

# **Standardisierung und Typisierung von Anschlüssen und Verbindungen zur Rationalisierung der Planung und Fertigung im Holz-Wohnhausbau**

## **Teil A**

von

H.J. Blaß und I. Bejtka

Die Arbeiten wurden gefördert durch die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Aktenzeichen: BS 34 - 5 80 01 98 - 18).

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine  
Abteilung Ingenieurholzbau  
Universität Fridericiana Karlsruhe  
Univ.-Professor Dr.-Ing. Hans Joachim Blaß  
2002

## Vorwort

Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Standardisierung bzw. Typisierung von Anschlüssen und Verbindungen zur Rationalisierung der Planung und Fertigung im Holz-Wohnhausbau.

Das Forschungsvorhaben ist in zwei Abschnitte gegliedert, die getrennt bearbeitet wurden. Teil A des Forschungsvorhabens wurde von der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau, Universität Fridericiana Karlsruhe und der Teil B vom Ingenieurbüro Nebgen und Müller unter der Leitung von Prof. Dipl.-Ing. Nikolaus Nebgen bearbeitet.

Ein Schritt in Richtung Rationalisierung und Kostensenkung des Bauens im Holz-Wohnhausbau wird durch die Optimierung bereits vorhandener sowie die Entwicklung neuer, wirtschaftlicherer Anschlüsse und Verbindungen ermöglicht.

Die Ergebnisse des Teils A dieses Forschungsvorhabens zeigen Möglichkeiten der Rationalisierung und Kostensenkung für Anschlüsse und Verbindungen im Holz-Wohnhausbau durch die Entwicklung neuer Anschlüsse auf.

Das Forschungsvorhaben entstand im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Aktenzeichen: BS 34 – 5 80 01 98 – 18).

Die Planung der Untersuchungen, die Durchführung der Versuche und deren Auswertung sowie die Entwicklung eines Bemessungsvorschlages erfolgte durch Herrn Dipl.-Ing. I. Bejtka. Für die Herstellung der Versuchskörper sowie der Versuchsvorrichtung und für die Messungen im Labor waren die Herren A. Klein, M. Huber, H. Lafferthon und G. Kranz verantwortlich. Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse haben die wissenschaftlichen Hilfskräfte des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen tatkräftig mitgewirkt.

Allen Beteiligten ist für die Mitarbeit zu danken.

Hans Joachim Blaß

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ziel des Vorhabens.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagenversuche.....</b>	<b>3</b>
2.1	Allgemeines.....	3
2.2	Verbindungen mit schräg eingedrehten Schrauben.....	4
2.3	Ergebnisse der Zugscherversuche.....	7
2.4	Ergebnisse der Ausziehversuche mit unterschiedlichen Einschraubwinkeln.....	10
2.5	Bestimmung der Fließmomente der verwendeten Schrauben.....	13
2.6	Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit des Nadelholzes.....	14
2.7	Bemessungsvorschlag.....	17
2.8	Zusammenfassung.....	19
<b>3</b>	<b>Anschlüsse zwischen Deckenbalken und Längsträger.....</b>	<b>20</b>
3.1	Allgemeines.....	20
3.2	Versuchsprogramm.....	21
3.3	Deckenbalkenanschlüsse mit eingespannt gelagerten Längsträgern...27	
3.3.1	Versuchsergebnisse.....	27
3.3.2	Beschreibung der Versagensarten.....	35
3.4	Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkig gelagerten Längsträgern.....	37
3.4.1	Versuchsergebnisse.....	37
3.4.2	Beschreibung der Versagensarten.....	44
3.5	Ergebnisse der Ausziehversuche mit unterschiedlichen Einschraubwinkeln.....	46
3.6	Rechnerische Tragfähigkeit von Deckenbalkenanschlüssen mit Hilfe schräg eingedrehter Vollgewindeschrauben.....	49
3.6.1	Deckenbalkenanschlüsse mit eingespannten Längsträgern.....	49
3.6.2	Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkigen Längsträgern.....	52
3.7	Abschätzung der Lagerungsart für Deckenbalkenanschlüsse.....	57
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>60</b>

## 1 Ziel des Vorhabens

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Standardisierung bzw. Typisierung von Anschlüssen und Verbindungen zur Rationalisierung der Planung und Fertigung im Holz-Wohnhausbau. Standardisierte/typisierte Anschlüsse und Verbindungen sollen dazu beitragen, den individuellen Planungsaufwand erheblich zu verringern und eine weitere Rationalisierung und Kostensenkung im Bereich des Entwurfs, der Planung, Fertigung und Montage zu ermöglichen.

Das Forschungsvorhaben wurde in zwei einzelne Abschnitte gegliedert, die getrennt bearbeitet wurden. Teil A des Forschungsvorhabens wurde von der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau, Universität Fridericiana Karlsruhe und der Teil B vom Ingenieurbüro Nebgen und Müller unter der Leitung von Prof. Dipl.-Ing. Nikolaus Nebgen bearbeitet.

Die Standardisierung und Typisierung bestehender Anschlüsse und Verbindungen im Holz-Wohnhausbau wird im Teil B des Forschungsberichtes behandelt. Vorhandene Lösungen für die Standardisierung und Typisierung werden in Form einer Matrix in einem Katalog zusammengefasst. Dieser Katalog soll so erschlossen werden, dass sowohl Standardvarianten zur Festlegung eines Anschlusses bzw. einer Verbindung als auch die Leistungsfähigkeit eines bestimmten Anschlussmittels abgelesen werden kann. In Kombination mit dem abgeschlossenen Forschungsvorhaben "Standardisierung von Bauholz zur Rationalisierung der Planung und Fertigung im Hausbau (gefördert vom BM Bau)" soll das Ergebnis dieses Vorhabens zu einer deutlichen Rationalisierung auf allen baurelevanten Ebenen im Holz-Wohnhausbau führen.

Ein weiterer Schritt in Richtung einer Rationalisierung und Kostensenkung des Bauens im Holz-Wohnhausbau wird durch die Optimierung bereits vorhandener sowie die Entwicklung neuer, wirtschaftlicherer Anschlüsse und Verbindungen ermöglicht. Hierbei sollen vorhandene Lösungen für Anschlüsse und Verbindungen nicht verdrängt, sondern optimiert und erweitert werden. Ein Beispiel hierfür ist die Optimierung querzuggefährdeter Bauteile durch die Verstärkung mit Vollgewindeschrauben. Eine Bemessung der Verstärkung solcher querzuggefährdeten Bauteile mit Hilfe von Gewindestangen bzw. Holzschrauben ist mittlerweile in E DIN 1052, Mai 2000 geregelt. Im Hinblick auf die zur Verfügung stehenden Vollgewindeschrauben mit Längen bis zu 600 mm und Durchmessern bis zu 12 mm können damit auch wirtschaftlichere Anschlüsse und Verbindungen im Holz-Wohnhausbau entwickelt werden.

Teil A dieses Forschungsvorhabens zeigt eine Möglichkeit der Rationalisierung und Kostensenkung der Anschlüsse und Verbindungen im Holz-Wohnhausbau durch die Entwicklung neuer Anschlüsse auf. Durch den vorgestellten Deckenbalkenanschluss mit Hilfe schräg eingedrehter Vollgewindeschrauben können insbesondere der Planungsaufwand und die Kosten in der Fertigung und in der Montage verringert werden. Die Wahl geeigneter Vollgewindeschrauben ermöglicht mit unterschiedlichen Anordnungen eine einfache Lösung für die meisten Verbindungen und Anschlüsse im Holz-Wohnhausbau. Die aus der Forderung des Schall- und Wärmeschutzes notwendige durchgehende Beplankung einer Wand wurde ebenfalls bei der Untersuchung des neuen Anschlusses berücksichtigt. Hierbei kann ein Nebenträger im Gegensatz zu Deckenbalkenanschlüssen mit Stahlblechformteilen an eine im Werk vorgefertigte Wand mit durchgehender Beplankung mit Hilfe schräg eingedrehter Vollgewindeschrauben angeschlossen und zuverlässig bemessen werden.

Im Teil A dieses Forschungsberichtes wird zunächst das Tragverhalten von Holz/Holz-Verbindungen mit schräg eingedrehten Vollgewindeschrauben dargestellt. Mit den aus den dazu durchgeführten Grundlagenversuchen gewonnenen Erkenntnissen wurden anschließend Deckenbalkenanschlüsse mit Hilfe schräg eingedrehter Vollgewindeschrauben entwickelt und geprüft. Sowohl für die in den Grundlagenversuchen geprüften Verbindungen als auch für die Deckenbalkenanschlüsse wurden Bemessungsgleichungen hergeleitet, mit denen die Tragfähigkeit einfach ermittelt werden kann. Unterschiedliche Einflussgrößen auf die Tragfähigkeit, wie zum Beispiel der Einfluss einer Beplankung zwischen den zu verbindenden Bauteilen wurden ebenfalls untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse stellen einen Beitrag zur rationellen Planung, Fertigung und Montage im Holz-Wohnhausbau dar.

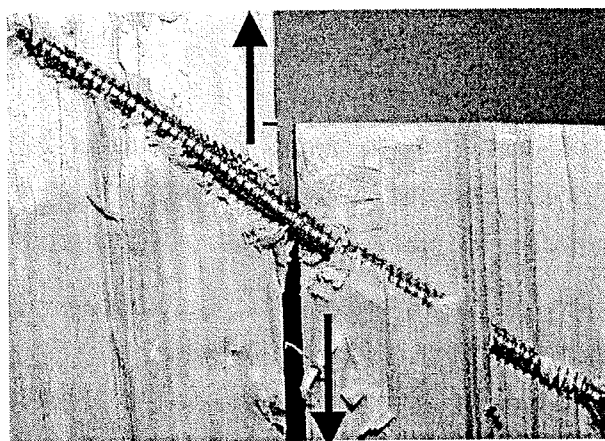
## 2 Grundlagenversuche

### 2.1 Allgemeines

Im Hinblick auf die gegenwärtige Entwicklung von Vollgewindeschrauben mit Längen bis zu 600 mm und Durchmessern bis zu 12 mm können Holz/Holz-Verbindungen im Holz-Wohnhausbau zu einer Rationalisierung und Kostensenkung des Bauens bei gleichzeitiger Steigerung der Traglast und der Steifigkeit beitragen.

Holzschrauben als Verbindungsmittel werden meist rechtwinklig zur Schraubenchse, d.h. auf Abscheren beansprucht. Da im Gewindebereich die Biegetragfähigkeit der Schraube deutlich geringer ist als im Schaftbereich, sind auf Abscheren beanspruchte Schrauben weniger tragfähig als z.B. Stabdübel gleichen Nenn-durchmessers. Selbstbohrende Holzschrauben weisen jedoch die höchste Tragfähigkeit stiftförmiger Verbindungsmittel auf, die in Richtung der Verbindungsmittelachse belastet werden. Im Gegensatz zu Nägeln ist der Widerstand gegen Hineindrücken in das Holz der gleiche wie derjenige gegen Herausziehen. Daher können Schrauben außer auf Abscheren sowohl auf Druck wie auch auf Zug belastet werden.

Durch eine geneigte Anordnung der Schrauben in den zu verbindenden Bauteilen können Holz/Holz-Verbindungen hergestellt werden, bei denen die hohe axiale Tragfähigkeit der Schraube wirksam ausgenutzt werden kann (siehe Bild 1). Die Übertragung der Kräfte in der Verbindung erfordert eine Verankerung der Schraube in beiden Bauteilen, welche durch den Einsatz langer Vollgewindeschrauben gewährleistet werden kann.



**Bild 1:** Auf Herausziehen und Abscheren beanspruchte Vollgewindeschraube

Die geneigte Anordnung der Schrauben führt von Beginn der Belastung an zu einer kombinierten Beanspruchung aus Abscheren und Herausziehen. Die Kraftkomponente parallel zur Schraubenachse wird um so größer, je kleiner der Winkel zwischen der Schraubenachse und der Holzfaserrichtung wird.

## **2.2 Verbindungen mit schräg eingedrehten Schrauben**

Die Zugscherversuche mit einschnittig beanspruchten Schrauben wurden einheitlich mit acht Vollgewindeschrauben je Anschluss mit einem Durchmesser von 7,5 mm und einer Schraubenlänge von 182 mm durchgeführt. Die Holzabmessungen des bei Normalklima 20/65 konditionierten Brettschichtholzes wurden so gewählt, dass bei jedem Einschraubwinkel die Mindestabstände der Schrauben untereinander und zum Rand sowie die Mindesteinschraubtiefen eingehalten wurden.

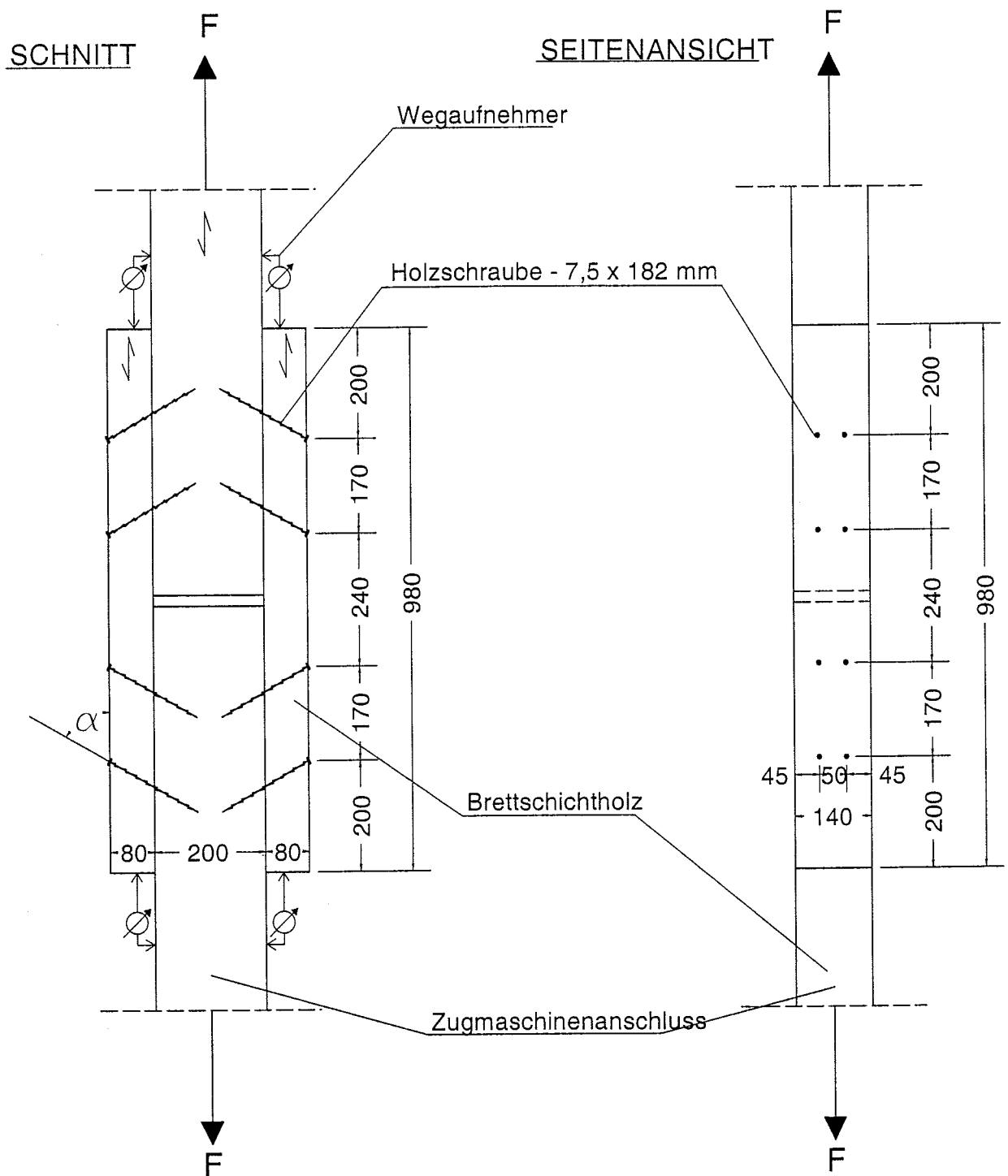
Durch die Variation des Winkels zwischen Schraubenachse und Faserrichtung des Holzes wurde der Einfluss des Einschraubwinkels und der Einschraubtiefe auf das Tragverhalten der Schrauben ermittelt. Der Versuchsaufbau ist in Bild 2 dargestellt. Insgesamt wurden vier unterschiedliche Reihen geprüft, wobei der Einschraubwinkel zwischen 90° und 45° in 15°-Schritten zur Belastungsrichtung bzw. Faserrichtung des Holzes variiert wurde.

Unabhängig davon wurde der Auszieh Widerstand der Schrauben in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel ermittelt.

Um den Einfluss der Reibung zwischen den Bauteilen zu erfassen, wurde bei jeder Versuchsreihe jeweils ein Prüfkörper mit zwischen den Bauteilen eingelegter PE-Baufolie ( $t = 0,15 \text{ mm}$ ) hergestellt.

Die Rohdichte und Holzfeuchte der für die Versuche verwendeten Prüfkörper wurden nach DIN EN 408 bestimmt. Die Auswahl des Brettschichtholzes für die Probekörper erfolgte nach dem in der DIN EN 28970 beschriebenen Verfahren 2. In Tabelle 1 sind die Rohdichtewerte der Hölzer getrennt nach Mittelholz oben/unten und Seitenholz links/rechts für jeden Prüfkörper zusammengestellt.

Die Prüfkörper wurden im Labor der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe (TH) unter praxisingerechten Bedingungen hergestellt. Hierzu wurden die selbstbohrenden Holzschrauben mit Hilfe einer handelsüblichen Bohrmaschine und einer eigens hergestellten Einschraubwinkelschablone (Bild 3) eingedreht.



**Bild 2:** Versuchsaufbau der Zugscherkörper



Tabelle 1: Rohdichte der Mittel- und Seitenhölzer

Prüfkörper	Winkel zw. Schraubachse und Krafrichtung	Zuordnung der Bauteile für Zugscherversuche							
		Seitenholz	Rohdichte	Seitenholz	Rohdichte	Mittelholz	Rohdichte	Mittelholz	Rohdichte
		links	[kg/m <sup>3</sup> ]	rechts	[kg/m <sup>3</sup> ]	oben	[kg/m <sup>3</sup> ]	unten	[kg/m <sup>3</sup> ]
BW2/8-90-1	90°	<b>M15</b>	422	<b>M3</b>	425	<b>S12</b>	402	<b>S5</b>	408
BW2/8-75-1	75°	<b>M10</b>	426	<b>M6</b>	429	<b>S8</b>	411	<b>S4</b>	412
BW2/8-60-1	60°	<b>M19</b>	429	<b>M7</b>	433	<b>S9</b>	414	<b>S6</b>	414
BW2/8-45-1	45°	<b>M17</b>	437	<b>M12</b>	438	<b>S2</b>	427	<b>S23</b>	423
BW2/8-90-2	90°	<b>M13</b>	440	<b>M8</b>	442	<b>S11</b>	429	<b>S1</b>	427
BW2/8-75-2	75°	<b>M22</b>	444	<b>M14</b>	446	<b>S18</b>	431	<b>S7</b>	430
BW2/8-60-2	60°	<b>M21</b>	446	<b>M20</b>	449	<b>S3</b>	431	<b>S19</b>	431
BW2/8-45-2	45°	<b>M1</b>	451	<b>M16</b>	450	<b>S24</b>	431	<b>S10</b>	435
BW2/8-90-3	90°	<b>M2</b>	452	<b>M23</b>	452	<b>S15</b>	438	<b>S17</b>	443
BW2/8-75-3	75°	<b>M9</b>	469	<b>M18</b>	468	<b>S20</b>	445	<b>S16</b>	447
BW2/8-60-3	60°	<b>M5</b>	500	<b>M11</b>	492	<b>S21</b>	453	<b>S22</b>	451
BW2/8-45-3	45°	<b>M24</b>	523	<b>M4</b>	519	<b>S13</b>	454	<b>S14</b>	464

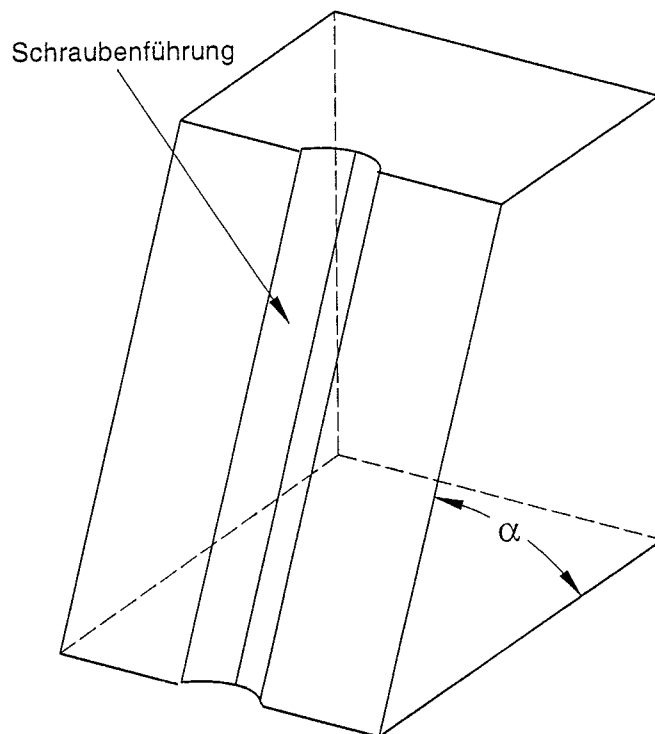


Bild 3: Einschraubwinkelschablone als Montagehilfe

## 2.3 Ergebnisse der Zugscherversuche

Die Last-Verformungsdiagramme aller durchgeführten Zugscherversuche sind in den Anlagen 1 bis 4 dargestellt. In Tabelle 2 sind die Einzelergebnisse der Zugscherversuche zusammengestellt. In dieser Tabelle ist die Höchstlast  $F_{\max}$  sowie der Anfangsverschiebungsmodul  $k_i$  und der Verschiebungsmodul  $k_s$ , wie in DIN EN 26891 definiert, angegeben. Die Höchstlast  $F_{\max}$  bezieht sich hierbei auf den gesamten Prüfkörper. Die Verschiebungsmoduln  $k_i$  und  $k_s$  sind sowohl für die untere als auch für die obere Verbindung angegeben.

Weiterhin wurde in dieser Tabelle die Ausführung der Fuge zwischen den zu verbindenden Bauteilen aufgenommen (mit bzw. ohne PE-Folie). Ein kombiniertes Versagen aus Abscheren und Herausziehen der Schrauben aus den Hölzern war die Bruchursache, die bei allen Prüfkörpern beobachtet wurde (Bilder 4 und 5).

Der Verlauf der mittleren Tragfähigkeit in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel für Versuchskörper ohne und mit PE-Folie zwischen den Mittel- und Seitenhölzern ist in Bild 6 dargestellt.

In Bild 7 ist der Verlauf der gemittelten Verschiebungsmoduln in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel zwischen der Schraubenachse und der Belastungsrichtung dargestellt.

**Tabelle 2:** Einzelergebnisse der Zugscherversuche

Winkel zw. Schraubenachse und Krafrichtung	Prüfkörper	Fugenausbildung	$F_{\max}$	$k_{i,oben}$	$k_{s,oben}$	$k_{i,unten}$	$k_{s,unten}$
			[kN]	[kN/mm]	[kN/mm]	[kN/mm]	[kN/mm]
90°	BW2/8-90-1	ohne PE-Folie	70,2	8,00	6,40	5,90	4,70
	BW2/8-90-2	ohne PE-Folie	73,5	9,60	7,60	5,70	4,50
	BW2/8-90-3	mit PE-Folie	57,6	10,3	8,30	10,5	8,60
	Mittelwerte		<b>67,1</b>	<b>9,30</b>	<b>7,43</b>	<b>7,37</b>	<b>5,93</b>
75°	BW2/8-75-1	ohne PE-Folie	86,6	24,3	22,7	19,9	18,5
	BW2/8-75-2	ohne PE-Folie	95,7	22,5	20,1	26,7	24,8
	BW2/8-75-3	mit PE-Folie	89,8	25,4	22,3	28,1	25,0
	Mittelwerte		<b>90,7</b>	<b>24,1</b>	<b>21,7</b>	<b>24,9</b>	<b>22,8</b>
60°	BW2/8-60-1	ohne PE-Folie	103	44,4	45,1	46,9	48,4
	BW2/8-60-2	ohne PE-Folie	117	59,3	58,6	46,0	45,2
	BW2/8-60-3	mit PE-Folie	99,4	51,3	54,0	50,8	52,4
	Mittelwerte		<b>106</b>	<b>51,7</b>	<b>52,6</b>	<b>47,9</b>	<b>48,7</b>
45°	BW2/8-45-1	ohne PE-Folie	90,4	93,1	98,8	84,5	86,6
	BW2/8-45-2	ohne PE-Folie	98,4	81,9	87,9	111	112
	BW2/8-45-3	mit PE-Folie	76,6	91,8	93,0	119	120
	Mittelwerte		<b>88,5</b>	<b>88,9</b>	<b>93,2</b>	<b>105</b>	<b>106</b>

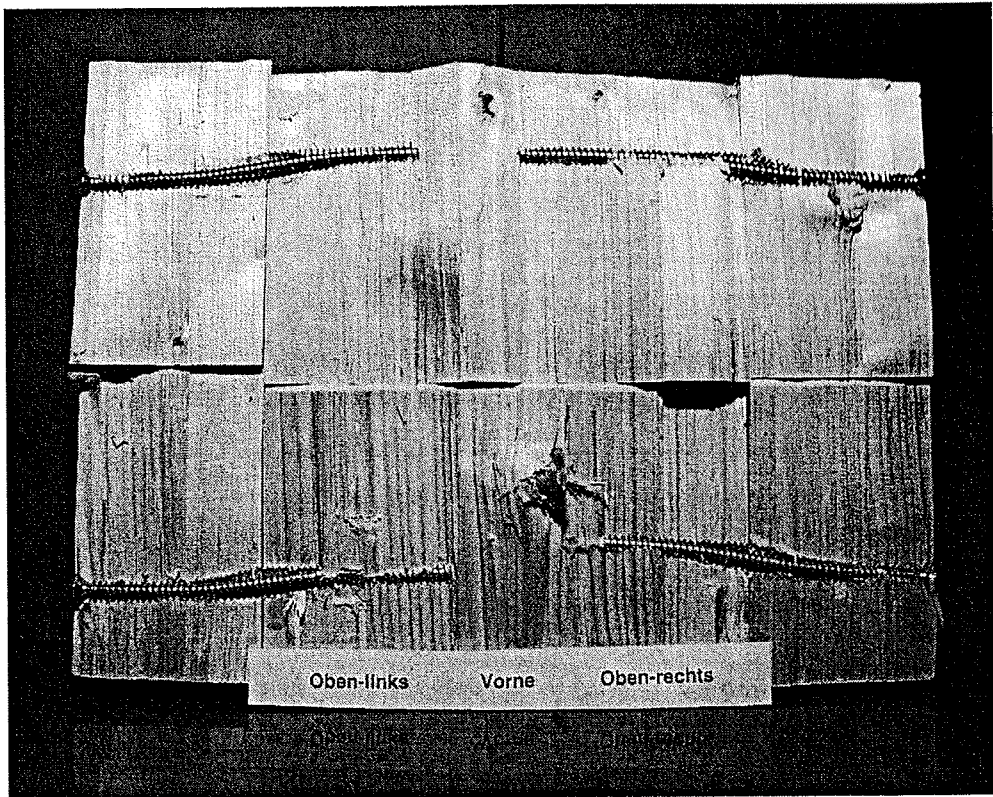


Bild 4: Auf Abscheren beanspruchte Holzschrauben :  $\alpha = 90^\circ$

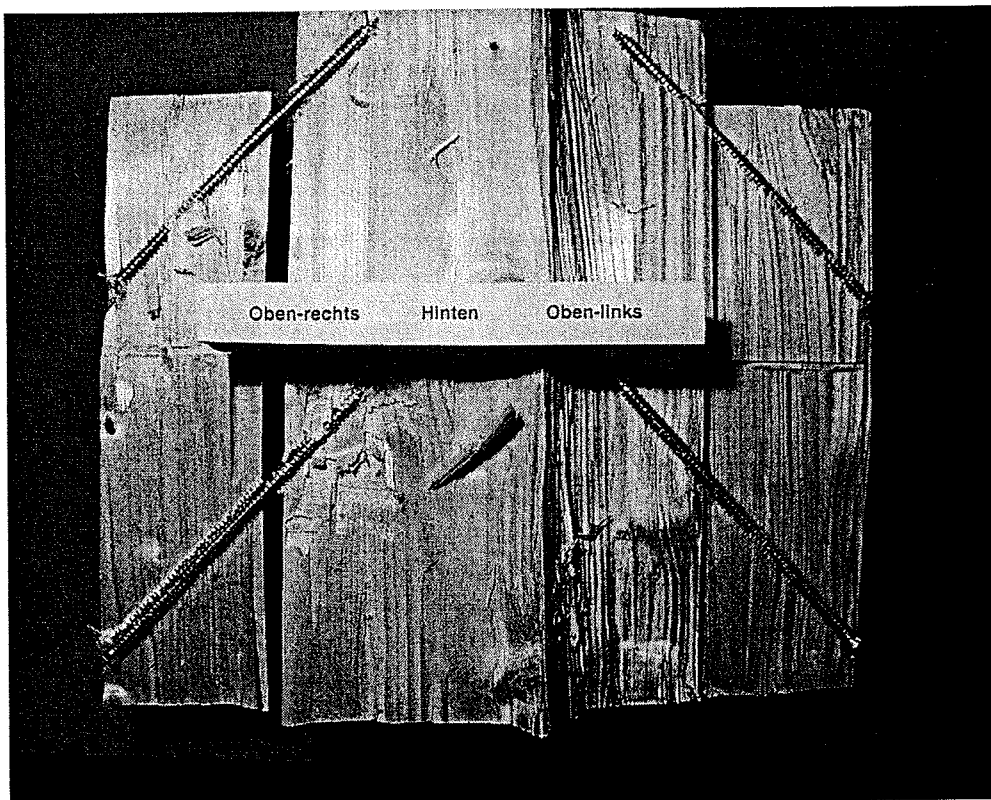
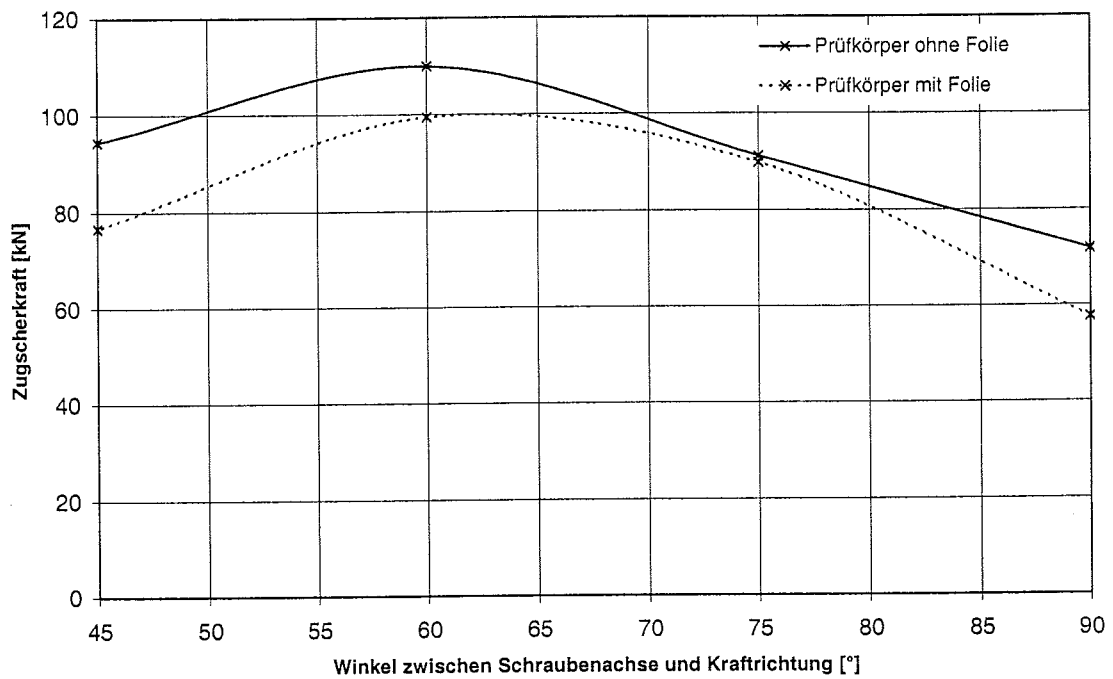
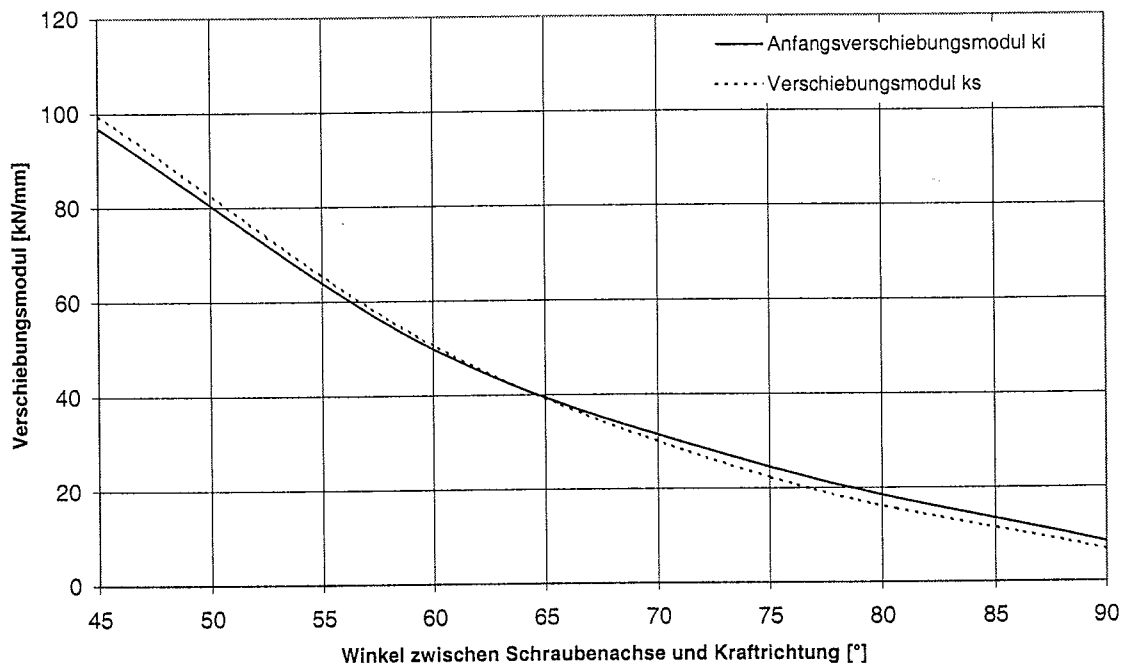


Bild 5: Auf Abscheren und Herausziehen beanspruchte Holzschrauben :  $\alpha = 45^\circ$



**Bild 6:** Traglasten in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel  $\alpha$



**Bild 7:** Verschiebungsmoduln in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel  $\alpha$

Aus dem Verlauf der Traglasten in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel  $\alpha$  zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes bzw. der Belastungsrichtung (siehe Bild 6) lässt sich ein signifikanter Anstieg der Traglast mit

kleiner werdendem Winkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung erkennen. Die Traglasten erreichten ein Maximum für  $\alpha = 60^\circ$ . Der Wert für  $\alpha = 60^\circ$  ist etwa 50% höher als der Wert für rechtwinklig zur Fuge angeordnete Schrauben. Da die Schraubenlänge mit 182 mm konstant war, nahm die Einschraubtiefe im Mittelholz mit kleinerem Winkel zwischen der Schraubenachse und der Holzfaserrichtung ab. Dadurch konnten bei kleineren Winkeln geringere Auszugkräfte im Mittelholz aufgenommen werden.

Außer der Traglast stieg auch die Steifigkeit der Verbindung mit abnehmenden Winkel zwischen der Schraubenachse und der Holzfaserrichtung an (siehe Bild 7). Die unter  $45^\circ$  angeordneten Schrauben zeigen eine 12-fach größere Steifigkeit als die rechtwinklig zur Fuge eingedrehten Schrauben. Geneigte Schrauben sind daher außer für Anschlüsse insbesondere für Verbindungen zwischen den Querschnittsteilen nachgiebig verbundener Biegeträger geeignet.

Die Zunahme der Traglast wird zunächst durch die Ausnutzung des axialen Auszieh Widerstandes der Vollgewindeschraube aus dem Holz verursacht. Maßgebend ist hierbei die minimale Einschraubtiefe der Vollgewindeschraube im Mittel- oder Seitenholz.

Der Auszieh Widerstand einer Schraube aus dem Holz wird durch den Wert des Ausziehparameters  $f_1$  definiert, der insbesondere von der Rohdichte sowie vom Winkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung beeinflusst wird.

Im Rahmen der Grundlagenversuche wurden charakteristische Werte des Ausziehparameters  $f_{1,k,\alpha}$  ermittelt. Mit diesen vom Winkel  $\alpha$  abhängigen Werten können die Traglasten der Verbindungen mit schräg eingedrehten Schrauben rechnerisch ermittelt werden.

Alle anderen Eingangparameter für die Ermittlung des charakteristischen Auszieh Widerstandes sind vom Winkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes unabhängig.

## **2.4 Ergebnisse der Ausziehversuche mit unterschiedlichen Einschraubwinkeln**

Durch die Variation des Einschraubwinkels  $\alpha$  wurde die Abhängigkeit des Ausziehparameters vom Winkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes untersucht.

Alle Ausziehversuche wurden an den Mittelhölzern der geprüften Zugscherkörper mit unveränderter Querschnittshöhe  $h = 200$  mm und Querschnittsbreite  $b = 140$  mm durchgeführt. Die Prüfkörperlänge wurde hierbei auf die erforderliche Prüfmaschinenlänge angepasst.

Die Prüfung erfolgte in Anlehnung an DIN EN 1382. Die Auswertung der Ergebnisse wurde in Anlehnung an E DIN 1052, Mai 2000, Anhang E.2.3.6 durchgeführt.

Geprüft wurden die auch in den Prüfkörpern verwendeten Vollgewindeschrauben AMO III - 7,5 mm der Firma Adolf Würth GmbH & Co. KG mit Längen von 132 mm und 182 mm.

Die Einschraubtiefe  $s_w$  betrug konstant 60 mm. Alle Schrauben wurden ohne Vorbohren ins Holz eingedreht.

Insgesamt wurden 4 unterschiedliche Reihen geprüft, wobei der Einschraubwinkel zwischen  $90^\circ$  und  $45^\circ$  in  $15^\circ$ -Schritten zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes variiert wurde. Die Ausziehkomponente wirkte stets parallel zur Schraubenachse.

Die Ergebnisse der Ausziehversuche sowie die charakteristischen Werte der Ausziehparameter in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes sind in Tabelle 3 dargestellt.

Den Verlauf der gemittelten und der charakteristischen Werte der Ausziehparameter in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes zeigt Bild 8.

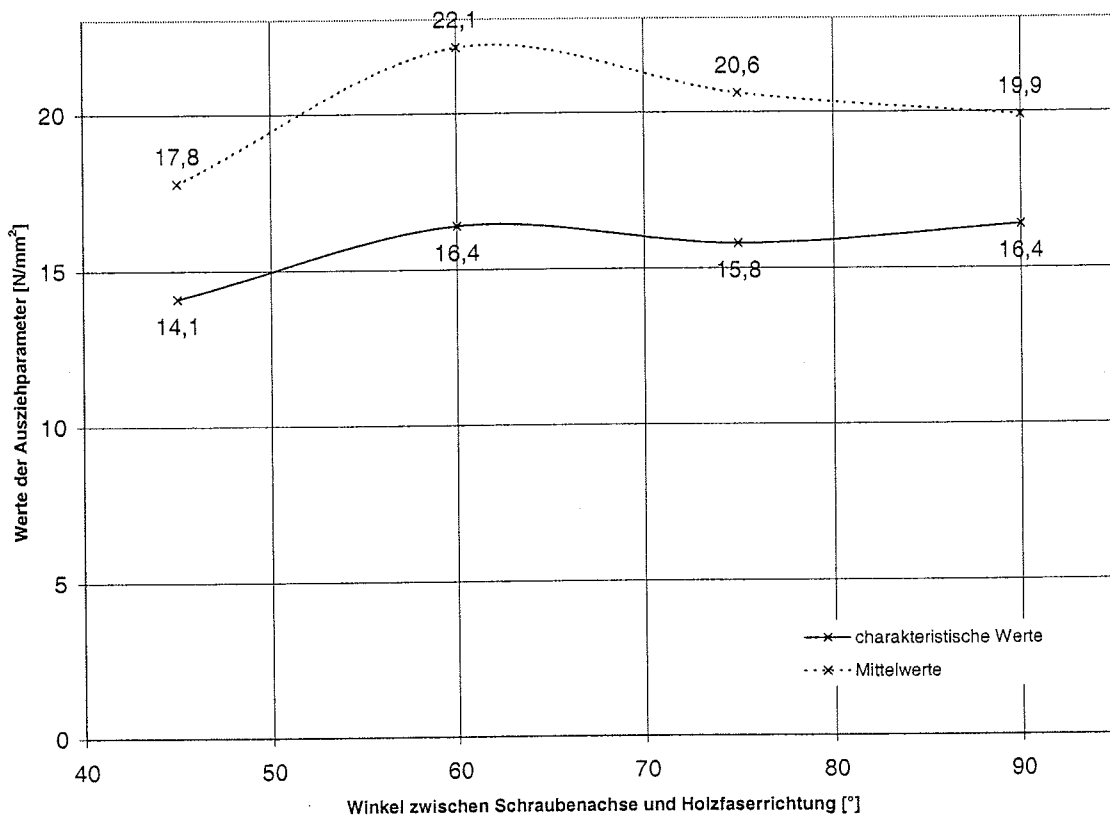
Für Einschraubwinkel von  $90^\circ$  bis  $60^\circ$  ist der charakteristische Wert des Ausziehparameters annähernd konstant. Bei den Mittelwerten sind sogar höhere Werte der Ausziehparameter für Einschraubwinkel von  $60^\circ$  im Vergleich zu rechtwinklig eingedrehten Schrauben zu verzeichnen.

Für Einschraubwinkel unter  $60^\circ$  sinkt der charakteristische Wert des Ausziehparameters um bis zu 15% gegenüber dem charakteristischen Wert des Ausziehparameters für rechtwinklig eingedrehte Schrauben.

Dieser Effekt der Verminderung des Wertes des Ausziehparameters für Einschraubwinkel von weniger als  $60^\circ$  wurde auch bei anderen Schraubentypen beobachtet.

Tabelle 3: Einzelergebnisse der Ausziehversuche

Einschraubwinkel $\alpha$	[°]	45		60		75		90	
Einschraubtiefe $s_w$	[mm]	60		60		60		60	
AMO III - $d_n \times l$	[mm]	7,5 x 132		7,5 x 182		7,5 x 182		7,5 x 132	
	Nr.	radial	tangential	radial	tangential	radial	tangential	radial	tangential
Ausziehkräfte $R_i$ [N]	1	10840	7610	8575	8695	9775	8305	8120	7480
	2	7680	7250	10885	13315	8695	7865	9560	9330
	3	7180	8070	7255	10605	11745	10175	8360	8630
	4	8840	7430	12985	8575	8435	8545	9330	10300
	5	7620	7270	10425	8465	11765	7745	8750	8320
	6	9040	7620	9845	10765	9785	8565	9260	8820
	7	8390	6720	9415	9665	9505	8215	9500	8720
	8	9220	7880	11095	10505	9505	10845	9930	9310
	9	7630	8860	9235	9965	10305	8565	9170	8230
	10	7830	7470	9595		8165	8675	8990	8820
	11				9055				
Mittelwert	[N]	8023		9946		9259		8947	
Standardabweichung	[N]	945		1469		1210		663	
Variationskoeffizient	[%]	11,8%		14,8%		13,1%		7,4%	
$R_{k,\alpha}$	[N]	6360		7361		7129		7372	
$f_{1,\alpha}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	17,8		22,1		20,6		19,9	
$f_{1,k,\alpha}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	14,1		16,4		15,8		16,4	



**Bild 8:** Werte der Ausziehparameter in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel  $\alpha$

Weitere Parameter für die Tragfähigkeit einer Zugscherverbindung mit Hilfe schräg eingedrehter Schrauben sind das Fließmoment der Vollgewindeschraube und die Lochleibungsfestigkeit des Holzes.

Im Rahmen dieser Grundlagenversuche wurden die Fließmomente der verwendeten Vollgewindeschrauben sowie die Lochleibungsfestigkeit des Holzes ermittelt. Bei den Lochleibungsversuchen wurde für rechtwinklig zur Faser eingedrehte Schrauben der Winkel zwischen Belastungsrichtung und Faserrichtung des Holzes variiert.

## 2.5 Bestimmung der Fließmomente der verwendeten Schrauben

Im Rahmen dieser Grundlagenversuche wurden lediglich die Fließmomente der verwendeten Vollgewindeschrauben AMO III - 7,5 mm der Firma Adolf Würth GmbH & Co. KG mit Längen von 132 mm und 182 mm bestimmt. Die Fließmomente wurden in Anlehnung an DIN EN 409 bestimmt. Die Auswertung erfolgte in



Anlehnung an E DIN 1052, Mai 2000, Anhang E.2.3.7. Die Ergebnisse der Fließmomente für die geprüfte Würth AMO III - Schraube sind in Tabelle 4 dargestellt.

**Tabelle 4:** Einzelergebnisse der Fließmomente

Würth AMO III-Schraube		Fließmoment 7,5 x 132 mm [Nm]	Fließmoment 7,5 x 182 mm [Nm]
Einzelwerte [Nm]	1	39,2	39,8
	2	32,5	38,5
	3	30,7	39,2
	4	33,3	39,3
	5	38,8	39,0
Mittelwert	[Nm]	34,9	39,2
Standardabweichung	[Nm]	3,87	0,48
Variationskoeffizient	[%]	11,1%	1,24%
$M_{y,k}$	[Nm]	27,5	31,6

## 2.6 Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit des Nadelholzes

Ein signifikanter Parameter für die Tragfähigkeit einer Holz/Holz-Verbindung mit stiftförmigen Verbindungsmitteln ist die Lochleibungsfestigkeit des Holzes. Diese ist abhängig vom Winkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung sowie vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung des Holzes. Für eine systematische Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit in Abhängigkeit von den genannten Winkeln sind umfangreiche Versuchsreihen erforderlich, die den Rahmen dieses Forschungsvorhabens weit überschreiten. Da bei den Zugscherkörpern mit schräg eingedrehten Schrauben die Abscherkomponente im Vergleich zur Ausziehkomponente mit abnehmendem Einschraubwinkel zwischen der Schraubenachse und der Belastungsrichtung deutlich sinkt, wurde nur die Lochleibungsfestigkeit rechtwinklig zur Faser eingedrehter Schrauben für Beanspruchungen parallel und senkrecht zur Faserrichtung des Holzes ermittelt. Diese Versuche dienen der Überprüfung der Annahme, dass für die Lochleibungsfläche der Außendurchmesser

des Gewindes angesetzt werden darf. Für andere Winkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung werden die Werte der Lochleibungsfestigkeit in Anlehnung an die Regeln für eingeklebte Stahlstäbe abgeschätzt.

Die Lochleibungsfestigkeit wurde mit der in den Grundlagenversuchen verwendeten Vollgewindeschraube in Anlehnung an DIN EN 383 ermittelt. Die Ergebnisse der Lochleibungsversuche für die verwendete AMO III 7,5 x 182 mm - Schraube bei einer Belastung in Faserrichtung bzw. rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes sind in Tabelle 5 dargestellt.

In dieser Tabelle ist die Lochleibungsfestigkeit des Holzes bezogen auf den Gewindeaußen- bzw. den Nenndurchmesser  $d_1$  sowie auf den Kerndurchmesser  $d_k$  der Schraube nach folgender Beziehung angegeben:

$$f_{h,G} = \frac{F_{\max}}{d_1 \cdot t} \quad \text{Lochleibungsfestigkeit bezogen auf den Nenndurchmesser} \quad (1a)$$

$$f_{h,K} = \frac{F_{\max}}{d_k \cdot t} \quad \text{Lochleibungsfestigkeit bezogen auf den Kerndurchmesser} \quad (1b)$$

Lochleibungsversagen war die Bruchursache bei allen durchgeführten Lochleibungsversuchen. Die Prüfkörperdicke  $t$  war bei allen Versuchskörpern mit  $t = 20$  mm konstant.

Tabelle 5: Ergebnisse der Lochleibungsversuche mit der AMO III Schraube

Belastung zur Faserrichtung des Holzes	Mittelwert Rohdichte	Gewindeaußendurchmesser	Kerndurchmesser	$f_{h,G}$	$f_{h,K}$
	$\rho_m$	$d_1$	$d_k$	bezogen auf $d_1$	bezogen auf $d_k$
	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
parallel	455	7,44	5,13	21,8	31,6
parallel	444	7,44	5,13	21,8	31,6
parallel	434	7,44	5,13	15,4	22,4
parallel	449	7,44	5,13	15,6	22,7
parallel	424	7,44	5,13	14,4	20,9
parallel	451	7,44	5,13	19,7	28,5
parallel	478	7,44	5,13	25,2	36,5
parallel	454	7,44	5,13	26,1	37,8
parallel	468	7,44	5,13	27,7	40,2
parallel	455	7,44	5,13	21,1	30,6
parallel	450	7,44	5,13	23,7	34,3
parallel	443	7,44	5,13	22,5	32,7
parallel	439	7,44	5,13	18,0	26,1
parallel	424	7,44	5,13	14,4	21,0
parallel	395	7,44	5,13	15,0	21,7
parallel	421	7,44	5,13	15,4	22,3
parallel	423	7,44	5,13	16,9	24,5
parallel	437	7,44	5,13	17,1	24,7
<b>Mittelwert</b>	<b>441</b>			<b>19,5</b>	<b>28,3</b>
<b>Standardabw.</b>	<b>19,4</b>			<b>4,32</b>	<b>6,27</b>
<b>Variationsk. charakt. Wert</b>	<b>4,40%</b>			<b>22,1%</b>	<b>22,1%</b>
	<b>364</b>			<b>11,9</b>	<b>17,3</b>
senkrecht	439	7,44	5,13	23,1	33,5
senkrecht	456	7,44	5,13	30,1	43,7
senkrecht	437	7,44	5,13	16,7	24,1
senkrecht	455	7,44	5,13	18,8	27,3
senkrecht	402	7,44	5,13	19,2	27,8
senkrecht	476	7,44	5,13	28,9	42,0
senkrecht	453	7,44	5,13	32,4	46,9
senkrecht	451	7,44	5,13	25,7	37,3
senkrecht	421	7,44	5,13	17,3	25,1
senkrecht	476	7,44	5,13	30,9	44,9
<b>Mittelwert</b>	<b>447</b>			<b>24,3</b>	<b>35,3</b>
<b>Standardabw.</b>	<b>23,1</b>			<b>6,07</b>	<b>8,81</b>
<b>Variationsk. charakt. Wert</b>	<b>5,17%</b>			<b>25,0%</b>	<b>25,0%</b>
	<b>361</b>			<b>12,7</b>	<b>18,4</b>

## 2.7 Bemessungsvorschlag

Die geneigte Anordnung der Schraube führt von Beginn der Belastung an zu einer kombinierten Beanspruchung aus Abscheren und Herausziehen. Die Kraftkomponente parallel zur Schraube wird dabei um so größer, je kleiner der Winkel  $\alpha$  zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes bzw. der Belastungsrichtung wird. Unter der Annahme schlanker Schrauben, d.h. eines Versagensmechanismus mit zwei Fließgelenken pro Scherfuge wird die folgende Gleichung 1c zur Bestimmung der Tragfähigkeit geneigt angeordneter Schrauben vorgeschlagen:

$$R_{\alpha} = \frac{f_{1,\alpha} \cdot d \cdot s_{\min}}{\tan \alpha} + \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_y \cdot d \cdot f_{h,\alpha} \cdot \sin^2 \alpha} \quad (1c)$$

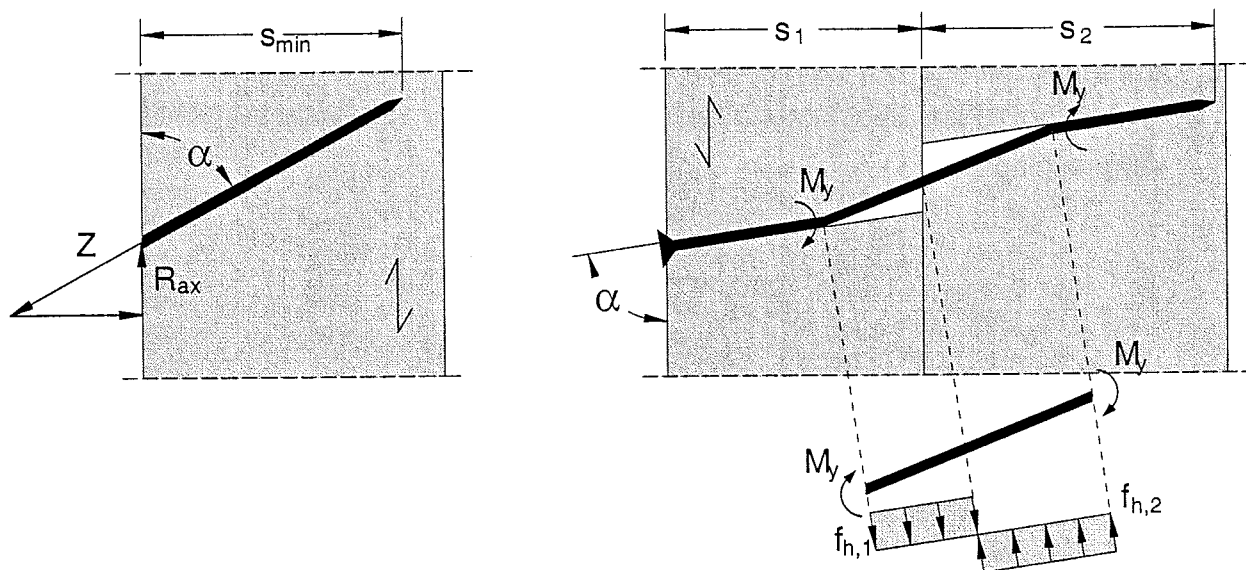
Hierin bedeuten:

$f_{1,\alpha}$	Ausziehparameter in $\text{N/mm}^2$ in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel
$d$	Nenndurchmesser bzw. Gewindeaußendurchmesser der Schraube
$s_{\min}$	kleinerer Wert der Einschraubtiefe in den Holzteilen rechtwinklig zur Belastungsrichtung
$\alpha$	Winkel zwischen Schraubenachse und Belastungsrichtung
$\beta$	Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten der Bauteile 2 und 1
$M_y$	Fließmoment der Schraube
$f_{h,\alpha}$	Lochleibungsfestigkeit des Bauteils 1 in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel sowie vom Kraft-Faserwinkel

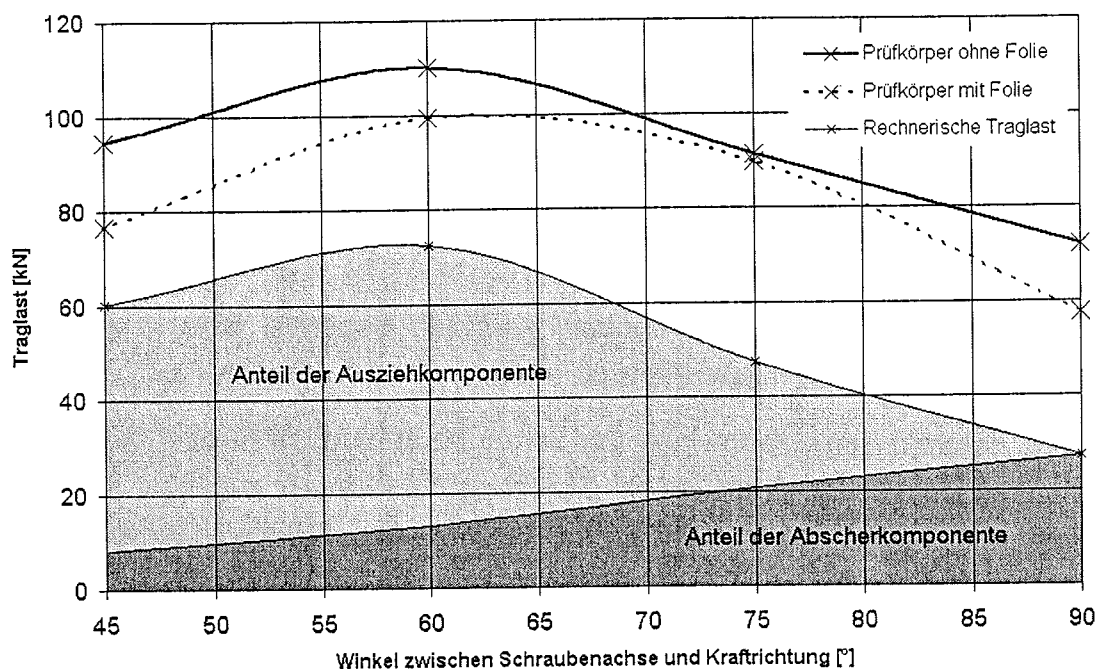
Bild 9 zeigt die dem Rechenmodell zugrunde liegende Beanspruchung der Schraube auf Abscheren bzw. Herausziehen.

Sowohl der vom Einschraubwinkel der Schraube abhängige Ausziehparameter als auch die Lochleibungsfestigkeit in Gleichung 1c werden zunächst unabhängig voneinander angenommen. Mit den im Rahmen dieser Grundlagenversuche bestimmten Parametern und mit Gleichung 1c wurden die rechnerischen Traglasten für die geprüfte Holz/Holz-Verbindung mit acht schräg eingedrehten Vollgewindeschrauben ermittelt.

Der Verlauf der mittleren Traglast in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel für Versuchskörper ohne und mit PE-Folie zwischen den Hölzern sowie der Verlauf der rechnerischen Traglast ist in Bild 10 dargestellt. Die dunkelgrau schraffierte Fläche zeigt den Anteil der Abscherkomponente. Der Anteil der Ausziehkomponente an der gesamten rechnerischen Traglast ist durch die hellgrau schraffierte Fläche dargestellt.



**Bild 9:** Beanspruchung einer Schraube auf Herausziehen (links) und Abscheren (rechts)



**Bild 10:** Traglasten in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel  $\alpha$

## 2.8 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Grundlagenversuche wurde gezeigt, dass durch die geneigte Anordnung der Vollgewindeschrauben in einer Holz/Holz-Verbindung die Traglasten sowie die Steifigkeiten einer Verbindung gesteigert werden können. Die Traglasten erreichten ein Maximum für  $\alpha = 60^\circ$ . Der Wert für  $\alpha = 60^\circ$  ist etwa 50% höher als der Wert für rechtwinklig zur Belastungsrichtung angeordnete Schrauben. Da die Schraubenlänge mit 182 mm konstant war, nahm die Einschraubtiefe im Mittelholz mit abnehmendem Winkel  $\alpha$  ab. Dadurch konnten bei kleineren Winkeln geringere Auszugkräfte aufgenommen werden. Ein stetiger Anstieg der Traglast bis  $\alpha = 45^\circ$  ist mit längeren Schrauben ohne weiteres möglich.

Die rechnerischen Traglasten liegen im Mittel deutlich unterhalb der in den Versuchen erreichten Werten. Bei großen Werten für  $\alpha$  kann dies mit dem nicht berücksichtigten Einhängeeffekt und für sämtliche Werte von  $\alpha$  mit der ebenfalls nicht berücksichtigten Reibung zwischen den Holzteilen erklärt werden.

Mit kleinerem Winkel  $\alpha$ , d.h. mit steilerer Anordnung der Schrauben in den Holzteilen sinkt der Anteil der Abscherkomponente an der Gesamttraglast. Der Anteil der Ausziehkomponente an der Gesamttraglast wird hierbei um so größer.

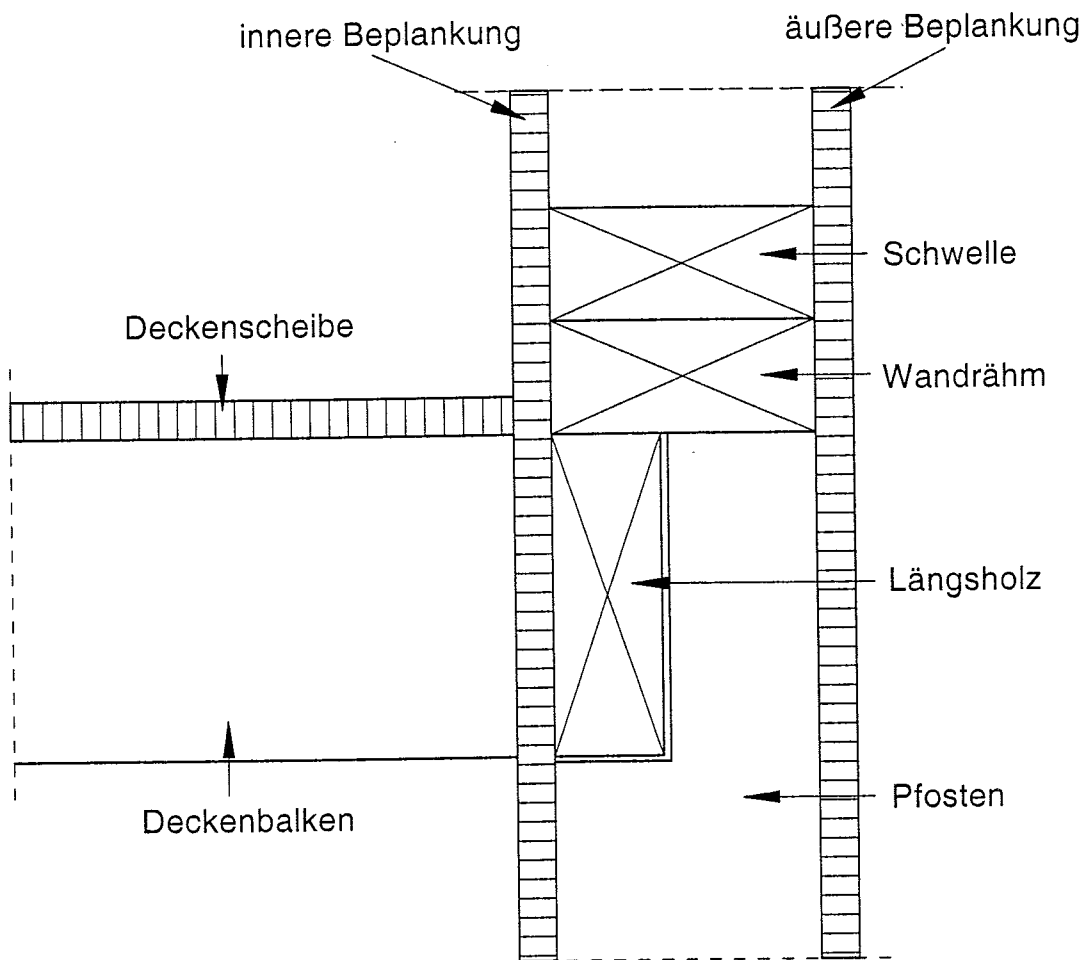
Für Einschraubwinkel von weniger als  $60^\circ$  kann die rechnerische Traglast auch nur über den Anteil der Ausziehkomponente relativ genau abgeschätzt werden. Dies ist von Vorteil, wenn die Lochleibungsfestigkeiten des Holzes für unterschiedliche Einschraubwinkel der Schraube im Holz unbekannt sind.

Außer der Traglast stieg auch die Steifigkeit der Verbindung mit kleinerem Winkel  $\alpha$  deutlich an (siehe Bild 7). Die unter  $45^\circ$  angeordneten Schrauben zeigen eine mehr als 12-fache Steifigkeit als die rechtwinklig zur Belastungsrichtung eingedrehten Schrauben. Geneigt angeordnete Schrauben sind daher außer für Anschlüsse insbesondere auch für die Verbindungen zwischen den Querschnittsteilen nachgiebig verbundener Biegeträger geeignet.

### 3 Anschlüsse zwischen Deckenbalken und Längsträger

#### 3.1 Allgemeines

Die in den Zugscherversuchen festgestellte Leistungssteigerung bei gleichzeitiger Montagevereinfachung konnte ebenfalls bei Anschlüssen zwischen Deckenbalken und Längsträgern (siehe Bild 11) beobachtet werden. Deckenbalkenanschlüsse mit Hilfe schräg eingedrehter Schrauben ermöglichen eine rechnerisch erfassbare und rationelle Montage der Deckenbalken an die Längsträger.



**Bild 11:** Deckenbalkenanschluss mit innerer und äußerer Beplankung

Zudem können Deckenbalkenanschlüsse mit Hilfe schräg eingedrehter Schrauben mit durchgehender Beplankung hergestellt und nachgewiesen werden. Unsichtbarkeit der Verbindungsmittel sowie geringere Querschnittsabmessungen wegen

einer geringeren Anzahl von Verbindungsmitteln bei identischen Traglasten sind weitere Vorteile des Anschlusses mit schräg eingedrehten Schrauben.

Im Rahmen dieser Hauptversuche wird eine neue Anschlussart mit Hilfe schräg eingedrehter Vollgewindeschrauben untersucht, die für die meisten Verbindungs- und Anschlussarten im Holz-Wohnhausbau angewendet werden kann. Mit dem vorgestellten Bemessungsvorschlag sind die Traglasten für Anschlüsse und Verbindungen einfach zu ermitteln.

Um die unterschiedlichen Einflussgrößen, wie z.B. Art der Lagerung des anzuschließenden Bauteils, Anzahl und Lage der Verbindungsmittel sowie Einfluss einer durchgehenden Beplankung auf die Tragfähigkeit einer Verbindung untersuchen zu können, wurde nur der konventionelle Anschluss zwischen einem Deckenbalken und einem Längsträger untersucht.

### **3.2 Versuchsprogramm**

Dieser in der Holzrahmenbauweise häufig vorkommende Anschluss (siehe Bild 11) mit und ohne durchgehende Beplankung zwischen Deckenbalken (Nebenträger) und Längsträger (Hauptträger) soll auf die in der Einleitung beschriebene Weise rationell und ohne Stahlformteile hergestellt werden.

Da eine Aussage über die Lagerungsart (gelenkig bis eingespannt) auf Grund des kombinierten Anschlusses (Deckenbalken an Längsträger, Längsträger auf Pfosten) schwierig ist, wurden im Rahmen dieser Versuche beide Extremfälle der Auflagerbedingungen (gelenkige Lagerung des Längsträgers und Einspannung des Längsträgers) untersucht.

Bei den Tragfähigkeitsversuchen von Anschlüssen mit Beplankung wurden 15 mm dicke Platten aus Bau-Furniersperrholz nach DIN 68705 eingebaut.

Ein weiterer Parameter war die Anordnung der Vollgewindeschrauben. Hierbei wurde der Einschraubwinkel zur Holzfaserrichtung des Deckenbalkens zwischen 30° und 60° in 15°-Schritten variiert.

Ebenfalls wurde die Anzahl der Vollgewindeschrauben je Anschluss untersucht. Prüfkörper mit einer von unten eingedrehten Vollgewindeschraube und Prüfkörper mit einer von unten und einer von oben in den Nebenträger eingedrehten Schraube wurden geprüft.

Für alle Haupt- und Nebenträger wurden einheitlich BSH-Träger, welche nach dem in DIN EN 28970 beschriebenen Verfahren 2 ausgesucht wurden, verwendet.



Alle Träger wurden mit einer Breite  $b = 100$  mm und einer Höhe  $h = 200$  mm hergestellt.

Sämtliche Anschlüsse wurden einheitlich mit WT-T-Vollgewindeschrauben der Firma SFS Stadler GmbH & Co. KG mit einem Durchmesser von 8,2 mm und einer Gesamtlänge von 245 mm ausgeführt. Der Senkkopf wurde hierbei bündig mit der Holzoberfläche eingedreht. Die Einschraubgeschwindigkeit wurde konstant gehalten.

Mit Hilfe der anschließend durchgeführten Ausziehversuche wurde der Ausziehwi-  
derstand und der Wert des Ausziehparameters für die verwendete Vollgewinde-  
schraube unabhängig ermittelt.

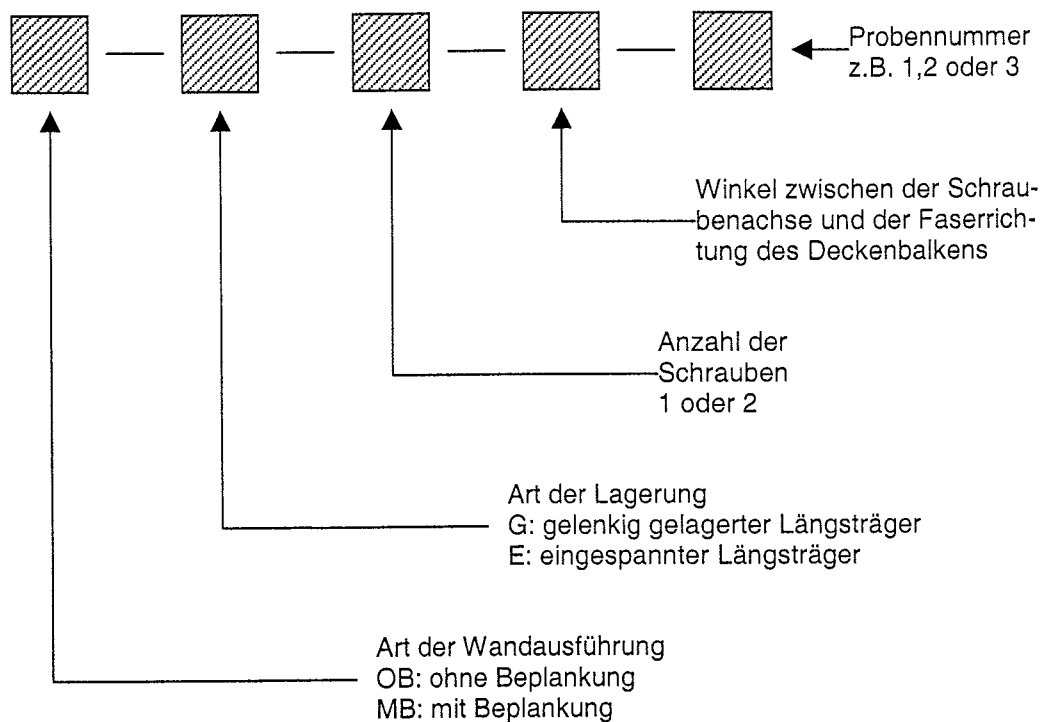
Insgesamt wurden 48 Deckenbalkenträger (= 96 Anschlüsse) mit folgenden unter-  
schiedlichen Einflussgrößen untersucht:

- gelenkige bzw. eingespannte Lagerung des Längsträgers
- Außenwand mit bzw. ohne Beplankung
- Anzahl der Schrauben (eine von unten bzw. eine von unten und eine von oben in den Nebenträger eingedrehte Schraube)
- Lage der Schrauben und der Einschraubwinkel ( $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$  und  $60^\circ$ )

Die Rohdichte und Holzfeuchte der für die Versuche verwendeten Prüfkörper wur-  
den nach DIN EN 408 bestimmt. In Tabelle 6 sind die Werte der Rohdichte der  
Hölzer getrennt nach Nebenträger (Deckenbalken) und Hauptträger (Längsträger)  
für jeden Prüfkörper zusammengestellt.

Die Herstellung der Prüfkörper erfolgte im Labor der Versuchsanstalt für Stahl,  
Holz und Steine der Universität Karlsruhe (TH) unter praxisgerechten Bedingun-  
gen. Hierzu wurden die selbstbohrenden Holzschrauben mit Hilfe einer üblichen  
Bohrmaschine und einer eigens zugeschnittenen Einschraubwinkelschablone  
(siehe Bild 3) hergestellt.

Für die Versuchsbezeichnung wurde das folgende Schema gewählt:



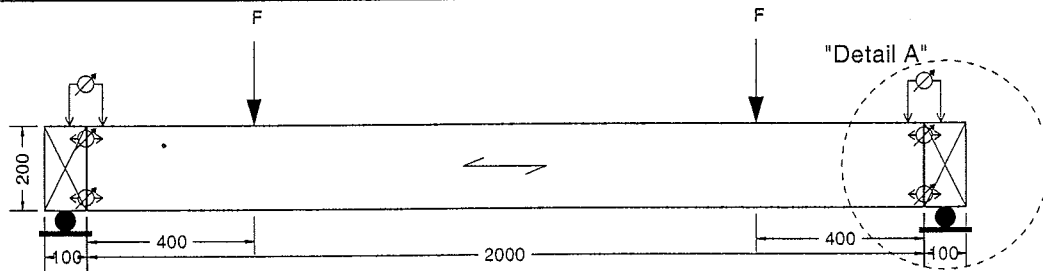
Der Versuchsaufbau der Prüfkörper mit gelenkiger Lagerung der Längsträger mit und ohne Beplankung zwischen Deckenbalken und Längsträger (Reihe OB-G-1/2 und Reihe MB-G-1/2) ist in Bild 12 dargestellt. Bild 13 zeigt den Versuchsaufbau der Prüfkörper mit eingespannter Lagerung der Längsträger (Reihe OB-E-1/2 und Reihe MB-E-1/2).

Durch die Einspannung konnte ein Verdrehen der Längsträger verhindert werden. Die Auflagerlasten wurden mittels einer unterhalb des Längsträgers angebrachten Kraftmessdose kontinuierlich gemessen. Mit parallel zur Belastungsrichtung angebrachten induktiven Wegaufnehmern wurde die vertikale Verschiebung des Deckenbalkens gegenüber dem Längsträger bestimmt. Mit Hilfe rechtwinklig zur Belastungsrichtung angebrachter induktiver Wegaufnehmer wurde die Spaltöffnung zwischen dem Deckenbalken und dem Längsträger sowie die Relativverdrehung des Deckenbalkens gegenüber dem Längsträger ermittelt.

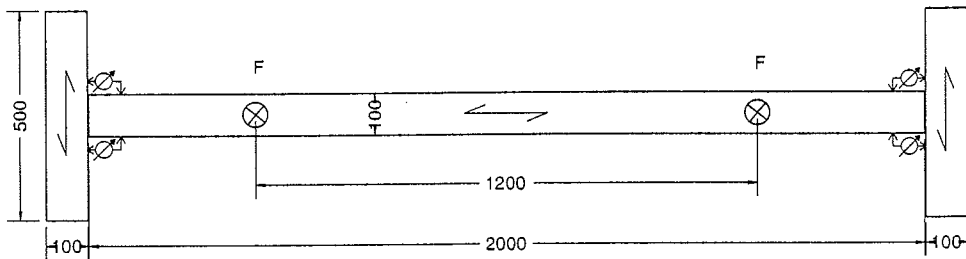
Eine Abbildung der Versuchseinrichtung im Bereich des Auflagers für Prüfkörper mit eingespannt gelagerten Längsträgern zeigt Bild 14.

**Tabelle 6:** Rohdichtewerte der geprüften Hölzer

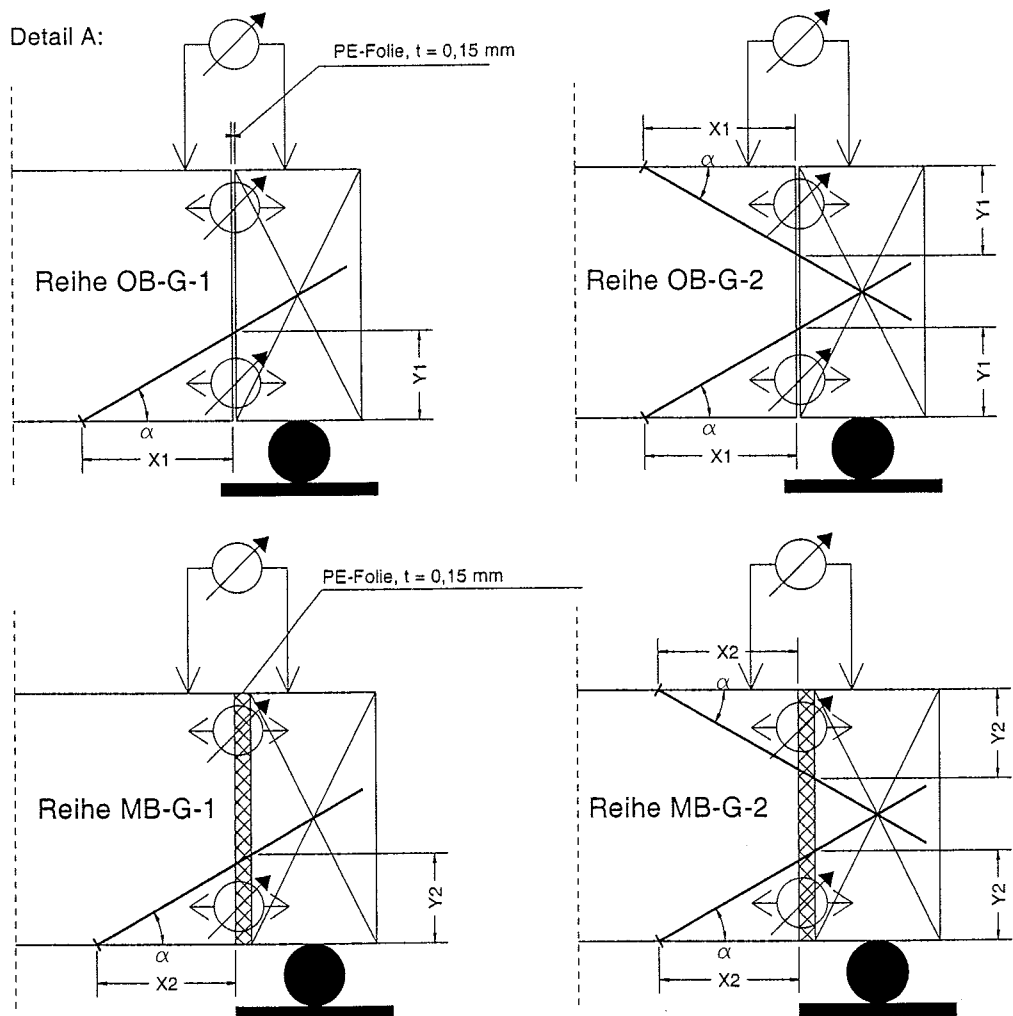
Prüfkörper	Prüfkörper- bezeichnung	Zuordnung der Bauteile für Deckenbalkenanschlüsse					
		Deckenbalken	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Längsträger links	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Längsträger rechts	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]
1	OB-G-1-30	N13	419	H37	415	H43	420
2	OB-G-1-30	N21	454	H7	461	H83	462
3	OB-G-1-45	N42	438	H23	438	H30	439
4	OB-G-1-45	N17	460	H18	468	H70	468
5	OB-G-1-60	N5	448	H94 x	450	H38	454
6	OB-G-1-60	N36	471	H2	477	H15	479
7	OB-G-2-30	N26	423	H27	425	H19	426
8	OB-G-2-30	N14	455	H54	462	H76	462
9	OB-G-2-45	N22	440	H80	443	H16	443
10	OB-G-2-45	N4	462	H52	469	H50	470
11	OB-G-2-60	N18	448	H35	455	H21	456
12	OB-G-2-60	N20	471	H77	480	H82	481
13	MB-G-1-30	N31	430	H60	432	H65	433
14	MB-G-1-30	N25	458	H86	463	H33	465
15	MB-G-1-45	N12	447	H31	448	H68	448
16	MB-G-1-45	N34	468	H32	472	H87	472
17	MB-G-1-60	N38	450	H4	459	H5	459
18	MB-G-1-60	N46	474	H91	486	H85	487
19	MB-G-2-30	N30	430	H26	433	H63	433
20	MB-G-2-30	N11	458	H25	465	H55	465
21	MB-G-2-45	N24	447	H66	448	H57	448
22	MB-G-2-45	N44	468	H75	473	H22	473
23	MB-G-2-60	N10	450	H79	459	H29	460
24	MB-G-2-60	N37	477	H78	487	H49	494
25	OB-E-1-30	N15	425	H48	426	H51	427
26	OB-E-1-30	N35	455	H11	462	H8	463
27	OB-E-1-45	N48	441	H98 x	445	H62	446
28	OB-E-1-45	N32	466	H71	471	H53	471
29	OB-E-1-60	N2	449	H72	456	H10	456
30	OB-E-1-60	N1	473	H88	481	H96 x	481
31	OB-E-2-30	N6	429	H12	428	H47	428
32	OB-E-2-30	N28	456	H67	463	H56	463
33	OB-E-2-45	N33	444	H9	446	H95 x	447
34	OB-E-2-45	N23	466	H1	471	H42	472
35	OB-E-2-60	N27	449	H58	457	H45	459
36	OB-E-2-60	N29	474	H34	485	H24	485
37	MB-E-1-30	N8	431	H64	433	H93 x	435
38	MB-E-1-30	N3	458	H36	465	H3	466
39	MB-E-1-45	N43	447	H61	449	H74	449
40	MB-E-1-45	N40	468	H6	473	H17	473
41	MB-E-1-60	N7	452	H13	460	H20	460
42	MB-E-1-60	N39	506	H90	518	H69	522
43	MB-E-1-60	N41	481	H40	494	H44	498
44	MB-E-2-30	N47	434	H89	436	H14	437
45	MB-E-2-30	N45	459	H39	466	H28	466
46	MB-E-2-45	N16	448	H97 x	449	H59	449
47	MB-E-2-45	N9	469	H41	474	H81	476
48	MB-E-2-60	N49	453	H46	461	H73	461
49	MB-E-2-60	N19	494	H84	498	H92	500



Ansicht

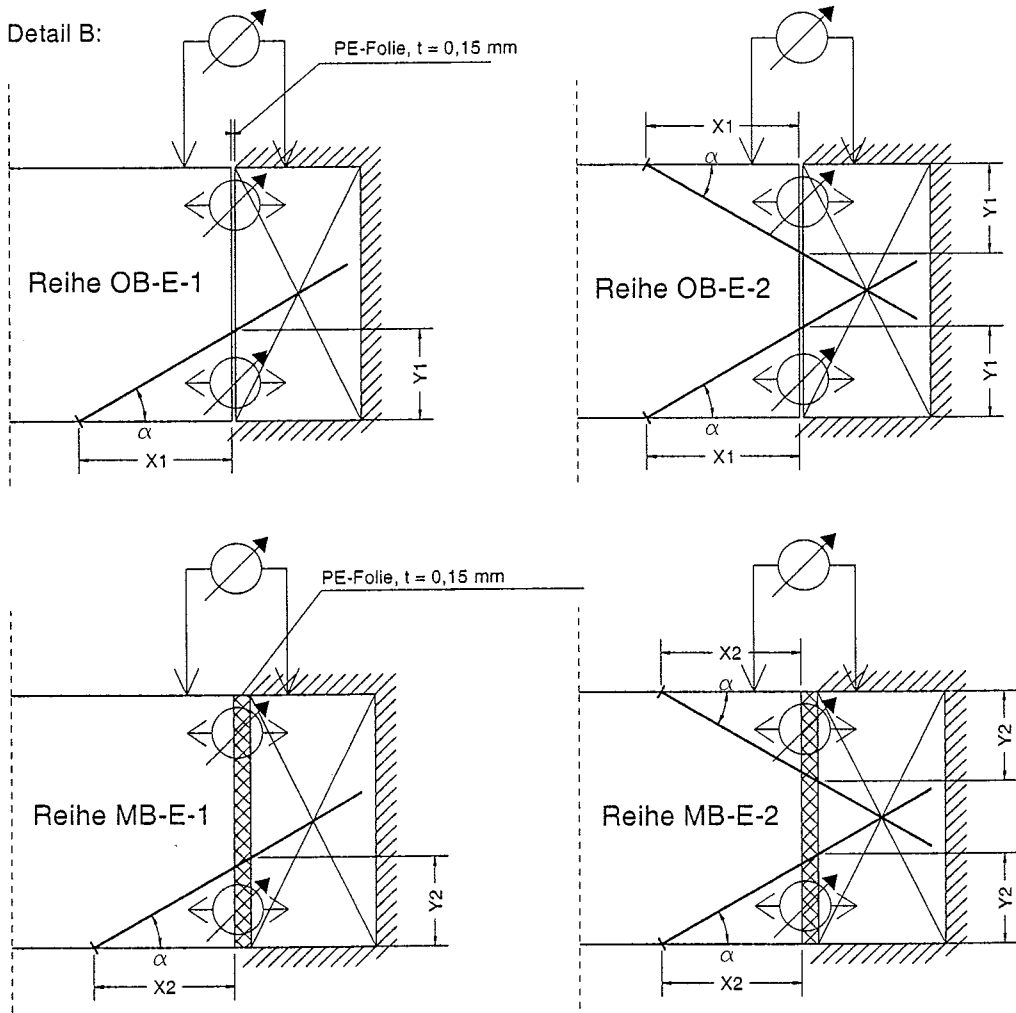
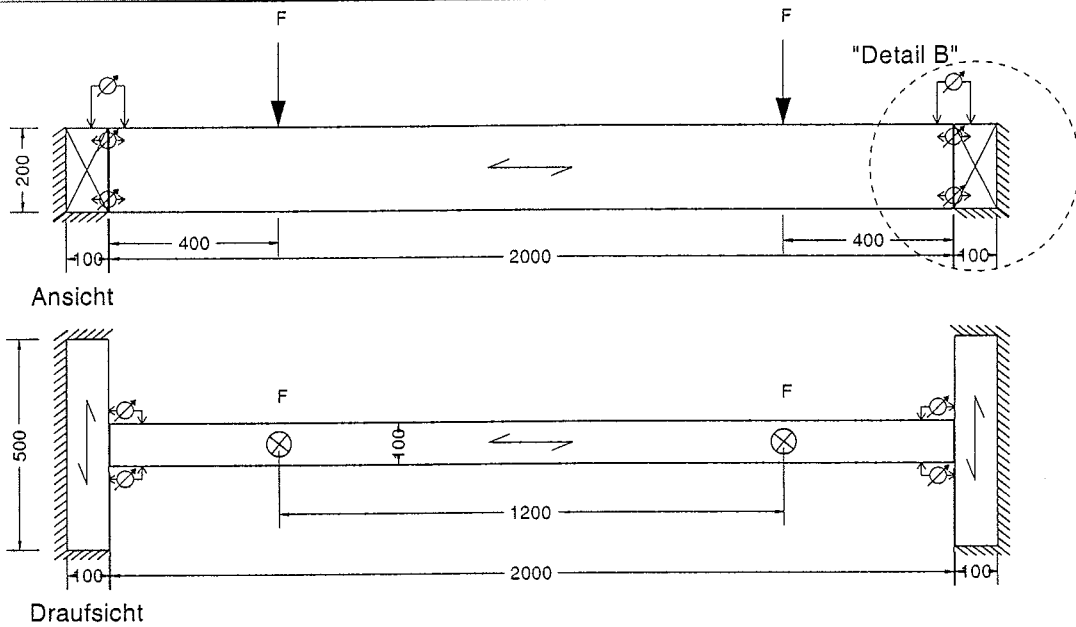


Draufsicht



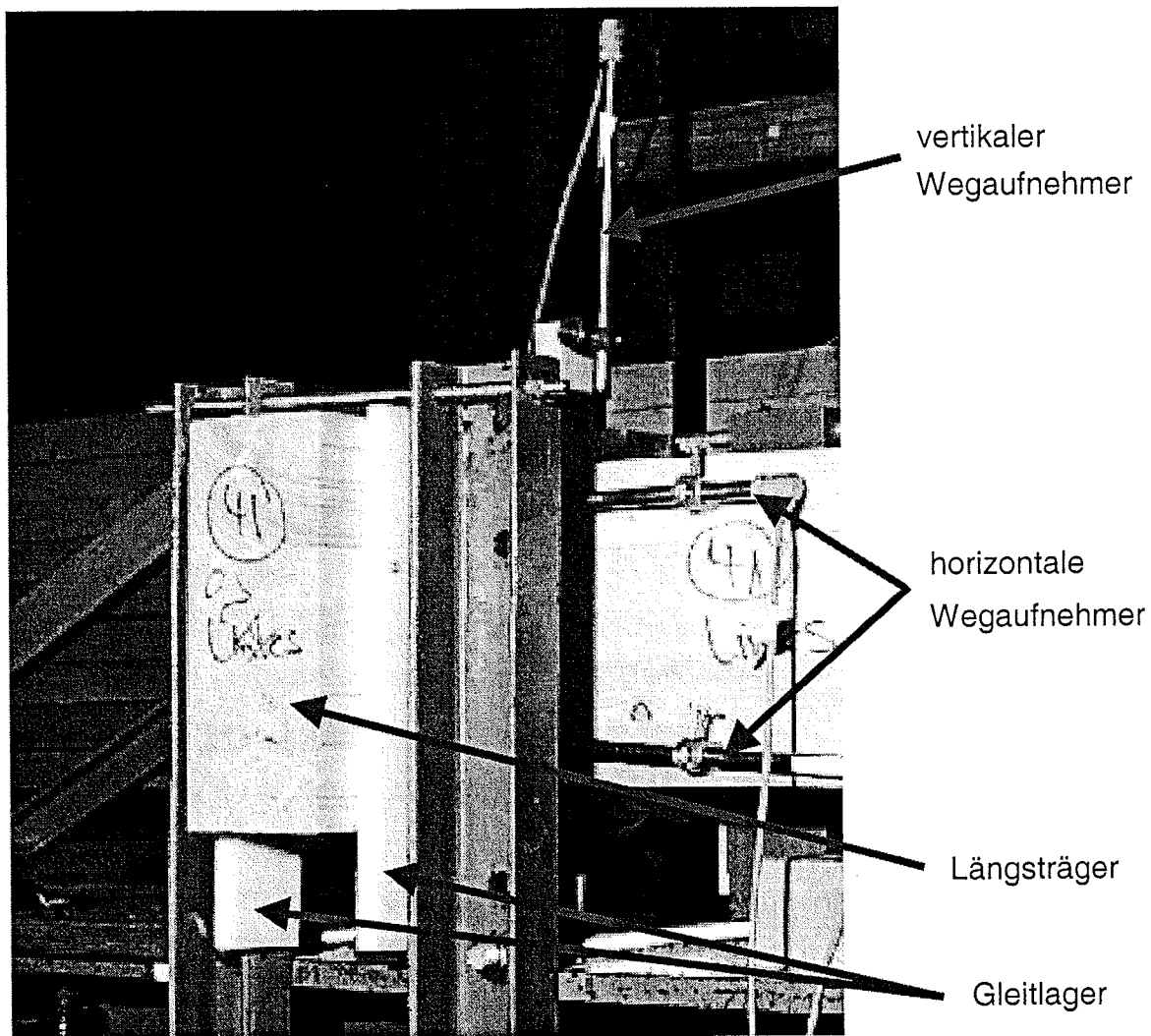
$\alpha = 30^\circ$ :	$X_1 = 117 \text{ mm}$	$X_2 = 102 \text{ mm}$	$Y_1 = Y_2 = 68 \text{ mm}$
$\alpha = 45^\circ$ :	$X_1 = 96 \text{ mm}$	$X_2 = 81 \text{ mm}$	$Y_1 = Y_2 = 96 \text{ mm}$
$\alpha = 60^\circ$ :	$X_1 = 68 \text{ mm}$	$X_2 = 53 \text{ mm}$	$Y_1 = Y_2 = 117 \text{ mm}$

Bild 12: Gelenkiger Deckenbalkenanschluss mit und ohne Beplankung



$\alpha = 30^\circ:$	$X_1 = 117 \text{ mm}$	$X_2 = 102 \text{ mm}$	$Y_1 = Y_2 = 68 \text{ mm}$
$\alpha = 45^\circ:$	$X_1 = 96 \text{ mm}$	$X_2 = 81 \text{ mm}$	$Y_1 = Y_2 = 96 \text{ mm}$
$\alpha = 60^\circ:$	$X_1 = 68 \text{ mm}$	$X_2 = 53 \text{ mm}$	$Y_1 = Y_2 = 117 \text{ mm}$

**Bild 13:** Eingespannter Deckenbalkenanschluss mit und ohne Beplankung



**Bild 14:** Deckenbalkenanschluss - eingespannt gelagerter Längsträger

### 3.3 Deckenbalkenanschlüsse mit eingespannt gelagerten Längsträgern

#### 3.3.1 Versuchsergebnisse

Die Last-Verformungsdiagramme aller durchgeführten Versuche mit eingespannt gelagerten Längsträgern sind in den Anlagen 19 bis 35 dargestellt. Die Prüfung wurde mit dem Belastungsverfahren nach DIN EN 26891 durchgeführt. Hierbei ist die Last bis auf  $0,4 \cdot F_{\text{est}}$  ( $F_{\text{est}}$  = Schätzlast) aufzubringen und dort 30 s konstant zu halten. Die Last ist anschließend auf  $0,1 \cdot F_{\text{est}}$  zu verringern und erneut 30 s konstant zu halten. Danach ist die Last zu steigern, bis die Bruchlast oder eine Verschiebung von 15 mm erreicht ist. Bei der durchgeführten Biegeprüfung mit jeweils einem Anschluss links und rechts vom Deckenbalken kam es zuerst zum Versa-

gen des Anschlusses mit der geringeren Tragfähigkeit. Für diese Versuche wurde das Belastungsverfahren nach DIN EN 26891 angewendet. Bei der anschließenden Prüfung des zweiten Anschlusses des Deckenbalkens wurden die Versuche nur weggesteuert durchgeführt. Für die mit dem nach DIN EN 26891 beschriebenen Belastungsverfahren durchgeführten Erstversuche eines Deckenbalkens gilt die auf Seite 23 beschriebene Versuchsbezeichnung. Für die anschließend durchgeführten Versuche der zweiten Deckenbalkenseite wurden die Probennummern der Versuchsbezeichnung mit einem "x" gekennzeichnet (z.B. OB-E-2-30-31x).

In Tabelle 7 bis 10 sind die Einzelergebnisse aller durchgeführten Versuche mit eingespannt gelagerten Längsträgern dargestellt, wobei folgende Tabellenunterteilung gewählt wurde:

- Tabelle 7: eingespannt gelagerte Deckenbalkenanschlüsse ohne Beplankung mit einer von unten eingedrehten Vollgewindeschraube
- Tabelle 8: eingespannt gelagerte Deckenbalkenanschlüsse ohne Beplankung mit jeweils einer von unten und einer von oben eingedrehten Vollgewindeschraube
- Tabelle 9: eingespannt gelagerte Deckenbalkenanschlüsse mit Beplankung mit einer von unten eingedrehten Vollgewindeschraube
- Tabelle 10: eingespannt gelagerte Deckenbalkenanschlüsse mit Beplankung mit jeweils einer von unten und einer von oben eingedrehten Vollgewindeschraube

In diesen Tabellen ist die Höchstlast  $F_{\max}$  sowie der Anfangsverschiebungsmodul  $k_i$  und der Verschiebungsmodul  $k_s$  angegeben. Weiterhin wurden die horizontalen Relativverschiebungen  $\delta_{\text{oben}}$  und  $\delta_{\text{unten}}$  zwischen dem Deckenbalken und dem Längsträger angegeben, wobei Zug positiv und Druck negativ definiert ist. Der Abstand zwischen den horizontalen induktiven Wegaufnehmern war für alle Versuche mit  $h = 158$  mm gleich. Die Relativverdrehung  $\phi$  wurde aus der Differenz der horizontalen Relativverschiebungen berechnet. Positive Werte der Relativverdrehung bedeuten eine größere Öffnung der Fuge zwischen Nebenträger und Hauptträger auf der Deckenbalkenunterseite im Vergleich zur Deckenbalkenoberseite, negative Relativverdrehungen dagegen eine größere Öffnung auf der Deckenbalkenoberseite. Die sehr kleinen Werte der Relativverdrehungen zwischen den Deckenbalken und den Längsträgern von weniger als  $0,36^\circ$  verdeutlichen die Ausführung des Haupt-/Nebenträgeranschlusses als Einspannung. Weiterhin wurden die Rohdichte und der Feuchtegehalt im Nebenträger und Hauptträger derjenigen

Lamelle des Brettschichtholzes angegeben, in die die Vollgewindeschrauben eingedreht wurden.

Die Versagensarten jedes einzelnen geprüften Anschlusses sind in der letzten Spalte angegeben. Folgende Versagensarten wurden entweder einzeln oder in Kombination beobachtet:

- 1) die von unten eingedrehte Vollgewindeschraube wurde durch den Nebenträger/Deckenbalken durchgezogen
- 2) die von oben eingedrehte Vollgewindeschraube wurde aus dem Nebenträger/Deckenbalken herausgedrückt
- 3) die von unten eingedrehte Vollgewindeschraube wurde aus dem Hauptträger/Längsträger herausgezogen
- 4) Aufkanten des Nebenträgers auf der Versuchsvorrichtung
- 5) Schraube wurde bei der Probenherstellung beschädigt

n.m.: nicht messbar, da Ausfall der horizontalen Wegaufnehmer

Die Traglasten sind für alle eingespannt gelagerten Längsträger abhängig vom Einschraubwinkel in Bild 15 dargestellt. In Bild 16 sind die zugehörigen Verschiebungsmoduln  $k_i$  und  $k_s$  angegeben.

Ein signifikanter Traglast- bzw. Steifigkeitsunterschied zwischen den Anschlüssen mit Beplankung und denjenigen ohne Beplankung war bei den eingespannten Trägern nicht festzustellen. Die insgesamt etwas geringeren Traglasten bei den Anschlüssen mit Beplankung sind die Folge der reduzierten Reibungskräfte in der Fuge. Die Einschraubtiefe der Schrauben war für alle Versuchsreihen auf Grund der gewählten WT-T-Schraube mit einem glatten Schaft zwischen Bohr- und Kopfgewinde gleich.

Analog zu den im Abschnitt 2 beschriebenen Zugscherversuchen (Grundlagenversuche) war hier ein Traglastzuwachs und Zuwachs der Steifigkeiten mit größer werdendem Einschraubwinkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung des Deckenbalkens zu beobachten. Mit größer werdendem Einschraubwinkel konnte die Zugkraftkomponente der Vollgewindeschraube wirksamer ausgenutzt werden. Dieser Effekt kann noch deutlicher bei den Anschlüssen mit zwei Vollgewindeschrauben je Verbindung beobachtet werden.



Bezeichnung	max. Traglast $F_{max}$ [kN]	Anfangsver- schiebungs- modul $k_i$ [kN/mm]	Ver- schiebungs- modul $k_s$ [kN/mm]	horizontale Verschiebung		Verdrehung DB zum LT $h = 158$ mm $\phi$ [°]	Nebenträger		Hauptträger		Versagen
				oben $\delta_{oben}$ [mm]	unten $\delta_{unten}$ [mm]		Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	
OB-E-1-30-25	8,34	5,59	5,13	-0,310	-0,071	0,09	451	9,7	414	9,8	1
OB-E-1-30-25x	10,0	4,75	4,72	-0,015	-0,403	-0,14	416	9,8	437	10,0	1
OB-E-1-30-26	15,3	10,6	9,90	-0,119	0,045	0,06	474	10,2	433	10,1	1
OB-E-1-30-26x	17,6	12,7	10,5	-0,172	-0,046	0,05	432	10,0	436	9,8	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>12,8</b>	<b>8,42</b>	<b>7,56</b>				<b>443</b>	<b>9,9</b>	<b>430</b>	<b>9,9</b>	
OB-E-1-45-27	12,2	12,4	15,4	-0,128	-0,036	0,03	431	9,7	468	9,4	3
OB-E-1-45-27x	19,0	11,5	10,1	-0,204	-0,001	0,07	454	10,2	438	9,8	1
OB-E-1-45-28	17,6	13,9	13,0	-0,114	-0,277	-0,06	456	9,8	463	10,1	1
OB-E-1-45-28x	* <sup>1)</sup> 27,8						488	10,4	479	10,2	4
<b>Mittelwerte</b>	<b>16,3</b>	<b>12,6</b>	<b>12,8</b>				<b>447</b>	<b>9,9</b>	<b>456</b>	<b>9,8</b>	
OB-E-1-60-29	15,5	15,3	15,6	-0,034	-0,256	-0,08	437	9,6	419	9,4	3
OB-E-1-60-29x	16,0	12,3	11,2	-0,461	0,140	0,22	439	10,0	431	9,6	1
OB-E-1-60-30	15,8	15,7	12,9	-0,250	0,399	0,24	482	9,6	507	9,9	1
OB-E-1-60-30x	19,7	14,5	14,6	-0,344	-0,099	0,09	505	10,3	429	9,9	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>16,8</b>	<b>14,5</b>	<b>13,6</b>				<b>466</b>	<b>9,9</b>	<b>446</b>	<b>9,7</b>	

\*<sup>1)</sup> Werte wegen Versagen 4 bzw. 5 nicht berücksichtigt

**Tabelle 7:** Einzelergebnisse der Versuchsreihe ohne Beplankung mit einer Schraube

Bezeichnung	max. Traglast $F_{max}$ [kN]	Anfangsver- schiebungs- modul $K_i$ [kN/mm]	Ver- schiebungs- modul $K_s$ [kN/mm]	horizontale Verschiebung		Verdrehung DB zum LT $h = 158$ mm $\phi$ [°]	Nebenträger		Hauptträger		Versagen
				oben $\delta_{oben}$ [mm]	unten $\delta_{unten}$ [mm]		Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	
OB-E-2-30-31	14,4	25,0	22,0	0,158	0,061	-0,04	426	440	9,2	9,8	1
OB-E-2-30-31x	19,7	n.m.	n.m.	-0,099	0,047	0,05	443	414	9,4	9,2	1 und 2
OB-E-2-30-32	17,6	24,4	19,1	0,004	-0,135	-0,05	432	468	9,9	10,0	1 und 2
OB-E-2-30-32x	20,6	n.m.	n.m.	-0,077	-0,005	0,03	456	451	10,3	10,1	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>18,1</b>	<b>24,7</b>	<b>20,6</b>				<b>439</b>	<b>443</b>	<b>9,7</b>	<b>9,8</b>	
OB-E-2-45-33	25,3	34,0	30,8	0,053	-0,002	-0,02	416	446	10,1	10,0	1 und 2
OB-E-2-45-33x	28,8	29,1	22,4	-0,231	0,314	0,20	450	450	9,8	10,1	1 und 2
OB-E-2-45-34	24,9	14,9	25,5	0,045	-0,206	-0,09	452	455	9,6	9,5	1 und 2
OB-E-2-45-34x	26,0	15,1	15,0	-0,185	0,309	0,18	480	448	9,3	10,2	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>26,2</b>	<b>23,3</b>	<b>23,4</b>				<b>449</b>	<b>450</b>	<b>9,7</b>	<b>10,0</b>	
OB-E-2-60-35	27,4	49,1	45,1	0,766	0,367	-0,14	472	420	10,5	10,7	1 und 2
OB-E-2-60-35x	33,7	35,6	33,5	0,005	-0,241	-0,09	421	439	10,2	10,5	1 und 2
OB-E-2-60-36	28,9	37,5	35,1	-0,088	0,203	0,11	449	461	10,6	10,5	3 und 2
OB-E-2-60-36x	34,1	47,3	40,0	-0,210	0,000	0,08	476	461	10,7	10,1	1 und 2
<b>Mittelwerte</b>	<b>31,0</b>	<b>42,4</b>	<b>38,4</b>				<b>455</b>	<b>445</b>	<b>10,5</b>	<b>10,5</b>	

Tabelle 8: Einzelergebnisse der Versuchsreihe ohne Beplankung mit zwei Schrauben

Bezeichnung	max. Traglast $F_{\max}$ [kN]	Anfangsver- schiebungs- modul $k_f$ [kN/mm]	Ver- schiebungs- modul $k_s$ [kN/mm]	horizontale Verschiebung		Verdrehung DB zum LT $h = 158$ mm $\phi$ [°]	Nebenträger		Hauptträger		Versagen
				oben $\delta_{\text{oben}}$ [mm]	unten $\delta_{\text{unten}}$ [mm]		Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	
MB-E-1-30-37	11,0	5,88	5,80	-0,263	-0,132	0,05	522	401	10,3	9,9	1
MB-E-1-30-37x	15,2	6,64	6,36	-0,434	-0,191	0,09	452	417	10,2	9,6	1
MB-E-1-30-38	10,2	5,98	5,95	-0,101	-0,083	0,01	403	455	9,4	10,3	1
MB-E-1-30-38x	14,1	8,74	8,69	-0,511	-0,121	0,14	469	447	10,3	10,5	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>12,6</b>	<b>6,81</b>	<b>6,70</b>				<b>461</b>	<b>430</b>	<b>10,1</b>	<b>10,1</b>	
MB-E-1-45-39	14,1	9,35	9,09	-0,290	-0,209	0,03	439	430	9,9	10,5	1
MB-E-1-45-39x	18,2	12,8	11,5	-0,202	-0,152	0,02	421	457	10,6	10,2	1
MB-E-1-45-40	14,5	8,88	7,80	-0,291	-0,051	0,09	463	428	10,6	9,9	1
MB-E-1-45-40x	15,8	7,84	7,42	-0,205	0,002	0,07	449	425	10,7	10,1	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>15,6</b>	<b>9,72</b>	<b>8,95</b>				<b>443</b>	<b>435</b>	<b>10,5</b>	<b>10,2</b>	
MB-E-1-60-41	13,5	10,6	9,98	-0,537	-0,301	0,09	405	469	10,6	10,3	1
MB-E-1-60-41x	15,7	7,2	7,20	-0,857	-0,088	0,28	429	428	10,8	10,1	3
MB-E-1-60-42	17,4	15,4	16,2	-0,308	-0,153	0,06	533	510	10,5	10,6	1
MB-E-1-60-42x	18,9	13,0	13,3	-0,258	0,094	0,13	489	492	10,7	10,3	1
MB-E-1-60-43	14,2	9,23	9,11	-0,432	-0,173	0,09	661	473	9,6	9,7	3
MB-E-1-60-43x	16,7	9,15	9,11	-0,538	0,014	0,20	473	468	9,3	9,8	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>16,0</b>	<b>10,8</b>	<b>10,8</b>				<b>498</b>	<b>473</b>	<b>10,3</b>	<b>10,1</b>	

Tabelle 9: Einzelergebnisse der Versuchsreihe mit Beplankung mit einer Schraube

Bezeichnung	max. Traglast $F_{max}$ [kN]	Anfangsver- schiebungs- modul $k_i$ [kN/mm]	Ver- schiebungs- modul $k_s$ [kN/mm]	horizontale Verschiebung		Verdrehung DB zum LT $h = 158$ mm $\phi$ [°]	Nebenträger Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]		Hauptträger Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]		Versagen
				oben $\delta_{oben}$ [mm]	unten $\delta_{unten}$ [mm]		Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	
MB-E-2-30-44	13,9	26,1	24,5	0,054	-0,925	-0,36	421	420	10,1	1 und 2	
MB-E-2-30-44x	17,8	17,4	14,1	0,016	0,060	0,02	463	406	10,4	1 und 2	
MB-E-2-30-45	16,9	27,7	21,6	0,162	-0,144	-0,11	428	466	10,3	1 und 2	
MB-E-2-30-45x	19,0	14,6	12,7	-0,066	-0,209	-0,05	510	458	10,7	1 und 2	
<b>Mittelwerte</b>	<b>16,9</b>	<b>21,4</b>	<b>18,2</b>				<b>455</b>	<b>438</b>	<b>10,4</b>		
MB-E-2-45-46	<sup>*)</sup> 14,9						427	432	10,1	5	
MB-E-2-45-46x	26,3	n.m.	n.m.	-0,216	0,075	0,11	433	441	10,1	1 und 2	
MB-E-2-45-47	23,7	43,1	26,5	0,026	0,008	-0,01	457	461	10,7	1 und 2	
MB-E-2-45-47x	26,8	24,6	21,3	-0,411	0,270	0,25	469	460	10,8	1 und 2	
<b>Mittelwerte</b>	<b>25,6</b>	<b>33,9</b>	<b>23,9</b>				<b>453</b>	<b>454</b>	<b>10,5</b>		
MB-E-2-60-48	27,3	64,5	61,5	-0,022	-0,099	-0,03	436	437	10,6	1 und 2	
MB-E-2-60-48x	28,6	32,7	41,2	-0,325	0,167	0,18	495	449	10,5	1 und 2	
MB-E-2-60-49	30,4	28,1	28,3	-0,160	-0,416	-0,09	480	487	9,6	1 und 2	
MB-E-2-60-49x	32,4	28,5	36,2	-0,309	-0,051	0,09	485	466	9,7	1 und 2	
<b>Mittelwerte</b>	<b>29,7</b>	<b>38,5</b>	<b>41,8</b>				<b>474</b>	<b>460</b>	<b>10,1</b>		

<sup>\*)</sup> Werte wegen Versagen 4 bzw. 5 nicht berücksichtigt

**Tabelle 10:** Einzelergebnisse der Versuchsreihe mit Beplankung mit zwei Schrauben

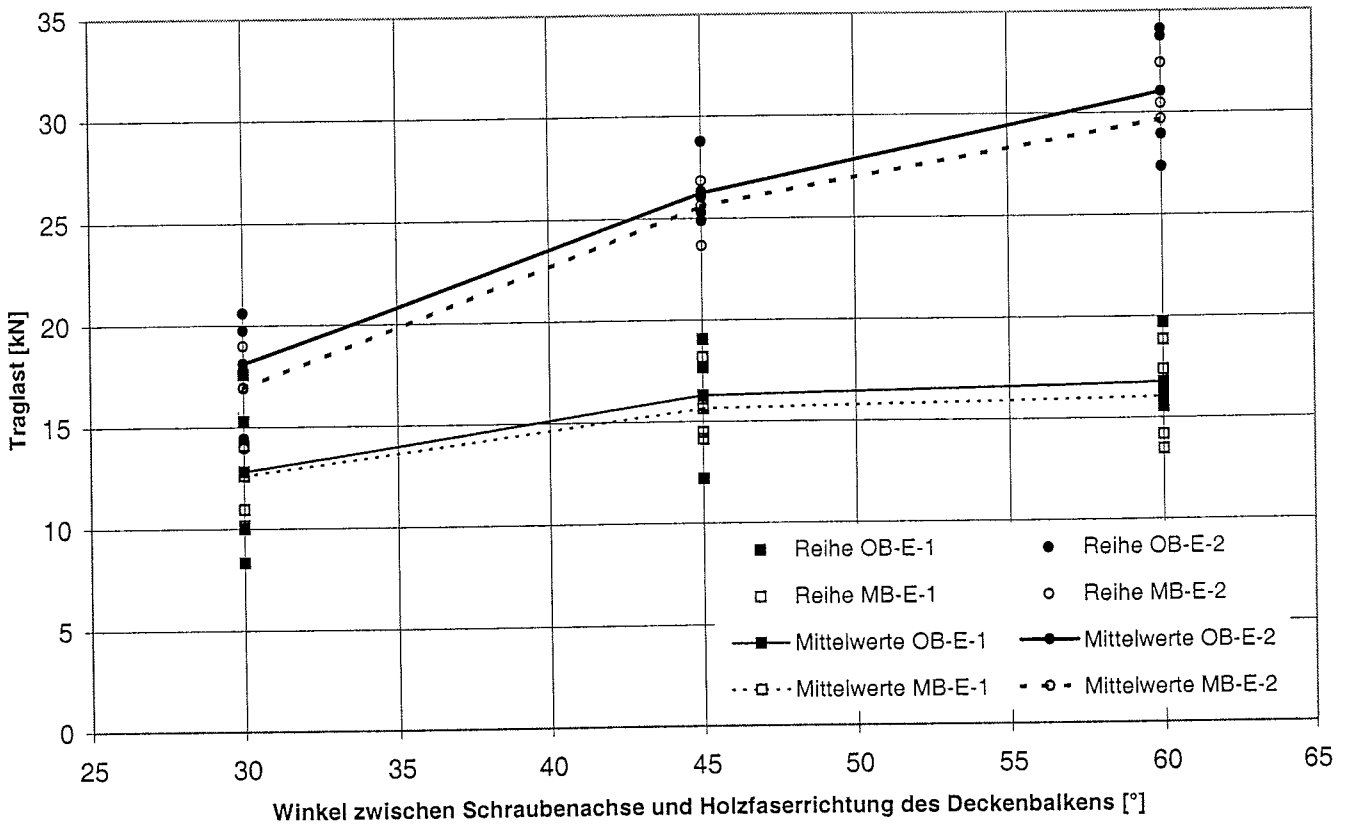


Bild 15: Traglasten für Anschlüsse mit eingespannt gelagerten Längsträgern

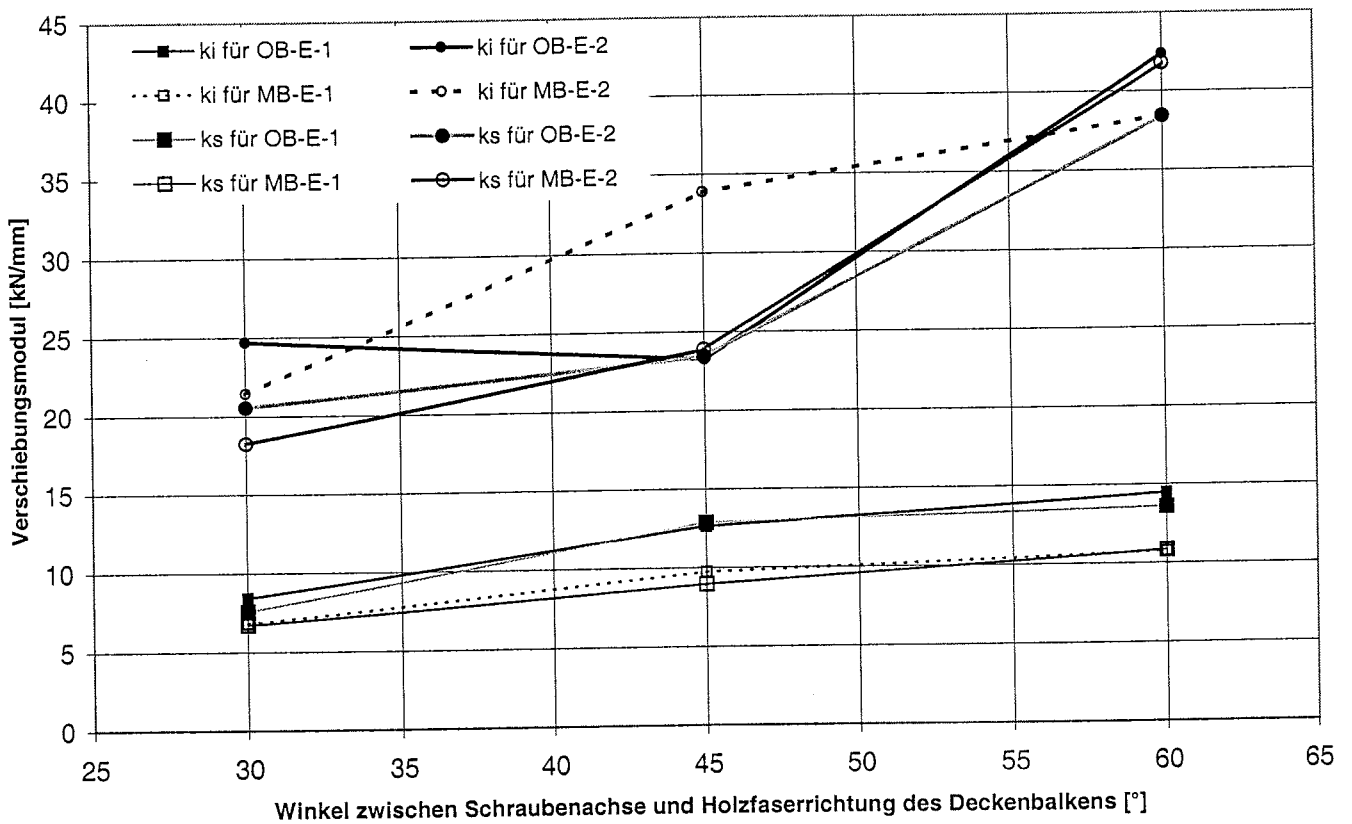
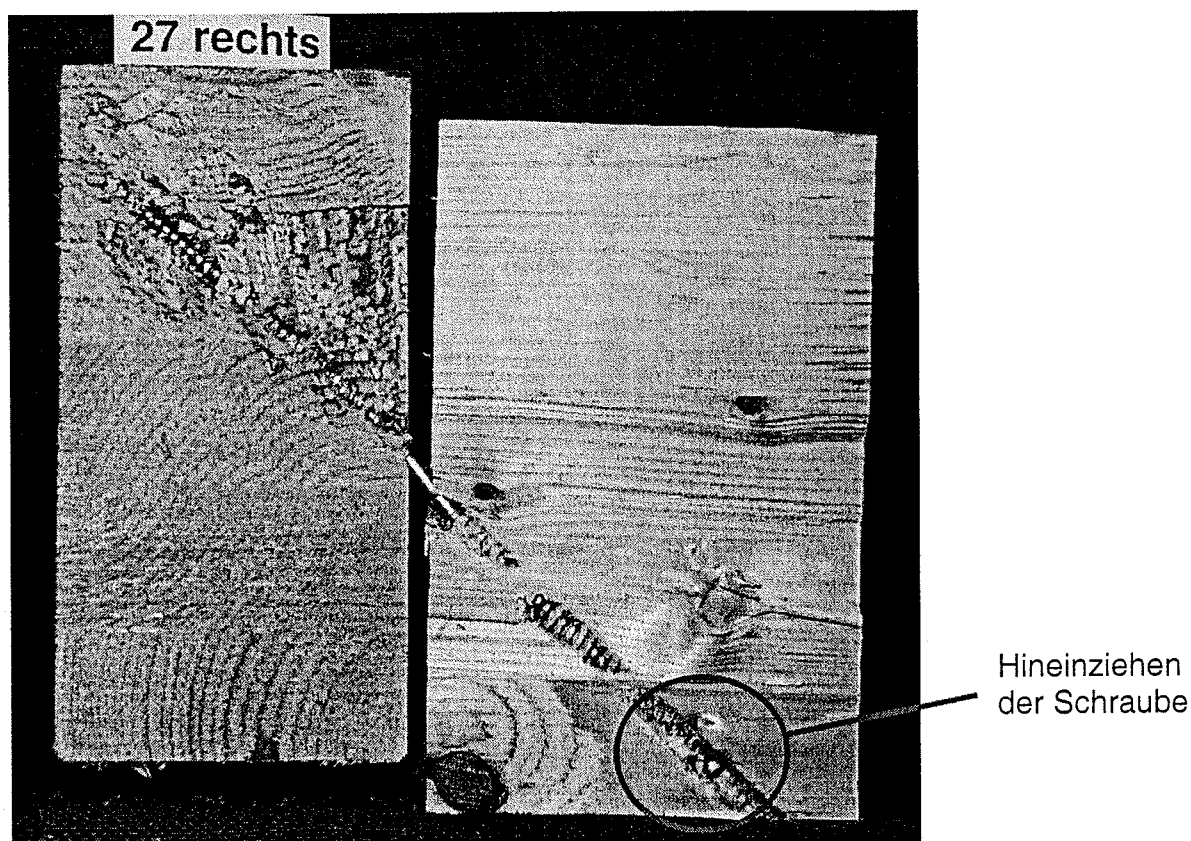


Bild 16: Verschiebungsmodul für Anschlüsse mit eingespannten Längsträgern

### 3.3.2 Beschreibung der Versagensarten

Die häufigste Versagensart bei Anschlüssen mit einer von unten eingedrehten Schraube war ein kombiniertes Versagen infolge Abscheren und Herausziehen der Vollgewindeschraube aus dem Nebenträger/Deckenbalken. Hierbei wurde die von unten in den Nebenträger eingedrehte Vollgewindeschraube in den Nebenträger hineingezogen. In Bild 17 ist dieser Versagensfall für den geprüften Anschluss OB-E-1-45-27x abgebildet. Links im Bild ist der Querschnitt durch den Hauptträger und rechts im Bild ein Teil des Nebenträgers mit dem in das Holz hineingezogenen Schraubenkopf zu sehen.

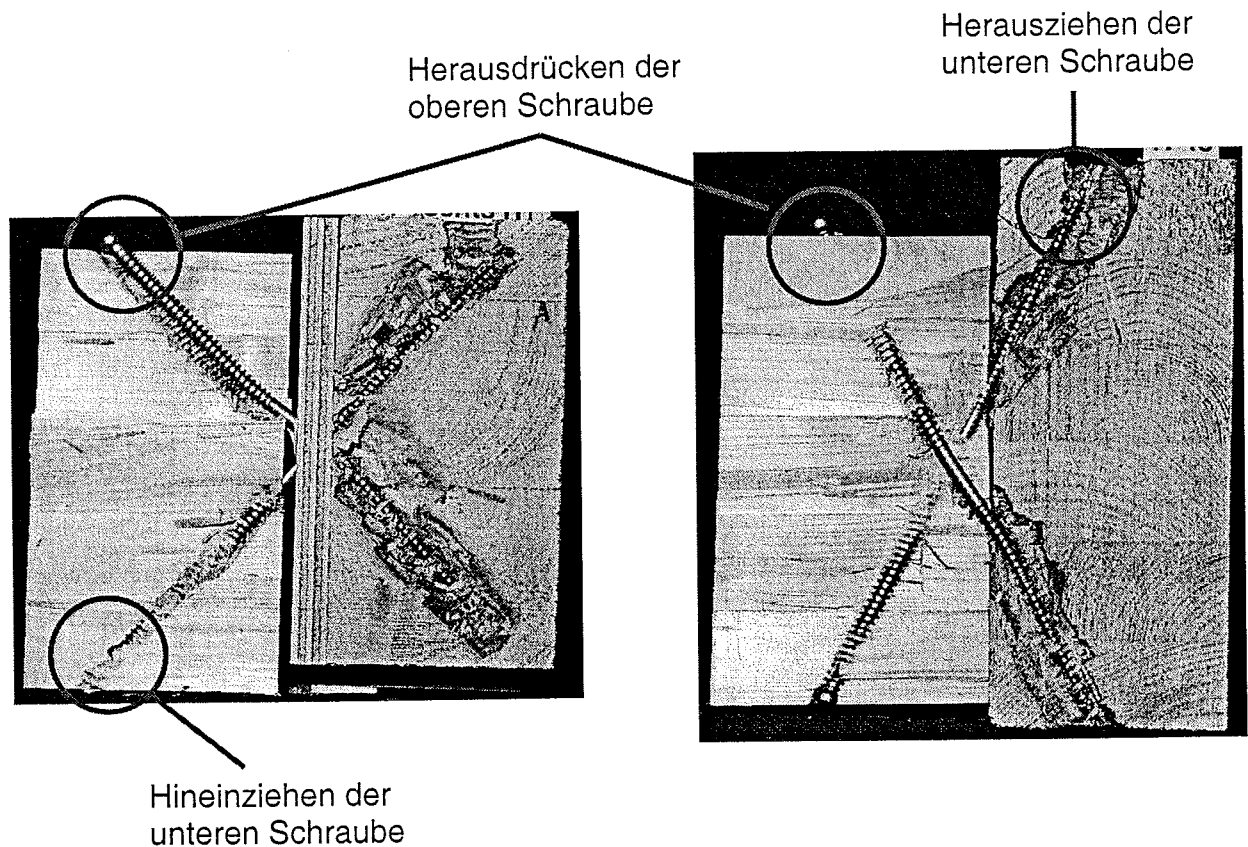
Obwohl die Einschraubtiefe der Vollgewindeschraube im Hauptträger etwas kleiner war als im Nebenträger, wurden die Vollgewindeschrauben dennoch in die Nebenträger hineingezogen. Ursache hierfür sind die geringeren Werte der Ausziehparameter im Nebenträger wegen des kleineren Wertes des Winkels zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung.



**Bild 17:** Schnitt durch Versuchskörper OB-E-1-45-27x - Versagensfall 1

Die häufigste Versagensart bei Anschlüssen mit einer von oben und einer von unten eingedrehten Vollgewindeschraube war ein kombiniertes Versagen infolge Abscheren und Hineinziehen der unteren Schraube analog zu dem oben beschriebenen Versagen (Versagensfall 1) und Herausdrücken und Abscheren der oberen Schraube aus dem Nebenträger (Versagensfall 2, siehe Bild 18). Herausziehen und Abscheren der unteren Schraube aus dem Hauptträger (Versagensfall 3) und gleichzeitiges Herausdrücken sowie Abscheren der oberen Schraube aus dem Nebenträger (Versagensfall 2, siehe Bild 19) war ebenfalls - allerdings seltener - zu beobachten.

Querzugversagen der Neben- oder Hauptträger konnte bei keinem Versuchskörper beobachtet werden.



**Bild 18 links:** Schnitt durch Versuchskörper MB-E-2-45-47x - Versagensfall 1 u. 2

**Bild 19 rechts:** Schnitt durch Versuchskörper OB-E-2-60-36 - Versagensfall 3 u. 2

### 3.4 Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkig gelagerten Längsträgern

#### 3.4.1 Versuchsergebnisse

Die Last-Verformungsdiagramme aller durchgeführten Versuche mit gelenkig gelagerten Längsträgern sind in den Anlagen 5 bis 18 dargestellt. Die Prüfung mit dem Belastungsverfahren nach DIN EN 26891 wurde analog zu den im Abschnitt 3.3 beschriebenen Versuchen mit eingespannt gelagerten Längsträgern durchgeführt.

Bei der durchgeführten Biegeprüfung mit jeweils einem Anschluss links und rechts vom Deckenbalken kam es zuerst zum Versagen des Anschlusses mit der geringeren Tragfähigkeit. Für diese Versuche wurde das Belastungsverfahren nach DIN EN 26891 angewendet. Bei der anschließenden Prüfung des zweiten Anschlusses des Deckenbalkens wurden die Versuche nur weggesteuert durchgeführt. Für die mit dem nach DIN EN 26891 beschriebenen Belastungsverfahren durchgeführten Erstversuche eines Deckenbalkens gilt die auf Seite 23 beschriebene Versuchsbezeichnung. Für die anschließend durchgeführten Versuche mit der zweiten Deckenbalkenseite wurden die Probennummern der Versuchsbezeichnung mit einem "x" gekennzeichnet (z.B. OB-G-2-45-10x).

In Tabelle 11 bis 14 sind die Einzelergebnisse aller durchgeführten Versuche mit gelenkig gelagerten Längsträgern dargestellt, wobei folgende Tabellenunterteilung gewählt wurde:

- Tabelle 11: gelenkig gelagerte Deckenbalkenanschlüsse ohne Beplankung mit einer von unten eingedrehten Vollgewindeschraube
- Tabelle 12: gelenkig gelagerte Deckenbalkenanschlüsse ohne Beplankung mit jeweils einer von unten und einer von oben eingedrehten Vollgewindeschraube
- Tabelle 13: gelenkig gelagerte Deckenbalkenanschlüsse mit Beplankung mit einer von unten eingedrehten Vollgewindeschraube
- Tabelle 14: gelenkig gelagerte Deckenbalkenanschlüsse mit Beplankung mit jeweils einer von unten und einer von oben eingedrehten Vollgewindeschraube

In diesen Tabellen ist die Höchstlast  $F_{\max}$  sowie der Anfangsverschiebungsmodul  $k_i$  und der Verschiebungsmodul  $k_s$  angegeben. Die übrigen Spalten- und Zeilenbezeichnungen entsprechen den auf Seite 28 beschriebenen Bezeichnungen für Versuche mit eingespannt gelagerten Längsträgern.



Im Vergleich zu den Relativverdrehungen zwischen den Deckenbalken und den eingespannt gelagerten Längsträgern traten in diesen Versuchsreihen mit gelenkig gelagerten Längsträgern mit  $\phi_{\max} = 7,1^\circ$  deutlich größere Verdrehungen auf. Die angegebenen Relativverdrehungen  $\phi$  zwischen dem Deckenbalken und dem Längsträger sind die Relativverdrehungen bei Erreichen der Höchstlast  $F_{\max}$ .

Die Bezeichnungen der in der letzten Spalte angegebenen Versagensarten entsprechen der auf Seite 29 vorgestellten Zuordnung für die Versuchsreihen mit eingespannt gelagerten Längsträgern.

Die Verschiebungsmoduln  $k_i$  und  $k_s$  für die Versuchskörper MB-G-2-60-23/23x und 24x wurden nicht angegeben, da unrealistisch hohe Steifigkeitswerte ermittelt wurden, die als Ausreißer zu klassifizieren waren.

Die Traglasten sind für alle gelenkig gelagerte Längsträger abhängig vom Einschraubwinkel in Bild 20 dargestellt. In Bild 21 sind die zugehörigen Verschiebungsmoduln  $k_i$  und  $k_s$  angegeben.

Im Gegensatz zu den Anschlüssen mit eingespannten Längsträgern wurden bei den Anschlüssen mit gelenkig gelagerten Längsträgern geringere Traglasten erreicht. Die Beplankung hat ebenfalls keine signifikante Auswirkung auf die Traglasten, allerdings wird der Hebelarm zwischen der Querkraft in der Fuge und der Auflagerresultierenden um die Beplankungsbreite vergrößert. Bei den gelenkig gelagerten Längsträgern muss zu der Zugkraftkomponente aus der Querkraft gleichzeitig ein Moment infolge der Ausmitte aufgenommen werden. Dies ist die Hauptursache für die kleineren Traglasten bei den Anschlüssen mit gelenkig gelagerten Längsträgern.

Bezeichnung	max. Traglast $F_{\max}$ [kN]	Anfangsver- schiebungs- modul $k_i$ [kN/mm]	Ver- schiebungs- modul $k_s$ [kN/mm]	horizontale Verschiebung		Verdrehung DB zum LT $h = 158$ mm $\phi$ [°]	Nebenträger		Hauptträger		Versagen
				oben $\delta_{\text{oben}}$ [mm]	unten $\delta_{\text{unten}}$ [mm]		Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte der Versageslamelle [%]	Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte der Versageslamelle [%]	
OB-G-1-30-1	8,74	7,66	6,30	-0,116	0,057	0,06	416	10,7	418	10,9	1
OB-G-1-30-2	8,98	5,15	5,14	-0,165	-0,053	0,04	449	9,6	421	9,0	1
OB-G-1-30-2x	10,1	5,97	4,80	-0,159	-0,024	0,05	450	9,9	436	9,8	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>9,27</b>	<b>6,26</b>	<b>5,41</b>				<b>439</b>	<b>10,1</b>	<b>425</b>	<b>9,9</b>	
OB-G-1-45-3	12,5	11,9	11,3	-0,261	0,381	0,23	457	11,1	458	10,6	1
OB-G-1-45-4	13,0	10,3	9,76	-0,174	0,192	0,13	453	10,9	448	11,1	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>12,8</b>	<b>11,1</b>	<b>10,5</b>				<b>455</b>	<b>11,0</b>	<b>453</b>	<b>10,9</b>	
OB-G-1-60-5	8,22	11,9	13,9	0,254	13,7	4,85	454	10,8	424	10,7	3
OB-G-1-60-6	3,66	4,58	5,61	0,536	16,9	5,91	494	9,8	450	10,3	3
OB-G-1-60-6x	10,3	32,2	36,5	0,148	19,5	6,99	441	9,6	423	9,9	3
<b>Mittelwerte</b>	<b>7,40</b>	<b>16,23</b>	<b>18,65</b>				<b>463</b>	<b>10,1</b>	<b>432</b>	<b>10,3</b>	

Tabelle 11: Einzelergebnisse der Versuchsreihe ohne Beplankung mit einer Schraube

Bezeichnung	max. Traglast $F_{max}$ [kN]	Anfangsver- schiebungs- modul $k_i$ [kN/mm]	Ver- schiebungs- modul $k_s$ [kN/mm]	horizontale Verschiebung		Verdrehung DB zum LT $h = 158$ mm $\phi$ [°]	Nebenträger		Hauptträger		Versagen
				oben $\delta_{oben}$ [mm]	unten $\delta_{unten}$ [mm]		Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	
OB-G-2-30-7	15,6	15,1	13,9	-0,074	0,721	0,29	429	435	11,4	11,3	1
OB-G-2-30-7x	16,2	10,2	8,97	-0,049	0,000	0,02	421	419	12,8	11,2	1
OB-G-2-30-8	15,4	20,9	16,8	-0,132	0,357	0,18	450	446	11,1	11,2	1
OB-G-2-30-8x	16,8	19,7	16,0	-0,042	0,210	0,09	449	463	10,8	11,5	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>16,0</b>	<b>16,5</b>	<b>13,9</b>				<b>437</b>	<b>441</b>	<b>11,5</b>	<b>11,3</b>	
OB-G-2-45-9	<sup>*)</sup> 15,2										
OB-G-2-45-9x	20,7	54,3	43,9	-0,284	1,62	0,69	443	446	11,3	11,0	5
OB-G-2-45-10	15,2	19,2	16,6	-0,169	2,24	0,87	426	422	11,1	11,2	1
OB-G-2-45-10x	16,6	21,1	16,8	-0,362	3,27	1,32	500	458	11,3	11,4	3
<b>Mittelwerte</b>	<b>17,5</b>	<b>31,5</b>	<b>25,8</b>				<b>456</b>	<b>444</b>	<b>11,3</b>	<b>11,2</b>	
OB-G-2-60-11	14,8	66,7	55,2	-0,189	4,49	1,70	445	448	11,2	10,9	1
OB-G-2-60-12	16,0	110	95,9	-0,211	3,80	1,45	476	465	11,3	11,5	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>15,4</b>	<b>88,4</b>	<b>75,5</b>				<b>461</b>	<b>456</b>	<b>11,3</b>	<b>11,2</b>	

\*) Werte wegen Versagen 4 bzw. 5 nicht berücksichtigt

Tabelle 12: Einzelergebnisse der Versuchsreihe ohne Beplankung mit zwei Schrauben

Bezeichnung	max. Traglast $F_{\max}$ [kN]	Anfangsver- schiebungs- modul $k_i$ [kN/mm]	Ver- schiebungs- modul $k_s$ [kN/mm]	horizontale Verschiebung		Verdrehung DB zum LT $h = 158$ mm $\phi$ [°]	Nebenträger		Hauptträger		Versagen
				oben $\delta_{\text{oben}}$ [mm]	unten $\delta_{\text{unten}}$ [mm]		Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	Rohdichte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte [%]	
MB-G-1-30-13	7,43	5,19	4,35	-0,567	0,102	0,24	381	10,3	422	10,0	1
MB-G-1-30-13x	11,7	6,41	6,04	-0,239	0,097	0,12	367	10,2	421	10,2	1
MB-G-1-30-14	13,3	7,67	7,12	-0,347	0,084	0,16	402	10,5	457	10,1	1
MB-G-1-30-14x	13,2	15,3	11,6	-0,348	0,138	0,18	487	11,1	445	10,5	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>11,4</b>	<b>8,64</b>	<b>7,28</b>				<b>409</b>	<b>10,5</b>	<b>436</b>	<b>10,2</b>	
MB-G-1-45-15	13,7	12,2	10,4	-0,397	0,751	0,42	470	10,6	446	11,1	1
MB-G-1-45-15x	15,2	13,0	10,7	-0,564	1,30	0,68	451	10,5	451	10,8	1
MB-G-1-45-16	15,1	20,5	17,8	-0,673	1,56	0,81	482	9,7	470	9,8	1
MB-G-1-45-16x	15,4	9,57	10,0	-0,459	1,24	0,62	447	10,1	460	10,3	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>14,9</b>	<b>13,8</b>	<b>12,2</b>				<b>463</b>	<b>10,2</b>	<b>457</b>	<b>10,5</b>	
MB-G-1-60-17	7,11	6,75	6,94	-0,549	11,2	4,24	458	10,3	428	9,8	1
MB-G-1-60-17x	10,3	11,2	16,4	-0,800	18,8	7,07	455	10,7	411	10,3	1
MB-G-1-60-18	6,47	14,1	16,7	-0,183	10,1	3,74	449	10,5	463	10,4	1
MB-G-1-60-18x	6,29	10,6	13,3	-0,281	10,7	3,99	452	10,8	436	10,1	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>7,54</b>	<b>10,7</b>	<b>13,3</b>				<b>453</b>	<b>10,6</b>	<b>435</b>	<b>10,2</b>	

Tabelle 13: Einzelergebnisse der Versuchsreihe mit Beplankung mit einer Schraube

Bezeichnung	max. Traglast $F_{max}$ [kN]	Anfangsver- schiebungs- modul $k_i$ [kN/mm]	Ver- schiebungs- modul $k_s$ [kN/mm]	horizontale Verschiebung		Verdrehung DB zum LT $h = 158$ mm $\phi$ [°]	Nebenträger Rohdichte Feuchte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ] [%]		Hauptträger Rohdichte Feuchte der Versageslamelle [kg/m <sup>3</sup> ] [%]		Versagen
				oben $\delta_{oben}$ [mm]	unten $\delta_{unten}$ [mm]						
MB-G-2-30-19	12,5	25,0	20,5	0,012	0,376	0,13	415	8,9	428	9,7	1
MB-G-2-30-19x	14,9	21,4	18,9	0,034	0,278	0,09	430	9,7	446	9,3	1
MB-G-2-30-20	16,6	38,9	29,5	-0,148	1,02	0,42	443	10,1	466	10,3	1
MB-G-2-30-20x	16,8	16,6	14,0	-0,086	0,370	0,16	448	10,2	451	10,2	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>15,2</b>	<b>25,5</b>	<b>20,7</b>				<b>434</b>	<b>9,7</b>	<b>448</b>	<b>9,9</b>	
MB-G-2-45-21	14,8	54,5	42,1	-0,310	2,48	1,01	470	9,7	439	10,1	3
MB-G-2-45-21x	16,1	153	102	-0,280	2,63	1,06	447	10,4	427	10,2	1
MB-G-2-45-22	14,8	27,5	18,6	-0,296	2,21	0,91	474	10,0	449	9,8	1
MB-G-2-45-22x	15,2	42,6	34,6	-0,417	2,35	1,00	452	9,9	459	9,9	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>15,2</b>	<b>69,4</b>	<b>49,3</b>				<b>461</b>	<b>10,0</b>	<b>444</b>	<b>10,0</b>	
MB-G-2-60-23	13,1	>>100	>>100	-0,488	3,94	1,61	404	10,3	437	10,3	1
MB-G-2-60-23x	13,6	>>100	>>100	-0,534	5,16	2,07	442	10,5	442	10,5	3
MB-G-2-60-24	13,6	57,7	91,8	-0,738	5,33	2,20	470	9,8	461	9,4	1
MB-G-2-60-24x	12,7	>>100	>>100	-0,366	5,40	2,09	445	10,3	459	9,8	1
<b>Mittelwerte</b>	<b>13,3</b>	<b>&gt;&gt;100</b>	<b>&gt;&gt;100</b>				<b>440</b>	<b>10,2</b>	<b>449</b>	<b>10,0</b>	

Tabelle 14: Einzelergebnisse der Versuchsteile mit Beplankung mit zwei Schrauben

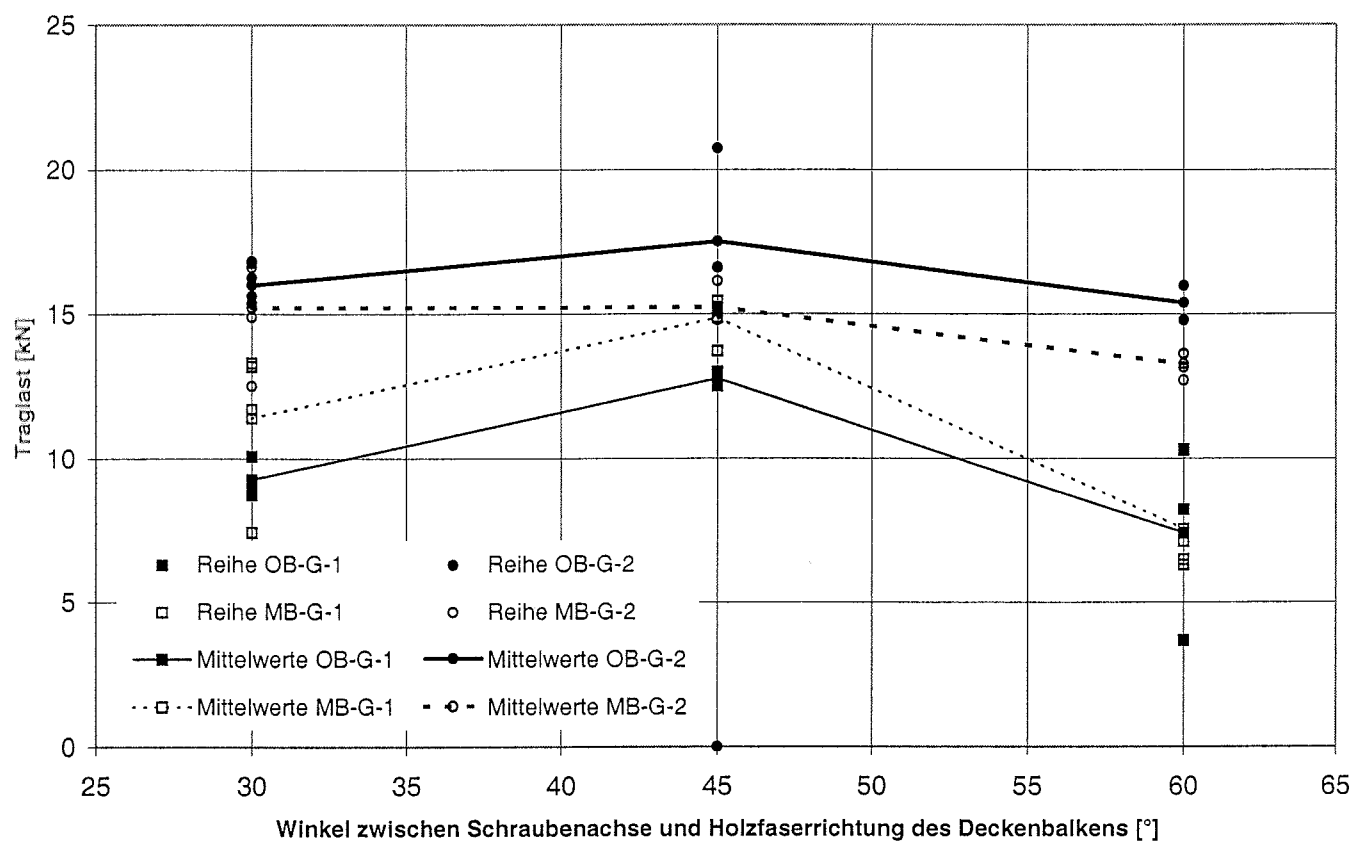


Bild 20: Traglasten für Anschlüsse mit gelenkig gelagerten Längsträgern

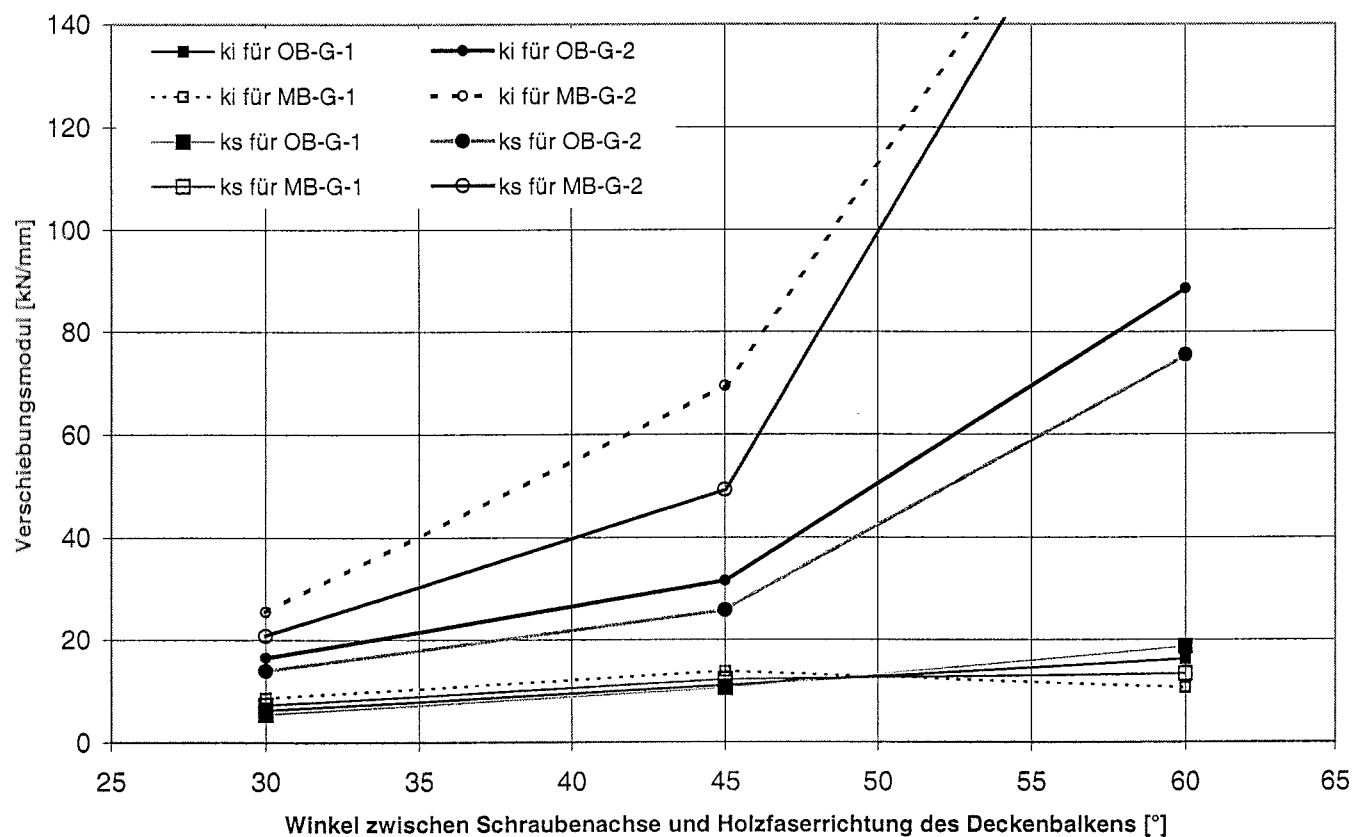


Bild 21: Verschiebungsmoduln für Anschlüsse mit gelenkigen Längsträgern

### 3.4.2 Beschreibung der Versagensarten

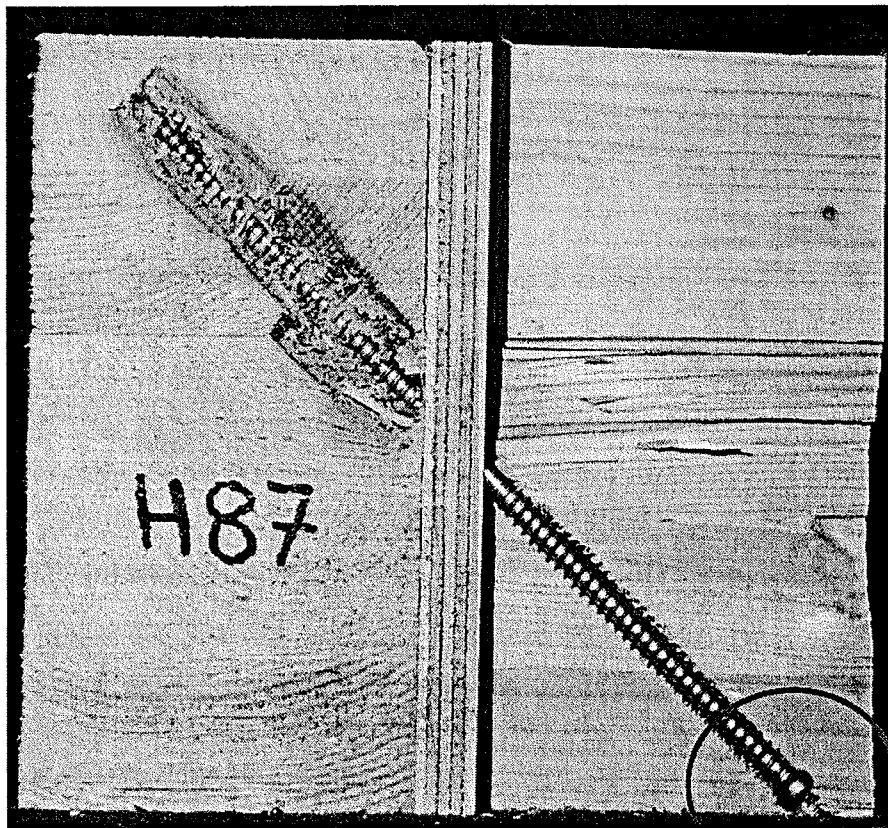
Die häufigste Versagensart bei Anschlüssen mit einer von unten eingedrehten Schraube war ein Versagen infolge Herausziehen der Vollgewindeschraube aus dem Nebenträger/Deckenbalken (Versagensfall 1). Hierbei wurde die von unten in den Nebenträger eingedrehte Vollgewindeschraube in diesen hineingezogen. Nur in wenigen Fällen einer geringeren Ausziehtragfähigkeit der Schraube aus dem Hauptträger im Vergleich zu der Ausziehtragfähigkeit aus dem Nebenträger konnte sich der dritte Versagensfall einstellen (siehe Tabelle 11 und 13). Im Vergleich zu den Prüfkörpern mit eingespannt gelagerten Längsträgern (siehe Abschnitt 3.3) war der Anteil der Abscherkomponente an der Gesamttragfähigkeit kleiner. Da die erreichten Traglasten im Vergleich zu den Versuchen mit eingespannt gelagerten Längsträgern kleiner waren, konnte ein plastisches Verformen der Verbindungsmittel sowie ein Erreichen der Lochleibungsfestigkeit des Holzes nur selten beobachtet werden. Die Hauptursache für die kleineren Traglasten bei diesen Anschlüssen im Vergleich zu den eingespannten Längsträgern ist das zusätzliche Moment infolge der Ausmitte zwischen der Querkraft in der Fuge und der Auflagerresultierenden, welches gleichzeitig mit der Zugkraftkomponente aus der Querkraft aufgenommen werden muss. Insbesondere für große Winkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung des Nebenträgers bzw. für große Ausmitten zwischen der Querkraft in der Fuge und der Auflagerresultierenden ist der Lastanteil aus dem Moment an der Traglast sehr groß. In Bild 22 ist der typische Versagensfall für diese Versuchsreihe mit gelenkig gelagerten Längsträgern und einer von unten eingedrehten Vollgewindeschraube dargestellt.

Die häufigste Versagensart bei Anschlüssen mit einer von oben und einer von unten eingedrehten Vollgewindeschraube war ein Versagen infolge Hineinziehen der unteren Schraube in den Nebenträger analog zu dem oben beschriebenen Versagen (Versagensfall 1) und Abscheren der von oben in den Nebenträger eingedrehten Schraube. Der typische Versagensfall für diese Versuchsreihe mit gelenkig gelagerten Längsträgern und je einer von oben und einer von unten in den Nebenträger eingedrehten Vollgewindeschraube ist in Bild 23 dargestellt.

Im Vergleich zu den Versuchen mit eingespannt gelagerten Längsträgern konnte bei den Versuchen mit gelenkig gelagerten Längsträgern ein Anstieg der Relativverdrehung zwischen dem Neben- und dem Hauptträger mit größerem Einschraubwinkel zwischen der Schraubenachse und der Holzfaserrichtung des Nebenträgers beobachtet werden (siehe Tabelle 11 bis 14). Bei dieser Versuchsreihe wird die Zugkraftkomponente aus der Querkraft über die untere Schraube und die

Druckkraftkomponente aus der Querkraft über die obere Schraube abgetragen. Mit steigendem Einschraubwinkel sinkt der Abstand zwischen der Zugkraft- und der Druckkraftkomponente in der Fuge zwischen dem Neben- und dem Hauptträger. Die Drehfedersteifigkeit wird umso kleiner, je kleiner dieser Abstand zwischen dieser Zugkraft- und der Druckkraftkomponente in der Fuge wird. Dies ist die Hauptursache für den Anstieg der Relativverdrehung zwischen dem Neben- und dem Hauptträger mit größerem Winkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung des Nebenträgers.

Querzugversagen der Neben- oder Hauptträger konnte bei keinem Versuchskörper beobachtet werden.

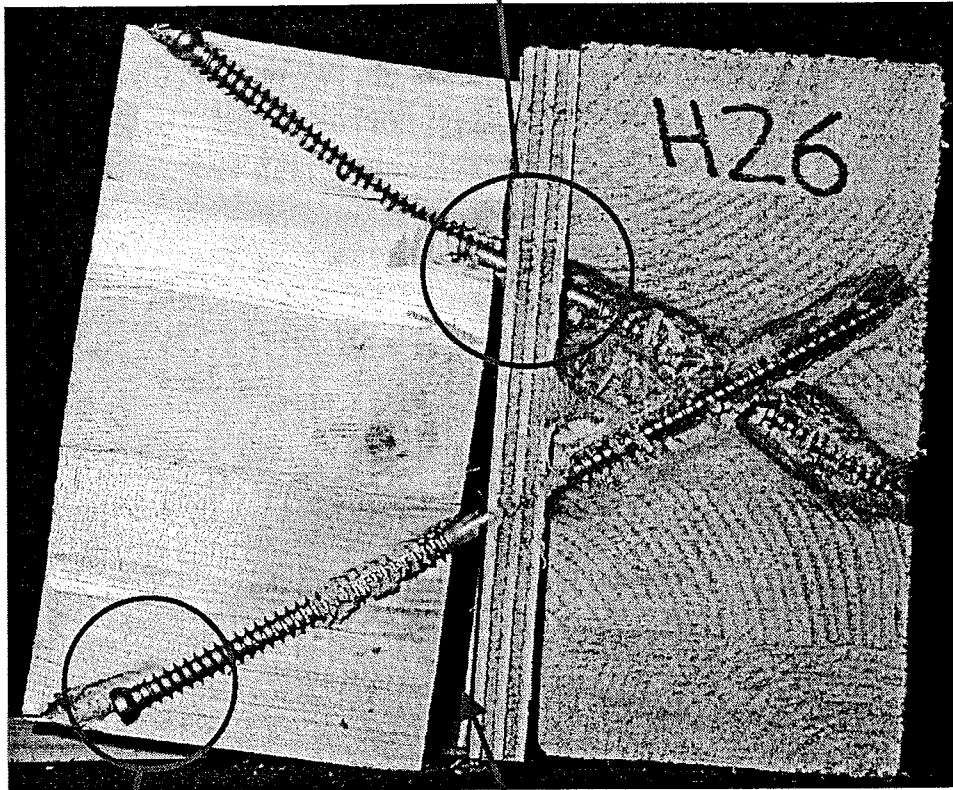


Hineinziehen der von unten eingedrehten Schraube

**Bild 22:** Schnitt durch Versuchskörper MB-G-1-45-16x - Versagensfall 1



Abscherversagen -  
VM3 nach Johansen



Hineinziehen der  
unteren Schraube

Verdrehen des Nebenträgers  
relativ zum Hauptträger

**Bild 23:** Schnitt durch Versuchskörper MB-G-2-30-19x - Versagensfall 1 und Abscheren der oberen Schraube

### 3.5 Ergebnisse der Ausziehversuche mit unterschiedlichen Einschraubwinkeln

Analog zum Verhalten der im Abschnitt 2 beschriebenen Versuche hat die Ausziehtragfähigkeit einer Schraube den größten Einfluss auf die Tragfähigkeit des Anschlusses zwischen Neben- und Hauptträger. Parallel zu den geprüften Deckenbalkenanschlüssen wurden im Hinblick auf die Versagensursache der Deckenbalkenanschlüsse Ausziehversuche mit unterschiedlichen Einschraubwinkeln durchgeführt, um eine rechnerische Abschätzung der Traglast der Anschlüsse zu ermöglichen.

Durch die Variation des Einschraubwinkels  $\alpha$  wurde die Abhängigkeit des Wertes des Ausziehparameters zum Winkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes untersucht.

Alle Ausziehversuche wurden an den Neben- und Hauptträgern der geprüften Deckenbalkenanschlüsse mit unveränderter Querschnittshöhe  $h = 200$  mm und Querschnittsbreite  $b = 100$  mm durchgeführt. Die Prüfkörperlänge wurde hierbei auf die erforderliche Prüfmaschinenlänge angepasst.

Die Prüfung erfolgte in Anlehnung an DIN EN 1382. Die Auswertung der Ergebnisse wurde in Anlehnung an E DIN 1052, Mai 2000, Anhang E.2.3.6 durchgeführt.

Geprüft wurden die auch in den Deckenbalkenanschlüssen verwendeten Vollgewindeschrauben WT-T - 8,2 x 245 mm der Firma SFS Stadler GmbH & Co. KG. Die Einschraubtiefe  $s_w$  betrug konstant 60 mm. Alle Schrauben wurden ohne Vorbohren ins Holz eingedreht.

Insgesamt wurden 4 unterschiedliche Reihen geprüft, wobei der Einschraubwinkel zwischen  $90^\circ$  und  $30^\circ$  zwischen der Schraubenachse und Faserrichtung des Holzes variiert wurde. Die Ergebnisse der Ausziehversuche sowie die charakteristischen Werte der Ausziehparameter in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes sind in Tabelle 15 dargestellt.

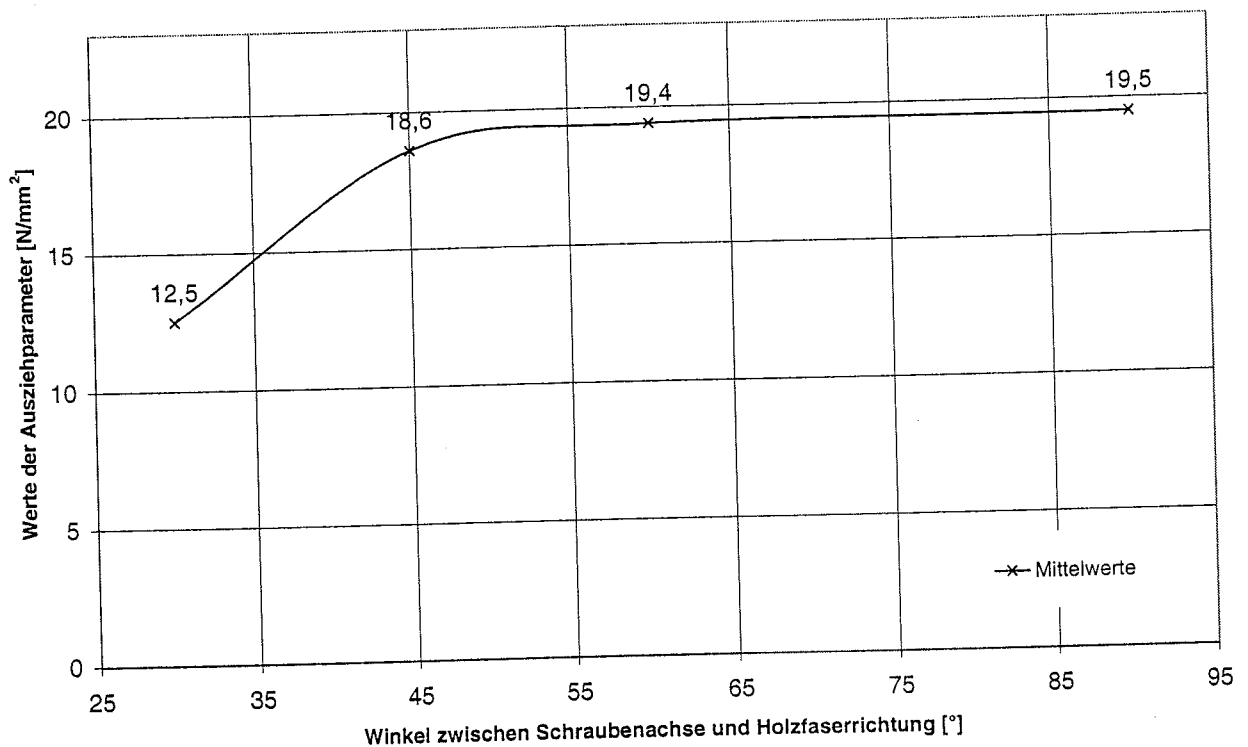
Der Mittelwert des Ausziehparameters ist in Abhängigkeit vom Winkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes in Bild 24 dargestellt. Angesichts der geringen und unterschiedlichen Anzahl der Ausziehversuche wurden die charakteristischen Werte der Ausziehparameter in Bild 24 nicht dargestellt.

Für rechtwinklig zur Faserrichtung eingedrehte Schrauben ( $\alpha = 90^\circ$ ) waren die höchsten Ausziehkräfte zu verzeichnen. Bis zu einem Einschraubwinkel von  $\alpha = 60^\circ$  sind bei allen Holzschrauben keine erkennbaren Unterschiede im Hinblick auf den Auszieh Widerstand zu erkennen. Für Winkel  $\alpha < 60^\circ$  ist ein deutlicher Abfall des Auszieh Widerstandes zu verzeichnen.

Mit den in Bild 24 dargestellten Ausziehparametern  $f_{1,\alpha}$  können für alle möglichen Einschraubtiefen  $s$  in [mm] die Werte der Auszieh Widerstände  $Z = f_{1,\alpha} \cdot s \cdot 8,2$  mm für diese Schraube mit einem Gewindeaußendurchmesser von 8,2 mm berechnet werden.

Tabelle 15: Einzelergebnisse der Ausziehversuche

Einschraubwinkel $\alpha$ [°]	30		45		60		90	
Einschraubtiefe $s_w$ [mm]	60		60		60		60	
SFS WT-T - $d_n \times l$ [mm]	8,2 x 245		8,2 x 245		8,2 x 245		8,2 x 245	
Nr.	radial	tangential	radial	tangential	radial	tangential	radial	tangential
1	7,45	7,42	9,76	8,35	9,89	9,40	8,98	12,2
2	5,01	4,91	11,8	8,62	9,07	9,30	12,5	7,21
3	6,19	6,01	7,60	8,71	9,74	9,90	8,62	8,93
4							11,8	8,30
5							9,03	
6							8,65	
7							9,16	
Mittelwert [kN]	6,17		9,13		9,55		9,58	
Standardabweichung [kN]	1,11		1,46		0,34		1,75	
Variationskoeffizient [%]	18,0%		16,0%		3,60%		18,3%	
$R_{k,\alpha}$ [kN]	3,75		5,95		7,47		6,22	
$f_{1,\alpha}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,5		18,6		19,4		19,5	
$f_{1,k,\alpha}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	7,61		12,1		15,2		12,6	

Bild 24: Werte der Ausziehparameter in Abhängigkeit vom Winkel  $\alpha$

### 3.6 Rechnerische Tragfähigkeit von Deckenbalkenanschlüssen mit Hilfe schräg eingedrehter Vollgewindeschrauben

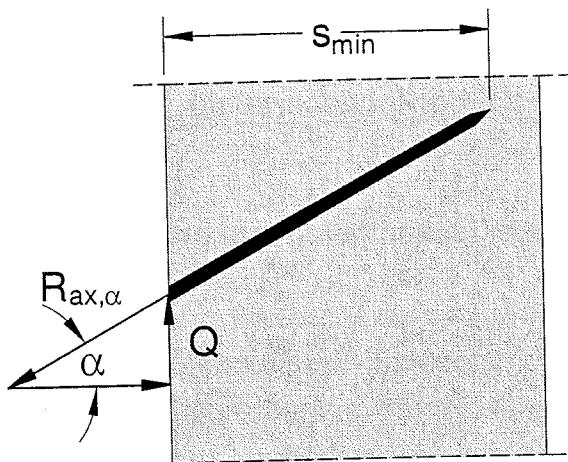
#### 3.6.1 Deckenbalkenanschlüsse mit eingespannten Längsträgern

Nachfolgend werden Gleichungen zur Berechnung der Tragfähigkeit von Deckenbalkenanschlüssen mit Hilfe schräg eingedrehter Vollgewindeschrauben aufgezeigt, die eine schnelle Dimensionierung dieser Anschlüsse erlauben.

Unabhängig von der Lagerungsart des Hauptträgers/Längsträgers wird bei Anschlüssen mit einer von unten in den Nebenträger/Deckenbalken eingedrehten Schraube diese Vollgewindeschraube vorwiegend auf Zug beansprucht. Die Abscherkomponente wird dabei um so kleiner, je größer der Winkel zwischen der Schraubenachse und der Holzfaserrichtung des Nebenträgers ist. Analog zu den im Abschnitt 2 beschriebenen Grundlagenversuchen (siehe Bild 10 auf Seite 18) beträgt der Anteil der Abscherkomponente an der rechnerischen Gesamttragfähigkeit des Anschlusses für Einschraubwinkel  $\alpha < 60^\circ$  zwischen Schraubenachse und Krafrichtung (entspricht einem Einschraubwinkel von  $\alpha > 30^\circ$  zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung des Nebenträgers für Deckenbalkenanschlüsse) weniger als 18%. Mit kleineren Winkeln und größeren Einschraubtiefen wird dieser Anteil noch geringer.

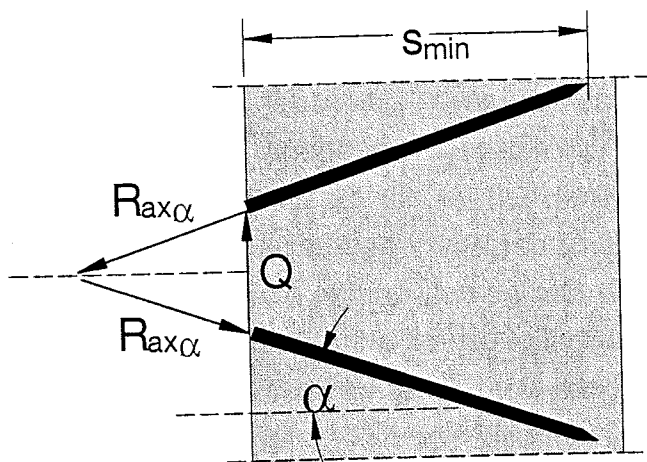
Die nachfolgenden Gleichungen wurden vereinfacht, indem zur Berechnung der Tragfähigkeit von Deckenbalkenanschlüssen der Anteil der Abscherkomponente nicht berücksichtigt wird. Die Abscherkomponente trägt ohnehin nur zu einem geringen Teil zur Tragfähigkeit bei, da die Einschraubwinkel für den Nebenträger größer als  $30^\circ$  sind. Damit ist der Wert des Ausziehparameters  $f_{1,\alpha}$  in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel der einzige notwendige Materialparameter zur Bestimmung der Tragfähigkeit. Andere materialspezifische Größen, wie z.B. die Lochleibungsfestigkeit  $f_{h,\alpha}$  in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel, die Gegenstand weiterführender Untersuchungen sein muss, sind nicht erforderlich.

Für Deckenbalkenanschlüsse mit eingespannten Längsträgern und einer von unten in den Nebenträger eingedrehten Schraube kann die aufnehmbare Querkraft  $Q$  in der Fuge zwischen dem Deckenbalken und dem Längsträger vereinfachend nach folgender Gleichung 2a ermittelt werden:



$$Q_{E,1} = R_{ax,\alpha} \cdot \sin \alpha = f_{1,\alpha} \cdot d \cdot s_{min} \cdot \tan \alpha \quad (2a)$$

Für Deckenbalkenanschlüsse mit eingespannten Längsträgern und einer von oben sowie einer von unten eingedrehten Schraube wird die Abscherkomponente ebenfalls nicht berücksichtigt. Der unteren Schraube wird hierbei die Zugkraftkomponente und der oberen Schraube die Druckkraftkomponente aus der Querkraft in der Fuge zugeteilt. Für Holzschrauben entspricht die Tragfähigkeit gegen Herausziehen aus dem Holz derjenigen gegen Hineindrücken ins Holz. Die Werte der Ausziehparameter  $f_{1,Druck}$  und  $f_{1,Zug}$  sind identisch.



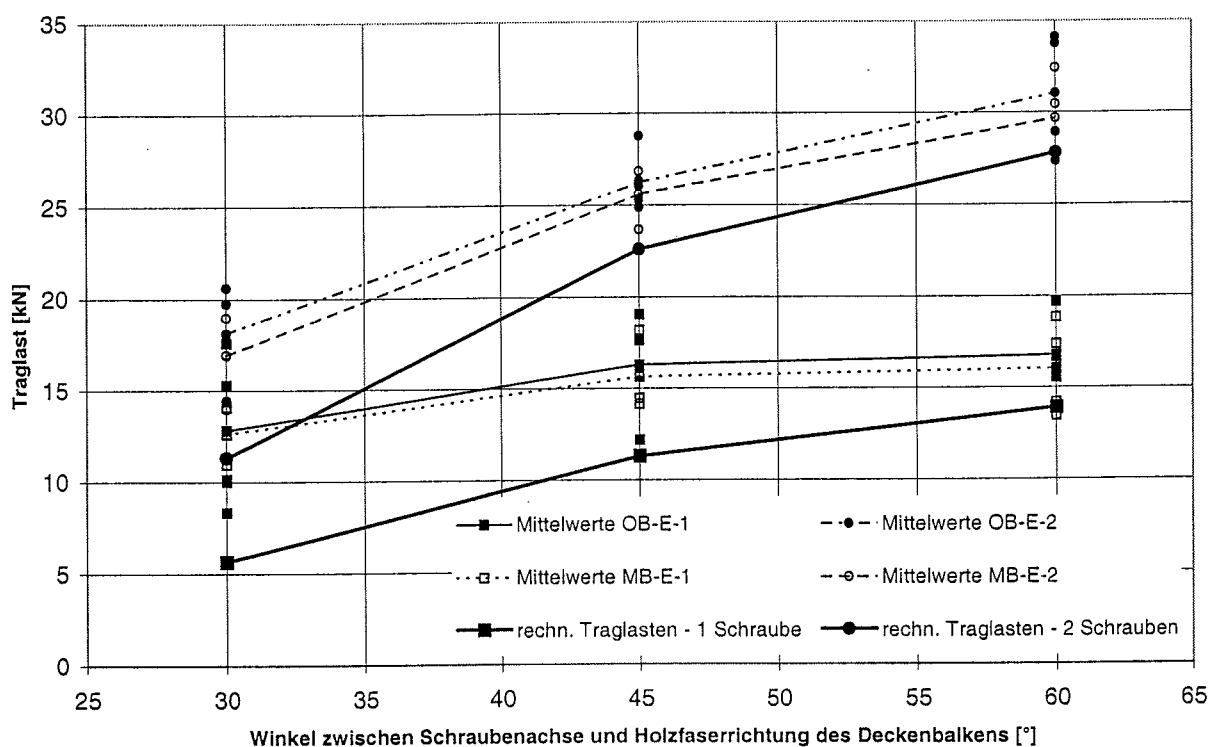
Vereinfachend kann die Querkraft in der Fuge nach folgender Gleichung 2b ermittelt werden:

$$Q_{E,2} = 2 \cdot R_{ax,\alpha} \cdot \sin \alpha = 2 \cdot f_{1,\alpha} \cdot d \cdot s_{min} \cdot \tan \alpha \quad (2b)$$

Hierin bedeuten:

- $Q_E$  aufnehmbare Querkraft für eingespannte Längsträger
- $f_{1,\alpha}$  Ausziehparameter in  $N/mm^2$  in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung
- $d$  Nenndurchmesser bzw. Gewindeaußendurchmesser der Schraube
- $s_{min}$  kleinerer Wert der Einschraubtiefe in den Holzteilen rechtwinklig zur Fuge
- $\alpha$  Winkel zw. Schraubenachse und Holzfaserrichtung des Nebenträgers
- $R_{ax,\alpha}$  axialer Ausziehwiderstand bzw. Widerstand gegen Hineindrücken

In Bild 25 sind die nach den Gleichungen (2a) und (2b) ermittelten aufnehmbaren Querkräfte für die Deckenbalkenanschlüsse mit eingespannten Längsträgern den in den Versuchen erreichten Traglasten gegenübergestellt. Die rechnerischen Traglasten wurden hierbei mit den maßgebenden Einschraubtiefen  $s$  sowie mit den in Abschnitt 3.5 ermittelten Werten des Ausziehparameters  $f_{1,\alpha}$  sowohl für den Haupt- als auch für den Nebenträger ermittelt. Maßgebend für die rechnerischen Traglasten ist der kleinere Wert des Ausziehwiderstandes im Haupt- bzw. im Nebenträger.



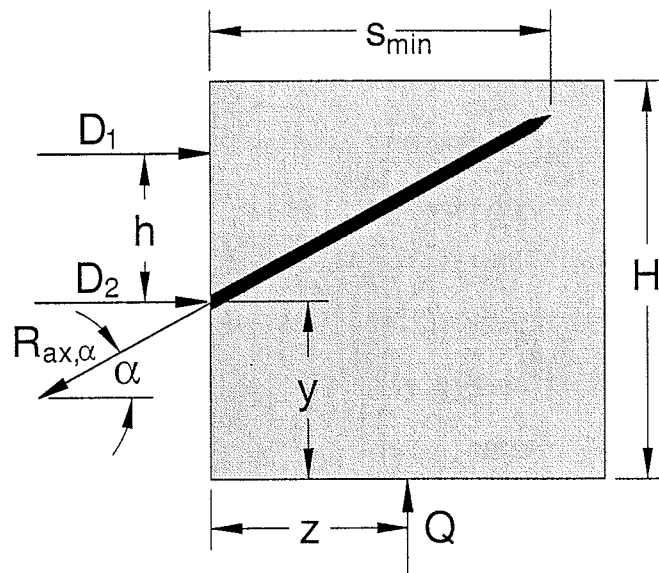
**Bild 25:** Traglasten für Anschlüsse mit eingespannten Längsträgern

Die in den Versuchen erreichten Lasten für alle vier Versuchsreihen für eingespannt gelagerte Längsträger sind durch die dünnen Linien dargestellt. Die dicken Linien zeigen die rechnerischen Traglasten für Deckenbalkenanschlüsse mit einer bzw. mit zwei Schrauben. Die in den Versuchen erreichten Lasten für Anschlüsse mit einer Beplankungsplatte zwischen den Trägern sind nur auf Grund der reduzierten Reibungskräfte in der Fuge geringfügig kleiner als die Traglasten für Anschlüsse ohne eine Beplankungsplatte. Die Einschraubtiefe der Schrauben war für alle Versuchsreihen auf Grund der gewählten WT-T-Schraube mit einem glatten Schaft zwischen Bohr- und Kopfgewinde gleich. Der Einfluss der Beplankungsplatte wurde auf Grund dieses in den Gleichungen (2a) und (2b) nicht berücksichtigten Reibeffektes bei den rechnerischen Traglasten nicht berücksichtigt.

Mit größeren Einschraubwinkeln zwischen der Schraubenachse und der Holzfaserrichtung des Deckenbalkens wird auch die Abscherkomponente immer kleiner. Der Quotient aus den rechnerischen Traglasten zu den Versuchslasten steigt und nähert sich dem Grenzwert 1 für Einschraubwinkel  $\alpha \rightarrow 90^\circ$ .

### 3.6.2 Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkigen Längsträgern

Analog zu den Gleichungen (2a) und (2b) für eingespannte Längsträger wurden die Gleichungen für gelenkige Längsträger vereinfacht, indem zur Berechnung der Tragfähigkeit von Deckenbalkenanschlüssen der Anteil der Abscherkomponente nicht berücksichtigt wird. Für Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkig gelagerten Längsträgern muss zusätzlich zu der Zug-/Druckkraftkomponente aus der Querkraft die Ausmitte  $z$  zwischen der Fuge und der Auflagerkraft  $Q$  berücksichtigt werden. Für Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkig gelagerten Längsträgern und einer von unten in den Nebenträger eingedrehten Schraube wirkt in der Fuge zwischen Deckenbalken und Längsträger die Druckkraftkomponente  $D_1$  aus dem Moment infolge der Ausmitte  $z$  zwischen der Fuge und der Auflagerkraft  $Q$  sowie die Druckkraftkomponente  $D_2$  aus der Querkraft in der Fuge. Für Winkel  $\alpha \leq \arctan(h/z)$  kann die aufnehmbare Querkraft  $Q$  in der Fuge zwischen dem Deckenbalken und dem Längsträger unabhängig von der Größe der Ausmitte  $z$  ermittelt werden. Für Winkel  $\alpha > \arctan(h/z)$  wird die rechnerische Druckkraftkomponente  $D_2$  negativ. Die aufnehmbare Querkraft  $Q$  in der Fuge zwischen dem Deckenbalken und dem Längsträger ist nun von dem Moment infolge der Ausmitte  $z$  abhängig.



Unter Berücksichtigung der Ausmitte  $z$  und des Winkels  $\alpha$  kann die aufnehmbare Querkraft  $Q$  in der Fuge zwischen dem Deckenbalken und dem Längsträger für Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkig gelagerten Längsträgern und einer von unten in den Nebenträger eingedrehten Schraube vereinfachend nach folgender Gleichung 2c ermittelt werden:

$$Q_{G,1} = k_{G,1} \cdot R_{ax,\alpha} \cdot \sin \alpha = k_{G,1} \cdot f_{1,\alpha} \cdot d \cdot s_{\min} \cdot \tan \alpha \quad (2c)$$

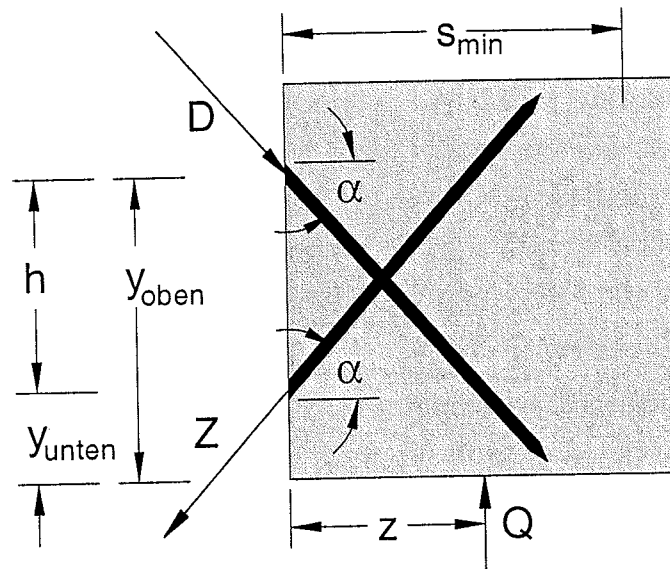
mit

$$k_{G,1} = \begin{cases} 1 & \text{für } \alpha \leq \arctan \frac{h}{z} \\ \frac{h}{z \cdot \tan \alpha} & \text{für } \alpha > \arctan \frac{h}{z} \end{cases} \quad \text{und} \quad k_{G,1} \leq 1$$

Analog zu den Deckenbalkenanschlüssen mit eingespannten Längsträgern wird für Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkig gelagerten Längsträgern und jeweils einer von unten sowie einer von oben in den Nebenträger eingedrehten Schraube die Zugkraftkomponente aus der Querkraft in der Fuge der unteren Schraube und die Druckkraftkomponente der oberen Schraube zugeteilt. Greifen die Druckkraft- und die Zugkraftkomponente sowie die Auflagerkraft  $Q$  in einem gemeinsamen Punkt an ( $\alpha = \arctan h/(2z)$ ), kann die Querkraft in der Fuge wie für Deckenbalkenanschlüsse mit eingespannten Längsträgern nach Gleichung 2b ermittelt wer-



den. Für diesen Fall werden sowohl die zug- als auch die druckbeanspruchte Schraube gleichermaßen beansprucht.



Für den Fall einer großen Ausmitte  $z$  zwischen der Fuge und der Auflagerkraft  $Q$  ( $\alpha > \arctan h/(2z)$ ) wird die druckbeanspruchte Schraube vollständig und die zugbeanspruchte Schraube nur mit dem Anteil  $Z = D \cdot (y_{\text{oben}} - z \cdot \tan \alpha) / (y_{\text{unten}} + z \cdot \tan \alpha)$  beansprucht. Für den umgekehrten Fall einer kleinen Ausmitte ( $\alpha < \arctan h/(2z)$ ) wird die zugbeanspruchte Schraube vollständig beansprucht. Die druckbeanspruchte Schraube kann nur den Anteil  $D = Z \cdot (y_{\text{unten}} + z \cdot \tan \alpha) / (y_{\text{oben}} - z \cdot \tan \alpha)$  aufnehmen. Unter Berücksichtigung der Ausmitte  $z$  und des Winkels  $\alpha$  kann die aufnehmbare Querkraft  $Q$  in der Fuge zwischen dem Deckenbalken und dem Längsträger für Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkig gelagerten Längsträgern und jeweils einer von unten sowie einer von oben in den Nebenträger eingedrehten Schraube vereinfachend nach folgender Gleichung 2d ermittelt werden:

$$Q_{G,2} = k_{G,2} \cdot R_{ax,\alpha} \cdot \sin \alpha = k_{G,2} \cdot f_{1,\alpha} \cdot d \cdot s_{\text{min}} \cdot \tan \alpha \quad (2d)$$

mit

$$k_{G,2} = \begin{cases} 1 + \frac{y_{\text{unten}} + z \cdot \tan \alpha}{y_{\text{oben}} - z \cdot \tan \alpha} & \text{für } \alpha < \arctan \frac{h}{2 \cdot z} \\ 2 & \text{für } \alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z} \\ 1 + \frac{y_{\text{oben}} - z \cdot \tan \alpha}{y_{\text{unten}} + z \cdot \tan \alpha} & \text{für } \alpha > \arctan \frac{h}{2 \cdot z} \end{cases} \quad \text{und } 1 \leq k_{G,2} \leq 2$$

Hierin bedeuten:

$Q_G$	aufnehmbare Querkraft für gelenkig gelagerte Längsträger
$R_{ax,\alpha}$	axialer Auszieh Widerstand bzw. Widerstand gegen Hineindrücken
$f_{1,\alpha}$	Ausziehparameter in $N/mm^2$ in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung
$d$	Nenn Durchmesser bzw. Gewindeaußendurchmesser der Schraube
$s_{min}$	kleinerer Wert der Einschraubtiefe in den Holzteilen rechtwinklig zur Fuge
$\alpha$	Winkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung des Nebenträgers
$h$	Hebelarm zwischen der Druck- und Zugkraftkomponente in der Fuge
$z$	Ausmitte = $B / 2$
$k_G$	Beiwerte der Ausmitte für Anschlüsse mit einer bzw. zwei Schrauben
$y_{oben}$	Lage der druckbeanspruchten Schraube
$y_{unten}$	Lage der zugbeanspruchten Schraube

In Bild 26 sind die nach den Gleichungen (2c) bzw. (2d) ermittelten aufnehmbaren Querkräfte für Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkigen Längsträgern den in den Versuchen erreichten Traglasten gegenübergestellt. Die rechnerischen Traglasten wurden hierbei mit den maßgebenden Einschraubtiefen  $s$  sowie mit den in Abschnitt 3.5 ermittelten Werten des Ausziehparameters  $f_{1,\alpha}$  sowohl für den Haupt- als auch für den Nebenträger ermittelt. Maßgebend für die rechnerischen Traglasten ist der kleinere Wert des Auszieh Widerstandes im Haupt- bzw. im Nebenträger. Im Gegensatz zu den rechnerischen Traglasten für Deckenbalkenanschlüsse mit eingespannten Längsträgern sind die rechnerischen Traglasten für Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkig gelagerten Längsträgern direkt von der Ausmitte  $z$  abhängig. Für Anschlüsse ohne Beplankung wurde die Ausmitte  $z$  zu  $z = 50$  mm, für Anschlüsse mit einer 15 mm dicken Beplankungsplatte zu  $z = 65$  mm gewählt.

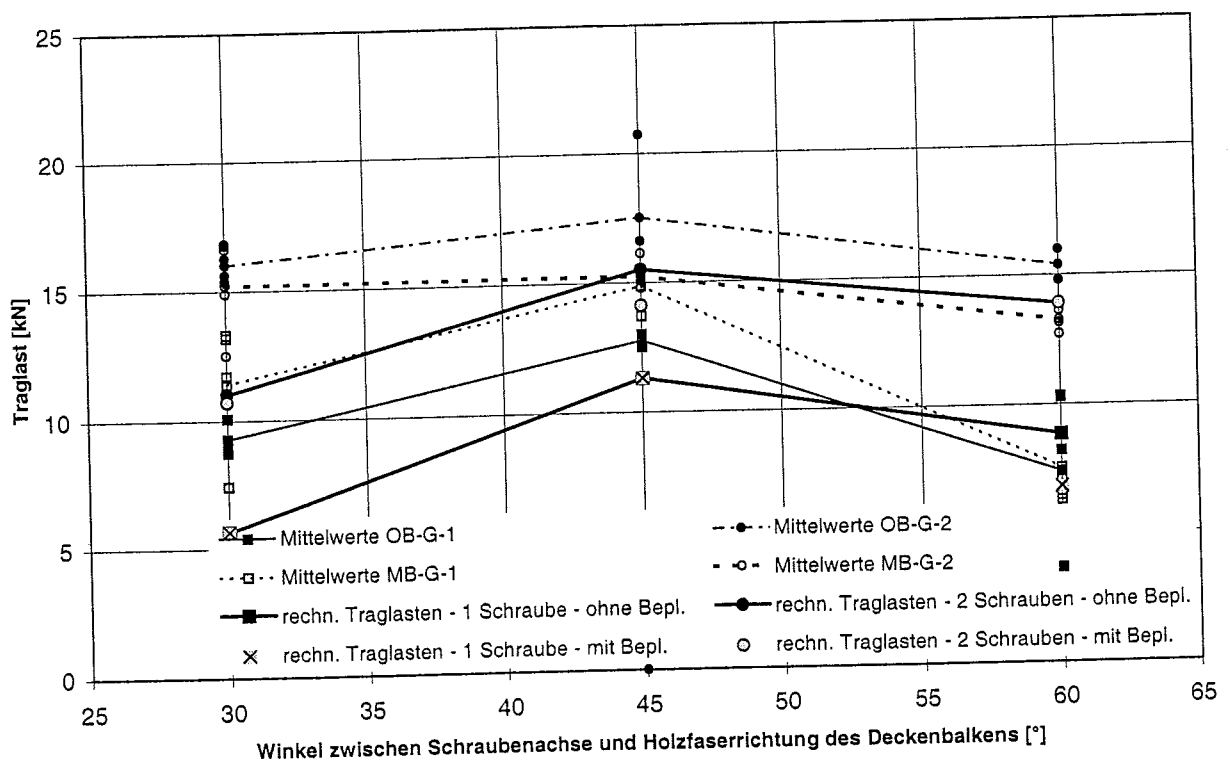
Der Hebelarm  $h$  zwischen der Druck- und der Zugkraftkomponente in der Fuge für Deckenbalkenanschlüsse mit jeweils einer von unten sowie einer von oben in den Nebenträger eingedrehten Schraube ist der Abstand zwischen der auf Zug und der auf Druck beanspruchten Schraube. Der Hebelarm  $h$  für Deckenbalkenanschlüsse mit einer auf Zug beanspruchten Schraube ist der Abstand zwischen der

auf Zug beanspruchten Schraube und der Resultierenden der Druckspannungskomponente in der Fuge. Unter der Annahme einer dreieckförmigen Druckspannungsverteilung oberhalb der Zugschraube kann der Hebelarm  $h$  nach folgender Gleichung 2e ermittelt werden:

$$h = \frac{2}{3} \cdot (H - y) \quad (2e)$$

Hierin bedeuten:

- $H$       Höhe des Längsträgers bzw. des Hauptträgers  
 $y$       Abstand der Vollgewindeschraube von der Deckenbalkenunterkante



**Bild 26:** Traglasten für Anschlüsse mit gelenkigen Längsträgern

Die in den Versuchen erreichten Lasten für alle vier Versuchsreihen für gelenkig gelagerte Längsträger sind durch die dünnen Linien dargestellt. Die dicken Linien zeigen die rechnerischen Traglasten für Deckenbalkenanschlüsse mit einer bzw. mit zwei Schrauben. Die in den Versuchen erreichten Lasten für Anschlüsse mit

einer Beplankungsplatte zwischen den Trägern und zwei Vollgewindeschrauben sind vor allem auf Grund der um 15 mm größeren Ausmitte z geringfügig kleiner als die Traglasten für Anschlüsse ohne eine Beplankungsplatte zwischen den Trägern.

Lediglich für Anschlüsse mit einer Beplankungsplatte zwischen den Trägern und einer Vollgewindeschraube waren die Versuchslasten geringfügig größer als die Traglasten für Anschlüsse ohne eine Beplankungsplatte zwischen den Trägern.

Wie man den Bildern 25 und 26 entnehmen kann, sind die rechnerischen Traglasten, die ausschließlich auf der Tragwirkung druck- und zugbeanspruchter Schrauben basieren, mit einer Ausnahme kleiner als diejenigen, die in den Versuchen ermittelt wurden.

Mit größeren Einschraubwinkeln zwischen der Schraubenachse und der Holzfaserrichtung des Deckenbalkens wird auch die Differenz zwischen den rechnerischen und den in den Versuchen ermittelten Traglasten kleiner.

Dies kann analog zu den Ergebnissen der Deckenbalkenanschlüsse mit eingespannten Längsträgern, mit der zusätzlichen Beanspruchung der Schrauben auf Abscheren erklärt werden, welche in den vereinfachten Gleichungen 2a bis 2d nicht berücksichtigt wurde.

### **3.7 Abschätzung der Lagerungsart für Deckenbalkenanschlüsse**

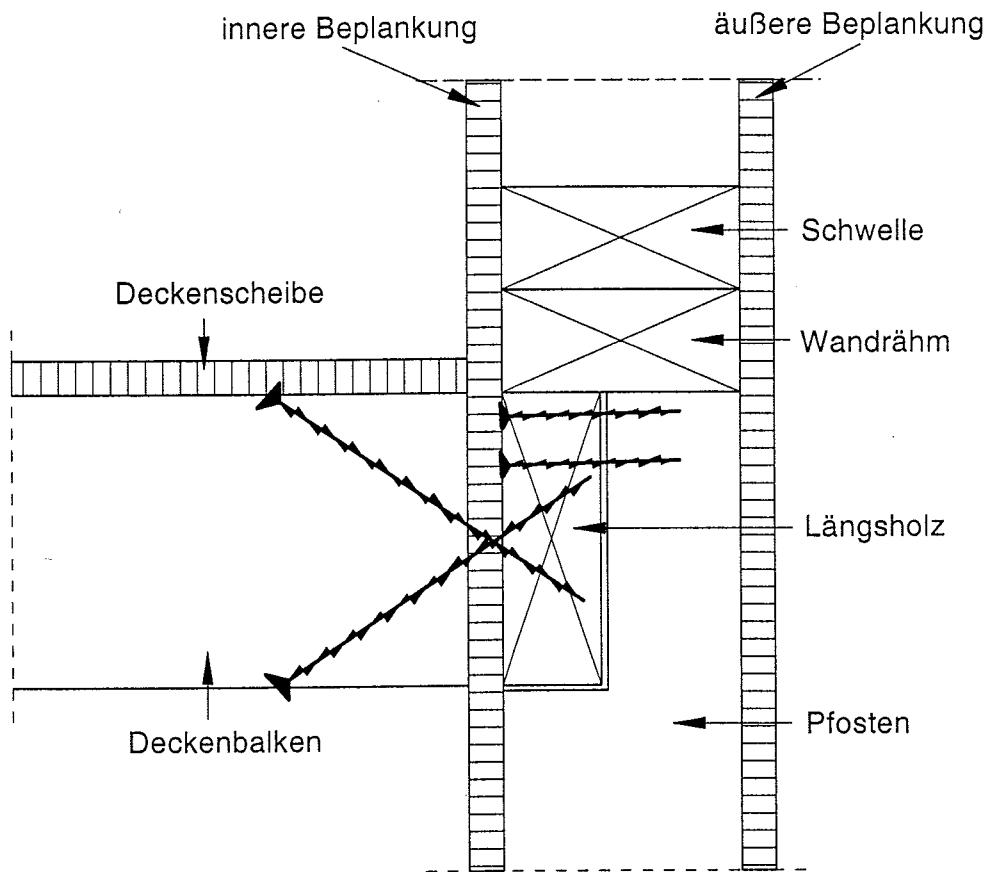
Die in Abschnitt 3.6 vorgestellten Gleichungen 2a bis 2d zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Deckenbalkenanschlüssen mit schräg eingedrehten Vollgewindeschrauben gelten nur für den Extremfall einer Einspannung (siehe Gl.2a und 2b) bzw. einer gelenkigen Lagerung des Längsträgers (siehe Gl.2c und 2d). In Wirklichkeit ist aber die Lagerung dieses Hauptträgers weder gelenkig noch eingespannt. Je nach Planung und Ausführung dieses Anschlusses stellt sich eine Lagerungsart zwischen gelenkiger Lagerung und Einspannung des Längsträgers ein.

Die Berechnung eines Deckenbalkenanschlusses mit einer nachgiebigen Einspannung des Längsträgers ist nur möglich, wenn die Relativverdrehungen zwischen dem Deckenbalken und dem Längsträger bekannt sind. Die rechnerische Traglast liegt dann zwischen der rechnerischen Traglast  $Q_E$  für Deckenbalkenanschlüsse mit eingespannten Längsträgern und der rechnerischen Traglast  $Q_G$  für Deckenbalkenanschlüsse mit gelenkig gelagerten Längsträgern.

Auf eine Abschätzung der Relativverdrehung zwischen dem Deckenbalken und dem Längsträger kann jedoch verzichtet werden, wenn die Anschlussgeometrie sinnvoll gewählt wird. Für Deckenbalkenanschlüsse mit einer von unten in den Nebenträger eingedrehten Schraube muss für den Winkel  $\alpha$  zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung des Deckenbalkens  $\alpha \leq \arctan(h/z)$  eingehalten werden (entspricht einer kleinen Ausmitte). Für diesen Fall kann ein Deckenbalkenanschluss mit gelenkiger Lagerung des Längsträgers wie ein Deckenbalkenanschluss mit eingespannter Lagerung des Längsträgers bemessen werden ( $k_{G,1} = 1$ ). Für Deckenbalkenanschlüsse mit jeweils einer von oben sowie einer von unten in den Deckenbalken eingedrehten Schraube ist der Beiwert der Ausmitte  $k_{G,2} = 2$ , wenn der Winkel  $\alpha$  gleich  $\arctan(h/(2 \cdot z))$  ist.

Eine Ausführung des Deckenbalkenanschlusses mit eingespannt gelagertem Längsträger ist dennoch anzustreben. Insbesondere diese Anschlüsse liefern eine gute Übereinstimmung zwischen den rechnerisch ermittelten Traglasten und den Versuchslasten, sowie höhere Steifigkeiten im Vergleich zu den Deckenbalkenanschlüssen mit gelenkig gelagerten Längsträgern.

Eine Einspannung des Längsträgers kann erreicht werden, wenn z.B. der Längsträger mit Hilfe von Holzschrauben an den Pfosten befestigt wird und somit eine Verdrehung des Längsträgers behindert wird. Die Zugkraftkomponente aus dem Torsionsmoment im Längsträger muss über geeignete Schrauben aufgenommen werden. Eine Möglichkeit, den Längsträger eingespannt auszuführen, ist in Bild 27 dargestellt. Die Aufnahme der Zugkraftkomponente aus dem Torsionsmoment im Längsträger erfolgt z.B. über zwei Vollgewindeschrauben, welche durch den Längsträger in den Pfosten eingedreht werden.



**Bild 27:** Deckenbalkenanschluss mit eingespannt gelagertem Längsträger

## 4 Zusammenfassung

Eine Rationalisierung und Kostensenkung des Bauens, insbesondere im Entwurf, in der Planung, Fertigung und Montage erfordert außer einer Standardisierung und Typisierung von Anschlüssen und Verbindungen im Holz-Wohnhausbau zusätzlich eine Optimierung vorhandener und eine Entwicklung neuer Anschlüsse und Verbindungen. Im Hinblick auf die gegenwärtige Entwicklung von Vollgewindeschrauben mit Längen bis zu 600 mm und Durchmessern bis zu 12 mm wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens neue typisierbare Verbindungen und Anschlüsse im Holz-Wohnhausbau entwickelt. Bei gleichzeitiger Traglaststeigerung und Steigerung der Steifigkeit im Vergleich zu den vorhandenen standardisierten Anschlüssen und Verbindungen sind mit diesen neuen Schraubenverbindungen Senkungen der Baukosten im Holz-Wohnhausbau erreichbar.

Mit den im Abschnitt 2 vorgestellten Grundlagenversuchen konnte die Wirksamkeit einer Verbindung mit schräg eingedrehten Schrauben demonstriert werden. Bei einer Anordnung rechtwinklig zur Belastungsrichtung wird eine Vollgewindeschraube analog zu Holz/Holz-Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln wie z.B. Bolzen und Nägeln nur auf Abscheren beansprucht. Durch die schräge Anordnung einer Vollgewindeschraube im Holz kann die Ausziehkomponente effektiv ausgenutzt werden.

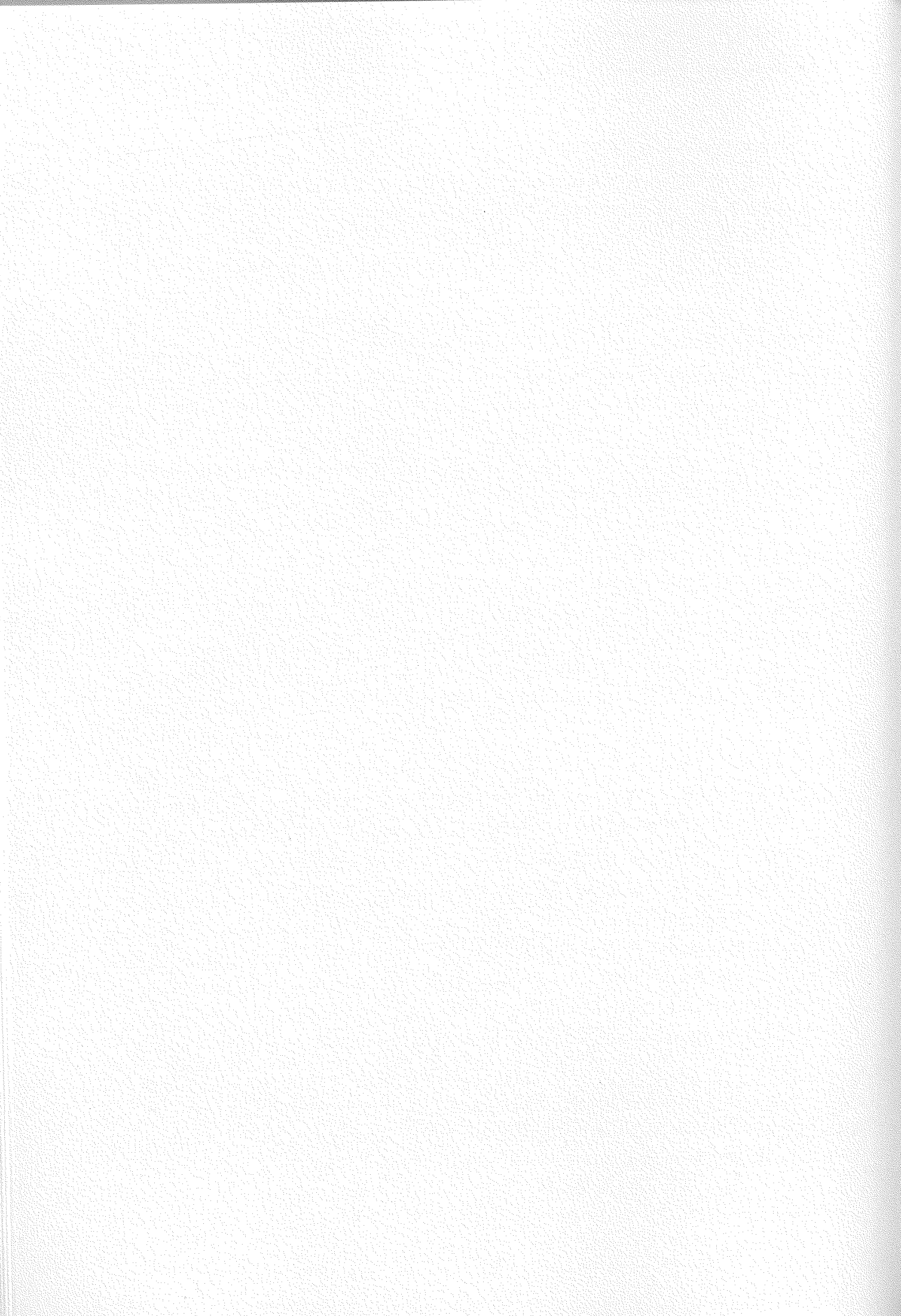
Die Traglasten und Steifigkeiten einer Verbindung mit schräg eingedrehten Schrauben sind merklich größer als die Traglasten für eine konventionelle Verbindung mit rechtwinklig zur Belastungsrichtung eingedrehten Schrauben.

Mit Hilfe dieser Erkenntnisse wurden Deckenbalkenanschlüsse im Holz-Wohnhausbau entwickelt und geprüft. Auch hier konnte ein Traglastzuwachs sowie ein Zuwachs der Steifigkeiten mit größer werdendem Einschraubwinkel zwischen der Schraubenachse und der Holzfaserrichtung des Deckenbalkens verzeichnet werden. Abhängig von der Lagerungsart, Lage und Anzahl der Vollgewindeschrauben sowie einer Beplankung zwischen Neben- und Hauptträger wurden für diese typisierbaren Anschlüsse vereinfachte Bemessungsgleichungen angegeben.

Die rechnerischen Traglasten sind merklich kleiner als die in den Versuchen erreichten Lasten, weil Einflussgrößen wie z.B. Abscheren sowie Reibung zwischen den Hölzern nicht berücksichtigt wurden. Die Entwicklung von besseren und genaueren Gleichungen zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Anschlüssen mit Hilfe schräg eingedrehter Schrauben erfordert aber die Kenntnis aller Einflussgrößen

und Eingangsparameter, welche im Rahmen dieses Forschungsvorhabens auf Grund der erforderlichen großen Versuchsanzahl nicht ermittelt werden konnten. Insbesondere zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit schräg zur Faser eingedrehter Verbindungsmittel sind weitergehende Untersuchungen erforderlich, die weitere Möglichkeiten für wirtschaftlichere Holzkonstruktionen eröffnen.





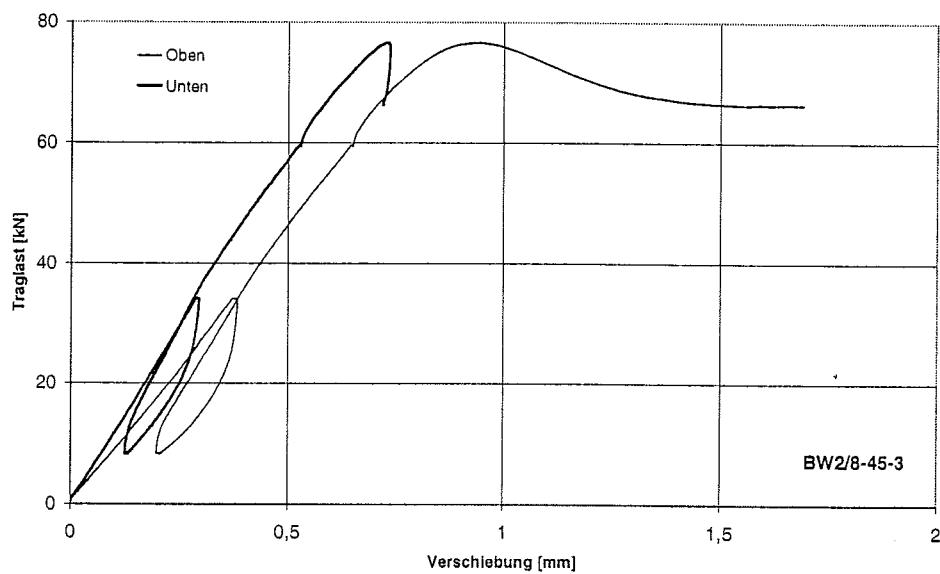
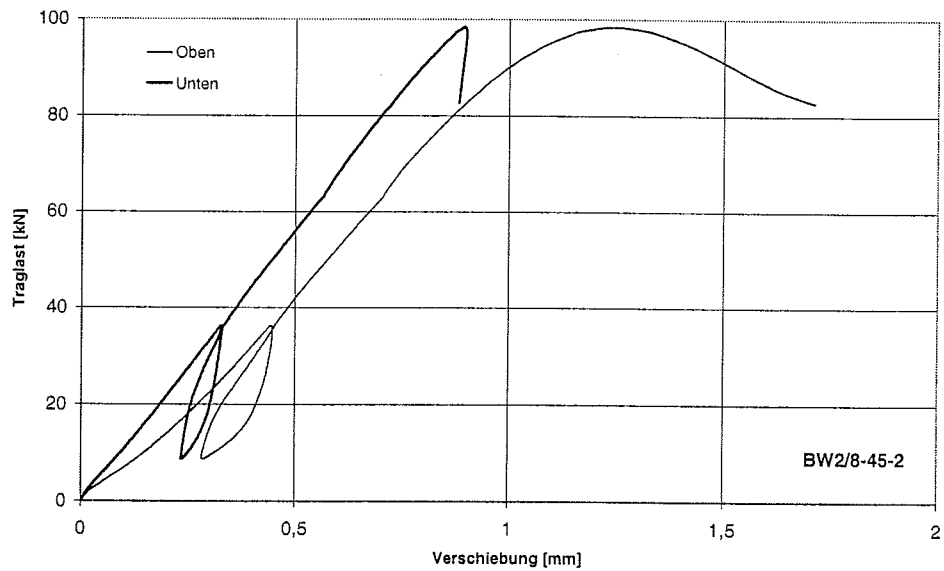
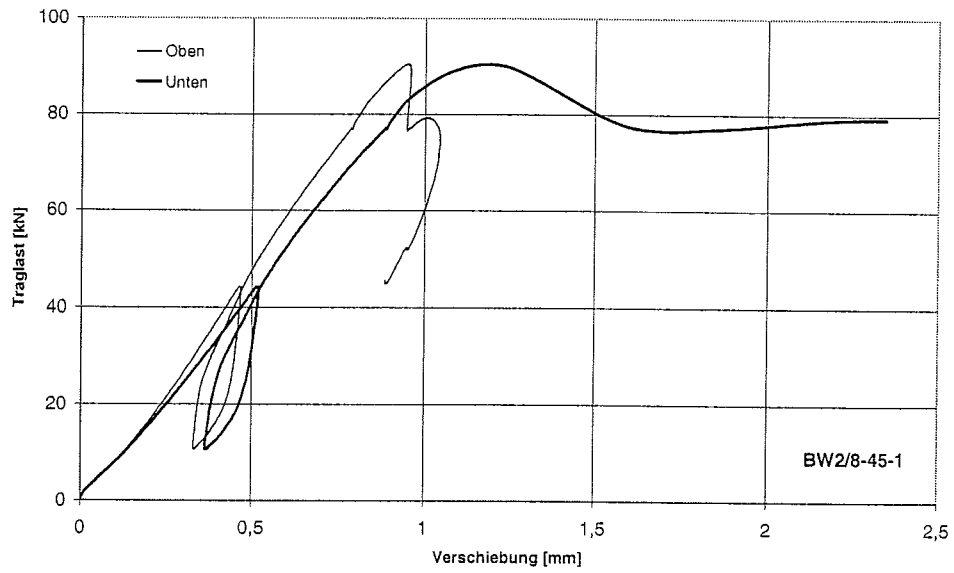


Bild A-1 bis A-3: Last-Verschiebungsdiagramme für Zugscherversuche mit  $\alpha=45^\circ$

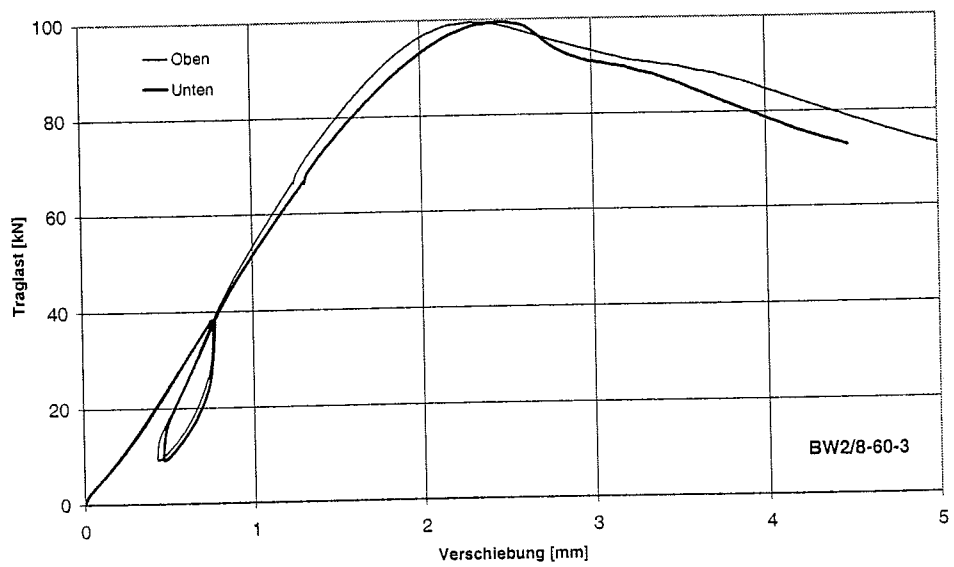
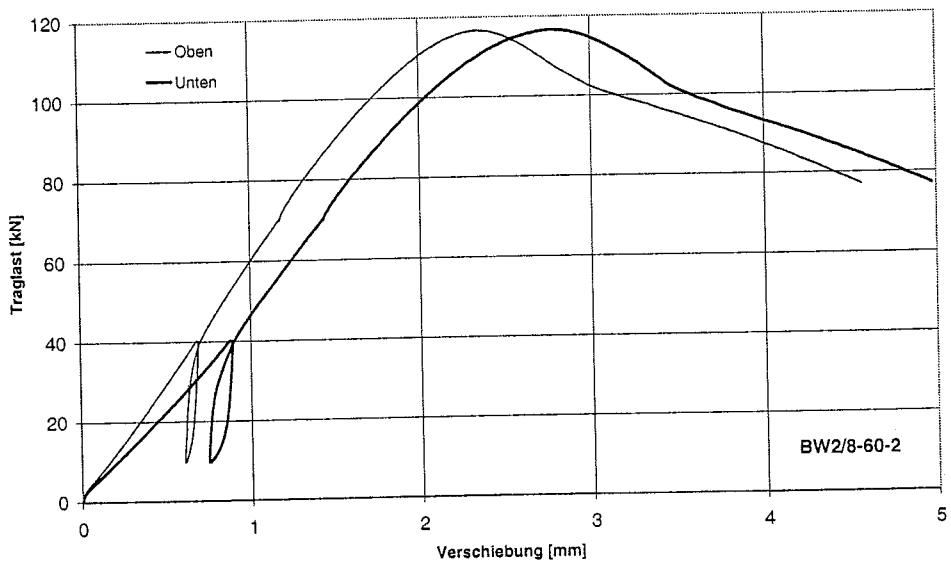
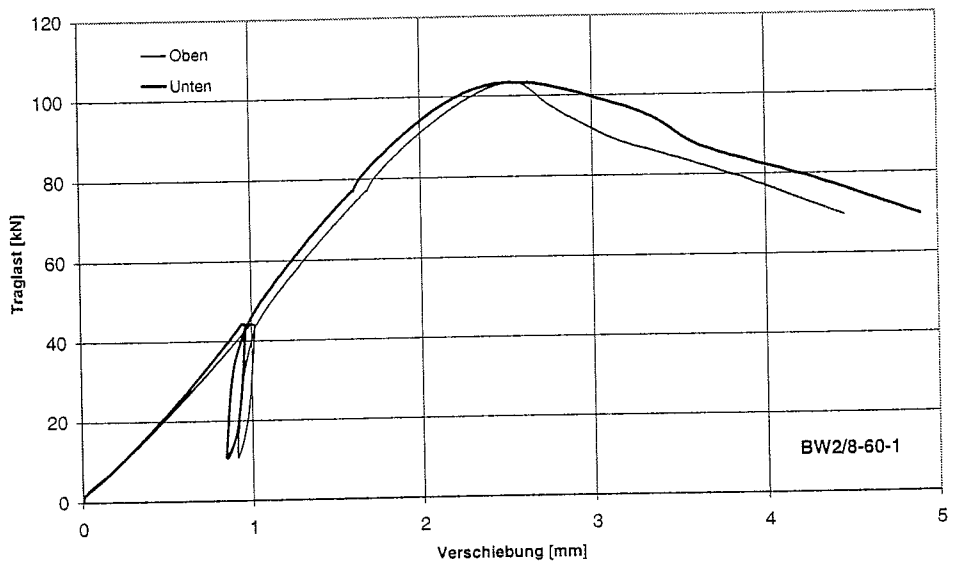


Bild A-4 bis A-6: Last-Verschiebungsdiagramme für Zugversuche mit  $\alpha=60^\circ$

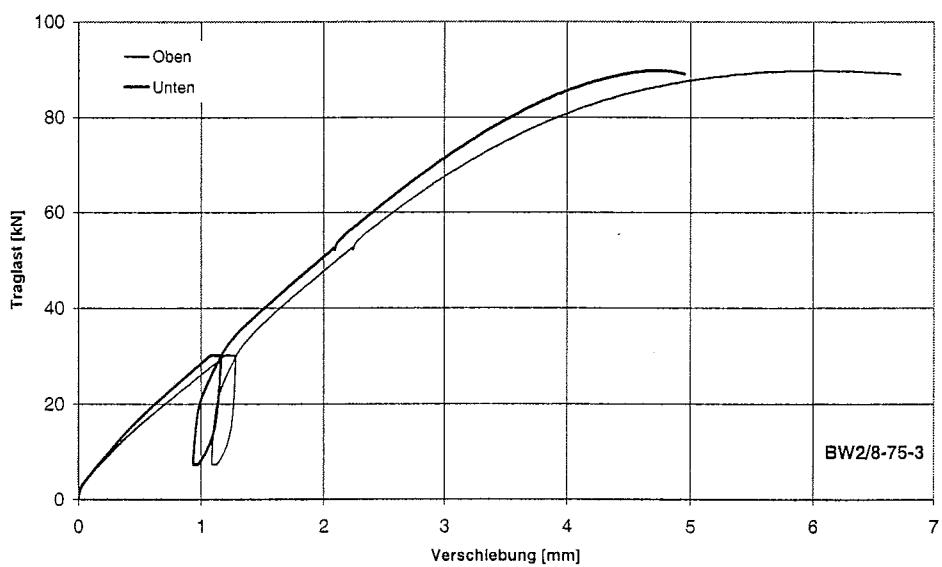
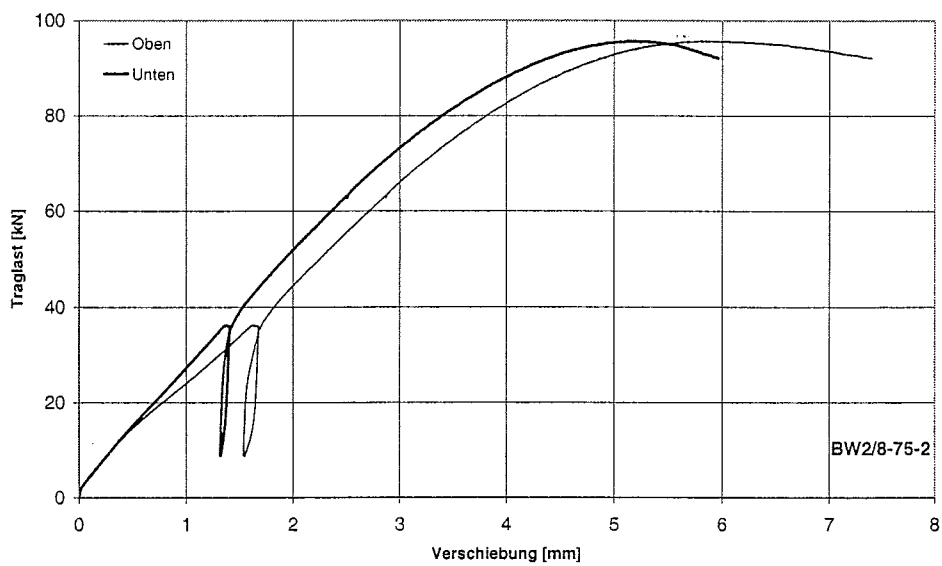
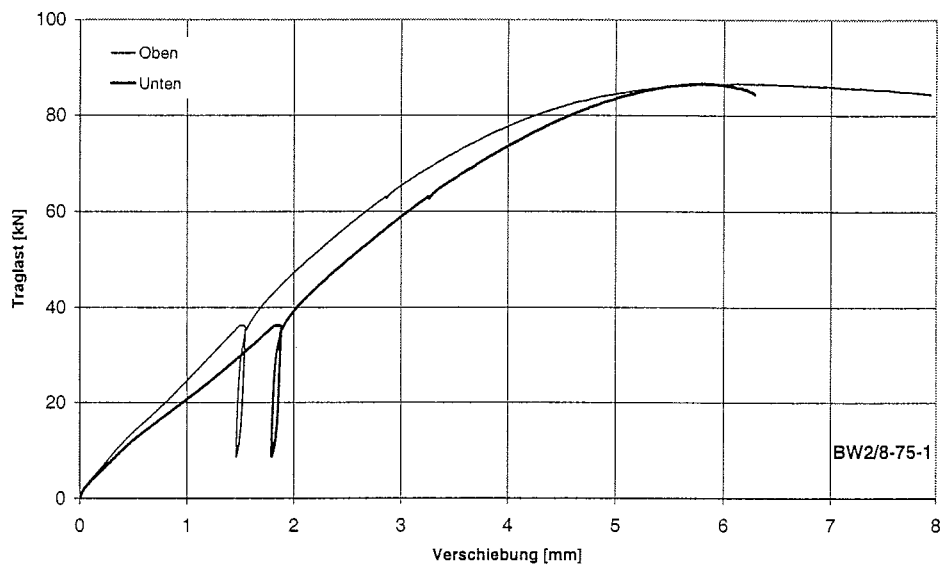


Bild A-7 bis A-9: Last-Verschiebungsdiagramme für Zugscherversuche mit  $\alpha=75^\circ$

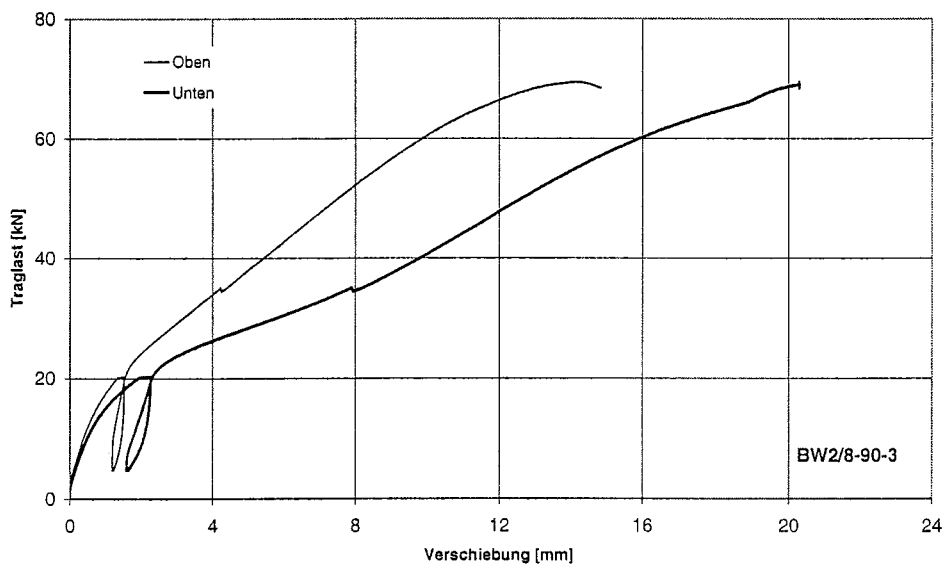
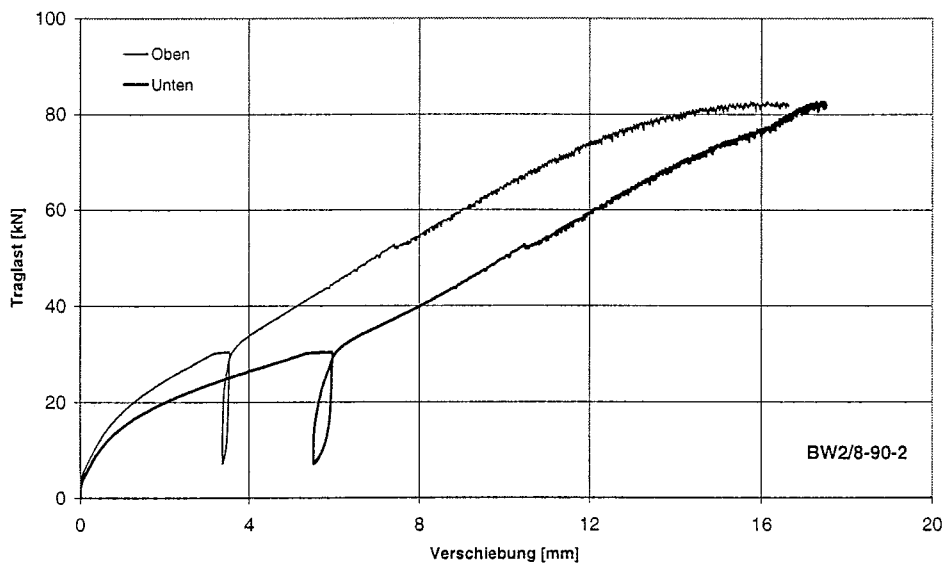
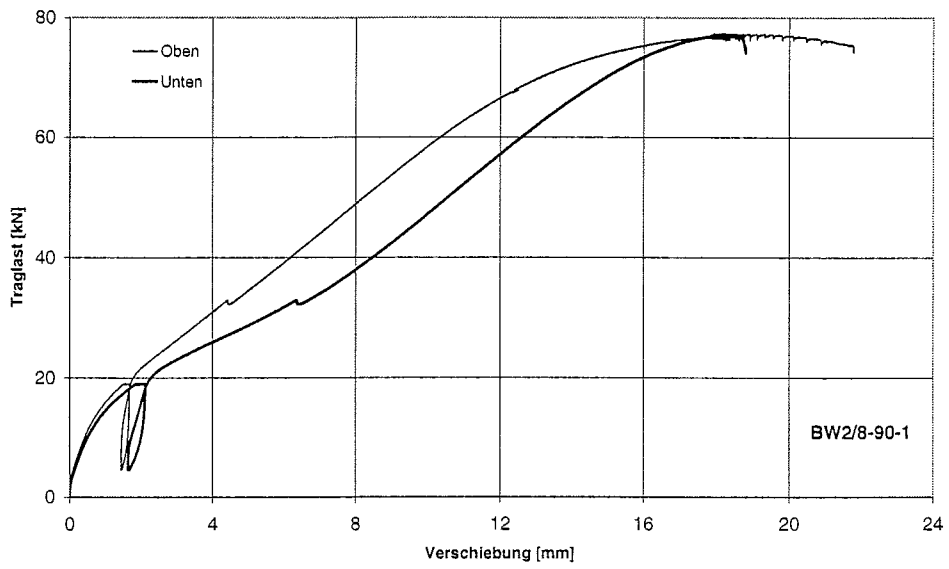


Bild A-10 bis A-12: Last-Verschiebungsdiagramme für Zugscherversuche mit  $\alpha=90^\circ$

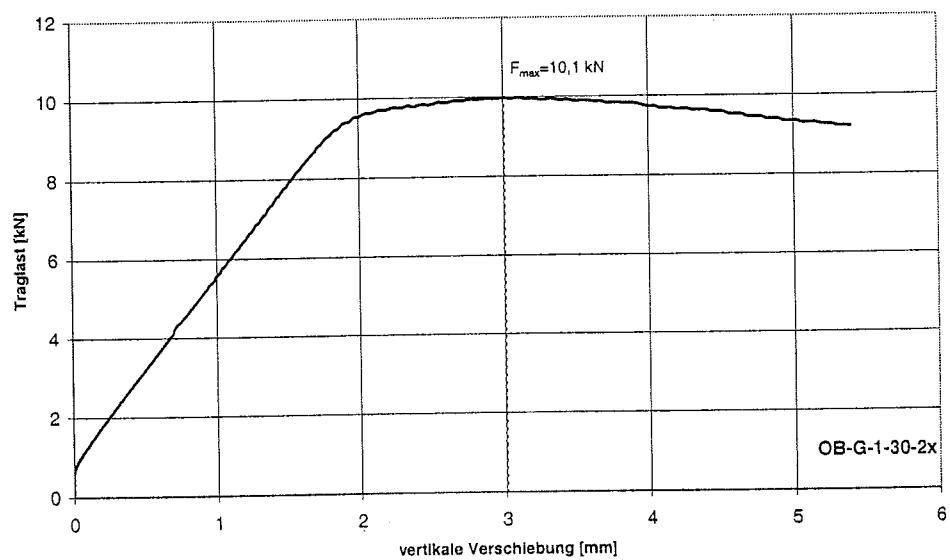
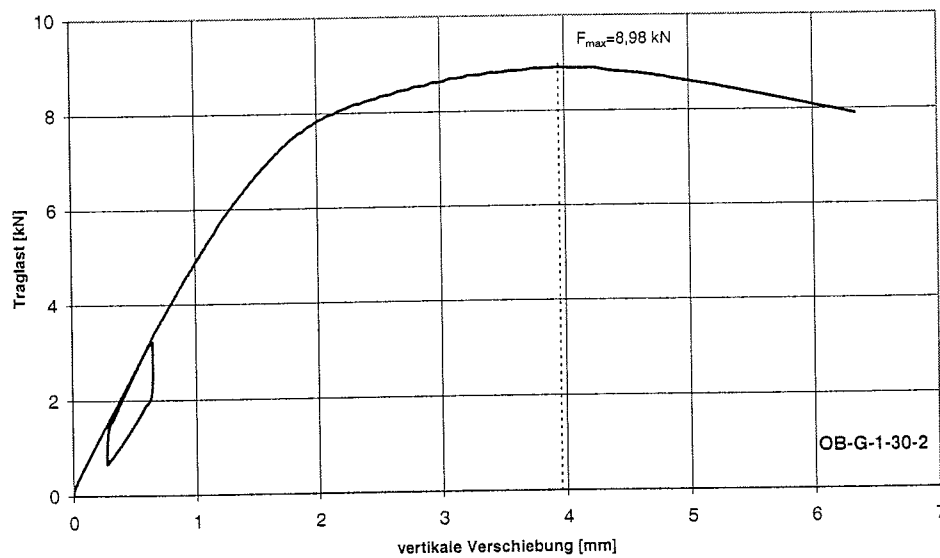
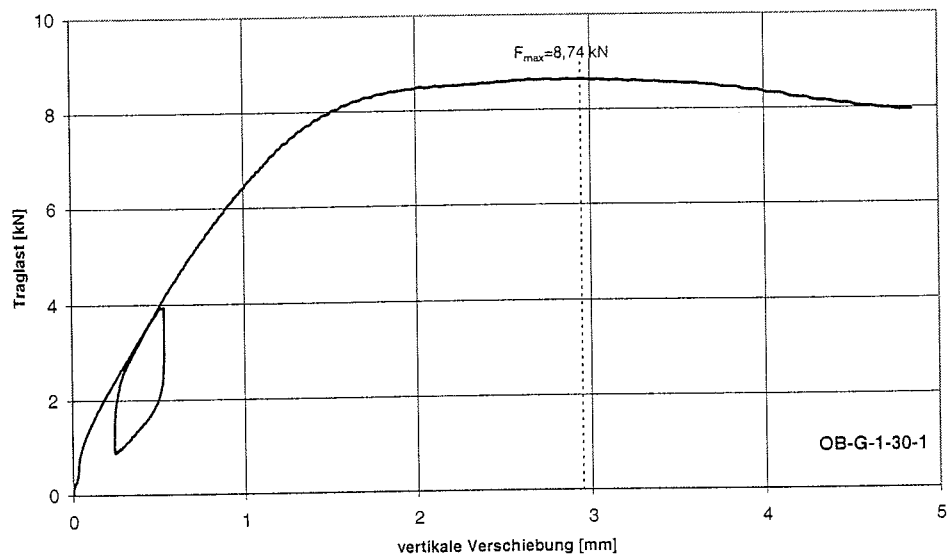


Bild A-13 bis A-15: Last-Verschiebungsdiagramme für OB-G-1-30-1 bis OB-G-1-30-2x

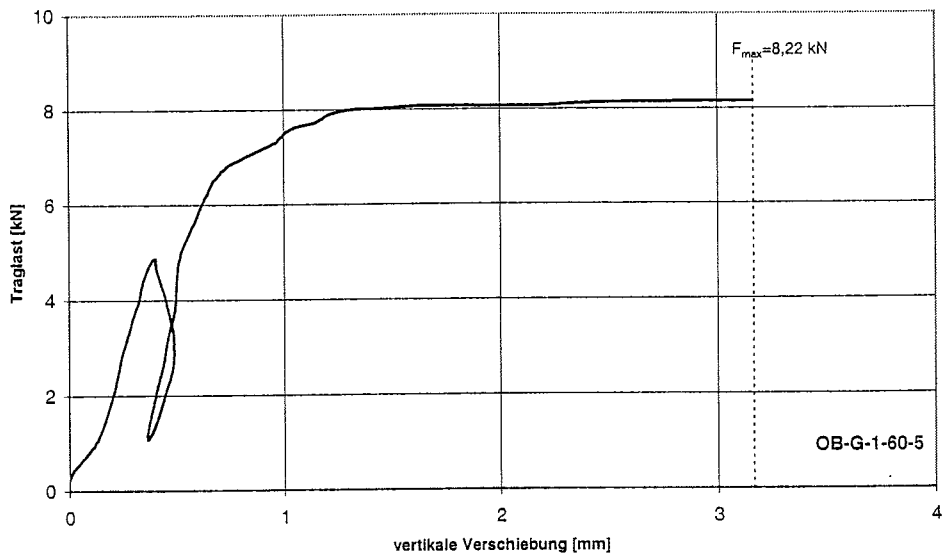
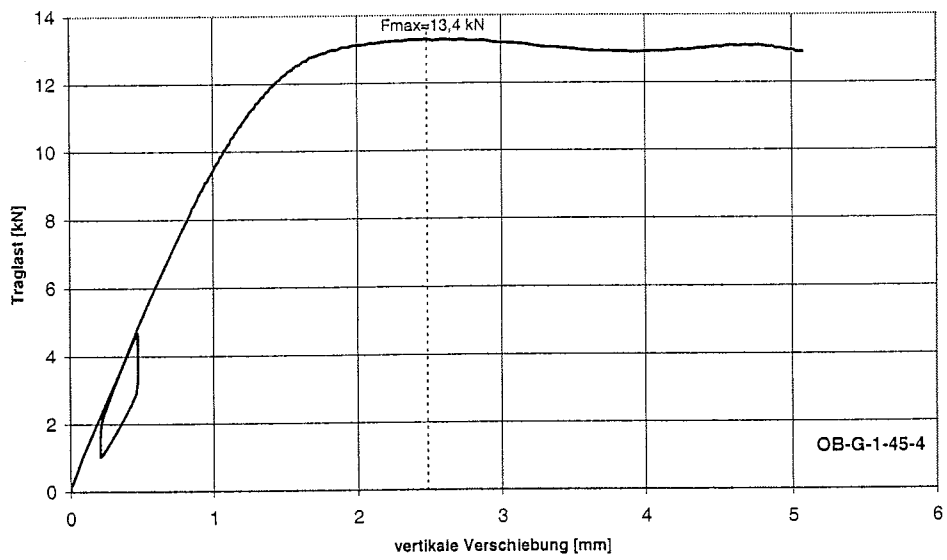
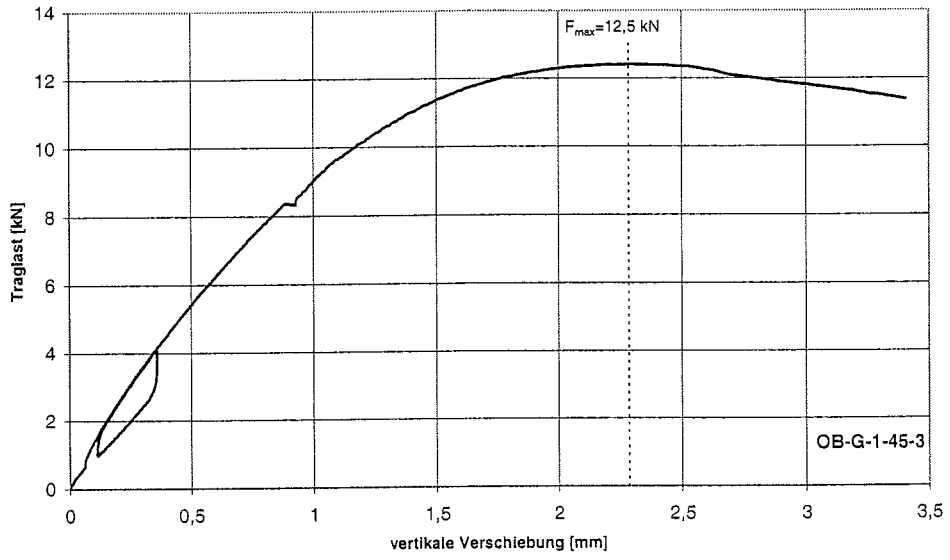


Bild A-16 bis A-18: Last-Verschiebungsdiagramme für OB-G-1-45-3 bis OB-G-1-60-5

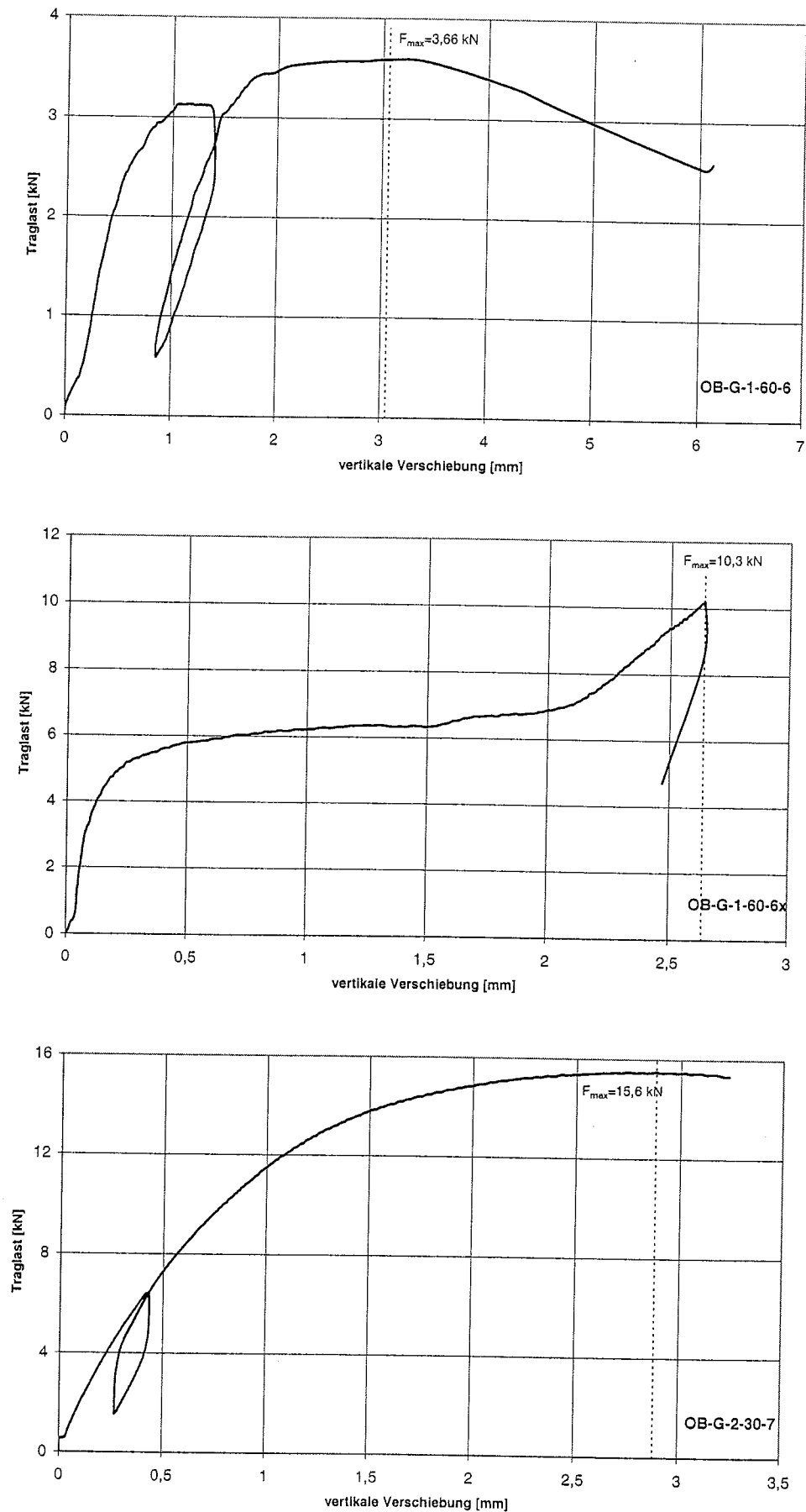


Bild A-19 bis A-21: Last-Verschiebungsdiagramme für OB-G-1-60-6 bis OB-G-2-30-7



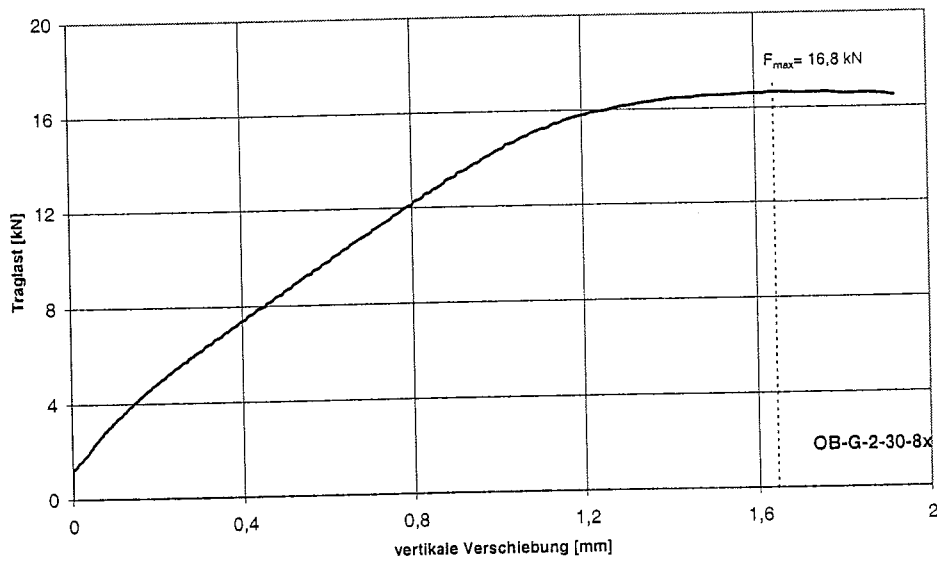
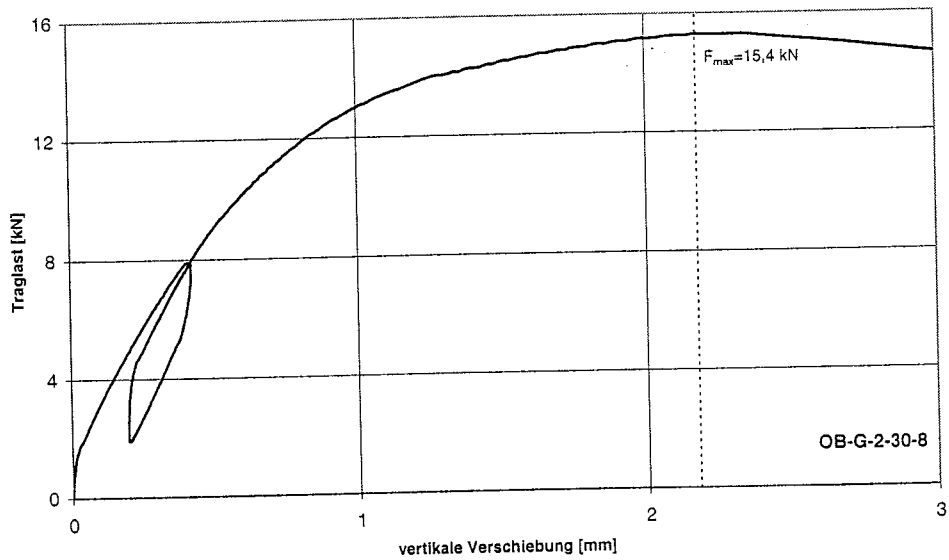
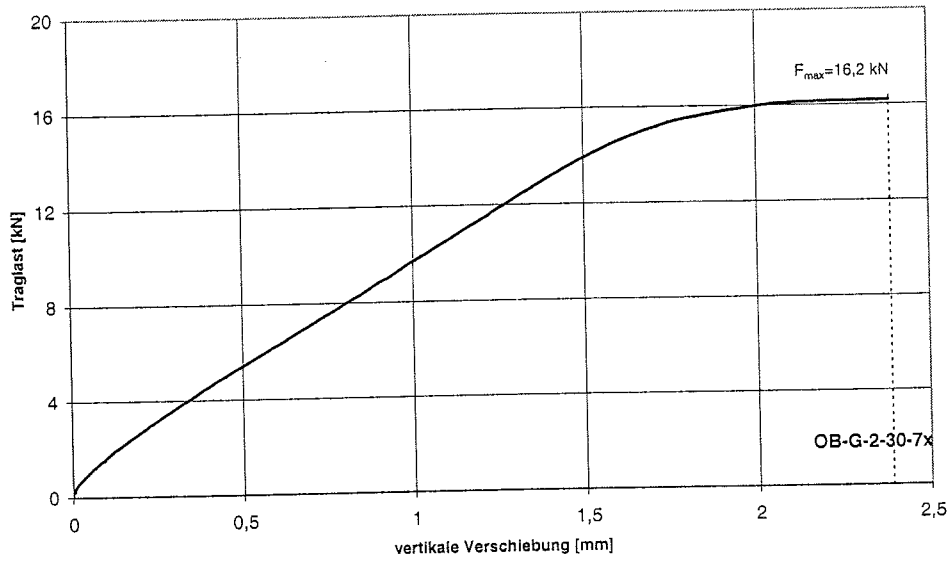


Bild A-22 bis A-24: Last-Verschiebungsdiagramme für OB-G-2-30-7x bis OB-G-2-30-8x

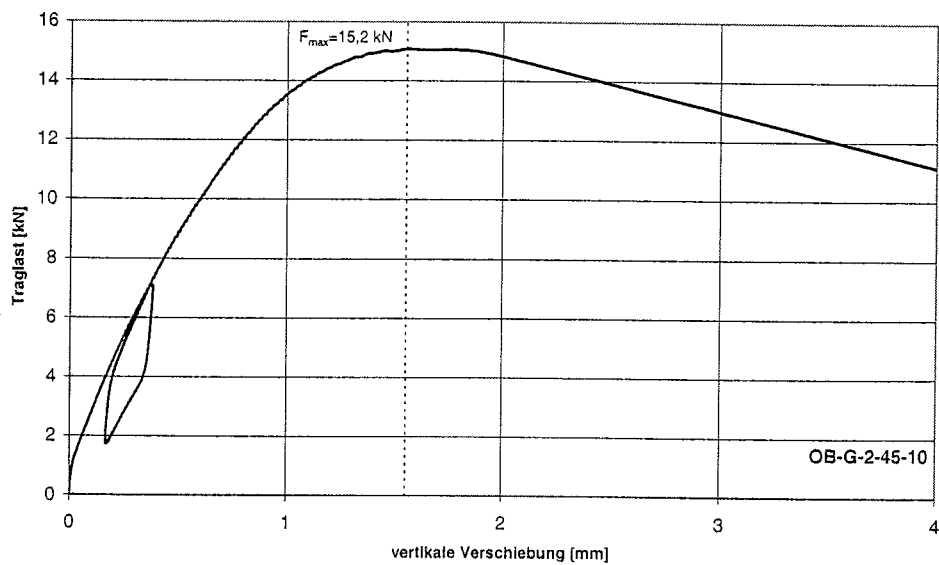
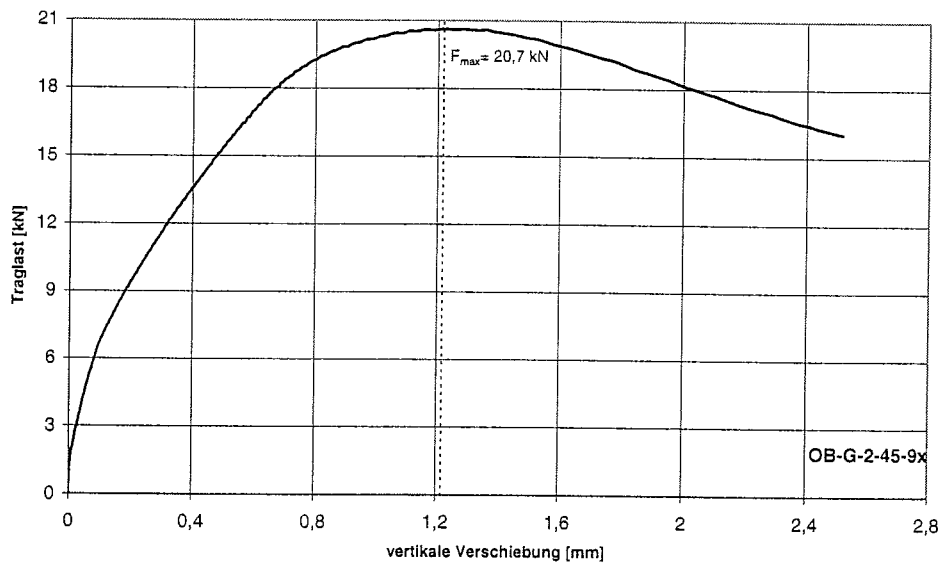
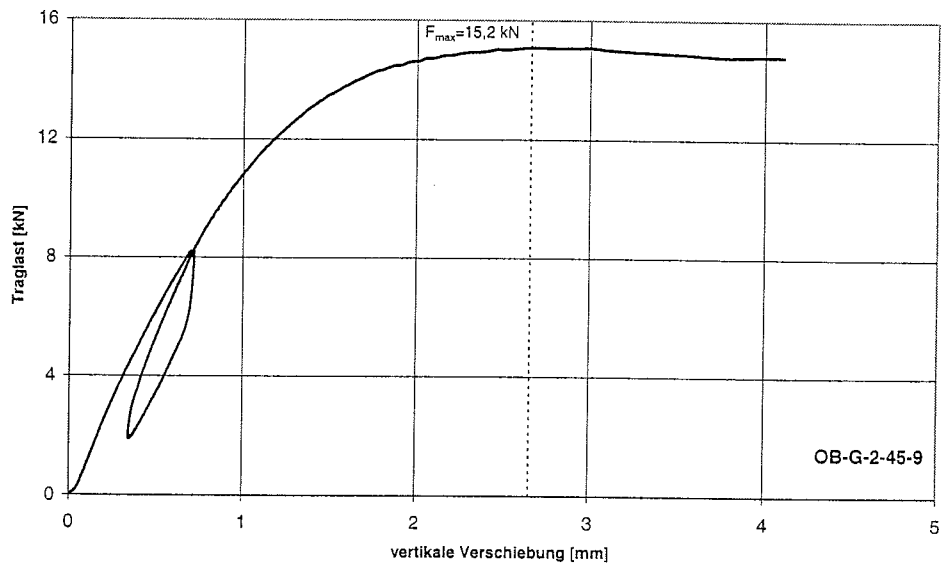


Bild A-25 bis A-27: Last-Verschiebungsdiagramme für OB-G-2-45-9 bis OB-G-2-45-10

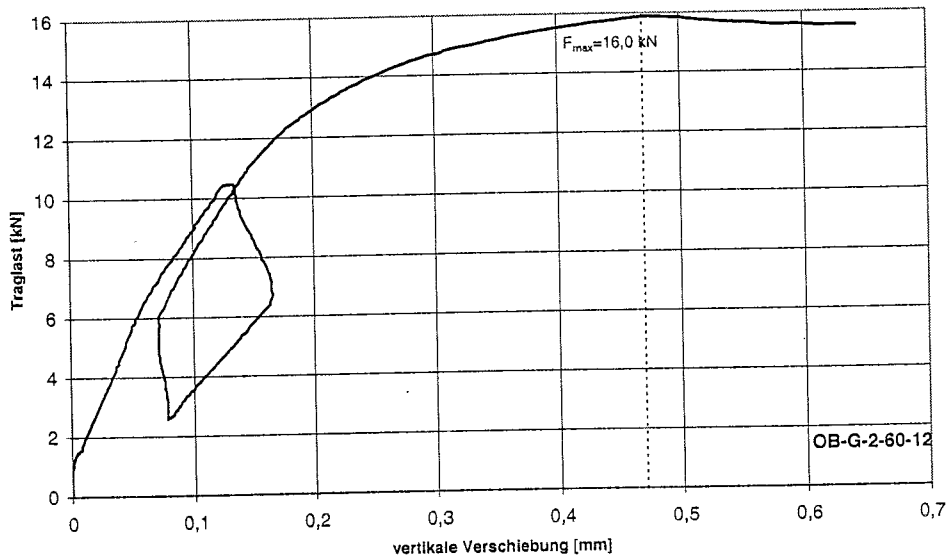
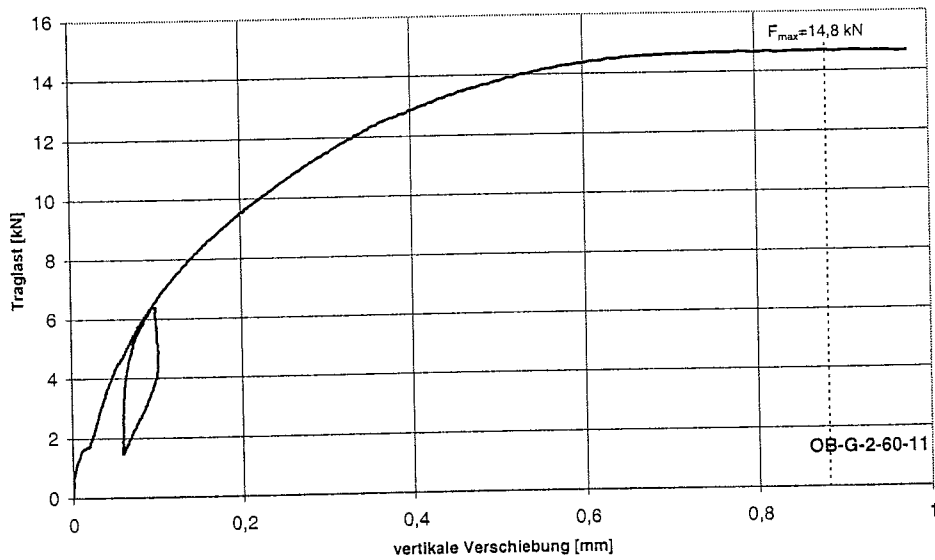
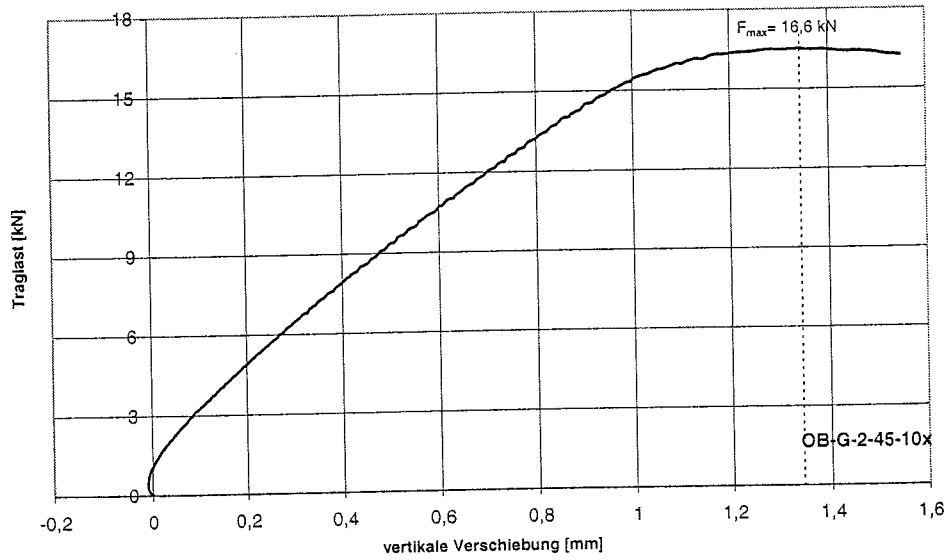


Bild A-28 bis A-30: Last-Verschiebungsdiagramme für OB-G-2-45-10x bis OB-G-2-60-12

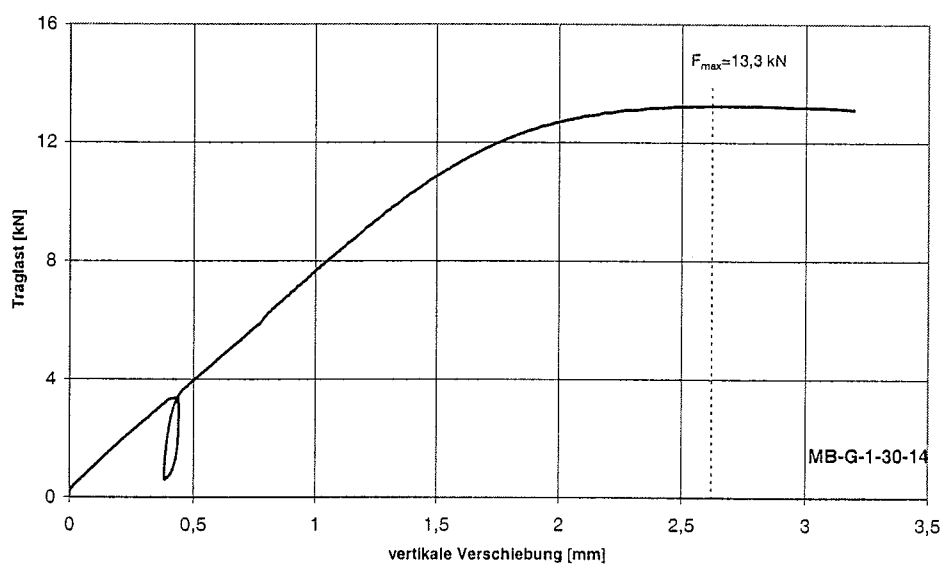
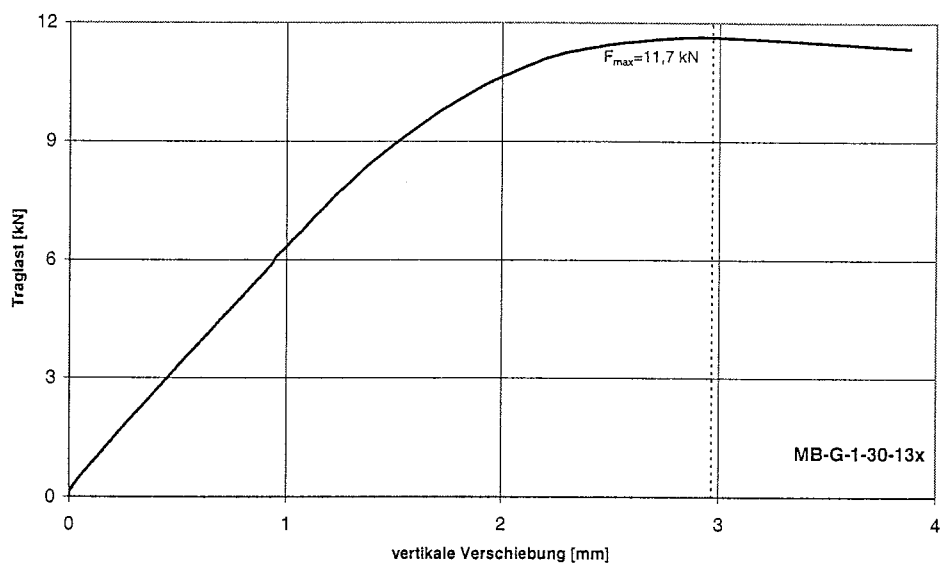
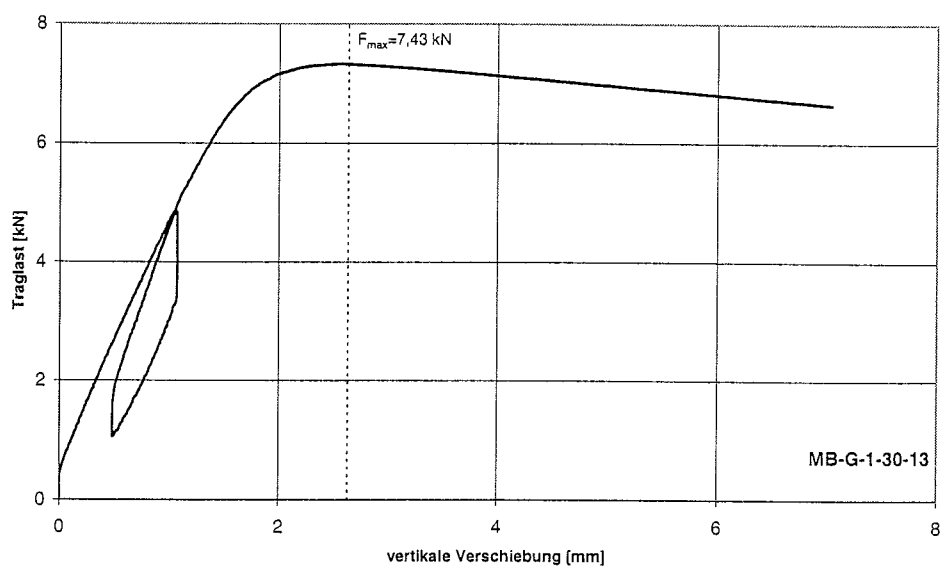


Bild A-31 bis A-33: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-G-1-30-13 bis MB-G-1-30-14

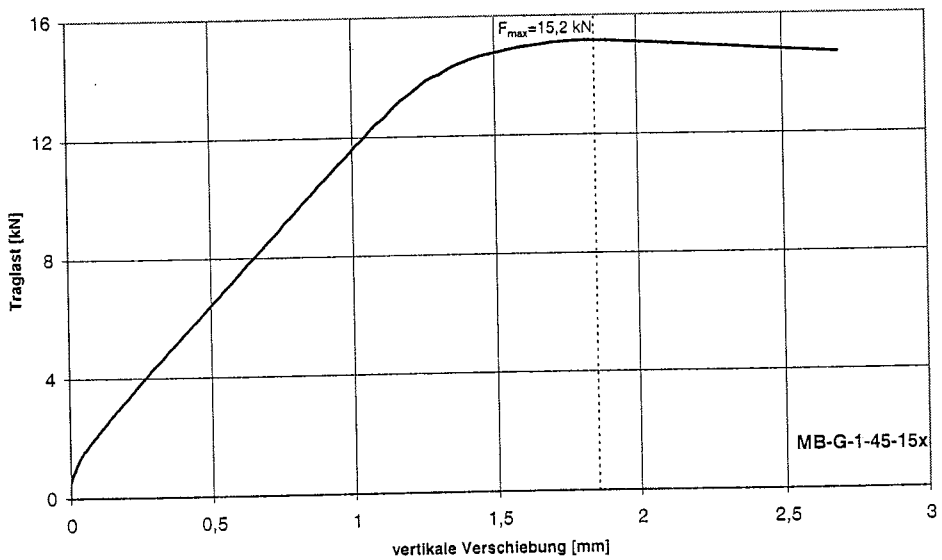
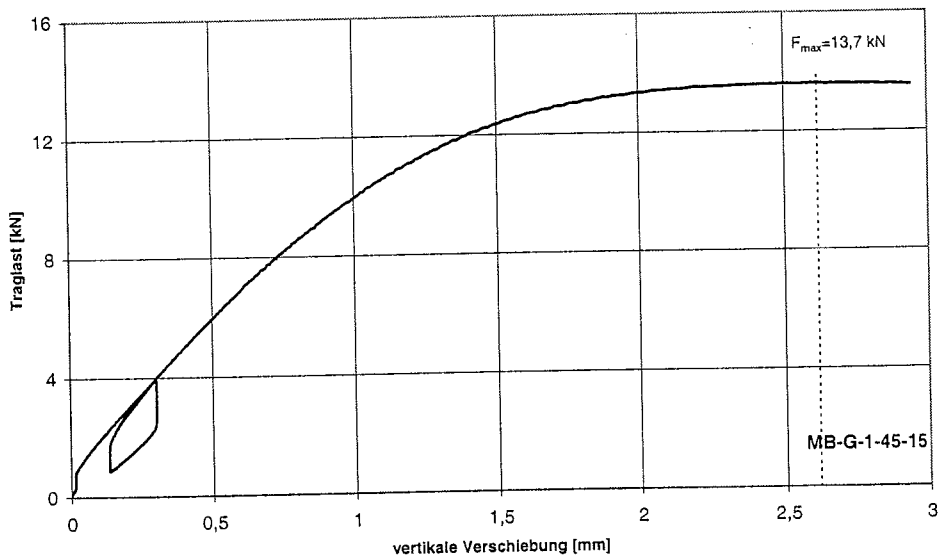
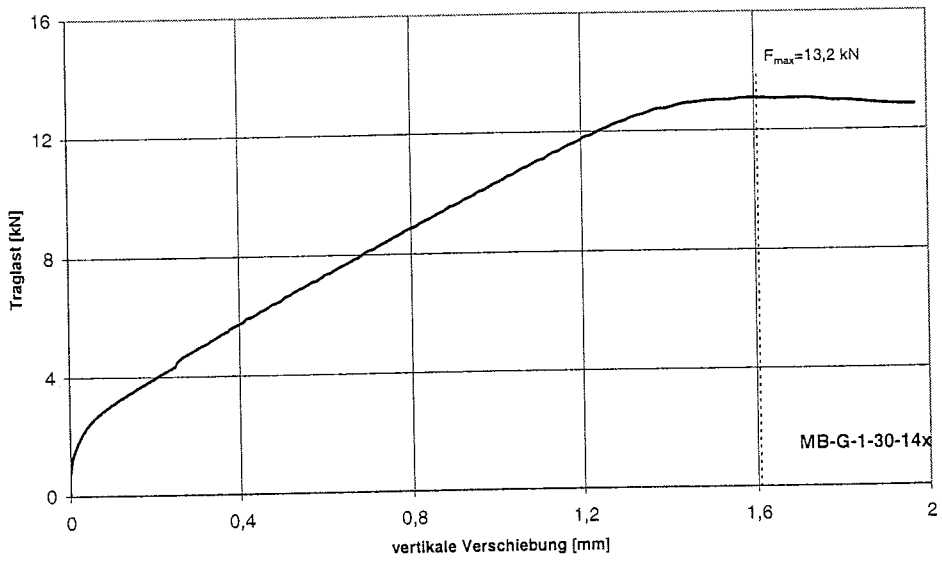


Bild A-34 bis A-36: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-G-1-30-14x bis MB-G-1-45-15x

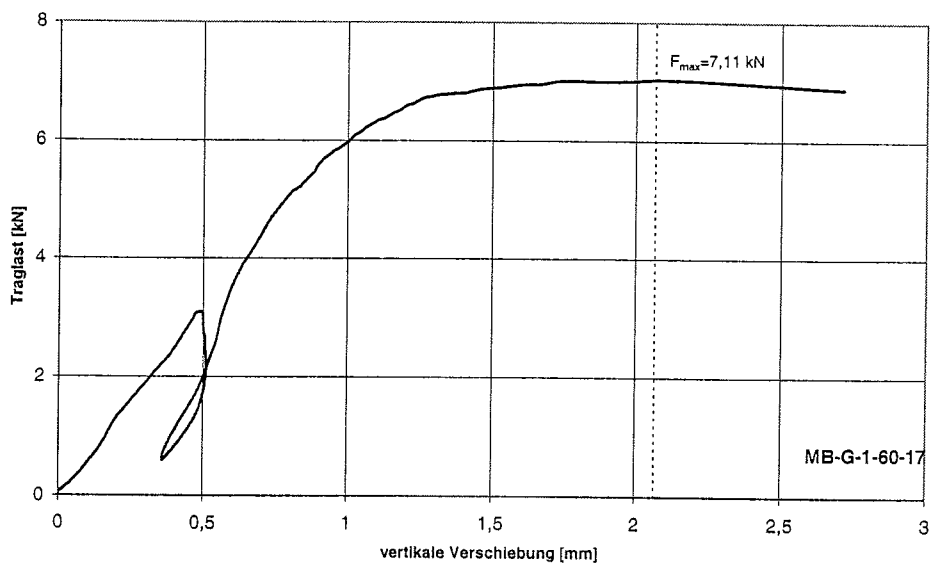
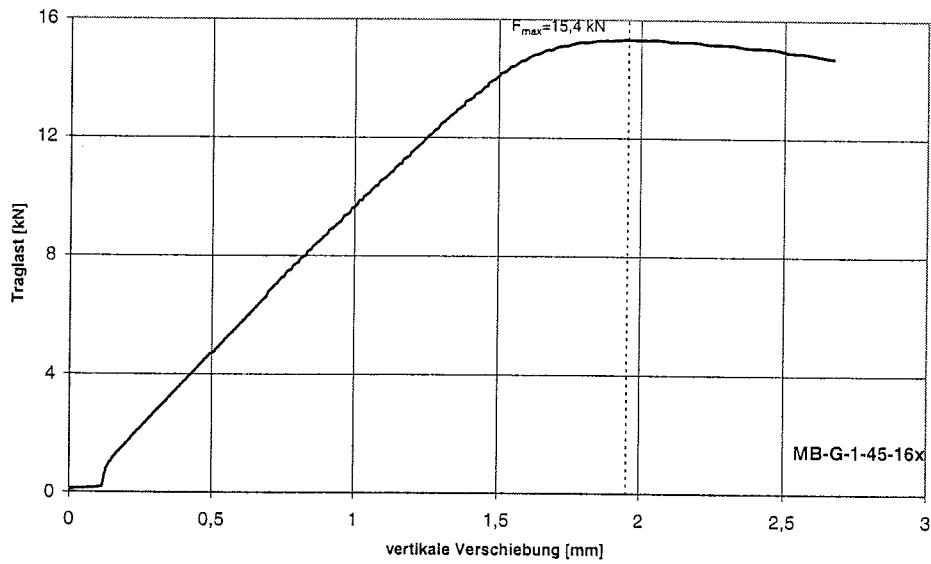
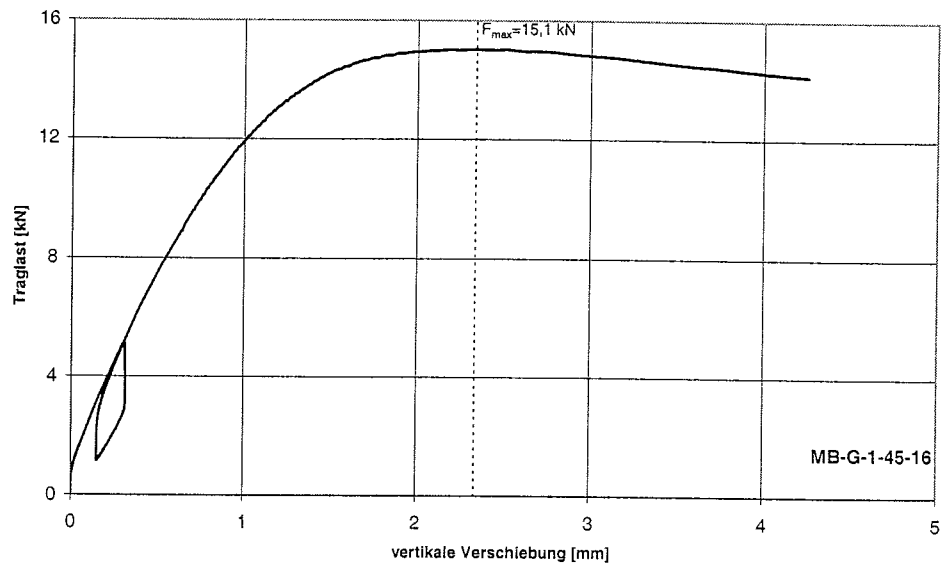


Bild A-37 bis A-39: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-G-1-45-16 bis MB-G-1-60-17

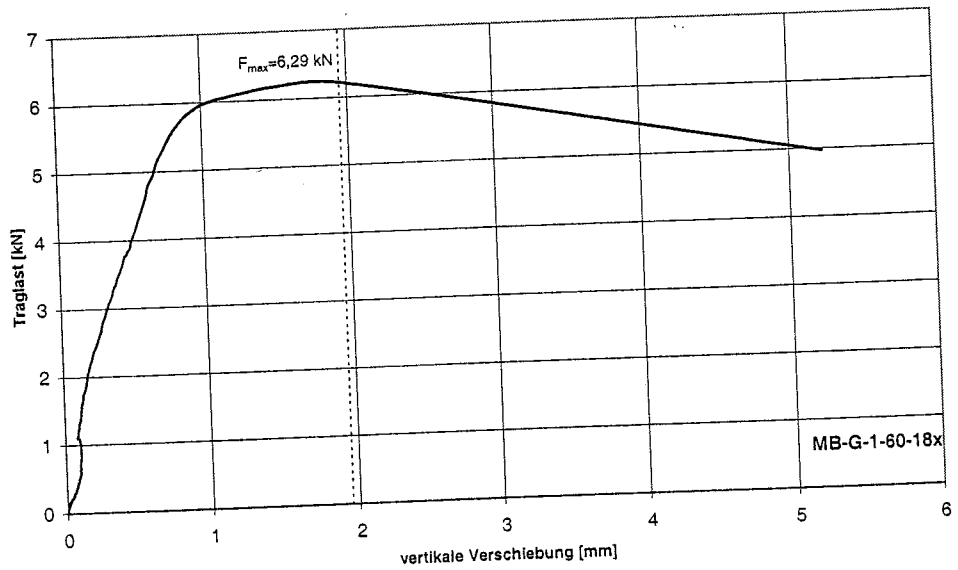
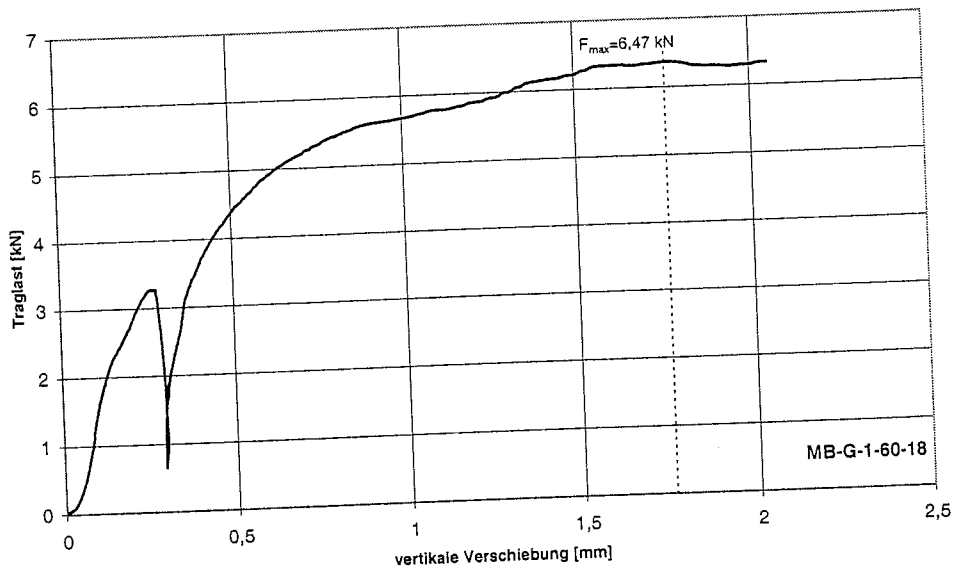
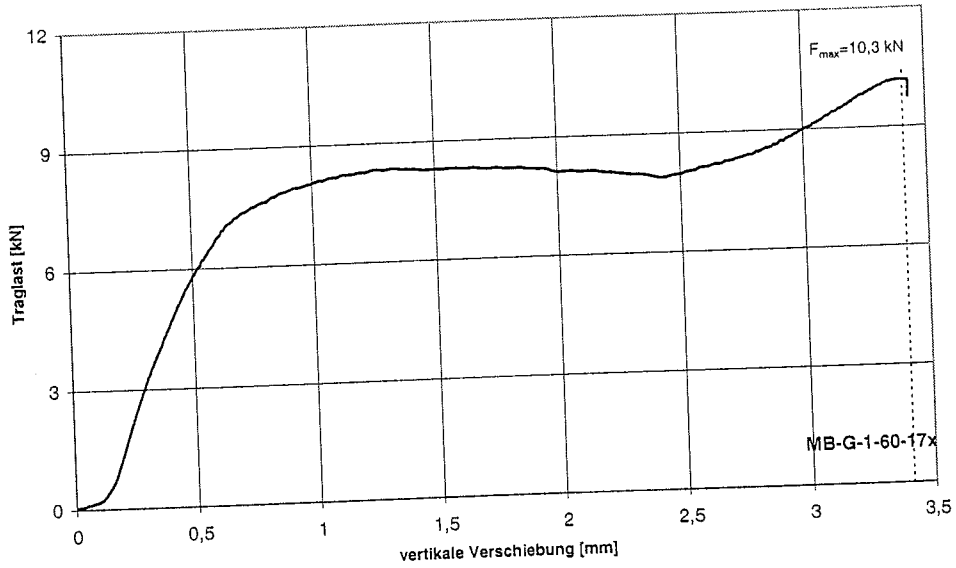


Bild A-40 bis A-42: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-G-1-60-17x bis MB-G-1-60-18x

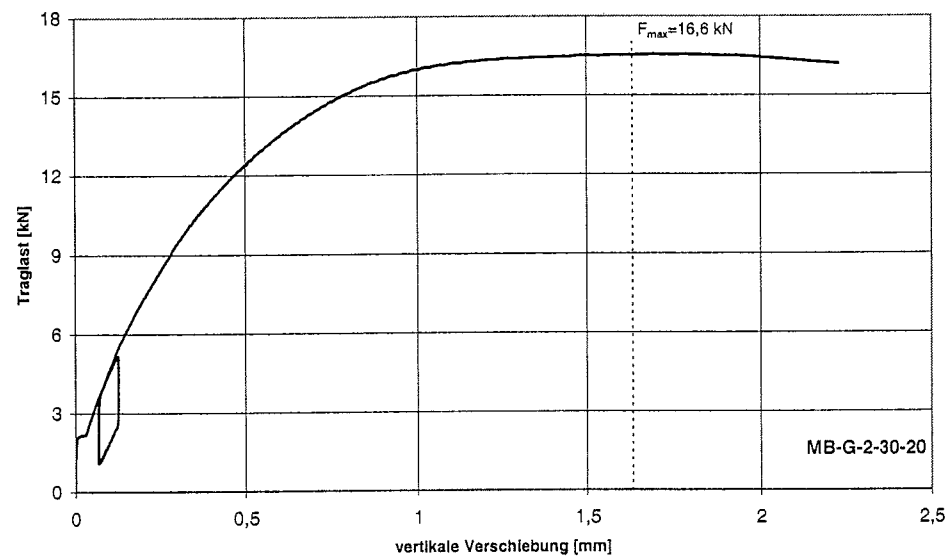
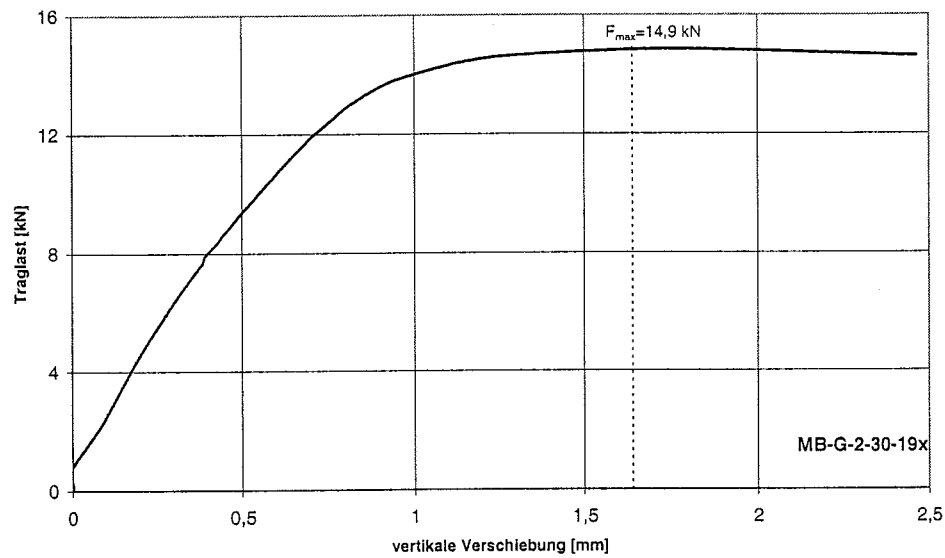
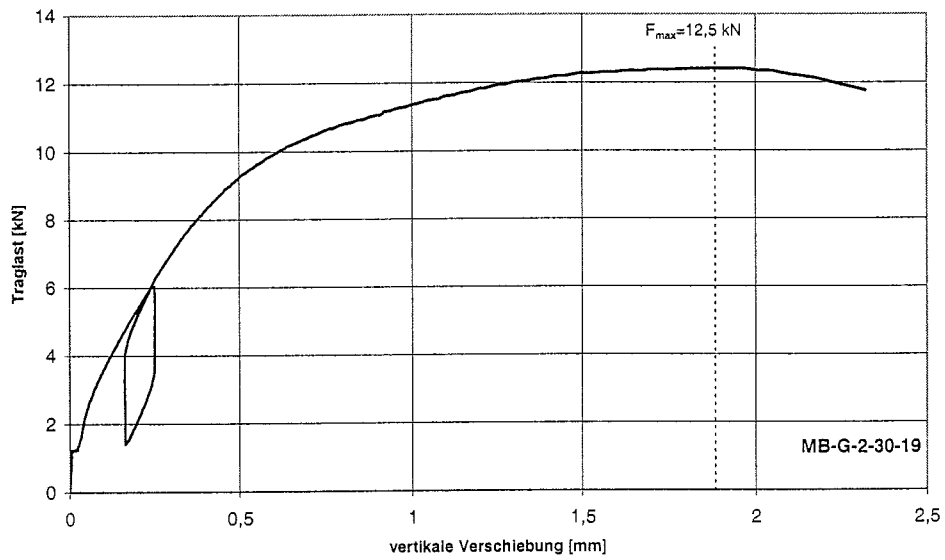


Bild A-43 bis A-45: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-G-2-30-19 bis MB-G-2-30-20



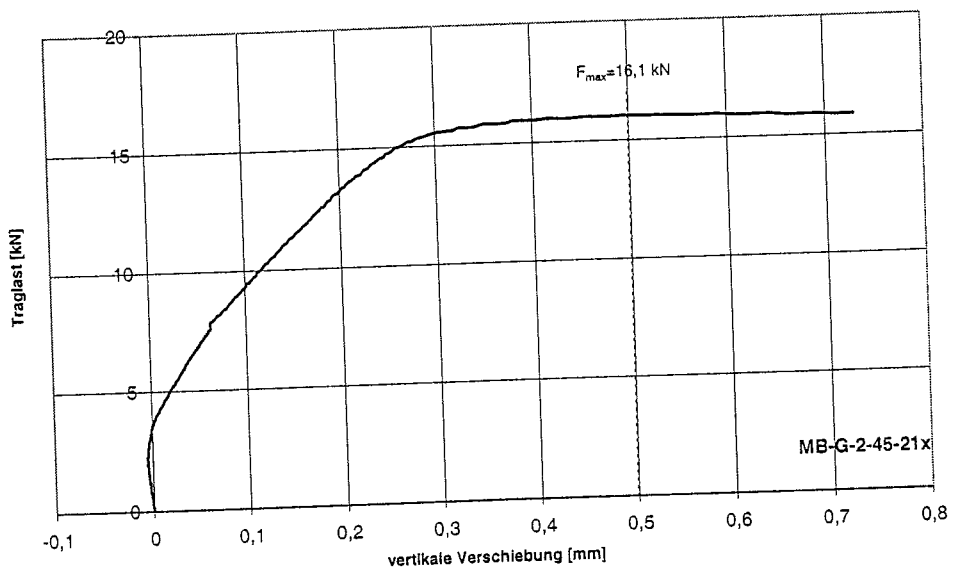
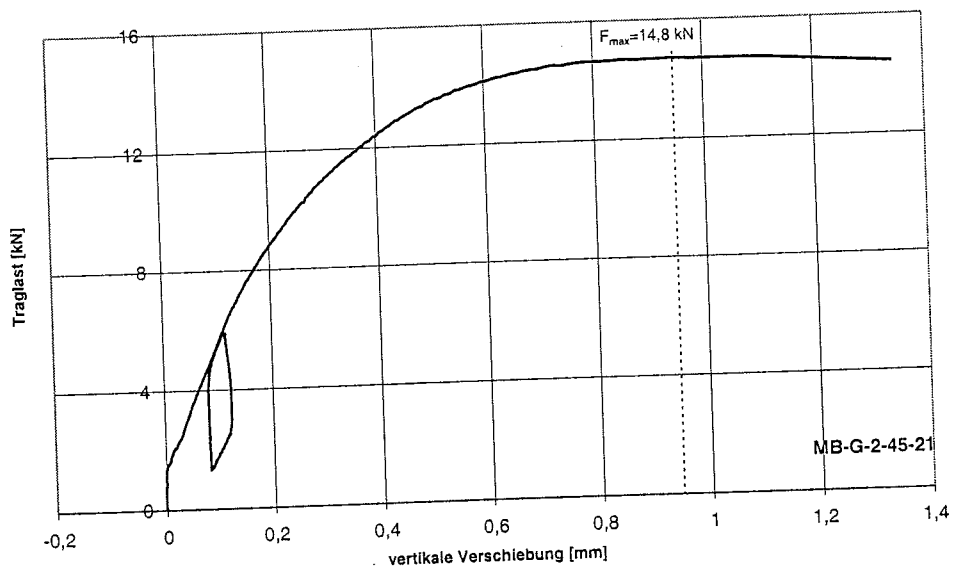
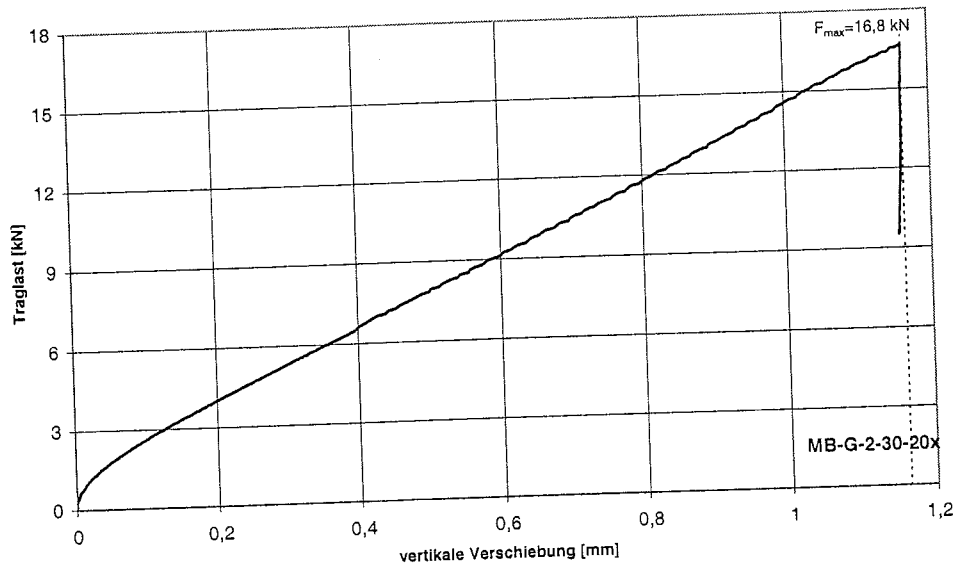


Bild A-46 bis A-48: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-G-2-30-20x bis MB-G-2-45-21x

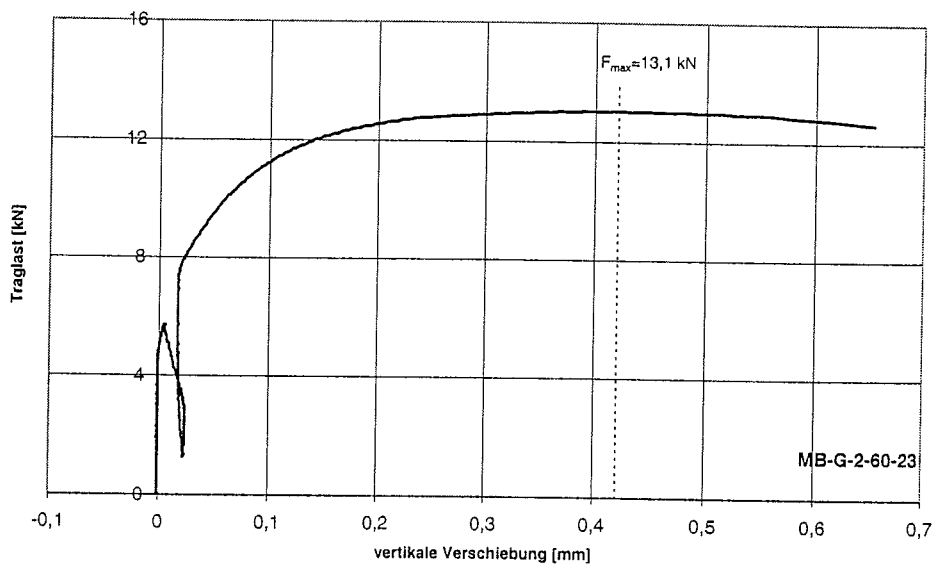
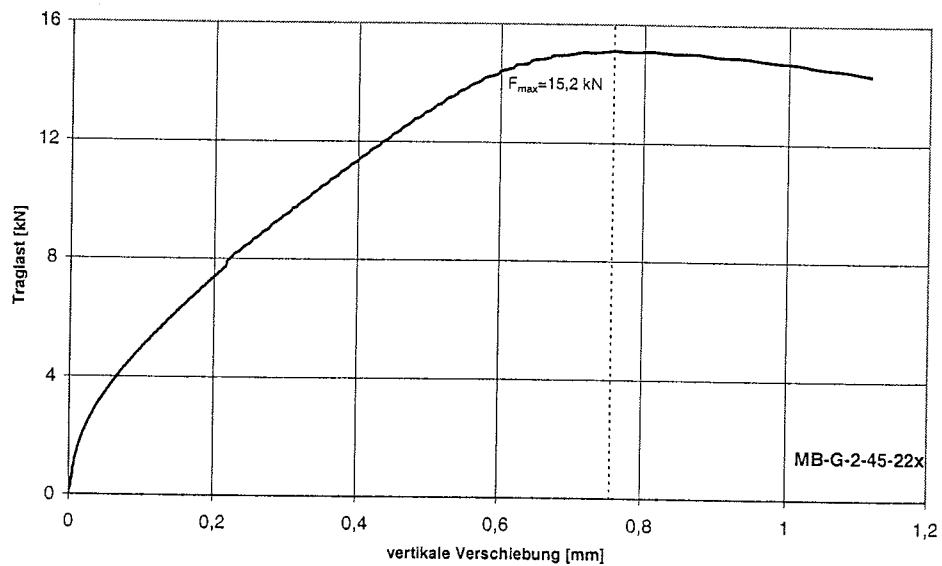
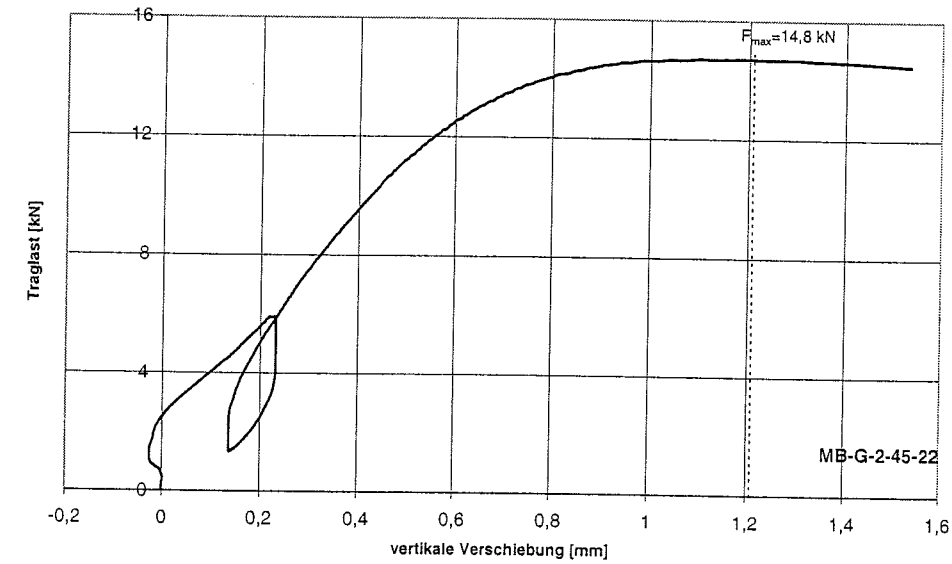


Bild A-49 bis A-51: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-G-2-45-22 bis MB-G-2-60-23

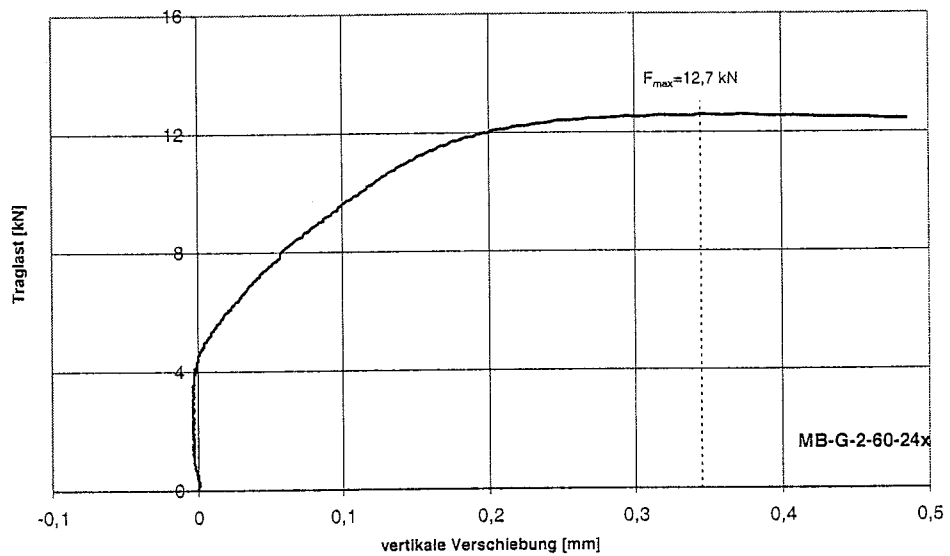
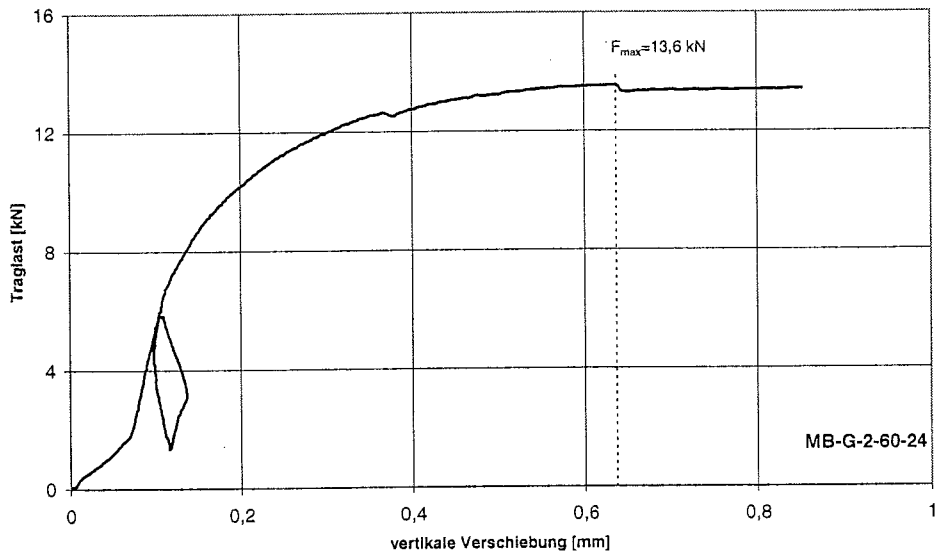
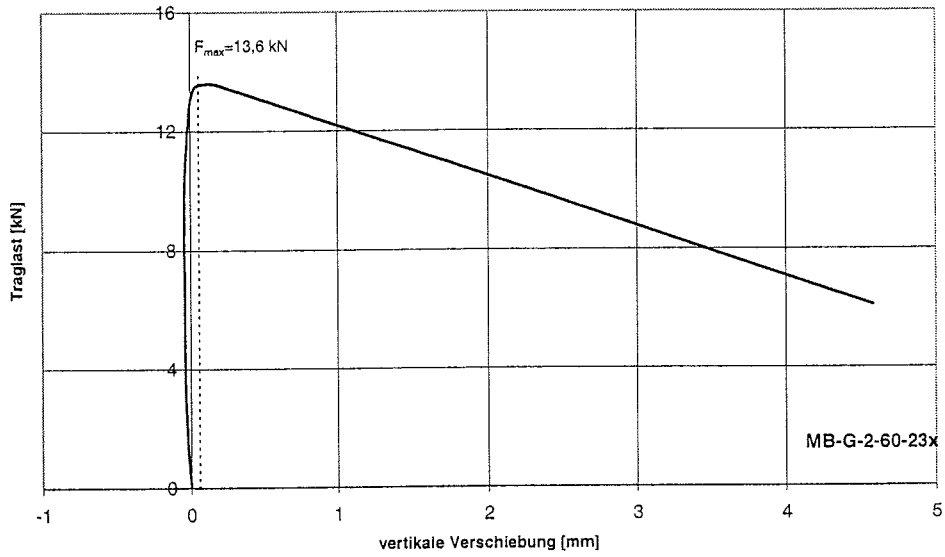


Bild A-52 bis A-54: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-G-2-60-23x bis MB-G-2-60-24x

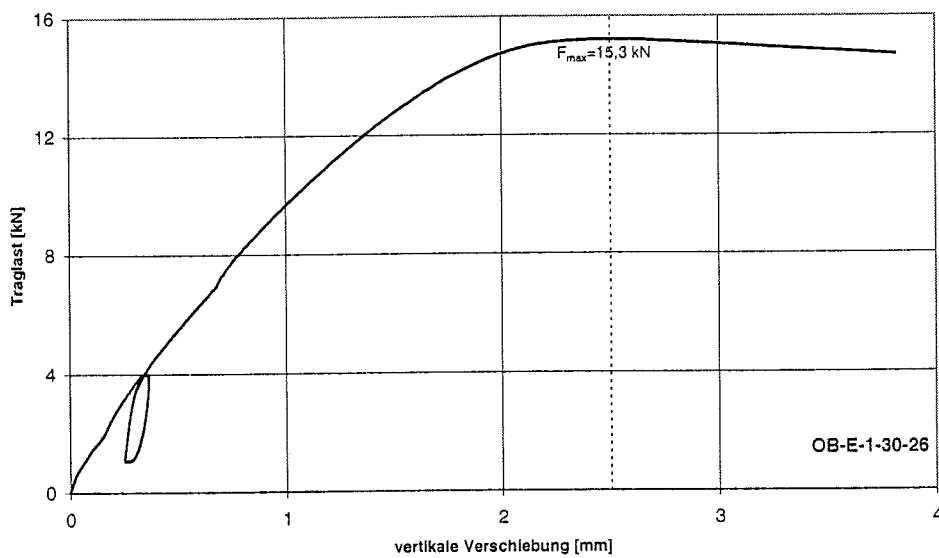
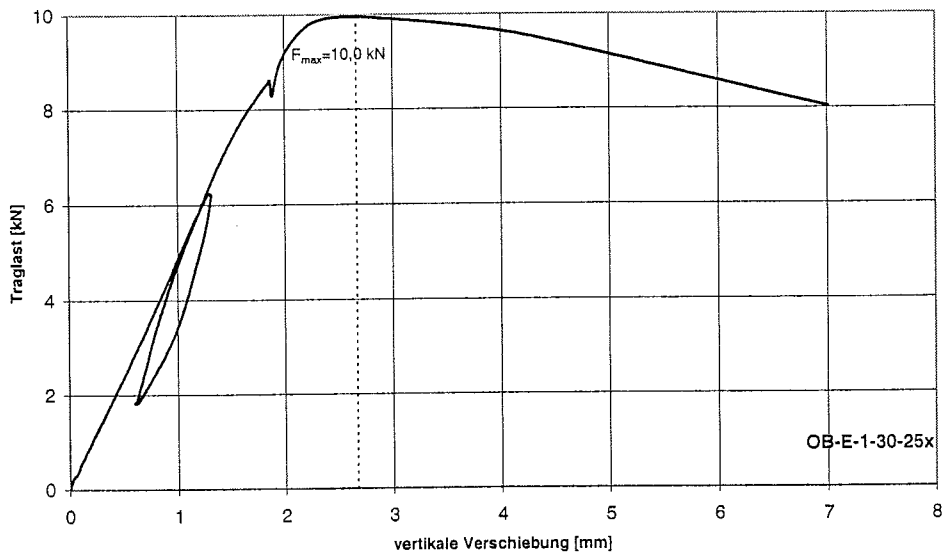
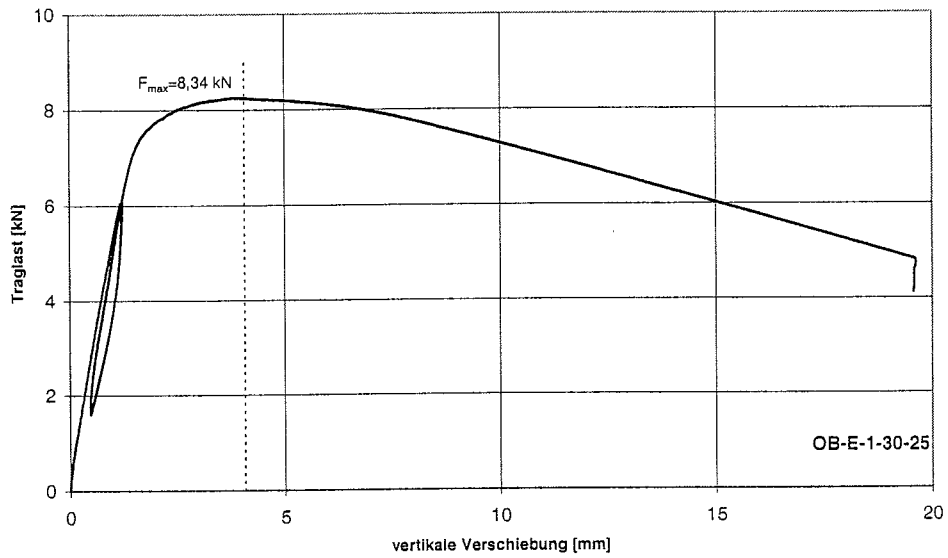


Bild A-55 bis A-57: Last- Verschiebungsdiagramme für OB-E-1-30-25 bis OB-E-1-30-26

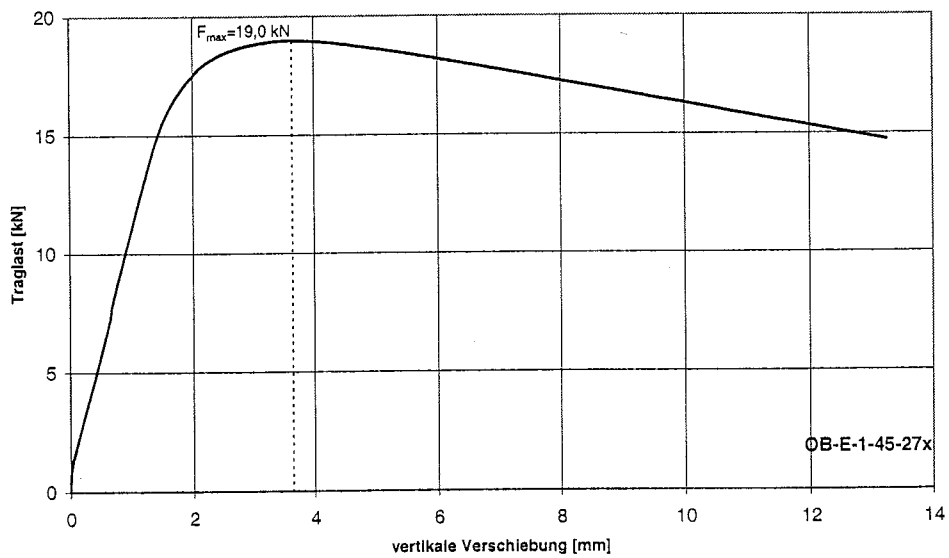
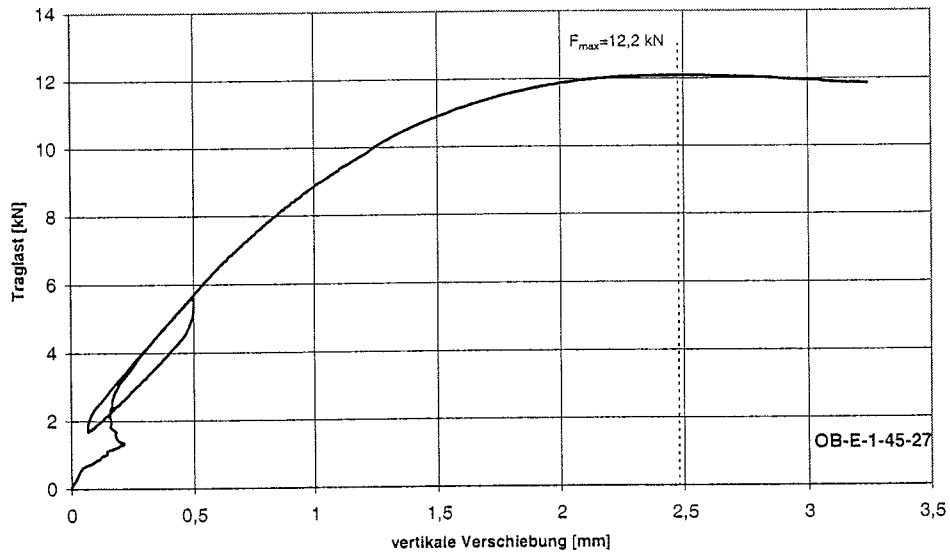
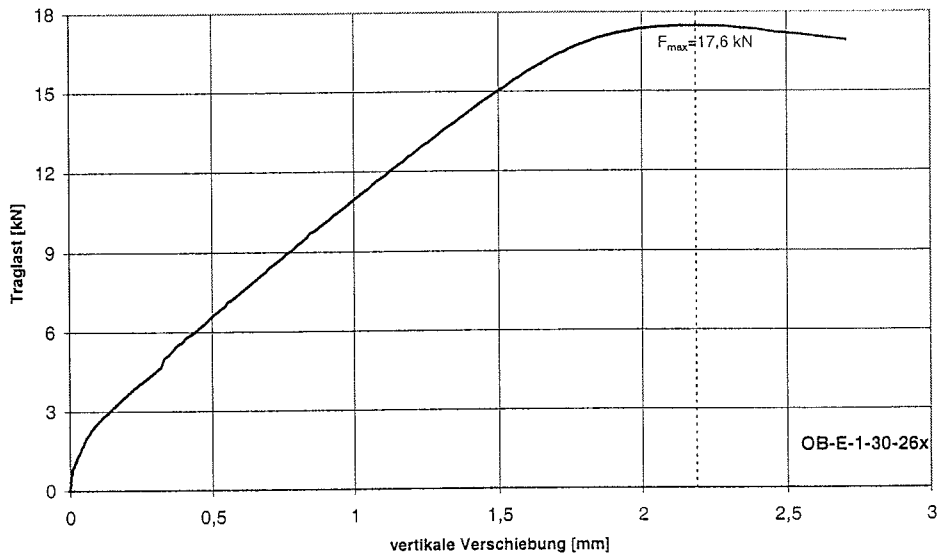


Bild A-58 bis A-60: Last-Verschiebungsdiagramme für OB-E-1-45-26x bis OB-E-1-45-27x

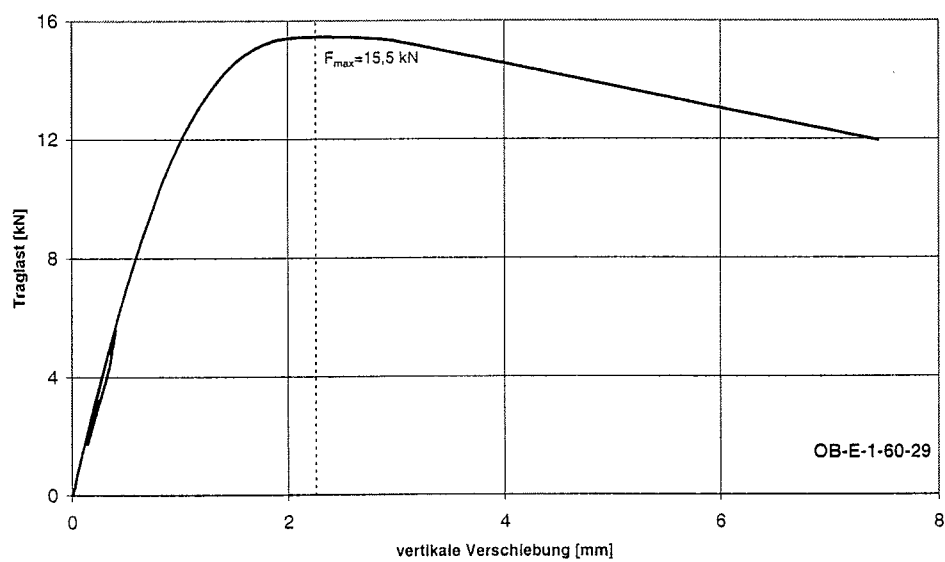
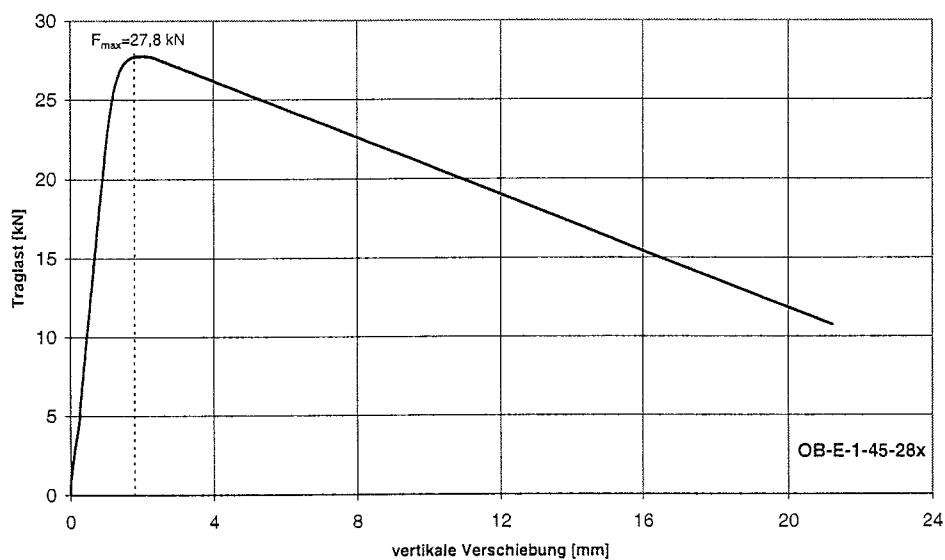
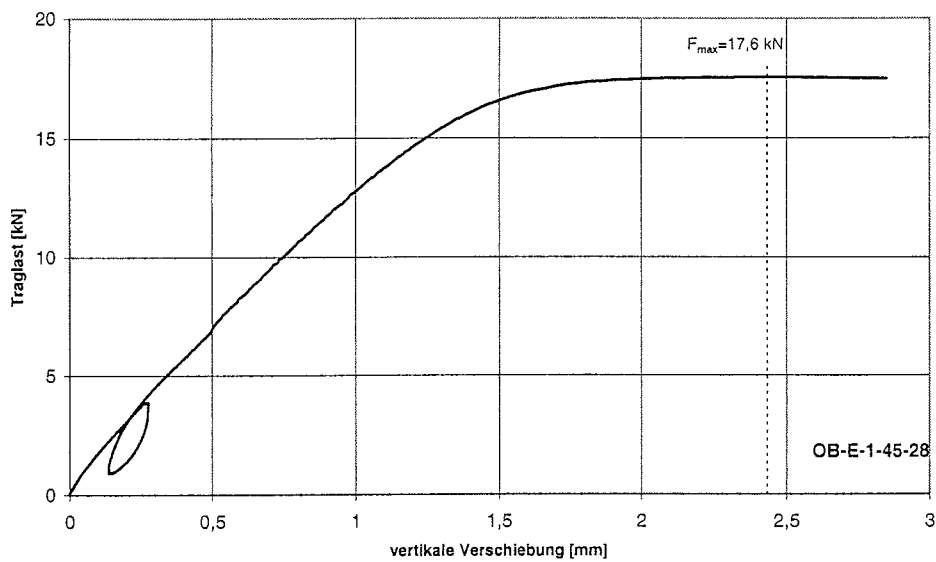


Bild A-61 bis A-63: Last- Verschiebungsdiagramme für OB-E-1-45-28 bis OB-E-1-60-29

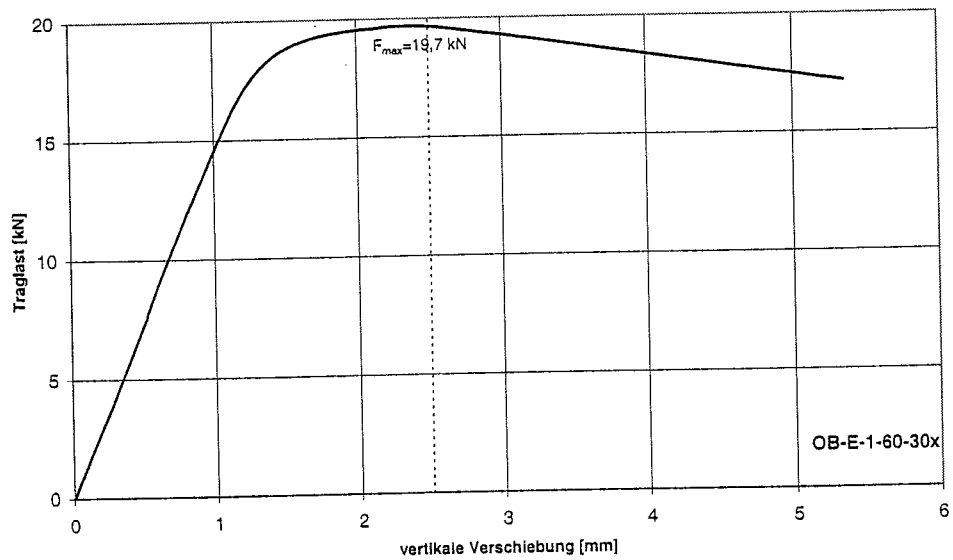
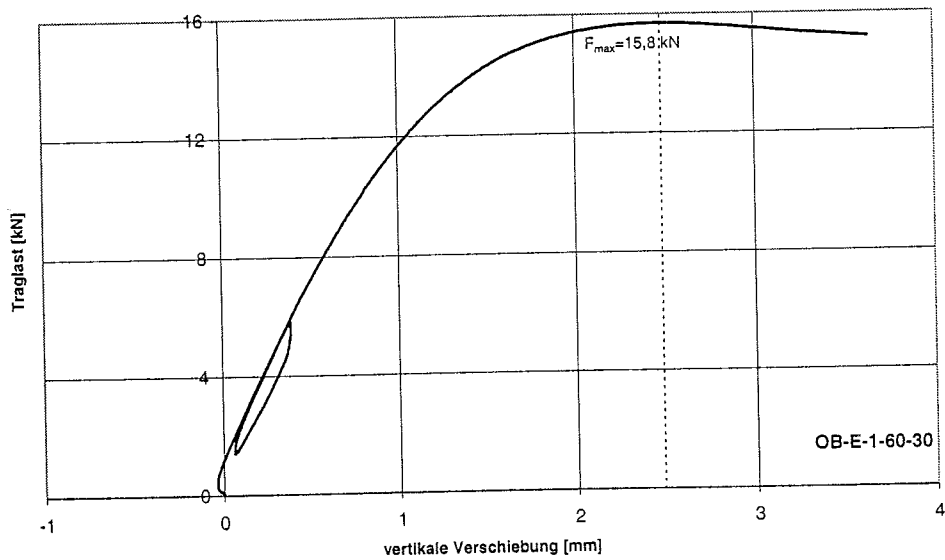
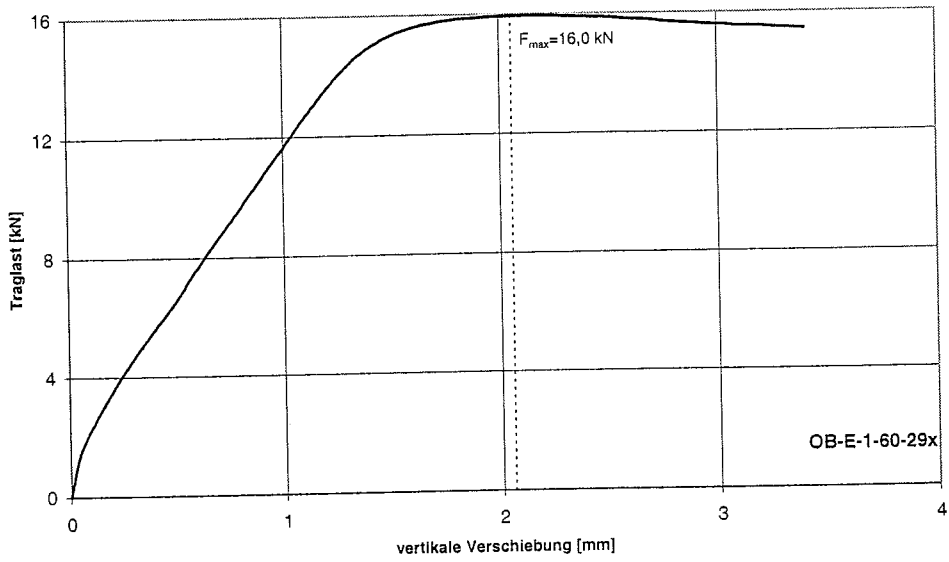


Bild A-64 bis A-66: Last- Verschiebungsdiagramme für OB-E-1-60-29x bis OB-E-1-60-30x

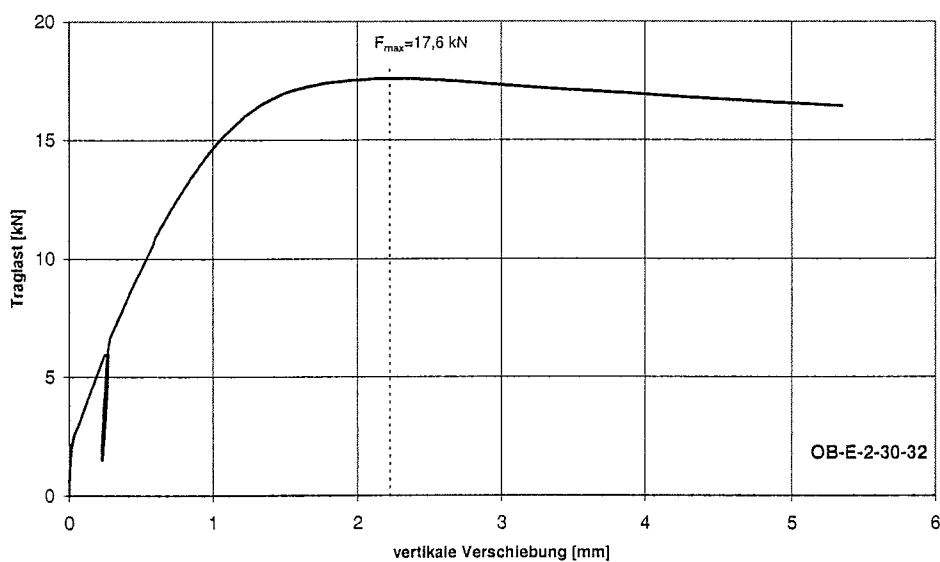
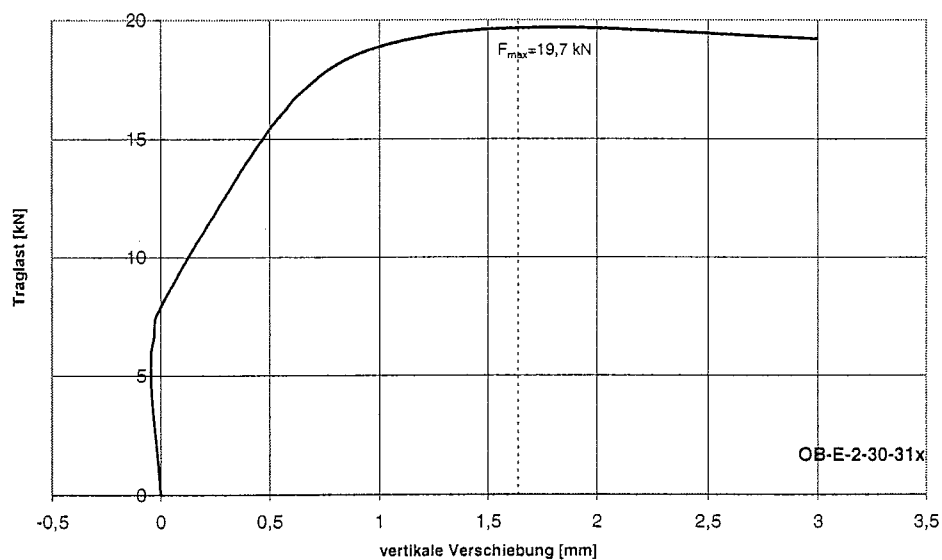
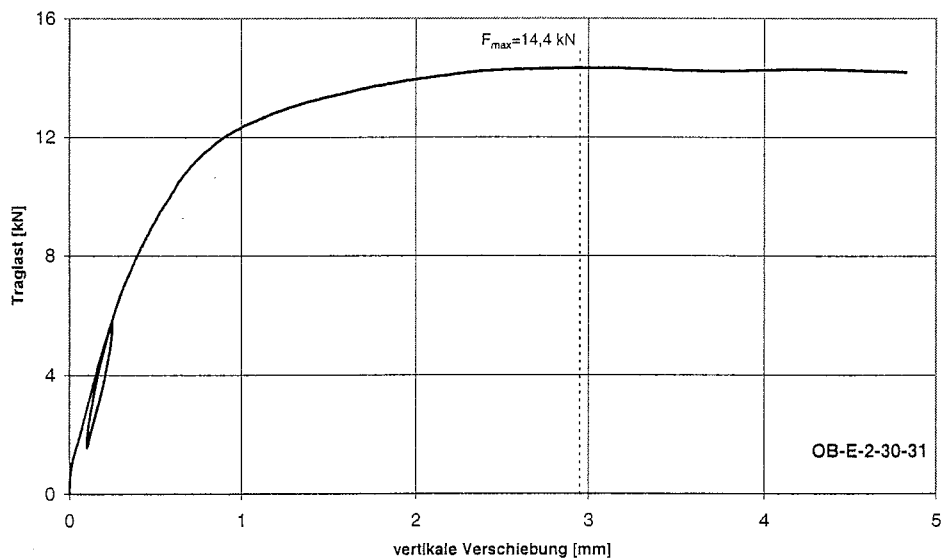


Bild A-67 bis A-69: Last- Verschiebungsdiagramme für OB-E-2-30-31 bis OB-E-2-30-32



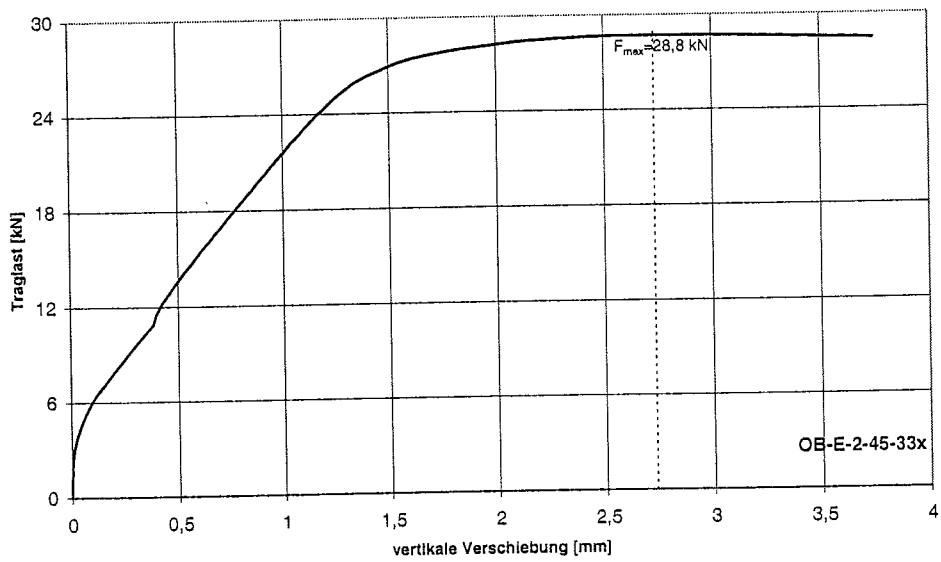
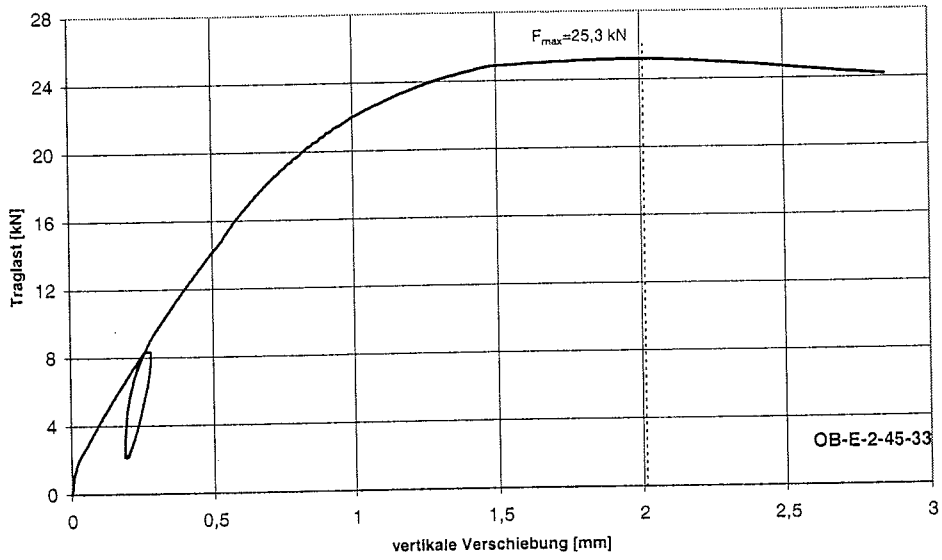
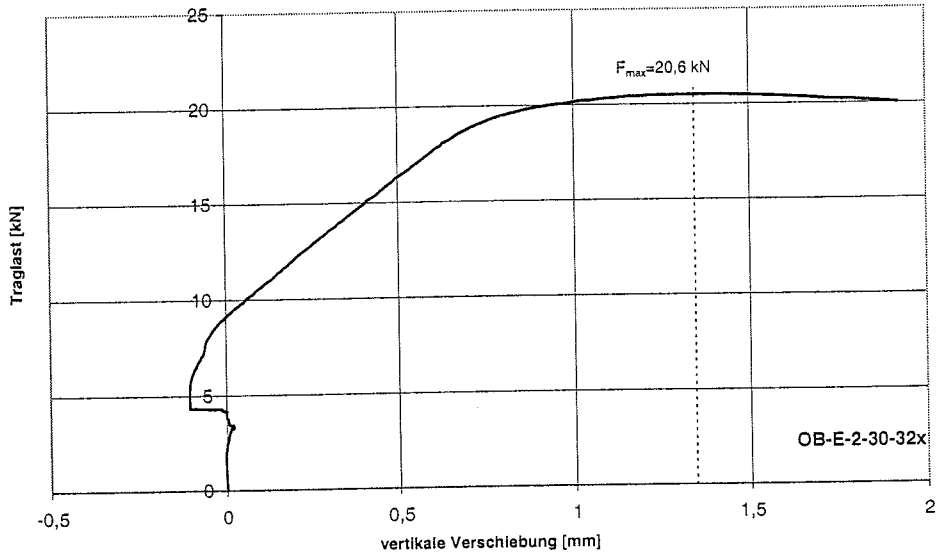


Bild A-70 bis A-72: Last- Verschiebungsdiagramme für OB-E-2-30-32x bis OB-E-2-45-33x

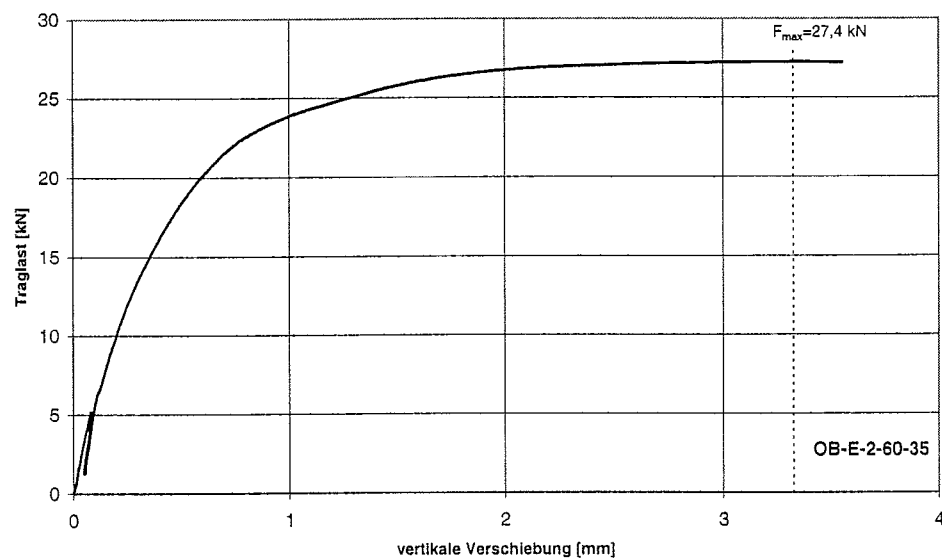
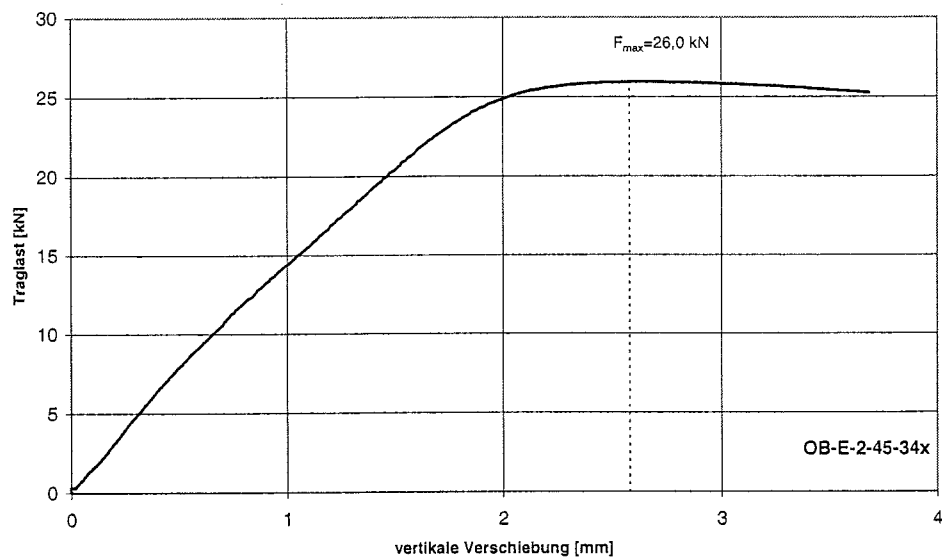
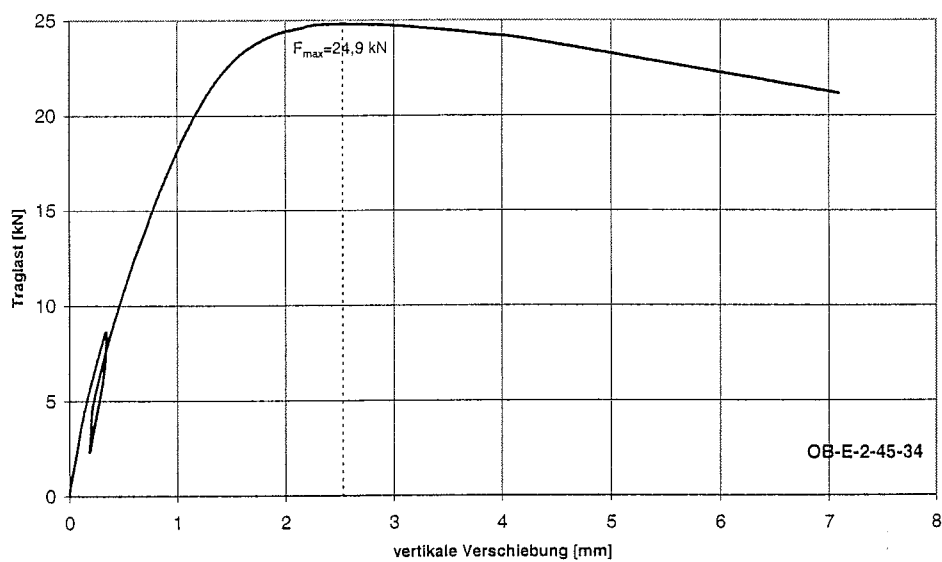


Bild A-73 bis A-75: Last- Verschiebungsdiagramme für OB-E-2-45-34 bis OB-E-2-60-35

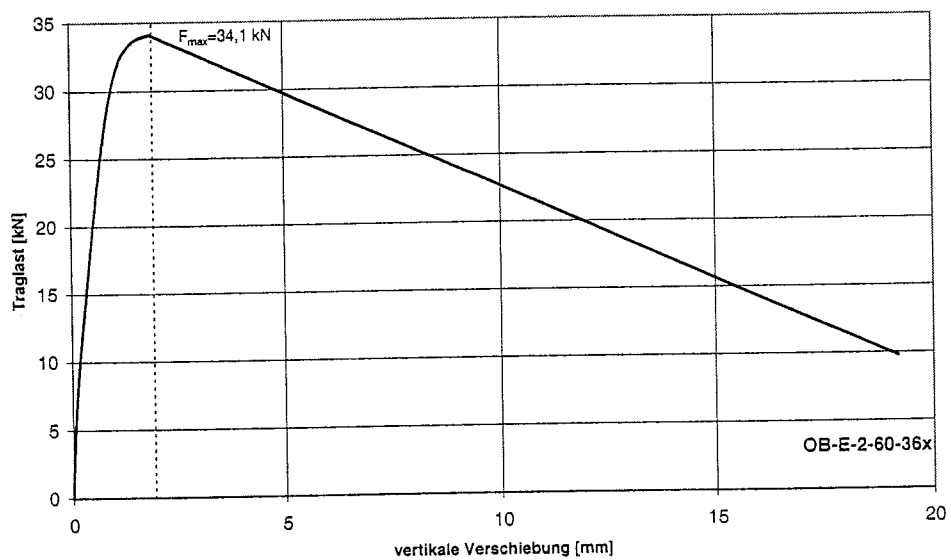
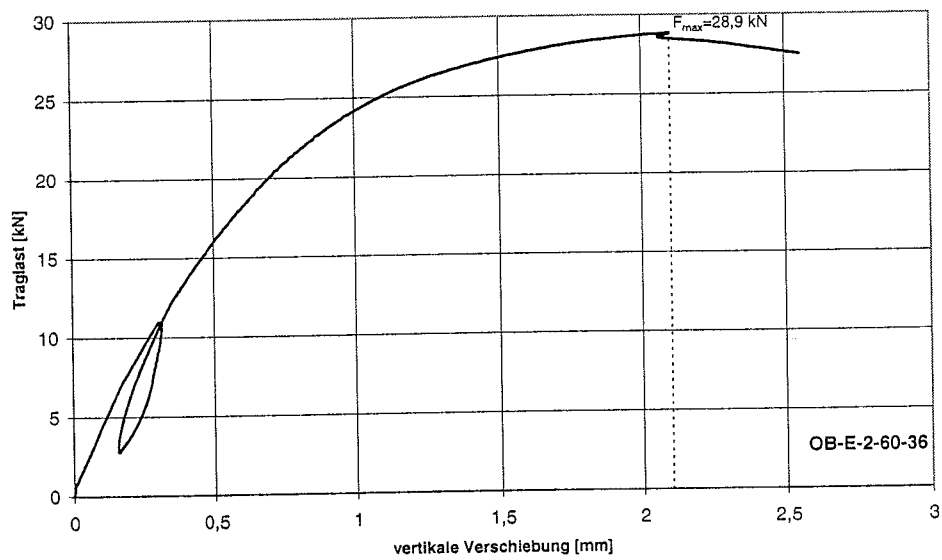
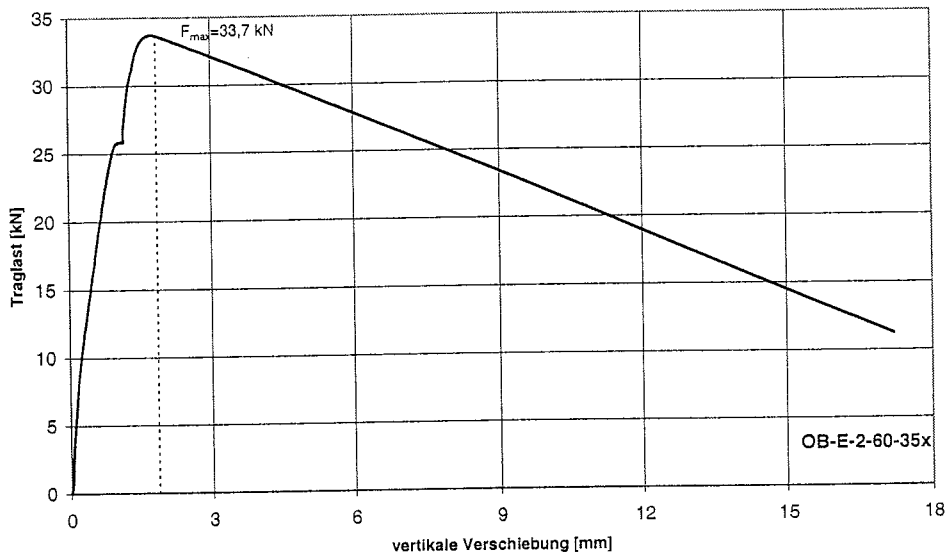


Bild A-76 bis A-78: Last-Verschiebungsdiagramme für OB-E-2-60-35x bis OB-E-2-60-36x

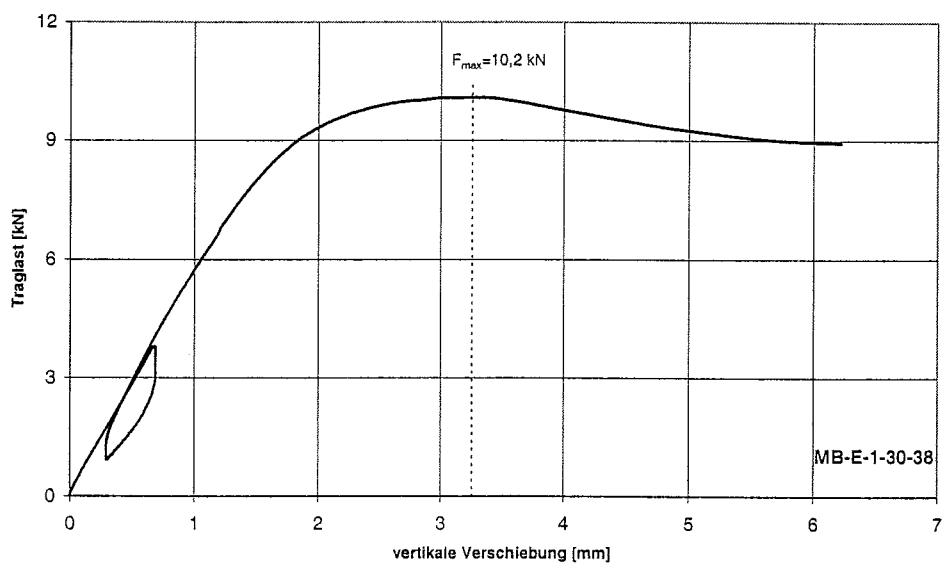
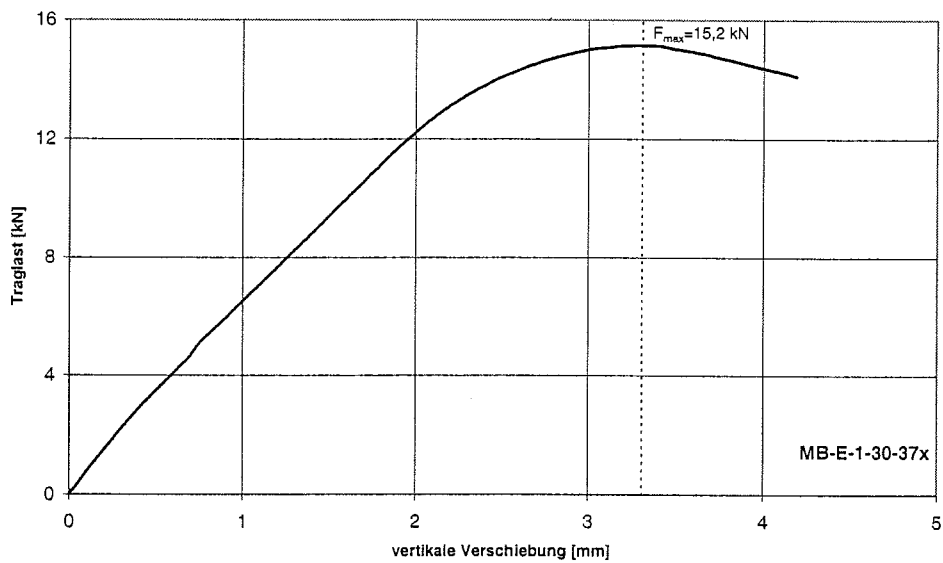
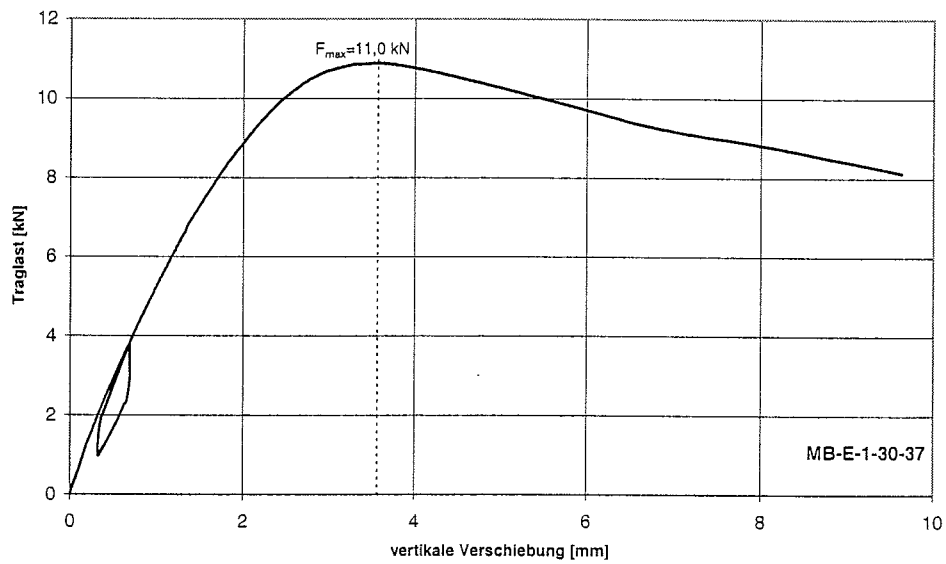


Bild A-79 bis A-81: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-E-1-30-37 bis MB-E-1-30-38

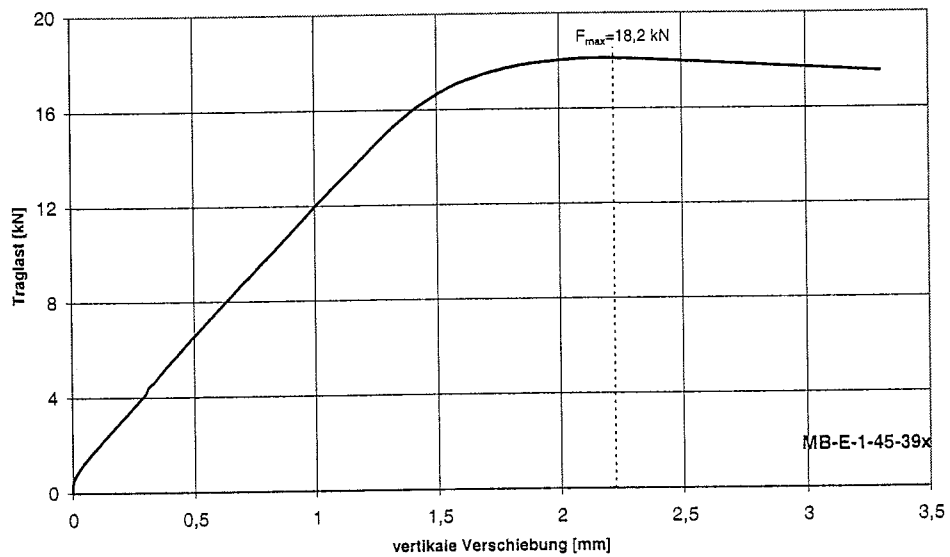
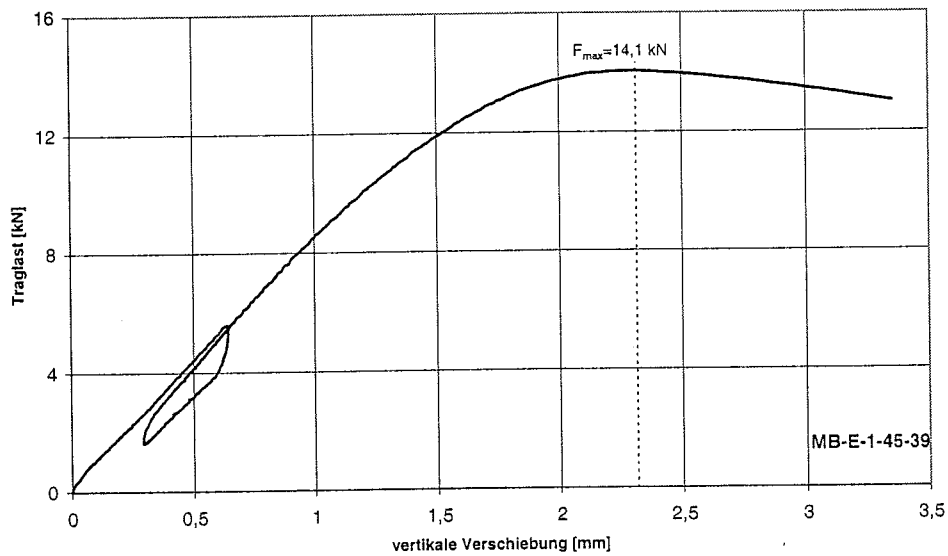
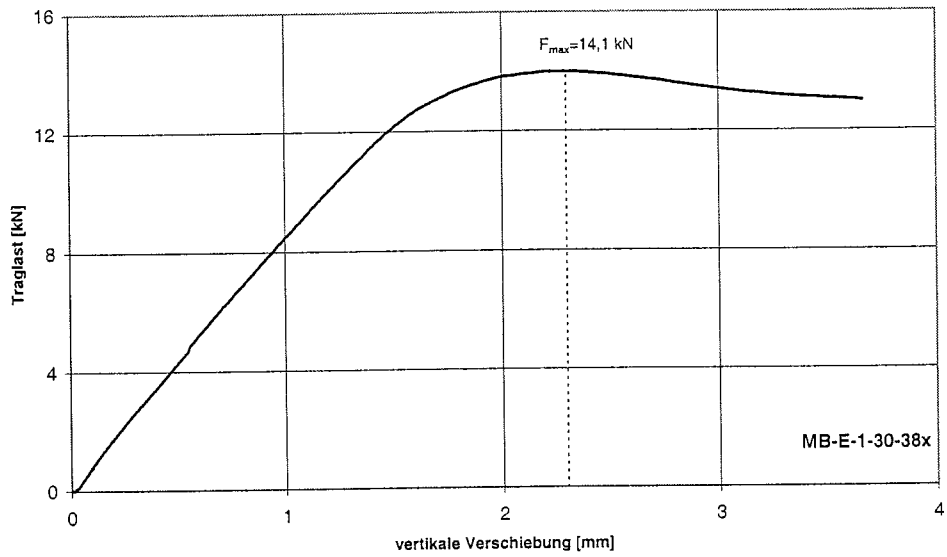


Bild A-82 bis A-84: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-E-1-30-38x bis MB-E-1-45-39x

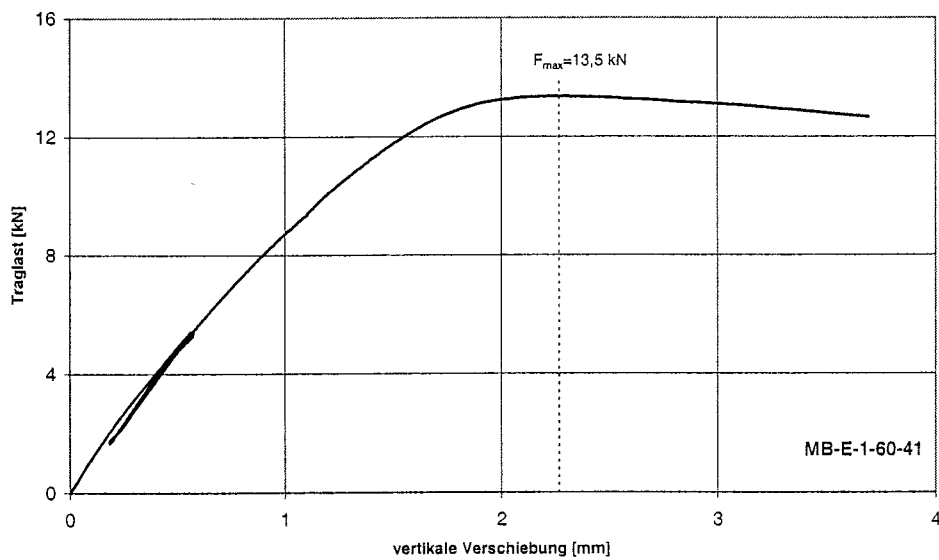
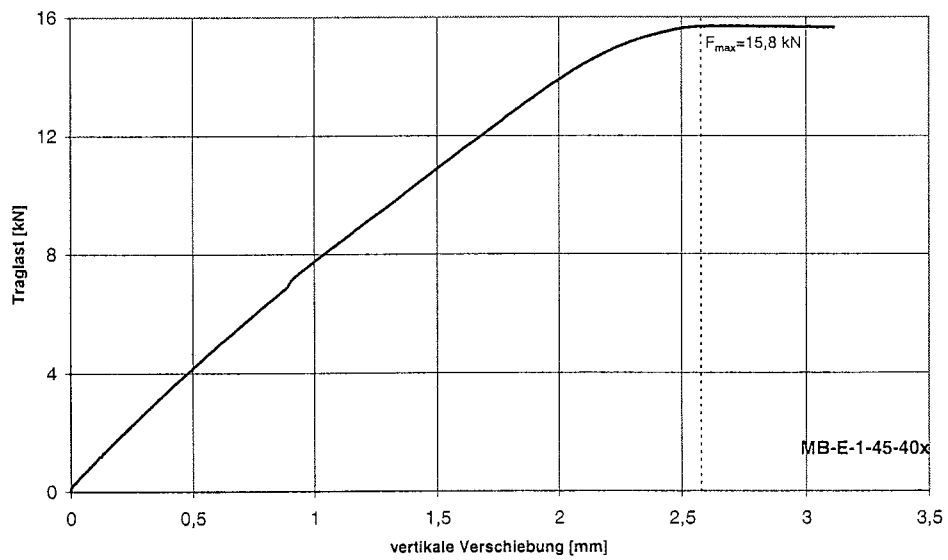
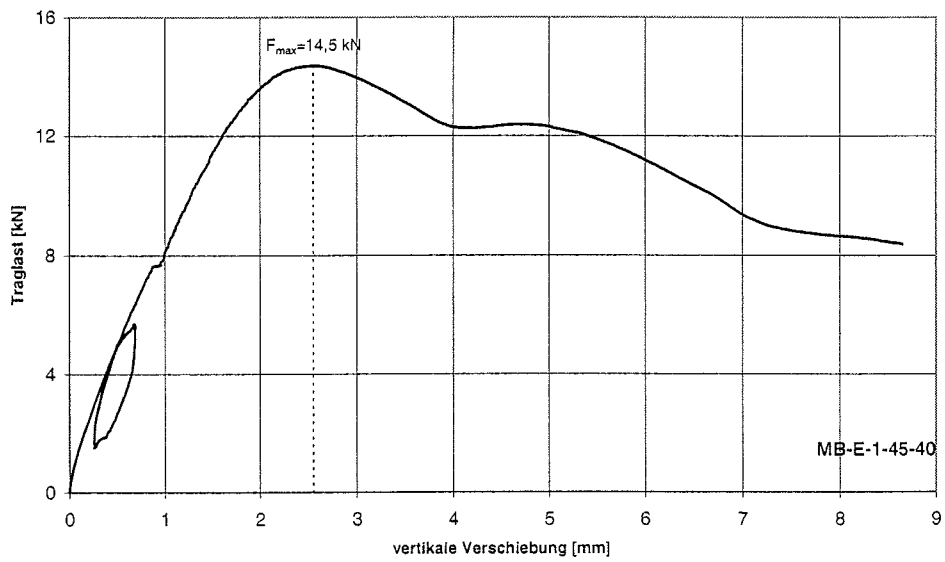


Bild A-85 bis A-87: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-E-1-45-40 bis MB-E-1-60-41

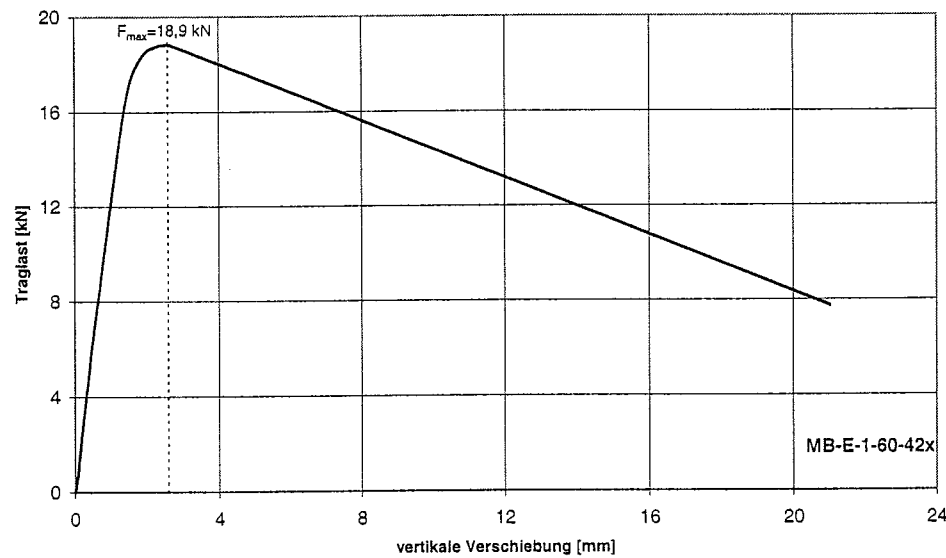
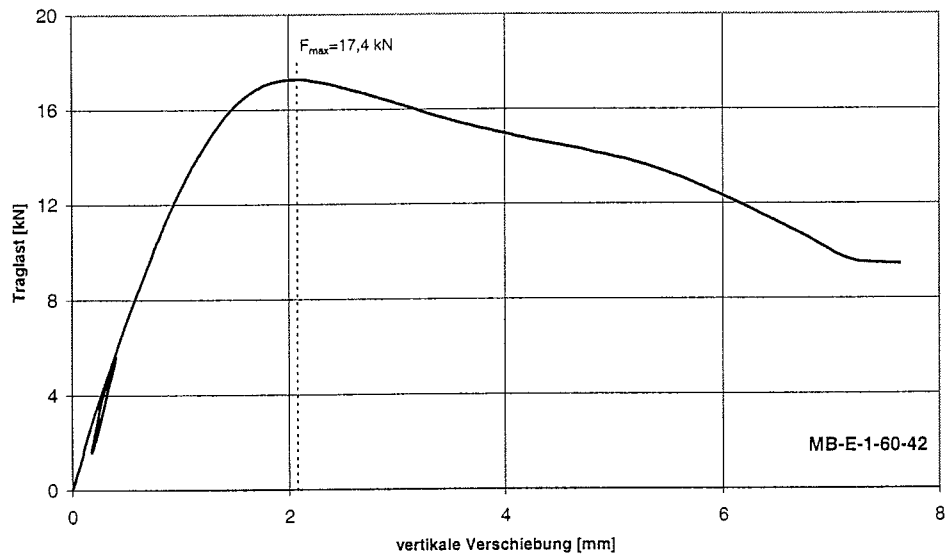
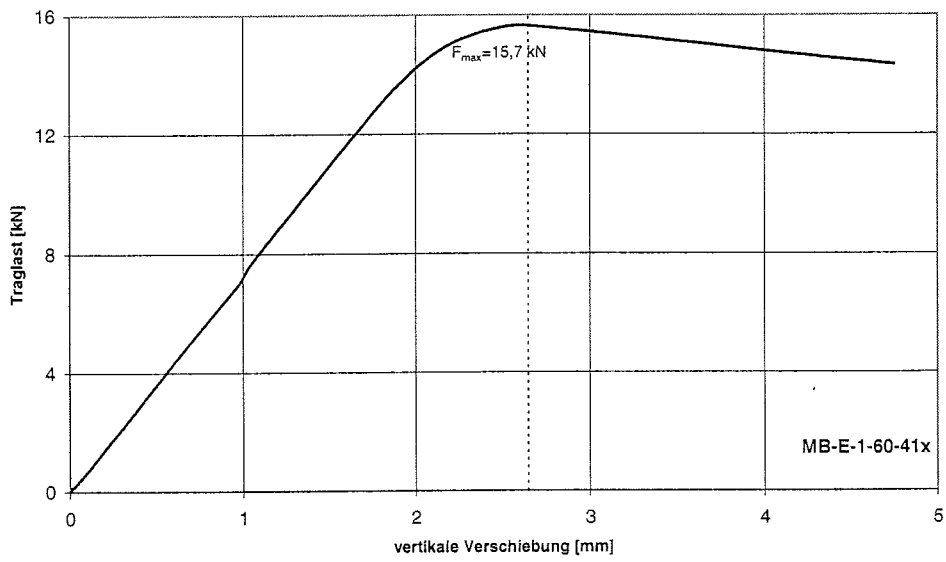


Bild A-88 bis A-90: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-E-1-60-41x bis MB-E-1-60-42x

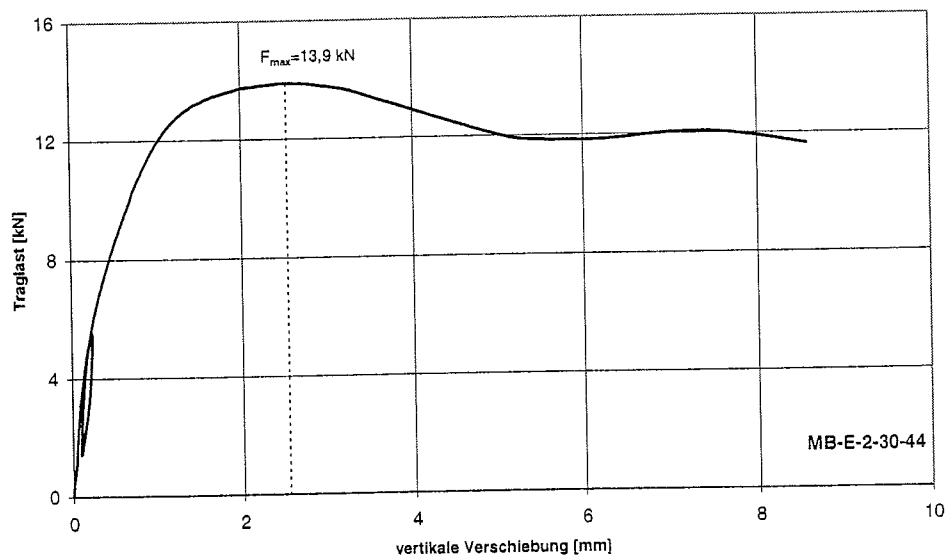
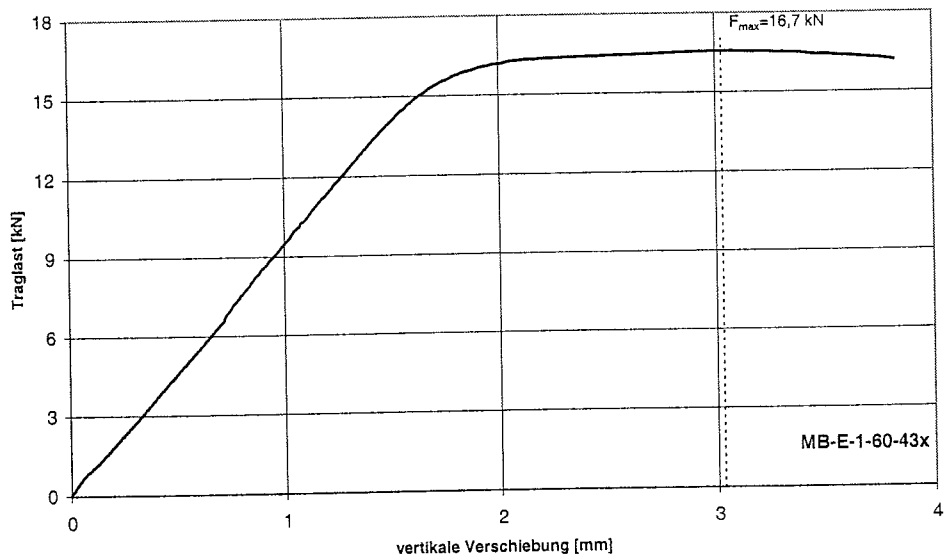
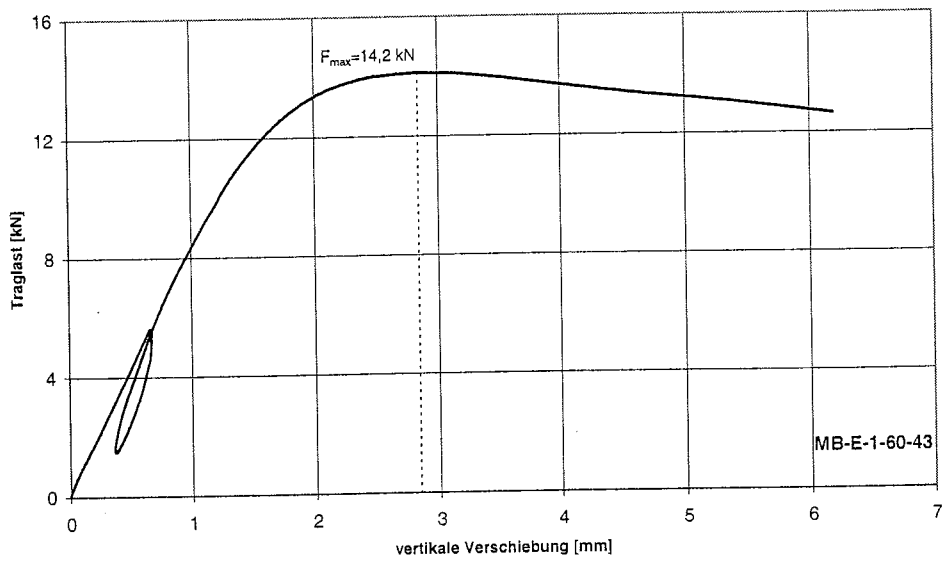


Bild A-91 bis A-93: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-E-1-60-43 bis MB-E-2-30-44



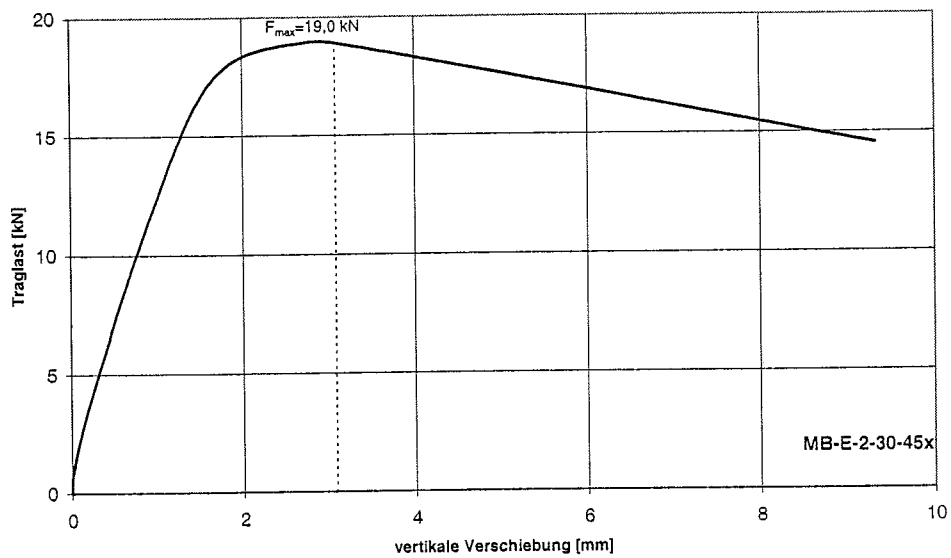
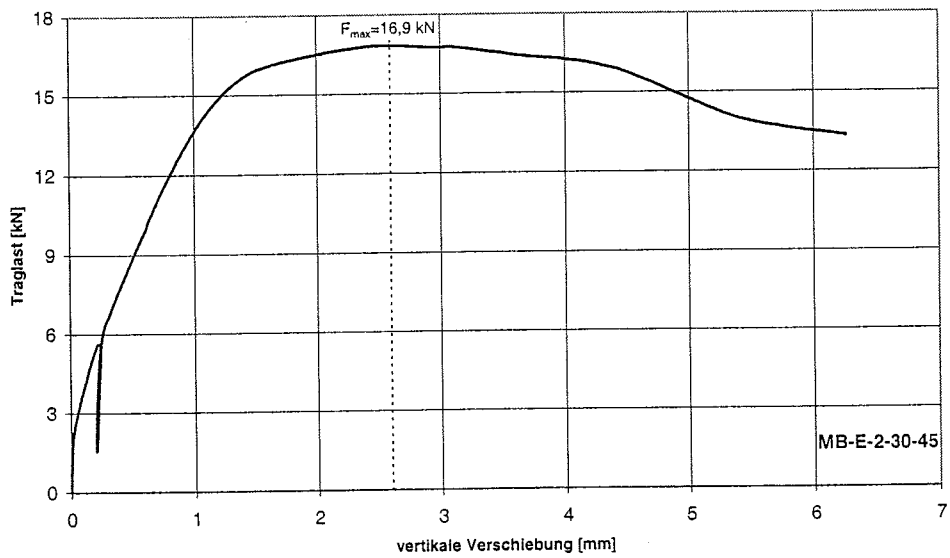
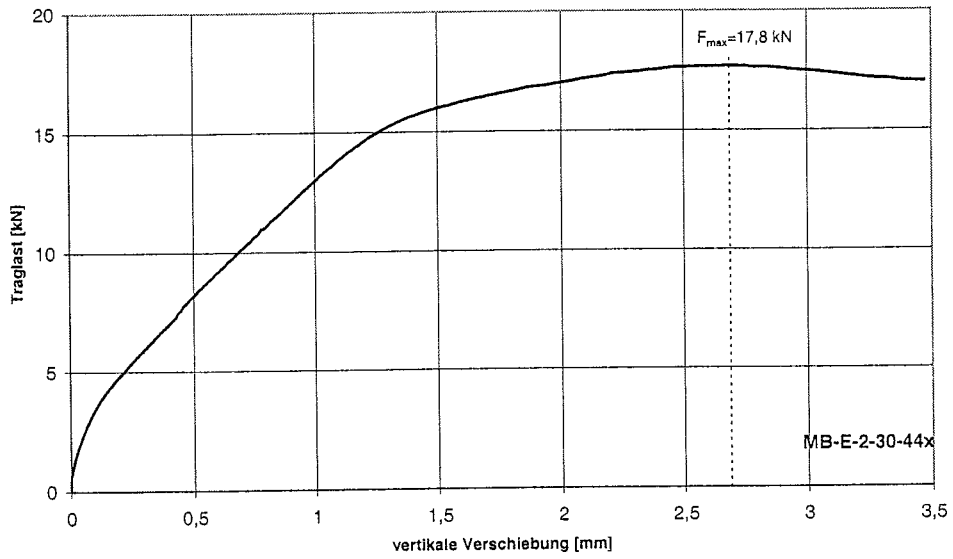


Bild A-94 bis A-96: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-E-2-30-44x bis MB-E-2-30-45x

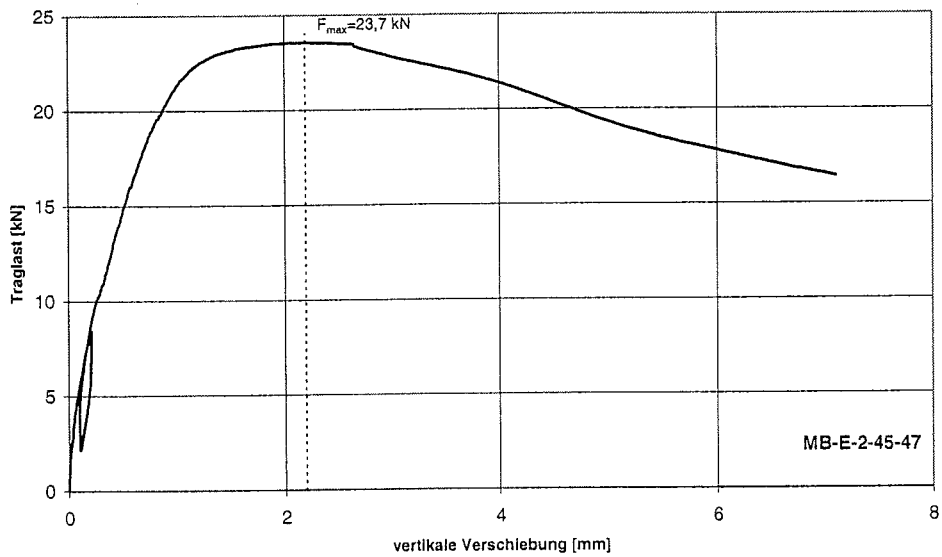
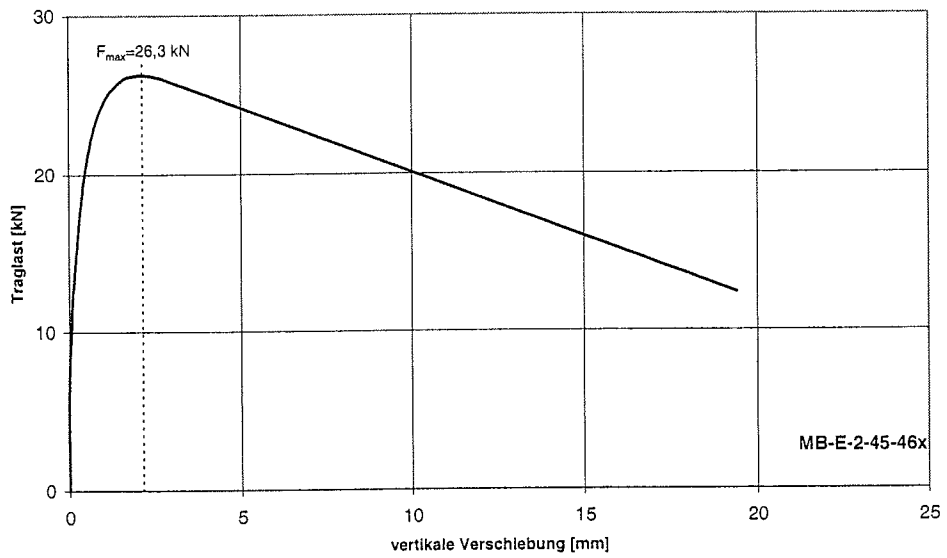
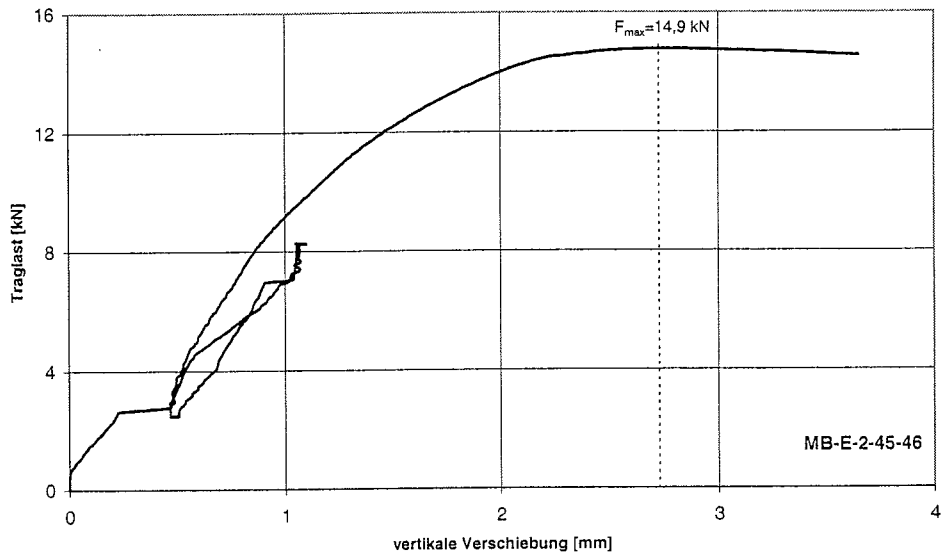


Bild A-97 bis A-99: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-E-2-45-46 bis MB-E-2-45-47

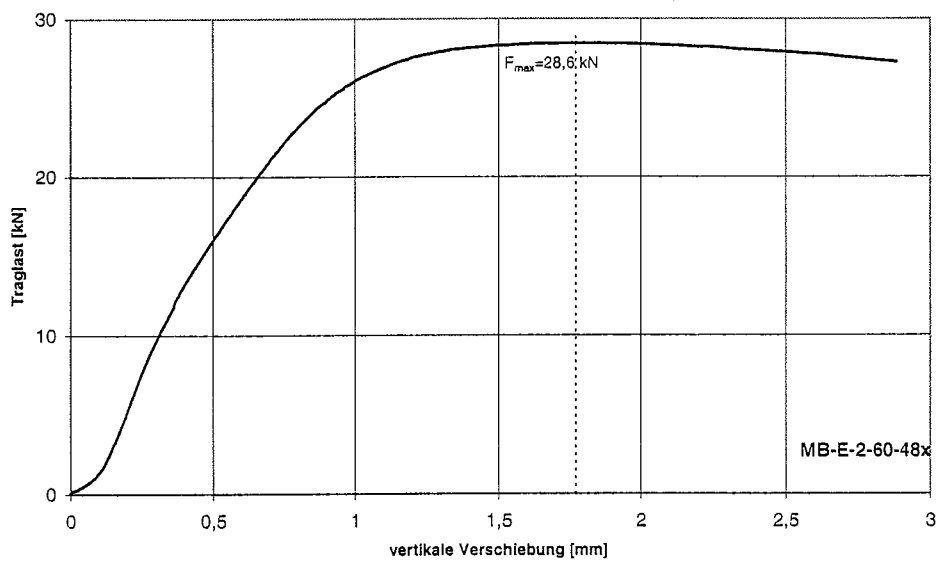
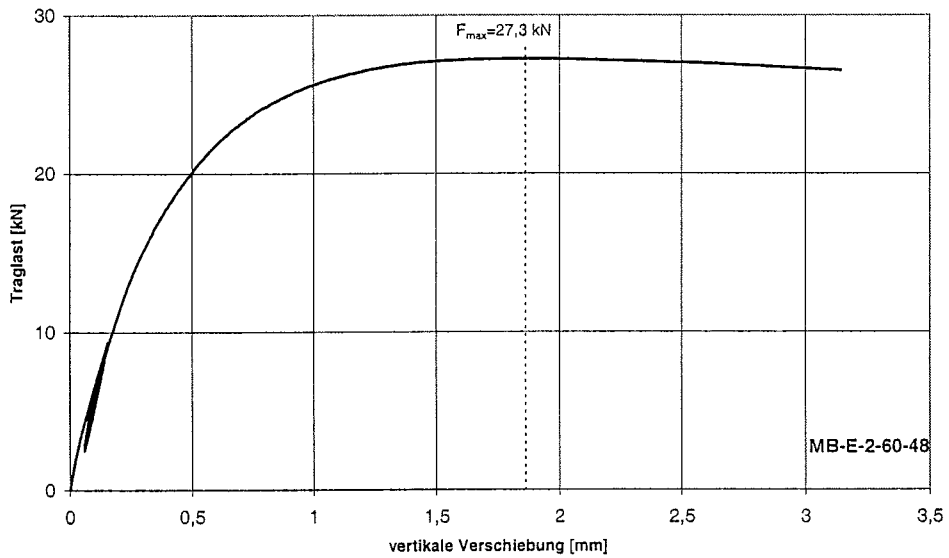
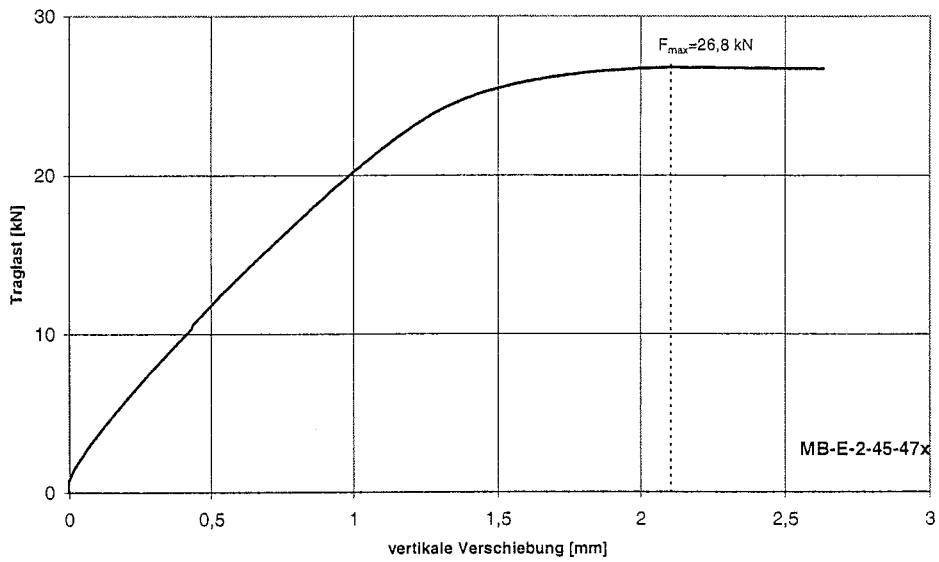


Bild A-100 bis A-102: Last- Verschiebungsdiagramme für MB-E-2-45-47x bis MB-E-2-60-48x

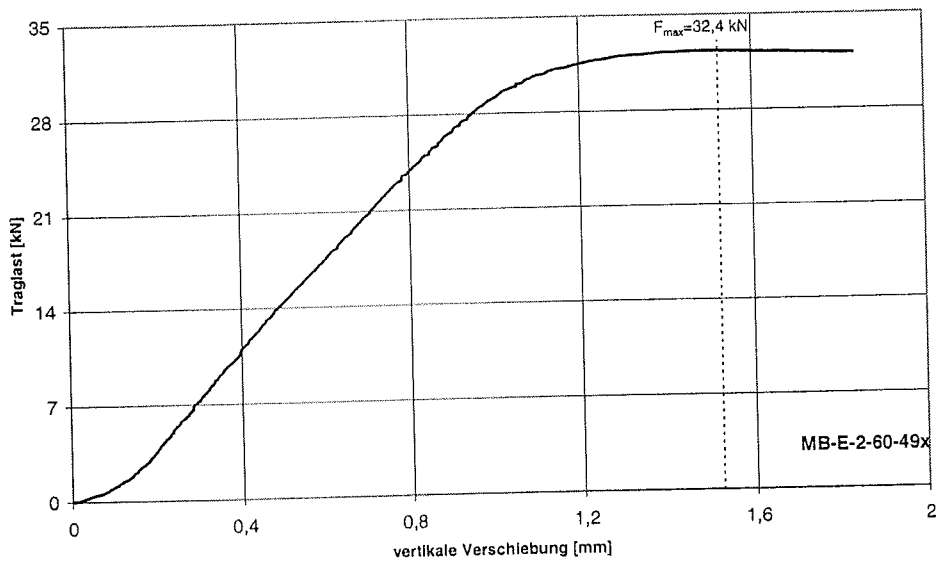
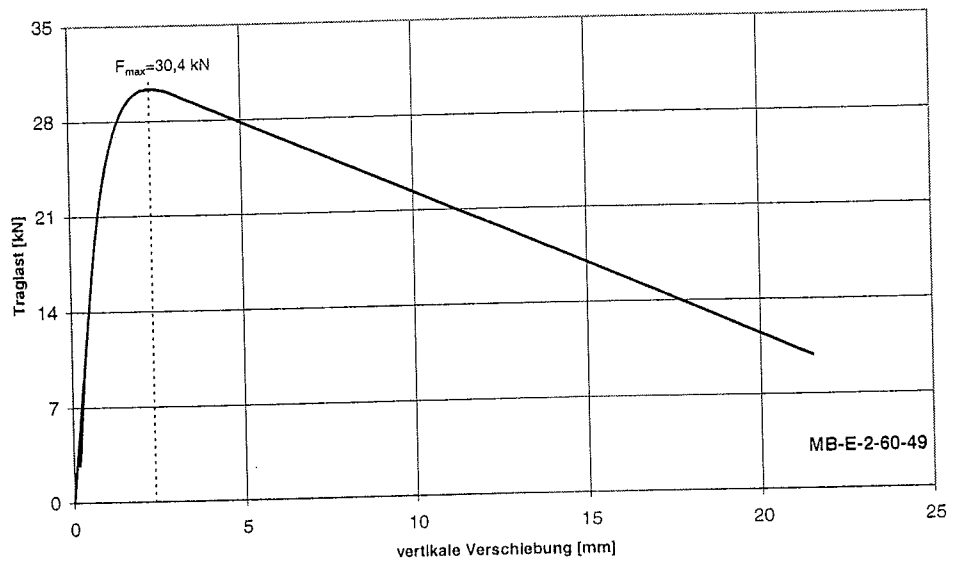


Bild A-103 und A-104: Last-Verschiebungsdiagramme für MB-E-2-60-49 und MB-E-2-60-49x