# Verbindungstechnik

## Allgemeines

Bei Entwurf und Planung umfasst ein wesentlicher Teil der Tätigkeiten die „richtige“ Auswahl, Anordnung und Bemessung der Verbindungstechnik. Durch die Verwendung großformatiger BSP-Elemente für die Errichtung eines Objektes sind gewöhnlich nur wenige Kontaktfugen vorhanden. Grundsätzlich unterscheidet man dabei zwischen Kontaktfugen (KF) „Wand|Wand“, „Wand|Fundierung“, „Wand|Decke|Wand“ und „Decke|Decke“ (Abb. 1). Die erforderliche kraftschlüssige und dichte Fügung erfolgt gewöhnlich über eine mechanische Verbindungstechnik.

Abb. 1: Lage der Kontaktfugen bei mehrgeschossigen Gebäuden

## Verbindungstechnik für Brettsperrholz

Die Ausführung der Fügung der BSP-Elemente in den erwähnten Kontaktfugen erfolgt gewöhnlich punktuell über Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, wie z. B. selbstbohrende Holzschrauben, eingeklebte Gewindestangen, Nägel, Stabdübel, Passbolzen und Schraubenbolzen. Des Weiteren kommen andere zugelassene Systemverbindungen zur Anwendung. Dabei ist festzuhalten, dass in den Kontaktfugen „Wand|Decke|Wand“ und „Fundierung|Wand“ durch die höheren Eigenlasten der massiven, aussteifenden und tragenden Wand- und Deckenelemente zumeist eine Druckbeanspruchung in der Kontaktfuge gegeben ist. Lediglich bei Lastfällen mit geringer Auflastkomponente (z. B. Montagelastfälle) und/oder bei entsprechender Bauwerksgeometrie (z. B. mehrgeschossige Objekte mit geringer Breitenabmessung der aussteifenden Wandscheiben) können abhebende Kräfte in den Kontaktfugen auftreten. Diese Zugkräfte müssen, um das Aufklaffen dieser Fugen zu verhindern, über eine entsprechende Verankerung bis in die Fundierung geleitet werden. Bei der Anordnung und der Ermittlung der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel ist jedenfalls der Querschnittsaufbau der BSP-Elemente zu berücksichtigen:

- Im Bereich der BSP-Schmalflächen ist darauf zu achten, in welchen Flächen – Hirnholzfläche oder Kantenfläche der Brettlamellen – die Verbindungsmittel zu liegen kommen.
- Es sind – falls über BSP-Zulassungen nicht anders geregelt – die für Vollholz, Konstruktionsvollholz sowie für Brettschichtholz aus Nadelhölzern normativ und in den entsprechenden Zulassungen geforderten Mindestabstände, Einschraubtiefen, Vorbohrungen, etc. des jeweiligen Verbindungsmittels, unter Beachtung des Winkels zwischen Kraft- und Faserrichtung einzuhalten (Abb. 2). Auf eventuelle Fugen (planmäßige Fugen bzw. Risse infolge Schwind- und Quellerscheinungen) zwischen den einzelnen Brettlamellen innerhalb einer Einzelschichte ist zu achten.

Abb. 2: Berücksichtigung des BSP-Querschnittaufbaus – Hirnholzflächen und Kantenflächen der einzelnen Bretter – bei der Anordnung von stiftförmigen Verbindungsmitteln unter der Einhaltung von Mindestabständen

- Aufgrund des geschichteten Querschnittsaufbaus und der kreuzweisen Anordnung (0°|90°|0°|...) der Brettlamellen ist davon auszugehen, dass ein im Vergleich zu den stabförmigen Holzbauprodukten abweichendes Trag- und Verformungsverhalten bei der bekannten

Verbindungstechnik zu erwarten sein wird. Für die gegenwärtig als Fügetechnik an den BSP-Kontaktfugen in Frage kommende Verbindungstechnik – selbstbohrende Holzschrauben, eingeklebte Gewindestangen sowie Stabdübel, Passbolzen und Schraubenbolzen – ist es daher notwendig, geeignete Tragmodelle zu entwickeln. Eine unterstützende versuchstechnische Ermittlung der Tragfähigkeit der verwendeten Verbindungstechnik mit BSP-Elementen erscheint unumgänglich. In der vorliegenden Fassung des Handbuchs ist dies für „selbstbohrende Holzschrauben“ und „Stabdübel“ gegeben.

# Ausbildung der Kontaktfugen

## Kontaktfuge „Wand|Fundierung“

Für die Befestigung von BSP-Wandelementen am Betonsockel bzw. auf einer Betondecke stehen eine Reihe von Verbindungstechniken zur Verfügung. Vor dem Einbau des BSP-Wandelementes ist darauf zu achten, dass ein ausreichender Höhenausgleich (Ebenheit) und eine funktionierende Abdichtung vorhanden sind. Aus Holzschutzgründen wird die Anbringung eines Umleimers aus einer widerstandsfähigen Holzart (z. B. Robinie, Eiche, Edelkastanie) an der Unterseite des BSP-Wandelementes empfohlen (Abb. 3). Als Verbindungselemente kommen gewöhnlich punktuell angeordnete eingeschlitzte oder außen liegende Stahlblechwinkel zur Ausführung. Die Verankerung mit dem Betonkörper erfolgt über Verschraubung; zur Verbindung des Winkelprofils mit dem BSP-Wandelement kommen selbstbohrende Holzschrauben, Nägel oder aber auch Stabdübel zum Einsatz.

Abb. 3: Lage und Ausführungsvariante zur Kontaktfuge „Wand|Fundierung“

## Kontaktfuge „Wand|Wand“

Die Kontaktfuge (KF) „Wand|Wand“ lässt sich in die Varianten KF „W|W-Ecke“, KF „W|W-T“ und KF „W|W-Längs“ gliedern. Wie auch bei anderen Kontaktfugen ist bei allen erwähnten Varianten der Kontaktfuge „Wand|Wand“ darauf zu achten, dass eine kraftschlüssige aber auch dichte Fuge erreicht wird. Abb. 4 a zeigt eine einfache und in der Praxis durchaus gängige Ausführungsvariante für einen Eckstoß unter Verwendung selbstbohrender Holzschrauben. Diese können entsprechend der Abb. 4 a normal aber auch im Winkel zur Elementoberfläche eingebracht werden.

Zu beachten ist dabei, dass normal zur Elementoberfläche eingebrachte Holzschrauben in den Brettkantenflächen der BSP-Schmalseite zu liegen kommen sollen. Hirnholzverschraubungen sind zu vermeiden. Zudem sollte darauf geachtet werden, dass die beiden BSP-Wandelemente über die Verschraubung aneinandergepresst werden, damit die dazwischenliegenden Kompribänder ihre Dichtungsfunktion erfüllen können. Um das Zusammenziehen der zu fügenden Wandelemente gewährleisten zu können, empfiehlt es sich, Teilgewindeschrauben mit Scheibenkopf oder Unterlegscheiben zu verwenden. Darauf folgend können – falls statisch erforderlich – zusätzliche Vollgewindeschrauben gesetzt werden. Die Abb. 4 b zeigt einen Wandlängsstoß mit einem Systemverbinder mit eingelassener Stahlhülse. Die Verbindung erfolgt über werkseitig eingeklebte Gewindestangen, welche bei der Montage, über die erwähnte eingelassene Stahlhülse, verspannt werden. Abb. 4 c zeigt einen sogenannten T-Stoß. Dieser wird erforderlich, wenn z. B. eine innen liegende Wand an eine durchgehende Außenwand stößt. Der vorliegende Systemverbinder ist ein sogenannter Hakenverbinder, der sowohl eine selbstzentrierende Montage als auch eine dichte Fügung erlaubt.



Abb. 4: Lage und Ausführungsvarianten zur Kontaktfuge „Wand|Wand“: a) Eckstoß, b) Längsstoß mit Systemverbinder „Stahlhülse“, c) T-Stoß

## Kontaktfuge „Wand|Decke|Wand“

Möglichkeiten der Verbindung eines Deckenelementes mit einem darunter liegenden Wandelement stellen die Anordnung eines zusätzlichen Winkels, die Verschraubung in die Kantenflächen sowie eingeklebte Gewindestangen dar. Mit diesen Verbindungstechniken können horizontale Lasten (z. B. Wind auf die Wand) in die Deckenebene geleitet, aber auch abhebende Kräfte übertragen werden. Die Verbindung in der Fuge „Wand|Decke|Wand“ kann aber auch mit Hilfe von werkseitig auf das Deckenelement aufgebrachten Profilhölzern erfolgen. Als Material für die Schwellen bieten sich Furnierschicht- oder -sperrholz, sowie Eichen- oder Robinienprofile an. Punktuelle Ausnehmungen in der Deckenebene ermöglichen die Verschraubung mit den werkseitig eingeklebten Gewindestangen. Bei einer direkten Verschraubung des Deckenelementes mit dem darunterliegenden Wandelement mit Holzschrauben ist auf die Gefahr einer zu vermeidender Hirnholzverschraubung hingewiesen. Die in der Abb. 5 dargestellte Ausführungsvariante zeigt folgenden Aufbau: Wandelement unten – schalltechnisches Lager – Deckenelement – Verschraubung von oben nach unten in die horizontal verlaufenden Brettlamellen des 5-schichtigen Wandelements – Dichtungsband zwischen dem Deckenelement und dem darüberliegenden Wandelement oben – kraftschlüssige Verbindung über punktuell angeordnete Stahlwinkel und Nagelung (besser: Verschraubung).



Abb. 5: Lage und Ausführungsvariante zur Kontaktfuge „Wand|Decke|Wand“

## Kontaktfuge „Decke|Decke“

Aus produktions- und transporttechnischen Gründen sind die BSP-Elementbreiten begrenzt (je nach Produkt b = 3,0 m bis b = 4,8 m) vor. Daher ergibt sich, um größere Deckenabmessungen realisieren zu können, die Notwendigkeit, Einzelelemente untereinander zu verbinden. Eine Möglichkeit stellt der verschraubte Stufenfalz dar (Abb. 6 a). Diese Verbindung wird, da keine Momente übertragen werden können, gewöhnlich parallel zur Haupt-Deckenspannrichtung eingesetzt. Vor allem bei ungleichmäßiger Beanspruchung der Deckenplatte können in der Stoßfuge Querzug- respektive Querdruckbeanspruchungen auftreten und die Gefahr des Aufreißens ist gegeben. Eine weitere Möglichkeit eines Querkraftstoßes stellt die unter Abb. 6 c vorgeschlagene Variante dar.

Mittels einer beidseitigen Anordnung von Laschen (z. B. Furniersperrholz oder 3-Schichtplatte), welche an der Ober- und Unterseite in die BSP-Elemente eingelassen sind, kann ein biegesteifer Anschluss ausgebildet werden (Abb. 6 b). Weiters besteht die Möglichkeit der zusätzlichen Verklebung (Schraub- und Nagelpressverklebung), wobei für baustellenseitige Verklebungen nicht nur dafür zugelassene Kleber zu verwenden, sondern auch die Mindestanforderungen der Klebstoffhersteller zu beachten sind.



Abb. 6: Lage und Ausführungsvarianten zur Kontaktfuge „Decke|Decke“: a) Stufenfalz mit Verschraubung (Querkraftstoß), b) Laschenstoß mit beidseitig eingelassenen Laschen (biegesteifer Stoß), c) Stumpfstoß mit Schrägverschraubung (Querkraftstoß)

# Tragfähigkeitsnachweise von stiftförmigen Verbindungsmitteln in BSP

## Einleitung

Die Berechnung der Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln wie Stabdübel, Bolzen, Schrauben und Nägel in Brettsperrhölzern ist bisher nicht allgemeingültig geregelt. Für die in Deutschland aber auch europäisch zugelassenen Brettsperrholzprodukte werden zum Teil Regelungen zur Bemessung von Verbindungen in den entsprechenden Zulassungen angegeben (z. B. [1], [2], [3]). Diese Regelungen werden in allgemeiner Form im Punkt "Bisherige Bemessungsregeln für Verbindungsmittel in BSP" wiedergegeben.

In den letzten Jahren wurden Forschungsarbeiten zum Trag- und Verformungsverhalten von stiftförmigen Verbindungsmitteln in BSP an den Universitäten Graz [4] und Karlsruhe [5] durchgeführt. Hierauf aufbauend werden unter Punkt "Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Herausziehen" und "Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Abscheren" neuere Berechnungsansätze für Verbindungen in den Seiten- und Schmalflächen von Brettsperrhölzern vorgestellt. 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 Abb. 7 sind die Flächen entsprechend ihrer Definition gekennzeichnet.

Abb. 7: Geöffnete Stabdübelverbindung in Seiten- und Schmalflächen von Brettsperrholz

## Bisherige Bemessungsregeln für Verbindungsmittel in BSP

Die Bemessung von Verbindungsmitteln in BSP wird bisher produktspezifisch im Rahmen von nationalen Zulassungen oder auch europäischen technischen Zulassungen geregelt. Im Allgemeinen nehmen die Zulassungen hierbei Bezug auf die jeweiligen nationalen oder europäischen Bemessungsvorschriften. Für Verbindungen in Brettsperrholz werden die Regelungen für Vollholz lediglich um Anwendungshinweise ergänzt.

Die Regelungen aus den verschiedenen Zulassungen für BSP mit Fugen [1], [2], [3] sind nachfolgend zusammengefasst. Allgemein gilt, dass Stabdübel, Bolzen oder Nägel in den Schmalflächen nicht als tragend in Rechnung gestellt werden dürfen. Verbindungen mit Schrauben eines Mindestdurchmessers von 8 mm sind in den Schmalflächen zulässig. Nägel und Schrauben, die in die Seitenflächen eingebracht werden, müssen einen Mindestdurchmesser von 4 mm aufweisen.

Für Verbindungen mit Nägeln in den Seitenflächen sind bei Beanspruchung auf Herausziehen ausschließlich Sondernägel mit einem Durchmesser von $d$ ≥ 4 mm und hohem Ausziehwiderstand (höchste Tragfähigkeitsklasse nach DIN 1052 [6]) einzusetzen. Bei der Bemessung muss eine reduzierte Herausziehtragfähigkeit angesetzt werden (geringere Tragfähigkeitsklasse). Werden Schrauben in den Schmalflächen eingedreht und die Schraubenachse dabei parallel zur Faserrichtung angeordnet, ist der Ausziehparameter um 25 % abzumindern.

Die Tragfähigkeit von Verbindungsmitteln in den Seitenflächen darf bei Abscherbeanspruchung mit den üblichen Bemessungsgleichungen berechnet werden. Die Lochleibungsfestigkeit ist wie für

Vollholz zu berechnen, wobei der Winkel zwischen Kraftrichtung und Faserrichtung der Decklagen maßgebend ist. Bei Anordnung von Schrauben in den Schmalflächen parallel zur Faserrichtung der Brettlage (Hirnholz) ist die Lochleibungsfestigkeit um 50 % abzumindern.

## Voraussetzungen für die Anwendung der Bemessungsvorschläge

Die in den Kapiteln "Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Herausziehen" und "Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Abscheren" angegebenen Bemessungsvorschläge beruhen auf umfangreichen experimentellen Untersuchungen. Für ihre Anwendung werden folgende Eigenschaften der Brettsperrholzprodukte vorausgesetzt:

- Brettsperrholzplatten bestehend aus mindestens drei Brettlagen aus Nadelholz der Holzart Fichte (picea abies), Tanne (abies alba) oder Kiefer (pinus sylvestris), kreuzweise Verklebung der Brettlagen.
- Charakteristische Rohdichte der Brettsperrholzprodukte $\rho_k \geq 400$ kg/m³.
- Die Breite von Fugen zwischen den Brettern einer Brettlage darf im Höchstfall 6 mm betragen.

Über das Langzeitverhalten von Verbindungen mit Schrauben in den Schmalflächen von Brettsperrholz liegen noch keine abgesicherten Erkenntnisse vor. Entsprechende Untersuchungen werden an der Universität Karlsruhe durchgeführt. Derzeit wird daher für Verbindungen in den Schmalflächen empfohlen, die Schrauben in jene Brettlagen einzubringen, deren Faserrichtung rechtwinklig zur Schraubenachse verläuft. Hierbei bestehen für die Beanspruchungen keine Einschränkungen bezüglich der Klasse der Lasteinwirkungsdauer. Nagelverbindungen sollten nicht in den Schmalflächen von Brettsperrhölzern ausgeführt werden.

## Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Herausziehen

Die Tragfähigkeit von axial belasteten Schrauben und Nägeln ist abhängig von ihrer Tragfähigkeit auf Herausziehen, ihrer Zugtragfähigkeit und ggf. der Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Kopfdurchziehen.

Bei einigen Brettsperrhölzern ist die Herausziehtragfähigkeit der Verbindungsmittel von ihrer Anordnung in Hinblick auf Fugen und Nuten abhängig. 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 die Verbindungsmittel in mindestens zwei Verbindungsmittelreihen zu jeweils mindestens zwei Verbindungsmitteln angeordnet werden. Die Eindringtiefe ist bei Verbindungen in den Seitenflächen so zu wählen, dass die Verbindungsmittelspitze mindestens die dritte Brettlage durchdringt.

Die charakteristische Tragfähigkeit $R_{ax,s,k}$ von auf Herausziehen beanspruchten, selbstbohrenden Holzschrauben kann nach Glg. \eqref{eq:eqn_1} berechnet werden.

$$\label{eq:eqn_1} {R_{ax,s,k}} = {{31 \cdot {d^{0,8}} \cdot {L_{ef}}^{0,9}} \over {1,5 \cdot {{\cos }^2}\varepsilon + {{\sin }^2}\varepsilon }}{\rm{ [N]}}$$

| | |
|---|---|
| $d$ | Nenndurchmesser des Verbindungsmittels in mm |
| $L_{ef}$ | wirksame Einschraubtiefe in mm |
| $\epsilon$ | für Verbindungen in den Seitenflächen: $\epsilon$ = 90°; in den Schmalflächen: $\epsilon$ = 0° |

Glg. \eqref{eq:eqn_1} gilt nur für Schrauben, die über einen charakteristischen Ausziehparameter von $f_{1,k}$ ≥ 80 · 10-6 · $\rho_k^2$ = 9,8 N/mm² in Nadelvollholz der Festigkeitsklasse C24 ($\rho_{C24,k}$ = 350 kg/m³) verfügen. Diese Bedingung entspricht der Anforderung an die Tragfähigkeitsklasse 3 gemäß DIN 1052:2004-08 [6]. Der Ausziehparameter ist gemäß EN 1382:2000-03 [7] wie folgt definiert:

\begin{equation} \label{eq:eqn_2} {f_1} = {{{F_{ax}}} \over {d \cdot {L_{ef}}}}{\rm{ [N/m]}}{{\rm{m}}^2}{\rm{]}} \end{equation}

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

Die charakteristische Tragfähigkeit $R_{ax,n,k}$ von auf Herausziehen beanspruchten Sondernägeln (Kamm-, Rillen-, Schraubnägel) in den Seitenflächen von Brettsperrholz kann mit Glg. \eqref{eq:eqn_3} berechnet werden. Die Sondernägel sollten über einen charakteristischen Ausziehparameter von $f_{1,k} \ge 50 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 6,13 N/mm^2$ in Nadelvollholz der Festigkeitsklasse C24 verfügen. Diese Bedingung entspricht der Anforderung an Sondernägel der Tragfähigkeitsklasse 3 gemäß DIN 1052:2004-08 [6].

\begin{equation} \label{eq:eqn_3} {R_{ax,n,k}} = 14 \cdot {d^{0,6}} \cdot {L_{ef}}{\rm{ [N]}} \end{equation}

| | |
|---|---|
| $L_{ef}$ | wirksame Einschlagtiefe in mm |

In Brettsperrhölzern mit Fugen und Nuten sollte der Mindestdurchmesser der Verbindungsmittel $d$ = 4 mm betragen. Bei diesen Produkten sollte für Nägel mit Durchmesser $d$ < 6 mm die Herausziehtragfähigkeit nur zu 80 % des Wertes nach Glg. \eqref{eq:eqn_3} angesetzt werden. Die wirksame Einschlagtiefe $L_{ef}$ ist größer als 8 · $d$ zu wählen.

## Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Abscheren

### Allgemeines

Die Tragfähigkeit stiftförmiger Verbindungsmittel bei Beanspruchung auf Abscheren wird im Holzbau üblicherweise nach der Theorie von Johansen berechnet. Hierbei wird ein ideal-plastisches Verhalten des Holzes bzw. des Holzwerkstoffes unter Lochleibungsbeanspruchung und des stiftförmigen Verbindungsmittels unter Biegebeanspruchung vorausgesetzt.

Bei Verbindungen in den Schmalflächen und bei Verbindungen mit Verbindungsmitteln, die ohne Vorbohren in die Seitenflächen von BSP eingebracht werden, können zur Berechnung der Tragfähigkeit die üblichen Johansen-Gleichungen angewendet werden. Diese stellen in den Gleichungen nach Abschnitt 8.2.2 und 8.2.3 der EN 1995-1-1:2008-09 [8] den ersten Summanden dar. Die Lochleibungsfestigkeit ist gemäß Abschnitt "Lochleibungsfestigkeit in den Schmalflächen" bzw. "Lochleibungsfestigkeit in den Seitenflächen" zu ermitteln.

Der zweite Summand $F_{ax,Rk}/4$ in den Gleichungen nach EN 1995-1-1:2008-09 enthält den Anteil aus der Seilwirkung (Einhängeeffekt). Dieser Anteil sollte für BSP gemäß Abschnitt "Berücksichtigung des Einhängeeffektes" berechnet werden.

Für Stabdübel- und Bolzenverbindungen in den Seitenflächen kann die Tragfähigkeit vereinfacht mit der charakteristischen Lochleibungsfestigkeit für BSP nach Glg. \eqref{eq:eqn_8} berechnet werden. Bei diesem Berechnungsmodell wird der Winkel zwischen Kraftrichtung und Faserrichtung der einzelnen Brettlagen vernachlässigt. Folglich wird eine über die Gesamtdicke des Brettsperrholzes gleichmäßig verteilte Lochleibungsfestigkeit angenommen [5]. Die Anwendbarkeit des vereinfachten Berechnungsmodells muss für die betrachtete Verbindung unter Berücksichtigung des jeweiligen Brettsperrholzaufbaus nachgewiesen sein, siehe [5], [4], [9].

Die bisherigen Untersuchungen zeigten, dass sich Verbindungen in den Seitenflächen von Brettsperrholz i. d. R. äußerst duktil verhalten. Ein sprödes Versagen durch Aufspalten tritt nicht auf. Der Einfluss eines Blockscherversagens der Decklagen auf die Tragfähigkeit der Verbindungen ist noch nicht abschließend geklärt. Bei Anschlüssen mit konzentriert angeordneten Verbindungsmitteln unter Anwendung der geringst möglichen Abstände in Faserrichtung sollte die Tragfähigkeit der Verbindungsmittel nicht völlig ausgenutzt werden.

### Lochleibungsfestigkeit 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. Umfangreiche experimentelle Untersuchungen [5] 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 Schmalseite kann daher ein konservativer, charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit für nicht vorgebohrte Brettsperrhölzer bei Schrauben- und Nagelverbindungen gemäß Glg. \eqref{eq:eqn_4} berechnet werden.

\begin{equation} \label{eq:eqn_4} {f_{h,k}} = 20 \cdot {d^{ - 0,5}}{\rm{ [N/m}}{{\rm{m}}^2}{\rm{]}} \end{equation}

Die Lochleibungsfestigkeit in den Schmalseiten von Brettsperrholz bei Verbindungen mit Stabdübeln, Passbolzen und Bolzen kann mit Glg. \eqref{eq:eqn_5} ermittelt werden.

\begin{equation} \label{eq:eqn_5} {f_{h,k}} = 9 \cdot \left( {1 - 0,017 \cdot d} \right){\rm{ [N/m}}{{\rm{m}}^2}{\rm{]}} \end{equation}

### Lochleibungsfestigkeit in den Seitenflächen

Die Lochleibungsfestigkeit für Schrauben und Nägel in den Seitenflächen von Brettsperrholz mit Brettlagendicken $t_i \le$ 9 mm kann mit Glg. \eqref{eq:eqn_6} ermittelt werden.

\begin{equation} \label{eq:eqn_6} {f_{h,k}} = 60 \cdot {d^{ - 0,5}}{\rm{ [N/m}}{{\rm{m}}^2}{\rm{]}} \end{equation}

Bei BSP mit Brettlagendicken $t_i > 9$ mm ist die Lochleibungsfestigkeit wie für Vollholz zu ermitteln (z. B. nach Abschnitt 8.3.1.1 in EN 1995-1-1:2008-09 [8]). Für die Rohdichte ist hierbei die charakteristische Rohdichte des Ausgangsmaterials anzusetzen. Ggf. ist der Winkel zwischen Kraftrichtung und Faserrichtung der Decklagen zu berücksichtigen.

Für selbstbohrende Holzschrauben kann die Lochleibungsfestigkeit nach einem Vorschlag von Blaß und Bejtka [10], [11] berechnet werden:

\begin{equation} \label{eq:eqn_7} {f_{h,VgSr,k}} = 0,019 \cdot \rho _{B,k}^{1,24} \cdot {d^{ -0,3}}{\rm{ [N/m}}{{\rm{m}}^2}{\rm{]}} \end{equation}

| | |
|---|---|
| $\rho_{B,k}$ | charakteristische Rohdichte des Ausgangsmaterials [kg/m³], i. d. R. 350 kg/m³ |

Die charakteristische Lochleibungsfestigkeit von Stabdübeln und Bolzen in Brettsperrholz kann vereinfacht unabhängig vom Aufbau und der Brettlagendicken mit Glg. \eqref{eq:eqn_8} ermittelt werden.

\begin{equation} \label{eq:eqn_8} {f_{h,k}} = {{32 \cdot \left( {1 - 0,015 \cdot d} \right)} \over {1,1 \cdot {{\cos }^2}\alpha + {{\sin }^2}\alpha }}{\rm{ [N/m}}{{\rm{m}}^2}{\rm{]}} \end{equation}

| | |
|---|---|
| $\alpha$ | Winkel zwischen Kraftrichtung und Faserrichtung der Decklagen |

Folgende Bedingungen sollten bei einer Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit nach Glg. \eqref{eq:eqn_8} eingehalten werden:

- maximale Brettlagendicke $t_{i,max} \le 40$ mm
- Verhältnis der Brettlagen unterschiedlicher Orientierung $\zeta$ nach Glg. \eqref{eq:eqn_9} zwischen 0,95 und 2.

\begin{equation} \label{eq:eqn_9} \zeta = {{\sum {{t_{0,i}}} } \over {\sum {{t_{90,i}}} }} \end{equation}

| | |
|---|---|
| $t_{0,i}$ | Dicke der einzelnen Brettlagen, parallel zur Faserrichtung der Decklagen |
| $t_{90,i}$ | Dicke der einzelnen Brettlagen, rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklagen |

Alternativ kann ein konservativer Wert der Lochleibungsfestigkeit für Stabdübel mit $d$ < 20 mm für viele der üblichen Brettsperrholzaufbauten ermittelt werden, indem die Lochleibungsfestigkeit der Decklagen verwendet wird.

Diese kann wie für Vollholz nach 8.5.1.2 der EN 1995-1-1:2008-09 [8] bestimmt werden. Hierbei ist die charakteristische Rohdichte des Ausgangsmaterials anzusetzen (i. d. R. $\rho_{C24,k}$ = 350 kg/m³). Des Weiteren ist die Abminderung der Lochleibungsfestigkeit in Abhängigkeit des Winkels zwischen Kraftrichtung und Faserrichtung der Decklagen zu berücksichtigen.

### Berücksichtigung des Einhängeeffektes

Bei einschnittigen BSP-BSP-Verbindungen oder Stahlblech-BSP-Verbindungen mit Schrauben oder Sondernägeln darf der charakteristische Wert der Tragfähigkeit $R_k$ nach Glg. \eqref{eq:eqn_10} um einen Anteil $\Delta R_k$ erhöht werden. Schrauben und Sondernägel müssen hierbei die Anforderungen an den Ausziehparameter erfüllen.

\begin{equation} \label{eq:eqn_10} \Delta {R_k} = \min \left\{ {0,25 \cdot {R_{ax}};A \cdot {R_k}} \right\} \end{equation}

| | |
|---|---|
| $R_{ax}$ | Tragfähigkeit des Verbindungsmittels in axialer Richtung |

| | |
|---|---|
| $A$ | Faktor $A$ = 1,0 für Schraubenverbindungen; $A$ = 0,5 für Sondernägeln. |
| $R_k$ | Tragfähigkeit des Verbindungsmittels auf Abscheren nach der Theorie von Johansen (linker Summand der Gleichungen in 8.2.2 bzw. 8.2.3, EN 1995-1-1:2008-09 [8]) |

Die Tragfähigkeit der Verbindungsmittel in axialer Richtung $R_{ax}$ ist unter Berücksichtigung der Tragfähigkeit auf Herausziehen, der Zugtragfähigkeit der Verbindungsmittel und ggf. der Tragfähigkeit bei Beanspruchung auf Kopfdurchziehen zu ermitteln.

### „Statische“ Duktilität einer Stahlblech-Holz-Verbindung mit Stabdübeln

Während große Bruchverformungen in Verbindungen mit unidirektionalen Holzprodukten naturgemäß mit der Ausbildung von Fließgelenken im Stift einhergehen, zeigt sich bei Brettsperrholz bereits beim reinen Lochleibungsversagen ein äußerst duktiles Verhalten. Im Rahmen von Versuchen an zweischnittigen Verbindungen an der TU Graz konnte dies eindrücklich gezeigt werden. Geprüft wurde eine zweischnittige Stahlblech-Holz-Verbindung mit innen liegendem Stahlblech in einem 5-schichtigen Brettsperrholz, verbunden mit 6 Stabdübeln mit $d$ = 8 mm und mit einem Stabdübel mit $d$ = 30 mm. Vergleichend dazu erfolgte ein Versuch mit denselben Abmessungen unter Verwendung von Brettschichtholz mit einem Stabdübel mit $d$ = 30 mm. Das Last-Verschiebungs-Diagramm (Abb. 8) zeigt im Vergleich zwischen BSP und BSH ein völlig unterschiedliches Verhalten. Bei beiden Verbindungen zeigt sich in etwa dieselbe Bruchkraft, mit dem Unterschied, dass bei BSH bei rund 2 mm Verformung die Maximalkraft gegeben war. Danach erfolgte ein plötzlicher Abfall verbunden mit einem spröden Lochleibungsbruchverhalten im BSH (Kurve a). Im Gegensatz dazu zeigt sich zwar auch bei BSP dasselbe Bruchlastniveau; allerdings verbunden mit einem plastischen Lochleibungsversagen, welches mit der Sperrwirkung beim BSP begründbar ist. Erst bei rund 30 mm Verformungsweg zeigt sich ein Abfall des Lastniveaus. Bei beiden Verbindungen – BSH und BSP – konnte eine in etwa idente Anfangssteifigkeit festgestellt werden. Etwas anders verhält es sich bei der Verbindung mit 6 Stabdübeln mit $d$ = 8 mm. Es zeigt sich ein duktiles Verhalten, bei einer Verformung von rund 15 mm ein in etwa identes Lastniveau; erwartungsgemäß war die Stiftverformung – die Ausbildung von Fließgelenken – maßgebend für das duktile Verhalten. Resumierend kann daraus festgehalten werden, dass mit der Sperrwirkung bei BSP beim Einsatz von auf Abscheren beanspruchten stiftförmigen Verbindungsmitteln mit einem duktilen Verhalten gerechnet werden kann. Von Bedeutung ist dies für Bauwerke in Erdbebenregionen, da eine Energiedissipation beim Erdbebenlastfall vorwiegend über die Verbindungstechnik erfolgen wird.

Abb. 8: Versuchskonfigurationen und Last-Verschiebungsdiagramme für BSH und BSP

## Konstruktive Ausbildung von Anschlüssen

Für Verbindungen in den Seitenflächen werden die in Tab. 1 angeführten Mindestabstände vorgeschlagen. Die Mindestabstände der Verbindungsmittel untereinander und zum Rand sind in Abb. 9 definiert.

In Abb. 10 sind die Randabstände von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen definiert. Die Mindestabstände sind in Tab. 2 zusammengefasst. Sie gelten bei Belastung der Verbindungsmittel in Plattenebene und sind unabhängig vom Winkel zwischen Stiftachse und Faserrichtung. Die Anforderungen an die Mindestdicken des Brettsperrholzes bzw. der maßgebenden Brettlagen sowie an die Mindesteinbindetiefen der Verbindungsmittel sind in Tab. 3 aufgeführt. Werden diese Randbedingungen eingehalten, wird ein Versagen durch Aufspalten der Schmalfläche bei bis zu drei

hintereinanderliegenden Verbindungsmitteln nicht maßgebend. Bei Belastung rechtwinklig zur Plattenebene ist ein Aufspalten der Schmalflächen bzw. die Querzugbeanspruchung zu berücksichtigen.

Tab. 1: Mindestabstände von Verbindungsmitteln in den Seitenflächen von BSP

| **Verbindungsmittel** | **$a_1$** | **$a_2$** | **$a_{3,t}$** | **$a_{3,c}$** | **$a_{4,t}$** | **$a_{4,c}$** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| selbstbohrende Schrauben | 4 · $d$ | 2,5 · $d$ | 6 · $d$ | 6 · $d$ | 6 · $d$ | 2,5 · $d$ |
| Nägel | $(3 + 3 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ | $3 \cdot d$ $(7 + 3 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ | $6 \cdot d$ | $(3 + 4 \cdot \sin \alpha) \cdot d$ | $3 \cdot d$ | |
| Stabdübel | $(3 + 3 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ | $4 \cdot d$ | $5 \cdot d$ | $4 \cdot d \cdot \sin \alpha$ (min. $3 \cdot d$) | $3 \cdot d$ | $3 \cdot d$ |
| $\alpha$ Winkel zwischen Kraftrichtung und Faserrichtung der Decklagen | | | | | | |

Abb. 9: Definition der Mindestabstände in den Seitenflächen von Brettsperrholz

Abb. 10: Definition der Randabstände von VM in den Schmalflächen von Brettsperrholz

Tab. 2: Mindestabstände von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen von BSP bei Belastung in Plattenebene

| **Verbindungsmittel** | **$a_1$** | **$a_2$** | **$a_{3,t}$** | **$a_{3,c}$** | **$a_{4,c}$** |
|---|---|---|---|---|---|
| Schrauben | $10 \cdot d$ | $3 \cdot d$ | $12 \cdot d$ | $7 \cdot d$ | $5 \cdot d$ |
| SDü, PBo | $4 \cdot d$ | $4 \cdot d$ | $5 \cdot d$ | $3 \cdot d$ | $3 \cdot d$ |

Tab. 3: Mindestholzdicken und Mindesteinbindetiefen für Verbindungsmittel in den Schmalflächen von BSP bei Belastung in Plattenebene

| **Verbindungsmittel** | **Mindestdicke der maßgebenden Brettlage $t_i$ in mm** | **Mindestdicke des Brettsperrholzes $t_{clt}$ in mm** | **Mindestholzdicke / Mindesteinbindetiefe der VM $t_1$, $t_2$, in mm** |
|---|---|---|---|
| Schrauben | $d >$ 8 mm: $3 \cdot d$<br>$d \ge$ 8 mm: $2 \cdot d$ | $10 \cdot d$ | $10 \cdot d$ |
| Stabdübel | $d$ | $6 \cdot d$ | $5 \cdot d$ |

### Berechnungsbeispiele

- Angehängte Decke – Beanspruchung von Schrauben auf Herausziehen
- Anschluss der Südwand mit Stabdübeln – Beanspruchung auf Abscheren

# Tragfähigkeitsnachweise in der Bodenfuge

### Allgemeines

Das vorliegende dritte Beispiel zur Verbindungstechnik ist eine Fortsetzung der Nachweise zur

Wandscheibe (siehe Beispiele Scheibennachweise). Als Beispiel wurde hier der Nachweis der Anschlusskräfte in der Bodenfuge gewählt (Anschluss „Wand|Fundierung“). Hier treten zudem die größten Scheibendruckkräfte auf.

Sämtliche Lasten müssen durch Verbindungen in die einzelnen BSP-Scheiben ein- bzw. auch wieder ausgeleitet werden. Unter Verbindungen wird hier an dieser Stelle jede Möglichkeit verstanden, um Kräfte zu übertragen. So werden Druckkräfte planmäßig über Kontakt in die BSP-Scheibe übertragen. Treten zusätzlich Zugkräfte auf, werden diese konzentriert am Rand der Scheibe meist mit mechanischen Verbindungsmitteln übertragen. Dadurch kann der größtmögliche Hebelarm mit den Druckkräften für das Moment aktiviert werden. Schubkräfte werden rechnerisch durch mechanische Verbindungsmittel wie z. B. angeschraubte, zugelassene Winkel übertragen, in der Realität erfolgt die Schubkraftübertragung jedoch meist überwiegend durch Reibung in den Kontaktflächen.

Abb. 11: Linie 3 – Stelle der größten Druckkräfte in der BSP-Scheibe

Im vorliegenden Beispiel wird auf die Geometrie der BSP-Scheibe insoferne Rücksicht genommen, als davon ausgegangen wird, dass durch die große Fensteröffnung in der Nord-Westecke die Lastübertragung von der BSP-Scheibe auf die Stahlbetonkellerdecke im äußeren Bereich der Öffnung nicht im vollen Umfang gegeben ist, so wie sie in einer Scheibe ohne Öffnung vorzufinden wäre. Deshalb wird für den Nachweis der Kräfte in der Aufstandsfläche (Linie 3) der Bereich unter der Fensteröffnung rechnerisch nur teilweise berücksichtigt (siehe Abb. 12).

Abb. 12: Reduzierte Aufstandsfläche für den Nachweis der Anschlusskräfte in Linie 3 zufolge Öffnungen in der Nord-West Ecke

Das vorliegende Beispiel ist ein Fall geringer Ausmitte d. h., das vorliegende Moment ist relativ gering im Vergleich zur Druckkraft. Dadurch sollen die Kräfte in der Bodenplatte lediglich mit Druckkräften übertragen werden („klaffende Fuge“, siehe Step-2/Modell 2) können. Im Gegensatz dazu sind bei großen Ausmitten die Zugkräfte auf jeden Fall planmäßig abzuleiten. Sinnvollerweise erfolgt der Anschluss der Zugkräfte konzentriert möglichst im äußeren Zugbereich der Scheibe, um den größtmöglichen Hebelarm zu erhalten (siehe Step-2/Modell 3).

Obwohl im vorliegenden Beispiel das Gleichgewicht mit Druckkräften allein („klaffende Fuge“ in der Bodenfuge, Linie 3) nachweisbar ist, wird als Variante eine Zugkraftverbindung am Ende der Lastausbreitungslinie angenommen. Dadurch kann gezeigt werden, dass durch diese Zugverankerung gleichzeitig die maximalen Druckkräfte am Druckrand reduziert werden können (siehe Step-2/Modell 3).

## Bestimmung der in der Linie 3 wirkenden Schnittgröße

### Step-1: Schnittgrößen N, Q und M in der Bodenfuge (Linie 3)

${N_d} = ((12,65 + 15,48) \cdot 8,50) + 6,45 \cdot 1,60 = 239,11 + 10,32 = 249,43kN$

${Q_d} = (2,68 + 1,68) \cdot 8,50 = 37,06kN$

${M_d} = 249,43 \cdot ({4,25 - ({1,56 + {{4,29} \over 2}})}) + ((2,68 \cdot 3,10 + 1,68 \cdot 3,10 \cdot 2) \cdot 8,50 + 10,32 \cdot 4,795 = $

$${M_d} =135,94 + 159,15 + 49,48 = 344,57kNm$$

### Step-2: Ermittlung der Scheibenschnittgrößen in der Bodenfuge (Linie 3)

Im Folgenden werden drei mögliche Modelle untersucht:

- **Modell 1:** Starre kontinuierliche Verbindung in der Linie 3 – „elastische“ Lösung
- **Modell 2:** Lösung mit klaffender Fuge
- **Modell 3:** Lösung mit klaffender Fuge und Zugkraftübertragung am Rand

### zu Modell 1: elastische Lösung

Das Modell 1 unterstellt eine starre Verbindung kontinuierlich entlang der gesamten Fuge.

$${n_{y,dN}} = - {{249,43} \over {4,29}} = - 58,14kN/m$$

$${n_{y,dM}} = \pm {{344,57 \cdot 6} \over {{{4,29}^2}}} = \pm 112,34kN/m$$

Zugkraft zufolge starrer, kontinuierlicher Verbindung in der Bodenfuge:

$$Z = {1 \over 2} \cdot 1,035 \cdot 54,20 = 28,05kN$$

### zu Modell 2: Lösung mit klaffender Fuge

Die Lösung mit klaffender Fuge ist geeignet für Situationen, in denen die Lastexzentrizität zufolge Moment gering ist. Dies ist im vorliegenden Fall gegeben. Es wird davon ausgegangen, dass keine Zugkräfte in der Bodenfuge zu übertragen sind. Weiters wird angenommen, dass der Druckkraftverlauf linear veränderlich ist, an der Stelle x beginnt und zum Rand hin, wo die größte Druckkraft ny,max auftritt, zunimmt. Die folgenden beiden Gleichungen (vertikales Gleichgewicht und Momentengleichgewicht) können aufgestellt werden:

| | |
|---|---|
| vertikales Gleichgewicht | $${1 \over 2} \cdot {n_{y,\max }} \cdot x = {N_d}$$ |
| Momentengleichgewicht | $${n_{y,\max }} \cdot {x \over 2} \cdot \left( {{b \over 2} - {x \over 3}} \right) = {M_d}$$ |

Diese Gleichungen werden für $x$ und $n_{y,max}$ gelöst:

$${n_{y,\max }} = {{4 \cdot {N_d}^2} \over {3 \cdot \left( { - 2 \cdot {M_d} + b \cdot {N_d}} \right)}} = {{4 \cdot {{249,43}^2}} \over {3 \cdot ( - 2 \cdot 344,57 + 4,29 \cdot 249,43)}} = 217,78kN/m$$

$$x = {{3 \cdot ( - 2 \cdot {M_d} + b \cdot {N_d})} \over {2 \cdot {N_d}}} = {{3 \cdot ( - 2 \cdot 344,57 + 4,29 \cdot 249,43)} \over {2 \cdot 249,43}} = 2,291m$$

Grafischer Vergleich der beiden Modelle:

Abb. 13: Vergleich der Kräfte in der Bodenfuge (Modell 1, 2)

Die Zugkraftverbindung in der Bodenfuge ist jedenfalls als nachgiebig zu betrachten. Daher liefert die elastische Lösung des Modells 1 einen Wert für die zu übertragenden Zugkräfte, welcher diese überschätzt. Im Gegensatz dazu werden die Druckspannungen im Vergleich zur Lösung mit der klaffenden Fuge unterschätzt (siehe Vergleich in Abb. 13).

### zu Modell 3: Lösung mit klaffender Fuge und Zugkraftübertragung am Rand

Dieses Modell ist bei großen Exzentrizitäten anzuwenden. Eine große Exzentrizität ist bei hohen Wandscheiben und/oder hohen Momenten gegeben. Dieser Fall ist im vorliegenden Beispiel **nicht** gegeben. Bei geringen Exzentrizitäten (Modell 2) ist der Term im Nenner $-2 \cdot M_d + b \cdot N_d$ wesentlich größer als Null ($N_b$, $M_d$, $Z_0$ sind als Betrag positiv einzusetzen). Bei zunehmender Exzentrizität wird dieser Term allerdings immer kleiner, liefert dennoch Lösungen, auch wenn die Randdruckkräfte sehr groß werden und nicht mehr übertragen werden. Dieses Kriterium kann als Grenze zwischen den beiden Modellen 2 und 3 dienen. Ist der Nenner negativ, liegt ohnedies hohe Exzentrizität vor und die Zugkräfte müssen planmäßig übertragen werden (Modell 3).

An der Zugseite soll eine konzentrierte Zugkraft in der Bodenfuge durch ein mechanisches Verbindungsmittel im Abstand e von der Mitte aus übertragen werden. Da für die nun 3 Unbekannten (Zugkraft $Z_0$, größte Druckkraft $n_{y,max}$ am Rand und Länge der Druckkraftverteilung x) nur 2 Gleichgewichtsgleichungen zur Verfügung stehen, kann eine Lösung von $Z_0$, $n_{y,max}$ und x nicht ermittelt werden. Es kann nur $Z_0$ und x gelöst werden, wenn für $n_{y,max}$ z. B. die maximal übertragbare Druckkraft angegeben wird (Lösung 1). Alternativ dazu könnte auch bereits die zu übertragende Zugkraft $Z_0$ aus den Verbindungsmitteln auf Basis einer Vorbemessung bekannt sein. In diesem Fall ist $n_{y,max}$ und x zu lösen (Lösung 2).

Die folgenden beiden Gleichgewichtsgleichungen mit den 3 Unbekannten $Z_0$, $n_{y,max}$ und $x$ können aufgestellt werden:

| | |
|---|---|
| vertikales Gleichgewicht | ${1 \over 2} \cdot {n_{y,\max }} \cdot x - {z_0} = {N_d}$ |
| Momentengleichgewicht | ${1 \over 2} \cdot {n_{y,\max }} \cdot x \cdot ({{b \over 2} - {x \over 3}}) + {z_0} \cdot e = {M_d}$ |

- Lösung 1:

$Z_0$ und $x$ werden gelöst, wenn $n_{y,max}$ z. B. mit der maximal aufnehmbaren Druckkraft vorgegeben wird:

${Z_0} = {1 \over 8} \cdot ( - 8 \cdot {N_d} + {n_{y,\max }} \cdot (3 \cdot b + 6 \cdot e)) -$

$- {{\sqrt 3 } \over 8} \cdot \sqrt {{n_{y,\max }} \cdot ({n_{y,\max }} \cdot (3{b^2} + 12 \cdot b \cdot e + 12{e^2}) - 32 \cdot ({M_d} + {N_d} \cdot e)))} $

$x = {{2 \cdot ({N_d} + {z_0})} \over {{n_{y,\max }}}}$

- Lösung 2:

$n_{y,max}$ und x werden gelöst, wenn $Z_0$ z. B. mit der Zugkraft der gewählten Verbindungsmittel vorgegeben wird:

${n_{y,\max }} = {{4 \cdot {N_d}^2 + 8 \cdot {N_d} \cdot {Z_0} + 4 \cdot {Z_0}^2} \over { - 6 \cdot ({M_d} - {Z_0} \cdot e) + 3 \cdot b \cdot ({N_d} + {Z_0})}}$

$x = {{ - 6 \cdot ({M_d} - {Z_0} \cdot e) + 3 \cdot b \cdot ({N_d} + {Z_0})} \over {2 \cdot ({N_d} + {Z_0})}}$

Wie bereits erwähnt, liegt für das Beispiel der Fall der „geringen Exzentrizität“ vor (Modell 2). Nur, um die Auswirkungen einer zusätzlichen Zugkraftverankerung auf die Kontaktkräfte in der Bodenfuge zu zeigen, wird hier für das Beispiel eine zu übertragende Zugkraft mit 15,84 kN angenommen. Dieser Wert entspricht der Tragfähigkeit des Winkelverbinders KR 135, siehe Abschnitt "Nachweis der Verbindungsmittel in der Bodenfuge", und ist kleiner als die Zugkraft von Modell 1 (oberer Grenzfall).

Ansatz für die Zugkraft $Z_0$ und $e$:

$Z_0=15,84 kN$

$e=2,0 m$

Der Abstand $e$ wird hier möglichst groß gewählt, jedoch noch klein genug, damit die Verbindungen, welche die Zugkraft zu übertragen haben, noch innerhalb des Bereiches (max. 4,29 m vom Druckrand, siehe Abb. 12) zu liegen kommen.

Diese Gleichungen werden für x und $n_{y,max}$ gelöst (Lösung 2):

${n_{y,\max }} = {{4 \cdot {N_d}^2 + 8 \cdot {N_d} \cdot {Z_0} + 4 \cdot {Z_0}^2} \over {3 \cdot b \cdot ({N_d} + {Z_0}) - 6 \cdot ({M_d} - {Z_0} \cdot e)}} = $

${n_{y,\max }} = {{4 \cdot {{(249,43 + 15,84)}^2}} \over {3 \cdot 4,29 \cdot (249,43 + 15,84) - 6 \cdot (344,57 - 15,84 \cdot 2,0)}} = 183,17kN/m$

$x = {{3 \cdot b \cdot ({N_d} + {Z_0}) - 6 \cdot ({M_d} - {Z_0} \cdot e)} \over {2 \cdot \left( {{N_d} + {Z_0}} \right)}}$

$x = {{3 \cdot 4,29 \cdot (249,43 + 15,84) - 6 \cdot (344,57 - 15,84 \cdot 2,0)} \over {2 \cdot (249,43 + 15,84)}} = 2,897m$

**Grafischer Vergleich der drei untersuchten Modelle:**

Abb. 14: Vergleich der Kräfte in der Bodenfuge (Modell 1, 2 und 3)

Durch den Ansatz einer zusätzlichen Zugkraft wird die maximale Druckkraft am Druckrand reduziert. Im vorliegenden Beispiel reduziert sie sich von 217,78 kN/m auf 183,17 kN/m, dies sind immerhin mehr als 16 % Reduktion.

## Nachweis der Pressung in der Bodenfuge

Wirksame Druckkraft aus der Handrechnung:

$n_{y,d}=217,78 kN/m$

${A_{ef}} = 60 \cdot 1000 = 60000mm^2$

Nachweis:

${f_{c,d}} = {{0,90 \cdot 24,0} \over {1,25}} = 17,28N/m{m^2}$

${{{n_{y,d}}} \over {{A_{ef}} \cdot {f_{c,d}}}} = {{217780} \over {60000 \cdot 17,28}} = 0,210 \le 1,0$

## Nachweis der Verbindungsmittel in der Bodenfuge

Für den Anschluss Fundierung|Wand werden zwei Winkelverbindertypen eingesetzt. Zur Übertragung der Schubkräfte wird der Winkelverbinder 90 x 48 x 3,0 x 116 angeordnet. Die Zugkräfte werden mit dem Winkelverbinder KR 135 in die Betonplatte übertragen (siehe Abb. 15 ). Da die Steifigkeitsunterschiede in den beiden Belastungsrichtungen augenscheinlich groß sind, kann der Nachweis der Verbindungen völlig entkoppelt geführt und eine Interaktion von Schub- und Zugkräften vernachlässigt werden. Zudem regelt das Datenblatt für den Winkel 90 x 48 x 3,0 x 116 die Interaktion zwischen Schub und Zug quadratisch, welche die gegenseitige Beeinträchtigung stark vermindert. Die in der Realität vorhandene Reibung reduziert die Schubkräfte nocheinmal. Die Nachweisführung erfolgt nach DIN 1052:2004-08 [6] mit den entsprechenden Verbindungsmitteltragfähigkeiten, siehe Produktdatenblatt [12] und [13].

| | |
|---|---|
| **Für Schub:** Winkelverbinder 90 x 48 x 3,0 x116 | **Für Zug:** Winkelverbinder KR 135 |

Abb. 15: Verwendete Winkelverbinder

Tragfähigkeit des Winkelverbinder KR 135 nach [12]:

${R_{i,d}} = {R^*}_{i,d} \cdot {k_{mod}}$ → ${R^*}_{i,d}$ ... aus Produktdatenblatt

${R_{1,d}} = 17,60 \cdot 0,9 = 15,84kN$ → Tragfähigkeit auf Zug

Tragfähigkeit des Winkelverbinder 90 x 48 x 3,0 x 116 nach [13]:

$R_{2,d}=5,8 kN$ → Tragfähigkeit auf Schub für KLED = kurz, bei minimaler Ausnagelung

### Nachweis für Modell-1

Beanspruchung in der Bodenfuge (Linie 3) siehe Step 2, Modell-1:

$V_d = 37,06 kN$ $Z_d = 28,05 kN$

Erforderliche Winkelanzahl (Winkelverbinder 90 x 48 x 3,0 x 116) zur Übertragung der Schubkräfte über die gesamte Aufstandslänge:

${n_{erf}} = {{V_d} \over {{R_{2,d}}}} = {{37,06} \over {5,8}} = 6,4 Stk$ → $n$ = 7 Stk alle 73 cm

Nachweis Schub:

${{V_d} \over {{R_{2,d}} \cdot n}} = {{37,06} \over {5,8 \cdot 7}} = 0,91 \le 1,0$

Die Zugkraft wird mit dem Winkelverbinder KR 135 übertragen. Diese Winkel werden, mit einem Abstand untereinander von 10 cm, im Schwerpunkt der resultierenden Zugkraft $Z_d$ angeordnet.

Erforderliche Winkelanzahl zur Übertragung der Zugkraft:

${n_{erf}} = {{{Z_d}} \over {{R_{1,d}}}} = {{28,05} \over {15,84}} = 1,8Stk$ → $n$ = 2 Stk

Nachweis Zug:

${{{Z_d}} \over {{R_{1,d}} \cdot n}} = {{28,05} \over {15,84 \cdot 2}} = 0,89 \le 1,0$

Skizze:

**Nachweis für Modell-2**

Hier wirken lediglich Schubkräfte und Druckkräfte.

Bestimmung der erforderlichen Winkelanzahl zur Übertragung der Schubkräfte (Winkelverbinder 90 x 48 x 3,0 x 116):

${n_{erf}} = {{{V_d}} \over {{R_{2,d}}}} = {{37,06} \over {5,8}} = 6,4 Stk$ → $n$ = 7 Stk alle 73 cm

Nachweis Schub:

${{{V_d}} \over {{R_{2,d}} \cdot n}} = {{37,06} \over {5,8 \cdot 7}} = 0,91 \le 1,0$

Skizze:

**Nachweis für Modell-3**

Beanspruchung in der Bodenfuge (Linie 3) siehe Step 2, Modell-3:

$V_d = 37,06 kN$

$Z_d = 15,84 kN$

Erforderliche Winkelanzahl (Winkelverbinder 90 x 48 x 3,0 x 116) zur Übertragung der Schubkräfte über die gesamte Aufstandslänge:

${n_{erf}} = {{{V_d}} \over {{R_{2,d}}}} = {{37,06} \over {5,8}} = 6,4 Stk$ → $n$ = 7 Stk alle 73 cm

Nachweis Schub:

${{{V_d}} \over {{R_{2,d}} \cdot n}} = {{37,06} \over {5,8 \cdot 7}} = 0,91 \le 1,0$

Die Zugkraft wird mit dem Winkelverbinder KR 135 übertragen. Dieser Winkel wird am Beginn der reduzierten Aufstandsfäche angeordnet.

Nachweis Zug:

${{{Z_d}} \over {{R_{1,d}} \cdot n}} = {{15,84} \over {15,84}} = 1,0 \le 1,0$

Skizze:

# Referenzen

From:
https://wiki.ihbv.at/ - **IHBV Wiki**

Permanent link:
**https://wiki.ihbv.at/doku.php?id=bsphandbuch:design:joining&rev=1510312888**

Last update: **2019/02/21 10:18**
Printed on 2026/11/10 22:12