

Transparente Außenwände:

Pfosten-Riegel-Bauweise aus Holz oder Holzwerkstoffen

Peter Niedermaier

Fassaden als transparente Außenwände müssen neben ästhetischen Gesichtspunkten vor allem den konstruktiven Anforderungen der Bauphysik, der Statik sowie der innovativen Gebäudetechnik genügen. An dieses multifunktionelle Bauteil werden damit hohe Ansprüche gestellt, die in der Kombination und Nutzung verschiedener Werkstoffeigenschaften optimal erfüllt werden müssen. Große Fassadenkonstruktionen waren bisher vorwiegend dem Einsatz von Aluminium- bzw. Stahlkonstruktionen vorbehalten. Durch die in den letzten Jahren gewonnenen Erkenntnisse zum mehrgeschossigen Holzbau eröffnen sich im Fassadenbau, unter dem Einsatz von Holz oder Holzwerkstoffen als tragende Konstruktionsbauteile, immer weiter reichende Möglichkeiten.

Ausgangssituation, Trend und Anforderungsprofil

Außenwandsysteme werden verschiedensten bauphysikalischen Einflüssen ausgesetzt. Zum Verständnis der Aufgaben der Konstruktionskomponenten einer Fassade können die einzelnen Bauteilgruppen einer Fassade gedanklich in Funktionsebenen getrennt werden, welche sich wie folgt unterscheiden:

Trennung von Raum- und Außenklima

mit dem Ziel, die Konstruktion auf der Raumseite luftdicht auszubilden.

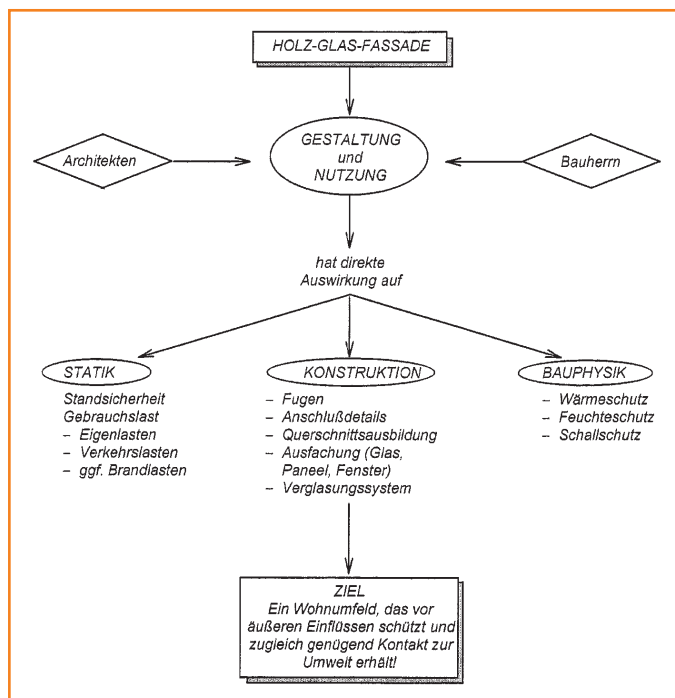


Bild 1: Anforderungen und Zielvorstellung beim Bau einer Fassadenkonstruktion

Funktionsbereich

zur Erfüllung des Wärme- und Schallschutzes sowie der Statik über den geplanten Nutzungszeitraum der Fassadenkonstruktion.

Wetterschutz

zur Verhinderung des Wassereintritts von der Außenseite und zugleich zur kontrollierten Ableitung von eingedungenem Wasser aus der Konstruktion.

Zur Erfüllung der an Fassadenbauwerke gestellten Aufgaben sind bereits vor der konstruktiven Durchbildung einer Fassade wesentliche Randbedingungen zu klären. Hierzu zählen vor allem die Faktoren der **Gestaltung** einer Fassade und der **Integration in das Gesamtgebäudekonzept**, welche primär vom Bauherrn und dem ausführenden Architekten bestimmt werden. Diese Faktoren haben in der weiteren Entwicklung wesentlichen Ein-

fluß auf die statische Konzeption und die konstruktiven Detaillösungen zur Erfüllung der bauphysikalischen Aufgaben (Bild 1).

Bauliche Abgrenzung von Fassadenbauteilen

Unter Fassaden allgemein werden auch Verschalungen von Massivbauwänden bzw. Holzbauwänden verstanden, so daß für diese Bauweise der Begriff der **Außenwandbekleidungen** festgelegt und für Wandbauteile in Skelettkonstruktion, ausgefacht mit Glas oder nichttransparenten Bauteilen, den Begriff der **Fassade** definiert wird. Zur Verdeutlichung dieser Konstruktionsweise sind hierzu in Bild 2 die grundsätzlichen Bauweisen bzw. Wirkungsweisen von Fassaden dargestellt.

Die Glaselemente werden für den Hauptteil der Anwendungen als Mehrscheiben-Isolierglas ausgebildet. Das Mehrscheiben-Isolierglas übernimmt nicht nur die Funktion der Trennung zwischen Innenraum und

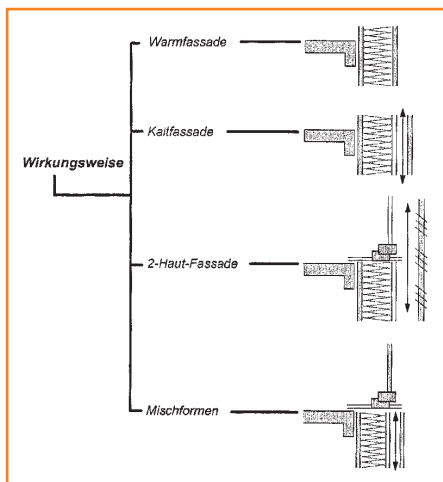


Bild 2: Typische Konzeptionsbeispiele bzw. Wirkungsweisen einer Holz-Glas-Fassadenkonstruktion als geschosübergreifendes Außenwandbauteil

Außenseite, sondern ebenfalls Aufgaben des winterlichen und sommerlichen Wärmeschutzes.

Hinsichtlich des **Vorfertigungsgrades** von Holz-Glas-Fassaden ist die **Elementbauweise** von der **Pfosten-Riegel-Bauweise** zu unterscheiden. Für die Elementbauweise gilt vor allem, daß die angebrachten Fassadenelemente in ihrer Funktion unabhängig voneinander sind und über Konstruktionsfugen bzw. Bewegungsfugen aneinander gekoppelt werden. Hingegen bei der Pfosten-Riegel-Bauweise wird aus Einzelteilen bzw. teilvorgefertigten Baugruppen eine zusammenhängende Fassadenkonstruktion erstellt, welche in ihrer Gesamtheit die Funktionsfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sicherstellen muß.

Die Befestigung der Ausfachungselemente erfolgt im Regelfall mit außenliegenden Preßleisten aus Aluminium. Alternativsysteme sind u. a. Structural-Glazing-Systeme bzw. punktgehaltene Systeme. Als Holz oder Holzwerkstoffe kommen die in DIN 1052 aufgeführten Holzarten zur Anwendung, aber auch Holzwerkstoffe in Mehrschichtbauweise bzw.

Sandwichbauweise. Übliche Ansichtsbreiten sind 60 mm, wobei eindeutig eine Tendenz in die Richtung von 50 mm festzustellen ist. Die Bauteiltiefen richten sich nach der statischen Anforderung und sind u. a. abhängig von den äußeren Einwirkungen und dem statischen Grundsystem (zu beachten ist vor allem die Knickproblematik bei druckbeanspruchten Stabbauteilen).

Zur Erreichung einer hohen Wirtschaftlichkeit wird ein Optimum zwischen einer rationellen Montage und einem hohen Vorfertigungsgrad angestrebt.

Bauphysikalische Anforderungen

Anschlußfugen und Bewegungsfugen

Zur Erfüllung der Anforderungen an ein Außenwandbauteil gilt es, die oben beschriebenen Funktionsebenen in der Fassadenkonstruktion sicherzustellen. Neben der grundsätzlichen Konstruktionsweise einer Fassade, in welcher konsequent die Einhaltung der oben beschriebenen Ebenen umgesetzt wird, ist ebenso im Bereich des Übergangs von der Fassade zum Massivbauwerk auf eine korrekte Ausbildung der Anschlußfugen zu achten. Grundsätzlich unterscheidet man Fugen in **Anschlußfugen** und **Bewegungsfugen** bzw. **Konstruktionsfugen**.

Für Bewegungsfugen läßt sich folgender Grundsatz definieren:

„Bewegungsfugen sind in der Weise anzuordnen, daß sie Zwangskräfte aus Verformungen verringern bzw. verhindern und Verformungsdifferenzen aus unterschiedlichen Baustoffeigenschaften und Beanspruchungen schadensfrei ausgleichen.“

Unabhängig von der Fugenart ist bei der Ausführung von Folgegewerken darauf zu achten, daß die Wirkung der Bauwerksfugen nicht überbrückt bzw. aufgehoben werden; hierzu zählen auch Fassadenbauwerke.

Neben der baulich richtigen Durchbildung von Bewegungsfugen in der Fassade nimmt die Abdichtung zwischen Fassade und Baukörper ebenfalls wesentlichen Einfluß auf die bauphysikalische Funktionsfähigkeit der Konstruktion. Grundsätzlich kann die Abdichtung ein- oder zweistufig ausgebildet werden. Regen und Wind werden bei der einstufigen Fugenausbildung in einer Ebene abgewiesen, bei der zweistufigen Fugenausbildung

werden Regen und Wind in räumlich getrennten Ebenen abgewiesen.

Der Grundsatz bei Anschlußfugen läßt sich wie folgt definieren: *„Bei der Anwendung von Dichtsystemen ist der bauphysikalische Grundsatz zu beachten, daß die Wasserdampfdiffusionswiderstände der inneren Dichtsysteme größer sind als die der außenliegenden Dichtsysteme (z. B. raumseitig Bauabdichtungsbahn und außen konstruktive Dichtung). Sind nahezu gleich dichte Abdichtungssysteme raumseitig und außen vorgesehen, so ist durch konstruktive Maßnahmen der Dampfdruckausgleich nach außen sicherzustellen.“*

Die Forderung nach dichten Anschlußfugen sind ebenso im Bereich von Knotenpunkten der Rahmenbauteile sicherzustellen, um eine dauerhafte Funktionssicherheit und Tragsicherheit der Pfosten-Riegel-Verbin-

Der vorliegende Beitrag wurde erstmals auf den Rosenheimer Fenstertagen 1999 gehalten. Referent und Autor: Dipl.-Ing. Peter Niedermaier vom i.f.t., Rosenheim.

dungen zu gewährleisten. Nachfolgend beschriebene Aspekte sind für den Verbindungsbereich und darüber hinaus auch für die Rahmenquerschnitte besonders zu beachten.

Dampfdiffusionsverhalten bei Pfosten- und Riegelbauteilen

Trennt ein Bauteil zwei unterschiedliche Temperaturzonen voneinander, so stellt sich unter einem stationären Zustand eine querschnitts- und materialabhängige Temperaturverteilung im Bauteil ein. Die Temperaturverteilung kann mittels Simulation sehr genau berechnet werden. Eine hierzu übliche Darstellungsweise ist der Isothermenverlauf mit Linien bzw. Zonen gleicher Temperatur im Querschnitt.

Luft kann nur eine begrenzte Menge an Wasser in Gasform aufnehmen. Die Aufnahmefähigkeit von Wasserdampf nimmt dabei mit der Lufttemperatur zu. Zur Kennzeichnung eines Zustandes für Luft bezüglich deren Wasserdampfgehalt gibt man das

Verhältnis von vorhandener Wasserdampfkonzentration zur maximalen Wasserdampfkonzentration bei der betreffenden Temperatur an. Dieses Verhältnis wird als relative Luftfeuchte bezeichnet. Übersteigt die vorhandene Luftfeuchte den maximal möglichen Sättigungszustand, so ist mit Tauwasserausfall zu rechnen.

Holz kann durch Chemisorption, Adsorption und Kapillarkondensation innerhalb des hygrokopischen Bereichs Wasser aus der Luft aufnehmen. Unter definierten Bedingungen stellt sich ein relativ konstanter Wert für die Holzfeuchte ein, welcher als Ausgleichsfeuchte bezeichnet wird. Dieser Wert ist abhängig von:

- der relativen Luftfeuchte,
- der Temperatur,
- dem Luftdruck,
- dem chemischen und strukturellen Aufbau des Holzes.

Die zugrundegelegte Gesetzmäßigkeit wird als hygrokopisches Verhalten des Holzes bezeichnet. Die Wärmedämmung einer Fassadenkonstruktion steht in direktem Zusammenhang mit dem Feuchteschutz der Fassade. Für übliche Klimaverhältnisse wird zur Beurteilung eines Konstruktionsquerschnittes die 10 °C-Isotherme herangezogen. Verläuft diese Isotherme bei Fassadenbauteilen innerhalb des Holzquerschnitts, so ist dafür Sorge zu tragen, daß die Möglichkeit eines Dampfdruckausgleichs zur Außenseite hin ermöglicht wird. Ist dies nicht gewährleistet, kann bei diffusionsgeschlossenen Konstruktionen unter längeren ungünstigen Klimaverhältnissen eine übermäßige Auffeuchtung in den Holzbauteilen stattfinden.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens am i.f.t. Rosenheim sind hierzu an verschiedenen Pfostenquerschnitten über einen längeren Zeitraum Differenzklimaverhältnisse simuliert worden, welche im mitteleuropäischen Raum in strengen Wintermonaten zu erwarten sind.

Als Untersuchungsparameter wurde das Verhältnis der diffusionsoffenen Flächen der Pfostenaußenseite zur Holzoberfläche an der Rauminnenseite variiert. Grundsätzlich ist eine Querschnittsvariante untersucht worden, bei welcher die 10 °C-Isotherme inner-

halb des Holzquerschnitts liegt und damit eine feuchteempfindliche Konstruktion darstellt. In dieser Untersuchungsreihe konnte die bisher zur Anwendung gebrachte Theorie des Feuchteverhaltens diffusionsbehinderter Bauteile bestätigt werden.

Der Versuchsaufbau der Differenzklimabelastung (Bild 3) kann wie folgt charakterisiert werden:

- Anordnung der Holzfeuchtemeßstellen in Höhen von 75 cm und 125 cm bei einer Probekörpergesamtlänge von 200 cm.
- Auf der Raumklimaseite ist eine künstliche Luftumwälzung erzeugt worden zur Sicherung annähernd homogener Randbedingungen.
- Die Luftgeschwindigkeit an der Probekörperoberfläche ist dabei auf das absolut mögliche Mindestmaß eingestellt worden, da Voruntersuchungen gezeigt haben, daß eine zu hohe Luftgeschwindigkeit einen Trocknungseffekt in den Probekörpern bewirkt.
- Die Entlastungsnute in den verschiedenen Probekörpern wurden zur Kalt- bzw. Außenseite hin geöffnet jedoch stirnseitig wärmedämmend, um während der Versuchsphase eine Vereisung der Austrittsöffnung zu verhindern.

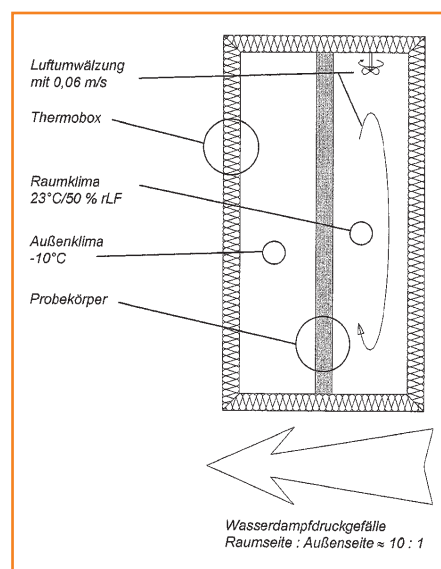


Bild 3: Versuchsaufbau zur Differenzklimauntersuchung

In der nachfolgenden Darstellung (Bild 4) sind die wesentlichen Querschnittsvarianten der Prüfkörper abgebildet. Die grau schraffierten Flächen sind dabei Entlastungsnute, welche im Versuch zur kalten Klimaseite hin

geöffnet waren. Zwischen Querschnitt 3 und 4 besteht in der Querschnittsgeometrie kein Unterschied, sondern in der Einbausituation. Die Entlastungsnute von Querschnitt 4 ist zur Seite des Kaltraumes hin geschlossen. In der Praxis würde dies einer Einbausituation entsprechen, die trotz vorhandener Entlastungsnute nicht korrekt ausgebildet ist, da zur Außenseite hin keine konstruktive Diffusionsöffnung besteht.

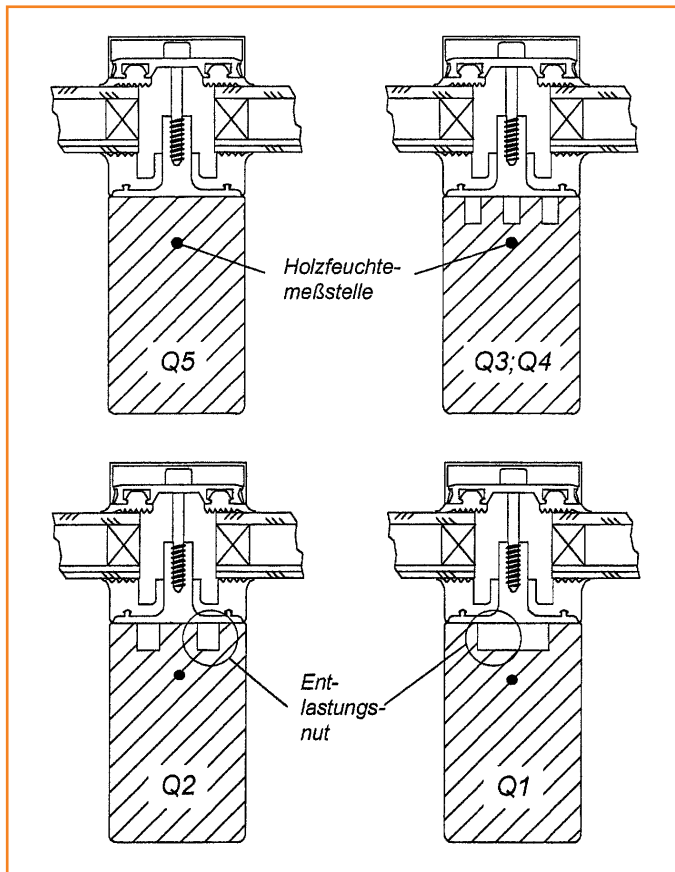
Querschnitt 5 stellt den Grenzfall des absolut diffusionsbehinderten Profils dar. Querschnitt 1 war in der Untersuchungsreihe der Querschnitt mit der maximalen Diffusionsöffnung. Als Holzart wurde für alle Probekörper unbehandeltes Kiefern-Splintholz verwendet, um im Versuch relativ feuchtesensible Probekörper zu untersuchen.

Generell sind die Versuchsergebnisse unter dem Gesichtspunkt zu sehen, daß die 10 °C-Isotherme innerhalb der Holzquerschnitte verläuft. Wird konstruktionsbedingt ein Isothermenverlauf erzeugt, bei welchem die 10 °C-Isotherme außerhalb des Holzquerschnittes verläuft, unterliegen die Querschnitte anderen Gesetzmäßigkeiten. Beim Vergleich der Querschnitte mit den verschiedenen Feuchtekenntlinien in Bild 5 ist deutlich der Zusammenhang zwischen diffusionsöffener und diffusionsbehinderter Konstruktionsweise zu erkennen.

Querschnitt 5 zeigt im Vergleich zu Querschnitt 1 ein wesentlich ungünstigeres Feuchteverhalten über den betrachteten Beobachtungszeitraum. Auch Querschnitt 4, welcher in der Geometrie vergleichbar mit Querschnitt 3 ist, feuchtet infolge der Differenzklimabelastung schneller auf.

Vor allem in den Eckbereichen am Fußpunkt- oder Kopfpunktanschluß, der für die Luftumwälzung an der Fassadeninnenfläche einen Belüftungsschatten darstellt, ist vermehrt Tauwasserausfall beobachtet worden. Aus dieser Tatsache heraus sind ebenso im Bereich von Pfosten-Riegel-Knotenpunkten besondere Anforderungen an die Dichtheit dieser Verbindung gestellt. D. h. Verbindungen im Fassadenbau haben nicht nur mechanische Eigenschaften zu erfüllen, sondern es sind ebenfalls Dichtigkeits-

Bild 4: Schematische Darstellung verschiedener Untersuchungsquerschnitte



anforderungen sicherzustellen, worauf im nachfolgenden Kapitel eingegangen wird.

Die beschriebene Untersuchungsmethode zeigt einen möglichen Weg auf zur Bewertung der feuchtetechnischen Eigenschaften einer Konstruktion mittels Simulationsprüfungen an Originalquerschnitten. Hieraus läßt sich für die untersuchten Querschnitte eine Größenordnung der zu erwartenden Holzfeuchten unter einer definierten Klimabelastung ableiten. Auf keinen Fall läßt sich aus dieser Untersuchungsreihe eine Beurteilung aller marktüblichen Fassadenquerschnitte ableiten. Hierzu empfiehlt es sich stets eine individuelle Untersuchung des zu beurteilenden Pfostenquerschnittes anzustreben.

Konstruktionsdetail Pfosten-Riegel-Verbinder

Die Tragkonstruktion von Holz-Glas-Fassaden besteht aus stabförmigen Bauteilen, welche im Werk zu vorge-

fertigten Elementen oder auf der Baustelle zusammengestellt werden. Hierbei müssen die Verbindungsmittel dieser Stabbauteile im eingebauten Zustand in der Lage sein, die an der Konstruktion planmäßig auftretenden Belastungen, unter Beachtung der hierfür gültigen Normen, in ausreichendem Maß in den Baukörper abtragen zu können. Es gilt vor allem die Forderung, daß das Verbindungs-

mittel unter planmäßigen Belastungen im elastischen Bereich beansprucht wird und nicht unter Gebrauchslast in den plastifizierenden Bereich geführt wird. Dies ist eine unbedingt zu erfüllende Anforderung für Verbindungsmittel, um die Funktionsfähigkeit der gesamten Konstruktion hinsichtlich Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sicherzustellen.

Die Pfosten-Riegel-Verbindung muß neben den mechanischen Eigenschaften ebenfalls eine dichte Fuge zwischen Pfosten und Riegel für den Nutzungszeitraum einer Verbindung gewährleisten. Dies ist darin begründet, um Schäden in der Holzstruktur des Querschnittes und im Verbindungsmittel zu verhindern. In Belüftungsschatten, wie z. B. in Eckbereichen von Pfosten-Riegel-Knotenpunkten, ist Tauwasserbildung unter ungünstigen Verhältnissen wahrscheinlich. Für diesen Fall sollte ein Knotenpunkt mit einem zusätzlichen Dichtelement ausgestattet sein, um

- ein kapillares Eindringen von Feuchtigkeit in die Fuge zwischen Pfosten- und Riegelholz zu vermeiden,
- das Eindringen warmer Raumluft in den Verbindungsmittelbereich und den damit zusammenhängenden Tauwasserausfall zu verhindern (Bild 6).

Die oben beschriebenen Anforderungen an Verbindungsmittel sind, sofern sie in mechanischer Hinsicht nicht durch ein normativ geregeltes Verbindungsmittel nach DIN 1052 erfüllt sind, durch entsprechende Nach-

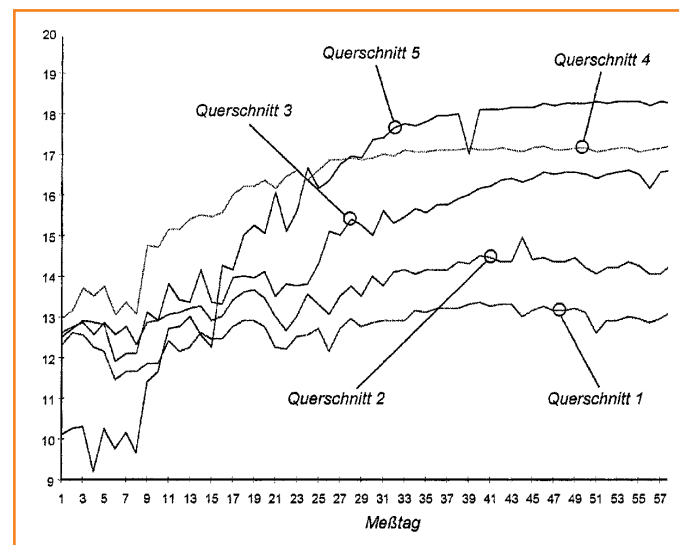


Bild 5: Vergleich der Holzfeuchten an der Meßstelle in der Querschnitts-symmetrieachse im Bereich der 10 °C-Isothermen

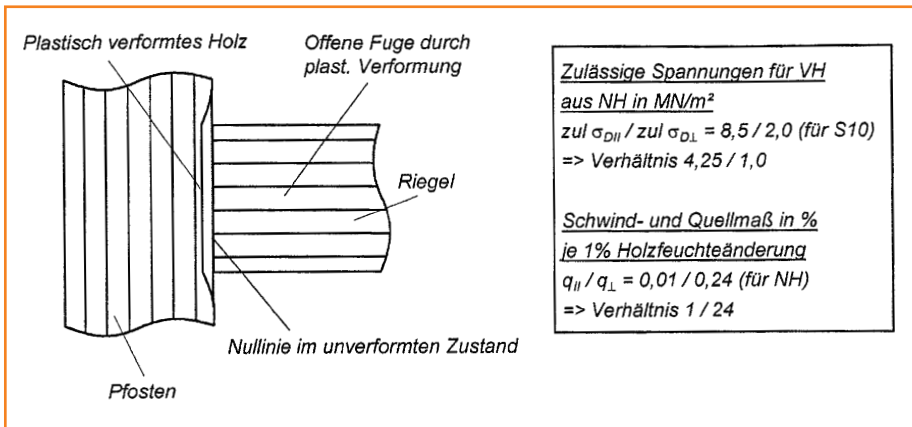


Bild 6: Verformung der Faserstruktur am Pfosten-Riegel-Knotenpunkt infolge Feuchteschwankungen

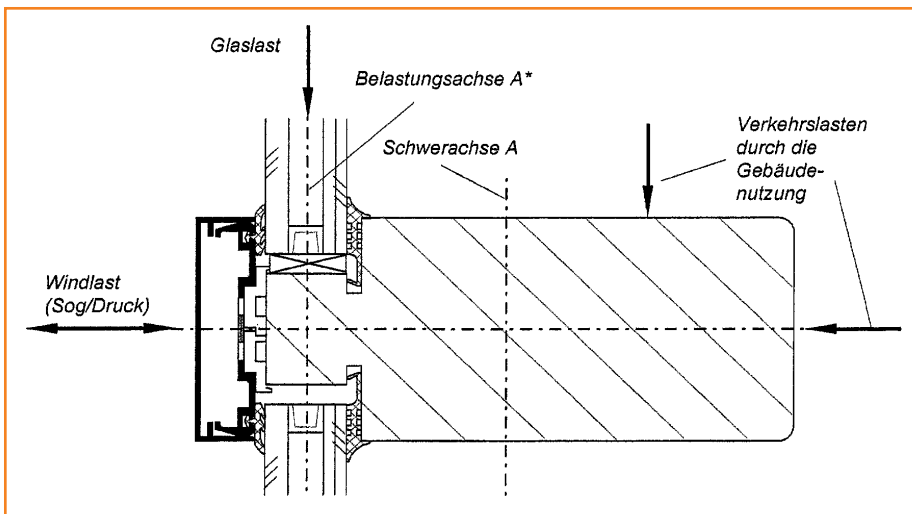


Bild 7: Schnitt durch einen Fassadenriegel zur Beschreibung der exzentrischen Belastung infolge des Glasgewichts

weise oder gegebenenfalls Prüfungen sicherzustellen.

Bild 7 zeigt vereinfacht die an einem Fassadenquerschnitt auftretenden Lastfälle infolge des Konstruktionseigengewichts, der Windbeanspruchungen und der Verkehrslasten.

In Bild 8 sind exemplarisch praxisübliche Verbindungsmittel aus dem Fassadenbau dargestellt. In ihrer Konstruktion und Funktion sind diese Verbindungsmittel oftmals wesentlich komplexer als Standardholzverbindungen, da sie nach der Montage in die Holzkonstruktion vollständig integriert sein sollen. So unterstützen sie neben den funktionellen Anforderungen auch die Ästhetik einer Pfosten-Riegel-Konstruktion.

Besonders im Bereich von Dilatationsachsen der Fassadenkonstruktion

sind besondere Anforderungen an die Pfosten-Riegel-Verbindung gestellt. Eine Querschnittsschwächung bzw. -teilung hat nicht nur Auswirkungen auf die Knickstabilität druckbeanspruchter Pfostenquerschnitte, sondern

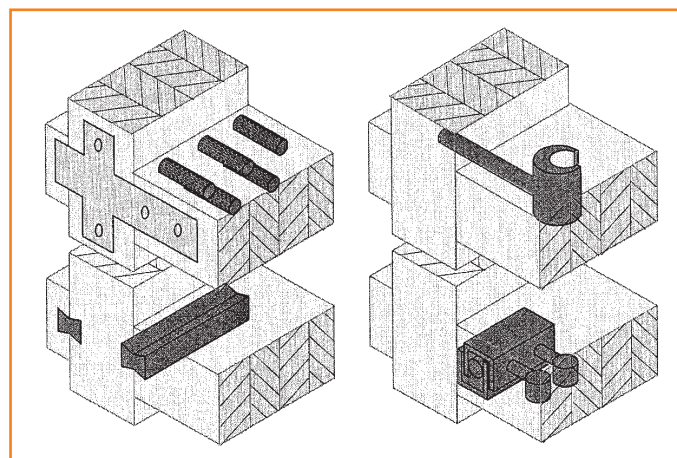


Bild 8: Beispiele für Pfosten-Riegel-Verbindern im Fassadenbau

ebenfalls auf die Tragfähigkeit der angeschlossenen Riegelbauteile.

Zusammengefasst ist folgendes Anforderungsprofil von Fassadenverbindungen zu erfüllen:

- Aufnahme der äußeren Einwirkungen,
- Dichtwirkung an der Brüstungsfuge,
- Ermöglichung von Dehnungsausgleich infolge von Feuchteschwankungen,
- Lösbarkeit der Verbindung,
- hohe Montagefreundlichkeit,
- breites Anwendungsspektrum für verschiedene Querschnittsabmessungen,
- Endmontage von der Verglasungsseite.

Grundsätzlich ist bei Verbindungsmittel im Fassadenbau neben der mechanischen Sicherheit vor allem auch der Aspekt der ästhetischen Verträglichkeit mit der gesamten Konstruktion abzustimmen, so daß ein insgesamt ansprechendes Bauwerk bzw. Bauteil in eine Gebäudestruktur integriert werden kann. □

Literatur

Schmid, J.; Hoeckel, C.; Niedermaier, P.: Entwicklung und Erprobung von Konstruktionsgrundlagen für mehrgeschossige Holzfassaden, Forschungsprojekt am i.f.t. Rosenheim, Projektende Ende 1999
 Schmid, J.; Niedermaier, P.: Structural Glazing-Gebäudehüllen aus Glas auf Holztragkonstruktionen, Bayern Innovativ, März 1999, Rosenheim
 DIN 1052-2 : 1988-04 Holzbauwerke – Teil 2: Mechanische Verbindungen, Berlin, Beuth Verlag GmbH
 DIN 4108-3 : 1981-08 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung, Berlin, Beuth Verlag GmbH
 DIN EN 26 891: 1991-07 Holzbauwerke; Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln; Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens, Berlin, Beuth Verlag GmbH