

# Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Blaß

Dipl.-Ing. Thomas Uibel

Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen

Die Tragfähigkeit stiftförmiger Verbindungsmittel in Brettsperrholz wurde an der Universität Karlsruhe (TH) für die Beanspruchungsrichtungen Abscheren und Herausziehen untersucht. Auf der Grundlage der Forschungsergebnisse werden neue Vorschläge für die Bemessung und Ausführung von Verbindungen in den Seitenflächen und Schmalflächen von Brettsperrholz vorgestellt.

## 1 Einleitung

Seit einigen Jahren wird der aus kreuzweise verklebten Brettern bestehende Holzwerkstoff Brettsperrholz (BSPH) unter verschiedenen Bezeichnungen vermarktet. Brettsperrholz wird nicht nur als Bestandteil eines Bauteils eingesetzt, wie dieses zum Beispiel vornehmlich für Mehrschichtplatten zutrifft, sondern auch als eigenständiges Bauteil. Ganze Gebäude können aus Brettsperrholz in Form von Decken- oder Wandelementen errichtet werden [8]. Des Weiteren findet Brettsperrholz auch bei Brückenkonstruktionen z. B. als Fahrbahnplatte Verwendung. In den letzten Jahren hat die Massivholzbauweise insbesondere im ein- und mehrgeschossigen Wohnungs- und Gewerbebau an Bedeutung gewonnen, so dass immer mehr Hersteller ihr Angebot um Brettsperrholzprodukte größerer Dicke erweitern. Dieses belegt auch die steigende Anzahl der durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) in Berlin erteilten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für Brettsperrholzprodukte.

Das Trag- und Verformungsverhalten von Brettsperrholz wurde bereits weitgehend untersucht. Es kann mit unterschiedlichen Verfahren wie der Verbundtheorie, dem Schubanalogieverfahren oder der Theorie der nachgiebig verbundenen Biegeträger berechnet werden (s. a. [3], [5]).

Der effiziente Einsatz von Brettsperrholzprodukten in einem Bauwerk erfordert es, diese untereinander oder mit anderen Bauteilen zu verbinden. Zur Herstellung wirtschaftlicher Verbindungen bietet sich der Einsatz stiftförmiger Verbindungsmittel wie u. a. Stabdübel, Schrauben oder Nägel an. Die Verbindungsmittel können sowohl in den Seitenflächen als auch in den Schmalflächen von Brettsperrholzplatten angeordnet werden. Als Seitenfläche werden die zur Plattenebene parallelen Oberflächen bezeichnet. Diese werden durch die äußeren Brettlagen gebildet. Die Oberflächen rechtwinklig zur Plattenebene werden als Schmalflächen bezeichnet und begrenzen die Brettsperrholzplatten an den jeweiligen Kanten. Die Schmalflächen enthalten sowohl Seitenholzflächen als auch Hirnholzflächen der einzelnen Brettlagen. In Bild 1 sind die Flächen entsprechend ihrer Definition gekennzeichnet. Die Bemessung und Ausführung von Verbindungen in Brettsperrholzprodukten ist bisher nicht allgemein gültig geregelt. Für die in Deutschland bauaufsichtlich zugelassenen Brettsperrholzprodukte werden zum Teil Regelungen zur Bemessung von Verbindungen in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen angegeben.

In den letzten Jahren wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens das Trag- und Verformungsverhalten von stiftförmigen Verbindungsmitteln in BSPH am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe (TH) untersucht [4], [9], [10]. Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden umfangreiche experimentelle Untersuchungen

durchgeführt. Hierauf aufbauend wurden neue Bemessungsvorschläge für Verbindungen in den Seiten- und Schmalflächen von Brettsperrholz entwickelt [11]. Diese Bemessungsvorschläge werden z. T. bereits in neueren allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen berücksichtigt. Inwiefern diese Vorschläge in allgemeingültige Bemessungsregeln innerhalb einer Bemessungsnorm einfließen, ist bisher noch nicht abzusehen. Neben den nationalen bzw. europäisch-technischen Zulassungen des jeweiligen Brettsperrholzproduktes sind für die Bemessung und Ausführung von Verbindungen mit bauaufsichtlich zugelassenen Verbindungsmitteln ggf. die Regelungen der jeweiligen Zulassung zu beachten.



Bild 1: Geöffnete Stabdübelverbindung in Seiten- und Schmalflächen von Brettsperrholz

## 2 Eigenschaften von Brettsperrholz

Brettsperrholz besteht aus kreuzweise verklebten Brettlagen, wobei eine Brettlage aus mehreren, nebeneinander liegenden Brettern gebildet wird. Je nach Produkt können die Einzelbretter einer Brettlage an deren Schmalseiten mit oder ohne Fugen gestoßen bzw. sogar verklebt sein. Die Breite der Fugen wird in bauaufsichtlichen Zulassungen auf einen Maximalwert von 6 mm beschränkt. Eine Untersuchung der Fugen an Brettsperrholzplatten dreier Hersteller ergab einen 95%-Quantilwert der Fugenbreite von 1 bis 1,6 mm für die äußeren Brettlagen und von 1,8 bis 4,5 mm für die inneren Brettlagen. Der größte Mittelwert der Fugenbreite betrug 2 mm und wurde in den Mittellagen festgestellt. Einige Brettsperrholzprodukte verfügen über Entlastungsnuten, die mit einer Breite von rund 2,5 mm in Faserlängsrichtung der Bretter eingesägt werden. Bild 2 zeigt die Ausbildung von Brettstößen und Nuten bei unterschiedlichen Brettsperrholzprodukten.

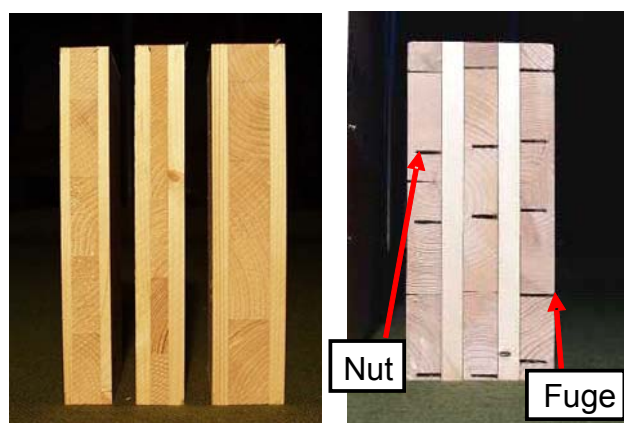


Bild 2: Ausbildung von Brettstößen in unterschiedlichen Brettsperrholzprodukten

Bei Beanspruchung auf Abscheren kann die Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln nach der Theorie von Johansen ermittelt werden. Neben der Geometrie der Verbindung und dem Fließmoment des Verbindungsmittels wird hierzu als Eingangsgröße die Lochleibungsfestigkeit der Bauteile benötigt. Die Tragfähigkeit von Schrauben oder Nägeln, die auf Herausziehen beansprucht werden, lässt sich mit den Herauszieh Widerständen berechnen.

Die Lochleibungsfestigkeit und der Herauszieh Widerstand wurden für Brettsperrholz bisher nicht allgemein gültig untersucht. Beide Parameter sind nicht als reine Werkstoffeigenschaften, sondern als Systemeigenschaften zu betrachten. Sie korrelieren mit der Rohdichte des Holzes bzw. des Holzwerkstoffes. Daher ist die Kenntnis über die Rohdichte von Brettsperrholz für die Bemessung von Verbindungen erforderlich.

Zur Bestimmung der charakteristischen Rohdichte wurden 2299 Rohdichteproben von Brettsperrholzplatten unterschiedlicher Hersteller und Aufbauten untersucht. Auf Grundlage dieser Untersuchung kann für Brettsperrholzprodukte aus Fichte (*picea abies*) eine charakteristische Rohdichte von  $400 \text{ kg/m}^3$  vorgeschlagen werden. Die in den folgenden Abschnitten angegebenen Gleichungen zur Berechnung der Parameter Lochleibungsfestigkeit und Herauszieh Widerstand beruhen auf dieser Anforderung an die charakteristische Rohdichte.

### 3 Beanspruchung in Richtung der Stiftachse

#### 3.1 Allgemeines

Die Tragfähigkeit axial belasteter Schrauben und Nägel ist abhängig von ihrem Herauszieh Widerstand, ihrer Zugtragfähigkeit und ggf. dem Kopfdurchzieh Widerstand. Bei einigen Brettsperrholzprodukten wird der Herauszieh Widerstand der Verbindungsmittel von ihrer Anordnung im Hinblick auf Fugen und Nuten beeinflusst. Auch bei einer ungünstigen Positionierung eines Verbindungsmittels innerhalb einer Fuge oder Nut ist eine zuverlässige Übertragung der Kräfte durch einen Anschluss zu gewährleisten. Daher sollten innerhalb eines Anschlusses mindestens zwei Verbindungsmittel pro Verbindungsmittelreihe angeordnet werden. Bei Verbindungen in den Seitenflächen sollten mindestens zwei Verbindungsmittelreihen vorgesehen werden und die Eindringtiefe der Verbindungsmittel so gewählt werden, dass die Verbindungsmittelspitze mindestens die dritte Brettlage durchdringt. In den Schmalflächen von Brettsperrholz können Verbindungsmittel faserparallel oder auch rechtwinklig zur Faserrichtung einer Brettlage eingebracht werden. In Bild 3 sind die möglichen Positionen von Verbindungsmitteln in den Seiten- und Schmalflächen dargestellt. Hierbei wurde auch ihre Lage hinsichtlich von Fugen bzw. Nuten berücksichtigt.

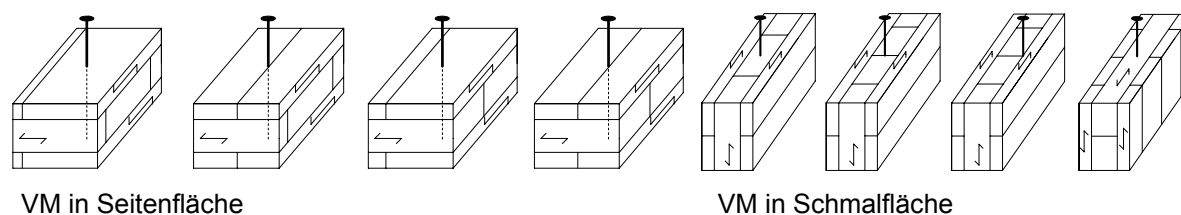


Bild 3: Mögliche Positionen von Verbindungsmitteln (VM) in den Seiten- und Schmalflächen von BSPH

#### 3.2 Herauszieh Widerstand von Sondernägeln

Der charakteristische Wert  $R_{ax,n,k}$  des Herauszieh Widerstandes von Sondernägeln (Kamm-, Rillen-, Schraubnägel) der Tragfähigkeitsklasse 3 gemäß DIN 1052:2004-08 [12] in den Seitenflächen von Brettsperrholz kann mit Gleichung (1) berechnet werden.

$$R_{ax,n,k} = 14 \cdot d^{0,6} \cdot \ell_{ef} \quad \text{in N} \quad (1)$$

mit

$d$  Nenndurchmesser des Sondernagels in mm

$l_{ef}$  wirksame Einschlagtiefe in mm

Für Verbindungen in Brettsperrholzprodukten mit Fugen und Nuten sollten Nägel mit einem Mindestdurchmesser von  $d = 4$  mm verwendet werden. Bei diesen Produkten sollte für Nägel mit einem Durchmesser von  $d < 6$  mm der Herauszieh Widerstand nur zu 80 % des Wertes nach Gleichung (1) angesetzt werden. Die wirksame Einschlagtiefe  $l_{ef}$  ist größer als  $8 \cdot d$  zu wählen. In den Schmalflächen von BSPH sollten keine Nagelverbindungen ausgeführt werden.

### 3.3 Herauszieh Widerstand von selbstbohrenden Holzschrauben

Der charakteristische Wert  $R_{ax,s,k}$  des Herauszieh Widerstandes von selbstbohrenden Holzschrauben kann nach Gleichung (2) bzw. (3) berechnet werden. Die Gleichungen gelten für selbstbohrende Holzschrauben mit Voll- oder Teilgewinde, die den im Forschungsvorhaben untersuchten Schrauben insbesondere bezüglich ihrer Geometrie entsprechen. Diese erfüllten bei einer Herausziehbeanspruchung aus Vollholz mindestens die Anforderungen an die Tragfähigkeitsklasse 3 nach DIN 1052:2004-08 [12].

Gleichung (2) erlaubt die allgemeine Ermittlung des Herauszieh Widerstandes ohne Kenntnis der genauen Schraubenposition in der Schmalfläche. Vereinfachend wird angenommen, dass die Schraubenachse parallel zur Faserrichtung angeordnet ist ( $\varepsilon = 0^\circ$ ). Gleichzeitig wird die charakteristische Rohdichte der Brettlage ( $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ ) entsprechend dem Ausgangsmaterial berücksichtigt. Für andere Schraubenpositionen in der Schmalfläche ergeben sich somit konservative Werte für den Herauszieh Widerstand. Bei Verbindungen in den Seitenflächen von BSPH ( $\varepsilon = 90^\circ$ ) wird implizit die charakteristische Rohdichte des Gesamtquerschnitts ( $\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$ ) berücksichtigt.

$$R_{ax,s,k} = \frac{31 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef}^{0,9}}{1,5 \cdot \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} \text{ in N} \quad (2)$$

mit

$d$  Nenndurchmesser der Schraube in mm

$l_{ef}$  wirksame Einschraubtiefe in mm

$\varepsilon$  für Verbindungen in den Seitenflächen:  $\varepsilon = 90^\circ$

für Verbindungen in den Schmalflächen:  $\varepsilon = 0^\circ$

Werden Schrauben in den Schmalflächen ausschließlich so in die Brettlagen eingebracht, dass die Schraubenachse rechtwinklig zur Faserrichtung angeordnet ist, darf der höhere Herauszieh Widerstand nach Gleichung (3) berechnet werden. Es ist sicherzustellen, dass die Schrauben jeweils in der Mitte der Brettlage angeordnet werden.

$$R_{ax,s,k} = 28 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef}^{0,9} \text{ in N} \quad (3)$$

mit

$d$  Nenndurchmesser der Schraube in mm

$l_{ef}$  wirksame Einschraubtiefe in mm

Über das Langzeitverhalten von faserparallel eingedrehten Schrauben liegen bisher nur wenige Erkenntnisse vor. Ergebnisse von Versuchen mit Prüfkörpern aus Vollholz lassen vermuten, dass bei einer dauerhaften Beanspruchung mit deutlich geringeren Tragfähigkeiten zu rechnen ist. Langzeitversuche mit faserparallel in den Schmalflächen von BSPH angeordneten Holzschrauben werden zurzeit an der Universität Karlsruhe durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in ca. drei Jahren vorliegen. Zwischenzeitlich wird zur

Übertragung von axialen Kräften in den Schmalflächen empfohlen, die Schrauben in die Brettlagen einzudrehen, deren Faserrichtung rechtwinklig zur Schraubenachse verläuft.

Bei Schraubenverbindungen dürfen Einschraubtiefen  $\ell_{ef} < 4 \cdot d$  nicht in Rechnung gestellt werden. Der Mindestdurchmesser der Schrauben sollte für Verbindungen in den Seitenflächen  $d = 6$  mm und für Verbindungen in den Schmalflächen  $d = 8$  mm betragen.

## 4 Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse

### 4.1 Allgemeines zur Berechnung der Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit stiftförmiger Verbindungsmittel bei Beanspruchung auf Abscheren wird im Holzbau üblicherweise nach der Theorie von Johansen berechnet. Hierbei wird ein idealplastisches Verhalten des Holzes bzw. des Holzwerkstoffes unter Lochleibungsbeanspruchung und des stiftförmigen Verbindungsmittels unter Biegebeanspruchung vorausgesetzt. Gleichungen zur Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln sind z. B. im Anhang G der DIN 1052:2004-08 [12] angegeben. Für Verbindungsmittel, die zudem Kräfte in Richtung der Stiftachse übertragen können (Passbolzen, Bolzen, Schrauben sowie Sondernägeln in Stahlblech-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen), darf die Tragfähigkeit unter Ausnutzung des Einhängeneffektes erhöht werden. Auch die Tragfähigkeit von Verbindungsmitteln in BSPH kann mit der Johansen-Theorie und unter Ausnutzung des Einhängeneffektes ermittelt werden. Die benötigten Lochleibungsfestigkeiten sowie die Besonderheiten bei der Berechnung der Tragfähigkeit werden folgend für Verbindungen in den Schmal- und Seitenflächen von Brettsperrholz vorgestellt.

### 4.2 Verbindungen in den Schmalflächen

Bei Verbindungen in den Schmalflächen kann die Stiftachse der Verbindungsmittel sowohl rechtwinklig als auch parallel zur Faserrichtung einer Brettlage angeordnet sein. Des Weiteren kann sich ein Verbindungsmittel gleichzeitig in Brettlagen unterschiedlicher Faserrichtung befinden. Um mit den üblichen Johansen-Gleichungen die Tragfähigkeit berechnen zu können, wird die Lochleibungsfestigkeit für die Verbindungsmittel in den Schmalflächen benötigt. Umfangreiche experimentelle Untersuchungen [4] haben gezeigt, dass die maßgebende Lochleibungsfestigkeit bei parallel zur Faserrichtung eingebrachten Verbindungsmitteln erreicht wird. Bei den empirischen Untersuchungen wurden auch die möglichen Positionen von Verbindungsmitteln bezüglich von Fugen und Nuten berücksichtigt. Unabhängig von der Anordnung des Verbindungsmittels in der Schmalfläche kann daher ein konservativer, charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit für nicht vorgebohrte Brettsperrhölzer bei Schrauben- und Nagelverbindungen gemäß Gleichung (4) berechnet werden.

$$f_{h,k} = 20 \cdot d^{-0,5} \text{ in N/mm}^2 \quad (4)$$

mit

$d$  Nenndurchmesser der Schrauben bzw. Nägel in mm

Die Lochleibungsfestigkeit in den Schmalflächen von Brettsperrholz bei Verbindungen mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen kann mit Gleichung (5) ermittelt werden.

$$f_{h,k} = 9 \cdot (1 - 0,017 \cdot d) \text{ in N/mm}^2 \quad (5)$$

mit

$d$  Nenndurchmesser der Stabdübel, Passbolzen oder Bolzen in mm

Bei Anordnung mehrerer Verbindungsmittel in einer Reihe kann ein Anschluss bei geringen Abständen der Verbindungsmittel untereinander durch Aufspalten versagen. Bei Verbindungen in den Schmalflächen von Brettsperrholz trifft dieses insbesondere auf Verbindungsmittel zu, die rechtwinklig zur Faserrichtung einer Brettlage angeordnet sind. Dieser spröde Versagensmechanismus kann durch Reduzierung der tatsächlichen Verbindungsmittelanzahl auf eine wirksame Anzahl  $n_{ef}$  berücksichtigt werden. Es wird empfohlen,  $n_{ef}$  wie für Vollholz zu berechnen, siehe Abschnitt 12.3, Absatz (9) der DIN 1052:2004-08 [12].

### 4.3 Verbindungen in den Seitenflächen

#### 4.3.1 Schrauben- und Nagelverbindungen

Die Lochleibungsfestigkeit für Schrauben und Nägel, die ohne Vorbohren eingebracht werden, ist unabhängig vom Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung. Es wird daher auch für BSPH angenommen, dass eine entlang der Stiftachse gleichmäßig verteilte Lochleibungsfestigkeit vorliegt. Zur Ermittlung der Verbindungsmitteltragfähigkeit können die üblichen Johansen-Gleichungen verwendet werden. Hierzu sind Vorschläge für die charakteristische Lochleibungsfestigkeit in den Gleichungen (6) und (7) angegeben. Die Lochleibungsfestigkeit für Schrauben und Nägel in den Seitenflächen von Brettsperrholz mit Brettlagendicken  $t_i \leq 9$  mm kann mit Gleichung (6) ermittelt werden.

$$f_{h,k} = 60 \cdot d^{-0,5} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (6)$$

mit

$d$  Nenndurchmesser des Verbindungsmittels in mm

Bei BSPH mit Brettlagendicken  $t_i > 9$  mm ist die Lochleibungsfestigkeit wie für Vollholz zu ermitteln (z. B. nach Abschnitt 12 der DIN 1052:2004-08 [12]). Für die Rohdichte ist hierbei der charakteristische Wert des Ausgangsmaterials einzusetzen. Ggf. ist der Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung der Decklagen zu berücksichtigen. Für selbstbohrende Holzschrauben mit Vollgewinde z. B. kann die Lochleibungsfestigkeit nach einem Vorschlag von Blaß und Bejtka [1], [2] berechnet werden:

$$f_{h,VgSr,k} = 0,019 \cdot \rho_{B,k}^{1,24} \cdot d^{-0,3} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (7)$$

mit

$d$  Außen- bzw. Nenndurchmesser der Schraube in mm

$\rho_{B,k}$  charakteristische Rohdichte des Ausgangsmaterials in  $\text{kg/m}^3$  (i. d. R.  $350 \text{ kg/m}^3$ )

#### 4.3.2 Verbindungen mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen

Bei Verbindungsmitteln wie Stabdübel oder Bolzen ist die Lochleibungsfestigkeit abhängig vom Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung. Aufgrund der kreuzweise verklebten Brettlagen liegen für diese Verbindungsmittel entlang der Stiftachse abschnittsweise unterschiedliche Lochleibungsfestigkeiten vor. Es sind genauere Betrachtungen notwendig, bei denen die Versagensmechanismen nach Johansen zu erweitern sind. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden entsprechende Versagensfälle für Stahlblech-BSPH-Verbindungen und BSPH-BSPH-Verbindungen hergeleitet. Die jeweiligen Versagensfälle führen zu relativ komplexen Formulierungen, mit denen die Tragfähigkeit zu ermitteln ist. Des Weiteren nimmt die Anzahl der zu betrachtenden Versagensfälle mit zunehmender Brettlagenanzahl zu. Um den Berechnungsaufwand zu reduzieren, wird ein vereinfachtes Modell vorgeschlagen. Hierbei wird nicht für jede Brettlage eine differenzierte Lochleibungsfestigkeit angesetzt, sondern die durch Versuche ermittelte Lochleibungsfestigkeit für den Gesamt-

querschnitt von Brettsperrholz. Die Tragfähigkeit kann somit mit den herkömmlichen Johansen-Gleichungen für homogene Bauteile berechnet werden. Das vereinfachte Modell ist bei vielen Brettsperrholzaufbauten anwendbar. Bei der Berechnung muss die charakteristische Lochleibungsfestigkeit von Stabdübeln und Bolzen mit Gleichung (8) ermittelt werden. Die angegebene Lochleibungsfestigkeit ist in ihrem Gültigkeitsbereich unabhängig vom Aufbau und den Brettlagendicken.

$$f_{h,k} = \frac{32 \cdot (1 - 0,015 \cdot d)}{1,1 \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (8)$$

mit

$d$  Nenndurchmesser des Verbindungsmittels in mm

$\alpha$  Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung der Decklagen

Folgende Bedingungen sollten bei der Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit nach Gleichung (8) eingehalten werden:

- maximale Brettlagendicke  $t_{i,max} \leq 40$  mm
- Mindestdicke / Mindesteinbindetiefe: drei Brettlagen
- Verhältnis der Brettlagen unterschiedlicher Orientierung  $\zeta$  nach Gleichung (9) zwischen 0,95 und 2,0.

$$\zeta = \frac{\sum t_{0,i}}{\sum t_{90,j}} \quad (9)$$

mit

$t_{0,i}$  Dicke der einzelnen Brettlagen, parallel zur Faserrichtung der Decklagen

$t_{90,j}$  Dicke der einzelnen Brettlagen, rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklagen

Durch die kreuzweise verklebten Brettlagen darf für Verbindungen in den Seitenflächen von Brettsperrholz von einer Querkzugverstärkung ausgegangen werden. Eine Tragfähigkeitsreduzierung aufgrund eines frühzeitigen, spröden Versagens durch Aufspalten tritt in der Regel nicht auf. Daher ist es nicht erforderlich die Anzahl hintereinander liegender Verbindungsmittel zu reduzieren, so dass für die wirksame Anzahl  $n_{ef}$  gilt:

$$n_{ef} = n \quad (10)$$

Bei Versuchen mit Stabdübelverbindungen in den Seitenflächen konnte teilweise ein Blockscheren in einzelnen Brettlagen beobachtet werden, siehe Bild 4. Dieses Blockscheren führt nicht zu einem völligen Versagen der Verbindung, jedoch wird die rechnerische Tragfähigkeit nicht ganz erreicht. Insgesamt zeigten diese Verbindungen ein äußerst duktilen Verhalten, wie das Last-Verschiebungsdiagramm in Bild 4 zeigt. In Abschnitt 5 werden Mindestabstände der Verbindungsmittel untereinander und zum Rand angegeben. Unter Einhaltung dieser Abstände kann der Einfluss des Blockscherens von Decklagen auf die Tragfähigkeit zumeist minimiert oder sogar völlig verhindert werden. Die Auswirkungen des Blockscherens in den Brettlagen sind jedoch noch nicht abschließend geklärt. Daher wird empfohlen, bei konzentrierten Anschlüssen mit mehreren hintereinander liegenden Verbindungsmitteln unter Anwendung der kleinsten möglichen Abstände die Tragfähigkeitsnachweise nicht völlig auszunutzen. Als Richtwert kann hier ein Ausnutzungsgrad von ca. 80 % angegeben werden.

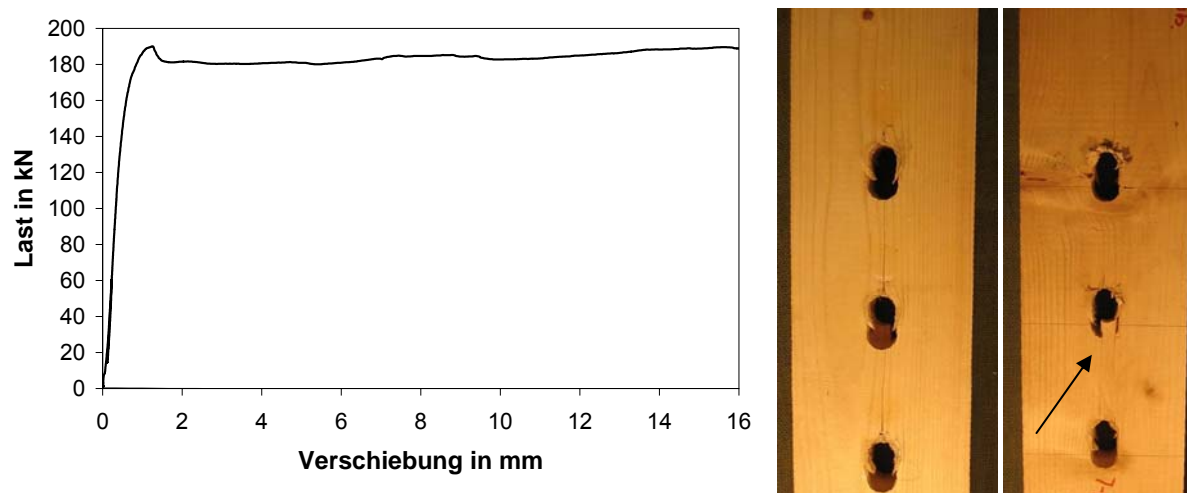


Bild 4: Last-Verschiebungsdiagramm für eine Stabdübelverbindung in den Seitenflächen (links), Versuchsbeobachtung: Blockscheren in der Decklage (rechts)

## 5 Ausbildung von Anschlüssen

Für Herausziehbeanspruchungen sind bereits im Abschnitt 3 einige Anforderungen an die Mindesteindringtiefen von Verbindungsmitteln sowie an die Anzahl der Verbindungsmittel und Verbindungsmittelreihen aufgeführt. Zusätzlich sind Mindestabstände und Mindesteinbindetiefen einzuhalten. Für Verbindungsmittel, die in die Seitenflächen von Brettsperrholz eingebracht werden, sind die Mindestabstände in Tabelle 1 angegeben. Eine Definition der Abstände zeigt Bild 5. In Bild 6 sind die Abstände von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen definiert. Die zugehörigen Mindestabstände sind in Tabelle 2 aufgeführt. Diese gelten bei Belastung der Verbindungsmittel in Plattenebene und sind unabhängig vom Winkel zwischen Stiftachse und Faserrichtung. Für Verbindungen in den Schmalflächen sind die Anforderungen an die Mindestdicken des Brettsperrholzes bzw. der maßgebenden Brettlagen sowie an die Mindesteinbindetiefen der Verbindungsmittel in Tabelle 3 zusammengestellt. Bei Belastung rechtwinklig zur Plattenebene ist darüber hinaus ein Aufspalten der Schmalflächen bzw. die Querkzugbeanspruchung zu berücksichtigen.

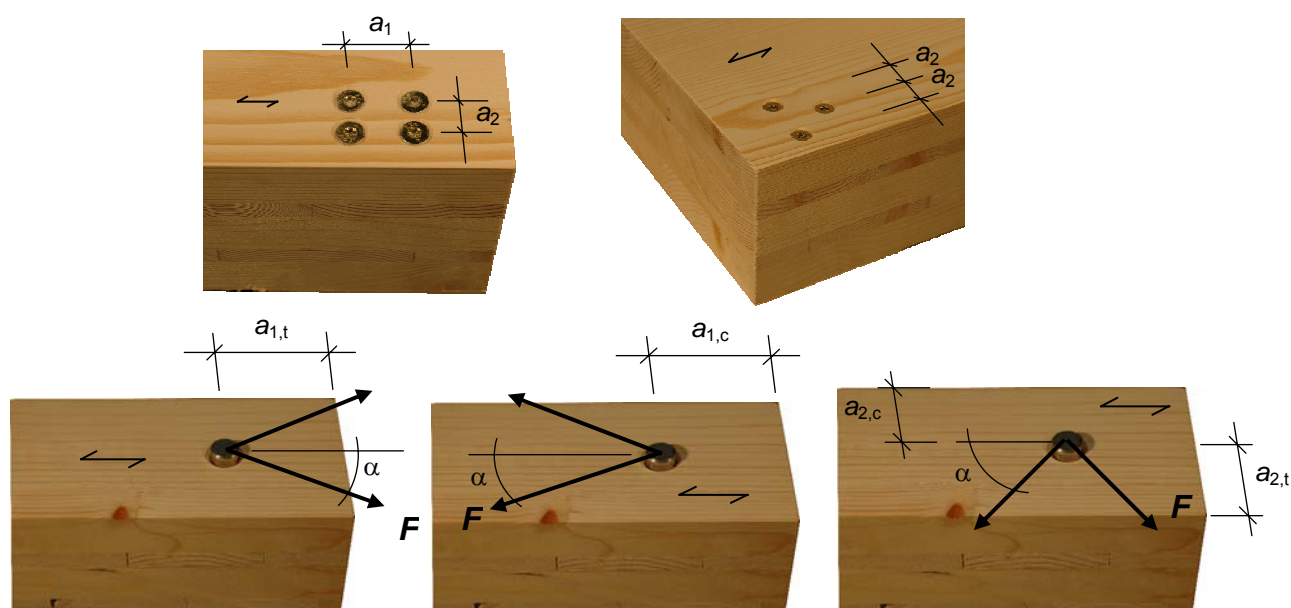


Bild 5: Definition der Abstände von Verbindungsmitteln in den Seitenflächen



Tabelle 1: Mindestabstände von Verbindungsmitteln in den Seitenflächen

| Verbindungsmittel       | $a_{1,t}$                           | $a_{1,c}$  | $a_1$  | $a_{2,t}$                           | $a_{2,c}$     | $a_2$         |
|-------------------------|-------------------------------------|--|--|-------------------------------------|---------------|---------------|
| Schrauben <sup>1)</sup> | $6 \cdot d$                         | $6 \cdot d$  | $4 \cdot d$  | $6 \cdot d$                         | $2,5 \cdot d$ | $2,5 \cdot d$ |
| Nägel                   | $(7 + 3 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ | $6 \cdot d$  | $(3 + 3 \cdot \cos \alpha) \cdot d$                        | $(3 + 4 \cdot \sin \alpha) \cdot d$ | $3 \cdot d$   | $3 \cdot d$   |
| Stabdübel<br>Passbolzen | $5 \cdot d$                         | $4 \cdot d \cdot \sin \alpha$<br>(min. $3 \cdot d$ ) | $(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$                        | $3 \cdot d$                         | $3 \cdot d$   | $3 \cdot d$   |
| Bolzen                  | $5 \cdot d$                         | $4 \cdot d$  | $(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$<br>(min. $4 \cdot d$ ) | $3 \cdot d$                         | $3 \cdot d$   | $4 \cdot d$   |

$\alpha$  Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung der Decklagen  
1) selbstbohrende Holzschrauben

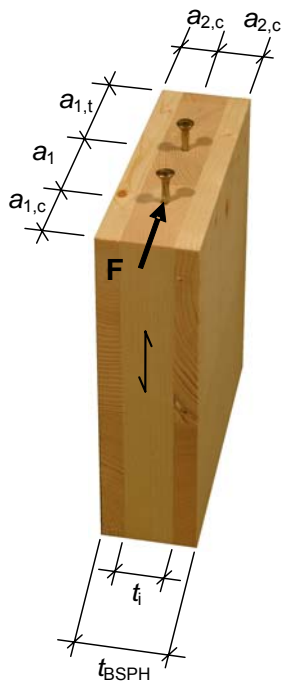


Bild 6: Definition der Abstände von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen

Tabelle 2: Mindestabstände von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen

| Verbindungsmittel       | $a_{1,t}$    | $a_{1,c}$   | $a_1$<br>(in Plattenebene) | $a_{2,c}$   | $a_2$<br>(rechtwinklig zur<br>Plattenebene) |
|-------------------------|--------------|-------------|----------------------------|-------------|---|
| Schrauben <sup>1)</sup> | $12 \cdot d$ | $7 \cdot d$ | $10 \cdot d$               | $5 \cdot d$ | $3 \cdot d$                                 |
| Stabdübel<br>Passbolzen | $5 \cdot d$  | $3 \cdot d$ | $4 \cdot d$                | $3 \cdot d$ | $3 \cdot d$                                 |
| Bolzen                  | $5 \cdot d$  | $4 \cdot d$ | $4 \cdot d$                | $3 \cdot d$ | $4 \cdot d$                                 |

1) selbstbohrende Holzschrauben

Tabelle 3: Mindestbrettlagendicken, Mindestdicken und Mindesteinbindetiefen für Verbindungen in den Schmalflächen

| Verbindungs-<br>mittel            | Mindestdicke<br>der maßgebenden Brettlage<br>$t_i$ in mm          | Mindestdicke<br>des Brettsperrholzes<br>$t_{\text{BSPH}}$ in mm | Mindesteinbindetiefe der VM<br>in den Schmalflächen<br>$t_1$ bzw. $t_2$ in mm |
|-----------------------------------|---|---|---|
| Schrauben                         | $d > 8 \text{ mm}: 3 \cdot d$<br>$d \leq 8 \text{ mm}: 2 \cdot d$ | $10 \cdot d$  | $10 \cdot d$  |
| Stabdübel<br>Passbolzen<br>Bolzen | $d$   | $6 \cdot d$   | $5 \cdot d$   |

$t_1$  Mindesteinbindetiefe des Verbindungsmittels in den Schmalflächen des Seitenholzes bzw. Seitenholzdicke  
 $t_2$  Mindesteinbindetiefe des Verbindungsmittels in den Schmalflächen des Mittelholzes

## 6 Langzeitverhalten

Mit in den Schmalflächen von Brettsperrholz angeordneten Verbindungsmitteln lassen sich Bauteile wirtschaftlich verbinden. Um diese Verbindungen effizient nutzen zu können, ist es erforderlich, auch Einwirkungen mit ständiger oder langer Lasteinwirkungsdauer (Eigengewicht, Nutzlasten) zuverlässig zu übertragen. Hierzu sind insbesondere für faserparallel angeordnete Verbindungsmittel Aussagen über das Langzeitverhalten erforderlich. Für Schraubenverbindungen in den Schmalflächen von BSPH wird das Langzeitverhalten zurzeit am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe untersucht. Hierzu werden sowohl Herausziehversuche als auch Zug-Scherversuche mit faserparallel in eine Brettlage eingedrehten, selbstbohrenden Holzschrauben durchgeführt, siehe Bild 7. Nach einem Beobachtungszeitraum von drei Jahren sollen diese Prüfkörper entlastet und die Resttragfähigkeit im Kurzzeitversuch ermittelt werden. Die Klimadaten werden über den Versuchszeitraum kontinuierlich erfasst.

Die Versuche werden im Freien unter einer Überdachung durchgeführt. Eine Bewitterung der Prüfkörper ist somit ausgeschlossen, so dass die klimatischen Verhältnisse der Nutzungsklasse 2 gemäß DIN 1052:2004-08 entsprechen. Die Belastung der Prüfkörper erfolgt in Höhe des Bemessungswertes der Tragfähigkeit. Hierbei wurde bei den Versuchen mit rechtwinklig zur Stiftachse belasteten Schrauben der Modifikationsbeiwert für die Lasteinwirkungsdauer mit  $k_{\text{mod}} = 0,8$  berücksichtigt. Die Beanspruchung ist somit höher als für die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ständig ( $k_{\text{mod}} = 0,6$ ). Bezogen auf die Standzeit der Versuche von drei Jahren kann so ein konservativer Wert für die Tragfähigkeit unter Langzeitbeanspruchung ermittelt werden. Bei den auf Herausziehen beanspruchten Schrauben wurde die Belastung auf 70 % des Bemessungswertes der Tragfähigkeit für einen Modifikationsbeiwert von  $k_{\text{mod}} = 0,8$  reduziert.

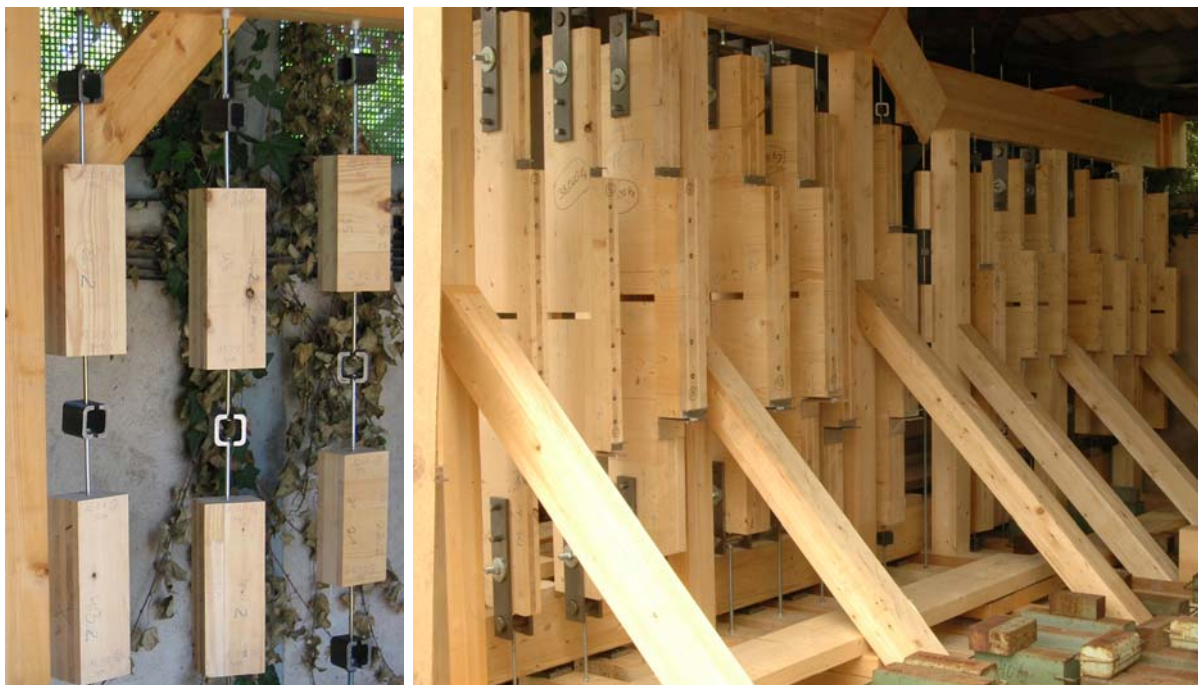


Bild 7: Langzeitversuche mit auf Herausziehen und mit auf Abschern beanspruchten selbstbohrenden Holzschrauben

## 7 Zusammenfassung

Die effiziente Verwendung von Bauteilen aus Brettsperrholz erfordert es, diese untereinander und mit anderen Bauteilen zu verbinden. Eine wirtschaftliche Lösung hierfür bietet der Einsatz von stiftförmigen Verbindungsmitteln, die in den Seiten- und Schmalflächen von Brettsperrholz angeordnet werden können. Hierdurch ist es auch möglich, die Bauteile ohne zusätzliche Verbindungselemente wie z. B. Stahlblech-Winkel direkt zu verbinden.

Auf Grundlage der Ergebnisse eines Forschungsvorhabens konnten Vorschläge für die Bemessung von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz entwickelt werden. Zur Berechnung der Tragfähigkeit von Holzschrauben und Sondernägeln unter axialer Beanspruchung werden Gleichungen zur Ermittlung des Herausziehwiderstandes angegeben. Die vorgestellten Berechnungsmodelle auf der Grundlage der Johansen-Theorie ermöglichen es, die Tragfähigkeit von Verbindungen unter Beanspruchung auf Abscheren zu ermitteln. Für die meisten Konfigurationen kann die Tragfähigkeit mit einem vereinfachten Berechnungsansatz bestimmt werden. Die zur Ermittlung der Verbindungsmitteltragfähigkeit erforderliche charakteristische Lochleibungsfestigkeit kann mit Hilfe der hierfür angegebenen Gleichungen berechnet werden.

In den Seitenflächen von Brettsperrholz sind geringe Abstände der Verbindungsmittel untereinander und zum Rand möglich. Außerdem wird ein Spaltversagen von Verbindungen durch die Querlagen verhindert. Diese Querzugverstärkung und das duktile Verhalten der Verbindung erlauben es, auf die Reduzierung der tatsächlichen Verbindungsmittelanzahl auf eine wirksame Anzahl zu verzichten. Anschlüsse in den Seitenflächen von Brettsperrholz können folglich eine höhere Tragfähigkeit aufweisen als in Vollholz oder Brettschichtholz. Das bedeutet, dass sich mit stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz auf kleinen Anschlussflächen vergleichsweise große Kräfte übertragen lassen. In BSPH wird unter Ausnutzung der Mindestabstände häufig ein Bauteilversagen maßgebend. Aufgrund der kreuzweise verklebten Brettlagen weist BSPH eine geringere Tragfähigkeit in Faserrichtung der Decklagen auf als ein vergleichbarer Vollholzquerschnitt. Bei den im Holzbau üblichen stabförmigen Bauteilen aus Voll- oder Brettschichtholz wird hingegen häufig die Querschnittsdimensionierung nicht durch die Bauteiltragfähigkeit, sondern durch die Größe der Anschlussflächen bestimmt. Hier bietet sich die Möglichkeit, das Potential von Brettsperrholz auch für diese Bauteile wie z. B. Zugstäbe zu nutzen. Durch Reduzierung der Brettstärke der Querlagen wäre es möglich, den Aufbau des Brettsperrholzes zur Übertragung von Zugkräften zu optimieren. Damit können für Stabtragwerke schlankere Bauteile eingesetzt werden, bei denen ein nahezu ausgeglichenes Verhältnis zwischen Bauteiltragfähigkeit und Anschlusstragfähigkeit besteht. Des Weiteren verfügen stabförmige Bauteile aus Brettsperrholz über weitere positive Eigenschaften des Holzwerkstoffes wie z. B. bezüglich des Quell- und Schwindverhaltens oder der Querzugtragfähigkeit.

## 8 Literatur

- [1] Bejtka, I.: Verstärkungen von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben. *Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau*, Band 2, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2005
- [2] Blaß, H. J.; Bejtka, I.; Uibel, T.: Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde. *Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau*, Band 4, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2006
- [3] Blaß, H. J.; Görlacher, R.: Bemessung im Holzbau – Brettsperrholz. Berechnungsgrundlagen, *Holzbaukalender 2003*. Bruderverlag, Karlsruhe 2003, S. 580-598
- [4] Blaß, H. J.; Uibel, T.: Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz. *Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau*, Band 8, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2007
- [5] Görlacher, R.: Brettsperrholz – Berechnung von Elementen mit kreuzweise verklebten Brettern bei Beanspruchung in Plattenebene. In: Tagungsband: *Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage*, Bruderverlag, Karlsruhe 2002.
- [6] Hilson, B. O.: Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln – Theorie. In: Blaß, H. J.; Görlacher, R.; Steck, G. (Hrsg.): *Holzbauwerke STEP1 – Bemessung und Baustoffe*, Fachverlag Holz, Düsseldorf, 1995
- [7] Johansen, K. W.: Theory of timber connections. International Association of bridge and structural Engineering, Bern, 1949, S. 249-262
- [8] Schickhofer, G.: Brettsperrholz – Anwendungen und Konstruktionsdetails im mehrgeschossigen Wohn- und Kommunalbau. In: Tagungsband: *Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage*, Bruderverlag, Karlsruhe 2002.
- [9] Uibel, T.; Blaß, H. J.: Load Carrying Capacity of Joints with Dowel Type Fasteners in Solid Wood Panels. In: Proceedings. CIB-W18 Meeting 2006, Florence, Italy 2006, Paper 39-7-5
- [10] Uibel, T.; Blaß, H. J.: Edge Joints with Dowel Type Fasteners in Cross Laminated Timber. In: Proceedings. CIB-W18 Meeting 2007, Bled, Slovenia 2007, Paper 40-7-2
- [11] Uibel, T.: Brettsperrholz – Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln, In: Tagungsband: *Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage 2007*, Bruderverlag, Köln 2007.
- [12] DIN 1052:2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau