

# Berechnung der Steifigkeiten und Spannungen von GFK-Normlaminaten

**T 1438**

T 1438

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

A b s c h l u ß b e r i c h t  
zum Forschungsvorhaben IV/1 - 5 - 301 / 81

Berechnung der Steifigkeiten und Spannungen von GFK-Normlaminaten

Zusammenfassung

GFK-Lamine werden in der Baupraxis normalerweise aus Matten-, Gewebe- oder UD-Schichten aufgebaut, wobei eine Beschränkung auf bestimmte Glasgehalte aufgrund der Absprache mit der Industrie im Normenentwurf für Bauteile aus glasfaserverstärkten Reaktionsharzen vorgesehen ist. Diese Schichten werden entweder in der Kombination: Matte plus Gewebe oder Matte plus UD-Schichten, die unterschiedlich gerichtet sein können angeordnet (Bild 1). Anstelle der UD-Schichten werden manchmal auch Gewebe mit schwacher Kettverstärkung (18:1) gewählt.

Solche Lamine werden normalerweise berechnet, indem man von einer idealen Verteilung der Schichten ausgeht, die Steifigkeiten der einzelnen Schichten und daraus die Gesamtsteifigkeiten ermittelt und danach die mittleren Beanspruchungen der einzelnen Schichten und die Spannungen im Glas und im Harz bestimmt. Es werden die Fälle Dehnung und Biegung behandelt. Da einer solcher Nachweis für die Baupraxis zu umständlich ist, wird im Rahmen dieses Vorhabens ein vereinfachter Nachweis erarbeitet, wobei der regelmäßige Aufbau der Lamine berücksichtigt wird. Ferner sind die zu erwartenden Streubereiche aufgezeigt und die Beziehungen so aufgebaut, daß sie weitgehend an Versuchsergebnisse angepaßt werden können.

Der Bericht umfaßt 49 Seiten.

## 1. Einleitung

Untersucht werden die mit der Industrie abgesprochenen Typenlaminat /1/, die entweder abwechselnd aus Wirrfaser- (W) und Gewebeschichten (G) oder aus Wirrfaser- und längsgerichteten UD-Schichten (R) (Bild 1a, b) sowie neuerdings auch aus Wirrfaserschichten und zwei UD-Schichten mit einer dazwischen liegenden quergerichteten UD-Schicht (RQ), die auch durch eine Gewebeschicht mit schwacher Kettverstärkung (1 : 18) ersetzt werden kann. (Bild 1c, d), bestehen. Zur Berechnung der Spannungen und Deformationen werden die Gesamtsteifigkeiten und Widerstände aus den Steifigkeiten der Einzelschichten ermittelt /2, 3/, wobei zwischen den Beanspruchungen einer Schicht und den Spannungen im Harz und im Glas zu unterscheiden ist.

Ziel der Untersuchungen ist es, möglichst einfache Beziehungen, die sich für die Anwendung in der Baupraxis eignen, abzuleiten. Dazu werden zunächst die Beziehungen für die Steifigkeiten der UD-, der Gewebe- und der Wirrfaserschichten angegeben und mit anderen theoretischen Ansätzen sowie mit Versuchsergebnissen verglichen /2, 4, 5/. Bei der Ermittlung der Laminatsteifigkeit wird der regelmäßige Aufbau als Zwei-Schichtlaminat mit abwechselnden Wirrfaser- und Gewebelagen (Bezeichnung MW) oder Wirrfaser- und UD-Lagen (Bezeichnung F) sowie schließlich auch als Vier-Schichtlaminat aus Wirrfaser- und längs- bzw. quergerichteten UD-Lagen berücksichtigt (Bild 1). Dafür wird eine verbesserte Kontinuumslösung angegeben und die Übereinstimmung mit der üblichen genaueren Schichtenrechnung gezeigt. Das Ergebnis der Berechnung wird für die Typenlaminat in Tabellen und Diagrammen zusammengestellt, wobei die Ergebnisse der elastischen Rechnung und der Netztheorie gegenüber gestellt werden. Außerdem wird bei den Wirrfaserschichten zwischen elastischem Verhalten und idealelastisch-plastischem Verhalten unterschieden.

## 2. Modelle und Steifigkeiten der einzelnen Schichten

Die einzelnen Schichten bestehen aus Glasfasern mit dem E-Modul  $E_G$  ( $\sim 73 \text{ KN/mm}^2$ ) und dem Volumenglasgehalt  $\psi$  bzw. dem Gewichtsglasgehalt  $\psi^*$  in einer Harzmatrix mit dem E-Modul  $E_H$  ( $\sim 3,5 \text{ KN/mm}^2$ ). Es sollen für die Berechnung möglichst einfache Modelle gewählt werden, um zu einfachen Beziehungen zu kommen, die das Wesentliche erfassen, da es wegen der Streuung in der Fertigung wenig Sinn hat, mit zu genauen Beziehungen zu rechnen. Aus diesem Grunde wird auch der geringfügige Einfluß der Querkontraktionszahl auf die Steifigkeiten weitgehend weggelassen. Wir beginnen mit der UD-Schicht, da hierfür der Tragmechanismus am einfachsten ist und die Beziehungen weitgehend für die anderen Schichten übernommen werden können. Es sind zwei Tragzustände zu untersuchen:  
Zustand I: Gebrauchszustand, bei dem das Harz voll mitträgt  
Zustand II: Bruchzustand, bei dem das Harz praktisch ausgefallen ist und der auch näherungsweise für Langzeitbelastung gilt.

### 2.1 Zustand I

#### 2.1.1 UD-Schicht

Die UD-Schichten werden entweder in Faserrichtung oder quer dazu beansprucht. Bei der faserparallelen Beanspruchung sind die Kraftwege über das Glas und das Harz parallel geschaltet (Bild 2a), d.h. die Steifigkeiten, oder wenn man auf die Volumeneinheit bezieht, die Elastizitätsmoduli sind zu addieren,

$$E_H = (1 - \psi) E_H + \psi E_G, \quad (2.1)$$

wobei der Harzanteil nur merklich eingeht, wenn der Glasgehalt  $\psi$  sehr klein ist.

Insbesondere bei Rohren, die durch Umfangwicklungen verstärkt werden, interessiert auch noch das Tragverhalten der UD-Schichten in Querrichtung. Das Tragverhalten wird am übersichtlichsten, wenn man von einer gleichmäßigen Quadratpackung ausgeht (Bild 2b). Dabei gibt es einen Kraftweg (1), bei dem Harz und Glas hintereinander geschaltet sind. Daneben liegt noch ein zweiter Kraftweg (2), der allein aus Harz besteht und mit dem ersten Kraftweg parallel geschaltet ist. Bei einem Einheitselement mit quadratischer Packung (Bild 2b) wird auf dem Kraftweg (1) mit der Breite  $\sqrt{\psi}$  die Kraft über einen Harzstreifen der Länge  $1 - \sqrt{\psi}$  und des Glases von der Länge  $\sqrt{\psi}$  übertragen, dabei beträgt die Dehnung des Streifens (1)

$$\epsilon = \left( \frac{1 - \sqrt{\psi}}{E_H} + \frac{\sqrt{\psi}}{E_G} \right) \sigma_1$$

und nach Umkehrung der Beziehung der zugehörige E-Modul

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{\epsilon} = \frac{E_H'}{1 - \sqrt{\psi} (1 + E_H'/E_G)} \sim \frac{E_H'}{1 - \sqrt{\psi}}$$

und weiterer Additionen des E-Moduls  $E_2 = E_H'$  des Kraftweges (2)  
 schließlich der Quermodul

$$E_{\perp} = \sqrt{\psi} E_1 + (1 - \sqrt{\psi}) E_2 = E_H' \frac{1 - \sqrt{\psi} + \psi}{1 - \sqrt{\psi}} \quad (2.2)$$

weil durch die Glasfäden in Längsrichtung die Querdehnung im Harz verhindert ist, kann als Harzmodul der für Flächentragwerke übliche Wert

$$E_H' = E_H / (1 - \nu_H^2) \quad (2.3)$$

eingesetzt werden, darin ist  $\nu_H = 0,36$  die Querkontraktionszahl des Harzes. Der Vergleich mit Versuchsergebnissen /2, 4/ ist in Bild 3 vorgenommen und zeigt eine gute Übereinstimmung.

### 2.1.2 Gewebe

Bei der Ermittlung der Steifigkeiten des Gewebes können die für die UD-Schichten ermittelten Beziehungen übernommen werden, wenn man das Tragverhalten der Gewebe wie in Bild 2c in den Hauptkraftweg (1), bei dem die Fäden längs beansprucht werden, und in den Nebenkraftweg (2), bei dem die restlichen Fäden quer beansprucht werden, zerlegt. Im ersten Kraftweg sind die Glasfäden wieder mit dem Harz parallel geschaltet und im zweiten Kraftweg ähnlich wie bei der Querbeanspruchung im vorigen Abschnitt hintereinander geschaltet. Wenn die Glasanteile in beiden Richtungen gleich sind, wie es im Bauwesen normalerweise üblich ist, entfällt auf jede dieser Teilschichten wieder der Gesamtglasvolumenanteil  $\psi$  und ergibt sich die Steifigkeit als arithmetisches Mittel aus den Elastizitätsmoduli (2.1) und (2.2) des vorigen Abschnittes

$$E = \frac{1}{2}(E_H' + E_{\perp}) = \frac{1}{2} \left[ (1 - \psi) E_H' + \frac{1 - \sqrt{\psi} + \psi}{(1 - \sqrt{\psi})(1 - \nu_H^2)} E_H' + \psi E_G' \right] \quad (2.4)$$

Anstelle dieser Beziehung wird häufig eine einfachere, für eine Reihenschaltung, angewandt

$$E = (1 - \psi/2) E_H' + \psi E_G' / 2 \quad (2.4a)$$

Der Vergleich der beiden Beziehungen ist unter anderem in Bild 3 vorgenommen, wobei die Lösung (2.4 - ausgezogene Linie) höhere Werte als die Gleichung (2.4a - strichpunktierte Linie) ergibt.

### 2.1.3 Wirrfaserschichten

Bei einer Wirrfaserschicht kann man in erster Näherung davon ausgehen, daß die kurzen Glasfäden gleichmäßig auf alle Richtungen verteilt sind (Bild 2d). Für einen Glasfaden

in der Richtung  $\alpha$  gilt das Elastizitätsgesetz /7/

$$\sigma_s = E_G \varepsilon_s .$$

Wenn man die Spannungen und die Dehnungen durch die x,y-Komponenten ausdrückt

$$\sigma_x = \sigma_s \cos^2 \alpha , \quad \varepsilon_s = \varepsilon_x \cos^2 \alpha + \varepsilon_y \sin^2 \alpha + \gamma_{xy} \sin \alpha \cos \alpha ,$$

ergibt sich schließlich für die x-Richtung, die in unserem Falle als Hauptbeanspruchungsrichtung anzusehen ist, die Beziehung

$$\sigma_x = \sigma_s \cos^2 \alpha = E_G \varepsilon_s \cos^2 \alpha = E_G \varepsilon_x \cos^4 \alpha .$$

Für die Steifigkeit interessiert der Mittelwert, der sich nach Integration über den Winkelbereich von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  und Division durch diesen Winkelbereich ergibt

$$\frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} \cos^4 \alpha \, d\alpha = \frac{1}{2\pi} \left\{ \left[ \sin \alpha \cos^3 \alpha \right]_0^{\pi/2} + 3 \int_0^{\pi/2} \cos^2 \alpha \, d\alpha \right\} = \frac{3}{8} , \quad (2.5)$$

d.h., es kann für die Parallelbeanspruchung die Beziehung (2.1) übernommen werden, wenn man darin  $\varphi$  durch  $0,375 \varphi$  ersetzt. Dieser Wert stimmt mit dem üblicherweise angewandten von  $0,4 \varphi$  sehr gut überein. Ferner muß noch berücksichtigt werden, daß ein weiterer Teil durch Schub- und Querbeanspruchung übertragen wird, wobei es wieder zu einer Hintereinanderschaltung von Harz und Glas mit einer wesentlich geringeren Steifigkeit kommt. Wenn man die Wirrfaserschicht als Gewebe auffaßt, ergibt sich in Analogie zu Gleichung (2.4) die Beziehung

$$E = \frac{1}{2} \left[ (1 - 0,75\varphi + \frac{1 - \sqrt{0,75\varphi} + 0,75\varphi}{(1 - \sqrt{0,75\varphi})(1 - \frac{2}{H})}) E_H + 0,75\varphi E_G \right] . \quad (2.6)$$

In der Praxis wird normalerweise die zu (2.4a) analoge Beziehung

$$E = (1 - 0,4\varphi) E_H + 0,4\varphi E_G \quad (2.6a)$$

angewandt. Sie stimmt im Bereich mittlerer  $\varphi$ -Werte mit der obigen nahezu überein, wie aus dem Vergleich zwischen der ausgezogenen Linie für Gleichung (2.6) und der strichpunktierten Linie für Gleichung (2.6a) zu sehen ist.

ung (2.6a) in Bild 3 hervorgeht. Die Beziehung (2.6) erfaßt das vom Glasgehalt  $\varphi$  abhängige Mittragen des Querverbundes, wie es sich auch bei der Auswertung der Versuche in /5/ ergeben hat, wo der Wert 0,4 durch einen allgemeineren  $k(\varphi)$  ersetzt wird.

## 2.2 Zustand II

Wenn die Bruchlast erreicht ist, ist zu erwarten, daß große Teile der Harzmatrix insbesondere der querbeanspruchten Schichten gebrochen sind und nicht mehr voll mittragen. Die Rechnung ist auf der sicheren Seite, wenn man den Harzmodul in den querbeanspruchten Schichten zu Null setzt, was praktisch darauf hinausläuft, den Harzmodul völlig zu vernachlässigen, da der Einfluß des Harzes in den längsversteiften Schichten relativ klein ist. Auf diese Weise wird auch deutlich, wie groß der Lastanteil des Harzes bei Kurzzeitbelastung ist.

Wenn die Tragfähigkeit des Harzes erschöpft ist, fällt es zwar bei der Dehnsteifigkeit völlig heraus aber bei der Biegesteifigkeit sorgt es zumindest noch für den Abstand der Glasfasern, d.h. für die Erhaltung der Wanddicke  $h$ .

Ferner kann man diese Werte auch als unteren Grenzwert bei Langzeitbelastung übernehmen. Da im Langzeitfall bei quasi-stationärer Betrachtung der Harzmodul als Funktion der Zeit, die mit wachsender Zeit immer mehr abnimmt, angesehen werden kann:

$$E_H(t) = E_H / \Phi(t) . \quad (2.7)$$



### 3. Steifigkeiten der Lamine

Die Typenlamine nach Bild 1 können in gleicher Weise behandelt werden, da sie symmetrisch aufgebaut sind und aus einer Anzahl gleicher Doppelschichten bestehen. Das sind im Falle der Typenlamine nach Bild 1a und b Gewebe- oder UD-Schichten der Dicke  $t_1$  mit dem Elastizitätsmodul  $E_1$  und Wirrfaserschichten der Dicke  $t_2$  mit dem Elastizitätsmodul  $E_2$ . Bei dem Typenlaminat nach Bild 1c sind es Gewebeschichten der Dicke  $t_1$  mit dem Elastizitätsmodul  $E_1$  und UD-Sichten der Dicke  $t_2$  mit dem Elastizitätsmodul  $E_2$ . Dabei werden die Elastizitätsmodule  $E_1$  und  $E_2$ , wie im vorigen Abschnitt gezeigt, ermittelt. Zur Berechnung der Steifigkeiten des Laminates am sinnvollsten, zunächst die Steifigkeit

$$d = d_1 + d_2 \quad (3.1)$$

für den Grundbaustein des Laminates, nämlich der Doppelschicht mit der Dicke

$$t = t_1 + t_2 \quad (3.2)$$

und den Einzelsteifigkeiten

$$d_i = (Et)_i \quad (3.3)$$

zu ermitteln und daraus dann anschliessend die Gesamtsteifigkeiten (Dehnsteifigkeit  $D$ , Biegesteifigkeit  $B$ ) und die Spannungen zu berechnen.

Am einfachsten wird die Berechnung, wenn die Anzahl der Schichten so groß ist, daß ein homogener Aufbau vorausgesetzt werden kann. Dazu wird die Steifigkeit (3.1) der Doppelschicht auf ihre Dicke  $t$  (3.2) gleichmäßig verschmiedet ( $d/t$ ) und dann der Querschnitt wie ein isotroper angesehen. Dafür ergibt sich unter Verwendung der Laminatdicke  $h$  die Dehnsteifigkeit

$$\bar{D} = dh/t \quad (3.4)$$

und die Biegesteifigkeit

$$\bar{B} = dh^3/12t = \bar{D}h^2/12. \quad (3.5)$$

Wenn das Laminat durch die Normalkraft  $N$  und das Biegemoment  $M$  (pro Breiten-einheit) beansprucht wird, ergibt sich pro Schicht die Kraft (pro Breiten-einheit) mit dem mittleren Schichtabstand  $\bar{e}_i$  von der neutralen Faser

$$s_i = d_i \varepsilon = d_i \left( \frac{N}{D} + \frac{M}{B} \bar{e}_i \right) \quad (3.6)$$

die mittlere Spannung

$$\bar{\sigma}_l = \frac{S_l}{t_l} = E_l \varepsilon = E_l \left( \frac{N}{D} + \frac{M}{B} \bar{e}_l \right) \quad (3.7)$$

und die mittlere Spannung im Harz und im Glas

$$\bar{\sigma}_H = E_H \varepsilon, \quad \bar{\sigma}_G = E_G \varepsilon \quad (3.8)$$

Um zeigen zu können, ab welcher Schichtzahl mit den einfachen homogenen Werten gerechnet werden kann, sollen nun im folgenden die Steifigkeiten für die einzelnen Laminattypen berechnet werden. Wir beginnen dazu mit den ähnlich aufgebauten Typenlaminaten nach Bild 1a und b. Sie bestehen aus n-Schichten, die sich aus (n-1)/2 Gewebe- oder UD-Schichten (Index 1) und aus (n+1)/2 Wirrfaserschichten (Index 2) zusammensetzen. Die Schichtzahl n kann dabei die Werte

$$\begin{aligned} \text{Typ A} &: n = 3, 7, 11, 15, \dots \\ \text{Typ B} &: n = 5, 9, 13, 17, \dots \end{aligned} \quad (3.9)$$

annehmen. Im ersten Fall liegt in der Mitte eine Wirrfaserschicht (Bild 1a) und im zweiten eine Gewebe- oder UD-Schicht, <sup>(Bild 1b)</sup> zu der noch zwei Wirrfaserschichten (als Mittelstück) gerechnet werden müssen, woran sich dann die vorhin erwähnten Doppelschichten aus Schichten 1 und 2 anschließen. Das Typenlaminat C ist ähnlich dem Laminat B. Es besteht aus einem Mittelstück mit einer Wirrfaserschicht und zwei UD-Schichten und anschließenden Doppelschichten aus Gewebes- (Index 1) und UD-Schichten (Index 2), wozu ganz außen als Ribstopper noch Wirrfaserschichten (Index 3) kommen.

### 3.1 Typenlaminat A

Da diese Lamine aus (n-1)/2 Gewebe oder UD-Schichten (Index 1) und (n+1)/2 Wirrfaserschichten (Index 2) bestehen, gilt für die Laminatdicke h

$$h = \frac{1}{2} [(n-1)t_1 + (n+1)t_2] = \frac{t}{2} \left( n - \frac{t_1 - t_2}{t_1 + t_2} \right) \quad (3.10)$$

und analog für die Dehnsteifigkeit D

$$D = \frac{1}{2} [(n-1)D_1 + (n+1)D_2] = \frac{D}{2} \left( n - \frac{D_1 - D_2}{D_1 + D_2} \right) \quad (3.11)$$

Neben der Dehnsteifigkeit wird noch die Beziehung für die Biegesteifigkeit benötigt. Vorab wird die Schwerpunktslage der Doppelschicht 1+2 benötigt.

Ihr Abstand e vom unteren Rand der Doppelschicht ergibt sich aus dem Vergleich der statischen Momente (Bild 1a)

$$\begin{aligned} \text{zu} \quad 2ed &= D_1 t_1 + D_2 (2t_1 + t_2) \\ e &= \frac{t}{2} \left[ 1 - \frac{D_1 t_2 - D_2 t_1}{(D_1 + D_2)t} \right] \end{aligned} \quad (3.12)$$

In die Biegesteifigkeit gehen die Biegesteifigkeiten der einzelnen Schichten

$$B_0 = [(n-1) \alpha_1 t_1^2 + (n+1) \alpha_2 t_2^2] / 24, \quad (3.13)$$

die normalerweise vernachlässigt werden können, ein. Dazu kommen noch die Steinglieder der kombinierten Schicht 1 und 2 bezüglich ihres gemeinsamen Schwerpunktes /8/

$$B_1 = \frac{n-1}{2} \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha} \left(\frac{t}{2}\right)^2 \quad (3.14)$$

und die Steinglieder bezüglich der Mittellinie des Gesamtlaminates

$$B_2 = 2\alpha \left[ \left(e + \frac{t_2}{2}\right)^2 + \left(e + \frac{t_2}{2} + t\right)^2 + \dots + \left(e + \frac{t_2}{2} + \frac{n-5}{4} t\right)^2 \right]. \quad (3.15)$$

Darin ist mit (3.12) der Abstand

$$e + \frac{t}{2} = \frac{t}{2} \left(1 + \frac{\alpha_2}{\alpha}\right) \quad (3.16)$$

enthalten. Auflösung der quadratischen Terme in (3.15) und Zusammenfassung der Glieder (3.14) und (3.15) unter Verwendung der Beziehung (3.16) ergeben schließlich die Summe der Steinglieder

$$B - B_0 = 2\alpha t^2 \left[ 1^2 + 2^2 + \dots + \left(\frac{n-5}{4}\right)^2 + \left(1 + \frac{\alpha_2}{\alpha}\right) (1 + 2 + \dots + \frac{n-5}{4}) \right. \\ \left. + \frac{n-1}{16} \left( \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha^2} + 2 \left(1 + \frac{\alpha_2}{\alpha}\right)^2 \right) \right]. \quad (3.17)$$

Bei der geringst möglichen Schichtzahl von 5 müssen noch die Eigenbiegesteifigkeiten  $B_0$  der Schichten nach (3.13) berücksichtigt werden. Bei höherer Schichtzahl ist ihr Beitrag zu vernachlässigen.

Für die Ermittlung der Biegespannungen werden noch die Abstände der Randschichten von der neutralen Faser benötigt. Wenn man die mittleren Spannungen berechnen will, betragen die Abstände der Schicht 1

$$2\bar{e}_1 = h - 2t_2 - t_1 = (n-3) \frac{t}{2} \quad (3.18a)$$

und der Wirrfaserschicht

$$2\bar{e}_2 = h - t_2 = (n-1) \frac{t}{2} \quad (3.19a)$$

oder, wenn man an den oberen Rand der jeweiligen Schicht geht, zur Ermittlung der Maximalspannung in der jeweiligen Schicht für den Schichttyp 1

$$2e_1 = h_1 - 2t_2 = \frac{(n-1)}{2} t - t_2 \quad (3.18b)$$

und für die Wirrfaserschicht

$$2e_2 = h_1. \quad (3.19)$$

Dieser Wert wird auch bei Zugrundlegung von "homogenen" Werten verwandt.

### 3.2 Typenlaminat B

Bei diesem Laminattyp ist  $n - 1$  durch 4 teilbar und in der Mitte entsteht ein dreischichtiges Kernstück, mit einer Schicht 1 in der Mitte umgeben von 2 Wirrfaserschichten 2. In diesem Falle kann die Eigenbiegesteifigkeit  $B$  (3.3) der Einzelschichten sowie das Steinerglied  $B_1$  (3.14) der Doppelschicht voll und das wesentliche Steinerglied  $B_2$  (3.15) bezüglich der Mittellinie des Laminates im Prinzip übernommen werden. Im letzten Falle ist nur zu berücksichtigen, daß der Abstand der Schichten von der Mittellinie jetzt nicht  $e + t_2/2$ , sondern

$$e + t_2 + \frac{t_1}{2} = t + e - \frac{t_1}{2} = t + \frac{t}{2} \frac{\alpha_2}{\alpha} \quad (3.20)$$

beträgt.

Ferner ist zu berücksichtigen, daß die Zahl der Doppelschichten jetzt pro Laminathälfte um 1 zurückgeht, so daß für das Hauptsteinerglied in Analogie zu (3.15) jetzt die Beziehung

$$B_2 = 2\alpha \left[ \left( e + t_2 + \frac{t_1}{2} \right)^2 + \left( e + t_2 + \frac{t_1}{2} + t \right)^2 + \dots + \left( e + t_2 + \frac{t_1}{2} + \frac{n-1}{4} t \right)^2 \right] \quad (3.21)$$

gilt. Schließlich ist noch das Steinerglied auch der beiden Wirrfaserschichten im Kernstück mit dem Abstand  $t/2$  von der Mittellinie

$$2\alpha_2 (t/2)^2$$

hinzuzufügen. Damit gilt jetzt für die Zusammenfassung aller Steinerglieder, wenn man noch aus  $e + t_2 + t_1/2$  ein  $t$  herauszieht und die Summation dann bis  $(n-3)/4$  führt

$$B - B_0 = 2\alpha t^2 \left[ 1^2 + 2^2 + \dots + \left( \frac{n-3}{4} \right)^2 + \frac{\alpha_2}{\alpha} (1 + 2 + \dots + \frac{n-3}{4}) + \frac{n-1}{4} \left( \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha^2} + 2 \left( 1 + \frac{\alpha_2}{\alpha} \right)^2 \right) + \frac{1}{4} \frac{\alpha_2}{\alpha} \right]. \quad (3.22)$$

#### 4. Vereinfachte Rechnung

Wunsch ist es bei der Laminatberechnung möglichst wie bei einem Querschnitt aus isotropem Material vorzugehen. Bei dem regelmäßigen Schichtaufbau der Typenlaminat kann man dazu die Steifigkeiten der Grundsicht (Doppel- oder Vierfachsicht) verschmieren und erhält dann die Beziehungen (3.4) und (3.5) für die Dehn- und Biegesteifigkeit. Zur Ermittlung der Widerstandsmomente führt man als Randfaserabstand in der Kontinuumsrechnung die halbe Laminatdicke  $e = h/2$  ein. Ferner wird gezeigt, daß sich die Kontinuumswerte für die Biegesteifigkeit noch wesentlich verbessern lassen, wenn man die Lage des elastischen Schwerpunktes der Doppel- und Vierfachsichten berücksichtigt. Beim Verschmieren wird die Steifigkeit der Grundsichten gleichmäßig über die Dicke  $t$  verteilt. Wenn aber in der Schichtkombination die innen liegenden Schichten steifer sind, was normalerweise der Fall ist, liegt die neutrale Faser für die Schichtkombination nicht in der Mitte der Schichtkombination, sondern weiter nach innen, was sich in einfacher Weise durch eine Vorrechnung ermitteln läßt.

Das Kernstück in den Kontinuumssteifigkeiten  $\bar{D}$  und  $\bar{B}$  ist der "verschmierte" Elastizitätsmodul  $d/t$  der Grundsicht, aus der im wesentlichen das Laminat aufgebaut ist. Für die weitere Diskussion ist besonders interessant, wie dieser effektive Elastizitätsmodul vom Gesamtglasgehalt und vom Verhältnis der Glasgewichte pro Flächeneinheit abhängt und wie er sich schließlich beim Übergang vom Tragzustand I auf den Zustand II verändert und zwar für die verschiedenen Schichtkombinationen nach Bild 1.

Außerdem ist zu erwarten, daß bei geringer Schichtzahl die Kontinuumslösung fehlerhaft ist. Dazu werden einfache Korrekturglieder abgeleitet und anhand eines Vergleiches mit der genauen Bedienung für ein Doppelschichtlaminat wird nachgewiesen, daß sich die Fehler der Kontinuumsrechnung in den Dehn- und Biegesteifigkeiten sowie den Widerstandsgrößen für die Spannungsberechnung, insbesondere den Widerstandsmomenten, selbst für Laminat mit sehr geringer Schichtzahl völlig ausgleichen lassen.

Schließlich ist noch zu diskutieren, wie sich ein Fehler in der Laminatdicke auf die Steifigkeiten und Widerstandsgrößen auswirkt. Nach dieser allgemeinen Diskussion, die im wesentlichen mit dimensionslosen Größen durchgeführt wird, müssen noch die Werte einschließlich der Streubereiche für die Normlaminat in tabellarischer Form (Tabelle 2) zusammengestellt werden (Abschnitt 5).

#### 4.1 Grundwerte der Lamine

Bei der Laminatberechnung kann man davon ausgehen, daß die Glasgewichte  $g_i$  pro Flächeneinheit der einzelnen Schichten sowie die Gesamtschichtzahl  $n$  und die Anzahl  $n_i$  von jedem Schichttyp  $i$  und schließlich der gewünschte Gewichts-  
glasanteil  $\psi$  und damit der Volumenglasanteil  $\varphi$

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{1-\psi}{\psi} \frac{\sum g_i}{\sum h_i}} \quad (4.1)$$

bekannt sind. Daraus lassen sich dann die Laminatdicke  $h$ , die Schichtdicken  $t_i$  mit den dazugehörigen Glasvolumenanteilen  $\varphi_i$  sowie die Laminatsteifigkeiten berechnen.

Das Glasgewicht  $g_i$  läßt sich durch das spezifische Glasgewicht  $\gamma_G = 25 \text{ kN/m}^3$ , den Glasgehalt  $\varphi_i$  und die Schichtdicke  $t_i$  ausdrücken:

$$g_i = \gamma_G (\varphi t)_i \quad (4.2)$$

Aus der Beziehung für den Gesamtglasgehalt

$$h \varphi \gamma_G = \sum (n g)_k$$

ergibt sich die Laminatdicke  $h$  zu

$$h = \frac{1}{\varphi \gamma_G} \sum (n g)_k \quad (4.3)$$

Da in der Anzahl  $n_k$  schon die Schichtzahl eines Schichttypes<sup>k</sup> erfaßt ist, läuft die Summation mit dem Index  $k$  nur noch über die Schichttypen, d.h. bei einem Zweischichtlaminat über die Schichten 1 und 2 und beim Vierschichtlaminat über die Schichten 1-4. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die erreichten Glasgehalte in den einzelnen Schichten je nach Schichttyp und Fertigungsverfahren in einem relativ festen Verhältnis

$$F = \varphi_i / \varphi_0 = \varphi_i / \varphi_{UD} \quad (4.4)$$

zueinander stehen (Tabelle 1), wobei als Bezugsgröße  $\varphi_0$  sinnvollerweise der größtmögliche Glasgehalt, wie er sich in UD-Sichten erreichen läßt, gewählt wird. Damit folgt aus Gleichung (4.2) die Beziehung für die Schichtdicke

$$t_i = \frac{\varphi_0}{\varphi_i} \left( \frac{\varphi}{F} \right)_i \quad (4.5)$$

Berücksichtigt man ferner, daß die Laminatdicke gleich der Summe aller Schichtdicken ist

$$h = \sum (nt)_k ,$$

läßt sich mit Hilfe der Gleichung (4.5) der Bezugsglasgehalt  $\varphi_0$  ausdrücken

$$\varphi_0 = \frac{1}{h} \sum \left( \frac{ng}{F\gamma_G} \right)_k = \varphi \frac{\sum \left( \frac{ng}{F} \right)_k}{\sum (ng)_k} \quad (4.6)$$

und mit Hilfe des Verhältnisses  $F$  (4.4) schließlich der Glasgehalt  $\varphi_i$  der einzelnen Schichttypen

$$\varphi_i = F\varphi_0 = \frac{F_i}{h} \sum \left( \frac{ng}{F\gamma_G} \right)_k = \varphi F_i \frac{\sum \left( \frac{ng}{F} \right)_k}{\sum (ng)_k} \quad (4.7)$$

und nach (4.5) die Schichtdicke  $t_i$  der einzelnen Schichten

$$t_i = \frac{hg_i}{F_i} \frac{1}{\sum \left( \frac{ng}{F} \right)_k} = \frac{g_i}{\gamma_G \varphi F_i} \frac{\sum (ng)_k}{\sum \left( \frac{ng}{F} \right)_k} \quad (4.8)$$

sowie die Dicke  $t$  des Grundbausteins des Laminates

$$t = \sum t_k = \frac{1}{\varphi} \sum \left( \frac{g}{F} \right)_k \frac{\sum (ng)_k}{\sum (ng/F)_k} \quad (4.9)$$

ausdrücken.

Aus den im Vorlaufenden hergeleiteten Beziehungen wird deutlich, daß nach Festlegung des Laminattypes in Bild 1, der Glasgewichte  $g_i$  sowie der Schichtzahlen  $n_i$  nur noch der Gesamtglasgehalt  $\psi$  oder  $\varphi$  gewählt werden kann, alle anderen Größen liegen dann fest.

#### 4.2 Kontinuumsrechnung

Die Ermittlung der Dehn- und Biegesteifigkeiten sowie der Widerstandsmomente läßt sich vereinfachen, wenn man die Steifigkeit der Grundschicht

$$d = \sum (Et)_k \quad (4.10)$$

auf ihre Dicke  $t$  verschmiert und mit dem zugehörigen Elastizitätsmodul

$$\bar{E} = \frac{d}{t} = \frac{\sum_k (Et)_k}{\sum_k t_k} \quad (4.11)$$

weiterrechnet. Damit ergibt sich die übliche Kontinuumssteifigkeit

$$\bar{D} = \bar{E} h, \quad (4.12)$$

Wenn man beachtet, daß das Gesamtlaminat aus  $m$  Grundschichten und einer zusätzlichen Wirrfaserschicht mit der Steifigkeit

$$d_2 = (Et)_2 \quad (4.13)$$

aufgebaut ist, erhält man die genaue Dehnsteifigkeit des Laminates, indem man die Kontinuumssteifigkeit (4.12) um die Steifigkeit dieser Schicht wieder korrigiert

$$D = \bar{E}(h - t_2) + E_2 t_2 = \bar{E} h - (\bar{E} - E_2) t_2 = \bar{E} h (1 - \alpha). \quad (4.14)$$

Das Korrekturglied

$$\alpha = \frac{\bar{E} - E_2}{\bar{E}} \frac{t_2}{h} \quad (4.15)$$

beträgt bei Zweischichtlaminaten mit einer Gewebe- oder UD-Sicht (Index 1) und einer Wirrfaserschicht (Index 2)

$$\alpha = \frac{(E_1 - E_2) t_1}{E_1 t_1 + E_2 t_2} \frac{t_2}{h} \quad (4.15a)$$

und bei einem Vierschichtlaminat mit zwei längs angeordneten UD-Schichten (Index 1) und einer quer angeordneten UD-Schicht oder einer Gewebesicht mit einem Verstärkungsverhältnis 1: 18 (Index 3) und schließlich einer Wirrfaserschicht (Index 2)

$$\alpha = \frac{2(E_1 - E_2) t_1 + (E_3 - E_2) t_3}{2E_1 t_1 + E_2 t_2 + E_3 t_3} \frac{t_2}{h} \quad (4.15b)$$

Dabei ist für die Wirrfaserschicht wieder der Index 2 gewählt worden, um die Indizes nicht immer umtauschen zu müssen und die Ergebnisse für die Doppel- und die Vierfachsicht einfacher vergleichen zu können. Die beiden Korrekturglieder sind ebenfalls aus der Differenz zwischen  $\bar{E}$ -Moduli der Einzelschichten und der Wirrfaserschicht aufgebaut.

Das Kontinuumsglied  $D$  liefert den wesentlichen Anteil. Dazu kommt noch ein Korrekturglied (4.15), das mit wachsender Schichtzahl immer geringer wird, da die Schichtzahl nur im Nenner des Korrekturgliedes nämlich in der Laminatdicke  $h$  eingeht.



Zur vollständigen Dimensionierung werden auch noch die Beziehungen für die Biegesteifigkeit  $B$  und die Widerstandsmomente  $W$  benötigt. Sie können auch zur Berechnung der Drillglieder analog übernommen werden. Bei der üblichen Kontinuumsrechnung wird das Laminat als ein homogenes mit dem Elastizitätsmodul  $\bar{E}$  (4.11) idealisiert. Die zugehörige Biegesteifigkeit läßt sich aber noch verbessern, wenn man davon ausgeht, daß das symmetrisch aufgebaute Laminat aus der oberen und unteren Hälfte besteht (Bild 1 f) und berücksichtigt, daß die neutrale Faser in jeder Hälfte nicht im Abstände  $h/4$  von der Laminatmitte liegt, sondern um  $e'$  weiter nach außen. Die Exentrität  $e'$  ist gleich dem Abstand der neutralen Faser der jeweiligen Schichtkombination (Doppel- oder Vierfachsicht) von der Mitte dieser Schichtkombination und beschreibt, um wieviel der elastische Schwerpunkt bei unterschiedlich steifen Schichten von der Kernschichtmitte abweicht. Die Biegesteifigkeit setzt sich aus den beiden Eigenbiegesteifigkeiten der Laminathälften bezüglich der Mitte der Laminathälften zusammen

$$2 B_0 = 2 \bar{E} \frac{h}{2} \left[ \frac{1}{12} \left( \frac{h}{2} \right)^2 - e'^2 \right]$$

und muß noch bei Transformation in die neutrale Achse der jeweiligen Laminathälfte um das Steinerglied (proportional  $e'$ ) verringert werden. Dazu kommt noch das Steinerglied bezüglich der Mitte des Laminates

$$\bar{E} h \left( \frac{h}{4} + e' \right)^2 = \bar{D} \left( \frac{h}{4} + e' \right)^2.$$

Zusammenfassung aller Glieder und Herausziehen des Kontinuumsmoduls ergibt schließlich die Beziehung für die Biegesteifigkeit

$$B = \frac{\bar{D} h^2}{12} \left( 1 + \frac{6e'}{h} \right) = \bar{B} \left( 1 + \frac{6e'}{h} \right). \quad (4.16)$$

Sie setzt sich im wesentlichen aus dem Wert  $\bar{B}$  der Kontinuumsrechnung zusammen und wird durch das Korrekturglied  $6e'/h$  abgemindert, da  $e'$  normalerweise negativ ist. Diese Korrektur nimmt mit zunehmender Laminatdicke  $h$  oder zunehmender Schichtzahl  $n$  immer mehr ab, da das Exentritätsmaß  $e'$  im Zähler der Korrektur für jeden Kernschichttyp ein fester von der Gesamtschichtzahl unabhängiger Wert ist. Die Exentrität  $e'$  beträgt bei einem Zweischichtlaminat nach (3.12) und Bild 1e

$$e' = e - \frac{t}{2} = - \frac{\alpha_1 t_2 - \alpha_2 t_1}{2 \alpha t} = - \frac{(E_3 - E_2) t_1 t_2}{E_1 t_1 + E_2 t_2} \quad (4.17a)$$

und bei einem Vierschichtlaminat

$$e' = - \frac{(2\alpha_1 + \alpha_3) t_2 - \alpha_2 (2t_1 + t_3)}{2 \alpha t} = - \frac{2(E_1 - E_2) t_1 + (E_3 - E_2) t_3}{2E_1 t_1 + E_2 t_2 + E_3 t_3} \frac{t_2}{2}. \quad (4.17b)$$

Ein Vergleich mit dem Korrekturglied a (4.15a und b) für die Dehnsteifigkeit zeigt, daß das Korrekturglied bei der Biegesteifigkeit den dreifachen Wert desjenigen für die Dehnsteifigkeit annimmt

$$\frac{6e^1}{h} = -3\alpha \quad (4.18)$$

d.h. wir kommen mit einem einzigen Korrekturwert für beide Steifigkeiten aus.

Für den Spannungsnachweis eines auf Normalkraft und Biegung beanspruchten Laminates

$$\sigma_i = E_i \left( \frac{N}{D} + \frac{M}{B} e_i \right)$$

werden noch die Randfaserabstände  $e_i$  für die einzelnen Schichten benötigt. Für die Wirrfaserschicht (Index 2) beträgt der Abstand der Schichtmitte

$$e_2 = (h - t_2) / 2, \quad (4.20a)$$

für die UD- oder Gewebeschicht (Index 1) beträgt der Randabstand

$$e_1 = \frac{1}{2}(h - 2t_2 - t_1) \quad (4.20b)$$

und schließlich für die quer angeordnete UD-Schicht (Index 3) bei Vierschichtlaminaten

$$e_3 = \frac{1}{2}(h - 2t_2 - 2t_1 - t_3). \quad (4.20c)$$

### 4.3 Diskussion der Ergebnisse

Bevor die Auswertung für die Typenlaminare vorgenommen wird, soll zunächst eine allgemeine Diskussion durchgeführt werden, und zwar für den effektiven Elastizitätsmodul  $\bar{E}$  und für die Genauigkeit der verbesserten Kontinuumsrechnung.

Im Bild 4 ist der effektive Elastizitätsmodul  $\bar{E}$  (4.11) für die Doppelschicht, bestehend aus einer Wirrfaserschicht (Index 2) und einer Gewebeschicht oder einer UD-Schicht (Index 1) über den Gesamtglasgehalt  $\varphi$  der Doppelschicht aufgetragen. Bei Verwendung der UD-Schichten ist zu berücksichtigen, daß sie längs- oder querangeordnet sein können, da sowohl der Elastizitätsmodul in Längsrichtung als auch in Querrichtung interessiert. Der Elastizitätsmodul ist dimensionslos gemacht, indem er auf den tragenden Modul, den Glasmodul  $E_G$ , bezogen ist. Für das Wanddickenverhältnis  $t_2/t_1$  kommen im wesentlichen Werte in der Nähe von 1 in Betracht. Der Sonderfall  $t_2/t_1 = 1$  ist im Bild 4 als durchgehende Kurve aufgetragen, die Ergebnisse für  $t_2/t_1 = 0,75$  und  $t_2/t_1 = 1,25$  sind jeweils nur angedeutet, um den Streubereich aufzuzeigen. Die effektiven Elastizitätsmoduli hängen nahezu linear vom Glasgehalt  $\varphi$  ab. Das Schichtdickenverhältnis  $t_2/t_1$  spielt nur bei Verwendung von UD-Schichten und zwar in Faserrichtung eine merkliche Rolle.

Um den Einfluß des Harzes aufzuzeigen sind als dünne Linien noch die Ergebnisse aufgetragen, wenn das Harz in den querbeanspruchten Schichten ausfällt, was bei höheren Belastungen und bei langandauernden Verformungen infolge des Kriechens zu erwarten ist. Schließlich sind noch als gestrichelte Linien die unteren Grenzwerte angegeben, wenn nämlich die tragende Wirkung des Harzes völlig vernachlässigt wird.

Im Bild 5 ist die Genauigkeit der Steifigkeits- und Widerstandsglieder nach der Kontinuumsrechnung für Doppelschichtlamine nach Bild 1a und b in Abhängigkeit von der Gesamtschichtzahl  $n$  dargestellt. Dazu werden die Kontinuumswerte für die Steifigkeiten (3.4) und 3.5), die auch den Werten  $\bar{D}$  und  $\bar{B}$  nach (4.12) und (4.16) entsprechen, auf die exakt ermittelten Dehn- und Biegesteifigkeiten (3.11), (3.17) und (3.22) bezogen

$$\frac{\bar{D}}{D} \quad \frac{\bar{B}}{B} \quad (4.21)$$

Die Ergebnisse sind in Bild 5a für das Typenlaminat A (Bild 1a) und in Bild 5b für das Typenlaminat B in Abhängigkeit von der Schichtzahl  $n$  ( $\bar{D}/D$  - ausgezogene Linien,  $\bar{B}/B$  - gestrichelte Linien) aufgetragen. Als Parameter ist nicht der Glasgehalt sondern das Verhältnis der Steifigkeiten  $E_2/E_1$  gewählt, da dieses für einen gewählten Laminattyp und ein gewähltes Wanddickenverhältnis  $t_2/t_1$  nahezu konstant ist und dadurch die hier getroffenen Aussagen allgemeingültiger werden und auch auf andere Lamine übernommen werden können.

Für das Widerstandsmoment der Wirrfaserschichten (Index 2) gelten auch die Kurven für das Biegesteifigkeitsverhältnis  $\bar{B}/B$ , so daß es genügt, nur das Verhältnis

$$\frac{\bar{W}_1}{W_1} \sim \frac{\bar{B}}{B} \quad (4.22)$$

für das Widerstandsmoment der innen liegenden Gewebe- oder UD-Schicht aufzutragen. (strichpunktierte Linien) Es zeigt sich, daß die Kurven für die Lamine A und B praktisch deckungsgleich sind, bis auf die Werte für die Minimalschichtzahl  $n = 5$  in Bild 5a und  $n = 3$  in Bild 5b. Ferner, daß die Abweichung in der Dehnsteifigkeit erwartungsgemäß geringer ist als diejenige der Biegesteifigkeit und daß das Verhältnis (4.22) der Widerstandsmomente ungefähr umgekehrt proportional dem Verhältnis (4.21) der Biegesteifigkeit ist. Bei kleinem Steifigkeitsverhältnis  $E_2/E_1 = 0,3$ , dh. bei großem Steifigkeitsunterschied ist der Fehler der üblichen Kontinuumsrechnung ausgeprägter als bei geringem Steifigkeitsunterschied ( $E_2/E_1 = 0,6$ ). Bei gleicher Steifigkeit der beiden Schichten ( $E_2 = E_1$ ) werden die Ergebnisse der üblichen Kontinuumsrechnung exakt.

Um deutlich zu machen, wieweit die verbesserte Kontinuumsrechnung (4.14) und (4.16) die exakten Werte aufgrund des Korrekturgliedes  $a$  (4.15) und (4.18) wieder-

gibt, sind die Steifigkeitsverhältnisse (4.21) unter Verwendung der verbesserten Steifigkeiten (4.14) und (4.16)

$$\frac{\bar{D}}{D} = \frac{1}{1-a} \quad , \quad \frac{\bar{B}}{B} = \frac{1}{1-3a} \quad (4.22a)$$

ebenfalls in Bild 5 als Punkte eingetragen. Es zeigt sich, daß die verbesserte Kontinuumsrechnung mit den genauen Ergebnissen völlig übereinstimmt, bis zu Schichtzahlen von  $n = 5$  und selbst bei der minimalen Schichtzahl von  $n = 3$  in der Biegesteifigkeit nur ein Unterschied von 5 % auftritt. Bei der üblichen Kontinuumsrechnung beträgt der Unterschied im Grenzfall  $n = 3$  immerhin 2,15. Hier wird besonders deutlich, wie wichtig es ist, die genauere Lage des elastischen Schwerpunktes der Laminats zu berücksichtigen. Eine Darstellung des Korrekturgliedes  $a$  erübrigt sich, da es durch den Unterschied zwischen den bezogenen Steifigkeitsverläufen (4.22a) und der 1 unmittelbar wiedergegeben ist.

#### 4.3.1 Laminats des Types F .../300

Bei diesen Laminats haben die inneren Wirrfaserschichten ein Glasgewicht von  $300 \text{ g/m}^2$ , die äußeren dagegen von  $g = 450 \text{ g/m}^2$ . Ein solches Laminat wird am zweckmäßigsten wie ein kontinuierliches Laminat mit zwei zusätzlichen Aussenschichten behandelt, d. h. von den äußeren Wirrfaserschichten wird der Anteil  $g = 300 \text{ g/m}^2$  zu dem kontinuierlich aufgebauten Laminat zugeschlagen, das restliche Glasgewicht  $g = 150 \text{ g/m}^2$  wird in den zusätzlichen Außenschichten des Types W (Index 4) erfaßt. Die Beziehungen für ein Zweischichtlaminat aus dem Abschnitt 4.1 und 4.2 können mit gewissen Zusätzen für die zusätzlichen Aussenschichten übernommen werden (Bild 6a).

Wenn man das Glasgewicht dieser Zusatzschicht mit  $g_4 = 150 \text{ g/mm}^2$  und die Dicke mit  $t_4$  bezeichnet, lauten die Beziehungen (4.3) für die Laminatdicke  $h$  und (4.7) für den Glasgehalt  $\psi_i$

$$h = \frac{4}{\psi \gamma_G} (n_1 g_1 + n_2 g_2 + 2g_4) \quad , \quad \psi_i = \frac{F_i}{h \gamma_G} \left( \frac{n_1 g_1}{F_1} + \frac{n_2 g_2}{F_2} + \frac{2g_4}{F_2} \right) \quad (4.3a/7a)$$

Im Korrekturglied  $a$  (4.15a) muß  $h$  durch  $h - 2t_4$  ersetzt werden. Die Ausdrücke für die Steifigkeiten nach der verbesserten Kontinuumsstheorie lauten jetzt

$$D = \bar{E}(h - 2t_4) (1 - a) + 2E_4 t_4 \quad (4.14a)$$

$$B = \bar{E}(h - 2t_4)^3 (1 - 3a)/12 + E_4 t_4 (h - t_4)^2/2. \quad (4.16a)$$

#### 4.4 Einfluß der Schwankungen des Harzgehaltes

Die Kontinuumsrechnung hat außerdem den großen Vorteil, daß sich Schwankungen im Harzgehalt und damit Schwankungen in der Laminatdicke  $h$  einfach diskutieren lassen. Wenn man davon ausgeht, daß sich die Schwankung im Harzgehalt gleichmäßig auf alle Schichten verteilt, bleibt mit dem Glasgewicht  $g_1$  (pro Flächeneinheit) der Schichten nach (4.2) auch das Produkt  $(\varphi t)_1$  der einzelnen Schichten und damit auch das Produkt  $h\varphi$  des Gesamtlaminates konstant. Aus diesem Grunde ändert sich die Dehnsteifigkeit  $\bar{D}$  und die Tragfähigkeit gegenüber Normalkräften praktisch nicht, wohl aber die Biegesteifigkeit, da die Glasfasern mit zunehmender Laminatdicke einen größeren Abstand aufweisen. Wenn man berücksichtigt, daß das Korrekturglied  $a$  (4.15) unabhängig von Schwankungen im Harzgehalt ist, da es sich als Produkt von Verhältnissen aus den Elastizitätswerten und den Laminatdicken zusammensetzt, die sich bei Schwankungen im Harzgehalt praktisch nicht verändern und ferner auch die Dehnsteifigkeit  $\bar{D}$  unverändert bleibt, hängt die Biegesteifigkeit nach (4.16) nur noch vom Quadrat der Höhe  $h$  ab. Bei kleinen Schwankungen  $\Delta h$  wächst damit die Biegesteifigkeit um

$$\bar{B} = \frac{\bar{D}}{12} (h_0 + \Delta h)^2 \approx \frac{\bar{D}}{12} h_0^2 \left(1 + 2 \frac{\Delta h}{h_0}\right) = \bar{B}_0 \left(1 + 2 \frac{\Delta h}{h_0}\right), \quad (4.23)$$

wobei  $h_0$  die Ausgangslaminatdicke ist. Das Verhältnis

$$\frac{\Delta h}{h_0} = \frac{\Delta \varphi}{\varphi_{H0}} = - \frac{\Delta \varphi}{1 - \varphi_0} \quad (4.24)$$

ist auch zugleich das Verhältnis zwischen der Änderung des Harzgehaltes und dem Ursprungsharzgehalt, der in (4.24) durch den komplementären Glasgehalt  $\varphi$  dargestellt ist. Bei den Widerstandsmomenten wird mit dem Randabstand  $e$  noch einmal ein Faktor  $h$  herausgenommen, so daß die Korrektur dafür

$$\bar{W} = \frac{2\bar{B}}{h} = \bar{W}_0 \left(1 + \frac{\Delta h}{h_0}\right) \quad (4.25)$$

beträgt.

#### 4.5 Schnittkräfte im Bruchzustand

Die Ermittlung der maximalen Zugkräfte  $N$  und Biegemomente  $M$  je Breitereinheit wird am einfachsten, wenn man beide Schnittkraftzustände getrennt behandelt und die Netztheorie anwendet oder mit anderen Worten den Zustand II mit ausgefallenem Harz ( $E_H = 0$ ) unterstellt. Die erreichbaren Schnittkräfte hängen dann allein von den Glasspannungen ab, wofür in den UD-Schichten ein etwas höherer Wert angesetzt werden kann als in den Gewebe- und Wirrfaserschichten

$$\sigma_R = 1,2 \text{ kN/mm}^2, \quad \sigma_G = \sigma_W = 1,0 \text{ kN/mm}^2. \quad (4.26)$$

Der Gewebewert gilt für ein Verstärkungsverhältnis um 1 : 1, bei Geweben mit geringer Kettverstärkung (18 : 1) kann der Wert für  $\sigma_R$  genommen werden.

In der Netztheorie tragen nur die Glasfäden, sodaß sich der tragende Querschnitt  $A_i$  einer Schicht durch das Glasgewicht  $g_i$  und den Tragfaktor  $k_i$  darstellen läßt

$$A_i = k_i g_i / \gamma_G \quad (4.27)$$

Der k-Wert gibt den tragenden Glasanteil in jeder Richtung an und beträgt nach Gleichung (2.4) für ein Gewebe 1 :  $\alpha$  in Längs- und Querrichtung

$$k_{\parallel} = \frac{1}{1+\alpha} \quad , \quad k_{\perp} = \frac{\alpha}{1+\alpha} \quad (4.28a)$$

Bei den UD-Schichten ist  $\alpha = 0$ . Für die Wirrfaserschichten ist gemäß Gleichung (2.6a)

$$k = 0,4 \quad (4.28b)$$

in beiden Richtungen. Damit ergibt sich für die maximale Normalkraft

$$N = \sum (\sigma n A)_i = \sum (\sigma g k)_i / \gamma_G \quad (4.29)$$

oder speziell für Zweischichtlamine

$$N = [p(\sigma g k)_1 + (p+1)(\sigma g k)_2] / \gamma_G \quad (4.29a)$$

Die Normalkräfte sind erwartungsgemäß unabhängig vom Glasgehalt  $\psi$  oder  $\psi$ .

Auch bei ausgefallenem Harz bleiben die Querschnitte eben und nehmen die Dehnungen im Falle Biegung von der Laminatmitte aus nach außen hin linear zu:

$$\epsilon(z) = \frac{\epsilon(\bar{e}_i)}{\bar{e}_i} z = \frac{\sigma_i}{E\bar{e}_i} z \quad .$$

Hierbei lassen sich die Dehnungen  $\epsilon(\bar{e}_i)$  in den äußeren Schichten mit dem Abstand  $\bar{e}_i$  auch durch die dort herr-

schenden Spannungen  $\sigma_i$  ausdrücken. Damit nehmen auch die Kräfte  $N_i$  in den einzelnen Schichten nach außen hin linear zu

$$N_i = \left(\frac{\sigma A}{e}\right)_i z \quad (4.30)$$

und die Beziehung für das Gesamtmoment lautet

$$M = \sum N_i z_i = \sum \sigma_i A_i t \frac{(z_i/t)^2}{e_i/t} \quad (4.31)$$

Die darin auftretenden Summen der Quadrate der Abstände werden am zweckmäßigsten auf die Grundsicht  $t = t_1 + t_2$  bezogen und lassen sich für alle Zweischichtlamine durch die Anzahl  $p$  der Grundsichten ausdrücken

$$\sum (z_1/t)^2 = (p-1)p(p+1)/12, \quad \sum (z_2/t)^2 = p(p+1)(p+2)/12. \quad (4.32)$$

Wegen des linearen Verlaufes der Spannungen ist es außerdem möglich die Spannung  $\sigma_2 = \sigma_1 \bar{e}_2/\bar{e}_1$  in der äußeren Wirrfaserschicht (und bei Vierschichtlaminaten auch die Spannung  $\sigma_3$  in der Gewebeschicht) durch die Spannung  $\sigma_1$  der äußeren "tragenden" Schicht zu ersetzen, sodaß sich das Moment für die am häufigsten vorkommenden Zweischichtlamine mit der Beziehung (4.9) für  $t$  und (3.18a) für  $\bar{e}_1/t = (p-1)/2$  in der Form

$$M = \frac{\sigma_1 p(p+1)}{6\gamma_G^2 \varphi} \frac{\sum (g/F)_i}{\sum (ng/F)_i} \left[ \sum (ng)_i (g_1 k_1 + g_2 k_2 \frac{p+2}{p-1}) \right] \quad (4.33)$$

darstellen läßt. Das Grenzmoment hängt, wie die Laminatdicke  $h$ , vom Kehrwert des Gesamtglasgehaltes  $\varphi$  ab. Er kommt über die Grundsichtdicke  $t$ , d. h. über eine geometrische Größe, herein, denn das Harz fällt wohl für die Kraftübertragung aus, stellt aber nach wie vor die Abstände der Schichten und damit die Laminatdicke  $h$  sicher. Außerdem wird hierdurch auch die Gleichung (4.25) für den Einfluß der Schwankungen im Glasgehalt  $\varphi$  oder im komplementären Harzgehalt  $(1-\varphi)$  bestätigt. Man hätte die Grenzschnittkräfte auch durch Umkehr der Spannungsbeziehung für den Sonderfall  $E_H = 0$  erhalten

$$N = \sigma_1 D/E_G, \quad M = \sigma_1 B/\bar{e}_1 E_G$$

Dann wird aber die  $\varphi$ -Abhängigkeit nicht so offenkundig wie in den Gleichungen (4.29) und (4.33).

In Gleichung (4.33) ist der Spannungswert  $\sigma_1$  der äußeren tragenden Schicht herausgezogen, damit wird für die äußere Wirrfaserschicht angenommen, daß sie ohne weiteres größere Deh-

nungen als die nächst innere tragende Schicht aufnehmen kann. Durch Versuche ist nämlich bestätigt, daß die Wirrfaserschichten vor dem Bruch größere plastische Dehnungen erleiden können als die sich im wesentlichen linear verhaltenden Gewebe und UD-Schichten. Durch die Beziehungen (4.33) wird wegen der Annahme einer linearen Verteilung der Glasbruchspannungen über die Laminatdicke der Traganteil der Wirrfaserschichten, insbesondere der äußeren Schichten, und damit auch das Grenzmoment  $M$ , etwas überschätzt. Man erhält einen unteren Grenzwert, wenn man für die Wirrfaserschichten ein ideal-elastisch-plastisches Verhalten unterstellt (Bild 6b). In der Beziehung (4.29) für die Normalkraft  $N$  ist das im Grunde schon unterstellt. Im Falle der Biegung wirkt sich das ideal-elastisch-plastische Verhalten der Wirrfaserschichten wegen des Übereinstimmens der Grenzspannungen für die Gewebe- und Wirrfaserschichten und wegen des geringfügigen Unterschiedes zwischen den Wirrfaserschichten und den längsgerichteten UD-Schichten nur in den äußeren Schichten aus, und zwar bei den Laminaten MW, sowie bei den Laminaten F mit geringer Schichtzahl ( $n \leq 17$ ), bei den Laminaten F mit größerer Schichtzahl, ebenso noch in der zweiten Wirrfaserschicht von außen. Da nur wenige Schichten plastisch werden, erscheint es sinnvoll von den elastischen Werten (4.33) auszugehen und nur Korrekturen für das inelastische Verhalten der äußeren Schichten hinzuzufügen. Die Differenz zwischen der elastischen Spannung und der plastischen Spannung  $\sigma_2 = 1,0 \text{ kN/mm}^2$  beträgt

$$\Delta\sigma = \left( \sigma_1 \frac{\bar{e}_2}{\bar{e}_1} - \sigma_2 \right) = \sigma_2 \left( \frac{\sigma_1 \bar{e}_2}{\sigma_2 \bar{e}_1} - 1 \right) = \sigma_1 \frac{p}{p-1} - \sigma_2. \quad (4.34)$$

Dazu gehört die Momentenkorrektur für Zweischichtlaminat, wenn nur die äußeren Wirrfaserschichten betroffen sind

$$\Delta M = \frac{g_2 k_2 \Delta\sigma}{\gamma_G} \quad \text{pt} \quad (4.35a)$$

oder, wenn auch die nächst inneren mit einzubeziehen sind

$$\Delta M = \frac{g_2 k_2}{\gamma_G} \left[ \Delta\sigma (2p-1) - \sigma_1 \frac{t}{\bar{e}_1} (p-1) \right] t. \quad (4.35b)$$

Man kann auch den elastischen Anteil der äußeren Wirrfaserschichten aus der Summation herausnehmen und dann den plastischen Anteil wieder hinzufügen

$$M = \frac{pt}{6\gamma_G} \left\{ \sigma_1 \left[ (p+1) g_1 k_1 + (p-2) g_2 k_2 \right] + 6 \sigma_2 g_2 k_2 \right\}. \quad (4.36)$$



Ein unkontrolliertes Plastizieren der Wirrfaserschichten ist dabei nicht möglich, da die benachbarten Gewebe- und UD-Schichten elastisch bleiben und die Dehnungen begrenzen.

Der Vollständigkeit halber muß noch erwähnt werden, daß in den Beziehungen (4.29) für die Grenz-Normalkraft ideal-elastisch-plastisches Verhalten der Wirrfaserschichten unterstellt ist. Bei den MW-Laminaten wirkt sich das nicht aus, da  $\sigma_1 = \sigma_2$  ist, wohl aber bei den F-Laminaten. Bei den F-Laminaten sind neben den Schnittkräften in Längsrichtung auch noch diejenigen in Querrichtung angegeben. Nach der Netztheorie fallen die querbeanspruchten UD-Schichten aus, d.h. in den Beziehungen (4.29) und (4.31) bzw. (4.33) ist  $k_1 = 0$  zu setzen. Dadurch ist sichergestellt, daß nicht der gesamte Querschnitt durchplastiziert, wobei die querbeanspruchten UD-Schichten infolge zu großer Dehnungen völlig zerstört würden, sondern plastische Verformungen nur in den äußeren Schichten auftreten. Eine andere Möglichkeit wäre es, von einer rein elastischen Lösung auszugehen und in der äußeren Wirrfaserschicht nur  $\sigma_2$  zuzulassen. In diesem Falle muß man von Gleichung (4.33) ausgehen und darin  $\sigma_1/\bar{e}_1$  durch  $\sigma_2/\bar{e}_2$  ersetzen oder die Gleichung mit

$$\frac{\bar{e}_2}{\bar{e}_1} = \frac{p}{p-1}$$

multiplizieren. Der Wert  $k_1$  ist nach wie vor zu Null zu setzen.

Bei den Laminaten F.../300 muß wieder der Einfluß der steiferen äußeren Wirrfaserschichten hinzugefügt werden, indem wie in Bild 6a und im Abschnitt 4.3.1 außen noch je eine Schicht mit einem Glasgewicht von  $150 \text{ g/m}^2$  hinzugefügt wird. Auf die zusätzliche Einzelschicht entfällt die Kraft

$$N_4 = E_2 t_4 \sigma_2 / E_G, \quad (4.37)$$

sodaß jetzt die Beziehung für die Schnittkräfte lautet

$$N = N_1 n_1 + N_2 n_2 + 2N_4, \quad \psi M = \psi [M_1 + M_2 + M_4 (h - t_4)]. \quad (4.38)$$

## 5. Auswertung

Die Auswertung wird für die mit der Industrie abgesprochenen Typenlamine (Bild 1) durchgeführt und zwar für die Doppelschichtlamine

Mischlamine: MW 580/450/ und 900/450

und die Wickellamine

F 120/300, 240/300, 480/300, 600/300 und 720/300

sowie F 600/450, 720/450 und 960/450

und das Vierschichtlaminat F 600/500/600/450.

Die Ziffern geben dabei die Glasgewichte der Schichten an und zwar zunächst für die Gewebe- oder UD-Schicht und danach für die Wirrfaserschicht. In Tabelle 2 und Bild 6 sind die Grenzschnittkräfte nach der Netztheorie zusammengestellt, wobei für die äußeren Wirrfaserschichten ein ideal-elastisch-plastisches Verhalten zugrundegelegt ist. Es werden sowohl die Werte in Längs- als auch in Querrichtung angegeben. Bei der Netztheorie lassen sich die Ergebnisse in einer Tabelle komprimieren, da die Normalkräfte  $N$  und das Produkt Biegemomente  $M \times$  Volumenglasgehalt  $\varphi$  unabhängig vom Glasgehalt sind und nur noch von den Glasgewichten  $g_i$  und der Anzahl  $n$  der Schichten abhängen. Die Normalkräfte in Querrichtung sind für alle F-Lamine .../300 und .../450 untereinander jeweils gleich; bei dem Produkt  $M\varphi$  ergeben sich wegen der unterschiedlichen Höhe der Lamine dagegen Unterschiede in den Ergebnissen. Um einen Eindruck zu geben, wie weit die Ansätze für das Tragverhalten der Wirrfaserschichten die Grenzschnittkräfte beeinflussen, sind bei den Mischlaminen (MW) anstelle der Schnittkräfte in Querrichtung, die mit denen in Längsrichtung übereinstimmen, die Werte für elastische Wirrfaserschichten eingesetzt. Diese Werte stellen obere Grenzwerte dar. Die Unterschiede zu den Ergebnissen für ideal-elastisch-plastische Wirrfaserschichten sind insbesondere bei höheren Schichtzahlen so gering, daß man zur Rechenerleichterung auch die Korrekturen (4.35) weglassen kann. Außerdem ist in Tabelle 2 noch das Produkt Laminathöhe  $h \times$  Volumengehalt  $\varphi$ , das ebenfalls unabhängig vom Glasgehalt  $\varphi$  ist, eingetragen.

Als erreichbare Glasgehalte  $F$  (44) sind die Mittelwerte in Tabelle 1 eingesetzt. In Tabelle 3 ist außerdem noch eine Variation dieser  $F$ -Werte für die MW-Lamine unter Zugrundelegung der Grenzwerte nach Tabelle 1 vorgenommen, und zwar für den Fall linear elastisch-plastischen Verhaltens der Wirrfaserschichten. Die Variation der Ergebnisse ist so gering, daß es völlig genügt, mit den Mittelwerten in Tabelle 1 zu rechnen.

Neben den Grenzschnittkräften werden für die Berechnung noch die "homogenen Ersatzmoduli"

$$E_Z = D/h, \quad E_B = 12B/h^3 \quad (5.1)$$

benötigt. Dabei wird volles Mittragen des Harzes und elastisches Verhalten aller Schichten angenommen. In diesem Falle lassen sich die Ergebnisse nicht wie bei den Grenzschnittkräften komprimieren, sondern es muß bei den einzelnen Laminen noch eine Variation des Gewichtsglasgehaltes  $\psi$  bzw. des Volumengehaltes  $\varphi$  für das Gesamtlaminat vorgenommen werden. In Tabelle 4 sind für alle Lamine die  $\psi$ -Werte von 0,2 bis 0,7 in Schritten von 0,1 variiert. Die Zugmoduli  $E_Z$  variieren nur sehr wenig mit der Schichtzahl  $n$ . Die Biegemoduli  $E_B$  gleichen sich mit wachsender Schichtzahl immer mehr an die Zugmoduli an. Um einen Eindruck von der Größe der Korrekturen  $a$  (4.15) zu geben, sind in Tabelle 4 noch die Werte  $ah/t$  für die Längsrichtung angegeben. Der Faktor  $h/t \sim p + 1/2$  ist herausgenommen, um die weitere Abhängigkeit von der Schichtzahl  $n$  aufzuzeigen. Man erkennt, daß die Werte nur in einem geringen Maß vom Gesamtglasgehalt  $\varphi$  und der Schichtzahl  $n$  abhängen. Bei langanhaltender Belastung fallen die Harzmoduli und damit auch die Laminatmoduli infolge des Kriechens ab, und zwar im ungünstigsten Falle bis  $E_H = 0$ . In Tabelle 4 sind dann noch die Verhältnisse der  $E$ -Moduli für volltragendes Harz und für ausgefallenes Harz, die auch zugleich die  $A_1$ -Werte für die Kriechabminderung sind

$$A_{1Z} = E_Z/E_Z(E_H = 0), \quad A_{1B} = E_B/E_B(E_H = 0) \quad (5.2)$$

angegeben. Die absoluten Glasgewichte beeinflussen die  $A$ -Werte bei den Mischlaminen (MW) praktisch nicht und bei den Wickellaminen (F) nur sehr wenig. Sie hängen aber bei beiden Laminattypen stark vom relativen Glasgehalt  $\psi$  ab und unterscheiden sich bei den

F - Laminaten auch in den beiden Richtungen, d. h. parallel zur UD-Schicht und senkrecht zur UD-Schicht, sehr stark, sodaß es hier nicht möglich ist mit einem Standardwert für alle Glasgehalte auszukommen.

Über die Ergebnisse dieses Vorhabens ist auf der diesjährigen AVK-Tagung in Freudenstadt berichtet /9/.

	Handauflege- verfahren	Mittel- wert	Wickelver- fahren	Pressver- verfahren
Matte, Wirrfaser	0,35 - 0,45	0,45	0,4 - 0,5	0,45 - 0,6
Gewebe	0,75 - 0,80	0,77	0,75 - 0,8	0,95 - 1,0

Tabelle 1: Verhältnis F der Glasvolumenanteile

## 6. Literatur

- /1/ Normenentwurf für Bauteile aus glasfaserverstärkten Reaktionsharzen.
- /2/ A. Puck: Zur Beanspruchung und Verformung von GFK-Mehrschichtverbundbauelementen.  
Kunststoffe 57 (1967) S. 284/93, 573/83, 965/73
- /3/ H. Schneider: Ermittlung der elastischen Eigenschaften und des mechanischen Verhaltens von Verbundwerkstoffen mit Hilfe eines programmierbaren Taschenrechners.  
ZFW 4 (1980) S. 107/11
- /4/ H. Brintrup: Beitrag zum zeitabhängigen Verformungsverhaltens und zur Ribbildung orthotroper glasfaserverstärkter ungesättigter Polyesterharze unter ebener Normalbeanspruchung. Dissertation RWTH Aachen 1975
- /5/ G. Menges,  
U. Thebing,  
W. Enderle: Bemessungsfibel für tragende Kunststoffteile.  
Forschungsbericht B I 5 - 800178 - 22 des IKV, 1983.
- /6/ E. Giencke;  
G. Meder: Berechnung des Kriechverhaltens bei zweiachsiger Beanspruchung aus Meßwerten bei einachsiger Beanspruchung. Werkstoffprüfung
- /7/ E. Giencke: Zur Festigkeitsberechnung von Tragflügeln kleiner Streckung mit Hilfe der Plattentheorie.  
ZFW 9 (1961) S. 65/80
- /8/ E. Giencke: Zur optimalen Auslegung von Fahrbahnplatten  
Stahlbau 19 (1960) S. 179/185
- /9/ E. Giencke: Über die Berechnung regelmäßig aufgebauter Lamine am Beispiel der GFK-Typenlamine.  
Tagungsheft der 19. Jahrestagung der AVK, Freudenstadt, Oktober 1984, S. 23-1/10

N	P	LAENGS				QUER					
		H $\psi$ MM	N KN/MM	M $\psi$ KN	N KN/MM	H $\psi$ MM	H $\psi$ MM	N KN/MM	M $\psi$ KN	H KN/MM	M $\psi$ KN
F 120/300											
5	2	.576	.298	.015	.182	.015	.672	.413	.019	.182	.017
7	3	.744	.401	.022	.228	.020	.888	.574	.097	.228	.050
9	4	.912	.504	.028	.274	.025	1.104	.734	.153	.274	.073
11	5	1.080	.607	.036	.319	.030	1.320	.895	.220	.319	.098
13	6	1.248	.710	.043	.365	.036	1.536	1.056	.300	.365	.127
15	7	1.416	.814	.052	.410	.042	1.752	1.217	.393	.410	.159
17	8	1.584	.917	.061	.456	.049	1.968	1.378	.496	.456	.203
19	9	1.752	1.020	.071	.502	.056	2.184	1.538	.611	.502	.242
21	10	1.920	1.123	.081	.547	.062	2.400	1.699	.738	.547	.284
23	11	2.088	1.226	.092	.593	.069	2.616	1.860	.877	.593	.330
25	12	2.256	1.330	.104	.638	.077	2.832	2.021	1.029	.638	.378
27	13	2.424	1.433	.116	.684	.084	3.048	2.182	1.193	.684	.430
29	14	2.592	1.536	.129	.730	.092	3.264	2.342	1.369	.730	.486
31	15	2.760	1.639	.142	.775	.100	3.480	2.503	1.557	.775	.544
33	16	2.928	1.742	.157	.821	.109	3.696	2.664	1.758	.821	.606
F 480/300											
5	2	.864	.643	.106	.182	.043	.960	.758	.139	.182	.049
7	3	1.176	.919	.201	.228	.070	1.320	1.092	.269	.228	.080
9	4	1.488	1.195	.327	.274	.102	1.680	1.426	.440	.274	.117
11	5	1.800	1.471	.482	.319	.139	2.040	1.759	.653	.319	.160
13	6	2.112	1.747	.667	.365	.181	2.400	2.093	.906	.365	.208
15	7	2.424	2.023	.881	.410	.227	2.760	2.426	1.201	.410	.261
17	8	2.736	2.299	1.123	.456	.290	3.120	2.760	1.534	.456	.334
19	9	3.048	2.575	1.395	.502	.346	3.480	3.094	1.908	.502	.399
21	10	3.360	2.851	1.696	.547	.407	3.840	3.427	2.323	.547	.469
23	11	3.672	3.127	2.026	.593	.473	4.200	3.761	2.780	.593	.545
25	12	3.984	3.403	2.386	.638	.543	4.560	4.094	3.277	.638	.626
27	13	4.296	3.679	2.776	.684	.618	4.920	4.428	3.815	.684	.713
29	14	4.608	3.955	3.195	.730	.698	5.280	4.762	4.395	.730	.805
31	15	4.920	4.231	3.644	.775	.782	5.640	5.095	5.015	.775	.902
33	16	5.232	4.507	4.123	.821	.872	6.000	5.429	5.677	.821	1.005
F 600/300											
F 720/300											
5	2	1.056	.874	.178	.182	.055					
7	3	1.464	1.265	.347	.228	.090					
9	4	1.872	1.656	.572	.274	.132					
11	5	2.280	2.047	.850	.319	.181					
13	6	2.688	2.438	1.183	.365	.235					
15	7	3.096	2.830	1.571	.410	.296					
17	8	3.504	3.221	2.010	.456	.378					
19	9	3.912	3.612	2.503	.502	.452					
21	10	4.320	4.003	3.051	.547	.532					
23	11	4.728	4.394	3.653	.593	.618					
25	12	5.136	4.786	4.310	.638	.710					
27	13	5.544	5.177	5.020	.684	.808					
29	14	5.952	5.568	5.786	.730	.912					
31	15	6.360	5.959	6.605	.775	1.023					
33	16	6.768	6.350	7.479	.821	1.140					

Tabelle 2.1: Laminatdicken H $\psi$ , Tragschnittkräfte N, M $\psi$  für die Typenlaminat  
F 120 - 720/300

N	P	H $\phi$ MM	LAENGS			QUER			H $\phi$ MM	LAENGS			QUER		
			N KN/MM	M $\phi$ KN	N KN/MM	N KN/MM	M $\phi$ KN	N KN/MM		M $\phi$ KN	N KN/MM	M $\phi$ KN	N KN/MM	M $\phi$ KN	
F 600/450															
5	2	1.020	.781	.165	.205	.053	1.116	.896	.209	.205	.059				
7	3	1.440	1.138	.327	.274	.095	1.584	1.310	.415	.274	.106				
9	4	1.860	1.494	.540	.342	.147	2.052	1.724	.688	.342	.163				
11	5	2.280	1.850	.805	.410	.208	2.520	2.138	1.027	.410	.232				
13	6	2.700	2.207	1.123	.479	.279	2.988	2.552	1.434	.479	.311				
15	7	3.120	2.563	1.492	.547	.359	3.456	2.966	1.907	.547	.400				
17	8	3.540	2.920	1.908	.616	.473	3.924	3.380	2.441	.616	.527				
19	9	3.960	3.276	2.375	.684	.573	4.392	3.794	3.043	.684	.639				
21	10	4.380	3.632	2.895	.752	.683	4.860	4.208	3.710	.752	.751				
23	11	4.800	3.989	3.466	.821	.802	5.328	4.622	4.444	.821	.894				
25	12	5.220	4.345	4.088	.889	.931	5.796	5.036	5.245	.889	1.037				
27	13	5.640	4.702	4.763	.958	1.069	6.264	5.450	6.113	.958	1.191				
29	14	6.060	5.058	5.489	1.026	1.217	6.732	5.864	7.047	1.026	1.355				
31	15	6.480	5.414	6.267	1.094	1.374	7.200	6.278	8.048	1.094	1.531				
33	16	6.900	5.771	7.097	1.163	1.541	7.668	6.692	9.115	1.163	1.717				
F 960/450															
F 600/500/600/450															
5	2	1.308	1.127	.311	.205	.071	1.900	1.357	.438	.605	.224				
7	3	1.872	1.656	.623	.274	.128	2.760	2.002	.980	.874	.463				
9	4	2.436	2.185	1.036	.342	.197	3.620	2.646	1.707	1.142	.779				
11	5	3.000	2.714	1.552	.410	.279	4.480	3.290	2.621	1.410	1.172				
13	6	3.564	3.244	2.170	.479	.374	5.340	3.935	3.724	1.679	1.641				
15	7	4.128	3.773	2.890	.547	.482	6.200	4.579	5.015	1.947	2.187				
17	8	4.692	4.302	3.706	.616	.636	7.060	5.224	6.494	2.216	2.811				
19	9	5.256	4.831	4.623	.684	.770	7.920	5.868	8.162	2.484	3.511				
21	10	5.820	5.360	5.643	.752	.917	8.780	6.512	10.019	2.752	4.288				
23	11	6.384	5.890	6.764	.821	1.077	9.640	7.157	12.064	3.021	5.142				
25	12	6.948	6.419	7.987	.889	1.250	10.500	7.801	14.298	3.289	6.073				
27	13	7.512	6.948	9.312	.958	1.436	11.360	8.446	16.720	3.558	7.080				
29	14	8.076	7.477	10.739	1.026	1.634	12.220	9.090	19.332	3.826	8.165				
31	15	8.640	8.006	12.269	1.094	1.845	13.080	9.734	22.131	4.094	9.327				
33	16	9.204	8.536	13.900	1.163	2.069	13.940	10.379	25.120	4.363	10.565				
MW580/450															
MW900/450															
5	2	1.004	.437	.099	.437	.099	1.260	.565	.162	.565	.162				
7	3	1.416	.622	.187	.622	.187	1.800	.814	.312	.814	.312				
9	4	1.828	.806	.301	.806	.301	2.340	1.062	.506	1.062	.506				
11	5	2.240	.990	.440	.990	.440	2.880	1.310	.745	1.310	.745				
13	6	2.652	1.175	.604	1.175	.604	3.420	1.559	1.029	1.559	1.029				
15	7	3.064	1.359	.793	1.359	.793	3.960	1.807	1.358	1.807	1.358				
17	8	3.476	1.544	1.008	1.544	1.008	4.500	2.056	1.731	2.056	1.731				
19	9	3.888	1.728	1.249	1.728	1.249	5.040	2.304	2.149	2.304	2.149				
21	10	4.300	1.912	1.514	1.912	1.514	5.580	2.552	2.612	2.552	2.612				
23	11	4.712	2.097	1.805	2.097	1.805	6.120	2.801	3.119	2.801	3.119				
25	12	5.124	2.281	2.122	2.281	2.122	6.660	3.049	3.671	3.049	3.671				
27	13	5.536	2.466	2.463	2.466	2.463	7.200	3.298	4.268	3.298	4.268				
29	14	5.948	2.650	2.830	2.650	2.830	7.740	3.546	4.910	3.546	4.910				
31	15	6.360	2.834	3.222	2.834	3.222	8.280	3.794	5.596	3.794	5.596				
33	16	6.772	3.019	3.640	3.019	3.640	8.820	4.043	6.327	4.043	6.327				

Tabelle 2.2: Laminatdicken H $\phi$ , Tragschnittkräfte N, M $\phi$  für die Typenlaminat

F 600 - 960/450, F 600/500/600/450 und MW 580-900/450

FR = 1		EG		EH		SIGMAR		SIGMAW		SIGMAG	
FG = .77		KN/MM2		KN/MM2		N/MM2		N/MM2		N/MM2	
FW = .45		73.000		0.000		1200.000		1000.000		1000.000	
F 600/450		F 720/450		F 960/450		MW 580/450		MW 900/450			
N	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	
	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	
5	.781	.165	.896	.209	1.127	.311	.437	.099	.565	.162	
7	1.138	.327	1.310	.415	1.656	.623	.622	.187	.814	.312	
9	1.494	.540	1.724	.688	2.185	1.036	.806	.301	1.062	.506	
11	1.850	.805	2.138	1.027	2.714	1.552	.990	.440	1.310	.745	
13	2.207	1.123	2.552	1.434	3.244	2.170	1.175	.604	1.559	1.029	
15	2.563	1.492	2.966	1.907	3.773	2.890	1.359	.793	1.807	1.358	
17	2.920	1.908	3.380	2.441	4.302	3.706	1.544	1.008	2.056	1.731	
19	3.276	2.375	3.794	3.043	4.831	4.623	1.728	1.249	2.304	2.149	
21	3.632	2.895	4.208	3.710	5.360	5.643	1.912	1.514	2.552	2.612	
23	3.989	3.466	4.622	4.444	5.890	6.764	2.097	1.805	2.801	3.119	
25	4.345	4.088	5.036	5.245	6.419	7.987	2.281	2.122	3.049	3.671	
27	4.702	4.763	5.450	6.113	6.948	9.312	2.466	2.463	3.298	4.268	

FR = 1		EG		EH		SIGMAR		SIGMAW		SIGMAG	
FG = .75		KN/MM2		KN/MM2		N/MM2		N/MM2		N/MM2	
FW = .50		73.000		0.000		1200.000		1000.000		1000.000	
F 600/450		F 720/450		F 960/450		MW 580/450		MW 900/450			
N	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	
	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	
5	.781	.167	.896	.211	1.127	.315	.437	.100	.565	.164	
7	1.138	.329	1.310	.418	1.656	.628	.622	.189	.814	.315	
9	1.494	.543	1.724	.691	2.185	1.043	.806	.303	1.052	.510	
11	1.850	.809	2.138	1.032	2.714	1.560	.990	.442	1.310	.750	
13	2.207	1.127	2.552	1.439	3.244	2.179	1.175	.607	1.559	1.034	
15	2.563	1.497	2.966	1.913	3.773	2.900	1.359	.797	1.807	1.364	
17	2.920	1.913	3.380	2.449	4.302	3.717	1.544	1.012	2.056	1.738	
19	3.276	2.382	3.794	3.051	4.831	4.636	1.728	1.253	2.304	2.156	
21	3.632	2.902	4.208	3.719	5.360	5.657	1.912	1.519	2.552	2.620	
23	3.989	3.473	4.622	4.454	5.890	6.779	2.097	1.810	2.801	3.128	
25	4.345	4.097	5.036	5.256	6.419	8.004	2.281	2.127	3.049	3.681	
27	4.702	4.772	5.450	6.124	6.948	9.330	2.466	2.469	3.298	4.278	

Tabelle 3: Einfluß der Variation der erreichbaren Glasgehalte F in den Gewebeschieden ( $F_G$ ) und in den Wirrfaserschieden ( $F_W$ ) auf die maximalen Schnittkräfte N, M (Harz ausgefallen) für Zweischichtlamine in Abhängigkeit von der Schichtzahl n.



Fortsetzung Tabelle 3

FR = 1			EG		EH	SIGMAR	SIGMAW	SIGMAG		
FG = .75			KN/MM2		KN/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2		
FW = .35			73.000		0.000	1200.000	1000.000	1000.000		
F 600/450			F 720/450		F 960/450	MW 580/450		MW 900/450		
N	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	N	$\varphi$ M	N	$\varphi$ M
	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN
5	.781	.162	.896	.204	1.127	.304	.437	.097	.565	.159
7	1.138	.322	1.310	.408	1.656	.612	.622	.184	.814	.307
9	1.494	.534	1.724	.679	2.185	1.022	.806	.297	1.062	.500
11	1.850	.797	2.138	1.016	2.714	1.535	.990	.435	1.310	.738
13	2.207	1.113	2.552	1.421	3.244	2.150	1.175	.599	1.559	1.020
15	2.563	1.481	2.966	1.892	3.773	2.867	1.359	.788	1.807	1.347
17	2.920	1.895	3.380	2.425	4.302	3.679	1.544	1.002	2.056	1.719
19	3.276	2.361	3.794	3.024	4.831	4.593	1.728	1.242	2.304	2.136
21	3.632	2.879	4.208	3.689	5.360	5.609	1.912	1.507	2.552	2.598
23	3.989	3.449	4.622	4.422	5.890	6.727	2.097	1.797	2.801	3.104
25	4.345	4.070	5.036	5.220	6.419	7.947	2.281	2.113	3.049	3.655
27	4.702	4.743	5.450	6.086	6.948	9.269	2.466	2.453	3.298	4.250

FR = 1			EG		EH	SIGMAR	SIGMAW	SIGMAG		
FG = .80			KN/MM2		KN/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2		
FW = .50			73.000		0.000	1200.000	1000.000	1000.000		
F 600/450			F 720/450		F 960/450	MW 580/450		MW 900/450		
N	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN
	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN
5	.781	.167	.896	.211	1.127	.315	.437	.099	.565	.163
7	1.138	.329	1.310	.418	1.656	.628	.622	.188	.814	.313
9	1.494	.543	1.724	.691	2.185	1.043	.806	.302	1.062	.508
11	1.850	.809	2.138	1.032	2.714	1.560	.990	.441	1.310	.747
13	2.207	1.127	2.552	1.439	3.244	2.179	1.175	.605	1.559	1.032
15	2.563	1.497	2.966	1.913	3.773	2.900	1.359	.795	1.807	1.361
17	2.920	1.913	3.380	2.449	4.302	3.717	1.544	1.010	2.056	1.734
19	3.276	2.382	3.794	3.051	4.831	4.636	1.728	1.251	2.304	2.153
21	3.632	2.902	4.208	3.719	5.360	5.657	1.912	1.517	2.552	2.616
23	3.989	3.473	4.622	4.454	5.890	6.779	2.097	1.808	2.801	3.124
25	4.345	4.097	5.036	5.256	6.419	8.004	2.281	2.124	3.049	3.676
27	4.702	4.772	5.450	6.124	6.948	9.330	2.466	2.466	3.298	4.273

FR = 1			EG		EH	SIGMAR	SIGMAW	SIGMAG		
FG = .80			KN/MM2		KN/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2		
FW = .35			73.000		0.000	1200.000	1000.000	1000.000		
F 600/450			F 720/450		F 960/450	MW 580/450		MW 900/450		
N	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN	NTN	$\varphi$ MTN
	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN	KN/MM	KN
5	.781	.162	.896	.204	1.127	.304	.437	.096	.565	.158
7	1.138	.322	1.310	.408	1.656	.612	.622	.183	.814	.305
9	1.494	.534	1.724	.679	2.185	1.022	.806	.296	1.062	.498
11	1.850	.797	2.138	1.016	2.714	1.535	.990	.434	1.310	.735
13	2.207	1.113	2.552	1.421	3.244	2.150	1.175	.598	1.559	1.018
15	2.563	1.481	2.966	1.892	3.773	2.867	1.359	.786	1.807	1.345
17	2.920	1.895	3.380	2.425	4.302	3.679	1.544	1.000	2.056	1.716
19	3.276	2.361	3.794	3.024	4.831	4.593	1.728	1.240	2.304	2.133
21	3.632	2.879	4.208	3.689	5.360	5.609	1.912	1.505	2.552	2.594
23	3.989	3.449	4.622	4.422	5.890	6.727	2.097	1.795	2.801	3.099
25	4.345	4.070	5.036	5.220	6.419	7.947	2.281	2.110	3.049	3.650
27	4.702	4.743	5.450	6.086	6.948	9.269	2.466	2.451	3.298	4.245

Variation des Glasgehaltes  $\psi$  von 0,2 bis 0,7 in Schritten 0,1  
 $E_{11} = 73 \text{ KN/mm}^2$ ,  $E_{22} = 3,5 \text{ KN/mm}^2$

Tabelle 4.1: Elastizitätsmoduli der Typenlaminare F 120/300 für Kurz- und Langzeitbelastung

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ KN/MM2	EB	A1Z	A1B	EZ KN/MM2	EB	A1Z	A1B
		F 120/300		PSI = .2		PHI = .111			
5	2	7.65	6.69	1.95	2.31	6.54	6.59	2.55	2.38
7	3	7.77	6.91	1.92	2.21	6.48	6.54	2.61	2.45
9	4	7.84	7.08	1.89	2.14	6.45	6.50	2.65	2.50
11	5	7.89	7.21	1.88	2.09	6.42	6.47	2.68	2.54
13	6	7.93	7.32	1.87	2.05	6.40	6.44	2.70	2.57
15	7	7.96	7.40	1.86	2.02	6.38	6.43	2.72	2.60
17	8	7.98	7.47	1.86	2.00	6.37	6.41	2.73	2.62
19	9	8.00	7.53	1.85	1.98	6.36	6.40	2.74	2.63
21	10	8.02	7.58	1.85	1.96	6.36	6.39	2.75	2.65
23	11	8.03	7.62	1.84	1.95	6.35	6.38	2.76	2.66
25	12	8.04	7.66	1.84	1.94	6.34	6.37	2.76	2.68
27	13	8.05	7.69	1.84	1.93	6.34	6.37	2.77	2.69
29	14	8.06	7.72	1.84	1.92	6.33	6.36	2.77	2.70
31	15	8.06	7.74	1.84	1.92	6.33	6.36	2.78	2.70
		F 120/300		PSI = .3		PHI = .176			
5	2	9.99	8.47	1.61	1.84	8.28	8.32	2.03	1.89
7	3	10.18	8.82	1.58	1.77	8.19	8.24	2.07	1.94
9	4	10.30	9.09	1.57	1.73	8.13	8.18	2.10	1.98
11	5	10.38	9.29	1.56	1.69	8.09	8.14	2.13	2.01
13	6	10.44	9.46	1.55	1.67	8.06	8.11	2.14	2.03
15	7	10.49	9.59	1.54	1.65	8.04	8.08	2.15	2.05
17	8	10.53	9.70	1.54	1.63	8.02	8.06	2.16	2.07
19	9	10.55	9.80	1.54	1.62	8.01	8.04	2.17	2.09
21	10	10.58	9.87	1.53	1.61	8.00	8.03	2.18	2.10
23	11	10.60	9.94	1.53	1.60	7.99	8.02	2.18	2.11
25	12	10.62	10.00	1.53	1.60	7.98	8.01	2.19	2.12
27	13	10.63	10.05	1.53	1.59	7.97	8.00	2.19	2.12
29	14	10.64	10.10	1.53	1.58	7.96	7.99	2.20	2.13
31	15	10.65	10.14	1.53	1.58	7.96	7.98	2.20	2.14
		F 120/300		PSI = .4		PHI = .25			
5	2	12.66	10.51	1.44	1.61	10.38	10.30	1.80	1.65
7	3	12.93	11.00	1.42	1.56	10.27	10.22	1.84	1.70
9	4	13.10	11.37	1.41	1.52	10.19	10.16	1.86	1.74
11	5	13.21	11.66	1.40	1.50	10.14	10.12	1.88	1.76
13	6	13.30	11.90	1.39	1.48	10.10	10.08	1.89	1.79
15	7	13.36	12.09	1.39	1.47	10.07	10.06	1.90	1.81
17	8	13.41	12.24	1.39	1.45	10.05	10.04	1.91	1.82
19	9	13.45	12.37	1.38	1.45	10.03	10.02	1.92	1.83
21	10	13.49	12.49	1.38	1.44	10.02	10.01	1.93	1.85
23	11	13.51	12.58	1.38	1.43	10.00	9.99	1.93	1.85
25	12	13.54	12.67	1.38	1.43	9.99	9.98	1.93	1.86
27	13	13.56	12.74	1.38	1.42	9.98	9.98	1.94	1.87
29	14	13.58	12.80	1.38	1.42	9.97	9.97	1.94	1.88
31	15	13.59	12.86	1.37	1.41	9.97	9.96	1.94	1.88

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ KN/MM2	EB	A1Z	A1B	EZ KN/MM2	EB	A1Z	A1B
		F 120/300		PSI = .5		PHI = .333			
5	2	15.73	12.87	1.34	1.48	13.14	12.63	1.71	1.52
7	3	16.08	13.51	1.32	1.44	13.03	12.62	1.75	1.57
9	4	16.30	14.01	1.31	1.41	12.95	12.60	1.77	1.62
11	5	16.46	14.39	1.31	1.39	12.89	12.60	1.79	1.65
13	6	16.57	14.70	1.30	1.37	12.85	12.59	1.81	1.67
15	7	16.65	14.96	1.30	1.36	12.81	12.59	1.82	1.69
17	8	16.72	15.16	1.30	1.35	12.79	12.58	1.83	1.71
19	9	16.77	15.34	1.29	1.34	12.76	12.58	1.83	1.73
21	10	16.82	15.49	1.29	1.34	12.75	12.58	1.84	1.74
23	11	16.86	15.61	1.29	1.33	12.73	12.57	1.84	1.75
25	12	16.89	15.72	1.29	1.33	12.72	12.57	1.85	1.76
27	13	16.92	15.82	1.29	1.32	12.71	12.57	1.85	1.77
29	14	16.94	15.91	1.29	1.32	12.70	12.57	1.85	1.78
31	15	16.96	15.98	1.29	1.32	12.69	12.57	1.86	1.78
		F 120/300		PSI = .6		PHI = .428			
5	2	19.31	15.63	1.28	1.40	18.46	15.56	1.86	1.46
7	3	19.75	16.45	1.26	1.36	18.30	16.03	1.91	1.56
9	4	20.03	17.08	1.25	1.34	18.18	16.31	1.94	1.63
11	5	20.22	17.58	1.25	1.32	18.09	16.51	1.96	1.68
13	6	20.37	17.98	1.24	1.30	18.03	16.65	1.97	1.72
15	7	20.47	18.30	1.24	1.29	17.97	16.75	1.98	1.75
17	8	20.56	18.56	1.24	1.29	17.93	16.84	1.99	1.78
19	9	20.63	18.78	1.24	1.28	17.89	16.90	2.00	1.80
21	10	20.68	18.97	1.24	1.27	17.86	16.96	2.00	1.82
23	11	20.73	19.14	1.23	1.27	17.84	17.01	2.01	1.84
25	12	20.77	19.28	1.23	1.27	17.82	17.04	2.01	1.86
27	13	20.81	19.40	1.23	1.26	17.80	17.08	2.02	1.87
29	14	20.84	19.51	1.23	1.26	17.78	17.11	2.02	1.88
31	15	20.86	19.61	1.23	1.26	17.77	17.13	2.02	1.89

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B			EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		F 120/300		PSI = .2		PHI = .111						F 120/300		PSI = .5		PHI = .333			
5	2	7.65	6.69	1.95	2.31	6.54	6.59	2.55	2.38	5	2	15.73	12.87	1.34	1.48	13.14	12.63	1.71	1.52
7	3	7.77	6.91	1.92	2.21	6.48	6.54	2.61	2.45	7	3	16.08	13.51	1.32	1.44	13.03	12.62	1.75	1.57
9	4	7.84	7.08	1.89	2.14	6.45	6.50	2.65	2.50	9	4	16.30	14.01	1.31	1.41	12.95	12.60	1.77	1.62
11	5	7.89	7.21	1.88	2.09	6.42	6.47	2.68	2.54	11	5	16.46	14.39	1.31	1.39	12.89	12.60	1.79	1.65
13	6	7.93	7.32	1.87	2.05	6.40	6.44	2.70	2.57	13	6	16.57	14.70	1.30	1.37	12.85	12.59	1.81	1.67
15	7	7.96	7.40	1.86	2.02	6.38	6.43	2.72	2.60	15	7	16.65	14.96	1.30	1.36	12.81	12.59	1.82	1.69
17	8	7.98	7.47	1.86	2.00	6.37	6.41	2.73	2.62	17	8	16.72	15.16	1.30	1.35	12.79	12.58	1.83	1.71
19	9	8.00	7.53	1.85	1.98	6.36	6.40	2.74	2.63	19	9	16.77	15.34	1.29	1.34	12.76	12.58	1.83	1.73
21	10	8.02	7.58	1.85	1.96	6.36	6.39	2.75	2.65	21	10	16.82	15.49	1.29	1.34	12.75	12.58	1.84	1.74
23	11	8.03	7.62	1.84	1.95	6.35	6.38	2.76	2.66	23	11	16.86	15.61	1.29	1.33	12.73	12.57	1.84	1.75
25	12	8.04	7.66	1.84	1.94	6.34	6.37	2.76	2.68	25	12	16.89	15.72	1.29	1.33	12.72	12.57	1.85	1.76
27	13	8.05	7.69	1.84	1.93	6.34	6.37	2.77	2.69	27	13	16.92	15.82	1.29	1.32	12.71	12.57	1.85	1.77
29	14	8.06	7.72	1.84	1.92	6.33	6.36	2.77	2.70	29	14	16.94	15.91	1.29	1.32	12.70	12.57	1.85	1.78
31	15	8.06	7.74	1.84	1.92	6.33	6.36	2.78	2.70	31	15	16.96	15.98	1.29	1.32	12.69	12.57	1.86	1.78
		F 120/300		PSI = .3		PHI = .176						F 120/300		PSI = .6		PHI = .428			
5	2	9.99	8.47	1.61	1.84	8.28	8.32	2.03	1.89	5	2	19.31	15.63	1.28	1.40	18.46	15.56	1.86	1.46
7	3	10.18	8.82	1.58	1.77	8.19	8.24	2.07	1.94	7	3	19.75	16.45	1.26	1.36	18.30	16.03	1.91	1.56
9	4	10.30	9.09	1.57	1.73	8.13	8.18	2.10	1.98	9	4	20.03	17.08	1.25	1.34	18.18	16.31	1.94	1.63
11	5	10.38	9.29	1.56	1.69	8.09	8.14	2.13	2.01	11	5	20.22	17.58	1.25	1.32	18.09	16.51	1.96	1.68
13	6	10.44	9.46	1.55	1.67	8.06	8.11	2.14	2.03	13	6	20.37	17.98	1.24	1.30	18.03	16.65	1.97	1.72
15	7	10.49	9.59	1.54	1.65	8.04	8.08	2.15	2.05	15	7	20.47	18.30	1.24	1.29	17.97	16.75	1.98	1.75
17	8	10.53	9.70	1.54	1.63	8.02	8.06	2.16	2.07	17	8	20.56	18.56	1.24	1.29	17.93	16.84	1.99	1.78
19	9	10.55	9.80	1.54	1.62	8.01	8.04	2.17	2.09	19	9	20.63	18.78	1.24	1.28	17.89	16.90	2.00	1.80
21	10	10.58	9.87	1.53	1.61	8.00	8.03	2.18	2.10	21	10	20.68	18.97	1.24	1.27	17.86	16.96	2.00	1.82
23	11	10.60	9.94	1.53	1.60	7.99	8.02	2.18	2.11	23	11	20.73	19.14	1.23	1.27	17.84	17.01	2.01	1.84
25	12	10.62	10.00	1.53	1.60	7.98	8.01	2.19	2.12	25	12	20.77	19.28	1.23	1.27	17.82	17.04	2.01	1.86
27	13	10.63	10.05	1.53	1.59	7.97	8.00	2.19	2.12	27	13	20.81	19.40	1.23	1.26	17.80	17.08	2.02	1.87
29	14	10.64	10.10	1.53	1.58	7.96	7.99	2.20	2.13	29	14	20.84	19.51	1.23	1.26	17.78	17.11	2.02	1.88
31	15	10.65	10.14	1.53	1.58	7.96	7.98	2.20	2.14	31	15	20.86	19.61	1.23	1.26	17.77	17.13	2.02	1.89
		F 120/300		PSI = .4		PHI = .25						F 120/300		PSI = .6		PHI = .428			
5	2	12.66	10.51	1.44	1.61	10.38	10.30	1.80	1.65	5	2	12.66	10.51	1.44	1.61	10.38	10.30	1.80	1.65
7	3	12.93	11.00	1.42	1.56	10.27	10.22	1.84	1.70	7	3	12.93	11.00	1.42	1.56	10.27	10.22	1.84	1.70
9	4	13.10	11.37	1.41	1.52	10.19	10.16	1.86	1.74	9	4	13.10	11.37	1.41	1.52	10.19	10.16	1.86	1.74
11	5	13.21	11.66	1.40	1.50	10.14	10.12	1.88	1.76	11	5	13.21	11.66	1.40	1.50	10.14	10.12	1.88	1.76
13	6	13.30	11.90	1.39	1.48	10.10	10.08	1.89	1.79	13	6	13.30	11.90	1.39	1.48	10.10	10.08	1.89	1.79
15	7	13.36	12.09	1.39	1.47	10.07	10.06	1.90	1.81	15	7	13.36	12.09	1.39	1.47	10.07	10.06	1.90	1.81
17	8	13.41	12.24	1.39	1.45	10.05	10.04	1.91	1.82	17	8	13.41	12.24	1.39	1.45	10.05	10.04	1.91	1.82
19	9	13.45	12.37	1.38	1.45	10.03	10.02	1.92	1.83	19	9	13.45	12.37	1.38	1.45	10.03	10.02	1.92	1.83
21	10	13.49	12.49	1.38	1.44	10.02	10.01	1.93	1.85	21	10	13.49	12.49	1.38	1.44	10.02	10.01	1.93	1.85
23	11	13.51	12.58	1.38	1.43	10.00	9.99	1.93	1.85	23	11	13.51	12.58	1.38	1.43	10.00	9.99	1.93	1.85
25	12	13.54	12.67	1.38	1.43	9.99	9.98	1.93	1.86	25	12	13.54	12.67	1.38	1.43	9.99	9.98	1.93	1.86
27	13	13.56	12.74	1.38	1.42	9.98	9.98	1.94	1.87	27	13	13.56	12.74	1.38	1.42	9.98	9.98	1.94	1.87
29	14	13.58	12.80	1.38	1.42	9.97	9.97	1.94	1.88	29	14	13.58	12.80	1.38	1.42	9.97	9.97	1.94	1.88
31	15	13.59	12.86	1.37	1.41	9.97	9.96	1.94	1.88	31	15	13.59	12.86	1.37	1.41	9.97	9.96	1.94	1.88

Tabelle 4.1: Elastizitätsmoduli der Typenlamine F 120/300

für Kurz- und Langzeitbelastung

Variation des Glasgehaltes  $\psi$  von 0,2 bis 0,7 in Schritten 0,1

$E_G = 73 \text{ KN/mm}^2$ ,  $E_H = 3,5 \text{ KN/mm}^2$

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B			EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		F 240/300		PSI = .2		PHI = .111						F 240/300		PSI = .5		PHI = .333			
5	2	8.17	6.69	1.81	2.30	6.27	6.37	2.85	2.52	5	2	17.29	12.80	1.27	1.47	12.55	12.03	1.90	1.59
7	3	8.34	7.05	1.77	2.13	6.19	6.28	2.97	2.65	7	3	17.79	13.88	1.26	1.40	12.32	11.94	1.97	1.68
9	4	8.45	7.31	1.75	2.03	6.13	6.22	3.05	2.75	9	4	18.10	14.68	1.25	1.36	12.18	11.87	2.02	1.75
11	5	8.51	7.51	1.73	1.97	6.10	6.17	3.11	2.83	11	5	18.31	15.28	1.24	1.33	12.08	11.83	2.05	1.80
13	6	8.56	7.67	1.72	1.92	6.07	6.14	3.15	2.89	13	6	18.45	15.75	1.24	1.31	12.01	11.79	2.08	1.85
15	7	8.60	7.79	1.72	1.89	6.05	6.11	3.18	2.94	15	7	18.57	16.12	1.24	1.30	11.95	11.77	2.10	1.88
17	8	8.63	7.90	1.71	1.86	6.04	6.09	3.21	2.98	17	8	18.65	16.43	1.23	1.29	11.91	11.74	2.11	1.91
19	9	8.65	7.98	1.71	1.84	6.02	6.08	3.23	3.02	19	9	18.72	16.68	1.23	1.28	11.87	11.73	2.12	1.94
21	10	8.67	8.05	1.70	1.82	6.01	6.06	3.25	3.05	21	10	18.78	16.89	1.23	1.28	11.85	11.71	2.14	1.96
23	11	8.69	8.11	1.70	1.81	6.00	6.05	3.27	3.07	23	11	18.83	17.08	1.23	1.27	11.82	11.70	2.14	1.98
25	12	8.70	8.16	1.70	1.80	6.00	6.04	3.28	3.10	25	12	18.87	17.23	1.23	1.27	11.80	11.69	2.15	2.00
27	13	8.71	8.21	1.70	1.79	5.99	6.03	3.29	3.12	27	13	18.91	17.37	1.23	1.26	11.78	11.68	2.16	2.01
29	14	8.72	8.25	1.69	1.78	5.99	6.02	3.30	3.14	29	14	18.94	17.49	1.22	1.26	11.77	11.67	2.16	2.03
31	15	8.73	8.28	1.69	1.77	5.98	6.02	3.31	3.15	31	15	18.96	17.60	1.22	1.26	11.75	11.66	2.17	2.04
		F 240/300		PSI = .3		PHI = .176						F 240/300		PSI = .6		PHI = .428			
5	2	10.83	8.46	1.51	1.83	7.87	7.97	2.25	1.99	5	2	21.28	15.53	1.22	1.38	17.53	14.91	2.06	1.53
7	3	11.10	9.03	1.48	1.72	7.74	7.83	2.34	2.08	7	3	21.92	16.90	1.21	1.33	17.15	15.20	2.13	1.66
9	4	11.26	9.45	1.47	1.65	7.65	7.74	2.40	2.16	9	4	22.31	17.92	1.20	1.29	16.90	15.35	2.18	1.76
11	5	11.37	9.77	1.46	1.61	7.60	7.68	2.44	2.21	11	5	22.57	18.69	1.19	1.27	16.73	15.45	2.21	1.83
13	6	11.45	10.02	1.45	1.58	7.55	7.63	2.47	2.26	13	6	22.76	19.29	1.19	1.25	16.61	15.51	2.23	1.89
15	7	11.51	10.22	1.45	1.56	7.52	7.59	2.49	2.30	15	7	22.90	19.77	1.19	1.24	16.51	15.56	2.25	1.94
17	8	11.56	10.38	1.44	1.54	7.50	7.56	2.51	2.33	17	8	23.02	20.16	1.18	1.23	16.44	15.59	2.27	1.98
19	9	11.60	10.52	1.44	1.53	7.48	7.54	2.53	2.36	19	9	23.11	20.48	1.18	1.22	16.38	15.62	2.28	2.01
21	10	11.63	10.63	1.44	1.52	7.46	7.52	2.54	2.38	21	10	23.18	20.75	1.18	1.22	16.33	15.64	2.29	2.04
23	11	11.65	10.73	1.44	1.51	7.45	7.50	2.55	2.40	23	11	23.24	20.99	1.18	1.21	16.29	15.65	2.30	2.06
25	12	11.67	10.81	1.43	1.50	7.44	7.49	2.56	2.42	25	12	23.29	21.19	1.18	1.21	16.25	15.67	2.30	2.08
27	13	11.69	10.88	1.43	1.49	7.43	7.48	2.57	2.43	27	13	23.34	21.36	1.18	1.21	16.22	15.68	2.31	2.10
29	14	11.71	10.95	1.43	1.49	7.42	7.47	2.58	2.45	29	14	23.38	21.52	1.18	1.20	16.20	15.69	2.32	2.12
31	15	11.72	11.00	1.43	1.48	7.41	7.46	2.58	2.46	31	15	23.41	21.66	1.18	1.20	16.17	15.70	2.32	2.13
		F 240/300		PSI = .4		PHI = .25						F 240/300		PSI = .7		PHI = .538			
5	2	13.84	10.48	1.36	1.60	9.85	9.82	1.99	1.73	5	2	0.00	0.00	0.00	0.00	7.31	9.08	1.69	1.59
7	3	14.22	11.29	1.34	1.52	9.67	9.67	2.06	1.81	7	3	26.76	20.47	1.17	1.28	96.97	45.46	9.61	3.96
9	4	14.45	11.89	1.33	1.47	9.56	9.57	2.11	1.88	9	4	27.24	21.74	1.16	1.25	60.16	37.33	6.18	3.40
11	5	14.61	12.34	1.32	1.44	9.48	9.50	2.15	1.93	11	5	27.57	22.70	1.16	1.23	50.21	35.26	5.28	3.33
13	6	14.72	12.69	1.32	1.41	9.42	9.44	2.17	1.97	13	6	27.80	23.44	1.15	1.21	45.54	34.33	4.88	3.33
15	7	14.81	12.97	1.31	1.40	9.38	9.40	2.19	2.01	15	7	27.98	24.04	1.15	1.20	42.81	33.81	4.65	3.35
17	8	14.87	13.20	1.31	1.38	9.35	9.37	2.21	2.04	17	8	28.11	24.53	1.15	1.19	41.02	33.49	4.50	3.38
19	9	14.93	13.39	1.31	1.37	9.32	9.34	2.22	2.06	19	9	28.22	24.93	1.15	1.19	39.74	33.27	4.40	3.41
21	10	14.97	13.55	1.31	1.36	9.30	9.32	2.23	2.08	21	10	28.32	25.28	1.15	1.18	38.79	33.10	4.33	3.43
23	11	15.01	13.69	1.30	1.36	9.28	9.30	2.24	2.10	23	11	28.39	25.57	1.15	1.18	38.06	32.98	4.27	3.46
25	12	15.04	13.81	1.30	1.35	9.27	9.28	2.25	2.12	25	12	28.46	25.82	1.15	1.17	37.47	32.89	4.23	3.48
27	13	15.06	13.91	1.30	1.35	9.25	9.27	2.26	2.13	27	13	28.51	26.04	1.14	1.17	36.99	32.81	4.19	3.50
29	14	15.09	14.00	1.30	1.34	9.24	9.26	2.27	2.14	29	14	28.56	26.23	1.14	1.17	36.58	32.75	4.16	3.52
31	15	15.11	14.08	1.30	1.34	9.23	9.25	2.27	2.15	31	15	28.60	26.40	1.14	1.17	36.25	32.70	4.14	3.54

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B			EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		F 240/300		PSI = .2		PHI = .111						F 240/300		PSI = .5		PHI = .333			
5	2	8.17	6.69	1.81	2.30	6.27	6.37	2.85	2.52	5	2	17.29	12.80	1.27	1.47	12.55	12.03	1.90	1.59
7	3	8.34	7.05	1.77	2.13	6.19	6.28	2.97	2.65	7	3	17.79	13.88	1.26	1.40	12.32	11.94	1.97	1.68
9	4	8.45	7.31	1.75	2.03	6.13	6.22	3.05	2.75	9	4	18.10	14.68	1.25	1.36	12.18	11.87	2.02	1.75
11	5	8.51	7.51	1.73	1.97	6.10	6.17	3.11	2.83	11	5	18.31	15.28	1.24	1.33	12.08	11.83	2.05	1.80
13	6	8.56	7.67	1.72	1.92	6.07	6.14	3.15	2.89	13	6	18.45	15.75	1.24	1.31	12.01	11.79	2.08	1.85
15	7	8.60	7.79	1.72	1.89	6.05	6.11	3.18	2.94	15	7	18.57	16.12	1.24	1.30	11.95	11.77	2.10	1.88
17	8	8.63	7.90	1.71	1.86	6.04	6.09	3.21	2.98	17	8	18.65	16.43	1.23	1.29	11.91	11.74	2.11	1.91
19	9	8.65	7.98	1.71	1.84	6.02	6.08	3.23	3.02	19	9	18.72	16.68	1.23	1.28	11.87	11.73	2.12	1.94
21	10	8.67	8.05	1.70	1.82	6.01	6.06	3.25	3.05	21	10	18.78	16.89	1.23	1.28	11.85	11.71	2.14	1.96
23	11	8.69	8.11	1.70	1.81	6.00	6.05	3.27	3.07	23	11	18.83	17.08	1.23	1.27	11.82	11.70	2.14	1.98
25	12	8.70	8.16	1.70	1.80	6.00	6.04	3.28	3.10	25	12	18.87	17.23	1.23	1.27	11.80	11.69	2.15	2.00
27	13	8.71	8.21	1.70	1.79	5.99	6.03	3.29	3.12	27	13	18.91	17.37	1.23	1.26	11.78	11.68	2.16	2.01
29	14	8.72	8.25	1.69	1.78	5.99	6.02	3.30	3.14	29	14	18.94	17.49	1.22	1.26	11.77	11.67	2.16	2.03
31	15	8.73	8.28	1.69	1.77	5.98	6.02	3.31	3.15	31	15	18.96	17.60	1.22	1.26	11.75	11.66	2.17	2.04
		F 240/300		PSI = .3		PHI = .176						F 240/300		PSI = .6		PHI = .428			
5	2	10.83	8.46	1.51	1.83	7.87	7.97	2.25	1.99	5	2	21.28	15.53	1.22	1.38	17.53	14.91	2.06	1.53
7	3	11.10	9.03	1.48	1.72	7.74	7.83	2.34	2.08	7	3	21.92	16.90	1.21	1.33	17.15	15.20	2.13	1.66
9	4	11.26	9.45	1.47	1.65	7.65	7.74	2.40	2.16	9	4	22.31	17.92	1.20	1.29	16.90	15.35	2.18	1.76
11	5	11.37	9.77	1.46	1.61	7.60	7.68	2.44	2.21	11	5	22.57	18.69	1.19	1.27	16.73	15.45	2.21	1.83
13	6	11.45	10.02	1.45	1.58	7.55	7.63	2.47	2.26	13	6	22.76	19.29	1.19	1.25	16.61	15.51	2.23	1.89
15	7	11.51	10.22	1.45</															

N		P		LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N		P		LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
				EZ		A1Z		EZ		A1Z						EZ		A1Z		EZ		A1Z	
				KN/MM2		A1B		KN/MM2		A1B						KN/MM2		A1B		KN/MM2		A1B	
				F 480/300		PSI = .2		PHI = .111								F 480/300		PSI = .5		PHI = .333			
5	2	8.87	6.88	1.67	2.18	5.91	6.06	3.45	2.81	5	2	19.37	13.37	1.21	1.41	11.54	11.19	2.25	1.73				
7	3	9.06	7.41	1.63	1.98	5.81	5.94	3.69	3.06	7	3	19.96	14.96	1.20	1.33	11.23	11.00	2.38	1.89				
9	4	9.18	7.78	1.62	1.88	5.75	5.86	3.85	3.24	9	4	20.31	16.05	1.19	1.29	11.03	10.87	2.47	2.01				
11	5	9.25	8.04	1.61	1.81	5.71	5.80	3.97	3.39	11	5	20.53	16.84	1.19	1.27	10.91	10.79	2.53	2.10				
13	6	9.31	8.23	1.60	1.77	5.68	5.77	4.05	3.51	13	6	20.69	17.44	1.18	1.25	10.82	10.72	2.57	2.18				
15	7	9.34	8.39	1.59	1.74	5.66	5.74	4.12	3.61	15	7	20.81	17.91	1.18	1.24	10.75	10.67	2.61	2.24				
17	8	9.37	8.51	1.59	1.72	5.64	5.71	4.17	3.69	17	8	20.90	18.28	1.18	1.23	10.70	10.63	2.64	2.29				
19	9	9.40	8.61	1.58	1.70	5.63	5.69	4.22	3.76	19	9	20.98	18.59	1.18	1.22	10.66	10.60	2.66	2.34				
21	10	9.42	8.70	1.58	1.68	5.62	5.68	4.25	3.83	21	10	21.03	18.84	1.18	1.22	10.62	10.57	2.68	2.37				
23	11	9.43	8.77	1.58	1.67	5.61	5.67	4.28	3.88	23	11	21.08	19.05	1.18	1.21	10.60	10.55	2.70	2.41				
25	12	9.45	8.83	1.58	1.66	5.60	5.65	4.31	3.93	25	12	21.13	19.24	1.18	1.21	10.57	10.53	2.71	2.44				
27	13	9.46	8.88	1.58	1.65	5.60	5.64	4.33	3.97	27	13	21.16	19.40	1.17	1.20	10.55	10.51	2.72	2.46				
29	14	9.47	8.92	1.57	1.65	5.59	5.64	4.35	4.01	29	14	21.19	19.54	1.17	1.20	10.53	10.50	2.73	2.49				
31	15	9.48	8.97	1.57	1.64	5.59	5.63	4.37	4.04	31	15	21.22	19.66	1.17	1.20	10.52	10.49	2.74	2.51				
				F 480/300		PSI = .3		PHI = .176						F 480/300		PSI = .6		PHI = .428					
5	2	11.94	8.77	1.41	1.75	7.30	7.48	2.69	2.19	5	2	23.92	16.22	1.17	1.33	15.82	13.96	2.40	1.68				
7	3	12.25	9.61	1.39	1.62	7.14	7.29	2.86	2.36	7	3	24.68	18.25	1.15	1.26	15.29	14.00	2.52	1.87				
9	4	12.44	10.19	1.38	1.55	7.04	7.18	2.97	2.50	9	4	25.12	19.66	1.15	1.23	14.97	13.99	2.60	2.01				
11	5	12.56	10.61	1.37	1.51	6.98	7.10	3.05	2.61	11	5	25.41	20.67	1.14	1.21	14.77	13.97	2.66	2.12				
13	6	12.64	10.93	1.37	1.48	6.93	7.04	3.11	2.70	13	6	25.62	21.44	1.14	1.19	14.62	13.95	2.71	2.20				
15	7	12.70	11.17	1.36	1.46	6.90	7.00	3.16	2.77	15	7	25.77	22.03	1.14	1.18	14.51	13.94	2.74	2.27				
17	8	12.75	11.37	1.36	1.44	6.87	6.96	3.20	2.83	17	8	25.88	22.51	1.14	1.18	14.43	13.92	2.77	2.33				
19	9	12.79	11.53	1.36	1.43	6.85	6.93	3.23	2.89	19	9	25.98	22.90	1.14	1.17	14.36	13.91	2.79	2.38				
21	10	12.82	11.67	1.36	1.42	6.83	6.91	3.26	2.93	21	10	26.05	23.23	1.13	1.17	14.31	13.90	2.81	2.43				
23	11	12.85	11.78	1.35	1.41	6.82	6.89	3.28	2.97	23	11	26.11	23.51	1.13	1.16	14.26	13.89	2.82	2.47				
25	12	12.87	11.88	1.35	1.41	6.81	6.87	3.30	3.01	25	12	26.17	23.74	1.13	1.16	14.22	13.89	2.84	2.50				
27	13	12.89	11.96	1.35	1.40	6.80	6.86	3.31	3.04	27	13	26.21	23.95	1.13	1.16	14.19	13.88	2.85	2.53				
29	14	12.91	12.03	1.35	1.40	6.79	6.85	3.33	3.06	29	14	26.25	24.13	1.13	1.15	14.16	13.87	2.86	2.56				
31	15	12.92	12.10	1.35	1.39	6.78	6.84	3.34	3.09	31	15	26.29	24.28	1.13	1.15	14.14	13.87	2.87	2.58				
				F 480/300		PSI = .4		PHI = .25						F 480/300		PSI = .7		PHI = .538					
5	2	15.41	10.91	1.29	1.54	9.07	9.15	2.36	1.89	5	2	29.23	19.58	1.13	1.28	32.14	20.39	3.87	1.95				
7	3	15.86	12.11	1.27	1.44	8.84	8.93	2.50	2.04	7	3	30.17	22.11	1.12	1.22	28.18	21.21	3.70	2.25				
9	4	16.12	12.93	1.26	1.39	8.70	8.79	2.59	2.16	9	4	30.72	23.87	1.12	1.19	26.48	21.50	3.66	2.46				
11	5	16.29	13.52	1.26	1.36	8.61	8.69	2.66	2.26	11	5	31.08	25.13	1.11	1.17	25.53	21.64	3.66	2.61				
13	6	16.41	13.97	1.25	1.33	8.55	8.62	2.71	2.33	13	6	31.33	26.09	1.11	1.16	24.91	21.72	3.67	2.73				
15	7	16.50	14.32	1.25	1.32	8.50	8.57	2.75	2.40	15	7	31.52	26.84	1.11	1.15	24.47	21.77	3.68	2.83				
17	8	16.57	14.60	1.25	1.31	8.46	8.53	2.78	2.45	17	8	31.67	27.44	1.11	1.14	24.15	21.80	3.69	2.91				
19	9	16.62	14.83	1.25	1.30	8.43	8.49	2.81	2.50	19	9	31.78	27.93	1.11	1.14	23.90	21.83	3.70	2.98				
21	10	16.67	15.02	1.24	1.29	8.41	8.46	2.83	2.53	21	10	31.88	28.34	1.10	1.13	23.71	21.85	3.70	3.04				
23	11	16.70	15.18	1.24	1.29	8.39	8.44	2.85	2.57	23	11	31.95	28.68	1.10	1.13	23.54	21.86	3.71	3.09				
25	12	16.73	15.32	1.24	1.28	8.37	8.42	2.86	2.60	25	12	32.02	28.98	1.10	1.13	23.41	21.87	3.72	3.13				
27	13	16.76	15.44	1.24	1.28	8.36	8.40	2.88	2.63	27	13	32.08	29.23	1.10	1.12	23.30	21.88	3.72	3.17				
29	14	16.78	15.54	1.24	1.27	8.34	8.39	2.89	2.65	29	14	32.12	29.46	1.10	1.12	23.20	21.89	3.73	3.21				
31	15	16.80	15.64	1.24	1.27	8.33	8.37	2.90	2.67	31	15	32.17	29.65	1.10	1.12	23.12	21.90	3.73	3.24				

Tabelle 4.3: Elastizitätsmoduli der Typenlaminare F 480/300 für Kurz- und Langzeitbelastung  
 Variation des Glasgehaltes  $\psi$  von 0,2 bis 0,7 in Schritten 0,1  
 $E_G = 73 \text{ KN/mm}^2$ ,  $E_H = 3,5 \text{ KN/mm}^2$

		LAENGS				EH=0						LAENGS				EH=0			
N	P	EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B	N	P	EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		KN/MM2				KN/MM2						KN/MM2				KN/MM2			
		F 600/300				PHI = .111						F 600/300				PHI = .333			
5	2	9.11	7.02	1.63	2.11	5.78	5.94	3.75	2.96	5	2	20.10	13.78	1.20	1.38	11.15	10.88	2.41	1.81
7	3	9.31	7.60	1.60	1.92	5.68	5.82	4.05	3.26	7	3	20.69	15.51	1.18	1.31	10.82	10.66	2.57	1.99
9	4	9.42	7.98	1.58	1.82	5.62	5.74	4.25	3.49	9	4	21.03	16.68	1.18	1.27	10.62	10.52	2.68	2.13
11	5	9.49	8.26	1.57	1.76	5.58	5.68	4.40	3.67	11	5	21.26	17.50	1.17	1.24	10.50	10.42	2.76	2.24
13	6	9.54	8.46	1.56	1.72	5.55	5.64	4.50	3.82	13	6	21.41	18.12	1.17	1.23	10.41	10.35	2.81	2.34
15	7	9.58	8.62	1.56	1.69	5.53	5.61	4.59	3.94	15	7	21.53	18.60	1.17	1.22	10.34	10.30	2.86	2.41
17	8	9.61	8.74	1.56	1.67	5.52	5.59	4.65	4.05	17	8	21.61	18.98	1.17	1.21	10.29	10.25	2.89	2.47
19	9	9.63	8.84	1.55	1.66	5.51	5.57	4.71	4.13	19	9	21.68	19.29	1.17	1.20	10.25	10.22	2.92	2.53
21	10	9.65	8.93	1.55	1.64	5.50	5.56	4.75	4.21	21	10	21.74	19.54	1.16	1.20	10.21	10.19	2.95	2.57
23	11	9.66	9.00	1.55	1.63	5.49	5.54	4.79	4.28	23	11	21.79	19.76	1.16	1.19	10.19	10.16	2.97	2.62
25	12	9.68	9.06	1.55	1.62	5.48	5.53	4.83	4.34	25	12	21.83	19.94	1.16	1.19	10.16	10.14	2.98	2.65
27	13	9.69	9.11	1.54	1.62	5.47	5.52	4.85	4.39	27	13	21.86	20.10	1.16	1.19	10.14	10.13	3.00	2.68
29	14	9.70	9.16	1.54	1.61	5.47	5.51	4.88	4.44	29	14	21.89	20.24	1.16	1.19	10.13	10.11	3.01	2.71
31	15	9.71	9.20	1.54	1.60	5.47	5.51	4.90	4.48	31	15	21.91	20.37	1.16	1.18	10.11	10.10	3.02	2.74
		F 600/300				PHI = .176						F 600/300				PHI = .428			
5	2	12.33	8.99	1.39	1.70	7.10	7.30	2.90	2.29	5	2	24.85	16.74	1.15	1.31	15.17	13.60	2.55	1.76
7	3	12.64	9.91	1.37	1.58	6.93	7.10	3.11	2.51	7	3	25.62	18.96	1.14	1.24	14.62	13.55	2.71	1.97
9	4	12.82	10.52	1.36	1.51	6.83	6.98	3.26	2.67	9	4	26.05	20.45	1.13	1.21	14.31	13.50	2.81	2.13
11	5	12.94	10.96	1.35	1.47	6.77	6.90	3.36	2.81	11	5	26.33	21.51	1.13	1.19	14.10	13.46	2.88	2.25
13	6	13.02	11.29	1.34	1.45	6.73	6.84	3.44	2.92	13	6	26.53	22.30	1.13	1.18	13.96	13.42	2.93	2.36
15	7	13.08	11.54	1.34	1.43	6.69	6.80	3.49	3.01	15	7	26.68	22.91	1.13	1.17	13.85	13.39	2.98	2.44
17	8	13.13	11.74	1.34	1.41	6.67	6.76	3.54	3.08	17	8	26.79	23.40	1.12	1.16	13.77	13.37	3.01	2.51
19	9	13.17	11.90	1.34	1.40	6.65	6.73	3.58	3.15	19	9	26.88	23.80	1.12	1.16	13.70	13.35	3.04	2.57
21	10	13.20	12.04	1.33	1.39	6.63	6.71	3.61	3.20	21	10	26.95	24.13	1.12	1.15	13.65	13.33	3.06	2.62
23	11	13.22	12.15	1.33	1.39	6.62	6.69	3.64	3.25	23	11	27.01	24.41	1.12	1.15	13.60	13.32	3.08	2.66
25	12	13.24	12.25	1.33	1.38	6.61	6.68	3.66	3.30	25	12	27.06	24.64	1.12	1.15	13.57	13.30	3.10	2.70
27	13	13.26	12.33	1.33	1.38	6.60	6.66	3.68	3.33	27	13	27.11	24.85	1.12	1.14	13.53	13.29	3.11	2.74
29	14	13.27	12.41	1.33	1.37	6.59	6.65	3.70	3.37	29	14	27.14	25.03	1.12	1.14	13.51	13.28	3.12	2.77
31	15	13.29	12.47	1.33	1.37	6.58	6.64	3.72	3.40	31	15	27.18	25.18	1.12	1.14	13.48	13.27	3.14	2.80
		F 600/300				PHI = .25						F 600/300				PHI = .538			
5	2	15.96	11.22	1.27	1.50	8.79	8.90	2.53	1.97	5	2	30.39	20.21	1.12	1.26	27.48	19.27	3.68	1.98
7	3	16.41	12.53	1.25	1.41	8.55	8.66	2.71	2.16	7	3	31.33	22.98	1.11	1.20	24.91	19.82	3.67	2.29
9	4	16.67	13.40	1.24	1.36	8.41	8.52	2.83	2.30	9	4	31.88	24.85	1.10	1.17	23.71	20.02	3.70	2.51
11	5	16.83	14.02	1.24	1.33	8.32	8.42	2.91	2.42	11	5	32.23	26.17	1.10	1.15	23.00	20.10	3.74	2.68
13	6	16.95	14.48	1.23	1.31	8.25	8.34	2.98	2.51	13	6	32.47	27.17	1.10	1.14	22.53	20.15	3.77	2.81
15	7	17.03	14.84	1.23	1.30	8.21	8.29	3.02	2.59	15	7	32.66	27.93	1.10	1.13	22.20	20.17	3.80	2.92
17	8	17.10	15.12	1.23	1.29	8.17	8.25	3.06	2.65	17	8	32.80	28.54	1.10	1.13	21.95	20.19	3.82	3.02
19	9	17.15	15.36	1.23	1.28	8.14	8.21	3.09	2.71	19	9	32.91	29.04	1.09	1.12	21.76	20.20	3.84	3.09
21	10	17.19	15.55	1.23	1.27	8.12	8.18	3.12	2.76	21	10	33.00	29.45	1.09	1.12	21.61	20.21	3.86	3.16
23	11	17.23	15.71	1.23	1.27	8.10	8.16	3.14	2.80	23	11	33.07	29.80	1.09	1.12	21.48	20.21	3.87	3.22
25	12	17.26	15.85	1.23	1.26	8.08	8.14	3.16	2.84	25	12	33.14	30.10	1.09	1.11	21.38	20.22	3.88	3.27
27	13	17.28	15.97	1.22	1.26	8.07	8.12	3.18	2.87	27	13	33.19	30.35	1.09	1.11	21.29	20.22	3.90	3.32
29	14	17.31	16.07	1.22	1.26	8.06	8.11	3.19	2.90	29	14	33.24	30.58	1.09	1.11	21.21	20.22	3.90	3.36
31	15	17.33	16.17	1.22	1.25	8.04	8.09	3.21	2.92	31	15	33.28	30.78	1.09	1.11	21.14	20.22	3.91	3.39

Tabelle 4.4: Elastizitätsmoduli der Typenlaminare F 600/300

Für Kurz- und Langzeitbelastung

Variation des Glasgehaltes  $\psi$  von 0,2 bis 0,7 in Schritten 0,1

$E_G = 73 \text{ KN/mm}^2$ ,  $E_H = 3,5 \text{ KN/mm}^2$

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B			EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		F 720/300		PSI = .2		PHI = .111						F 720/300		PSI = .5		PHI = .333			
5	2	9.31	7.17	1.60	2.05	5.68	5.85	4.05	3.11	5	2	20.69	14.21	1.18	1.36	10.82	10.62	2.57	1.88
7	3	9.50	7.77	1.57	1.87	5.58	5.72	4.41	3.46	7	3	21.28	16.04	1.17	1.28	10.48	10.38	2.77	2.09
9	4	9.61	8.17	1.56	1.78	5.52	5.64	4.65	3.73	9	4	21.61	17.24	1.17	1.25	10.29	10.23	2.89	2.26
11	5	9.68	8.45	1.55	1.72	5.48	5.58	4.83	3.95	11	5	21.83	18.09	1.16	1.23	10.16	10.12	2.98	2.39
13	6	9.73	8.65	1.54	1.68	5.45	5.54	4.96	4.13	13	6	21.97	18.71	1.16	1.21	10.08	10.05	3.05	2.49
15	7	9.76	8.81	1.54	1.66	5.44	5.51	5.06	4.27	15	7	22.08	19.19	1.16	1.20	10.01	9.99	3.10	2.58
17	8	9.79	8.93	1.53	1.64	5.42	5.49	5.14	4.40	17	8	22.17	19.57	1.16	1.20	9.96	9.95	3.15	2.66
19	9	9.81	9.03	1.53	1.62	5.41	5.47	5.20	4.50	19	9	22.23	19.87	1.16	1.19	9.92	9.91	3.18	2.72
21	10	9.83	9.12	1.53	1.61	5.40	5.46	5.26	4.60	21	10	22.29	20.13	1.15	1.19	9.89	9.88	3.21	2.77
23	11	9.84	9.19	1.53	1.60	5.39	5.45	5.30	4.68	23	11	22.33	20.34	1.15	1.18	9.86	9.86	3.23	2.82
25	12	9.85	9.25	1.52	1.59	5.39	5.44	5.34	4.75	25	12	22.37	20.52	1.15	1.18	9.84	9.84	3.25	2.86
27	13	9.86	9.30	1.52	1.59	5.38	5.43	5.38	4.81	27	13	22.40	20.68	1.15	1.18	9.82	9.82	3.27	2.90
29	14	9.87	9.34	1.52	1.58	5.38	5.42	5.41	4.86	29	14	22.43	20.82	1.15	1.17	9.80	9.80	3.29	2.93
31	15	9.88	9.38	1.52	1.58	5.37	5.41	5.43	4.91	31	15	22.45	20.94	1.15	1.17	9.79	9.79	3.30	2.96
		F 720/300		PSI = .3		PHI = .176						F 720/300		PSI = .6		PHI = .428			
5	2	12.64	9.22	1.37	1.66	6.93	7.14	3.11	2.39	5	2	25.62	17.29	1.14	1.28	14.62	13.28	2.71	1.83
7	3	12.95	10.19	1.35	1.54	6.76	6.94	3.37	2.65	7	3	26.37	19.63	1.13	1.22	14.08	13.19	2.89	2.07
9	4	13.13	10.83	1.34	1.48	6.67	6.82	3.54	2.85	9	4	26.79	21.17	1.12	1.19	13.77	13.10	3.01	2.25
11	5	13.24	11.27	1.33	1.45	6.61	6.74	3.66	3.00	11	5	27.06	22.26	1.12	1.18	13.57	13.04	3.10	2.39
13	6	13.32	11.60	1.33	1.42	6.56	6.68	3.75	3.13	13	6	27.25	23.06	1.12	1.16	13.43	12.99	3.16	2.51
15	7	13.38	11.85	1.32	1.40	6.53	6.64	3.83	3.24	15	7	27.39	23.67	1.12	1.16	13.32	12.95	3.21	2.60
17	8	13.42	12.05	1.32	1.39	6.51	6.60	3.88	3.33	17	8	27.50	24.16	1.12	1.15	13.25	12.92	3.25	2.68
19	9	13.46	12.21	1.32	1.38	6.49	6.58	3.93	3.41	19	9	27.59	24.55	1.12	1.14	13.18	12.90	3.29	2.75
21	10	13.48	12.35	1.32	1.37	6.47	6.55	3.97	3.47	21	10	27.66	24.88	1.11	1.14	13.13	12.88	3.31	2.81
23	11	13.51	12.46	1.32	1.37	6.46	6.54	4.00	3.53	23	11	27.71	25.15	1.11	1.14	13.09	12.86	3.34	2.86
25	12	13.53	12.56	1.32	1.36	6.45	6.52	4.03	3.58	25	12	27.76	25.39	1.11	1.13	13.05	12.84	3.36	2.91
27	13	13.54	12.64	1.32	1.36	6.44	6.51	4.05	3.63	27	13	27.80	25.59	1.11	1.13	13.02	12.83	3.37	2.95
29	14	13.56	12.71	1.32	1.35	6.43	6.49	4.07	3.67	29	14	27.84	25.76	1.11	1.13	13.00	12.82	3.39	2.98
31	15	13.57	12.77	1.32	1.35	6.43	6.48	4.09	3.71	31	15	27.87	25.92	1.11	1.13	12.98	12.81	3.40	3.02
		F 720/300		PSI = .4		PHI = .25						F 720/300		PSI = .7		PHI = .538			
5	2	16.41	11.55	1.25	1.47	8.55	8.69	2.71	2.05	5	2	31.33	20.89	1.11	1.23	24.91	18.55	3.67	2.04
7	3	16.85	12.93	1.24	1.38	8.31	8.44	2.92	2.27	7	3	32.27	23.82	1.10	1.18	22.92	18.92	3.74	2.36
9	4	17.10	13.83	1.23	1.34	8.17	8.29	3.06	2.44	9	4	32.80	25.75	1.10	1.15	21.95	19.03	3.82	2.60
11	5	17.26	14.46	1.23	1.31	8.08	8.19	3.16	2.58	11	5	33.14	27.10	1.09	1.14	21.38	19.07	3.88	2.78
13	6	17.37	14.93	1.22	1.29	8.02	8.12	3.24	2.69	13	6	33.37	28.10	1.09	1.13	20.99	19.09	3.93	2.93
15	7	17.45	15.28	1.22	1.28	7.97	8.06	3.30	2.78	15	7	33.55	28.87	1.09	1.12	20.71	19.10	3.98	3.05
17	8	17.52	15.57	1.22	1.27	7.94	8.02	3.34	2.85	17	8	33.68	29.48	1.09	1.12	20.51	19.10	4.01	3.16
19	9	17.57	15.80	1.22	1.26	7.91	7.99	3.38	2.92	19	9	33.79	29.98	1.09	1.11	20.34	19.10	4.04	3.24
21	10	17.61	15.99	1.22	1.26	7.89	7.96	3.41	2.98	21	10	33.87	30.39	1.09	1.11	20.21	19.10	4.06	3.32
23	11	17.64	16.15	1.22	1.25	7.87	7.93	3.44	3.03	23	11	33.94	30.73	1.09	1.11	20.11	19.10	4.08	3.38
25	12	17.67	16.28	1.21	1.25	7.85	7.91	3.46	3.07	25	12	34.00	31.02	1.09	1.10	20.02	19.10	4.10	3.44
27	13	17.69	16.40	1.21	1.24	7.84	7.90	3.48	3.11	27	13	34.05	31.28	1.08	1.10	19.94	19.09	4.11	3.49
29	14	17.71	16.51	1.21	1.24	7.83	7.88	3.50	3.14	29	14	34.10	31.50	1.08	1.10	19.88	19.09	4.13	3.54
31	15	17.73	16.60	1.21	1.24	7.82	7.87	3.51	3.18	31	15	34.14	31.69	1.08	1.10	19.82	19.09	4.14	3.58

Tabelle 4.5: Elastizitätsmoduli der Typenlaminare F 720/300

Für Kurz- und Langzeitbelastung

Variation des Glaschaltens  $\gamma$  von 0,2 bis 0,7 in Schritten 0,1

$E_G = 73 \text{ KN/mm}^2$ ,  $E_H = 3,5 \text{ KN/mm}^2$

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B			EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		KN/MM2		PSI		KN/MM2		PHI				KN/MM2		PSI		KN/MM2		PHI	
		F 600/450		= .2		F 600/450		= .111				F 600/450		= .5		F 600/450		= .333	
5	2	8.98	7.17	1.65	2.07	5.85	6.00	3.59	2.94	5	2	19.71	14.22	1.21	1.37	11.36	11.09	2.32	1.81
7	3	9.11	7.83	1.63	1.87	5.78	5.89	3.75	3.22	7	3	20.10	16.21	1.20	1.29	11.15	10.99	2.41	2.00
9	4	9.18	8.19	1.62	1.78	5.75	5.83	3.85	3.40	9	4	20.31	17.30	1.19	1.26	11.03	10.92	2.47	2.12
11	5	9.22	8.41	1.61	1.74	5.72	5.79	3.92	3.52	11	5	20.44	17.99	1.19	1.24	10.96	10.88	2.50	2.21
13	6	9.25	8.57	1.61	1.71	5.71	5.76	3.97	3.62	13	6	20.53	18.46	1.19	1.23	10.91	10.84	2.53	2.27
15	7	9.28	8.68	1.60	1.69	5.69	5.74	4.00	3.69	15	7	20.60	18.81	1.19	1.22	10.87	10.81	2.55	2.32
17	8	9.29	8.77	1.60	1.67	5.69	5.73	4.03	3.75	17	8	20.65	19.07	1.18	1.21	10.84	10.79	2.56	2.35
19	9	9.31	8.84	1.60	1.66	5.68	5.72	4.05	3.80	19	9	20.69	19.28	1.18	1.21	10.82	10.78	2.57	2.39
21	10	9.32	8.90	1.60	1.65	5.67	5.71	4.07	3.83	21	10	20.73	19.45	1.18	1.21	10.80	10.76	2.58	2.41
23	11	9.33	8.94	1.59	1.65	5.67	5.70	4.09	3.87	23	11	20.75	19.59	1.18	1.20	10.79	10.75	2.59	2.43
25	12	9.33	8.98	1.59	1.64	5.66	5.69	4.10	3.90	25	12	20.78	19.70	1.18	1.20	10.77	10.74	2.60	2.45
27	13	9.34	9.01	1.59	1.64	5.66	5.69	4.11	3.92	27	13	20.79	19.80	1.18	1.20	10.76	10.73	2.60	2.47
29	14	9.34	9.04	1.59	1.63	5.66	5.68	4.12	3.94	29	14	20.81	19.89	1.18	1.20	10.75	10.73	2.61	2.48
31	15	9.35	9.07	1.59	1.63	5.66	5.68	4.13	3.96	31	15	20.83	19.96	1.18	1.20	10.74	10.72	2.61	2.49
		F 600/450		= .3		F 600/450		= .176				F 600/450		= .6		F 600/450		= .428	
5	2	12.12	9.23	1.40	1.67	7.21	7.38	2.78	2.28	5	2	24.36	17.31	1.16	1.29	15.52	13.99	2.47	1.78
7	3	12.33	10.28	1.39	1.54	7.10	7.23	2.90	2.49	7	3	24.85	19.86	1.15	1.23	15.17	14.21	2.55	2.01
9	4	12.44	10.85	1.38	1.49	7.04	7.14	2.97	2.62	9	4	25.12	21.26	1.15	1.20	14.97	14.28	2.60	2.16
11	5	12.51	11.21	1.37	1.46	7.00	7.08	3.02	2.72	11	5	25.29	22.14	1.14	1.18	14.85	14.31	2.64	2.26
13	6	12.56	11.46	1.37	1.44	6.98	7.05	3.05	2.79	13	6	25.41	22.75	1.14	1.18	14.77	14.32	2.66	2.33
15	7	12.59	11.65	1.37	1.43	6.96	7.02	3.08	2.84	15	7	25.50	23.19	1.14	1.17	14.71	14.33	2.68	2.39
17	8	12.62	11.79	1.37	1.42	6.94	7.00	3.10	2.88	17	8	25.56	23.53	1.14	1.16	14.66	14.33	2.69	2.43
19	9	12.64	11.90	1.37	1.41	6.93	6.98	3.11	2.92	19	9	25.62	23.80	1.14	1.16	14.62	14.33	2.71	2.47
21	10	12.66	11.99	1.37	1.40	6.92	6.96	3.13	2.95	21	10	25.66	24.01	1.14	1.16	14.59	14.33	2.71	2.50
23	11	12.67	12.06	1.36	1.40	6.91	6.95	3.14	2.97	23	11	25.69	24.19	1.14	1.16	14.57	14.33	2.72	2.52
25	12	12.69	12.12	1.36	1.40	6.91	6.94	3.15	2.99	25	12	25.72	24.34	1.14	1.15	14.54	14.33	2.73	2.54
27	13	12.70	12.17	1.36	1.39	6.90	6.94	3.16	3.01	27	13	25.75	24.47	1.14	1.15	14.53	14.33	2.73	2.56
29	14	12.70	12.22	1.36	1.39	6.90	6.93	3.16	3.03	29	14	25.77	24.58	1.14	1.15	14.51	14.33	2.74	2.58
31	15	12.71	12.26	1.36	1.39	6.89	6.92	3.17	3.04	31	15	25.78	24.67	1.14	1.15	14.50	14.33	2.74	2.59
		F 600/450		= .4		F 600/450		= .25				F 600/450		= .7		F 600/450		= .538	
5	2	15.67	11.55	1.28	1.48	8.94	9.03	2.44	1.97	5	2	29.78	20.94	1.13	1.24	29.65	20.89	3.75	2.11
7	3	15.96	13.05	1.27	1.38	8.79	8.86	2.53	2.15	7	3	30.39	24.12	1.12	1.19	27.48	22.43	3.68	2.53
9	4	16.12	13.86	1.26	1.34	8.70	8.77	2.59	2.27	9	4	30.72	25.87	1.12	1.16	26.48	22.96	3.66	2.76
11	5	16.22	14.38	1.26	1.32	8.65	8.70	2.63	2.35	11	5	30.93	26.98	1.11	1.15	25.90	23.21	3.66	2.92
13	6	16.29	14.74	1.26	1.31	8.61	8.66	2.66	2.42	13	6	31.08	27.74	1.11	1.14	25.53	23.34	3.66	3.02
15	7	16.34	14.99	1.25	1.30	8.58	8.63	2.68	2.46	15	7	31.19	28.30	1.11	1.14	25.26	23.43	3.66	3.11
17	8	16.38	15.19	1.25	1.29	8.56	8.60	2.70	2.50	17	8	31.27	28.72	1.11	1.13	25.06	23.48	3.67	3.17
19	9	16.41	15.35	1.25	1.28	8.55	8.58	2.71	2.53	19	9	31.33	29.05	1.11	1.13	24.91	23.52	3.67	3.22
21	10	16.43	15.48	1.25	1.28	8.53	8.56	2.72	2.56	21	10	31.39	29.33	1.11	1.13	24.79	23.55	3.67	3.27
23	11	16.45	15.58	1.25	1.28	8.52	8.55	2.73	2.58	23	11	31.43	29.55	1.11	1.12	24.69	23.57	3.67	3.30
25	12	16.47	15.67	1.25	1.27	8.51	8.54	2.74	2.60	25	12	31.46	29.74	1.11	1.12	24.60	23.59	3.67	3.33
27	13	16.48	15.74	1.25	1.27	8.51	8.53	2.75	2.61	27	13	31.49	29.89	1.11	1.12	24.53	23.60	3.68	3.36
29	14	16.50	15.81	1.25	1.27	8.50	8.52	2.75	2.63	29	14	31.52	30.03	1.11	1.12	24.47	23.61	3.68	3.38
31	15	16.51	15.86	1.25	1.27	8.49	8.51	2.76	2.64	31	15	31.54	30.15	1.11	1.12	24.42	23.62	3.68	3.40

Tabelle 4.6: Elastizitätsmoduli der Typenlamine F 600/450

für Kurz- und Langzeitbelastung

Variation des Glasgehaltes  $\psi$  von 0,2 bis 0,7 in Schritten 0,1

$$E_G = 73 \text{ kN/mm}^2, E_H = 3,5 \text{ kN/mm}^2$$



N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B			EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		F 720/450		PSI = .2		PHI = .111						F 720/450		PSI = .5		PHI = .333			
5	2	9.18	7.33	1.62	2.00	5.75	5.90	3.85	3.09	5	2	20.31	14.71	1.19	1.34	11.03	10.83	2.47	1.89
7	3	9.31	8.01	1.60	1.82	5.68	5.79	4.05	3.41	7	3	20.69	16.75	1.18	1.27	10.82	10.70	2.57	2.11
9	4	9.37	8.37	1.59	1.74	5.64	5.72	4.17	3.63	9	4	20.90	17.86	1.18	1.24	10.70	10.62	2.64	2.24
11	5	9.42	8.60	1.58	1.70	5.62	5.69	4.25	3.78	11	5	21.03	18.56	1.18	1.22	10.62	10.57	2.68	2.34
13	6	9.45	8.76	1.58	1.67	5.60	5.66	4.31	3.89	13	6	21.13	19.03	1.18	1.21	10.57	10.53	2.71	2.41
15	7	9.47	8.87	1.57	1.65	5.59	5.64	4.35	3.98	15	7	21.19	19.38	1.17	1.20	10.53	10.50	2.73	2.47
17	8	9.49	8.96	1.57	1.64	5.58	5.63	4.39	4.05	17	8	21.24	19.65	1.17	1.20	10.51	10.47	2.75	2.51
19	9	9.50	9.03	1.57	1.63	5.58	5.61	4.41	4.10	19	9	21.28	19.86	1.17	1.20	10.48	10.46	2.77	2.55
21	10	9.51	9.09	1.57	1.62	5.57	5.61	4.44	4.15	21	10	21.31	20.03	1.17	1.19	10.46	10.44	2.78	2.58
23	11	9.52	9.13	1.57	1.62	5.57	5.60	4.45	4.19	23	11	21.34	20.17	1.17	1.19	10.45	10.43	2.79	2.60
25	12	9.53	9.17	1.57	1.61	5.56	5.59	4.47	4.22	25	12	21.36	20.28	1.17	1.19	10.44	10.42	2.80	2.62
27	13	9.53	9.20	1.57	1.61	5.56	5.59	4.48	4.25	27	13	21.38	20.38	1.17	1.19	10.42	10.41	2.80	2.64
29	14	9.54	9.23	1.56	1.60	5.56	5.58	4.49	4.28	29	14	21.40	20.47	1.17	1.18	10.42	10.40	2.81	2.66
31	15	9.54	9.26	1.56	1.60	5.55	5.58	4.50	4.30	31	15	21.41	20.54	1.17	1.18	10.41	10.39	2.81	2.67
		F 720/450		PSI = .3		PHI = .176						F 720/450		PSI = .6		PHI = .428			
5	2	12.44	9.49	1.38	1.63	7.04	7.23	2.97	2.38	5	2	25.12	17.93	1.15	1.27	14.97	13.68	2.60	1.86
7	3	12.64	10.56	1.37	1.51	6.93	7.06	3.11	2.63	7	3	25.62	20.55	1.14	1.21	14.62	13.81	2.71	2.11
9	4	12.75	11.15	1.36	1.46	6.87	6.98	3.20	2.78	9	4	25.88	21.97	1.14	1.18	14.43	13.84	2.77	2.27
11	5	12.82	11.52	1.36	1.43	6.83	6.92	3.26	2.89	11	5	26.05	22.87	1.13	1.17	14.31	13.85	2.81	2.39
13	6	12.87	11.77	1.35	1.41	6.81	6.88	3.30	2.98	13	6	26.17	23.48	1.13	1.16	14.22	13.85	2.84	2.47
15	7	12.91	11.95	1.35	1.40	6.79	6.85	3.33	3.04	15	7	26.25	23.93	1.13	1.16	14.16	13.85	2.86	2.53
17	8	12.93	12.09	1.35	1.39	6.77	6.83	3.35	3.09	17	8	26.32	24.27	1.13	1.15	14.11	13.84	2.88	2.58
19	9	12.95	12.20	1.35	1.39	6.76	6.81	3.37	3.13	19	9	26.37	24.54	1.13	1.15	14.08	13.84	2.89	2.62
21	10	12.97	12.29	1.35	1.38	6.75	6.80	3.39	3.17	21	10	26.41	24.76	1.13	1.15	14.05	13.83	2.90	2.65
23	11	12.98	12.37	1.35	1.38	6.75	6.79	3.40	3.20	23	11	26.44	24.93	1.13	1.14	14.02	13.83	2.91	2.68
25	12	13.00	12.43	1.35	1.37	6.74	6.78	3.41	3.22	25	12	26.47	25.08	1.13	1.14	14.00	13.82	2.92	2.71
27	13	13.01	12.48	1.35	1.37	6.73	6.77	3.42	3.24	27	13	26.49	25.21	1.13	1.14	13.98	13.82	2.92	2.73
29	14	13.01	12.53	1.34	1.37	6.73	6.76	3.43	3.26	29	14	26.51	25.32	1.13	1.14	13.97	13.82	2.93	2.74
31	15	13.02	12.56	1.34	1.37	6.73	6.76	3.44	3.28	31	15	26.53	25.42	1.13	1.14	13.96	13.82	2.93	2.76
		F 720/450		PSI = .4		PHI = .25						F 720/450		PSI = .7		PHI = .538			
5	2	16.12	11.92	1.26	1.45	8.70	8.82	2.59	2.05	5	2	30.72	21.70	1.12	1.22	26.48	19.92	3.66	2.16
7	3	16.41	13.45	1.25	1.36	8.55	8.64	2.71	2.27	7	3	31.33	24.97	1.11	1.17	24.91	21.04	3.67	2.56
9	4	16.57	14.28	1.25	1.32	8.46	8.54	2.78	2.40	9	4	31.67	26.76	1.11	1.15	24.15	21.43	3.69	2.80
11	5	16.67	14.81	1.24	1.30	8.41	8.47	2.83	2.50	11	5	31.88	27.88	1.10	1.14	23.71	21.61	3.70	2.96
13	6	16.73	15.17	1.24	1.29	8.37	8.43	2.86	2.57	13	6	32.02	28.65	1.10	1.13	23.41	21.71	3.72	3.08
15	7	16.78	15.43	1.24	1.28	8.34	8.39	2.89	2.63	15	7	32.12	29.21	1.10	1.12	23.20	21.77	3.73	3.17
17	8	16.82	15.63	1.24	1.27	8.32	8.37	2.91	2.67	17	8	32.20	29.64	1.10	1.12	23.04	21.81	3.74	3.24
19	9	16.85	15.78	1.24	1.27	8.31	8.35	2.92	2.71	19	9	32.27	29.97	1.10	1.12	22.92	21.84	3.74	3.29
21	10	16.87	15.91	1.24	1.26	8.29	8.33	2.94	2.74	21	10	32.32	30.25	1.10	1.11	22.82	21.86	3.75	3.34
23	11	16.89	16.02	1.24	1.26	8.28	8.32	2.95	2.76	23	11	32.36	30.47	1.10	1.11	22.75	21.87	3.76	3.38
25	12	16.91	16.10	1.24	1.26	8.27	8.30	2.96	2.79	25	12	32.40	30.66	1.10	1.11	22.68	21.88	3.76	3.41
27	13	16.92	16.18	1.24	1.26	8.27	8.29	2.96	2.80	27	13	32.43	30.82	1.10	1.11	22.62	21.89	3.76	3.44
29	14	16.94	16.24	1.24	1.25	8.26	8.29	2.97	2.82	29	14	32.45	30.95	1.10	1.11	22.58	21.90	3.77	3.46
31	15	16.95	16.30	1.23	1.25	8.25	8.28	2.98	2.84	31	15	32.47	31.07	1.10	1.11	22.53	21.90	3.77	3.48

Tabelle 4.7: Elastizitätsmoduli der Typenlaminate F 720/450

für Kurz- und Langzeitbelastung

Variation des Glasgehaltes  $\gamma$  von 0,2 bis 0,7 in Schritten 0,1

$E_G = 73 \text{ KN/mm}^2$ ,  $E_H = 3,5 \text{ KN/mm}^2$

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B			EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		F 960/450		PSI = .2		PHI = .111						F 960/450		PSI = .5		PHI = .333			
5	2	9.49	7.65	1.57	1.90	5.58	5.73	4.39	3.40	5	2	21.24	15.65	1.17	1.30	10.51	10.39	2.75	2.05
7	3	9.61	8.32	1.56	1.75	5.52	5.62	4.65	3.81	7	3	21.61	17.71	1.17	1.24	10.29	10.24	2.89	2.31
9	4	9.67	8.69	1.55	1.68	5.48	5.57	4.81	4.09	9	4	21.81	18.81	1.16	1.21	10.17	10.14	2.98	2.48
11	5	9.71	8.91	1.54	1.64	5.46	5.53	4.92	4.28	11	5	21.94	19.50	1.16	1.20	10.10	10.08	3.03	2.60
13	6	9.74	9.07	1.54	1.62	5.45	5.50	5.00	4.43	13	6	22.02	19.97	1.16	1.19	10.05	10.03	3.07	2.69
15	7	9.76	9.18	1.54	1.61	5.44	5.48	5.06	4.54	15	7	22.08	20.31	1.16	1.18	10.01	10.00	3.10	2.76
17	8	9.78	9.26	1.53	1.59	5.43	5.47	5.10	4.64	17	8	22.13	20.57	1.16	1.18	9.98	9.97	3.13	2.82
19	9	9.79	9.33	1.53	1.58	5.42	5.46	5.14	4.71	19	9	22.17	20.78	1.16	1.18	9.96	9.95	3.15	2.86
21	10	9.80	9.39	1.53	1.58	5.42	5.45	5.16	4.77	21	10	22.20	20.94	1.16	1.17	9.94	9.94	3.16	2.90
23	11	9.81	9.43	1.53	1.57	5.41	5.44	5.19	4.83	23	11	22.22	21.08	1.16	1.17	9.93	9.92	3.17	2.93
25	12	9.81	9.47	1.53	1.57	5.41	5.44	5.21	4.87	25	12	22.24	21.19	1.16	1.17	9.92	9.91	3.18	2.96
27	13	9.82	9.50	1.53	1.56	5.40	5.43	5.23	4.91	27	13	22.26	21.29	1.16	1.17	9.91	9.90	3.19	2.98
29	14	9.82	9.53	1.53	1.56	5.40	5.43	5.24	4.94	29	14	22.28	21.37	1.15	1.17	9.90	9.89	3.20	3.00
31	15	9.83	9.55	1.53	1.56	5.40	5.42	5.26	4.97	31	15	22.29	21.44	1.15	1.17	9.89	9.89	3.21	3.02
		F 960/450		PSI = .3		PHI = .176						F 960/450		PSI = .6		PHI = .428			
5	2	12.93	9.99	1.35	1.56	6.77	6.97	3.35	2.60	5	2	26.32	19.13	1.13	1.23	14.11	13.16	2.88	2.02
7	3	13.13	11.07	1.34	1.46	6.67	6.81	3.54	2.90	7	3	26.79	21.77	1.12	1.18	13.77	13.18	3.01	2.31
9	4	13.23	11.65	1.33	1.42	6.61	6.72	3.66	3.11	9	4	27.05	23.19	1.12	1.16	13.58	13.16	3.09	2.50
11	5	13.30	12.02	1.33	1.40	6.58	6.66	3.73	3.25	11	5	27.21	24.07	1.12	1.15	13.46	13.13	3.15	2.64
13	6	13.34	12.26	1.33	1.38	6.55	6.63	3.79	3.36	13	6	27.31	24.68	1.12	1.14	13.38	13.12	3.18	2.74
15	7	13.38	12.44	1.32	1.37	6.53	6.60	3.83	3.44	15	7	27.39	25.12	1.12	1.14	13.32	13.10	3.21	2.81
17	8	13.40	12.58	1.32	1.36	6.52	6.58	3.86	3.51	17	8	27.45	25.45	1.12	1.14	13.28	13.09	3.24	2.87
19	9	13.42	12.69	1.32	1.36	6.51	6.56	3.88	3.56	19	9	27.50	25.71	1.12	1.13	13.25	13.07	3.25	2.92
21	10	13.44	12.78	1.32	1.35	6.50	6.55	3.90	3.61	21	10	27.54	25.92	1.12	1.13	13.22	13.06	3.27	2.97
23	11	13.45	12.85	1.32	1.35	6.49	6.54	3.92	3.65	23	11	27.57	26.10	1.12	1.13	13.19	13.06	3.28	3.00
25	12	13.46	12.91	1.32	1.35	6.49	6.53	3.94	3.68	25	12	27.60	26.24	1.11	1.13	13.17	13.05	3.29	3.03
27	13	13.47	12.96	1.32	1.34	6.48	6.52	3.95	3.71	27	13	27.62	26.37	1.11	1.13	13.16	13.04	3.30	3.06
29	14	13.48	13.00	1.32	1.34	6.48	6.51	3.96	3.74	29	14	27.64	26.47	1.11	1.12	13.14	13.04	3.31	3.08
31	15	13.48	13.04	1.32	1.34	6.47	6.51	3.97	3.76	31	15	27.66	26.57	1.11	1.12	13.13	13.03	3.31	3.10
		F 960/450		PSI = .4		PHI = .25						F 960/450		PSI = .7		PHI = .538			
5	2	16.82	12.63	1.24	1.40	8.32	8.47	2.91	2.23	5	2	32.20	23.19	1.10	1.19	23.04	18.70	3.74	2.29
7	3	17.10	14.17	1.23	1.32	8.17	8.28	3.06	2.49	7	3	32.80	26.50	1.10	1.15	21.95	19.34	3.82	2.70
9	4	17.25	15.00	1.23	1.29	8.09	8.18	3.16	2.67	9	4	33.11	28.27	1.09	1.13	21.41	19.56	3.88	2.96
11	5	17.34	15.52	1.22	1.27	8.04	8.11	3.22	2.79	11	5	33.31	29.38	1.09	1.12	21.09	19.65	3.92	3.14
13	6	17.41	15.87	1.22	1.26	8.00	8.06	3.26	2.89	13	6	33.45	30.14	1.09	1.11	20.87	19.70	3.95	3.27
15	7	17.45	16.13	1.22	1.25	7.97	8.03	3.30	2.96	15	7	33.55	30.69	1.09	1.11	20.71	19.73	3.98	3.37
17	8	17.49	16.32	1.22	1.25	7.95	8.00	3.32	3.01	17	8	33.62	31.11	1.09	1.10	20.60	19.74	3.99	3.45
19	9	17.52	16.47	1.22	1.24	7.94	7.98	3.34	3.06	19	9	33.68	31.44	1.09	1.10	20.51	19.76	4.01	3.52
21	10	17.54	16.60	1.22	1.24	7.93	7.97	3.36	3.10	21	10	33.73	31.70	1.09	1.10	20.43	19.76	4.02	3.57
23	11	17.56	16.70	1.22	1.24	7.92	7.95	3.37	3.13	23	11	33.77	31.92	1.09	1.10	20.37	19.77	4.03	3.62
25	12	17.57	16.78	1.22	1.24	7.91	7.94	3.39	3.16	25	12	33.80	32.10	1.09	1.10	20.32	19.77	4.04	3.65
27	13	17.59	16.86	1.22	1.23	7.90	7.93	3.40	3.19	27	13	33.83	32.26	1.09	1.10	20.28	19.77	4.05	3.69
29	14	17.60	16.92	1.22	1.23	7.89	7.92	3.40	3.21	29	14	33.85	32.39	1.09	1.10	20.25	19.78	4.05	3.72
31	15	17.61	16.97	1.22	1.23	7.89	7.92	3.41	3.23	31	15	33.87	32.51	1.09	1.09	20.21	19.78	4.06	3.74

Tabelle 4.8: Elastizitätsmoduli der Typenlaminare F 960/450

Für Kurz- und Langzeitbelastung

Variation des Glasgehaltes  $\psi$  von 0,2 bis 0,7 in Schritten 0,1

$E_G = 73 \text{ KN/mm}^2$ ,  $E_H = 3,5 \text{ KN/mm}^2$

Variation des Glasgehaltes  $\gamma$  von 0,2 bis 0,7 in Schritten 0,1  
 $E_G = 73 \text{ KN/mm}^2$ ,  $E_H = 3,5 \text{ KN/mm}^2$

Tabelle 4.9: Elastizitätsmoduli der Typenlaminare F 600/500/600/450 für Kurz- und Langzeitbelastung

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B			EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		F 600/500/600/450		PSI = .2		PHI = .111						F 600/500/600/450		PSI = .5		PHI = .333			
9	2	8.64	7.54	1.74	1.97	6.68	6.30	2.59	2.72	9	2	18.98	15.50	1.27	1.35	13.45	12.02	1.74	1.73
13	3	8.70	7.93	1.73	1.87	6.68	6.41	2.60	2.69	13	3	19.14	16.75	1.27	1.32	13.41	12.43	1.74	1.74
17	4	8.72	8.14	1.72	1.82	6.67	6.47	2.61	2.67	17	4	19.23	17.41	1.26	1.30	13.38	12.65	1.74	1.74
21	5	8.74	8.27	1.72	1.80	6.67	6.51	2.61	2.67	21	5	19.28	17.81	1.26	1.29	13.37	12.77	1.75	1.74
25	6	8.75	8.36	1.72	1.78	6.67	6.53	2.61	2.66	25	6	19.32	18.08	1.26	1.28	13.36	12.86	1.75	1.75
29	7	8.76	8.42	1.71	1.77	6.67	6.55	2.62	2.66	29	7	19.34	18.28	1.26	1.28	13.35	12.93	1.75	1.75
33	8	8.77	8.47	1.71	1.76	6.66	6.56	2.62	2.65	33	8	19.36	18.43	1.26	1.28	13.35	12.97	1.75	1.75
37	9	8.77	8.51	1.71	1.75	6.66	6.57	2.62	2.65	37	9	19.38	18.54	1.26	1.27	13.34	13.01	1.75	1.75
41	10	8.78	8.54	1.71	1.75	6.66	6.58	2.62	2.65	41	10	19.39	18.64	1.26	1.27	13.34	13.04	1.75	1.75
45	11	8.78	8.56	1.71	1.75	6.66	6.59	2.62	2.65	45	11	19.40	18.72	1.26	1.27	13.34	13.06	1.75	1.75
49	12	8.78	8.58	1.71	1.74	6.66	6.59	2.62	2.64	49	12	19.41	18.78	1.26	1.27	13.34	13.08	1.75	1.75
53	13	8.79	8.60	1.71	1.74	6.66	6.60	2.62	2.64	53	13	19.41	18.83	1.26	1.27	13.33	13.10	1.75	1.75
57	14	8.79	8.62	1.71	1.74	6.66	6.60	2.62	2.64	57	14	19.42	18.88	1.26	1.27	13.33	13.12	1.75	1.75
61	15	8.79	8.63	1.71	1.73	6.66	6.61	2.62	2.64	61	15	19.42	18.92	1.26	1.27	13.33	13.13	1.75	1.75
		F 600/500/600/450		PSI = .3		PHI = .176						F 600/500/600/450		PSI = .6		PHI = .428			
9	2	11.61	9.83	1.47	1.62	8.50	7.87	2.07	2.14	9	2	23.79	19.17	1.24	1.30	17.21	15.03	1.73	1.68
13	3	11.70	10.47	1.46	1.55	8.49	8.06	2.08	2.13	13	3	23.98	20.81	1.23	1.27	17.12	15.65	1.73	1.70
17	4	11.74	10.81	1.46	1.52	8.48	8.15	2.09	2.12	17	4	24.08	21.67	1.23	1.26	17.08	15.96	1.73	1.71
21	5	11.77	11.02	1.46	1.51	8.48	8.21	2.09	2.12	21	5	24.14	22.20	1.23	1.25	17.05	16.15	1.73	1.72
25	6	11.79	11.16	1.45	1.50	8.47	8.25	2.09	2.11	25	6	24.19	22.55	1.23	1.25	17.03	16.28	1.73	1.72
29	7	11.80	11.26	1.45	1.49	8.47	8.28	2.09	2.11	29	7	24.22	22.81	1.23	1.24	17.01	16.37	1.73	1.72
33	8	11.81	11.33	1.45	1.48	8.47	8.30	2.09	2.11	33	8	24.24	23.01	1.23	1.24	17.00	16.44	1.73	1.72
37	9	11.82	11.39	1.45	1.48	8.47	8.32	2.10	2.11	37	9	24.26	23.16	1.23	1.24	16.99	16.49	1.73	1.72
41	10	11.83	11.44	1.45	1.48	8.47	8.33	2.10	2.11	41	10	24.27	23.28	1.23	1.24	16.99	16.54	1.73	1.72
45	11	11.83	11.48	1.45	1.47	8.46	8.34	2.10	2.11	45	11	24.28	23.38	1.23	1.24	16.98	16.57	1.73	1.73
49	12	11.84	11.52	1.45	1.47	8.46	8.35	2.10	2.11	49	12	24.29	23.47	1.23	1.23	16.98	16.60	1.73	1.73
53	13	11.84	11.54	1.45	1.47	8.46	8.36	2.10	2.11	53	13	24.30	23.54	1.23	1.23	16.97	16.62	1.73	1.73
57	14	11.84	11.57	1.45	1.47	8.46	8.37	2.10	2.11	57	14	24.31	23.60	1.23	1.23	16.97	16.65	1.73	1.73
61	15	11.85	11.59	1.45	1.47	8.46	8.37	2.10	2.11	61	15	24.32	23.65	1.23	1.23	16.97	16.66	1.73	1.73
		F 600/500/600/450		PSI = .4		PHI = .25						F 600/500/600/450		PSI = .7		PHI = .538			
9	2	15.01	12.45	1.34	1.45	10.70	9.73	1.84	1.87	9	2	30.15	23.93	1.25	1.29	23.50	19.74	1.88	1.76
13	3	15.13	13.37	1.34	1.40	10.67	10.01	1.85	1.87	13	3	30.31	26.07	1.24	1.27	23.19	20.71	1.86	1.79
17	4	15.20	13.86	1.33	1.38	10.66	10.16	1.85	1.87	17	4	30.40	27.18	1.24	1.26	23.03	21.18	1.86	1.81
21	5	15.24	14.15	1.33	1.37	10.65	10.25	1.85	1.87	21	5	30.45	27.86	1.23	1.25	22.94	21.46	1.85	1.81
25	6	15.27	14.36	1.33	1.36	10.64	10.31	1.86	1.87	25	6	30.49	28.32	1.23	1.25	22.88	21.65	1.85	1.82
29	7	15.28	14.50	1.33	1.35	10.64	10.35	1.86	1.86	29	7	30.51	28.65	1.23	1.24	22.83	21.78	1.85	1.82
33	8	15.30	14.61	1.33	1.35	10.64	10.38	1.86	1.86	33	8	30.53	28.90	1.23	1.24	22.80	21.88	1.85	1.82
37	9	15.31	14.70	1.33	1.35	10.63	10.41	1.86	1.86	37	9	30.55	29.09	1.23	1.24	22.77	21.95	1.85	1.83
41	10	15.32	14.77	1.33	1.34	10.63	10.43	1.86	1.86	41	10	30.56	29.25	1.23	1.24	22.75	22.02	1.85	1.83
45	11	15.33	14.82	1.33	1.34	10.63	10.44	1.86	1.86	45	11	30.57	29.38	1.23	1.24	22.73	22.07	1.85	1.83
49	12	15.33	14.87	1.33	1.34	10.63	10.46	1.86	1.86	49	12	30.58	29.49	1.23	1.23	22.72	22.11	1.85	1.83
53	13	15.34	14.91	1.33	1.34	10.63	10.47	1.86	1.86	53	13	30.59	29.58	1.23	1.23	22.71	22.14	1.84	1.83
57	14	15.34	14.95	1.33	1.34	10.63	10.48	1.86	1.86	57	14	30.60	29.65	1.23	1.23	22.70	22.17	1.84	1.83
61	15	15.35	14.98	1.33	1.34	10.63	10.49	1.86	1.86	61	15	30.60	29.72	1.23	1.23	22.69	22.20	1.84	1.83

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B			EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		KN/MM2		PSI		KN/MM2		PHI				KN/MM2		PSI		KN/MM2		PHI	
		MW580/450		PSI = .2		PHI = .111						MW580/450		PSI = .5		PHI = .333			
5	2	7.40	6.77	2.09	2.30	7.40	6.77	2.09	2.30	5	2	15.29	13.18	1.44	1.50	15.29	13.18	1.44	1.50
7	3	7.43	6.98	2.09	2.22	7.43	6.98	2.09	2.22	7	3	15.38	13.90	1.44	1.48	15.38	13.90	1.44	1.48
9	4	7.44	7.10	2.08	2.18	7.44	7.10	2.08	2.18	9	4	15.43	14.29	1.44	1.47	15.43	14.29	1.44	1.47
11	5	7.45	7.17	2.08	2.16	7.45	7.17	2.08	2.16	11	5	15.47	14.53	1.44	1.46	15.47	14.53	1.44	1.46
13	6	7.46	7.23	2.08	2.15	7.46	7.23	2.08	2.15	13	6	15.49	14.70	1.44	1.45	15.49	14.70	1.44	1.45
15	7	7.47	7.26	2.08	2.13	7.47	7.26	2.08	2.13	15	7	15.51	14.82	1.44	1.45	15.51	14.82	1.44	1.45
17	8	7.47	7.29	2.07	2.13	7.47	7.29	2.07	2.13	17	8	15.52	14.92	1.44	1.45	15.52	14.92	1.44	1.45
19	9	7.47	7.31	2.07	2.12	7.47	7.31	2.07	2.12	19	9	15.53	14.99	1.44	1.45	15.53	14.99	1.44	1.45
21	10	7.48	7.33	2.07	2.11	7.48	7.33	2.07	2.11	21	10	15.54	15.05	1.44	1.45	15.54	15.05	1.44	1.45
23	11	7.48	7.35	2.07	2.11	7.48	7.35	2.07	2.11	23	11	15.54	15.10	1.44	1.45	15.54	15.10	1.44	1.45
25	12	7.48	7.36	2.07	2.11	7.48	7.36	2.07	2.11	25	12	15.55	15.14	1.44	1.44	15.55	15.14	1.44	1.44
27	13	7.48	7.37	2.07	2.10	7.48	7.37	2.07	2.10	27	13	15.55	15.18	1.44	1.44	15.55	15.18	1.44	1.44
29	14	7.48	7.38	2.07	2.10	7.48	7.38	2.07	2.10	29	14	15.56	15.21	1.44	1.44	15.56	15.21	1.44	1.44
31	15	7.48	7.39	2.07	2.10	7.48	7.39	2.07	2.10	31	15	15.56	15.23	1.43	1.44	15.56	15.23	1.43	1.44
		MW580/450		PSI = .3		PHI = .176						MW580/450		PSI = .6		PHI = .428			
5	2	9.62	8.60	1.72	1.84	9.62	8.60	1.72	1.84	5	2	19.15	16.19	1.41	1.43	19.15	16.19	1.41	1.43
7	3	9.67	8.95	1.71	1.79	9.67	8.95	1.71	1.79	7	3	19.27	17.19	1.40	1.42	19.27	17.19	1.40	1.42
9	4	9.70	9.14	1.71	1.77	9.70	9.14	1.71	1.77	9	4	19.34	17.73	1.40	1.41	19.34	17.73	1.40	1.41
11	5	9.71	9.26	1.71	1.76	9.71	9.26	1.71	1.76	11	5	19.38	18.08	1.40	1.41	19.38	18.08	1.40	1.41
13	6	9.72	9.34	1.70	1.75	9.72	9.34	1.70	1.75	13	6	19.41	18.31	1.40	1.41	19.41	18.31	1.40	1.41
15	7	9.73	9.40	1.70	1.74	9.73	9.40	1.70	1.74	15	7	19.43	18.48	1.40	1.41	19.43	18.48	1.40	1.41
17	8	9.74	9.45	1.70	1.73	9.74	9.45	1.70	1.73	17	8	19.45	18.61	1.40	1.41	19.45	18.61	1.40	1.41
19	9	9.74	9.48	1.70	1.73	9.74	9.48	1.70	1.73	19	9	19.46	18.71	1.40	1.41	19.46	18.71	1.40	1.41
21	10	9.75	9.51	1.70	1.73	9.75	9.51	1.70	1.73	21	10	19.47	18.79	1.40	1.40	19.47	18.79	1.40	1.40
23	11	9.75	9.54	1.70	1.72	9.75	9.54	1.70	1.72	23	11	19.48	18.86	1.40	1.40	19.48	18.86	1.40	1.40
25	12	9.75	9.56	1.70	1.72	9.75	9.56	1.70	1.72	25	12	19.48	18.92	1.40	1.40	19.48	18.92	1.40	1.40
27	13	9.76	9.57	1.70	1.72	9.76	9.57	1.70	1.72	27	13	19.49	18.97	1.40	1.40	19.49	18.97	1.40	1.40
29	14	9.76	9.59	1.70	1.72	9.76	9.59	1.70	1.72	29	14	19.50	19.01	1.40	1.40	19.50	19.01	1.40	1.40
31	15	9.76	9.60	1.70	1.72	9.76	9.60	1.70	1.72	31	15	19.50	19.04	1.40	1.40	19.50	19.04	1.40	1.40
		MW580/450		PSI = .4		PHI = .25						MW580/450		PSI = .7		PHI = .538			
5	2	12.20	10.71	1.54	1.62	12.20	10.71	1.54	1.62	5	2	24.69	20.18	1.44	1.42	24.69	20.18	1.44	1.42
7	3	12.28	11.22	1.53	1.59	12.28	11.22	1.53	1.59	7	3	24.81	21.68	1.44	1.42	24.81	21.68	1.44	1.42
9	4	12.31	11.49	1.53	1.57	12.31	11.49	1.53	1.57	9	4	24.87	22.47	1.44	1.43	24.87	22.47	1.44	1.43
11	5	12.34	11.67	1.53	1.56	12.34	11.67	1.53	1.56	11	5	24.91	22.97	1.43	1.43	24.91	22.97	1.43	1.43
13	6	12.35	11.79	1.53	1.56	12.35	11.79	1.53	1.56	13	6	24.94	23.30	1.43	1.43	24.94	23.30	1.43	1.43
15	7	12.37	11.88	1.53	1.55	12.37	11.88	1.53	1.55	15	7	24.96	23.55	1.43	1.43	24.96	23.55	1.43	1.43
17	8	12.38	11.95	1.53	1.55	12.38	11.95	1.53	1.55	17	8	24.98	23.73	1.43	1.43	24.98	23.73	1.43	1.43
19	9	12.38	12.00	1.53	1.55	12.38	12.00	1.53	1.55	19	9	24.99	23.88	1.43	1.43	24.99	23.88	1.43	1.43
21	10	12.39	12.04	1.53	1.54	12.39	12.04	1.53	1.54	21	10	25.00	24.00	1.43	1.43	25.00	24.00	1.43	1.43
23	11	12.39	12.08	1.53	1.54	12.39	12.08	1.53	1.54	23	11	25.01	24.09	1.43	1.43	25.01	24.09	1.43	1.43
25	12	12.40	12.11	1.53	1.54	12.40	12.11	1.53	1.54	25	12	25.01	24.17	1.43	1.43	25.01	24.17	1.43	1.43
27	13	12.40	12.13	1.53	1.54	12.40	12.13	1.53	1.54	27	13	25.02	24.24	1.43	1.43	25.02	24.24	1.43	1.43
29	14	12.40	12.15	1.53	1.54	12.40	12.15	1.53	1.54	29	14	25.02	24.30	1.43	1.43	25.02	24.30	1.43	1.43
31	15	12.41	12.17	1.53	1.54	12.41	12.17	1.53	1.54	31	15	25.03	24.35	1.43	1.43	25.03	24.35	1.43	1.43

Tabelle 4.10: Elastizitätsmoduli der Typenlamine MW 580/450

für Kurz- und Langzeitbelastung

Variation des Glasgehaltes von 0,2 bis 0,7 in Schritten 0,1

$E_G = 73 \text{ KN/mm}^2$ ,  $E_H = 3,5 \text{ KN/mm}^2$

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B			EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		KN/MM2		PSI = .5		PHI = .333						KN/MM2		PSI = .6		PHI = .428			
		MW900/450										MW900/450				PHI = .538			
5	2	15.64	13.57	1.43	1.49	15.64	13.57	1.43	1.49	5	2	19.60	16.72	1.40	1.42	19.60	16.72	1.40	1.42
7	3	15.73	14.28	1.43	1.46	15.73	14.28	1.43	1.46	7	3	19.71	17.71	1.39	1.41	19.71	17.71	1.39	1.41
9	4	15.78	14.67	1.43	1.45	15.78	14.67	1.43	1.45	9	4	19.77	18.24	1.39	1.41	19.77	18.24	1.39	1.41
11	5	15.81	14.90	1.43	1.45	15.81	14.90	1.43	1.45	11	5	19.80	18.56	1.39	1.40	19.80	18.56	1.39	1.40
13	6	15.83	15.07	1.43	1.44	15.83	15.07	1.43	1.44	13	6	19.83	18.79	1.39	1.40	19.83	18.79	1.39	1.40
15	7	15.84	15.19	1.43	1.44	15.84	15.19	1.43	1.44	15	7	19.85	18.95	1.39	1.40	19.85	18.95	1.39	1.40
17	8	15.85	15.28	1.43	1.44	15.85	15.28	1.43	1.44	17	8	19.86	19.07	1.39	1.40	19.86	19.07	1.39	1.40
19	9	15.86	15.35	1.43	1.44	15.86	15.35	1.43	1.44	19	9	19.87	19.17	1.39	1.40	19.87	19.17	1.39	1.40
21	10	15.87	15.40	1.43	1.44	15.87	15.40	1.43	1.44	21	10	19.88	19.24	1.39	1.40	19.88	19.24	1.39	1.40
23	11	15.87	15.45	1.43	1.43	15.87	15.45	1.43	1.43	23	11	19.89	19.31	1.39	1.39	19.89	19.31	1.39	1.39
25	12	15.88	15.49	1.43	1.43	15.88	15.49	1.43	1.43	25	12	19.89	19.36	1.39	1.39	19.89	19.36	1.39	1.39
27	13	15.88	15.52	1.43	1.43	15.88	15.52	1.43	1.43	27	13	19.90	19.41	1.39	1.39	19.90	19.41	1.39	1.39
29	14	15.89	15.55	1.43	1.43	15.89	15.55	1.43	1.43	29	14	19.90	19.44	1.39	1.39	19.90	19.44	1.39	1.39
31	15	15.89	15.58	1.42	1.43	15.89	15.58	1.42	1.43	31	15	19.91	19.48	1.39	1.39	19.91	19.48	1.39	1.39

N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0		N	P	LAENGS		EH=0		QUER		EH=0	
		EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B			EZ	EB	A1Z	A1B	EZ	EB	A1Z	A1B
		KN/MM2		PSI = .2		PHI = .111						KN/MM2		PSI = .3		PHI = .176			
		MW900/450										MW900/450				PHI = .25			
5	2	7.51	6.88	2.06	2.26	7.51	6.88	2.06	2.26	5	2	12.46	10.98	1.52	1.60	12.46	10.98	1.52	1.60
7	3	7.54	7.10	2.06	2.18	7.54	7.10	2.06	2.18	7	3	12.53	11.49	1.52	1.57	12.53	11.49	1.52	1.57
9	4	7.55	7.22	2.05	2.15	7.55	7.22	2.05	2.15	9	4	12.57	11.77	1.52	1.56	12.57	11.77	1.52	1.56
11	5	7.56	7.29	2.05	2.13	7.56	7.29	2.05	2.13	11	5	12.59	11.94	1.52	1.55	12.59	11.94	1.52	1.55
13	6	7.57	7.34	2.05	2.11	7.57	7.34	2.05	2.11	13	6	12.61	12.06	1.52	1.54	12.61	12.06	1.52	1.54
15	7	7.58	7.38	2.05	2.10	7.58	7.38	2.05	2.10	15	7	12.62	12.15	1.51	1.54	12.62	12.15	1.51	1.54
17	8	7.58	7.40	2.05	2.09	7.58	7.40	2.05	2.09	17	8	12.62	12.21	1.51	1.53	12.62	12.21	1.51	1.53
19	9	7.58	7.43	2.04	2.09	7.58	7.43	2.04	2.09	19	9	12.63	12.26	1.51	1.53	12.63	12.26	1.51	1.53
21	10	7.58	7.44	2.04	2.08	7.58	7.44	2.04	2.08	21	10	12.64	12.30	1.51	1.53	12.64	12.30	1.51	1.53
23	11	7.59	7.46	2.04	2.08	7.59	7.46	2.04	2.08	23	11	12.64	12.34	1.51	1.53	12.64	12.34	1.51	1.53
25	12	7.59	7.47	2.04	2.07	7.59	7.47	2.04	2.07	25	12	12.64	12.37	1.51	1.53	12.64	12.37	1.51	1.53
27	13	7.59	7.48	2.04	2.07	7.59	7.48	2.04	2.07	27	13	12.65	12.39	1.51	1.52	12.65	12.39	1.51	1.52
29	14	7.59	7.49	2.04	2.07	7.59	7.49	2.04	2.07	29	14	12.65	12.41	1.51	1.52	12.65	12.41	1.51	1.52
31	15	7.59	7.50	2.04	2.07	7.59	7.50	2.04	2.07	31	15	12.65	12.43	1.51	1.52	12.65	12.43	1.51	1.52

Tabelle 4.11: Elastizitätsmoduli der Typenlamine MW 900/450

für Kurz- und Langzeitbelastung

Variation des Glasgehaltes : von 0,2 bis 0,7 in Schritten 0,1

$E_G = 73 \text{ KN/mm}^2$ ,  $E_H = 3,5 \text{ KN/mm}^2$

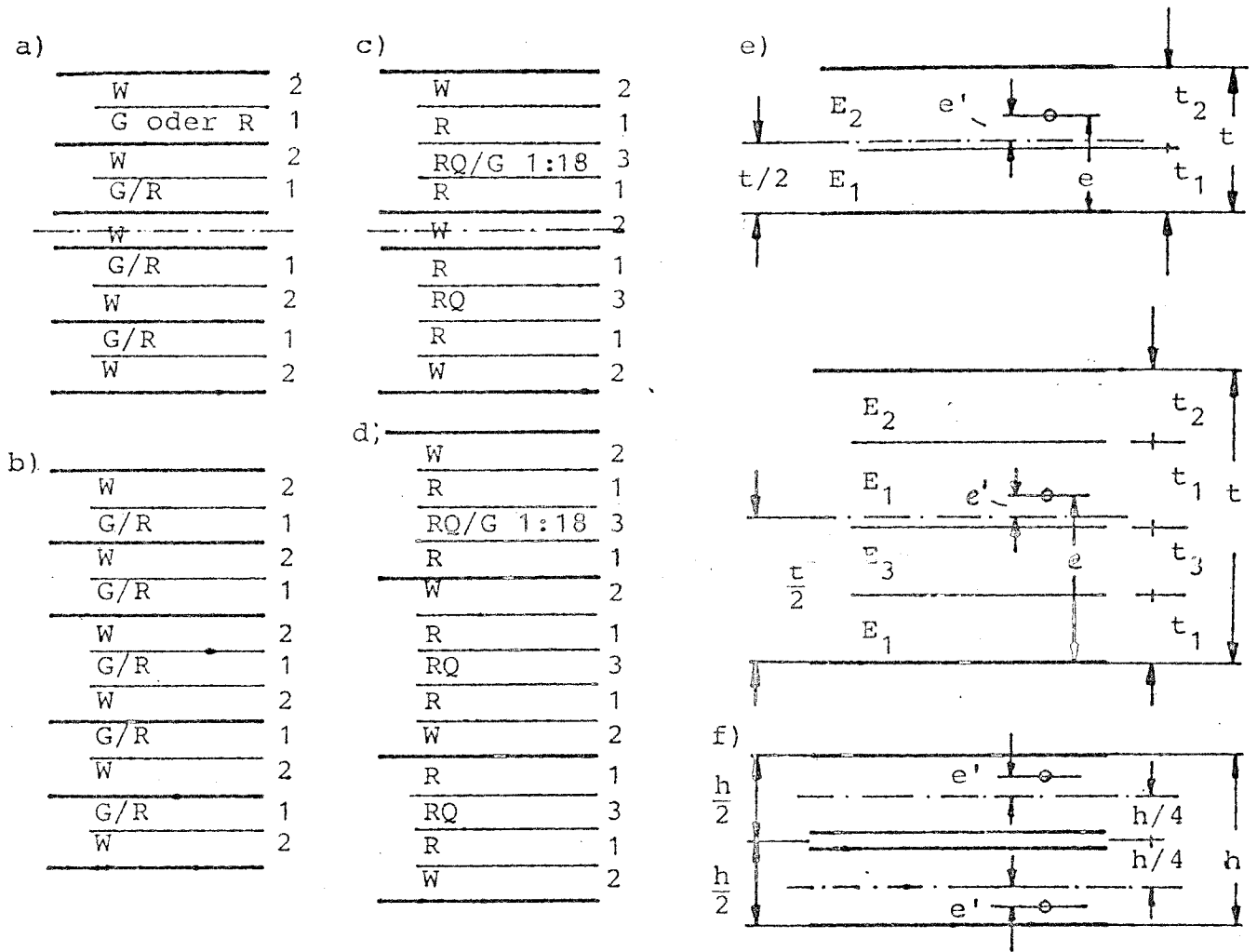


Bild 1: Aufbau der Laminat

- a) Doppelschichtlaminat A (n = 5,9,13)
- b) Doppelschichtlaminat B (n = 3,7,11)
- c) Vierschichtlaminat (n = 9,17,25)
- d) Vierschichtlaminat (n = 13,21,29)
- e) Doppel- und Vierfachschichten mit Lage des elastischen Schwerpunkts  $e'$
- f) zur Kontinuumsrechnung

Erläuterung:

- W Wirrfaserschichten
- G Gewebeschichten (1:1)
- R längsbeanspruchte UD-Schichten
- RQ querbeanspruchte UD-Schichten oder Gewebe (1:18)

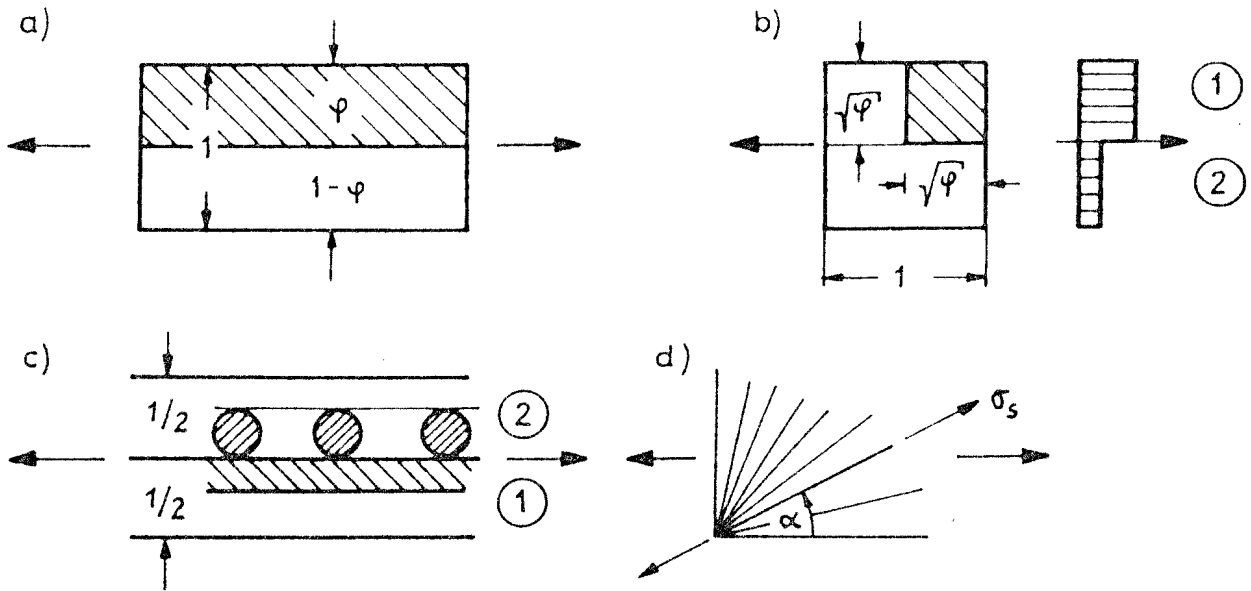


Bild 2: Modelle für die Schichten

- a) faserparallel, b) senkrecht beanspruchte UD-Schicht
- c) Gewebeschicht, d) Wirrfaserschicht

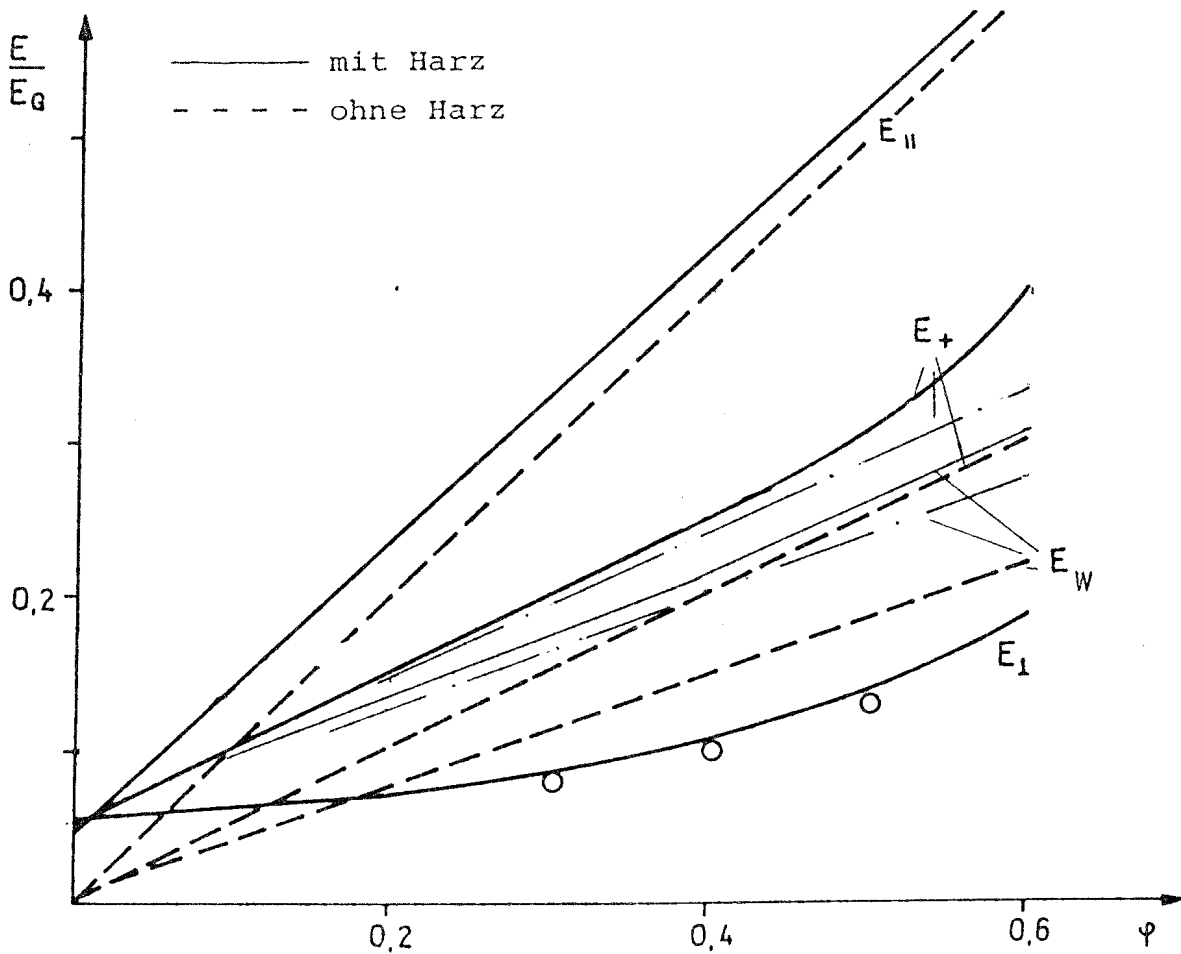


Bild 3: Elastizitätsmodul der verschiedenen Schichten in Abhängigkeit vom Glasgehalt  $\varphi$

- mit Harz trägt voll
- - - ohne Harz fällt aus, - - - Gl. (2.4a), 2.6a)
- o Versuchsergebnisse

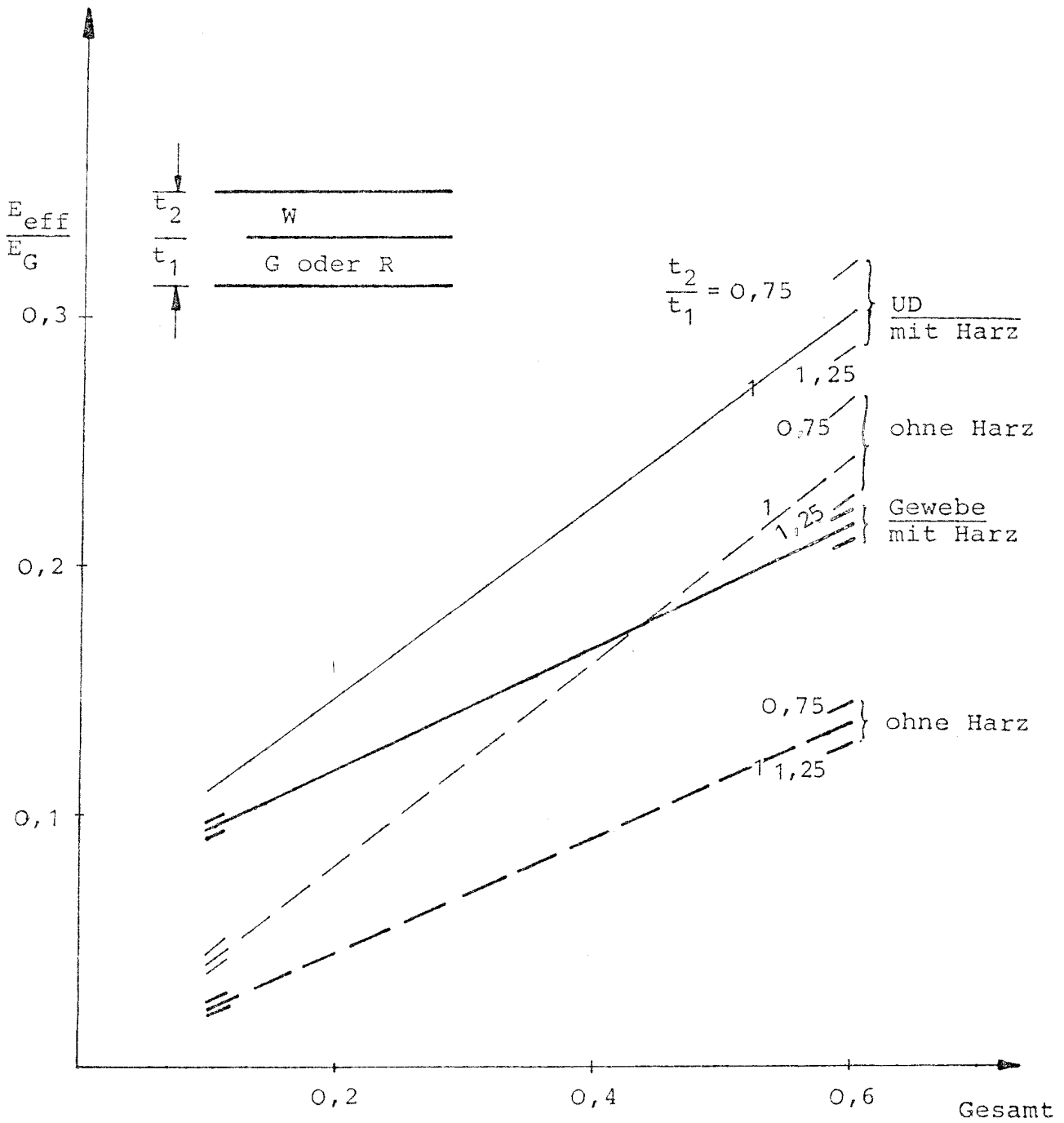


Bild 4: Effektiver Elastizitätsmodul  $\bar{E}$  der Doppelschichten aus Wirrfaser- und Gewebe- oder UD-Schichten in Abhängigkeit vom Glasgehalt

$t_2/t_1 = 1$  :  Harz trägt voll  
 fällt aus, -.- in den querbeanspruchten Schichten  
 $t_2/t_1 = 0,75, 1,25$  :



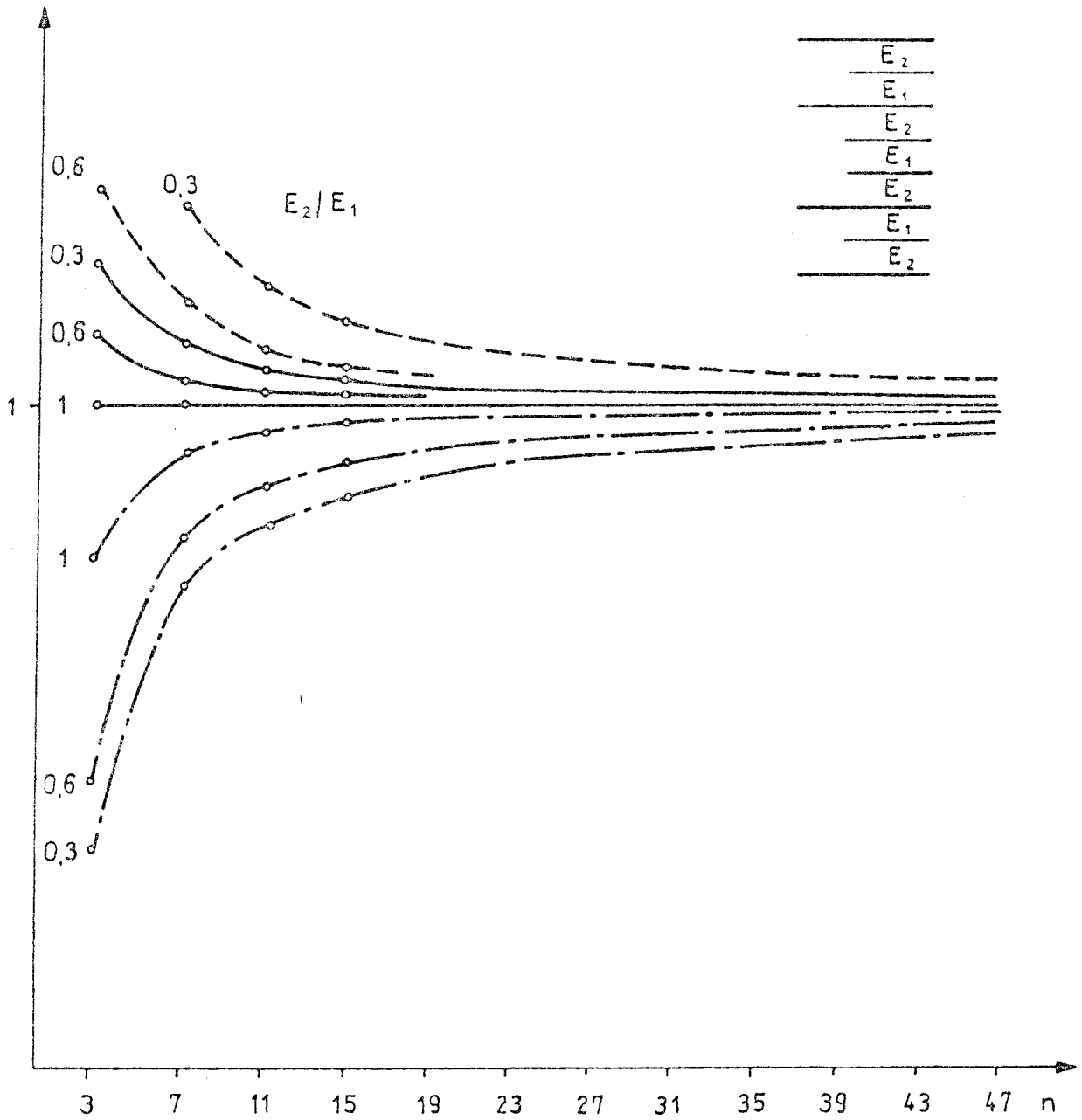


Bild 5: Einfluß der Schichtenzahl  $n$  auf die Genauigkeit der "homogenen" Rechnung

a) Typenlaminat A nach Bild 1a

—  $\bar{D}/D$ , ---  $\bar{B}/B$ , -.-  $\bar{W}/W_1$

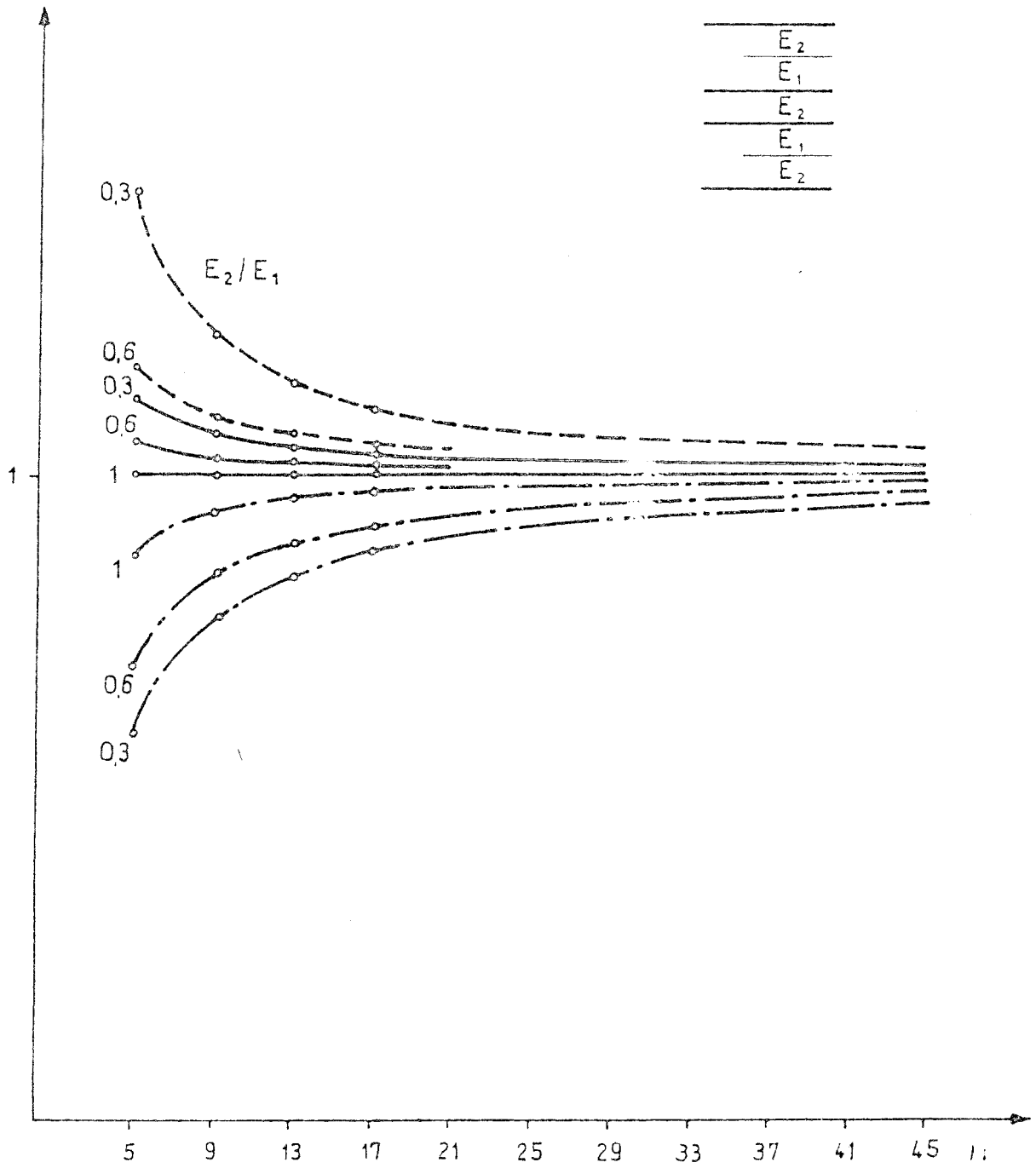


Bild 5b: Typenlaminat B. nach Bild 1b

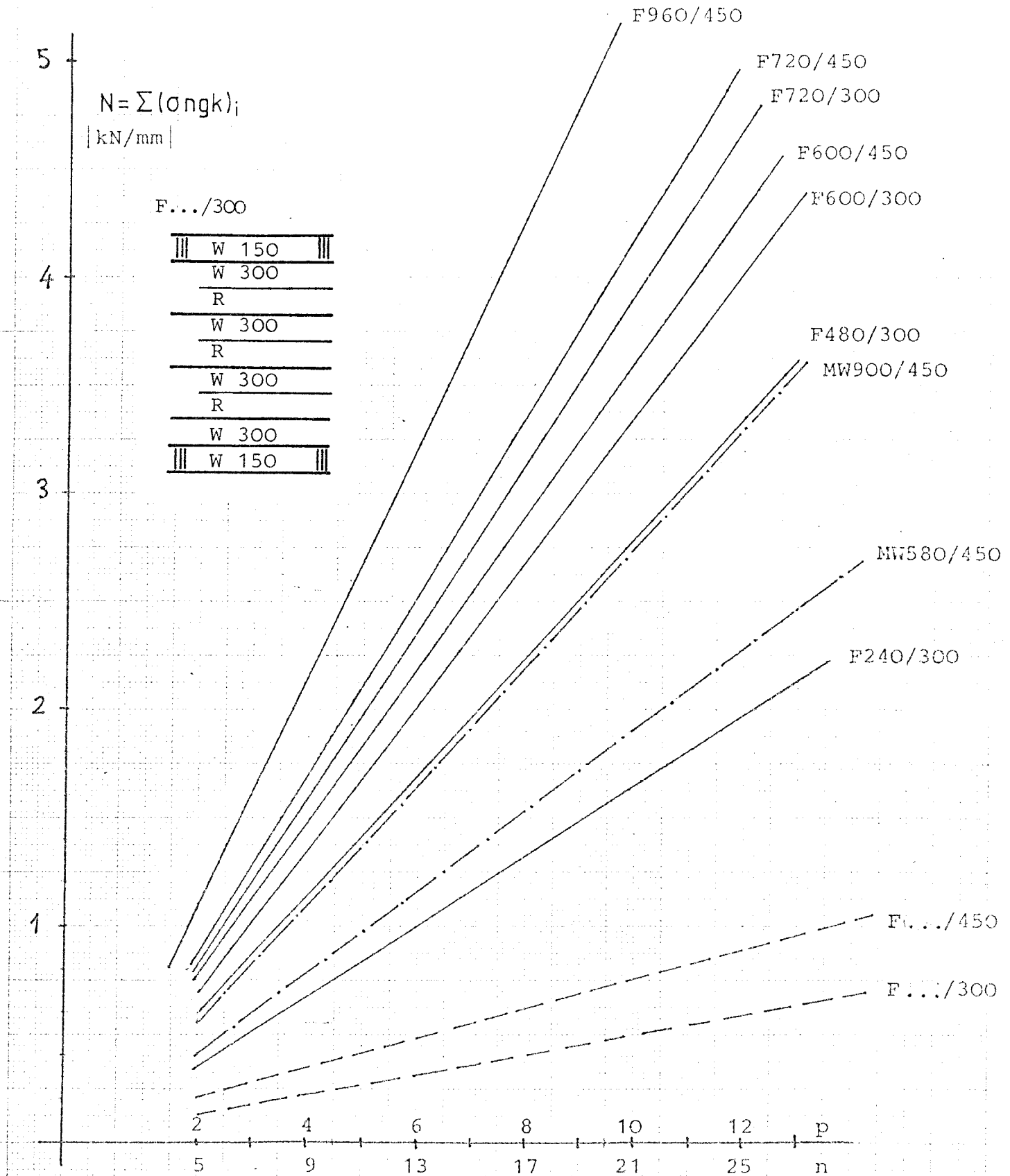


Bild 6: Maximale Schnittkräfte (Netztheorie) für Zweischichtlaminare in Abhängigkeit von der Anzahl n der Schichten oder p der Schichtfolgen

F-Laminare: ——— längs, --- quer; MW-Laminare -.-  
(Außenschicht bei F.../300: — W 300, oo W 450)

a) Maximale Normalkräfte

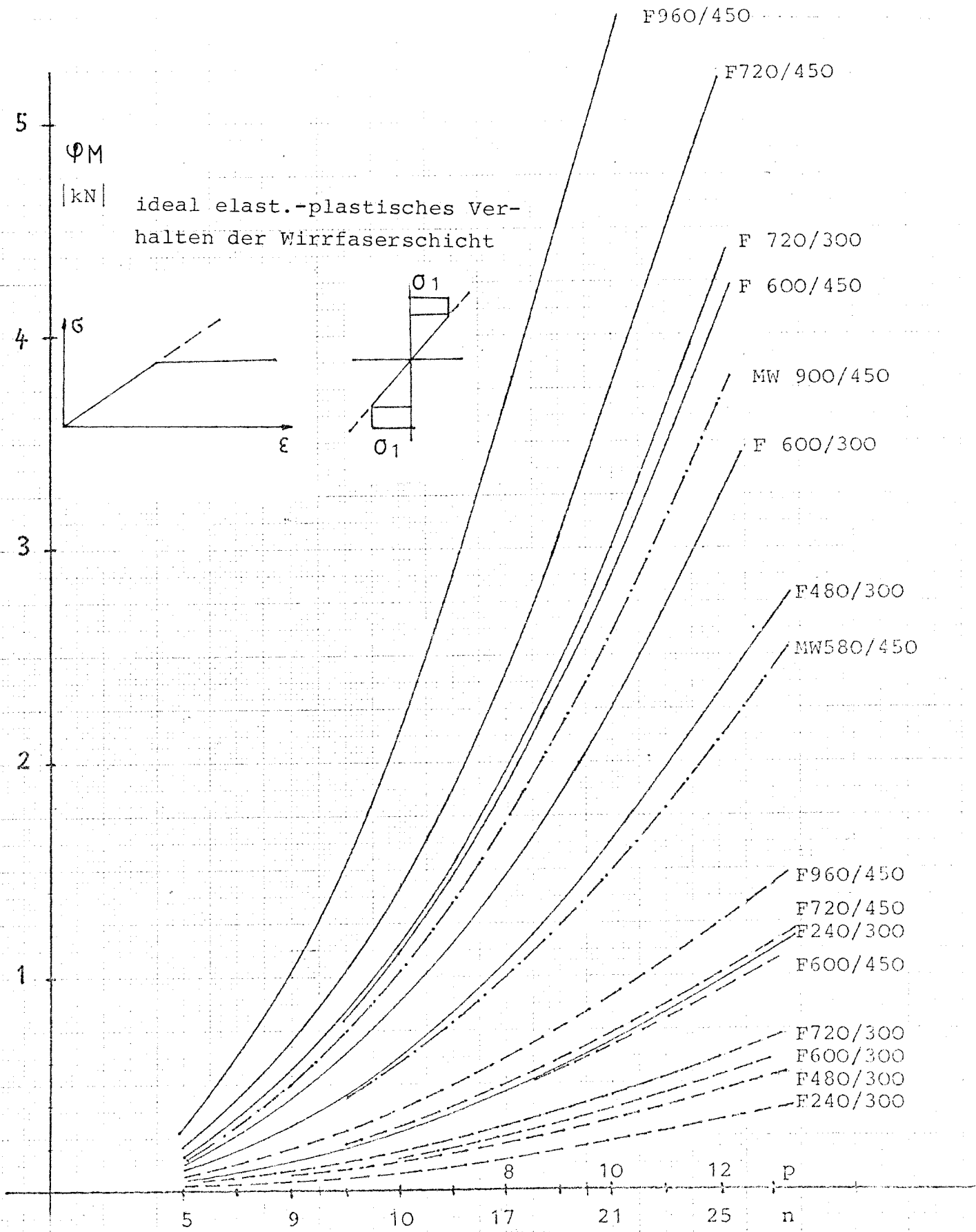


Bild 6b: Maximale Biegemomente