

Quellung und Schrumpfung von Kunstharz-Preßstoffen auf Grundlage härtbarer Phenolharze

Arbeit zur Erlangung des Grades eines

Doktor-Ingenieurs

der Technischen Hochschule Berlin

vorgelegt am 22. April 1940

von

Richard R. Morhard, Dipl.-Ing.
aus Berlin

genehmigt am 3. Mai 1940

D 83

Berlin 1940

ISBN 978-3-662-26821-6 ISBN 978-3-662-28282-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-28282-3

Inhalt.

Anwendungsgebiete von Kunstharz-Preßstoffen und frühere Arbeiten	113
A. Versuchsaufbau	
1. Versuchsmaterial	115
2. Versuchsanordnung	115
B. Herstellung des Versuchsmaterials	
1. Rohstoffe	116
2. Harzaufbereitung	116
3. Tränkung der Gewebe	116
4. Verpressen	116
C. Durchführung der Versuche	
1. Herstellung der Versuchsplatten	117
2. Messen	117
3. Festigkeitsprüfung	117
4. Fehlermöglichkeiten	117
D. Auswertung der Meßergebnisse	
1. Hartgewebe	118
2. Hartpapiere	121
3. Ungeschichtete Preßstoffe	121
4. Dickenänderungen	122
5. Einfluß der Quellung und Schrumpfung auf die mechanischen Festigkeiten	123
E. Untersuchungen an Hartgeweben aus nicht saugfähigen Fasern und an reinem Preßharz	124
Zusammenfassung der Ergebnisse	125

Diese Arbeit erscheint gleichzeitig in der Zeitschrift
Kunststoff-Technik 10 (1940), Heft 5/6 (Mai/Juni), Seite 113 bis 126
Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Quellung und Schrumpfung von Kunstharz-Preßstoffen auf Grundlage härtbarer Phenolharze¹⁾.

Zum Studium der Quellungs- und Schrumpfungs-Erscheinungen von Kunstharz-Preßstoffen wurden Preßstoffe der verschiedensten Typen auf ihr Verhalten gegen Wasser und Öl untersucht. Bei möglichst übersichtlichen und einfachen Versuchsbedingungen wurden Versuchskörper in Form von ebenen Platten verwendet. Folgende Kunstharz-Preßstoffe wurden untersucht:

Typ Z1 und Z2, vier Klassen Hartpapiere; Typ T1 und T2, Hartgewebe aus Baumwolle, aus Mischgewebe und aus Zellwolle; Typ S aus Novolak und S aus Resol; ferner Hartgewebe aus Glasgewebe sowie Preßharz. Es wurde beobachtet, daß Anwendung von Druck eine erhebliche Abkürzung des Untersuchungsverfahrens gestattet. Weiter wurde festgestellt, daß der Einfluß der Harzträger auf die Quellung und Schrumpfung von entscheidender Bedeutung ist, daß aber auch der Aushärtungsgrad des Harzes (Bindemittels) mit eine Rolle spielt.

Anwendungsgebiete von Kunstharz-Preßstoffen und frühere Arbeiten.

Bei der Verwendung von Kunstharz-Preßstoffen für Gleitlager und Zahnräder liegt der Hauptunterschied gegenüber Metall-Lagern in der sehr niedrigen Wärmeleitzahl des Kunstharz-Preßstoffes, die bei Metall-Lagern rund 200 mal so groß wie bei Kunstharz-Preßstoff-Lagern ist²⁾.

Tafel 1. Wärmeleitzahlen.

	cal/cm sec °C	kcal/m h °C
Kunstharz-Preßstoff	0,0008	0,29
Lagerbronze	0,12 bis 0,17	43 bis 61
Stahl	0,07 bis 0,13	25 bis 47

Es geht aus diesen Zahlen hervor, daß eine günstige Eigenschaft der Metall-Lager, die schnelle Abführung der Wärme von der Welle und vom Lager, hier fehlt. Dazu kommt, daß geschichtete Kunststoffe wegen ihrer Zusammensetzung aus organischen Stoffen Dauertemperaturen von 100° C nur kurze Zeit und über 120 bis 150° C überhaupt nicht überstehen können³⁾. Diese Tatsachen verlangen, daß durch geeignete Kühlung die auftretende Reibungswärme sofort abgeführt wird, da sonst durch Wärmestauungen ein Fressen des Zapfens im Lager eintritt. Auch in anderen für die Anwendung als Gleitlager wichtigen Werten sind bedeutende Unterschiede festzustellen (s. Tafel 2).

Die verwendeten Kühl- und Schmiermittel sind Wasser, Emulsionen oder Öle. Je nach der Anwendung dieser Schmier- und Kühlmittel sowie den im Lager auftretenden Temperaturen wurde eine Quellung oder Schrumpfung des Preßstoffes festgestellt. Die Lagerbüchsen und Zahnräder änderten sich maßlich derart, daß trotz Temperaturen unter 100° C Fressen eintrat, oder daß das durch Schrumpfen sehr vergrößerte Spiel zum Schlagen oder

¹⁾ Die vorliegende Arbeit wurde ausgeführt im Institut für Kunststoffe und Anstrichforschung, Vierjahresplan-Institut an der Technischen Hochschule Berlin, Leiter Prof. Dr.-Ing. W. Röhrs.

²⁾ Erk, S.: Kunst- und Preßstoffe 1, S. 37, Berlin 1937, VDI-Verlag.

³⁾ Achilles, O.: Kunst- und Preßstoffe 2, S. 34. Berlin 1937, VDI-Verlag.

Tafel 2. Eigenschaften von Gleitlagerstoffen⁴⁾.

	Kunstharz-Preßstoff	Lagerbronze	Stahl
Wichte kg/dm ³	1,4	7,9	7,86
Elastizitätsmodul kg/cm ²	70 000 bis 100 000	1 130 000	2 200 000
Lineare Wärmedehnzahl je °C zwischen 0 und 50° C	15 bis 25 · 10 ⁻⁶	17 bis 19 · 10 ⁻⁶	11 bis 12,5 · 10 ⁻⁶

zum Wandern der Büchsen auf dem Zapfen führte. Alle diese Beobachtungen und Kenntnisse stammen erst aus jüngster Zeit, was u. a. hervorgeht aus Hinweisen von O. Achilles⁵⁾, der noch 1937 empfahl, stets die Schmierung von Kunstharz-Preßstoff-Lagern mit denselben Mitteln vorzunehmen, die bei Metall-Lagern angewendet werden, da ja bei beiden die Voraussetzungen die gleichen seien. Aber schon im selben Jahre betonte P. Grodzinski⁶⁾ den Unterschied zwischen Kühlung und Schmierung und empfahl zur Vermeidung von Wärmestauungen in Gleitlagern den Gebrauch von Wasser. Durch das Verdampfen des Wassers bei Temperaturen über 100° C, wie sie an solchen Wärmestauen auftreten, wird durch die Verdampfungswärme des Wassers den Gleitflächen soviel Wärme entzogen, daß diese als unmittelbar gekühlte Flächen anzusehen sind⁸⁾. Im gleichen Sinne schreibt auch R. Lepsius⁹⁾ im gleichen Jahr über die Verwendung von Wasser als Kühlmittel, und zu gleichen Feststellungen kommt 1938 P. Beuerlein¹⁰⁾, der näher auf die Verwendung von Ölen und Emulsionen als Kühl- und Schmiermittel eingeht.

Die Anwendungsmöglichkeiten für Kunstharz-Preßstoff-Lager und -Zahnräder sind schon heute äußerst mannigfaltig. Es gehören hierzu Dampfkraftwerke¹¹⁾, elektrische Kraftwerke¹²⁾ sowie Gas- und Wasserwerks-Betriebe¹³⁾. Für Walzwerke in Stahlwerken war der Bedarf 1937 schon so groß, daß Anfang 1938 mehr als die Hälfte aller vorhandenen deutschen Walzwerke keine Gleitlager aus Bunt-Metallen mehr verwendeten, sondern sich ganz auf Kunstharz-Preßstoffe umgestellt hatte¹⁴⁾. So wie hier ging man auf anderen Gebieten, wie im Kran-

⁴⁾ Römmlerbuch, S. 131. Herausgeber H. Römmler, A.G., Spremberg 1938.

⁵⁾ Achilles, O.: Kunst- und Preßstoffe 2, S. 34. Berlin 1937, VDI-Verlag.

⁶⁾ Achilles, O.: Plast. Massen Wiss. Techn. 7 (1937), S. 208.

⁷⁾ Grodzinski, P.: Kunststoffe 27 (1937), S. 129.

⁸⁾ Albrecht, K. H.: Gas- und Wasserfach 81 (1938), S. 2.

⁹⁾ Kränzlein, G. und R. Lepsius: Kunststoff-Wegweiser, S. 50. Berlin 1937, Verlag Chemie.

¹⁰⁾ Beuerlein, P.: Z. VDI 80 (1938), S. 60.

¹¹⁾ Niggemeyer, A.: Arch. Wärmewirtschaft 19 (1938), S. 60.

¹²⁾ Ellrich, W.: Elektrische Wirtschaft 37 (1938), S. 135.

¹³⁾ Nöll, A.: Stahl u. Eisen 58 (1938), S. 188.

¹⁴⁾ Armbruster, F.: Industrieblatt 42 (1937), Nr. 28, S. 28.

bau¹⁵⁾, bei Feldbahnen¹⁶⁾, Lokomotiven und Straßenbahnen¹⁷⁾, in der Zement-Industrie¹⁸⁾, in der Bau-Industrie¹⁹⁾ und im Bergbau²⁰⁾, mehr und mehr zu diesem Werkstoff über. Die Verwendung wurde so allgemein, daß 1939 über die Gestaltung und Verwendung von Gleitlagern und -Büchsen aus Kunstharz-Preßstoffen Richtlinien herausgegeben wurden²¹⁾. Die günstigen Eigenschaften dieses Werkstoffes wurden aber auch im Ausland erkannt, und man widmet ihm dort mehr und mehr Aufmerksamkeit^{22), 23)}.

Die Wasser- und Ölbeständigkeit interessiert auch bei einer Reihe anderer Kunstharz-Preßstoffe, da diese mit zunehmender Einführung als Werkstoffe in den verschiedensten Industrien Anwendung finden oder finden werden. Es sind dies die

Hartpapiere und die Preßstoffe Typ Z1, Z2, Z3; Hartgewebe und die Preßstoffe Typ T1, T2, T3; die Preßstoffe Typ S aus Novolak und Typ S aus Resol.

Man stellt an Baustoffe der Typen T1, T2 und T3 sowie der Typen Z2 und Z3 besondere Anforderungen in bezug auf Festigkeit. Für Auto- und Motorrad-Karosserien hat man in den letzten Jahren mit Erfolg Materialien aus diesen Typen angewendet^{24), 25), 26)}. Ebenso ist die Flugzeug-Industrie von Versuchen zur praktischen Anwendung übergegangen und hat besonders Materialien Typ T2 und T3 verwendet²⁷⁾. Die Preßstoffe Typ Z1, Z2 und Z3 haben in der Färberei²⁸⁾, Innenarchitektur in Bauten²⁹⁾ und auf Schiffen³⁰⁾, sowie in der Radio-Industrie für Großlautsprecher und in der Chemischen Industrie für Pumpen u. ä.³¹⁾ Eingang gefunden. Oft wird man die mechanischen Eigenschaften auch dann schätzen und mit ihnen rechnen, wenn sie nicht den Hauptgrund für die Anwendung bilden, wie z. B. in der Elektrotechnik, wo bei großen Schaltern die guten Festigkeiten der Hartpapierrohre und -bauteile neben den elektrischen Eigenschaften wichtig sind.

Größere Verwendung von Materialien Typ S als Baustoffe sind z. B. bei der Eisenbahn³²⁾, im Baugewerbe³³⁾, in der Photographie³⁴⁾ und in der chemischen Industrie³⁵⁾ bekannt geworden. Auch die nach dem Strangpreß-Verfahren³⁶⁾ gefertigten Bauteile aus Typ S beweisen die gute Verwendungsmöglichkeit.

Über die Vor- und Nachteile von Kunstharz-Preßstoff-Lagern führt K. Brandenburger³⁷⁾ folgendes an:

- ¹⁵⁾ Lehr, E.: Kunststoffe 27 (1937), S. 113.
- ¹⁶⁾ Mäkel, H.: Mitt. Forsch.-Inst. f. Maschinenwesen b. Baubetrieb, Heft 11. Berlin 1939, VDI-Verlag.
- ¹⁷⁾ Kunstharze u. a. plast. Massen 8 (1938), S. 233.
- ¹⁸⁾ Achilles, O.: Zement 27 (1938), S. 18.
- ¹⁹⁾ Garbotz, G.: Rundschau techn. Arbeit 17 (1937), Nr. 44, S. 8.
- ²⁰⁾ Schulze, G.: Glückauf 74 (1938), S. 45.
- ²¹⁾ Richtlinien für die Gestaltung und Verwendung von Gleitlagern und Büchsen aus Kunstharz-Preßstoff. Berlin 1939, VDI-Verlag.
- ²²⁾ Pelly, J. F.: Iron Age 140 (1937), Nr. 26, S. 34.
- ²³⁾ Automobiltechn. Z. 41 (1938), S. 22.
- ²⁴⁾ Christoph, Ch.: Motorrad 19 (1939), S. 527.
- ²⁵⁾ Römer, E.: Kunststoffe 28 (1938), S. 89.
- ²⁶⁾ Chem. Ind., Gem. Ausg. 61 (1938), S. 205.
- ²⁷⁾ Chem. Ind., Nachr. Ausg. 62 (1939), S. 522.
- ²⁸⁾ Plastics 2 (1938), S. 52.
- ²⁹⁾ Sherwood, A. W.: Brit. Plast. 9 (1938), S. 473.
- ³⁰⁾ Hayward, A.: Modern Plast. 15 (1938), Heft 11, S. 28.
- ³¹⁾ Laehr, W.: Kunststoffe 28 (1938), S. 57.
- ³²⁾ Dreyfuss, H.: Modern Plast. 15 (1938), Heft 11, S. 21.
- ³³⁾ Götting, H.: Kunstharz u. a. plast. Massen 8 (1938), S. 137.
- ³⁴⁾ Laysieffer, G.: Kunststoffe 28 (1938), S. 52.
- ³⁵⁾ Mehdorn, W.: Kunststoffe 28 (1938), S. 85.
- ³⁶⁾ Tochtermann, W.: Kunststoffe 29 (1939), S. 71.
- ³⁷⁾ Brandenburger, K.: Kunststoff-Ratgeber, S. 179. Essen 1939, Verlag W. Girardet.

- Nachteile:
1. Geringere Wärmeleitfähigkeit
 2. Geringere Genauigkeit
- Vorteile:
1. Geringere Schmutzempfindlichkeit
 2. Erhöhte Lebensdauer
 3. Geringerer Gleitwiderstand
 4. Niedrigerer Elastizitäts-Modul

- Folgen:
- Nicht dort anzuwenden, wo geringe Kühlmöglichkeiten und große Drücke und hohe Umfangsgeschwindigkeiten vorliegen.
- Vergrößertes Lagerspiel; deshalb keine großen Drücke und hohe Umfangsgeschwindigkeiten möglich.
- Folgen:
- Erhöhte Lebensdauer.
- Größere Wirtschaftlichkeit durch Einsparen von Reparaturen und Vermeidung der Stilllegung von Maschinen.
- Kraftersparnis.
- Bessere Dämpfung von Stößen und Schwingungen.

Trotz der Einflüsse der Kühl- und Schmiermittel auf Kunstharz-Preßstoffe wurde bisher auf diesem Gebiet nur wenig geforscht. P. Beuerlein und A. Reinartz³⁸⁾ berichten 1937, P. Beuerlein³⁹⁾ 1939 über Versuche, die sich mit diesem Problem beschäftigen. Da es sich hierbei um die ersten veröffentlichten Arbeiten dieser Art handelt, sei kurz darauf eingegangen.

P. Beuerlein und A. Reinartz verwendeten für ihre Quellversuche Lagerbüchsen, die aus Typ T2 gepreßt und aus Typ T3 gewickelt und in Formen nachgepreßt waren. Um möglichst die Verhältnisse im Lager nachzuahmen, wurden die Büchsen in ein innen ausgedrehtes Stahlrohr mit Übermaß fest eingedrückt. Für diese Quellversuche verwendeten die Verfasser reine, gefettete und geschwefelte Mineralöle verschiedener Viskosität, ferner Fette, Emulsionsfette, Emulsionen von verschiedenen p_H -Werten und Wasser von verschiedenen p_H -Werten. Die zu untersuchenden Büchsen, die der Bearbeiter nicht selbst hergestellt, sondern fertig von der Industrie bezogen hatte, wurden in die oben genannten Schmiermittel eingelegt und nach bestimmten Zeiten die Veränderungen der Innendurchmesser gemessen. Die größten maßlichen Veränderungen bewirkten Wasser und wässrige Emulsionen, wesentlich geringere die Öle und Fette. Die Quellneigung war bei höheren Temperaturen größer als bei niedrigen. Beim Einlegen in die verschiedenen Tränkbäder wurden bei 20° C keine maßlichen Veränderungen festgestellt. Erst wenn man die Temperatur auf 50° C erhöhte, konnten solche Änderungen gemessen werden. Bei Büchsen, die in Öl geringerer Viskosität gelagert waren, zeigte sich eine stärkere Änderung als in Ölen höherer Viskosität.

Diese Arbeiten gingen an das Problem der Quellung und Schrumpfung von der Seite der Kühl- und Schmiermittel heran, die in der Praxis zur Anwendung gelangen sollten. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse sind wichtig für die richtige Auswahl der zu verwendenden Öle und Fette sowie für die Kenntnis der Größe des einzuhaltenden Lagerspiels. Wegen der großen maßlichen Veränderungen der Kunstharz-Preßstoffe müssen größere Toleranzen zugestanden werden. Auf diese Tatsache und auf die Bedeutung des Lagerspiels bei Gleitlagern aus Kunstharz-Preßstoff wiesen E. Heidebroek^{40), 41)}, E. Thiessen⁴²⁾ und E. Lehr⁴³⁾ in ihren Arbeiten wiederholt hin.

- ³⁸⁾ Beuerlein, P. und A. Reinartz: Kunststoffe 27 (1937), S. 32.
- ³⁹⁾ Beuerlein, P.: Kunststoffe 29 (1939), S. 49.
- ⁴⁰⁾ Heidebroek, E.: Kunststoffe 27 (1937), S. 263.
- ⁴¹⁾ Heidebroek, E.: Kunststoffe 28 (1938), S. 214.
- ⁴²⁾ Thiessen, E.: Kunststoffe 27 (1937), S. 290.
- ⁴³⁾ Lehr, E.: Kunststoffe 28 (1938), S. 161.

Über den Einfluß des Harzträgers sowie des Harzgehaltes von Kunstharz-Preßstoffen auf die Wasseraufnahme bei langer Lagerung in Wasser berichtete W. Zebrowski⁴⁴⁾.

Über Quellversuche an sechs verschiedenen Hartpapierarten auf Phenol/Kresol-Grundlage in Wasser bei 20° C und auch bei 100° C berichtete W. Paul⁴⁵⁾.

Der Kunstharz-Preßstoff selbst, d. h. seine Zusammensetzung und seine Verarbeitung, ist für die Quellungs- und Schrumpfungerscheinungen maßgebend. Die Vorbehandlung der Preßteile, ihre preßtechnische Verarbeitung sowie ihre Nachbehandlung sind für das fertige Werkstück genau so ausschlaggebend wie der Kondensationsgrad des verwendeten Harzes, dessen chemische Ausgangsstoffe und die verschiedenen Harzträger.

Die bisherigen Arbeiten haben klar und eindeutig gezeigt — was auch mit den Erfahrungen in der Industrie übereinstimmt —, daß die Veränderungen des Kunstharz-Preßstoffes nicht in kurzer Zeit vor sich gehen, sondern sich über Monate hinaus erstrecken. Man hat bisher, um eine Quellung möglichst lange hinauszuzögern, bei der Herstellung der Lager darauf geachtet, daß sie gut ausgehärtet waren. Um eine Verteuerung durch sehr langes Pressen zu verhindern, ging man dazu über, in heizbaren Schränken die fertigen Lager und Zahnräder bei Temperaturen über 100° C noch einige Tage nachzuhärten, und man verband dies mit einer weiteren Nachbehandlung, nämlich dem Lagern („Auskochen“) in heißem Öl während mehrerer Stunden oder gar Tage. Man erhielt so einen gut ausgehärteten Preßstoff, bei dem die unangenehme Neigung zur maßlichen Veränderung im Betrieb zum Teil schon vorweg genommen war. Die nun noch eintretende Quellung konnte man bisher nicht mehr verkleinern oder gar verhindern. Bei laboratoriumsmäßigen Untersuchungen war man ebenfalls gezwungen, um der tatsächlichen Endquellung nahe zu kommen, Kunstharz-Preßstoffe in den betreffenden Kühl- und Schmiermitteln während einer sehr langen Zeitdauer zu lagern.

Wenn es gelänge, durch irgendwelche Maßnahmen eine Beschleunigung der Quellung und damit eine Kürzung der Untersuchungsdauer herbeizuführen, gleichzeitig sich dem Endpunkt der Quellung und Schrumpfung zu nähern, so wäre — zumindest für das Laboratorium — ein größerer Fortschritt erzielt. Es sollte mit dieser Arbeit versucht werden, dieses Ziel dadurch zu erreichen, daß die Tränkung der verschiedenen Kunstharz-Preßstoffe in einem Autoklaven unter Druck vorgenommen wird, ähnlich wie man für Weichgummi die Alterungsprüfung in der Bierer-Davis-Bombe durchführt. Es wurde zu Anfang vermutet, daß man, um zu wirklich tragbaren kurzen Untersuchungszeiten zu gelangen, sehr hohe Drücke anwenden müsse. Im Laufe der Arbeit hat sich aber ergeben, daß tatsächlich schon verhältnismäßig geringe Drücke genügen, um wesentlich schneller als ohne Überdruck dem Endzustand der Quellung oder Schrumpfung nahe zu kommen. Auf die Bedeutung dieser Erkenntnis für die Nachbehandlung der Kunstharz-Preßstoffe in der Industrie wird am Ende dieser Arbeit noch einzugehen sein.

A. Versuchsaufbau.

1. Versuchsmaterial.

Bei den Versuchen mit den Hartgeweben (s. S. 116) kam es mit darauf an, zu ermitteln, mit welchem Erfolg sich ein beliebiges Zellwollgewebe als Harzträger verwenden läßt. Es sollte festgestellt werden, welche Vor- und Nach-

teile der Einsatz von Zellwolle in diesem Fall — möglicherweise in Form eines Mischgewebes — für die Kunstharz-Preßstoffe hat, und wie er sich auf deren Eigenschaften auswirkt.

Als Versuchsmaterial wurden alle Kunstharz-Preßstoffe der Typentafel⁴⁶⁾ herangezogen, die nach Normblatt DIN 7701 als Baustoffe in Frage kommen. Es sind dies: Preßstoffe Typ T1 und Typ T2, Hartgewebe Klasse F und Klasse G, Preßstoffe Typ Z1 und Typ Z2, Hartpapiere, Preßstoffe Typ S aus Novolak (ammoniakhaltig) und Typ S aus Resol (ammoniakfrei).

Für die Herstellung der Hartgewebe wurden drei verschiedene Gewebearten verwendet:

1. Reines Baumwollgewebe,
2. Mischgewebe aus 80% Baumwolle und 20% Zellwolle,
3. Reines Zellwollgewebe.

Von den Hartpapieren wurde je eines der folgenden Klassen⁴⁷⁾ untersucht:

1. Klasse I, Qualität „Konstruktion“,
2. Klasse II, Qualität „Stanz“,
3. Klasse III, Qualität „Telefon“,
4. Klasse IV, Qualität „Supra“.

Die Hartpapiere Klasse I und Klasse II waren auf Natronpapier, die der Klasse III und Klasse IV auf Baumwollpapier aufgebaut⁴⁸⁾.

2. Versuchsanordnung.

Für die Untersuchungen ohne Druckanwendung wurden Platten mit den Maßen 100 × 100 × d mm, für die mit Druck 40 × 200 × d mm verwendet⁴⁹⁾. Im ersten Falle wurden die Platten in innen emaillierte Kästen von quadratischem Querschnitt gehängt, die in Temperaturschränke (Einstellgenauigkeit ± 1° C) gestellt wurden. Im zweiten Fall kamen die Platten in einen aufrecht stehenden, innen emaillierten Autoklaven mit elektrischer Heizung und Selbstregelung (± 0,5° C), der auf 100 atü Gebrauchsdruck geprüft war. Der Druck wurde mit Stickstoffgas hergestellt, das Kunstharz-Preßstoffen und dem verwendeten Drucköl (Mineralöl) gegenüber indifferent ist. In allen Fällen wurde als Ausdruck der Gewichtsveränderung „Vol. %“ gewählt.

In diesem Ausdruck sind die spezifischen Gewichte der untersuchten Stoffe und der Tränkmittel mit berücksichtigt und erst so Vergleiche der verschiedenen Typen miteinander möglich. (% Gewichtsveränderung bezogen auf 100 cm³ unbehandelten Kunstharz-Preßstoffes.) Die Vol.-%-Berechnung ist von der Gestalt abhängig die das Untersuchungsmaterial besitzt, denn die Quellung von Kunstharz-Preßstoffen verläuft in den oberen Schichten schneller als im Inneren. Trotzdem sind unmittelbare Vergleiche zulässig, denn es war in diesem Fall ja für genaue Festlegung der Maße gesorgt.

Es wurden weiter die Dickenänderungen gemessen, die die Kunstharz-Preßstoffe bei Wasser- und Öllagerung erfahren. Erst aus dem Zusammenklang dieser beiden Meßergebnisse läßt sich feststellen, wie klein die Toleranzen für Fertigteile gewählt werden dürfen.

Als Untersuchungstemperaturen wurden 20° und 90° C gewählt. Nachdem in den ersten Versuchsergebnissen ohne

⁴⁶⁾ Plast. Massen Wiss. Techn. 7 (1937), S. 340.

⁴⁷⁾ VDE 0318; Elektrotechn. Z. 58 (1937), S. 437 u. 459; 59 (1938), S. 205.

⁴⁸⁾ Mitteilung des Lieferers, s. Fußnote 54, S. 116.

⁴⁹⁾ Die Form des benutzten Autoklaven erforderte die Änderung der Plattenmaße; da die Idee der Druckanwendung erst später aufkam, konnten die quadratischen Platten nicht behalten werden.

⁴⁴⁾ Zebrowski, W.: Elektrotechn. Z. 52 (1931), S. 1353.

⁴⁵⁾ Paul, W.: Kunststoffe 29 (1939), S. 161.

Druckanwendung die große Temperaturabhängigkeit der Quellung und Schrumpfung festgestellt war, wurden alle weiteren Versuche bei 90° C ausgeführt, um so schneller zu Resultaten zu gelangen. Diese Temperatur wurde deshalb gewählt, weil sie die höchste ist, die den Kunstharz-Preßstoffen ohne ungünstige Einwirkung auch längere Zeit zugemutet werden darf⁵⁰⁾. Bei 100° C liegt die Grenze dieser Zulässigkeit, die nur für ganz kurze Zeit bis zu 120° oder 130° C bei den Typen T1 bis T3 einmal überschritten werden darf, wenn keine Zerstörungen eintreten sollen.

Zuerst wurden die Untersuchungen — um eine Vergleichsgrundlage zu schaffen — bei den Hartgeweben aus Baumwolle und Mischgewebe ohne Druck durchgeführt. Alle übrigen Versuche wurden mit 50, 10 und 2 atü gemacht. Diese Reihenfolge ergab sich aus den Untersuchungen, nachdem sich gezeigt hatte, daß dieselben Wirkungen wie bei hohen auch bei geringeren Drücken eintreten, so daß es bequemer und — im Hinblick auf die industrielle Anwendung — wirtschaftlicher ist, mit möglichst niedrigen Drücken zu arbeiten.

B. Herstellung des Versuchsmaterials.

1. Rohstoffe.

Für die Herstellung der Hartgewebe wurde ein Kresol-Resol-Harz benutzt⁵¹⁾. Als Gewebe wurden reines Baumwollgewebe, Mischgewebe aus 80% Baumwolle und 20% Zellwolle sowie reine Zellwollgewebe verwendet⁵²⁾. Von jeder Sorte wurde ein Fein- und ein Grobgewebe benutzt. Die Gewebe wurden vergleichsweise textiltechnisch auf ihre Eigenschaften untersucht: Tafel 4.

Tafel 4. Eigenschaften der Gewebe.

	Zerreißeigenschaft kg/cm ²		Dehnung %		Fäden je cm		g/m ² Gewicht	Dicke mm
	Kette	Schuß	Kette	Schuß	Kette	Schuß		
Baumwolle:								
grob { von	25,7	21,8	37,9	11,8	17	13	510	0,69
{ bis	27,3	24,2	41,5	13,2	18			0,73
fein . . .	7,2	7,5	18,0	10,8	23	23	140	0,27
Mischgewebe								
20/80:								
grob . . .	24,6	29,3	37,4	14,4	17	14	510	0,68
fein . . .	7,4	7,3	9,5	10,0	24	24	140	0,26
Zellwolle:								
grob . . .	24,8	30,0	24,0	32,5	17	13	590	0,72
fein . . .	15,4	17,4	10,0	11,6	16	16	144	0,24

Es wurden ferner untersucht die Preßstoffe⁵³⁾

- Typ Z1 [Sorte 1550]
- Typ Z2 [Sorte 2550]
- Typ T1 [Sorte 1450]
- Typ T2 [Sorte 6313]
- Typ S (Nov) [Sorte 670 natur] aus Novolak
- Typ S (Res) [Sorte 6654 braun] aus Resol

und folgende Hartpapiere⁵⁴⁾:

⁵⁰⁾ Achilles, O.: Kunst- und Preßstoffe 2, S. 34. Berlin 1937, VDI-Verlag.

⁵¹⁾ Das Harz wurde von der Fa. Aug. Nowack A.G., Bautzen für die Hartgewebe-Herstellung entwickelt und wird unter der Bezeichnung Neoresit-Harz D seit langem verwendet.

⁵²⁾ Die Baumwoll- und Mischgewebe wurden von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin-Hennigsdorf, die Zellwollgewebe von den Vereinigten Glanzstoff-Fabriken in Wuppertal-Elberfeld zur Verfügung gestellt. Beiden Firmen sei für die Förderung dieser Arbeit gedankt.

⁵³⁾ Erzeugnisse der Bakelite Gesellschaft m. b. H. in Erkner.

⁵⁴⁾ Hartpapiere der Dynamit Nobel A.G., Troisdorf.

Für die von beiden Firmen zur Verfügung gestellten Platten sei an dieser Stelle bestens gedankt.

- Klasse I, Qualität „Konstruktion“,
- Klasse II, Qualität „Stanz“,
- Klasse III, Qualität „Telefon“,
- Klasse IV, Qualität „Supra“.

Als Tränkmittel dienten destilliertes Wasser und ein Mineralöl „Shell BC 8“⁵⁵⁾ mit folgenden Viskositätswerten, die im Engler-Viskosimeter festgestellt wurden:

Tafel 5. Viskosität des Mineralöls.

20° C	50° C
24,4° Engler	3,0° Engler
1,65 Poisen	0,2 Poisen
Das spez. Gewicht betrug 0,90.	

2. Harzaufbereitung.

Das angelieferte Harz wurde auf Brechern und in Mühlen auf kleine Korngrößen gemahlen und mit 90% igem Spiritus unter stetem Rühren im Kessel in Lösung gebracht. Die fertige Harzlösung war für die Tränkung der Baumwoll- und der Mischgewebe 50% ig, d. h. in 1 l Spiritus war 1 kg festes Harz gelöst. Für die Zellwollgewebe wurde eine etwa 80% ige Lösung benutzt, die 800 g festes Harz in 200 ccm Spiritus gelöst enthielt. Die Genauigkeit der Einstellung betrug ± 1% Harz.

3. Tränkung der Gewebe.

Den Geweben wurde vor der Tränkung die anhaftende Feuchtigkeit während 48 Stunden im Vakuumtrockenschrank bis zu einem Gehalt von rund 8% entzogen. Dieser Anteil muß erfahrungsgemäß im Gewebe bleiben, damit eine gute Durchtränkung mit der Harzspirituslösung erfolgt. Die Trocknung wurde genau überwacht, um Gewebeschädigungen durch zu hohe Temperaturen zu verhüten, und um bei zu niedrigen Temperaturen noch darin zurückbleibendes Wasser zu entfernen, das sonst ein gleichmäßiges Durchtränken mit der Harzlösung in Frage stellen würde.

Auf einer vertikalen Tränkmaschine wurde dann das Harz aufgetragen. Die Baumwoll- und Mischgewebe wurden mit einer mittleren Geschwindigkeit von 13 m/h, die groben Zellwollgewebe mit 28 m/h und die feinen Zellwollgewebe mit 40 m/h gefahren. Der Walzenabstand betrug etwa 1 mm. Die fertiggetränkten Gewebe waren alle so eingestellt, daß sie 100% (± 1%) Harzauftrag hatten, bezogen auf trockenes Gewebe und trockenes Harz.

4. Verpressen.

Zum Schneiden in 1 m² große Lagen diente eine Querschneidemaschine. Um in der fertiggepreßten Platte möglichst gleichmäßige Festigkeiten zu erzielen, wurden die geschnittenen Bahnen der Baumwoll- und Mischgewebe abwechselnd so aufeinander gestapelt, daß Schuß- und Kettfäden — erkenntlich an den eingewebten Kennfäden — die Richtung von Lage zu Lage wechselten. Nur die Zellwoll-Hartgewebe wurden nach Schuß- und Kettenrichtung gesondert aufgebaut, um so die Unterschiede untersuchen zu können, die sich beim Herstellen von Platten mit in den Festigkeiten bevorzugten Richtungen ergeben. Je nach der zu erzielenden Schichtdicke wurden bei

	10 mm-Platten	3 mm-Platten
Feingewebe	25 Lagen	8 Lagen
Grobgewebe	11 Lagen	3 Lagen

aufeinander geschichtet. Diese geschichteten Stöße wurden dann noch einmal für 3 bis 4 Stunden bei etwa 95° C

⁵⁵⁾ Das Öl wurde von der Rhenania-Ossag, Hamburg, zur Verfügung gestellt.

im Vakuumschrank von noch anhaftenden Lösungsmitteln befreit und verloren hierbei etwa 3% ihres Gewichtes, das sie vor dem Arbeitsgang hatten. Die so behandelten Pakete wurden in einer geheizten Etagepresse bei 150...160°C und einem Druck von 75 kg/cm² in 65 min ausgehärtet. Die fertigen Platten wurden einer Nachhärtung von 48 Stunden bei etwa 100°C im Wärmeschrank unterzogen.

Die Preßdaten der einzelnen Preßstofftypen, die vom Hersteller fertig verarbeitet bezogen wurden, sind in Tafel 6 zusammengestellt.

Tafel 6.
Preßdaten von Preßstoffen und Hartpapieren.

Preßstoff	Harz-Grundlage	Harz-Gehalt %	Preßdruck kg/cm ²	Preßtemp. °C	Preßzeit min.
Typ Z1 . . .	Phenol	45	300	160	6
Typ Z2 . . .	Phenol	45	300	160	6
Typ T1 . . .	Phenol	45	300	160	6
Typ T2 . . .	Phenol	45	300	160	6
Typ S (Nov).	Phenol	40	300	160	10
Typ S (Res) .	Phenol	50	300	160	10
Klasse I. . .	Kresol	40	175	165	90
Klasse II. . .	Kresol	33	175	160	70
Klasse III. . .	Kresol	45	175	150	60
Klasse IV. . .	Kresol	50	175	150	60

C. Durchführung der Versuche.

1. Herstellung der Versuchsplatten.

Nach dem Auskühlen wurden die Platten auf einer Kreissäge mit Zähnen aus dem Hartmetall *Widia* in die zur Untersuchung vorgesehenen Plattengrößen von 100 × 100 × 10 mm, 100 × 100 × 3 mm, 40 × 200 × 10 mm und 40 × 200 × 3 mm zerschnitten. Da bei den im Betrieb verwendeten Lagern die oberste dünne Preßhaut, die aus reinem Harz besteht, bei der Oberflächenbearbeitung abgearbeitet wird, wurde sie für die

1	2	3	1	2	3
2	3	1	2	3	1
3	1	2	3	1	2
1	2	3	1	2	3
2	3	1	2	3	1
3	1	2	3	1	2

Plan 1. Aufteilung einer Platte in einzelne Dynstat-Proben.

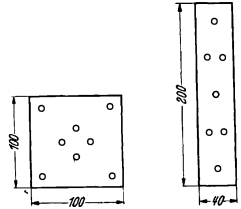
Untersuchung bei den Platten mittels Schleifpapier Nr. 3 und Nr. 0 von Hand entfernt. Es ist bekannt, daß reines Harz im Resitzustand wesentlich weniger Wasser oder Öl aufnimmt als der vorliegende geschichtete, saugfähige Textilfaser oder Zellstoff enthaltende Kunstharzpreßstoff⁸⁶⁾.

An Dynstatproben 15 × 10 × 3 mm wurden die dynamische und die statische Biegefestigkeit der untersuchten Kunstharzpreßstoffe festgestellt. Um statt zu Zufallswerten, wie sie infolge der Kleinheit der Dynstatproben auftreten könnten, zu einem guten Durchschnittswert zu kommen, wurden aus den großen Platten für die

einzelnen Untersuchungen (1. unvorbehandelt, 2. in Öl gelagert, 3. in Wasser gelagert) die Dynstatproben schachbrettartig herausgeschnitten, wie Plan 1 dies zeigt. Um wirklich genaue Abmessungen zu erhalten, wurden die Proben nicht mit der Kreissäge, sondern mit einer Laubsäge von Hand geschnitten und mit einer feinen Feile entgratet.

2. Messen.

Für jeden Versuch wurden zwei Platten verwendet, von denen das Mittel als Versuchsergebnis gewertet wurde. Die Platten wurden vor dem Versuch auf 0,1 g genau gewogen und die Dicke mit einer Mikrometerschraube auf 0,01 mm genau gemessen. Die Dicke der quadratischen Platten wurde an acht gleichmäßig auf der Oberfläche verteilten Punkten nach Plan 2 gemessen, die der rechteckigen Platten an sieben Punkten nach Plan 3.



Plan 2 und 3.
Verteilung der Meßpunkte auf den Versuchsplatten

Nach der Tränkung wurden die Platten zum Auskühlen jedesmal zwei Stunden offen bei Zimmertemperatur ausgebreitet und anhaftendes Wasser oder Öl mit Fließpapier entfernt. Erst dann wurden sie gewogen und gemessen.

3. Festigkeitsprüfung.

Die mechanischen Festigkeiten wurden mit dem Dynstatgerät bei 20°C festgestellt:

1. Die dynamische Biegefestigkeit wurde berechnet nach der Formel:

$$a = \frac{A}{b \cdot h^2} \text{ cmkg/cm}^3;$$

A = verbrauchte Schlagarbeit (cmkg), von der Skala des Dynstat-Apparates abgelesen,
b = Breite (cm) der Proben,
h = Dicke (cm) der Proben.

2. Die statische Biegefestigkeit

wurde berechnet nach $\sigma_{BB} = \frac{B}{W} \text{ kg/cm}^2$ und $W = \frac{b \cdot h^2}{6} \text{ cm}^3$:

B = Biegemoment (cmkg), von der Skala des Dynstat-Apparates abgelesen,
W = Widerstandsmoment der Proben,
b = Breite (cm) der Proben,
h = Dicke (cm) der Proben.

Die Proben waren alle vor dem Einlegen in die Tränkflüssigkeiten durch Abschleifen von Hand mit Schleifpapier Nr. 0 auf 3 mm Dicke gebracht worden. Die Länge und Breite war 10 × 15 mm. Die Dynstatproben wurden im Autoklaven mit den Versuchsstäben zusammen bis zum Ende ihrer Quellung oder Schrumpfung gelassen.

Von allen Typen wurden für jede Untersuchung zehn Dynstatproben untersucht und das Mittel als gefundener Meßwert angegeben. Die Differenzen zwischen den jeweiligen zehn Proben betragen nie mehr als etwa ± 6%. Einzelne, sehr herausfallende Werte mit mehr als etwa ± 10% Differenz wurden unberücksichtigt gelassen. Dieser Fall trat aber bei allen Meßreihen nur sehr selten einmal zu.

4. Fehlermöglichkeiten.

Für die Auswertung der Ergebnisse ist von Wichtigkeit, die Reproduzierbarkeit sowie alle Fehlerquellen zu kennen.

Es muß zuerst auf die Qualitätsunterschiede der Gewebe, z. B. der Baumwollgewebe, hingewiesen werden.

⁸⁶⁾ Pinten, P.: Kunststoffe 28 (1938), S. 233.

Man unterscheidet zwischen langfaseriger und kurzfaseriger Baumwolle. Stapelung, Spinnen, Verzwirnung, das folgende Auswaschen der Spinnereihilfsmittel können beispielsweise Ursachen sein für Unterschiede in den Ergebnissen, so daß man nicht mit Bestimmtheit behaupten darf, daß ein Gewebe mit dem anderen wirklich identisch ist. Um die Qualität zu verbessern, wird oft versucht, gleiche Festigkeitswerte durch stärkere Verzwirnung zu erreichen, was man den Stoffen nicht ansehen kann, sich aber am fertigen Preßstoff zeigt. Es tritt ferner der jeweilige Kondensationsgrad der verwendeten Harze stark in Erscheinung, der durch viele Ursachen — von der verschiedenen Herstellung im Lieferwerk ganz abgesehen — verändert werden kann. Unsachgemäße Lagerung unter wechselnden Bedingungen sowie nicht immer konstante Temperaturen bei der Verarbeitung, die einen zu hohen Anteil schon ausgehärteten Harzes zur Folge haben können, führen zu Unterschieden, die summiert zu meßbaren Differenzen in den Ergebnissen führen. Es können also nicht die in einer einmaligen Untersuchung sich ergebenden Werte als Norm für den gesamten Typ gelten, sondern dürfen nur Richtwerte sein, um die herum die zu erwartenden Ergebnisse sich gruppieren. Ebenso erlauben die beobachteten Eigenschaften der Zellwoll-Hartgewebe kein allgemeines Werturteil über Zellwolle als Harzträger in Hartgeweben.

D. Auswertung der Meßergebnisse.

1. Hartgewebe.

Der große Einfluß der Temperatur auf die Quellung von Hartgewebeplatten aus Baumwolle grob und Misch-

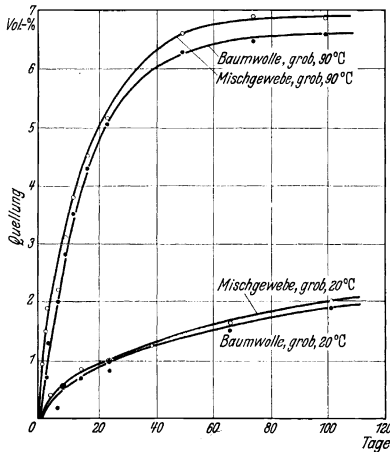


Bild 1. Einfluß der Temperatur auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

gewebe grob bei Wasserlagerung ist sehr drücklich (Bild 1). In der gleichen Zeit — nach 100 Tagen Tränkungsdauer — war bei 20° C 2,0 Vol.-%, bei 90° C 6,5 . . . 7,0 Vol.-% Quellung erreicht. Auf Grund dieser Erfahrung wurden alle weiteren Versuche bei 90° C durchgeführt. Die Hartgewebe aus Mischgeweben zeigen größere Quellung als die aus Baumwollgeweben, was auf den Anteil der Zellwolle im Mischgewebe zurückzuführen ist (Bild 2, 3, 4).

Nach 400 Stunden wurden die Versuche abgebrochen, da die weitere Quellung nur unwesentlich war. Nach einem anfänglich steilen Anstieg der Volumenzunahme verflachen die Kurven gegen Ende der Tränkungsdauer. Es quellen durchweg die Feingewebe mehr als die Grob-

gewebe. Die Differenz ist am Ende der Wasseraufnahme nicht immer gleich groß (wohl auf Ungleichmäßigkeiten in den Versuchsplatten zurückzuführen), liegt aber doch um

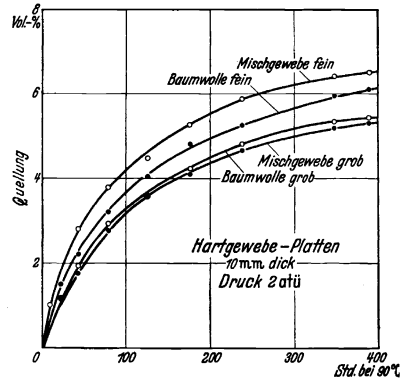


Bild 2. Einfluß von Gewebeat und Druck auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

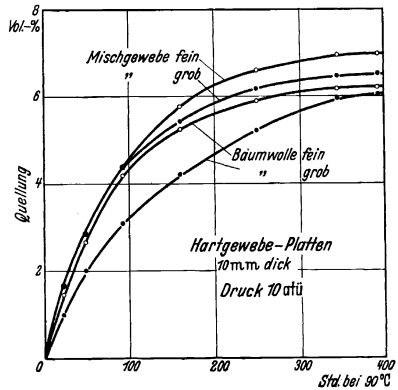


Bild 3. Einfluß von Gewebeat und Druck auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

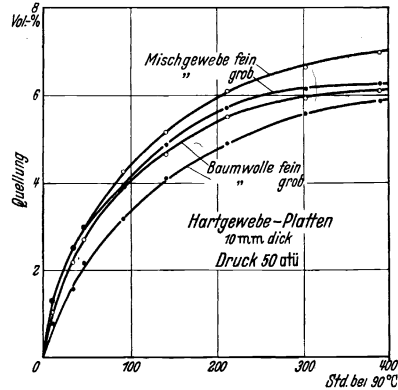


Bild 4. Einfluß von Gewebeat und Druck auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

etwa 0,5 Vol.-% herum. Weiter geht aus Bild 2 bis 4 hervor, daß fast regelmäßig die Platten aus Mischgewebe wegen ihres Anteils von 20% Zellwolle stärker quellen als die aus

Baumwollgewebe. Der Unterschied liegt bei etwa 0,5 bis 1 Vol.-%. Überraschend aber ist, daß alle Versuchsplatten unabhängig vom Überdruck, der auf sie während der Tränkung ausgeübt wurde, in gleichen Zeiten etwa gleich viel zugenommen haben. Diese Beobachtungen wurden, wie noch gezeigt werden wird, bei allen folgenden

wolle und Mischgewebe. Die Messungen wurden bis etwa 100 Stunden Tränkungsdauer durchgeführt; aber schon nach 60 Stunden kann ein Zunehmen kaum noch festgestellt werden. Auch hier wurden dieselben Beobachtungen gemacht wie bei den 10mm-Platten. Hartgewebe aus Baumwolle quellen weniger als solche aus Mischgeweben,

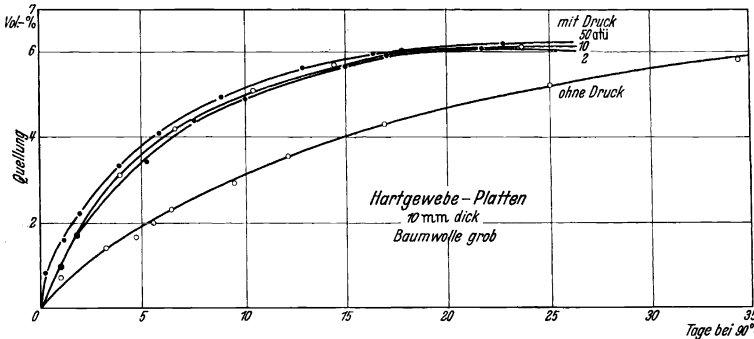


Bild 5. Einfluß des Druckes auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

Versuchen bestätigt. In Bild 5 ist zur besseren Übersicht das Hartgewebe aus Baumwolle G in einem Bild bei allen drei verschiedenen Drücken dargestellt, um die fast vollständige Überdeckung aller drei Kurven zu zeigen. Ferner wurden dort noch die Ergebnisse der Versuchsplatte eingezeichnet, die ohne Überdruck dem Wasser bei 90°C ausgesetzt war. Wegen der sehr viel längeren Zeitdauer der Quellung bei dieser Platte wurden alle Kurven auf der Abszisse in Tagen anstatt wie bisher in Stunden aufgetragen. Es wird dann deutlich, daß man bei Anwendung von Druck dem Endzustand nahe kommt, was bei der Platte, die ohne Druck getränkt wurde, noch nicht der Fall ist. An der Steilheit der Kurven ist der

schied noch auffälliger als bei den dickeren Platten: die Kurven werden — wieder bei Auftragung der Tage auf

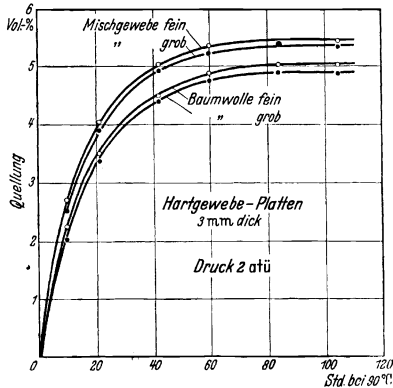


Bild 6. Einfluß von Gewebeart und Druck auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

schnellere Anstieg der Volumenzunahme zu erkennen. Nimmt man als Vergleichspunkt einmal die Linie der 4 Vol.-% heraus, so sind diese 4 Vol.-% bei Druckanwendung schon in 5 bis 6 Tagen, ohne Druck erst in 15 Tagen erreicht.

Bei Anwendung geringerer Wandstärken kommt man natürlich auch auf geringere Zeiten bis zum Ende der Quellung. Bild 6 bis 8 zeigen in gleicher Reihenfolge wie Bild 2 bis 5 das Verhalten von Hartgeweben aus Baum-

Grobgewebe weniger als Feingewebe. Nur die Unterschiede zwischen Grob- und Feingewebe selbst sind geringer geworden: sie liegen bei etwa 0,2 Vol.-%.

Auch hier ist kein wesentlicher Unterschied bei der Anwendung der verschiedenen Drücke festzustellen. Zum Vergleich wurden wieder die Werte für dasselbe Material ohne Druck unter sonst gleichen Bedingungen mit eingezeichnet (Bild 9). Hierbei ist der Unterschied noch auffälliger als bei den dickeren Platten: die Kurven werden — wieder bei Auftragung der Tage auf

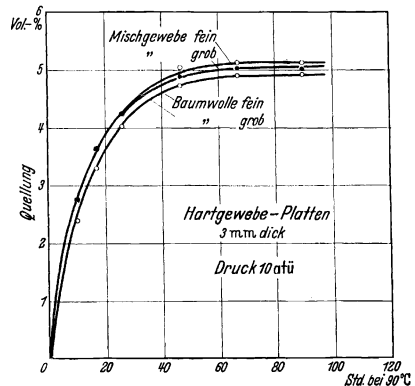


Bild 7. Einfluß von Gewebeart und Druck auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

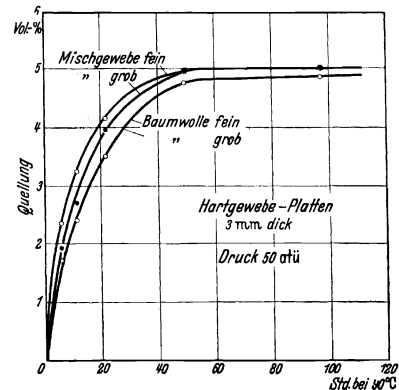


Bild 8. Einfluß von Gewebeart und Druck auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

der Abszisse — noch steiler und steigen praktisch nach zwei Tagen nicht mehr an; bei der Kurve der Hartgewebe, die ohne Druck behandelt wurden, tritt dies aber erst nach 8 Tagen bei einem wesentlich flacheren Verlauf im Anfang ein. Die 4 Vol. % werden mit Druck in 1 Tag, ohne Druck in 4 Tagen erreicht.

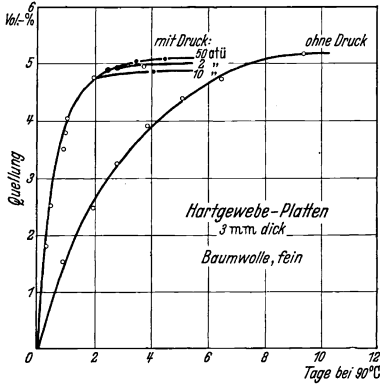


Bild 9. Einfluß des Druckes auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

Bei Hartgeweben mit reiner Zellwolle als Harzträger wurde darauf geachtet, daß die Gewebelagen nicht in Schuß- und Kettenrichtung miteinander abwechselten. Es standen also für die Untersuchungen Platten mit bevorzugten Fadenrichtungen zur Verfügung, bei denen jeweils die Schußfäden und die Kettenfäden angeschnitten waren. In den Ergebnissen konnten Unterschiede festgestellt werden. (Bild 10.) Jedesmal nimmt die Platte, in der die Schußfäden angeschnitten sind, um 1 bis 2 Vol. % mehr

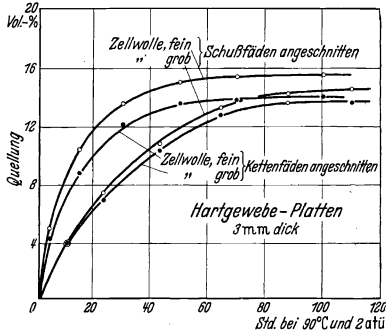


Bild 10. Einfluß der Gewebefinheit und der Schnittrichtung im Gewebe auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

Wasser auf, als die, in der die Kettenfäden angeschnitten sind. Auch bei dem Zellwoll-Hartgewebe nimmt das Feingewebe mehr Wasser auf als das Grobgewebe. Die Volumenzunahme ist zwischen 60 bis 80 Stunden Behandlungsdauer praktisch beendet.

Alle Platten wurden vor der Untersuchung, wie schon beschrieben, von der reinen Harzschicht, die die Preßhaut darstellt, befreit, um dem Wasser oder Öl beim Eindringen die gleichen Bedingungen zu bieten, wie sie in der Praxis vorliegen. Um nun den Einfluß der Preßhaut auf die Quellung festzustellen, wurde ein Zellwoll-Hartgewebe F, mit und ohne Preßhaut, in Wasser getränkt (Bild 11). Der Einfluß der Schichtlagen im Hartgewebe ist auch hier

wieder zu sehen. Ferner nahmen die Platten mit Preßhaut im Mittel 12 Vol. %, die ohne Preßhaut dagegen etwa 15 Vol. % auf. Die Differenz von 3 Vol. % = 20 vH. kann nur durch das Fehlen der Preßhaut erklärt werden.

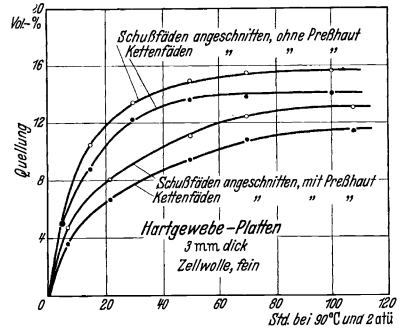


Bild 11. Einfluß der Preßhaut und der Schnittrichtung im Gewebe auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

Das Wasser ist nach ihrer Entfernung in der Lage, an die Gewebe schneller heranzukommen, die nicht mehr geschützt werden durch die Schicht aus reinem Preßharz, das wesentlich weniger Wasser hindurchläßt.

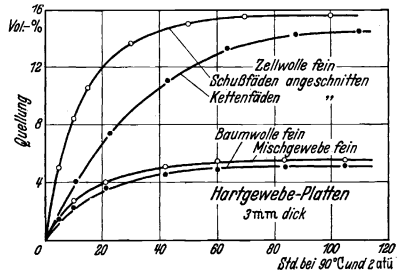


Bild 12. Einfluß der Gewebeart und der Schnittrichtung im Gewebe auf die Wasseraufnahme von Hartgeweben.

Während Platten aus Baumwoll- und Mischgewebe-Hartgewebe etwa 5,5 Vol. % quellen, steigt bei Platten aus Zellwoll-Hartgewebe dieser Wert auf etwa 15 Vol. % an (Bild 12).

Bei der Lagerung der Platten in Öl zeigt sich, daß

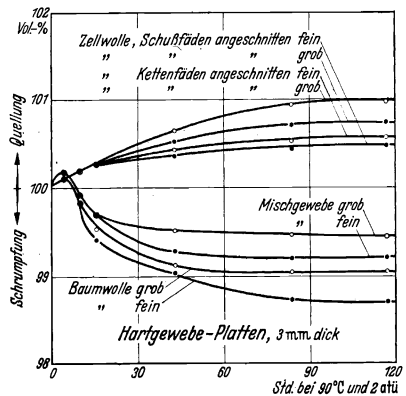


Bild 13. Volumenänderung von Hartgeweben durch Öltränkung.

bei 90° C keine Volumen-Zunahme, sondern eine Volumen-Abnahme eintrat, die mit der später zu zeigenden Dickenänderung insoweit gleichlief, als auch bei Öllagerung eine Schrumpfung der Versuchsplatten eintrat. Hartgewebe aus Baumwolle, Mischgewebe und Zellwolle wurden bei 90° C in Öl gelagert (Bild 13). Die Zellwoll-Hartgewebe nehmen an Volumen zu, sie quellen. Im Gegensatz dazu schrumpfen — nach einer geringen Quellung ganz im Anfang der Lagerung — die Hartgewebe aus Baumwolle und Mischgewebe; auffälligerweise quellen bei den Zellwoll-Hartgeweben die Grob- gewebe stärker als die Feingewebe, wie auch die Grob- gewebe bei den beiden anderen Arten von Hartgeweben weniger schrumpfen als die Feingewebe.

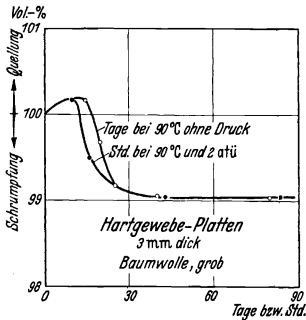


Bild 14. Druckanwendung verkürzt den Vorgang der Volumenänderung von Hartgeweben durch Öltränkung.

Um den Vorteil der Druckanwendung zu zeigen, wurden die gleichen Versuchsplatten einmal ohne Druck und einmal bei 2 atü in Öl gelagert. Es ergab sich in beiden

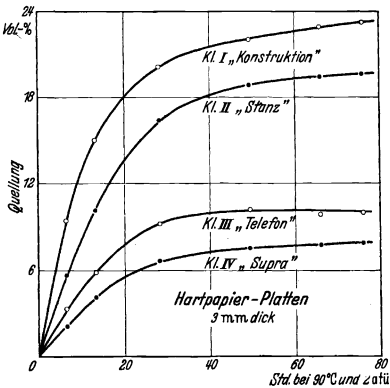


Bild 15. Volumenänderung durch Wasseraufnahme von Hartpapieren.

Fällen der gleiche Endbetrag der Schrumpfung, nur war bei Überdruck das Ende in $\frac{1}{24}$ der sonst erforderlichen Zeit erreicht (Bild 14).

Die übrigen Gruppen von Preßstoffen wurden, nachdem an den verschiedenen Hartgeweben die Wirkung der Druckanwendung untersucht war, in gleicher Weise behandelt. Das Ende der Volumenzunahme der vier Klassen Hartpapiere bei Wasserlagerung bei 90° C war nach 60 bis 65 Stunden erreicht (Bild 15).

2. Hartpapiere.

Der große Unterschied in der Quellung von Hartpapieren der Klassen I und II einerseits und von solchen

der Klassen III und IV andererseits bestätigt, daß gerade die Klassen III und IV, die hauptsächlich in der Elektrotechnik Verwendung finden, hierfür wegen ihrer geringen Wasseraufnahme besonders geeignet sind.

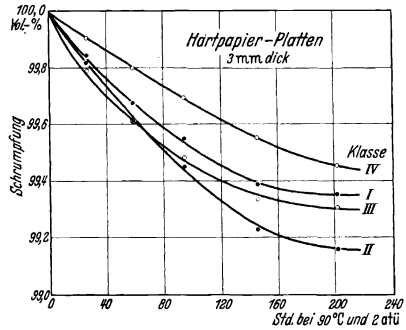


Bild 16. Volumenänderung durch Öltränkung von Hartpapieren

Bei der Ölbehandlung bei 90° C schrumpfen sämtliche untersuchten Hartpapiere (Bild 16).

3. Ungeschichtete Preßstoffe.

Preßstoff-Platten der Typen T1, T2, Z1, Z2, S (Nov) aus Novolak und S (Res) aus Resol wurden bei 90° C

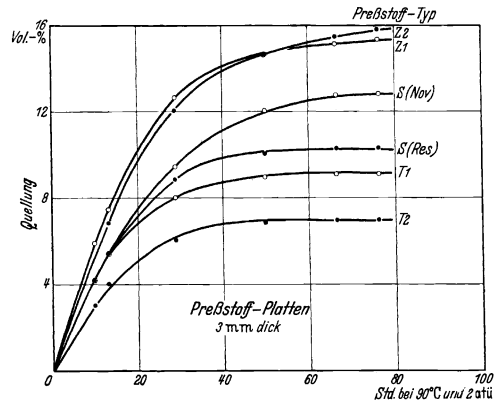


Bild 17. Volumenänderung durch Wasseraufnahme von Preßstoffen.

in Wasser gelagert (Bild 17). Preßstoff Typ T2, der den Hartgeweben in seiner Zusammensetzung am nächsten kommt, verhält sich mit nur 7 Vol. % Zunahme diesen

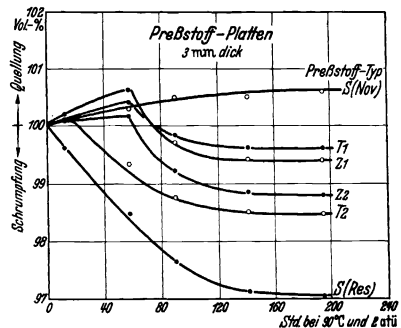


Bild 18. Volumenänderung durch Öltränkung von Preßstoffen.

am ähnlichsten. Nach 60 Stunden waren auch hier praktisch die Endwerte erreicht.

Bei der Ölbehandlung ist bei den ungeschichteten Preßstoffen die gleiche Tendenz wie bei den Hartgeweben zu bemerken (Bild 18). Nach anfänglichem kurzem Anstieg sinken die Kurven in das Gebiet der Schrumpfung ab. Am stärksten tut dies die Kurve des Typs S aus Resol, die um 3 Vol. % absinkt, während die des Typs S aus Novolak — im Gegensatz zu allen anderen Typen — keine Volumen-Verminde- rung, sondern eine -Zunahme um etwa 0,6% zeigt.

4. Dickenänderungen.

Neben den Volumenänderungen sind die Dickenänderungen von besonderer Bedeutung, die die Kunst-

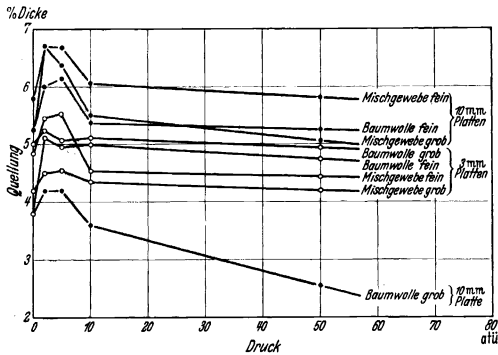


Bild 19. Einfluß des Drucks auf die Dickenänderung von Hartgeweben durch Quellung in Wasser bei 90°C.

harz-Preßstoffe nach Lagerung in Wasser und Ölerfahren, denn diese sind es ja, die bei Preßteilen, die maßhaltig sein sollen, unliebsam in Erscheinung treten. Es wurden die Dickenänderungen an den Platten nach beendeter Quellung in Wasser gemessen, und (auf die ursprüngliche Dicke

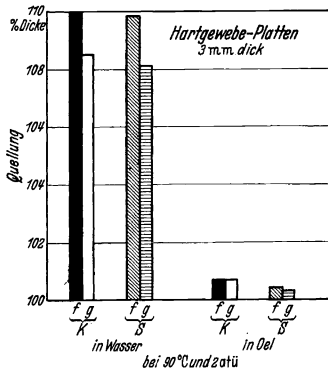


Bild 20. Dickenänderung von Hartgeweben aus Zellwolle durch Quellung.

K = Kettfäden } angeschnitten | f = Feingewebe
S = Schußfäden } | g = Grobewebe

bezogen) in Abhängigkeit vom angewendeten Druck aufgezeichnet (Bild 19). Es wurde beobachtet, daß bei Anwendung von niedrigen Drücken (2 bis 5 atü) die größte maßliche Veränderung auftrat⁵⁷⁾. Alle untersuchten Hartgewebe zeigen Spitzenwerte der Dickenänderung im Be-

⁵⁷⁾ Weitere Untersuchungen zu dieser auffälligen Beobachtung werden im Institut für Kunststoffe und Anstrichforschung, Technische Hochschule Berlin, durchgeführt werden.

reich von 2 bis 5 atü, während bis zu 50 atü die Dickenänderungen geringer werden.

Bei denselben Werkstoffen aus Hartgeweben wurden die Dickenänderungen auch nach Lagerung in Öl gemessen, doch waren diese so gering — etwa 0,1% —, daß die dabei auftretenden Unterschiede innerhalb der Fehlergrenzen der mechanischen Dickenmessung lagen.

Zwischen den in Kettenrichtung und den in Schußrichtung geschnittenen Platten aus Zellwoll-Hartgeweben ist nach Lagerung in Wasser und Öl kein großer Unterschied in den Dickenänderungen festzustellen, während bei Verwendung von Feingeweben wieder eine größere

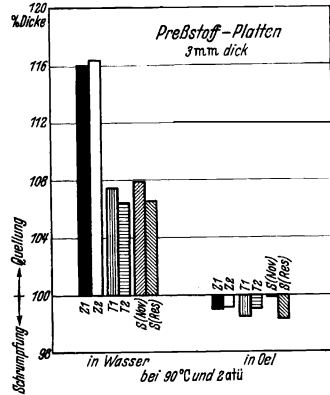


Bild 21. Dickenänderung von Preßstoffen durch Quellung und Schrumpfung.

Veränderung eintritt als bei Grobgeweben (Bild 20). Platten von 3 mm Stärke quellen in der Dicke bei Feingeweben um etwa 10%, bei Grobgeweben um etwa 8% in

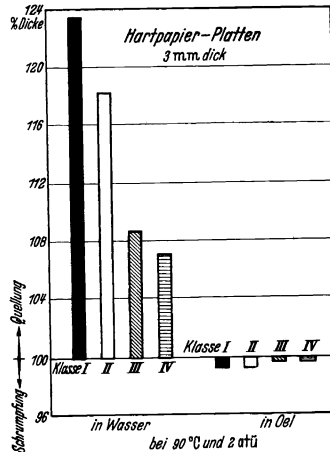


Bild 22. Dickenänderung von Hartpapieren durch Quellung und Schrumpfung.

Wasser auf. Bei Lagerung in Öl zeigen die Zellwoll Hartgewebe hier eine Quellung, wie sie auch als Volumenzunahme (vgl. Bild 13) festgestellt werden konnte: sie liegt bei 0,5 bis 1,0%.

Die maßlichen Veränderungen der Preßstoffe Typ Z1, Z2, T1, T2, S (Nov) aus Novolak und S (Res) aus Resol nach beendeter Quellung und Schrumpfung in Wasser und Öl zeigt Bild 21.

Die Reihenfolge der Dickenzunahme ist fast übereinstimmend mit den Volumenzunahmen (vgl. Bild 17); in Öl ergibt sich dieselbe Reihenfolge wie in Bild 18. Nur der Preßstoff Typ S (Nov) aus Novolak verhielt sich hier indifferent: er zeigte keine meßbare Veränderung.

Das gleiche zeigt für Hartpapiere Bild 22: in Wasser eine sehr starke Quellung, in Öl eine Schrumpfung, in Übereinstimmung mit der Reihenfolge bei den Volumenveränderungen (vgl. Bild 15 und 16).

5. Einfluß von Quellung und Schrumpfung auf die mechanische Festigkeit.

Da als sicher anzunehmen war, daß die teilweise sehr großen maßlichen und volumenmäßigen Veränderungen auch die mechanischen Festigkeiten beeinflussen, sind dynamische und statische Biegefestigkeiten aller Werkstoffe nach beendeter Behandlung unter den gleichen Bedingungen wie bei den bisher behandelten Platten in Wasser und Öl bei 90°C mit dem Dynstat-Gerät untersucht worden.

Die dynamische Biegefestigkeit der Hartgewebe wurde nach Lagerung in Öl und in Wasser ermittelt (Bild 23).

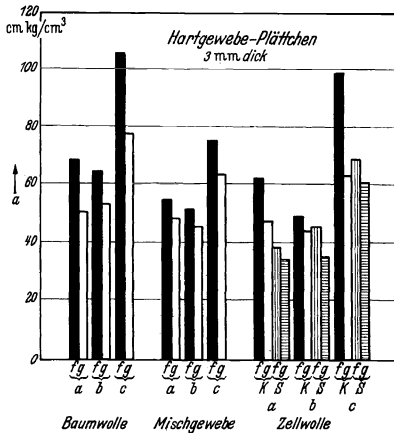


Bild 23. Einfluß der Behandlung in Wasser und in Öl auf die dynamische Biegefestigkeit von Hartgeweben.
Zu Bild 23—28: Alle Messungen bei 20°C mit dem Dynstat-Gerät.
K = Kettfäden angeschnitten f = Feingewebe
S = Schußfäden angeschnitten g = Grobgewebe
a = Ohne Nachbehandlung.
b = Nachbehandelt in Öl, 200 h bei 90°C und 2 atü.
c = Nachbehandelt in Wasser, 80 h bei 90°C und 2 atü.

Bei keiner Probe ist ein wesentliches Absinken der dynamischen Biegefestigkeit durch die Behandlung bei Druck und Wärme eingetreten. Im Gegenteil: die mechanischen Festigkeiten sind bei der Nachbehandlung in Öl etwas, in Wasser merklich gestiegen. Es hatte z. B. Hartgewebe aus Baumwolle F, unvorbehandelt, eine dynamische Biegefestigkeit von 70 kg/cm², nach Lagerung in Öl etwa den gleichen Wert, aber nach Wasserbehandlung etwa 110 kg/cm². Ähnlich war es auch bei den anderen Proben.

Genau umgekehrt verhielt sich die statische Biegefestigkeit dieser geschichteten Preßstoffe (Bild 24). Hatte Baumwoll-Hartgewebe F — um beim gleichen Beispiel zu bleiben — unvorbehandelt eine statische Biegefestigkeit von 2140 kg/cm², so sank diese nach Ölbehandlung auf 1940 kg/cm² und nach Wasserbehandlung auf etwa 1660 kg/cm² ab. Auffällig ist wieder (Bild 23 und 24), daß die Reihenfolge der Klassen die gleiche bleibt, daß z. B. alle Hartgewebe F — im Gegensatz zu den unvorbehandelten Proben — mit ihren Festigkeits-

werten immer über den Hartgeweben G liegen, und daß die Zellwoll-Hartgewebe mit vornehmlich angeschnittenen Kettenfäden bessere Festigkeit hatten als die mit angeschnittenen Schußfäden. Bei angeschnittenen Kettenfäden lagen diese parallel zur kurzen Seite der 200 × 40 mm großen Probeplatten; im anderen Fall lagen die Schußfäden parallel zu dieser Seite.

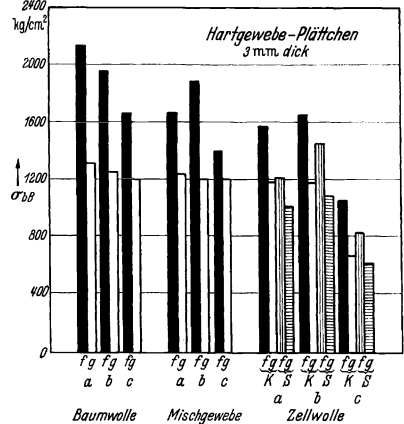


Bild 24. Einfluß der Behandlung in Wasser und in Öl auf die statische Biegefestigkeit von Hartgeweben.
Zeichen wie bei Bild 23.

Die dynamischen Festigkeiten der ungeschichteten Preßstoffe Typ Z1, Z2, T1, T2, S (Nov) und S (Res) sind in Bild 25 aufgetragen. Durch die Ölbehandlung fielen bei diesen die Werte gegenüber den unvorbehandelten Proben um ein geringes ab, während sie durch die starke Quellung in Wasser anstiegen. Auffallend ist hier die hohe Festigkeit des Preßstoffes Typ T2. Das steht im Einklang mit den Erfahrungen der Pra-

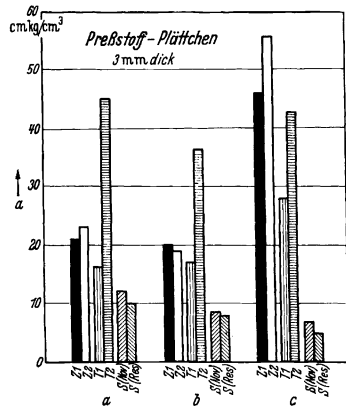


Bild 25. Einfluß der Behandlung in Wasser und in Öl auf die dynamische Biegefestigkeit von Preßstoffen.
Zeichen wie bei Bild 23.

xis, die diesen Typ wegen seiner Ähnlichkeit mit dem Typ T3 und mit den Hartgeweben vorzugsweise verwendet, wenn gute Festigkeitseigenschaften gefordert werden müssen.

Bei den Preßstoffen Typ Z1 und Z2 stiegen die dynamischen Biegefestigkeiten bei Wasserbehandlung

stark an durch die starke Quellung, die gerade diese auf Papier als Harzträger aufgebauten Preßstoff-Typen erfahren. Bei dem Vergleich ihrer statischen Biegefestigkeiten (Bild 26) fällt die große Ähnlichkeit beider auf.

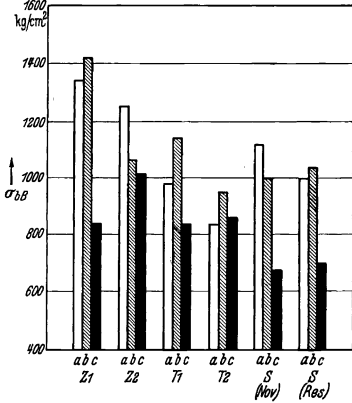


Bild 26. Einfluß der Behandlung in Wasser und in Öl auf die statische Biegefestigkeit von Preßstoffen.

Zu Bild 23–28: Alle Messungen bei 20° C mit dem Dynstat-Gerät.
a = Ohne Nachbehandlung
b = Nachbehandelt in Öl, 200 h bei 90° C und 2 atü.
c = Nachbehandelt in Wasser, 80 h bei 90° C und 2 atü.

Auch hier erhöhten sich die Festigkeiten durch die Wasserbehandlung in allen Fällen, während sie durch die Öllagerung geringer wurden.

Auch bei den vier Klassen der Hartpapiere zeigt sich ein starkes Ansteigen der Werte für die dynamischen

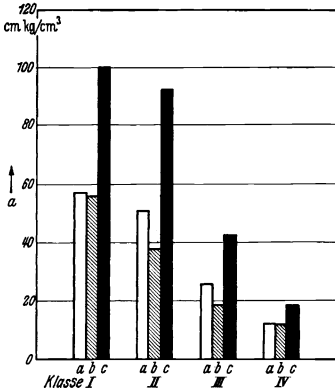


Bild 27. Einfluß der Behandlung in Wasser und in Öl auf die dynamische Biegefestigkeit von Hartpapieren. Zeichen wie bei Bild 26.

Biegefestigkeiten nach Wasserbehandlung (Bild 27). Nach der Ölbehandlung stiegen die Werte für die statischen Biegefestigkeiten (Bild 28) stark an, während sie nach der Wasserlagerung abfielen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen verschwinden dann fast völlig.

Die Kenntnis der maßlichen Veränderungen von Kunstharz-Preßstoffen durch Einwirkung von Flüssigkeiten ist wichtig für ihre Anwendung als Baustoffe, denn je mehr die Preßstoff-Formteile durch Wasser — tropfbar flüssig oder als Luftfeuchtigkeit —, durch Öl sowie Emulsionen aus Wasser und Öl Veränderungen erleiden, desto größere

Toleranzen muß man den Fertigteilen zubilligen. Bei Kunstharz-Preßstoffen Typ T2 oder Typ T3 soll z. B. zur Herstellung von Lagern und Zahnrädern ein möglichst kleines Spiel angestrebt werden, da dann die Drücke und Umlaufgeschwindigkeiten gesteigert werden können. Mit je größeren Einwirkungen der Kühl- und Schmiermittel auf den Werkstoff man rechnen muß, zu um so größeren Toleranzen ist man gezwungen. So ist es heute noch nicht möglich, Gleitlager aus Kunstharz-Preßstoffen für schnellaufende Motoren, z. B. für Automobil- und Flugzeugmotoren, zu verwenden, da hier wegen der großen spezifischen Drücke und der hohen Drehzahlen kleinste Toleranzen gefordert werden. Um zu besseren Laufergebnissen zu gelangen, wurden z. B. die Kunstharz-Preßstoff-Lager vor der Feinstbearbeitung in Ölbädern

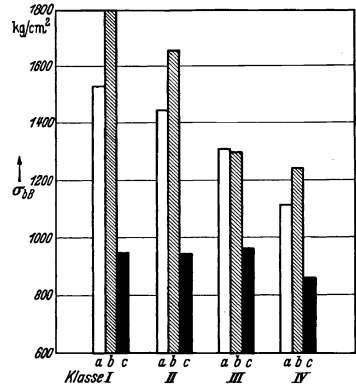


Bild 28. Einfluß der Behandlung in Wasser und in Öl auf die statische Biegefestigkeit von Hartpapieren. Zeichen wie bei Bild 26.

bei höheren Temperaturen gelagert („ausgekocht“), wodurch man eine Nachhärtung und eine Ölaufnahme erzielte. Die Wirkungen dieser empirisch als zweckmäßig erkannten Maßnahmen können auf Grund der hier ausgearbeiteten Methoden durch Anwendung von Druck in gleicher Zeit um ein Vielfaches verstärkt werden, so daß die Gefahr einer schädlichen Schrumpfung oder Quellung im Betrieb wesentlich vermindert ist.

E. Untersuchungen an Hartgeweben aus nicht saugfähigen Fasern und an reinem Preßharz.

Bekannt sind Verfahren, Textilgewebe so vorzubehandeln, daß sie eine verminderte Quellung oder Schrumpfung zulassen. In der Erkenntnis, daß die reaktionsfähigen OH-Gruppen im Cellulose-Molekül hydrophil sind und Wasser absorbieren⁵⁸⁾ und deshalb beseitigt oder „abgedeckt“ werden müssen, hat man Zellwollgewebe oberflächlich verestert (Cotopa-Gewebe) und ist so zu Oberflächen gekommen⁵⁹⁾, die verminderte Quellbarkeit zeigen. Ein Versuch, aus einem solchen vorbehandelten Zellwollgewebe ein Kunstharz-Hartgewebe aufzubauen, scheiterte: ein in der gleichen Weise wie bei den schon beschriebenen Hartgeweben unter Einhaltung aller bisherigen Versuchsdaten aus verestertem Zellwollgewebe hergestelltes Hartgewebe zeigte eine so verminderte

⁵⁸⁾ Pfestorf, G. und W. Hetzel in Röhrs, Staudinger, Vieweg: Fortschritte der Chemie, Physik und Technik der makromolekularen Stoffe, Bd. 1, S. 152. München u. Berlin 1939, J. F. Lehmanns Verlag.

⁵⁹⁾ News, A. A.: Elektr.Communic. 13 (1935), S. 216 u. 359.

Hitzebeständigkeit, daß es in der Presse bei 160° bis 170° C zersetzt wurde und in kaltem Zustande ungemein brüchig (spröde) war.

Ein weiterer Weg wäre der, die Faserhohlräume auszufüllen oder die Oberflächen mit hitzebeständigen hydrophoben Stoffen zu überziehen, um so dem Wasser oder Öl das Eindringen unmöglich zu machen. Versuche in dieser Richtung laufen⁶⁰⁾.

Nach den vorstehenden Beobachtungen sind die Unterschiede der einzelnen Preßstoffe in bezug auf Quellung und Schrumpfung auf die verschiedenen Füllstoffe und Harzträger zurückzuführen. Dies soll an einem Beispiel untersucht werden. Ein Hartgewebe, dessen Harzträger aus einem unquellbaren Stoff, z. B. Glas, besteht, dürfte nur soviel an Volumen zunehmen, wie durch die Wasseraufnahme des Harzes bedingt ist. Es gelang, ein Glasgewebe-Hartgewebe zu beschaffen, dessen Aufbau und Verarbeitung dem der bisher verwendeten Hartgewebe ähnlich ist. Genaue Zahlenangaben über Art und Aufbau können für diesen Sonderfall nicht gemacht werden. Die Quellung im Wasser (Bild 29) war mit 3 Vol. %

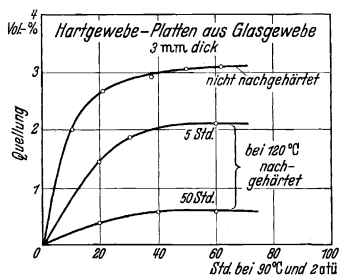


Bild 29. Wasseraufnahme von Hartgewebe aus Glasgewebe.

wesentlich geringer als z. B. bei Platten aus Baumwoll-Hartgewebe, die ja etwa 5 Vol. % Quellung zeigten (vgl. Bild 6). Aber selbst diese 3 Vol. % sind auffallend hoch und können nur auf die Wasseraufnahme des Harzes zurückzuführen sein, da das Glas ja nicht soviel Wasser aufnehmen kann. Die Vermutung, daß der Aushärtungsgrad des Harzes und damit die Menge noch quellbarer Bestandteile darin für die Gesamt-Quellung verantwortlich zu machen sind, konnte bewiesen werden durch Nachhärtung der Glasgewebe-Hartgewebe-Platten im Wärmeschrank bei 120° C vor der Wasserbehandlung. Bild 29 zeigt den Erfolg nach 5 Stunden: die Quellung ist auf 2 Vol. % gesunken. Nach 50 Stunden Nachhärtung wurde nur noch eine Quellung von etwa 0,5 Vol. % beobachtet.

Um die Abhängigkeit der Quellung des Harzes vom Aushärtungsgrad zu beweisen, wurden in einem anderen Versuch aus reinem Phenol-Preßharz⁶¹⁾ Platten von 3 mm Stärke bei 155° C in 10 Minuten gepreßt und in gleicher Weise in Wasser gelagert. Nach 80 Stunden war noch immer ein Ansteigen der Quellung zu beobachten (Bild 30). Da bei diesen Platten die Preßzeit nur 10 Minuten betrug, bei den Hartgeweben aber 60 Minuten, wurde als Grund für die geringere Aushärtung des reinen Preßharzes die Tatsache vermutet, daß nicht nachgehärtet wurde, wie es bei den Hartgeweben geschehen war. Um den Grad der

Aushärtung an der Abnahme der Quellung zu verfolgen, wurden die Platten erst 1/2, 1, 4 und zuletzt 50 Stunden bei 120° C im Wärmeschrank nachgehärtet und danach in Wasser gelagert. Jede Nachhärtung verminderte die Quellung weiter (Bild 30). Nach 50 Stunden ergibt sich

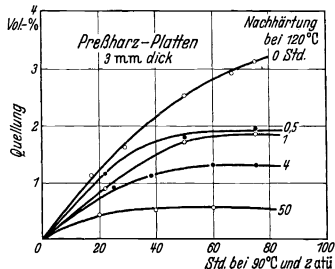


Bild 30. Einfluß der Härtung auf die Wasseraufnahme von Preßharz.

nur noch dieselbe Zunahme von etwa 0,5 Vol. % wie beim Glasgewebe-Hartgewebe (vgl. Bild 29). Wenn für genügende Aushärtung des Kunstharz-Preßstoffes Sorge getragen wurde, so war also die Quellung nur von der Wasser- bzw. Ölaufnahme des Harzträgers abhängig.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Quellung und Schrumpfung von Kunstharz-Preßstoffen konnten durch Anwendung von Druck wesentlich beschleunigt werden.
2. Ein Druck von 2 bis 5 atü erwies sich als zweckmäßig, da bei diesem Druck bereits die Dickenänderungen der Platten größer waren als ohne Druck oder bei 10 und 50 atü.
3. Hartgewebe erforderten bei Wasserlagerung unter Druck etwa 1/3 bis 1/5, bei Öllagerung unter Druck nur etwa 1/24 der Zeit bis zur praktischen Beendigung der Quellung wie gleiche Versuchsplatten ohne Überdruck.
4. Der stationäre Endzustand von Quellung und Schrumpfung konnte an 3 mm und 10 mm dicken Platten unter diesen Versuchsbedingungen in allen Fällen erreicht werden. Verringerte man die Probendicke, so erreichte man eine Verkürzung der Zeit bis zum Ende der Quellung und Schrumpfung.
5. An Hartgewebe-Platten aus Mischgewebe (20 % Zellwolle) wurde stärkere Quellung in Wasser und geringere Schrumpfung in Öl beobachtet als an Hartgewebe-Platten aus reiner Baumwolle.
6. Bei den hier verwendeten Hartgeweben aus reinen Zellwollgeweben war die Quellung etwa 3 mal so groß wie bei Verwendung von Baumwoll-Geweben; in 90° C heißem Öl wurde — im Gegensatz zu Hartgewebe-Platten aus Baumwolle oder aus Mischgewebe — keine Schrumpfung, sondern eine Quellung beobachtet.
7. In allen Fällen quollen und schrumpften Hartgewebe Klasse F stärker als Hartgewebe Klasse G, trotzdem beide Klassen den gleichen Harzanteil hatten und unter gleichen Bedingungen hergestellt und verarbeitet worden waren.
8. Es quollen die Zellwoll-Hartgewebe-Platten stärker, bei denen die Gewebe derart geschichtet waren, daß die Kettenfäden in der Längsrichtung der Versuchsplatten lagen und vornehmlich die Schußfäden angeschnitten waren.
9. Hartpapiere mit niedrigem Harzgehalt (33 und 40%) quollen und schrumpften stärker als solche mit hohem Harzgehalt (45 und 50%). Bei gleichem Harzgehalt

⁶⁰⁾ Versuchslaboratorium Teltow-Seehof der Vereinigten Glanzstoff-Fabriken und Institut für Kunststoff- und Anstrichforschung, Technische Hochschule Berlin.

⁶¹⁾ Preßharz aus Phenol-Novolak, Erzeugnis der Bakelite Gesellschaft m. b. H. in Erkner (Sorte 2118, rot klar).

quollen und schrumpften die auf Natronpapier aufgebauten Hartpapiere stärker und hatten geringere Festigkeiten als die aus Baumwollpapier. Die geringste Quellung und Schrumpfung zeigte ein Baumwoll-Hartpapier mit hohem Harzgehalt.

10. Kunstharz-Preßstoffe verhielten sich um so günstiger gegen Quellung und Schrumpfung und zeigten ein um so geringeres Nachlassen in den mechanischen Festigkeiten, je weiter sie ausgehärtet waren.

11. Es konnte an Preßharz-Platten, deren ungenügende Aushärtung augenscheinlich nicht erkennbar war, noch eine Quellung von 3 Vol. % in Wasser festgestellt werden, die durch Nachhärtung auf 0,5 Vol. % sank.

12. Wenn Preßstoffe auf Grundlage härtpbarer Phenolharze genügend ausgehärtet wurden, so waren ihre Quellung und Schrumpfung nur vom Harzträger abhängig.

Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Röhrs, der mir die Anregung zu dieser Arbeit gab, danke ich bestens für sein ständiges Interesse und seine liebenswürdige Unterstützung bei ihrer Durchführung.

Lebenslauf.

Ich wurde am 11. März 1912 als Sohn des Kaufmanns Hugo F. Morhard und seiner Ehefrau Magdalene, geb. Spahn, in Karlsruhe in Baden geboren. Ich besuchte die Realgymnasien Elberfeld, Berlin und Schwarzburg, wo ich 1930 meine Reifeprüfung ablegte. An der Technischen Hochschule Berlin begann ich mit dem Chemiestudium und legte hier im April 1939 meine Diplom-Hauptprüfung ab. Vom Mai 1939 bis April 1940 arbeitete ich an meiner Doktorarbeit im Institut für Kunststoffe und Anstrichforschung, Vierjahresplan-Institut an der Technischen Hochschule Berlin, unter Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Röhrs.