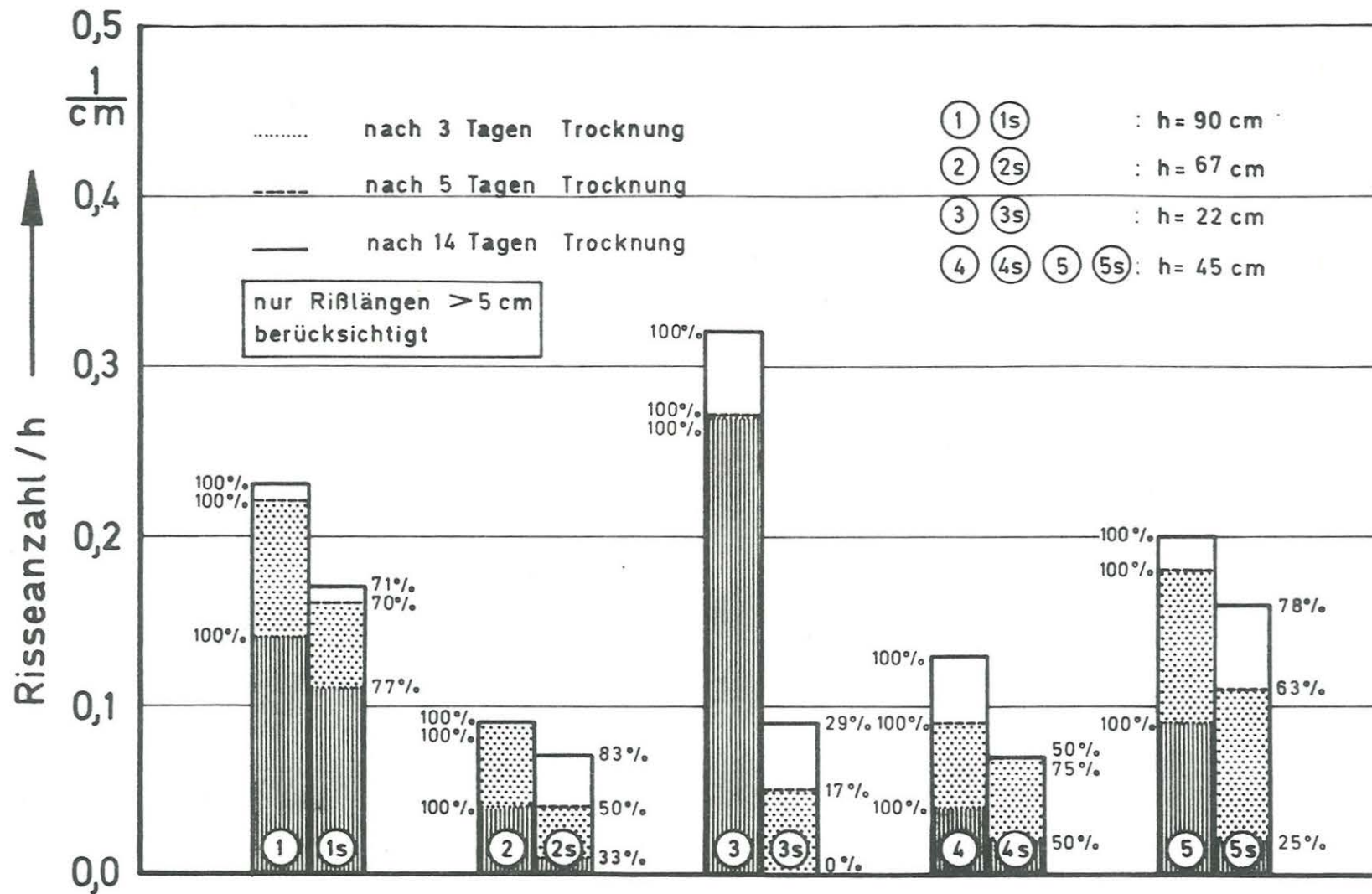


Bild 3/8: Auf die Versuchskörperhöhe h bezogene Rissezahl nach 3, 5 und 14 Tagen Trocknung

4 Relaxationsversuch

Die in Abschnitt 2 behandelte rechnerische Erfassung der Eigenspannungen in einer Brettschichtholzscheibe infolge Feuchtigkeitsänderung ist unter anderem deshalb eine Näherungsberechnung, weil zeitabhängige Kriech- und Relaxationsvorgänge nicht oder nur pauschal berücksichtigt werden. Der Versuch einer pauschalen Berücksichtigung stellt die Verwendung des Quell- bzw. Schwindmaßes für behindertes Quellen bzw. Schwinden dar, wodurch aber verglichen mit [12] eine erste Verbesserung der Rechenannahmen erreicht wird. Auf z.B. in [14] vorliegende Versuchsergebnisse kann nur bedingt zurückgegriffen werden, weil im vorliegenden Lastfall "ungleichmäßige Feuchtigkeitsänderung über die BSH-Scheibenbreite" die Beanspruchung des Materials nicht durch äußere Lasten erzeugt wird und gegenseitige Abhängigkeiten zwischen spannungserzeugenden und spannungsmindernden Faktoren vorliegen.

Deshalb sollte durch Versuche an Versuchskörpern, die ein stark vereinfachtes Modell der BSH-Scheibe darstellen, die Entstehung und Größe der Eigenspannungen in Abhängigkeit von der Zeit untersucht werden. Die BSH-Scheibe wird reduziert auf zwei Randstreifen aus BSH und einen dazwischen eingeklebten Mittelstreifen aus Aluminiumblech (siehe Bild 4/1). Bei Feuchtigkeitszunahme versuchen sich die Randstreifen zu verlängern, werden aber vom Alu-Blech an der Ausdehnung behindert. Dadurch entstehen in den BSH-Querschnitten Druck- und im Blech Zugspannungen. Die Dehnungen des Bleches werden an der Stelle DMS mittels Dehnungsmeßstreifen gemessen.

Zur Auswertung der Versuche ist die Kenntnis einiger Materialeigenschaften erforderlich, die an den im folgenden beschriebenen Versuchskörpern ermittelt wurden.

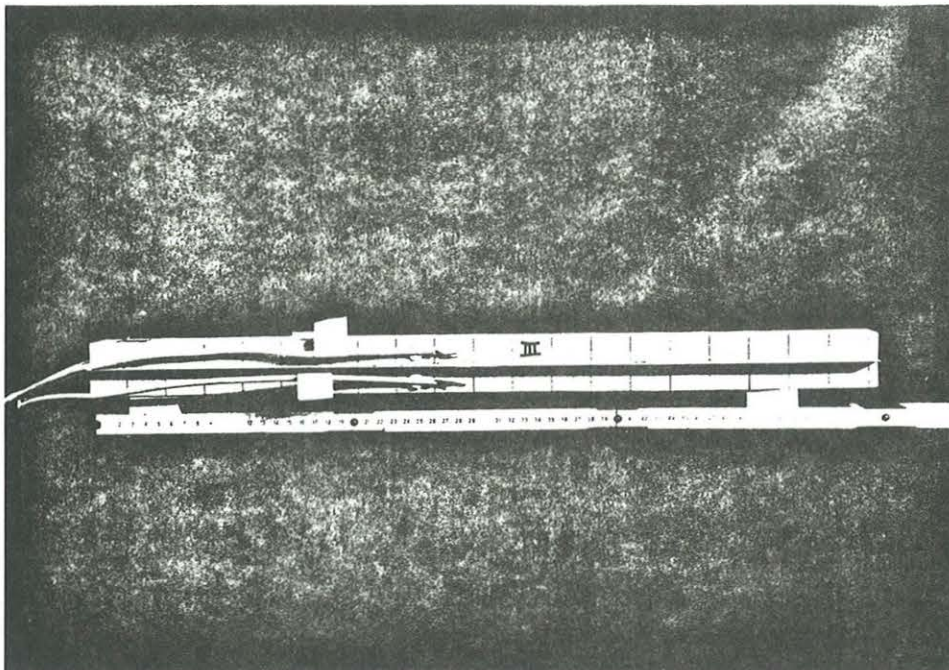
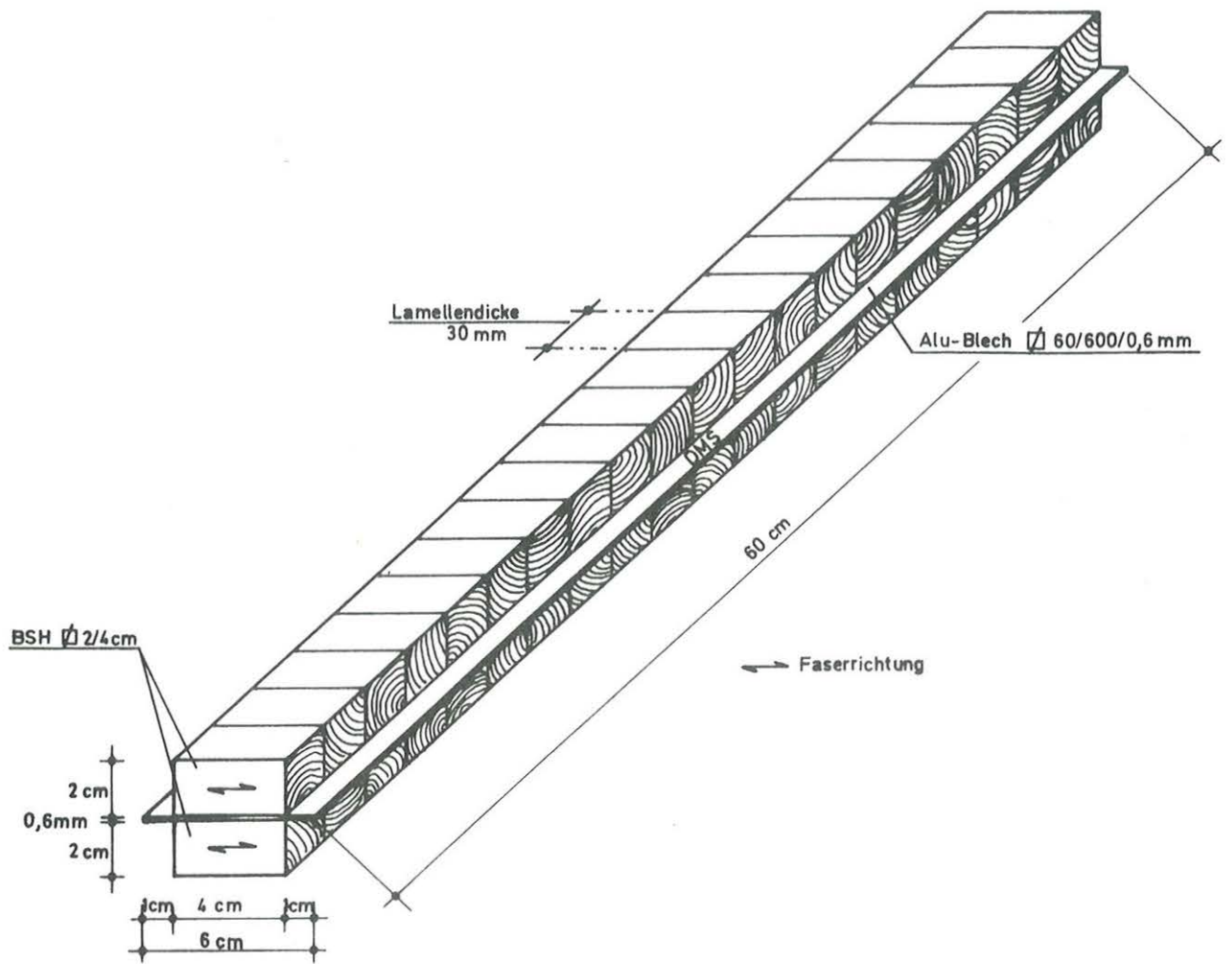


Bild 4/1: Versuchskörper

4.1 Versuchskörper

Alle BSH-Proben wurden gemäß Bild 4/2 einem Trägerabschnitt entnommen, der seit ca. 1 1/2 Jahren in der Versuchshalle bei 20°C/65 % rel.Lf. lagerte.

- Versuchskörper für die Relaxationsversuche

Die Verklebung der BSH-Stäbe mit den Alu-Blechen zu den Versuchskörpern I, II und III erfolgte durch Epoxidklebstoff. Unmittelbar vor der Verklebung wurde an den Oberflächen der Bleche die Oxydationsschicht mittels Schwingschleifer (Körnung 100) entfernt. Auf die links und rechts überstehenden Blechstreifen der Versuchskörper I, II und III wurden jeweils auf der Ober- und Unterseite an der Stelle DMS (siehe Bild 4/1) Dehnungsmeßstreifen aufgeklebt.

- Alu-Proben für den Zugversuch

Für die Ermittlung des Elastizitätsmoduls im Zugversuch wurden vier Flachproben 12,5 x 50 mm nach DIN 50 114 hergestellt. Die Proben wurden aus demselben Blech mit $t = 0,6$ mm entnommen, das auch für die Versuchskörper nach Bild 4/1 verwendet wurde.

- BSH-Proben für den Querdruckversuch

Für die Ermittlung des Elastizitätsmoduls $E_{D\perp}$ des BSH im Druckversuch wurden 8 prismatische Proben 4/4/12 cm - wie in Bild 4/2 dargestellt - entnommen.

- BSH-Proben für den Quellungsversuch

Für die Ermittlung des Quellmaßes bei unbehinderter Quellung wurden vier prismatische Proben 2/2/20 cm - wie in Bild 4/2 dargestellt - entnommen.

- 3 BSH-Vergleichsproben 2/4/10 cm für die Kontrolle des Holzfeuchtegehaltes

4.2 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Relaxationsversuch

Die Versuchskörper I, II und III wurden nach vorangegangener Nullablesung der Dehnungsmeßstreifen einem Klima 20°C/85 % rel.Lf. ausgesetzt. Weitere Ablesungen der Dehnungsmeßstreifen wurden nach 4, 8, 24, 32, 48, 73, 96 und 168 Stunden vorgenommen. Die gemittelten Meßwerte sind in Bild 4/3 aufgetragen.

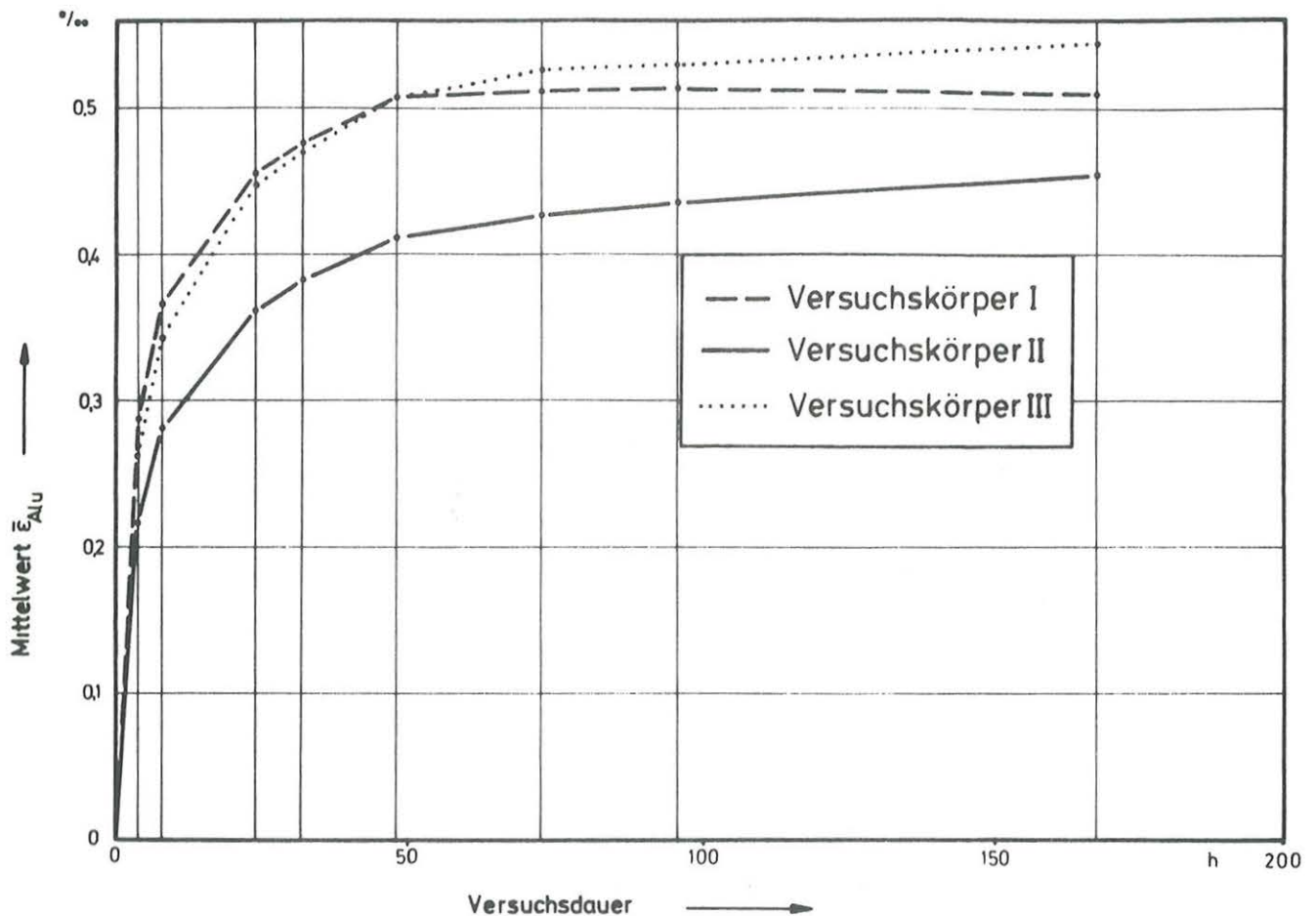


Bild 4/3: Mittlere Dehnung der Alu-Bleche in den Versuchskörpern I, II, III in Abhängigkeit von der Zeit

Zugversuche Alu-Proben

Die vier Zugversuche wurden mit einer Verformungsgeschwindigkeit von 1 mm/min durchgeführt, wobei die Verlängerung im mittleren Bereich der Probe mit einem induktiven Dehnungsaufnehmer D32 über die Meßlänge von 40 mm ermittelt wurde. Die Kraft-Weg-Diagramme sind in Bild 4/4 (Anlage 4) dargestellt.

Querdruckversuche BSH-Proben

Die Proben D1, D2, D3 wurden bei einer Holzfeuchte von ca. 9,3 % geprüft, während die Proben D4 bis D8 zunächst einem Klima 20°C/85 % rel.Lf. ausgesetzt wurden und erst nach einem Tag (D4, D5), nach drei Tagen (D6, D7) bzw. nach 7 Tagen (D8) Feuchtlagerung geprüft wurden. Die Verformungsgeschwindigkeit betrug 1 mm/min. Die Zusammendrückung wurde mit zwei induktiven Wegaufnehmern W2 (siehe Bild 4/5) gemessen. Kraft-Weg-Diagramme siehe Bild 4/6 (Anlage 5).

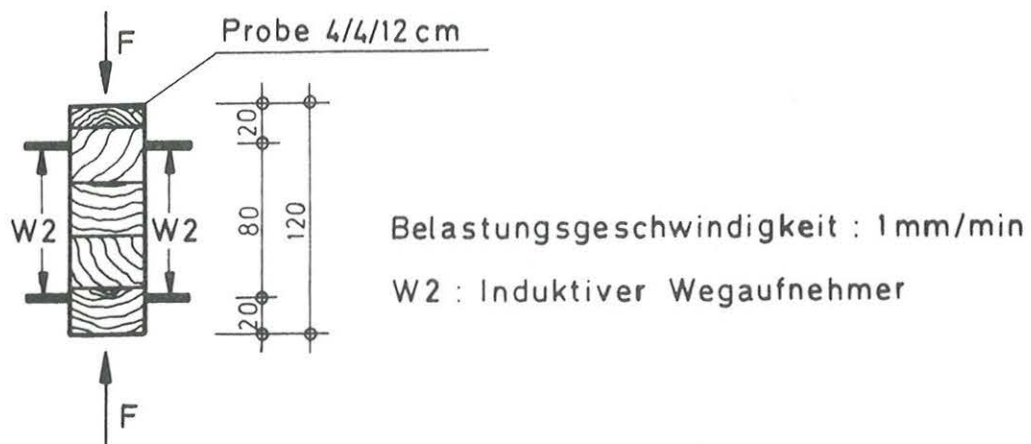


Bild 4/5: Versuchsanordnung für Querdruckversuche

Quellungsversuch BSH-Proben

Die Quellproben Q1 bis Q4 wurden ebenfalls im Feuchtklima 20°C/85 % rel.Lf. gelagert und über einen Zeitraum von 7 Tagen mehrmals gemessen und gewogen. Anschließend wurden Gewicht und Abmessungen im Darrzustand ermittelt. Die sich daraus ergebende Quellung in Abhängigkeit von der Holzfeuchtigkeit zeigt Bild 4/7 (Anlage 6).

Vergleichsproben

Durch Wiegen der Vergleichsproben aus BSH, die zusammen mit den Versuchskörpern I bis III im Feuchtklima gelagert wurden, ergab sich der Holzfeuchtigkeitsverlauf in den BSH-Stäben der Körper I, II und III (siehe Bild 4/8).

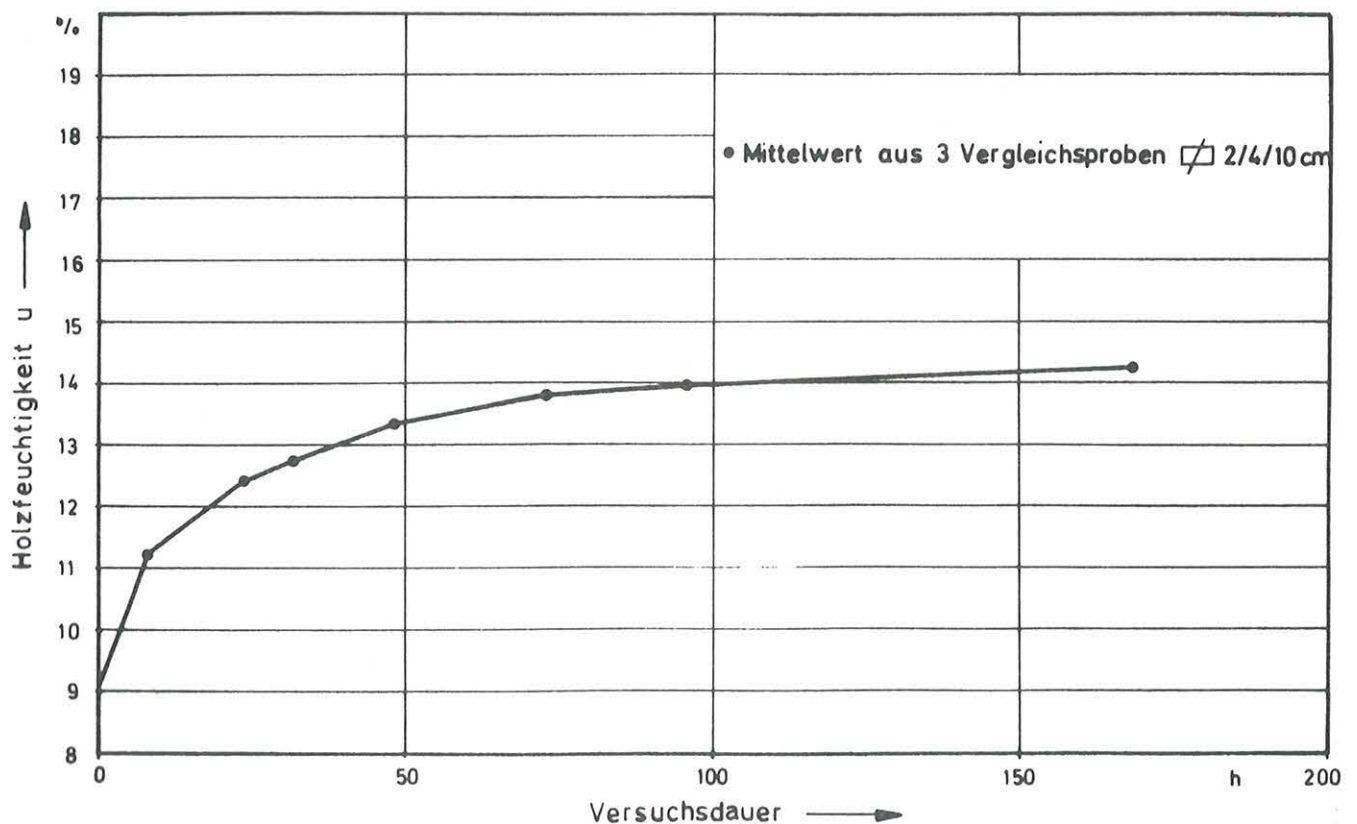
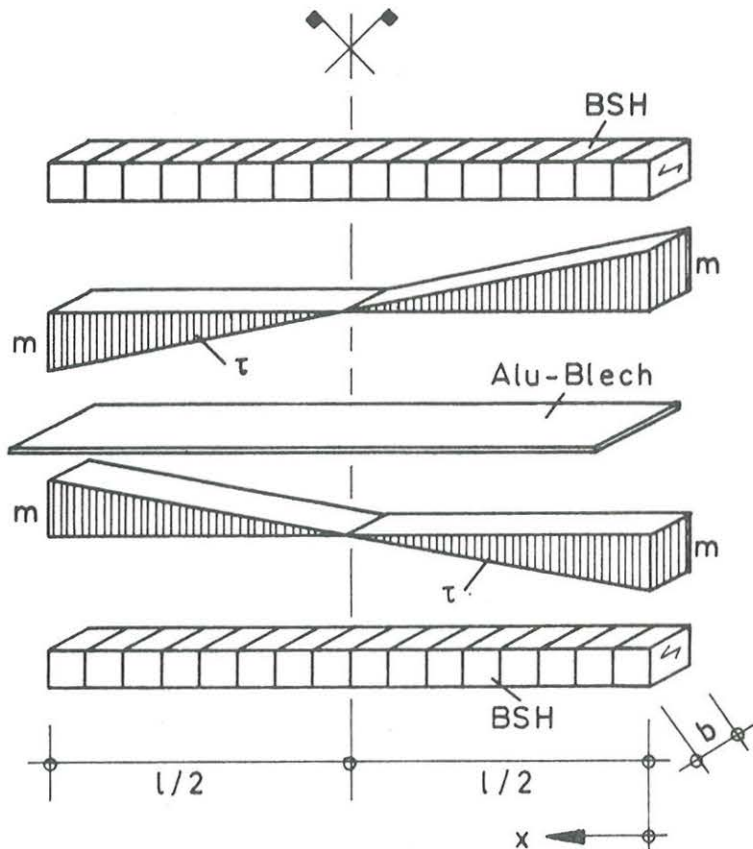


Bild 4/8: Holzfeuchtigkeit der Versuchskörper I, II, III in Abhängigkeit von der Zeit

4.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

Bei einer Schubspannungsverteilung in den Klebfugen nach Bild 4/9 und den daraus resultierenden elastischen Formänderungen kann eine rechnerische Abschätzung der Beanspruchungen im BSH-Stab und im Alu-Blech vorgenommen werden. Die geometrische Bedingung für den Prüfkörper ergibt sich zu

$$\delta_M - \delta_{BSH} = \delta_{ALU}$$



Durch Feuchtezunahme Δu :

Quellverformung des BSH-Stabes:

$$\delta_U = \alpha \cdot x \cdot \frac{\Delta u}{100} \cdot \frac{l}{2}$$

elast. Verlängerung des Alu-Blechtes:

$$\delta_{Alu} = \int_0^{l/2} \frac{2 F(x)}{(EA)_{Alu}} dx$$

elast. Verkürzung des BSH-Stabes:

$$\delta_{BSH} = \int_0^{l/2} \frac{F(x)}{(EA)_{BSH}} dx$$

mit

$$F(x) = m \cdot b \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

α = Quellmaß

x = Abminderungsfaktor bei Quellbehinderung

$(EA)_{Alu}$ = Dehnsteifigkeit des Alu-Blechtes

$(EA)_{BSH}$ = Dehnsteifigkeit eines BSH-Stabes

Bild 4/9: Angenommener Verlauf der Schubspannungen in der Klebfuge zwischen den BSH-Stäben und dem Alu-Blech

Dabei wird elastisches Verhalten ohne Relaxation der BSH-Stäbe vorausgesetzt. Nach Einsetzen und Umformen ergibt sich für die Kraft im Alu-Blech an der Stelle $x = l/2$

$$2F = \frac{1,5 \alpha \varrho \Delta \mu / 100}{\frac{1}{(EA)_{ALU}} + \frac{1}{2(EA)_{BSH}}}$$

Aus den im Versuch gemessenen Dehnungen des Alu-Blechtes errechnet sich die infolge Relaxation abgeminderte Zugkraft zu

$$2F_{\xi} = (EA)_{ALU} \cdot \epsilon_{ALU}$$

und somit der Abminderungsfaktor zu

$$\varphi = \frac{F_{\xi}}{F} = \frac{2 \epsilon_{ALU}}{3 \alpha \varrho \Delta \mu / 100} \left(1 + \frac{1}{2f} \right)$$

mit

$$f = \frac{(EA)_{BSH}}{(EA)_{ALU}}$$

α = Quellmaß

ϱ = Abminderungsfaktor bei Quellbehinderung

$\Delta \mu$ = Feuchtezunahme in %

ϵ_{ALU} = Dehnung des Alu-Blechtes an der Stelle DMS (siehe Bild 4/1).

Will man φ z.B. mit den Ergebnissen der Relaxationsversuche von Möhler/Maier vergleichen, müßte der Abminderungsfaktor α bekannt sein, weil in [14] die Relaxation ohne einen Quellungseinfluß ermittelt wurde. Der im Abschnitt 4.2 beschriebene Relaxationsversuch erbrachte als Ergebnis nämlich einen globalen Abminderungsfaktor $\varphi \cdot \alpha$. Üblicherweise wird α zu 0,5 angenommen. Für die Berechnung von φ wurde von den folgenden Werten ausgegangen:

$$\epsilon_{ALU} \quad \text{nach Bild 4/3}$$

$$\Delta u \quad \text{in \% nach Bild 4/8}$$

$$A_{BSH} = 40 \cdot 20 = 800 \text{ mm}^2$$

$$A_{ALU} = 0,6 \cdot 60 = 36 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = \bar{\alpha} = \frac{1}{4} (0,277 + 0,258 + 0,290 + 0,315) = 0,285 \text{ nach Bild 4/7}$$

$$E_{BSH} = 660,5 - 36u \text{ N/mm}^2 \text{ nach Bild 4/6 } (8 \% \leq u \leq 15 \%)$$

$$E_{ALU} = 66,270 - 6,830 \epsilon_{ALU} \text{ N/mm}^2 \text{ nach Bild 4/4 } (\epsilon_{ALU} \leq 0,55 \%)$$

Diese Berechnung ergab während der Versuchsdauer von sieben Tagen globale Abminderungsfaktoren $\alpha \cdot \varphi$ in einer ziemlich schmalen Bandbreite zwischen 0,19 und 0,29 (siehe Bild 4/10). Vom 5. Tag an stabilisierten sich die Werte. Der Mittelwert über alle drei Versuchskörper vom 5. bis 7. Tag beträgt $\alpha \cdot \varphi = 0,25$. Trifft man für α die übliche Annahme im Falle einer Quellbehinderung, so erhält man für den Abminderungsfaktor φ als Maßzahl für die Relaxation

$$\varphi = 0,5.$$

Dieser Wert deckt sich genau mit dem von Möhler/Maier gefundenen Ergebnis für trockenes Fichtenvollholz und berechtigt also bei Spannungsberechnungen für BSH die Relaxation näherungsweise mit $\rho = 0,5$ zu berücksichtigen. Bei solchen Berechnungen für ein Brett-schichtträgerbauteil darf aber nicht der Holzfeuchte-Zeit-Verlauf nach Bild 4/8 zugrunde gelegt werden, weil im Falle der Versuchskörper eine sehr schnelle Feuchteaufnahme über die Stirnflächen der BSH-Stäbe erfolgen konnte.

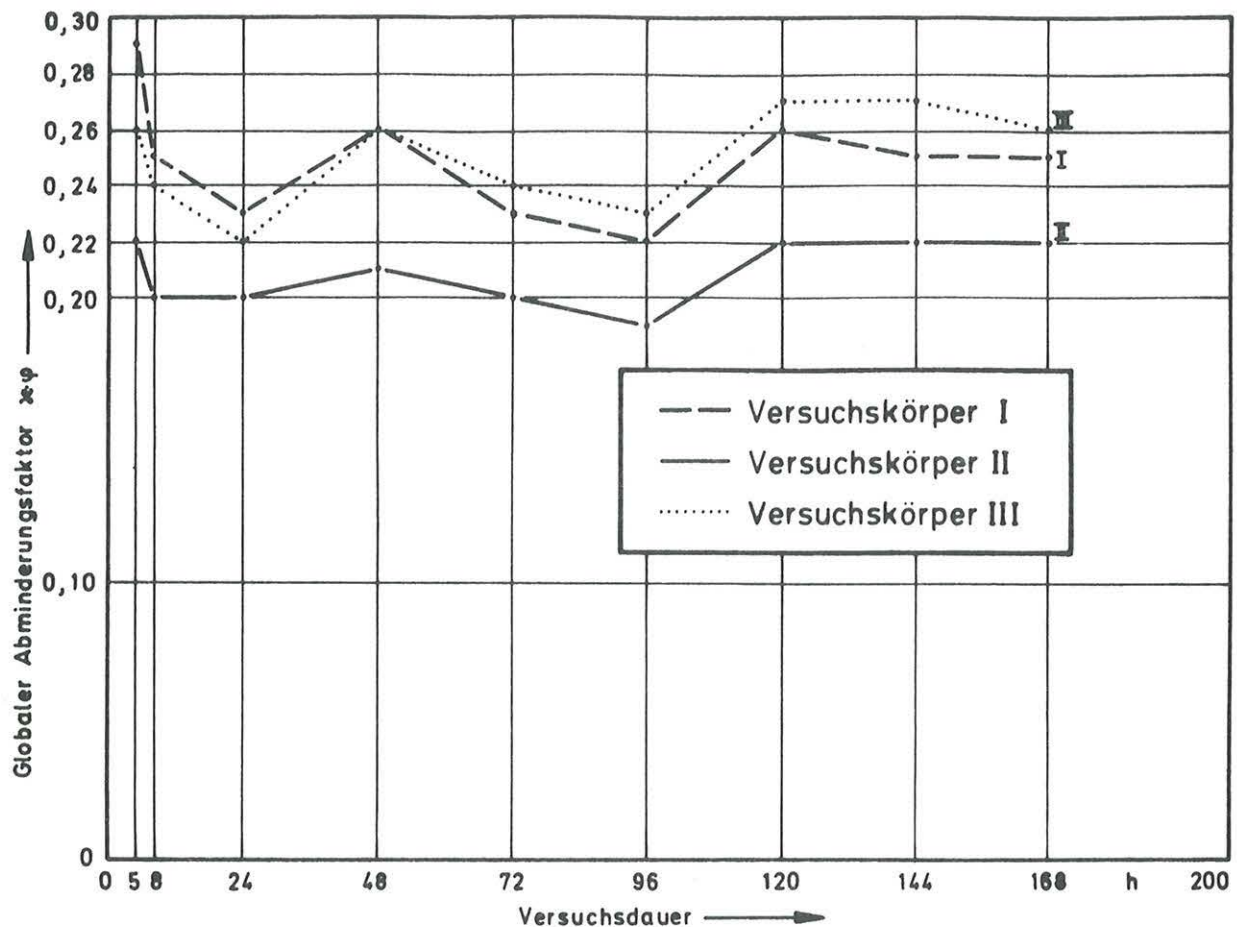


Bild 4/10: Globaler Abminderungsfaktor α_{ρ} für die Versuchskörper I bis III in Abhängigkeit von der Versuchsdauer

5 Bewitterungsversuch

Während der Bearbeitung des Vorhabens ergab sich aus der begleitenden Arbeitsgruppe die Anregung, neben den Kurzzeitversuchen auch Dauerstandversuche anzusetzen. Die Anregung wurde aus den folgenden Gründen in den Arbeitsplan aufgenommen:

- die Ergebnisse der Vorversuche legten es nahe, Versuchskörper mit genau bekannter Entstehungsgeschichte herzustellen und zu testen
- eine praxisnahe Klimabelastung von Brettschichtholz kann untersucht werden
- Ergänzung der Kurzzeitversuche durch Tests an Brettschichtholz unter langdauernder Klimabelastung
- parallel zur Untersuchung des Sägeschnitteinflusses können auch die Wirkungen von Anstrichmitteln beobachtet werden.

Im folgenden wird die Herstellung der Versuchskörper beschrieben und der Versuchsaufbau erläutert. Die Mitteilung der Ergebnisse wird zu einem späteren Zeitpunkt in einem eigenen Bericht nach Abschluß der Bewitterungsversuche erfolgen.

5.1 Versuchskörper

Aus einem Vorrat von ca. 120 vorgehobelten Brettern ($b/a/l = 17/3,8/500$ cm) wurden im Holzleimbaubetrieb 3 x 15 Bretter für drei Brettschichtträger I, II und III so ausgesucht, daß sich ein Querschnitt mit möglichst vielen Herzbrettern (Träger I) der Güteklasse II, ein Querschnitt aus markröhrenfreien Brettern (Träger II) der Güteklasse II sowie ein Querschnitt aus Gkl. I-Brettern (Träger III) ergab.

Vor der Endhobelung und Verleimung wurden von jedem Brett beidseitig Endstücke abgeschnitten, um daraus Holzfeuchte und Rohdichte zu ermitteln. Die Meßergebnisse sowie ein Leimbuchauszug, der die Herstellung der Träger betrifft, sind in Tabelle 5/1 (Anlage 7) zusammengestellt. Die Anlieferung der beim Transport mit Folie abgedeckten Träger erfolgte zwei Tage nach der Herstellung. Die Aufteilung der Träger in die einzelnen Versuchskörper kann Bild 5/1 (Anlage 8) entnommen werden. Die Stirnflächen der Versuchskörper 1 bis 18 vor der Versiegelung mit Perfalon sind auf den Bildern 5/2 bis 5/4 (Anlagen 9 bis 11) dargestellt.

Um ein zuverlässiges Feuchteprofil über die Versuchskörperquerschnitte bei Versuchsbeginn zu erhalten, wurden von jedem Träger drei Scheiben (SIL bis SIIIR) entnommen und in 28 Darrprobenstücke aufgespalten. Das Spaltschema sowie die ermittelten Holzfeuchteprofile zeigen die Bilder 5/5 bis 5/7 (Anlagen 12 bis 14).

Die 18 Versuchskörper Nr. 1 bis 18 für die Rissebeobachtung und die 12 Zwischenstücke Nr. 1/2 bis 17/18 für die Entnahme von Darrscheiben wurden an ihren Stirnflächen mit einem zweifachen Perfalon-Anstrich versehen. Anschließend erfolgte die weitere Behandlung der Versuchskörper entsprechend des Anstrichplanes gemäß Bild 5/8. Die Sägeschnitte sind 2 cm tief und unter einem Winkel von 60° zur Trägervertikalen angeordnet (siehe Bild 5/9).

Der zeitliche Ablauf der einzelnen Bearbeitungsschnitte an den Versuchskörpern ist in Tabelle 5/2 (Anlage 15) dargestellt.

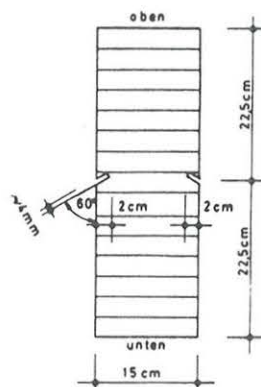
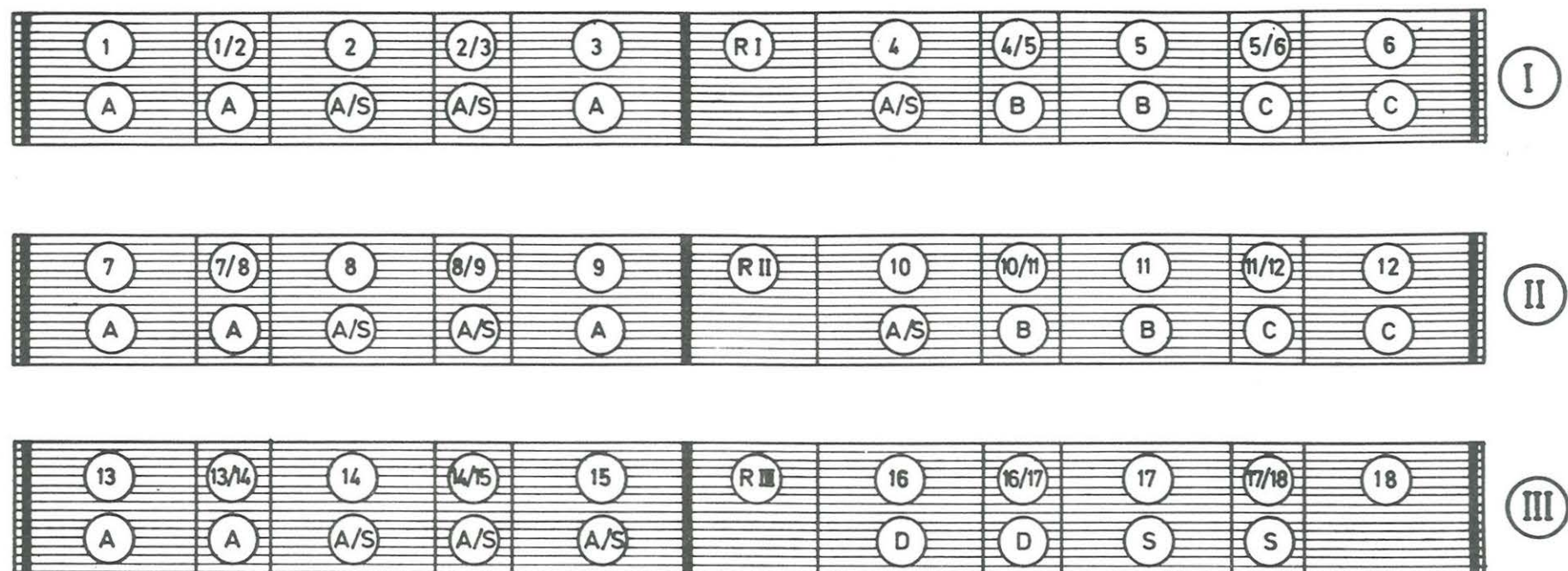


Bild 5/9: Querschnitt der Versuchskörper mit Sägeschnitten



- A - Holzschutzmittel nach DIN 68800, lösemittelhaltig, Farbe: rötlichbraun, 50 ml/m²
- B - lasierendes Anstrichmittel auf Kunststoffdispersionsbasis, Farbe: maisgelb, 60 ml/m²
- C - Dickschichtholzlasur, Farbe: eiche, 55 ml/m²
- D - Holzschutzlasur nach DIN 68800, lösemittelhaltig, Farbe: oregon pine, 40 ml/m²
- S - Sägeschnitte nach Bild 5/9

Bild 5/8: Anstrich- und Sägeschnittplan

5.2 Versuchsaufbau

Unmittelbar vor dem Aufstellen der Versuchskörper im Freien wurden die Körper 1 bis 18 gewogen und außerdem in der Mitte an drei Punkten vermessen, um den Startpunkt für die Schwind- und Quellverformungen in Richtung der Versuchskörperhöhe zu erhalten. Der Standort der Versuchsstände entlang der Südseite der Versuchshalle ist aus der Übersicht in Bild 5/10 zu ersehen. Die genaue Anordnung der Versuchskörper sind den Bildern 5/11 und 5/12 zu entnehmen. Die Standzeit der Versuchskörper im Freien ist zunächst für zwei Jahre vorgesehen. Während dieser Zeit werden die Körper auf Rißbildung hin beobachtet, die Körperhöhe gemessen und zu geeigneten Zeitpunkten Darrscheiben von den Zwischenstücken entnommen. Das Außenklima wird kontinuierlich mit einem Klimaschreiber aufgezeichnet.

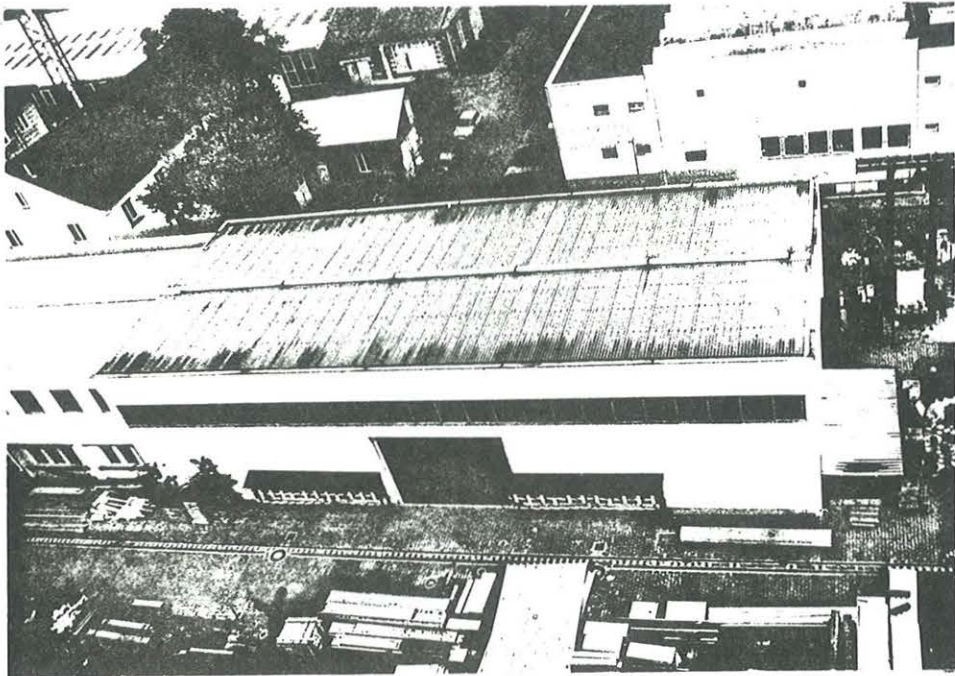
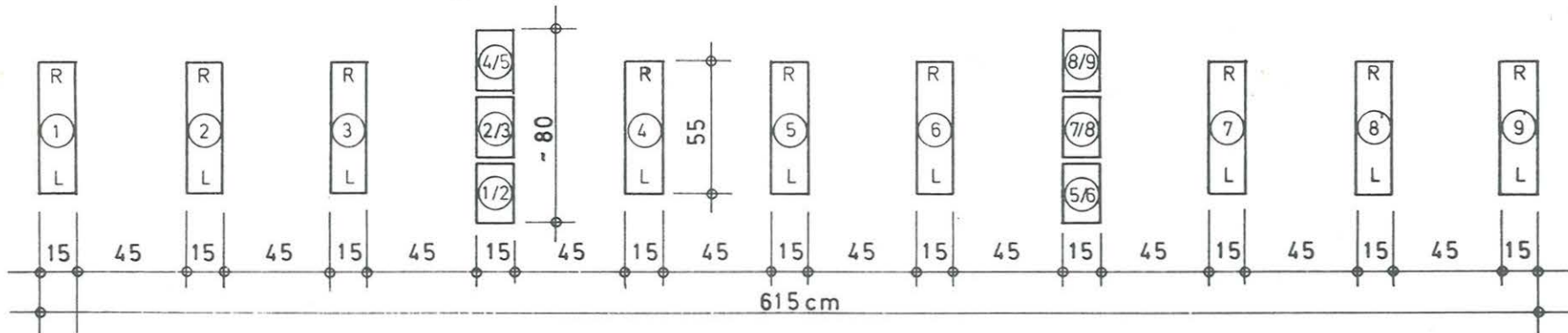


Bild 5/10: Standort der Versuchsstände an der Hallen-
südseite

Draufsicht M 1:25

Links vom Hallentor



Rechts vom Hallentor

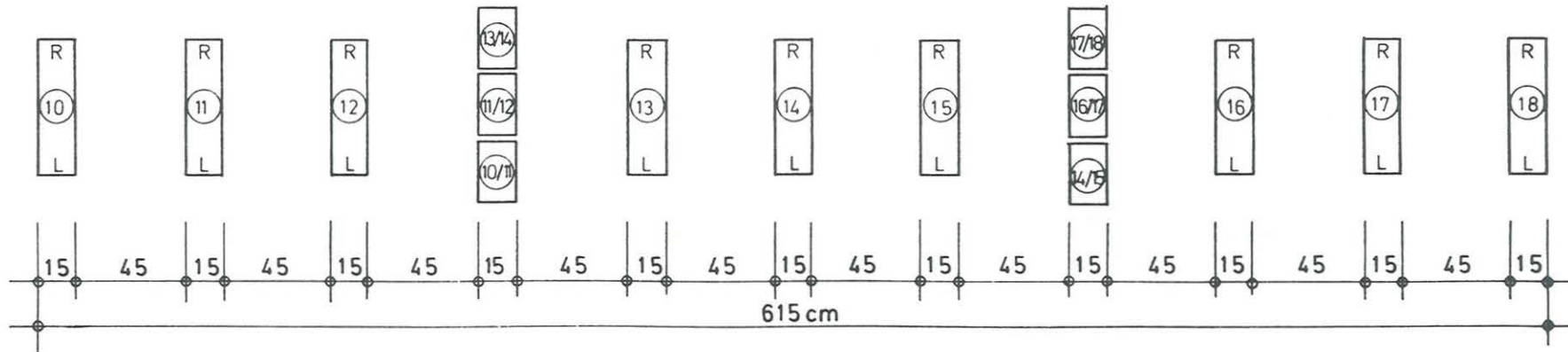
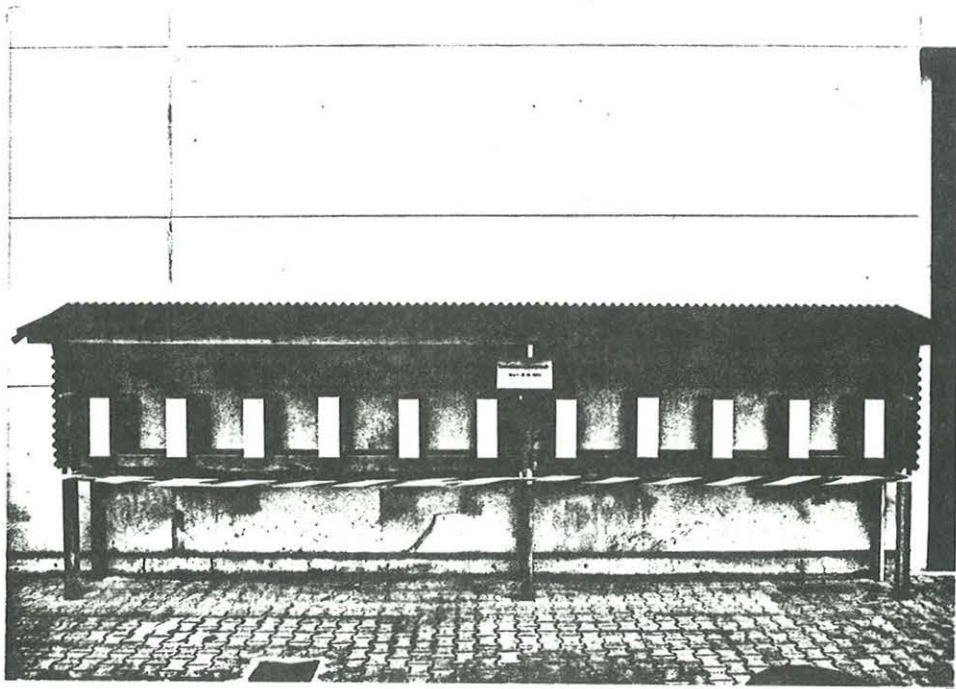
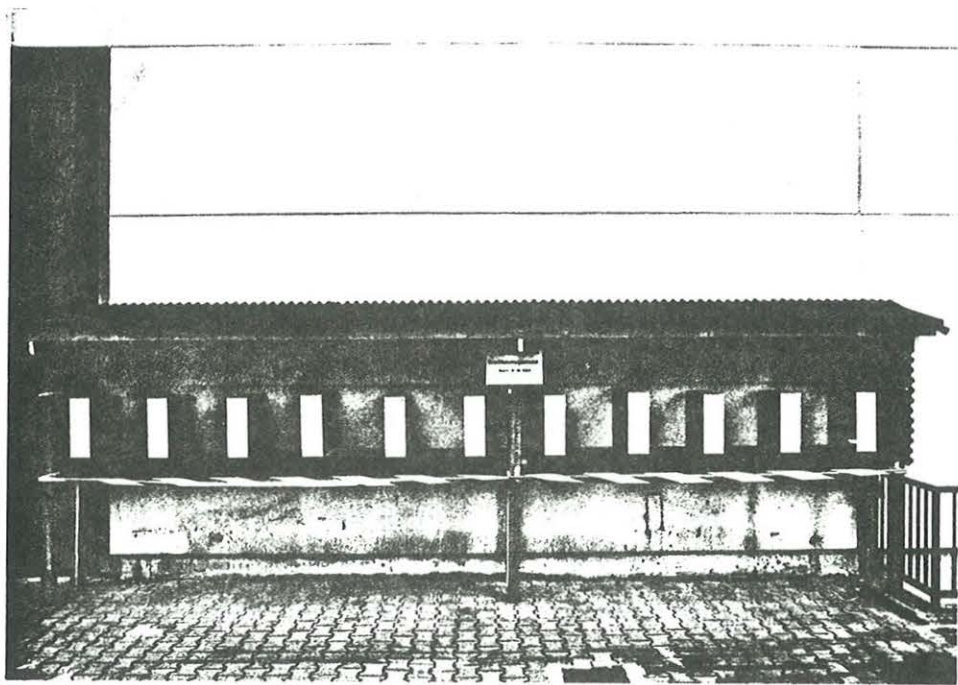


Bild 5/11: Draufsicht auf die Versuchskörperanordnung in den Versuchsständen



links vom Hallentor



rechts vom Hallentor

Bild 5/12: Ansichten der Versuchsstände

6 Zusammenfassung

Eine Dämpfung der Feuchteänderungen in Brettschichtholzbauteilen wird im Bedarfsfall seit einigen Jahren durch den Anstrich der Holzoberflächen mit Feuchteschutzmitteln erfolgreich praktiziert. Damit wird eine Verringerung der Rißgefahr erreicht, weil die risseverursachenden Eigenspannungen ebenfalls gedämpft werden. Im Anhang zu diesem Bericht wird über die Wirksamkeit solcher Feuchteschutzmittel berichtet, die in früheren Untersuchungen getestet worden sind. Neben diesem chemischen Feuchteschutz sollten als konstruktive Maßnahme zum Abbau von Eigenspannungen Sägeschnitte an den Längsseiten von Brettschichtholzbauteilen untersucht werden.

Die Durchsicht der Literatur ergab eine Reihe von Angaben über die Klimabeanspruchung von Brettschichtholz (BSH) und über Anstriche von BSH-Oberflächen jedoch nur wenige Untersuchungen der Eigenspannungen sowie der Relaxation in Vollholz bzw. BSH. Berichte über bereits durchgeführte Untersuchungen der Wirkung von Sägeschnitten in BSH-Bauteilen wurden nicht gefunden. Nutzt man die Analogie zwischen Temperaturlastfall und Lastfall "Feuchteänderung" für eine BSH-Scheibe aus, dann ermöglicht ein FE-Programm praktikable Näherungslösungen für die rechnerische Ermittlung der Eigenspannungen. Dabei ergab sich anstatt des erhofften Spannungsabbaues bei Querschnitten mit Sägeschnitten eine Erhöhung der Spannungsspitzen im Schlitzgrund gegenüber den Höchstwerten der ungeschlitzten BSH-Scheibe. Geht man von einem zusätzlichen Feuchtetransport über die Oberflächen der Sägeschnitte aus, so wachsen die Spannungsspitzen noch weiter an. Die Ergebnisse müssen jedoch durch zwei Einschränkungen relativiert werden: dem Rechenprogramm liegt ein linear-elastisches Stoffgesetz zugrunde und Relaxationsvorgänge sind nicht berücksichtigt. Im Rahmen des Ergänzungsberichtes nach Abschluß der noch laufenden Bewitterungsversuche sind Angaben über den Einfluß der Relaxation sowie den Einsatz eines leistungsfähigeren FE-Programmes vorgesehen.

Der Klimawechselversuch mit insgesamt zehn Versuchskörpern (fünf mit und fünf ohne Sägeschnitte) mit den Abmessungen b/h/l von 10/22/30 cm bis 10/90/30 cm wurde nach zwei Kriterien ausgewertet:

- Rißlängensumme bezogen auf die Versuchskörperhöhe.
Dabei ist die Rißlängensumme die Summe aller Rißlängen in den beiden Seitenflächen eines Versuchskörpers.
- Rißanzahl bezogen auf die Versuchskörperhöhe.
Die Rißanzahl ergibt sich aus der Summe aller Risse in den beiden Seitenflächen. Risse mit einer Länge unter 5 cm blieben unberücksichtigt.

Die 1,5 cm tiefen und ca. 4 mm breiten Sägeschnitte verliefen mittig und faserparallel in den Seitenflächen. Eine Ausnahme bildete ein 45 cm hoher Versuchskörper, bei dem statt eines mittigen Schlitzes zwei Sägeschnitte in den Drittelpunkten der Höhe angeordnet waren. Beide Kriterien ergaben für die Versuchskörper mit Sägeschnitten eine verminderte Rißbildung in der 14tägigen Trocknungsphase des Klimawechselversuches. Die auf die Versuchskörperhöhe bezogene Rißlängensumme bzw. Rißanzahl nach 14 Tagen Trocknung lag für die Versuchskörper mit Sägeschnitten um 16 % bis 71 % niedriger bezogen auf die Werte der ungeschlitzten Körper. Bei drei der fünf Versuchskörperpaare zeigte sich zudem in den ersten fünf Tagen eine verzögerte Rißbildung in den geschlitzten Körpern gegenüber den Körpern ohne Sägeschnitte. Bei allen Versuchskörpern mit Sägeschnitten konnte nur ein einziger Riß im Nutgrund festgestellt werden. Dies deutet darauf hin, daß die Spannungsspitzen im Nutgrund die mittels FE-Programm errechneten Werte nicht erreichen sondern infolge Relaxation kleiner sind.

Um im vorliegenden Lastfall "ungleichmäßige Feuchtigkeitsänderung über die Breite der BSH-Scheibe" einen ersten Anhaltspunkt über die Größe der Relaxation zu erhalten, wurde ein Versuchskörper entwickelt, bei dem eine BSH-Scheibe auf zwei Randstreifen aus BSH und einen dazwischen geklebten Mittelstreifen aus Aluminiumblech reduziert wurde. Über Dehnungsmeßstreifen wurden in einer 7tägigen Befeuchtungsphase die Blechdehnungen gemessen, die durch das Quellen der BSH-Randstreifen erzeugt wurden. Aus dem Unterschied zwischen der theoretisch möglichen Blechdehnung ohne Relaxation und der gemessenen Dehnung konnte auf den Abminderungsfaktor α_{ρ} geschlossen werden. Wird, wie üblicherweise verfahren, der Abminderungsfaktor bei Quellbehinderung zu 0,5 angenommen, so ergibt sich für ρ der Wert 0,5. Dieser Wert deckt sich genau mit dem von Möhler/Maier gefundenen Ergebnis für Fichtenvollholz. Eine Untermauerung des Ergebnisses durch weitere Versuche wäre empfehlenswert.

Seit Herbst 1984 stehen im Freien unter Dach 18 BSH-Versuchskörper b/h/l = 15/45/55 cm aus genau dokumentierter Produktion mit abgedichteten Stirnflächen, mit verschiedenen Anstrichen versehen sowie mit Sägeschnitten als auch mit unbehandelten Seitenflächen. Die Versuchskörper werden auf Ribbildung hin beobachtet, die Körperhöhe gemessen und in größeren Zeitabständen aus Vergleichskörpern Darrscheiben zur Bestimmung des Feuchteprofils entnommen. Die Auswertung der Versuchsdaten wird nach Abschluß des Bewitterungsversuches in einem Ergänzungsbericht zusammengefaßt werden.

7 Literatur

- | 1| Möhler, K. und G. Steck: Rißbildung in Brettschicht-trägern durch Trocknung oder durch Trocknung nach vorheriger Feuchtigkeitsaufnahme. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe 1977. (Bezug bei: IRB, Nobelstr. 12, Stuttgart. Best.-Nr. F 1423)

- | 2| Möhler, K. und G. Steck: Untersuchungen über die Rißbildung in Brettschichtholz infolge Klimabeanspruchung. Bauen mit Holz (1980), 4, 194/200.

- | 3| Sell, J.: Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbauteilen. 1. Mitteilung. Holz Roh Werkstoff 36 (1978) 461/466.

- | 4| Meierhofer, U. und J. Sell: Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbauteilen. 2. Mitteilung. Holz Roh Werkstoff 37 (1979) 227/234.

- | 5| Meierhofer, K. und J. Sell: Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbauteilen. 3. Mitteilung. Holz Roh Werkstoff 37 (1979) 447/454.

- | 6| Meierhofer, U.: Bewitterungsversuche an großformatigen Holzproben. EMPA-Bericht Nr. 115/1, November 1982.

- | 7| Meierhofer, U. Sell, J. und H. Strässler: Zur Wetterbeanspruchung tragender Holzbauteile. In: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis. Bruderverlag Karlsruhe 1982.

- | 8| Forschungsvorhaben "Einfluß des Umgebungsklimas auf die Rißbildung in Brettschichtträgern" an der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft.

- | 9| Sell, J.: Imprägnierende, dekorative Außenanstriche für Holz - Stand der Technik: Anforderungen der Praxis. Holzforschung und Holzverwertung 31 (1979) 2, 25/28.

- |10| Sell, J.: Schweizerische Erfahrungen mit oberflächengeschütztem und salzimprägniertem Brettschichtholz im Außenbau; Zukunftsaussichten. Holz Roh Werkstoff 39 (1981) 449/451.

- |11| Meierhofer, U.: Einfluß verschiedener Oberflächenbeschichtungen auf die physikalischen Vorgänge in wetterbeanspruchtem Brettschichtholz. EMPA- Bericht Nr. 115/6, September 1983.

- |12| Krabbe, E.: Über den Spannungszustand in Brettschichtträgern infolge Feuchtigkeitsänderung des Holzes. In: Konstruktiver Ingenieurbau in Forschung und Praxis. Werner-Verlag 1976.

- |13| Kurt, A.: Spannungsänderungen in großen Holzquerschnitten infolge von Feuchtigkeitsänderungen. Dissertation Universität für Bodenkultur, Wien 1977.

- |14| Möhler, K. und G. Maier: Kriech- und Relaxationsverhalten von lufttrockenem und nassem Fichtenholz bei Querdruckbeanspruchung. Holz Roh Werkstoff 28 (1970) 14/20.

- |15| Sell, J.: Ribbildung bei wetterbeanspruchten Brettschichtträgern. Holz-Zentralblatt 109. Jg., Nr. 47, April 1983.

- |16| Bathe, K.-J. u.a.: SAP IV-Beschreibung und Benutzerhandbuch. Institut für Konstruktiven Ingenieurbau Ruhr-Universität Bochum, Mitteilung Nr. 73-3, 1973.

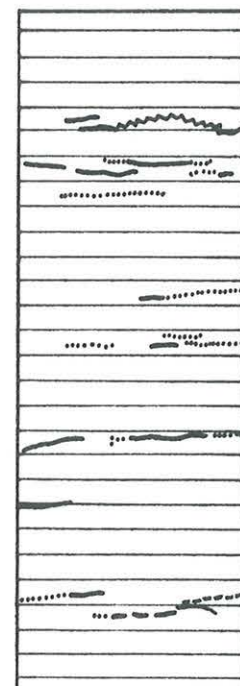
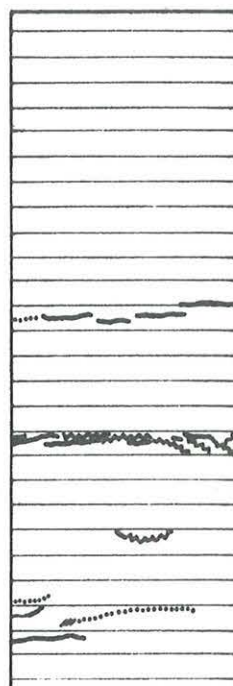
Versuchskörper-Nr.

Seitenfläche I

Querschnitt

Seitenfläche II

1

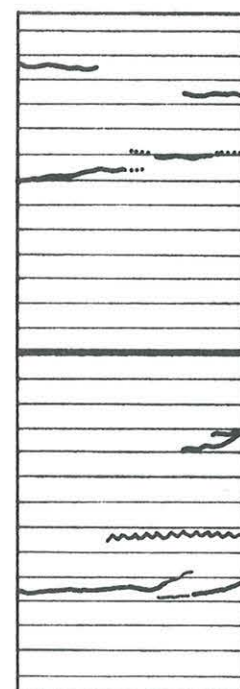
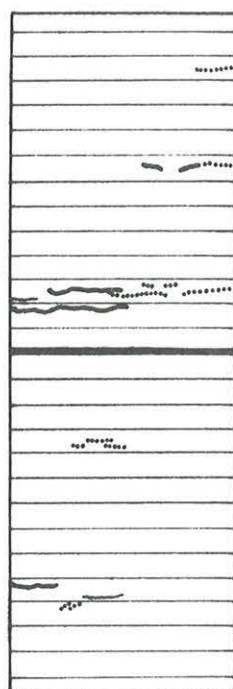


10

30

90

1s



10

30

45

45

Bild 3/3: Risse in den Seitenflächen der Versuchskörper 1 und 1s infolge Trocknung nach 3 Tagen (—), 5 Tagen (.....), 7 Tagen (//////), 10 Tagen (-----) und 14 Tagen (——) (//////): Risse vor Versuchsbeginn

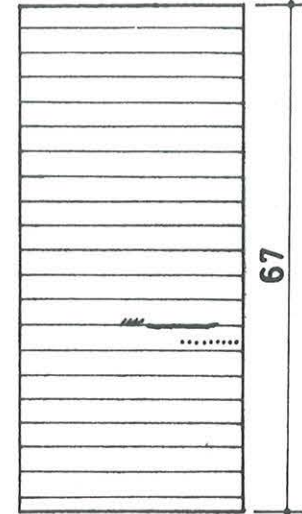
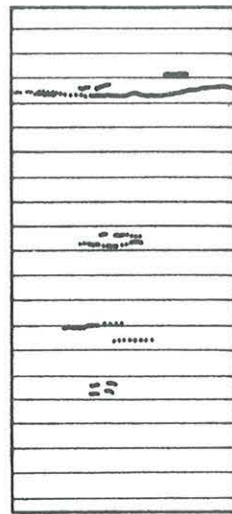
Versuchskörper-Nr.

Seitenfläche I

Querschnitt

Seitenfläche II

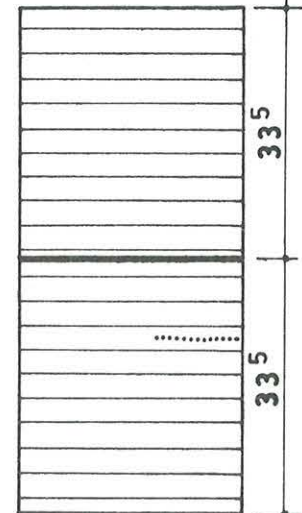
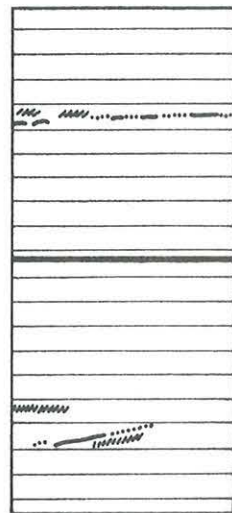
2



10

30

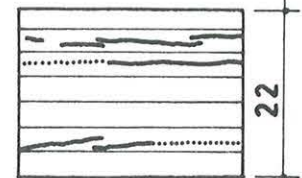
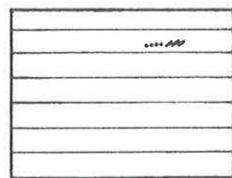
2s



10

30

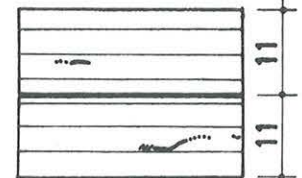
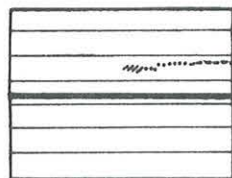
3



10

30

3s



10

30

Bild 3/4: Risse in den Seitenflächen der Versuchskörper 2, 2s, 3 und 3s infolge Trocknung nach 3 Tagen (—), 5 Tagen (.....), 7 Tagen (~~~~~), 10 Tagen (-----) und 14 Tagen (——)

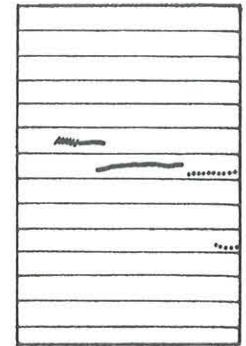
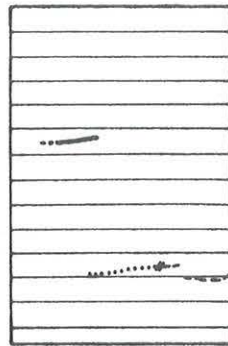
Versuchskörper-Nr.

Seitenfläche I

Querschnitt

Seitenfläche II

4



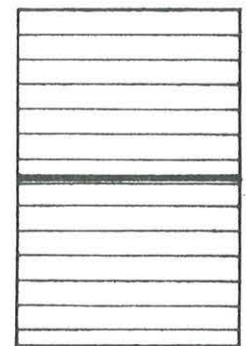
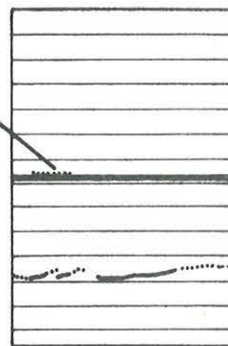
45

10

30

im Nutgrund

4s



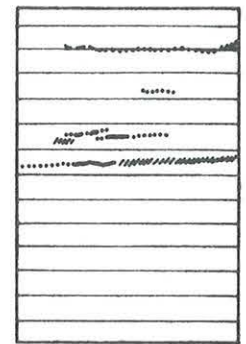
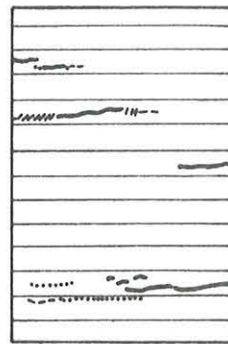
225

225

10

30

5

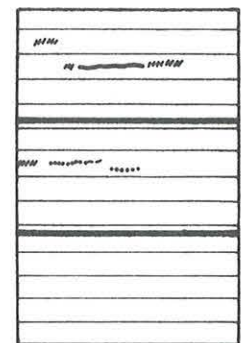
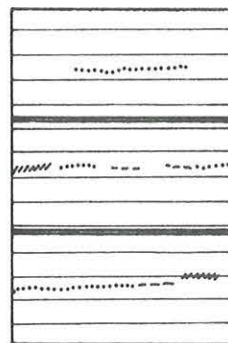


45

10

30

5s



15

15

15

10

30

Bild 3/5: Risse in den Seitenflächen der Versuchskörper 4, 4s, 5 und 5s infolge Trocknung nach 3 Tagen (—), 5 Tagen (.....), 7 Tagen (//////), 10 Tagen (-----) und 14 Tagen (——) (//////): Risse vor Versuchsbeginn

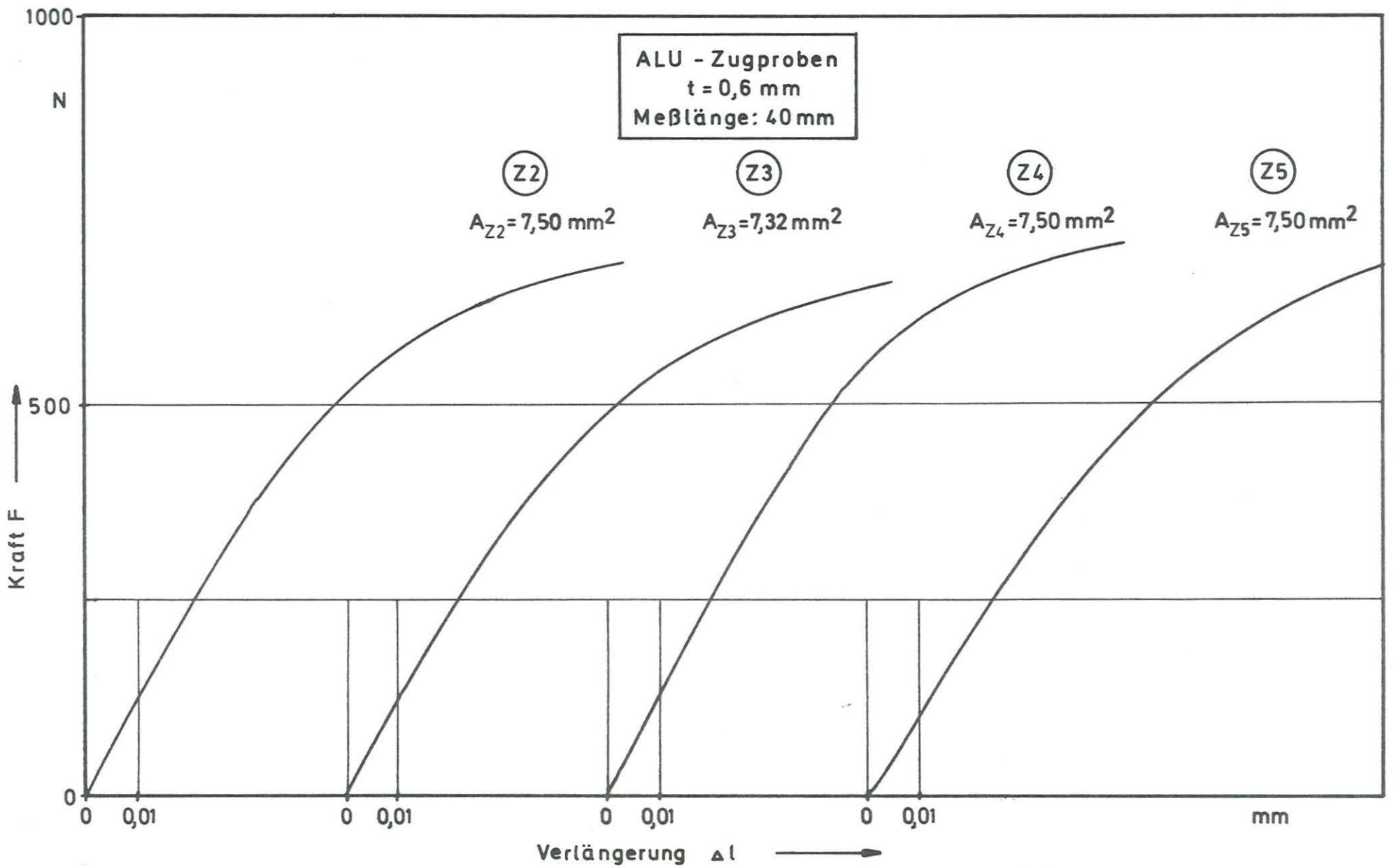


Bild 4/4: Kraft-Weg-Diagramme der Alu-Zugproben

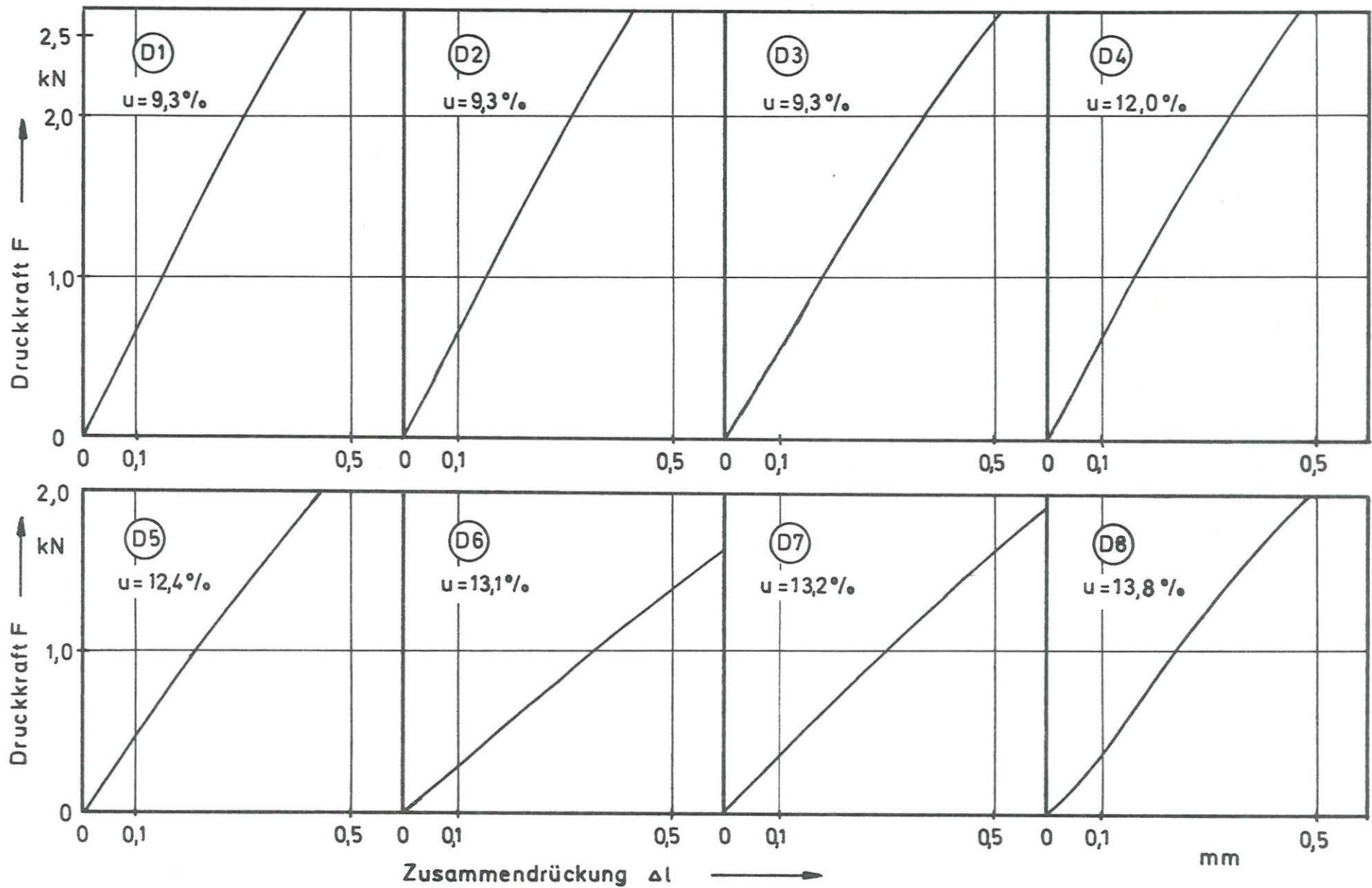


Bild 4/6: Kraft-Weg-Diagramme der BSH-Querdruckproben

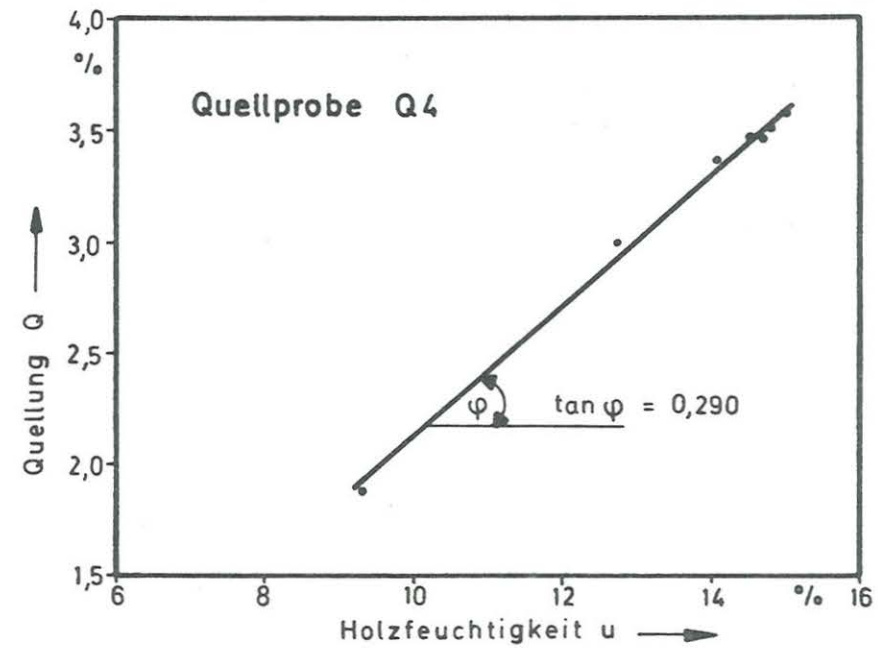
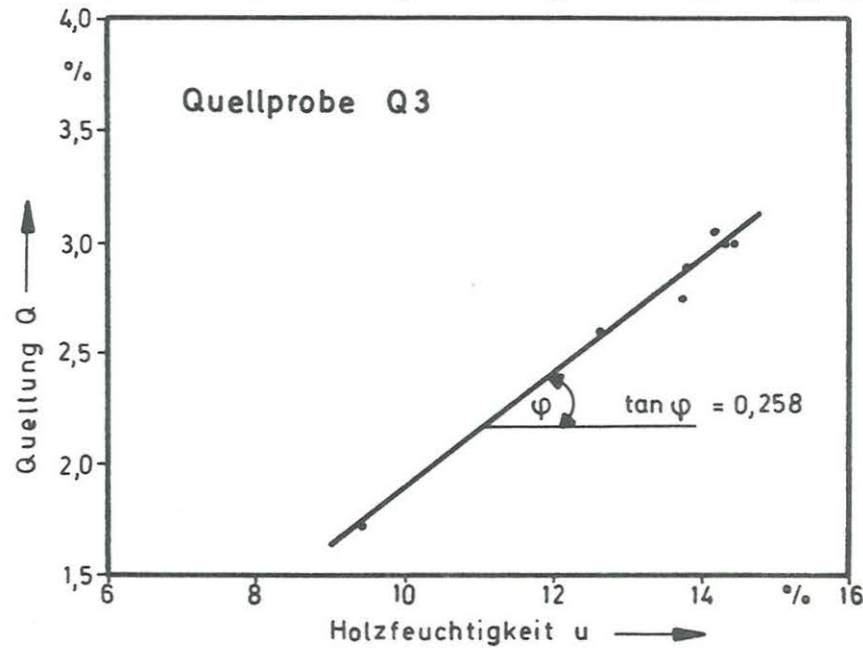
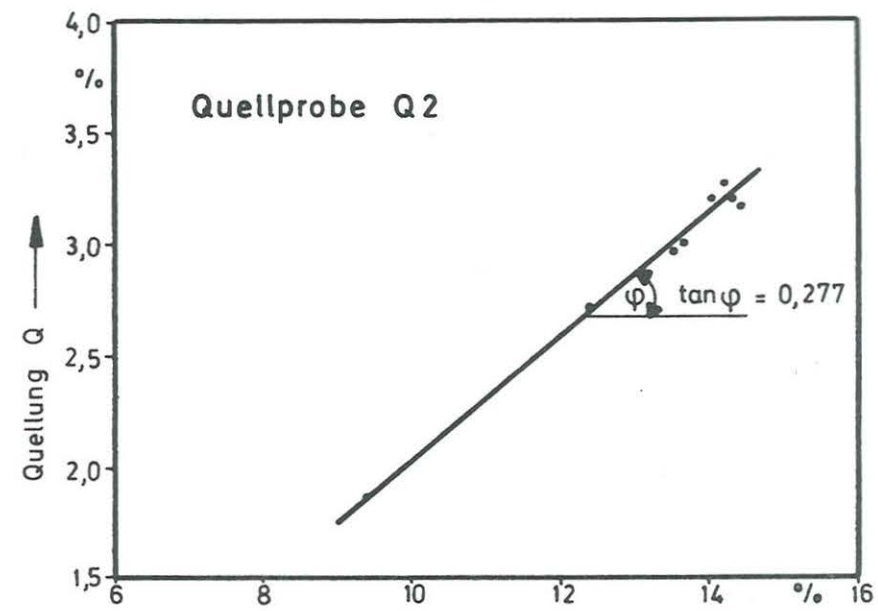
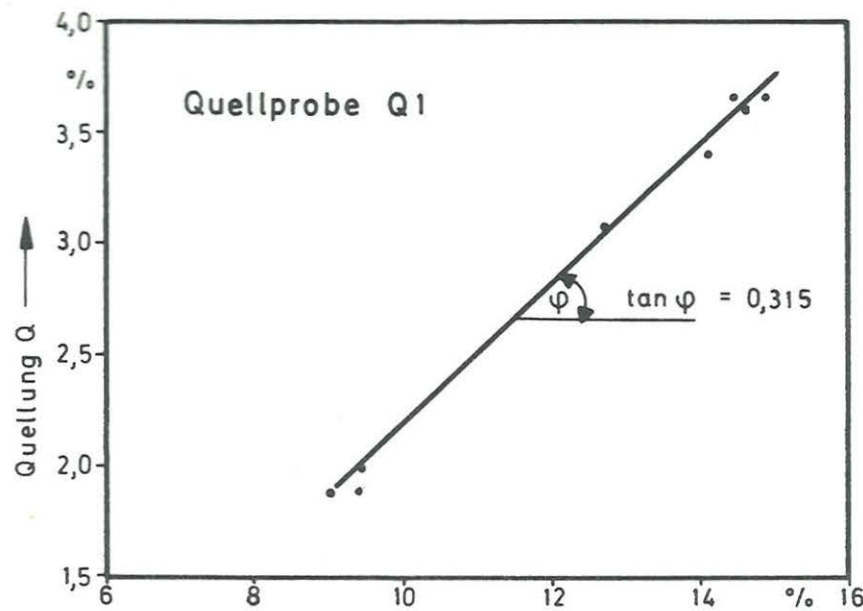


Bild 4/7: Quellung der Proben Q1 bis Q4 in Abhängigkeit von der Holzfeuchtigkeit

Tabelle 5/1: Holzfeuchtigkeit und Darrohdichte der Bretter für die Versuchsträger I, II, III und Daten zur Verleimung

Vor der Verleimung

Träger Nr.	Probenanzahl	mittl. Holzfeuchte \bar{u} [%]	Var. koeff. v	mittl. Darrohdichte $\bar{\rho}_0$ [g/cm ³]	Var. koeff. v
I	29	10,69	0,10	0.396	0,09
II	29	10,29	0,04	0,401	0,09
III	27	10,25	0,03	0,419	0,12
I,II,III	nach Leimbuch: $u = 8 - 12 \%$				

Daten zur Verleimung

(3 Träger b/h/l = 17/46/500 cm)

Beginn des Pressens: 6 Min. nach Beginn des Leimauftrages

Sitz der Pressen: 12 Min. nach Beginn des Leimauftrages

Preßdauer: 19,5 Stunden

Leimsorte: Kauresin K 460

Härtersorte: 468

Leimverbrauch: 420 g/m² Fugenfläche

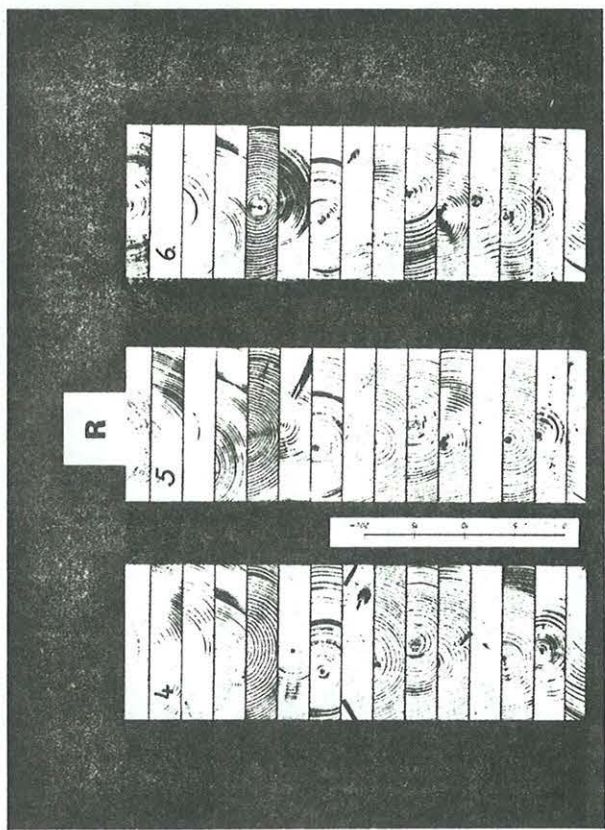
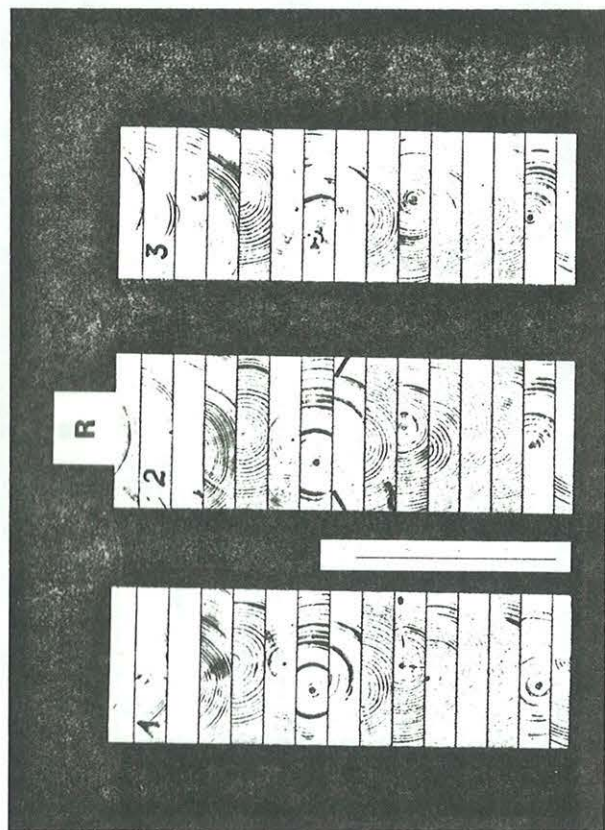
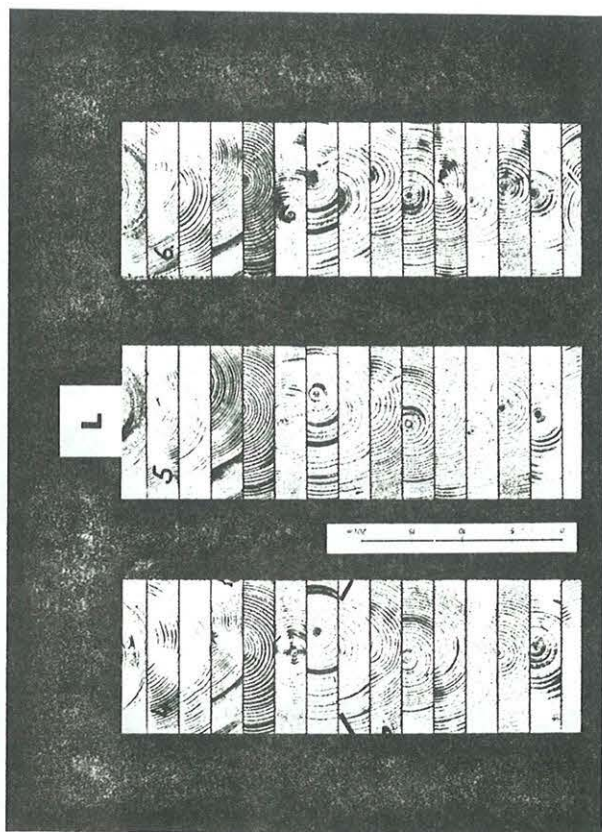
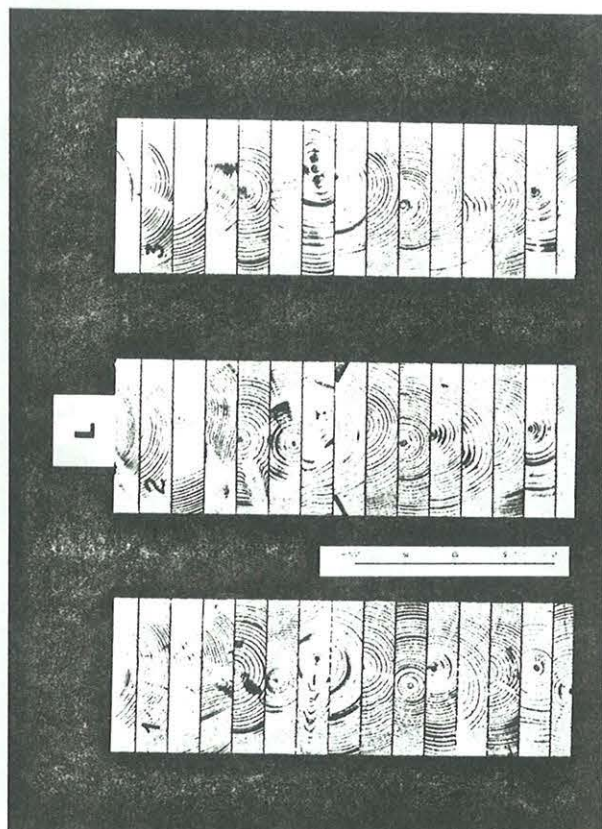


Bild 5/2: Stirnflächen der Versuchskörper 1 bis 6

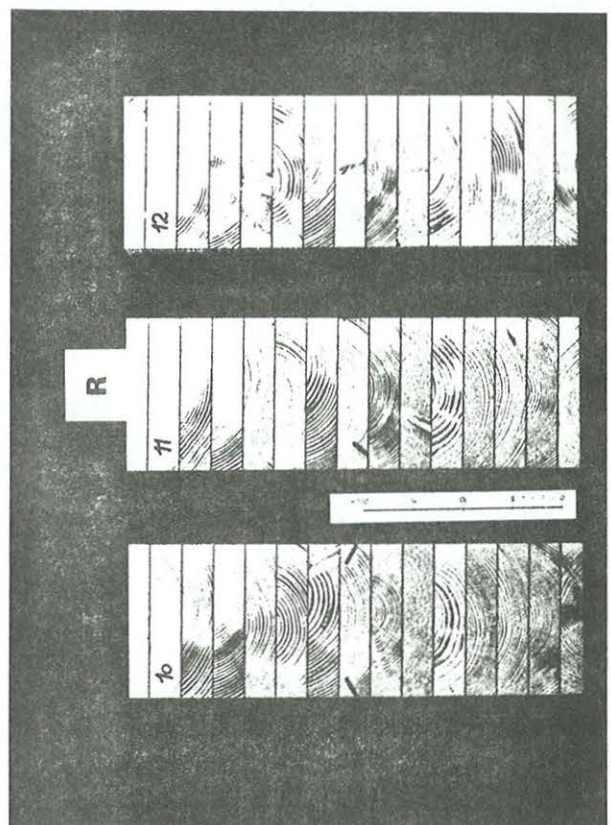
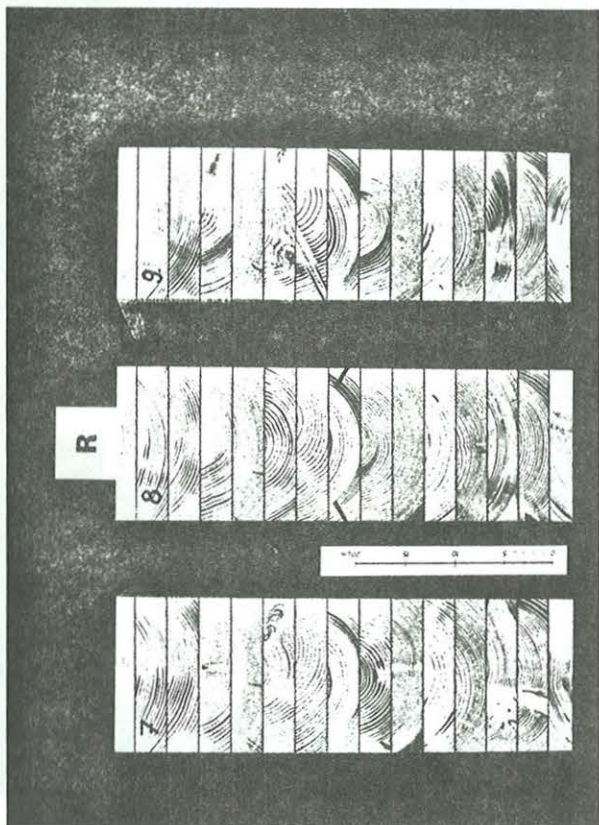
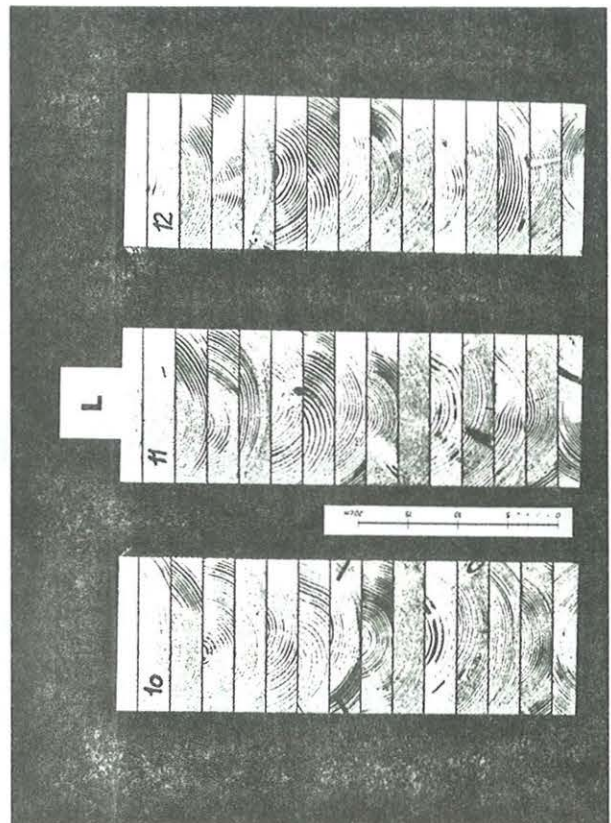
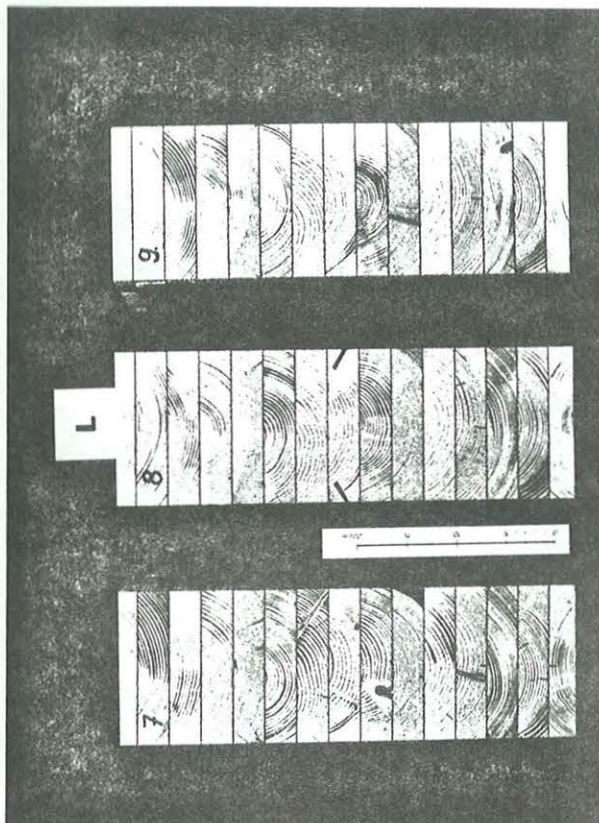


Bild 5/3: Stirnflächen der Versuchskörper 7 bis 12

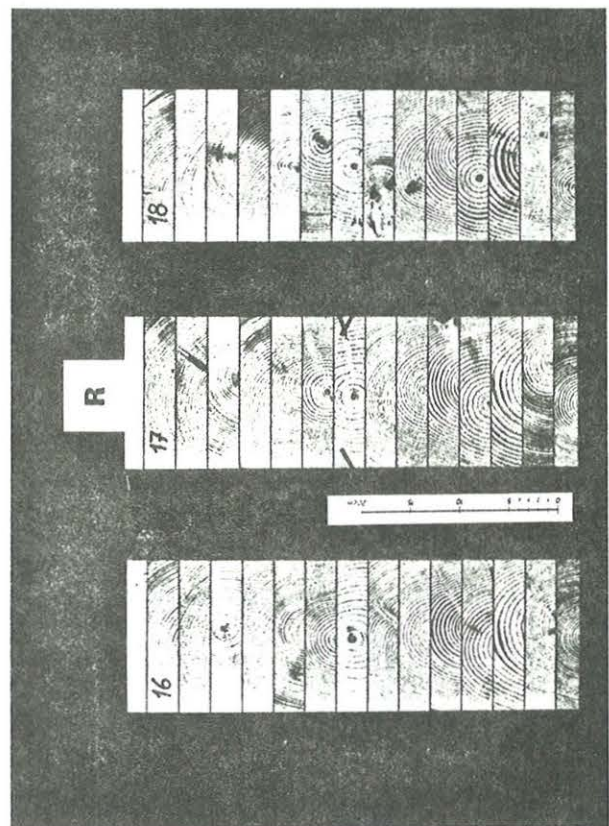
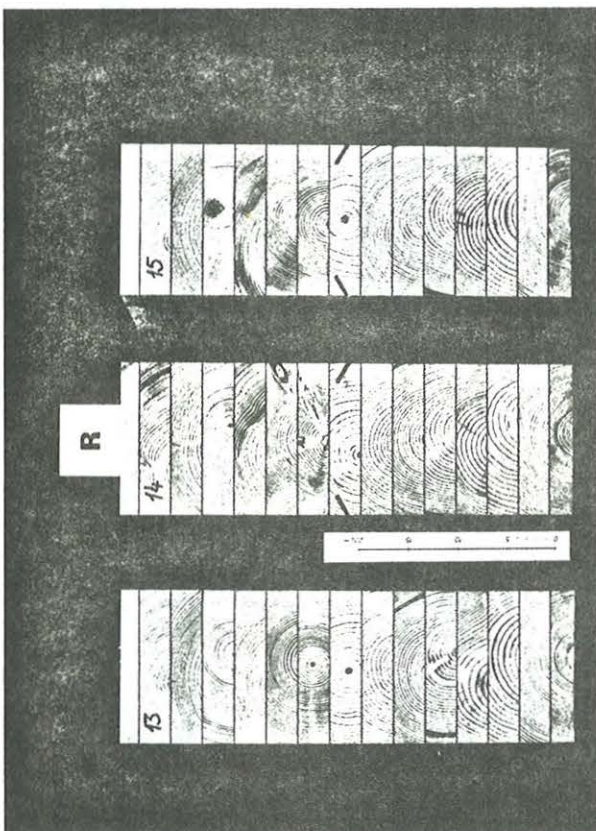
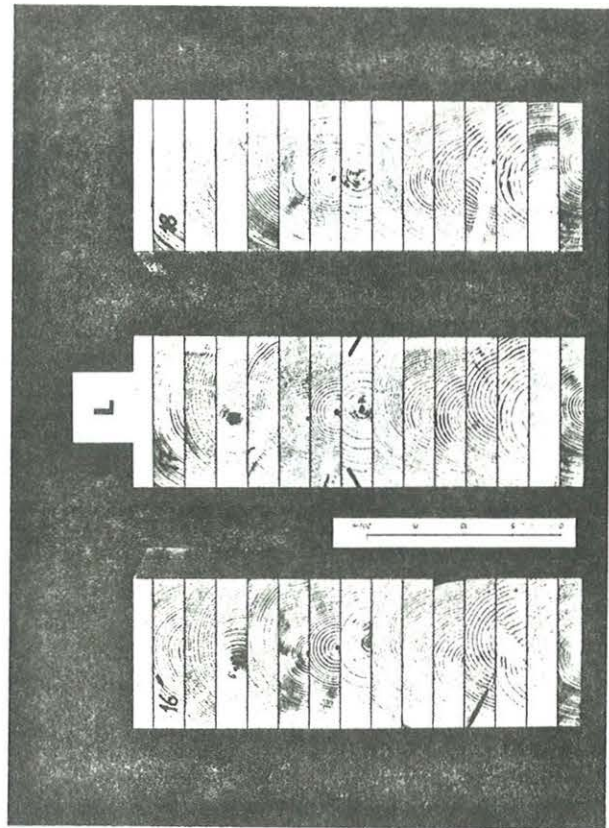
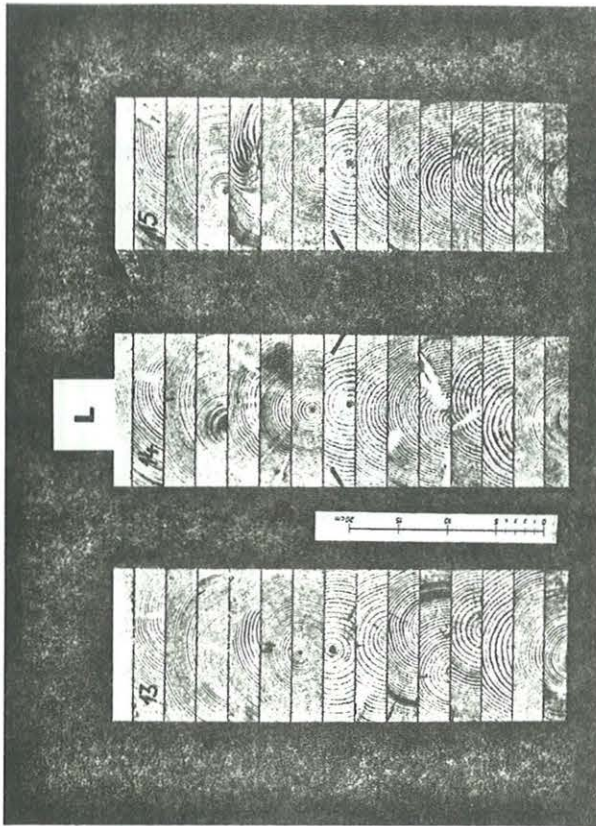
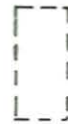
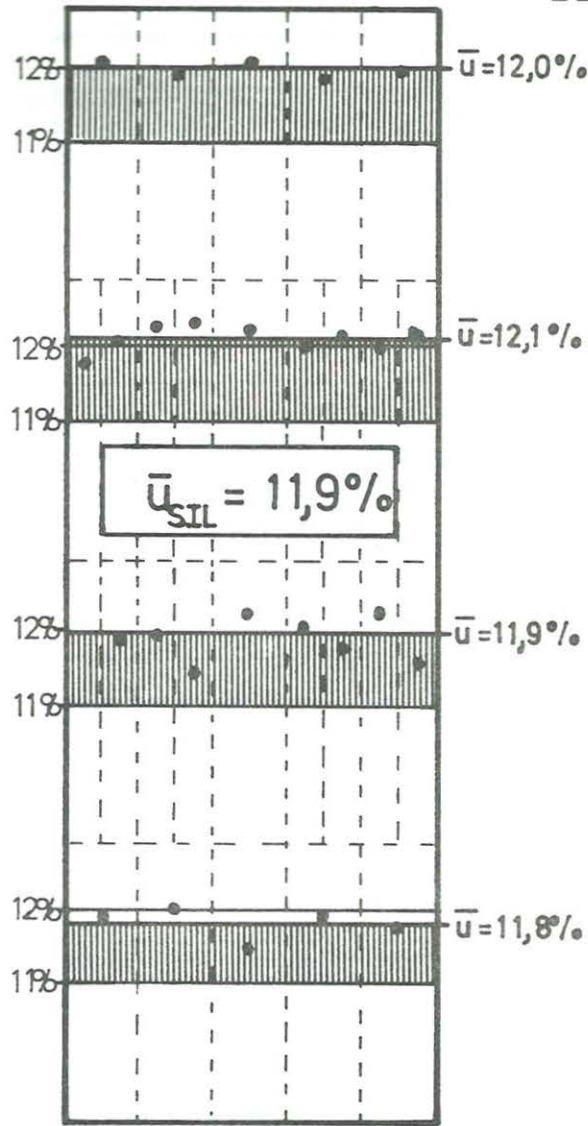


Bild 5/4: Stirnflächen der Versuchskörper 13 bis 18

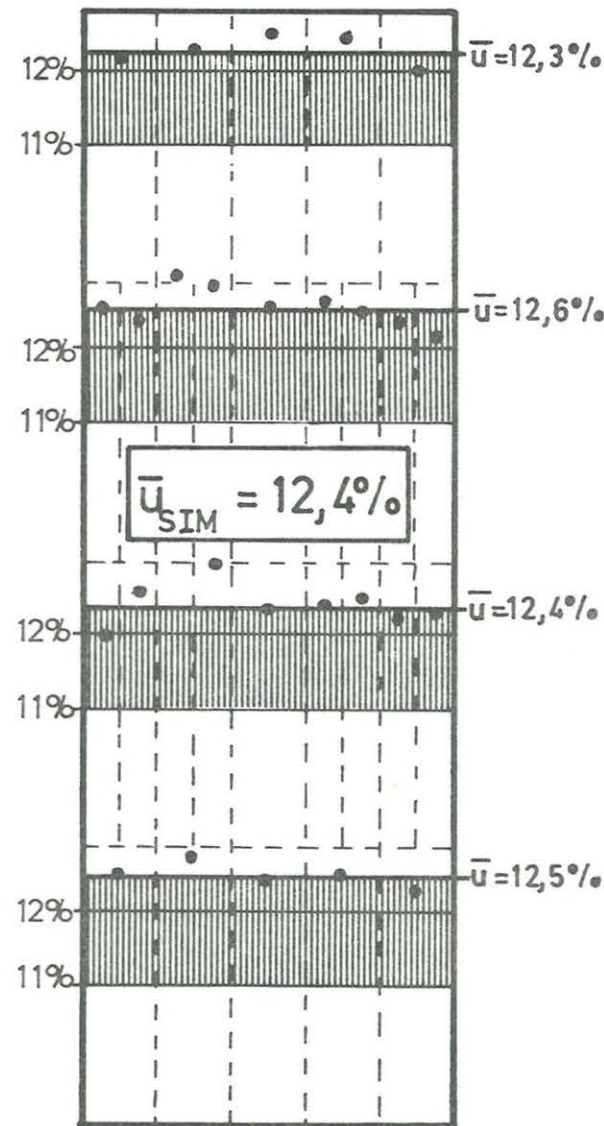


Darrprobenstück

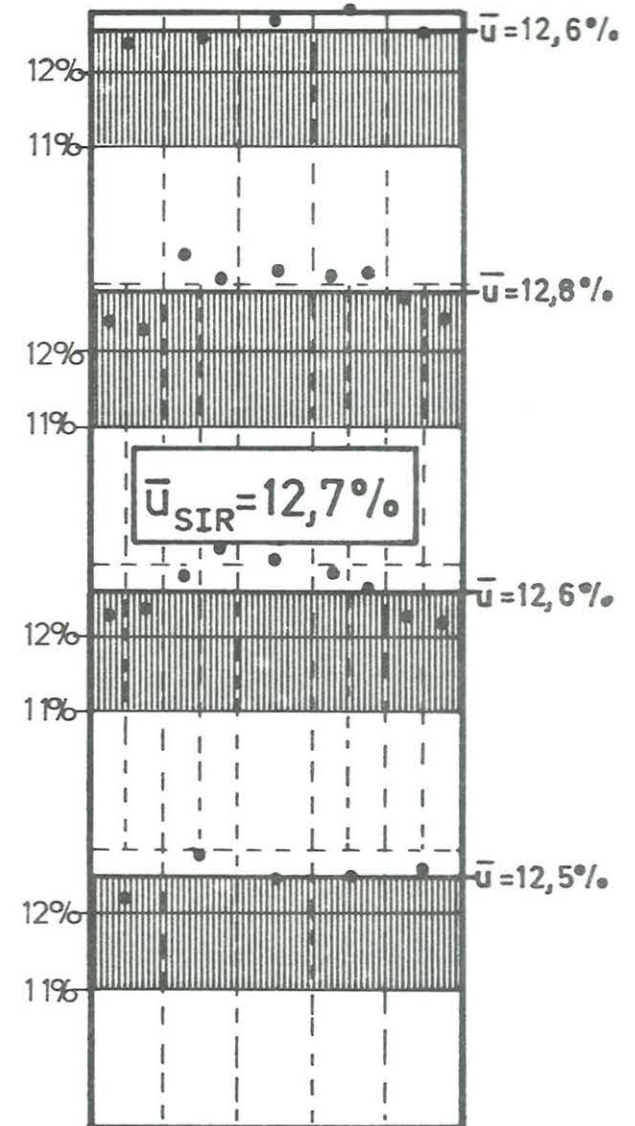
• Einzelmeßwert u [%]



Scheibe SIL



Scheibe SIM

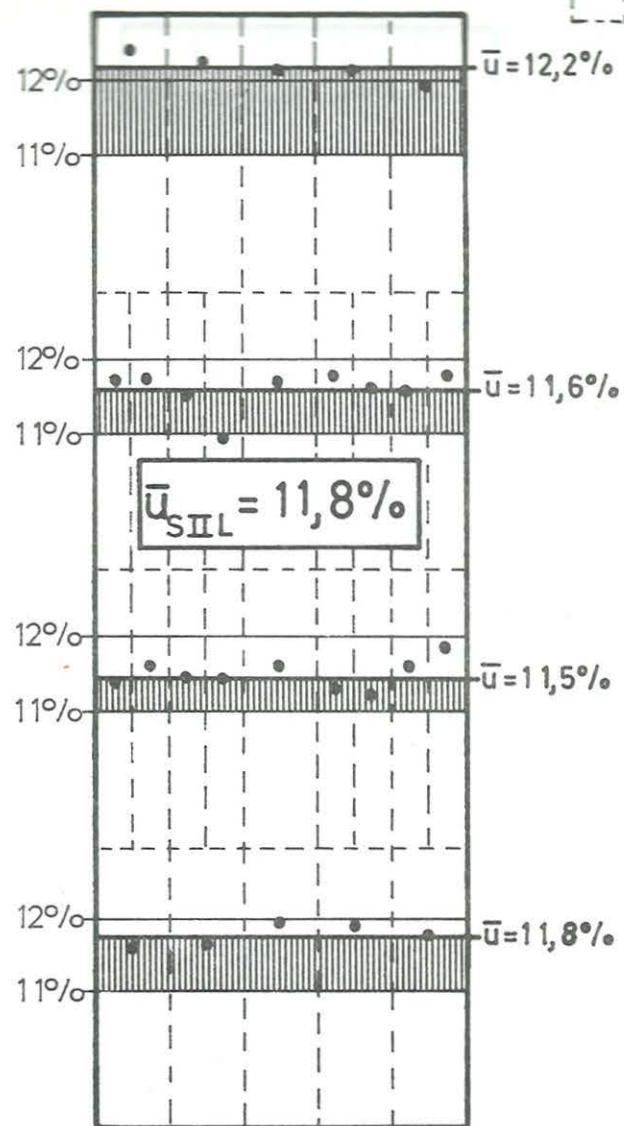


Scheibe SIR

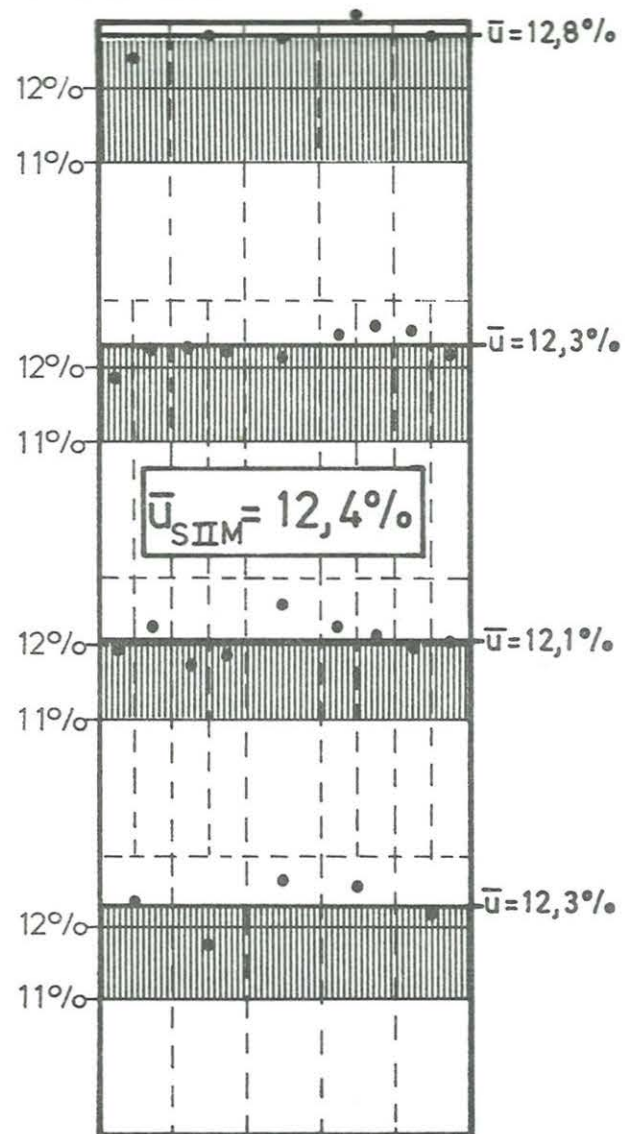
Bild 5/5: Feuchteprofile der Scheiben aus Träger I bei Versuchsbeginn

Darrprobenstück

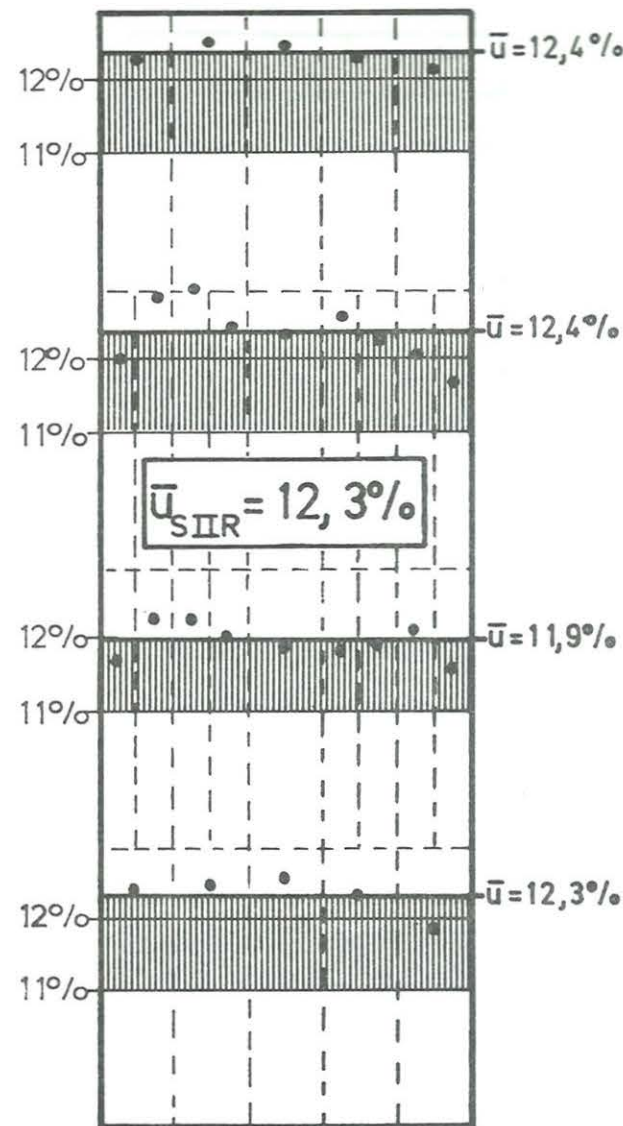
• Einzelmeßwert u [%]



Scheibe SII L



Scheibe SII M



Scheibe SII R

Bild 5/6: Feuchteprofile der Scheiben aus Träger II bei Versuchsbeginn

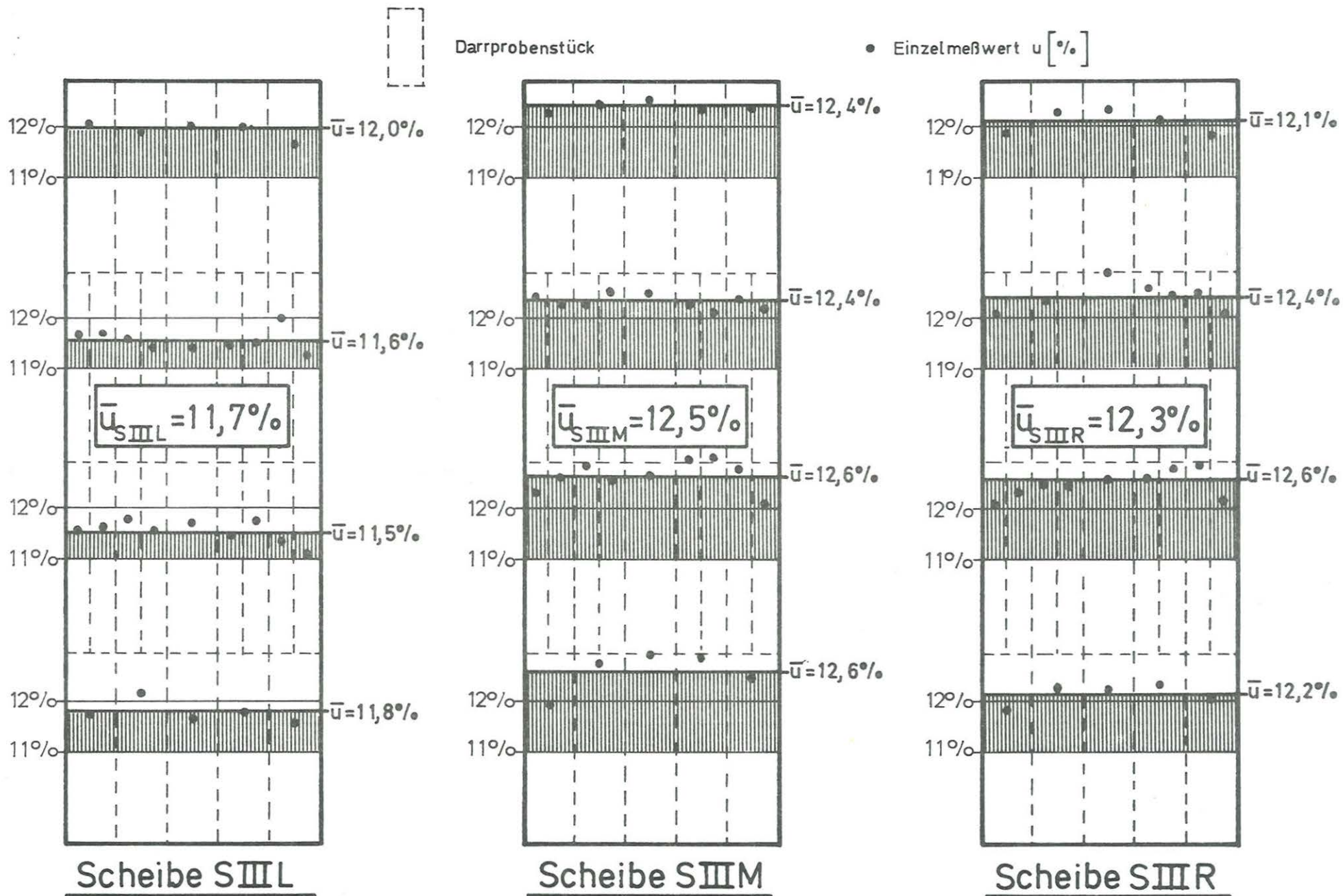



Bild 5/7: Feuchteprofile der Scheiben aus Träger III bei Versuchsbeginn

Tabelle 5/2: Zeitlicher Ablauf der Versuchskörperbehandlung						
Kalender- Woche	Datum		Lagerung	Klima		
38.	17.09.84	Herstellung der Träger I, II, III	in Leim- u. Abbundhalle			
	19.09.84	Transport der Träger I, II, III	im Freien unter Folie			
39.			 in der Versuchshalle	20°C 60% rel.Lf.		
40.	2.10.84	Auftrennen in Versuchs- körper Darrprobenscheiben Sägeschnitte				
41.		Stirnflächenversiegelung				
42.		Anstrich der übrigen Holzoberflächen				
43.						
44.	31.10.84	Start Bewitterungsversuch			im Freien unter Dach	Außen- klima

ANHANG

ZUR WIRKSAMKEIT VON FEUCHTESCHUTZMITTELN

von

Günter Steck

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Abt. Ingenieurholzbau

Universität Fridericiana Karlsruhe

o.Prof.Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck

1985

INHALT

- 1 Einleitung
- 2 Versuchskörper
- 3 Verwendete Feuchteschutzmittel (FSM)
- 4 Untersuchte Klimabeanspruchungen
- 5 Holzfeuchtigkeitsverteilungen und Feuchte-
durchlässigkeiten
- 6 Ribbildungen infolge von Eigenspannungen
- 7 Schlußfolgerungen
- 8 Literatur

1 Einleitung

Brettschichtträger für geschlossene Bauwerke mit Heizung werden in den meisten Fällen nach der Herstellung bei Zwischenlagerung, Transport zur Baustelle sowie während der Montage bis zur Inbetriebnahme der Heizung einer höheren Luftfeuchtigkeit ausgesetzt sein, als es dem Normalwert der Feuchtigkeit entspricht, bei der die Verleimung vorgenommen wurde. In manchen Fällen können ihre Oberflächen zeitweilig auch mit freiem Wasser in Berührung kommen. In diesen Fällen sind die Träger nach Heizbeginn einem wesentlich trockenerem Klima ausgesetzt, was oft zu einer starken Austrocknung der Trägeroberflächen führt. Die Untersuchung [1] ergab einen ersten Aufschluß darüber, welche Eigenspannungen in Brettschichtträgerquerschnitten infolge Feuchtigkeitsänderungen entstehen (siehe auch [6]) und welche Holzfeuchtigkeitsverteilungen über den Trägerquerschnitt zu Längsrissen im Holz oder in den Leimfugen führen. Die gewonnenen Erkenntnisse zwingen zur Anwendung wirksamer Feuchteschutzmittel (FSM), wenn Träger den geschilderten ungünstigen klimatischen Bedingungen ausgesetzt sind. Daher wurden in einer zusätzlichen Untersuchung [2] weitere FSM getestet. Teils vorab und teils parallel zu den angeführten Untersuchungen wurde am WKI in Braunschweig die Feuchtedurchlässigkeit zahlreicher FSM versuchsmäßig bestimmt [3, 4, 5]. Im folgenden sollen die Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammengefaßt werden mit dem Ziel sowohl dem Hersteller von Brettschichtholz als auch dem damit konstruierenden Ingenieur die Wirkung und Wirksamkeit von Feuchteschutzmitteln bei der Rißbildung in Brettschichtträgern darzulegen.

2 Versuchskörper

2.1 Versuchskörper nach |1| und |2|

Als Versuchskörper wurden 60 cm lange Brettschichtträgerabschnitte verwendet, die aus 3 cm dicken Fichtenholzlamellen - mit Harnstoff- bzw. Resorcinharzleim verleimt - hergestellt waren und einen Querschnitt von 15 x 45 cm hatten. Die Stirnflächen wurden vor Versuchsbeginn mit einem zweifachen Perfalon-Anstrich abgedichtet, so daß Wasserdampfdiffusion im wesentlichen nur über die vier Längsflächen möglich war.

2.2 Versuchskörper nach |3|

Fehlerfreie Fichtenholzproben 8 x 3 x 2 cm. Abdichtung der Hirnenden mit Paraffin.

3 Verwendete Feuchteschutzmittel (FSM)

FSM	Zahl der Anstriche	Aufgebrachte Schutzmittelmenge [g/m ²]	Versuchsbericht	Klimabeanpruchung ⁺)
X	3	~50	2	F ₂ → N F ₂ → T ₂
Y	1	~100	2	F ₂ → N F ₂ → T ₂
Z	1	~100	2	F ₂ → N F ₂ → T ₂
W	1	~130	1	F ₁ → T ₁ F ₀ → N N → T

+) siehe Tabelle 1

FSM X :

- Angaben des Herstellers:
- 1) Wasserabweisendes Holzschutzmittel
 - 2) Bläuehemmend
 - 3) Schützt Holzleimbaukonstruktionen gegen Wittereinflüsse
 - 4) Große Eindringfähigkeit
 - 5) Geringe Giftigkeit
 - 6) Verarbeitung S (Streichen, Spritzen, Tauchen)
 - 7) Verbrauch 1000 cm³ für 8 bis 14 m²
 - 8) Farblos oder mit Farbe

- Feststellungen in |2|:
- 1) 50 g/m² erforderten einen 3fachen Anstrich
 - 2) Farblose Version verwendet

FSM Y, Z:

Angaben des Herstellers: 1) Versuchsprodukte auf Kunststoff-
dispersionsbasis
2) Pigmentierte Lasurfarbe
3) Verbrauch 100 g/m²

FSM W:

Angaben des Herstellers: keine vorhanden

Feststellungen in |1|: Pigmentierte Lasurfarbe (Übergang zu
deckendem Anstrich)

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und damit Konkurrenzfähigkeit des Holzleimbaues ist nur ein einmaliges Aufbringen des FSM durch Streichen oder Spritzen vorzusehen. Damit könnte aufgrund der Erfahrungen, die bei den in |2| dargestellten Versuchen gemacht wurden, das FSM X bereits ausgeklammert werden.

Bei einem Vergleich der Ergebnisse in |1| und |2| mit denen in |3| ist zu beachten, daß die Holzproben bei den Versuchen im WKI grundsätzlich einen zweifachen Anstrich erhielten. Die dabei aufgebrauchte Schutzmittelmenge entsprach nach |3| den Angaben der Hersteller.

4 Untersuchte Klimbeanspruchungen

4.1 Versuche nach |1| und |2|

Ausgangszustand ist in jedem Falle die Holzfeuchtigkeit der Probekörper, die sich nach Verleimung der Lamellen mit i.M. 11,3 % Holzfeuchtigkeit und einer daran anschließenden mindestens 20 tägigen Lagerung im Normalklima 20/65 einstellte. Die Probekörper wurden anschließend den in Tabelle 1 zusammengestellten Klimbeanspruchungen unterworfen..

4.2 Versuche nach |3|

Feuchtigkeit der Holzproben bei Versuchsbeginn ca. 8 % und bei späteren Serien ca. 12 %.

- Prüfung gegen tropfbares Wasser
10 Tage Unterwasserlagerung bei 20°C Wassertemperatur und anschließende Rücktrocknung im Normalklima.

- Prüfung gegen hohe Luftfeuchtigkeit
ca. 30 Tage Lagerung über einer Wasseroberfläche in einem geschlossenen Glasbehälter bei ca. 98 % rel. Luftfeuchtigkeit und anschließende Rücktrocknung im Normalklima.

5 Holzfeuchtigkeitsverteilungen und Feuchtedurchlässigkeiten

5.1 Holzfeuchtigkeitsverteilungen nach |1| und |2|

Von den Versuchskörpern wurden in gewissen Zeitabständen Scheiben abgeschnitten und diese in Darrprobenstücke aufgespalten. Auf diese Weise wurden die in Bild 1 bis 5 dargestellten Holzfeuchtigkeitsverteilungen über den Querschnitt ermittelt. Wertet man diese Feuchtekurven für den 1 cm breiten Randstreifen und die Probenmitte aus, so ergeben sich die in Tabelle 2 und 3 aufgeführten Feuchtedifferenzen Δu . Diese absoluten Zahlenwerte und auch die auf die Werte eines ungeschützten Probekörpers bezogenen Feuchtedifferenzen (s. Tabelle 4) dürfen nicht als tatsächliches Maß für die Schutzwirkung des FSM benutzt werden, sondern sollen nur die Tendenz aufzeigen und den Vergleich der FSM untereinander ermöglichen. Eine "Maßzahl" für die Schutzwirkung kann aus den in |3| beschriebenen Untersuchungen des WKI abgeleitet werden.

5.2 Feuchtedurchlässigkeiten nach |3|

Versuchsdurchführung und Art der Auswertung sind |3| zu entnehmen. Die Ergebnisse für die vier Mittel X bis W sind in Tabelle 4 zusammengestellt, wobei in erster Linie die Wasserdampfaufnahme bzw. -abgabe interessiert.

5.3 Gegenüberstellung der Ergebnisse

Die bezogenen Holzfeuchtigkeitsdifferenzen im Randstreifen der Brettschichtträgerabschnitte führen bis auf eine Abweichung zur gleichen Einstufung der Schutzwirkung der getesteten FSM wie die am WKI in Braunschweig ermittelten Maßzahlen für die Schutzwirkung (siehe Tabelle 4).

6 Rißbildungen infolge von Eigenspannungen

Ein wirksamer Schutz vor Rißbildungen wurde durch die Mittel Y, Z und W erreicht, wobei natürlich bei einer Einstufung der FSM nach dem Kriterium "Rißbildung" die starke Streuung der Querkzugfestigkeit des Holzes als maßgebender Unsicherheitsfaktor mit eingeht. In ähnlicher Weise sind bei der Berechnung der Eigenspannungen infolge Feuchtigkeitsänderungen der Elastizitätsmodul $E_{D,Z \perp}$, der Schubmodul G_{xy} und das Quell- bzw. Schwindmaß α nicht nur bei verschiedenen Trägern sondern auch schon über Breite und Höhe des Querschnitts eines einzigen Trägers stark streuende Größen. Damit lassen sich nur bei eingehend untersuchten Versuchskörpern einigermaßen zuverlässige Aussagen über die vorhandene Querkzugfestigkeit einerseits und die bei Klimabeanspruchung auftretenden Eigenspannungen andererseits machen.

7 Schlußfolgerungen

Aufgrund der erläuterten Schwierigkeiten, die Kriterien wie Ribbildung oder Eigenspannung mit sich bringen und aufgrund der festgestellten Übereinstimmung zwischen Feuchtedurchlässigkeiten nach |3| und den bezogenen Feuchtigkeitsdifferenzen im Randstreifen der Versuchskörper werden diese Feuchtigkeitsdifferenzen zur Einstufung der FSM benutzt.

Danach sind die Mittel Y und W in ihrer Wirkung nahezu gleich und zeigen gegenüber den FSM X und Z bessere Verzögerungseigenschaften sowohl bei Feuchtigkeitsaufnahme als auch -abgabe. Die Absolutbeiträge der Feuchtedifferenzen nach 20 Tagen Rücktrocknung liegen mit 8,1 % (FSM Y) und 7,1 % (FSM W) ebenfalls deutlich unter dem nach |1| kritischen Wert von 10 %. Somit können alle FSM als geeignet angesehen werden, die in einem Versuch nach |3| die folgenden Maßzahlen unterschreiten:

Feuchtedurchlässigkeit der geschützten Probe gegenüber einer Kontrollprobe [%] bei:

Wasserdampf-Aufnahme \leq 70 %

Wasserdampf-Abgabe \leq 50 %

Nach architektonisch-gestalterischen Gesichtspunkten scheiden weiße FSM und wegen der schwierigen Verarbeitbarkeit Zweikomponentenlacke für die Anwendung bei Brettsichtträgern aus, so daß nur noch lösungsmittelhaltige Dickschichtlasuren und Dispersionslasuren infrage kommen, wenn ihre Feuchtedurchlässigkeit die 70 % bei Aufnahme und 50 % bei Abgabe nicht überschreitet. Dies trifft zu bei den Mitteln

6,9 und 10 der Tabelle 1⁺) in [3] und bei den FSM Y und W (beides Dispersionslasuren), die auch in Versuchen getestet wurden, in denen mögliche Klimabeanspruchungen von Brettschichtträgern simuliert wurden.

+) die Überschrift der beiden letzten Spalten muß heißen:
"geschützte Probe" statt "Rohrprobe" und
"Wasserdampf" statt "Wasser".

8 Literatur

- |1| Möhler, K. und G. Steck: Rißbildung in Brettschichtträgern durch Trocknung oder durch Trocknung nach vorheriger Feuchtigkeitszunahme. Untersuchungen, durchgeführt im Auftrage der EGH in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. 1977.
- |2| Möhler, K. und G. Steck: Untersuchungen über die Wirkung von 3 Feuchteschutzmitteln auf die Rißbildung in Brettschichtträgern durch Trocknung nach vorheriger Feuchtigkeitszunahme. Durchgeführt im Auftrage der EGH in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. 1978.
- |3| Böttcher, P.: Schutz von Holzleimbindern gegen Feuchtigkeitsaufnahme während der Bauzeit. Bauen mit Holz 79 (1977), Heft 6, S. 283/285.
- |4| Untersuchungsbericht des WKI für Holzforschung an der TU Braunschweig: Untersuchung von Anstrichstoffen zum Feuchteschutz von Holzleimbindern, II. Untersuchungsabschnitt. Durchgeführt im Auftrage der EGH in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. 1975.
- |5| Böttcher, P.: Mitteilung der Feuchtedurchlässigkeit der Feuchteschutzmittel X, Y Z. 1978.
- |6| Budianto, T. u.a.: Karlsruher Forschungsarbeiten und Versuche im Ingenieurholzbau von 1972 bis 1977. Bauen mit Holz 79 (1977), Heft 5, S. 205/220.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Klimabeanspruchungen

Klimabeanspruchung	Anfangszustand	Lagerung im Feuchtklima			Lagerung im Trockenlima bzw. Normalklima		
		Zeitdauer [Tage]	mittlere Temperatur \bar{t} [°C]	mittlere rel. Luftfeuchtigkeit $\bar{\varphi}$ [%]	Zeitdauer [Tage]	mittlere Temperatur \bar{t} [°C]	mittlere rel. Luftfeuchtigkeit $\bar{\varphi}$ [%]
N → T	Normal klima 20°C	-	-	-	68	32	19
F ₀ → N		42	22	95	-	20	65
F ₁ → T ₁		56	~23	~96	15 + 32	22 32	44 27
F ₂ → N	65 % rel.	47	19,2	97,1	45	20	65
F ₂ → T ₂	Lf.	47	19,2	97,1	15 + 30	19,3 32,8	40,9 15,3

Tabelle 2: Holzfeuchtigkeitsänderungen bei Lagerung der Versuchskörper im Feuchtklima

FSM	Klima	Holzfeuchtigkeit bei Versuchsbeginn		Holzfeuchtigkeit nach t Tagen Lagerung im Feuchtklima			Δu		$u(t)_{\text{Randstr.}} - u(t)_{\text{Mitte}}$ [%]
		im Randstreifen (b = 1 cm) [%]	in der Mitte	t [Tage]	im Randstreifen [%]	in der Mitte	im Randstreifen [%]	in der Mitte	
X	F ₂	11,4	11,4	47	22,1	13,9	10,7	2,5	8,2
Y	F ₂	12,4	12,4	47	19,1	13,3	6,7	0,9	5,8
Z	F ₂	11,3	11,3	47	20,4	13,2	9,1	1,9	7,2
W	F ₀	11,7	13,2	42	19,6	14,4	7,9	1,2	5,2
W	F ₀	12,0	13,4	42	19,9	14,7	7,9	1,3	5,2
W	F ₀	12,0	12,8	42	17,1	13,2	5,1	0,4	3,9
	(F ₁)			(56)	(17,8)	(13,8)	(5,8)	(1,0)	(4,0)
-	F ₀	11,5	13,3	42	23,9	15,4	12,4	2,1	8,5
-	F ₀	12,1	13,4	42	23,9	15,6	11,8	2,2	8,3
-	F ₀	12,1	12,9	42	21,1	14,9	9,0	2,0	6,2
	(F ₁)			(56)	(22,5)	(16,5)	(10,4)	(3,6)	(6,0)
-	F ₂	12,4	12,4	47	22,7	13,8	10,3	1,4	8,9

Tabelle 3: Holzfeuchtigkeitsänderungen bei Lagerung der Versuchskörper im Trockenklima

FSM	Klima	Holzfeuchtigkeit bei Trocknungsbeginn [%]		Holzfeuchtigkeit nach t Tagen Lagerung im Trockenklima [%]		Δu [%]		$u(t)_{\text{Rand}} - u(t)_{\text{Mitte}}$ [%]	Holzfeuchtigkeit nach t Tagen Lagerung im Trockenklima [%]		Δu [%]		$u(t)_{\text{Rand}} - u(t)_{\text{Mitte}}$ [%]		
		im Randstreifen (b = 1 cm)	in der Mitte	t [Tage]	im Randstreifen	in der Mitte	im Randstreifen		in der Mitte	t [Tage]	im Randstreifen	in der Mitte			
X	$F_2 \rightarrow T_2$	22,1	13,9	20	10,5	13,5	11,6	0,4	- 3,0	45	8,1	12,6	14,0	1,3	- 4,5
Y	$F_2 \rightarrow T_2$	19,1	13,3	20	11,0	13,2	8,1	0,1	- 2,2	45	8,4	12,5	10,7	0,8	- 4,1
Z	$F_2 \rightarrow T_2$	20,4	13,2	20	10,4	12,7	10,0	0,5	- 2,3	45	7,9	12,3	12,5	0,9	- 4,4
W	$F_1 \rightarrow T_1$	17,8	13,8	21	10,7	13,5	7,1	0,3	- 2,8	47	9,1	12,6	8,7	1,2	- 3,5
-	$F_2 \rightarrow T_2$	22,7	13,8	20	9,8	13,3	12,9	0,5	- 3,5	45	7,8	12,9	14,9	0,9	- 5,1
-	$F_1 \rightarrow T_1$	22,5	16,5	21	12,0	16,1	10,5	0,4	- 4,1	47	11,0	14,1	11,5	2,4	- 3,1

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Feuchtedurchlässigkeit und der Holzfeuchtigkeitsdifferenz im Randstreifen

WKI-Ergebnisse						VA-Ergebnisse				
Feuchtedurchlässigkeit der geschützten Probe gegenüber einer Rohprobe [%]						Holzfeuchtigkeitsdifferenz im Randstreifen eines geschützten Versuchskörpers gegenüber eines ungeschützten Versuchskörpers [%]				
FSM	Quelle	Wasser		Wasserdampf		FSM	Quelle	nach 42 bzw. 47 Tagen Lagerung im Feuchtklima	nach 20 Tagen Lagerung im Trockenklima	nach 45 bzw. 47 Tagen Lagerung im Trockenklima
		Aufnahme	Abgabe	Aufnahme	Abgabe					
X	5	74,4	91,1	79,8	98,7	X	2	103,9	89,9	94,0
Y	5	46,4	57,7	67,6	48,7	Y	2	65,0	62,8	71,8
Z	5	46,0	57,3	72,4	51,1	Z	2	88,3	77,5	83,9
W	3	24	30	32	43	W	1	60,2 ^{*)}	67,6	75,7

*) Mittelwert aus 3 Einzelergebnissen

WKI: Wilhelm Klauditz Institut

VA: Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau

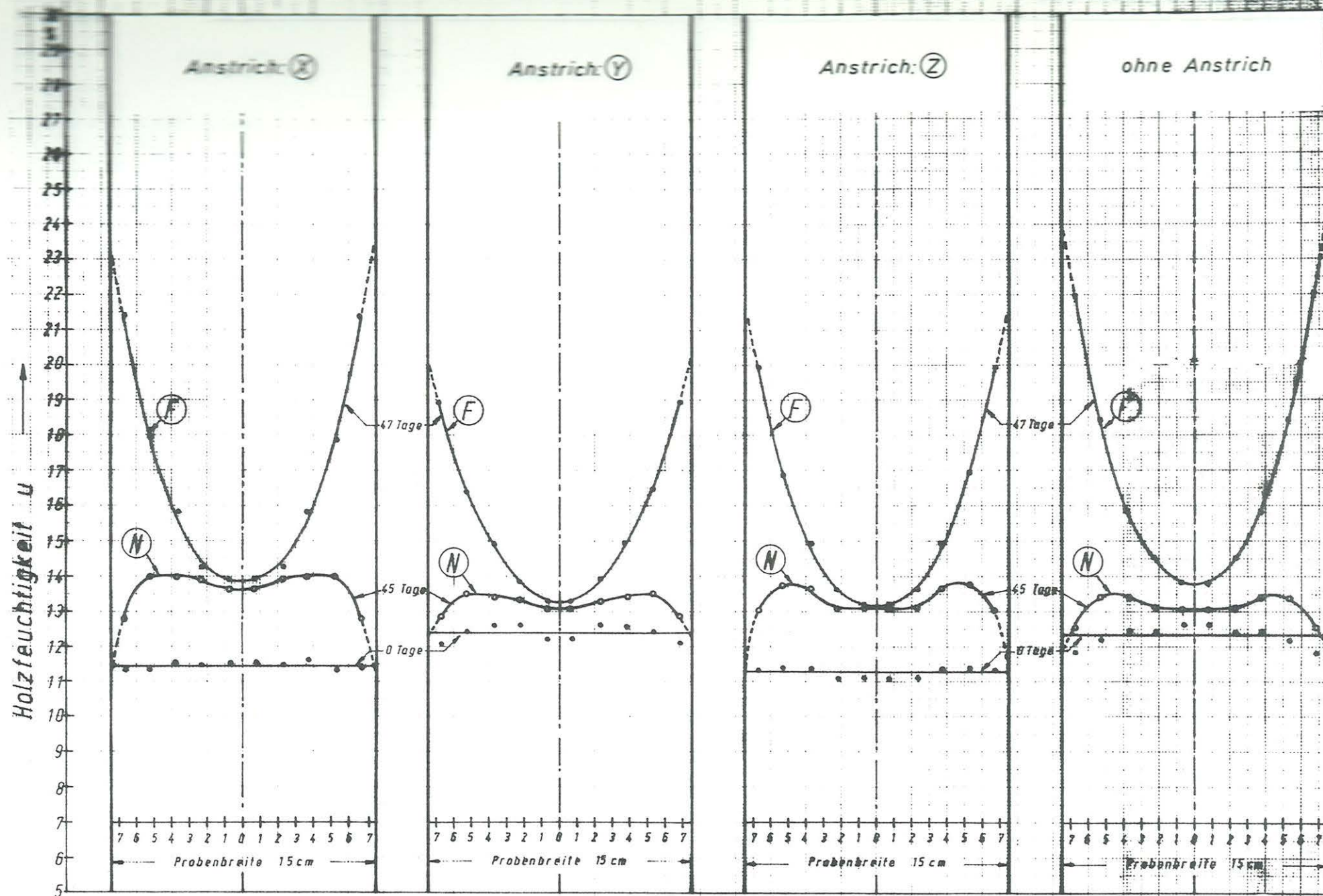


Bild 1: Feuchtigkeitsverteilung in den Versuchskörpern bei Klimabeanspruchung $F_2 \rightarrow N$

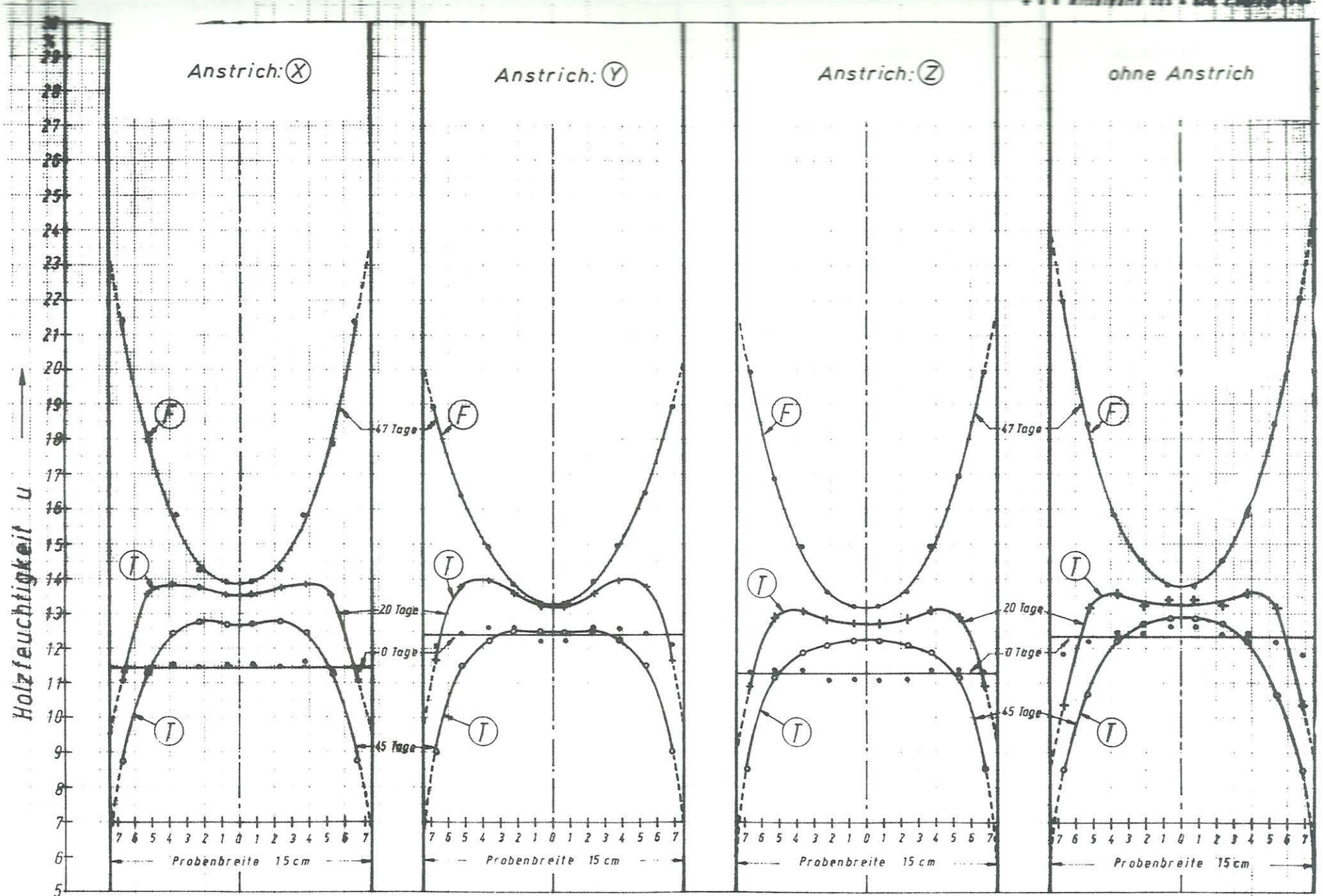


Bild 2: Feuchtigkeitsverteilung in den Versuchskörpern bei Klimbeanspruchung $F_2 \rightarrow T_2$

* Mittelwert aus Darrproben
 ○ Mittelwert aus elektrischer Feuchtigkeitsmessung

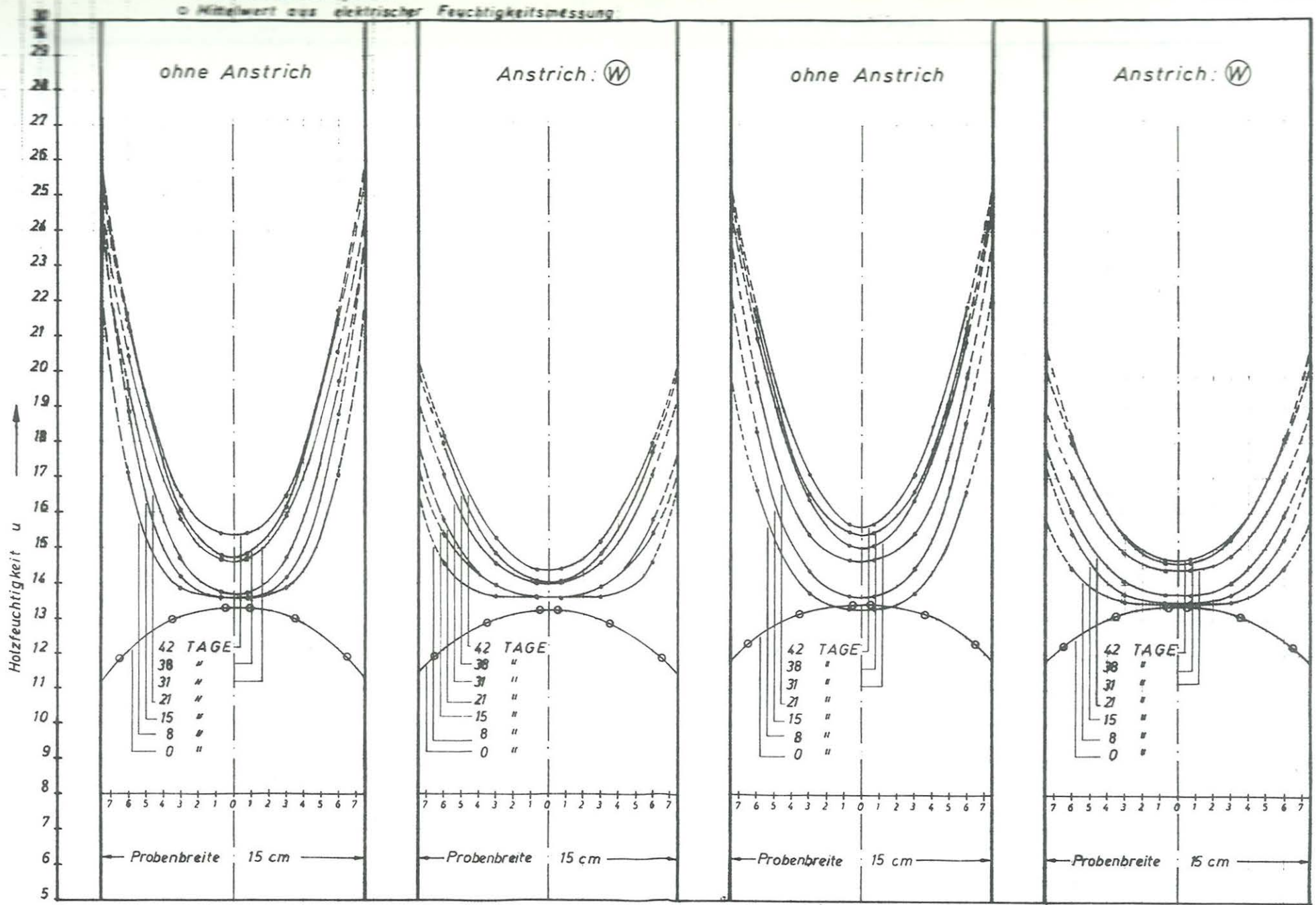


Bild 3: Feuchtigkeitsverteilung in den Versuchskörpern bei Klimabeanspruchung F_0

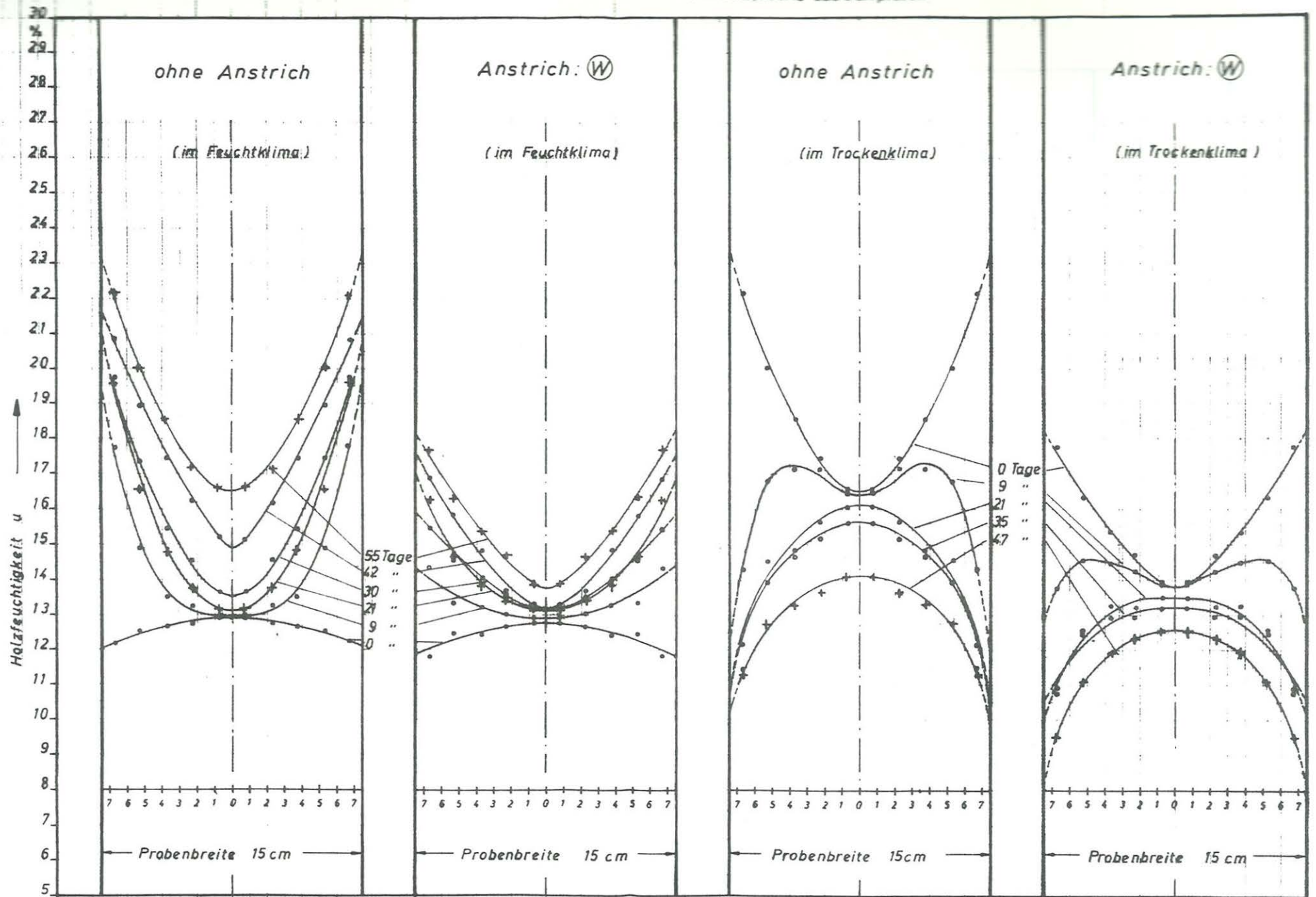


Bild 4: Feuchtigkeitsverteilung in den Versuchskörpern bei Klimabeanspruchung $F_1 \rightarrow T_1$

• Mittelwert aus Darrproben

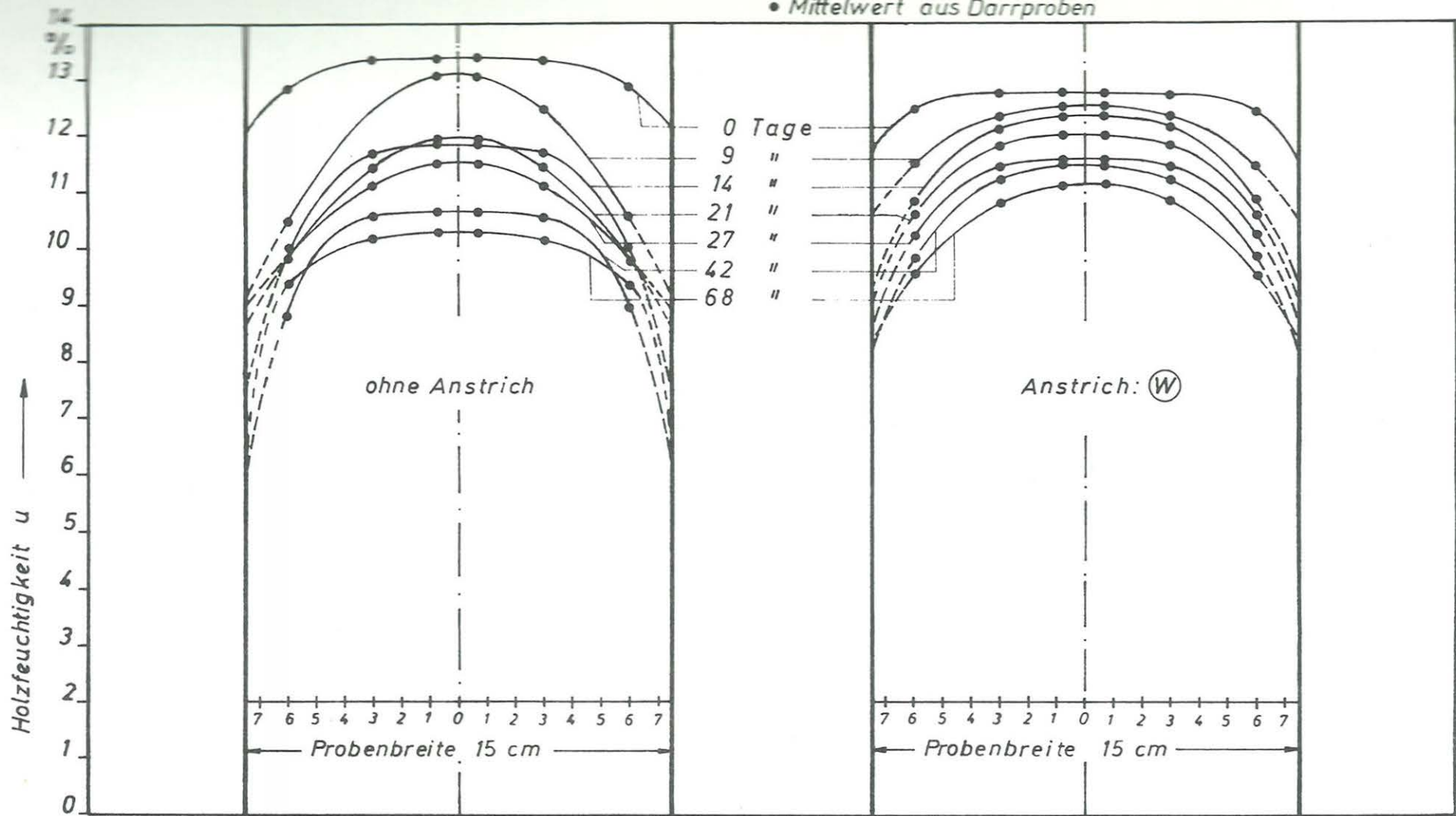


Bild 5: Feuchtigkeitsverteilung in den Versuchskörpern bei Klimabeanspruchung T