

AMTLICHE
FORSCHUNGS- UND MATERIALPRÜFUNGSANSTALT
FÜR DAS BAUWESEN ·OTTO-GRAF-INSTITUT·
UNIVERSITÄT STUTTGART

FMPA
BAUWESEN

PRÜFUNGSBERICHT

Antragsteller: Entwicklungsgemeinschaft Holzbau
Prannerstraße 9/I
8000 München 2

Betrifft: Forschungsvorhaben
"Langfristiges Verhalten von Brettschichtholz
verleimt mit Harnstoffharzleim"

Datum des Berichtes: 28.1.1977

Auftrag: H 32435

Textseiten: 11

Beilagen: 29

AMTLICHE
FORSCHUNGS- UND MATERIALPRÜFUNGSANSTALT
FÜR DAS BAUWESEN OTTO-GRAF-INSTITUT.
UNIVERSITÄT STUTTGART
ABTEILUNG HOLZ UND HOLZVERBINDUNGEN

FMPA
BAUWESEN

Entwicklungsgemeinschaft
Holzbau
Prannerstraße 9/I
8000 München 2

7 STUTTGART 80 (VAIHINGEN), 28.1.1977
PFAFFENWALDRING 4 Fr/bc
TELEFON (07 11) 784-1

Betr.: H 32435
Forschungsvorhaben
"Langfristiges Verhalten von Brettschichtholz
verleimt mit Harnstoffharzleim"

1. Einleitung

Verschiedene, oft unerklärlich erscheinende Schadensfälle bei Brettschichtträgern unterschiedlichen Alters, die mit Harnstoffharzleim verleimt waren sowie das Wissen um eine gewisse Empfindlichkeit solcher Verleimungen gegenüber Witterungs- bzw. Feuchtigkeitseinflüsse legten es nahe, das Verhalten solcher Träger über größere Zeiträume zu beobachten. Hierzu bot sich an, bei bestehenden Bauwerken verschiedenen Alters und verschiedener Art die Verleimungsqualität zu überprüfen.

Es sollte hierbei untersucht werden, ob und gegebenenfalls inwieweit die Faktoren Zeit (Alter), Feuchtigkeits- und Temperatureinflüsse im Zusammenhang mit der einwirkenden Belastung die Festigkeit dieser Leimverbindungen beeinflusst haben.

Auf Grund der Versuchsergebnisse sollte angestrebt werden, den Holzleimbau betreibenden Firmen Empfehlungen für den Einsatz dieser Leimgruppe zu geben, die ihr noch mehr als bisher gerecht werden.

Die Mittel für die Versuche wurden uns in dankenswerter Weise von der Firma Klemm-Technik, Böblingen, und der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau, München, zur Verfügung gestellt.

Nachstehend berichten wir über die von uns durchgeführten Untersuchungen und Feststellungen.

2. Vorversuche

Um die Empfindlichkeit von Leimfugen gegenüber Feuchtigkeitseinflüssen festzustellen, wurden bereits im Jahre 1968 aus den Holzarten Fichte, Kiefer, Eiche und Buche Querszugkörper nach ASTM Standard D 143-52 hergestellt.

Als Leim wurden jeweils verwendet:

Resorcinharzleim
Harnstoffharzleim
Kaurit-Leim 220

Jeweils 6 Einzelproben der insgesamt 12 Kombinationen Holzart / Leimart wurden vor der Prüfung folgenden Lagerungsarten unterzogen.

a) Normalklima 20/65, - 0,5 DIN 50014

b) Wechselklima

Lagerung bei 50° / 100 % 24 Stunden

10° / 100 % 8 Stunden

50° / 20 % 16 Stunden

insgesamt 4 Zyklen

c) Wasser 24 Stunden unter Wasser

24 Stunden Trocknung bei 50 °C

insgesamt 4 Zyklen

d) einseitige Wasseraufnahme

24 Stunden Wasseraufnahme

24 Stunden Trocknung bei 50 °C

insgesamt 4 Zyklen

Zu den einzelnen Lagerungsarten ist folgendes zu bemerken.

Die Lagerung der Proben im Normalklima 20/65 sollte Bezugswerte für die anderen Lagerungsarten liefern.

Die Lagerung b) erfolgte in Anlehnung an DIN 68141.

Die Lagerung d) bei einseitiger Wasseraufnahme wurde so durchgeführt, daß die einzelnen Proben mit einer Längskante rd 3 mm tief im Wasser standen.

Hierdurch sollte erreicht werden, daß, insbesondere bei den beiden Harthölzern, zusätzliche Spannungen infolge der zu erwartenden einseitigen Verformung auf die Leimflächen einwirkten.

Nach Abschluß der Lagerungsfolgen wurden alle Proben vor der Prüfung bis zum Erreichen des Ausgleichsfeuchtigkeitsgehaltes im Normalklima 20/65 gelagert.

3. Untersuchungen an bestehenden Bauwerken

3.1. Auswahl von Bauwerken

Die eigentlichen Untersuchungen der vorhandenen Festigkeiten von Leimverbindungen an bestehenden Bauwerken bzw. Bauteilen wurden in den Jahren 1975 und 1976 durchgeführt.

Auf Grund von Umfragen bei Holzleimbaufirmen und nach Durchsicht von älteren Leimbüchern wurden hierfür Bauwerke nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt.

Die Brettschichtträger mußten mit Harnstoffharzleim hergestellt sein.

Der Zeitraum der Herstellungsdaten sollte insgesamt möglichst die letzten 20 Jahre umfassen.

Es sollten möglichst mehrere Hallentypen (offen, geschlossen, beheizt, unbeheizt) erfaßt werden.

Eine gute Zugänglichkeit sollte vorhanden sein.

Das Einverständnis des Bauherrn zu einer Probenentnahme mußte vorliegen.

Die von uns ausgewählten Bauwerke wurden fortlaufend mit den Buchstaben A, B, C usw. bezeichnet. Hierbei bedeutete die Reihenfolge keine Rangordnung oder Einstufung sondern lediglich die willkürliche Reihenfolge der Entnahme.

Um Bezugswerte ermitteln zu können, wurden aus neuen Brettschichtträgern, die in unserem Institut vorhanden waren, ebenfalls Proben entnommen.

Diese Träger wurden mit X, Y und Z bezeichnet.

Der Träger X war mit einem Resorcinharzleim verleimt, dessen Verleimung zum Vergleich mit untersucht wurde. Die Versuchsergebnisse aus den Prüfungen der Proben der älteren Bauwerke wurden jedoch bei der weiteren Auswertung lediglich auf die Mittelwerte der Prüfungsergebnisse der Träger Y und Z bezogen.

In Zusammenstellung 1, Beilage 1, sind die Bauwerke, aus deren Träger Proben entnommen wurden, aufgeführt und kurz charakterisiert.

3.2. Probenentnahme

Für die Probenentnahme, die ja prüfbare Proben liefern sollte, wurde folgender Weg beschritten.

Aus den Leimfugen der Brettschichtträger wurden mit einer langsam laufenden Bohrmaschine und einem Zapfenschneider zylindrische Bohrkerne entnommen und zwar so, daß die Leimfuge genau durch die Mitte des Kreisquerschnittes des Bohrkernes verlief.

Um eine einfache Handhabung zu gewährleisten und vor allem, um den Zapfenschneider beim Bohren einwandfrei zu führen, wurde die Bohrmaschine mit einem Bohrständer verbunden, der wiederum an die Träger angeschraubt werden konnte.

Abb. 1, Beilage 2, zeigt das Entnahmegrät.

Da die Bohrmaschine um den Bohrständer gedreht werden konnte, war es möglich, an jeder Entnahmestelle (Träger), 3 bis 4 Einzelproben zu entnehmen. Die entnommenen Proben waren jeweils rd 80 mm lang.

Um zu verhindern, daß die Träger infolge der Verschwächung beschädigt wurden, wurde bei der Entnahme darauf geachtet, daß die Proben möglichst aus den Bereichen der Träger entnommen wurden, an denen keine zu großen Schub- oder Biegespannungen vorhanden oder zu erwarten waren.

Nach der Entnahme der Bohrkern wurden die entstandenen Bohrlöcher, die einen Durchmesser von rd 45 mm hatten, gereinigt und mit auf einer Drehbank hergestellten Holzpropfen unter Zugabe von Leim verschlossen. Der Faserverlauf dieser Propfen entsprach hierbei dem der Träger.

Die entnommenen Bohrkern wurden bezeichnet, luftdicht verpackt und in unser Institut verbracht.

Hier lagerten sie bis zur Herstellung der Einzelscherkörper im Normalklima 20/65 - 0,5 DIN 50014.

3.3. Herstellung von Scherkörpern

Aus jedem der zylindrischen, rd 80 mm langen Bohrkern wurden drei 25 mm lange und 24 mm hohe Scherkörper hergestellt und zusätzlich zu dem Bauwerkskennbuchstaben entsprechend ihrer Lage im Bohrkern von außen nach innen mit a, b und c gekennzeichnet.

In Abb. 2, Beilage 3, sind ein Bohrkern und eine Einzelprobe für den Scherversuch schematisch dargestellt.

Die prüfbare Leimfläche betrug bei allen Einzelproben 600 mm².

Abb. 3, Beilage 4, zeigt einige entnommenen Bohrkerns sowie einige Einzelproben für die Scherversuche.

3.4. Lagerung der Einzelproben

Die Proben a, b und c jedes Bohrkerns wurden vor der Prüfung folgenden Lagerungsarten unterzogen.

I Normalklima 20/65 - 0,5 DIN 50014

Wechselweise die Proben a und c

II Wasserlagerung

Wechselweise die Proben a und c

5 Tage Lagerung in Wasser bei 20 °C

III Wechselagerung

Proben b

4 Tage Lagerung im Wasser bei 20 °C

4 Tage Trocknung bei 50 °C

insgesamt 4 Zyklen

anschließend rd 5 Wochen im Normalklima 20/65.

3.5. Scherversuche

Nach Beendigung der unter Punkt 3.4. beschriebenen Lagerungsarten wurden die Proben im Scherversuch in einem Blockscherprüfgerät geprüft.

In Abb. 4, Beilage 5, ist das Prüfgerät mit einer eingelegten Probe fotografisch wiedergegeben. Versuchsanordnung und Belastungsgeschwindigkeit (rd 65 N/sec) waren bei allen Versuchen gleich.

4. Versuchsergebnisse

4.1. Vorversuche

Die Ergebnisse der unter Punkt 2 beschriebenen Vorversuche sind in Zusammenstellung 2, Beilage 6, enthalten.

Hieraus ist zu entnehmen, daß sich die Verleimungen der Harthölzer besonders empfindlich gegenüber dem Feuchtigkeitseinfluß erwiesen. Die durch die starken Schwind- und Quellspannungen auftretenden Kräfte konnten hier von dem Leim nicht mehr aufgenommen werden. Einzelne Proben fielen bereits während der Wasserlagerung bzw. Wiedertrocknung und während der einseitigen Wasseraufnahme ohne äußere Einwirkung auseinander.

Bei gleichmäßiger Feuchtigkeitsaufnahme im Rahmen der Wechselklimalagerung zeigte sich jedoch bei allen Proben nur ein relativ geringer Abfall gegenüber den im Normal-klima gelagerten Vergleichsproben.

In Abb. 5, Beilage 7, sind die relativen Querkzugfestigkeiten der Proben aus Fichten- und Buchenholz grafisch aufgetragen.

Hieraus ist anschaulich der starke Festigkeitsabfall bei den mit Harnstoffharzleim verleimten "nassen" Hartholzproben zu entnehmen.

Die mit Resorcinharzleim verleimten Proben zeigten bei diesen Beanspruchungen wesentlich größere Festigkeiten.

Bei den Harnstoffharzleimen waren die Werte des Kaurit-Leimes 220 etwas höher als die des mit Industriemehl gefüllten Harnstoffharzleimes.

4.2. Hauptversuche an entnommenen Proben

In den Zusammenstellungen 3 bis 14, Beilagen 8 bis 19, sind die Ergebnisse der Scherversuche enthalten. Hierbei wurde das Gesamtmittel der Proben nach Lagerung I und II zusätzlich nach der Lage der Proben im Bohrkern bzw. im Träger aufgeschlüsselt.

Es ist hieraus zu ersehen, daß in der Regel in den Außenbereichen höhere Festigkeitswerte ermittelt wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, daß hier das Holz, bedingt durch den Verlauf der Jahrringe, in den Lamellen eine höhere Scherfestigkeit besitzt als in den Bereichen tangential verlaufender Jahrringe im Inneren der Träger bzw. Lamellen.

Ergebnisse von Scherversuchen mit Proben, in deren Fugenbereich z.B. Äste verliefen, wurden für die Auswertung nicht verwendet, da sich hierdurch zu große Streuungen und eine Verfälschung der Versuchsergebnisse ergeben hätten.

Anstelle von Zahlenwerten wurde hier in die Tabellen ein "-" eingetragen.

In Zusammenstellung 17, Beilage 20, sind die Holzfeuchtigkeitsgehalte der Proben zum Zeitpunkt der Prüfung sowie die mittlere Rohdichte enthalten.

Es ist hieraus zu entnehmen, daß vor allem das Holz des resorcinharzverleimten Trägers X eine relativ hohe Rohdichte aufwies. Dies erklärt auch die ermittelten Scherfestigkeitswerte, die im Vergleich zu den anderen Trägern am höchsten lagen.

In Zusammenstellung 18, Beilage 21, sind alle Mittelwerte zusammengefaßt und jeweils auf die Mittelwerte der Proben Y + Z bezogen.

In Zusammenstellung 19, Beilage 22, ist die statistische Auswertung der Versuche enthalten.

In den Abb. 6 bis 9, Beilagen 23 bis 26, sind die Versuchsergebnisse grafisch aufgetragen.

In Abb. 10, Beilage 27, sind die Mittelwerte der Ergebnisse der Prüfungen der Proben aus den Trägern A bis J zusammengefaßt und den Ergebnissen aus der Prüfung der Proben der Bezugsträger Y + Z gegenübergestellt.

Aus dieser einfachen und übersichtlichen Darstellung läßt sich sehr leicht erkennen, daß bei der Prüfung der Proben aus den älteren Bauwerken in nahezu jeder Hinsicht die gleichen Werte wie bei den Bezugsträgern ermittelt werden konnten.

Es konnte in keinem Fall - auch nicht bei Betrachtung der einzelnen Träger für sich -, eine eindeutige steigende oder fallende Tendenz festgestellt werden.

Die Säulen der grafischen Darstellungen von Y + Z und A bis J sind in allen 4 Bildern nahezu deckungsgleich zueinander.

5. Klimabeanspruchung

Im Rahmen des hier durchgeführten Forschungsvorhabens wurde bei den einzelnen Bauwerken bisher darauf verzichtet, den Verlauf von relativer Luftfeuchtigkeit und Temperatur im Bereich der Träger zu verfolgen.

Dies soll in einer weiteren Untersuchung noch durchgeführt werden, und zwar in Bauwerken mit voraussichtlich extremer Temperatur, z.B. in einem geschlossenen Dachraum.

Das hier mit dem Kennbuchstaben A versehene Bauwerk befindet sich auf unserem Institutsgelände.

Es handelt sich um eine allseitig offene Lagerhalle; in der Probenmaterial und Holz eingelagert wird.

Seit Jahren wird hier der Klimaverlauf mittels eines Monatschreibers verfolgt. Für den vorliegenden Fall konnten daher diese Aufschriebe ausgewertet werden. Es kann angenommen werden, daß sich ähnliche oder gleiche klimatische Verhältnisse auch bei anderen offenen Hallen oder Bauwerken einstellen würden.

In den Abb. 11 und 12, Beilagen 28 und 29, ist der Verlauf der größten und kleinsten korrespondierenden Feuchtigkeits- und Temperaturwerte für die Jahre 1970 und 1975 aufgetragen.

In der jeweils unteren Abbildung ist der diesen klimatischen Grenzwerten entsprechende Holzfeuchtigkeitsgehalt (Ausgleichsfeuchte) aufgetragen.

Es kann für die beiden Jahre gesagt werden, daß sich die Ausgleichsfeuchte zwischen rd 7 % und rd 28 % bewegt. Es ist natürlich nicht so, daß der tatsächlich sich einstellende Holzfeuchtigkeitsgehalt zwischen diesen Extremwerten pendelt und sich genau darauf einstellt.

Die bereits in dem Zeitraum eines Tages auftretenden Schwankungen werden zur Folge haben, daß der Holzfeuchtigkeitsgehalt im Randbereich der Brettschichtträger in einer Kurve zwischen den beiden Grenzlinien verläuft.

Es sollte durch diese Darstellung lediglich gezeigt werden, welche Klimabeanspruchungen an den Trägern und auch Leimverbindungen "zerren".

Durch Einzelmessungen zu verschiedenen Jahreszeiten konnte festgestellt werden, daß sich bei der hier aufgeführten offenen Halle der tatsächliche Holzfeuchtigkeitsgehalt zwischen 12 % und 20 % bewegt.

6. Zusammenfassung

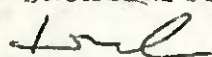
Im Rahmen des hier durchgeführten Forschungsvorhabens wurden aus harnstoffharzverleimten Trägern unterschiedlichen Alters und hinsichtlich der klimatischen Bedingungen unterschiedlicher Einbauart Proben entnommen.

Aus diesen zylinderförmigen Bohrkernen wurden Scherproben hergestellt und diese nach 3 unterschiedlichen Klimalagerungen geprüft. Aus relativ neuen Trägern wurden ebenfalls Proben entnommen, deren Festigkeitswerte als Vergleichswerte dienten.

Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse konnte festgestellt werden, daß bei den Leimfugen der untersuchten Bauwerke in Bezug auf die Werte der Vergleichsproben kein nennenswerter Festigkeitsabfall vorhanden war. Aus diesem Grund kann geschlossen werden, daß bei Brettschichtträgern, die mit einem Harnstoffharzleim verleimt worden waren, mit einer festigkeitsmindernden Alterung nicht zu rechnen ist.

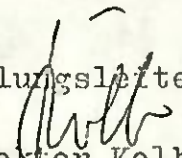
Schäden, die leider immer wieder auftreten, werden in den meisten Fällen nicht dem verwendeten Leim, sondern äußeren Faktoren wie Fehler bei der Herstellung, falschen Lastannahmen und unsachgemäßer Konstruktion angelastet werden müssen.

Der Sachbearbeiter


Dipl.-Ing. Frech



Der Abteilungsleiter


Akad. Direktor Kolb

Zusammenstellung 1

Bauwerke, aus der Brettschichtträger Proben entnommen wurde

Träger bzw. Bauwerk	Art des Bauwerks	klizatische Bedingungen	Herstellungsjahr	verwendeter Leim	mittlerer Holzfeuchtigkeitsgehalt bei der Probenentnahme
X	-	-	Dezember 1975	Penacolite	12 %
Y	-	-	September 1974	Kaurit-Leim 220 Plv.	12 %
Z	-	-	März 1976	Aerolite FFD	12 %
A	Lagerhalle	allseitig offen und unbeheizt	1956	Kaurit-Leim 220 Plv.	19 %
B	Salzlagerhalle	geschlossen und unbeheizt	1962	Kaurit-Leim 220 Plv.	20 %
C	Mehrzweckhalle (Schule)	geschlossen und ab und zu beheizt.	1958	Kaurit-Leim 220 Plv.	16 %
D	Turnhalle	geschlossen und beheizt	1959	Kaurit-Leim 234 Plv.	9,5 %
E	Eisstadion	offen und unbeheizt	1962	Aerolite FFD	15 %
F	Papierfabrik	geschlossen und beheizt	1964	Kaurit-Leim 234 Plv.	12 %
G	Lagerhalle	geschlossen und unbeheizt	1963	Kaurit-Leim 234 Plv.	15 %
H	Holzlagerhalle	geschlossen und beheizt	1969	Kaurit-Leim 220 Plv.	15 %
I	Holzlagerhalle	offen und unbeheizt	1964	Kaurit-Leim 220 Plv.	17 %



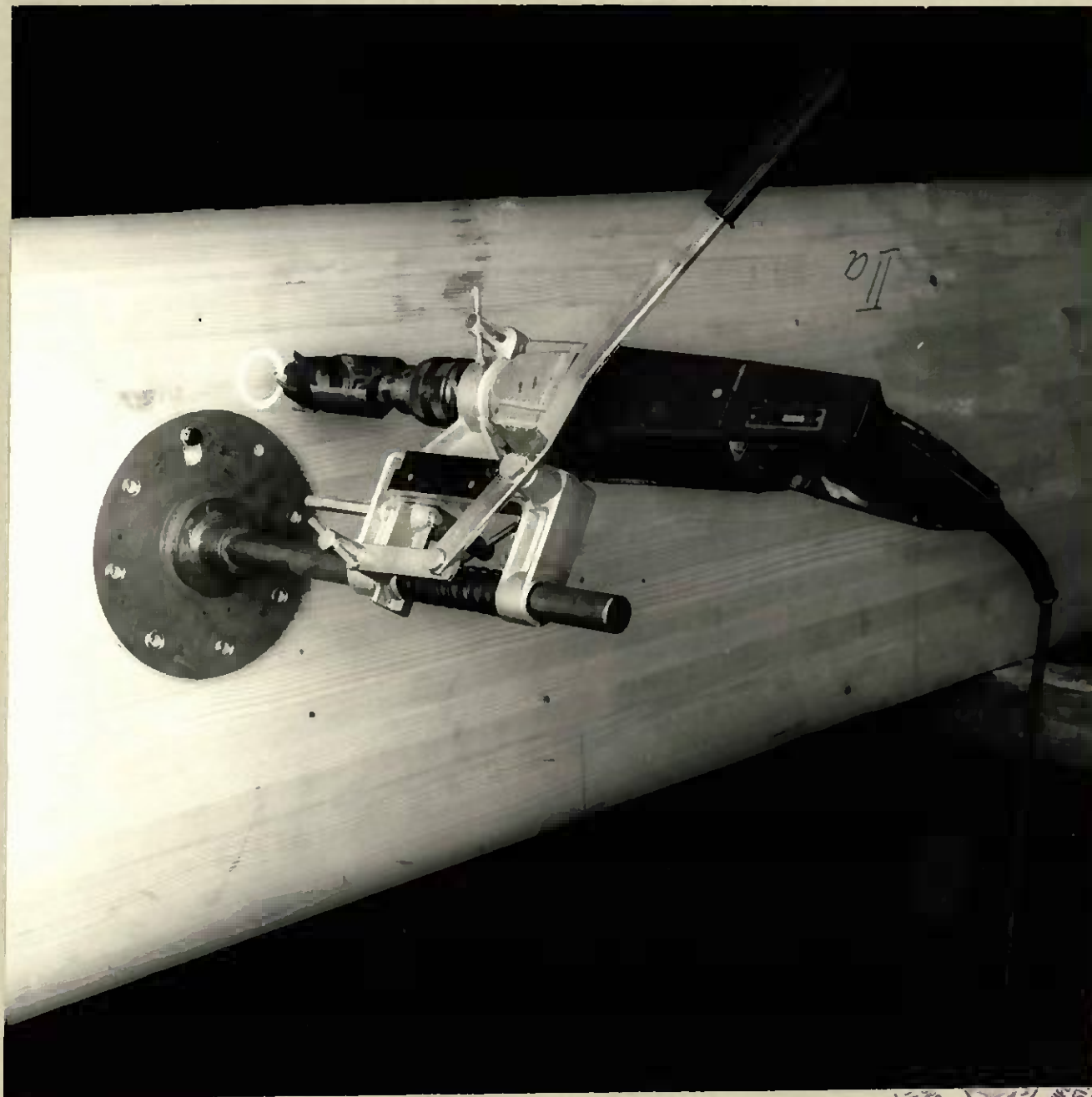
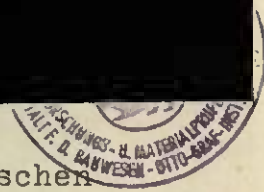


Abb. 1 Vorrichtung zur Entnahme von zylindrischen Bohrkernen aus Brettschichtträgern.



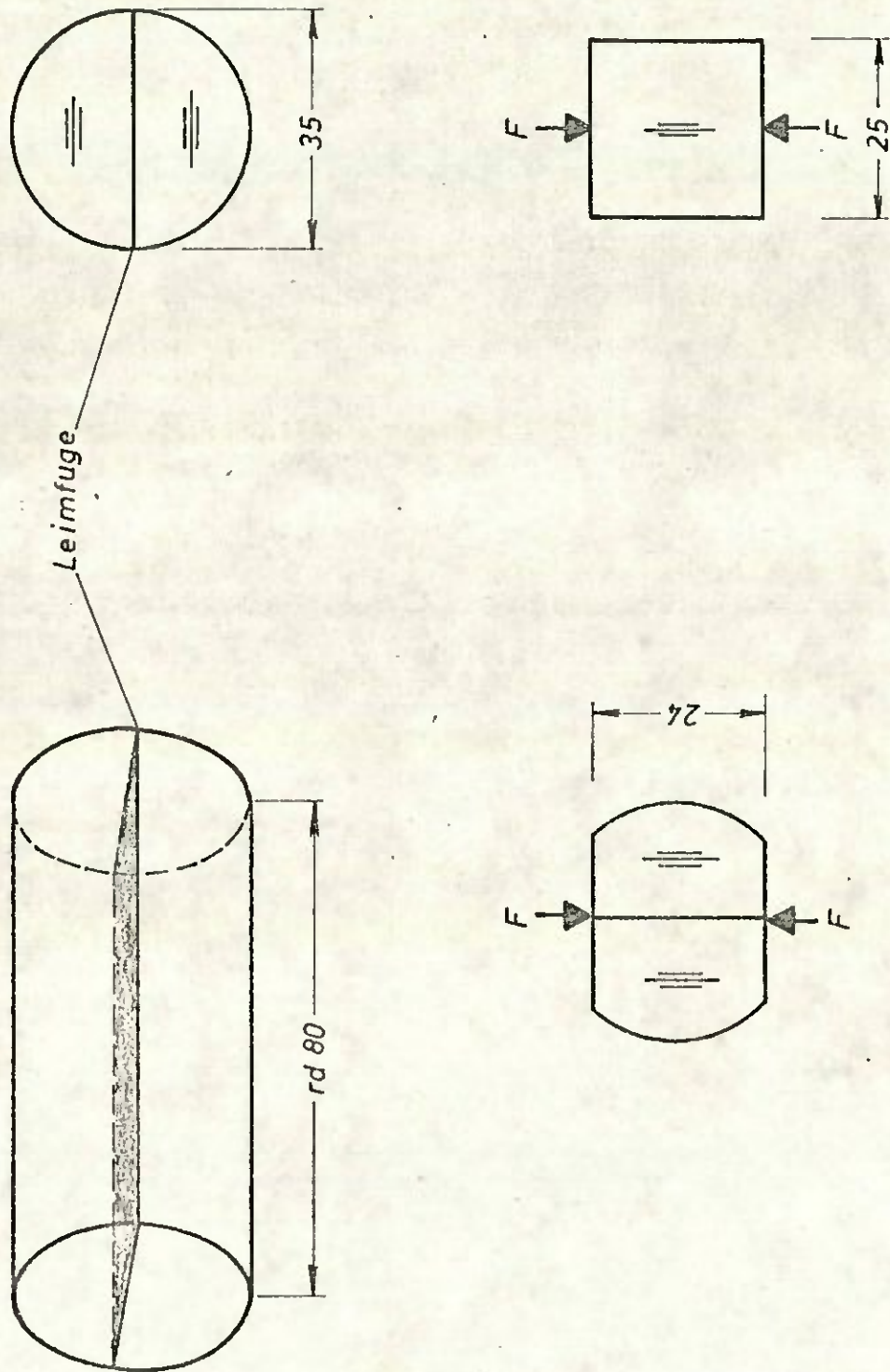


Abb. 2 Größe und Form der entnommenen Proben und der Einzelproben für die Scherversuche.





Abb. 3 Bohrkerne und Einzelproben für die Scherversuche



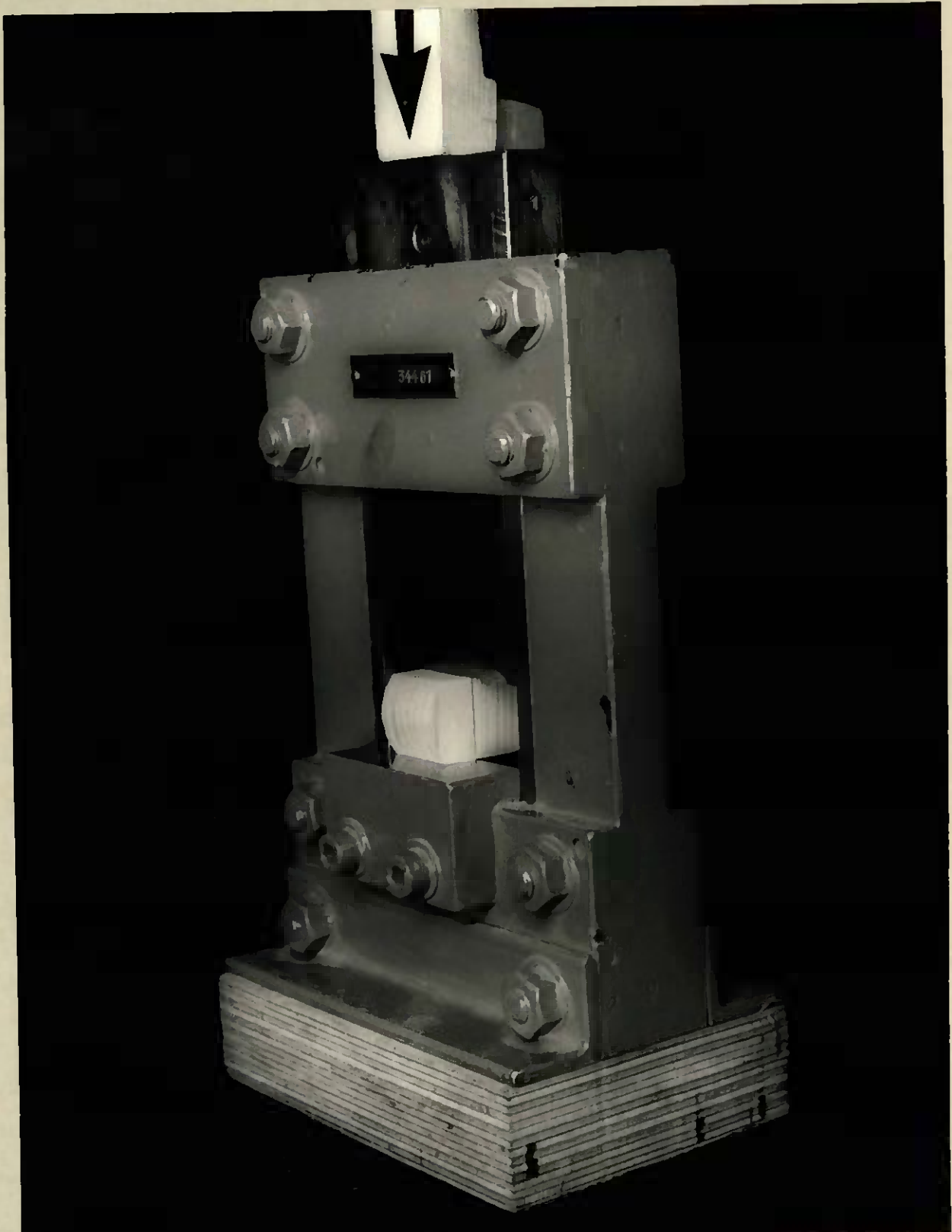


Abb. 4 Vorrichtung zur Prüfung der Einzelproben Scherversuch mit eingelegter Scherprobe.



Zusammenstellung 2

Prüfung von Querzugproben nach ASTM Standard D 143-52 nach unterschiedlicher Lagerungsart, Mittelwerte

Holzart	Leimart	Mittlere Querzugfestigkeit σ_1 der Proben nach Lagerungsart							
		Normalklima		Wechselklimalagerung		Wasserlagerung und Trocknung		einseitige Wasseraufnahme und Trocknung	
		N/mm ²	%	N/mm ²	%	N/mm ²	%	N/mm ²	%
Fichte	Resorcin- harzleim (Kaurisin 440)	2,44	100	2,02	82,8	2,04	83,6	2,17	88,9
Kiefer		3,19		3,55	111,3	1,77	59,5	2,32	72,7
Eiche		6,29		6,01	95,5	3,45	54,8	5,71	90,8
Buche		4,84		2,64	84,5	3,04	62,8	1,77	36,6
Fichte	Harnstoff- harzleim (Aerolite FFD)	2,45	100	2,60	106,1	1,84	75,1	1,83	74,7
Kiefer		3,46		3,40	98,3	1,99	57,5	2,38	68,8
Eiche		5,96		5,46	91,6	0	0	0,79	13,3
Buche		6,45		5,29	82,0	0	0	-0,06	0,9
Fichte	Kaurit-Leim 220	2,39	100	2,45	102,5	1,48	61,9	2,55	106,7
Kiefer		4,23		3,87	91,5	2,30	54,4	2,10	49,6
Eiche		6,53		5,62	86,1	0,06	0,9	4,74	72,6
Buche		7,28		7,99	109,8	0,71	9,7	2,02	27,7



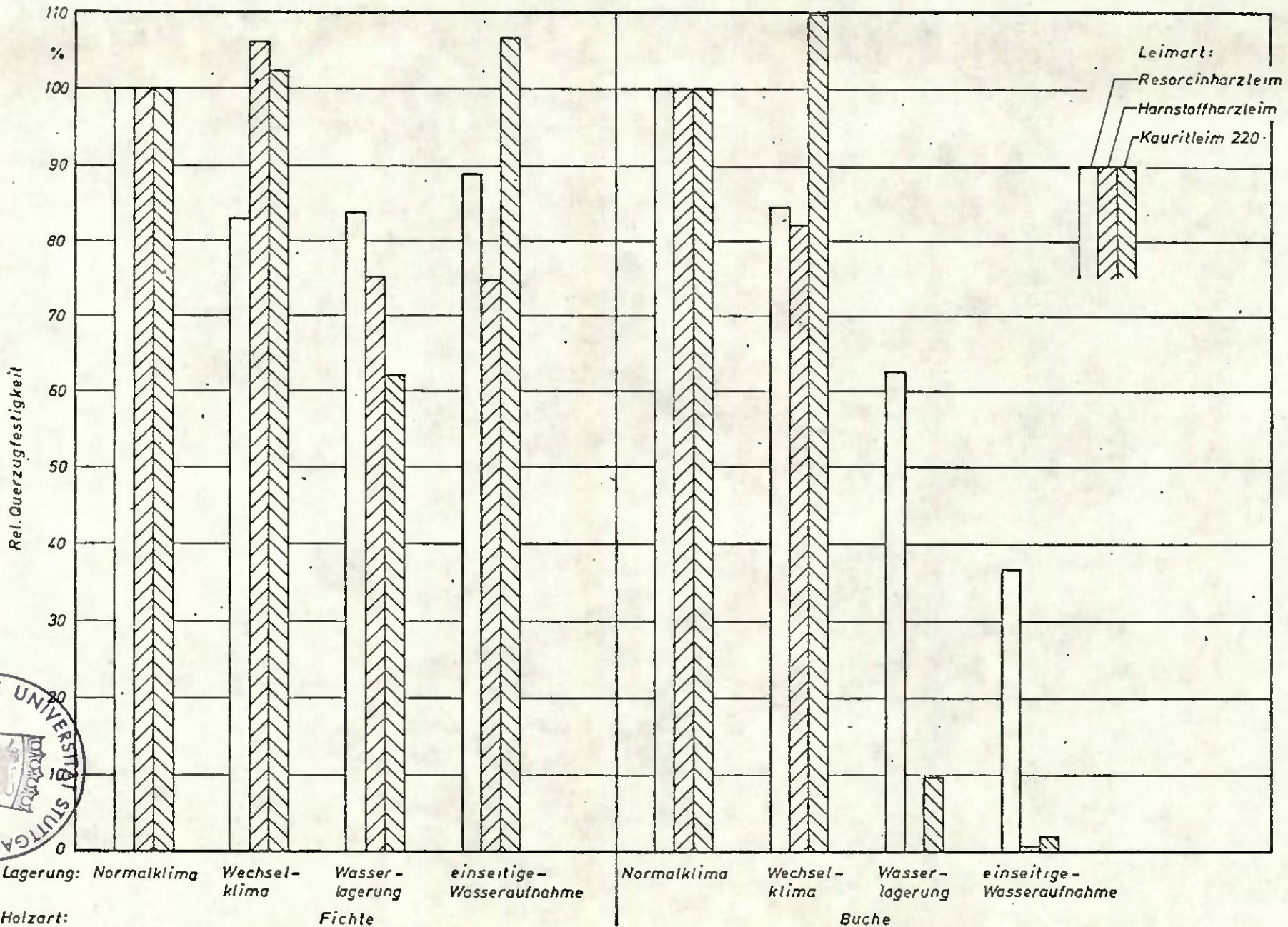


Abb. 5 Relative Scherfestigkeit der Proben aus Fichten- und Buchenholz nach unterschiedlichen Lagerungsarten.

Zusammenstellung 3

Prüfung von Proben aus Träger X

Probe Nr.	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima τ_{sI} N/mm ²	II Wasserlagerung τ_{sII} N/mm ²	III Wechsellagerung τ_{sIII} N/mm ²
1	7,50	7,05	6,15
2	8,82	5,78	9,45
3	9,70	5,52	8,70
4	7,70	5,57	9,77
5	8,33	6,53	9,92
6	7,88	5,50	9,60
7	9,37	5,97	9,37
8	9,07	7,15	9,78
9	8,93	6,00	9,90
10	8,17	5,87	10,03
11	8,28	6,20	8,80
12	8,30	5,93	8,67
13	8,90	6,73	8,22
14	9,67	6,12	9,75
15	9,05	5,70	8,73
16	7,87	5,50	7,83
17	8,40	5,55	9,53
18	9,75	5,52	9,08
19	7,33	5,70	8,08
20	7,67	5,35	7,80
21	8,05	5,25	7,58
22	8,88	6,32	8,28
23	9,33	5,92	9,53
24	9,17	6,07	9,30
25	7,73	5,07	8,48
Gesamt- mittel	8,55	5,91	8,89
Außen	8,61	5,94	
Innen	8,50	5,89	



Zusammenstellung 4

Prüfung von Proben aus Träger Y

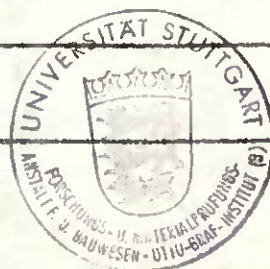
Probe Nr.	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima τ_{sI} N/mm ²	II Wasserlagerung τ_{sII} N/mm ²	III Wechsellagerung τ_{sIII} N/mm ²
1	6,53	4,52	7,08
2	8,33	5,17	8,42
3	7,50	5,12	5,90
4	6,83	4,48	5,07
5	7,88	5,70	9,17
6	8,67	5,72	8,90
7	9,17	5,10	10,00
8	9,82	4,35	11,25
9	8,07	4,93	6,67
10	7,48	4,85	8,93
11	9,23	5,10	7,68
12	10,65	4,88	5,10
13	7,80	5,10	5,20
14	9,45	5,03	8,10
15	7,57	6,50	8,90
16	11,40	5,70	8,95
17	8,42	5,83	6,33
18	9,62	6,15	10,63
19	5,58	5,92	7,97
20	7,50	4,48	6,20
21	6,57	4,48	6,83
22	9,95	5,58	8,10
23	6,43	5,48	7,67
24	9,90	4,85	9,13
25	7,87	6,55	9,33
Gesamt- mittel	8,33	5,26	7,90
Außen	9,13	5,41	
Innen	7,59	5,10	



Zusammenstellung 5

Prüfung von Proben aus Träger Z

Probe Nr.	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima	II Wasserlagerung	III Wechsellagerung
	τ_{SI} N/mm ²	τ_{SII} N/mm ²	τ_{SIII} N/mm ²
1	7,63	4,90	6,73
2	7,12	4,95	6,55
3	6,93	6,50	6,20
4	8,57	4,97	6,15
5	7,50	5,17	5,13
6	8,75	5,23	6,47
7	7,67	6,58	8,32
8	7,50	5,30	7,12
9	7,50	4,58	6,47
10	6,35	5,00	6,05
11	8,00	5,25	7,68
12	8,58	5,47	7,75
13	9,75	5,05	8,23
14	6,82	5,37	7,83
15	8,97	4,83	6,17
16	7,30	5,18	6,00
17	8,25	5,00	8,83
18	5,63	4,50	4,23
19	8,50	5,32	5,13
20	5,88	4,90	5,53
21	7,67	5,00	4,37
22	7,53	4,73	5,18
23	6,10	5,00	6,77
24	6,80	4,60	6,90
25	7,17	4,73	7,25
Gesamt- mittel	7,54	5,12	6,52
Außen	7,24	5,22	
Innen	7,82	5,06	



Zusammenstellung 6

Prüfung von Proben aus Trägern des Bauwerks A

Probe Nr.	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima	II Wasserlagerung	III Wechsellagerung
	τ_{sI} N/mm ²	τ_{sII} N/mm ²	τ_{sIII} N/mm ²
1	7,58	6,55	9,22
2	5,92	4,03	7,82
3	6,40	5,80	9,80
4	9,08	6,55	8,58
5	9,18	5,50	8,30
6	8,72	4,97	8,83
7	8,50	5,12	5,90
8	8,24	4,28	4,47
9	7,30	5,27	7,10
10	10,45	-	9,50
11	9,83	6,17	9,17
12	7,22	5,15	7,70
13	8,27	5,33	7,42
14	7,60	-	7,97
15	8,70	5,97	8,58
16	7,80	5,03	-
17	9,37	5,37	9,60
Gesamt- mittel	8,24	5,41	8,12
Außen	7,70	5,45	
Innen	8,67	5,38	



Zusammenstellung 7

Prüfung von Proben aus Trägern des Bauwerks B

Probe Nr.	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima	II Wasserlagerung	III Wechsellagerung
	τ_{sI} N/mm ²	τ_{sII} N/mm ²	τ_{sIII} N/mm ²
1	8,02	5,13	8,52
2	8,45	4,87	8,20
3	8,78	6,43	8,73
4	7,53	5,50	9,80
5	5,68	4,83	5,05
6	7,55	5,37	7,25
7	7,73	4,23	5,40
8	7,97	4,50	6,45
9	6,53	5,14	6,23
10	6,42	5,40	6,42
11	5,85	5,43	7,77
12	8,10	4,63	8,45
13	6,95	6,25	3,23
14	8,58	5,00	7,58
15	6,52	5,17	6,72
16	5,17	5,83	7,55
17	4,93	5,82	8,47
18	7,42	5,30	5,27
Gesamt- mittel	7,12	5,27	7,06
Außen	7,47	5,38	
Innen	6,78	5,16	



Zusammenstellung 8

Prüfung von Proben aus Trägern des Bauwerks C

Probe Nr.	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima	II Wasserlagerung	III Wechsellagerung
	τ_{sI} N/mm ²	τ_{sII} N/mm ²	τ_{sIII} N/mm ²
1	6,90	5,23	7,17
2	7,83	6,17	7,83
3	9,27	5,97	7,83
4	9,93	4,97	8,17
5	9,57	5,58	9,30
6	8,30	4,10	7,17
7	8,97	5,40	-
8	6,50	5,68	4,42
9	8,95	6,13	7,97
10	8,43	4,70	7,01
11	8,72	5,30	7,47
12	7,23	5,08	6,72
13	9,10	5,87	5,97
14	9,50	5,72	6,97
15	9,17	5,47	7,83
16	8,07	5,33	8,20
17	8,37	4,88	5,25
18	7,85	5,23	7,35
19	7,78	5,52	6,20
Gesamt- mittel	8,44	5,39	7,16
Außen	8,68	5,22	
Innen	8,18	5,53	



Zusammenstellung 9

Prüfung von Proben aus Trägern des Bauwerks D

Probe Nr.	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima τ_{sI} N/mm ²	II Wasserlagerung τ_{sII} N/mm ²	III Wechsellagerung τ_{sIII} N/mm ²
1	4,67	5,00	-
2	10,30	4,73	5,22
3	6,12	4,78	7,08
4	11,28	5,88	-
5	10,05	5,47	8,18
6	11,52	5,78	6,73
7	6,58	6,33	7,27
8	7,62	4,72	7,60
9	7,80	6,58	7,77
10	9,97	5,87	10,33
11	10,78	5,43	7,68
12	11,40	5,17	9,37
13	10,67	6,10	8,42
14	11,08	5,58	9,45
Gesamt- mittel	9,27	5,53	7,92
Außen	10,45	5,67	
Innen	8,10	5,39	



Zusammenstellung 10

Prüfung von Proben aus Trägern des Bauwerks E

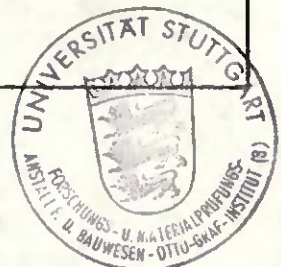
Probe Nr.	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima	II Wasserlagerung	III Wechsellagerung
	τ_{sI} N/mm ²	τ_{sII} N/mm ²	τ_{sIII} N/mm ²
1	7,10	5,40	7,67
2	9,03	5,03	8,33
3	9,63	5,30	8,00
4	8,74	5,23	7,48
5	7,10	5,33	6,90
6	6,23	5,07	-
7	6,13	4,67	6,93
8	8,97	5,83	6,12
9	5,90	5,47	6,15
10	9,33	5,37	5,67
11	6,83	4,63	6,67
12	7,73	4,43	6,00
13	7,73	5,37	5,83
14	6,60	4,93	5,40
15	7,20	5,03	6,50
16	9,00	5,55	5,53
17	7,17	5,23	6,30
Gesamt- mittel	7,67	5,17	6,59
Außen	8,20	5,16	
Innen	7,20	5,18	



Zusammenstellung 11

Prüfung von Proben aus Trägern des Bauwerks F

Probe Nr.	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima	II Wasserlagerung	III Wechsellagerung
	τ_{sI} N/mm ²	τ_{sII} N/mm ²	τ_{sIII} N/mm ²
1	4,87	5,97	6,40
2	9,08	4,50	-
3	6,42	5,55	4,43
4	8,33	4,68	6,10
5	7,80	5,30	6,28
6	9,83	4,45	4,90
7	8,07	4,52	7,27
8	9,58	6,50	6,92
9	7,92	5,40	6,10
10	7,95	5,59	-
11	9,17	6,25	10,10
12	9,50	5,03	8,67
13	7,00	6,30	8,15
14	7,22	4,65	5,90
15	5,33	4,92	5,20
16	9,97	4,57	7,23
17	8,67	5,45	7,78
Gesamt- mittel	8,04	5,27	
Außen	8,93	5,52	
Innen	7,25	5,00	



Zusammenstellung 12

Prüfung von Proben aus Trägern des Bauwerks G

Probe Nr.	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima τ_{sI} N/mm ²	II Wasserlagerung τ_{sII} N/mm ²	III Wechsellagerung τ_{sIII} N/mm ²
1	7,13	4,87	-
2	6,33	4,57	5,93
3	6,35	3,43	7,53
4	8,90	5,28	5,83
5	8,48	5,08	7,83
6	9,93	5,25	5,10
7	6,50	4,83	6,73
8	7,45	5,33	7,37
9	8,33	4,72	7,30
10	7,17	4,52	6,87
11	8,17	4,88	8,25
12	8,18	5,30	7,77
Gesamt- mittel	7,74	4,84	6,96
Außen	7,99	4,63	
Innen	7,49	5,04	



Zusammenstellung 13

Prüfung von Proben aus Trägern des Bauwerks H

Probe Nr.	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima	II Wasserlagerung	III Wechsellagerung
	τ_{sI} N/mm ²	τ_{sII} N/mm ²	τ_{sIII} N/mm ²
1	8,92	6,10	6,83
2	6,23	4,47	7,30
3	8,80	5,77	6,00
4	8,33	5,13	6,47
5	7,03	4,42	5,38
6	7,77	4,57	6,28
7	6,67	4,60	6,92
8	7,20	-	6,67
9	8,43	4,25	5,93
10	7,73	4,67	5,73
11	8,12	6,22	6,67
12	8,83	5,53	-
13	9,70	4,50	6,97
14	7,05	6,80	6,28
15	7,93	4,45	6,93
16	8,63	4,92	5,67
17	9,12	5,58	6,10
Gesamt- mittel	8,03	5,07	6,38
Außen	7,72	5,10	
Innen	8,30	5,04	



Zusammenstellung 14

Prüfung von Proben aus Trägern des Bauwerks I

Probe Nr.	Schерfestigkeit der Proben nach Lagerung		
	I Normalklima	II Wasserlagerung	III Wechsellagerung
	τ_{sI} N/mm ²	τ_{sII} N/mm ²	τ_{sIII} N/mm ²
1	7,52	4,88	5,85
2	7,60	4,88	8,33
3	7,88	4,50	6,28
4	6,42	5,12	5,02
5	6,73	4,98	-
6	5,73	3,90	5,77
7	-	3,90	-
8	8,45	3,65	6,38
9	-	5,37	4,25
10	6,67	-	-
11	7,40	3,95	6,38
12	7,72	5,47	8,72
13	8,20	4,93	3,72
14	7,50	4,21	6,60
Gesamt- mittel	7,32	4,60	6,12
Außen	6,38	4,64	
Innen	7,55	4,54	



Zusammenstellung 17

Mittlere Holzfeuchtigkeitsgehalte bei der Prüfung und mittlere Rohdichte des Holzes

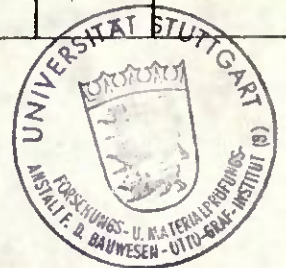
Träger bzw. Bauwerk	Holzfeuchtigkeitsgehalt in % nach Lagerung			Rohdichte kg/m ³
	I	II	III	
X	12,9	104,1	11,5	477
Y	11,8	90,9	11,3	406
Z	11,7	100,2	11,3	441
A	13,6	94,9	11,3	432
B	13,8	100,8	11,3	407
C	13,7	109,2	11,5	408
D	11,8	89,6	11,2	435
E	13,3	82,6	11,8	435
F	11,4	89,4	11,6	455
G	13,5	107,9	11,9	388
H	12,6	102,1	11,2	424
I	13,2	96,8	11,3	433
Mittel- wert	12,8	97,4	11,4	428



Zusammenstellung 18

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse absolute und relative Festigkeiten

Träger bzw. Bauwerk	Scherfestigkeit der Proben nach Lagerung								
	I-Normalklima 20/65			II-Wasserlagerung			III-Wechselagerung		
	τ_{sI} N/mm ²	τ_{sI} %	τ_{sI-YZ} %	τ_{sII} N/mm ²	τ_{sII} %	τ_{sII-YZ} %	τ_{sIII} N/mm ²	τ_{sIII} %	$\tau_{sIII-YZ}$ %
X	8,55	100	107,8	5,91	69,1	113,7	8,89	104,0	122,6
Y + Z	7,93	100	100	5,19	65,4	100	7,21	90,9	100
A	8,24	100	103,9	5,41	65,7	104,2	8,12	98,5	112,6
B	7,12	100	89,8	5,27	74,0	101,5	7,06	99,2	97,9
C	8,44	100	106,4	5,39	63,9	103,9	7,16	85,2	99,3
D	9,27	100	116,9	5,53	59,7	106,6	7,92	85,4	109,8
E	7,67	100	96,7	5,17	67,4	99,6	6,59	85,9	91,4
F	8,04	100	101,4	5,27	65,5	101,5	6,76	84,3	93,8
G	7,74	100	97,6	4,84	62,5	93,3	6,96	89,9	96,6
H	8,03	100	101,3	5,07	63,1	97,7	6,38	79,5	88,5
I	7,32	100	92,3	4,60	62,8	88,6	6,12	83,6	84,9
Gesamt- mittel A - I	7,99	100	100,8	5,17	64,7	99,6	7,01	87,7	97,2



Zusammenstellung 19

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse, statistische Auswertung

Träger bzw. Bauwerk	Scherfestigkeit, Standardabweichung und Variationskoeffizient der Versuchsergebnisse nach Lagerung								
	I-Normalklima 20/65			II-Wasserlagerung			III-Wechselagerung		
	r_{sI} N/mm ²	S N/mm ²	V %	r_{sII} N/mm ²	S N/mm ²	V %	r_{sIII} N/mm ²	S N/mm ²	V %
X	8,55	0,73	8,54	5,91	0,53	9,0	8,89	0,94	10,6
Y	8,33	1,44	17,3	5,26	0,63	12,0	7,90	1,69	21,4
Z	7,54	1,00	13,3	5,12	0,49	9,6	6,52	0,49	7,5
Y + Z	7,93	1,22	15,4	5,19	0,56	10,8	7,21	1,09	15,1
A	8,24	1,19	14,4	5,03	0,72	14,3	7,85	1,42	18,1
B	7,12	1,18	16,6	5,27	0,57	10,8	7,06	1,63	23,1
C	8,44	0,94	11,1	5,39	0,51	9,5	7,16	1,15	16,1
D	9,27	2,26	24,4	5,53	0,60	10,8	7,92	1,37	17,3
E	7,67	1,21	15,8	5,17	0,36	7,0	6,59	0,89	13,5
F	8,04	1,50	18,7	5,27	0,68	12,9	6,78	1,50	22,1
G	7,74	1,11	14,3	4,84	0,53	11,0	6,96	0,98	14,1
H	8,03	0,95	11,8	5,07	0,68	13,4	6,38	0,55	8,6
I	7,32	0,79	10,8	4,60	0,61	13,3	6,12	1,51	24,7
Gesamt- mittel A - I	7,99	1,24	15,5	5,13	0,58	11,3	6,98	1,22	17,5



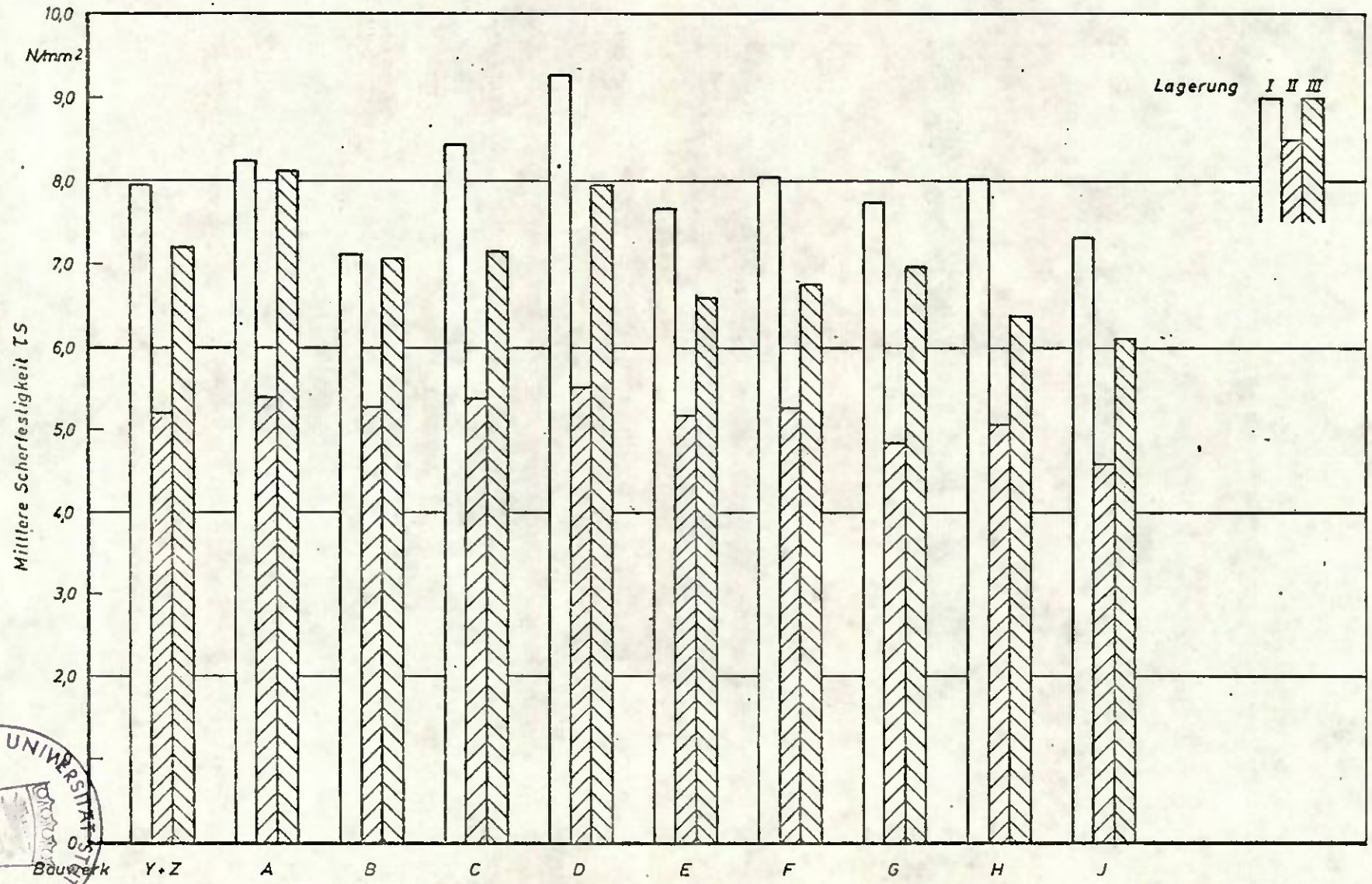
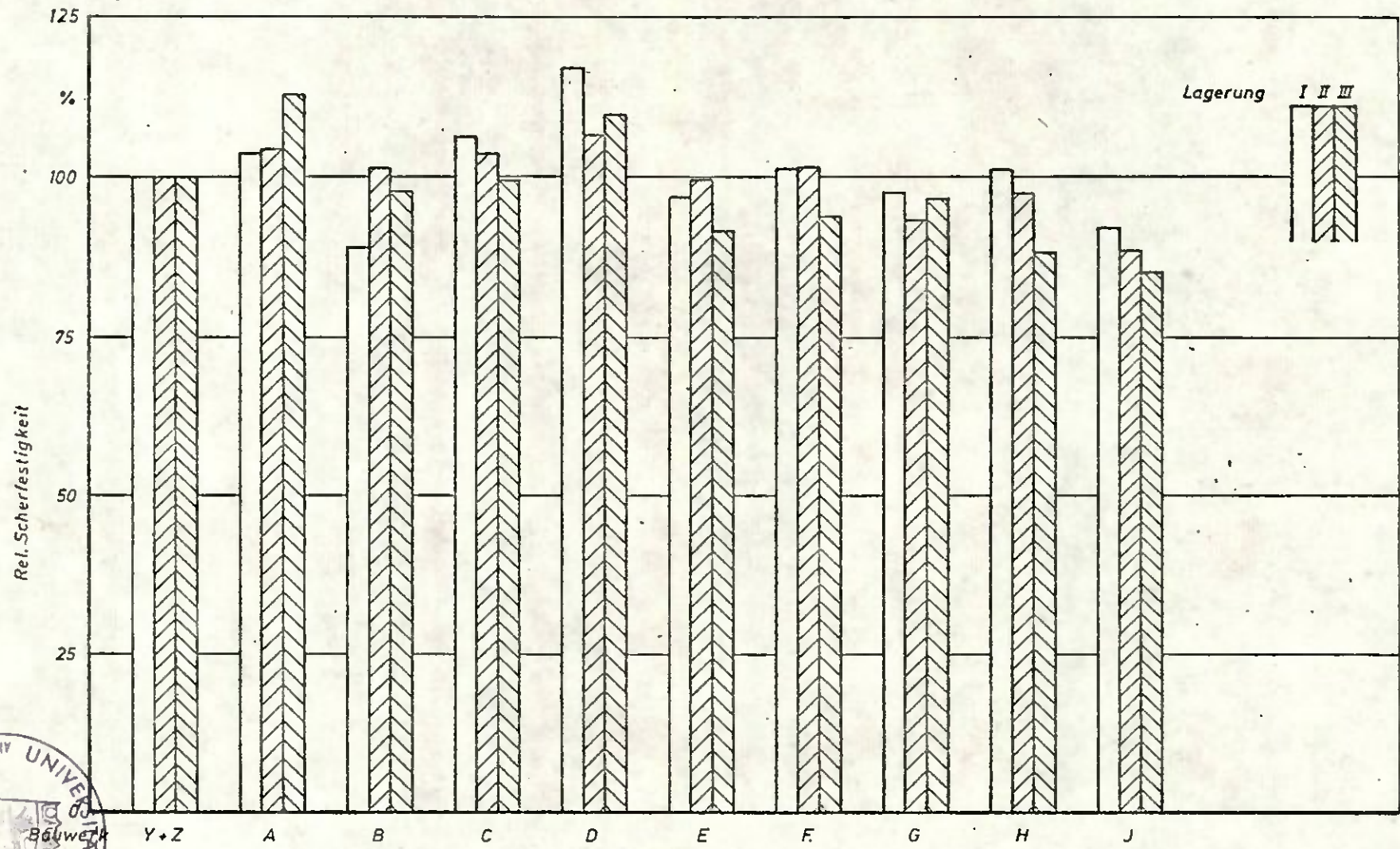


Abb. 6 Mittlere Scherfestigkeit nach der Lagerungsfolge I, II und III





Lagerung I II III

Rel. Scherfestigkeit



Abb. 7 Relative Scherfestigkeit nach den Lagerungsfolgen I, II und III

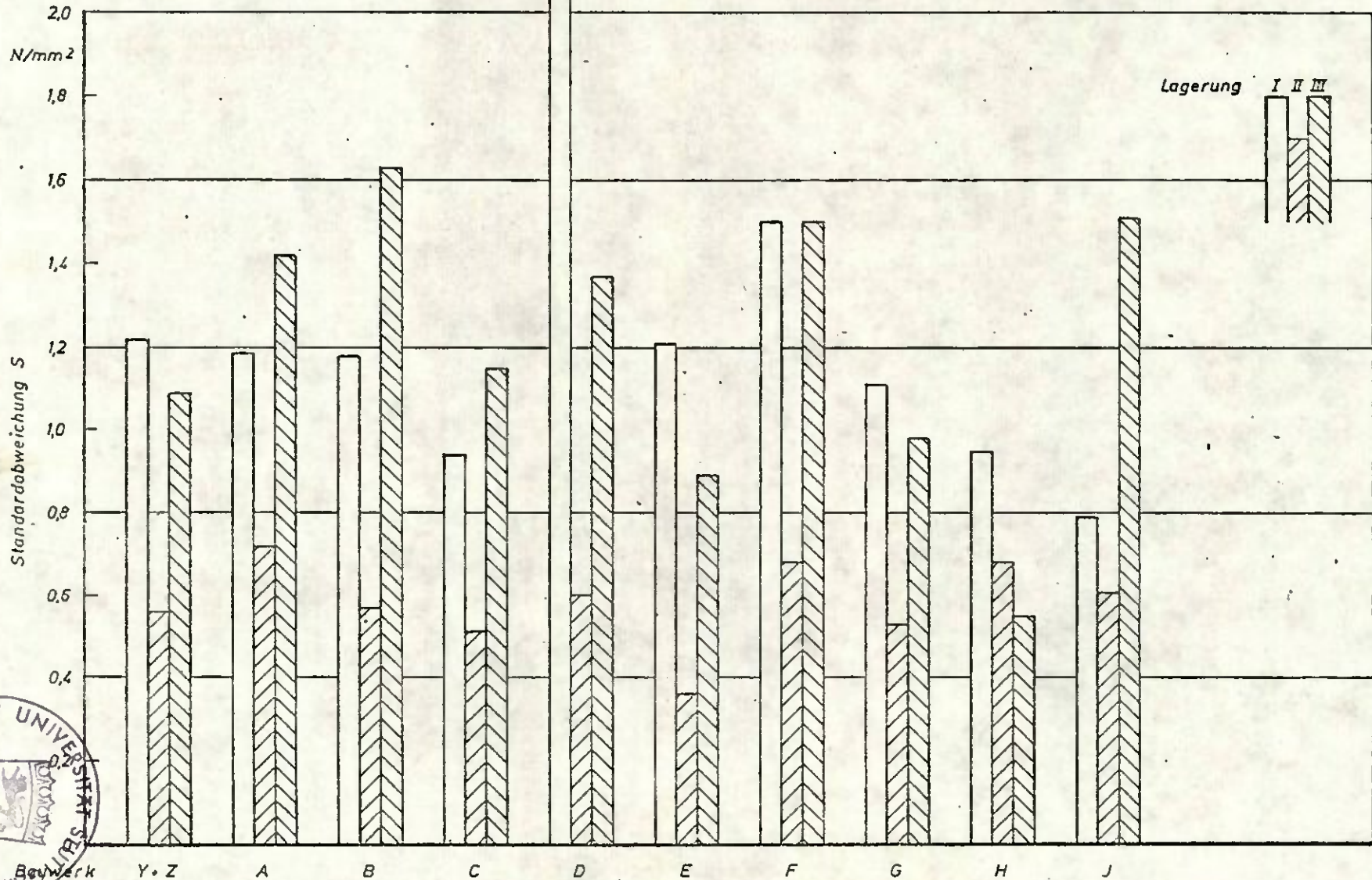


Abb. 8 Standardabweichung der Ergebnisse der Scherversuche nach den Lagerungsfolgen I, II und III.



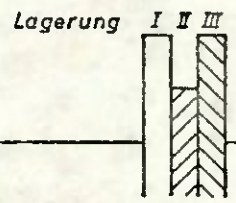
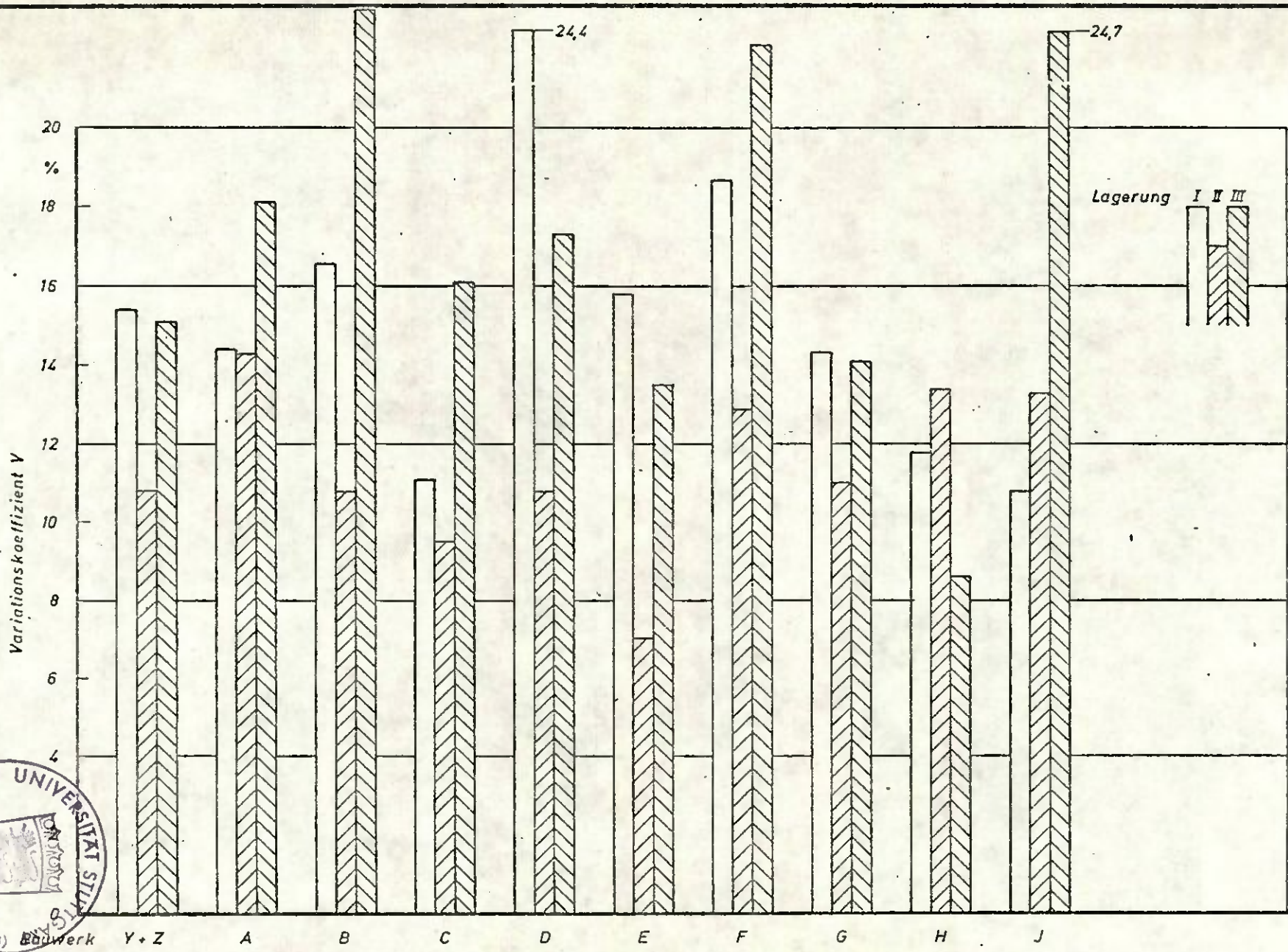


Abb. 9 Variationskoeffizient der Ergebnisse der Scherversuche nach den Lagerungsfolgen I, II und III.

Lagerung

Zweitausfertigung

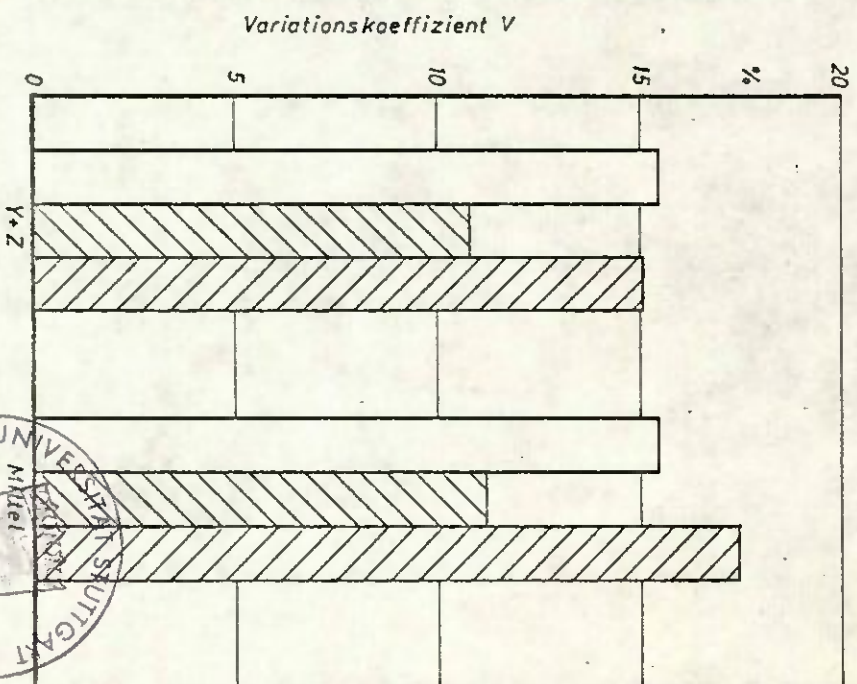
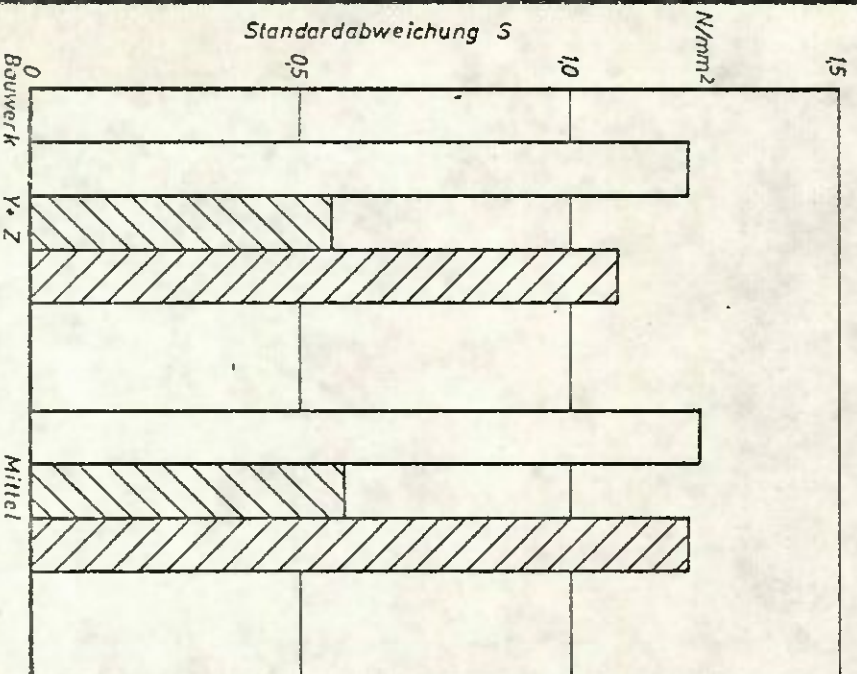
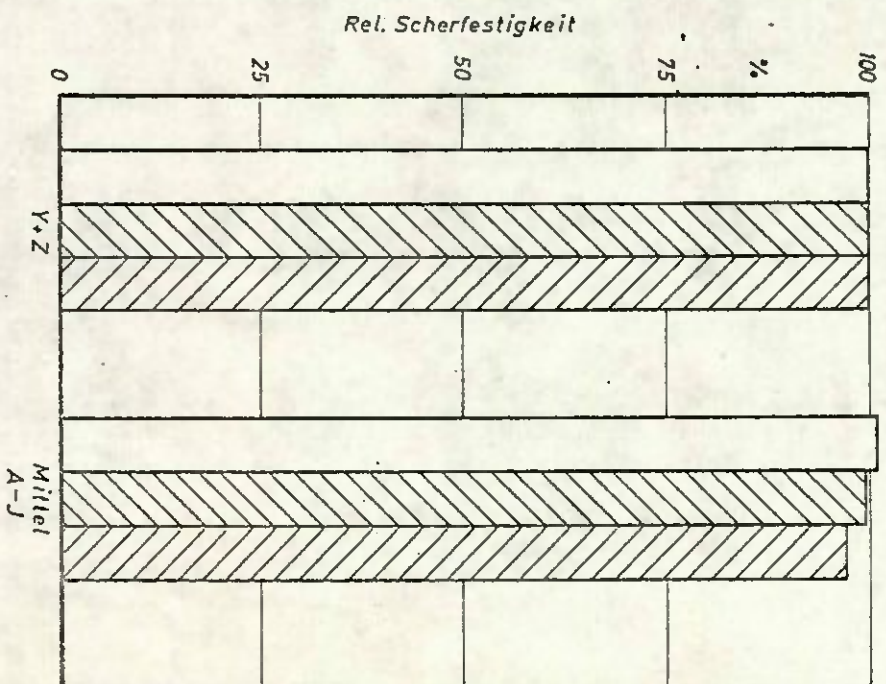
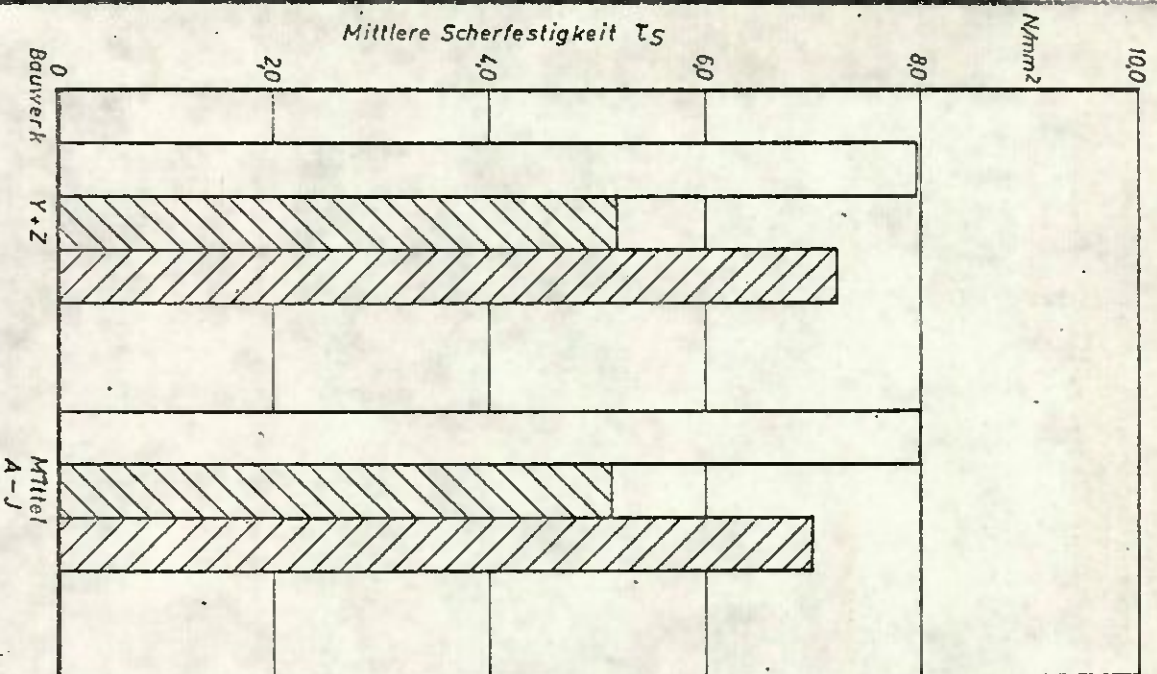
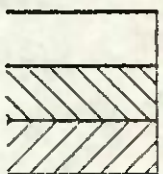
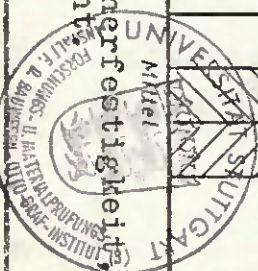
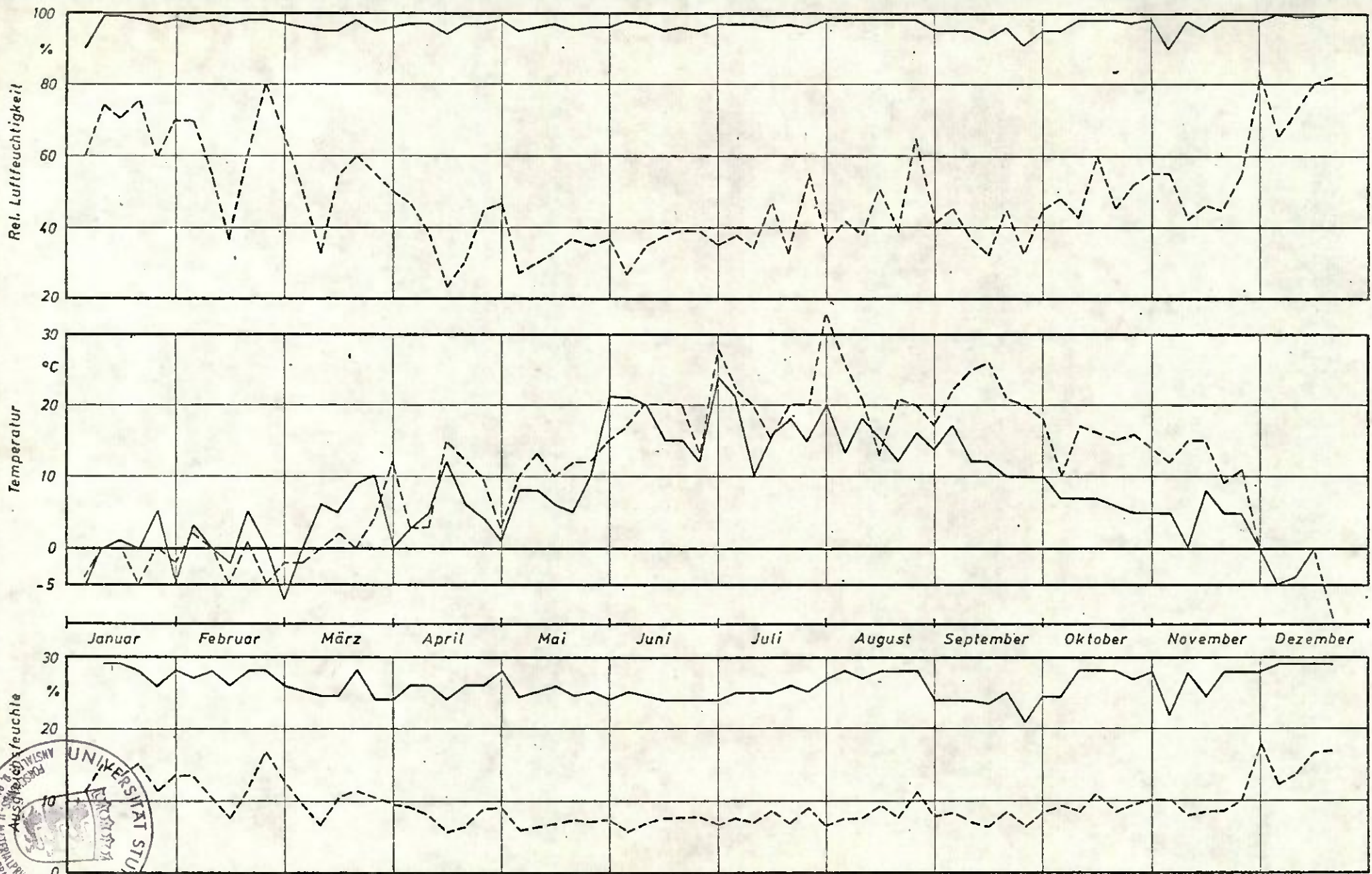
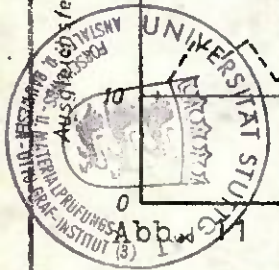


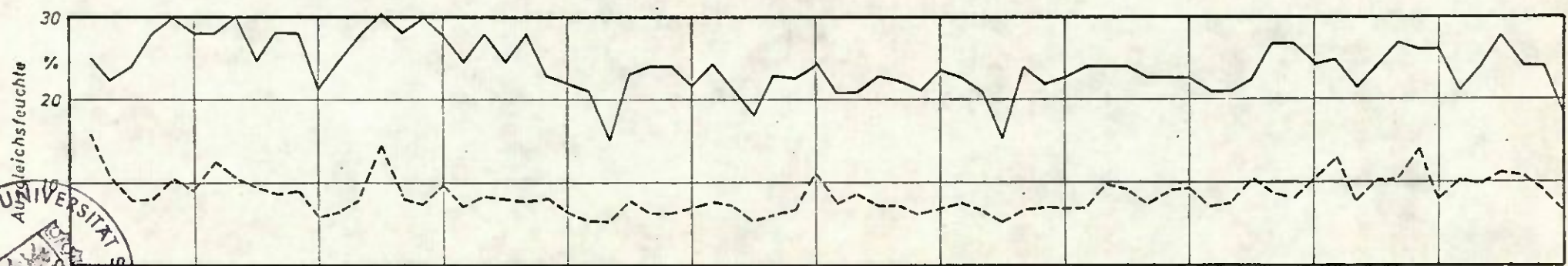
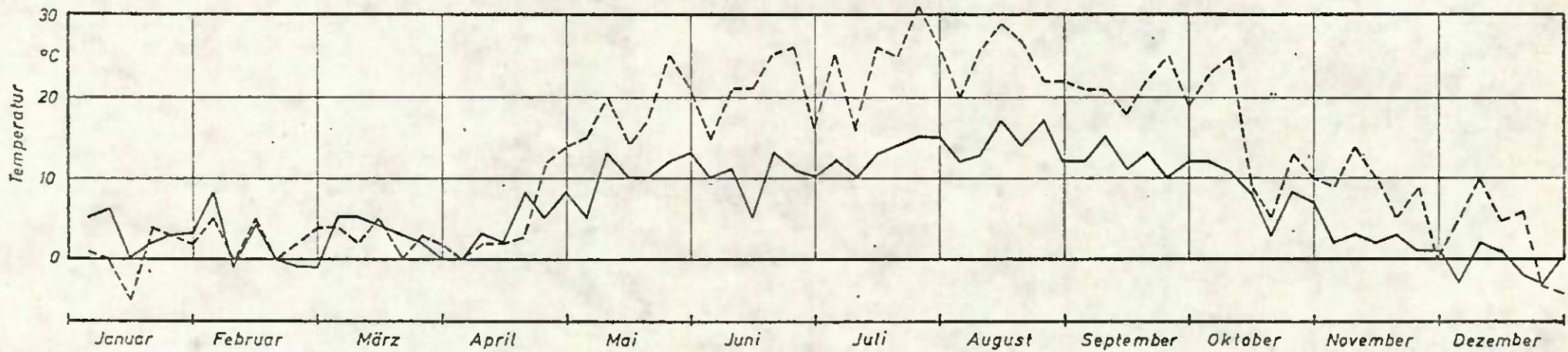
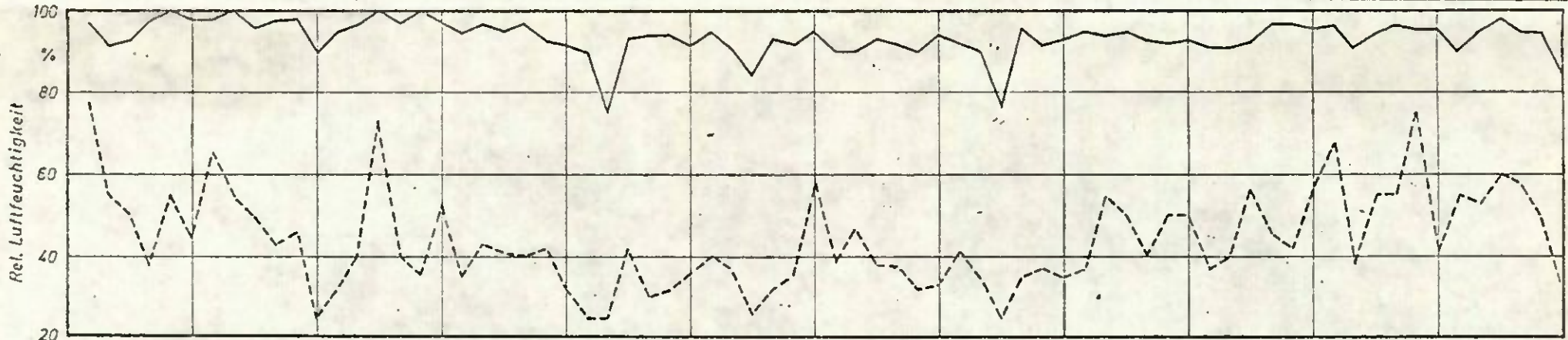
Abb. 9 Mittelwerte der Scherfestigkeit, relative Scherfestigkeit, Standardabweichung und Variationskoeffizienten





Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit, Temperatur und entsprechende Ausgleichsfeuchte im Jahre 1970 in einer allseitig offenen Lagerhalle; jeweils Größt- und Kleinstwerte.





Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit, Temperatur und entsprechende Ausgleichsfeuchte im Jahre 1975 in einer allseitig offenen Lagerhalle; jeweils Größt- und Kleinstwerte.

