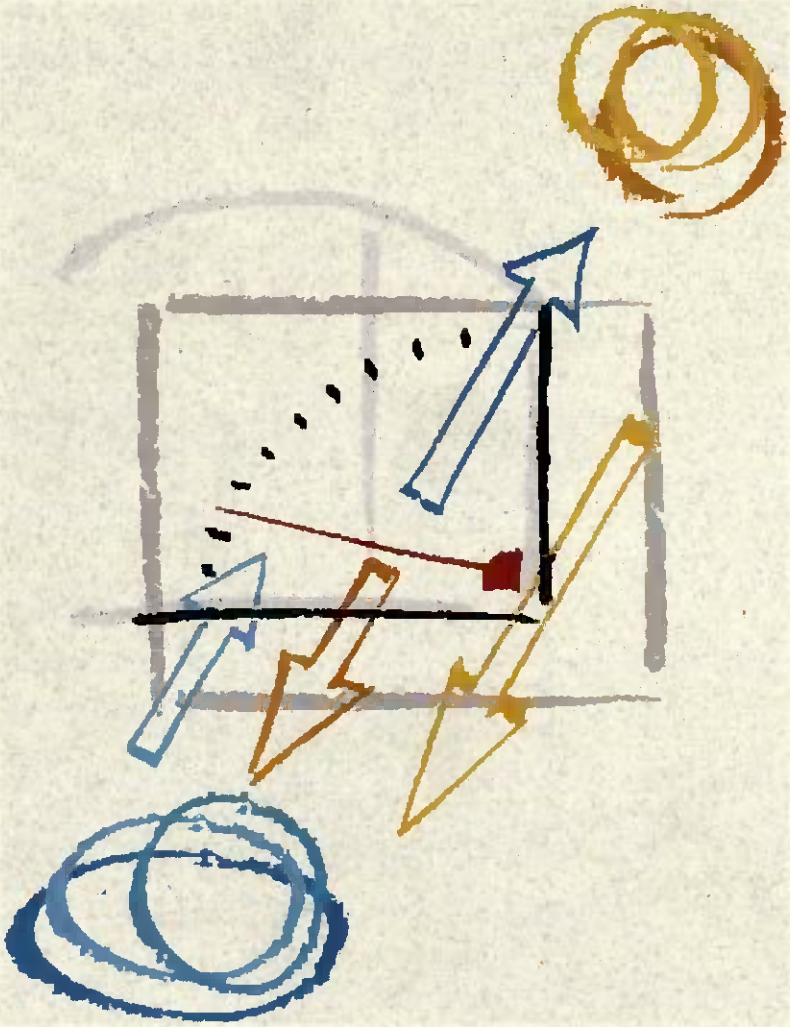
2 x A. J, AG: Hönicke, Mersch
+ Aje Holz, BDZ
+ Prof Schmid, H. Appelhans

ROSENHEIM

Forschungsvorhaben:

Innovative Rahmenverbindungen



Abschlussbericht

Februar 2001

Abschlussbericht

Thema	Entwicklung und Untersuchung innovativer Rahmenverbindungstechniken für Holzfenster
Kurztitel	Innovative Rahmenverbindungen
Auftraggeber	Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V. Bayerstraße 57-59 D-80335 München F-98/24
Gefördert durch	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungs-vereinigungen „Otto von Guericke" e.V. Bayenthalgürtel 23 D-50968 Köln
Forschungsstelle	Institut für Fenstertechnik e.V. Theodor-Gietl-Straße 7-9 D-83026 Rosenheim
Bearbeiter	Dipl.-Ing. (FH), Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Erwin Friedl Dipl.-Ing. (FH) Michael Freinberger Dipl.-Ing. Peter Niedermaier
Institutsleitung (ift Rosenheim)	Dr. Helmut Hohenstein

Rosenheim, Februar 2001

ROSENHEIM

Inhalt: **Seite**

1 Ausgangssituation 1

2 Zielsetzung 3
2.1 Entwicklungsschwerpunkte zur Lösung technischer Probleme 3
2.2 Verbesserung der wirtschaftlichen Ausgangssituation 3
2.3 Optimierung der Fertigungstechnik 3

3 Belastungssituation am Flügelrahmen 5
3.1 Mechanische Belastungssituation am Fensterflügel 5
3.2 Klimatische Belastungssituation am Fensterflügel 10

4 Lösungsansätze zu innovativen Rahmenverbindungstechniken 13
4.1 Prinzipielle Lösungsansätze 13
4.2 Kombination von Verbindungsmitteln 14
4.3 Untersuchungen zum Öffnen der Brüstungsfuge 15

5 Auswahl einer Rahmenverbindung für die mechanischen und klimatischen Untersuchungen 17
5.1 Übersicht der Rahmenprofile für Holzfensterkonstruktionen 17
5.2 Übersicht der Rahmenverbindungen an Holzfenster- und Fenstertürkonstruktionen 18
5.2.1 Anforderungen an Rahmenverbindungen für Holzfenster 19
5.3 Auswahl eines Rahmenprofils und Rahmenverbindung 20

6 Beurteilungsgrundlagen für Rahmenverbindungssysteme 21
6.1 Anwendungsbereich 21
6.2 Normative Verweise 21
6.3 Definitionen/Formelzeichen 21
6.4 Prüfgeräte 22
6.5 Anforderungen 22
6.5.1 Mechanische Festigkeit 22
6.5.2 Fugendichtheit 22
6.6 Probekörper 23
6.6.1 Klimatisierung der Probekörper 23

6.6.2 Probekörper (Form, Maße und Herstellung) 23
6.6.3 Probekörperanzahl 25
6.7 Prüfung 25
6.7.1 Belastungsverfahren 25
6.7.2 Verschiebungsmessung 26
6.7.3 Normalkraftbeanspruchung (Zugversuch) 26
6.7.4 Querkraftbeanspruchung (Scherversuch) 26
6.7.5 Dichtheitsprüfung der Fugen 28
6.8 Auswertung 29

7 Dichtungssysteme für Rahmenverbindungen von Holzfenstern 30
7.1 Anforderungen an ein Dichtsystem für Rahmenverbindungen 31
7.2 Definition der Dichtungsebenen 32
7.3 Konzepte zur Abdichtung von Rahmenverbindungen 33
7.3.1 Dichtprofil 33
7.3.2 Dichtstoff 34
7.3.3 Geschäumte Dichtung 35
7.4 Stoffsammlung: Dichtprofile 36
7.4.1 Vorauswahl der Dichtprofile 37
7.4.2 Dichtwirkung an Plexiglas-Gegenfläche 38
7.4.3 Dichtwirkung an Gegenfläche aus beschichteten Holzproben 40
7.5 Zusammenfassung der Erkenntnisse 44
7.6 Fazit 44

8 Ausgewählte Rahmenverbindungssysteme 45
8.1 Unlösbare Rahmenverbindungen 48
8.1.1 System 1.1, drei Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut 48
8.1.2 System 1.2, fünf Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut 49
8.1.3 System 1.3, drei Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut 50
8.1.4 System 1.4, drei Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut 51
8.1.5 System 1.5, fünf Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut 52
8.1.6 System 1.6, fünf Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut 53
8.1.7 System 1.7, Schlitz-Zapfen 54
8.1.8 System 1.8, Nutzapfen 55
8.1.9 System 1.9, Nutzapfen mit zwei Dübel 56
8.1.10 System 1.10, Keilzinken 57

8.1.11 System 1.11, zwei Fremdfedern 58
8.1.12 System 1.12, fünf Dübel - wärmegedämmtes Fensterprofil 59
8.2 Lösbare Rahmenverbindungen 60
8.2.1 System 2.1, Spanplattenschraube 60
8.2.2 System 2.2, zwei Gewindemuffen 61
8.2.3 System 2.3, Flachstahlplatte 62
8.2.4 System 2.4, Stahlblechplatte 63
8.2.5 System 2.5, Exzenterverbinder 64
8.2.6 System 2.6, Universalverbinder 65
8.2.7 System 2.7, vier Gewindemuffen 66
8.2.8 System 2.8, Eckumlenkung Dreh-Kippbeschlag 67

9 Prüfergebnisse der ausgewählten Rahmenverbindungs-systeme 68
9.1 Unlösbare Rahmenverbindungen 68
9.2 Lösbare Rahmenverbindungen 70

10 Zusammenfassung 71

11 Literaturangaben 72
11.1 Quellennachweise 72
11.2 Verwendete Literatur 72

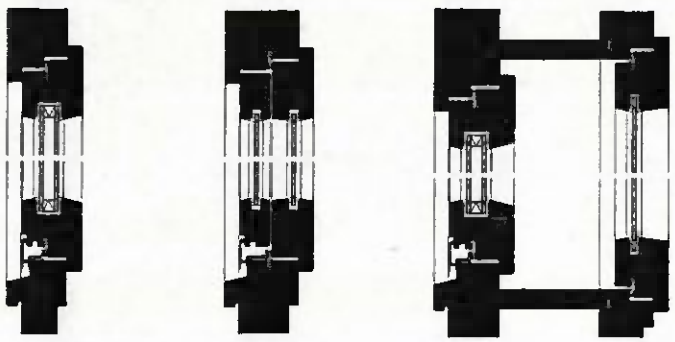
12 Anlagen 73

13 Danksagung 74

1 Ausgangssituation

Holz ist der älteste Rahmenwerkstoff für Fenster und hat in der bisherigen Entwicklung verschiedene Stufen durchlaufen. Sowohl die Anforderungen an das Fenster als auch die Technik zur Herstellung der Fenster haben sich in den letzten Jahrzehnten wesentlich verändert. Aus dem einfachen Funktionselement wurde ein Bauteil, an das hohe technische und ästhetische Anforderungen gestellt werden. Trotz grundlegender Entwicklungen sind aber die wesentlichen Konstruktionselemente des Holzfensters erhalten geblieben.

Durch diese Tatsache geraten Holzfensterkonstruktionen an die Grenzen der Anpassung der gestiegenen Anforderungen unserer Zeit. Details der Konstruktionen werden deshalb ohne grundsätzliche Veränderungen nicht mehr beherrschbar sein.



Einfachfenster *Verbundfenster* *Kastenfenster*

Bild 1 Grundkonzeptionen für Holzfenster

Die Problematik liegt dabei in deutlich gestiegenen Anforderungen an die Eigenschaften des Fensters und der zunehmenden Schadensentwicklung bei heutigen Holzfensterkonstruktionen, die in der Regel von gleichen Schwachpunkten ausgeht.

Gestiegene Anforderungen sind vor allem in den Bereichen:

- Wärmeschutz, Dichtheit,
- Schallschutz,

also in bauphysikalischen Eigenschaften, zu verzeichnen. Alle bisherigen und auch die Anforderungen der nahen Zukunft werden mit heutigen Holzfensterkonstruktionen zwar erfüllbar sein, jedoch z. B. für den Einsatz in Passivhäusern sind wärmetechnisch deutlich verbesserte Konstruktionen erforderlich.

Durch den Einsatz von wärmetechnisch verbesserten Profilen werden unter anderem auch neue Rahmenverbindungen erforderlich sein.

Die Analyse von Gutachten der letzten 10 Jahre hat gezeigt, dass mehr als 80 % aller Schäden am Holzfenster von den Rahmenverbindungen ausgehen, so dass es wichtig erscheint, dieses Konstruktionselement für eine zukünftige Entwicklung der Holzfenster aufzuarbeiten und entsprechende Beurteilungskriterien zu erstellen.

Tabelle 1 Gutachtenauswertung in dem Zeitraum 1983-1993 bei 150 Gutachten mit Ursachenzuordnung.

Aufgetretene Schäden	Häufigkeit	Ermittelte Ursachen	Anteil
Offene Brüstungsfugen	82 %	zu feuchtes Holz	8 %
		Verleimfehler	51 %
		Oberflächenbeschichtung	41 %
Fehlerhafte Abdichtungen	73 %	Glasabdichtungen	55 %
		Bauanschlüsse	45 %
Oberflächenbeschichtung	68 %	UV-Schutz	38 %
		Dicke der Beschichtung	33 %
		Verarbeitung	19 %
		Unverträglichkeit	7 %
		Holzinhaltsstoffe	3 %
Kantenausbildung	39 %	Kantenausbildung	100 %
Wetterschutzschiene	39 %	Tiefe der Schiene	48 %
		Abdichtung der Schiene	52 %
Gängigkeit	27 %	Gängigkeit	100 %
Glashalteleisten	20 %	Passung im Eckbereich	100 %
Holzqualität	15 %	Ausdübelungen	100 %
Glasfalzbelüftung	11 %	zur Raumseite hin	100 %

Die Aufnahmemenge der Feuchtigkeit ist holzartenabhängig, Feuchtigkeitsschwankungen im Holz führen zu einer sehr hohen Belastung von Rahmenverbindungen, die nach dem heutigen Kenntnisstand durch plastische Verformung des Holzes offene Verbindungen mit sich bringen.

Die Fenstergröße und die damit verbundenen Rahmenbreiten verstärken das Problem, weil das Absolutmaß der Verformung proportional mit der Breite wächst.

2 Zielsetzung

2.1 Entwicklungsschwerpunkte zur Lösung technischer Probleme

Der Schwerpunkt des Forschungsvorhabens liegt auf der Entwicklung von geeigneten Rahmenverbindungen für die Einzelteilfertigung. Die Einzelteilfertigung ist im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass sämtliche Rahmenteile bereits vor der Rahmenmontage fertig profiliert und beschichtet werden. Im Anschluss an die Herstellung der einzelnen Rahmenkomponenten werden diese zu kompletten Fenstersystemen zusammengestellt.

In einer weiteren Stufe ist dann zu prüfen, ob die Art der Verbindung in der Kombination mit dem Rahmenquerschnitt die geforderten Festigkeitswerte für eine funktionsfähige Rahmenverbindung ergibt.

2.2 Verbesserung der wirtschaftlichen Ausgangssituation

Die Holzfensterbranche besteht zum überwiegenden Teil aus kleinen und mittleren Betrieben. Die Struktur dieser Betriebe ist im Allgemeinen schwerpunktmäßig auf die Fertigung ausgerichtet. Eigene Forschungs- und Entwicklungsabteilungen sind die absolute Ausnahme. Viele Unternehmen haben die Herausforderung einer technischen Weiterentwicklung des Holzfensters bereits angenommen, sind aber nicht in der Lage, ihre Ansätze und Ideen mit der nötigen wissenschaftlichen Tiefe zu untersuchen und dann in ein marktreifes Produkt umzusetzen. Das vorliegende Projekt soll die Grundlagen für einen Technologiesprung im Holzfensterbereich schaffen. Die Entwicklungen werden auch unter dem Aspekt gestaltet, dass neue Konstruktionen mit einer minimalen Veränderung der Bearbeitungsmaschinen möglich werden.

2.3 Optimierung der Fertigungstechnik

Neben dem Einfluss auf die technischen Eigenschaften des Fensters kommt der Rahmenverbindung eine zentrale Rolle für die Fertigung der Holzfenster zu. Bei der heute gängigen Rahmenfertigung werden nach der Profilierung der Kanteln die Rahmenteile durch Klebung zum Blend- bzw. Flügelrahmen zusammengefügt. Erst danach erfolgt die Grundierung und Beschichtung so-

wie die Beschlagmontage und Verglasung. Diese Art der Fertigung birgt einige Nachteile in sich, die im Folgenden kurz erläutert sind.

Die Beschichtung erfolgt am montierten Rahmen, weshalb eine entsprechende große Beschichtungsanlage verwendet werden muss. Der Overspray-Anteil ist bei dieser Art der Beschichtung relativ hoch, wobei durch Lackrückgewinnungsanlagen die Verluste in Grenzen gehalten werden.

Insgesamt ist mit der heutigen Art der Fertigung neben den technischen Problemen ein zu hohes Kostenniveau verbunden, weshalb eine Umstellung auf alternative Fertigungstechniken diskutiert und in Einzelfällen auch praktiziert wird.

Einen Lösungsansatz stellt die Einzelteilfertigung dar. Bei der Einzelteilfertigung erfolgt die Grundierung und Beschichtung und ggf. auch die Beschlagvormontage vor der Verbindung der Rahmenteile zum Rahmen. Man erwartet sich dabei insbesondere für die Beschichtungstechnik deutliche fertigungstechnische Vorteile, da eine Beschichtung der Rahmeneinzelteile mit weniger Aufwand im Vergleich zu kompletten Rahmen möglich ist. Technisch ergibt sich der Vorteil, dass bei einer Beschichtung vor der Rahmenfertigung auch die für die Feuchteaufnahme besonders kritischen Hirnholzflächen beschichtet werden. Dies führt zu einer besseren Stabilisierung des Holzes gegen Feuchteeinflüsse und damit zu verringerten Quell- und Schwindvorgängen. Dies wiederum bedeutet verringerte Belastungen auf Stoßfugen und damit eine erhöhte Gebrauchsdauer des gesamten Fensters.

Bei der Umstellung auf eine andere Fertigungstechnik und zur Lösung bestehender technischer Probleme kommt der Rahmenverbindung eine zentrale Bedeutung zu.

3 Belastungssituation am Flügelrahmen

3.1 Mechanische Belastungssituation am Fensterflügel

Die in Bild 2 beschriebene Belastungssituation stellt eine Beschreibung der am Fensterflügel maximal auftretenden Beanspruchungen dar, die sich infolge der Handhabung und des Eigengewichtes für den geöffneten Zustand ergeben. In der nachfolgenden Darstellung werden unter vereinfachten Annahmen die am Fensterflügel auftretenden Beanspruchungen zur Definition der auftretenden Kräfte an einer Fensterrahmenverbindung abgeschätzt.

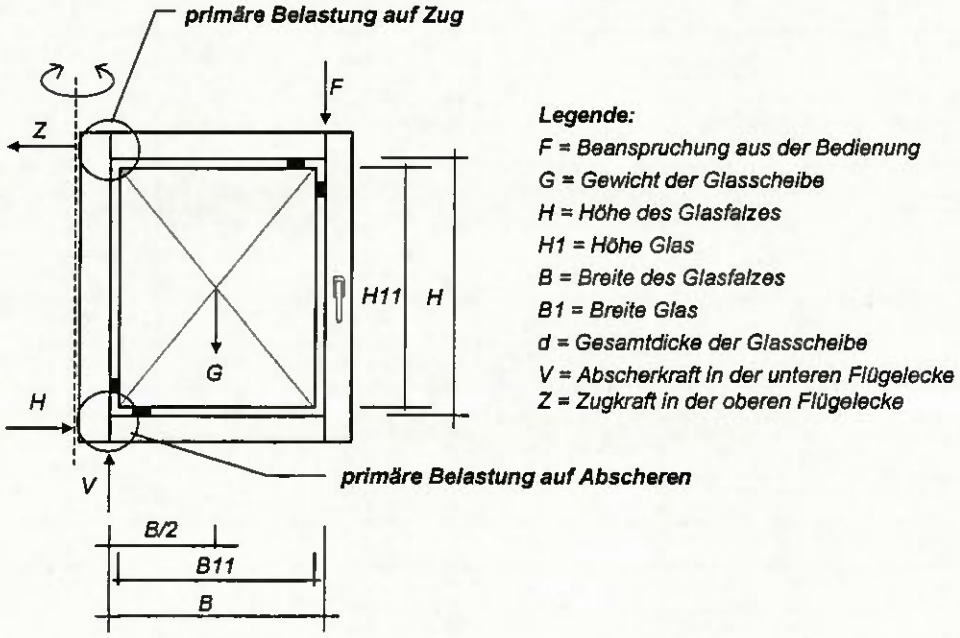


Bild 2 Belastungssituation am Fensterflügel

Folgende Annahmen werden dabei zugrunde gelegt:

- Das bandseitige senkrechte Flügelholz wird als unverformbar und an den Ecken drehbar gelagert angenommen.
- Für den Flügelrahmen werden die Eckpunkte als gelenkig angenommen. Obwohl dies nicht den tatsächlichen Verhältnissen entspricht, wird diese Annahme für eine Näherung gewählt. Ein gelenkiger Flügelrahmen erfüllt durch die aussteifende Wirkung der Verglasung mit entsprechender Verklotzung und Abdichtung seine Aufgaben in der gleichen Weise wie ein Rahmen mit biegesteifen Ecken.

– Das Flügelgewicht wird vorwiegend an der unteren Ecke des senkrechten Flügelholzes abgetragen, da die gelenkig angebunden Ausstellscheren am Kopfpunkt für diese Belastung nicht vorgesehen und geeignet sind.

In den folgenden Tabellen werden die wirksamen Kräfte auf die Rahmenverbindung für verschiedene Flügelverhältnisse dargestellt:

Tabelle 2 Wirksame Kräfte auf die Rahmenverbindung für ein Flügelverhältnis B/H = 1/1

Bedienkraft F in kN	Breite B in cm	Höhe H in cm	Glasdicke d in mm	Glasgewicht G in kN	Zugkraft Z in kN	Scherkraft V in kN
0,5	50	50	8	0,05	0,52	0,55
0,5	55	55	8	0,06	0,53	0,56
0,5	60	60	8	0,07	0,53	0,57
0,5	65	65	8	0,08	0,54	0,58
0,5	70	70	8	0,10	0,55	0,60
0,5	75	75	8	0,11	0,55	0,61
0,5	80	80	8	0,13	0,56	0,63
0,5	85	85	8	0,14	0,57	0,64
0,5	90	90	8	0,16	0,58	0,66
0,5	95	95	8	0,18	0,59	0,68
0,5	100	100	8	0,20	0,60	0,70
0,5	105	105	8	0,22	0,61	0,72
0,5	110	110	8	0,24	0,62	0,74
0,5	115	115	8	0,26	0,63	0,76
0,5	120	120	8	0,29	0,64	0,79
0,5	125	125	8	0,31	0,65	0,81
0,5	130	130	8	0,34	0,67	0,84
0,5	135	135	8	0,36	0,68	0,86
0,5	140	140	8	0,39	0,69	0,89

ift ROSENHEIM

Tabelle 3 Wirksame Kräfte auf die Rahmenverbindung für Flügelverhältnis B/H = 1/1,5

Bedienkraft F in kN	Breite B in cm	Höhe H in cm	Glasdicke d in mm	Glasgewicht G in kN	Zugkraft Z in kN	Scherkraft V in kN
0,5	50	75	8	0,08	0,36	0,58
0,5	55	82,5	8	0,09	0,36	0,59
0,5	60	90	8	0,11	0,37	0,61
0,5	65	97,5	8	0,13	0,37	0,63
0,5	70	105	8	0,15	0,38	0,65
0,5	75	112,5	8	0,17	0,39	0,67
0,5	80	120	8	0,19	0,40	0,69
0,5	85	127,5	8	0,22	0,40	0,72
0,5	90	135	8	0,24	0,41	0,74
0,5	95	142,5	8	0,27	0,42	0,77
0,5	100	150	8	0,30	0,43	0,80
0,5	105	157,5	8	0,33	0,44	0,83
0,5	110	165	8	0,36	0,45	0,86
0,5	115	172,5	8	0,40	0,46	0,90
0,5	120	180	8	0,43	0,48	0,93
0,5	125	187,5	8	0,47	0,49	0,97
0,5	130	195	8	0,51	0,50	1,01
0,5	135	202,5	8	0,55	0,51	1,05
0,5	140	210	8	0,59	0,53	1,09

Tabelle 4 Wirksame Kräfte auf die Rahmenverbindung für Flügelverhältnis B/H = 1/2

Bedienkraft F in kN	Breite B in cm	Höhe H in cm	Glasdicke d in mm	Glasgewicht G in kN	Zugkraft Z in kN	Scherkraft V in kN
0,5	50	100	8	0,10	0,27	0,60
0,5	55	110	8	0,12	0,28	0,62
0,5	60	120	8	0,14	0,29	0,64
0,5	65	130	8	0,17	0,29	0,67
0,5	70	140	8	0,20	0,30	0,70
0,5	75	150	8	0,23	0,31	0,73
0,5	80	160	8	0,26	0,31	0,76
0,5	85	170	8	0,29	0,32	0,79
0,5	90	180	8	0,32	0,33	0,82

Bedienkraft F in kN	Breite B in cm	Höhe H in cm	Glasdicke d in mm	Glasgewicht G in kN	Zugkraft Z in kN	Scherkraft V in kN
0,5	95	190	8	0,36	0,34	0,86
0,5	100	200	8	0,40	0,35	0,90
0,5	105	210	8	0,44	0,36	0,94
0,5	110	220	8	0,48	0,37	0,98
0,5	115	230	8	0,53	0,38	1,03
0,5	120	240	8	0,58	0,39	1,08
0,5	125	250	8	0,63	0,40	1,13
0,5	130	260	8	0,68	0,42	1,18
0,5	135	270	8	0,73	0,43	1,23
0,5	140	280	8	0,78	0,44	1,28

Wichtig bei der Bewertung der Ergebnisse ist, dass sich die Beanspruchungen auf Grund eines Glasgewichtes mit dem Scheibenaufbau von d = 8,0 mm ergeben. Werden z. B. Schallschutzgläser mit stärkeren Scheibenaufbauten in die Flügel eingesetzt, so ändert sich die Beanspruchungssituation entsprechend.

Tabelle 5 Zug- und Scherbeanspruchung an ausgewählten Fensterflügeln anhand der Berechnungsannahmen

Beschreibung	Flügelverhältnis von Breite / Höhe in mm	Zugkraft in N 1)	Scherkraft in N 2)
Standardfenster	1300 x 1300	670	840
Fenstertür	1000 x 2200	350	900
Flügelformat mit max. Zugkraft	1400 x 1400	690	890
Flügelformat mit max. Scherkraft	1400 x 2800	440	1280

1) Maximale Zugbeanspruchung in der bandseitig oberen Ecke

2) Maximale Scherbeanspruchung in der bandseitig unteren Ecke

Aus der Belastungssituation für die Rahmenverbindung, die sich aus der Geometrie und den Scheibenaufbauten ergibt sowie dem entsprechenden Verhalten im Bruchlastbereich, kann nun unter Berücksichtigung einer entsprechenden Sicherheitsphilosophie das maximale Gebrauchslastniveau für die

Konstruktion bzw. Verbindung festgelegt werden. Die Wahl des Gebrauchslastniveaus der Rahmenverbindung hängt dabei von folgenden Faktoren ab:

- Streuung der Bruchlastwerte bei den Versuchen,
- Varianz der Bruchlastwerte,
- Kraft-Verformungsverhalten der Verbindung (Gebrauchslastniveau muss im elastischen Bereich der Verbindung liegen),
- Wahl der Sicherheitsphilosophie für Rahmenverbindungen und Festlegung eines beanspruchungsabhängigen Sicherheitsfaktors,
- Vorankündigung eines Versagens der Verbindung sowie der Abstand des Versagensniveaus zwischen Ankündigung und Versagenszustand,
- Sicherheit der Verbindung zwischen dem Niveau einer Teilschädigung bzw. eines Teilversagens und dem Niveau eines absoluten Versagens.

Zur Erfüllung der mechanischen Aufgaben einer Rahmenverbindung sind im Wesentlichen zwei Gebrauchszustände zu unterscheiden. Diese sind:

1. ***Montagezustand***; zusammengesetzter Flügelrahmen *ohne* eingesetzte Ausfachung.
   Für diesen Zustand wirkt die Ausfachung (im Regelfall Mehrscheibenisolierglas) nicht als aussteifendes Element, so dass die Rahmenverbindung neben Zug- und Scherkräften ebenfalls Momente auf Grund der Handhabung in der Fertigung übertragen muss, sofern dies nicht durch zusätzliche Maßnahmen sichergestellt werden kann.
2. ***Gebrauchszustand***; zusammengesetzter Flügelrahmen *mit* eingesetzter Ausfachung.
   Dieser Zustand beschreibt den im Blendrahmen eingesetzten Flügelrahmen unter Gebrauchslasten. Durch das eingesetzte Aussteifungselement müssen von der Rahmenverbindung im wesentlichen Zug- bzw. Scherkräfte übertragen werden. Momente werden je nach Verbindungsmittelart aufgenommen und übertragen.

Für einen Flügelrahmen im Gebrauchszustand würde dies unter den oben gewählten Annahmen einer gelenkigen Rahmenverbindung bedeuten, dass eine biegesteife Rahmenverbindung nur unwesentlichen Einfluss auf das Verformungsverhalten eines Rahmens hat. Diese Annahme wird am nachfolgenden System untersucht.

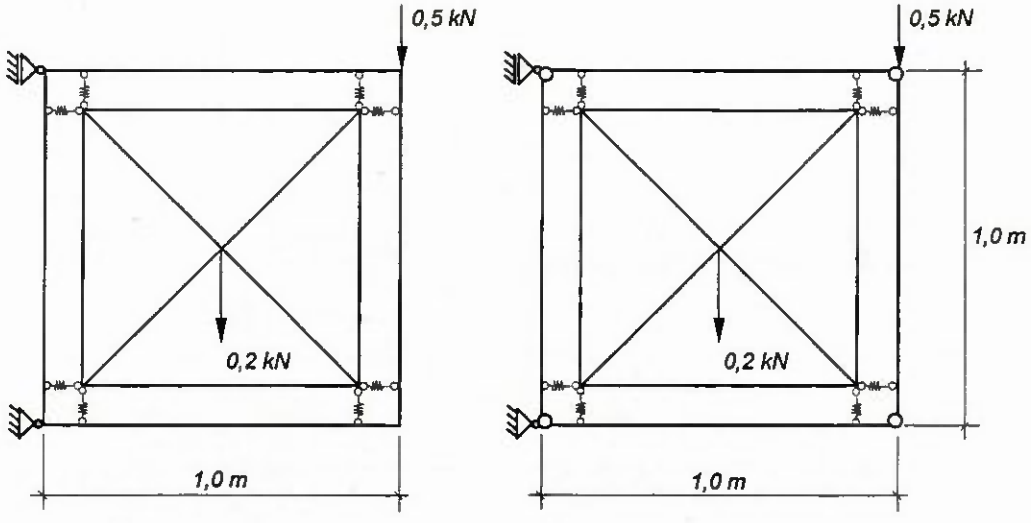


Bild 3 Berechnungssystem zur Prüfung des Einflusses einer biegsteifen Ecke

Als Rahmengeometrie wurden Rechteckquerschnitte mit b/h = 6,8 cm/7,8 cm gewählt, die ebenfalls in den nachfolgend beschriebenen mechanischen Belastungsversuchen geprüft wurden. Dabei hat sich für die Absenkung der Flügel infolge der angesetzten Belastungen folgendes Berechnungsergebnis ergeben.

Beim rechnerischen Vergleich der Verschiebung der schließseitigen unteren Ecke (im Bild 3 die rechten unteren Ecken) ergibt sich für das biegesteife System ein Wert von 0,3 mm und für das gelenkige System (bei dem die Form ausschließlich über die aussteifende Wirkung des Ausfachungselements sichergestellt wird) ein Wert von 0,6 mm.

Auf Grund dieser Ergebnisse kann die Annahme getroffen werden, dass eine biegesteife Ausbildung des Umfassungsrahmens nicht wesentlich zur Formstabilität des Fensterflügels beitragen wird.

3.2 Klimatische Belastungssituation am Fensterflügel

An das Bauteil Fenster werden hohe Anforderungen bezüglich Wärme- und Schallschutz gestellt. Darüber hinaus soll das Fenster Funktionen wie Lüftung, Belichtung sowie die Einbruchhemmung übernehmen.

Um diese Anforderungen dauerhaft zu erfüllen und den einwirkenden Belastungen problemlos gerecht zu werden, ist zum einen ein hochwertiges Fenster notwendig; zum anderen spielen sowohl der Einbau als auch die Instandhaltung des Fensters eine entscheidende Rolle, um die Gebrauchstauglichkeit über einen angemessenen Nutzungszeitraum sicherzustellen.

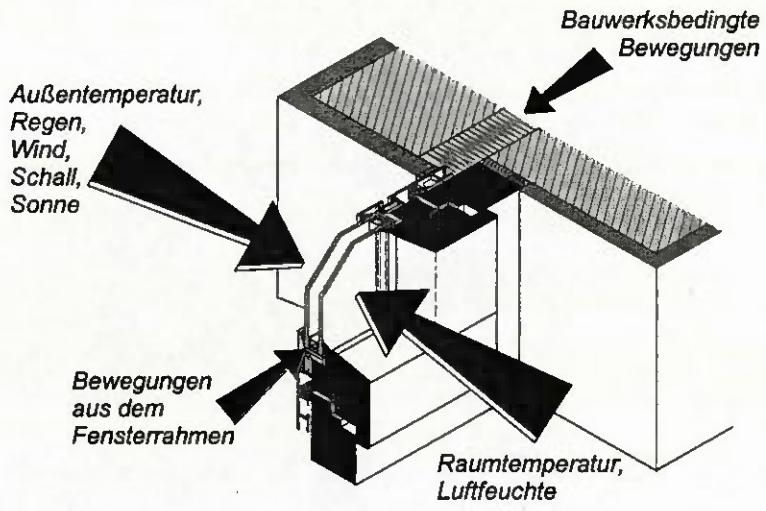


Bild 4 Einflüsse auf Fensterkonstruktionen

Bei Planung und Ausführung ist zu beachten, dass die Trennung von Raum- und Außenklima umlaufend sichergestellt wird und dauerhaft dampfdiffusionsdichter als der Wetterschutz ist. Das gilt auch bei Dichtebenenversätzen oder bei Übergängen von unterschiedlichen Dichtsystemen. Das Eintreten von Raumfeuchte in Fugenbereiche muss verhindert werden bzw. eingetretene Feuchte ist kontrolliert nach außen zu führen.

Diese Anforderung ist für alle Fugenbereiche zu erfüllen und damit, neben den Anschlussfugenbereich, auch für Fugen im Verbindungsmittelbereich. Trotz dichter Anschlussfugen und Beschichtungen auf den Holzbauteilen sind die Fensterquerschnitte durch die Differenzklimabelastung einer ständigen Auffeuchtung bzw. Austrocknung ausgesetzt. Die Konsequenz ist ein Schwinden und Quellen der Blendrahmen- und Flügelquerschnitte und die damit ebenfalls verbundenen Bewegungen im Verbindungsmittelbereich. Durch diese Dimensionsänderung kann die Holzstruktur im Kontaktbereich örtlich gequetscht werden, was für die Zellstruktur einen irreversiblen Vorgang darstellt (Bild 6).

Tauwasser im Bereich:
- *Fensteranschlussfuge*
- *Flügelfalz*
- *Glasfalz*
- *Randverbund von Mehrscheiben-isolierglas*

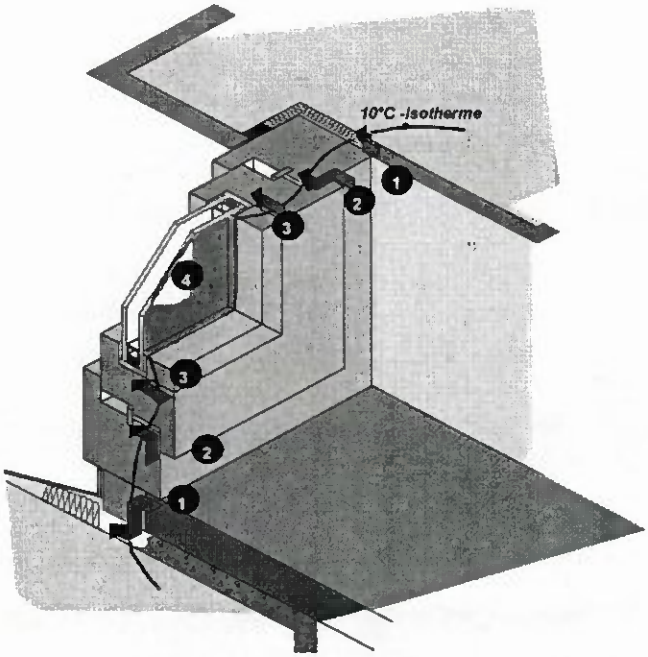


Bild 5 Tauwasserbildung

In Bild 6 sind die infolge der holzfeuchtebedingten Dimensionsänderung gequetschten Zellstrukturen zu erkennen, die zu einer dauerhaften Öffnung der Brüstungsfuge führen.

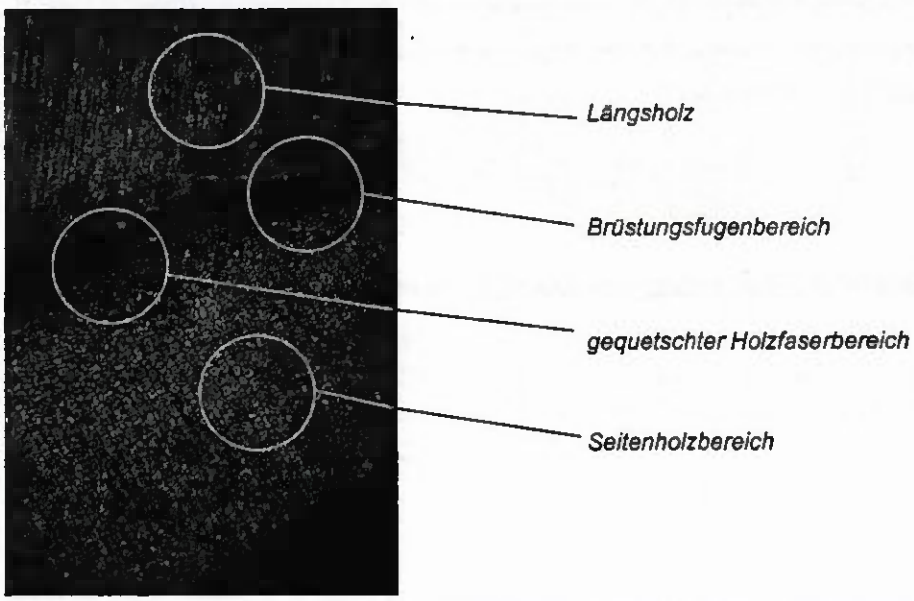


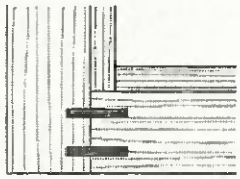
Bild 6 Mikroskopaufnahme einer Brüstungsfuge nach mehreren Feuchtzyklen

4 Lösungsansätze zu innovativen Rahmenverbindungstechniken

4.1 Prinzipielle Lösungsansätze

Rahmenverbindungen für Holzfenster lassen sich prinzipiell in unlösbare und lösbare Verbindungen einteilen. Unlösbare Rahmenverbindungen werden in der Regel durch eine dauerhafte Klebung der Verbindungsmittel in den Rahmeneinzelteilen erzielt (Bild 7). Lösbare Rahmenverbindungen werden durch mechanische Verbindungsmittel erzielt (Bild 8).

Klebverbindungen z. B.
- *Dübel*
- *Schlitz-Zapfen*
- *Keilzinken*
- *Nutzapfen mit Dübel*
- *Federverbindung*

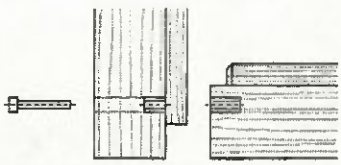


Lastabtragung über Klebung

Fugendichtung über Klebung

Bild 7 Unlösbare Rahmenverbindungen

Mechanische Verbindungsmittel z. B.
- *Gewindemuffen*
- *Schraubverbindung*
- *Winkel*
- *Platte*
- *Bolzen*



Lastabtragung über kraft- und/oder formschlüssige Verbindung

Fugendichtung z.B. mit Dichtprofil oder spritzbarem Dichtstoff

Bild 8 Lösbare Rahmenverbindungen

Grundansatz:

1. Mechanische Eigenschaften durch Verbindungsmittel und/oder Klebung
2. Dichtung durch Klebung oder elastisches Dichtmaterial, keine tragende Funktion, d.h. Lasten dürfen nicht auf Dichtung gehen bevor das Verbindungsmittel wirkt

4.2 Kombination von Verbindungsmitteln

Mechanische Verbindungsmittel sollten so konzipiert werden, dass die neutrale Faser möglichst nahe an der Brüstungsfuge liegt, damit wäre eine Dichtmasse ausreichend, die den Hirnholzbereich elastisch verklebt. Eine Klebung der Kontaktflächen der Rahmenteile zur Abdichtung der Brüstungsfuge ist in Kombination mit einem mechanischen Verbindungsmittel nicht ratsam. Der Grund hierfür liegt in dem unterschiedlichen Kraft-Verformungs-Verhalten der beiden Werkstoffe. [1]

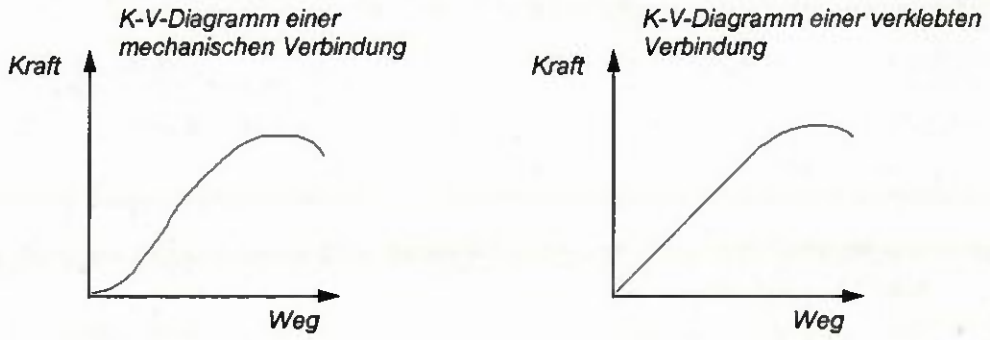


Bild 9 Kombination von Verbindungsmitteln

An den beiden idealisiert dargestellten Kraft-Verformungs-Diagrammen wird die Koppelung unterschiedlicher Verbindungsmittel deutlich. Für das mechanische Verbindungsmittel ist am Anfang der Krafteinleitung ein gewisser Schlupf nötig, bis es zum Kraftschluss in der Verbindung kommt. Dieser Schlupf ist bei einer geklebten Verbindung nicht vorhanden. Deshalb würde bei einer Kombination der beiden Verbindungsmittel der größte Anteil der Kraft zuerst über die geklebte Verbindung aufgenommen werden. Ist die Verformung um das Schlupfmaß fortgeschritten, so wird auch die mechanische Verbindung Kräfte ableiten. Eine Koppelung ist deshalb nur zulässig, wenn die K-V-Diagramme keinen zu großen Unterschied aufweisen. Ansonsten könnte der Fall eintreten, dass die geklebte Verbindung versagt, bevor die mechanische Verbindung zur Wirkung kommt. Mit dem Zerstören der Klebefuge würde das Verbindungssystem seine Dichtfunktion verlieren.

Die Rahmenverbindungen an Holzfenstern werden gängigerweise mit PVAc-Klebstoffen ausgeführt. Bei der Betrachtung einer Klebefuge zeigt sich, dass es sich zwar um ein bewährtes „Verbindungsmittel" für Holzflächen handelt,

jedoch der mögliche Bewegungsausgleich aufgrund klimabedingter Quell- und Schwindbewegungen in der Fuge nur sehr begrenzt möglich ist.

Funktionelles Ziel einer Abdichtung im Bereich der Rahmenverbindung ist es, unter Einwirkung thermischer und mechanischer Belastungen die Dichtheit gegenüber Feuchteeinwirkungen aus dem Innen- und/oder Außenklima zu gewährleisten. Eventuelle Verschiebungen und Verdrehungen der Profile dürfen nicht zu Funktionsstörungen und somit zum Versagen der Abdichtung führen.

Das konstruktive Ziel ist es, eine definierte Abdichtung der Fuge bzw. der Verbindungsfläche zwischen Hirn- und Längsholz zu erzeugen, unabhängig von der jeweils eingesetzten Rahmenverbindungstechnik. Dies könnte in Form eines Dichtprofils oder einer Dichtmasse erfolgen.

4.3 Untersuchungen zum Öffnen der Brüstungsfuge

In einem Vorversuch wurden die Größenordnungen für die Maß- und Formänderungen einer nicht geklebten Brüstungsfuge untersucht. Hierzu wurden Rahmenecken aus rechteckigen Profilen mit einer Vielzahl von Verbindungsmitteln einem Wechselklimazyklus ausgesetzt. Die Montage der Probekörper erfolgte bei einer mittleren Holzfeuchte von 11 %. Die Untersuchung des Fugenverhaltens erfolgte durch abwechselnde Lagerung im Feucht- und Trockenklima, so dass an den Probekörpern die Holzfeuchte zwischen 8 % und 18 % wechselte. Die Probekörper wurden anschließend im Normklima gelagert.

Um die Funktion und die Dauerhaftigkeit einer Rahmenverbindung zu gewährleisten, ist es erforderlich, die Fugen im Verbindungsbereich abzudichten oder vollflächig zu kleben.

Aufgrund des Vorversuches wurden in Abhängigkeit der minimalen und maximalen Holzfeuchtewechsel Spaltbreiten in der Fuge im Bereich von ± 0,5 mm festgestellt.

Kann durch das mechanische Verbindungsmittel die Brüstungsfuge nicht stabilisiert werden, dann ist der Einsatz einer zusätzlichen Dichtung in der Fuge notwendig. Das verwendete Material muss eine ausreichende Haftung bzw. Abdichtung zum Untergrund, in unserem Falle eine beschichtete Holzoberflä-

che, erzielen. Es darf auch unter Temperaturschwankungen kein Kriechen aufweisen.

Es ist zu beachten, dass das Dichtmaterial reversibel ist, da eine vom Klima abhängige Quell- und Schwindbewegung des Holzes stattfindet und so eine ständige Veränderung der Fugengeometrie verursacht. Hierbei entstehen Zug-, Druck- und Scherkräfte, die auf die Rahmenverbindung sowie auf die Abdichtung wirken können. Die ständige Druckbe- und -entlastung durch die Bewegung darf die Funktion der Abdichtung nicht beeinträchtigen. Die Reversibilität muss auch nach einer langen Nutzungsphase noch gewährleistet sein.

Bei der Auswahl der Materialien muss beachtet werden, dass es sich dabei um geschlossenporiges Material handelt, um einen kapillaren Wassereintritt in die Konstruktion und damit verbundene Folgeschäden zu vermeiden.

Das eingesetzte Abdichtungsmaterial muss resistent gegen alle an einer Fensterkonstruktion auftretenden Einflüsse sein. Solche Einflüsse können sein:

- Feuchte,
- Fäulnis,
- Wasser, Dampf, Luftfeuchtigkeit,
- Verschmutzung,
- UV-Strahlung,
- Licht.

Für den Einsatz von Abdichtungen im Bereich der Rahmenverbindung ist auf die Verträglichkeit mit den verwendeten Anstrichstoffen zu achten.

Für die Umsetzung in der Fertigung müssen die Abdichtungen so konzipiert sein, dass diese ein einfaches Handling erlauben oder durch eine entsprechende Applikationstechnik exakt und kostengünstig verarbeitet werden können.

5 Auswahl einer Rahmenverbindung für die mechanischen und klimatischen Untersuchungen

5.1 Übersicht der Rahmenprofile für Holzfensterkonstruktionen

Zur zielgerichteten Entwicklung von neuen Rahmenverbindungen ist eine Zusammenstellung repräsentativer Blend- und Flügelrahmenquerschnitte für Holzfenster- und Fenstertürkonstruktionen erforderlich. Die nachfolgende Übersicht zeigt stellvertretend eine Auswahl von bestehenden und neu entwickelten Holzfensterprofile.

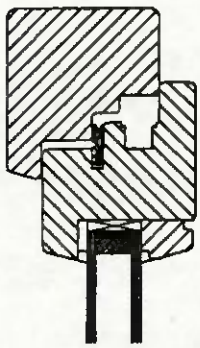


Bild 10 Holzfenster IV 68 – Standard

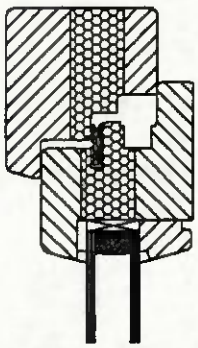


Bild 11 Holzfenster IV 68, wärmegedämmt

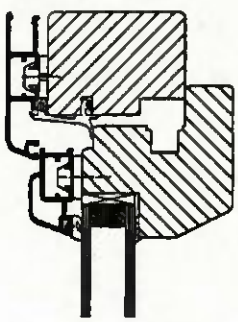


Bild 12 Aluminium-Holzfenster – Standard

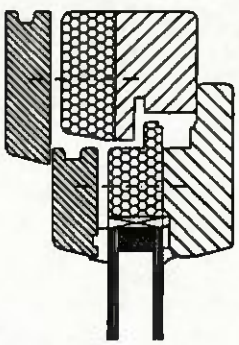


Bild 13 Holzfenster – zweischalig, wärmegedämmt

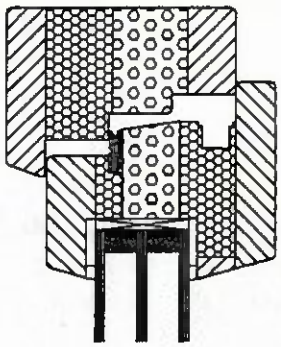


Bild 14 Holzfenster mit Wärmedämmkern

5.2 Übersicht der Rahmenverbindungen an Holzfenster- und Fenstertürkonstruktionen

Die an Fenstern und Fenstertüren aus Holz anzutreffenden Rahmenverbindungen werden in Bild 15 dargestellt.

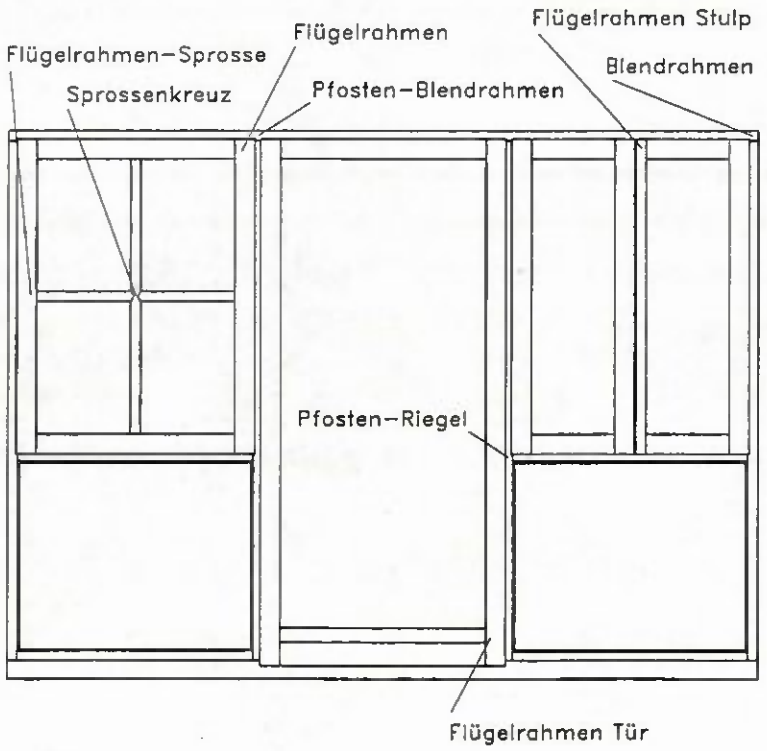
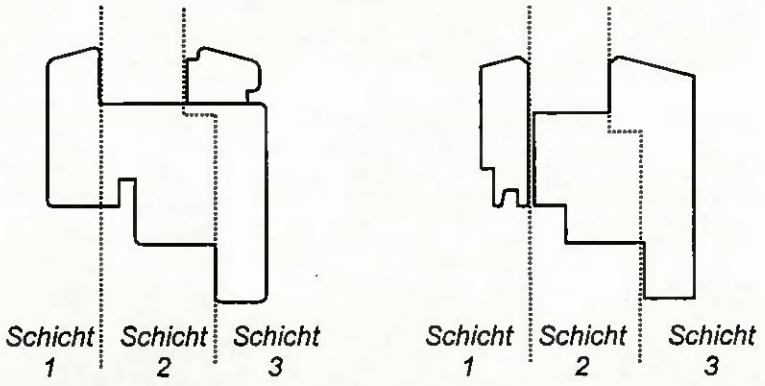


Bild 15 Übersicht Rahmenverbindungen bei Holzfenster- und Fenstertüren

5.2.1 Anforderungen an Rahmenverbindungen für Holzfenster

In Bild 16 sind die unterschiedlichen Funktionszonen für Rahmenverbindungssysteme für Holzfenster dargestellt. Die Abbildung veranschaulicht außerdem das geringe Platzangebot, um Verbindungsmittel im Rahmenquerschnitt unterzubringen.



Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3
• *dauerhafte Dichtheit (Luft und Wasser)* • *sichtbare Fuge stabil gegen Bewitterung* • *Verdrehsicherung im Überschlag* • *abgestimmten Kraft-Verformungs-Verhalten* • *Dichtheit bei endbeschichteten Einzelteilen*	• *Aufnahme der Zug- und Querlasten* • *kein Schlupf, d.h. damit keine Kräfte auf Klebung oder Dichtung* • *keine tragende Wirkung einer flächigen Klebung* • *Dichtung gegen Innenklima gemeinsam mit Zone 3* • *Wasserdichtheit*	• *Dichtung gegen Innenklima* • *keine oder geringe statische Funktionen* • *Verdrehsicherung im Überschlag* • *Dichtheit bei endbeschichteten Einzelteilen*

Bild 16 Prinzipielles Anforderungsprofil an Rahmenverbindungen [2]

Neben den Rahmenecken bei Flügel- und Blendrahmen existieren weitere Rahmenverbindungen, an die dieselben Anforderungen gestellt sind:

- T-förmige Verbindungen von Pfosten, Riegel oder Sprossen am Rahmen,
- Kreuzungen bei Sprossen oder Pfosten und Riegel.

Die wichtigsten Kriterien für die Entwicklung von innovativen Rahmenverbindungen wurden im Rahmen der projektbegleitenden Arbeitsgruppensitzungen diskutiert und in einer Anforderungsliste laut Anlage 1 zusammengefasst. Die Kriterien wurden dabei in zwei Entwicklungsphasen zur zielorientierten Vorgehensweise unterteilt.

5.3 Auswahl eines Rahmenprofils und Rahmenverbindung

Aus der Vielzahl der vorhandenen Knotenpunkte bei Holzfenster- und Fenstertürkonstruktionen wird für die weitere Betrachtung der Flügelrahmen herangezogen. Die Gründe für diese Auswahl liegen in der:

- speziellen Belastungssituation am Flügel aus Eigen- und Fremdlast in Verbindung mit der aussteifenden Wirkung der Verglasung,
- relativ kleinen Querschnittsfläche des Flügelprofils aufgrund der Innen- und Aussenfälzung
- und in den eingeschränkten Positionierungsmöglichkeiten von Verbindungsmitteln aufgrund von zusätzlichen Beschlag- und Dichtungselementen.

Die Bedingungen am Flügelrahmen stellen für ein Rahmenverbindungssystem mit die höchsten Anforderungen dar. Es ist deshalb zu erwarten, dass die Funktionsprinzipien solcher Systeme mit geringfügigen Modifikationen auch auf die anderen Anwendungsgebiete wie z. B. Blendrahmen, Pfosten, Riegel ... übertragbar sind.

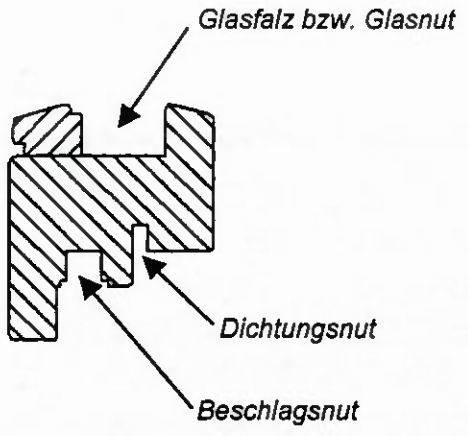


Bild 17 Ausgewähltes IV 68-Flügelrahmenprofil nach DIN 68121-1 für die weiteren Untersuchungen

6 Beurteilungsgrundlagen für Rahmenverbindungssysteme

6.1 Anwendungsbereich

Dieses Prüfverfahren ist anwendbar auf Rahmenverbindungen, welche in statisch belasteten Anbindungspunkten zur Anwendung kommen. Es ist zu beachten, dass eine Änderung dieses Prüfverfahrens notwendig werden kann, falls dies durch eine besondere Konstruktion eines Verbindungsmittels erforderlich ist. Des Weiteren kann die Prüfung nach einer anderen Norm erforderlich werden, sofern für eine Verbindung eine speziellere Normung greift.

6.2 Normative Verweise

DIN 50010-1 : 1977-10	Klimabegriffe; Allgemeine Klimabegriffe
DIN 50010-2 : 1981-08	Klimabegriffe; Physikalische Klimabegriffe
DIN 50014 : 1985-07	Normalklimate
ISO 554 : 1976-07	Standard atmospheres for conditioning and / or testing; Specifications
DIN EN 26891 : 1991-07	Holzbauwerke; Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln; Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens
RAL-GZ 424/1	Gütesicherung; Holzfenster

6.3 Definitionen/Formelzeichen

Klima	Charakteristischer Ablauf von Zuständen der Atmosphäre an einem Ort
Wechselklima	Festgelegter Zyklus aufeinanderfolgender, unterschiedlicher Konstantklimate
Fugenverhalten	Veränderungen des Spaltmaßes einer Fuge infolge äußerer Einflüsse
F	aufgebrachte Last in N
F_{est}	geschätzte Höchstlast in N
F_{max}	Höchstlast in N
k	Verschiebungsmodul in N/mm
v	Verschiebungen der Verbindung in mm; (der Index für die Verschiebung v der Verbindung bezieht sich auf das Belastungsverfahren)

6.4 Prüfgeräte

Zur Ermittlung der erforderlichen Kennwerte einer Rahmenverbindung sollen folgende Geräte zur Verfügung stehen:

- Prüfmaschine, mit der die Last mit einer Genauigkeit von mindestens ± 1% von F_{est} auf die Probekörper aufgebracht und ebenso angezeigt werden kann.
- Messvorrichtung zur Ermittlung der Verschiebung und Prüfkraft mit einer Genauigkeit von ± 1%.

6.5 Anforderungen

6.5.1 Mechanische Festigkeit

Das Verbindungssystem muss im eingebauten Zustand in der Lage sein, die an der Konstruktion planmäßig auftretenden Belastungen, unter Beachtung der hierfür gültigen Normen, in ausreichendem Maß in weitere Konstruktionsteile bzw. den anschließenden Baukörper abtragen zu können. Hierzu gilt vor allem die Forderung, dass das Verbindungsmittel unter regulären Belastungen im elastischen Bereich beansprucht wird und nicht im plastischen Bereich, um die Funktionsfähigkeit der gesamten Konstruktion sicherzustellen.

6.5.2 Fugendichtheit

Die Verbindung muss aufgrund der klimatischen Belastungen in der Lage sein, eine dichte Brüstungsfuge zwischen senkrechtem und waagrechtem Flügelholz des Flügelrahmens für den Nutzungszeitraum einer Verbindung zu gewährleisten. Dies ist darin begründet, Schäden in der Holzstruktur des Querschnittes und im Verbindungsmittel infolge eintretender Feuchtigkeit zu verhindern.

6.6 Probekörper

6.6.1 Klimatisierung der Probekörper

Auf die Klimatisierung des Holzes vor der Herstellung der Verbindung ist zu achten. Eine Klimatisierung beim Herstellungsprozess sollte in Anlehnung an RAL-GZ 424/1 in der Weise erfolgen, dass die Ausgleichsfeuchte des zur Verarbeitung vorhergesehenen Holzes u = 13% ± 2% beträgt. Die Klimatisierung der Probekörper ist bis zur Prüfung im Normalklima 23°C / 50 % rel. Luftfeuchte nach DIN 50014 durchzuführen, so dass ein Vergleich unter äquivalenten Bedingungen erfolgen kann.

6.6.2 Probekörper (Form, Maße und Herstellung)

Als Holzart wird einheimisches Nadelholz verwendet. Sollte eine andere Holzarten verwenden werden, so ist darauf gesondert hinzuweisen. Die Probekörper sollten ohne Beschichtung ausgeführt werden, um den Auffeuchtungs- bzw. Trocknungsprozess zeitlich auf ein Minimum reduzieren zu können.

Die Probekörper sollen wirklichkeitsnahe Formen und Maße besitzen, um die erforderlichen Kenntnisse über die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten der Verbindung im Gebrauchszustand zu gewinnen. Für eine Beurteilung des Verhaltens der Verbindung unter Belastung ist die Kenntnis der Einbausituation der Verglasung wichtig, um z. B. die maximalen Glasgewichte der Konstruktion und deren Lasteinleitungspunkte zu berücksichtigen.

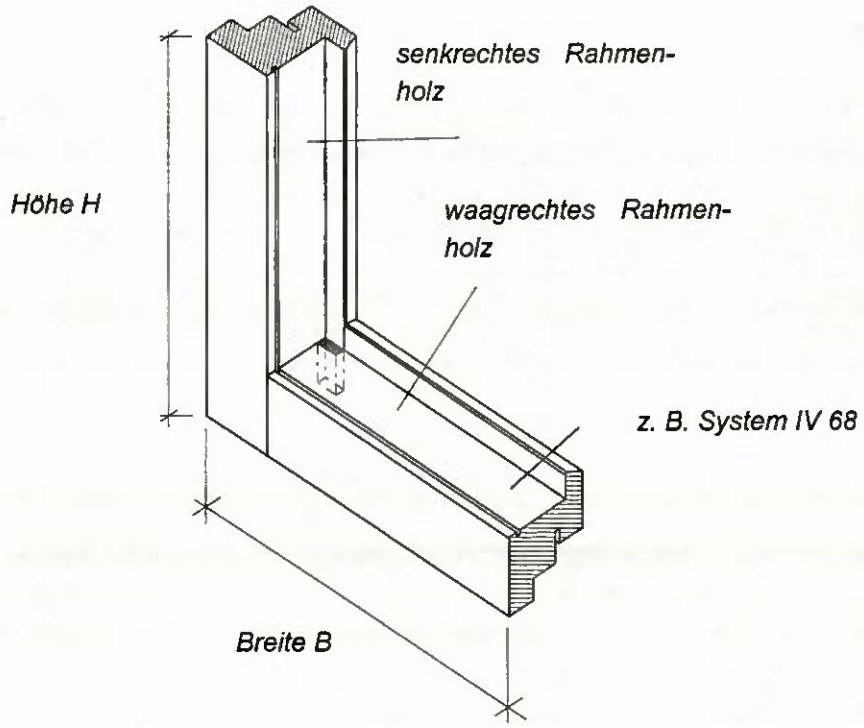


Bild 18 Probekörperabmessungen für die beschriebenen Versuchsvarianten

6.6.3 Probekörperanzahl

Die in Tabelle 6 angegebene Probekörperanzahl ist u. U. abhängig vom Verbindungsmittel und muss deshalb im Einzelfall abgestimmt werden.

Tabelle 6 Probekörperanzahl und Abmessungen der verschiedenen Versuchsvarianten

POS	Belastungsart	Prüfzustand	Anzahl Vorversuch	Anzahl Probekörper	Höhe H Flügelholz in cm	Breite B Flügelholz in cm
1	Zug	neu	1	10	45	45
2	Abscheren	neu	1	10	45	45
3	Klima + (Zug)	Klima (trocken)	1	8	45	45
4	Klima + (Abscheren)	Klima (trocken)	1	8	45	45
5	Klima + (Zug)	Klima (feucht)	1	8	45	45
6	Klima + (Abscheren)	Klima (feucht)	1	8	45	45
7	Klima	/	/	8	45	45

6.7 Prüfung

6.7.1 Belastungsverfahren

Für den Prüfungsablauf ist es erforderlich, Kenntnisse über die geschätzte Höchstlast F_{est} der Verbindung in Erfahrung zu bringen. Diese geschätzte Höchstlast ist für neue Verbindungsmittel im Regelfall durch Vorversuche zu bestimmen.

Das Belastungsverfahren für die Prüfung wird mit einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit von 2 mm/min gefahren. Die Prüfung darf abgebrochen werden, wenn die Bruchlast erreicht ist oder wenn die Verschiebung 10 mm überschreitet.

Zu bemerken ist, dass ein Prüfverfahren auf das Verhalten der jeweiligen Konstruktion eines Verbindungsmittels abgestimmt werden muss. Deshalb können durchaus Änderungen im Belastungsverfahren erforderlich sein.

6.7.2 Verschiebungsmessung

Während des Prüfverlaufes wird die Verschiebung für jeden Probekörper aufgezeichnet. Die Verschiebung unter der Höchstlast F_{max} wird ebenfalls aufgezeichnet.

Der Einfluss z. B. von Außermittigkeiten darf durch die Anordnung der Messeinrichtung keinen Einfluss auf die Messung haben. Für den Versuch empfiehlt es sich eine Prüfanordnung zu wählen, mit der eine stufenlose Aufzeichnung des Kraft-Verformungs-Diagramms möglich ist.

6.7.3 Normalkraftbeanspruchung (Zugversuch)

Zur Bestimmung von F_{est} und die damit verbundene Anpassung an das Belastungsverfahren wird mindestens 1 Probekörper benötigt. Im Zugversuch wird die Festigkeit der Rahmenverbindung bei senkrechtem Auszug des waagrechten Flügelholzes aus dem senkrechten Flügelholz untersucht. Der Zugversuch erfolgt an mindestens 5 Probekörpern einer Variante.

6.7.4 Querkraftbeanspruchung (Scherversuch)

Zur Bestimmung von F_{est} wird mindestens 1 Probekörper benötigt. Der Kraftangriff im Scherversuch erfolgt am Verklotzungspunkt des waagrechten Flügelholzes. Der Krafteinleitungspunkt liegt außerhalb des Einbaubereiches des Verbindungsmittels, um Einflüsse aus der Krafteinleitung auf die Verbindung auszuschließen. Damit hängt der Abstand der Krafteinleitungsstelle zur Glasfalzinnenkante wesentlich von der konstruktiven Gestaltung des Verbindungsmittels ab und muss damit auf den Einzelfall abgestimmt werden. Der Scherversuch wird an mindestens 5 Probekörpern einer Variante durchgeführt.

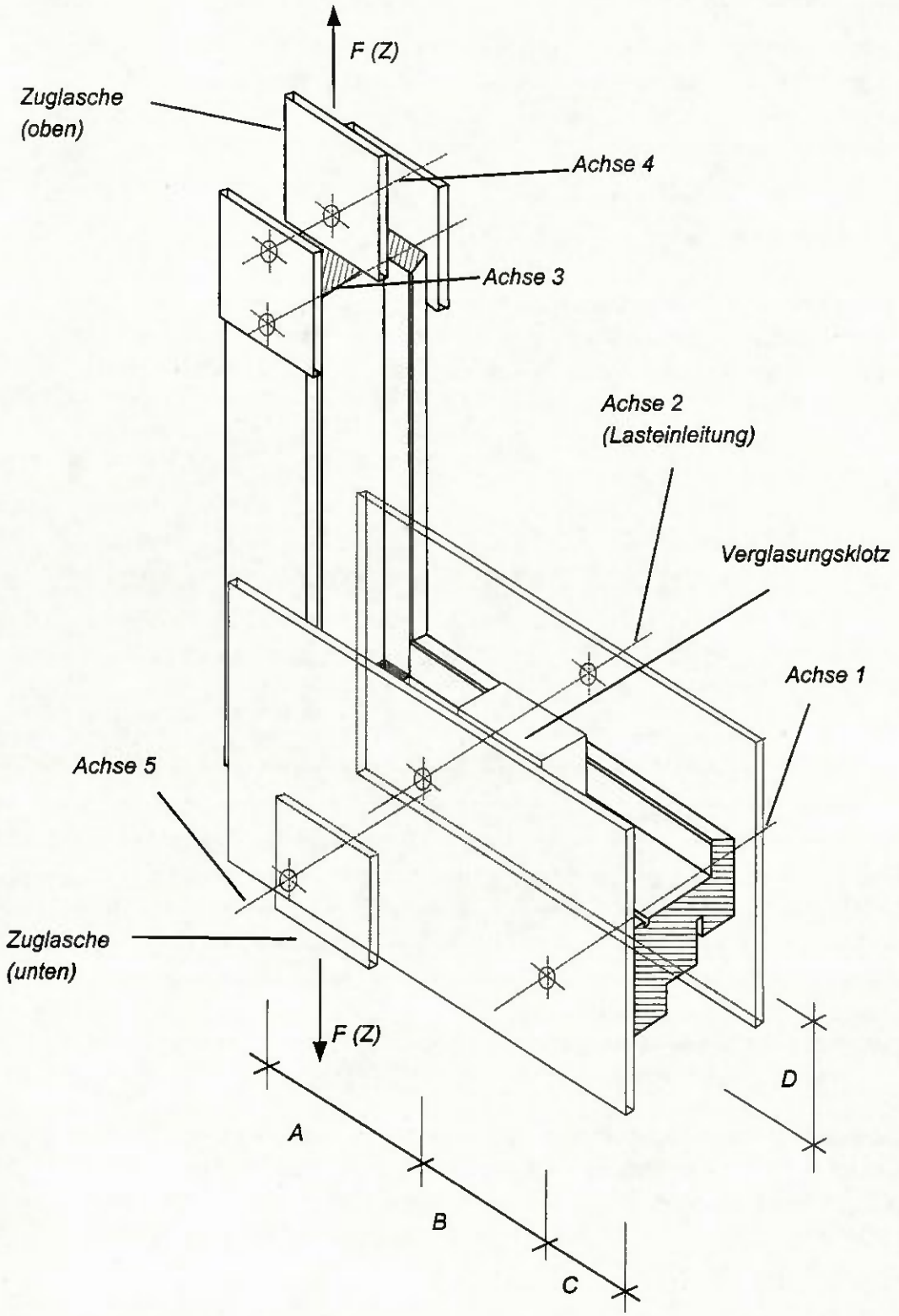


Bild 19 Versuchsanordnung für den Scherversuch bzw. Zugversuch bei Rahmenverbindungen

Bemerkung zum Zugversuch:

Zur Untersuchung des Belastungsversuches „Normalkraftbeanspruchung" (Zugversuch) ist der gleiche Versuchsaufbau erforderlich wie in Bild 19 dargestellt, jedoch mit dem Unterschied, dass die Rahmenecke um 90° gedreht in den Prüfaufbau eingesetzt wird.

6.7.5 Dichtheitsprüfung der Fugen

Die Anforderungen an Rahmenverbindungen ergeben sich, neben den mechanischen Belastungsversuchen, auch aus den Beanspruchungen infolge von Klimaschwankungen. Die Untersuchung des Fugenverhaltens erfolgt durch abwechselnde Lagerung im Feucht- und Trockenklima, so dass an den Probekörpern die Holzfeuchte zwischen 8 % und 18 % wechselt. Die Prüfung wird je Ausführungsvariante an mindestens drei Probekörper durchgeführt.

Für die Klimabelastung werden 3 Zyklen mit folgendem Ablauf vorgesehen:

- Feuchtklimalagerung 23 °C / 85 % RLF bis Holzfeuchte u = 18 ± 1%;
- Trockenklimalagerung 23 °C / 30 % RLF bis Holzfeuchte u = 8 ± 1%;

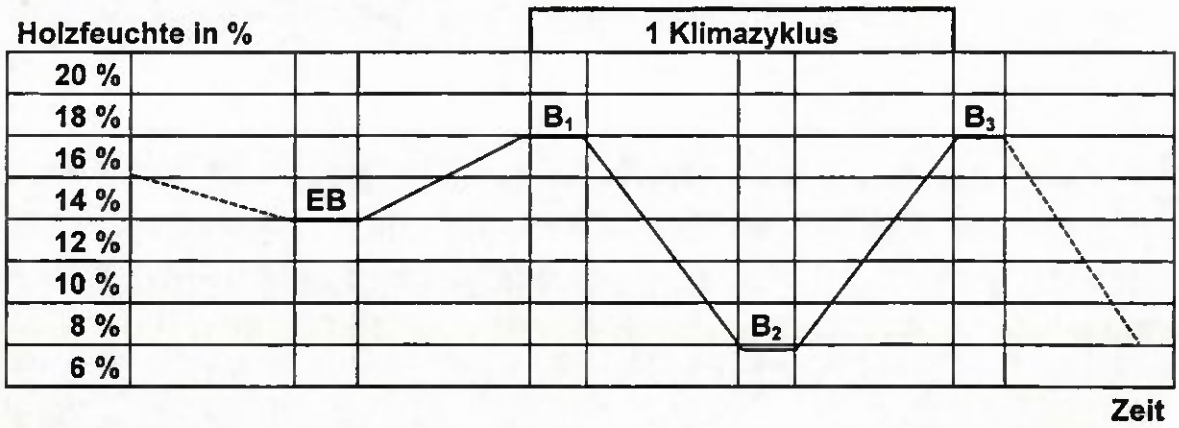


Bild 20 Ablauf der Klimawechsellagerung mit Kennzeichnung von Eingangsbeurteilung (EB) und den Beurteilungen (B) nach Belastungen

Die Auswirkungen der resultierenden Quell- und Schwindbewegungen auf das Fugenverhalten der Verbindung wird jeweils bei Erreichen der angestrebten Holzfeuchtewerte durch die Sichtprüfung und Messung der Spaltbreiten beurteilt. Zum Abschluss der Belastungen wird die Dichtheit der Fuge mit Penetrationsmittel zusätzlich beurteilt.

Bemerkung

Für mechanische Rahmenverbindungen kann ebenso ein mechanisches Prüfverfahren nach der Klimabelastung von Bedeutung sein, da die Festigkeitswerte von Holz abhängig von der Holzfeuchte sind. Eine Lockerung der mechanischen Verbindung durch Feuchteschwankungen im Holz kann nicht ausgeschlossen werden. Zusätzlich zu dieser Untersuchung ist es notwendig, die Verbindung im Neuzustand zu untersuchen, um die entsprechenden Referenzwerte zu erhalten. Bei einer Festigkeitsprüfung im Anschluss an die Klimabelastung, erhöht sich die Zahl der Probekörper für die Klimaprüfung auf die in Tabelle 6 angegebene Anzahl, da hierfür eine Prüfung im getrockneten und aufgefeuchteten Zustand vorgesehen wird.

6.8 Auswertung

Fugendichtheit

Nach drei Belastungszyklen der Klimaprüfung darf die Rahmenverbindung keine dauerhaft geöffneten Brüstungsfugen aufweisen.

Mechanische Festigkeit

Die Rahmenverbindung muss in der Lage sein, die planmäßig auftretenden Belastungen ohne Beanspruchung der Verbindungsmittel im plastischen Bereich beansprucht wird.

7 Dichtungssysteme für Rahmenverbindungen von Holzfenstern

Ziel dieses Kapitels ist es zu verdeutlichen, dass neben einem mechanischen Verbindungsmittel einer Rahmenverbindung ebenfalls eine auf das spezifische System abgestimmte Dichtung erforderlich ist, damit die Rahmenverbindung eines Fenstersystems voll funktionsfähig eingestuft werden kann. Wie beispielsweise ein Dichtsystem im Kontaktbereich zwischen waagrechtem und senkrechtem Flügelholz integriert werden kann, ist in Bild 21 dargestellt.

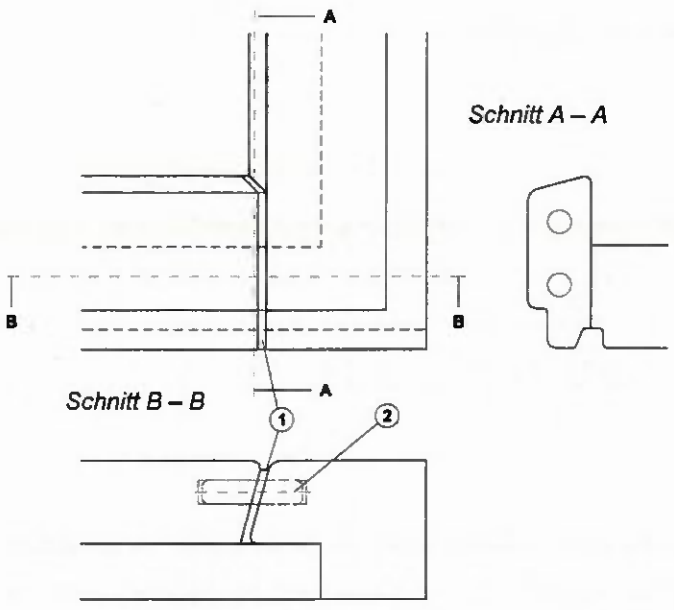


Bild 21 Beispiel einer Flügelecke mit abgedichteter Brüstungsfuge

① Abdichtung der Brüstungsfuge
② Dübel als Verdrehsicherung der Rahmenteile bzw. Bestandteil des Verbindungssystems

Neben der geeigneten und funktionsfähigen konstruktiven Lösung muss darüber hinaus der geeignete Dichtwerkstoff für eine funktionsfähige Dichtung zum Einsatz gebracht werden. Die richtige Auswahl des Werkstoffes sowie die Beurteilung von Dichtsystemen nach den geeigneten Kriterien ist in den nachfolgenden Kapitel beschrieben.

7.1 Anforderungen an ein Dichtsystem für Rahmenverbindungen

Dichtheit	Eindringen von Feuchtigkeit im Bereich der Brüstungsfuge durch Kapillarfugen muss dauerhaft verhindert werden: - von außen: dicht gegen Wind und Regen - von innen: dicht gegen feuchte Raumluft zur Vermeidung von Kondensat und möglichem Tauwasser.
Bewegungsausgleich (s. Tabelle 7)	Die Dichtung muss in der Lage sein, - die feuchte- und temperaturbedingten Quell- und Schwindbewegungen des Holzes und - Bewegungen aufgrund von einwirkenden Kräften auf die Verbindung im Kontaktbereich zur Abdichtung zu kompensieren. Die Reversibilität (elastisches Werkstoffverhalten) muss für den Nutzungszeitraum gewährleistet sein.
Toleranzausgleich	Ausgleich von Fertigungstoleranzen und von holzspezifischen Materialeigenschaften (Oberflächenstruktur aufgrund von Längs- u. Hirnholz, Früh- u. Spätholzanteile...).
Festigkeit	Einwirkende Kräfte aufgrund von Bewegungen in der Fuge (Zug-, Druck- und Scherkräfte) dürfen nicht zum Versagen führen.
Vorspannkräfte	Die Vorspannkraft, die zur Erzielung der Dichtwirkung notwendig ist, unter Berücksichtigung des notwendigen Bewegungsausgleichs in der Brüstungsfuge, sollte möglichst klein sein und muss ggf. mit dem Verbindungssystem abgestimmt werden.
Beständigkeit	Witterungs- und Umwelteinflüsse, Alterung Sonnenlicht, Ozon, Pilzbefall, Einsatztemperaturbereich –30 °C - +80 °C, Reinigungsmittel.
Verträglichkeit	Die Verträglichkeit zur Oberflächenbeschichtung der angrenzenden Fügeflächen muss dauerhaft gewährleistet sein.
Gebrauchsdauer	mindestens Lebensdauer des Fensters (>= 30 Jahre),
Geometrie und Vielseitigkeit	Anpassung an unterschiedliche Rahmenprofilgeometrien muss möglich sein. (Anwendung für die Verbindungen an Flügel- u. Blendrahmen, Pfosten, Riegel, Sprossen)
Verarbeitungsform	Dichtprofil, Dichtstoff oder Kombination aus beiden.
Lösbarkeit	Das Lösen der Verbindung zum Austausch von Einzelteilen (wie z. B. Dichtungselemente) sollte möglich sein.
Prozesssicherheit	Die Verarbeitbarkeit der Dichtung muss bei wechselnden äußeren Bedingungen in der Fertigung möglich sein. (gängige Schwankungen des Raumklimas).
Handling / Ablaufintegration	Keine wesentlichen Wartezeiten im Fertigungsprozess durch Applikation bzw. Montage mit geringen Wartezeiten vor der Weiterbearbeitung.
Fertigungsmittel	Die Bearbeitung der Rahmeneinzelteile sollte mit in der Holzbearbeitung gängigen Maschinen möglich sein und eine geeignete Oberfläche für eine funktionierende Abdichtung der Brüstungsfuge liefern.
Farbgestaltung	Anpassung der sichtbaren Anteile an die Farbgestaltung des Fensters, gegebenenfalls verschiedene Farben für innen und außen. (RAL-Farbkarte)

7.2 Definition der Dichtungsebenen

Durch die Festlegung eines Koordinatensystems soll eine eindeutige Zuordnung von Dichtsystemen bzw. deren Beschreibung ermöglichen.

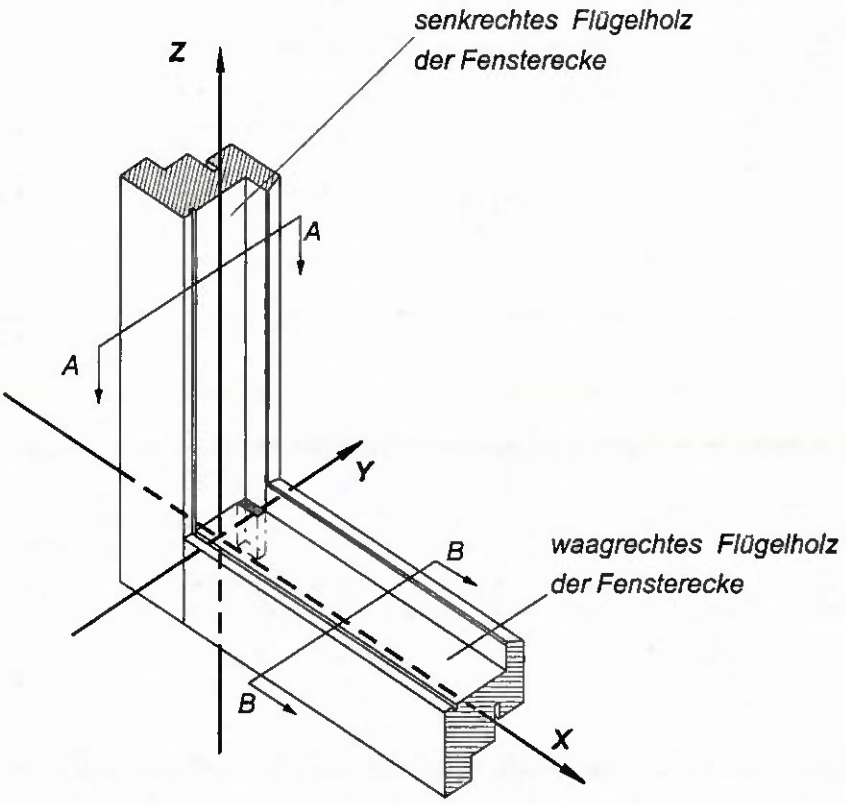


Bild 22 Koordinatensystem zur Beschreibung der Ausgleichsebenen für Dichtelemente

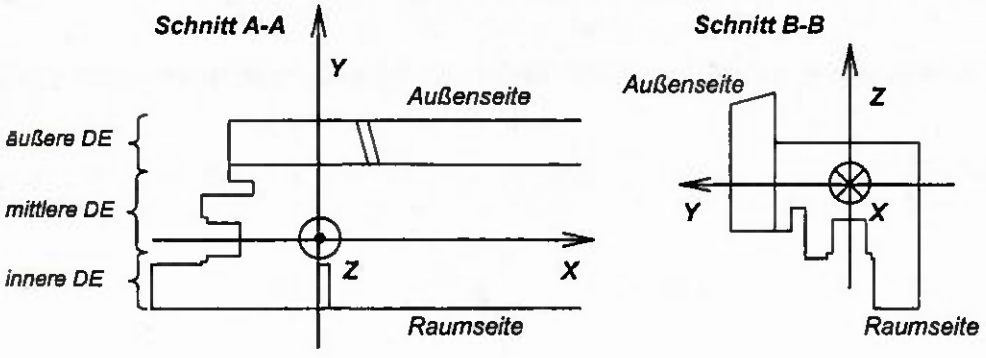


Bild 23 Bewegungsrichtungen am Dichtelement (Schnitt im waagrechten Flügelholz)

ift ROSENHEIM

Bewegungsaufnahme in den einzelnen Dichtebenen

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick der zu erwartenden Relativbewegungen der Rahmenteile zueinander, resultierend aus Eigen- und Gebrauchslast sowie Quellen und Schwinden der Rahmenhölzer.

Randbedingungen:

Quellen/Schwinden	Feuchtebereich zwischen 8 % und 18 %
Zug- u. Scherkräfte	abhängig von Verbindungsmittel, Flügelformat, Glasgewicht, Gebrauchslast, Sicherheitsniveau

Tabelle 7 Übersicht der Relativbewegungen in mm im Dichtsystem beim Flügel aufgrund von Holzfeuchteschwankungen und mechanischen Einwirkungen.

Bewegungs-richtung	Zugkräfte 1)	Scherkräfte 1)	maßgebliche Holzbreite	Schwinden / Quellen 2)	Fertigungs-toleranzen	Summe
X	0,2	/	20	0,7	0,3	1,0
Y	/	/	8	0,4	0,3	0,7
Z	/	0,2	20	0,7	0,3	1,0

1) gemittelte Werte aufgrund von Verformungsmessungen an Probekörpern
2) Werte aufgrund Berechnung

7.3 Konzepte zur Abdichtung von Rahmenverbindungen

Wie in Tabelle 7 dargestellt führen die Quell- und Schwindbewegungen der Rahmenhölzer zur Bildung von Kapillarfugen an der Brüstungsfuge. Durch die gezielte Abdichtung der Brüstungsfuge müssen die Quell- und Schwindbewegungen der Rahmenhölzer zerstörungsfrei aufgenommen und das Eindringen von Feuchtigkeit verhindert werden.

7.3.1 Dichtprofil

Beim Abdichtungssystem mit einem Dichtprofil wird im Kontaktbereich der waagrechten und senkrechten Rahmenteile das Dichtsystem mit Vorspannung eingesetzt und mit einem ausreichenden Arbeitsweg ausgestattet, der die maximalen Quell- und Schwindbewegungen im Bereich der Brüstungsfuge aufnehmen kann.

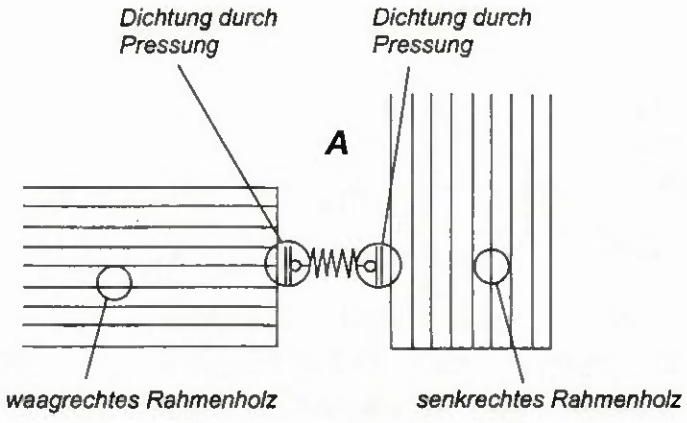


Bild 24 Dichtungssystem „Dichtprofil"

7.3.2 Dichtstoff

Beim Abdichtungssystem mit Dichtstoff wird die Brüstungsfuge konstruktiv offen ausgeführt. Nach der Rahmenmontage wird die Fuge mit Dichtstoff verschlossen. Der Dichtstoff trägt hier keinen Anteil an der mechanischen Festigkeit der Rahmenverbindung. Bei geklebten Rahmenverbindungen wie z. B. der Schlitz-Zapfen-Verbindung oder der Dübelverbindung ist die Klebefuge ein Bestandteil des Verbindungssystems und kann kaum Quell- und Schwindbewegungen ausgleichen.

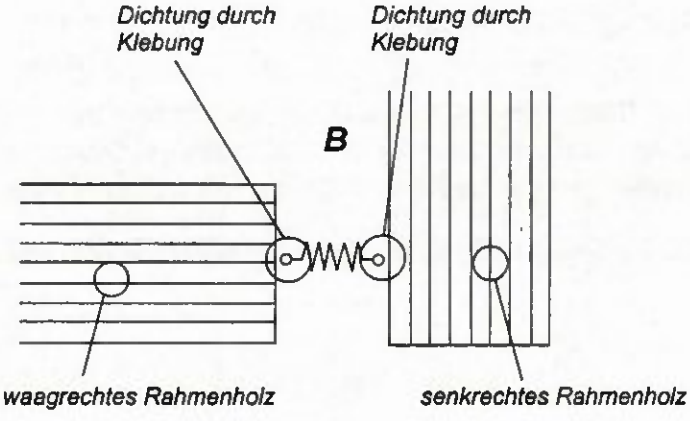


Bild 25 Dichtungssystem „Dichtstoff"

7.3.3 Geschäumte Dichtung

Auf das Hirnholz der Rahmenteile wird mit der „Foam-In-Place"-Methode ein flüssiger Dichtstoff aufgetragen. Diese flüssige Masse führt zu einer Schaumdichtung, die in Form und Größe beliebig an die Geometrie der Rahmenprofile angepasst werden kann.

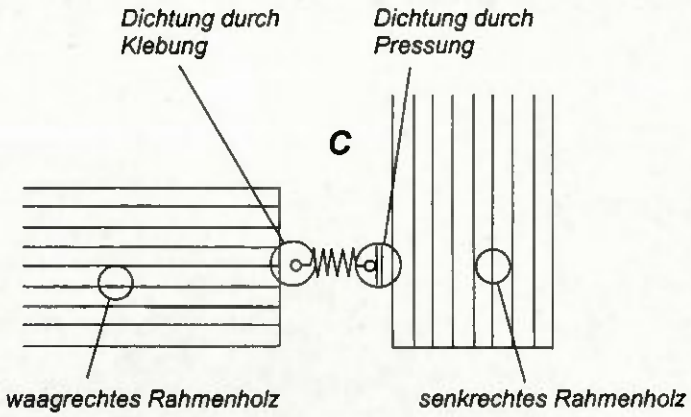


Bild 26 Dichtungssystem „geschäumte Dichtung"

Beim Herstellen der Rahmenverbindung wird dann das fertig ausgehärtete Dichtsystem an das Seitenholz des Gegenstücks gepresst, zur Erzielung der Dichtwirkung (vgl. Bild 26). Die Funktionsweise des Dichtsystems basiert auf einer kombinierten Press- und Klebwirkung.

Vor- und Nachteile der Dichtungskonzepte:

Tabelle 8 Vor- und Nachteile der Dichtungskonzepte

Konzept	Vorteile	Nachteile
Dichtprofil	lösbare und unlösbare Rahmenverbindung möglich, keine Wartezeiten bis zur Weiterverarbeitung	Reduzierung der Gebrauchslast der Rahmenverbindung, hohe Anzahl an Varianten
Dichtstoff	Hirnholz wird versiegelt, kein Einfluss auf Gebrauchslastniveau	keine lösbare Rahmenverbindung, zeitaufwändiges Füllen der Fugen, Wartezeit bis zur Weiterverarbeitung, Verträglichkeit mit Beschichtungssystemen
geschäumte Dichtung	lösbare und unlösbare Rahmenverbindung, Hirnholz wird versiegelt, hohe Flexibilität bei der Auslegung der Dichtungsgeometrie	Reduzierung der Gebrauchslast der Rahmenverbindung, teuere Dosieranlagen, Wartezeit bis zur Weiterverarbeitung, Verträglichkeit mit Beschichtungssystemen

Aufgrund der Argumentenbilanz aus Tabelle 8 erfolgt für die weiteren Untersuchungen eine Konzentration auf das Dichtungskonzept „Dichtprofile", da für die praxisgerechte Umsetzung derzeit die größten Erfolgspotenziale erwartet werden können.

Das Ausschlusskriterium für das Konzept „Dichtstoff" ist die unsichere Verarbeitung im Hinblick auf die Optik der Brüstungsfuge. Für das Konzept „Geschäumte Dichtung" sind als Ausschlusskriterium die teueren und aufwändigen Dosieranlagen zu nennen.

7.4 Stoffsammlung: Dichtprofile

Nachfolgend sind die wesentlichen Eigenschaften von Dichtstoffen zusammengestellt, die im Rahmen einer Materialrecherche für die weiteren Untersuchungen ausgewählt wurden.

Tabelle 9 Stoffsammlung: Dichtprofile

Nr.	Werkstoff	Beschreibung	Rohdichte in g/cm³	Shore A-Härte	UV-Stabilität	Dicke in mm
1.	Silicon	2-K SG-Klebstoff – schwarz	/	/	x	3,5
2.	Silicon	2-K SG-Klebstoff – schwarz	/	/	x	7,0
3.	Silicon	geschäumt – weiß	0,5-0,6	10-20	x	6,0
4.	Silicon	transparent	1,1-1,2	40	x	2,5
5.	Silicon	transparent	1,1-1,2	40	x	5,0
6.	Silicon	geschäumt – weiß	0,4	10-15	x	3,0
7.	Silicon	geschäumt – weiß	0,4	10-15	x	6,0
8.	Silicon	geschäumt – rot	/	10-15	x	3,0
9.	Silicon	geschäumt – rot	/	10-15	x	6,0
10.	Silicon	geschäumt - braun	/	10-15	x	2,0
11.	Silicon	geschäumt - braun	/	10-15	x	4,0
12.	Silicon	geschäumt - braun	/	10-15	x	6,0
13.	Silicon	extrudiert – transp.	1,0-1,2	50	x	3,0
14.	Silicon	extrudiert - transp.	1,0-1,2	50	x	6,0
15.	CR Neopr.	schwarz	/	55		3,0
16.	CR Neopr.	schwarz	/	55		6,0
17.	EPDM	schwarz	/	50	x	3,0

Nr.	Werkstoff	Beschreibung	Roh-dichte in g/cm³	Shore A-Härte	UV-Stabilität	Dicke in mm
18.	EPDM	schwarz	/	50	x	6,0
19.	EPDM	schwarz	/	25	x	3,0
20.	EPDM	schwarz	/	25	x	6,0
21.	EPDM	geschäumt – schw.	/	15	x	3,0
22.	EPDM	geschäumt – schw.	/	15	x	6,0
23.	EPDM	Dichtprofil mit Lippen - schwarz	/	/	x	8,0
24.	Acryl	Dichtband – weiß	0,72	/		3,0
25.	Acryl	Dichtband – weiß	0,72	/		6,0
26.	Acryl	Dichtband – weiß	0,72	/		2,0
27.	Acryl	Dichtband – weiß	0,72	/		4,0
28.	Acryl	Dichtband – weiß	0,72	/		6,0
29.	Acryl	Dichtband – weiß	0,96	/		3,0
30.	Acryl	Dichtband – weiß	0,96	/		6,0
31.	PUR	Kompriband - grau	/	/		10,
32.	Melamin-harz	offenzellig – weiß	/	/		11,0

7.4.1 Vorauswahl der Dichtprofile

Die maßgebliche Wegaufnahme des Dichtprofils wurden laut Tabelle 7 mit 1.0 mm definiert. Damit der Kräftehaushalt einer Rahmenverbindung durch die notwendige Vorspannung des Dichtprofils nicht überlastet wird, soll ein Grenzwert von 0,5 kN für die erforderliche Vorspannkraft nicht überschritten werden. Für die Werkstoffe laut Tabelle 9 wurde das Kraft-Verformungs-Verhalten durch Versuche ermittelt und nach folgenden Kriterien beurteilt:

- Dichtprofilfläche: 20 x 50 mm,
- Pressmaß von mindestens 1 mm bei ausreichender der Dichtwirkung
- bei maximal 0,5 kN Vorspannkraft.

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der Vorauswahl dargestellt.

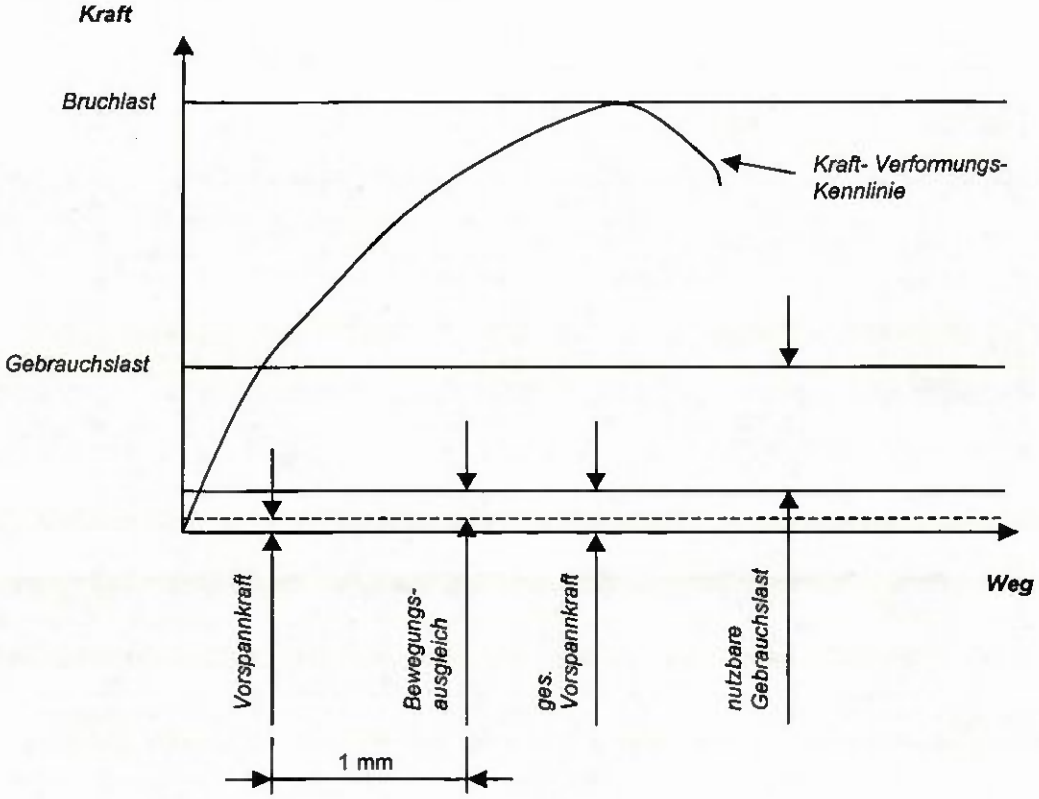


Bild 27 Schematische Darstellung der Kräfteverteilung an einer Rahmenverbindung mit integrierten Dichtprofil

7.4.2 Dichtwirkung an Plexiglas-Gegenfläche

Die Werkstoffe der Vorauswahl laut Tabelle 10 werden im ersten Schritt auf die Dichtwirkung an einer Plexiglas-Gegenfläche untersucht (Farbeindringprüfung auf einer „glatten" Oberfläche).

Durch Variation des Pressmaßes wird mit Hilfe von Penetrationsmittel die Dichtwirkung beurteilt. Es darf kein Penetrationsmittel zwischen Dichtprofil und Plexiglas-Gegenfläche im Bereich der Druckzonen eindringen.

Tabelle 10 Penetrationsmittelversuche mit Dichtprofilen an Plexiglas-Gegenfläche

Nr.	Werkstoff	Beschreibung	Rohdichte in g/cm³	Shore A-Härte	UV-Stabilität	Dicke in mm	Press-weg in mm	Bewertung der Dichtwirkung
3	Silicon	geschäumt – weiß	0,5-0,6	10-20	x	6,0	1,0	ungenügend
3	Silicon	geschäumt – weiß	0,5-0,6	10-20	x	6,0	1,5	befriedigend
3	Silicon	geschäumt – weiß	0,5-0,6	10-20	x	6,0	2,0	gut
6	Silicon	geschäumt – weiß	0,4	10-15	x	3,0	1,0	ungenügend
7	Silicon	geschäumt – weiß	0,4	10-15	x	6,0	2,0	ungenügend
7	Silicon	geschäumt – weiß	0,4	10-15	x	6,0	3,0	befriedigend 1)
11	Silicon	geschäumt - braun	/	/	x	4,0	1,0	ungenügend
11	Silicon	geschäumt - braun	/	/	x	4,0	2,0	ungenügend
16	Silicon	extrudiert – transparent	1,0,-1,2	/	x	6,0	1,0	ungenügend
23	EPDM	geschäumt - schwarz	/	15	x	3,0	1,0	ungenügend
24	EPDM	geschäumt-schwarz	/	15	x	6,0	2,0	gut
25	EPDM	Dichtprofil mit Lippen - schwarz	/	/	X	8,0	1,0	ungenügend
33	PUR	Kompriband - grau	/	/		10,	8,0	ungenügend
34	Melamin-harz	offenzellig – weiß	/	/		11,0	9,0	ungenügend
2)	Silicon	extrudiert – weiß	0,5-0,6	32	x	5,5	1,0	sehr gut
2)	EPDM	schwarz	/	25	x	6,0	1,0	sehr gut

1) hier ist bereits ein sehr hoher Pressdruck notwendig,

2) modifizierte Dichtprofile aufgrund der Erkenntnisse aus der Vorauswahl.

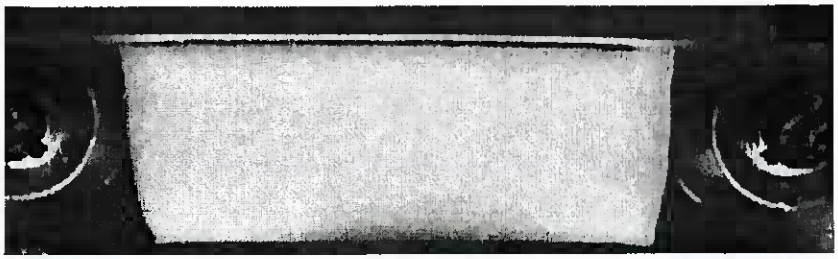


Bild 28 Beispiel für positiv bewertetes Dichtprofil

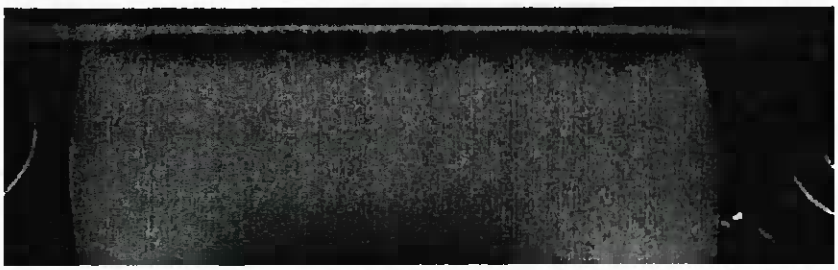


Bild 29 Beispiel für negativ bewertetes Dichtprofil

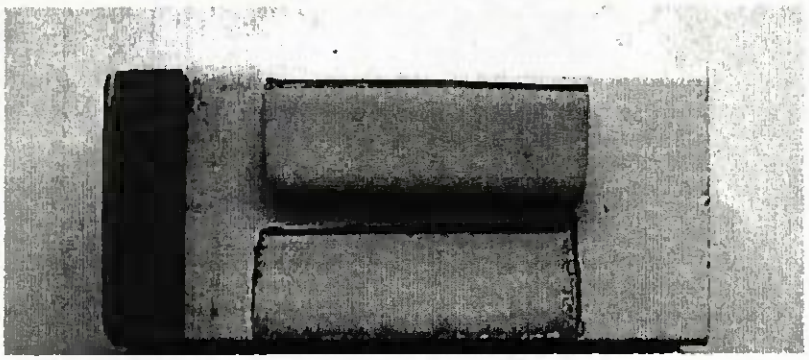
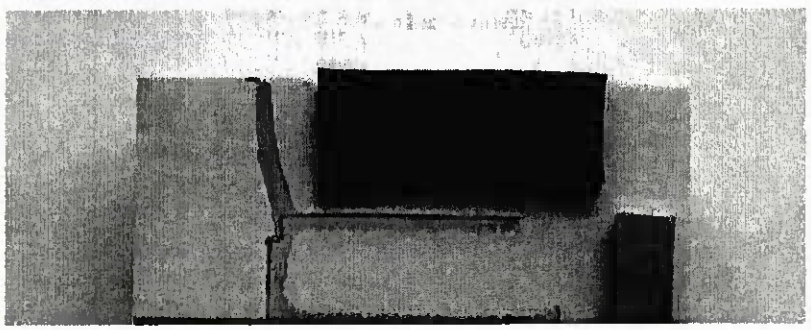
7.4.3 Dichtwirkung an Gegenfläche aus beschichteten Holzproben

Die positiv bewerteten Dichtprofile aus Tabelle 10 werden im nächsten Schritt mit einer Gegenfläche aus beschichteten Holzproben auf die Dichtwirkung untersucht.

Tabelle 11 Penetrationsmittelversuche mit Gegenfläche aus beschichteten Holzproben

Nr.	Werkstoff	Beschreibung	Rohdichte in g/cm³	Shore-Härte	Dicke in mm	Pressweg in mm	Bewertung der Dichtwirkung
3	Silicon	geschäumt – weiß	0,5-0,6	10-20	6,0	2,0	mangelhaft
24	EPDM	geschäumt – schwarz	/	15	6,0	2,0	mangelhaft
-	Silicon	extrudiert – weiß	0,5-0,6	32	5,5	1,0	sehr gut
-	EPDM	schwarz	/	25	6,0	1,0	sehr gut

Tabelle 12 Bildübersicht zu den Penetrationsmittelversuchen an lackierten Holzproben mit mangelhafter Dichtwirkung

Werkstoff	Penetrationsmittelversuche
Silicon geschäumt	
EPDM geschäumt	

Ergebnis:

Im Unterschied zu den Versuchen an der Plexiglas-Gegenfläche zeigen die geschäumten Dichtstoffe sowohl bei EPDM als auch bei Silicon eine mangelhafte Dichtwirkung.

Die weiteren Untersuchungen konzentrieren sich deshalb auf die erfolgsversprechenden Dichtprofile laut Tabelle 13. Diese werden im nächsten Schritt mit einer Gegenfläche an deckend weiß lackierten Flügelecken untersucht.

In Tabelle 13 werden die Ergebnisse der Penetrationsmittelversuchen an deckend weiß lackierten Flügelecken dargestellt.

Tabelle 13 Penetrationsmittelversuche mit Gegenfläche aus deckend weiß lackierten Flügelrahmen

Werkstoff	Beschreibung	Rohdichte in g/cm³	Shore-Härte	Dicke in mm	Pressweg in mm	Bewertung der Dichtwirkung
Silicon	extrudiert – weiß	0,5-0,6	32	5,5	1,0	sehr gut
EPDM	schwarz	/	25	6,0	1,0	sehr gut
ohne Dichtung				0	0	ungenügend

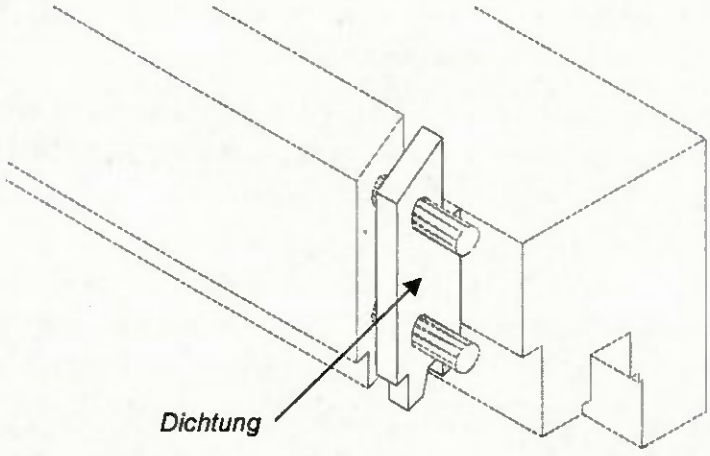


Bild 30 Prinzipskizze eines Dichtprofils für Flügelrahmen

Tabelle 14 Bildübersicht zu den Penetrationsmittelversuchen mit deckend weiß lackierten Flügelecken

System	Penetrationsmittelversuche
Silicon extrudiert	
EPDM	
ohne Dichtung	

7.5 Zusammenfassung der Erkenntnisse

- Offenzellige Dichtstoffe sind nicht geeignet, da sie über weite Bereiche der Dichtzone ein Eindringen von Feuchtigkeit zulassen.
- Geschäumte Dichtstoffe sind ebenfalls nicht geeignet, da sie im Randbereich der Dichtzone nicht den notwendigen Anpressdruck übertragen können und damit ein Eindringen von Feuchtigkeit zulassen.
- Der Verzicht der Abdichtung der Brüstungsfuge bei der Verwendung von mechanischen Verbindungsmitteln führt ebenfalls zu massiven Eindringen von Feuchtigkeit im Bereich der Kontaktflächen aneinandergrenzender Rahmenhölzer.
- Ungeschäumte Dichtstoffe aus Silicon und EPDM zeigen eine sehr gute Dichtwirkung im gesamten Bereich der Kontaktflächen. Bedingt durch die höhere Materialdichte wird jedoch im Vergleich zu den geschäumten Dichtstoffen mehr Kraft benötigt, um die Vorspannung für den erforderlichen Bewegungsausgleich zu erzielen.
- Für das Dichtmaterial ist ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Rohdichte und Geometrie – hat Einfluss auf den Kräftehaushalt der Rahmenverbindung – sowie der Shore-Härte – hat Einfluss auf die Dichtwirkung im Randbereich der Dichtzone – notwendig.

7.6 Fazit

Aus der Vielzahl der untersuchten Dichtstoffe konnte lediglich mit ungeschäumten EPDM und Silicon eine ausreichende Dichtwirkung erzielt werden.

Die Brüstungsfuge mit einer sichtbaren Dichtung auszuführen hat neben den technischen Vorteilen den Nachteil einer geänderten Profilansicht und könnte deswegen aus optischen Gründen von Planern und Endkunden abgelehnt werden.

Ein möglicher Weg für zukünftige Holzfensterkonstruktionen ist die „sichtbare" Dichtung als qualitatives Merkmal und als Produktverbesserung zu verstehen und als konstruktives Detail herauszuarbeiten.

8 Ausgewählte Rahmenverbindungssysteme

Aufgrund der Erkenntnisse aus den vorherigen Kapiteln können folgende Zusammenhänge bei der Konzeption von Rahmenverbindungen für Holzfenster abgeleitet werden:

Tabelle 15 Günstige Lösungsansätze

Lösungsansatz	Begründung
Hirnholzbereiche werden abgedeckt bzw. minimiert	– Wasseraufnahme und Hinterwanderung der Beschichtung verhindern
Trennung von Festigkeit und Dichten	– Optimierung der Teilsysteme möglich
Breites Anwendungsspektrum	– Vielfalt von Holzfensterprofilen – Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen
Stabilisierung des Holzes	– Schwachstellenoptimierung insbesondere Querzugfestigkeit erhöhen
Neutrale Faser im Bereich der Brüstungsfuge	– Öffnen der Brüstungsfuge bzw. Quetschen der Holzfasern durch Schwinden/Quellen von Quer- und Hirnholz verhindern
Geklebte Gehrungsverbindung	– konkave bzw. konvexe Verformung des Rahmens aufgrund Quellen/Schwinden der Rahmen
Klebgerechte Anordnung der Fügeteile	– Kraftübertragung über Scherbeanspruchung und nicht über Schälbeanspruchung der Klebfuge

Tabelle 16 Ungünstige Lösungsansätze

Lösungsansatz	Begründung
Kombination mechanischer Verbinder mit geklebter Verbindung	– unterschiedliches Kraft-Verformungs-Verhalten kann zur Überlastung des steiferen Verbindungssystems und zum Öffnen der Brüstungsfugen führen
Stumpfe Klebefuge	– Kraftübertragung über Scherbeanspruchung und nicht über Schälbeanspruchung
Kleben auf der Oberflächenbeschichtung	– nicht ausreichende Nasshaftfestigkeit der Beschichtung – Vielfalt an Beschichtungssystemen – Verträglichkeit zw. Beschichtung und Klebstoff

Lösungsansatz	Begründung
	– Klebstofffuge wird im Außenbereich nicht durch die Beschichtung geschützt – PVAc-Klebstoffe können wegen der behinderten Wasserabgabe nicht optimal abbinden – Verschmutzung durch Klebstoffüberschuss – Abschieben der Beschichtung beim Verbinden der Rahmenteile
Brüstungsfuge wird weder geklebt noch abgedichtet	– aufgrund von Fertigungstoleranzen entstehen Kapillarfugen, über die Wasser aufgenommen wird – in den Kapillarfugen stehendes Wasser diffundiert anschließend durch die Beschichtung ins Holz – das Abtrocknen des Holzes wird durch die Beschichtung verzögert, es entsteht ein Ungleichgewicht zwischen Wasseraufnahme und -abgabe mit der Folge, dass der Eckbereich auffeuchtet
Quer- und Hirnholz treffen aufeinander und werden durch Überplatten geklebt	– aufgrund der unterschiedlichen Quell- und Schwindkoeffizienten kommt es zu Bewegungen bzw. Spannungen im Bereich der Brüstungsfuge

Anmerkungen zur Nasshaftfestigkeit

„Die meisten derzeit verwendeten Beschichtungssysteme zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der Lage sind, Feuchtigkeit aufzunehmen und wieder abzugeben. Die Haftung dieser Beschichtungssysteme auf der Holzoberfläche ist bei erhöhter Feuchtebelastung erfahrungsgemäß schwierig sicherzustellen. Bei dem heutigen Überangebot von Feuchtigkeit an der Baustelle ist deshalb darauf zu achten, dass verstärkt Feuchtigkeit vom Holzfenster und damit von der Beschichtung abgehalten wird.

Ist der Lackfilm bereits beschädigt oder ist das vorhandene Feuchteangebot im Grenzbereich zur Holzoberfläche sehr hoch, reichen oft relativ kurze Einwirkzeiten von Wasser aus, um den Lackfilm rund um die Beschädigung komplett zu lösen." [3]

Die nachfolgenden Lösungsansätze wurden im Hinblick auf die Erkenntnisse von Tabelle 15 und Tabelle 16 konzipiert und in unlösbare und lösbare Rahmenverbindungen unterteilt.

Anmerkungen zu den unlösbaren Verbindungen:

Sämtliche gedübelten Rahmenverbindungen wurden mit Dübel nach DIN 68150–A–8x50–BU, mit einer Eindringtiefe der Dübel im durchlaufendem Rahmenteil von 15 mm und im anstoßendem Rahmenteil von 35 mm, ausgeführt. Es wurden ausschließlich die Mantelflächen der Dübellochbohrungen mit Klebstoff benetzt. Die Stoßstellen der Rahmenteile wurden nicht geklebt. Zur gezielten Trennung der Rahmenteile wurde im Kontaktbereich eine PE-Folie eingelegt. Damit beruhen die gemessenen Scher- und Zugkräfte ausschließlich auf der Klebung der Holzdübel. Die Festigkeit einer gedübelten Rahmenverbindung, ohne die Kontaktflächen der Rahmenteile zu verkleben, spielt für die Beurteilung bei der Verwendung einer zusätzlichen Abdichtung der Brüstungsfuge eine wichtige Rolle (vgl. Kapitel 7).

Anmerkungen zu den lösbaren Rahmenverbindungen:

Für die ersten orientierenden Untersuchungen der Eignung von mechanischen Verbindungsmitteln wurden zunächst rechteckige Rahmenteile ohne Profilierung miteinander verschraubt (vgl. System 2.1 und 2.2). Aufgrund der erfolgversprechenden Ergebnisse wurden darauf aufbauend weitere Lösungen konzipiert und untersucht. Zur Verdrehsicherung der Flügelfalzüberschläge und zur zusätzlichen Aufnahme von Scherkräften wurden je nach Platzangebot zusätzlich bis zu vier Holzdübel (DIN 68150–A–8x50–BU) ohne Klebung eingesetzt. Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der mechanischen Festigkeit der Verbindungsmittel wurden bei den Probekörpern keine Maßnahmen zur Abdichtung der Brüstungsfugen unternommen (vgl. Kapitel 7).

Die Profilierung der Probekörper erfolgte in Anlehnung an IV 68 Flügelrahmen nach DIN 68121-1.

8.1 Unlösbare Rahmenverbindungen

8.1.1 System 1.1, drei Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird mit drei Holzdübel in einem Randabstand von 6 mm zur Außenkante hergestellt. Die Profilierung der Probekörper ist in Anlehnung an IV 68 Flügelrahmen ohne Glasfalz ausgeführt.

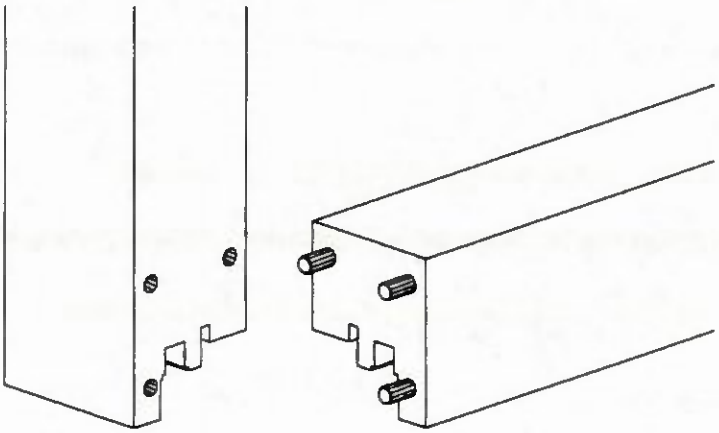


Bild 31 Prinzipskizze von System 1.1

Tabelle 17 Bestandteile von System 1.1

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Kiefer	
2.	3	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.1.2 System 1.2, fünf Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird mit fünf Holzdübel in einem Randabstand von 6 mm zur Außenkante hergestellt. Die Profilierung der Probekörper ist in Anlehnung an IV 68 Flügelrahmen ohne Glasfalz ausgeführt.

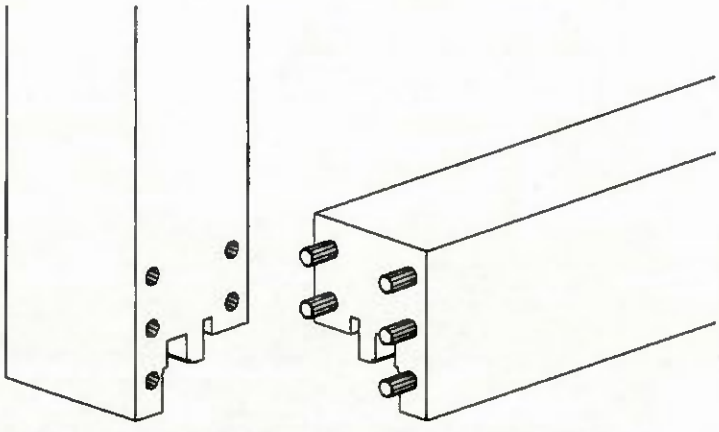


Bild 32 Prinzipskizze von System 1.2

Tabelle 18 Bestandteile von System 1.2

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Kiefer	
2.	5	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.1.3 System 1.3, drei Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird mit drei Holzdübel mit einem Randabstand von 6 mm zur Außenkante hergestellt. Die Profilierung der Probekörper ist in Anlehnung an IV 68 Flügelrahmen mit einer Nut (36 x 18 mm) zur Simulation des Glasfalzes ausgeführt.

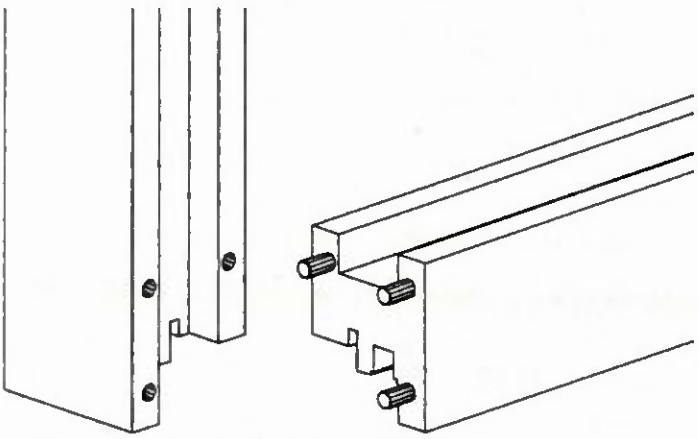


Bild 33 Prinzipskizze von System 1.3

Tabelle 19 Bestandteile von System 1.3

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Kiefer	
2.	3	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.1.4 System 1.4, drei Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird mit drei Holzdübel mit einem Randabstand von 5 mm zur Außenkante hergestellt. Die Profilierung der Probekörper ist in Anlehnung an IV 68 Flügelrahmen mit einer Nut (36 x 18 mm) zur Simulation des Glasfalzes ausgeführt.

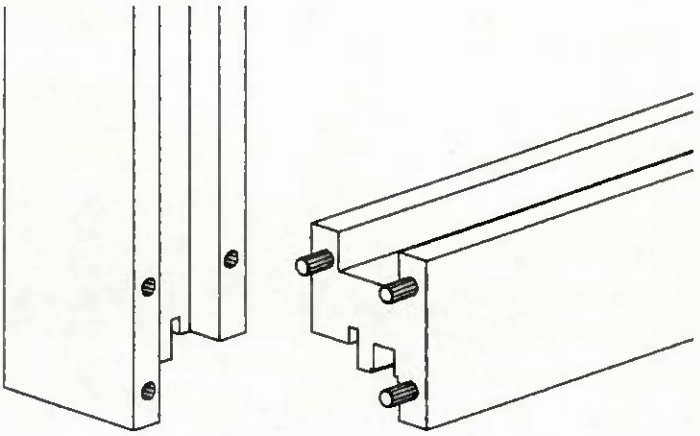


Bild 34 Prinzipskizze von System 1.4

Tabelle 20 Bestandteile von System 1.4

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Kiefer	
2.	3	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.1.5 System 1.5, fünf Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird mit fünf Holzdübel mit einem Randabstand von 6 mm zur Außenkante hergestellt. Die Profilierung der Probekörper ist in Anlehnung an IV 68 Flügelrahmen mit einer Nut (36 x 18 mm) zur Simulation des Glasfalzes ausgeführt.

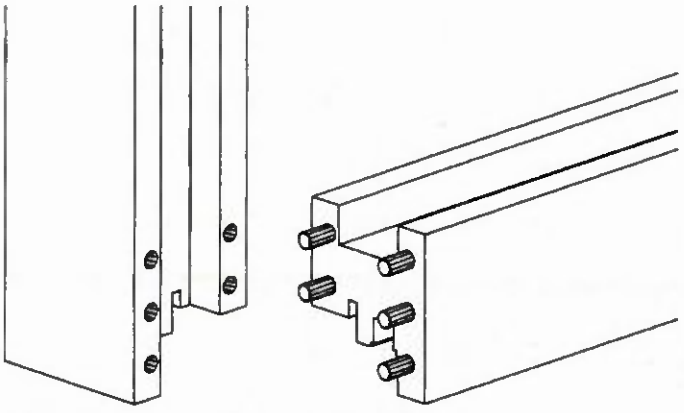


Bild 35 Prinzipskizze von System 1.5

Tabelle 21 Bestandteile von System 1.5

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Kiefer	
2.	5	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.1.6 System 1.6, fünf Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird mit fünf Holzdübel mit einem Randabstand von 5 mm zur Außenkante hergestellt. Die Profilierung der Probekörper ist in Anlehnung an IV 68 Flügelrahmen mit einer Nut (36 x 18 mm) zur Simulation des Glasfalzes ausgeführt.

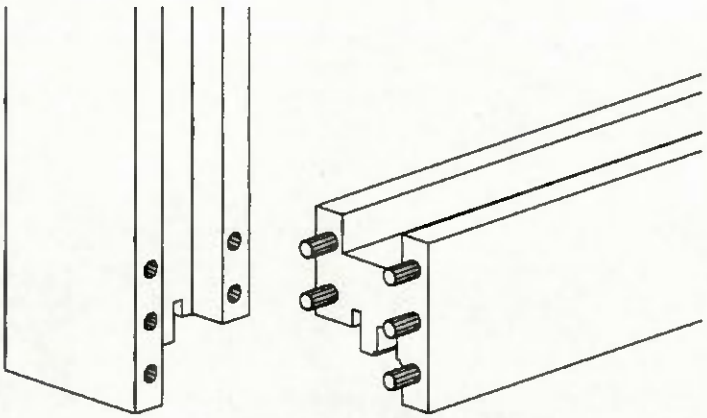


Bild 36 Prinzipskizze von System 1.6

Tabelle 22 Bestandteile von System 1.6

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Kiefer	
2.	5	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.1.7 System 1.7, Schlitz-Zapfen

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird mit einer gängigen geklebten Schlitz-Zapfen-Verbindung mit zweieinhalbfacher Teilung für IV 68 Flügelrahmen hergestellt.

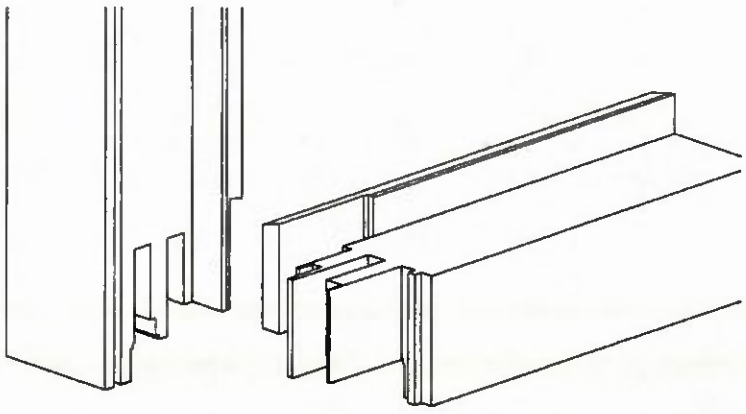


Bild 37 Prinzipskizze von System 1.7

Tabelle 23 Bestandteile von System 1.7

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	1	Schlitz-Zapfen-Verbindung mit zweieinhalbfacher Teilung	

8.1.8 System 1.8, Nutzapfen

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird in Anlehnung an eine Schlitz-Zapfen-Verbindung mit zweifacher Teilung für IV 68 Flügelrahmen mit zwei Nutzapfen hergestellt. Die Einfrästiefe für die Nutzapfen beträgt 15 mm.

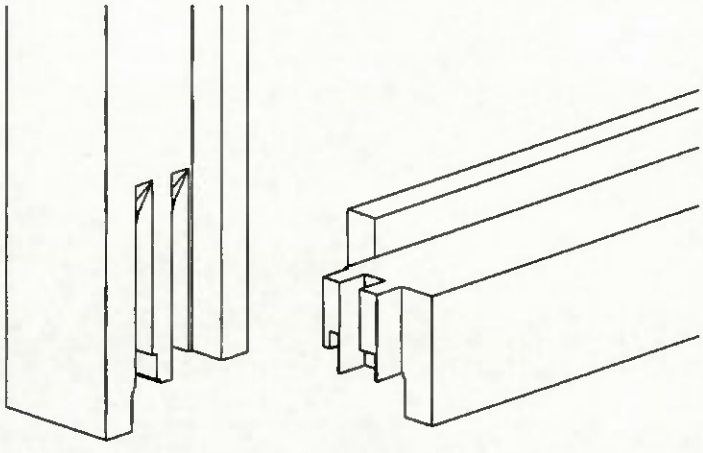


Bild 38 Prinzipskizze von System 1.8

Tabelle 24 Bestandteile von System 1.8

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	2	Nutzapfen 15 x 10 mm	

8.1.9 System 1.9, Nutzapfen mit zwei Dübel

Systembeschreibung:

Wie System 1.8 (vgl. Kapitel 8.1.8) jedoch zusätzlich mit zwei Holzdübel im äußeren Glasfalzüberschlag. Die Kontaktflächen der Rahmenteile im Bereich der Holzdübel sind dabei nicht geklebt.

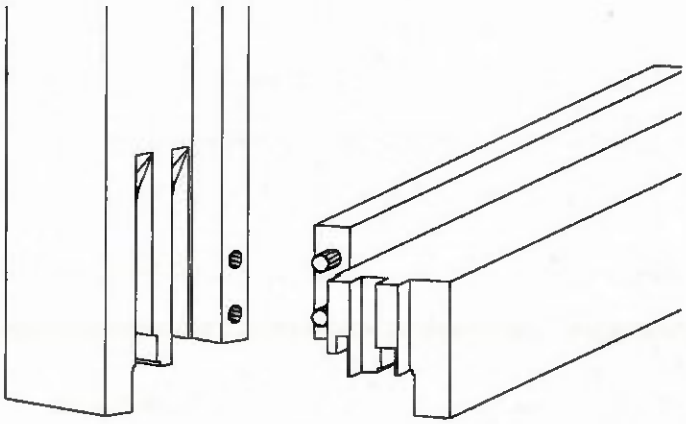


Bild 39 Prinzipskizze von System 1.9

Tabelle 25 Bestandteile von System 1.9

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	2	Nutzapfen 15 x 10 mm	
3.	2	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.1.10 System 1.10, Keilzinken

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird mit fünf Keilzinken mit einer Zinkenlänge von 12 mm und einer Teilung von 5,4 mm hergestellt. Die Keilzinken sind mittig im Glasfalz angeordnet. Die Profilierung der Probekörper ist in Anlehnung an IV 68 Flügelrahmen ausgeführt.

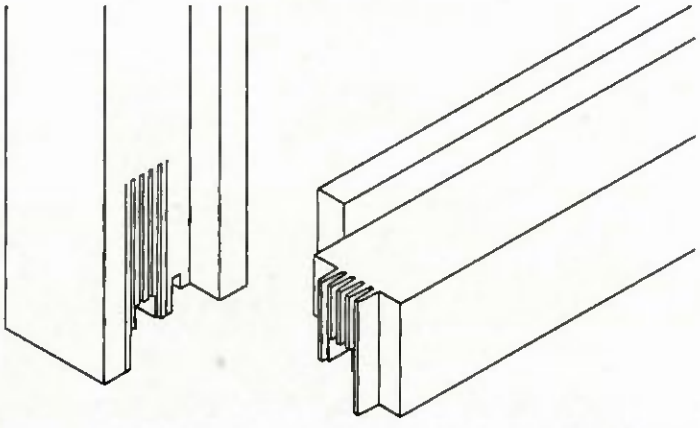


Bild 40 Prinzipskizze von System 1.10

Tabelle 26 Bestandteile von System 1.10

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	1	Keilzinken, Zinkenlänge 12 mm, Teilung 5 x 5,4 mm	

8.1.11 System 1.11, zwei Fremdfedern

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird mit zwei geklebten Fremdfedern aus 4 mm Furnierschichtholz hergestellt. Die Fremdfedern sind im Hinblick auf eine maximale Klebfläche optimiert und in den Randbereichen des Flügelprofils platziert. Die Kontaktflächen der Rahmenteile sind ebenfalls vollflächig geklebt. Die Profilierung der Probekörper ist in Anlehnung an IV 68 Flügelrahmen ausgeführt

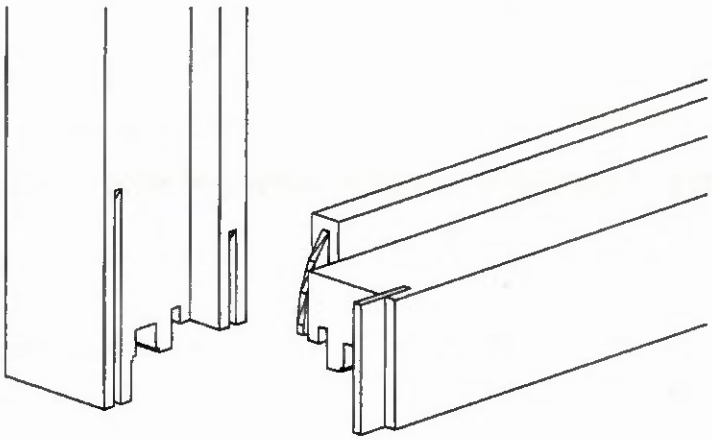


Bild 41 Prinzipskizze von System 1.11

Tabelle 27 Bestandteile von System 1.11

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	1	Fremdfeder aus Furnierschichtholz 60 x 30 x 4 mm	
3.	1	Fremdfeder aus Furnierschichtholz 72 x 30 x 4 mm	

8.1.12 System 1.12, fünf Dübel - wärmegedämmtes Fensterprofil

Systembeschreibung:

Der Aufbau des Rahmenprofils besteht aus zwei äußeren Kieferlamellen und einer Mittellamelle aus Dämmstoff. Die Profilierung der Probekörper ist in Anlehnung an das IV 78 Flügelrahmen ohne Glasfalzüberschlag ausgeführt. Die Rahmenverbindung wird mit fünf Holzdübel, die in den äußeren Holzlamellen platziert sind, hergestellt. Die Kontaktflächen der Rahmenteile sind nicht geklebt.

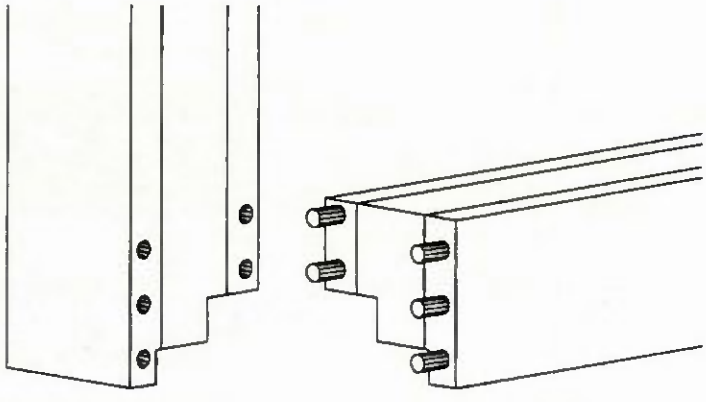


Bild 42 Prinzipskizze von System 1.12

Tabelle 28 Bestandteile von System 1.12

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper mit zwei äußeren Lamellen aus 19 mm Kiefer und einer mittleren Lamelle aus 40 mm Dämmstoff (PU-Recyclat)	
2.	5	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.2 Lösbare Rahmenverbindungen

8.2.1 System 2.1, Spanplattenschraube

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird durch die Verschraubung der Rahmenteile mit einer Spanplattenschraube im Hirnholz des stumpf anstoßenden Rahmenteils hergestellt. Der Schraubenkopf ruht in einer Sacklochbohrung im durchlaufenden Rahmenteil. Zur Vergrößerung der Auflagerfläche des Schraubenkopfs im Bohrlochgrund wird eine Unterlegscheibe verwendet. In den Randbereichen sind zusätzlich vier Federstahldübel eingesteckt.

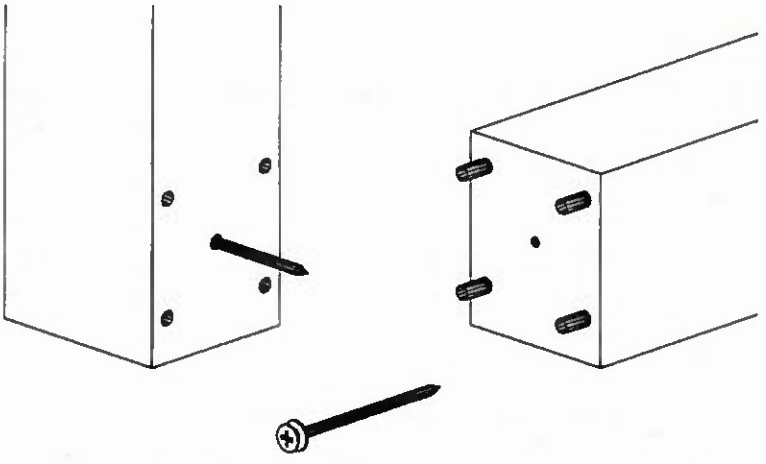


Bild 43 Prinzipskizze von System 2.1

Tabelle 29 Bestandteile von System 2.1

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	1	Spanplattenschraube Senkkopf mit Teilgewinde, Ø6 x 80 mm	
3.	1	Unterlegscheibe $Ø_i$ 6 mm; $Ø_a$ 12 mm	
4.	4	Federstahldübel Ø6 x 25 mm	

8.2.2 System 2.2, zwei Gewindemuffen

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird durch die Verschraubung der Rahmenteile mittels zweier Gewindemuffen und einer Verbindungsschraube hergestellt. In den Randbereichen sind zusätzlich vier Federstahldübel eingesteckt. Die Gewindemuffe im durchlaufenden Rahmenteil hat eine Durchgangsbohrung im Durchmesser der Verbindungsschraube und ist bündig von der Glasfalzseite eingedreht. Die zweite Gewindemuffe sitzt im anstoßendem Rahmenteil zur Aufnahme der Verbindungsschraube.

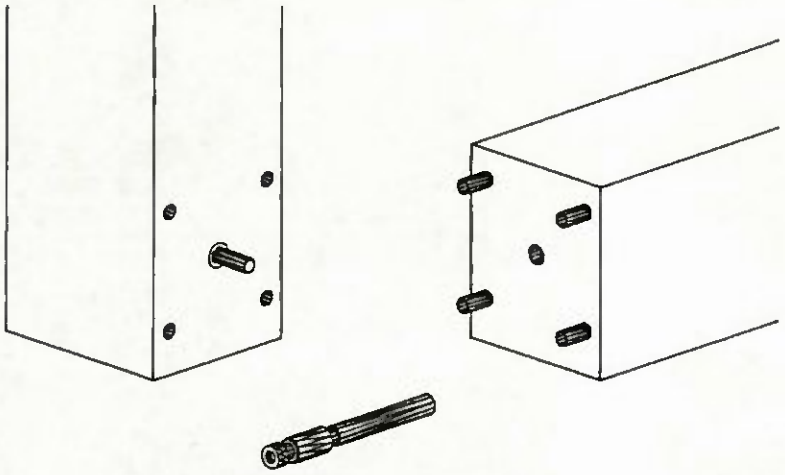


Bild 44 Prinzipskizze von System 2.2

Tabelle 30 Bestandteile von System 2.2

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	1	Gewindemuffe $\varnothing_i$ 6mm, Ø12 x 18 mm	
3.	1	Zylinderschraube mit Innensechskant M6 x 35 mm	
4.	1	Gewindemuffe M6, Ø12 x 30 mm	
5.	4	Federstahldübel Ø6 x 25 mm	

8.2.3 System 2.3, Flachstahlplatte

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird durch die Verschraubung der Rahmenteile mittels einer Flachstahlplatte, vier Holzschrauben, einem Quermutterbolzen und einer Verbindungsschraube hergestellt. In den Randbereichen sind zusätzlich vier Holzdübel eingesteckt. Die Flachstahlplatte wird mit vier Holzschrauben am durchlaufenden Rahmenteil befestigt. Der Querbolzen sitzt im Glasfalz des anstoßenden Rahmenteils. Die Verbindungsschraube wird durch eine Durchgangsbohrung in der Beschlagsnut eingeführt und im Quermutterbolzen eingeschraubt.

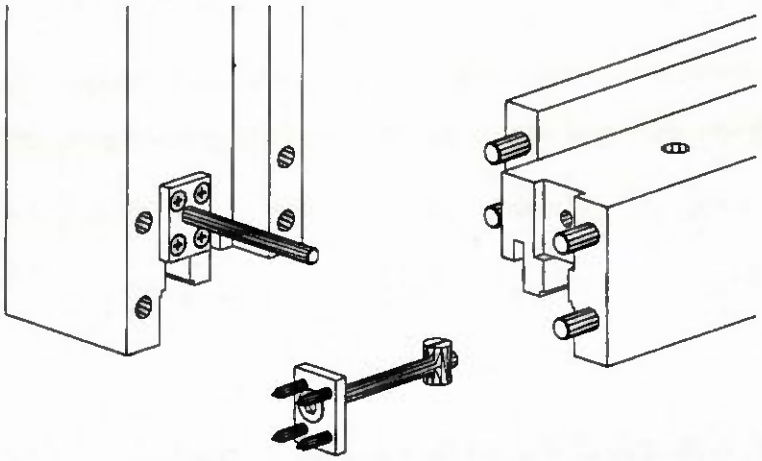


Bild 45 Prinzipskizze von System 2.3

Tabelle 31 Bestandteile von System 2.3

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	1	Flachstahlplatte 5 mm	
3.	4	Spanplattenschraube Ø4 x 20 mm	
4.	1	Zylinderschraube mit Innensechskant M6 x 70 mm	
5.	1	Quermutterbolzen M6, Ø10 x 14 mm	
6.	4	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.2.4 System 2.4, Stahlblechplatte

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird durch die Verschraubung der Rahmenteile mittels einer Stahlblechplatte, vier Holzschrauben, zwei Gewindemuffen und zweier Verbindungsschrauben hergestellt. In den Randbereichen sind zusätzlich drei Holzdübel eingesteckt. Die Stahlblechplatte wird mit vier Holzschrauben am durchlaufenden Rahmenteil befestigt. Die zwei Gewindemuffen sitzen im anstoßendem Rahmenteil zur Aufnahme der Verbindungsschrauben. Die erste Verbindungsschraube wird durch eine schräge Bohrung in der Beschlagsnut eingeführt und in die erste Gewindemuffe eingeschraubt. Die zweite Verbindungsschraube wird durch eine schräge Bohrung in der Mitteldichtungsnut eingeführt und in die zweite Gewindemuffe eingeschraubt. Zum Festziehen der beiden Verbindungsschrauben wird ein Kugelkopf-Innensechskantsschlüssel verwendet.

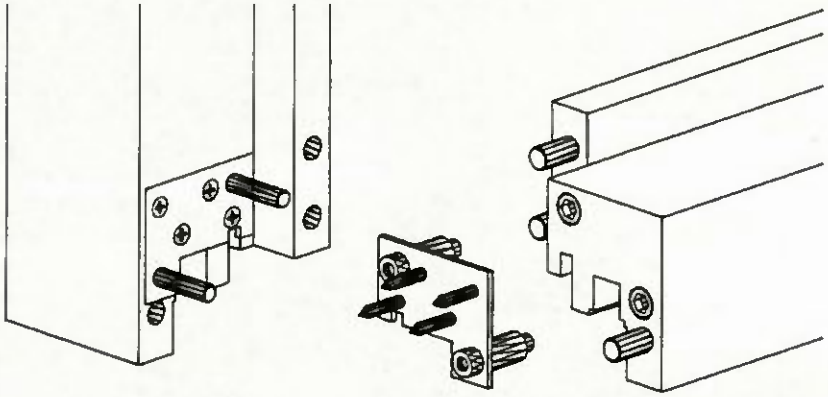


Bild 46 Prinzipskizze von System 2.4

Tabelle 32 Bestandteile von System 2.4

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	1	Stahlblechplatte 2 mm	Form angepasst
7.	4	Spanplattenschraube Ø4 x 20 mm	
3.	2	Zylinderschraube mit Innensechskant M6 x 25 mm	
4.	2	Gewindemuffe M6, Ø12 x 18 mm	
5.	3	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.2.5 System 2.5, Exzenterverbinder

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird durch einen stark belastbaren Universalverbinder bestehend aus einem Exzenter-Gehäuse, einem Verbindungsbolzen und einer Gewindemuffe hergestellt. In den Randbereichen sind zusätzlich vier Holzdübel eingesteckt. Die Gewindemuffe im durchlaufenden Rahmenteil ist bündig von der Glasfalzseite eingedreht. Das Exzenter-Gehäuse sitzt im Glasfalz des anstoßenden Rahmenteils. Der Verbindungsbolzen wird in die Gewindemuffe eingeschraubt und durch drehen des Exzenter-Gehäuses festgezogen.

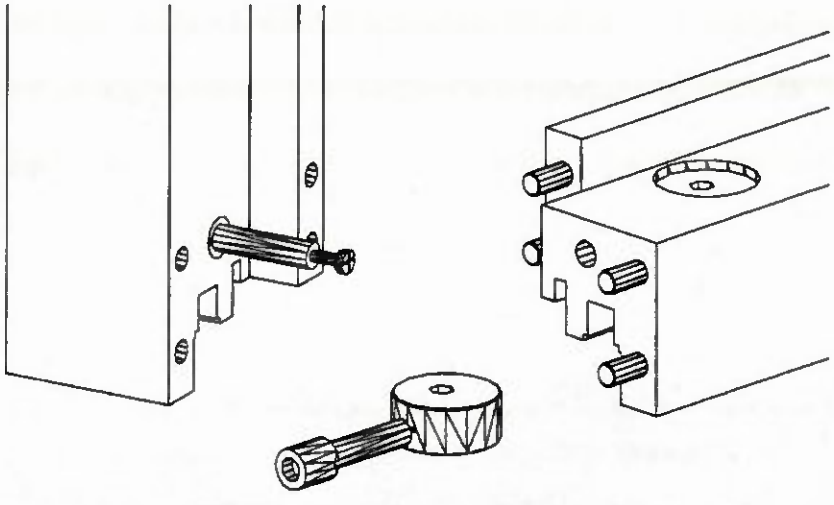


Bild 47 Prinzipskizze von System 2.5

Tabelle 33 Bestandteile von System 2.5

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	1	Gewindemuffe M8, Ø12 x 18 mm	
3.	1	Verbindungsbolzen Ø8 x 55 mm	
4.	1	Exzenter-Gehäuse Ø35 x 17 mm	
5.	4	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.2.6 System 2.6, Universalverbinder

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird durch einen Universalverbinder bestehend aus einem Segmentteil, einer Kreuzlochschraube und einer Gewindemuffe hergestellt. In den Randbereichen sind zusätzlich vier Holzdübel eingesteckt. Die Gewindemuffe im durchlaufenden Rahmenteil ist bündig von der Glasfalzseite eingedreht. Das Segmentteil sitzt in einer Sacklochbohrung im Glasfalz des anstoßenden Rahmenteils. Die Kreuzlochschraube wird in die Gewindemuffe eingeschraubt.

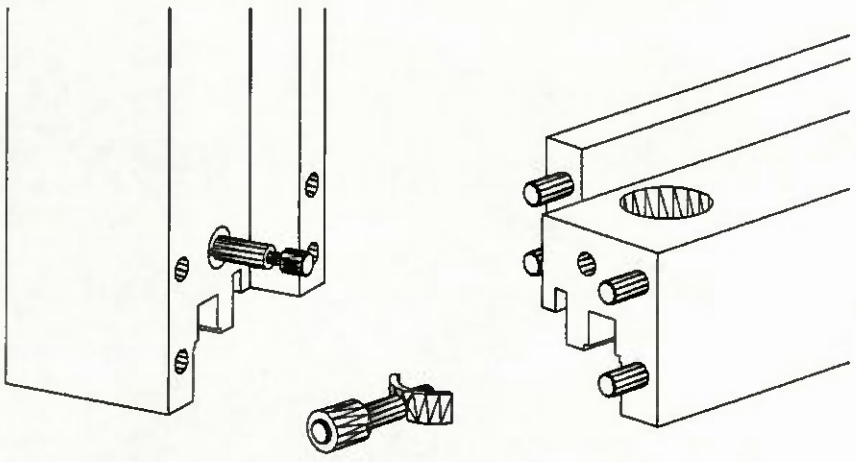


Bild 48 Prinzipskizze von System 2.6

Tabelle 34 Bestandteile von System 2.6

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	1	Gewindemuffe M8, Ø12 x 18 mm	
3.	1	Kreuzlochschraube Ø8 x 50 mm	
4.	1	Segmentteil aus Stahl	
5.	4	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.2.7 System 2.7, vier Gewindemuffen

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung ist analog zu System 2.2 (vgl. Kapitel 8.2.2) konzipiert. Es werden hier zwei Gewindemuffenpaare mit unterschiedlichen Schraubendurchmesser aufgrund der begrenzten Einbaulage eingesetzt. In den Randbereichen sind zusätzlich vier Holzdübel eingesteckt.

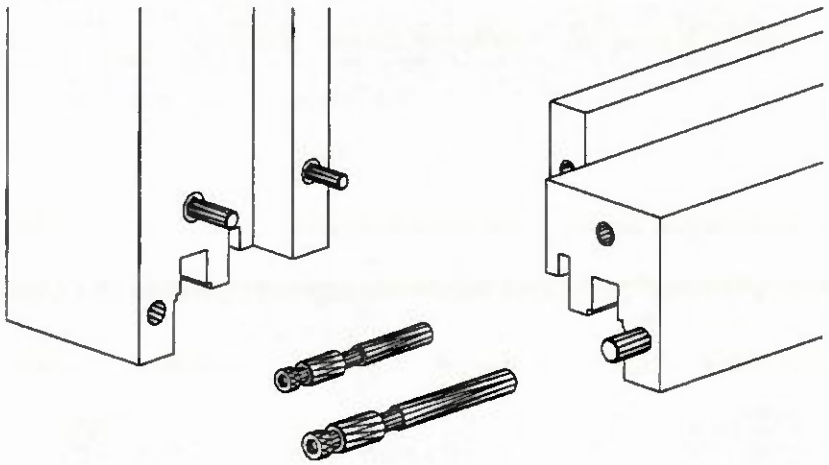


Bild 49 Prinzipskizze von System 2.7

Tabelle 35 Bestandteile von System 2.7

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	1	Gewindemuffe $\varnothing_i$ 6mm, Ø12 x 18 mm	
3.	1	Zylinderschraube mit Innensechskant M6 x 35 mm	
4.	1	Gewindemuffe M6, Ø12 x 30 mm	
5.	1	Gewindemuffe $\varnothing_i$ 5mm, Ø10 x 15 mm	
6.	1	Zylinderschraube mit Innensechskant M5 x 30 mm	
7.	1	Gewindemuffe M5 Ø10 x 30 mm	
8.	1	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

8.2.8 System 2.8, Eckumlenkung Dreh-Kippbeschlag

Systembeschreibung:

Die Rahmenverbindung wird durch eine Eckumlenkung eines gängigen Dreh-Kippbeschlags, vier Gewindemuffen und vier Schrauben hergestellt. In den Randbereichen sind zusätzlich vier Holzdübel eingesteckt. Die Gewindemuffen sind in beiden Rahmenteilen bündig von der Glasfalzseite eingedreht. Die Eckumlenkung wird von außen mit den vier Schrauben in den Gewindemuffen befestigt.

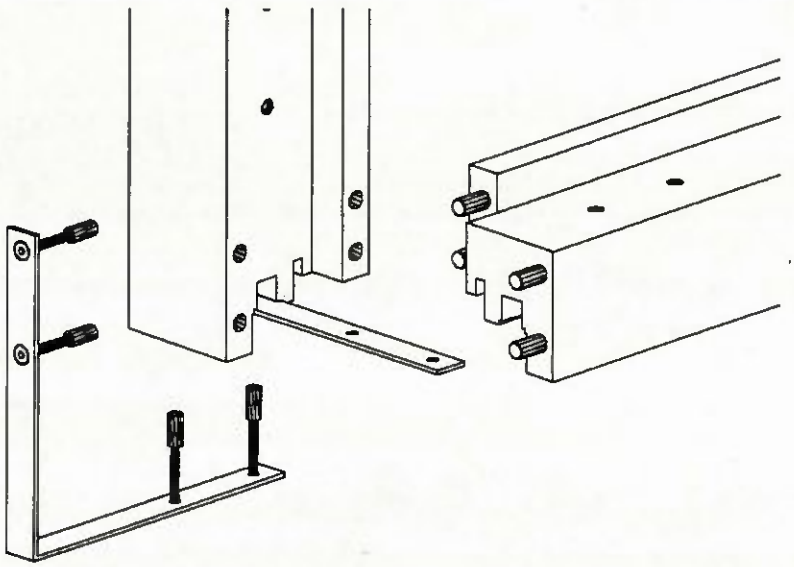


Bild 50 Prinzipskizze von System 2.8

Tabelle 36 Bestandteile von System 2.8

Nr.	Stück	Bezeichnung	Bemerkung
1.	2	Probekörper aus Fichte	
2.	1	Eckumlenkung Dreh-Kippbeschlag	
3.	4	Gewindemuffe M5, ∅10 x 14 mm	
4.	4	Senkschraube mit Innensechskant M5 x 40 mm	
5.	4	Holzdübel DIN 68150–A–8x50–BU	

9 Prüfergebnisse der ausgewählten Rahmenverbindungssysteme

In der nachfolgenden Tabelle 37 und Tabelle 38 werden die Ergebnisse der Zug- und Scherprüfungen für die ausgewählten Rahmenverbindungssysteme aufgrund der aufgezeichneten Kraft-Verformungs-Diagramme entsprechend Anlage 3 zusammengestellt. Die Werte für die Bruchlast und die Last bei 0,5 mm Fuge sind jeweils Mittelwerte aus den drei geprüften Probekörpern.

Die möglichen Gebrauchslasten werden für die ausgewählten Rahmenverbindungssysteme in Anlage 5 anhand von Diagrammen für verschiedene Sicherheitsniveaus aufgezeigt (vgl. Kapitel 3).

9.1 Unlösbare Rahmenverbindungen

Tabelle 37 Prüfergebnisse - Unlösbare Rahmenverbindungen

System	Bezeichnung	Bruchlast		Last bei 0,5 mm Fuge		Sicherheitsfaktor S=B/F0,5	
		B [kN]		F0,5 [kN]		0,69 [kN]	1,28 [kN]
		Zug	Scher	Zug	Scher	Zug	Scher
1.1	drei Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut	3,26		2,47		1,32	
			3,18		2,87		1,11
1.2	fünf Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut	6,62		5,82		1,14	
			5,06		4,14		1,22
1.3	drei Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut	2,65		2,09		1,27	
			1,75		1,22		1,43
1.4	drei Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut	2,30		1,95		1,18	
			2,02		1,42		1,42
1.5	fünf Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut; Anmerkung: für dieses System keine Scherversuche	4,39		3,99		1,10	

ift ROSENHEIM

System	Bezeichnung	Bruchlast		Last bei 0,5 mm Fuge		Sicherheitsfaktor S=B/F0,5	
		B [kN]		F0,5 [kN]		0,69 [kN]	1,28 [kN]
		Zug	Scher	Zug	Scher	Zug	Scher
1.6	fünf Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut		3,92		2,16		1,82
		3,93		3,09		1,27	
1.7	Schlitz-Zapfen	6,87		4,51		1,52	
			5,59	Fugenöffnung < 0,5 mm			4,36
1.8	Nutzapfen	3,82		Fugenöffnung < 0,5 mm		5,54	
			5,98	Fugenöffnung < 0,5 mm			4,67
1.9	Nutzapfen mit zwei Dübel	5,52		Fugenöffnung < 0,5 mm		8	
			5,81	Fugenöffnung < 0,5 mm			4,54
1.10	Keilzinken	4,27		Fugenöffnung < 0,5 mm		6,18	
			5,00	Fugenöffnung < 0,5 mm			3,91
1.11	zwei Fremdfedern	4,29		Fugenöffnung < 0,5 mm		6,22	
			8,85	Fugenöffnung < 0,5 mm			6,91
1.12	fünf Dübel - wärmegedämmtes Profil	8,74		8,44		1,04	
			4,32		3,83		1,13

9.2 Lösbare Rahmenverbindungen

Tabelle 38 Prüfergebnisse - Lösbare Rahmenverbindungen

System	Bezeichnung	Bruchlast		Last bei 0,5 mm Fuge		Sicherheitsfaktor S=G/B	
		B [kN]		F0,5 [kN]		0,69 [kN]	1,28 [kN]
		Zug	Scher	Zug	Scher	Zug	Scher
2.1	Spanplattenschraube	5,10		2,76		7,40	
			4,14		2,11		3,23
2.2	zwei Gewindemuffen	3,64		2,92		5,27	
			3,54		2,78		2,77
2.3	Flachstahlplatte	2,33		2,14		3,38	
			2,06		1,12		1,61
2.4	Stahlblechplatte	1,58		1,24		2,29	
			2,99		1,24		2,33
2.5	Exzenterverbinder	1,93		1,79		2,80	
			2,27		1,75		1,78
2.6	Universalverbinder	1,63		1,58		2,37	
			1,98		1,33		1,55
2.7	vier Gewindemuffen	2,53		2,34		3,66	
			1,62		0,91		1,26
2.8	Eckumlenkung Dreh-Kippbeschlag	1,37		0,25		1,98	
			2,44		0,91		1,91

ift ROSENHEIM

10 Zusammenfassung

Die gestiegenen bauphysikalischen Anforderungen, die aktuelle Schadensentwicklung und die Forderung nach wirtschaftlicheren Fertigungsverfahren führen zunehmend zu neuen Holzfensterkonstruktionen. Zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit kommt der Rahmenverbindung eine zentrale Rolle zu.

Aus der Analyse der Vielzahl von Rahmenprofilen und Knotenpunkte bei gängigen Holzfensterkonstruktionen wurde das Flügelelement als Referenz ausgewählt. Am Flügel treten alle für die Beurteilung einer Rahmenverbindung relevanten Beanspruchungsarten in Kombination auf.

Die Anforderungen an Rahmenverbindungen für Holzfenster sind in den bestehenden Regelwerken nur allgemein formuliert. Deshalb wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens ein Verfahren zur Beurteilung der mechanischen Festigkeit und Dichtheit entwickelt und neue Lösungsansätze konzipiert und untersucht.

Rahmenverbindungen für Holzfenster lassen sich prinzipiell in unlösbare und lösbare Verbindungen einteilen. Unlösbare Rahmenverbindungen werden in der Regel durch eine dauerhafte Klebung der Verbindungsmittel in den Rahmeneinzelteilen erzielt. Durch das Prinzip der Klebung wird sowohl die mechanische Festigkeit als auch die Dichtheit der Verbindung sichergestellt. Lösbare Rahmenverbindungen werden durch mechanische Verbindungsmittel erzielt. Die Untersuchungen im Forschungsprojekt haben gezeigt, dass durch lösbare Verbindungsmittel eine ausreichende mechanische Festigkeit erzielbar ist, die notwendige Dichtheit durch zusätzlich abgestimmte Dichtungssysteme sichergestellt werden muss.

Für die geprüften Rahmenverbindungssysteme wurden das maximale Gebrauchslastniveau auf Basis einer definierten Belastungssituation und unter Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlags ermittelt.

Das Ergebnis ist, dass neben den bisher verwendeten und bewährten Klebverbindungen auch mechanische Verbindungssysteme geeignet sind, um die gestellten Anforderungen zu erfüllen.

Die erzielten Lösungen und Ergebnisse bieten dem Holzfensterhersteller die Chance, neue Holzfensterkonstruktionen und Fertigungsverfahren in die Praxis umzusetzen.

11 Literaturangaben

11.1 Quellennachweise

[1] DIN 1052-2, Abschnitt 14: 1988–04
Holzbauwerke, Mechanische Verbindungsmittel
Beuth Verlag GmbH, Berlin.

[2] Forschungsbericht: „Entwicklung innovativer, umweltgerechter Konstruktionen und Produktionstechniken für Holzfenster", **ift** Rosenheim (2000)

[3] VFF Merkblatt: „Anforderungen an Beschichtungssysteme von Holzfenstern und -Haustüren, Frankfurt (1999)

11.2 Verwendete Literatur

DIN 68121–1 : 1990–06
Holzprofile für Fenster und Fenstertüren; Allgemeine Grundsätze
Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN 68150 : 1989–07
Holzdübel; Maße, Technische Lieferbedingungen
Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Zwischenbericht: Entwicklung und Untersuchung innovativer Rahmenverbindungen für Holzfenster, ift Rosenheim, 1999.

Forschungsbericht: „Verbesserung der Witterungsbeständigkeit und der Alterungsbeständigkeit von Fenstern aus einheimischen Hölzern durch die Holzschutzbehandlung nach einer Oberflächenperforation an den Lamellen", i.f.t. Rosenheim (1995)

Vortrag Fa. Schillinger, Kolloqium Holzfenster, Stimpfach Dez. 1996

Abschlußbericht Ringversuch Fenstereckprüfung, Teilnehmer: EMPA, SISH Biel, i.f.t. Rosenheim, Herausgeber Schweizerische Ingenieur- und Technikerschule für die Holzwirtschaft (SISH), (1994)

Forschungsbericht: „Untersuchung über die Eignung von Kleinzinken für Rahmenverbindungen an Holzfenstern", i.f.t. Rosenheim (1972)

Forschungsbericht: „Untersuchungen zur Rationalisierung und Verbesserung von Rahmenverbindungen an Holzfenstern und Holztüren durch Verwendung von Vergußmassen und nur teilweises Verleimen der Holzdübel", i.f.t. Rosenheim (1989)

Josef Ertl, Untersuchung der Belastungen an Fensterrahmenverbindungen, bei einer bis einschließlich Oberflächenbehandlung durchgeführten Einzelteilfertigung, Diplomarbeit, Fachhochschule Rosenheim, Fachbereich Holztechnik (1997)

ROSENHEIM

12 Anlagen

Anlage 1 Anforderungsprofil

Anlage 2 Zuordnung der Probekörpernummerierung

Anlage 3 Kraft-Verformungs-Diagramme

Anlage 4 Bildübersicht der geprüften Probekörper mit typischen Bruchbildern

Anlage 5 Diagramme Gebrauchslasten

ROSENHEIM

13 Danksagung

Wir bedanken uns für die Mitwirkung und die hervorragende Unterstützung im Forschungsvorhaben bei:

Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.
Bayerstr. 57-59
80335 München

Häfele GmbH & Co
Beschlagtechnik
Adolf-Häfele-Straße 1
72202 Nagold

Hans Brügmann GmbH & Co. Schraubenfabrik
Auf der Heide 8
21514 Büchen

SFS Stadler Befestigungs- und Umformtechnik AG
Nefenstrasse 30
CH-9435 Heerbrugg

SICO Gesellschaft für Kunststoffverarbeitung
Friedrich-Ebert-Straße 85-87
58454 Witten

Saint-Gobain Performance Plastics Sipro GmbH
Zabener Str. 25
65203 Wiesbaden

ROSENHEIM

Der Aufbau der Anforderungsliste orientiert sich an der VDI-Richtlinie 2222 Blatt 1, Konzipieren technischer Produkte. Die Anforderungsliste dient als Grundlage für die spätere Bewertung von Lösungsansätzen und zur Erleichterung von Entscheidungen. Eine Unterteilung in Prioritätsklassen ermöglicht die Konzentration auf wesentliche Punkte. Forderungen und Wünsche werden nach Möglichkeit, eventuell zusätzlich durch beschreibende Angaben und Toleranzen, quantifiziert.

Die Zusammenstellung der Anforderungsliste beruht auf Basis des Förderantrages und der projektbegleitenden Arbeitsgruppensitzungen.

Nr.	Kriterium	Beschreibung	Priorität	Quantifizierung
1.	**Phase**			
1.1	Festigkeit und mechanische Eigenschaften	Lasten aus Eigengewicht, Wind, Verkehrslast und Nutzung müssen aufgenommen werden	**A**	angepasster Prüfplan
1.2	Dichtheit	Verbindung muss dauerhaft dicht gegen Feuchte und Luft sein (DIN 68121 T2) und es darf keine Feuchtigkeit über Fugen ins Holz eindringen	**A**	Klimawechsellagerung nach angepasstem Prüfplan
1.3	Verformung	die Rahmenverformung muss je nach System begrenzt sein	B	angepasster Prüfplan
2.	**Phase**			
2.1	Vielseitigkeit	Anwendungen für Flügel, Blendrahmen, Pfosten, Riegel, Sprossen...	**A**	
2.2	Wärmebrücken	keine wesentlichen Wärmebrücken durch die Rahmenverbindung	B	3D-Isothermenberechnung
2.3	Wärmeschutz	Eignung der Rahmenverbindung für wärmegedämmte Verbundprofile	D	
2.4	Gebrauchsdauer	mindestens Lebensdauer des Fensters; Werkstoffe, Alterungsverhalten	**A**	>= 30 Jahre
2.5	Ökologie	keine umweltbedenklichen Werkstoffe, im wesentlichen Holz, Holzwerkstoffe	D	
2.6	Beschichtung	Beschichtung vor Rahmenfertigung im Hinblick auf Einzelteilfertigung, falls erforderlich	B	

Nr.	Kriterium	Beschreibung	Priorität	Quantifizierung
2.7	Herstellungsdauer	keine Wartezeiten im Fertigungsprozess durch Fertigung der Verbindung	B	
2.8	Lösbarkeit	Lösen der Rahmenverbindung zum Austausch von Einzelteilen	D	
2.9	Rahmenmontage	keine wesentlichen Wartezeiten durch die Rahmenmontage vor der Weiterbearbeitung	A	
2.10	Materialkosten	Materialkosten dürfen nicht zur Verteuerung der Herstellkosten führen	B	
2.11	Beschlag	keine Einschränkung in der Verwendung von gängigen Beschlagsystemen	A	
2.12	Fertigungstechnik	Fertigung mit in der Holzverarbeitung gängigen Maschinen u. Anlagen	A	
2.13	Vorkenntnisse / Erfahrungen	möglichst Vorkenntnisse und Langzeiterfahrungen über das verwendete System	C	
2.14	Gestaltungsvielfalt	Grundsätzlich soll der Vorteil von Holzprofilen, die freie Gestaltbarkeit gewahrt werden; keine Einschränkung auf ein Einheitsprofil	B	

Erklärungen zur Priorität:

A = Festforderung	muss unbedingt erfüllt werden, ansonsten Ausschluss der Lösung
B = Mindestforderung	kann im Sinne einer Verbesserung über- bzw. unterschritten werden
C = Wunsch	sollte ohne Mehraufwand berücksichtigt werden, bei Nichterfüllung kein Ausschluss der Lösung
D = Zusatz	muss möglich sein, wenn Mehraufwand gedeckt

ift ROSENHEIM

1 Unlösbare Rahmenverbindungen

System	Bezeichnung	Proben Nr.	Belastungsart
1.1	drei Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut	2.1-2.5	Zug
		2.6-2.10	Scher
1.2	fünf Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut	2.11-2.15	Zug
		2.16-2.20	Scher
1.3	drei Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut	2.21-2.23	Zug
		2.24-2.26	Scher
1.4	drei Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut	2.27-2.29	Zug
		2.30-2.32, 2.36-2.38	Scher
1.5	fünf Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut	2.33-2.35	Zug
		keine	Scher
1.6	fünf Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut	2.39-2.41	Zug
		2.42-2.44	Scher
1.7	Schlitz-Zapfen	3.37-3.39	Zug
		3.40-3.42	Scher
1.8	Nutzapfen	3.43-3.45	Zug
		3.46-3.48	Scher
1.9	Nutzapfen mit zwei Dübel	3.49-3.51	Zug
		3.52-3.54	Scher
1.10	Keilzinken	3.55-3.57	Zug
		3.58-3.60	Scher
1.11	zwei Fremdfedern	3.61-3.63	Zug
		3.64-3.66	Scher
1.12	fünf Dübel - wärmegedämmtes Profil	3.67-3.69	Zug
		3.70-3.72	Scher

2 Lösbare Rahmenverbindungen

System	Bezeichnung	Proben Nr.	Belastungsart
2.1	Spanplattenschraube	1.4-1.6	Zug
		1.1-1.3	Scher
2.2	zwei Gewindemuffen	1.10-1.12	Zug
		1.7-1.9	Scher
2.3	Flachstahlplatte	3.1-3.3	Zug
		3.4-3.6	Scher
2.4	Stahlblechplatte	3.7-3.9	Zug
		3.10-3.12	Scher
2.5	Exzenterverbinder	3.13-3.15	Zug
		3.16-3.18	Scher
2.6	Universalverbinder	3.19-3.21	Zug
		3.22-3.24	Scher
2.7	vier Gewindemuffen	3.25-3.27.	Zug
		3.28-3.30	Scher
2.8	Eckumlenkung Dreh-Kippbeschlag	3.31-3.33	Zug
		3.34-3.36	Scher

ROSENHEIM

1 Unlösbare Rahmenverbindungen

System 1.1, drei Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut

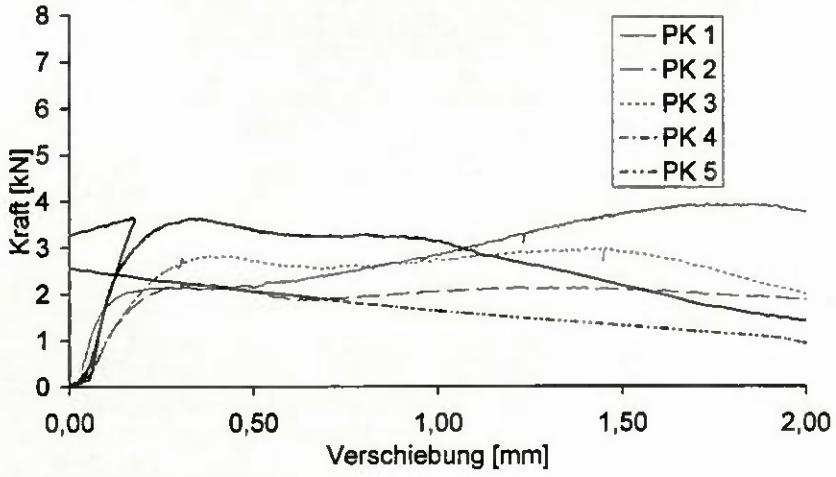


Bild 1 System 1.1, Zugbelastung

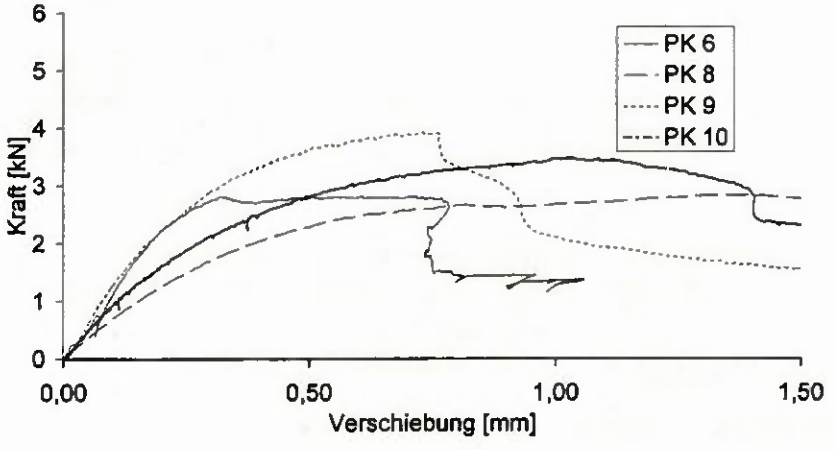


Bild 2 System 1.1, Scherbelastung

System 1.2, fünf Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut

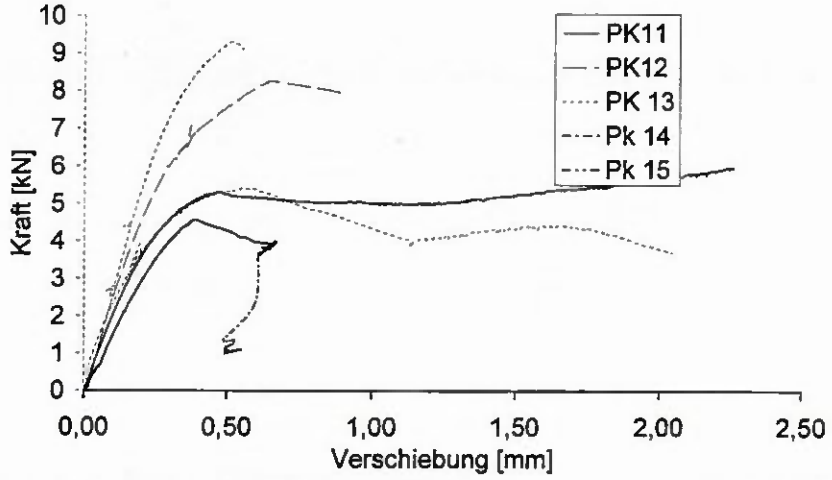


Bild 3 System 1.2, Zugbelastung

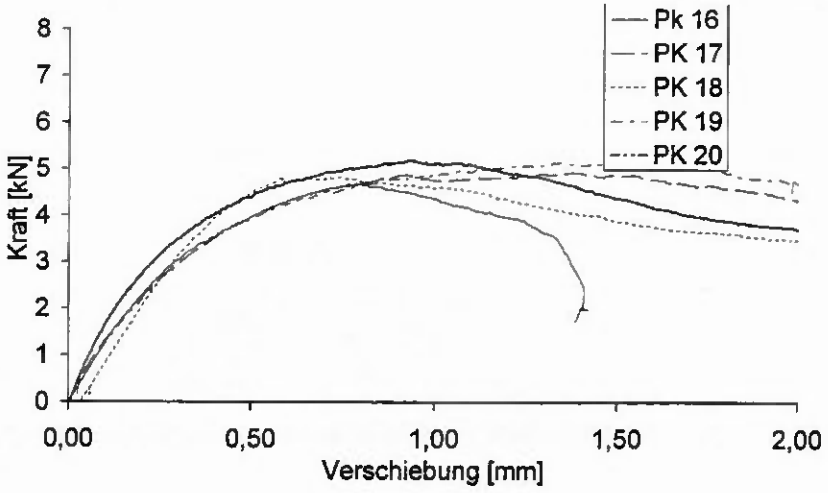


Bild 4 System 1.2, Scherbelastung

ROSENHEIM

System 1.3, drei Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut

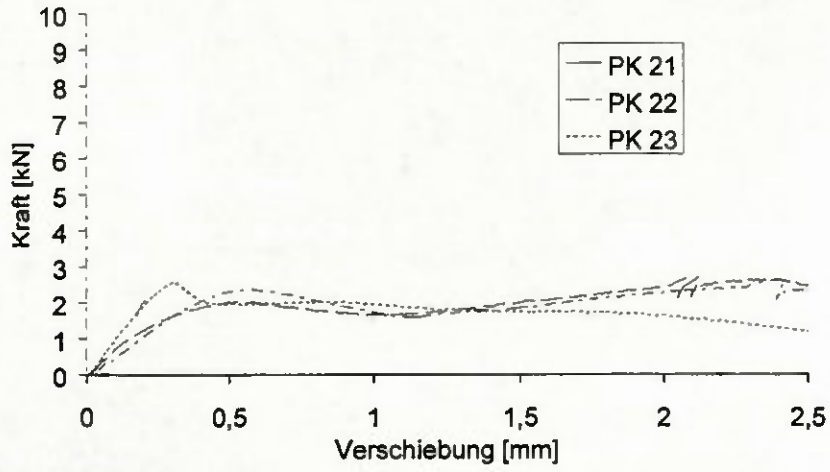


Bild 5 System 1.3, Zugbelastung

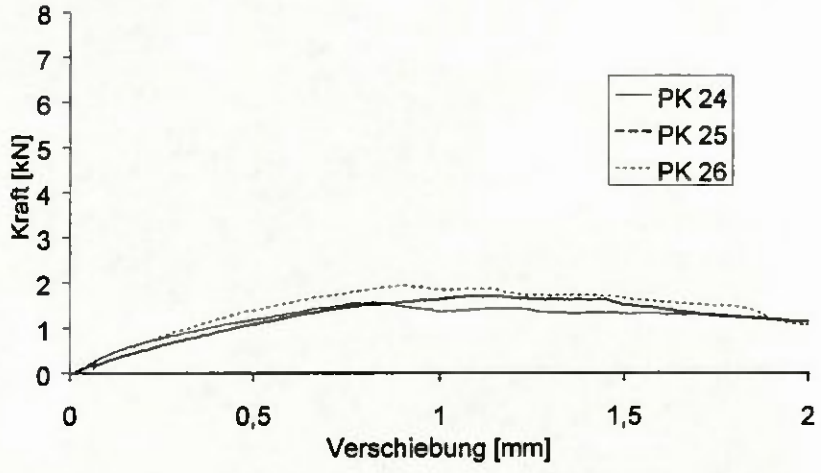


Bild 6 System 1.3, Scherbelastung

System 1.4, drei Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut

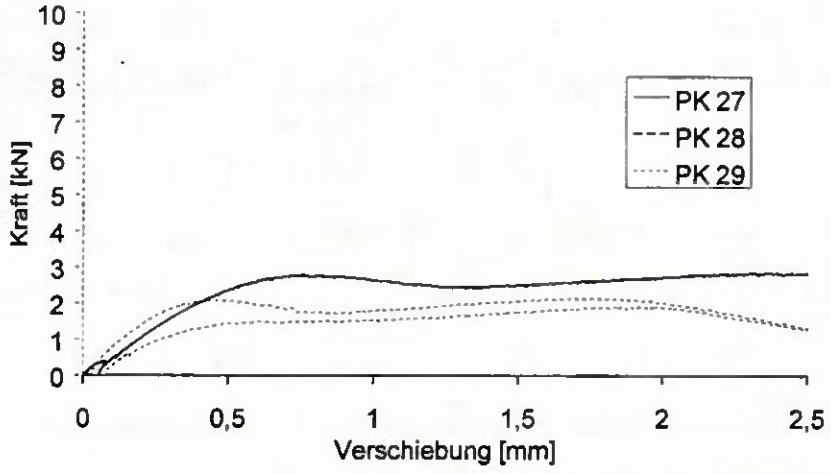


Bild 7 System 1.4, Zugbelastung

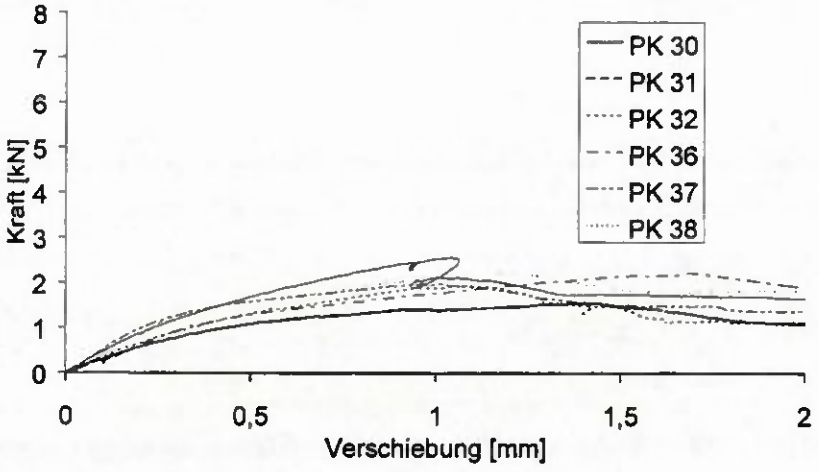


Bild 8 System 1.4, Scherbelastung

ift ROSENHEIM

System 1.5, fünf Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut

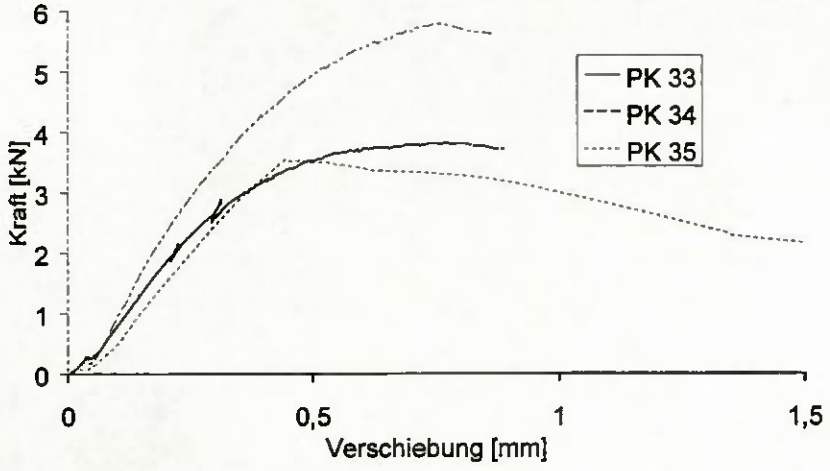


Bild 9 System 1.5, Zugbelastung

System 1.6, fünf Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut

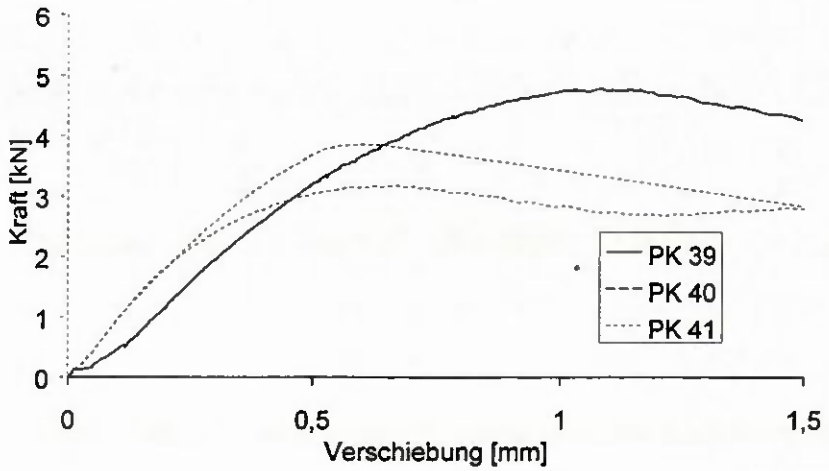


Bild 10 System 1.6, Zugbelastung

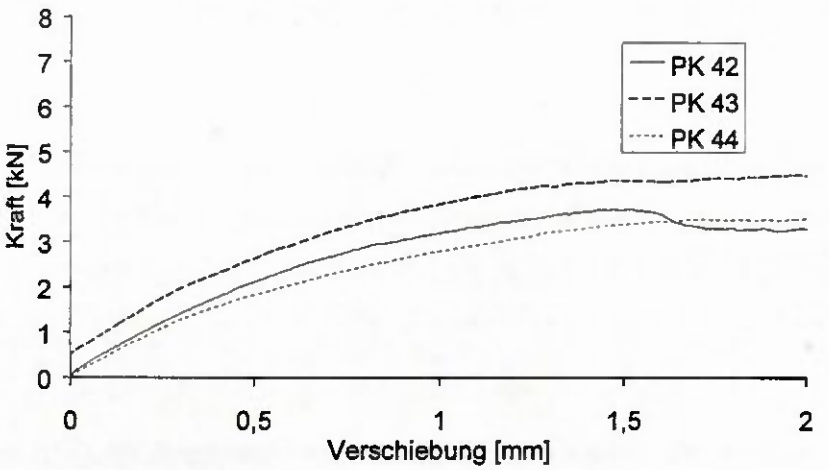


Bild 11 System 1.6, Scherbelastung

ROSENHEIM

System 1.7, Schlitz-Zapfen

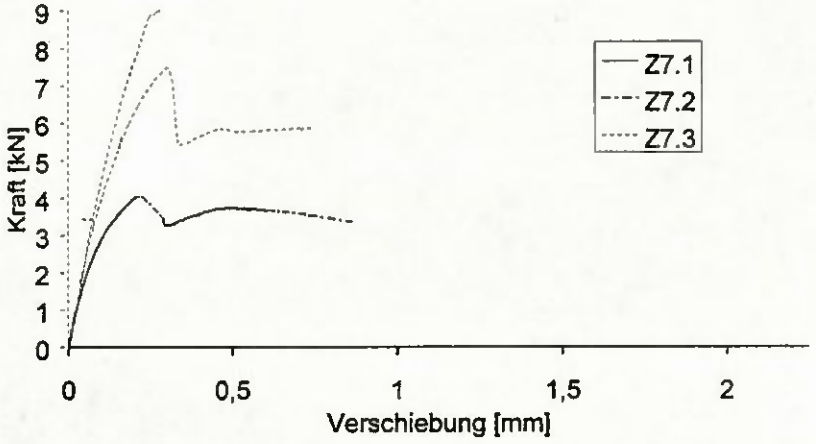


Bild 12 System 1.7, Zugbelastung

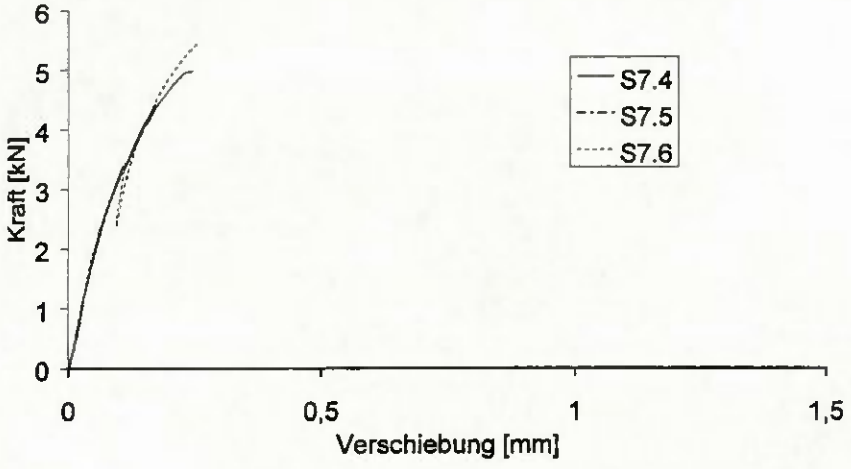


Bild 13 System 1.7, Scherbelastung

System 1.8, Nutzapfen

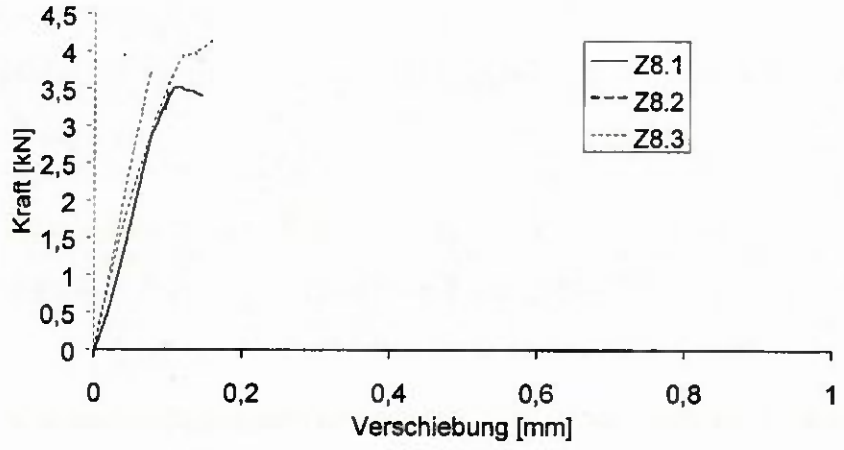


Bild 14 System 1.8, Zugbelastung

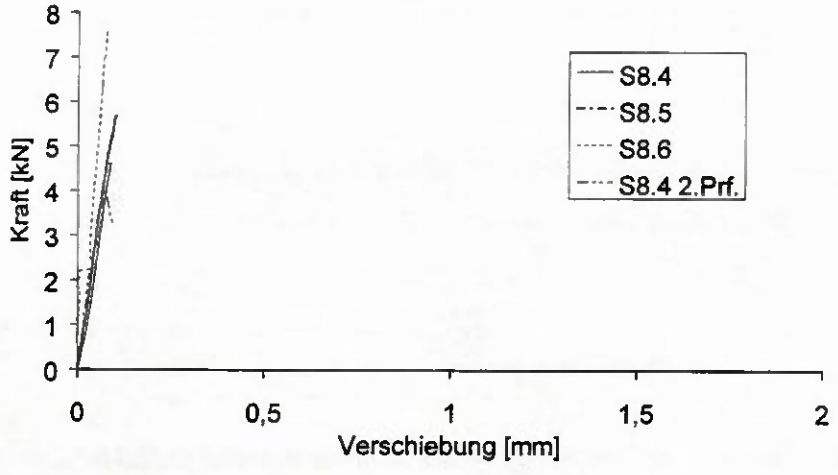


Bild 15 System 1.8, Scherbelastung

ROSENHEIM

System 1.9, Nutzapfen mit zwei Dübel

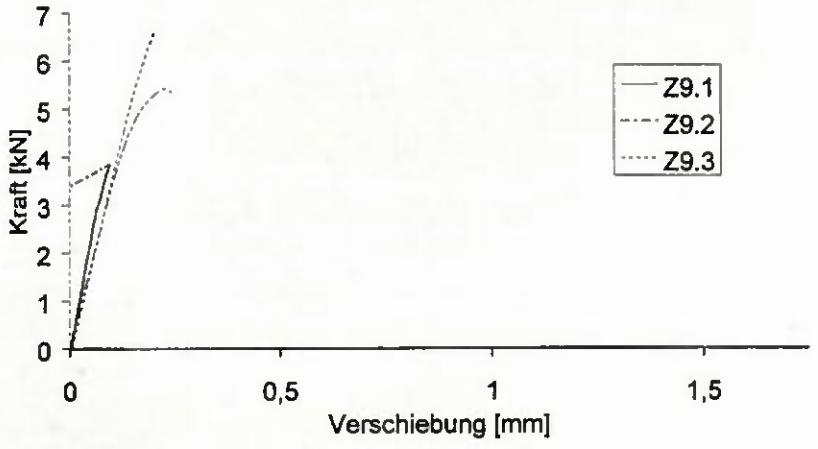


Bild 16 System 1.9, Zugbelastung

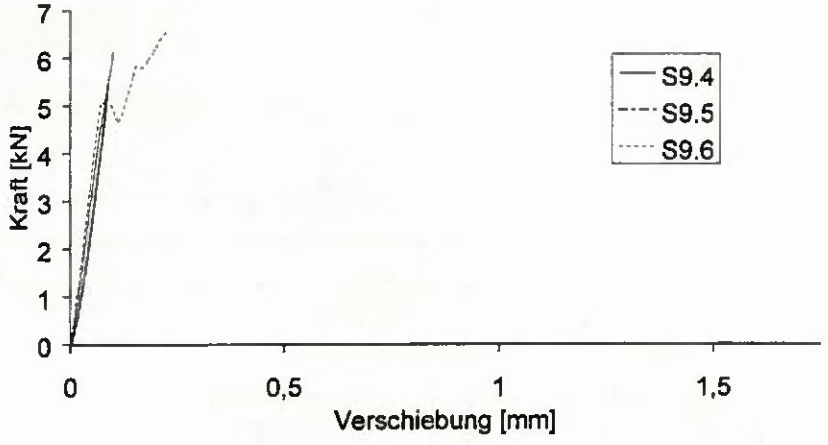


Bild 17 System 1.9, Scherbelastung

System 1.10, Keilzinken

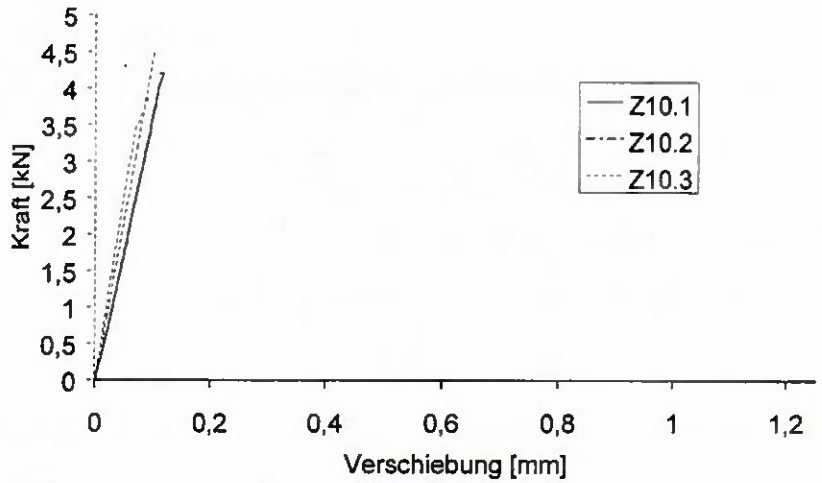


Bild 18 System 1.10, Zugbelastung

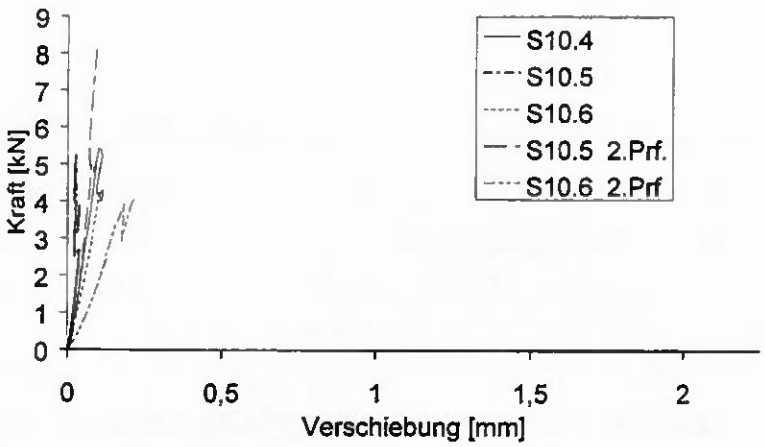


Bild 19 System 1.10, Scherbelastung

ift ROSENHEIM

System 1.11, zwei Fremdfedern

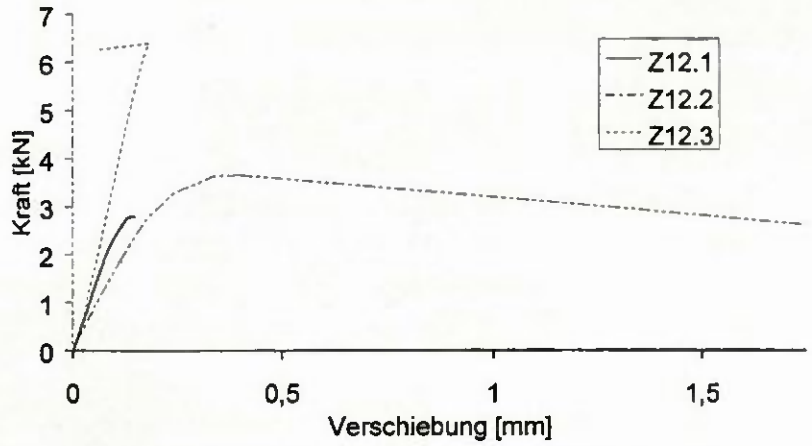


Bild 20 System 1.11, Zugbelastung

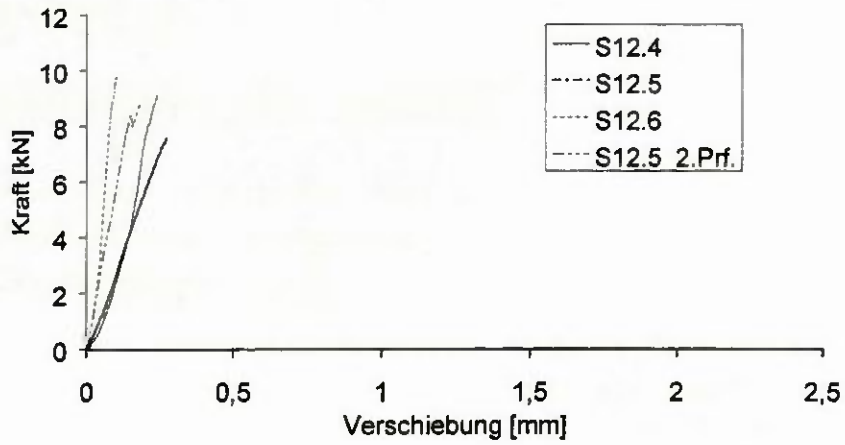


Bild 21 System 1.11, Scherbelastung

System 1.12, fünf Dübel - wärmegedämmtes Profil

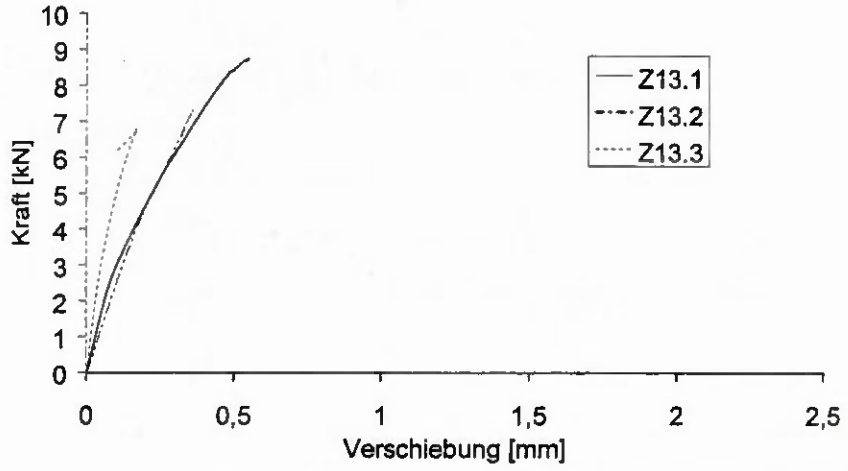


Bild 22 System 1.12, Zugbelastung

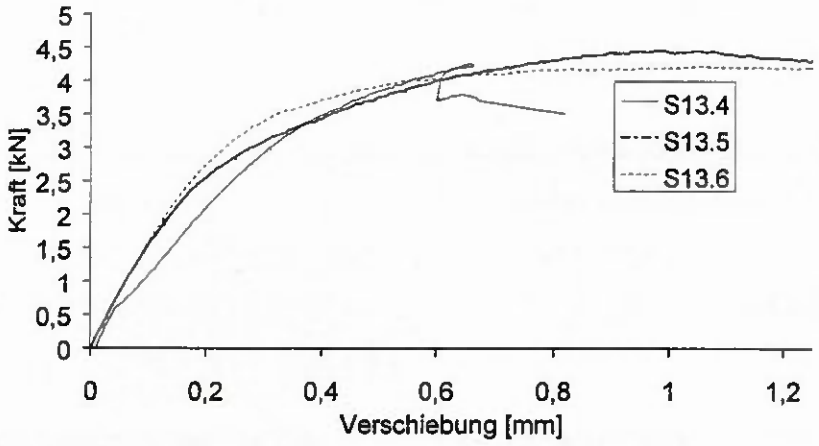


Bild 23 System 1.12, Scherbelastung

ift ROSENHEIM

2 Lösbare Rahmenverbindungen

System 2.1, Spanplattenschraube

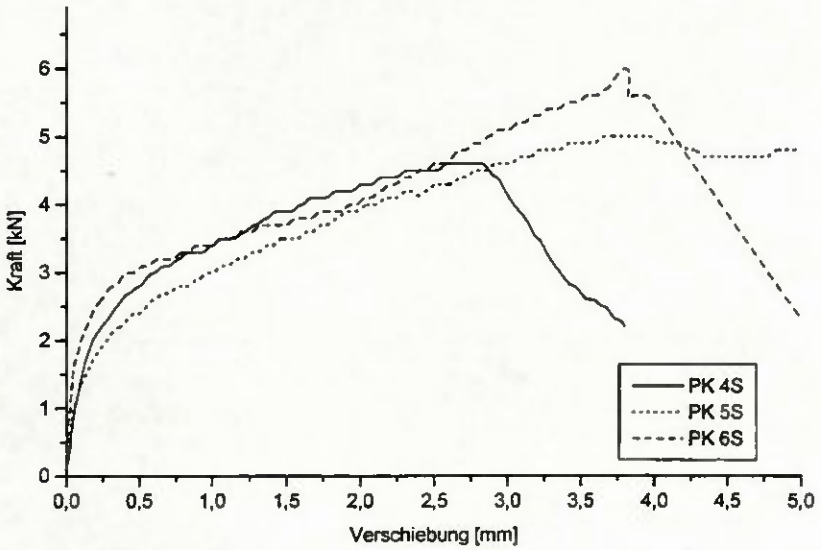


Bild 24 System 2.1, Zugbelastung

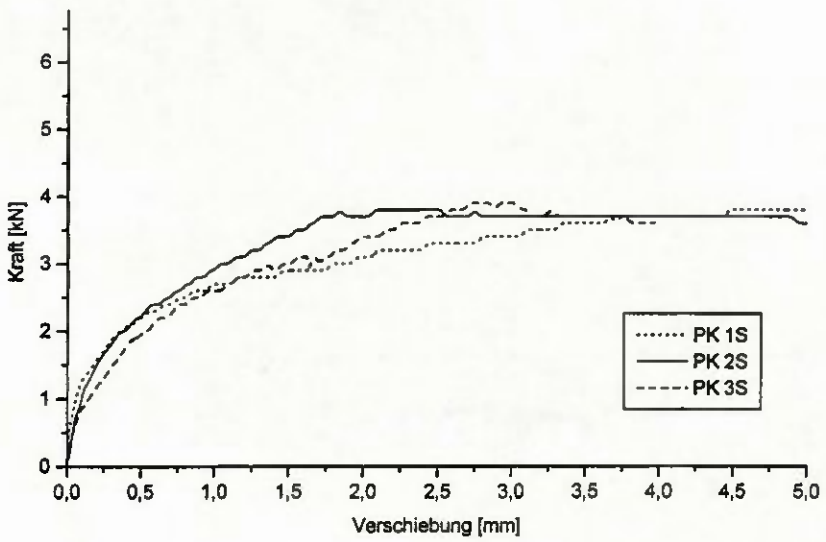


Bild 25 System 2.1, Scherbelastung

System 2.2, zwei Gewindemuffen

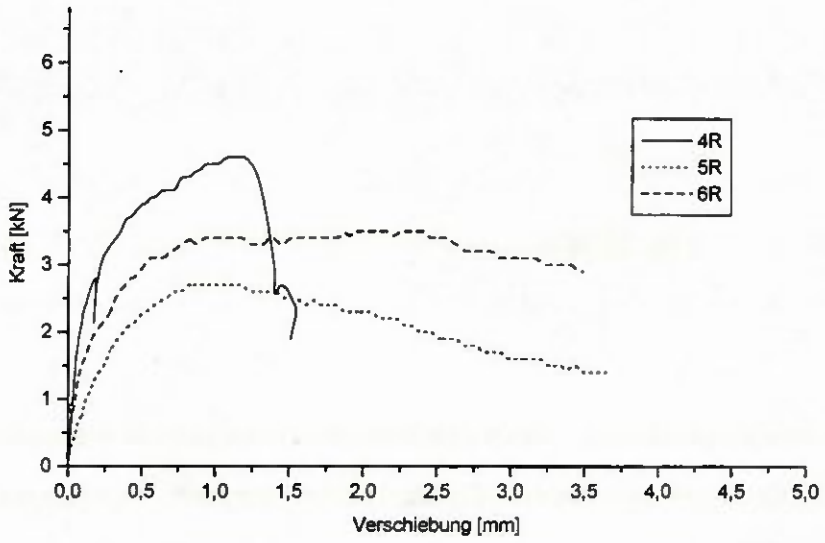


Bild 26 System 2.2, Zugbelastung

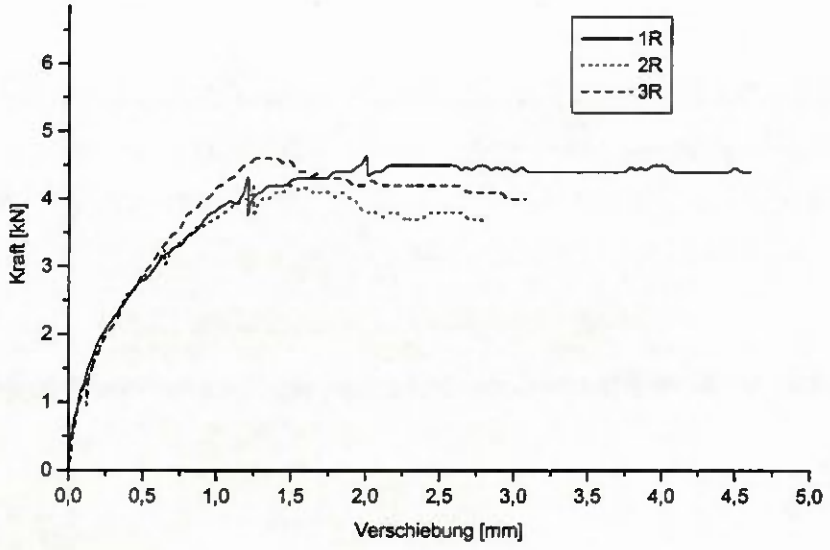


Bild 27 System 2.2, Scherbelastung

ROSENHEIM

System 2.3, Flachstahlplatte

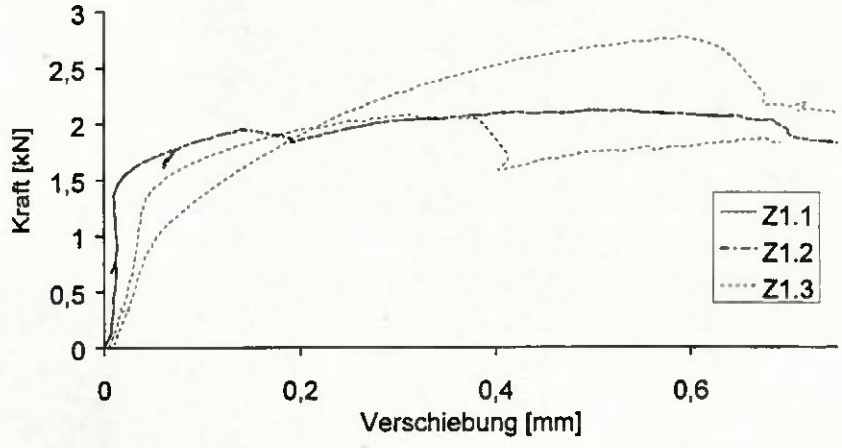


Bild 28 System 2.3, Zugbelastung

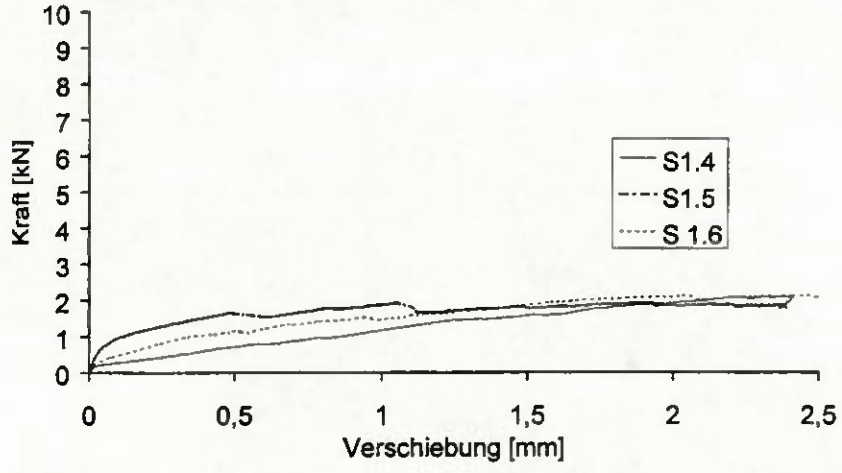


Bild 29 System 2.3, Scherbelastung

System 2.4, Stahlblechplatte

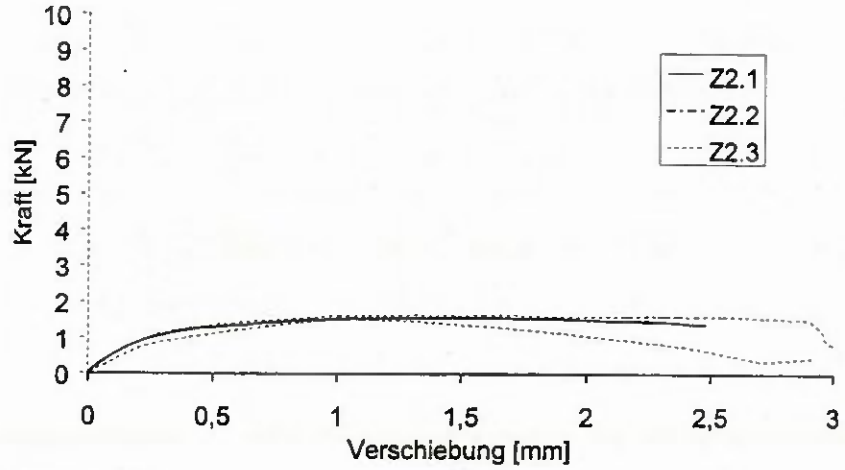


Bild 30 System 2.4, Zugbelastung

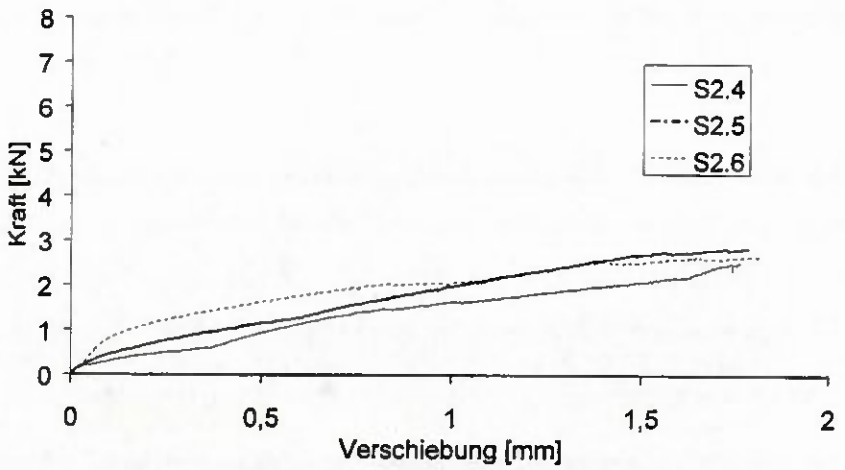


Bild 31 System 2.4, Scherbelastung

ROSENHEIM

System 2.5, Exzenterverbinder

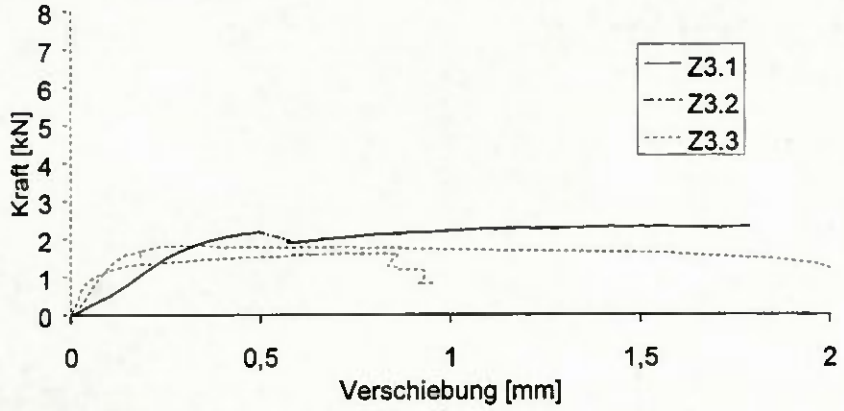


Bild 32 System 2.5, Zugbelastung

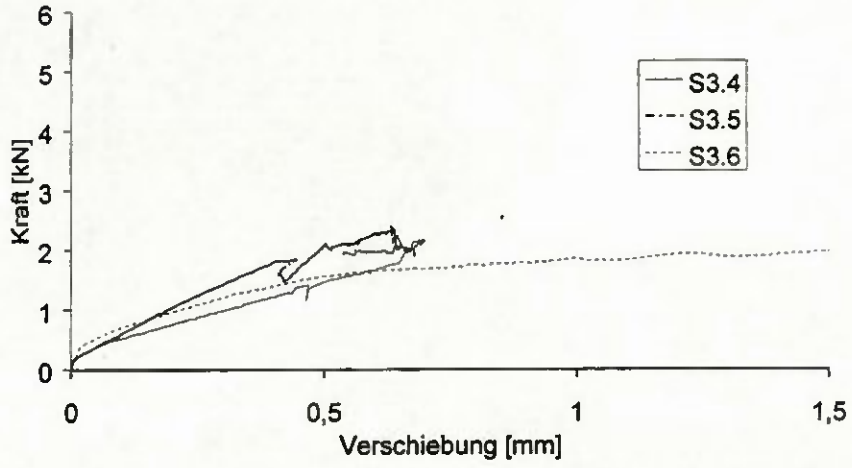


Bild 33 System 2.5, Scherbelastung

System 2.6, Universalverbinder

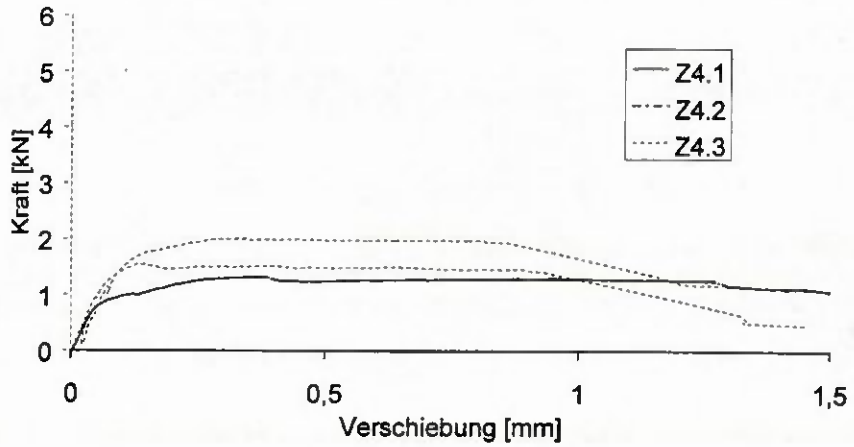


Bild 34 System 2.6, Zugbelastung

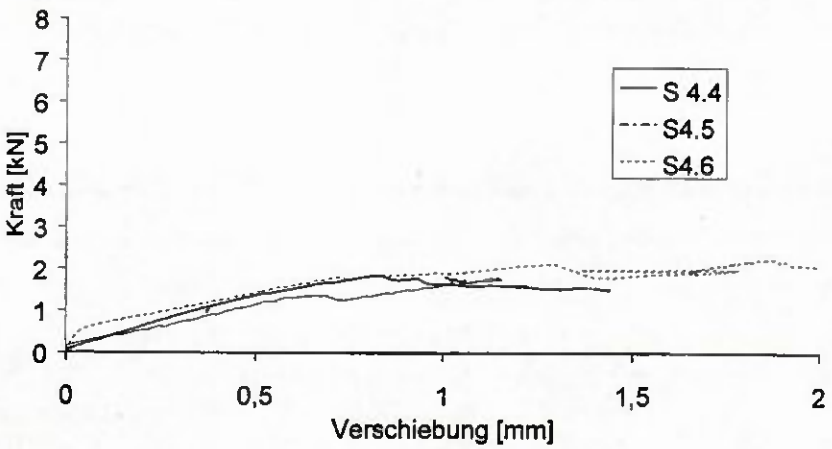


Bild 35 System 2.6, Scherbelastung

ROSENHEIM

System 2.7, vier Gewindemuffen

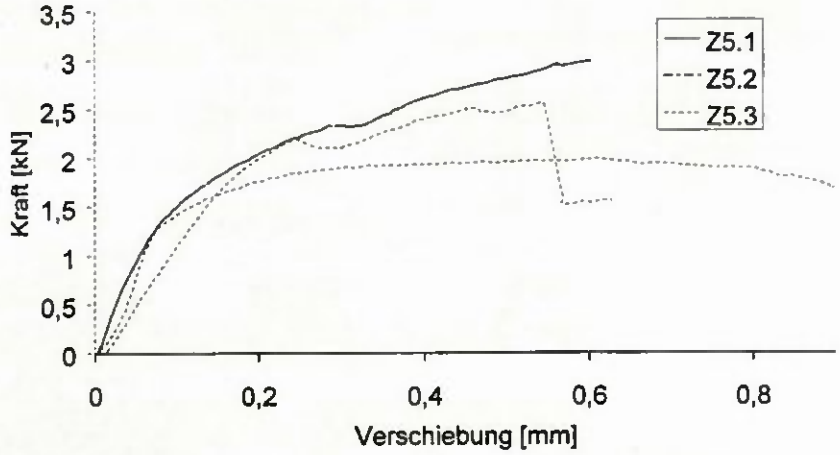


Bild 36 System 2.7, Zugbelastung

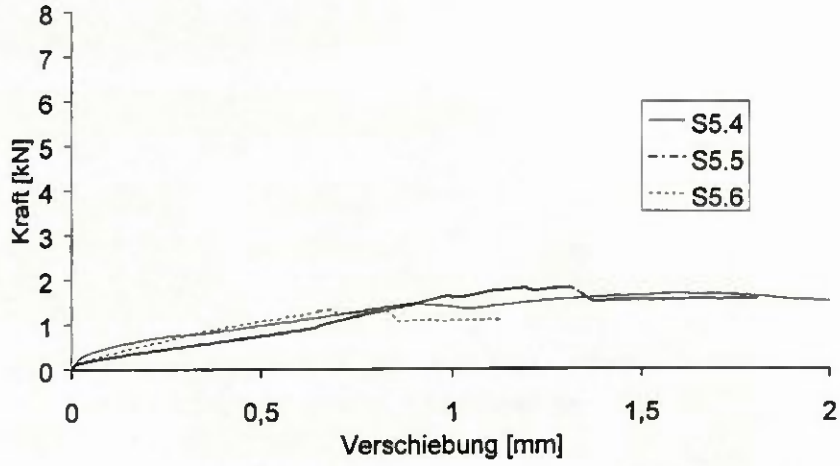


Bild 37 System 2.7, Scherbelastung

System 2.8, Eckumlenkung Dreh-Kippbeschlag

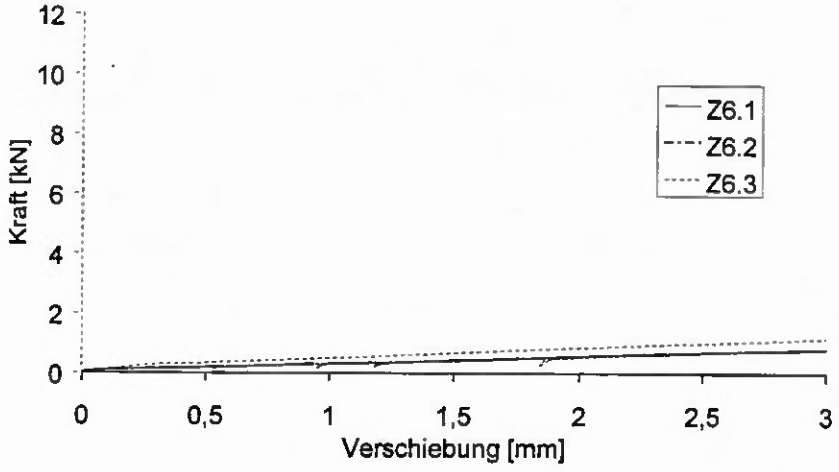


Bild 38 System 2.8, Zugbelastung

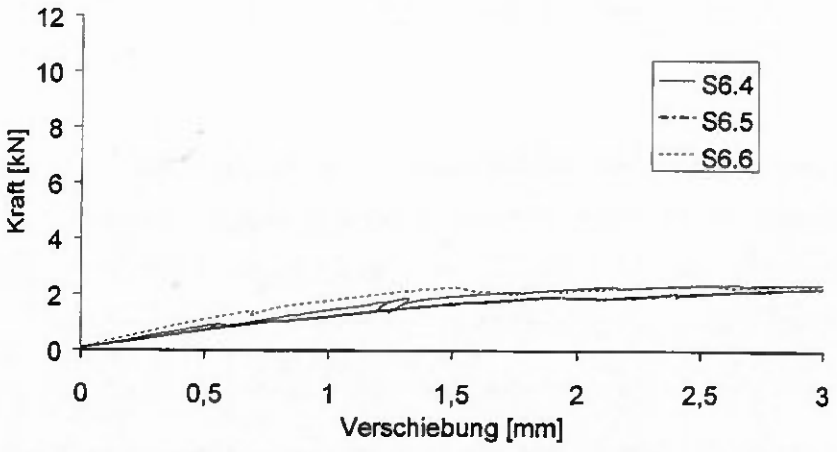


Bild 39 System 2.8, Scherbelastung

ROSENHEIM

1 Unlösbare Rahmenverbindungen

System 1.1, drei Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut

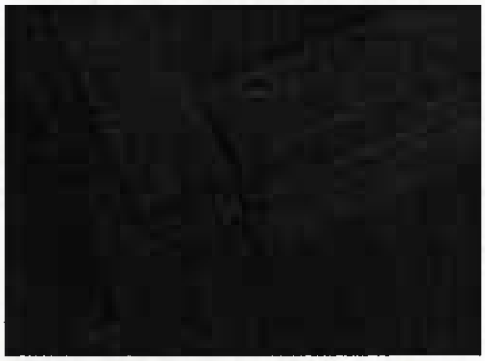


Bild 1 System 1.1 Zugversuch

Bild 2 System 1.1 Scherversuch

System 1.2, fünf Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut

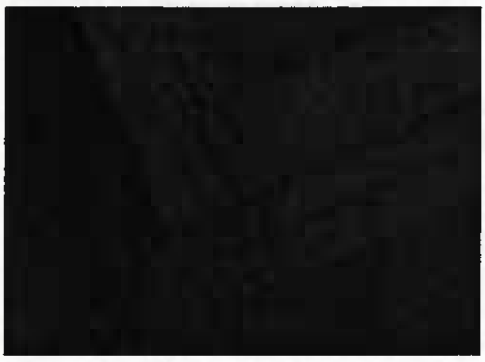


Bild 3 System 1.2 Zugversuch

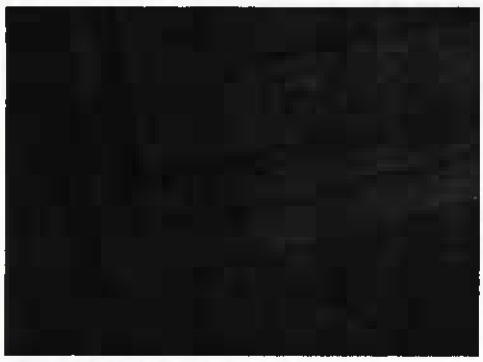


Bild 4 System 1.2 Scherversuch

System 1.3, drei Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut

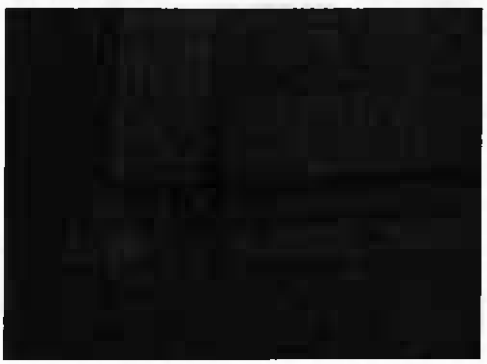


Bild 5 System 1.3 Zugversuch

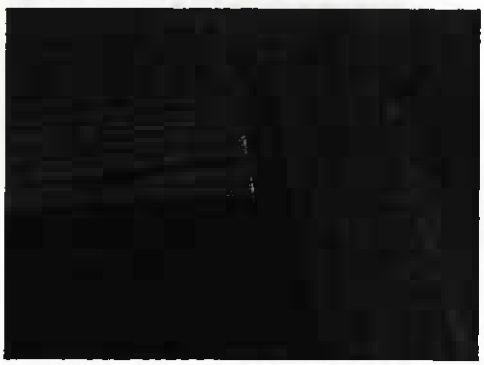


Bild 6 System 1.3 Scherversuch

System 1.4, drei Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut

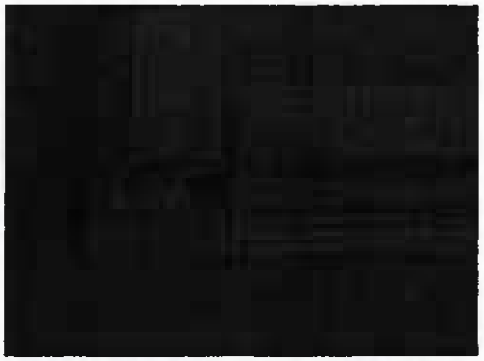


Bild 7 System 1.4 Zugversuch

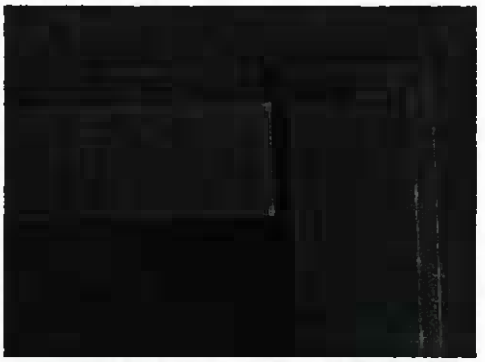


Bild 8 System1.4 Scherversuch

System 1.5, fünf Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut

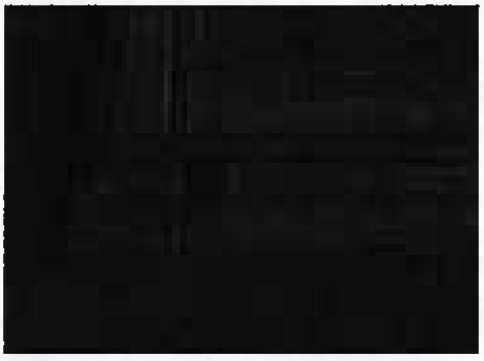


Bild 9 System 1.5 Zugversuch

System 1.6, fünf Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut

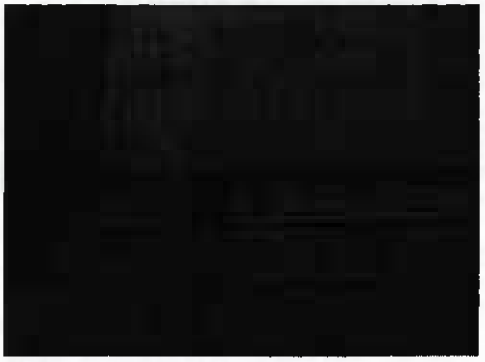


Bild 10 System 1.6 Zugversuch

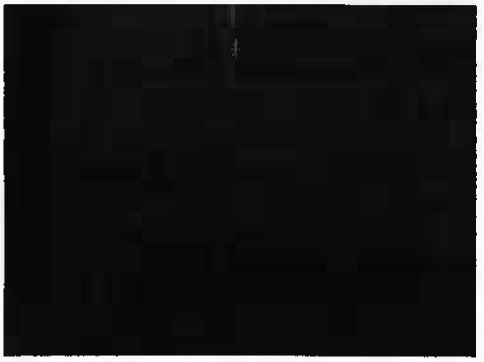


Bild 11 System 1.6 Scherversuch

ift ROSENHEIM

System 1.7, Schlitz-Zapfen

Bild 12 System 1.7 Zugversuch

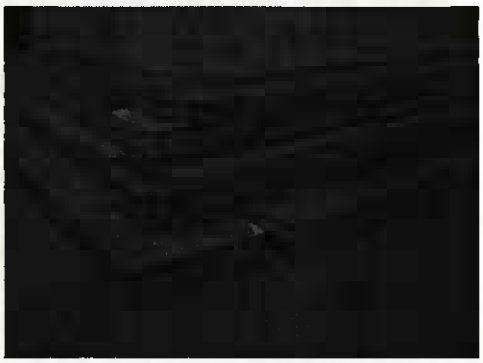


Bild 13 System 1.7 Scherversuch

System 1.8, Nutzapfen

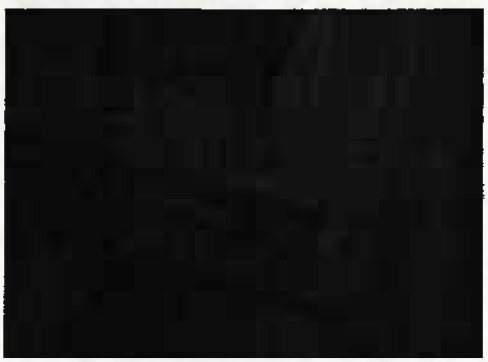


Bild 14 System 1.8 Zugversuch

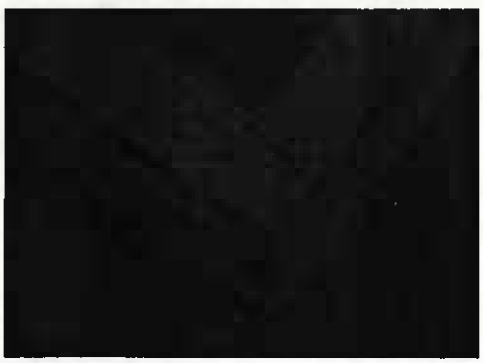


Bild 15 System 1.8 Scherversuch

System 1.9, Nutzapfen mit zwei Dübeln

Bild 16 System 1.9 Zugversuch

Bild 17 System 1.9 Scherversuch

System 1.10, Keilzinken

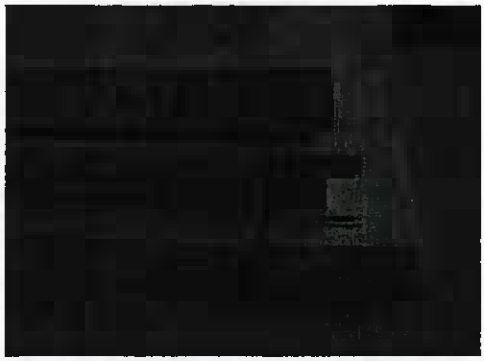


Bild 18 System 1.10 Zugversuch

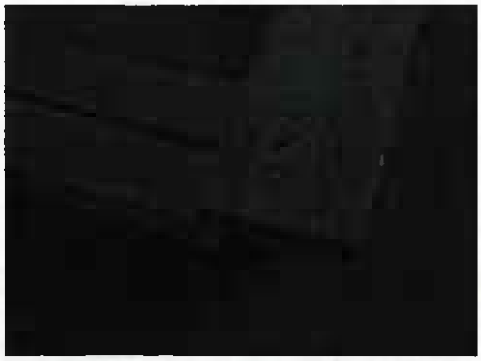


Bild 19 System 1.10 Scherversuch

System 1.11, zwei Fremdfedern

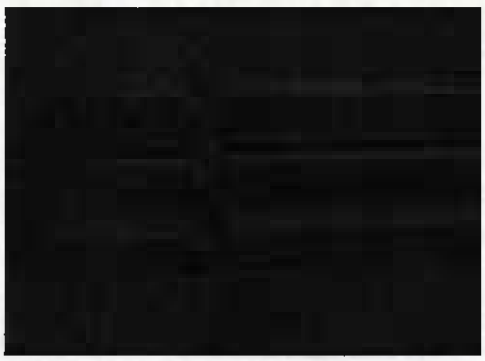


Bild 20 System 1.11 Zugversuch

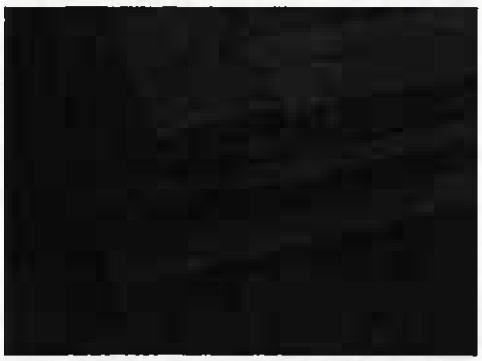


Bild 21 System 1.11 Scherversuch

System 1.12, fünf Dübel - wärmegedämmtes Profil

Bild 22 System 1.12 Zugversuch

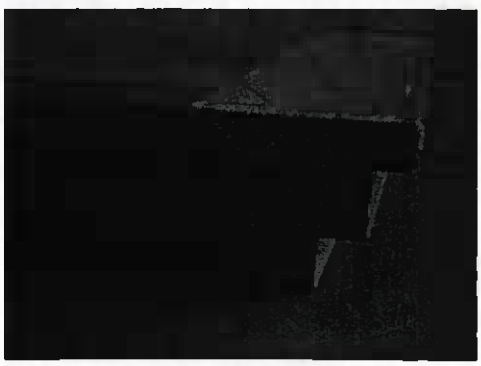


Bild 23 System 1.12 Scherversuch

ift ROSENHEIM

2 Lösbare Rahmenverbindungen

System 2.1, Spanplattenschraube

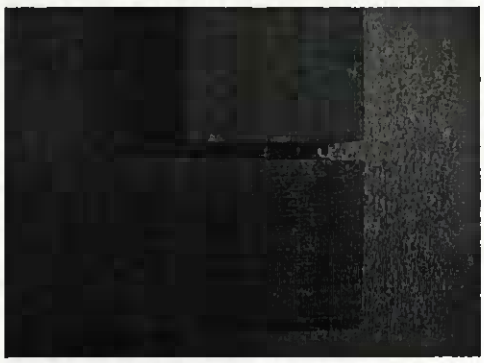


Bild 24 System 2.1 Zugversuch

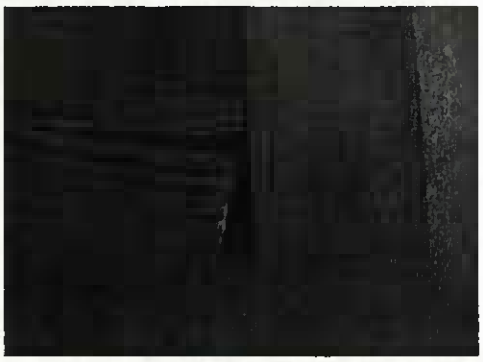


Bild 25 System 2.1 Scherversuch

System 2.2, zwei Gewindemuffen

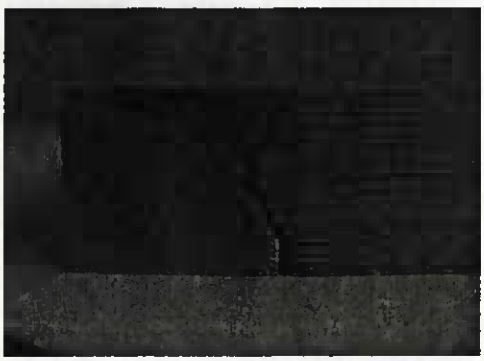


Bild 26 System 2.2 Zugversuch

Bild 27 System 2.2 Scherversuch

System 2.3, Flachstahlplatte

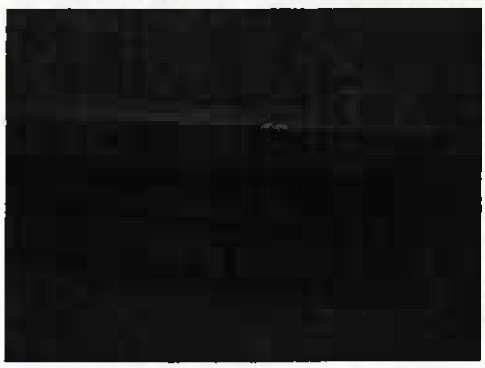


Bild 28 System 2.3 Zugversuch

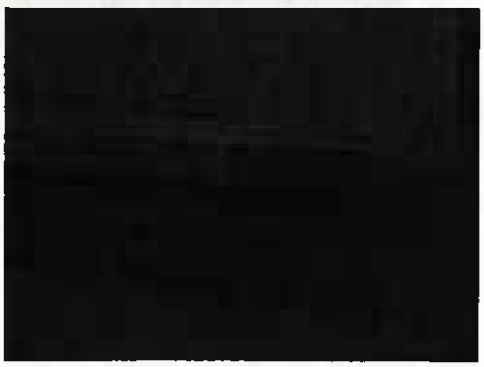


Bild 29 System 2.3 Scherversuch

System 2.4, Stahlblechplatte

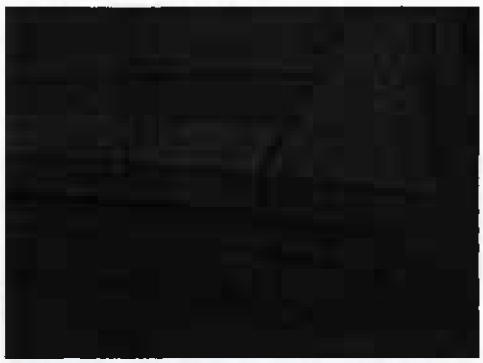


Bild 30 System 2.4 Zugversuch

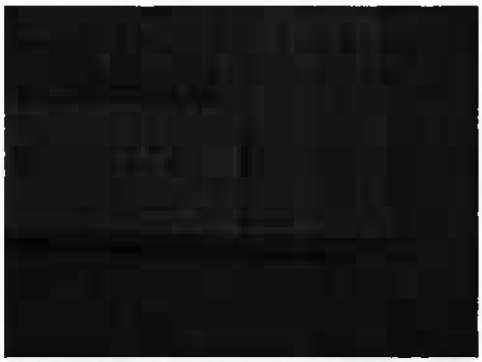


Bild 31 System 2.4 Scherversuch

System 2.5, Exzenterverbinder

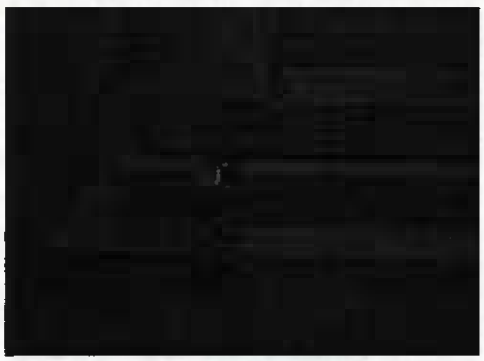


Bild 32 System 2.5 Zugversuch

Bild 33 System 2.5 Scherversuch

System 2.6, Universalverbinder

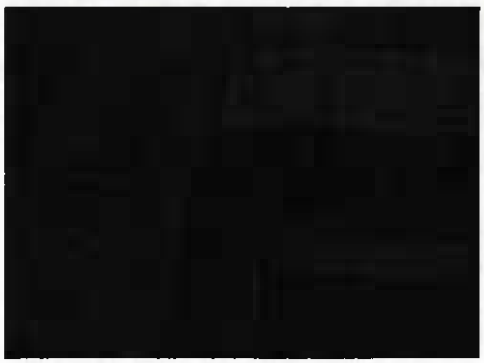


Bild 34 System 2.6 Zugversuch

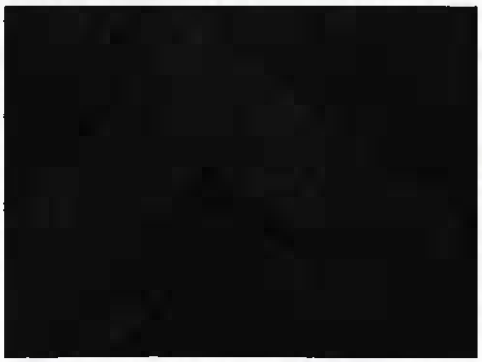


Bild 35 System 2.6 Scherversuch

ROSENHEIM

System 2.7, vier Gewindemuffen

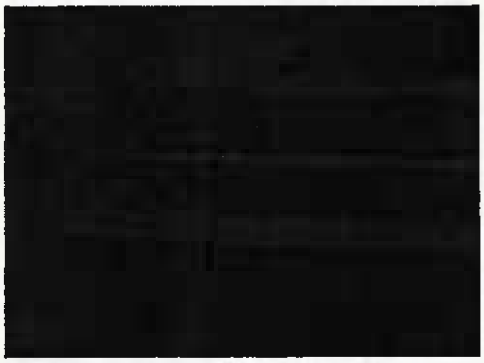


Bild 36 System 2.7 Zugversuch

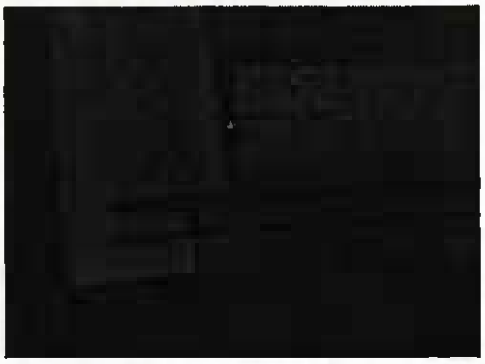


Bild 37 System 2.7 Scherversuch

System 2.8, Eckumlenkung Dreh-Kippbeschlag

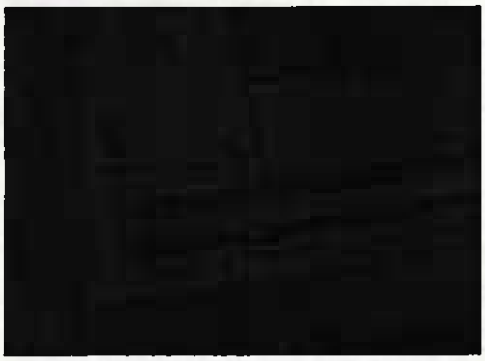
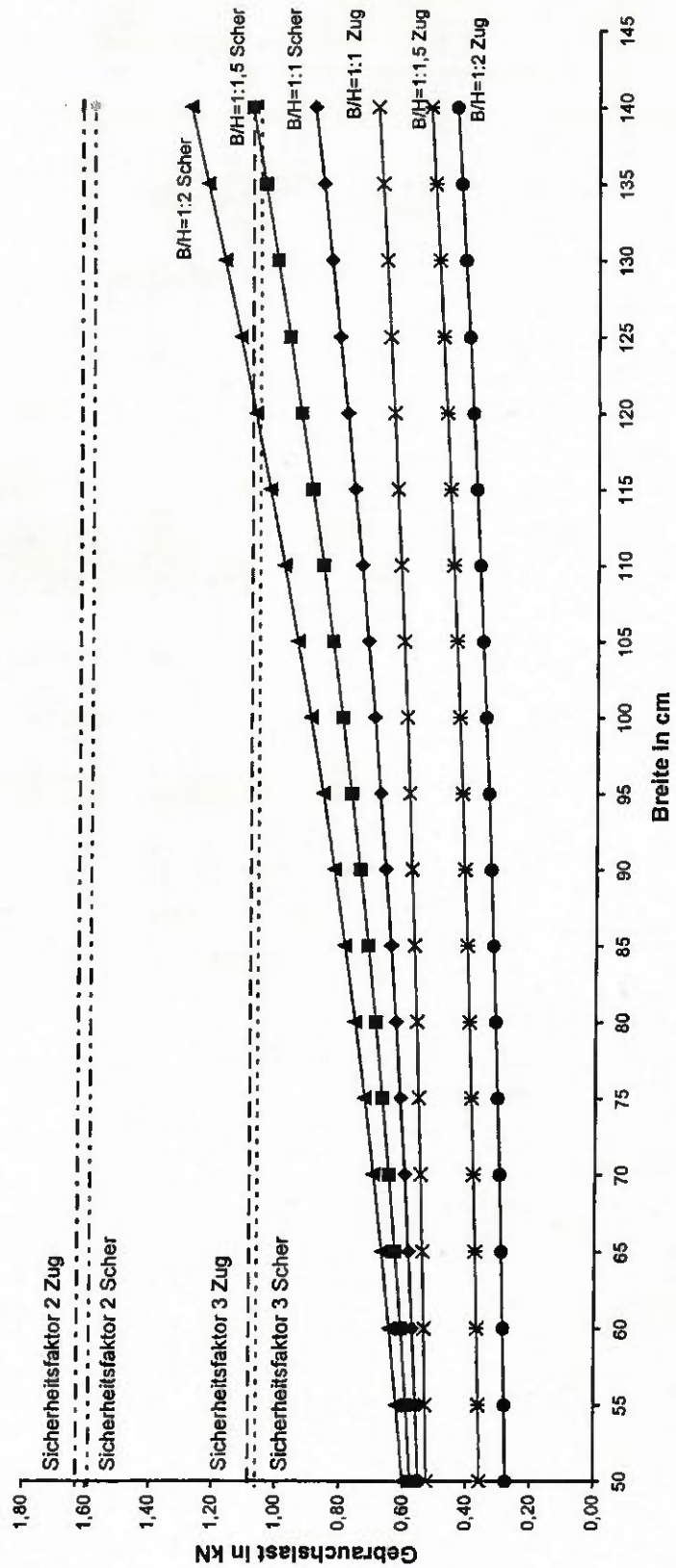


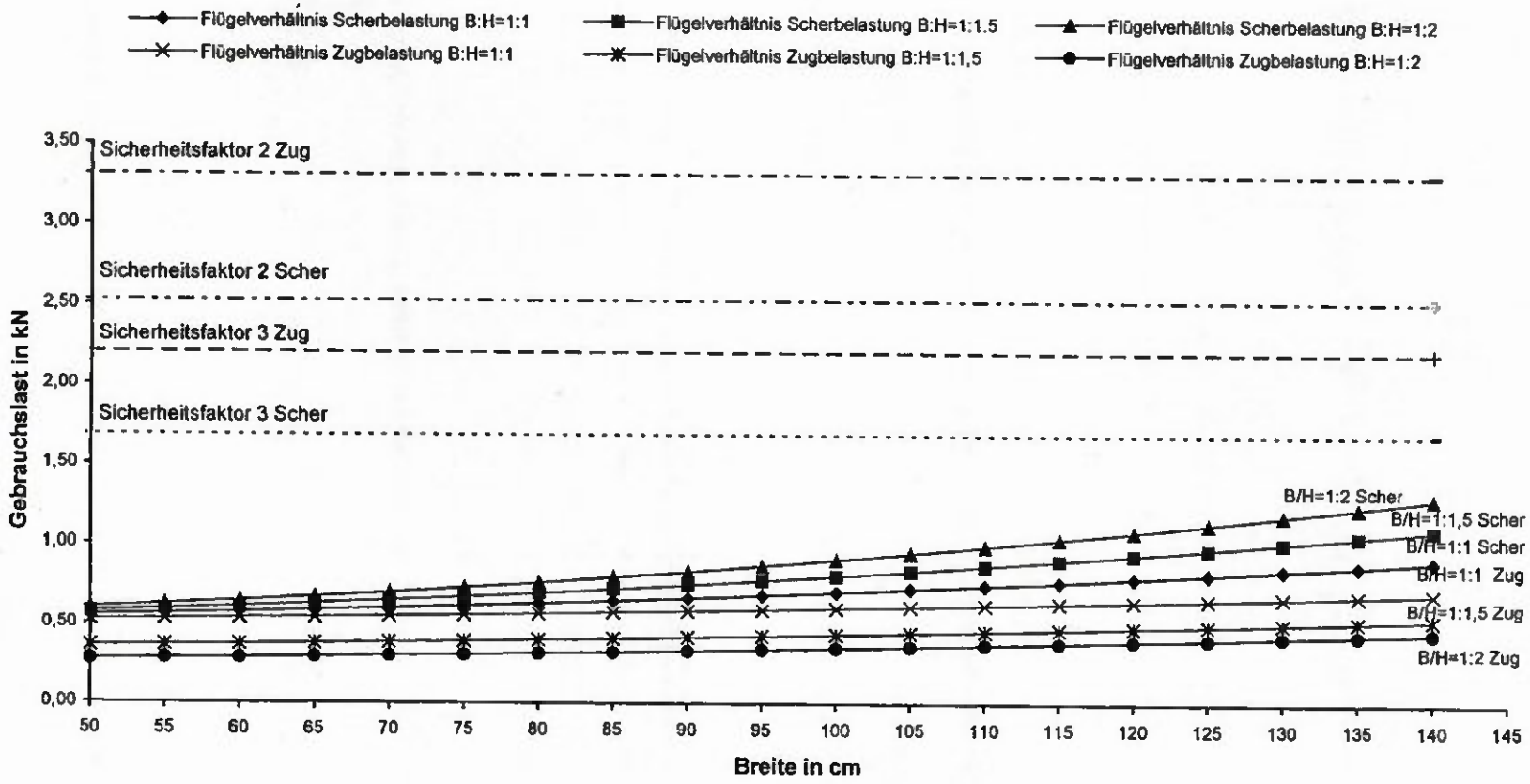
Bild 38 System 2.8 Zugversuch

ROSENHEIM

System 1.1, drei Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut



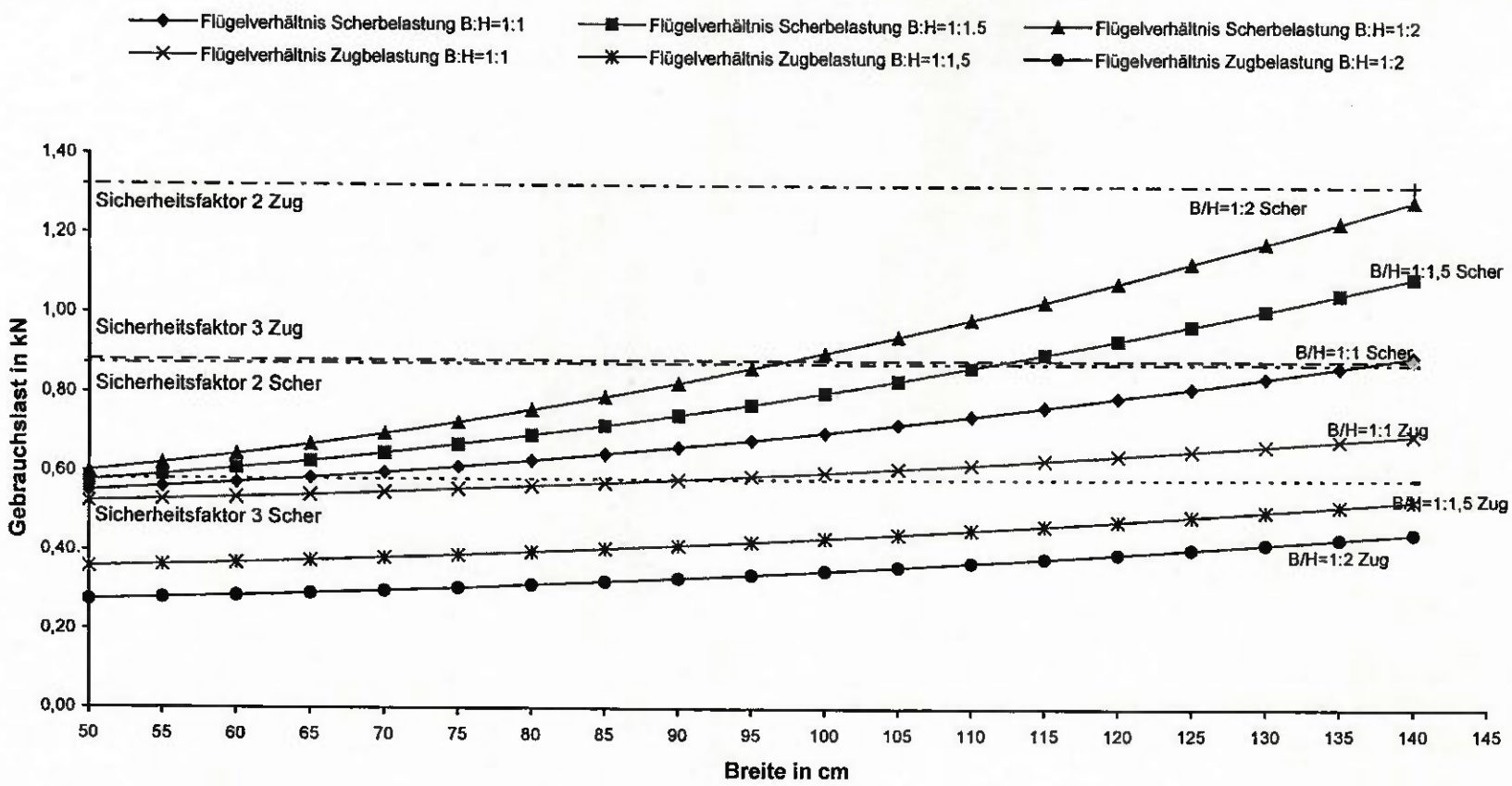
System 1.2, fünf Dübel – Randabstand 6 mm – ohne Glasnut



ROSENHEIM

Innovative Rahmenverbindungen
Diagramme Gebrauchslasten

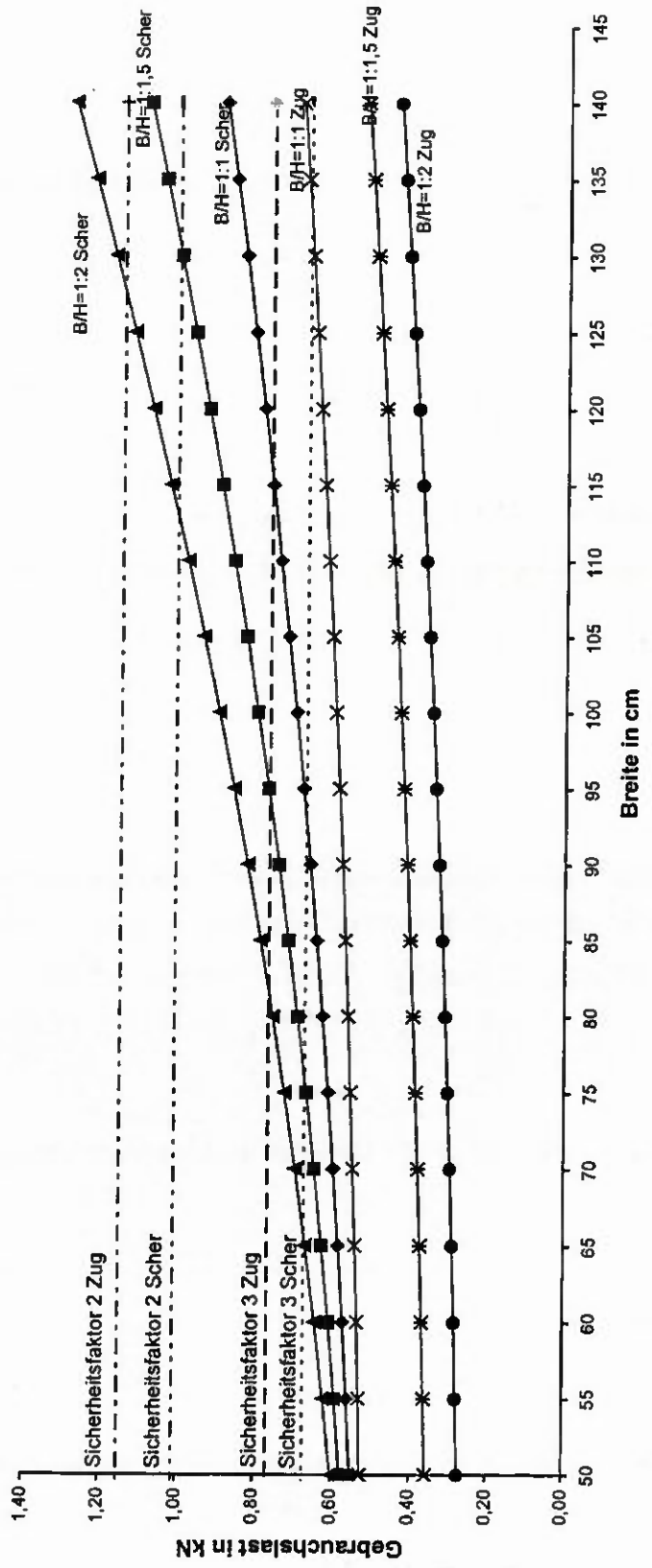
System 1.3, drei Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut



ROSENHEIM

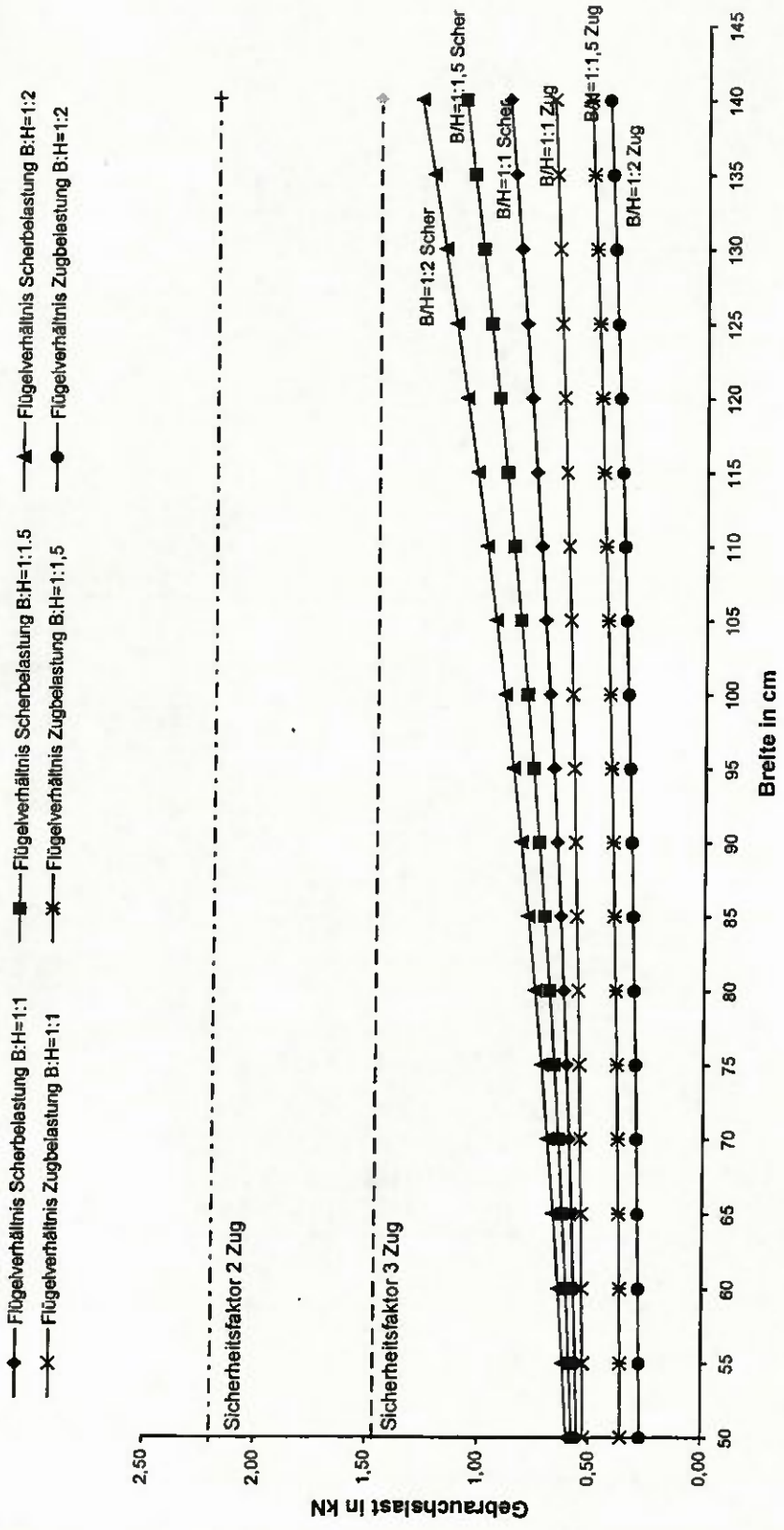
ROSENHEIM

System 1.4, drei Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut

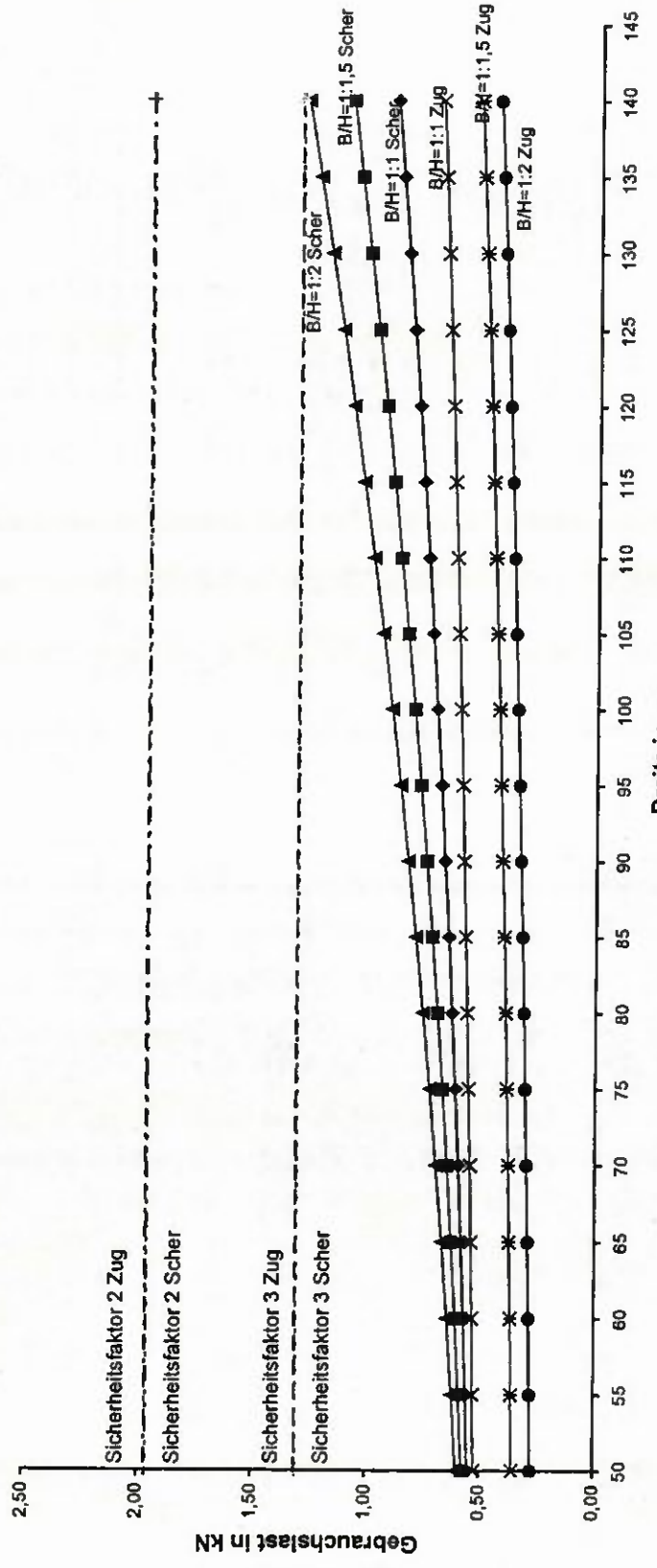


ROSENHEIM

System 1.5, fünf Dübel – Randabstand 6 mm – mit Glasnut

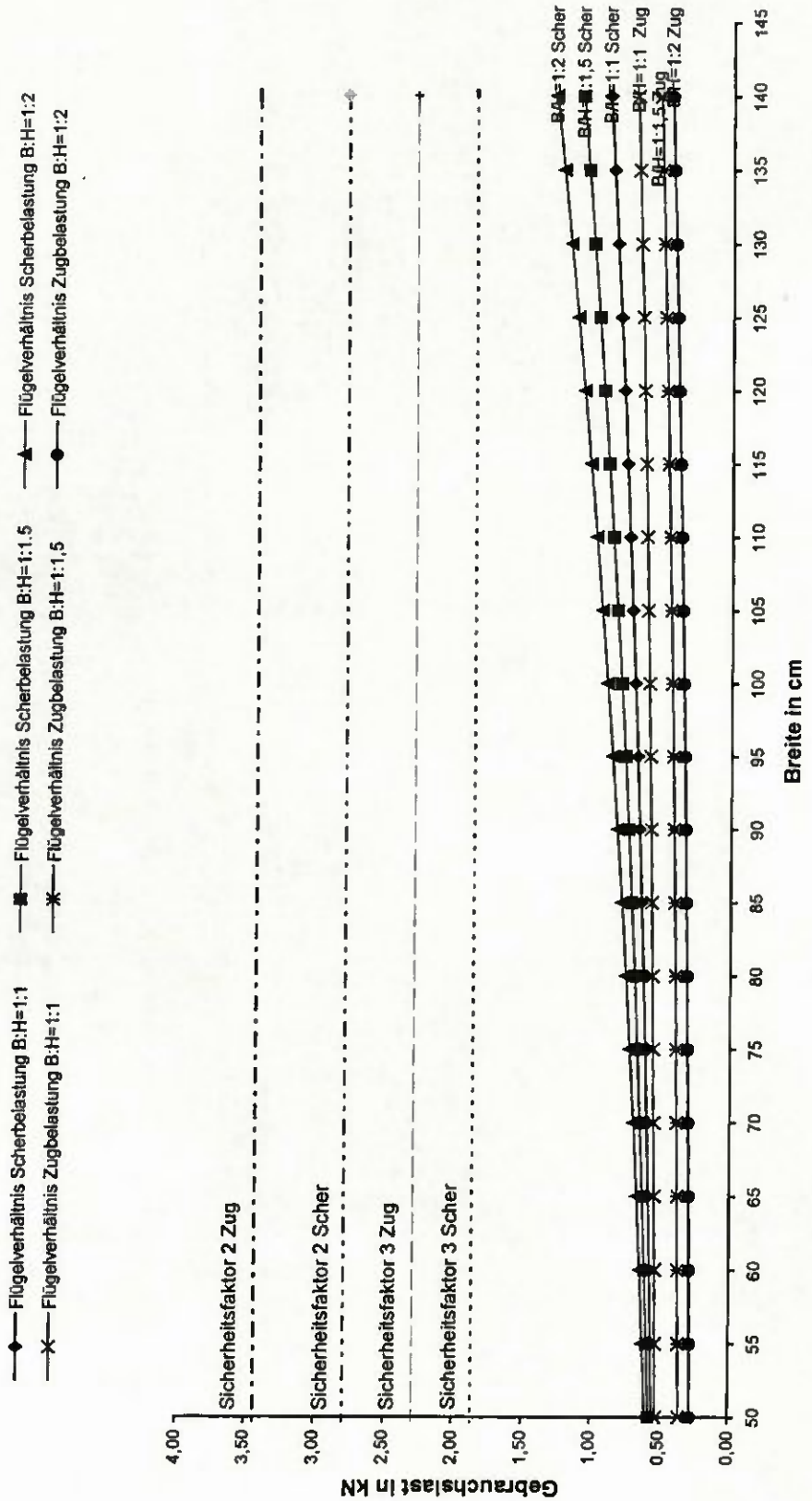


System 1.6, fünf Dübel – Randabstand 5 mm – mit Glasnut

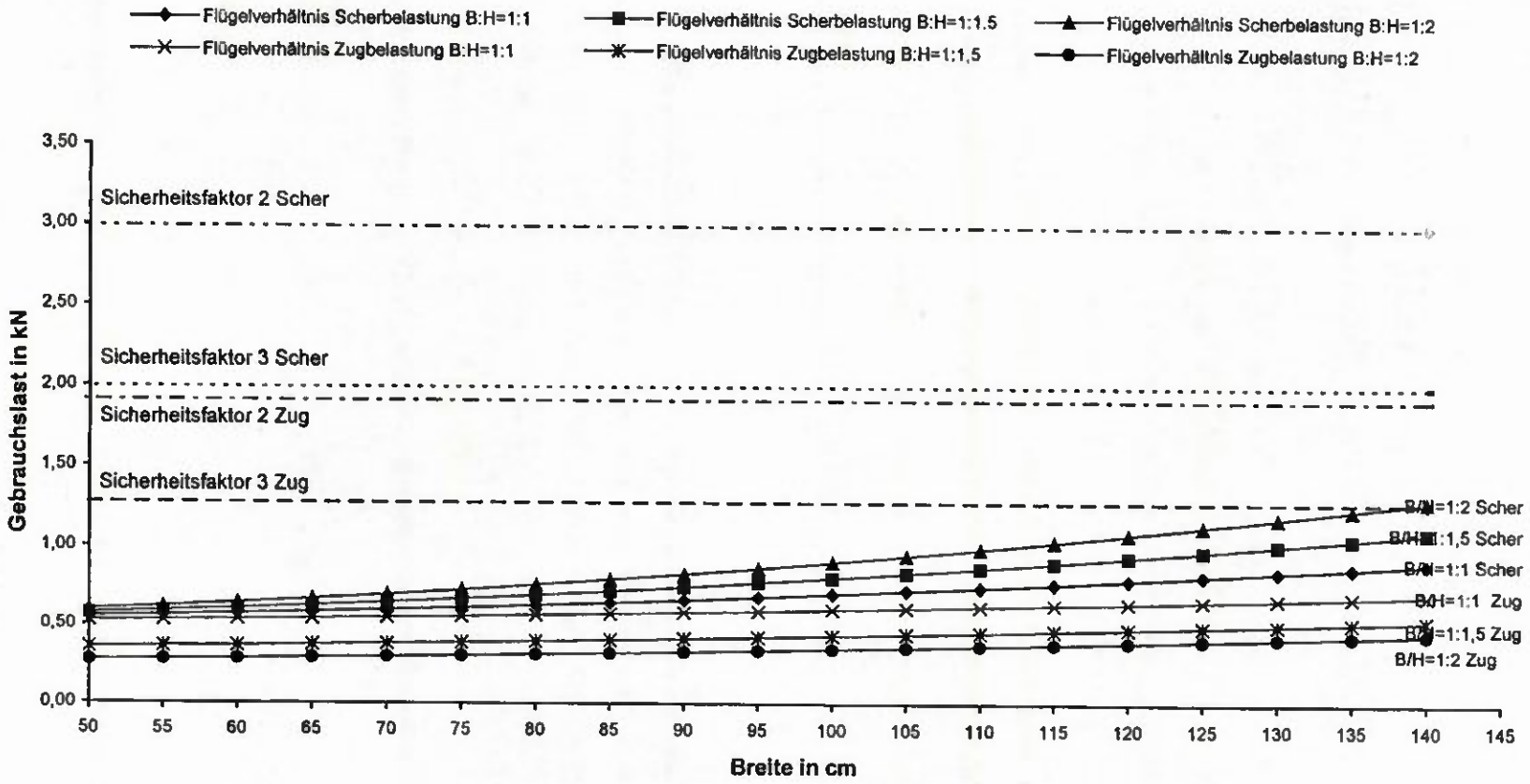


ROSENHEIM

System 1.7, Schlitz-Zapfen



System 1.8, Nutzapfen

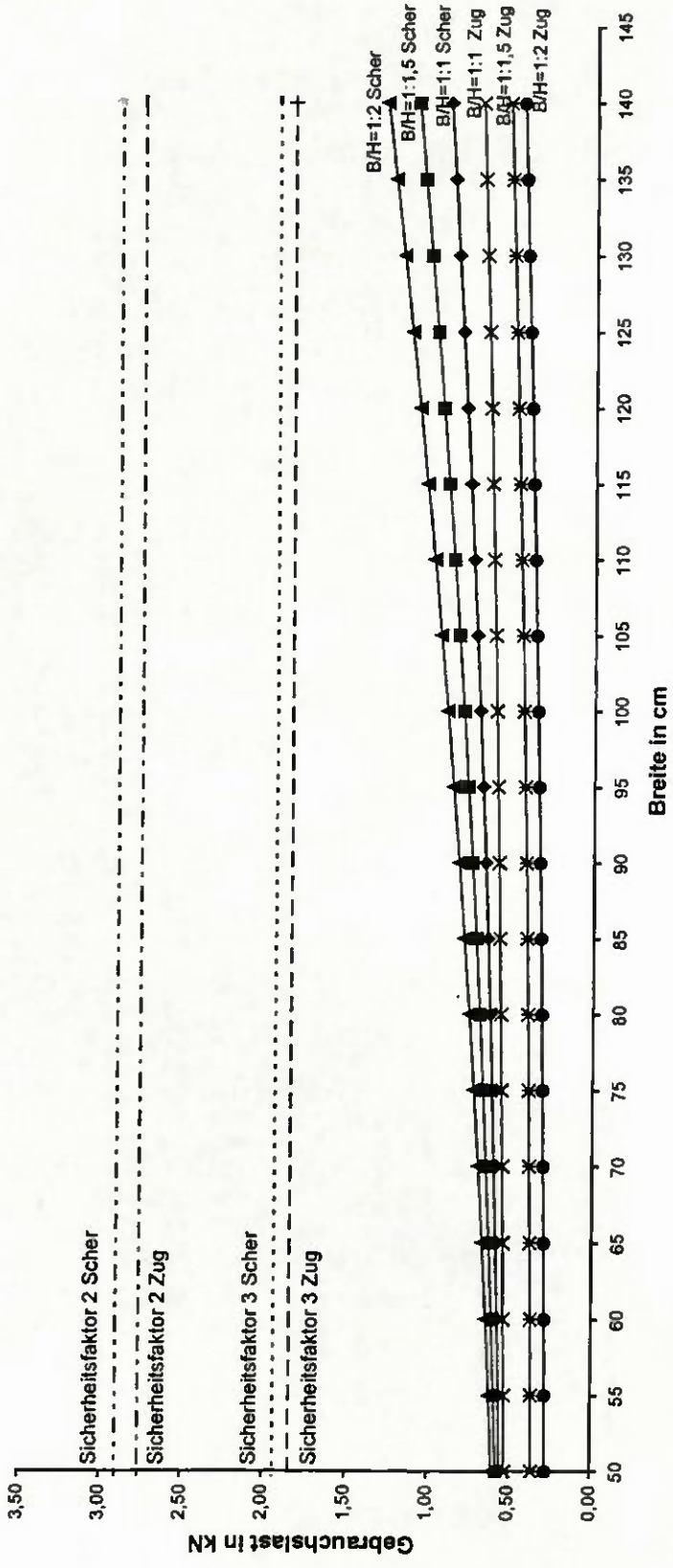


ROSENHEIM

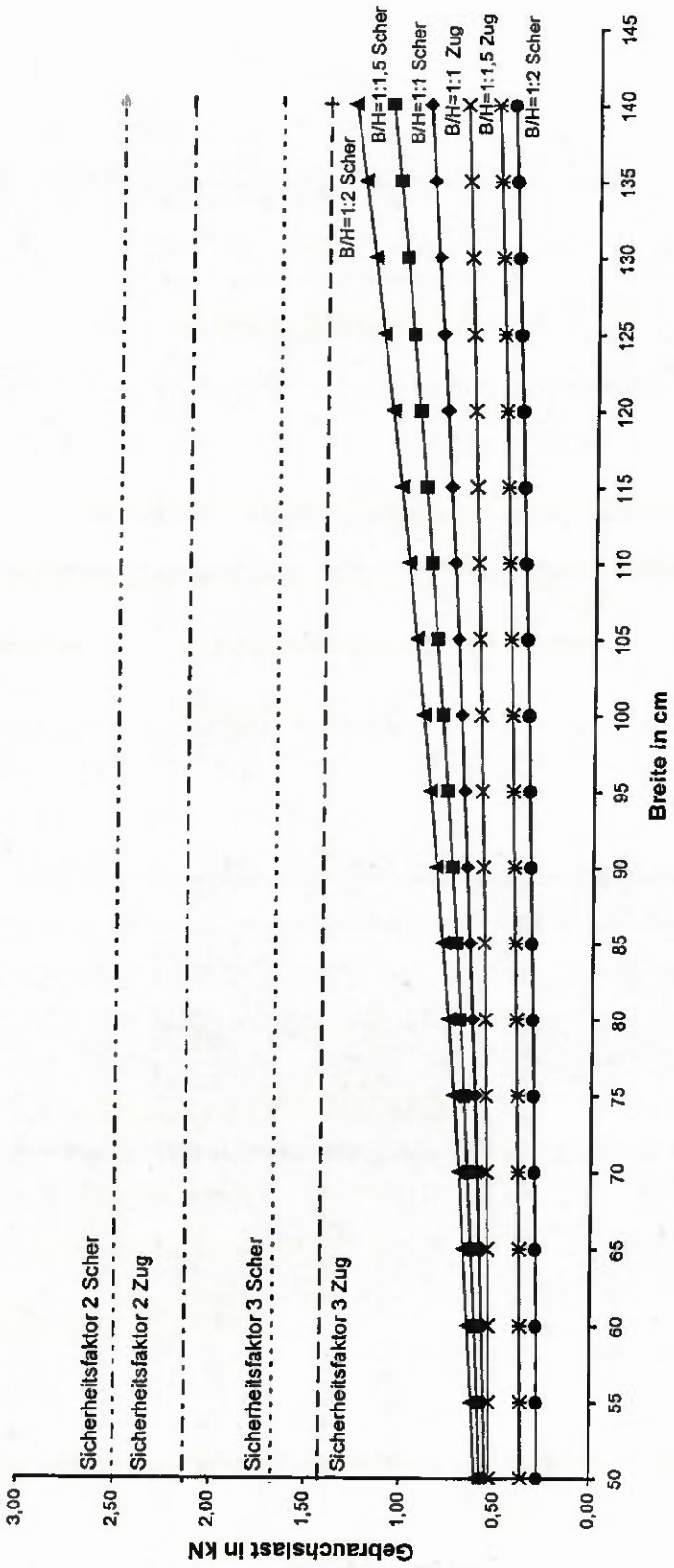
Innovative Rahmenverbindungen
Diagramme Gebrauchslasten

ROSENHEIM

System 1.9, Nutzapfen mit zwei Dübel

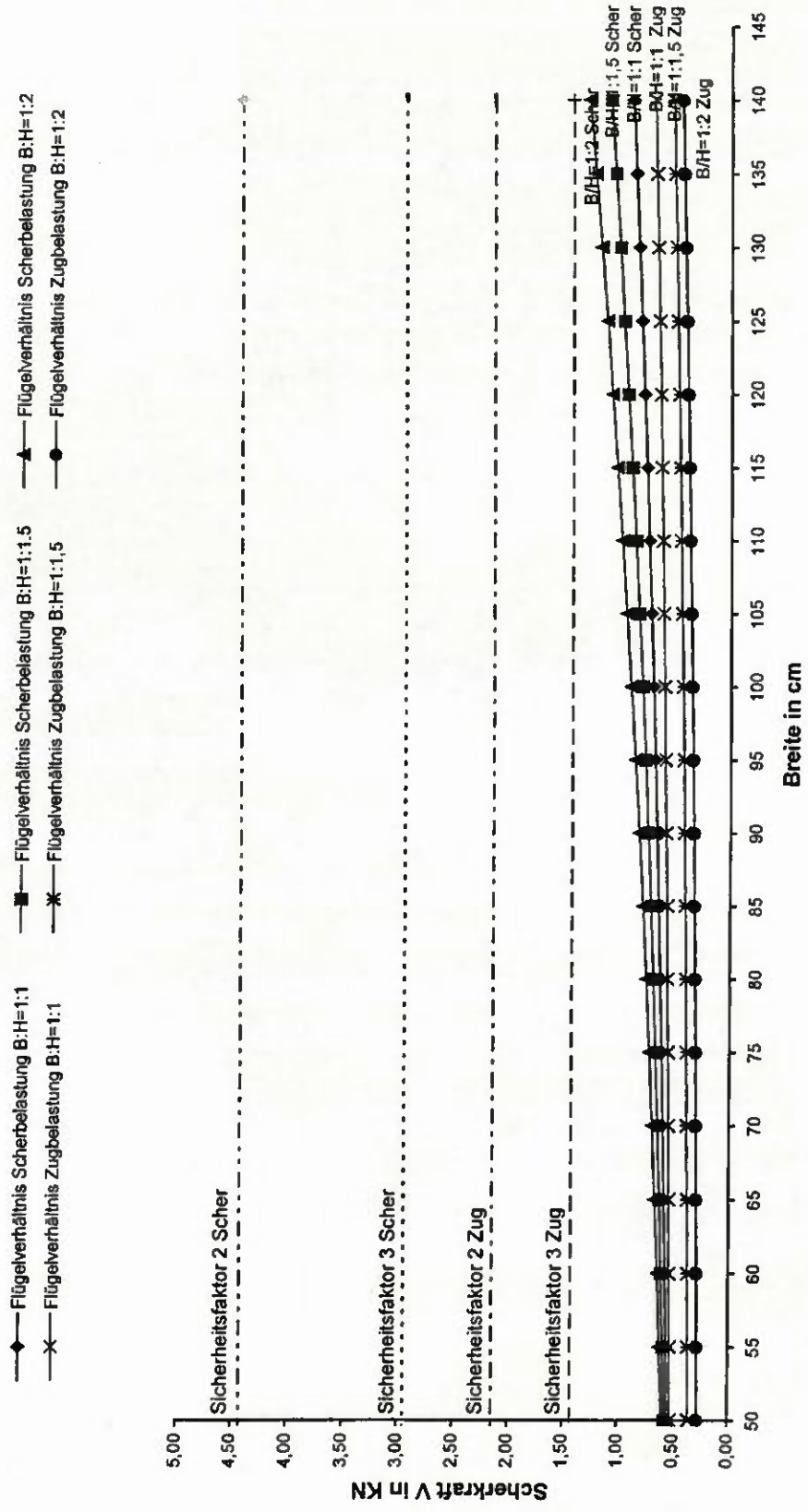


System 1.10, Keilzinken

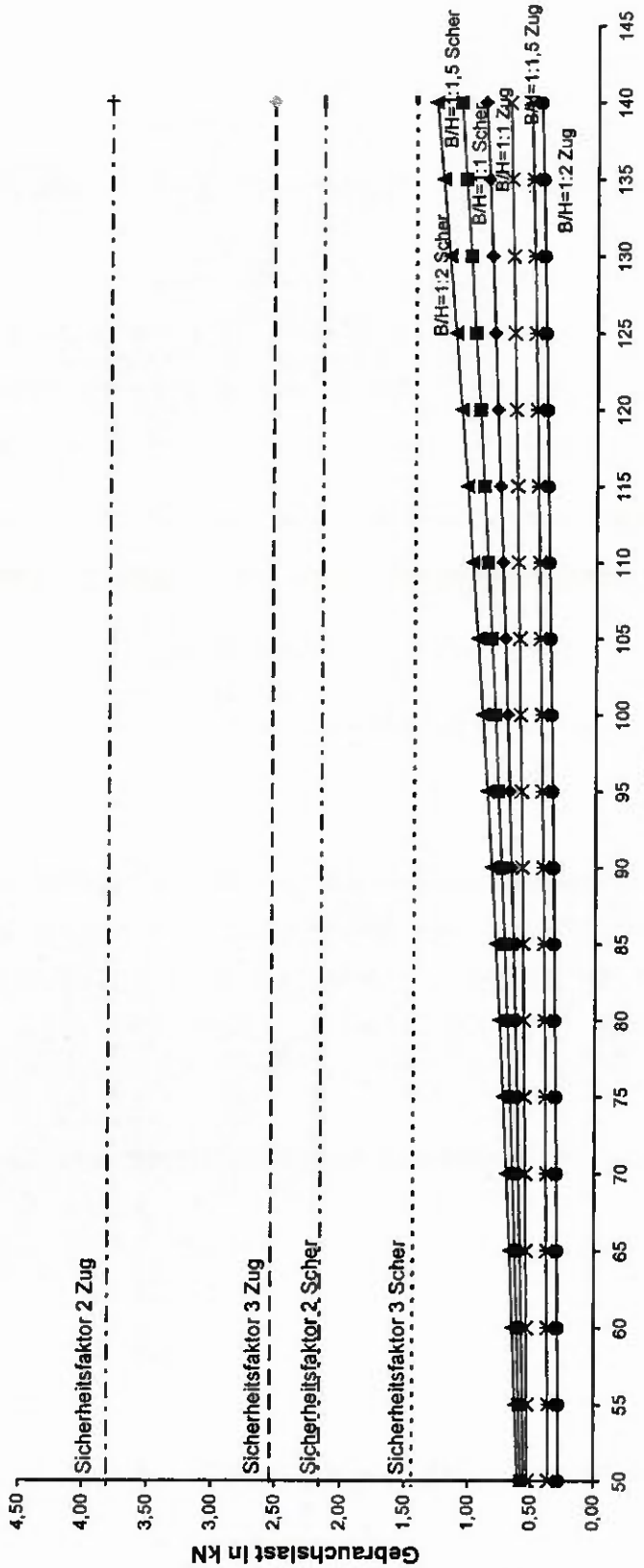


ROSENHEIM

System 1.11, zwei Fremdfedern

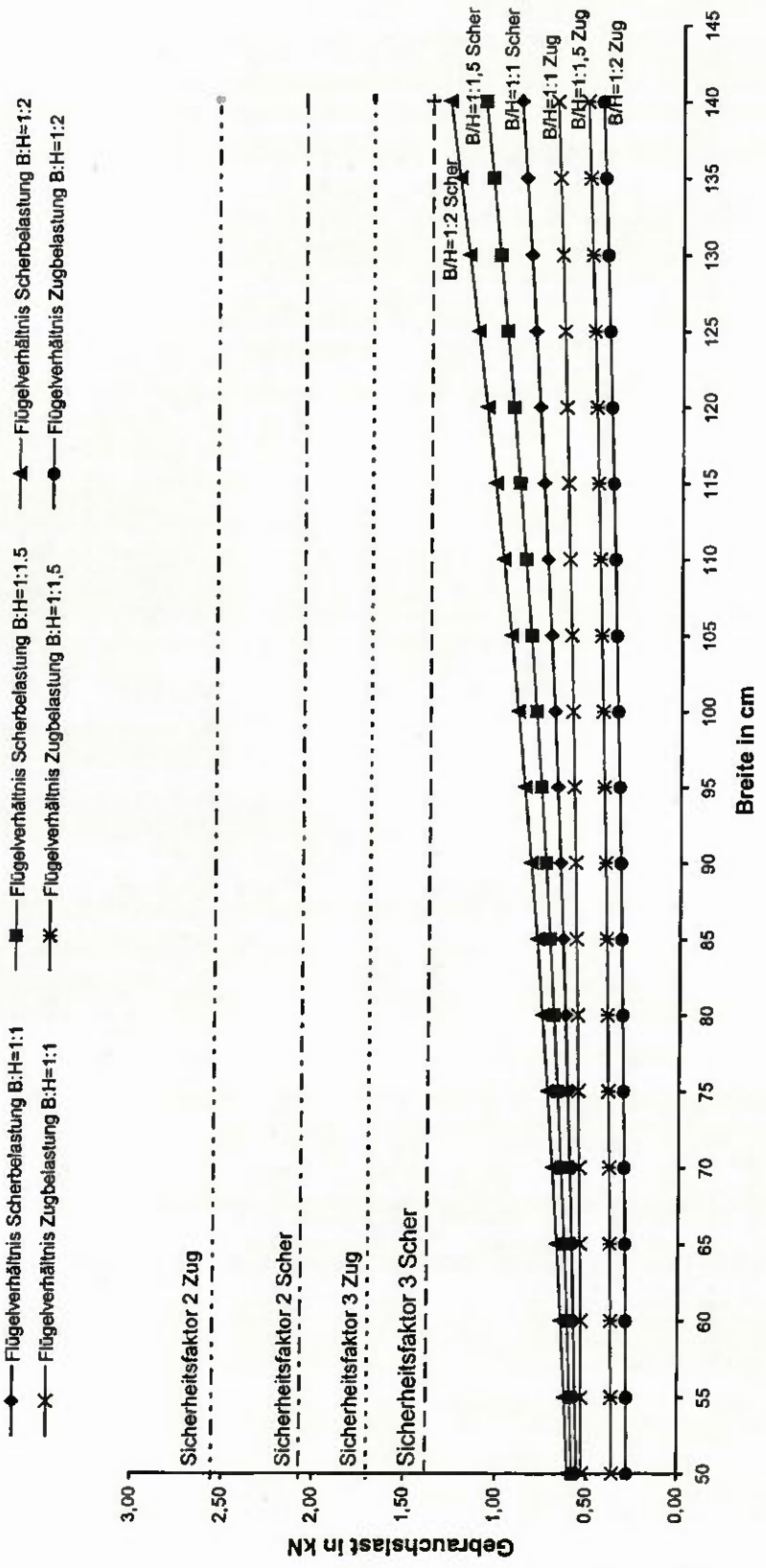


System 1.12, fünf Dübel - wärmegedämmtes Profil

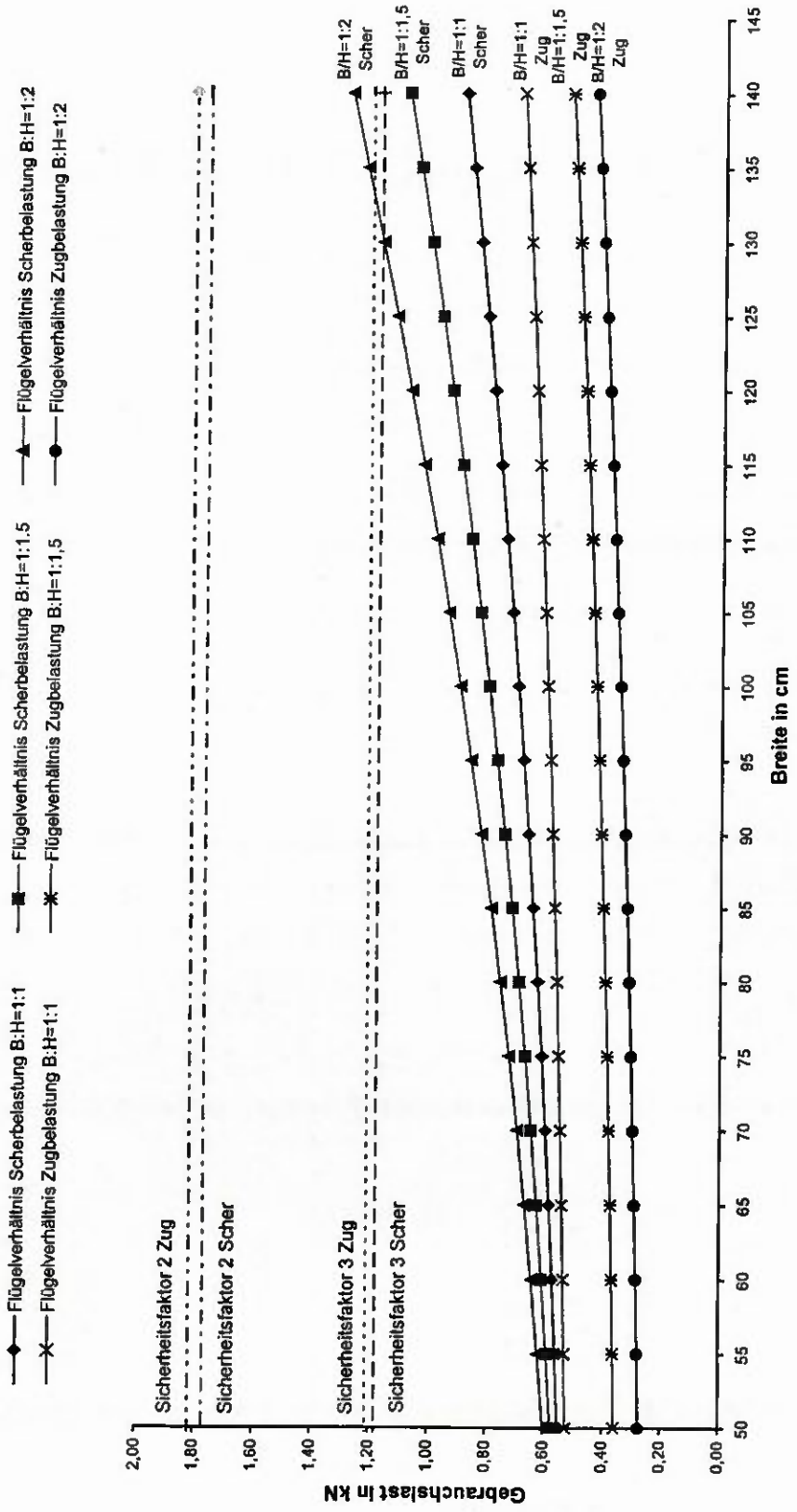


ROSENHEIM

System 2.1, Spanplattenschraube

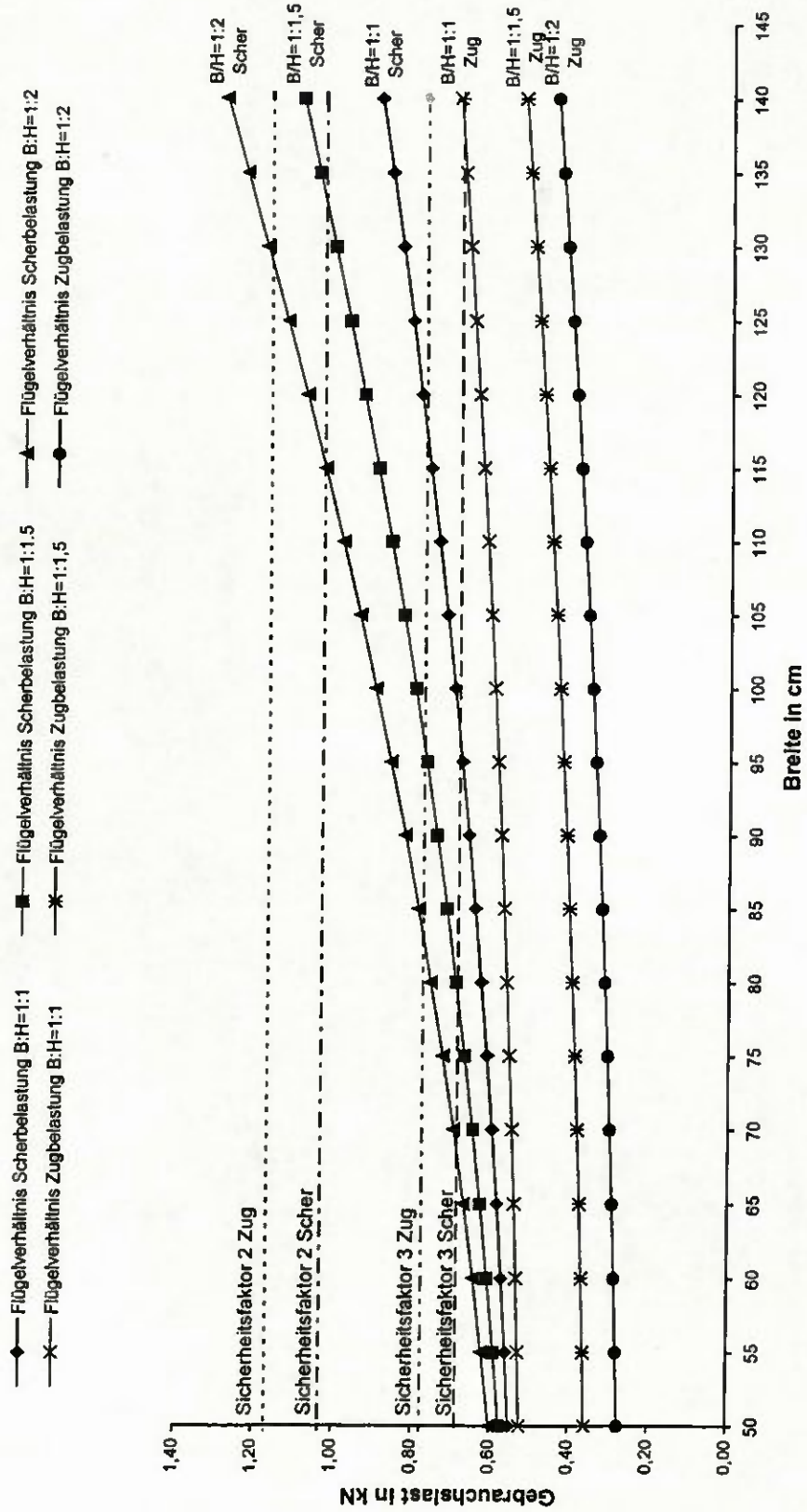


System 2.2, zwei Gewindemuffen

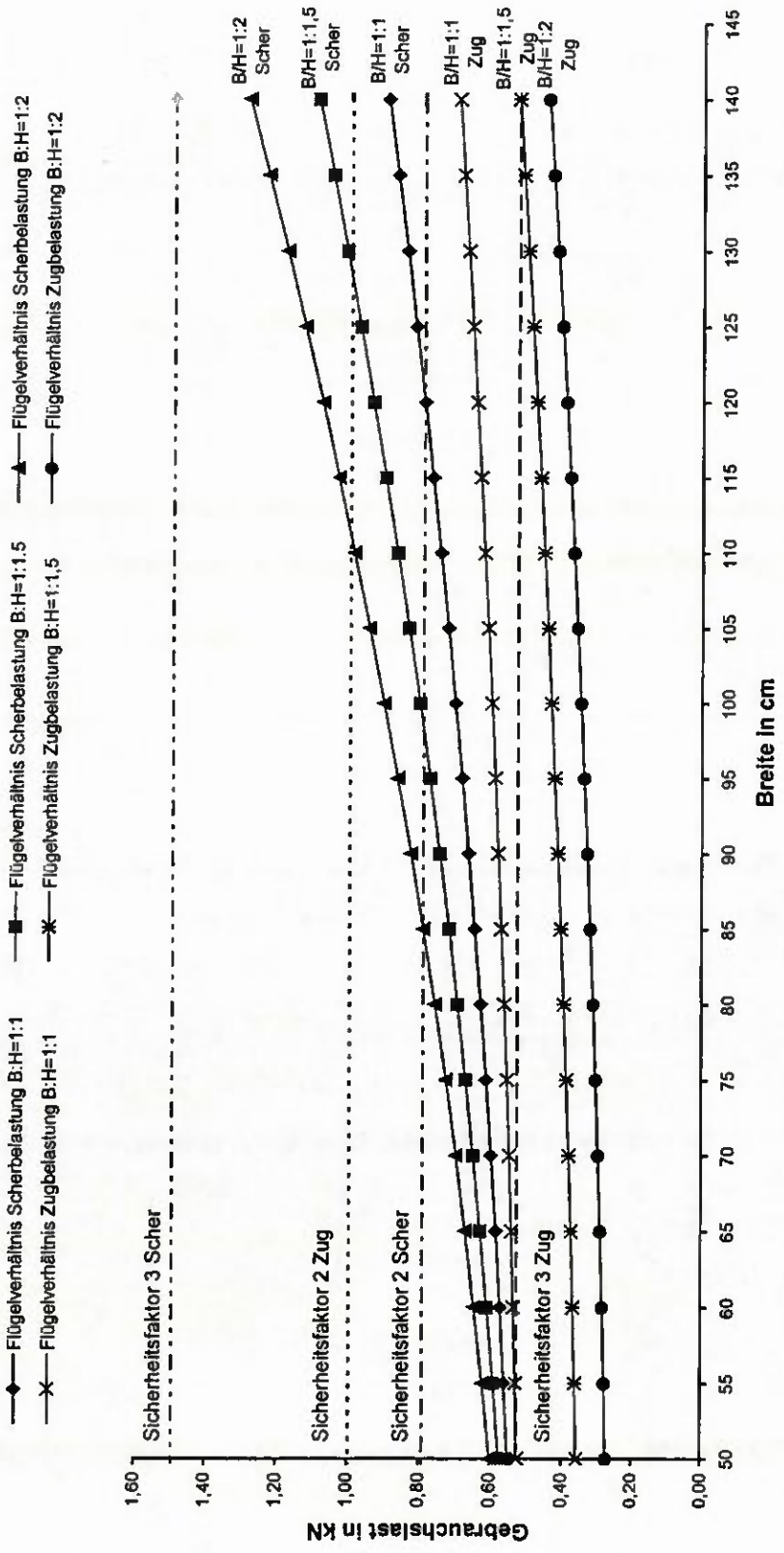


ROSENHEIM

System 2.3, Flachstahlplatte

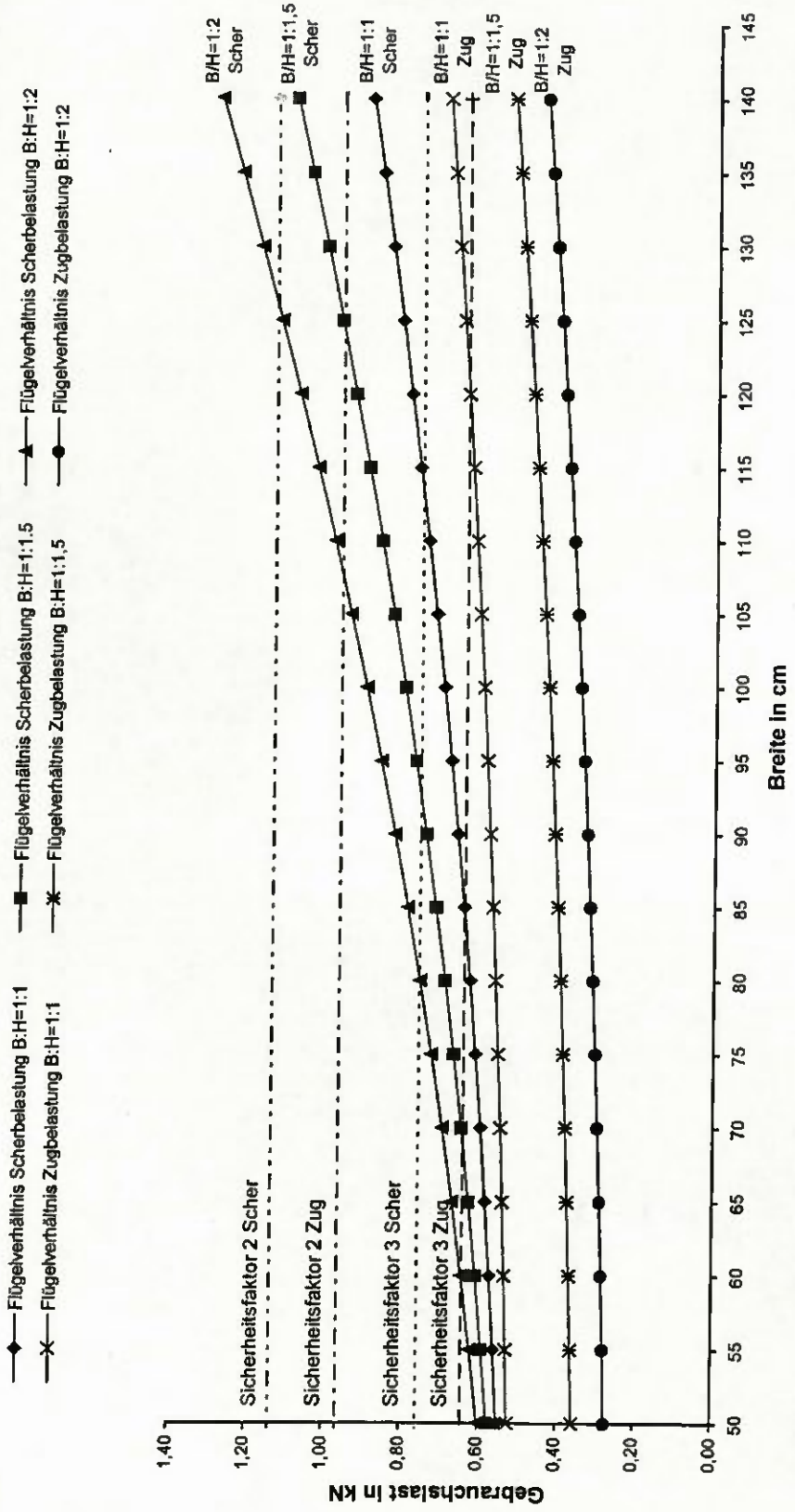


System 2.4,Stahlblechplatte

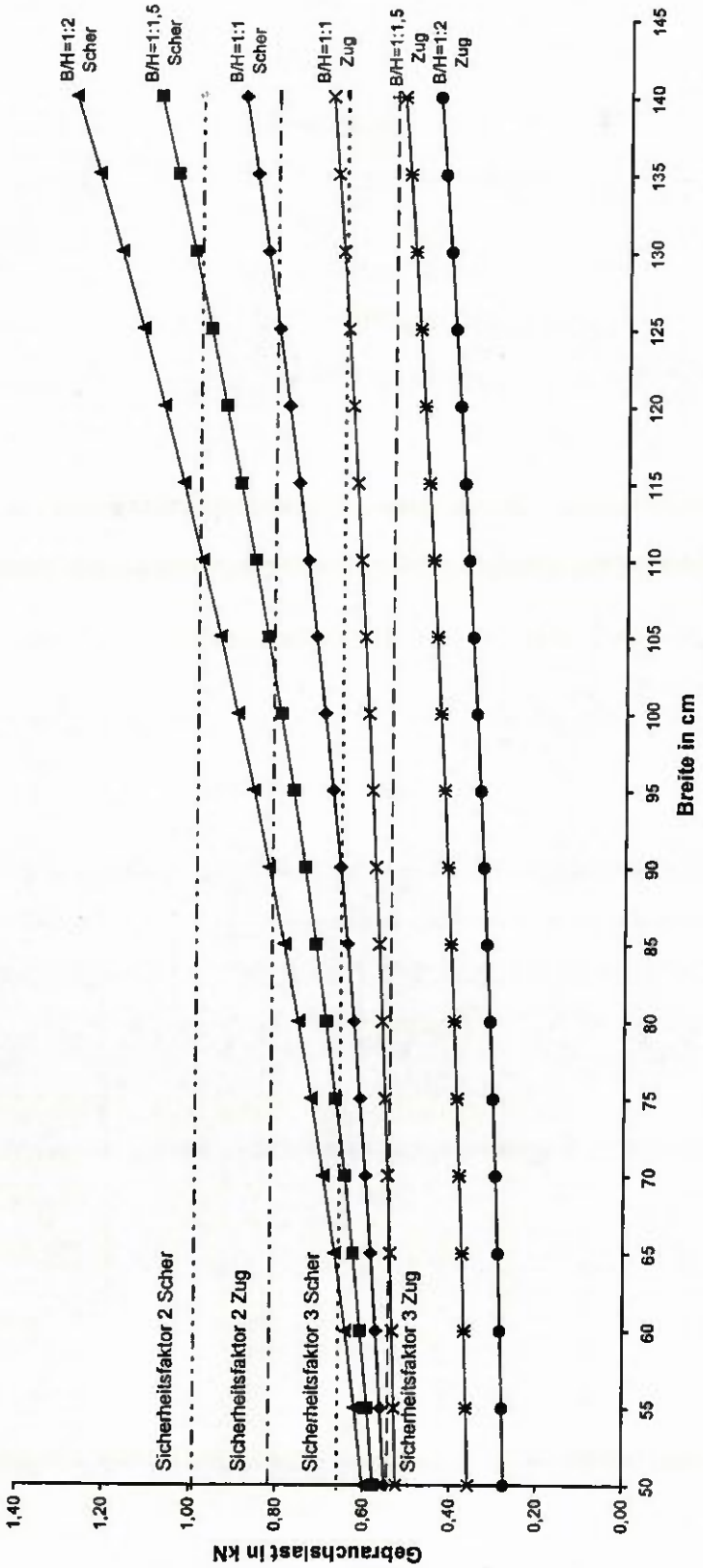


ROSENHEIM

System 2.5, Exzenterverbinder

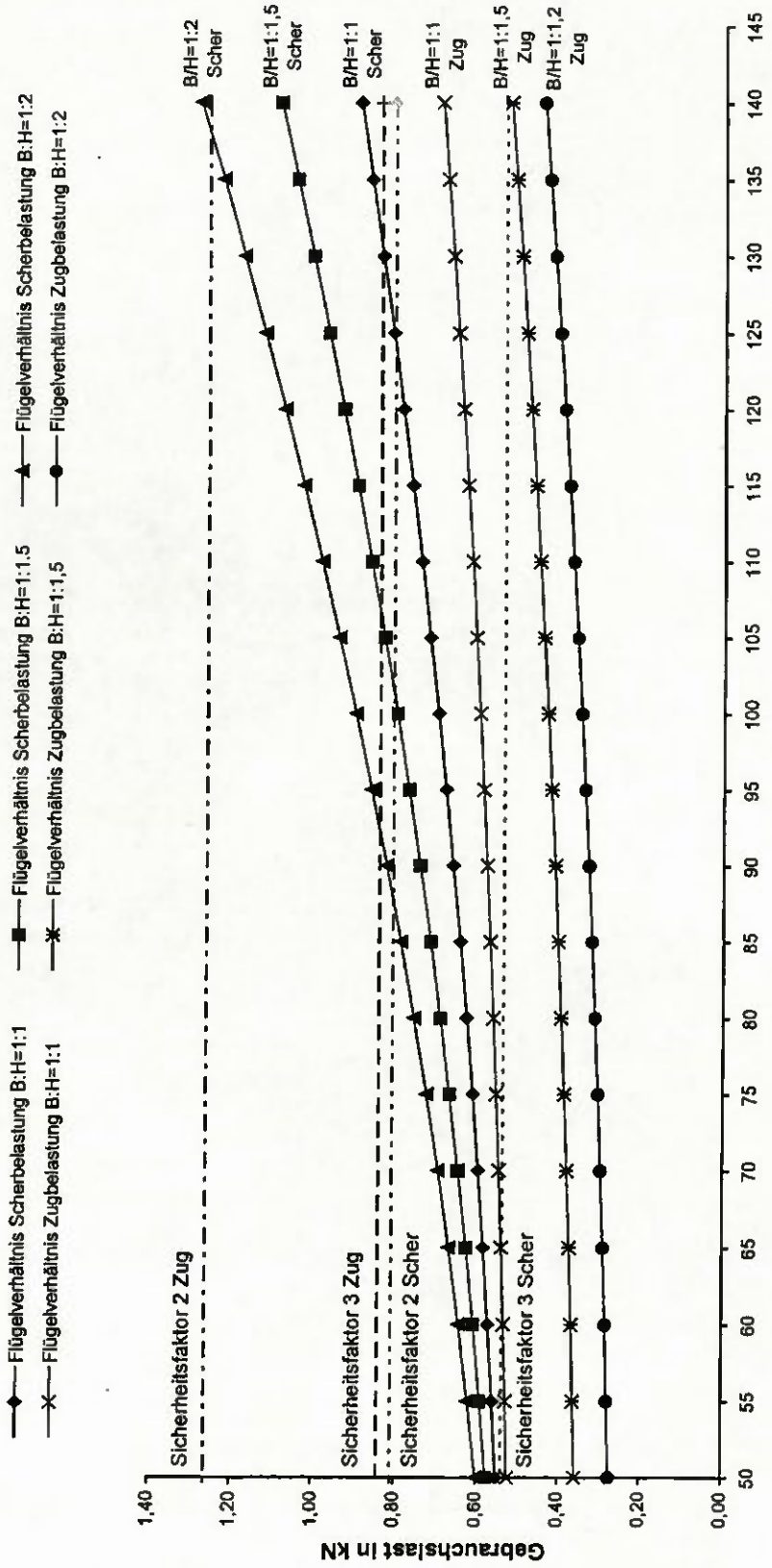


System 2.6, Universalverbinder

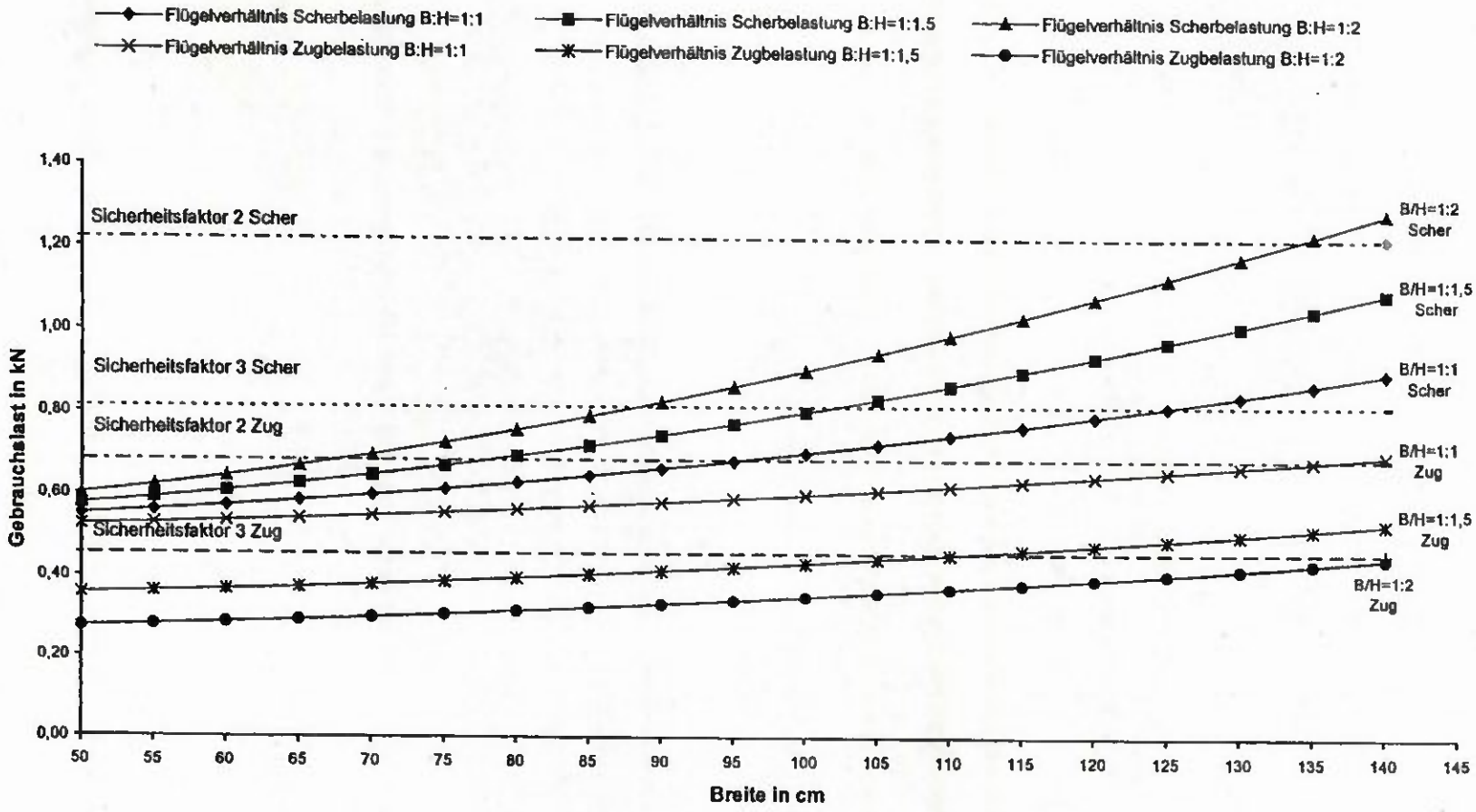


ROSENHEIM

System 2.7, vier Gewindemuffen



System 2.8, Eckumlenkung Dreh-Kippbeschlag



ROSENHEIM

Innovative Rahmenverbindungen
Diagramme Gebrauchslasten

Institut für Fenstertechnik e.V.
Gewerbegebiet Ost I
Theodor-Gietl-Str. 7-9
83026 Rosenheim
Telefon +49 (8031) 261-0
Telefax +49 (8031) 261-290
e-mail: info@ift-rosenheim.de
http://www.ift-rosenheim.de

6 Arbeitsplan, Zeitplan, Kostenplan

6.1 Arbeitsplan

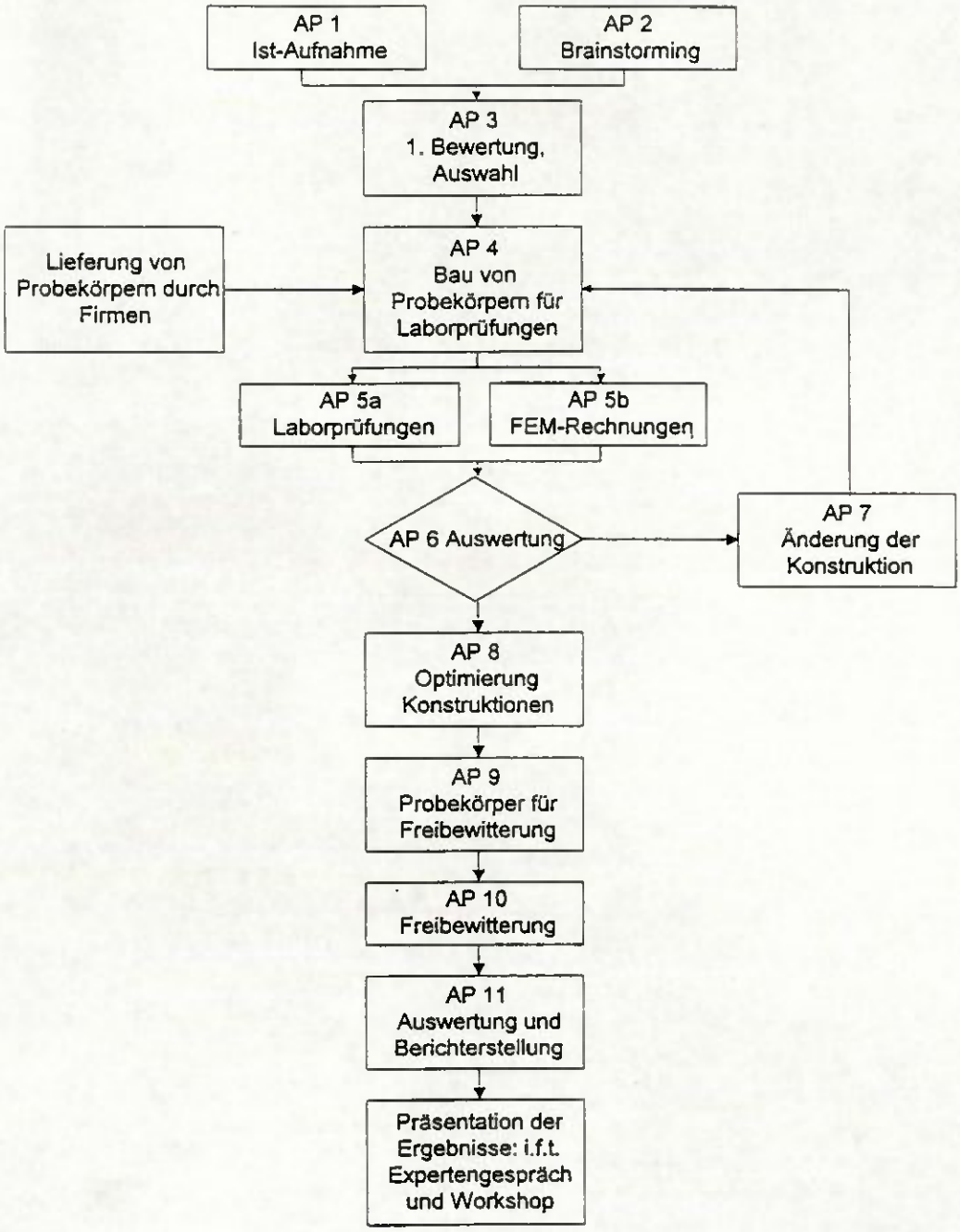
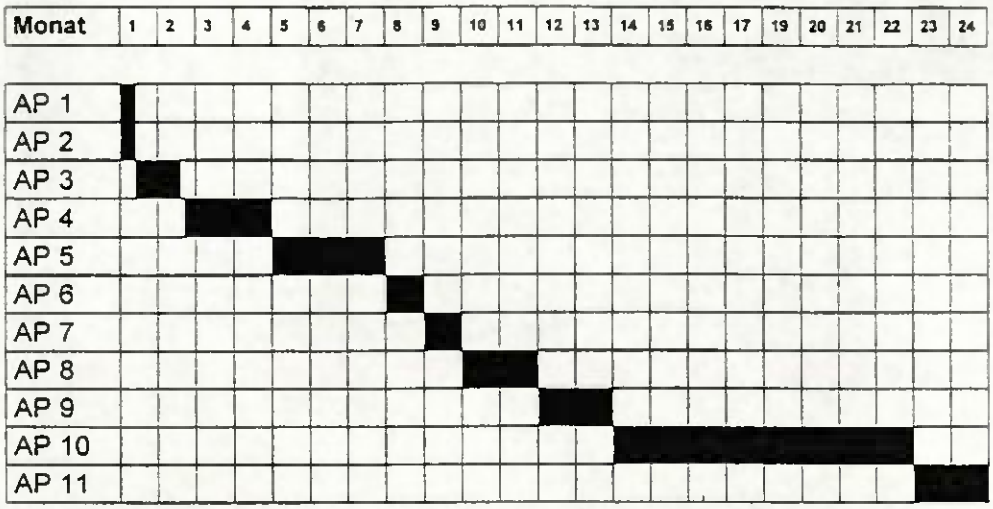


Bild 4 Darstellung des Arbeitsplans als Flußdiagramm

Tabelle 2 Beschreibung der einzelnen Arbeitspakete

Arbeitspaket	Inhalt	Personal in Manntagen		
		A	B	C
AP 1	Ist-Aufnahme: (zum Teil bereits durchgeführt, deshalb nur geringer Zeitaufwand) • Erfassung aller auf dem Markt befindlichen Konstruktionen • Literaturrecherche (auch außereuropäisch)	2	4	-
AP 2	Brainstorming zu neuen Rahmenverbindungen (zum Teil bereits durchgeführt, deshalb nur geringer Zeitaufwand)	2	4	-
AP 3	• Bewertung der Ergebnisse aus AP 1 und AP 2 an Hand der Anforderungsliste • Auswahl von Konstruktionen für das weitere Vorgehen	1	4	-
AP 4	Konstruktion und Bau von Probekörpern für die Laborprüfungen • Rahmenecken beschichtet und verklebt • ganze Rahmen (nötig bei Gehrungsverbindungen)	20	40	40
AP 5a	• mechanische Prüfungen: an neuen und bewitterten Proben • Feuchtebelastung: an beschichteten und unbeschichteten Proben (zyklisches Auffeuchten und Trocknen von Fensterecken, bei Gehrungsverbindungen an ganzen Fensterrahmen)	2	20	40
AP 5b	• FEM-Rechnungen zur Bestimmung der Belastungen auf die Rahmenverbindug und innerhalb der Verbindung	20	40	-
AP 6	Auswertung der Prüfergebnisse	15	15	-
AP 7	Änderung der Konstruktionen nach Auswertung der Laborprüfungen, wenn Probleme erkannt und lösbar erscheinen	10	30	-
AP 8	Optimierung der Konstruktionen nach Auswertung der Laborprüfungen	20	40	-
AP 9	Herstellung von Probekörpern für die Freibewitterung (Fensterecken und ganze Fensterrahmen)	10	20	80
AP 10	ca. 1-jährige Freibewitterung, regelmäßige visuelle Kontrolle (die Freibewitterung wird mit Projektende nicht abgeschlossen, so daß auch noch Auswertung nach 2 oder mehr Jahren möglich sind)	20	30	20
AP 11	Auswertung der Ergebnisse und Ableiten der geeigneten Konstruktionen, Berichterstellung	50	50	-
Gesamt		172	297	180

6.2 Zeitplan



6.3 Kostenplan

(s. Anlage)

7 Literaturverzeichnis

---

1 Forschungsbericht: „Verbesserung der Witterungsbeständigkeit und der Alterungsbeständigkeit von Fenstern aus einheimischen Hölzern durch die Holzschutzbehandlung nach einer Oberflächenperforation an den Lamellen", i.f.t. Rosenheim (1995)

2 Vortrag Fa. Schillinger, Kolloqium Holzfenster, Stimpfach Dez. 1996

3 Abschlußbericht Ringversuch Fenstereckprüfung, Teilnehmer: EMPA, SISH Biel, i.f.t. Rosenheim, Herausgeber Schweizerische Ingenieur- und Technikerschule für die Holzwirtschaft (SISH), (1994)

4 Forschungsbericht: „Untersuchung über die Eignung von Kleinzinken für Rahmenverbindungen an Holzfenstern", i.f.t. Rosenheim (1972)

5 Forschungsbericht: „Untersuchungen zur Rationalisierung und Verbesserung von Rahmenverbindungen an Holzfenstern und Holztüren durch Verwendung von Vergußmassen und nur teilweises Verleimen der Holzdübel", i.f.t. Rosenheim (1989)

6 Josef Ertl, Untersuchung der Belastungen an Fensterrahmenverbindungen, bei einer bis einschließlich Oberflächenbehandlung duchgeführten Einzelteilfertigung, Diplomarbeit, Fachhochschule Rosenheim, Fachbereich Holztechnik (1997)

7 Abschlußbericht Ringversuch Fenstereckprüfung, Teilnehmer: EMPA, SISH Biel, i.f.t. Rosenheim, Herausgeber Schweizerische Ingenieur- und Technikerschule für die Holzwirtschaft (SISH), (1994)

8 Forschungsbericht: „Untersuchungen zur Rationalisierung und Verbesserung von Rahmenverbindungen an Holzfenstern und Holztüren durch Verwendung von Vergußmassen und nur teilweises Verleimen der Holzdübel“, i.f.t. Rosenheim (1989)