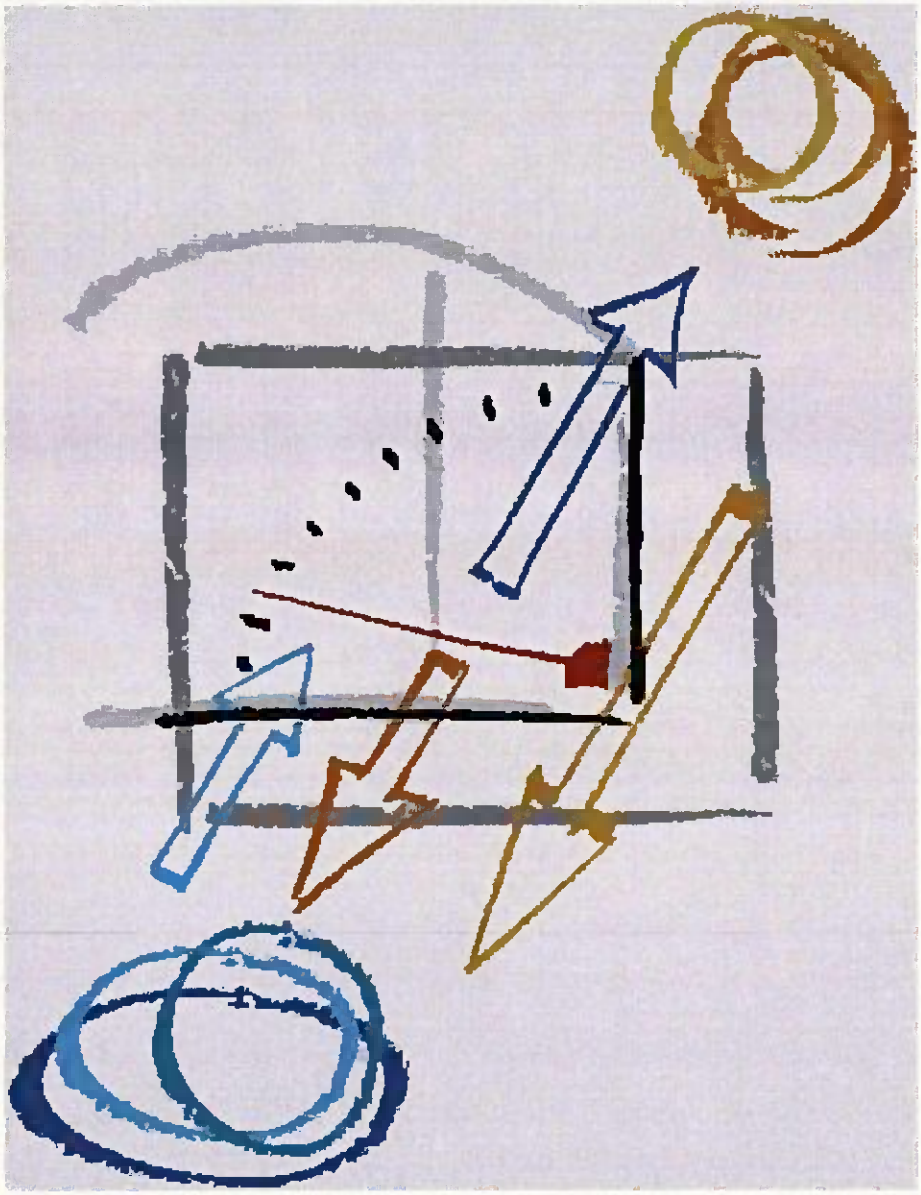
E-2002/11

ift ROSENHEIM

Forschungsvorhaben

Entwicklung eines Pfosten-Riegel-Verbindungssystems für Holzfassaden



Abschlussbericht

29. Juni 2004

02.02 / 118

Abschlussbericht

Forschungsthema	Entwicklung eines Pfosten-Riegel-Verbindersystems für Holzfassaden
Antragsteller	Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGfH) Bayerstraße 57-59 80335 München
Gefördert durch	Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie -Innovationsberatungsstelle Südbayern- 80525 München Bescheid Nr. 07 03/685 60/1181/02/2653/03
Forschungsstelle	**ift** Rosenheim Theodor-Gietl-Straße 7-9 83026 Rosenheim Tel: (08031) 261-0 Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Ralf Grünheid Dipl.-Ing. (FH) Ingo Leuschner Institutsleitung: Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Sieberath
Forschungszeitraum	15.09.2002 bis 29.02.2004

Rosenheim, Juni 2004

ROSENHEIM

Seite

1 Einleitung **1**

2 Anforderungen an Pfosten–Riegel–Verbindungen **2**
2.1 baurechtliche Ausgangssituation 2
2.1.1 Musterbauordnung 2
2.1.2 Normung 2
2.1.3 Landesbauordnung / hier Bayrische Bauordnung (BayBO) 4
2.1.4 Erforderliche Verwendungsnachweise bei Fassadenkonstruktionen in Pfosten- und Riegelbauweise 5
2.2 Anforderungen resultierend aus dem Verwendungszweck 6
2.3 Weitere technische Anforderungen 11

3 Beschreibung der Verbindung **12**

4 Versuchsprogramm **14**
4.1 Versuchsaufbauten 14
4.2 Prüfplan 19
4.3 Prüfkörper 19
4.4 Prüfablauf Kurzzeitprüfungen 20
4.5 Prüfablauf Langzeitprüfungen 21

5 Ergebnisse der Vorversuche und Optimierung der Verbindung **22**
5.1 Prüfkörpermontage 22
5.2 Vorversuche – Verbindung ohne Optimierung 23
5.3 Zusammenfassung der Vorversuche 26
5.4 Optimierung der Verbindung 30

6 Optimierte Verbindung **37**
6.1 Dübelanordnung und -ausführung 37
6.2 Schraubenausbildung 40
6.3 Verhalten der optimierten Verbindung 42

7 Konzept zum statischen Nachweis der Verbindung **44**
7.1 geometrische Größen 44
7.2 Statische Nachweise der Verbindung 44

Seite

8 **Abschließende Prüfungen** 46

9 **Luftdichtheit der Verbindung** 48

10 **Zusammenfassung und Ausblick** 55

11 **Literatur** 57

1 Einleitung

Die momentane Situation bei Holzfassadenherstellern ist durch Unsicherheit geprägt. Es sind nicht ausreichend systembezogene allgemein bauaufsichtlich zugelassene Verbindungsmittel vorhanden, so dass Fassadenhersteller auf nicht geregelte Produkte zurückgreifen und keinen Standsicherheitsnachweis führen können. Geregelte Bauprodukte sind aufgrund gestalterischer Anforderungen oder systembezogener Besonderheiten oft nicht verwendbar, dadurch bewegen sich die Fassadenhersteller in einer rechtlichen Grauzone.

Fassaden werden als nicht tragende Außenwände eingestuft, trotzdem greift bei ihnen §15 Abschnitt 2 der Musterbauordnung. Darin heißt es, dass jede bauliche Anlage im Ganzen und in ihren Einzelteilen für sich alleine standsicher sein muss. Der Nachweis muss erbracht werden, da Verkehrs– und Gebrauchslasten über das Skeletttragwerk der Fassade in den Baukörper abgetragen werden. Der Standsicherheitsnachweis kann entweder durch rechnerischen Nachweis (abgestützt auf anerkannte Regeln der Technik mit anerkannten Verbindungsmitteln) oder im Rahmen einer allgemein bauaufsichtlichen Zulassung (ABZ) erbracht werden.

Ein ungeregelter Punkt bei Holzfassadenkonstruktionen ist der Knotenpunkt von Pfosten und Riegel. Ein rechnerischer Nachweis eines mechanischen Pfosten–Riegel–Verbinders ist in vielen Fällen nicht möglich. Falls keine ABZ existiert, muss für das Verbindungsmittel eine Zustimmung im Einzelfall beantragt werden. Um Rechtssicherheit zu schaffen und den Planungsaufwand zu reduzieren ist es notwendig, Planern und Verarbeitern ein zugelassenes System zur Verfügung zu stellen.

Ziel ist es, ein Verbindungssystem für Holz-Glas-Fassaden zu entwickeln, das den Anforderungen der zuständigen Bauaufsichtsbehörde entspricht. Es sollen in Zusammenarbeit mit der Industrie die Anforderungen geklärt und konkrete Konstruktionsvarianten erarbeitet werden, die auf ihre Gebrauchstauglichkeit und durch die enge Einbindung der Industriepartner auch hinsichtlich deren Wirtschaftlichkeit geprüft werden. Das System soll mit Versuchen bewertet werden, welche auch im Rahmen eines ABZ-Verfahrens zur Anwendung kommen können.

2 Anforderungen an Pfosten–Riegel–Verbindungen

2.1 baurechtliche Ausgangssituation

2.1.1 Musterbauordnung

Holz-Glas-Fassaden werden zunächst als nichttragende Außenwände eingestuft. Durch das Eigengewicht der Füllelemente, Windlasten und ggf. Verkehrslasten werden die Bauteile der Pfosten-Riegelkonstruktion zu tragenden Elementen. Die zivilrechtliche Tragweite bzw. Bedeutung für die Planung von Tragwerken ist in der Musterbauordnung Abschnitt 2: Allgemeine Anforderungen an die Bauausführung (§15 Standsicherheit) zum Ausdruck gebracht.

Darin lautet es:

(1) Jede bauliche Anlage muss im Ganzen und in ihren einzelnen Teilen für sich allein standsicher sein. Die Standsicherheit anderer baulicher Anlagen und die Tragfähigkeit des Baugrundes des Nachbargrundstücks dürfen nicht gefährdet werden.

Die Landesbauordnungen übernehmen diese Forderung und muss diese daher vom Tragwerksplaner beachtet werden.

2.1.2 Normung

Die Verbindungsmittel von tragenden Holzkonstruktionen sind national u. a. in

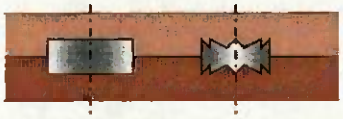
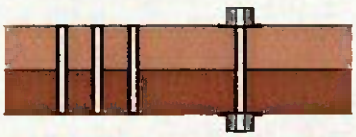
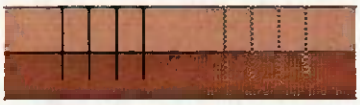
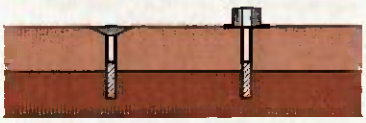
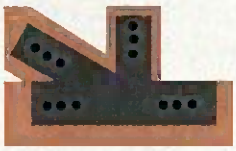
DIN 1052-2 : 1988-04
Holzbauwerke – Teil 2: Mechanische Verbindungen

DIN 1052-2/A1 : 1996-10
Holzbauwerke - Teil 2: Mechanische Verbindungen; Änderung 1

beschrieben. Die darin enthaltenen Konstruktionsprinzipien können mit anerkannten Berechnungsmethoden hinsichtlich ihres Tragverhaltens und Tragvermögens beurteilt werden.

Wesentliche in DIN 1052 beschriebene Konstruktionen sind schematisch in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Wesentliche mechanische Verbindungen gemäß DIN 1052

Nr.	Schematische Darstellung	Bezeichnung
1		Einlass- und Einpressdübel
2		Stabdübel und Passbolzen
3		Nagelung mit runden Drahtstiften oder Sondernägel z. B. Rillennägel
4		Klammern
5		Schraubverbindungen
6		Nagelplatten
7		Knotenplatten in Verbindung mit Stabdübel, Schrauben ...
8		Eingeklebte Gewindestangen

Auch im Eurocode 5 (kurz: EC 5) sind zur Bemessung von „klassischen" Verbindungsmitteln wie Nägel, Schrauben, Versätze Grundlagen enthalten. Um den gestalterischen Anforderungen gerecht zu werden, kommen in Holz-Glas-Fassaden abgewandelte Formen der in Tabelle 1 beschriebenen Konstruktionslösungen zur Umsetzung. Da diese oftmals nicht mehr mit den aner-

kannten Bemessungsmethoden erfasst werden können, sind bei Ausführung für derartige Konstruktionen zwei mögliche Wege vorgesehen.

1. Zustimmung im Einzelfall durch die oberste Baubehörde
2. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

2.1.3 Landesbauordnung / hier Bayrische Bauordnung (BayBO)

Für jede Bauweise, die von den technischen Vorschriften abweicht oder für die es keine anerkannten technischen Regelungen gibt, muss eine "Zustimmung im Einzelfall" beantragt werden, um den allgemeinen Sicherheitsstandard zu gewährleisten. Der Antrag muss formlos an die oberste Baubehörde des jeweiligen Bundeslandes gestellt werden, dies ist für Bayern das Staatsministerium des Inneren.
Der entsprechende Auszug aus der bayrischen Landesbauordnung:

BayBO Art. 22 Nachweis der Verwendbarkeit von Bauprodukten im Einzelfall

(1) Mit Zustimmung des Staatsministeriums des Innern dürfen im Einzelfall
1. Bauprodukte, die ausschließlich nach dem Bauproduktengesetz oder nach sonstigen Vorschriften zur Umsetzung von Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften in Verkehr gebracht und gehandelt werden dürfen, jedoch deren Anforderungen nicht erfüllen, und
2. nicht geregelte Bauprodukte

verwendet werden, wenn deren Verwendbarkeit im Sinn des Art. 3 Abs. 1 Sätze 1 und 2 nachgewiesen ist. Wenn Gefahren im Sinn des Art. 3 Abs. 1 Satz 1 nicht zu erwarten sind, kann das Staatsministerium des Innern im Einzelfall erklären, dass seine Zustimmung nicht erforderlich ist.

Die oberste Bauaufsichtsbehörde kann für genau abgegrenzte Fälle festlegen, dass Ihre Zustimmung nicht erforderlich ist.

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen sind für solche Bauprodukte und Bauarten im Anwendungsbereich der Landesbauordnungen erforderlich, für die es keine allgemein anerkannte Regeln der Technik, insbesondere Normen des DIN, gibt oder die von diesen wesentlich abweichen. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen werden durch das DIBt erteilt. Sie stellen eine Beurteilung der Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Zulassungsgegenstandes im Hinblick auf die bauaufsichtlichen Anforderungen dar. Grundlage sind Un-

tersuchungen und Tragfähigkeitsprüfungen anhand eines abgestimmten Prüfprogramms.

2.1.4 Erforderliche Verwendungsnachweise bei Fassadenkonstruktionen in Pfosten- und Riegelbauweise

Aufgrund wiederholter Anfragen bezüglich der bauaufsichtlichen Notwendigkeit von Verwendbarkeitsnachweisen für mechanische Verbindungen bei Fassadenkonstruktionen in Pfosten- und Riegelbauweise mit linienförmig gelagerten Fassadenelementen hat das DIBt im Sommer 2003 eine Klarstellung formuliert. Hierin werden im Wesentlichen drei tragende Verbindungen für diese Art der Fassadenelemente definiert und unterschieden (Vergleiche hierzu auch Bild 1):

- Verbindungen zwischen vorgefertigten Pfosten- und Riegelprofilen,
- Klemmverbindungen zur mechanischen Befestigung von linienförmig gelagerten Fassadenelementen (z. B. Glaselementen) an vorgefertigten Pfosten- und Riegelprofilen,
- Verbindungen zur Befestigung von Auflagern zur Aufnahme des Eigengewichts ausfachenden Elemente der Fassaden (z. B. Glasauflager zur Aufnahme des Eigengewichtes der Gläser).

Quelle: DIBt Mitteilungen Jahrgang 2003 / Verwendbarkeitsnachweis für mechanische Verbindungen bei Fassadenkonstruktionen in Pfosten- und Riegelbauweise mit linienförmig gelagerten Fassadenelementen / K. Kathage

Grundsätzlich wird zwischen den Materialien der Grundkonstruktion hier nicht unterschieden. Für Holz und Holzwerkstoffe werden andere Prüfungen und Nachweisführungen zu erwarten sein, als bei Stahl oder Aluminium. So könnte z. B. das Zeitstandsverhalten der Verbindungen bei Holz zu einem Schwerpunkt bei den Nachweisen werden. Nach Rückfrage beim DIBt sind die oben beschriebenen Punkte jedoch zunächst nur für Aluminium- und Stahlkonstruktionen vorgesehen, eine Ausweitung auf Holzkonstruktionen ist aber jederzeit denkbar.

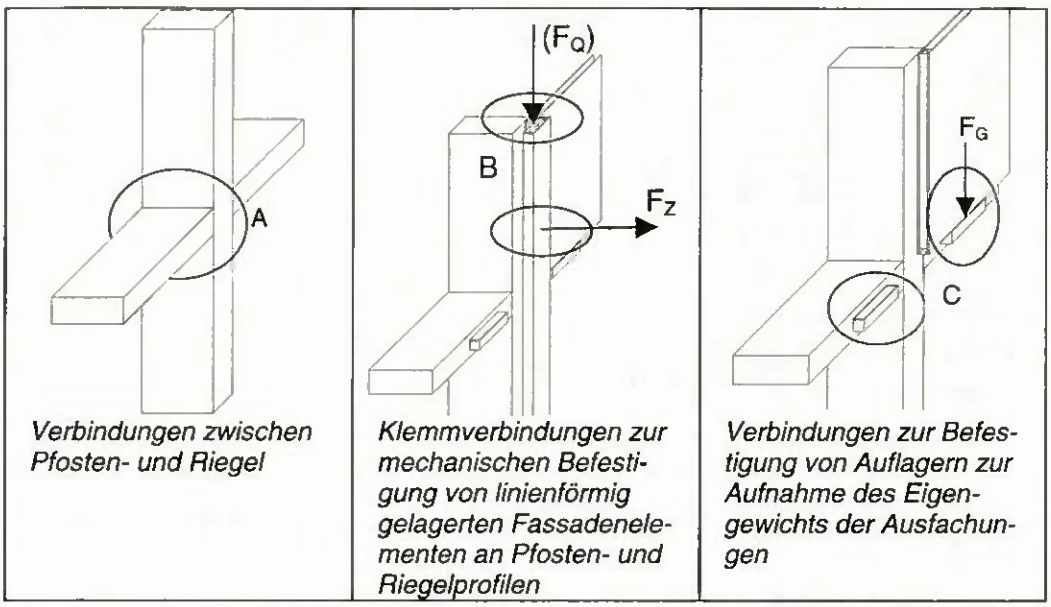


Bild 1 Die wesentlichen tragenden Verbindungen an Fassadenkonstruktionen in Pfosten- und Riegelbauweise

2.2 Anforderungen resultierend aus dem Verwendungszweck

Je nach Einsatzbereich in der Fassade stellen sich unterschiedliche Belastungen der Pfosten-Riegel-Verbindung ein. In Tabelle 2 sind Anwendungsfälle bei verschiedenen Fassadenkonstruktionen und deren Auswirkungen auf die Belastung der Verbindung beschrieben.

Die Firma Guttendörfer hat weitere Vorgaben, bei welchen Einsatzfeldern die Verbindung später verwendet werden soll. Hieraus lassen sich Anforderungen ableiten, die in Tabelle 3 unter „Festlegung" zusammengestellt sind. Im Anschluss sind anhand eines Anwendungsbeispiels die resultierenden Belastungen der Verbindungen dargestellt.

Tabelle 2 Belastungsfälle bei verschiedenen Fassadenkonstruktionen

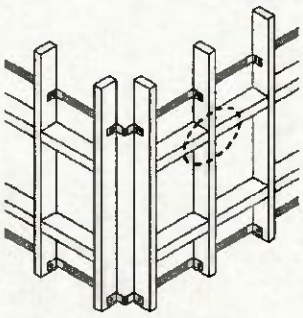
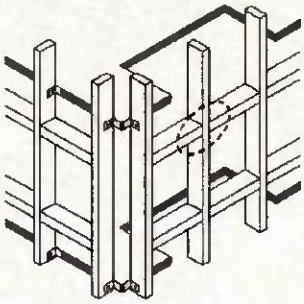
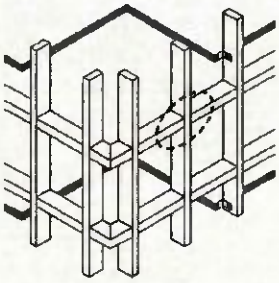
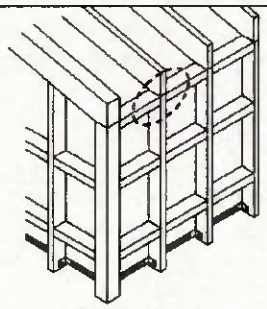
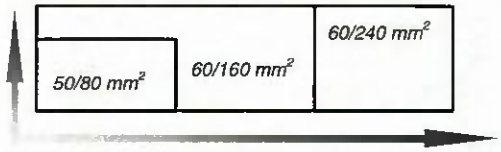
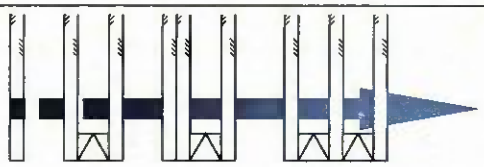
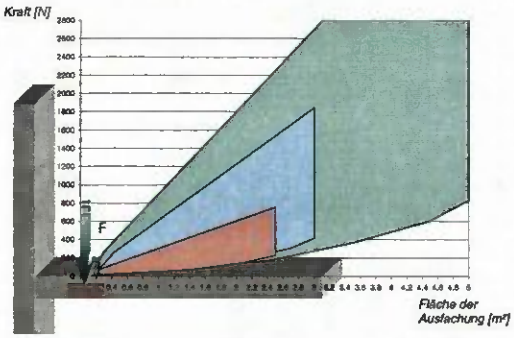
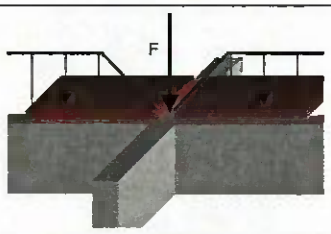
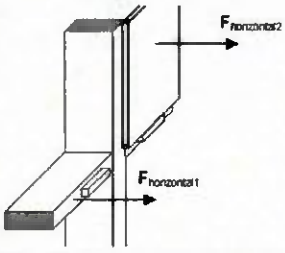
Schematische Darstellung	Belastungen
 Variante 1	Querkräfte: Wind, Verkehrslast, Glasgewicht Biegemoment: Glasgewicht / Auflager Wind, Verkehrslast Torsionsmoment: Glasgewicht exzentrisch Verschiebungen: ΔX – Quellen/Schwinden, Bauwerks-bewegungen ΔY – l/300 ≤ 8 mm ΔZ – l/300 ≤ 8 mm
 Variante 2	Querkräfte, Biegemoment, Torsions-moment: siehe Var. 1 Verschiebungen ΔX – siehe Var. 1 ΔY – siehe Var. 1, kritischer wg. Stütz-weite ΔZ – siehe Var. 1
 Variante 3	Normalkräfte: Windsog/-druck Querkräfte, Biegemoment, Torsions-moment: siehe Var. 1 Verschiebungen ΔX – siehe Var. 1 + Wind → Normal-kraft ΔY – siehe Var. 1; kritischer wg. Stütz-weiten ΔZ – siehe Var. 1
 Variante 4	Querkräfte, Biegemoment, Torsions-moment: siehe Var. 1 Verschiebungen ΔX – siehe Var. 1 + ggf. Wind ΔY – siehe Var. 1 + ggf. weitere ΔZ – siehe Var. 1

Tabelle 3 Anforderungsprofil des Herstellers

Anforderung	Skizze	Festlegung
Querschnitts-größen Pfosten und Riegel		Minimal: 50mm / 80mm Mittel: 60mm / 160mm Maximal: 60mm / 240mm
Verglasungsarten		keine Einschränkung hinsichtlich Dicke oder Glas produkte (Flächengewicht)
Glaslasten		max. Auflagerlast: 1400 N
Einbauhöhen		zunächst keine Einschränkungen, Schwerpunkt bis 20 m
Windlasten		entsprechend der Scheibenformate, keine Einschränkungen hinsichtlich Einbauhöhe und –ort
Waagerechte Verkehrslasten		privater Wohnungs-bau: 0,5 kN/m öffentlicher Bau : 1,0 kN/m entspr. DIN 1055 entspr. TRAV

Höhe über Gelände	m	0 – 8	> 8 – 20	> 20 – 100	> 100
Windgeschwindigkeit	m/s	28,3	35,8	42,0	45,6
Staudruck q	kN/m²	0,5	0,8	1,1	1,3

Bei der Entwicklung der Verbindung sollen grundsätzlich die bauaufsichtlich zugelassenen Holzwerkstoffe wie z. B. Parallam®, Intrallam®, Multiplex, Kerto® und Vollholz, Konstruktionsvollholz (KVH®) und Brettschichtholz (BSH), sowie unterschiedliche Pfosten–Riegel–Abmessungen berücksichtigt werden. Die Ansichtbreiten der Pfosten und Riegel sollen möglichst schlank sein (50 bis 60 mm), da die Forderungen der Architekten vielfach in diese Richtung zielen. Die Profilabmessungen und die Verbindung der Pfosten und Riegel müssen auf jeden Fall den statischen Anforderungen genügen. Die Verbindung muss von der Raumseite unsichtbar sein.

Um die einwirkenden Kräfte abzuschätzen, soll eine Beispielrechnung für einen sehr ungünstigen Anwendungsfall durchgeführt werden. Dieser ist nach Angaben der Firma Guttendörfer wie folgt zu beschreiben:
- Feldbreite: 2,0 m; Feldhöhe: 3,0 m
- Einbauhöhe: 8,0 – 20,0 m (Fall 1: Gebäudezentrum, Fall 2: Randbereich)
- Gesamtglasdicke: 16 mm
- Klotzabstand 0,12 m von der Riegelachse
- Abstand Glasmitte zur Riegelachse 0,10 m

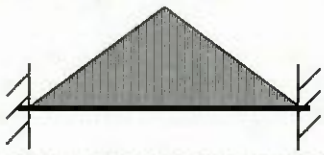
In Tabelle 4 sind die daraus resultierenden Schnittkräfte an der Verbindung zusammengestellt.

Tabelle 4 Resultierende Belastungen bei Vorgaben aus Beispiel

Nr.	Größe	Einheit	Resultierende Belastung „Gebäudezentrum“	Resultierende Belastung „Randbereich“
1	M_v	kNm	**0,14**	
2	Q_v	kN	**1,20**	
3	M_h	kNm	**0 ... 0,13***	**0 ... 0,33***
4	Q_h	kN	**0,32**	**0,80**
5	M_T	kNm	**0,12**	

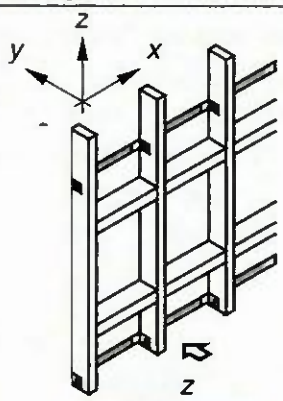
*) Grenzfall 1 und 2

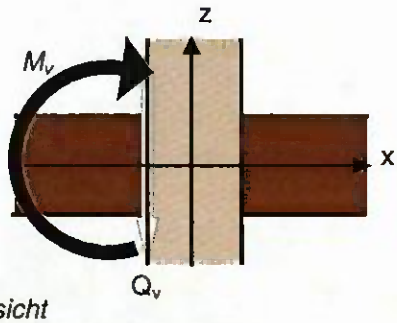
Grenzfall 1 – Gelenkige Lagerung des Riegels
Moment an Lager: 0



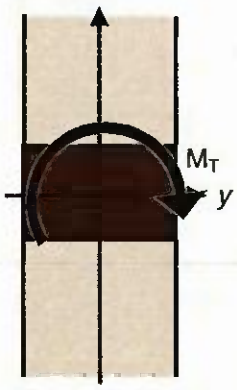
Grenzfall 2 – Feste Einspannung des Riegels
Moment an Lager: 0,13 kNm bzw. 0,33 kNm

Indizes:
v ... Vertikal
h ... Horizontal
T ... Torsion

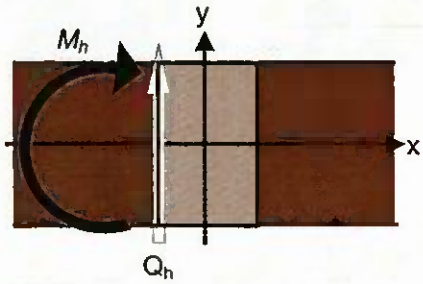




Ansicht
Belastungen durch Glasgewicht



Seitenansicht
Belastung durch Glasgewicht



Draufsicht
Belastungen durch Wind
(Beide Richtungen möglich)

2.3 Weitere technische Anforderungen

Neben den unter 2.2 beschriebenen Anforderungen sind weitere Punkte von Bedeutung.

1. Dichtheit
Neben den Lasten spielt für die Gebrauchstauglichkeit die Dichtheit der Verbindung eine wesentliche Rolle. Durch direkten Luftdurchgang über die Verbindung können große Mengen an Tauwasser in der Konstruktion entstehen, welche sowohl die visuellen Eigenschaften als auch die technischen Eigenschaften der Tragkonstruktion beeinträchtigen können. Die Verbindung muss über den Gebrauchslastbereich eine ausreichend geschlossene und somit dichte Fuge sicherstellen oder die Voraussetzungen für eine dauerhafte Abdichtung mit Zusatzmaterialien besitzen.

2. Verarbeitung
Die Verbindung soll mit einer, für einen Fenster- und Fassadenhersteller typischen Maschinenausrüstung herzustellen sein. Die Verbindung soll ohne aufwändige Fräsarbeiten in Pfosten und Riegel auskommen.

3. Klebung
Eine tragende Klebung der Verbindung ist nicht vorgesehen. Die erforderlichen organisatorischen (Leimnachweis) und technischen Voraussetzungen sind zu aufwändig für diese Anwendung. Der Einsatz von Kleb- oder Dichtstoffen für Aufgaben im Sinne von Punkt 1 ist aber denkbar.

3 Beschreibung der Verbindung

Das Konzept der Verbindung, welches Basis für die weiteren Untersuchungen ist, wurde durch die Projektpartner in den Grundzügen vorgegeben. Es handelt sich um eine stumpf gestoßene Verbindung, bei der mittels Stabdübel die Querkräfte übertragen werden und mit einer schräg durch die Bauteile verlaufenden Schraube eine Verspannung erreicht wird. Im Einzelnen:

- Querkräfte: Lastabtrag über Dübel,
- Zugkräfte: Lastabtrag über Schrauben,
- Verspannung: Schraube soll das Kleben ersetzen und eine Fugenklaffung ausschließen.

Bild 2 zeigt die Verbindung beim Zusammenfügen der Prüfkörper. Bild 3 zeigt die Schraubverbindung ohne die Dübel am Beispiel eines 60/160-Querschnittes von Pfosten und Riegel, Bild 4 zeigt die Anordnung der Dübel ohne Schrauben.

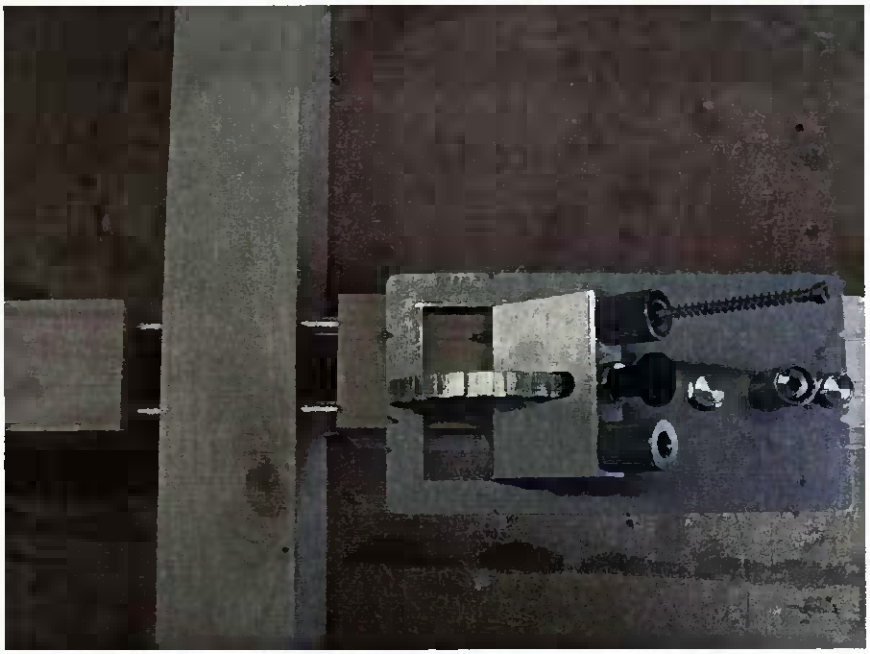


Bild 2 Montage der Verbindung, Schablone als Einschraubhilfe

Die Schrauben verfügen über eine Bohrspitze und werden mit einer Schablone angesetzt (Bild 2). Sie verfügt über einen unteren und einen oberen Gewindegang mit zwischenliegendem Schaft. Die beiden Gewindegänge verfügen über unterschiedliche Steigungen, was ein Zusammenziehen der zu fü-

genden Teile bewirkt soll (vgl. auch Bild 12). Über unterschiedliche Schaftlängen werden verschiedene Schraubenlängen realisiert. Die Prüfkörper wurden durch die Firma Guttendörfer vorbereitet und im ift montiert, um praktische Erfahrungen mit der Herstellung zu erhalten. Von der Firma SFS wurden verschiedene Vorschläge ausgearbeitet, wie die Anordnung der Schrauben in Abhängigkeit von den Querschnittsabmessungen der Pfosten und Riegel vorzunehmen ist. Für die Vorversuche wurde die Ausführung, wie in Bild 3 und Bild 4 dargestellt, gewählt. Im Zuge der Versuche wurden die Verbindungen hinsichtlich der Art und Ausführung der Dübel und Schrauben optimiert. Das Grundkonzept der Verbindung ist dabei erhalten geblieben. Die durchgeführten Änderungen sind in Kapitel 5 ausführlich beschrieben.

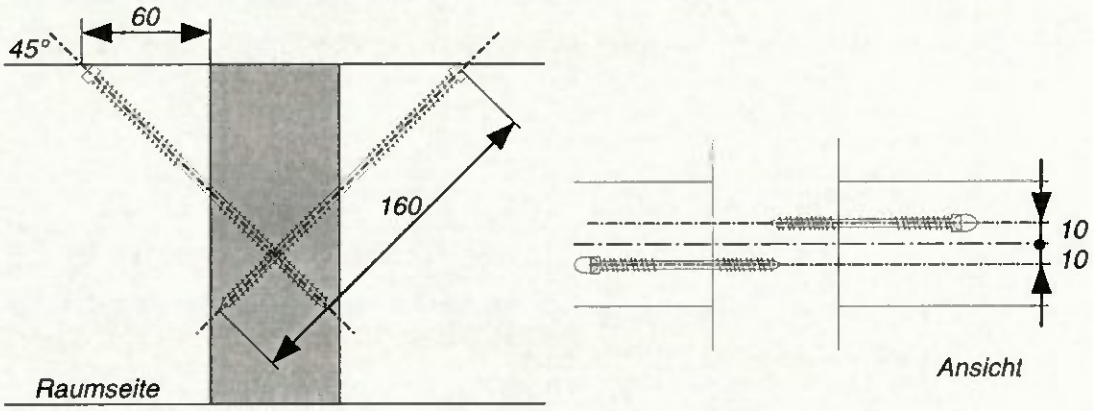


Bild 3 Schraubverbindung (Pfosten und Riegel 60/160 mm²)

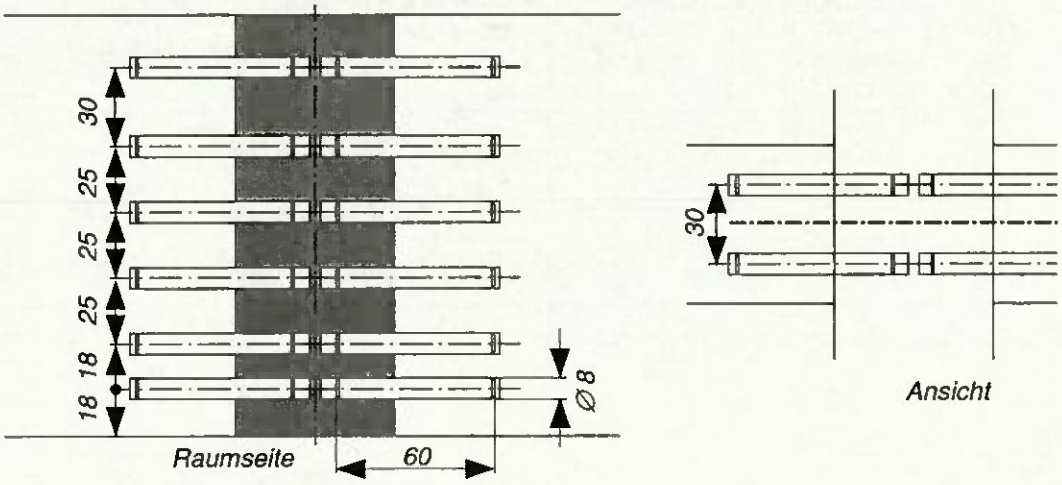


Bild 4 Dübelbild (Pfosten und Riegel 60/160 mm²)

4 Versuchsprogramm

In Abstimmung mit der Herrn Dr. Spengler, Fachgebiet Holzbau der TU München, ist ein Prüfplan mit verschiedenen Versuchsaufbauten entstanden. Die Prüfanordnungen und auch der Arbeitsplan sind in dieser Form noch als Entwurf zu verstehen, der als Basis für die Prüfungen im Rahmen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, insbesondere zur Abschätzung des Prüfumfangs, dienen kann. Die Anzahl der Prüfkörper in diesem Stadium beträgt damit 81 Stück.

4.1 Versuchsaufbauten

In Tabelle 5 sind die Prüfungen beschrieben und in Bild 5 bis Bild 9 dargestellt.

Tabelle 5 Prüfungen

Schema	Belastungsart	Schnittgrößen	Messstellen
(1)	Biegemoment resultierend aus Glasgewicht und Versatz des Glasauflagers kombiniert mit Querkraft	angreifendes Moment, (auch Querkraft möglich)	Absenkung des Riegels, Fugenöffnung
(2)	Biegemoment resultierend aus Windlast	angreifendes Moment	Verschiebung der Riegel, Fugenöffnung
((1) +) (3)	Biegemoment resultierend aus Glasgewicht und Torsionsmoment durch vorgesetztes Glasauflager	angreifendes Moment, Torsionsmoment, (auch Querkraft möglich)	Absenkung des Riegels, Fugenöffnung
(4)	Zugbelastung bei einseitigem Pfosten und durchlaufenden Riegel	Zugkraft	Fugenöffnung
(5)	„Reine" Querkraft durch Glaslast	Querkraft	Absenkung des Riegels, Fugenöffnung
(6)	„Reines" Moment durch Glaslast	Moment	Absenkung des Riegels, Fugenöffnung

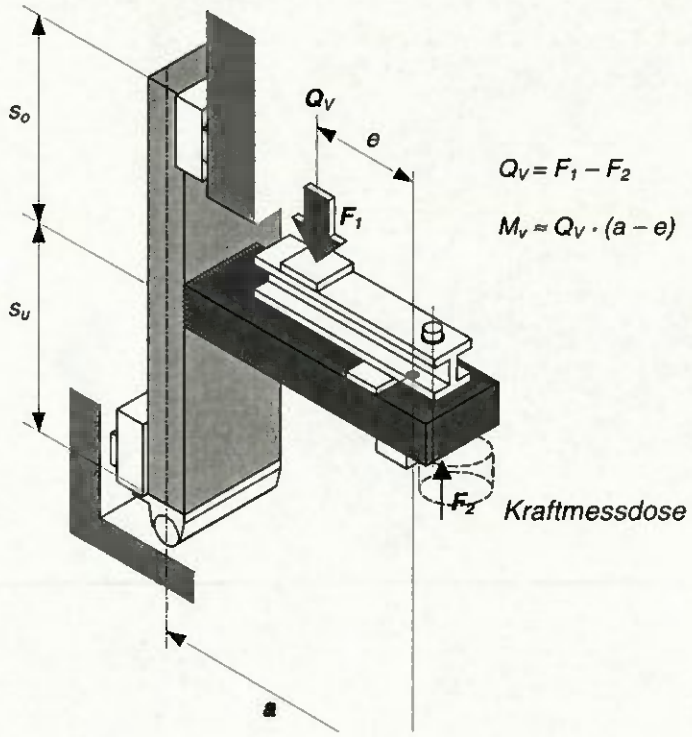
Im Rahmen des Prüfplanes stehen die Tragfähigkeitsprüfungen im Vordergrund. Der vorgeschlagene Arbeitsplan kann im Rahmen des Zulassungsver-

fahrens durch das DIBt um weitere Prüfungen ergänzt werden. Dabei könnten Anpassungen bei

- der Ausführung der Prüfkörper (Montagevariationen),
- Anzahl der Prüfungen,
- Ergänzende Prüfungen z. B. Langzeitprüfungen mit entsprechender Belastung, Klimavariationen wie Wechselklima,

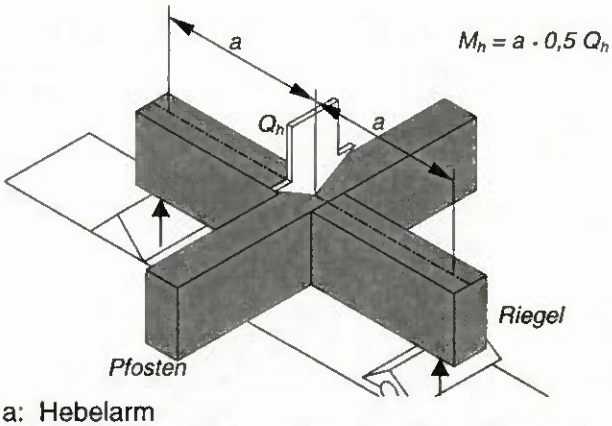
u. ä. vorgeschrieben werden.

Wie der Vergleich des angegebenen Prüfprogramms mit den Klarstellungen des DIBt zeigt, sind die vorgesehenen Prüfungen Bestandteil zur Beurteilung der Verbindungen zwischen vorgefertigten Pfosten- und Riegelprofilen. Es ist abzusehen, dass die Fragen der Klemmverbindungen und der Verbindungen zur Befestigung von Auflagern gesondert zu betrachten und nachzuweisen sind, was aber nicht Bestandteil der Arbeiten in diesem Projekt ist.



a : Abstand Pfostenachse – Angriffspunkt des Biegemomentes
s_o : Abstand Riegelachse zum Pfostenende oben
s_u : Abstand Riegelachse zum Pfostenende unten
e : Hebelarm des Momentes

Bild 5 Prinzip der Prüfanordnung für Belastung (1) „Biegung" vertikal



a: Hebelarm

Bild 6 Prinzip der Prüfanordnung für Belastung (2) „Biegung horizontal" zur Simulation von horizontalen Lasten wie Winddruck und –sog

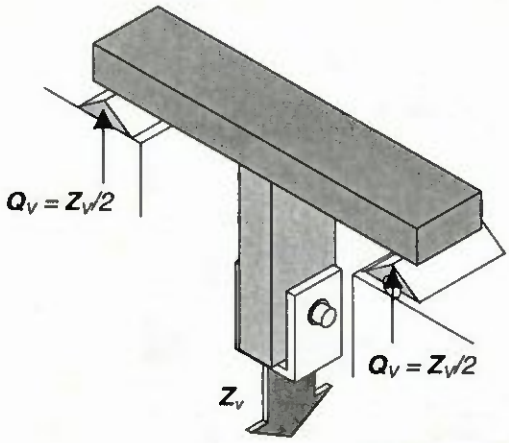
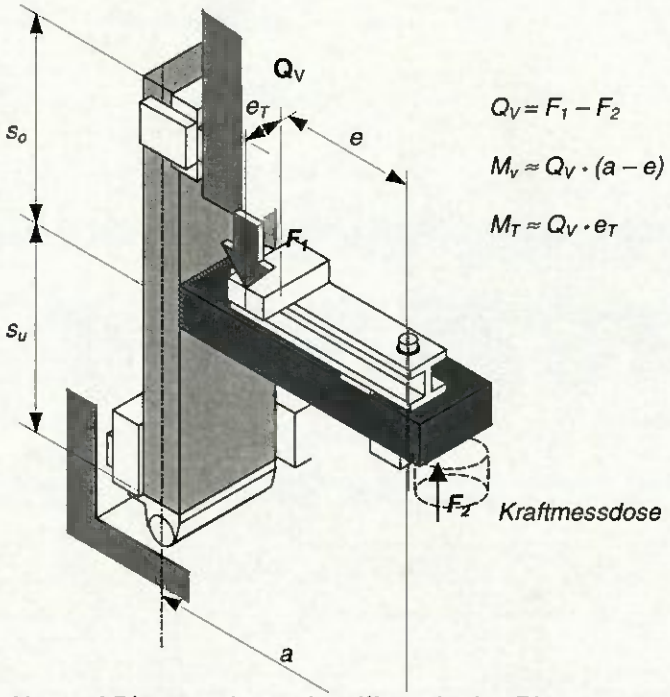
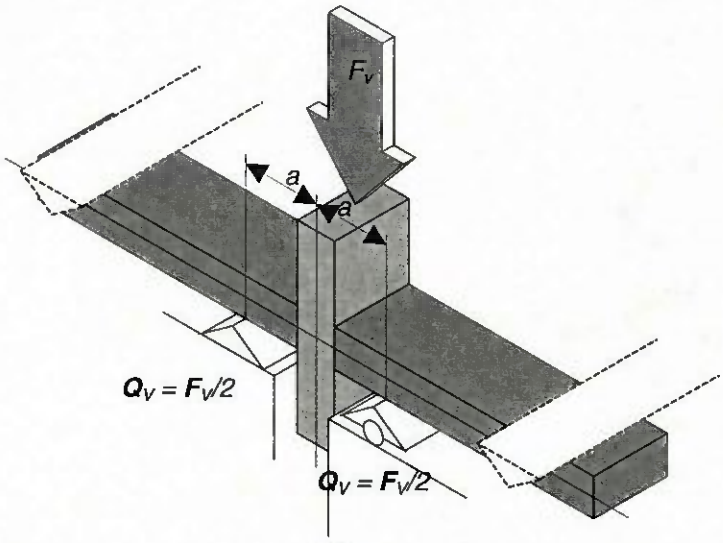


Bild 7 Prinzip der Prüfanordnung für Belastung (4) „Zug" – Vorgesehen z. B. für Zeitstandsversuch



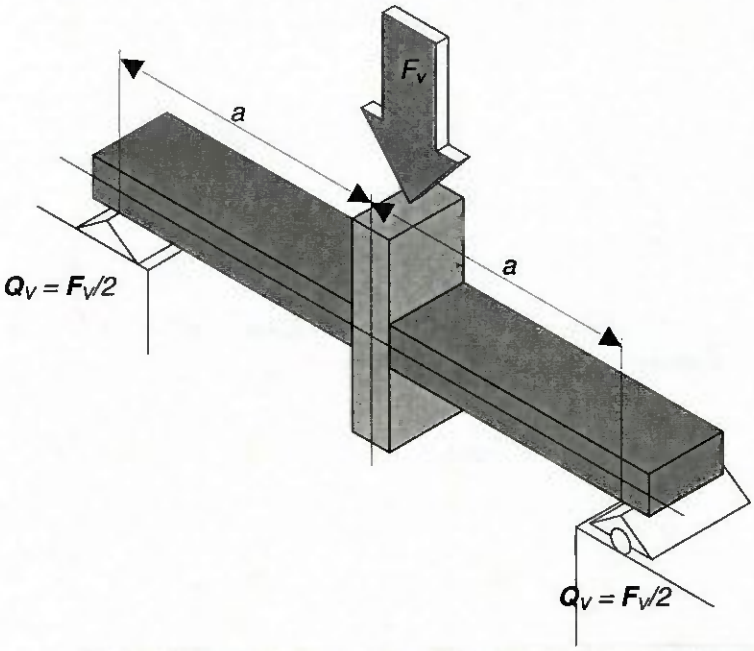
a : Abstand Pfostenachse – Angriffspunkt des Biegemomentes
s_o : Abstand Riegelachse zum Pfostenende oben
s_u : Abstand Riegelachse zum Pfostenende unten
e : Hebelarm des Momentes
e_T : Abstand Kraftangriffspunkt – Riegelachse; Hebelarm des Torsionsmomentes

Bild 8 Prinzip der Prüfanordnung für Belastung (1) + (3) „Biegung" vertikal mit Belastung „Torsion" – „Glaslast"



Belastungssituation „Max Q"

a kleinstmöglich:
$M_V \approx 0$



Belastungssituation „Max M"

$M_V = 0{,}5 \times a \times F_V$

a : Abstand Pfostenachse – Angriffspunkt des Biegemomentes

Bild 9 Prinzip der Prüfanordnung für Belastung (5) „Max Q" und (6) „Max M"

4.2 Prüfplan

Der in Zusammenarbeit mit der TU München entstandene Prüfplan enthält die folgenden Parameter, welche eventuell auch bei einer späteren ABZ zu prüfen wären (Tabelle 6).

Tabelle 6 Parameter des ersten Prüfplans

Parameter	Variationen		
Material	Brettschichtholz (BSH) aus Nadelholz	BSH aus Laubholz	Birke-Mulitplex
Abmessungen	Minimal	Mittel	Maximal
Ausführung der Verschraubung	ohne vorbohren	mit vorbohren	
Klimabedingungen bei Herstellung (H), Konditionierung (K), Prüfung (P); N: Normal, F: Feucht	H : N K : N P : N	H : N K : F P : N	H : N K : F P : F

4.3 Prüfkörper

Die ersten orientierenden Prüfungen wurden mit der wie unter Kapitel 3 beschriebenen Ausführung als Prüfkörper in T- oder X-Form vorgenommen. Die Veränderungen an der Verbindung sind bei den jeweiligen Prüfungen beschrieben. Die Bauteile wurden von der Fa. Guttendörfer vorgefertigt und am ift montiert, folgende Ausführungen wurden gewählt (Tabelle 7).

Tabelle 7 Prüfkörper der Vorversuchsreihe

Versuchsreihe*	Material	Abmessungen	Schraube	Klima	Belastungsart
1	Brettschichtholz (BSH) aus Nadelholz	Minimal	nicht vorgebohrt	H : N K : N P : N	(1)
2		Mittel			(1)
5		Maximal			(1)
6		Mittel			(2)
7		Mittel			(3)
*Nummerierung angelehnt an ursprünglichen Prüfplan					

4.4 Prüfablauf Kurzzeitprüfungen

Es ist zunächst die geschätzte Bruchlast F_{est} der Verbindung für jede Belastungsart durch die Vorversuche zu ermitteln.

Der Belastungszyklus für die Belastungsprüfung wird unter Bezug auf DIN EN 26891 wie in Bild 10 durchgeführt. Bei der Prüfung ist die Last bis auf $0{,}4*F_{est}$ aufzubringen und dort 30 s konstant zu halten. Die Last ist anschließend auf $0{,}1*F_{est}$ zu verringern und erneut 30 s konstant zu halten. Danach ist die Last zu steigern, bis die Bruchlast oder eine Verschiebung von 15 mm erreicht ist. Unterhalb von $0{,}7*F_{est}$ ist eine konstante Belastungs- bzw. Verschiebungsgeschwindigkeit von $0{,}2*F_{est}$ je min ± 25 % einzuhalten. Oberhalb von $0{,}7*F_{est}$ ist mit einer konstanten Verschiebungsgeschwindigkeit zu fahren, die so bemessen wird, dass die Bruchlast oder eine Verschiebung von 15 mm innerhalb einer zusätzlichen Prüfdauer von 3 bis 5 min erreicht ist (Gesamt-Prüfzeit etwa 10 bis 15 min je Prüfkörper).

Die Prüfung darf abgebrochen werden, wenn die Bruchlast erreicht ist oder die Verschiebung 15 mm beträgt.

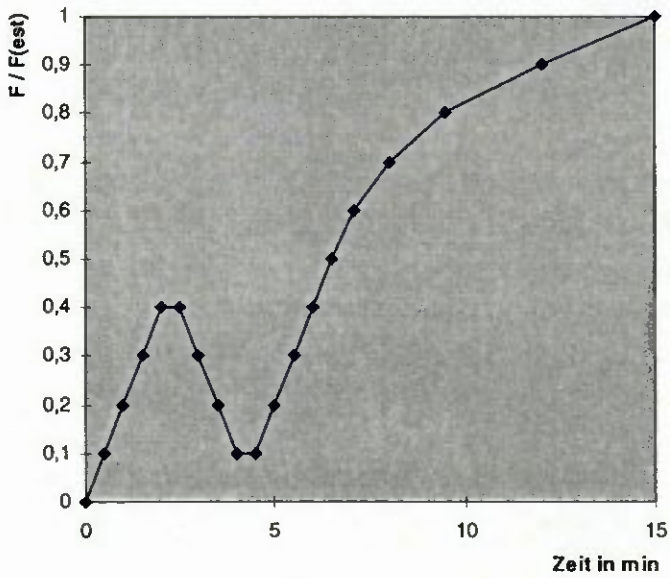


Bild 10 Belastungsverfahren

4.5 Prüfablauf Langzeitprüfungen

Um das Zeitstandsverhalten der Verbindungen zu untersuchen wurde eine Vorrichtung gebaut, welche realistische Langzeitbelastungen auf die Prüfkörper ausüben kann. Mittels eines Hebels mit einem Verhältnis von 10 : 1 können bis zu 10 kN Dauerlasten ausgeübt werden. Bild 11 zeigt die Prüfvorrichtung. Darin werden die Prüfkörpern in Reihe eingehängt und über geeignete Seile und Laschen die Kräfte eingeleitet. Die Prüfkörper werden dann über Zeiträume von mindestens 90 Tagen mit der Last beaufschlagt. Es besteht die Möglichkeit, sowohl statische Lasten als auch dynamische Belastungen zu simulieren. Es wird regelmäßig an geeigneten Messpunkten eine Maß- oder Winkeländerung gemessen und abschließend eine Bewertung des Zustandes der Verbindung vorgenommen.

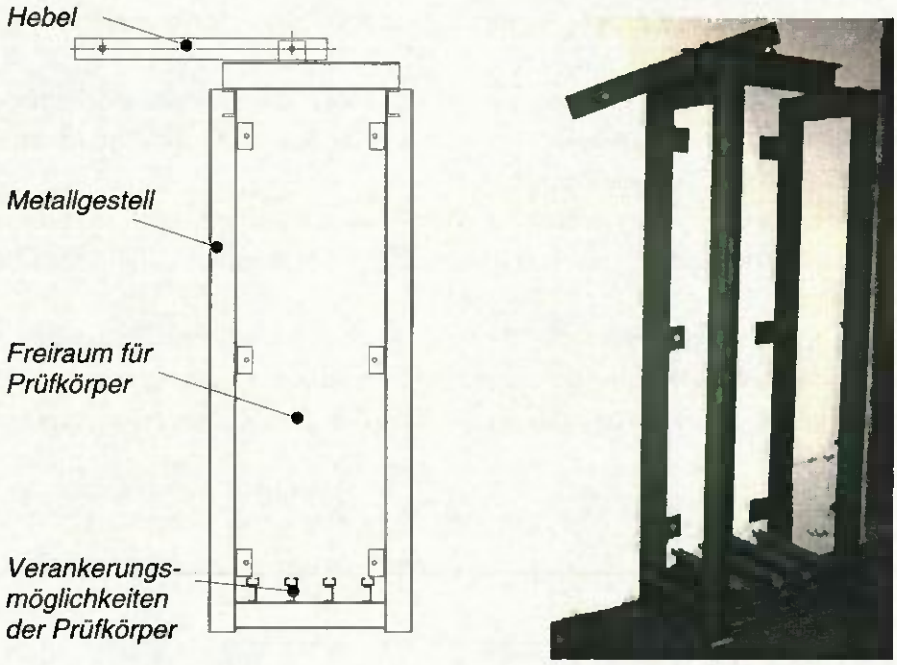


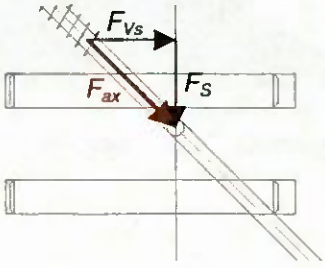
Bild 11 Prinzipdarstellung und Foto der Prüfvorrichtung für Zeitstandsversuche, Nutzbare Höhe ca. 2,0 m

5 Ergebnisse der Vorversuche und Optimierung der Verbindung

5.1 Prüfkörpermontage

Die wesentlichen Erkenntnisse bei der Montage der verschiedenen Ausführungen sind nachfolgend beschrieben.

- Für die Vorspannung der Verbindung sind äußere Vorrichtungen erforderlich. Die Schraube kann alleine aufgrund des Einschraubwinkels keine Verspannung der Verbindung erzielen (siehe Bild 12),
- Beim Verspannen ist ein gleichmäßiger Druck über den Querschnitt aufzubauen, um eine gleichmäßige Anlage zu erreichen,
- Bei 45° Einschraubwinkel der Schraube ist ein Abstand (Vorholzlänge l_V) von mindestens 60 mm zum Riegelende vorzusehen (geringere Spaltwirkung). Wird der Riegel vorgebohrt, kann dieser Abstand auf ca. 50 mm verringert werden, außerdem kann dann auf die Schablone verzichtet werden,
- Beim Einschrauben kann es zu einem Verlaufen der Schrauben kommen, Winkelabweichungen in alle Richtungen von bis zu ca. 5° sind an verschiedenen Prüfkörpern vorgekommen,
- Es muss mit einer geeigneten Drehmomenteinstellung gearbeitet werden, um z. B. ein Abdrehen der Schraube bei direktem Kontakt mit einem Dübel zu vermeiden,
- Die Schraubenlängen oder die Schraubenposition müssen insbesondere bei den kleineren Holzquerschnitten exakt angepasst werden, um Fehler durch verlaufende (Bild 13) oder zu tief sitzende Schrauben zu vermeiden.



F_{ax}	*Spannkraft in axialer Richtung der Schraube*
F_{Vs}	*Kraftkomponente, welche eine Verspannung der Verbindung bewirkt*
F_S	*Scherkraft in Fugenebene*

Bild 12 Verspannung der Verbindung

Bild 13 Verlaufende Schrauben: Spitze stand am Dübel an, beim Einschraubvorgang brach der Schaft und schob sich weiter an dem angebrochenen Vorderstück vorbei

5.2 Vorversuche – Verbindung ohne Optimierung

Für die Vorversuche wurden fünf Versuchsreihen des Prüfplans ausgewählt (vgl. Tabelle 7), um für eine erste Orientierung alle Versuchsaufbauten und wesentliche Parameter abzudecken. Die Prüfkörper hatten als Abmessung 50/80 mm², 60/160 mm² und 60/240 mm². Bild 14 zeigt exemplarisch einen Versuchsaufbau. Es handelt sich um den Belastungsfall (1) wie er in Bild 5 schematisch dargestellt ist.

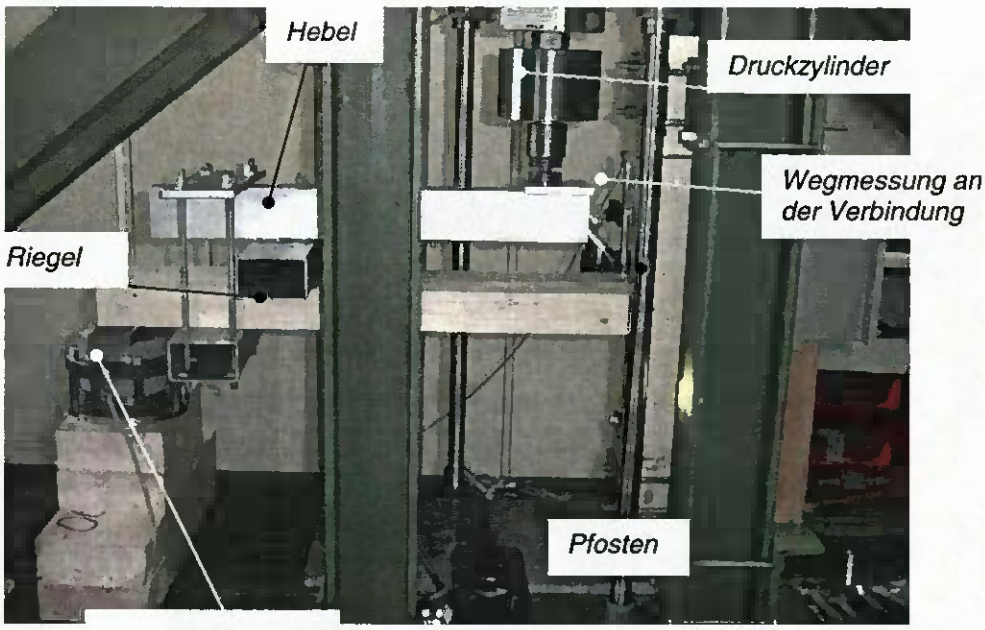


Bild 14 Prüfanordnung zum Vorversuch für Belastung (1) M_v- Q_v

Beim Belastungsfall (2) M_q- Q_q, entsprechend einer Windsog-/Winddruck-Belastung sind aufgrund der Anordnung der Verbindungsmittel zwei Belastungsrichtungen zu berücksichtigen (Bild 15). Bei diesen Voruntersuchungen wurden ausschließlich Prüfkörper mit dem Querschnitt 60/160 mm^2 untersucht. Bild 21 zeigt einen belasteten Prüfkörper. Die Auswertung der Kraft/Weg-Diagramme ergibt Unterschiede hinsichtlich Bruchlastniveau und Verformungsverhalten (Bild 16; Bild 22).

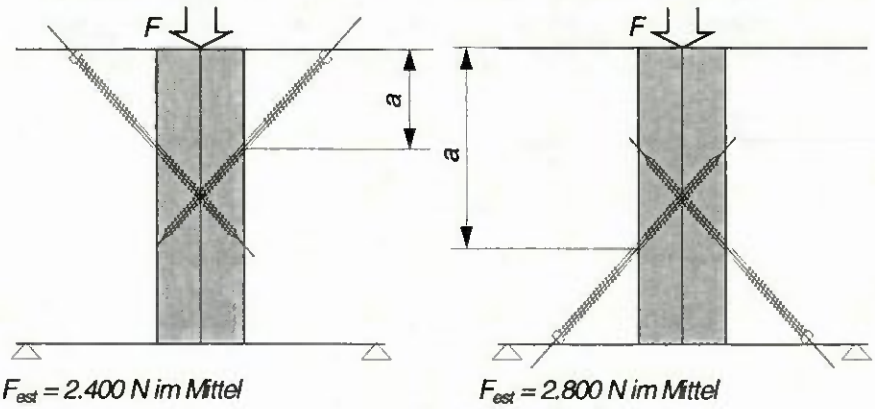


Bild 15 Geprüfte Belastungen Winddruck (links) und Windsog (rechts) - schematisch, Unterschiedlicher Abstand a zum belasteten Rand

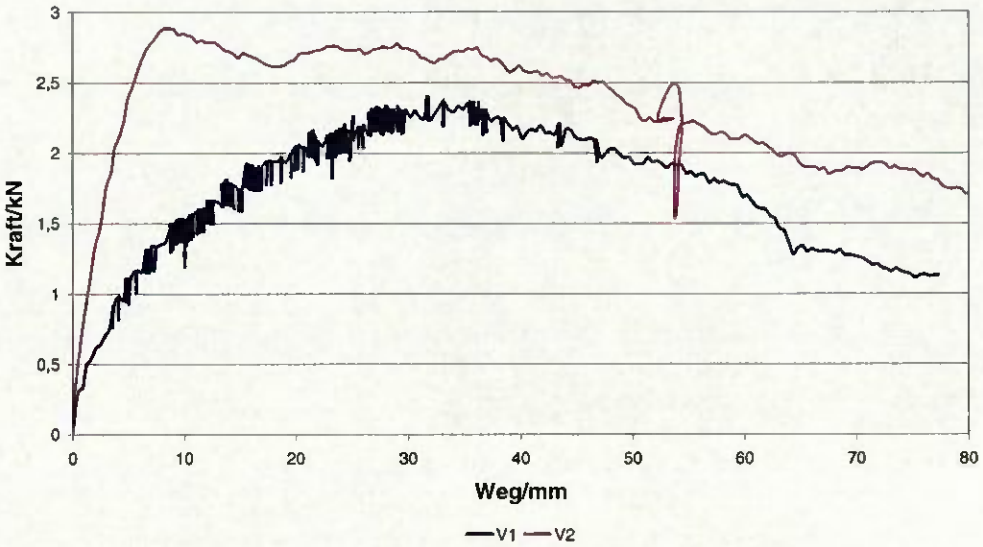


Bild 16 Kraft/Weg-Diagramm aus Winddruck (V1 - untere) und Windsog (V2 - obere), reine Messwertaufzeichnung

Der Belastungsfall (1) + (3) (Bild 8) entspricht der Krafteinleitung über die im Falzbereich angesetzten Glasauflager. Die exzentrische Lasteinleitung wird über die außermittige Montage des Hebelarms und der zur Falzseite verlagerten Stempelauflage (Bild 17) erreicht. Der Kraftangriffspunkt liegt dabei noch über dem Holzquerschnitt (Anfangstellung über der Holzkante: $e_T \approx$ 40 mm) und nicht wie in der Realität im Falzbereich. Eine Nachbildung der Realität ist mit den hergestellten Vorrichtungen auf der Prüfmaschine nicht möglich, da es zu einem übermäßigen Ausweichen des Prüfkörpers mitsamt Hebel kommt.

Bild 23 zeigt das typische Bruchbild mit Querzugversagen des Holzes an der oberen Dübelreihe beginnend von der Falzseite. Als F_{est} bei einem Querschnitt von 60/160 mm² wurden 9.800 N im Mittel erreicht.

Bild 17 Prüfanordnung zum Vorversuch für Belastung (7) M_{TR}

5.3 Zusammenfassung der Vorversuche

Bei den Vorversuchen konnten verschiedene Beobachtungen gemacht werden, welche die Eignung der Verbindung in der geprüften Form für den Einsatz an Pfosten-Riegel-Fassaden in Frage stellen. Bei allen Versuchen fällt auf, dass sich bei der Belastung der Verbindung sofort ein Schlupfanteil (z. B. Bild 24) bemerkbar macht. Dies führt zu einer merklichen Öffnung der Fuge zwischen Pfosten und Riegel. Dabei reicht bereits das Eigengewicht der Hölzer aus (vgl. Bild 18). Die auftretenden Verschiebungen (≈ Fugenbreiten) nehmen nach einer Anfangsphase, in welcher sich der Schlupf in der Verbindung ausgleicht, weitgehend linear bis zu den ersten Brucherscheinungen zu (Bild 24). Aus den Vorversuchen konnten folgende Werte ermittelt und Erkenntnisse abgeleitet werden (Tabelle 8).

Tabelle 8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Quer-schnitt / mm²	Ver-suchs-reihe	F_{est} / N	Verformungs-verhalten	Bruchbild
50/80	(1)	5.100	Fuge öffnet sich sofort bei Belastung; bei zunehmendem Moment: Fugenöffnung proportional	beginnendes Querzugversagen im Holz des Riegels an oberer Dübelreihe (Bild 18), teilweise Bruch am Ansatz des Hebels
60/160	(2)	12.400	Fuge öffnet sich sofort bei Belastung, bei zunehmendem Moment im Gebrauchslastbereich dann zunächst keine wesentliche Vergrößerung	Vollständiges Querzugversagen im Holz des Riegels an oberer Dübelreihe, untere Dübelreihe knickt ab, Schraube wird verbogen, dann Gewinde aus dem Holz gezogen, teilweise auch am unteren Gewindeabsatz abgerissen (Bild 19).
60/240	(5)	14.300	Fuge öffnet sich sofort bei Belastung, bei zunehmendem Moment im Gebrauchslastbereich dann zunächst keine wesentliche Vergrößerung	Querzugversagen im Holz des Riegels in Form von beginnender Rissbildung (Bild 20), keine wesentlichen Veränderungen an Schraube und Dübel, Fugenbildung > 1 mm
60/160	(6) – Winddruck	2.400	Fuge öffnet sich sofort bei Belastung; bei zunehmendem Moment: Fugenöffnung proportional	sofortige Fugenbildung, herausrutschen der Dübel, Schraube wird verbogen, dann Gewinde aus dem Holz gezogen, Überschreitung der Druckfestigkeit des Langholzes im Pfosten an der oberen Kante (Bild 22)
60/160	(6) – Windsog	2.800	Wie bei Winddruck, geringfügig besseres Verhalten	dto. wie Winddruck (Bild 21)
60/160	(7)	9.800	Fuge öffnet sich sofort bei Belastung, bei zunehmendem Moment im Gebrauchslastbereich dann zunächst keine wesentliche Vergrößerung	Vollständiges Querzugversagen im Holz des Riegels an oberer Dübelreihe beginnend an der Falzseite (Bild 23), untere Dübelreihe knickt ab, Schraube wird verbogen, dann Gewinde aus dem Holz gezogen, teilweise auch am unteren Gewindeabsatz abgerissen.

Bild 18 (1) Offene Fuge im unbelasteten Zustand von ca. 0,5 mm

Bild 19 (2) Verbindungsmittel nach Belastung

Bild 20 (5) Beginnendes Querzugversagen

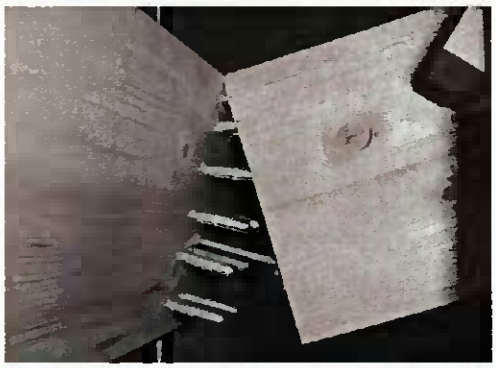


Bild 21 Belastung (6) M_q- Q_q „Windsog"

Bild 22 Belastung (6) M_q- Q_q „Winddruck"

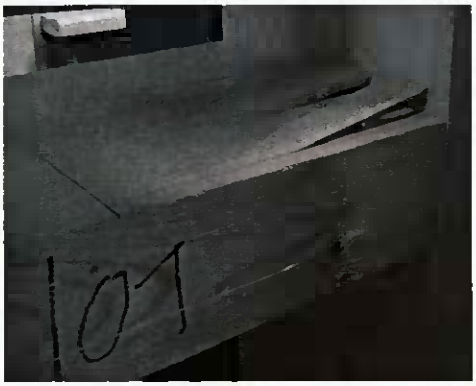


Bild 23 (7) Querzugversagen des Holzes an der oberen Dübelreihe zur Falzseite

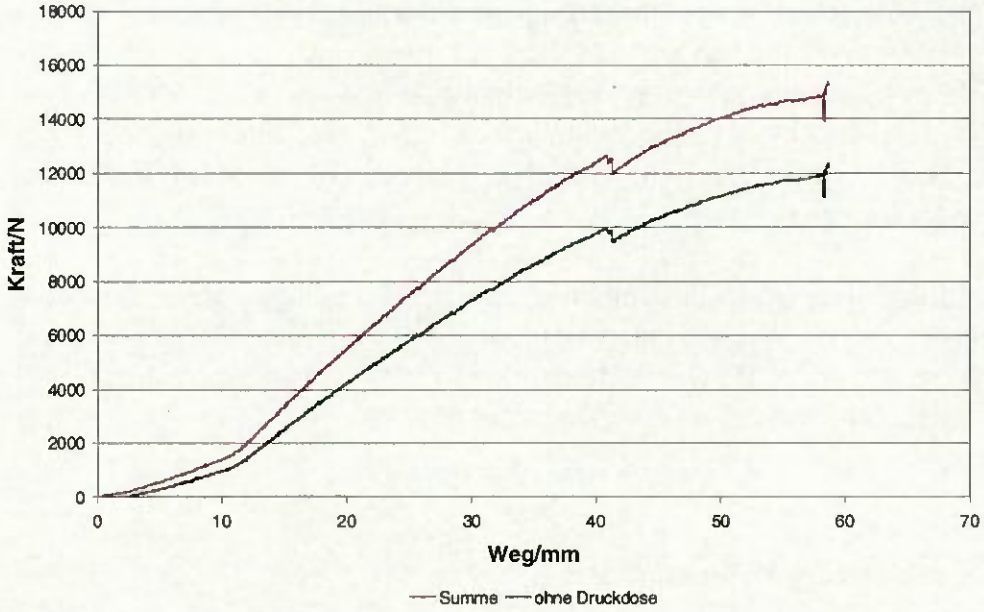


Bild 24 typisches Kraft-Weg-Diagramm Versuchsreihe (2) obere Linie: Gesamtkraft, untere Linie abzüglich Kraft ermittelt an zusätzlicher Kraftmessdose am freien Ende (siehe auch Bild 14); reine Messwertaufzeichnung

Beim Belastungsverfahren gemäß Bild 10 ergibt sich folgende typische Hysterese (Bild 25) ohne plastische Verformungen.

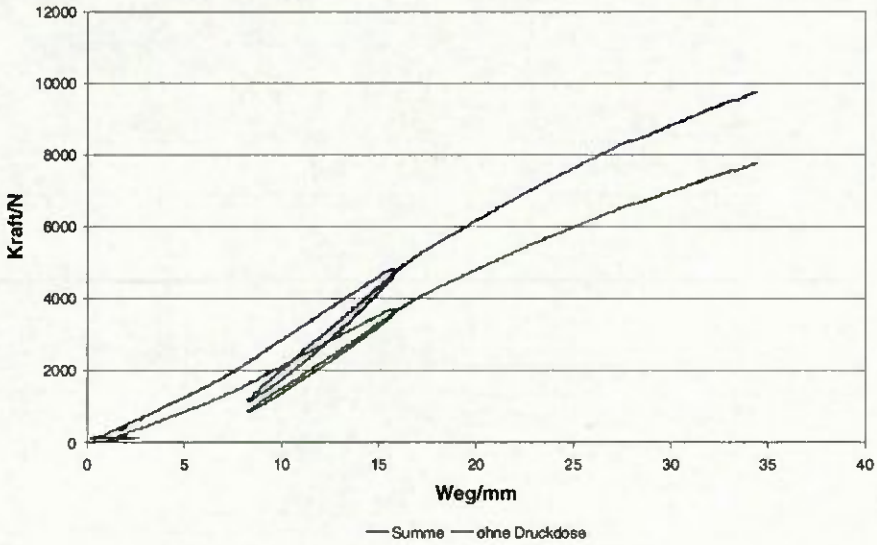


Bild 25 Hysterese bei Versuchsreihe (2), obere Linie: Gesamtkraft, untere Linie abzüglich Kraft ermittelt an zusätzlicher Kraftmessdose am freien Ende (siehe auch Bild 14), reine Messwertaufzeichnung

Die Ergebnisse bei Belastungsrichtung rechtwinklig zur Fassadenebene, Versuchsreihe (6) für Winddruck und -sog, fallen ungünstig aus. Aufgrund der gewählten Schraubenposition sind richtungsabhängige Unterschiede festzustellen. Sowohl die erzielten Kräfte als auch die Verschiebungen lassen ohne Optimierung der Verbindung keinen Einsatz bei gängigen Fassadenkonstruktionen zu.

Die Überlagerung mit einem Torsionsmoment um die Riegelachse, Versuchsreihe (7) führt im Vergleich zu Versuchsreihe (2) zu einer Reduzierung der Bruchlast um ca. 20 %. Das Verformungsverhalten ist vergleichbar mit Versuchsreihe (2) - siehe Kraft-Weg-Diagramm Bild 24.

5.4 Optimierung der Verbindung

Die Ziele für die Optimierung der Verbindung lassen sich durch einen Vergleich mit der aufgestellten Anforderungs- und Prioritätenliste formulieren (Tabelle 9). Insbesondere die mit Priorität „A" bewerteten Anforderungen, die nicht oder nur teilweise erfüllt werden, müssen bei der Überarbeitung berücksichtigt werden. Die festgestellten Schwachpunkte des geprüften Konstruktionskonzeptes sind in Bild 26 am Beispiel eines 60/160 mm^2-Querschnitts dargestellt.

Tabelle 9 Ist-Situation im Vergleich zu den Anforderungen

Nr.	Anforderung	Beschreibung	Priorität	Voll erfüllt	Ansätze vorhanden, zu optimieren	Nicht erfüllt
1.	Dichtheit	Verbindung muss dauerhaft dicht gegen Feuchte und Luft sein (entsprechend DIN 68121-2)	A			●
2.		kein Eindringen von Feuchtigkeit ins Holz durch Fugen	A			●

Nr.	Anforderung	Beschreibung	Priorität	Voll erfüllt	Ansätze vorhanden, zu optimieren	Nicht erfüllt
3.	mechanische Eigenschaften	Lasten pro Glasauflager von ca. 1,4 kN müssen abgetragen werden.	A	●		
4.		Horizontale Wind- und Verkehrslasten müssen abgetragen werden.	A		●	
5.		Übertragung von Momenten, um eine biegesteife Ecke während der Montage ohne konstruktive Aussteifungsmaßnahme zu ermöglichen.	B			●
6.	Dichtungselement	Verbindungsmittel sollte ohne zusätzlichem Dichtungselement verarbeitet werden können.	B			●
7.	Architektonische Anforderung	Verbinder darf nicht von der Raumseite sichtbar sein.	A	●		
8.	Dimensionen	Verbinder soll für unterschiedliche Riegelabmessungen verwendet werden können. (Breite bis 60 mm, Tiefe 80 –240 mm)	A		●	
9.		Minimale Ansichtsbreite von 50 mm soll möglich sein	A		●	
10.	Montage	Eine Vormontage im Betrieb soll möglich sein.	B		●	
11.		Unterschiedliche Montageformen (Einzelmontage, Feldmontage, Leiterbauweise) sollen möglich sein	B		●	
12.	Werkstoffe	Werkstoffeigenschaften sollen eine einfache Herstellung bei ausreichender Festigkeit ermöglichen.	B		●	
13.	Verarbeitung	Verarbeitung des Verbinders soll mit einfachen Handwerksmaschinen möglich sein.	B	●		

Nr.	Anforderung	Beschreibung	Priorität	Voll erfüllt	Ansätze vorhanden, zu optimieren	Nicht erfüllt
14.		Verarbeitungszeit soll im Bereich einer normalen Dübelverbindung liegen.	B	●		
15.	Lösbarkeit	Lösen der Verbindung an montierter Fassade zum Austausch von Einzelteilen	C			●

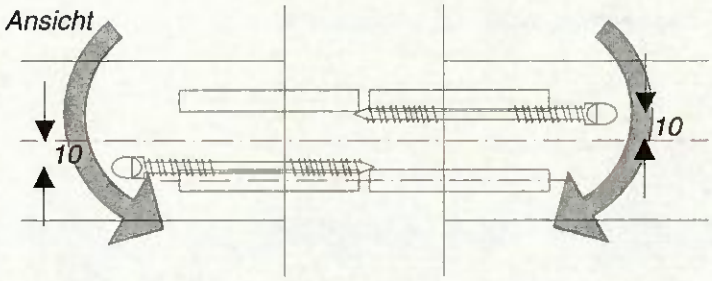
A = Festforderung:
muss unbedingt erfüllt werden, ansonsten Ausschluss der Lösung.

B = Mindestforderung:
kann im Sinne einer Verbesserung über bzw. unterschritten werden.

C = Wunsch:
sollte ohne Mehraufwand berücksichtigt werden, bei Nichterfüllung kein Ausschluss der Lösung.

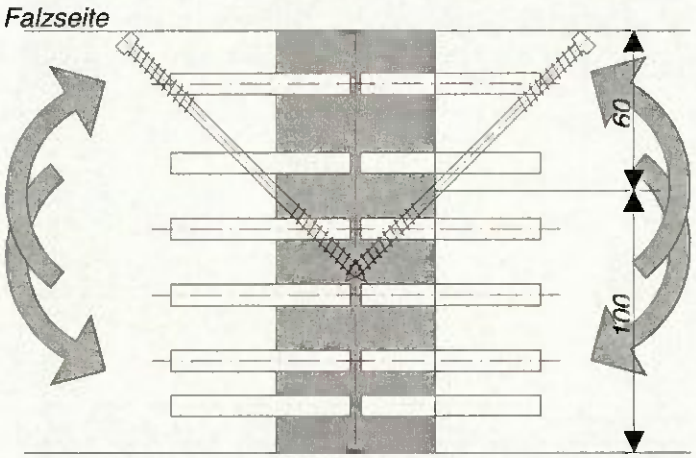
D = Zusatz:
muss möglich sein, wenn Mehraufwand gedeckt.

Vergleicht man die Anforderungen mit den Erkenntnissen aus den Voruntersuchungen (Tabelle 10) wird deutlich, dass wesentliche Funktionen von der Verbindung nicht abgedeckt werden. Aus dieser Analyse werden Optimierungsmöglichkeiten erarbeitet ().



Überschneidung von Schraube und Dübel: erschwertes Einschrauben

Unsymmetrie der Verbindung: Pro Riegel 1x in der Druckzone; 1x in der Zugzone (→ anzustreben).



Unsymmetrie bei gewählter Schraubenposition; nur eine Schraube: Unterschiedliche Werte bei Windsog und –druck, Geringe Fixierung des raumseitigen Profilteils mit Fugenbildung, Fixierung der falzseitigen Randzone auch nicht deutlich besser.

Bild 26 Schwachpunkte an der geprüften Verbindung, die grauen Pfeile zeigen die Momente aus den Belastungen an.

Tabelle 10 Analyse und Optimierungsansätze

Bereich	
A	*Verbindungs-Zugbereich*
B	*Verbindungs-Druckbereich*
C	*Sowohl Zugbereich als auch Druckbereich*
D	*Sowohl Zugbereich als auch Druckbereich*
A:	*Verbindungsmittel muss Zugkräfte aufnehmen.*
B:	*Verbindungsmittel muss Querkräfte aufnehmen. Druck wird über Flächenpressung der Bauteile aufgenommen.*
C + D:	*Insbesondere in den Randzonen müssen Zugkräfte aufgenommen werden. Druck wird über Flächenpressung der Bauteile aufgenommen. Querkräfte werden über gesamten Querschnitt abgetragen.*

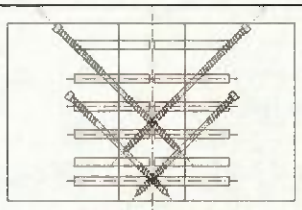
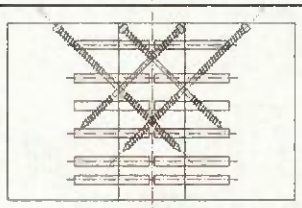
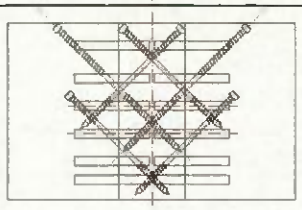
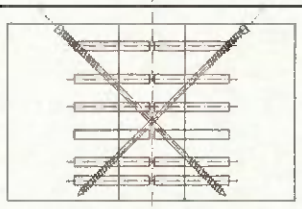
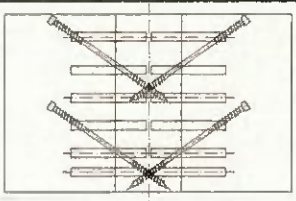
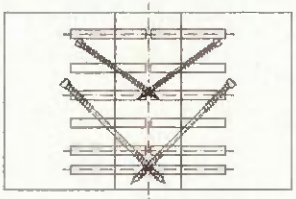
Ist-Zustand:

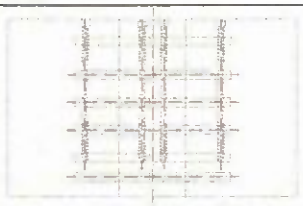
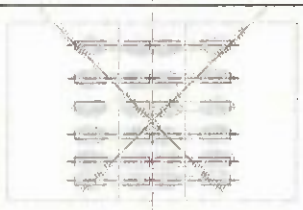
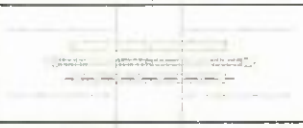
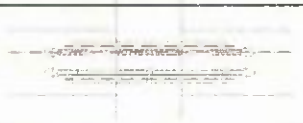
	Dübel	***Schraube***
A:	*Nimmt keine Zugkräfte auf* *Nimmt kaum Querkräfte auf (Querzugversagen des Riegels)*	*Nimmt nur an einem Riegelende Zugkräfte auf*
B:	*Nimmt Querkräfte auf*	*Nimmt keine nennenswerten Querkräfte auf→ geringer Durchmesser*
C + D:	*Nimmt keine Zugkräfte auf* *Nimmt Querkräfte auf*	*Nimmt eingeschränkt Zugkräfte auf* *Nimmt keine Querkräfte auf→ geringer Durchmesser*

Vorgeschlagene Optimierung:

	Dübel	***Schraube***
A:	*Anzahl kann im mittleren Bereich reduziert werden*	*Sollte hier positioniert werden, symmetrisch*
B:	*Kann so belassen werden*	*Ist hier nicht sinnvoll angeordnet*
C + D:	*Position in den Randzonen kann so belassen werden*	*Wirkung sollte über die Querschnittsbreite verbessert werden, z. B. zweite Schraube mit möglichst großem Abstand, ggf. zweischnittige Ausführung*

Tabelle 11 Mögliche optimierte Varianten der Verbindung

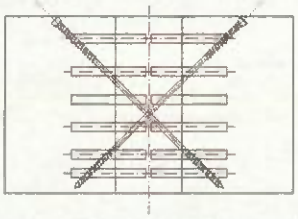
Nr.	Bild	Beschreibung	Vorteile/Nachteile
1		zweite Schraube, tief eingebracht zur Raumseite	Stabilisierung rechtwinklig zur Fassadenebene verbessert, Langer Einschraubweg, dadurch erhöhte Gefahr des Verlaufens
2		zweite Schraube, eingebracht von der Falzseite	Stabilisierung rechtwinklig zur Fassadenebene verbessert, einfacher Einschraubvorgang, Geringe Stabilisierung zum raumseitigen Rand
3		Kombination aus 1 und 2	Verbesserte Stabilisierung Aufwändiger, Langer Einschraubweg, dadurch erhöhte Gefahr des Verlaufens
4		Zweischnittige Ausführung mit langer Schraube ohne Gewinde im mittleren Abschnitt	Verbesserte Stabilisierung zu erwarten, Erschwertes Einschrauben zu erwarten
5		Wie 1 jedoch mit geänderten Winkeln	Verbesserte Stabilisierung zu erwarten, Positionierung in die Randzonen möglich, Lange Einschraubwege, Lage der Schraube undefinierter, Abweichung von 45° verringert Kraftkomponente in einer Richtung
6		Wie 6 jedoch mit unterschiedlichen Winkeln	Verbesserte Stabilisierung zu erwarten, Positionierung in die Randzonen grundsätzlich möglich, Lage der Schraube undefinierter, Abweichung von 45° verringert Kraftkomponente in einer Richtung

Nr.	Bild	Beschreibung	Vorteile/Nachteile
7		Direkte Fixierung der Dübel mit den Schrauben zur Verbesserung deren Auszugswerte	Grundsätzliche Änderung des Verbindungsprinzips Fixierung abhängig von Positionsgenauigkeit der Schrauben Insgesamt noch näher zu beschreiben.
8		Einkleben der Dübel in Riegel und Pfosten, Schraube unterstützend bei Abbindevorgang	Erhebliche Verbesserung der Festigkeit für alle Belastungsarten zu erwarten Statisch anzusetzende Klebung benötigt Leimnachweis C gemäß DIN 1052
9		Verlagerung der Schraube in die Querschnittsmitte	Dübel werden nicht tangiert keine Verbesserung bei Querkraft-, Momentbelastung
10		Zweites Schraubenpaar symmetrisch angeordnet	Verbesserte Stabilisierung zu erwarten, Überschneidung mit Dübel bleibt gegeben.
...	...	...	...

6 Optimierte Verbindung

Aufgrund der Erkenntnisse wurde die Verbindung mit unterschiedlichen Varianten weiter untersucht. Die wesentlichen Veränderungen sind in folgenden Bereichen durchgeführt worden (Tabelle 12).

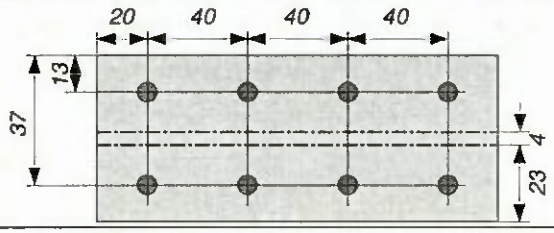
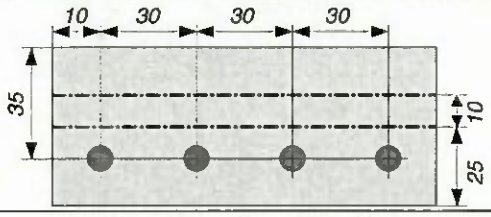
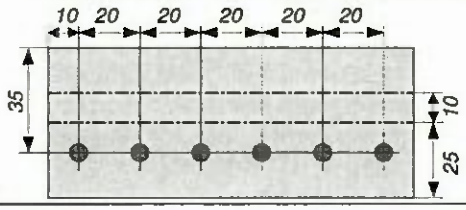
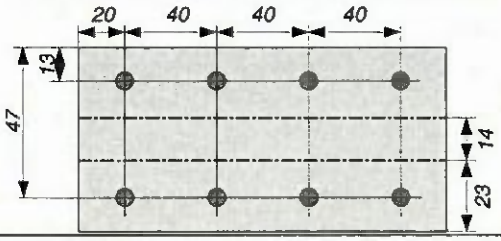
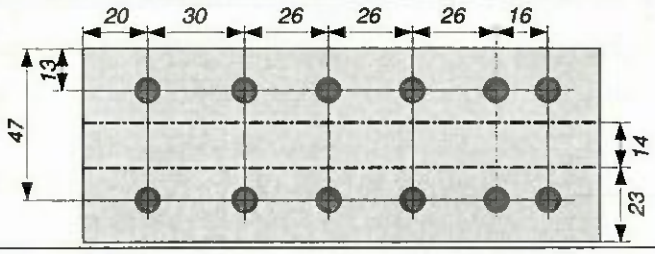
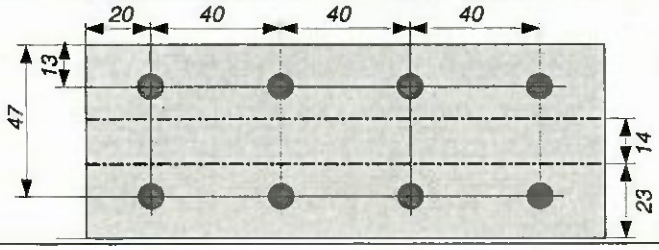
Tabelle 12 Variation der Verbindung

Nr.	Bereich	Variationen (und / oder)	Erwartete Effekte
1	Dübel	Verringerung des Durchmessers auf 6 mm, Verringerung der Anzahl, Reduzierung auf eine durchgängige Reihe (Bild 27, Bild 28, Tabelle 13)	Optimierter Materialeinsatz bei gleicher Festigkeit, Freierer Querschnitt zur Einbringung der Schraube
2	Schraube	Anpassung der Schraubenlängen an den Querschnitt, Vergrößerung des Durchmessers auf 8,2 mm bei Querschnitten ab 60/120 mm²	Verbesserte Funktion und Handhabung der Schraube
3	Schraubenanordnung	Bestehende Schraubenanordnung für kleinere Querschnittstiefen, Gekreuzte Schraubverbindung bei Querschnittstiefe ca. > 140 mm:  Verlagern der Verschraubung aus der Riegelachse in die Zugzone	Verbesserte Funktion der Schraube
4	Abdichtung	Allseitige Beschichtung der Einzelteile	Verbesserung des Feuchteschutzes der Hirnholzenden

6.1 Dübelanordnung und -ausführung

Es wurden verschiedene Ausführungen der Dübel in der Verbindung geprüft und miteinander verglichen (Tabelle 13). Bei jeder Ausführungsvariante wurde mindestens ein Prüfkörper mit in den Pfosten eingeklebten Dübeln ausgestattet. Es sollte die Verbesserung der Querzugfestigkeit des Riegelholzes untersucht werden.

Tabelle 13 Überprüfte Dübelausführungen der optimierten Verbindung

Nr.	*Abmessungen Dübel-Ø*	*Darstellung* —·—·— *Lage der Schrauben*	*PK-Nr.*
1	*120/50 mm²* *6 mm*		*17* ***18*** *19* *20* *33* *34*
2	*120/50 mm²* *8 mm*		*21* *22* *23* *24* *25* *32*
3	*120/50 mm²* *6 mm*		***26*** *27* *28* *29* *30* *31*
4	*120/60 mm²* *6 mm*		*12* *13* *14* *15*
5	*160/60 mm²* *8 mm*		*1* *2* ***3*** *4* *5* *35*
6	*160/60 mm²* *6 mm*		*6* *7* ***8*** *9* *10* *36*

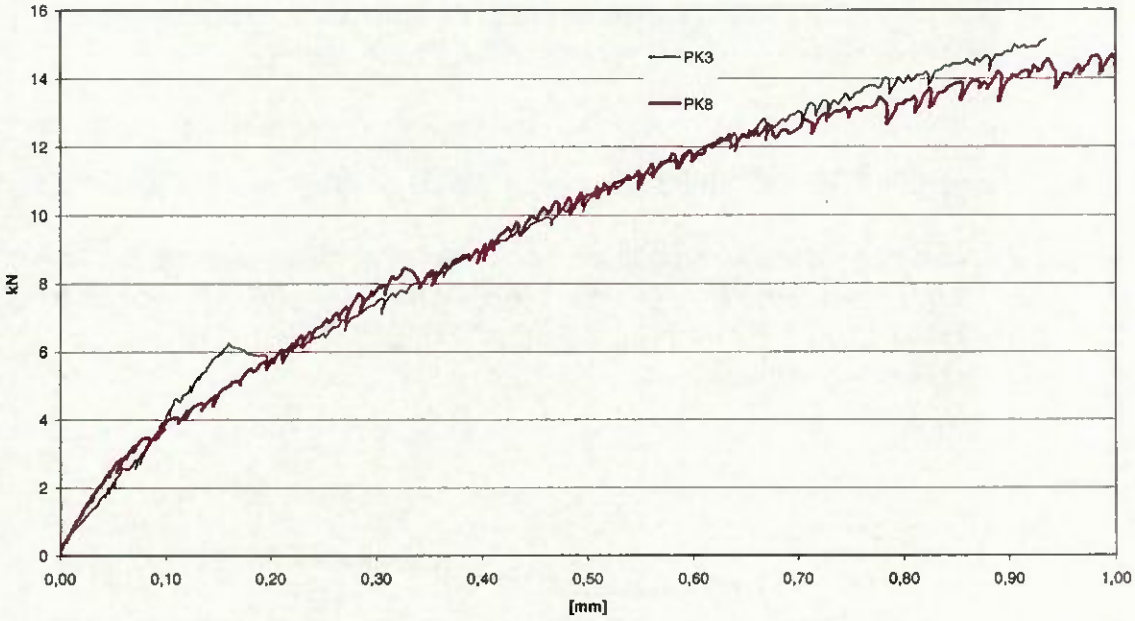


Bild 27 Vergleich der Prüfkörper 3 und 8 – Unterschiedliche Dübelanzahl; Querkraftbelastung

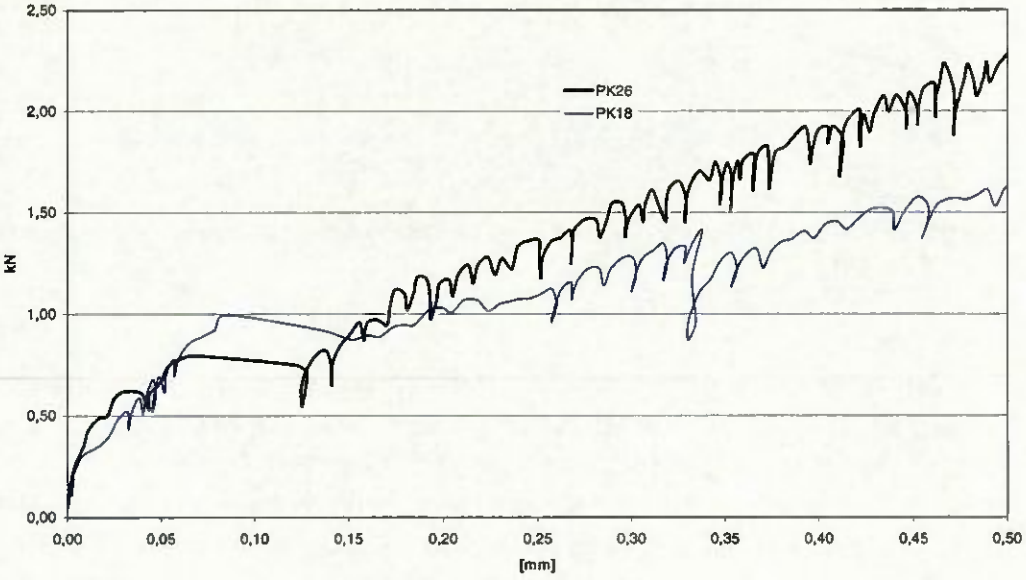


Bild 28 Vergleich der Prüfkörper 18 und 26 – Unterschiedliche Dübelanzahl und Anordnung; Querkraftbelastung

Bei Bild 27 und Bild 28 sind die Messergebnisse bereits mit den tatsächlichen geometrischen Bedingungen „übersetzt" worden. Damit lassen diese Diagramme ein direktes Ablesen der Verformung zu.

6.2 Schraubenausbildung

Die Ausführung der zweischnittigen Verschraubung (Bild in Tabelle 12) besitzt bei den Biegebelastungen (|| und ⊥ zur Faser) ein erheblich verbessertes Tragverhalten als die einschnittige Ausbildung (Bild 3). In Bild 29 sind die beiden Varianten gegenübergestellt.

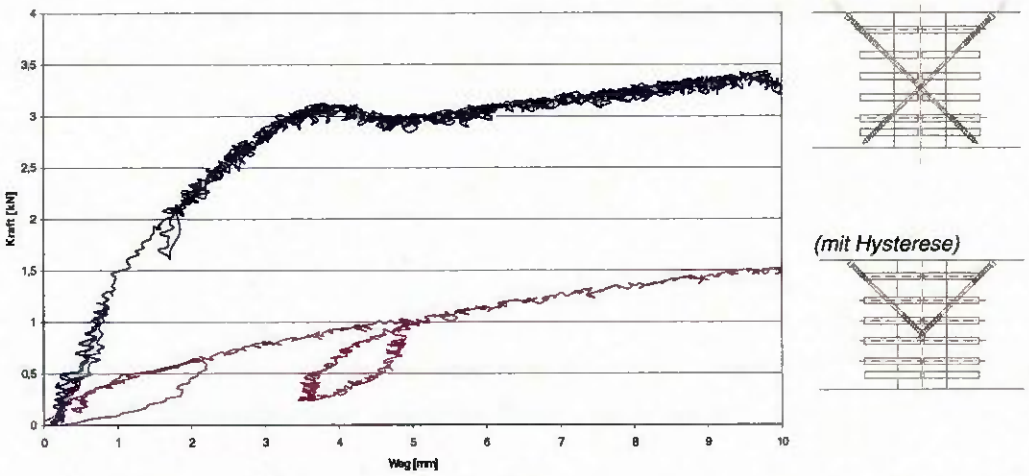


Bild 29 Vergleich der Schraubenbilder, reine Messwertaufzeichnung, Prüfverfahren (2) siehe Bild 6

Für die Anpassung der Schrauben an unterschiedliche Querschnittsabmessungen hat sich an Vorversuchen gezeigt, dass die Änderung des Einschraubwinkels von 45° bis 60° eine Möglichkeit darstellt. Dadurch können mit gleichen Schrauben unterschiedliche Querschnitte verarbeitet werden. Das minimiert für den Verarbeiter das erforderliche Schraubensortiment (Bild 30).

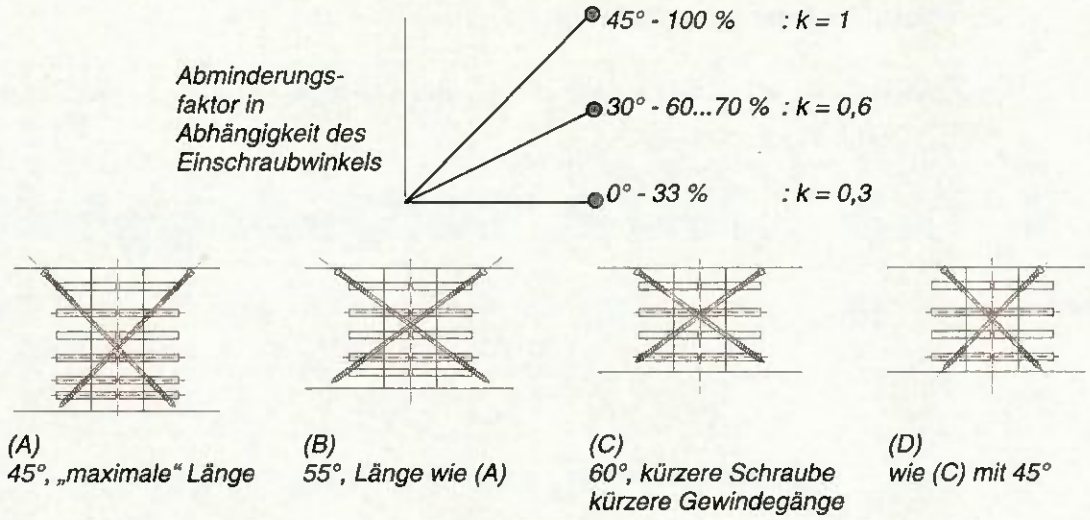


Bild 30 Darstellung der Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit des Einschraubwinkels; Anpassung der Schrauben an die Querschnittsabmessungen über Länge und Einschraubwinkel
Variante (A) und (D) mit geringem Abstand von Bohrspitze zur inneren Oberfläche; (D) zusätzlich mit geringem Abstand von Schraubenkopf zum Rand

Im Zuge der Montage konnten weitere Punkte beschrieben werden, welche bei der Auslegung der Schraubverbindung zu berücksichtigen sind (Bild 31).

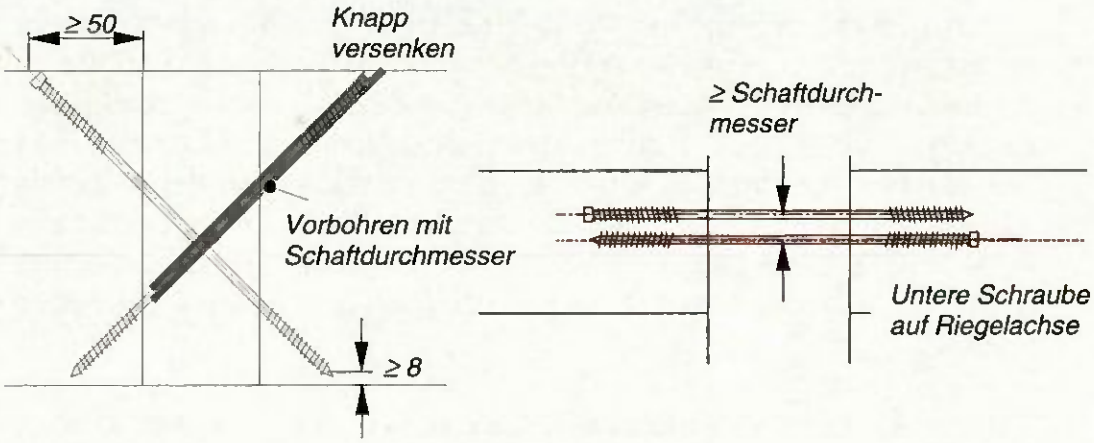


Bild 31 Zusammenstellung der wesentlichen Details und Ausführungsempfehlungen bzgl. der Verarbeitung der Schrauben; bei Einschraubvorgang Drehmomenteinstellung beachten

6.3 Verhalten der optimierten Verbindung

Die Auswertung der Versuche mit der optimierten Verbindung ergeben exemplarisch folgende Ergebnisse.

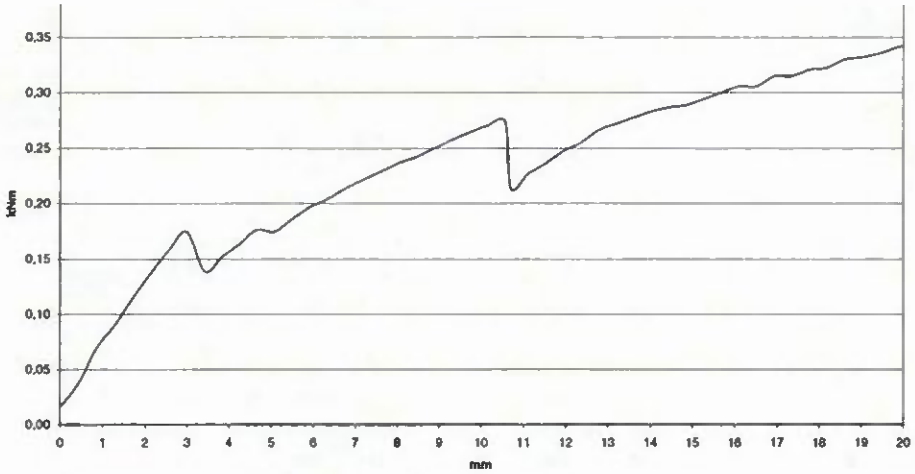


Bild 32 Typisches Moment-Verformungsdiagramm für Prüfkörper 60/160; 8 Dübel; Ø 8 mm, Versuch (6)

Bild 32 zeigt ein bereits „übersetztes" Moment-Verformungsdiagramm für eine Belastung mit einem vertikalen Moment (Glasgewicht). Die dargestellten Verformungswege entsprechen im Anfangsbereich in guter Näherung der Öffnung der Verbindung auf der Oberseite. Auffällig sind die bei allen diesen Prüfungen entstehenden Sprünge bei zunehmender Belastung (In Bild 32 bei ca. 3 und 10,5 mm). Gleichzeitige Knackgeräusche deuten auf ein Durchrutschen der Dübel hin. Bei einem Abstand der Glasauflager von 0,12 m zur Pfostenachse ergibt sich bei einer 100 kg schweren Scheibe eine Fugenöffnung von ca. 0,7 mm. Typische Lasten liegen dadurch noch unterhalb der festgestellten Sprünge.

Bild 28 zeigt das Kraft-Verformungsdiagramm bei reiner Querkraftbelastung (Versuch (5)). Setzt man 100 kg als Scheibengewicht an, dann ergibt sich die in der Praxis nicht feststellbare vertikale Absenkung von ca. 0,02 bis 0,03 mm.

Bild 33 zeigt das Moment-Verformungsdiagramm bei einer Momentbelastung rechtwinkelig zur Fassadenebene. Auf Basis der Lastannahmen und ermit-

telten Momente in Kapitel 2.2 (Tabelle 4) mit 0,13 und 0,33 kNm kommt es zur Öffnung der Verbindung von ca. 0,2 und 0,65 mm.

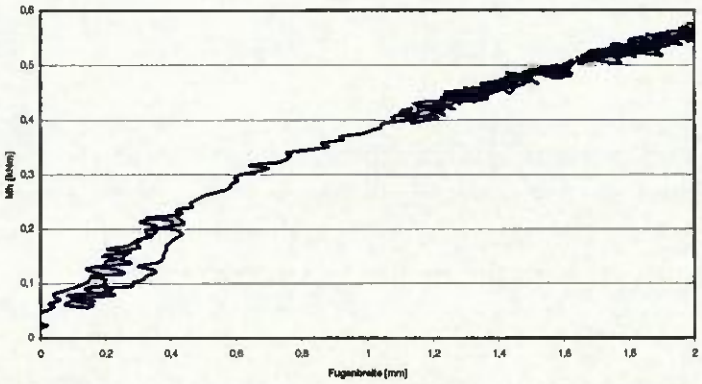


Bild 33 Typisches Moment-Verformungsdiagramm für Prüfkörper 60/160 mm²; 12 Dübel; ∅ 8 mm, Versuch (2)

Zusammenfassung

Die prüftechnisch festgestellten Verschiebungen und Fugenöffnungen liegen damit auch für die anfangs als problematisch eingestuften Biegebelastungen in Bereichen, welche einen Einsatz in der Praxis ermöglichen. Dabei ist bislang noch kein Sicherheitskonzept berücksichtigt.

7 Konzept zum statischen Nachweis der Verbindung

Im folgenden Kapitel sollen die Größen zum statischen Nachweis der Verbindung dargestellt werden.

7.1 geometrische Größen

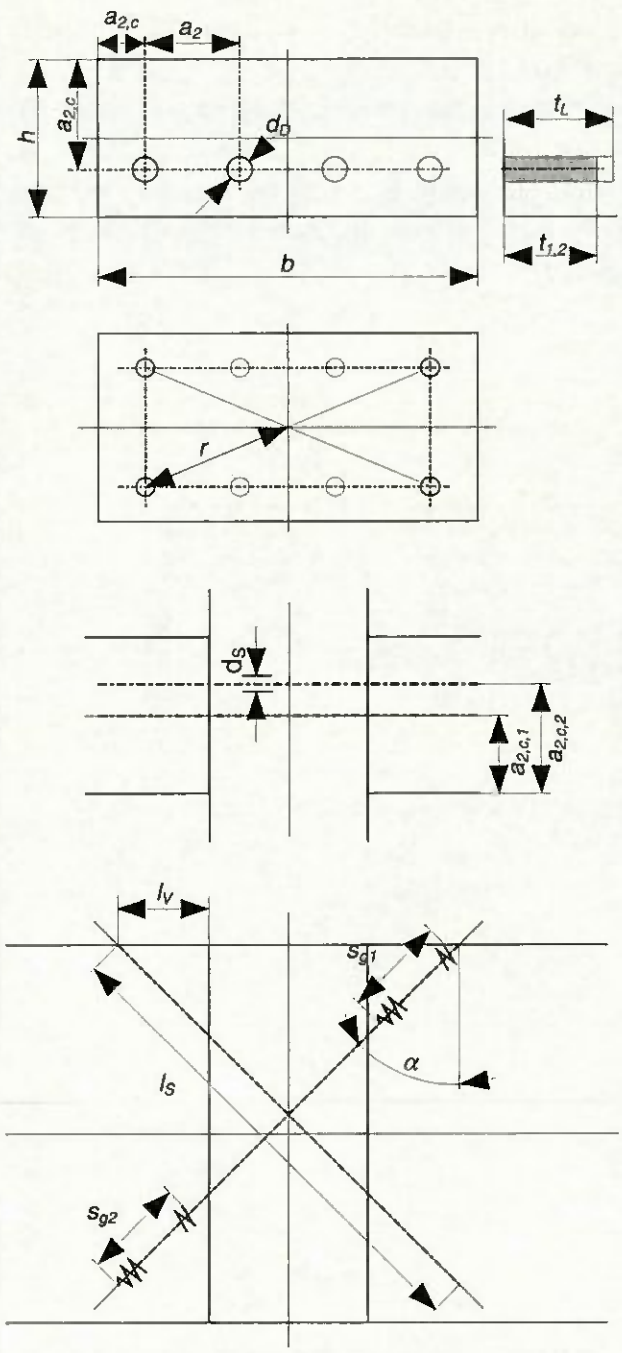
Aus den Vorversuchen und den sich daraus ergebenen Optimierungen lässt sich die Verbindung anhand der folgenden geometrischen Größen allgemein beschreiben. In Tabelle 14 sind die wesentlichen geometrischen Größen der Verbindung beschrieben, teilweise bereits mit den festen Werten.

7.2 Statische Nachweise der Verbindung

Aufgrund der Erkenntnisse aus den Versuchen sind für die Verbindung folgende Nachweise relevant.

- Querkraft in Fassadenebene
- Torsion
- Biegung in Fassadenebene, Einspannmoment I
- Biegung quer zur Fassadenebene, Einspannmoment II
- Erforderliche Einschraublängen der Schrauben

Tabelle 14 Zusammstellung der wesentlichen geometrischen Größen

Darstellung	Kurzz.	Beschreibung	Wert
	h	Querschnittshöhe	50 oder 60 mm
	b	Querschnittsbreite	≥ 80 mm variabel
	a_2	Abstand der Dübel untereinander	$3d_D$ bis 5 d_D
	$a_{2,c}$	Abstand zum unbelasteten Rand	$a_{2,c}$ / h ≈ 0,7
	t_1	Einbringtiefe des Dübels (Pfosten)	30 ± 5 mm (h bei durchlaufenden Dübeln)
	t_2	Einbringtiefe des Dübels (Riegel)	30 ± 5 mm
	t_L	Bohrlochtiefe	≈ 35 mm
	d_D	Durchmesser des Dübels	6 mm
	r	Abstand des Drehpunktes zu für Torsion wirksame Dübel	abhängig vom Querschnitt
	d_S	Durchmesser der Schraube	6,5 mm 8,2 mm
	l_V	Vorholzlänge	≥ 50 mm wenn vorgebohrt
	l_S	Länge der Schraube	variabel
	s_{g1}	Gewindelänge 1	angepasst (≈ 50 mm)
	s_{g2}	Gewindelänge 2	angepasst (≈ 50 mm)
	α	Einschraubwinkel	45° ... ≈ 55 ... 60°

8 Abschließende Prüfungen

Durch die Vorversuche wurde die in den vorherigen Kapiteln beschriebene Verbindung optimiert. Zur Ermittlung auch statistisch aussagekräftiger Kennwerte wurde zum Abschluss des Projektes ein umfangreicher Prüfplan erarbeitet. Die in dem ursprünglichen Prüfplan enthaltenen Parameter (Tabelle 6) wurden erheblich reduziert. Außer dem Einfluss der Abdichtung der Stoßfuge soll bei diesen Prüfungen keine Variation der grundsätzlichen Ausbildung der Verbindung mehr erfolgen. Der Prüfplan ist nachfolgend in Bild 34 und in Tabelle 15 beschrieben. In dieser Form könnte er als Basis für die ABZ verwendet werden.

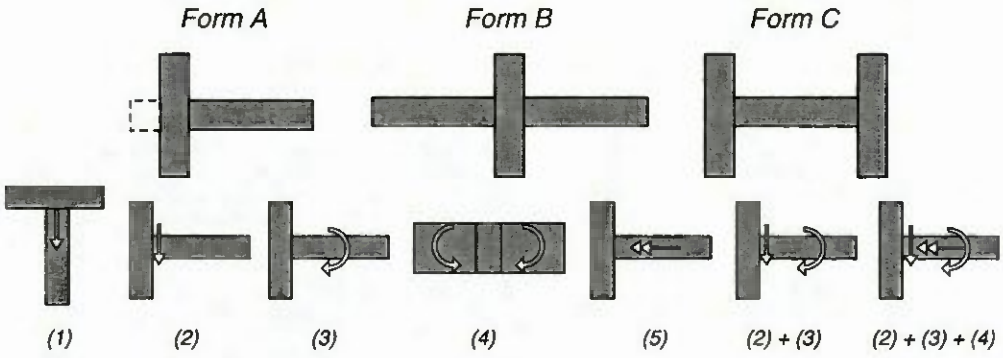


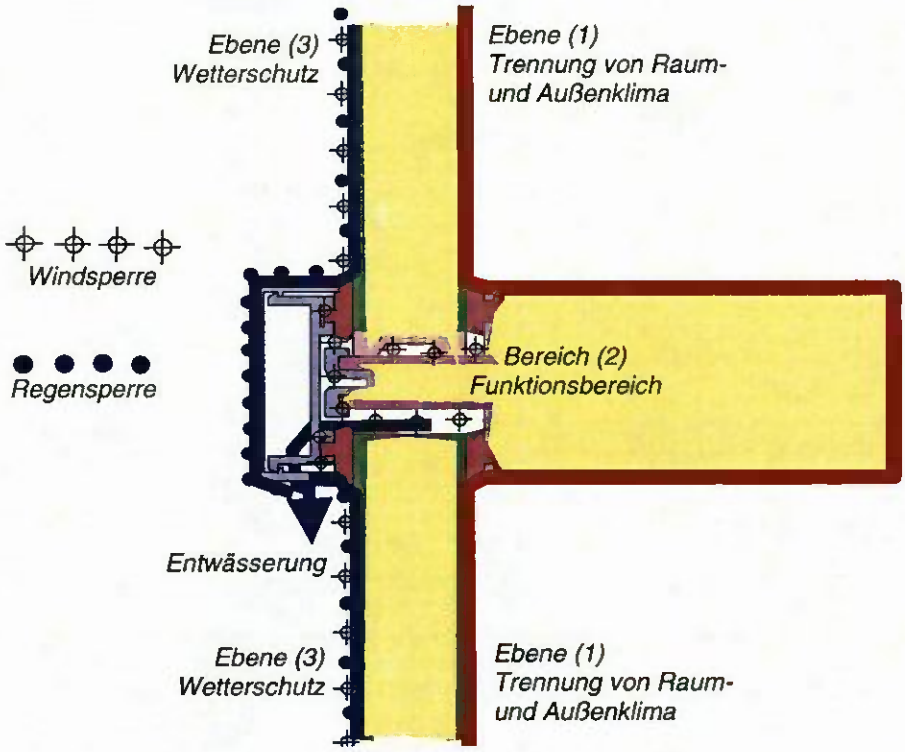
Bild 34 Prüfkörperform und Belastungsart (Versuchsaufbauten siehe Abschnitt 4.1)

Tabelle 15 Prüfplanentwurf für Abschlussprüfungen

	Nr.	1	2	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Anzahl
Form	siehe Bild 34	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	C	C	B	B	A: 20 B: 40 C: 8
Ausführung	Minimaler Querschnitt			●			●			●			●							16
	Mittlerer Querschnitt	●	●		●			●			●				●	●	●	●	●	40
	Maximaler Querschnitt					●			●			●		●						16
	Abdichtung		●																●	6
Belastung einfach	Normalkraft (1)	●	●																	8
	Querkraft (2)			●	●	●														12
	Biegemoment ‖ (3)						●	●	●											12
	Biegemoment ⊥ (4)									●	●	●								12
	Torsion (5)												●	●						8
Belastung kombiniert	Querkraft + Biegemoment ‖ (2) + (3)														●	●				8
	Querkraft + Biegemoment ‖ + Torsion (2) + (3) + (4)																●			4
Langzeit-versuch	Querkraft + Biegemoment ‖ (2) + (3)																	●	●	4
Anzahl		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	**68**

9 Luftdichtheit der Verbindung

Die Fassade hat neben den statischen Anforderungen die bauphysikalischen Anforderungen gemäß Bild 35 zu erfüllen.



Ebene (3) *Wetterschutz*	***Bereich (2)*** *Funktionsbereich*	***Ebene (1)*** *Trennung von Raum- und Außenklima*
Abdichtung von Bauteilen ohne undefinierte Kapillarfugen *Überlappende Ausführung der Konstruktionen zur Wasserableitung* *Möglichkeit zum Feuchteausgleich der Konstruktionen*	*Sicherstellung von Wärme- und Schallschutz* *Ist durch (1)und (3) trocken zu halten.* *Bereich für die Funktionen der Konstruktion wie Statik, Einbauteile ...*	*Durchgängige Abdichtung mit bewegungsfähigen Materialien* *Lage vor den Bereichen, die unterhalb der Taupunkttemperatur der Luft liegen*

Bild 35 Ebenenmodell bei Pfosten-Riegel-Konstruktionen

Die Anforderungen gemäß Bild 35 betreffen auch die Verbindung von Pfosten und Riegel. Je nach Verglasungssystem ist mit einer Wasserführung bis an

die Verbindung zu rechnen. Von der Raumseite kann am Scheibenrand ablaufendes Tauwasser und Putzwasser die Fugen der Verbindung belasten. Vermieden werden muss zudem der Luftdurchgang von der Raumseite in den Falzbereich, um weitere Feuchtebelastungen durch Tauwasserbildung in der Konstruktion auszuschließen.

Die Dichtheit der Verbindung kann sich nach der Herstellung und den Zusammenbau durch Belastungen bei Transport, Montage, Bauphase und Nutzung verändern. Auch die unvermeidlichen Feuchteänderungen mit Quell- und Schwindverformungen führen zu einem Öffnen der Fuge (Bild 36). Als dritter Faktor existieren irreversible Quetschungen der Holzfasern am Stoß von Längs- und Querholz.

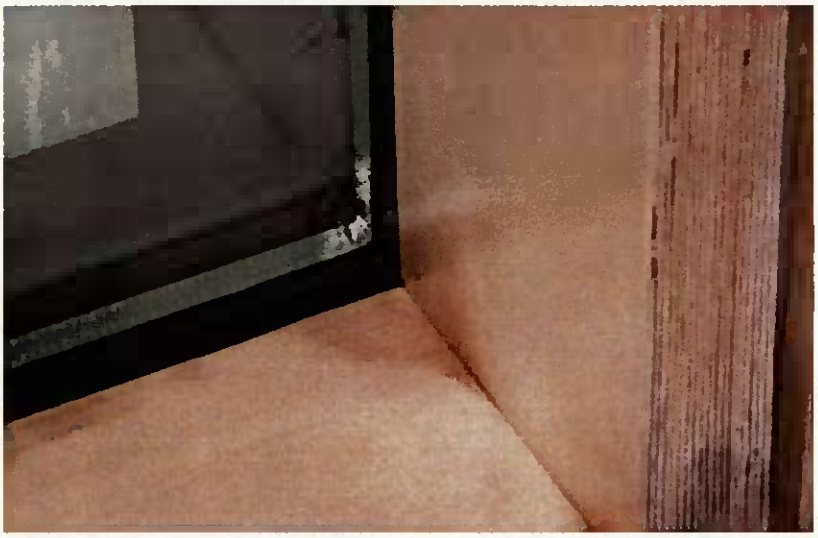
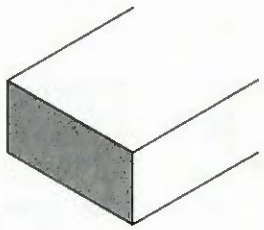
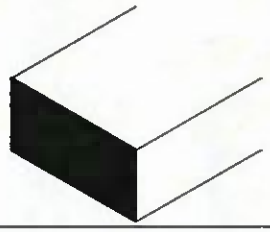
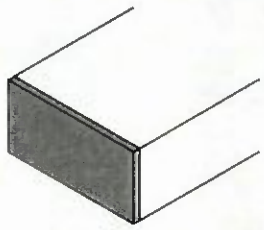
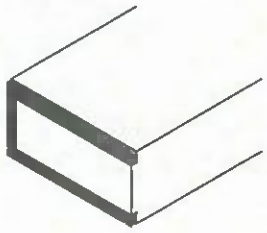
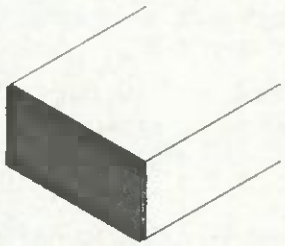
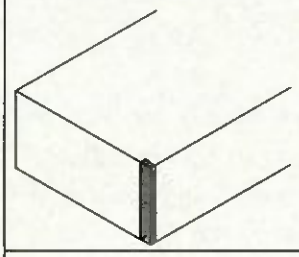
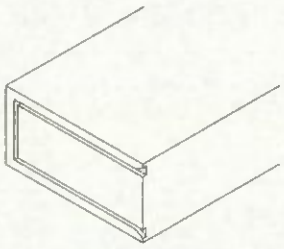
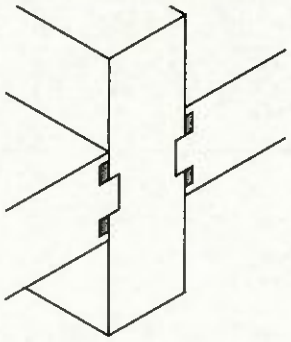


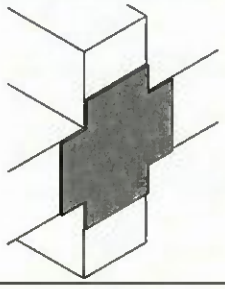
Bild 37 Offene Fuge mit Kapillarwirkung an der Verbindung, braune Verfärbungen durch Feuchteeintritt unter der Beschichtung

Eine ideale Verbindung von Pfosten und Riegel sollte dem zu Folge eine ausreichende Luft- und Wasserdichtheit besitzen und Formänderungen elastisch ausgleichen können. Weiterhin darf das Dichtsystem die statischen Eigenschaften nicht übermäßig beeinträchtigen. Das Dichtsystem sollte zudem optisch möglichst unauffällig sein. In Tabelle 16 sind mögliche Konstruktionskonzepte zur Verbesserung der Dichtheit von Pfosten-Riegel-Verbindungen beschrieben.

Tabelle 16 Übersicht über mögliche Abdichtungskonzepte

Schematische Darstellung	Vorteile	Nachteile
1 Klebung der Verbindung		
	Hirnholzschutz – Eingrenzung der Kapillarität Verbesserung der Festigkeitseigenschaften möglich	Zusätzlicher technischer Aufwand Einflüsse hinsichtlich Bewegungsverhalten sind zu berücksichtigen Bei Ansatz der tragenden Wirkung für die Statik, Nachweis und Überwachung der Klebung erforderlich
2 Dichtende Zwischenschicht, Elastische Dichtmasse		
	Hirnholzschutz – Eingrenzung der Kapillarität	zusätzlicher technischer Aufwand Material auf Einsatzbereich abzustimmen begrenzte Bewegungsaufnahme
3 Dichtende Zwischenlage, Dichtplatte		
	Hirnholzschutz – Eingrenzung der Kapillarität große Bewegungsaufnahme realisierbar	Einfluss auf das Tragverhalten gegeben, Abstimmung auf Verbindungsmittel erforderlich, erhebliche Vorspannkräfte sind erforderlich ggf. optisch sichtbare Maßnahme
4 Umlaufende außenliegende Dichtung; Profil oder Dichtstoff in Falz		
	Hirnholzschutz – Eingrenzung der Kapillarität	ggf. optisch sichtbare Maßnahme Verringerung der wirksamen Anlagefläche, damit Reduzierung der Biegesteifheit evtl. Abstimmung auf Verbindungsmittel erforderlich zusätzlicher technischer Aufwand
5 Umlaufende außenliegende Dichtung mit Fugendichtmasse, Abstand durch Zwischenlage (Elastomer)		

Schematische Darstellung	Vorteile	Nachteile
	Hirnholzschutz – Eingrenzung der Kapillarität	Zusätzliches Bauteil in der Konstruktion Härte auf Einsatzzweck abzustimmen
6 Dichtung zum Falzraum; Profil oder Dichtstoff		
	optisch gut zu integrieren kaum Auswirkungen auf Verbindungstechnik	kein Schutz bei kapillarer Feuchteeinwirkung auf das Hirnholz
7 In die Verbindung injiziierte Dichtmasse		
	optisch gut zu integrieren automatisiertes System Eingrenzung der Kapillarität	zusätzlicher technischer Aufwand aufwändige Abstimmung zwischen Hersteller, Anlagenlieferant und Dichtmaterialhersteller erforderlich Einfluss auf die Verbindungstechnik wahrscheinlich
8 In die Verbindung integrierte Dichtungen		
	keine optische Veränderung, Eingrenzung der Kapillarität	Gesamte Verbindungstechnik ist darauf abzustimmen Einfluss auf das Tragverhalten ist wahrscheinlich bei kleineren Querschnittsabmessungen schwer zu realisieren
9 Im Falzraum aufgebrachte Dichtung		

Schematische Darstellung	Vorteile	Nachteile
	optisch gut zu integrieren keine Auswirkungen auf Verbindungstechnik	kein Schutz bei kapillarer Feuchteeinwirkung Abstimmung mit Glasfalzausbildung erforderlich

Die Klebung der Verbindung am Hirnholzende des Riegels (Tabelle 16, Pkt. 1) hat eine erhebliche Verbesserung der Festigkeit der Verbindung zur Folge. Bei Vorversuchen wurde die Klebung mit PU bei ansonsten unveränderter Verbindung ausgewertet. Durch die erhebliche Steifigkeit der Klebung werden die Verbindungsmittel zunächst gar nicht belastet. Bei Erreichen der Bruchlast der Klebverbindung – auf recht hohem Niveau – werden die Verbindungmittel schlagartig belastet (Bild 38, Absatz in Graph). Bei verschiedenen Vorversuchen lagen diese Bruchlasten zwischen ca. 6 bis 9 kN (60/160 mm^2, Prüfverfahren (2)).

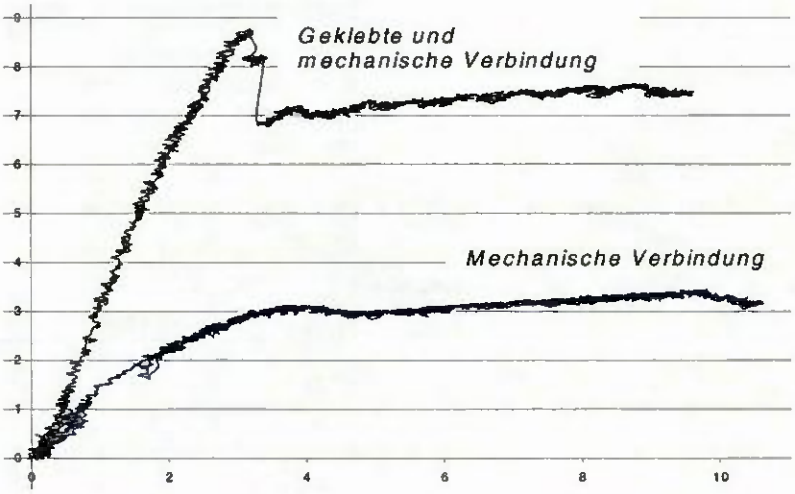


Bild 38 Die Überlagerung zeigt das unterschiedliche Verhalten der Verbindungsprinzipien im Kraft-Weg-Diagramm, reine Messwertaufzeichnung, Prüfverfahren (2) siehe Bild 6

Dabei traten sowohl Adhäsions- und Kohäsionsbrüche auf, was insgesamt zeigt, dass diese stumpfe Hirnholzverklebung ohne weitere Grundsatzunter-

suchungen nicht beherrschbar bzw. für eine definierte Bemessung nicht ansetzbar ist.

Anstelle der stumpfen Klebung wurde nach anderen Werkstoffen gesucht, welche als Dichtmittel für diese Anwendung einsetzbar sind. Ein Vorteil der elastischen Abdichtung gegenüber der verhältnismäßig starren Klebung ist, dass es zu keiner undefinierten Beeinflussung der mechanischen Verbindungsmittel kommt.

Wegen der erforderlichen Mindestfugenbreiten sowie durch die undefinierte Einbringung in die stumpfe Fuge können spritzbare Dichtstoffe aus Silikon und dergleichen bei den Pfosten-Riegel-Verbindungen nicht zum Einsatz kommen. Ansätze können Dichtsysteme aus anderen technischen Anwendungen z. B. dem Karosserie- und Bootsbau liefern. Auch im Aluminiumfenster- und –fassadenbau sind Kleb-Dichtstoffe (SG-Klebungen) und Dichtmassen im Einsatz, welche hinsichtlich der Verarbeitungseigenschaften, Temperatureinsatzbereich usw. für Pfosten-Riegel-Verbindungen bei Holz-Glasfassaden grundsätzlich einsetzbar sind.

Doch auch Fugendichtmassen, welche z. B. schmale Fugen an Gehrungsschnitten von Metallprofilen dauerhaft dichten, benötigen einen gewissen Fugenquerschnitt um Bewegungen zu kompensieren. Bei einer elastischen Dichtmasse in einer stumpfen Fuge mit einer Breite gegen Null eingesetzt, führt jede Bewegung zu einer Überbeanspruchung mit quasi „unendlicher" Dehnung (Bild 39). Demzufolge sind definierte Fugenbreiten in der Fuge durch die Ausbildung der Verbindung vorzusehen (z. B. Tabelle 16, Pkt. 4 oder 5). Dagegen ist speziell zur Momentenübertragung der direkte Kontakt der Holzteile über eine möglichst große Fläche (Profilbreite und –tiefe) erforderlich und spricht somit gegen den Einsatz von vollflächigen elastischen Zwischenlagen in der Fuge.

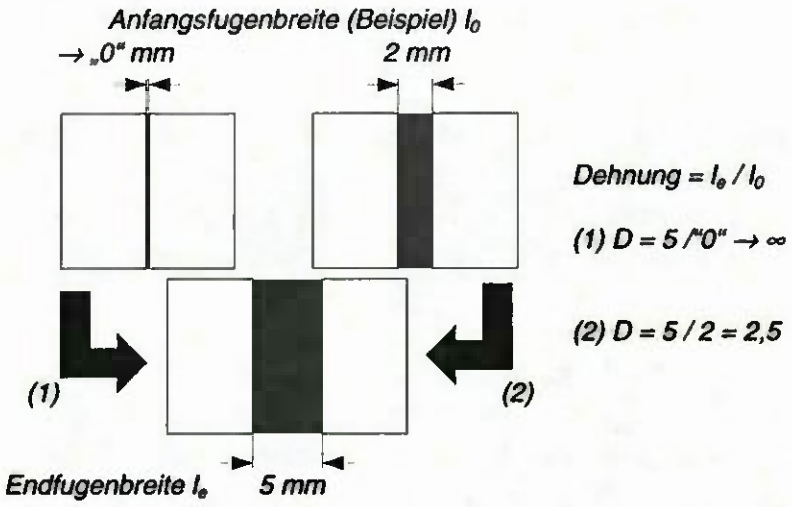


Bild 39 Dehnung des Fugenmaterials in Abhängigkeit von der vorgesehenen Fugenbreite

Für weitere Versuche an der Verbindung wurde mit der Fa. Weiss Chemie eine Fugendichtmasse ausgewählt, welche für die Abdichtung von Kapillarfugen an Aluminium-Fenster- und Fassadenkonstruktionen erfolgreich eingesetzt wird. Die versuchsmäßige und handwerkliche Angabe des Materials kann für die Serienfertigung bis hin zur automatisierten Angabe noch optimiert werden. In wie weit das Material mit den Gegebenheiten bei Holzkonstruktionen langfristig und gebrauchstauglich eingesetzt werden kann ist z. B. durch Prüfungen oder Langzeitbeobachtungen abzusichern.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Projektes sollte ermittelt werden, ob die geplante Verbindungstechnik – Dübel aus Aluminium in Kombination mit den schräg eingebrachten Schrauben WT der Firma SFS – sinnvoll bei Pfosten-Riegel-Glasfassaden mit tragender Holzkonstruktion eingesetzt werden kann. Dazu wurde in Abstimmung mit Herrn Dr. Spengler, Fachgebiet Holzbau der TU München, ein Prüfplan mit verschiedenen Versuchsaufbauten entwickelt.

An der von den Projektbeteiligten ursprünglich vorgesehenen Ausführung wurde durch die Vorversuche festgestellt, dass die Festigkeit und das Verhalten der Verbindung noch kein ausreichendes Niveau besitzt. Weiterhin konnten verschiedene Probleme festgestellt werden, welche die Herstellung der Verbindung erschweren.

Mit Anpassungen an den Dübeln, Schrauben und deren Anordnung über die Querschnitte konnten durch weitere Versuchsreihen Varianten entwickelt werden, deren Verhalten und Belastbarkeit einen Einsatz bei Pfosten-Riegel-Glasfassaden möglich machen und zudem auch eine Optimierung bei der Herstellung der Verbindung darstellen. Für die Abdichtung der Verbindung wurden verschiedene Varianten ausgearbeitet bzw. grundlegende Überlegungen diesbezüglich angestellt.

Auf Basis dieser Arbeiten in Verbindung mit dem abschließend vorgestellten Prüfprogramm kann eine Beantragung der ABZ beim DIBt erfolgen. Die weiteren Schritte hierzu sind in folgender Darstellung (Bild 40) anhand eines typischen Ablaufes beschrieben.

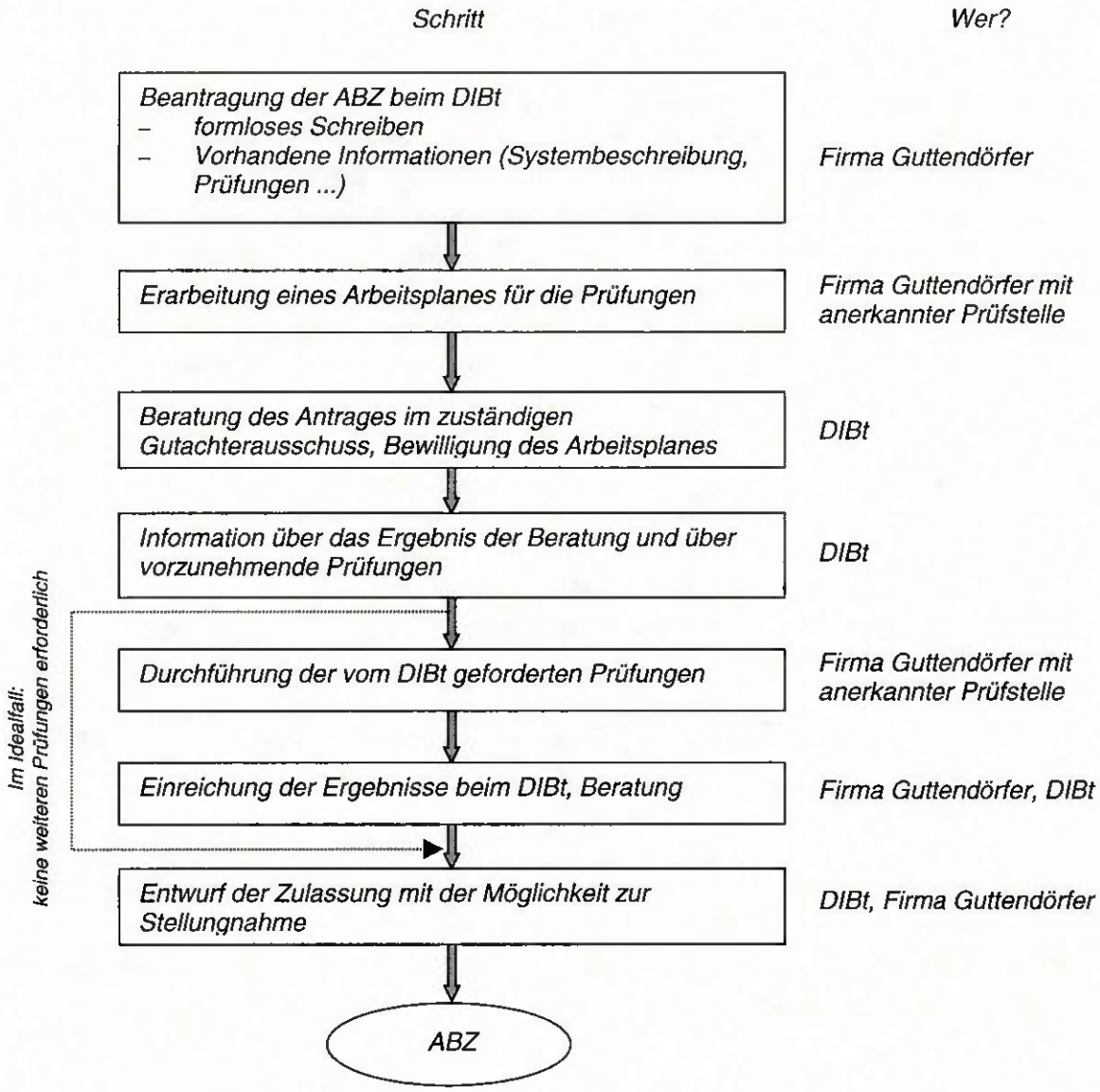


Bild 40 Der weitere Weg zur ABZ

Besonderer Dank für die Bearbeitung des Projektes gilt folgenden Personen

Herr Guttendörfer	Firma Guttendörfer GmbH + Co
Herr Porsberg, Herr Sieber	Firma SFS intec AG
Herr Dr. Spengler	TU München
Herr Krolak	Deutsche Gesellschaft für Holzforschung

11 Literatur

[1] DIN 1052-2 : 1988-04
Holzbauwerke - Mechanische Verbindungen

[2] DIN 1052-2 A1 : 1996-10
Holzbauwerke - Mechanische Verbindungen - Änderung 1

[3] DIN EN 26891 . 1991-07
Holzbauwerke; Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln; Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens

[4] DIN 68121-2 :1990-06
Holzprofile für Fenster und Fenstertüren; Allgemeine Grundsätze

[5] DIN 1055-3 : 2002-10
Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 3 - Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten

[6] DIN 1055-4 : 1986-08
Lastannahmen für Bauten – Teil 4: Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken.

[7] DIN V ENV 1991-2-4 : 1996-12
Eurocode 1 – Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkung auf Tragwerke – Teil 2-4: Einwirkungen auf Tragwerke; Windlasten.

[8] DIN V ENV 1995-1-1 : 1994-06
Eurocode 5 – Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für Hochbau.

[9] DIBT Mitteilungen 3/2003
Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin

[10] Technische Regeln zur Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen – Fassung 1998
Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin

[11] Technische Regeln zur Verwendung von absturzsichernden Verglasungen – Fassung Januar 2003
Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin

[12] Schnabel, P.:
Windbelastung von Fenster und Fassade – Teil 2.
Fenster und Fassade 7 (1980) Heft 1, Seite 3 bis 6

[13] Prof. Dr. Achten, H.; Prof. Dr. Diener, E.; Prof. Dr. Dieler, H.; Prof. Dr. Hasse, H.; Prof. Dr. Jenisch; R.; Prof. Dr. Krings, W.; Prof. Dr. Lohse, W.; Prof. Dr. Maas, O.; Prof. Dr. Mann, W.; Prof. Dr. Natzschka, H.; Prof. Dr. Neuhaus, H.; Prof. Dr. Wetzell, O. W.
Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln, 29. Auflage,
B.G. Teuber, Stuttgart/ Leipzig/ Wiesbaden, Beuth, Berlin/ Wien/ Zürich, Oktober 2000

[14] Prof. - Ing. J. Schmid, Dr. R. Schumacher, Dipl.-Ing. P. Niedermaier, Dipl.-Ing. (FH) C. Hoeckel, Dipl.-Ing. (FH) M. Götz, Dipl.-Ing. (FH) B.Saß
Konstruktionsgrundlagen für mehrgeschossige Holzfassaden
ift Rosenheim, Dezember 1999

[15] Dipl.-Ing.(FH) Dipl.-Wirtschaftsing.(FH) Erwin Friedl, Dipl.-Ing. Peter Niedermaier
Innovative Rahmenverbindungen
ift Rosenheim, Oktober 2000

ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH i. G.
Theodor-Gietl-Str. 7-9
83026 Rosenheim
Telefon +49 (0) 8031 261-0
Telefax +49 (0) 8031 261-290
E-Mail: info@ift-rosenheim.de
http://www.ift-rosenheim.de

ROSENHEIM