

Analysen betreffend die Entwicklung von BSP-Systemverbindern

M-4-02/2019



Johannes Martin Wieland, BSc.
Institut für Holzbau und Holztechnologie
Technische Universität Graz



Johannes Martin Wieland, BSc.

Analysen betreffend die Entwicklung von BSP- Systemverbindern

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur
Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

Eingereicht an der
Technischen Universität Graz

Betreuer
Ass.Prof. DI(FH) Dr.techn. Reinhard Brandner
Institut für Holzbau und Holztechnologie
DI Dr.techn. Andreas Ringhofer, BSc.
Institut für Holzbau und Holztechnologie

Graz, März 2019

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, welche mir während meiner Diplomarbeit und der gesamten Studienzeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer weckte durch seine ambitionierten Vorlesungen in mir das Interesse zum Ingenieurholzbau. Die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit übernahmen meine Betreuer Ass.Prof. DI(FH) Dr.techn. Reinhard Brandner und DI Dr.techn. Andreas Ringhofer. Hier möchte ich allen voran Reinhard Brandner für die gekonnte Führung durch die Arbeit, die denkanstoßenden Diskussionen und die klare Kritik danken. Die unverblümete Bewertung war stets mit Lerneffekten verbunden und spornte letztendlich zu der in dieser Form vorliegenden Arbeit an.

Nicht nur von universitärer Seite bekam ich eine gute Unterstützung, sondern noch viel mehr von meiner Frau Elisabeth. Sie förderte mich nicht nur während der gesamten Studienzeit, sondern war maßgeblich daran beteiligt, dass ich überhaupt diese Laufbahn einschlug. Für diesen Impuls bin ich sehr dankbar, da ich dadurch eine fundierte Ausbildung erhielt, sowie wertvolle Erfahrungen und Beziehungen für das weitere Leben sammeln konnte / kann. Um zu wachsen, benötigt man einen Menschen an der Seite, dem nicht gleichgültig ist, wie man bestimmte Dinge handhabt. Vielmehr braucht man jemanden, der einen fair reflektiert. In diesem Sinn bist du mein wertvollster Spiegel.

Das beste Werkzeug, was man einem jungen Menschen für eine erfolgreiche Zukunft mitgeben kann, ist unter anderem eine gute Ausbildung. Diesem Grundsatz folgend erhielt ich von meinen Eltern eine hervorragende Erziehung und Unterstützung, welche von unvorstellbarem Wert für mich ist. Ihr seid ein wunderbares Zuhause!

Neben meinen Eltern sind meine beiden Schwestern, seit Kindesbeinen an, stets um mich als jüngeren Bruder sehr bemüht. Oft hoffe ich dieser besonderen Wertschätzung von ihnen und ihren Familien irgendwie gerecht zu werden, um vielleicht ein kleines Stück davon zurückgeben zu können. Im Gesamten steht stets eine starke Familie hinter mir, welche dem Leben Qualität verleiht.

Für Lebensqualität und -freude sorgen auch die Freundschaften, die einem durch alle Lebenslagen begleiten. Besondere Wert haben die bewehrten Beziehungen zu meinen „Lungauer Freunden“, den Schulfreunden aus der HTL und den Studienkollegen aus dem Beton- und Holzbauzeichensaal. Für meinen Erfolg und den letztendlich damit verbundenen Spaß während des Studiums sind zu einem großen Anteil meine engsten Studienkollegen und Freunde rund um die „Desperate Static Student's“ verantwortlich.

Für das Korrekturlesen dieser Masterarbeit war meine Tante Sabine Santner verantwortlich.

Abschließend bedanke ich mich bei allen Beteiligten und die göttliche Wegweisung.

Kurzfassung

Brettsperrholz (BSP) gilt als die Fläche im Holzbau, welche sowohl als Platte, Scheibe und Träger Verwendung findet. Obwohl erst seit rund 25 Jahren am Markt, wird dieses Produkt bereits weltweit für die Errichtung von Einfamilienhäusern, mehrgeschossigen Wohn-, Büro- sowie Schulbauten und für zahlreiche weitere Tragwerke eingesetzt. Aus der Tradition heraus wird die Fügung der Elemente allerdings zumeist analog zur Holz-Leichtbauweise realisiert. Im Zuge der Arbeit wird die aktuell angewandte Verbindungstechnik umfassend analysiert und diskutiert.

Ziel ist es, ein Anforderungsprofil an BSP-Systemverbinder zu definieren, welches in Folge als Basis zur Entwicklung ebensolcher dient, sowie erste Überlegungen durchzuführen, wie ein oder mehrere solche(r) Systemverbinder realisiert werden könnte(n). Der Fokus gilt dabei dem mehrgeschossigen Wohnbau. Unter dem Begriff Systemverbinder selbst wird dabei eine Verbindungslösung definiert, welche einerseits im Einsatz flexibel und entsprechend leistungsfähig ist und andererseits auf dem Grundprinzip einer weitgehenden Vormontage im Werk und anschließender Fügung der Bauteile vor Ort mittels Montagestoß fußt. Die Grundanforderungen an Verbindungen allgemein, wie hohe Tragfähigkeit, hohe Steifigkeit und hohe Duktilität, gelten hier als richtungsweisend.

Abstract

Cross laminated timber (CLT) is considered as the planar element in timber constructions, which can be applied either as plate, panel or beam. Although only 25 years on the market, this product is already used worldwide for the construction of single-family houses, multi-storey residential, office and school buildings and numerous other structures. Based on the tradition, the elements are joined similar to that of light timber-frame constructions. In the course of this thesis, the currently applied connection technology is comprehensively analysed and discussed.

The aim is to define a profile of requirements for a system connector in the application of CLT, which subsequently serves as basic concept for the development of such connectors as well as to carry out initial considerations on their realisation. The focus is on multi-storey residential buildings. The term system connector itself defines a joint solution which is flexible and efficient on the one hand and on the other hand follows the basic principle of extensive pre-assembly in the factory and subsequent joining of the components on site by means of a mounting joint. The basic requirements on joints in general, which are high load-bearing capacity, high stiffness and high ductility, are regarded as trend-setting.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|--|
| KAPITEL 1: MOTIVATION | 1 |
| 1-1 | BSP-MARKTENTWICKLUNG.....2 |
| 1-2 | BEFRAGUNG ZUR ENTWICKLUNG DES HOLZBAUS SOWIE PRO UND KONTRA3 |
| KAPITEL 2: EINLEITUNG | 5 |
| 2-1 | ALLGEMEINES UND ÜBERBLICK.....5 |
| 2-1.1 | Holzbauweisen5 |
| 2-1.2 | BSP – Technologie6 |
| 2-1.3 | Mechanische und physikalische Eigenschaften.....11 |
| 2-2 | HOLZ-MASSIVBAUWEISE MIT BRETTSPERRHOLZ.....14 |
| 2-2.1 | „Plattform“-Bauweise.....14 |
| 2-2.2 | „Balloon“-Bauweise14 |
| 2-2.3 | Mischbauweise14 |
| 2-2.4 | Holz-Hybridbauweisen.....15 |
| KAPITEL 3: STATUS QUO IN DER HOLZ-MASSIVBAUWEISE MIT BSP | 17 |
| 3-1 | VERBINDUNGSTECHNIK IM HOLZBAU: ALLGEMEINE GRUNDLAGEN MIT FOKUS AUF BSP17 |
| 3-1.1 | Allgemeines.....17 |
| 3-1.2 | Zimmermannsmäßige Verbindungen19 |
| 3-1.3 | Ingenieurmäßige Verbindungen20 |
| 3-1.3.1 | Allgemein20 |
| 3-1.3.2 | Stiftförmige Verbindungsmittel.....20 |
| 3-1.3.3 | Flächenförmige Verbindungsmittel.....24 |
| 3-1.3.4 | Klebeverbindungen.....24 |
| 3-1.3.5 | Sonstige ingenieurmäßige Verbindungen.....24 |
| 3-2 | DEFINITION, EINFÜHRUNG UND ANALYSE DER GEGENWERTIGEN KONTAKTFUGENAUSBILDUNG.....25 |
| 3-2.1 | Definition der unterschiedlichen Kontaktfugen.....25 |
| 3-2.2 | Wand Fundament.....26 |
| 3-2.3 | Wand Decke.....27 |
| 3-2.4 | Wand Wand29 |
| 3-2.5 | Decke Decke30 |
| 3-2.6 | Speziell entwickelte Systemverbinder für die Holz-Massivbauweise mit BSP31 |
| 3-2.6.1 | SHERPA CLT-Connector31 |
| 3-2.6.2 | X-RAD32 |
| 3-2.6.3 | Exzenterfixierter Verbinder36 |
| 3-2.6.4 | Resümee37 |
| 3-2.6.5 | X-bracket37 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3-2.6.6 | Kontaktverbinder | 39 |
| 3-2.6.7 | Resümee..... | 46 |
| 3-3 | SYSTEMVERHALTEN MIT FOKUS AUF BSP-SCHUB-WANDSYSTEME..... | 46 |
| 3-3.1 | Systemvergleich Holz-Massivbauweise mit BSP zu Holzrahmenbauweise..... | 46 |
| 3-3.2 | Parameteranalyse an BSP-Schubwandsystemen..... | 49 |
| 3-3.2.1 | Randbedingungen des Modellaufbaues für die Parameterstudie | 49 |
| 3-3.2.2 | Wandlänge und Verbinderanzahl..... | 50 |
| 3-3.2.3 | Resümee..... | 52 |
| 3-3.2.4 | Größe der Vertikallast..... | 52 |
| 3-3.2.5 | Reibbeiwert..... | 53 |
| 3-3.2.6 | Lagerung | 53 |
| 3-3.2.7 | Öffnungen | 54 |
| 3-3.2.8 | Resümee..... | 54 |
| 3-3.2.9 | Vertikalstoßverbindungen / Segmentierung..... | 54 |
| 3-3.2.10 | Resümee..... | 55 |
| 3-3.2.11 | Querwandanschlüsse..... | 55 |
| 3-3.2.12 | Resümee..... | 56 |
| 3-3.3 | Box- / Systemverhalten..... | 57 |
| 3-3.4 | Anforderungen an das mechanische Verhalten von Kontaktfugen..... | 58 |
| | KAPITEL 4: ANFORDERUNGEN IM KONTEXT BSP-SYSTEMVERBINDER..... | 60 |
| 4-1 | ANFORDERUNGEN AN DAS SYSTEMVERHALTEN..... | 60 |
| 4-1.1 | Einschränkung auf einen dominierenden System-Versagensmechanismus | 60 |
| 4-1.2 | Anforderungen an das mechanische Verhalten von Kontaktfugen im Tragsystem | 61 |
| 4-2 | ANFORDERUNGEN AN EINEN SYSTEMVERBINDER..... | 62 |
| 4-2.1 | Mechanische Anforderungen..... | 62 |
| 4-2.1.1 | Allgemeines | 62 |
| 4-2.1.2 | Abschätzung der auftretenden Kräfte in den unterschiedlichen Kontaktfugen..... | 62 |
| 4-2.1.3 | Ableitung von Verbindungsmitteltragfähigkeiten | 66 |
| 4-2.2 | Toleranzen / Verformungsfreiräume..... | 67 |
| 4-2.2.1 | Abschätzung der zu erwartenden Toleranzen | 67 |
| 4-2.2.2 | Abschätzung der zu erwartenden Verschiebung..... | 69 |
| 4-2.3 | Bauphysikalische Anforderungen..... | 71 |
| 4-2.3.1 | Schallschutz | 71 |
| 4-2.3.2 | Energieeinsparung und Wärmeschutz..... | 71 |
| 4-2.4 | Brandschutz | 72 |
| 4-2.5 | Rationelle Fertigung, Montage und Handhabung..... | 72 |
| 4-2.6 | Zuverlässige Überprüfung | 72 |
| 4-2.7 | Demontierbarkeit / Rezyklierbarkeit..... | 72 |
| | KAPITEL 5: LÖSUNGSVORSCHLÄGE FÜR BSP-SYSTEMVERBINDER | 74 |

| | | |
|---|-----------------------------------|-------------|
| 5-1 | KONZEPT | 74 |
| 5-1.1 | Universal Zuganker | 74 |
| 5-1.2 | Universal Schubverbinder | 77 |
| 5-1.3 | Dissipativer Schubverbinder | 79 |
| 5-2 | VORDIMENSIONIERUNG | 84 |
| 5-2.1 | Allgemeine Grundlagen..... | 84 |
| 5-2.2 | Universal Zuganker | 84 |
| 5-2.3 | Universal Schubverbinder | 89 |
| 5-2.4 | Dissipativer Schubverbinder | 92 |
| KAPITEL 6: ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK..... | | 99 |
| 6-1 | ZUSAMMENFASSUNG | 99 |
| 6-2 | AUSBLICK | 99 |
| ANHANG A VERZEICHNISSE | | I |
| A-1 | LITERATURVERZEICHNIS..... | I |
| A-2 | ABBILDUNGSVERZEICHNIS | III |
| A-3 | TABELLENVERZEICHNIS | VII |
| ANHANG B GRUNDRISSE UND ANSICHTEN..... | | VIII |

KAPITEL 1: MOTIVATION

Wie in den weiteren Ausführungen ersichtlich boomt der Holzbau allgemein und im speziellen die Holz-Massivbauweise mit dem Holzbauprodukt Brettsperrholz (BSP). Das Produkt Brettsperrholz, als die Fläche im Holzbau, eröffnet neue Möglichkeiten in Holz zu denken, planen und bauen, sowie mit herkömmlichen mineralischen Baustoffen zu konkurrieren. Besonderes Potential bietet der mehrgeschossige Wohn- und Bürobau, welcher hauptsächlich in den Städten passiert.

Ziel dieser Masterarbeit ist es ein Anforderungsprofil für einen Systemverbinder in der Holz-Massivbauweise mit Brettsperrholz zu definieren und aufbauend darauf erste Gedanken betreffend einem möglichen Verbindungssystem zu entwickeln, welches auf den Bereich des mehrgeschossigen Wohnbaus fokussiert. Auch wenn folgend immer von einem Systemverbinder für Tragwerke in Brettsperrholz die Rede ist, können damit mehrere systematisch eingesetzte Verbindungsmittel bzw. Anschlusslösungen gemeint sein.

Aus wirtschaftlichen Gründen wird der klassische Massivbau (Beton, Ziegel) oftmals immer noch der Holz-Massivbauweise mit Brettsperrholz vorgezogen. Um die Konkurrenzfähigkeit des Holzbaus in diesem Segment zu stärken, sind innovative Entwicklungen betreffend die Fügung der Bauteile somit auch aus dieser Perspektive längst notwendig. Gegenwärtig werden in der Holz-Massivbauweise mit Brettsperrholz primär etablierte Verbindungslösungen des Holzleichtbaus eingesetzt. Das Leistungspotential von Brettsperrholz, aber auch die dominierenden Versagensmechanismen von z. B. daraus realisierten lastabtragenden und aussteifenden Wandsystemen, sind deutlich different zum Holzleichtbau. Folglich können die gegenwärtigen Verbindungslösungen das hohe Potential dieses Produktes, sowohl hinsichtlich Tragfähigkeit als auch Steifigkeit, nicht zufriedenstellend abdecken. Neben der bereits erwähnten Einschränkung sind Verbesserungspotentiale in der Bestimmung von Systemsteifigkeiten, im Sinne der Lastverteilung z. B. zwischen Wänden innerhalb eines Geschoßes, in der Modellierung als auch in der effizienten Fertigung sowie Montage vorhanden. In Anbetracht dieser Motivatoren und der dynamischen Entwicklung des Holzbaus national und international ist die Entwicklung eines Verbindungssystems, mit klaren Vorteilen durch die Systematik in der Planung und im Baubetrieb, ein wichtiger nächster Schritt im Bauen mit Brettsperrholz. Der Ruf nach einfachen Anschlüssen, einem klar definierten Systemtragverhalten, sowie der möglichen Implementierung sämtlicher Projektphasen in Softwarelösungen wird immer lauter. Vorteile in der Planung sollen konkret in einem vorhersehbaren und verlässlichen Systemverhalten, sowie in einer einfachen nachvollziehbaren Bemessung erzielt werden. In diesem Kontext sind klare Antworten, wo im System Dissipation und Duktilität stattfinden sollen bzw. müssen, zu definieren. Ebenso sind verschiedene Bauweisen („Balloon“-Bauweise, „Plattform“-Bauweise, Misch- und Hybridbauweisen) zu berücksichtigen. Im Baubetrieb werden Verbesserungen in der Vorfertigung, der Montage und eine Reduktion der Fehleranfälligkeit angestrebt. Als Basis für die Entwicklung eines Systemverbinders soll ein Anforderungsprofil, welches mechanische, bauphysikalische und baubetriebliche Beurteilungskriterien umfasst, dienen. Das Anforderungsprofil soll im Weiteren auch als Benchmark dienen, um bestehende Verbindungssysteme zu analysieren und daraus Potentiale für künftige Entwicklungen, im Sinne der jeweiligen Vor- und Nachteile, abzuleiten. Ein derartiges Anforderungsprofil dient außerdem als Richtschnur in der Entwicklung eines „neuen Systemverbinders“ an welcher der Grad der Zielerreichung stets überprüft und reflektiert werden kann.

Die Priorität und das Potential eines Systemverbinders für den Massivholzbau mit Brettsperrholz soll anhand der im Folgenden angeführten Marktanalysen und Umfragen belegt werden. Die technischen und wirtschaftlichen Verbesserungsmöglichkeiten werden in diesem Abschnitt aufgezeigt und detailliert im Kapitel 3 diskutiert.

1-1 BSP-MARKTENTWICKLUNG

Von der Idee und den ersten wissenschaftlichen Bearbeitungen in den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts bis zur ersten Produktzulassung für BSP vergingen rd. 20 Jahre (Schickhofer, et al., 2017). Dies und die Tatsache, dass es bis heute nur vereinzelte Neuentwicklungen in der Verbindungstechnik von Brettsperrholz gibt, unterstreichen die Notwendigkeit für die Entwicklung eines Systemverbinders für BSP.

Das Produktionsvolumen wurde europaweit vom Jahr 2008 bis zum Jahr 2018 von rund 200 Tsd. m³ / Jahr auf über eine 1 Mio. m³ / Jahr ausgebaut. Weitere Großinvestitionen lassen die europäische BSP-Produktion, wie in Abbildung 1-1 ersichtlich, auch in den nächsten Jahren massiv anwachsen (Jauk, 2018).

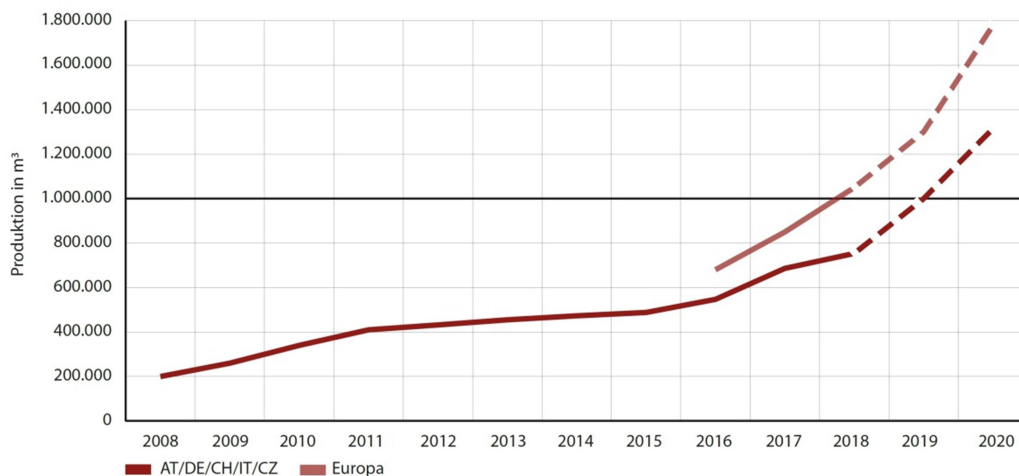


Abbildung 1-1: Kapazitätsentwicklung von BSP (Jauk, 2018)

Den gesamten Holzbau betreffend konnte dieser im Wohnbau in Österreich gemäß Abbildung 1-2 und bezogen auf die Gebäudeanzahl, binnen 15 Jahren von 24 % auf 48 %, und bezogen auf das Volumen von 9 % auf 21 % mehr als verdoppelt werden (Teischinger, et al., 2015).

Holzbauanteil im Wohnbau in Österreich

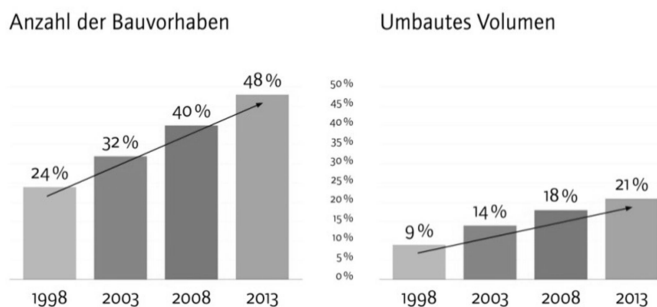


Abbildung 1-2: Entwicklung Holzbauanteil im Wohnbau in Österreich zwischen 1998 bis 2013 (Teischinger, et al., 2015)

Im nun folgenden Abschnitt 1-2 sollen einerseits die Gründe für den Holzbau-Boom und andererseits prioritär, Ansätze zur weiteren Steigerung des Holzbauanteils und der Konkurrenzfähigkeit aus einer umfassenden und international durchgeführten Studie abgeleitet werden.

1-2 BEFRAGUNG ZUR ENTWICKLUNG DES HOLZBAUS SOWIE PRO UND KONTRA

Die folgende Befragung wurde für den gesamten Holzbau durchgeführt und ist nicht speziell auf den Massivholzbau mit Brettsperrholz abgestimmt. Viele Ergebnisse lassen sich jedoch direkt auf diesen umlegen. Gerade bei der Entwicklung eines neuen Verbindungsmittels /-systems sollte diese selbstkritische Reflexion der Branche berücksichtigt werden. Befragt wurden Experten der Kategorien Planung, Ausführung, Auftraggeber und Andere. Die Kategorie Andere beinhaltet Personen der Wissenschaft, Forschung, Lehrende, rechtliche Vertreter, Medien- und Standesvertreter, sowie Mitarbeiter von Behörden. Die Befragung wurde mit, an die Kategorie angepasste, Fragebögen durchgeführt. Die Daten, wie sie im Folgenden dargelegt und diskutiert werden, entstammen der Arbeit (Koppelhuber, 2018). Sämtliche Informationen zur der Durchführung der Befragung sind darin enthalten.

Die Schlussfolgerungen im Zusammenhang mit einem Systemverbinder für Brettsperrholz stammen vom Verfasser der vorliegenden Masterarbeit (erkenntlich durch Anm.:).

Auf die Frage der Wertigkeit einzelner Motivationsfaktoren Gebäude / Bauwerke in Holzbauweise zu errichten, gaben 26,8 % der Befragten Kostenvorteile, 66,5 % (Bau)Zeitvorteile und 72,1 % Vorfertigung/Präzision als „sehr wichtig“ an. Anm.: Kostenvorteile werden demnach als nachrangig genannt, wohingegen Bauzeitvorteile und Vorfertigung, beides Aspekte welche durch eine systematische Verbindungslösung begünstigt werden können, als wesentliche Faktoren genannt werden.

Auf die Frage der Vor- und Nachteile einzelner Aspekte in der Verwendung von Holz gegenüber anderen Baustoffen nannten 23,6 % Rückbaubarkeit / Wiederverwendbarkeit, 62,4 % Vorfertigungsmöglichkeit, 25,4 % baubetriebliche Abwicklung, 5,2 % Planungsaufwand und 34,5 % Bauzeiteinhaltung als „sehr große Vorteile“. Anm.: In Hinblick auf Ressourcenschonung und Produktlebenszyklusbetrachtungen sind die Rückbaubarkeit sowie Wiederverwendbarkeit wichtige Aspekte in der Entwicklung eines Systemverbinders. Gerade beim Einsatz von großformatigen, vorgefertigten Wand- und Deckenelementen ergeben sich Chancen ein Verbindungssystem zu wählen, welches diesen Anforderungen gerecht wird. Um Verbesserungen im baubetrieblichen Ablauf, bei der Bauzeiteinhaltung und im Planungsaufwand zu erreichen, ist ein Systemverbinder ein wichtiger Schritt. Um den Planungsaufwand zu minimieren, bieten klare strukturelle und standardisierte Randbedingungen interessante künftige Möglichkeiten. Die unterschiedlichen Versagensmechanismen von schubbeanspruchten Wänden aus Brettsperrholz (SW-BSP), mit aktuell verwendeter Verbindungstechnik, sind ein junges Forschungsgebiet mit gegenwärtig noch hohem Forschungspotential. Auf Basis aktueller Informationen erscheint jedoch eine umfassende Berücksichtigung dieser Erkenntnisse, in Modell und Bemessung, sehr aufwändig. Beispielsweise müssen bei der Konzeptionierung und Bemessung von SW-BSP Rotations- und Translationssteifigkeit berücksichtigt werden, um zuverlässige Ergebnisse in geschoßweise zusammenwirkenden Schubwandsystemen zu erhalten. Dieser Umstand führt allerdings zu sehr aufwändigen und komplexen Berechnungsmodellen. Die Komplexität wird hier durch Mehrfachwirkungen der Verbindungsmittel (Aufnahme von Zug- und Schubkräften) und ein Zulassen unterschiedlicher Versagensmechanismen (überwiegend Translation in Kombination mit Rotation) gefördert. Mit der aktuellen Verbindungstechnik ist ein Separieren der Wirkungsrichtungen des Verbindungsmittels in der Kontaktfuge nicht oder nur teilweise gegeben, wodurch die gezielte Herbeiführung eines Versagensmechanismus schwierig wird. Die erklärten Ziele bei SW-BSP sind in diesem Zusammenhang klar definierte Versagensmechanismen durch voneinander unabhängige Steuerung von Rotations- und Translationssteifigkeit/ -tragfähigkeit. Durch die Festlegung auf einen dominanten Versagensmechanismus verringert sich nicht nur der Planungsaufwand, sondern es entstehen einfachere statische Modelle, wo auch gezielt dissipative Bereiche (relevant unter dynamischen Einwirkungen z. B. Erdbeben) ausgebildet werden können. Die gezielte Ausbildung von dissipativen Bereichen in einem geschossweisen BSP-Wandverband erfordert ebenso eine Antwort auf den Umgang mit segmentierten Wandelementen. Einfache statische Zusammenhänge können mit weniger Aufwand und mit größerer Zuverlässigkeit in Softwarelösungen implementiert werden. Dies wiederum wirkt sich positiv auf die Fehleranfälligkeit, sowie Rationalisierung in der Konzeptionierung und Bemessung aus. Nicht nur klare konstruktive Rahmenbedingungen sondern die alleinige Standardisierung der Fugenausbildung ermöglicht Vorteile in den Phasen von der Konzeptionierung, Bemessung und

Detailplanung über Fertigung und Montage bis hin zu Instandhaltung, Reparatur und Demontage. Um diese bereits sehr detaillierten Interpretation besser einordnen zu können wird auf die Kapitel 3 und 4 verwiesen.

Auf die Frage wie sich die Montagetechnik auf den gesamten Projekterfolg im Holzbau auswirkt, wurden insbesondere die Vorfertigung mit 92,9 %, eine exakte Vorfertigung bzw. Toleranzen in der Produktion mit 78,6 %, spezielle Montageplanung mit 78,6 %, Witterung/ Lichteinflüsse mit 71,4 % und Gewährleistung der bauphysikalischen Anforderungen ebenso mit 71,4 % mit „großem Einfluss“ hervorgehoben. Anm.: Der Vorfertigungsgrad nimmt hier eine wichtige Rolle ein, da in diesem Bereich großes Potential im positiven Sinn vorhanden ist. Positive Gesichtspunkte sind z. B. in der Fehleranfälligkeit, dem Arbeitsumfeld / Arbeitsbedingungen, besonders unter dem Gesichtspunkt Witterung / Lichteinfluss, zu erkennen. Generell ist ein Verbesserungspotential, in der Vorfertigung und im Zusammenwirken mit einem standardisierten Verbindungsmittel, vor allem durch einen höheren Vorfertigungsgrad als bisher gegeben. Eine Harmonisierung der Verbindungsmitteltypen kann die Fehleranfälligkeit z. B. durch Verwechslung minimieren. Außerdem kann die gesamte Montage der Verbindung durch eventuell vorgefertigte Montagepunkte, oder durch einen völlig automatisierten Befestigungsvorgang, verbessert werden. Nicht nur durch den alleinigen Vorfertigungsprozess sondern auch durch überwachte Produktionsabläufe können Fehler reduziert werden. Ein klares Ziel bei der Entwicklung des Verbindungsmittels ist, den Vorfertigungsgrad und Automatisierungsgrad parallel zum Industrialisierungsgrad zu erhöhen. Die Möglichkeit Bautoleranzen aufzunehmen hat ebenso eine große Auswirkung auf den Projekterfolg und ist somit beim Entwurf des Verbindungsmittels bzw. -systems zu berücksichtigen. Auch in Bezug auf den Toleranzausgleich bietet eine systematische Lösung interessante Verbesserungsmöglichkeiten, wenn dieser kontrolliert und ohne Systembeeinträchtigungen in einer wirtschaftlichen Realisierung berücksichtigt werden kann. Durch einen Systemverbinder können Potentiale im Bereich der Montageplanung genutzt werden. Hier wirken sich, neben bereits zuvor angeführten Einflüssen infolge der Standardisierung, positive Einschulungseffekte des Fachpersonals und eine daraus resultierende geringere Fehleranfälligkeit aus. Die Gewährleistung der bauphysikalischen Anforderungen bieten für einen Systemverbinder ebenso positive Potentiale. Ein klares Ziel in diesem Bereich ist die Vermeidung von durch das Verbindungsmittel hervorgerufener Schwachstellen.

Auf die Frage wie sich die einzelnen Aspekte der Verbindungstechnik auf den gesamten Projekterfolg im Holzbau auswirken, ist der Einsatz von ganzheitlichen Systemverbindern für 50 % der Experten von großem Einfluss. Alleine dieser Aspekt ist ein deutlicher Motivator und untermauert die Notwendigkeit einer Revolution in der Füge-technik von Brettsperrholz.

KAPITEL 2: EINLEITUNG

2-1 ALLGEMEINES UND ÜBERBLICK

Das Kapitel 2 beinhaltet eine Einführung in das Produkt Brettsperrholz und dessen Anwendungsgebiete. Das Aufzeigen von produktspezifischen Besonderheiten in der Herstellung, sowie in den mechanischen und physikalischen Eigenschaften, dient als Grundlage, diese entsprechend in der Konzeptionierung von Systemverbindern zu berücksichtigen. Die Abhandlung der Aufbauten und Kombinationen von Brettsperrholz als auch dessen Anwendung als Scheibe, Platte oder Träger in unterschiedlichen Bauweisen soll ebenso dazu dienen, einen umfassenden Entwicklungsprozess für Systemverbinder zu ermöglichen.

2-1.1 HOLZBAUWEISEN

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Schickhofer, et al., 2010) und (Teibinger, et al., 2013) vorgestellten Erkenntnissen.

Generell lässt sich der Holzbau in die Holzleichtbauweise, wie die Skelett- und die Rahmenbauweise, die Holz-Massivbauweise, mit der traditionellen Block- und Stabbauweise, sowie der neuen BSP-Bauweise, unterteilen (siehe Abbildung 2-1).

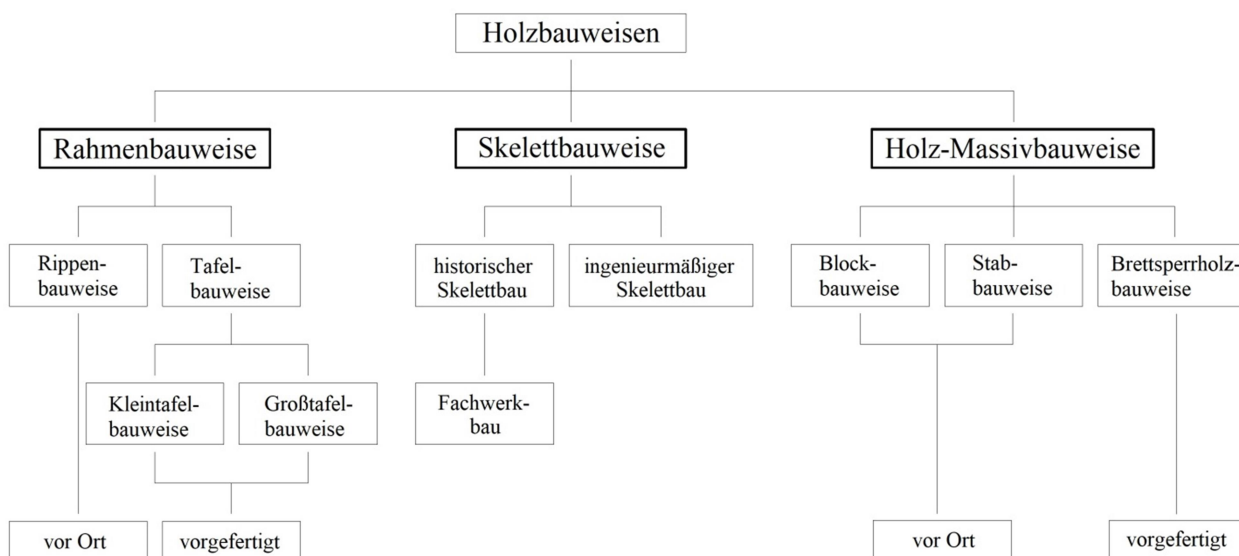


Abbildung 2-1: Einteilung der Holzbauweisen im Wohnbau (Teibinger, et al., 2013); - überarbeitet

Die Holz-Massivbauweise ist keine wirklich neue Disziplin im Holzbau, sondern im Sinne der Stab- und Blockbauweise eine der ältesten Bauformen der Menschheitsgeschichte. Bei beiden Bauweisen werden Rundhölzer, behauen bzw. formatierte Querschnitte Mann-an-Mann, lediglich in unterschiedlicher Orientierung, im Wandsystem verbaut. Die Holz-Massivbauweise mit BSP stellt somit eine konsequente und aus der Historie gewachsene Weiterentwicklung der tradierten Holz-Massivbauweisen dar (siehe Abbildung 2-2). Die Klebetechnologie ermöglicht die Produktion dieser großformatigen und als Flächentragwerk lastabtragenden Elemente.

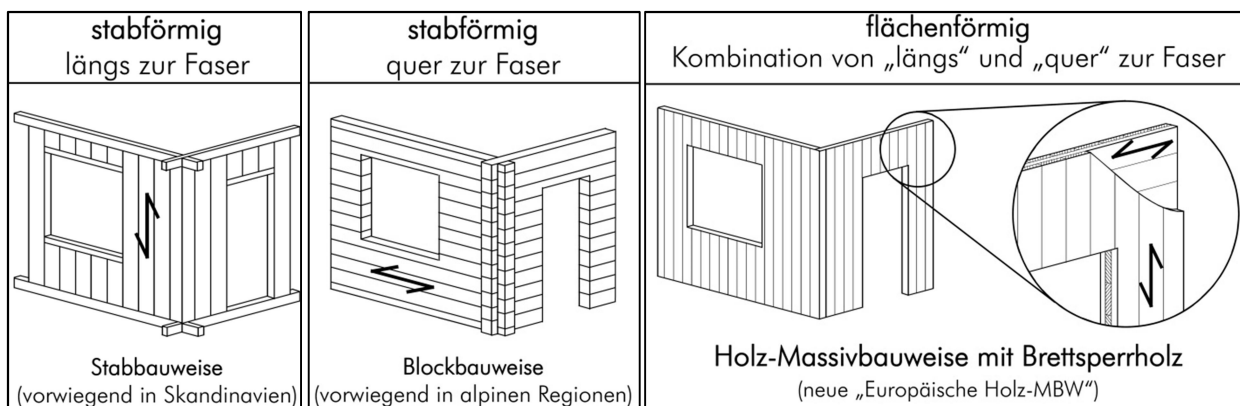


Abbildung 2-2: Einteilung der Holz- Massivbauweisen (Schickhofer, et al., 2010)

Die Holz-Massivbauweise mit BSP hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten international im mehrgeschossigen Holzbau etabliert, während die Holzleichtbauweise im Sinne eines Skelettbau eine untergeordnete Rolle spielt. Die optimale Nutzung von Vorteilen verschiedener Bauweisen gelingt in Form von Hybridbauweisen. So geschieht dies z. B. im Geschossbau in Schottenbauweise, wo die Vorteile der BSP-Elemente in Bezug auf die Lastabtragung und die Vorzüge der Holzrahmenbauweise als Außenbauteil wärmeschutztechnisch genutzt werden.

In Mittel- und Nordeuropa sowie in Nordamerika ist die Tafelbauweise mit vorproduzierten Elementen im Einfamilienhausbau weit verbreitet. Bei der Holzrahmenbauweise werden in einem Raster angeordnete Konstruktionshölzer (Rastermaß meist 62,5 cm) beidseitig mit Holzwerkstoff- oder Gipskartonplatten beplankt. Die zwischen den Konstruktionshölzern entstehenden Hohlräume werden mit Dämmstoffen ausgefüllt. An der Innenseite der Wandkonstruktion wird eine Dampfbremse in Form einer Folie oder einer (stoßverklebten) OSB-Platte angebracht. Eine klare Trennung der lastabtragenden Ebene und der Dämmebene, wie beispielsweise bei der BSP-Bauweise, ist nicht gegeben. Unterschiede zwischen der Holzrahmenbauweise und der BSP-Bauweise beruhen auf den massigen und flächenhaft wirkenden BSP-Elementen, im bauphysikalischen Verhalten hinsichtlich der Speicher- und Leitfähigkeit von Feuchte und Energie, dem Brandschutz sowie der Lastabtragung und Aussteifung. Auf die Unterschiede im Lastabtragungs- und Aussteifungsverhalten wird unter Abschnitt 3-3.1 vertiefend eingegangen, da gerade auf diesem Gebiet vermeintliche Gleichstellungen, in Form von affinen Verbindungsmittellösungen, angenommen werden.

2-1.2 BSP – TECHNOLOGIE

Brettsperrholzelemente werden für tragende Zwecke verwendet. Es werden dabei Elemente eingesetzt, welche aus festigkeitssortierten Brettern bzw. keilgezinkten Lamellen mit Breiten von 80 bis 240 mm hergestellt werden. Die Stärken der einzelnen Bretter bzw. Lamellen, entsprechend den späteren Lagenstärken im BSP Element, reichen von 19 bis 45 mm. Als Festigkeitsklasse wird primär C24 gemäß (ON EN 338, 2016) eingesetzt, wobei in den Querlagen auch geringere Festigkeiten verwendet werden können, um hier in Hinblick auf die Rollschubbeanspruchung Vorteile zu erzielen bzw. die „Ausschussmenge“ zu minimieren. Als Holzarten kommen überwiegend Fichte und Tanne, aber auch Kiefer, Lärche sowie Douglasie zur Anwendung. Letztere und diverse Laubholzarten kommen meist bei mechanischen oder ästhetischen Sonderlösungen zum Einsatz. Die Einzellagen werden in der Regel zu 3-, 5- oder 7-lagigen orthogonal, mit für tragende Anwendungen zugelassenen Klebstoffen, flächenhaft verklebt (starrer Verbund). Hierdurch werden die mechanischen Eigenschaften, das Tragverhalten, sowie das Quell- und Schwindverhalten der Brettsperrholzelemente homogenisiert.

Die vorliegende Masterarbeit fokussiert auf starr miteinander verbundene / verklebte BSP-Lagen und grenzt sich hiermit von nachgiebig verbundenen BSP-Aufbauten ab. Neben Brettern und allen Weiterentwicklungen (keilgezinkte Brettlamellen, Einschichtplatten), dienen Holzwerkstoffe, für gezielt besondere Eigenschaften, wie z. B. Luftdichtigkeit sowie eine höhere Rollschubfestigkeit, als

Ausgangsprodukt für einzelne BSP-Schichten (Schickhofer, et al., 2010). Ein möglicher BSP-Standardaufbau mit einer Auswahl an wichtigen Definitionen ist unter Abbildung 2-3 ersichtlich. CLT steht für „cross laminated timber“, was die englische Bezeichnung für Brettsperrholz bedeutet (Brandner, et al., 2018a).

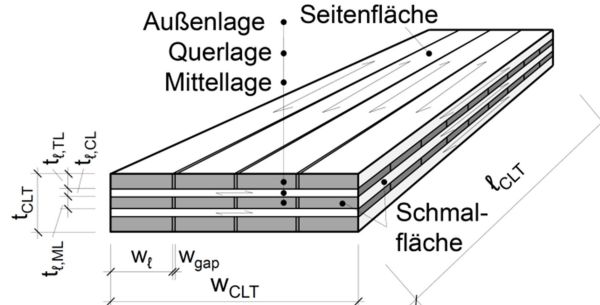


Abbildung 2-3: Ausgewählter BSP-Standardaufbau mit wichtigen Definitionen (Brandner, et al., 2016); - überarbeitet durch (Brandner, et al., 2018a)

Wie in Abbildung 2-3 ersichtlich, besteht die Möglichkeit, dass abhängig vom Herstellungsverfahren zwischen den einzelnen Lamellen oder in Form von Entlastungsnuten direkt in der Einzellamelle, Fugen / Nuten vorhanden sind. Diese können sich nachteilig auf die Bauphysik, das Erscheinungsbild / Optik und auf die mechanischen Kenngrößen der Verbindungstechnik auswirken. Letztere Auswirkungen gilt es besonders bei stiftförmigen Verbindungsmitteln zu berücksichtigen. Laut gegenwärtigen Zulassungen / Bewertungen sind in den Außenlagen Fugenbreiten von $w_{gap} \leq 2(3)$ mm und in den Innenlagen von $w_{gap} \leq 4(6)$ mm zulässig. In Ausnahmefällen gilt $w_{gap} \leq 10$ mm (Brandner, et al., 2018a). Hohlräume in Form von Fugen und Entlastungsnuten sowie aufbau- / strukturbedingte Festigkeitsunterschiede müssen in der Konzeptionierung des Systemverbinders berücksichtigt werden.

Für Deckenbauteile werden primär 5- und 7-schichtige Elemente mit Dicken zwischen 140 und 200 mm, sowie für Wandbauteile 3- und 7-schichtige Aufbauten zwischen 80 und 120 mm verwendet. Durch die Kombination unterschiedlich starker Längs- und Querlagen sowie die Variation der Schichtanzahl zu Brettsperrholzelementen ergibt sich eine Vielzahl an unterschiedlichen Aufbauten. Zudem ermöglicht diese Aufbauvariation eine Optimierung in statischer, konstruktiver und brandschutztechnischer Anwendung. Jüngere Entwicklungen zeigen eine Harmonisierung der Lagenstärken zu 20, 30 und 40 mm (Teibinger, et al., 2013). Typische Aufbauten für unterschiedliche Anwendungen sowie zusammengesetzte BSP-Bauteil, auch mit anderen Bauprodukten (z. B. Brettschichtholz, Sperrholz und Stahl), sind in Abbildung 2-4 ersichtlich (Brandner, et al., 2016).

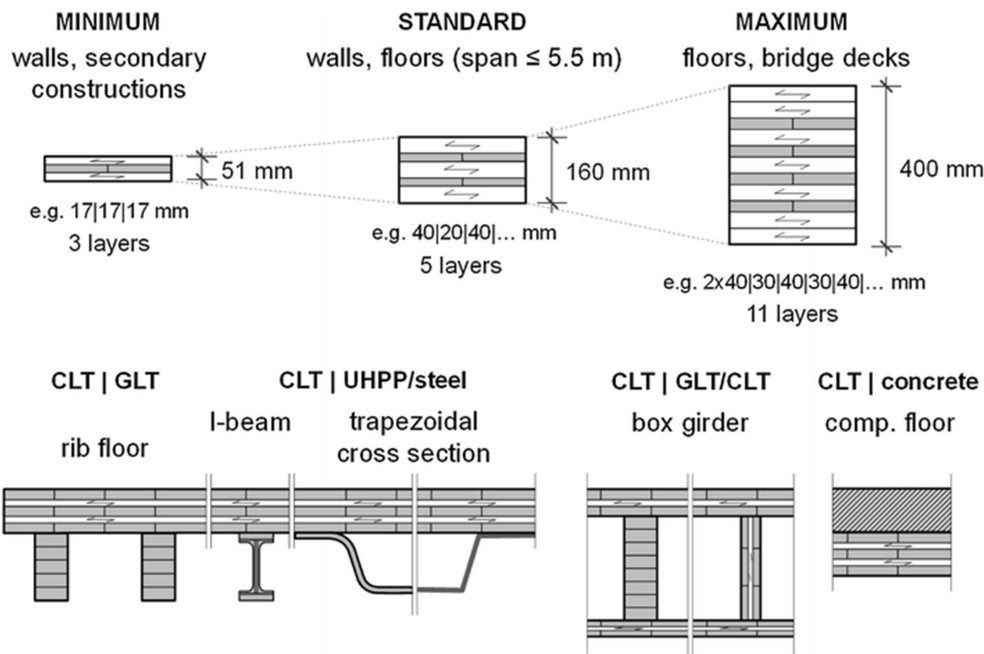


Abbildung 2-4: Auswahl an möglichen Aufbauten sowie Tragelementen als Kombination von BSP mit anderen stab- und flächenförmigen Bauprodukten (Schickhofer, 2015); - überarbeitet durch (Brandner, et al., 2016)

Im Entwicklungsprozess gilt es ein Verbindungsmittel zu finden, welches in möglichst variabler Form einen Großteil der angeführten Aufbauten miteinschließt.

In technischen Zulassungen / Bewertungen der einzelnen BSP-Produzenten sind Verwendungsmöglichkeiten, Herstellung sowie mechanische Eigenschaften der BSP-Elemente geregelt (Teibinger, et al., 2013). Brettsperrholz ist für Nutzungsklasse 1 und 2 nach (ÖNORM B 1995-1-1, 2015) zugelassen, was in der Regel überdachten und vor der Witterung geschützten Tragwerksteilen entspricht. Nutzungsklasse 2 entspricht einem Umgebungsklima von 20 °C und einer Luftfeuchtigkeit von überwiegend weniger als 85 %, was eine Holzgleichsfeuchte bei Nadelholz von höchstens 20 % bewirkt (Schickhofer, et al., 2010). Abbildung 2-5 liefert einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten von BSP als 2D-Tragelement. Neben der Verwendung als flächiges Tragelement ist auch der Einsatz als 1D-Element / Stab möglich. Bei letzterer Anwendung gibt es im Vergleich zu unidirektional aufgebauten Holzbauprodukten wie BSH bei BSP durch den orthogonalen Schichtaufbau deutliche Vorteile bei Ausklinkungen und Durchbrüchen (Brandner, et al., 2018a). In dieser Masterarbeit richtet sich der Fokus auf die klassischen Anwendungsgebiete von BSP als Wand, Decke und Dachelement, für welche ein systematisches Verbindungsmittel bzw. -system gefunden werden soll. Außerdem sollen primär liniengelagerte Systeme abgedeckt werden.

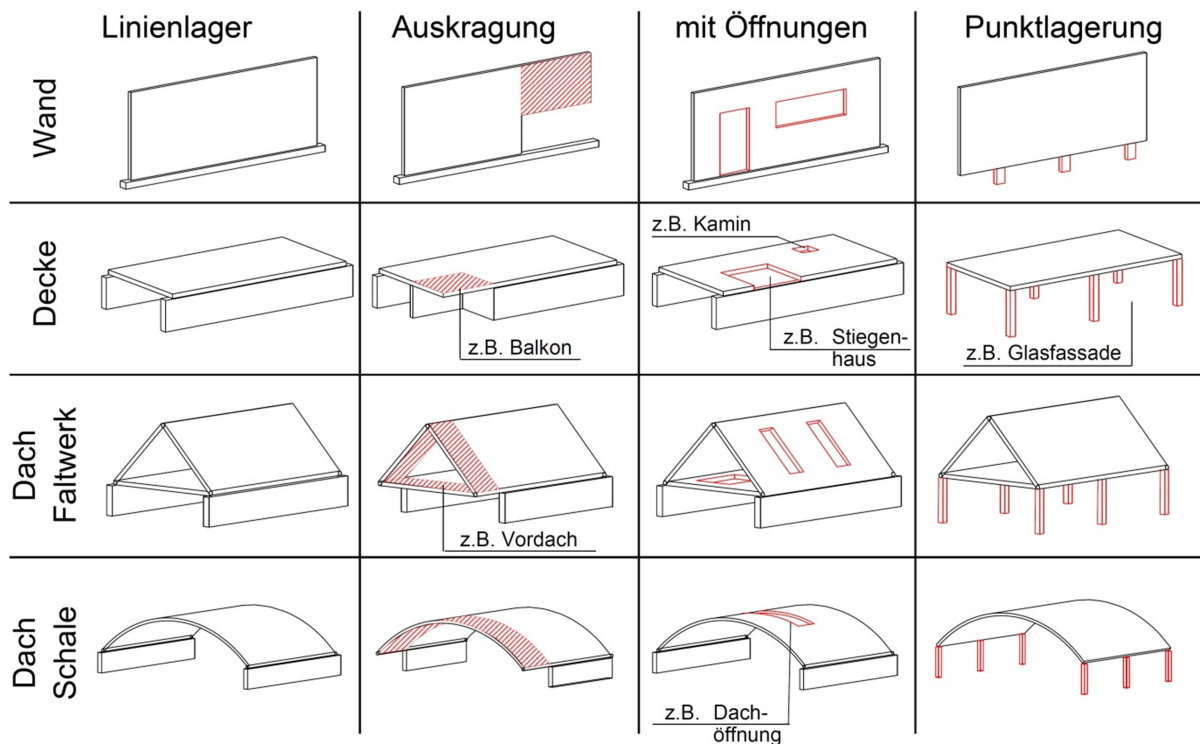


Abbildung 2-5: Auswahl an Anwendungsbeispielen für BSP als 2D-Tragelement (Brandner, et al., 2018a)

Die BSP-Elementabmessungen sind in erster Linie vom Produzenten, Transport, bevorzugten statischen Systemwirkungsweisen und sonstigen baubetrieblichen Einflüssen abhängig. Üblicherweise bewegen sich bei großformatigen Platten die Standardbreiten von 2,40 bis 3,20 m sowie die Standardlängen von 12 bis 20 m. Neben Großtafeln gibt es auch Kleintafeln, welche zumeist mit einer Standardbreite von 1,25 m produziert werden. Vorteile des Kleinformats sind einerseits in der Handhabung sowie andererseits in der individuellen und verschnittoptimierten Anordnung (z. B. Öffnungen sind mit den Elementabmessungen abgestimmt) der Einzelemente zu finden. Außerdem ermöglichen die kleinformatigen Elemente auftragsunabhängige Lagerproduktionen, welche insbesondere bei langen Lieferfristen von großformatigen Elementen eine wirtschaftliche Alternative darstellen. Nachteilig wirkt sich in der Kleinformatanwendung der höhere Stoßfugenanteil mit allen damit verbundenen Zusatzanforderungen aus. Für die Herstellung von großformatigen BSP-Elementen sind maschinentechnisch große Kräfte in den Pressen zu bewältigen. Alternativ können Kleinelemente erzeugt werden, welche anschließend durch eine Generalkeilzinkenverbindung wieder verbunden werden können. Die Methode birgt an den Stoßstellen Einbußen in der Biegefestigkeit und wird generell nur aus Gründen der Vollständigkeit erwähnt (Schickhofer, et al., 2010). Das hier nur sehr kurz vorgestellte Thema „Kleintafel versus Großtafel“ wird hinsichtlich der statischen Systemwirkungsweise schnell zu einer sehr komplexen Fragestellung, weshalb diese unter Abschnitt 3-3.2.9. ausführlich behandelt wird. Im Geschossbau haben diese unterschiedlichen Systemwirkungsweisen, primär bei schubbeanspruchten Wänden, signifikante Auswirkungen auf die Verbindungstechnik. Im Zuge dieser Arbeit werden ein bevorzugtes Format und dessen Systemverhalten definiert (Kapitel 3 und 4).

Abbildung 2-6 gibt einen Überblick über den Produktionsprozess von BSP. In den ersten Schritten wird dargestellt wie eine festigkeitssortierte Rohlamelle entsteht (analog wie bei Brettschichtholzproduktion). Um die bereits zuvor eingeführten Fugen zwischen den Lamellen möglichst gering zu halten, gibt es heute zwei unterschiedliche Herstellungsstrategien. Ein Weg führt über eine definierte Schmalseitenverklebung und die Herstellung einer Einschichtplatte. Bei der zweiten Herstellungsvariante wird während der Flächenpressung (bereits im Pressbett) zusätzlich auf die Schmalseite der BSP-Platte lagenweise oder lagengruppenweise ein Pressdruck aufgebaut. Die beiden Vorgehensweisen sind unter Abbildung 2-6 „Zwischenschritt: Schmalseitenverklebung“ und „BSP-Flächenverklebung“ ersichtlich. Anschließend an die Flächenverklebung erfolgt der Abbund der BSP-Platte. Unter diesem

Produktionsschritt werden die Schmalseiten besäumt oder mit einer der Verwendung angepassten Ausformung (Stufenfalzausbildung, Nut-Feder-Profilierung, etc.) versehen. Die Schmalseitenausformung wird hier primär durch die Anforderungen an die Kontaktfuge (z. B. Luftdichtigkeit sowie der Möglichkeit Momente und Querkräfte zu übertragen) beeinflusst. Der Abbund erfolgt überwiegend CNC-gesteuert, wodurch aufwändige Geometrien, Tür- und Fensteröffnungen, Ausnehmungen und Bohrungen realisiert werden können (Schickhofer, et al., 2010). Der Abbund und die Grenzen dessen sind ein wichtiger und zu berücksichtigender Gesichtspunkt in der Entwicklung eines Systemverbinders. Es gilt hier nicht nur die alleinige, sondern vor allem die rationelle und wirtschaftliche Umsetzbarkeit zu garantieren. Unter diesem Produktionsschritt soll eine automatisierte Vormontage der Verbindungsmittelteile oder entsprechende Ausformung der Kanten erfolgen.

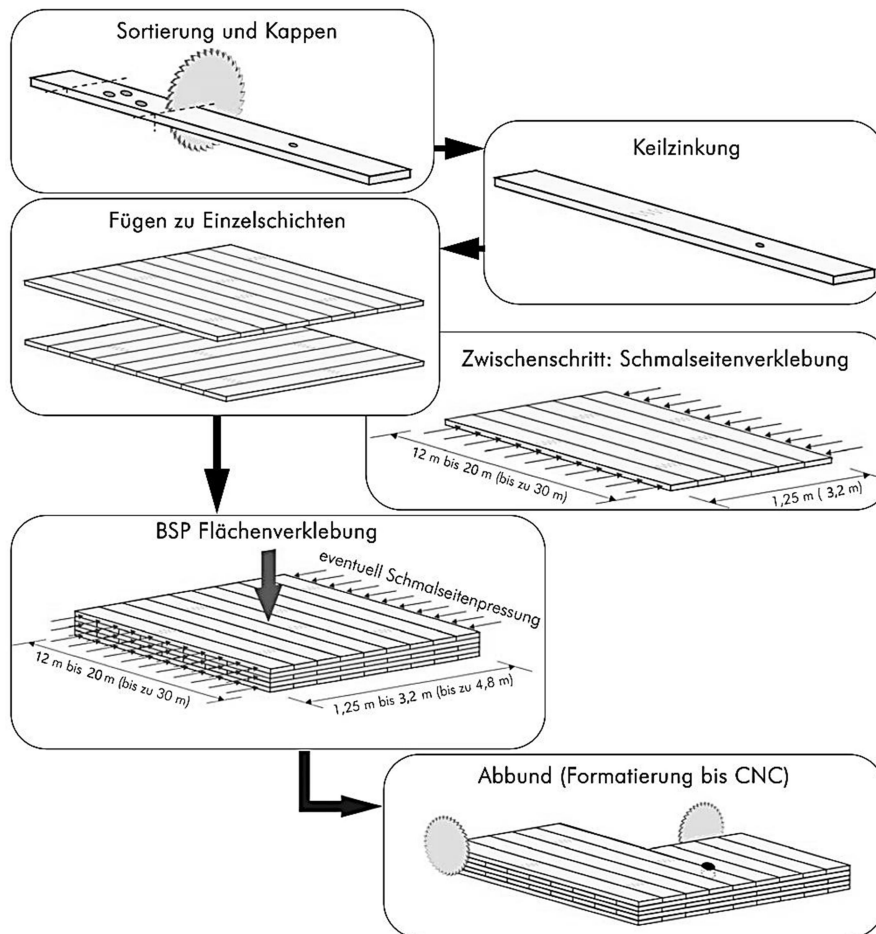


Abbildung 2-6: Allgemeiner Produktionsprozess von Brettsperrholz (Schickhofer, et al., 2010); - überarbeitet

Während dem Abbund bzw. Bearbeitungsprozess können Installationskanäle oder zusätzliche Schichten (Isolations-, Installationsschicht, etc.) hergestellt bzw. montiert werden. Überlegungen Teile des Systemverbinders während dem Fügen der Einzelschichten zu berücksichtigen (z. B. in Form von Einlegen, Einkleben, Einschrauben, etc.) wurden aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen BSP-Aufbauten sowie der schwer zu steuernden Maßgenauigkeiten verworfen.

Nach Abbund, Verladung und Transport folgt die Montage auf der Baustelle. Hier gibt es einen markanten Unterschied in der Montagerichtung der Elemente: Bei Wänden erfolgt die Montagerichtung senkrecht auf die Schmalfäche, wobei Decken- und Dachelemente senkrecht auf die Seitenfläche montiert werden. Diese Differenzierung gilt es im Verbindungsmittel / bzw. -system zu berücksichtigen, um ein eventuelles „Einfädeln“ des BSP-Elements durch ausstehende Verbindungsbestandteile zu verhindern. Die Vorgehensweise und die erforderlichen Hebepunkte für die Montage sind in Abbildung

2-7 ersichtlich. Eine Mehrfachnutzung von Systemverbindern, z. B. bereits als Hebe- und Montagepunkte während des Be- und Entladens, sowie Versetzen der BSP-Elemente ist in der Konzeptionierung eines Systemverbinders anzustreben.



Abbildung 2-7: Montage Decke (links); Montage Wand (rechts) (Brandner, et al., 2018a)

2-1.3 MECHANISCHE UND PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

In Tabelle 1 sind die wesentlichen mechanischen Kenngrößen von Brettsperrholz entsprechend des gegenwärtigen Wissensstandes angeführt.

Tabelle 1: *Charakteristische Werte der Festigkeiten, Elastizitäts- sowie Schubmodule in N/mm² und der Rohdichte in kg/m³ für Brettsperrholz auf Basis der Eigenschaften der Lagen bzw. einzelner Lamellen (Brandner, et al., 2018)*

| Property | | Symbol | Value | Example for cross laminated timber nominated class CL24 ²⁾ |
|---|---|--------------------------------------|--|---|
| Bending strength | for bending moments m_{xx} or m_{yy} out of plane, see Figure PT.1-6.13 | $f_{m,x,k}$ $f_{m,y,k}$ | 3 $f_{t,0,1,k}^{0,8}$ | 24.0 |
| | for bending moments m_{yz} or m_{xz} in plane, see Figure PT.1-6.13 | $f_{m,edge,x,k}$ $f_{m,edge,y,k}$ | $f_{m,l,k}^{3)}$ | 20.5 |
| Tension strength | in plane | $f_{t,x,k}^{4)}$ $f_{t,y,k}^{4)}$ | 1.2 $f_{t,0,1,k}$ | 16.0 |
| | perpendicular to the plane | $f_{t,z,k}$ | 0.50 | 0.50 |
| Compression strength | in plane | $f_{c,x,k}$ $f_{c,y,k}$ | 3 $f_{t,0,1,k}^{0,8}$ | 24.0 |
| | perpendicular to the plane | $f_{c,z,k}$ | 3.00 | 3.00 |
| Shear strength out of plane | longitudinal | $f_{v,k}$ | 3.50 | 3.50 |
| | rolling shear | $f_{r,k}$ | $\min \left\{ 0.2 + 0.3 \frac{w_l^{5)}}{t_1} \right\}$ | 0.80 ⁶⁾ |
| Shear and torsional shear strength in plane | shear strength of the effective cross section | $f_{v,xy,k}$ $f_{v,yx,k}$ | 5.50 | 5.50 |
| | torsional shear strength of the glued area of crosswise bonded laminations | $f_{tor,node,k}$ | 2.50 | 2.50 |
| | rolling shear | $f_{r,k}$ | as for shear strength out of plane | |
| Modulus of Elasticity | loaded in plane | $E_{x,mean}$ $E_{y,mean}$ | 1.05 $E_{0,1,mean}^{7)}$ | 11,600 ⁷⁾ |
| | loaded perpendicular to the plane | $E_{z,mean}$ | 450 ⁷⁾ | 450 ⁷⁾ |
| Shear Modulus | loaded out of plane | $G_{xz,mean}$ $G_{yz,mean}$ | $G_{l,mean}^{7)}$ | 650 ⁷⁾ |

| | | | | |
|--|-----------------|--|--|---------------|
| | loaded in plane | $G_{xy,mean}$ $G_{yx,mean}$ $G_{tor,mean}$ | $\min \left\{ \begin{array}{l} \frac{650^{5)7)}}{\left(\frac{t_1}{w_1} \right)^{1.2}} \\ 450 \end{array} \right.$ | $450^{6)7)}$ |
| | rolling shear | $G_{r,mean}$ | $\min \left\{ \begin{array}{l} 30 + 17.5 \left(\frac{w_1}{t_1} \right)^{5)7)} \\ 100 \end{array} \right.$ | $65,0^{6)7)}$ |
| Density | | ρ_k | 1.1 $\rho_{k,8)}$ | $385^{8)}$ |
| | | ρ_{mean} | $\rho_{,mean}$ | 420 |
| <p>1) The reference cross section is five layered and has a width to thickness ratio of $w_{xlam} / t_{xlam} = 600 \text{ mm} / 150 \text{ mm}$ with the exception of edgewise bending strength, for which reference is made to a three layered cross laminated timber beam with a height of $t_{xlam} = 150 \text{ mm}$ and only one lamination with grain direction parallel to the respective stress.</p> <p>2) Cross laminated timber made of timber layers made of laminations assigned to strength class T14 according to EN 338, having a characteristic bending strength parallel to grain $f_{m,l,k} \geq 20.5 \text{ N/mm}^2$.</p> <p>3) For cross laminated timber made from laminations having a characteristic tension strength parallel to grain $f_{t,0,l,k} \geq 14 \text{ N/mm}^2$. $f_{m,l,k}$ is the characteristic edgewise bending strength according to EN 338.</p> <p>4) This value takes into account a system factor for at least 15 laminations loaded in x-direction or y-direction, respectively.</p> <p>5) Where w_1 is either the width of the lamination or the distance between the edge and a groove or spacing between grooves within the lamination and t_1 is the thickness of the lamination. The minimum nominal ratio of w_1 / t_1 can be taken from the Declaration of Performance.</p> <p>6) For a ratio $w_1 / t_1 \geq 2$.</p> <p>7) The 5 %-quantile of the modulus of elasticity and the shear modulus are equal to 5 / 6 of the mean values: $E_{05} = E_{mean} \cdot 5/6$ and $G_{05} = G_{mean} \cdot 5 / 6$.</p> <p>8) For connections in only one lamination of a layer the characteristic density of the lamination $\rho_{,k}$ shall be applied.</p> | | | | |

Im Hinblick auf nachfolgende Problemstellungen, im Zusammenhang mit unterschiedlichen Bauweisen, wird hier auf die Querdrucktragfähigkeit von BSP kurz eingegangen. Gerade in der „Platform“-Bauweise (siehe Abschnitt 2-2.1) kann die geringe Querdrucktragfähigkeit von BSP ($f_{c,z,k}$) eine Schwachstelle im BSP-Wandsystem darstellen. In der Bemessung auf Querdruck gilt es Einflüsse aus Lastkonfiguration, dem BSP-Aufbau und dessen Fugenausbildung in den Außenlagen zu berücksichtigen. Die charakteristische Druckfestigkeit ($f_{c,z,k}$) von BSP kann in der Bemessung durch die eben erwähnten Einflüsse zwar teilweise durch den Faktor $k_{c,90}$ erhöht werden, jedoch stellt sie in der potentiellen Tragfähigkeit des Wandsystem immer noch eine signifikante Schwachstelle dar. Um dem Querdruckversagen zu entgehen, gibt es verschiedene Ansätze, welche unter Abschnitt 2-2.2 bis 2-2.4 genauer diskutiert werden.

Im anschließenden Abschnitt 2-2 werden nun unterschiedliche Bauweisen mit Fokus auf deren Umsetzung mit BSP behandelt. Ähnliche Bauweisen gibt es im Holzrahmen- und im Stahlbau, welche in diesem Zusammenhang jedoch nicht erörtert werden.

2-2 HOLZ-MASSIVBAUWEISE MIT BRETTSPERRHOLZ

2-2.1 „PLATFORM“-BAUWEISE

Die übliche Bauweise für BSP-Gebäude ist die Geschoss- oder „Plattform“-Bauweise (siehe Abbildung 2-8). Dabei werden die Wände geschoßhoch ausgebildet und durch die auf diesen aufliegenden Decken unterbrochen. Die Wände des nächsten Geschosses werden wiederum auf der Decke des darunterliegenden Geschosses aufgelagert und schalltechnisch über dünne Schallschutzlager aus Elastomer entkoppelt. Unter horizontalen Aussteifungslasten werden sowohl die Elastomerbänder als auch die Deckenscheiben auf Querdruck belastet (siehe Abbildung 2-8 Mitte).

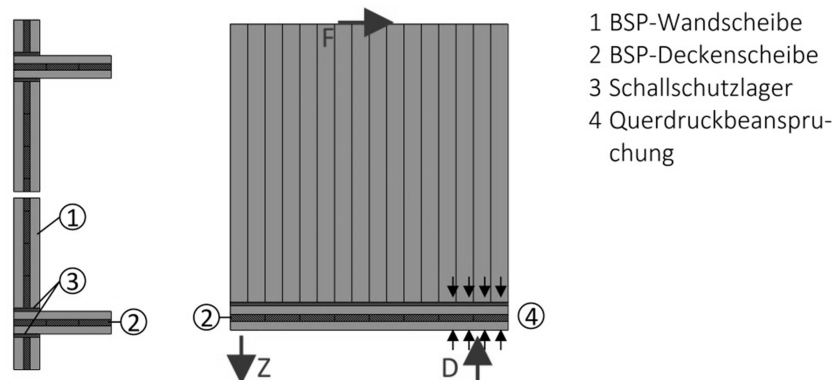


Abbildung 2-8: Übliche Lagersituation in „Plattform“-Bauweise mit Schallschutzlagern (links) und postulierte Querdruckbeanspruchung (Mitte) (Schmidt, 2018)

Neben horizontalen Aussteifungslasten, wo eine konzentriert auftretende Querdruckbeanspruchung vorliegt, kann es zudem bei liniengelagerten Decken zu einem flächigen Querdruckversagen, infolge zu hoher Vertikalkräfte aus den darüber liegenden Wänden / Geschossen, im Lagerbereich kommen. Die „Plattform“-Bauweise bietet den großen Vorteil einer einfachen Deckenlagerung verbunden mit einem einfachen und bewährten Montageablauf. Nachteile der Bauweise ergeben sich in der geringen Ausnutzung des möglichen Leistungspotentials vom BSP-Wandsystem aufgrund der Beschränkung durch den Querdrucknachweis sowie auch durch ausgeprägte Quell- und Schwindverformungen und Setzungserscheinungen im Deckenbereich.

Um der Querdruckherausforderung im Zusammenhang mit der „Plattform“-Bauweise und zu hoher Vertikallasten zu entgehen, bietet die „Balloon“-Bauweise einen möglichen Lösungsansatz.

2-2.2 „BALLOON“-BAUWEISE

Bei der „Balloon“-Bauweise laufen die Wandelemente über zwei oder mehrere Geschosse durch. Die Deckenelemente werden auf an Wänden montierten Stahlwinkel oder Polsterhölzer aufgelagert. Diese Bauweise kommt meist dann zum Einsatz, wenn, wie bereits erwähnt, die Decken aufgrund der geringen Querdruckfestigkeit eine Schwachstelle im Wandsystem darstellen. Als Vorteil dieser Bauweise wird die hohe Ausnutzung der Leistungsfähigkeit vom BSP-Wandsystem erkannt. Durch die zusätzlich benötigten Polsterhölzer oder Stahlwinkel ist ein deutlicher Mehraufwand in der Herstellung im Vergleich zur herkömmlichen „Plattform“-Bauweise zu erkennen, welcher einen Systemnachteil darstellt. Zudem ergeben sich durch die Geschosslasten, welche über die Deckenelemente und deren Auflager in die Wände exzentrisch eingeleitet werden, erhebliche Momente.

2-2.3 MISCHBAUWEISE

Unter Mischbauweise wird in diesem Kontext eine Kombination aus „Plattform“- und „Balloon“-Bauweise verstanden (siehe Abbildung 2-9).

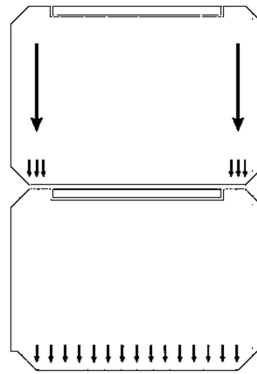


Abbildung 2-9: Mischbauweise mit postulierter Abtragung der Vertikallasten (Rotho Blaas GmbH, 2017)

Anwendung findet diese Bauweise zum Beispiel im Zusammenhang mit dem X-RAD BSP-Systemverbinder der Fa. Rotho Blaas GmbH welcher in Abschnitt 3-2.6.2 näher behandelt wird. Vorteile dieser Bauweise werden in der direkten Weiterleitung der Vertikallasten zwischen den Wandelementen übereinander liegender Geschosse und in der relativ einfachen Deckenlagerung gesehen. Ähnlich wie bereits zuvor bei der „Balloon“-Bauweise ist die Deckenlagerung im Vergleich zur „Plattform“-Bauweise jedoch auch hier mit einem höheren Herstellungsaufwand verbunden; in diesem Fall sowohl im Abbund der Wand- als auch jenem der Deckenelemente.

2-2.4 HOLZ-HYBRIDBAUWEISEN

Unter Hybridbauweise wird im vorliegenden Kontext die Verbindung zwischen holzfremden Baustoffen, wie z. B. Stahlbeton, und Brettspertholzelementen verstanden. Im mehrgeschossigen Wohnbau werden häufig auch Holz-Beton-Verbundelemente verwendet. In diesem Fall werden die Verbindungen zumeist aus dem Betonbau entlehnt auf der Baustelle hergestellt. Die Herausforderungen mit der Kraftdurchleitung durch die Decken können mit Betonrosten, z. B. aus Betonfertigteilen, relativ einfach gelöst werden. Zudem können einzelne Deckenelemente durch einen umlaufenden Betonrost als einheitliche Scheibe wirken. Die Ausbildung des Rostes kann auch wie im Stahlbau erfolgen. Durch die Verwendung von Holz-Beton-Verbunddecken sind größere Spannweiten wirtschaftlich lösbar. Außerdem kann der Trittschallschutz verbessert werden, welcher gerade im Wohnbau ein entscheidendes Kriterium ist. Die Aussteifung wird bei einer Verbundbauweise häufig durch Stahlbetonkerne realisiert. Abbildung 2-10 veranschaulicht eine Holzbetonverbunddecke.

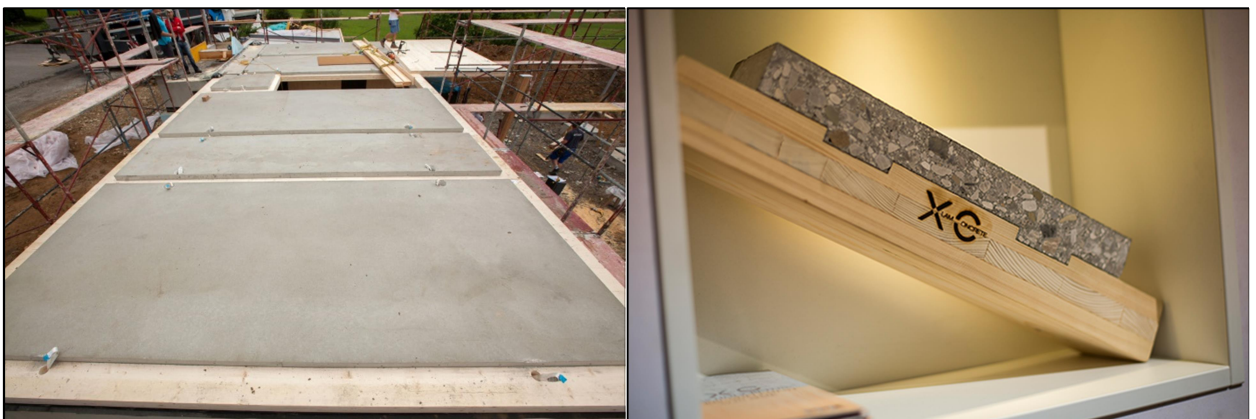


Abbildung 2-10: Holzbetonverbunddecken (MMK Holz-Beton-Fertigteile GmbH, 2018)

Abbildung 2-11 zeigt den Anschluss einer Holzbetonverbunddecke an einen Stahlbetonkern.

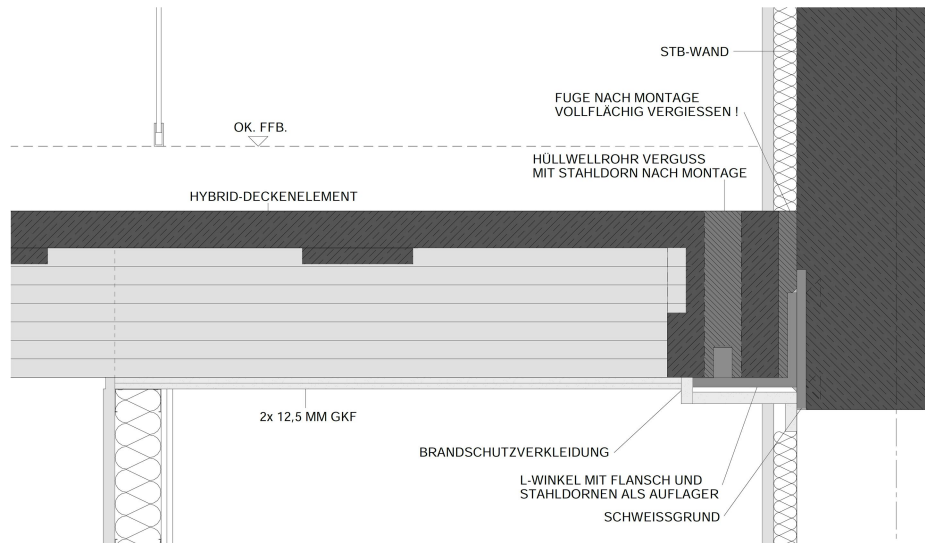


Abbildung 2-11: Deckenanschluss an einen Stahlbetonkern in Hybridbauweise (Hermann Kaufmann + Partner ZT GmbH, 2018)

Um ein umfassenderes Verständnis für die Kapitel 3 und 4 zu erlangen, soll ein kurzer Überblick über jene als Hilfestellung dienen: Unter Kapitel 3 wird ein Bogen vom einzelnen Verbindungsmittel weiter über dessen Zusammenwirken in einer Kontaktfuge bis hin zum Gesamtsystemtragverhalten gespannt. Am Weg vom Kleinen zum Ganzen wird die gegenwärtige Verbindungs- / Fügetechnik mit ausgewählten Auswirkungen auf das Systemverhalten analysiert und diskutiert. Auf Basis der unter Kapitel 3 erarbeiteten Grundlagen wird in Kapitel 4 ein Anforderungsprofil für einen Systemverbinder in der Holz-Massivbauweise mit BSP definiert.

KAPITEL 3: STATUS QUO IN DER HOLZ- MASSIVBAUWEISE MIT BSP

3-1 VERBINDUNGSTECHNIK IM HOLZBAU: ALLGEMEINE GRUNDLAGEN MIT FOKUS AUF BSP

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Schickhofer, 2009) vorgestellten Erkenntnissen. Bedient man sich Informationen anderer Autoren wird auf diese in den jeweiligen Absätzen direkt verwiesen.

3-1.1 ALLGEMEINES

Dieser Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über gegenwärtige Verbindungslösungen im Holzbau. Dieser dient im Weiteren als Grundlage für die Entwicklung bzw. Ableitung eines neuen Verbindungsmittels bzw. -systems. Es wird das Verbindungsmittel isoliert von weiteren Parametern, welche einen wesentlichen Einfluss für eine ganzheitliche Kontaktfugenausbildung haben, betrachtet. Ausgewählte Verbindungsmittel werden in Abschnitt 3-1.2 und 3-1.3 genauer beschrieben.

Abbildung 3-1 zeigt eine mögliche Einteilung der Verbindungsmittel. Neben dieser wird ebenso ein erster Überblick über gegenwärtige Verbindungslösungen im Holzbau präsentiert.

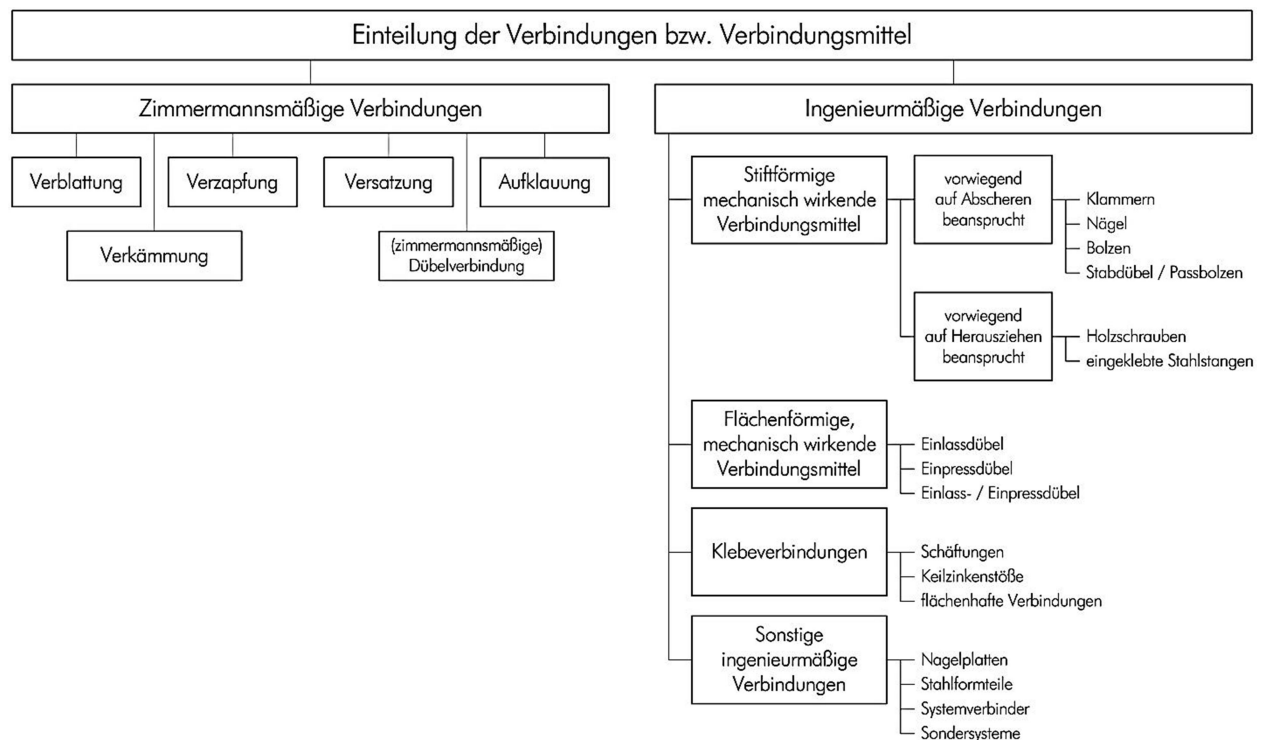


Abbildung 3-1: Einteilung der Verbindungen bzw. Verbindungsmittel (Schickhofer, 2009)

Das unter Abbildung 3-2 abgebildete Last-Verschiebungs-Diagramm zeigt eine typische Arbeitslinie von auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmitteln und dient zur Einführung ausgewählter Begriffe und

Mechanismen. Die dargestellte Arbeitslinie ist als Beispiel gedacht und stellt keinen Anspruch auf ein generell zutreffendes Verbindungsverhalten.

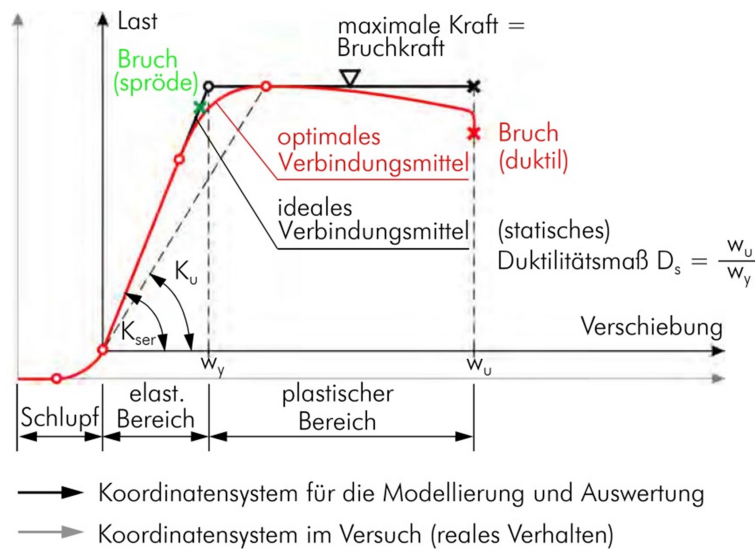


Abbildung 3-2: *Typische Arbeitslinie für das mechanische Verhalten von Verbindungsmitteln bzw. Verbindungen, ergänzt um wesentliche Grundbegriffe (Schickhofer, 2009)*

Um Fertigungstoleranzen im Anschluss bzw. betreffend das einzelne Verbindungsmittel, z. B. in Form eines Lochspiels, führen dazu, dass der Formschluss erst nach einer gewissen Anfangsverformung vollständig erfolgt. Aus der logischen Konsequenz heraus kann während des unvollständigen Formschlusses keine nennenswerte Kraft übertragen werden. Diese anfängliche Verformung ohne wesentlicher Kraftübertragung wird als Schlupf bezeichnet. Im Anschluss daran beginnt ein weitgehend linearer Zusammenhang zwischen Last und Verschiebung (linear elastischer Bereich). Als spröde Verbindungen werden jene mit geringem plastischen Verformungsvermögen bis zum Versagen / Bruch bezeichnet. Stellt sich eine große plastische Verformung bis zum Versagen ein, kann von einem duktilen Versagensverhalten gesprochen werden. Dieses oft als gutmütige bezeichnete duktile Versagen wird bei Verbindungsmitteln im Holzbau aus verschiedenen Gründen sehr oft angestrebt. Das plastische Verformungsvermögen bzw. die statische Duktilität D_s (Verhältnis aus Bruchverschiebung w_u zu Verschiebung an der Obergrenze des linear-elastischen Bereichs w_y) ist eine wichtige Kenngröße für das Verhalten und Dissipationsvermögen eines Verbindungsmittel bzw. einer Verbindung (siehe Abschnitt 3-1.3.2, Exkurs Dissipationsvermögen). Neben bereits erwähnten Kenngrößen sind Steifigkeitsmaße, wie der Verformungsmodul K_{ser} und der Verformungsmodul im Bruchzustand K_u , von hoher Priorität (Schickhofer, 2009).

Die von (Haller, 1998) angestellten Überlegungen bezüglich Tragfähigkeit und Steifigkeit eines Verbindungsmittels für den Holzbau sind in Abbildung 3-3 in einer überarbeiteten Version von (Flatscher, 2017) ersichtlich. Diese Abbildung veranschaulicht ebenso die grundsätzlichen Anforderungen an Verbindungsmittel hinsichtlich eines hohen Wirkungsgrades (Verhältnis aus der Tragfähigkeit mit zur Tragfähigkeit ohne Verbindungsmittel), hoher Duktilität und hoher Steifigkeit, welche unter anderem in (Schickhofer, 2009) gefordert werden.

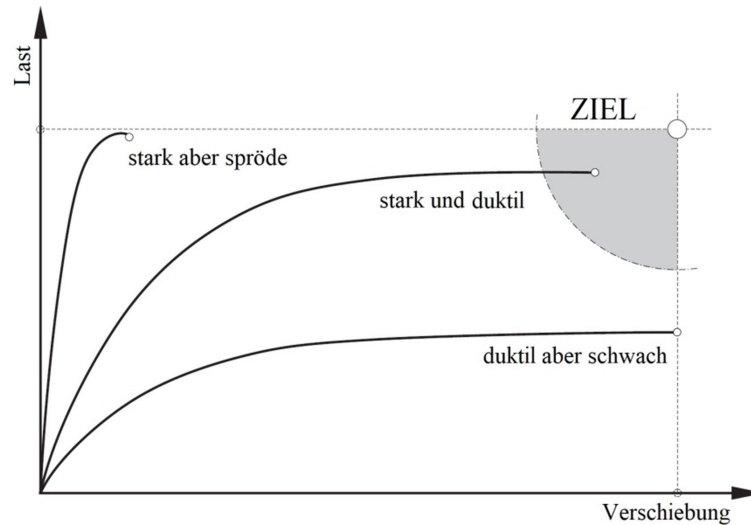


Abbildung 3-3: *Verschiedene Last-Verschiebungskurven (Haller, 1998); - überarbeitet von (Flatscher, 2017)*

In Abbildung 3-4 sind Arbeitslinien für einige Verbindungsmitteltypen abgebildet, um einen Überblick für deren grundsätzliches Verhalten zu bekommen. Es ist beispielsweise die Tendenz zu erkennen, dass geklebte Verbindungen im Vergleich zu Stabdübel- oder Nagelverbindungen ein sehr sprödes und steifes Verhalten aufweisen. Das Verhalten wird maßgebend von den unterschiedlichen Versagensmechanismen der Verbindungsmitteltypen beeinflusst, welche im Anschluss erörtert werden.

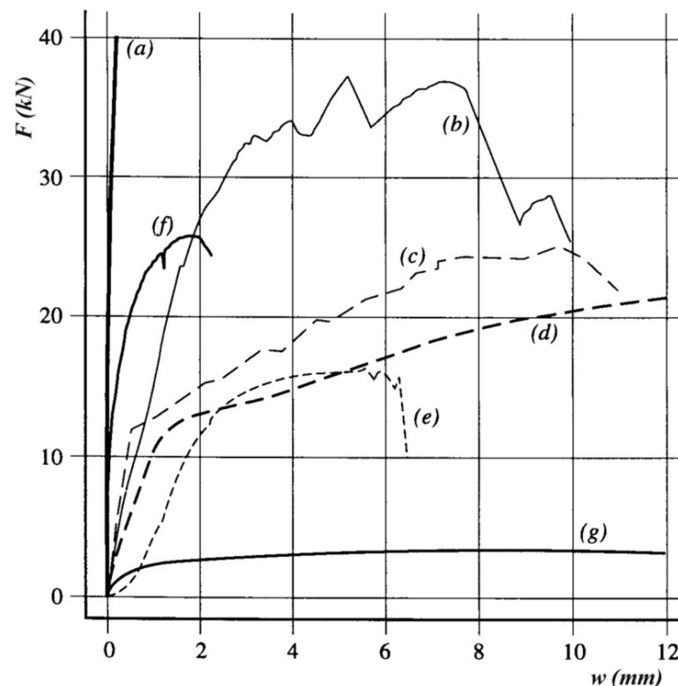


Abbildung 3-4: *Übersicht über experimentell ermittelte Arbeitslinien von Verbindungsmitteln unter Zug- bzw. Abscherbeanspruchung in Faserrichtung: a) geklebte Verbindung (125 cm²), b) Einlassdübel (ø100 mm), c) zweiseitiger Einpressdübel (ø62 mm), d) Stabdübel (ø14 mm), e) Bolzen (ø14 mm), f) Nagelplatte (100 cm²), g) Nägel (ø4,4 mm) (Colling, 2008)*

3-1.2 ZIMMERMANNSMÄßIGE VERBINDUNGEN

Zimmermannsmäßige Holzverbindungen sind Verbindungen für welche keine holzfremden Materialien (mit Ausnahme für Lagesicherungsmaßnahmen) nötig sind. Diese nach tradierten Regeln zumeist

handwerklich hergestellten Verbindungen haben sich durch Jahrtausende hindurch entwickelt und bewährt. Die Kraftübertragung erfolgt im Wesentlichen auf Druck und Schub. Bei diversen Verblattungen und Verkämmungen können zusätzlich auch Zugkräfte aufgenommen werden. Die in Abschnitt 3-2.6.6 beschriebenen direkten Kontaktverbinder sind im Grunde weiterentwickelte „zimmermannsmäßige BSP-Verbindungen“. Unter entsprechenden Voraussetzungen können diese bewährten Verbindungen auch im modernen BSP-Geschossbau Anwendung finden. Ihre Vor- und Nachteile sowie das mechanische Verhalten dieser Verbindungslösungen werden in Abschnitt 3-2.6.6 diskutiert.

3-1.3 INGENIEURMÄßIGE VERBINDUNGEN

3-1.3.1 Allgemein

Ingenieurmäßige Verbindungen bestehen zumeist aus mehreren einzelnen Verbindungsmitteln, welche im Gruppenverband zu entsprechenden Tragfähigkeiten führen. Um die Gruppentragfähigkeit optimal auszunutzen und um die Verbindung an das individuelle Einsatzgebiet anzupassen, werden ingenieurmäßige Verbindungsmittel häufig in Kombination mit Stahlformteilen unterschiedlichster Geometrie verwendet. Weiter fallen unter die Kategorie ingenieurmäßige Verbindungen Klebeverbindungen, auch hier ist eine Kombination mit Stahlformteilen üblich. Durch die Vielfalt und die Kombinationsmöglichkeiten der ingenieurmäßigen Verbindungen können diese neben Druck- und Schubkräften auch Zugkräfte und Momente übertragen. Im Vergleich zu zimmermannsmäßigen Verbindungen sind ingenieurmäßige Verbindungen relativ junge Verbindungen. Die Wirkungsweisen der einzelnen ingenieurmäßigen Verbindungsmittel bilden die Basis für die Diskussion der aktuell verwendeten Verbindungstechnik in der Holz-Massivbauweise mit BSP.

3-1.3.2 Stifförmige Verbindungsmittel

Stifförmige Verbindungsmittel sind die bedeutendste Untergruppe der ingenieurmäßigen Verbindungsmittel. Generell wird diese Verbindungsmittelgruppe überwiegend auf Abscheren (u. a. Klammern, Nägel, Bolzen, Stabdübel / Passbolzen, selbstbohrende Stabdübel) oder vorwiegend auf Herausziehen (u. a. Holzbauschrauben, eingeklebte Stahlstangen) beansprucht. Die beiden Beanspruchungsarten „Abscheren“ und „Herausziehen“ werden im Weiteren kurz dargelegt und diskutiert.

Generell ist in der Anwendung von stifförmigen Verbindungsmitteln im BSP eine differenzierte Betrachtung bezüglich der Einbringung in die Schmalseite oder Seitenfläche des Produktes vorzunehmen (siehe Abbildung 3-5).

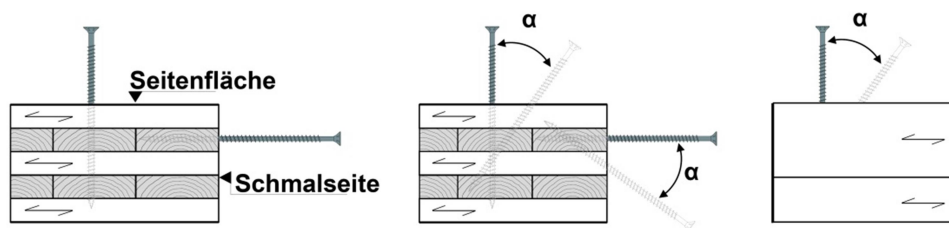


Abbildung 3-5: Anordnungsmöglichkeiten von stifförmigen Verbindungsmitteln in BSP (Brandner, et al., 2018a)

Hier ergeben sich aufgrund des orthogonal-geschichteten Aufbaus und der Präsenz von Fugen (zwischen den einzelnen Lamellen) sowie Entlastungsnuten signifikante Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit der Verbindungsmittel, welche unter anderem in (Blaß, et al., 2007) behandelt werden.

Beginnend mit vorwiegend auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmitteln werden in Abbildung 3-6, am Beispiel einer ein-schnittigen Verbindung, das Verformungsbild sowie die zugehörige Kraft- und Spannungsverteilung dargestellt.

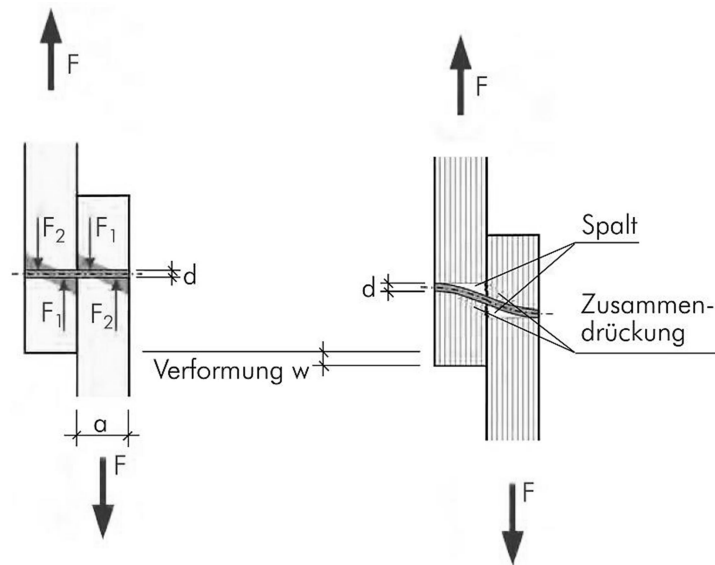


Abbildung 3-6: Kraftübertragung und Verformung bei stiftförmigen Verbindungsmitteln (Schickhofer, 2009)

Die Kräfte F_1 und F_2 bilden ein Momentengleichgewicht woraus sich eine Biegebeanspruchung im Stift ergibt. Verformungen sind in Form von Eindrückungen im Holz und Biegeverformungen am Stift gegeben. Die Tragfähigkeit ist von der Lochleibungsfestigkeit der umliegenden Hölzer und dem Fließmoment des Stiftes abhängig. Selbstbohrende Stabdübel können ebenso auf Abscheren beansprucht werden, wobei hier eine Tragfähigkeitserhöhung infolge des „Seileffekts“, ähnlich wie bei Passbolzen, bemerkbar ist (Johansen, 1949).

Exkurs Dissipationsvermögen und „pinching“

Unter Dissipationsvermögen im Zusammenhang mit Verbindungsmitteln wird eine möglichst große einschließende Fläche unter der Last-Verschiebungskurve (siehe Abbildung 3-7), entsprechend der aufgebrauchten Arbeit / Energie, verstanden. Insbesondere bei dynamischen Einwirkungen wie z. B. seismischen Lasten in Folge von Erdbeben, aber auch in Folge von Windlasten, ist ein ausgeprägtes dissipatives Verhalten essentiell, um die einwirkende Energie durch plastische Verformung anstatt durch plötzliches und sprödes Versagen abzubauen. Durch ein hohes Maß an z. B. statischer Duktilität, als relatives Duktilitätsmaß, zusammen mit einer ausreichenden absoluten Fließverformung, als absolutes Duktilitätsmaß, kann das Dissipationsvermögen positiv beeinflusst werden. Das Dissipationsvermögen wird durch zyklische Prüfungen nachgewiesen. Dabei spricht man von einer stabilen Hystereseeigenschaft, wenn sich die Arbeitslinien mehrerer wiederholter Lastzyklen weitgehend decken. Dies deutet auf ein gleichbleibendes Systemverhalten bei mehreren aufeinanderfolgenden Lastwechseln ohne nennenswerte Tragfähigkeitsverluste hin. Weisen die Last-Verschiebungskurven jedoch keine stabilen Hystereseeigenschaften, sondern ein einschnürendes Verhalten auf, spricht man vom sogenannten „pinching“ (Abbildung 3-7). Der Nachteil dieses Effekts liegt im abnehmenden Dissipationsvermögen bei zunehmender Anzahl an Lastzyklen (Schmidt, 2018).

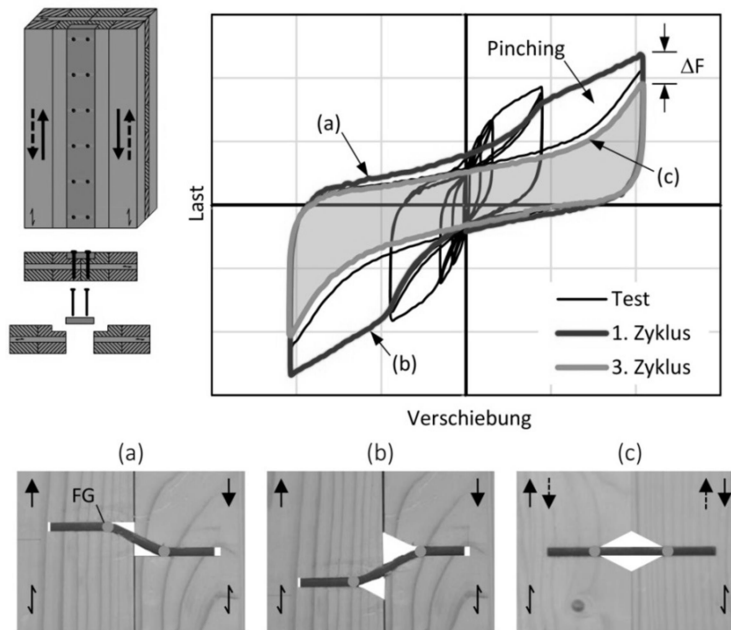


Abbildung 3-7: *Übliche Schubverbindung als ein-schnittiger, genagelter Laschenstoß unter Wechselbeanspruchung (links), beispielhafte Last-Verschiebungskurve von schlanken Stahlstiften unter zyklicher Beanspruchung (rechts) und unterschiedliche Deformationsstufen des Stahlstifts (unter (a) bis (c)) (Schmidt, 2018)*

Der kurze Exkurs zum Dissipationsvermögen und „pinching“ soll nun eine umfassende Beurteilung der auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmittel ermöglichen. Vorteile der vorwiegend auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmittel sind in der duktilen und dissipativen Verhaltensweise festzustellen. Diese gutmütige Versagensform stellt sich einerseits durch über die Fließgrenze hinaus belastete Nägel, Klammern, Schrauben, Stabdübel, etc. ein und andererseits durch eine plastische Lochleibungsverformung des Holzes. Letzterer Verformungs- / Versagensmechanismus führt bei zyklischer Belastung zu „pinching“, was als nachteilig im Widerstand gegen Erdbeben- oder allg. dynamischen Lasten anzumerken ist (Schmidt, 2018). Die Besonderheit von Brettsperrholz gegenüber BSH oder Vollholz liegt darin, dass infolge des orthogonalen Aufbaues das Lochleibungsversagen äußerst duktil (mit hoher statischer Duktilität) erfolgt. Dies wird unter anderem in (Schickhofer, et al., 2010) diskutiert und liegt in Abbildung 3-8 in einer überarbeiteten Form von (Brandner, et al., 2018a) vor.

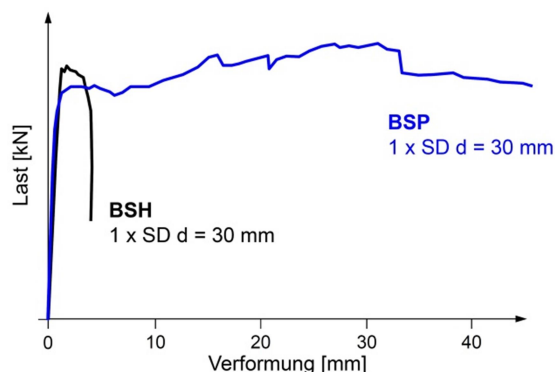


Abbildung 3-8: *Last-Verschiebungsdiagramm einer Stabdübelverbindung für BSH und BSP (Brandner, et al., 2018a)*

Bei der in Abbildung 3-8 geprüften Verbindung erfolgte die Einbringung der Stabdübel senkrecht zur Seitenfläche vom BSP. Für die Anwendung in der Schmalseite dienen zumeist vorwiegend auf Herausziehen beanspruchte Verbindungsmittel.

Als Paradebeispiel für vorwiegend auf Herausziehen beanspruchte Verbindungsmittel gelten Holzbauschrauben. Darunter fallen im Wesentlichen Voll- und Teilgewinde-Holzbauschrauben. Für spezielle Anwendungen gibt es auch noch Doppel- oder Zweigewindeschrauben bzw. Holz-Beton-Verbund-Schrauben. Holzbauschrauben können aufgrund ihres Gewindes Kräfte in Schraubenlängsrichtung übertragen. Dabei werden die Verbindungsmittel selbst vorwiegend auf zentrischen Zug (Herausziehen der Schraube) bzw. Druck (Hineindrücken der Schraube) beansprucht und das umgebende Holz vorwiegend auf Schub. Bei hohen Druckkräften in der Holzbauschraube kann diese Ausknicken, oder es kommt im an die Schraubenspitze angrenzenden Holz zum Querdruckversagen. Neben einem Durchziehen des Schraubenkopfes kann es zum Stahlbruch in der Holzbauschraube selbst als Versagensform kommen. Um diverse weitere Versagensmechanismen auszuschließen, sind wie bei allen anderen stiftförmigen Verbindungsmitteln geometrische Randbedingungen (Rand- und Zwischenabstände, Mindestbauteildicken, etc.) einzuhalten. Neben den allgemeinen geometrischen Randbedingungen gilt es insbesondere bei der Anwendung in der BSP-Schmalseite (betreffend Nuten, Fugen und Aufbau) eine Mindesteinschraubtiefe und Mindestverbindungsmittelanzahl zu berücksichtigen. Um ein optimiertes Ausziehresultatsergebnis zu erhalten, sollte generell darauf geachtet werden, dass ein großer Anteil der Holzbauschraube quer zur Holzfaser eingebracht werden kann. Über den Einschraubwinkel α und die Verbindungsmittelreihung / -anordnung ergeben sich Möglichkeiten den Ausziehresultatsergebnis positiv zu beeinflussen. Verbindungen mit axial auf Herausziehen beanspruchten Holzbauschrauben sind überwiegend mit großer Steifigkeit und Leistungsfähigkeit aber mit einem geringen Verformungsvermögen bis zum Bruch ausgestattet.

Als weiterer Vertreter für vorwiegend auf Herausziehen beanspruchte Verbindungsmittel gelten eingeklebte Stahlstangen. Ursprünglich für Verstärkungsmaßnahmen und Rissstabilisierung von BSH-Trägern, Ausbildung von eingespannten Stützen und biegesteifen Stößen, sowie zur Realisierung von Holz-Beton-Verbundelementen verwendet, kommt dieses Verbindungsmittel auch im Massivholzbau mit Brettsperrholz zum Einsatz. Gekennzeichnet durch eine hohe Steifigkeit und Leistungsfähigkeit dienen diese Verbindungen zur Einleitung großer Einzelkräfte in Holzkonstruktionen. Die eingeklebten Stahlstangen werden gemäß der bereits erfolgten Zuordnung überwiegend in axialer Richtung beansprucht. Die Kraftübertragung des Verbindungsmittels ist von den Komponenten Holz, Stahlstange und der Klebstoffschicht abhängig. Der Klebstoff ist für den quasi-starren Verbund zwischen Holz und Stahlstange verantwortlich und soll bis zum Bruch keine Verschiebung der Ankerstange erlauben. Für eine optimierte Verbindung in Hinblick auf Leistungsfähigkeit darf das Versagen des Klebstoffes keine Schwachstelle im System darstellen. Als Stahlstangen kommen meist profilierte Stahlstangen in Form von metrischen Gewindestangen zum Einsatz. Wie bei den Holzbauschrauben gilt es auch hier geometrische Randbedingungen einzuhalten um unerwünschte Versagensmechanismen auszugrenzen. In Folge der überwiegend sehr spröden Versagensmechanismen (z. B. Schubversagen des Holzes, Adhäsionsversagen Holz / Klebstoff, etc.) von eingeklebten Stahlstangen sind diese mit geringer Duktilität und geringem Dissipationsvermögen ausgestattet. Verbindungen mit eingeklebten Stahlstangen sind im Vergleich zu jenen mit Holzbauschrauben als üblicherweise noch leistungsfähiger, steifer und spröder einzustufen.

Bevor der Übergang zu flächenförmigen Verbindungsmitteln erfolgt, werden noch allgemeine Eigenschaften von stiftförmigen Verbindungsmitteln diskutiert. Im Umgang mit Demontage, Wiedergewinnung und Recycling sind Stabdübel und Passbolzen mit klaren Vorteilen gegenüber Holzbauschrauben, Nägeln, Klammern und eingeklebten Stahlstangen zu bewerten. Bezüglich einer automatisierten / maschinenunterstützten Fertigung werden eingeklebte Stahlstangen als aufwändig in der Herstellung und insbesondere in der Qualitätssicherung (Klebstoffverarbeitung) eingestuft. Schraubverbindungen hingegen bieten ein hohes Potential gegenüber einer automatisierten Einbringung im Werk. Innenliegende / von Holz umhüllte stiftförmige Verbindungen (in überwiegenden Fällen zutreffend) haben gute Eigenschaften bezüglich Brandschutz und Bauphysik. Geometrische Randbedingungen können oft eine Einschränkung, oder sogar ein Ausschlusskriterium von stiftförmigen Verbindungsmitteln in deren Anwendungsvielfalt bedeuten (z. B bei geringen Bauteildicken).

3-1.3.3 Flächenförmige Verbindungsmittel

In der Literatur oft als Dübel besonderer Bauart angeführt, wirken flächenförmige Verbindungsmittel meist auf Abscheren. Die Wirkungsrichtung ist dabei an keine spezielle Faserrichtung gebunden. Als Materialien können Harthölzer (traditionell verwendet), Stahl, Stahlguss und Aluminium eingesetzt werden. Um einem Aufklaffen der Scherfuge zu entgegnen werden zusätzlich Schraubenbolzen mit Unterlagscheiben, meist je Dübel, benötigt. In Abhängigkeit des Einbaus wird zwischen Einlass-, Einpress- und Einlass-Einpressdübel unterschieden. Wie in Abbildung 3-4 ersichtlich weisen Dübel besonderer Bauart ein hohes Leistungspotential bei duktilem Verhalten auf. Unter zyklischer Beanspruchung kann es, ähnlich wie bei vorwiegend auf Abscheren beanspruchten und stiftförmigen Verbindungsmitteln, zu plastischen Faserstauchungen sowie in weiterer Folge zu „pinching“ kommen. Bauphysikalische oder brandschutztechnische Schwachstellen werden in den meisten Fällen durch den umhüllenden Holzkörper ausgeschlossen. Ähnliche Ansätze, nur auf die spezielle Anwendung mit BSP bezogen, werden mit sogenannten „indirekten Kontaktverbindern“ verfolgt. Eine detaillierte Diskussion der eben erwähnten Verbindungsmethode erfolgt in Abschnitt 3-2.6.6. Anschließend an die eben erörterten flächenförmigen Verbindungsmittel folgen nun Klebeverbindungen.

3-1.3.4 Klebeverbindungen

Unter die Kategorie der Klebeverbindungen fallen Verbindungen zweier Hölzer oder Holz mit diversen anderen Materialien wie beispielsweise Stahl. Vertreter von Holz-Stahl-Verklebungen sind eingeklebte Stahlbleche oder Stahlhülsen. Die in Abschnitt 3-1.3.2 beschriebenen Stahlstangen sind ebenfalls als Klebeverbindungen anzusehen, in dieser Masterarbeit jedoch den stiftförmigen Verbindungsmitteln zugeordnet. Bei Holz-Holz-Verklebungen lässt sich eine Kategorisierung in Längsverklebung (z. B. Keilzinkenverbindungen und Schäftungen), Schmalseitenverklebungen (z. B. bei Einschichtplattenproduktion) und in Seitenflächenverklebungen (z. B. BSH- und BSP-Produktion (Verklebung zwischen den Lagen), Blockverklebungen) vornehmen. Als Versagensmechanismen gibt es Kohäsionsversagen im Klebstoff, Adhäsionsversagen vom Holz oder Stahl zum Klebstoff und Schubversagen des Holzes. Generell gilt es bei allen Verbindungstypen, welche eine Querschnittsschwächung des Holzkörpers verursachen, das Nettoquerschnittsversagen des Holzbauteils zu überprüfen. Bei Holz-Stahl-Verklebungen gibt es noch weitere Versagensmöglichkeiten durch Formschlussversagen zwischen Klebstoff und Stahl, Abscheren der Stahlverzahnung und Nettobruch des Stahlkörpers. Bis auf den Nettobruch des Stahlkörpers erweisen sich alle anderen Versagensmechanismen als spröde. Typische Charakteristika für Klebeverbindungen sind neben dem spröden Verhalten (Ausnahme Stahlversagen) die hohe Leistungsfähigkeit in Verbindung mit einer hohen Steifigkeit (siehe Abbildung 3-4). Für eine sorgfältige Verklebung sind meist besondere Anforderungen an Klima, Holzfeuchte, Oberflächenbeschaffenheit, Pressdruck, Verarbeitungszeit, etc. gestellt, was den Einsatz auf der Baustelle schwierig macht. Ein Nachteil ist auch in der damit verbundenen, schwierigen Qualitätskontrolle zu finden. Ein Vorteil von Holz-Holz-Verklebungen gegenüber den bisher vorgestellten Verbindungen ergibt sich aus den nicht vorhandenen Randbedingungen in Form von Rand- und Zwischenabständen. Eine Demontage ist bei Klebeverbindungen nicht möglich; der Rückbau erfordert ihre Zerstörung. Um das Spektrum an vorhandener Verbindungstechnik im Allgemeinen zu komplettieren, folgt nun die Einführung von diversen Stahlblechformteilen und etwaigen Systemverbindern.

3-1.3.5 Sonstige ingenieurmäßige Verbindungen

Stahlblechformteile wie beispielsweise Streifen, Winkel, Auflagerwinkel, Scherwinkel / Schubwinkel, Zuganker, Auflagerschuhe, Pfettenanker, etc., werden üblicherweise meist in Kombination mit stiftförmigen Verbindungsmitteln wie Nägel, Holzbauschrauben, Schraubenbolzen, etc. eingesetzt. Winkel jeglicher Art werden häufig für Standardanschlüsse in der Holz-Massivbauweise mit BSP verwendet (siehe Abschnitt 3-2). Neben den Stahlblechformteilen gibt es auch noch diverse Systemverbinder in Form von Einhängerverbindern, Stützenschuhen, u. a. (siehe Abbildung 3-9 rechts). Relevanz für die Holz-Massivbauweise mit BSP haben hier hauptsächlich Einhängerverbinder im Bereich der Wandanschlüsse. Durch dieses Zusammenwirken der Verbindungsteile können oft

Verhaltensmechanismen wie beispielsweise „pinching“ (z. B. Winkel im Zusammenspiel mit Nägeln / Holzbauschrauben) nicht immer egalisiert werden. Im Zuge der Entwicklung eines Systemverbinders für die Holz-Massivbauweise mit BSP gilt es, solche Einflüsse zu berücksichtigen bzw. auszugrenzen.



Abbildung 3-9: *Stahlblechformteile (links, Mitte) (SIMPSON Strong-Tie, 2017); Systemverbinder (rechts), (SHERPA, 2018)*

Speziell für die Holz-Massivbauweise mit BSP entwickelte Systemverbinder werden nach Definition der Kontaktfugen und dessen gegenwärtiger Ausführung in Abschnitt 3-2.6 im Detail behandelt.

3-2 DEFINITION, EINFÜHRUNG UND ANALYSE DER GEGENWERTIGEN KONTAKTFUGENAUSBILDUNG

3-2.1 DEFINITION DER UNTERSCHIEDLICHEN KONTAKTFUGEN

Kontaktfugen (Synonyme: Anschlussfugen / Stoßfugen) sind Bereiche / Fugen an welchen einzelne BSP-Elemente mit anderen BSP-Elementen oder flächenförmigen Tragelementen aus anderen Produkten aneinanderstoßen. Eine Kategorisierung erfolgt meist über die unterschiedlichen oder gleichen Bauteiltypen (Wand, Decke, Dach, Fundament), welche an der Kontaktfuge zusammentreffen. Allgemein erfolgt eine Einteilung der Anschlussfugen, wie in Abbildung 3-10 ersichtlich, in „Wand | Fundament“, „Wand | Wand“, „Decke | Decke“ und „Wand | Decke“ (Brandner, et al., 2016).

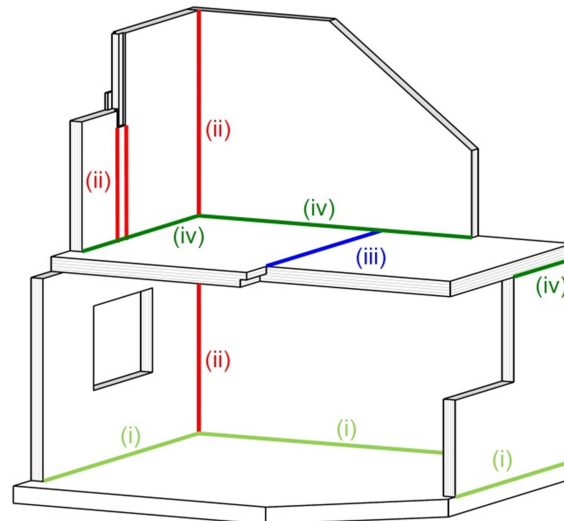


Abbildung 3-10: *Definition der Kontaktfugen bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holz-Massivbauweise mit BSP – (i) Wand | Fundament (ii) Wand | Wand, (iii) Decke | Decke, (iv) Wand | Decke (Brandner, et al., 2016)*

Wie Standard- und speziell für BSP entwickelte Verbindungslösungen in Kontaktfuge im Detail eingesetzt werden, folgt in Abschnitt 3-2.2 bis 3-2.6. Außerdem wird die vorgestellte Verbindungstechnik parallel dazu einer Analyse unterzogen. Die Standardlösungen werden nach Kontaktfugentypen gegliedert behandelt, wobei die Speziallösungen, auf den jeweiligen Systemverbinder bezogen, präsentiert werden. Die dargestellten Detailausführungen legen den Fokus auf die konstruktive Durchbildung und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit hinsichtlich bauphysikalischer sowie brandschutztechnischer Aspekte.

3-2.2 WAND | FUNDAMENT

Die Verbindung zwischen BSP-Wand und dem Stahlbetonfundament erfolgt standardmäßig mit Zugankern und / oder (Scher-)Winkelverbindern (siehe Abbildung 3-11). Die Zuganker bzw. Winkelverbinder werden mit profilierten Nägeln oder Schrauben am BSP-Element befestigt. Zuganker werden bei aussteifenden Wänden zur Horizontallastabtragung benötigt (siehe Abschnitt 3-3). Die Befestigung am Fundament erfolgt üblicherweise mittels Anker (Schraubanker, Klebeanker, Schlaganker, etc.), seltener als Schweiß- oder Stahlschraubverbindung auf Schweiß- bzw. Schraubgründen. Als Alternative zu Winkelverbindern können auch eingeschlitzte Stahlbleche mit Stabdübel zur Anwendung kommen, welche in diesem Zusammenhang jedoch nicht weiter behandelt werden. Außerdem können am Fundament festgedübelte Schwellenhölzer, welche anschließend mit den BSP-Wandelementen verschraubt werden, zu einer Verbindung in der Kontaktfuge „Wand | Fundament“ führen. Zwischen BSP-Wand und Fundament liegt eine Ausgleichs- und Dichtebene. Als zusätzlicher Schutz vor Feuchte können – alternativ zu einer STB-Sockelausbildung - Schwellen aus Holzarten geringer Resistenzklasse (Eiche, Robinie, etc.) dienen (Schickhofer, et al., 2010).

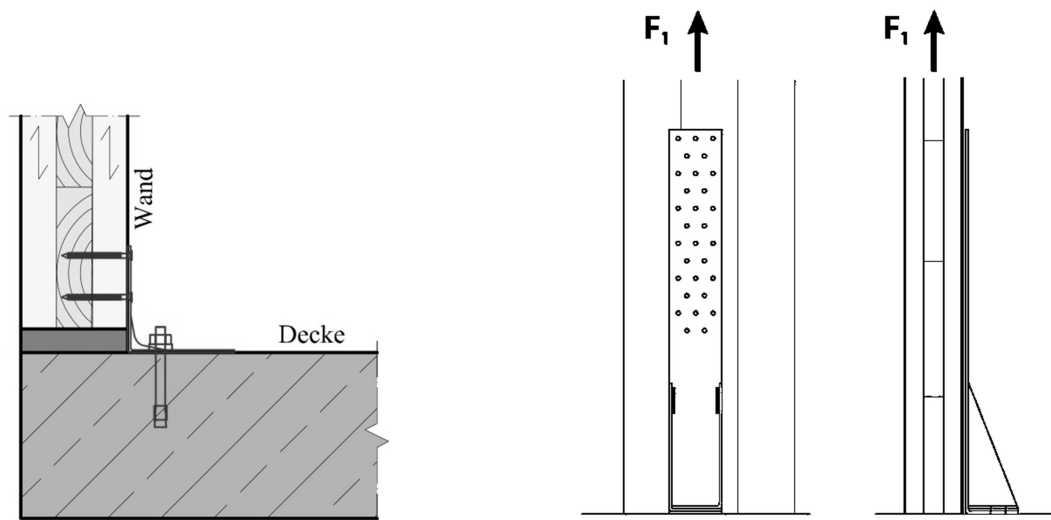


Abbildung 3-11: Ausführungsvarianten zur Kontaktfuge „Wand | Fundament“ – (links) mittels Standard-Winkelverbinder (Pock, et al., 2016), (rechts) mittels Zuganker (Schickhofer, et al., 2010)

Analyse

Die Tragfähigkeit bzw. Leistungsfähigkeit der Winkelverbinder ist im Vergleich zu anderen Verbindungen, welche speziell für den Holz-Massivbau mit BSP abgestimmt sind, relativ gering. Zur Abtragung hoher Lasten ist man zu ineffizienten Ausführungen gezwungen. Die Steifigkeit und Duktilität sind im Systemverhalten als positiv zu bewerten. Unter der Einwirkung von zyklischen Belastungen kann es zum „pinching“ kommen (Scotta, et al., 2016). „Pinching“ tritt meist erst dann auf, wenn durch hohe Lastzyklen die plastische Lochleibungsfestigkeit der Nagelverbindung bereits in vorhergehenden Zyklen erreicht wurde. Durch eine entsprechende Überkapazitätsbemessung kann dies verhindert werden. In den meisten Fällen sind die Verbinder gegen horizontale Einwirkungen vorgesehen, eine kombinierte Betrachtung aus Brand und Wind bzw. Erdbeben ist sehr selten und daher von geringer Bedeutung für jene. Die brandschutztechnischen Anforderungen können jedoch im konkreten Fall meist durch eine Beplankung mit Gipskartonplatten eingehalten werden. Zu Problemen kann es insbesondere bei Zugankern kommen, wenn die Konstruktion sichtbar bleiben soll. Da die Winkelverbinder nicht achsentreu montiert werden können, kommt es zu Exzentrizitätsmomenten im Anschlussbereich, was zu einer zusätzlichen Beanspruchung des BSP-Elementes (kaum von Bedeutung) und der Verbindung führt. Die Effekte aus der Achsabweichung verstärken sich durch die Verwendung von Schalltrennlagern zwischen Winkel und Wandscheibe sowie in Folge von Niveau-Ausgleichsschichten zwischen Wand und Fundament. Da Winkelverbinder (Zug- und Scherwinkel) generell auf der Baustelle montiert werden, ist das Thema Toleranzen bei der Montage kaum ein Problempunkt. Eine rationelle Vorfertigung und Montage ist kaum gegeben. In der Modellbildung sind noch viele nur bedingt zu definierende Einflussgrößen vorhanden (siehe Abschnitt 3-3). Die Demontierbarkeit der Winkel ist wirtschaftlich quasi nur durch Zerstörung des gesamten Verbindungsmittels oder Teilen davon möglich.

3-2.3 WAND | DECKE

Für die Verbindung der Anschlussfuge „Wand | Decke“ dienen Winkelverbinder (Zuganker und Scherwinkel), Holzbauschrauben sowie eingeklebte Stahlstangen (siehe Abbildung 3-12). Die Kontaktfugenausbildung mit Winkelverbindern verläuft überwiegend analog zu jener der von „Wand | Fundament“, mit Ausnahme, dass die Befestigung an der Decke nicht mit Ankern, sondern profilierten Nägeln oder Holzbauschrauben erfolgt. Wird die Kontaktfuge ausschließlich mit Holzbauschrauben verbunden, sind deren in Abschnitt 3-1.3.2 erörterten Eigenschaften im Hinblick auf

Schmalseite und Seitenfläche zu berücksichtigen. Außerdem gilt es, geeignete Einschraubwinkel zu finden, um die auftretenden Kräfte optimal einzuleiten / weiterzuleiten (Schickhofer, et al., 2010).

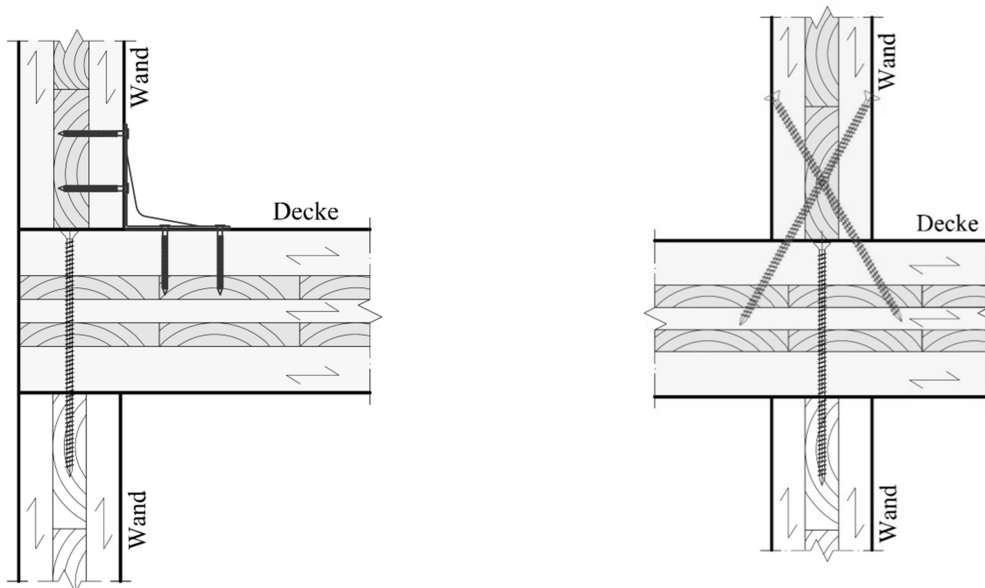


Abbildung 3-12: Ausführungsvarianten zur Kontaktfuge „Wand | Decke – (links) mittels Standard-Winkelverbindern, (rechts) mittels Verschraubung (Pock, et al., 2016)

Diese Art der Befestigung ermöglicht es, neben Kräften „in“ auch Kräfte „aus“ der Wandebene zu übertragen (Abbildung 3-13). Auf eine Wand bezogen, treten Vertikalkräfte und aussteifende Kräfte überwiegend „in“ und Horizontalkräfte (z. B. Wind) „aus“ der Scheibenebene auf (Brandner, et al., 2018a). Diese genaue Kräftezuteilung ist im Gebäudeverband nicht in gleichem Maße eindeutig gegeben (siehe Abschnitt 3-3.2.11 und 3-3.3).

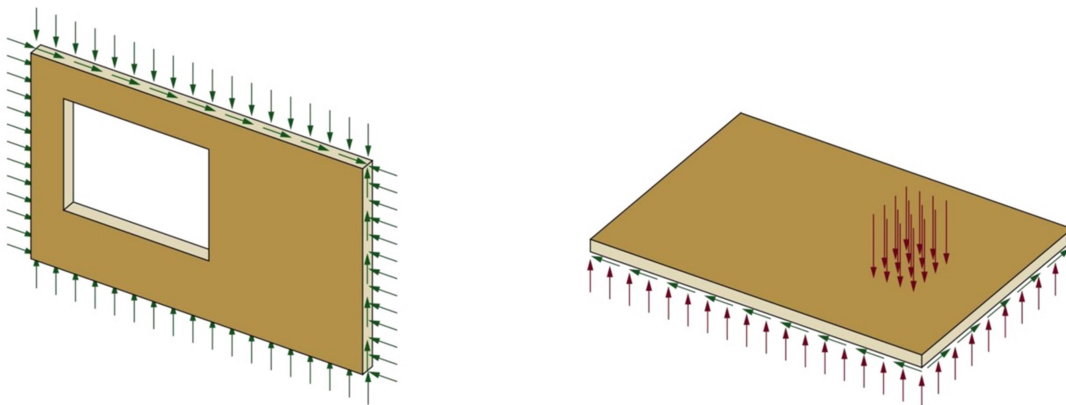


Abbildung 3-13: Definition der Lastrichtung am Scheibenelement – (links) „in“ der Ebene (grün); (rechts) „aus“ der Ebene (rot) (Brandner, et al., 2018a)

Alternativ zu den bereits erläuterten Ausführungsvarianten können Wand und Decke mittels werkseitig auf dem Deckenelement montierter Profilhölzer verbunden werden. Als Schwellenhölzer können Furnierschicht- oder -sperrhölzer, Eichen- oder Robinienhölzer verwendet werden (Schickhofer, et al., 2010).

Analyse

Da in der Analyse der Kontaktfuge „Wand | Fundament“ auf die Lösung mit Winkelverbindern fokussiert wurde und die Ausbildung der Anschlussfuge „Wand | Decke“ über weite Strecken ähnlich erfolgt, wird in diesem Absatz ausschließlich die Ausführung mittels Schraubverbindungen diskutiert. Anzumerken ist, dass der geschraubte Anschluss, bei gleichem Tragvermögen, ein steiferes und spröderes Verhalten als jener mit Winkelverbindern aufweist. Außerdem wird der geschraubten Stoßfuge ein geringes Dissipationsvermögen zugeschrieben. Ein duktiles und dissipatives Verhalten (relevant bei dynamischen Einwirkungen) ist gerade bei einem Schubwandanschluss von großer Bedeutung, da in diesem Anschluss der Grundstein für ein duktiles und dissipatives, globales Systemverhalten gelegt wird (siehe Abschnitt 3-3). Durch symmetrische Schraubenanordnungen oder durch die direkte Anordnung in der Wandachse entstehen kaum Exzentrizitäten und somit zusätzliche Beanspruchungen im System. Toleranzabweichungen wirken sich bei dieser Verbindungsform nicht unbedingt negativ auf den Montageablauf aus, da die Schrauben erst nach dem Versetzen der Bauteile eingebracht werden. Der Vorteil in Bezug auf den Toleranzausgleich kann sich im Sinne einer rationellen Fertigung und Montage schnell zu einem Nachteil verwandeln. Die Herstellung der Kontaktfuge-Verbindungen ist oft durch die geringe Einzeltragfähigkeit der Verbindungsmittel sehr aufwändig. Die Demontierbarkeit ist bei solchen Schraubverbindungen nach einer längeren Zeitdauer und bei längeren Schrauben nur mehr bedingt gegeben. Für die Analyse weiterer Eigenschaften wird an dieser Stelle auf die in Abschnitt 3-1.3.2 durchgeführte Bewertung verwiesen.

3-2.4 WAND | WAND

Die Kontaktfuge „Wand | Wand“ lässt sich in die Varianten Eckverbindung, T-Anschluss und Längsstoß unterteilen. In Abbildung 3-14 sind je eine übliche Ausführung der Eckverbindung oder des T-Anschlusses mittels Holzbauschrauben ersichtlich. Die Schrauben können alternativ auch unter einem Winkel eingeschraubt werden. Für die Kontaktfuge „Wand | Wand“ können außerdem noch selbstzentrierende Einhängeverbinder eingesetzt werden. Wichtig ist, dass die miteinander zu verbindenden Elemente durch das Verbindungsmittel aneinandergedrückt werden, damit eventuell eingelegte Dichtungsbänder ihre Funktion erfüllen können (Schickhofer, et al., 2010).

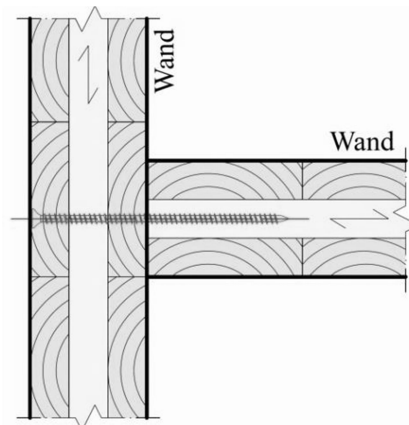


Abbildung 3-14: Ausführungsvariante eines „Wand | Wand“ Eck-Stoßes (Pock, et al., 2016)

Abbildung 3-15 und Abbildung 3-16 veranschaulichen die möglichen Ausführungsvarianten eines „Wand | Wand“ Längsstoßes.

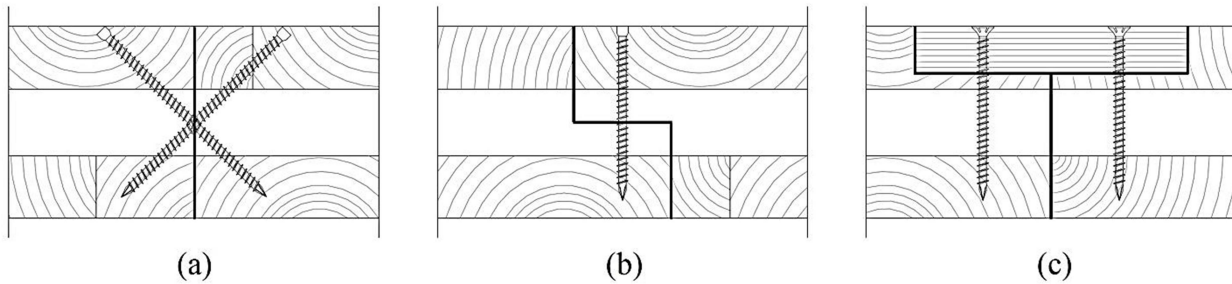


Abbildung 3-15: Ausführungsvarianten eines Wand | Wand“ Längsstoßes – verschraubter stumpfer Stoß (a), Stufenfalz verschraubt (b); stumpfer Stoß mit verschraubtem Falzbrett (c) (Flatscher, 2017)

Zusätzlich kann der „Wand | Wand“ Längsstoß mittels eingeklebter Gewindestangen in Kombination mit Stahlhülsen erfolgen (Schickhofer, et al., 2010).

Analyse

Mit Fokus auf Schraubenverbindungen erfolgt die Analyse der Kontaktfuge „Wand | Wand“ überwiegend in gleicher Weise wie jene zur Anschlussfuge „Wand | Decke“. Abweichungen ergeben sich bei der Ausführung mit eingeklebten Gewindestangen, da hier in Abhängigkeit der Stahlhülse von einer noch steiferen und leistungsfähigeren Verbindung ausgegangen werden kann. Mit dem Einsatz von Einhängeverbindern kann ein hoher Vorfertigungsgrad erzielt werden. Leider berücksichtigen herkömmliche Einhängeverbinder keine nennenswerten Möglichkeiten um Toleranzen ausgleichen zu können. Häufig sollen „in“ Scheibenebene und parallel zur Kontaktfuge in beide Richtungen Schubkräfte aufgenommen werden, was wegen der einseitigen Wirkungsweise bei Einhängeverbindern oft zur Notwendigkeit einer zusätzlichen Verschraubung führt. So wie die Kontaktfuge „Wand | Decke“ hat auch der Wandlängsstoß in einem Schubwandsystem Auswirkungen auf das globale Tragsystem und wird in Abschnitt 3-3 ausführlich diskutiert.

3-2.5 DECKE | DECKE

Deckenstöße können üblicherweise als Stufenfalz, Stumpfstoß, oder Laschenstoß ausgeführt werden (siehe Abbildung 3-16). Verschraubte Stufenfälsze und Stumpfstoße werden hauptsächlich zur Übertragung von Querkräften parallel zur Haupttragrichtung verwendet. Die Ausführung mittels Stufenfalz führt zu Zugspannungen quer zur Faser. Diesen Einfluss gilt es besonders bei ungleichmäßig verteilten Belastungen zu berücksichtigen. Alternativ zum Stumpfstoß mit Schrägverschraubung gibt es den Stupfstoß mit verschraubtem Falzbrett (siehe Abbildung 3-15 (c)). Mit einem verklebten Laschenstoß ist ein biegesteifer Anschluss von BSP-Elementen realisierbar. Für die Laschen werden meist Furniersperrhölzer oder 3-Schichtplatten verwendet. Die Laschen werden mit einer Nagel-, Klammer- bzw. Schraubpressverklebung befestigt (Brandner, et al., 2018a).



Abbildung 3-16: Ausführungsvarianten eines Deckenstoßes – (links) verschraubter Stufenfalz mit Dichtungsbänder; (Mitte) Stumpfstoß mit Schrägverschraubung; (rechts) Laschenstoß mit LVL in Sekundärtragrichtung (Schickhofer, et al., 2010)

Analyse

Zusammenfassend bestehen die Hauptaufgaben der Deckenstoßfuge darin, einerseits Querkräfte (selten Momente) zwischen den Deckenelementen zu übertragen und andererseits Schub- und eventuell Zugkräfte resultierend aus der Systemaussteifung aufzunehmen. Im Geschoßbau / Wohnungsbau lässt sich die Herausforderung Querkraft, aufgrund der überwiegend gleichmäßig verteilten Lasten (z. B. durch Estrich), mit einfachen Ausführungen (z. B. Stufenfalz) lösen. Für eine gleichmäßige Verteilung von Horizontallasten (Wind, Erdbeben, etc.) auf die Schubwände, ist eine steife Verbindung im Deckenstoß (hauptsächlich auf Schub) Grundvoraussetzung (ON EN 1998-1, 2011). Diese Anschlussfugeneigenschaften des Deckenstoßes werden unter anderem in (Schmidt, 2018) behandelt. Die Analyse von Schraubverbindungen in Kontaktfugen erfolgte bereits in Abschnitt 3-2.3 und 3-2.4, weshalb auf diese, mit Ausnahme von auf die Anschlussfuge bezogene Systemeinflüsse, verwiesen wird.

3-2.6 SPEZIELL ENTWICKELTE SYSTEMVERBINDER FÜR DIE HOLZ-MASSIVBAUWEISE MIT BSP

Unter Abschnitt 3-2.6 werden speziell für die Holz-Massivbauweise mit BSP entwickelte Systemverbinder betrachtet. Im Konkreten werden in Abschnitt 3-2.6.1 bis 3-2.6.3 Verbindungssysteme vorgestellt welche mehrere Kontaktfugen gleichzeitig abdecken. Die Abschnitte 3-2.6.5 und 3-2.6.6 beschäftigen sich mit speziell für bestimmte Kontaktfugen konzipierten Fügesystemen.

3-2.6.1 SHERPA CLT-Connector

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf der in (ETA-18/0083, 2018) angeführten Literatur.

Der SHERPA CLT-Connector wird auf der Seitenfläche von BSP-Elementen befestigt (siehe Abbildung 3-17). Der Systemverbinder kann für die Kontaktfugen „Wand | Wand“, „Wand | Decke“ und „Decke | Decke“ verwendet werden. Der SHERPA CLT-Connector ist ausschließlich für statische und quasi-statische Einwirkungen zugelassen.

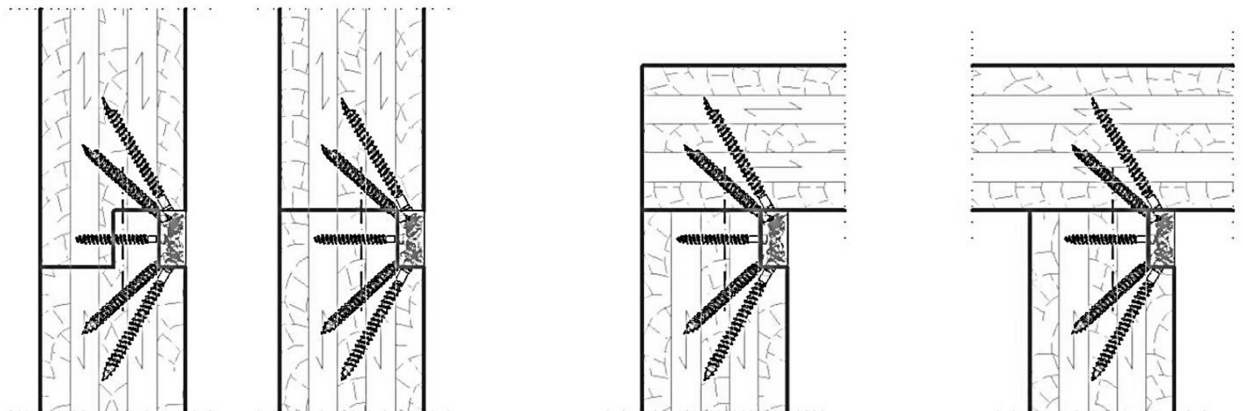


Abbildung 3-17: Stoßausbildung mittels SHERPA CLT-Connector (ETA-18/0083, 2018)

Trotz exzentrischer Positionierung des Gehäuses soll der Kräfteschwerpunkt des Systemverbinders lt. (Maderebner, et al., 2013) ca. in mitten der Plattenebene liegen und keine Verdrehung der BSP-Elemente unter Normalkraftbeanspruchung verursachen. In Abhängigkeit von der Belastung und deren Richtung, sowie der Fugenausbildung (mit Kompriband oder Schalldämmlager), können die unter Tabelle 2 angeführten Tragfähigkeiten und Steifigkeiten erreicht werden.

Tabelle 2: *Tragfähigkeit und Steifigkeiten des SHERPA CLT-Connector (ETA-18/0083, 2018)*

| Typ | Belastung | Fuge | Char. Tragfähigkeiten | Steifigkeiten k_{ser} |
|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | | kN | N/mm |
| SHERPA CLT-Connector | Normalkraft, Längsstoß | Kompriband ≤ 2 mm | 18,80 ¹⁾ | 9 750 |
| | Querkraft, Längsstoß | | 10,00 ¹⁾ | 3 300 |
| | Querkraft, aus der Ebene, "pos" | | 16,50 ¹⁾ | 3 600 |
| | Querkraft, aus der Ebene, "neg" | | 7,00 | 1 000 |
| | Querkraft, aus der Ebene, "pos" | Schalldämm- lager ≤ 12 mm | 16,00 ¹⁾ | 3 600 |
| | Querkraft, aus der Ebene, "neg" | | 5,30 | 870 |

¹⁾ Charakteristische Tragfähigkeiten für Schraubenlänge $l = 100$ mm. Die char. Tragfähigkeit darf mit dem Schraubenlängenfaktor $n_s = 1.22$ für Schraubenlängen $l = 120$ mm oder mit dem Schraubenlängenfaktor $n_s = 1.44$ für Schraubenlängen $l = 140$ mm multipliziert werden.

Analyse

Betreffend die Tragfähigkeit und sonstigen mechanischen Eigenschaften verhält sich der Systemverbinder ähnlich zu herkömmlichen Verschraubungen. Zur Übertragung von großen Kräften ist dieser Systemverbinder nicht vorgesehen. Vorteile birgt der SHERPA CLT-Connector durch die gezielte Einbringung der Schrauben und deren einfacher Montage (von Rauminnenseite; Verbinder dient als Einschraublehre). Durch eine einseitige Vormontage des Systemverbinders kann ein gewisser Vorfertigungsgrad erzielt werden. Durch die außenliegenden Metallteile sind Herausforderungen hinsichtlich sichtbarer Konstruktion und Brandschutz gegeben. Der SHERPA CLT-Connector stellt keine wesentlichen Schwachstellen in Bezug auf Luft- und Feuchtedichtigkeit sowie Schallschutz dar. Toleranzen können mit gleichzeitig auftretenden Tragfähigkeitseinbußen relativ leicht aufgenommen werden, da die gänzliche Verschraubung erst direkt auf der Baustelle erfolgt.

3-2.6.2 X-RAD

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Rotho Blaas GmbH, 2017) vorgestellten Erkenntnissen.

X-RAD ist ein Verbindungssystem, welches die Kontaktfugen „Wand | Fundament“, „Wand | Wand“ und „Decke | Decke“ mit einer systematisch aufgebauten Verbindungslösung abdeckt. Das System besteht aus X-ONE, X-PLATE und X-SEAL, wobei der erstgenannte Bestandteil die Grundkomponente darstellt (siehe Abbildung 3-18). X-ONE kann Schub- und Zugbeanspruchungen übertragen und wird gleichzeitig bei der Montage für das Anheben, Positionieren und Befestigen der BSP-Elemente verwendet. Die Befestigung von X-ONE am BSP-Element erfolgt mit sechs Vollgewindeschrauben, welche radial verteilt und mit symmetrischer Neigung eingebracht werden. Die Furnierschichtholzpakete werden für eine optimierte Krafteinleitung der Schraubenkräfte in die Stahlbleche verwendet. Konkret werden so Spannungsspitzen an den Schraubenköpfen vermieden, da ein Großteil der Schraubenkraft über das Gewinde in das Furnierschichtholzpaket eingeleitet wird.

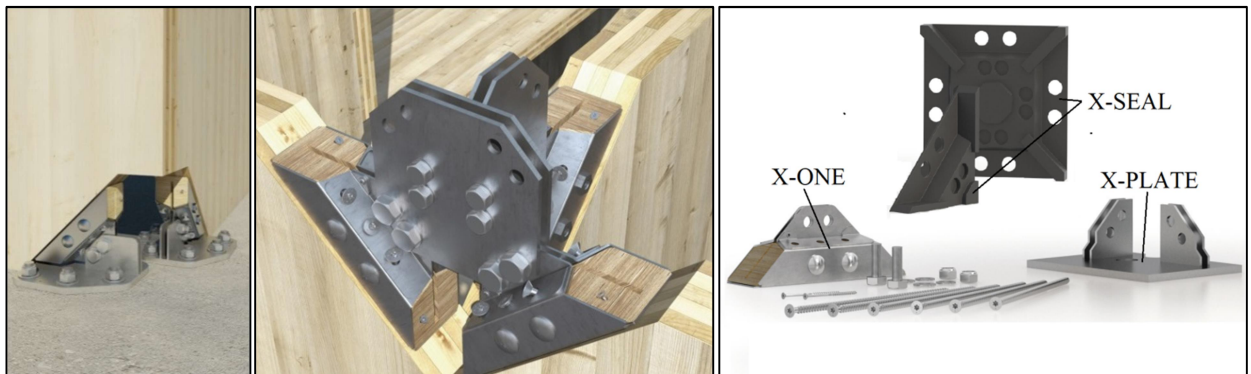


Abbildung 3-18: Kontaktfugenausbildung und Bestandteile des X-RAD Systemverbinders – (links) Kontaktfuge „Wand | Fundament“; (Mitte) Kontaktfuge „Wand | Wand“; (rechts) Bestandteile X-RAD (Rotho Blaas GmbH, 2017)

Durch das Abkappen der Ecke vom BSP-Element ergeben sich bezüglich Luft-, Wasser und Winddichtigkeit sowie der Schalleigenschaften Schwachstellen, welche durch die Komponente X-SEAL und deren Verklebung behoben werden. X-PLATE ist das Gegenstück zu X-ONE und wird am Fundament verankert. Zwei Bolzen sorgen für die Verbindung der beiden Bestandteile X-ONE und X-PLATE. Der Bodenanschluss von X-PLATE erfolgt zentriert in Scheibenebene und berücksichtigt ein Spiel von 5 mm um die Platte genau positionieren zu können. Neben Zugkräften sollen auch Schubkräfte über die Verankerung in das Fundament eingeleitet werden. Für die Verbindung der BSP-Platten in den Zwischengeschoßen steht eine Vielzahl an geometrischen Metallplattenformen zur Verfügung, welche die Bindeglieder unter den X-ONE darstellen. Außerdem besteht die Möglichkeit, Metallstangen in diese Standard-Metallplatten einzufügen, die eine direkte Verbindung zum Fundament ermöglichen sollen. Die Verwendung des X-RAD Systemverbinders erfolgt in Kombination mit einer Mischbauweise (siehe Abschnitt 2-2.3).

Bei entsprechender Überdimensionierung bestimmter Bestandteile von X-ONE treten folgende Versagensmechanismen bevorzugt auf:

- Stahlbruch der Vollgewindeschrauben
- Lochleibungsversagen an den beiden M16-Bohrungen am System-Gehäuse mit Innenplatte
- holzseitiges Versagen durch Auszug der Vollgewindeschrauben oder Holzkompression

Die charakteristischen Tragfähigkeiten mit den unterschiedlichen Versagensmechanismen und variierenden Lastangriffswinkeln sind unter Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Charakteristische Festigkeiten der X-ONE Verbindung (Rotho Blaas GmbH, 2017)

| α | Globale Festigkeit | Festigkeits-Komponenten | | Bruchmechanismus | | partielle Sicherheitskoeffizienten |
|----------|--------------------|-------------------------|------------|-----------------------------------|-------|------------------------------------|
| | R_k [kN] | V_k [kN] | N_k [kN] | | | γ_M |
| 0° | 111,6 | 111,6 | 0,0 | Zug VGS | Stahl | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| 45° | 141,0 | 99,7 | 99,7 | Blockreiversuch an M16-Bohrungen | Stahl | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| 90° | 111,6 | 0,0 | 111,6 | Zug VGS | Stahl | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| 135° | 97,0 | - 68,6 | 68,6 | Zug VGS | Stahl | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| 180° | 165,9 | - 165,9 | 0,0 | Herausziehen VGS-Gewinde | Holz | $\gamma_{M,Holz} = 1,3$ |
| 225° | 279,6 | - 197,7 | - 197,7 | Kompression des Holzes | Holz | $\gamma_{M,Holz} = 1,3$ |
| 270° | 165,9 | 0,0 | - 165,9 | Herausziehen VGS-Gewinde | Holz | $\gamma_{M,Holz} = 1,3$ |
| 315° | 97,0 | 68,6 | - 68,6 | Zug VGS | Stahl | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| 360° | 111,6 | 111,6 | 0,0 | Zug VGS | Stahl | $\gamma_{M2} = 1,25$ |

Um den X-RAD Systemverbinder hinsichtlich Steifigkeit, Duktilität und Dissipationsvermögen bewerten zu können, werden nachfolgend einige Kraft-Verschiebungs-Diagramme angeführt. Abbildung 3-19 zeigt

den Zusammenhang zwischen Kraft und Verschiebung unter einem Kraftangriffswinkel von $\alpha = 45^\circ$ bei einer monotonen Belastung. Die Definition des Lastangriffswinkels für den X-ONE-Verbindungsbestandteil erfolgt im rechten Bereich der Abbildung 3-19.

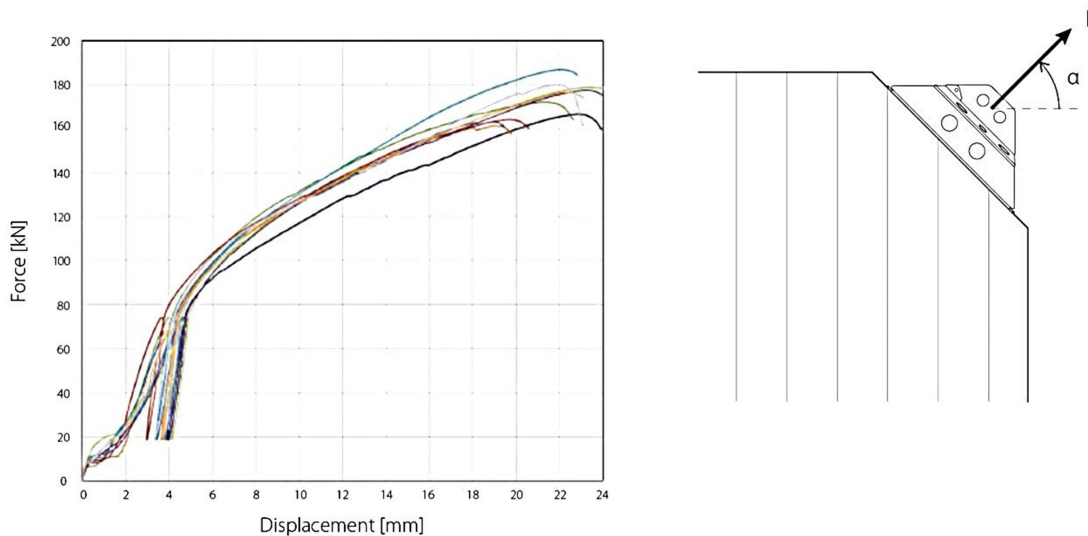


Abbildung 3-19: Kraft-Verschiebungs-Diagramm bei monotonen Versuchen unter einem Lastangriffswinkel von $\alpha = 45^\circ$ (Rotho Blaas GmbH, 2017)

Unter monotoner Belastung und einem Lastangriffswinkel von 45° lässt sich, bei vereinfachter Annahme von einem bilinearen Verhalten des Systemverbinders, dieser mit einer hohen Anfangssteifigkeit und einem hohen statischen Duktilitätsmaß charakterisieren. Es liegt somit eine leistungsfähige Verbindungslösung vor.

Abbildung 3-20 veranschaulicht das Versuchsssetup eines Schubwandsystems, welches mit X-RAD Systemverbindern befestigt ist und am Wandhaupt mit einem Hydraulikzylinder einer Horizontalkraft ausgesetzt wird. Die Abmessungen der Wandscheibe betragen in Höhe und Breite 250 cm. Die Wandscheibe wird gleichzeitig zur Horizontallast mit einer gleichmäßig verteilten Vertikallast von 20 kN/m entlang der oberen Wandschmalseite beansprucht (Rotho Blaas srl, 2015).

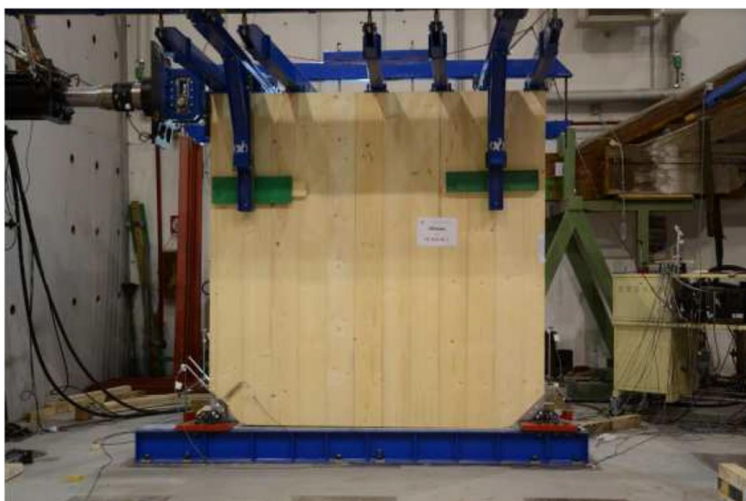


Abbildung 3-20: Versuchsssetup für ein BSP Wandsystem, befestigt mit einem X-RAD Systemverbinder (Rotho Blaas srl, 2015)

Abbildung 3-21 zeigt mehrere überlagerte Kraft-Verschiebungs-Kurven des zyklisch belasteten und in Abbildung 3-20 angeführten Wandsystems. Vor Beginn des zyklischen Versuches wurde ein monotoner Versuch durchgeführt, welcher hier mit der Farbe Rot dargestellt ist (Rotho Blaas srl, 2015).

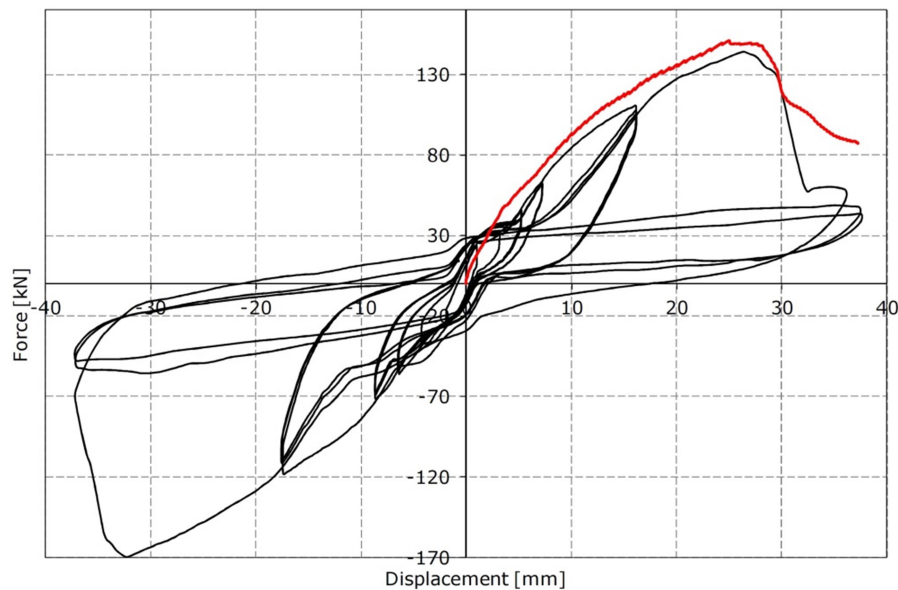


Abbildung 3-21: Kraft-Verschiebungs-Diagramm für einen zyklischen (schwarz) sowie monotonen (rot) Schubwandversuch – Befestigung mittels X-RAD Systemverbinder (Rotho Blaas srl, 2015)

Anhand der Form der Hysterese-Schleifen in Abbildung 3-21 ist nach mehrmaligem Lastwechsel ein deutliches „pinching“ erkennbar.

Analyse

Hinsichtlich Tragfähigkeit ist der X-RAD Systemverbinder momentan der leistungsfähigste Systemverbinder für BSP am Markt. Durch die Mischbauweise aus „platform“- und „balloon“-Bauweise kann die Leistungsfähigkeit des BSP zu einem höheren Anteil als mit herkömmlichen Verbindungen ausgenutzt werden. Zusammenfassend ist das Verhalten unter statischen Einwirkungen mit einer hohen Anfangssteifigkeit und mit hoher Duktilität ausgestattet. Bei dynamischen Belastungen tritt in der Anwendung am Wandsystem „pinching“ auf, was die Dissipationseigenschaften wesentlich einschränkt. Auf Grund der massiven und robusten Bauweise des Systemverbinders (verbunden mit Eckauskappungen) und der vorausgesetzten Mischbauweise wird die Verwendung von großformatigen Platten quasi unumgänglich, insbesondere um wirtschaftliche Lösungen zu erzielen. Die Einhaltung der bauphysikalischen und brandschutztechnischen Anforderungen ist durch spezielle Bauteile gewährleistet, jedoch mit erheblichem, zusätzlichem Aufwand verbunden. Einen großen Vorteil im System bietet die achsentreue Montage der Verbindung. Dies ermöglicht zum einen die zuvor beschriebene hohe Leistungsfähigkeit des Systemverbinders und zum anderen wird das Tragsystem vor zusätzlichen Exzentrizitätsmomenten bewahrt. Die Demontage und das Recycling ist bei diesem Systemverbinder relativ einfach und zum größten Teil zerstörungsfrei (eventuell Schwierigkeiten beim Lösen der Schraubverbindungen im BSP) möglich. Die Verbindungen könnten nach der Demontage und bei gutem Zustand möglicherweise wiederverwendet werden. Der Vorfertigungsgrad ist bei diesem Systemverbinder sehr hoch, wodurch eine rationelle Montage und Handhabung auf der Baustelle sichergestellt ist. Neben der dauerhaften Verbindung der Elemente kann der Systemverbinder auch zur Manipulation (Be- und Entladen sowie Versetzen der BSP-Elemente) verwendet werden. Durch Montagelehren kann der Systemverbinder manuell aber auch maschinell sehr präzise am BSP Element befestigt werden. Diese präzise Befestigung ist sehr wichtig, da im Montagestoß kaum Toleranzen vorhanden sind. Ein Toleranzausgleich ist später nur mehr durch ein Vergrößern des Loches (durch Aufbohren) für den Bolzen möglich. Diese Maßnahme kann Schlupf im Systemverhalten verursachen.

Sehr überlegt und ausgeklügelt erscheint auch die Krafteinleitung von den Schrauben in die Stahlblechteile.

3-2.6.3 Exzenterfixierter Verbinder

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Prettner, 2018) vorgestellten Erkenntnissen.

Der exzenterfixierte Verbinder, welcher im Zuge einer Masterarbeit von (Prettner, 2018) erarbeitet wurde, ist aktuell ein Prototyp und soll für sämtliche Anschlussfugen einsetzbar sein. Anzumerken ist, dass der Systemverbinder in der momentan vorliegenden Form ausschließlich für Zugbeanspruchungen in Scheibenebene vorkonzipiert ist. Eine Übertragung von Schubkräften „in“ und „aus“ der Scheibenebene erscheint als möglich, wurde jedoch noch nicht genauer bewertet.

Der Systemverbinder ist grundsätzlich für sämtliche Kontaktfugenanschlüsse gedacht. Dieser selbst besteht aus einem Anschlussstück, einem Verbindungsstück und einem Bolzen (siehe Abbildung 3-22). Das Anschlussstück ist ein ständig gleiches Grundbauteil und wird mit dem BSP-Element verklebt (Abbildung 3-22, links). Die im Anschlussbauteil ausgerundete Stahlplatte (Bolzenlager) wird mit zwei Schrauben befestigt und ermöglicht so eine gewisse Justierung in horizontaler Richtung. Ähnlich wie beim X-RAD Systemverbinder wird auch bei diesem Systemverbinder ein an das Einsatzgebiet angepasstes und somit in der Geometrie variierendes Zwischenstück verwendet (Abbildung 3-22, Mitte). Zwischenstück und Anschlussstück werden mit einem speziellen Bolzen formschlüssig verbunden (Abbildung 3-22, rechts).

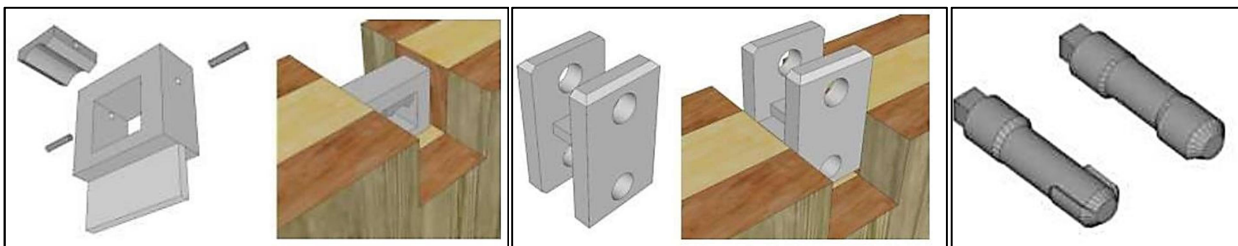


Abbildung 3-22: *Verbindungsmittelbestandteile des exzenterfixierten Verbinders – (links) Anschlussstück, (Mitte) ausgewähltes Zwischenstück, (rechts) Bolzen (Prettner, 2018)*

Der Bolzen ist so gefertigt, dass durch ein einfaches Verdrehen dessen die Verbindung fixiert wird. Beim Design des Systemverbinders wurde darauf geachtet, dass keine abstehenden Verbindungsteile den Transport und den Versatz behindern. Wie bereits zuvor erwähnt, wird ein variierendes Zwischenstück in den unterschiedlichen Kontaktfugen verwendet. Für den Deckenanschluss ist ein separates Anschlussstück vorgesehen, welches im Zwischenstück eingefädelt werden kann. Mögliche Einsatzkonfigurationen in den unterschiedlichen Anschlussfugen sind in Abbildung 3-23 dargestellt.

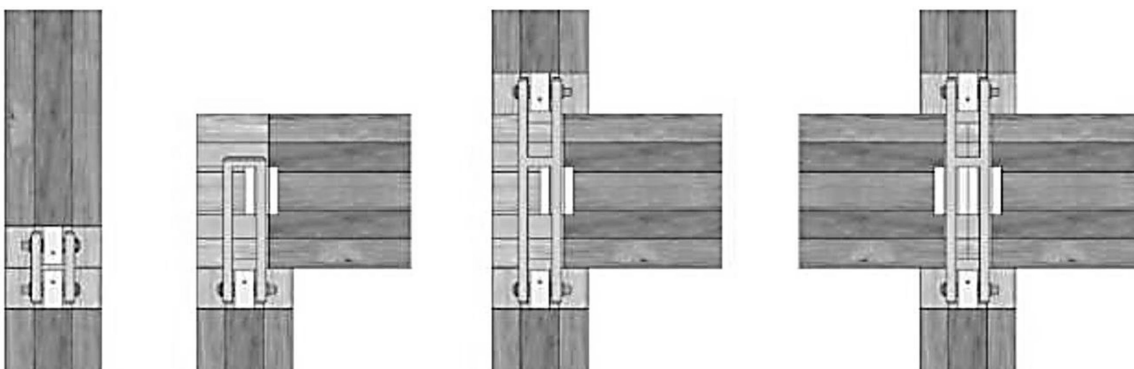


Abbildung 3-23: *Verbindungskonfigurationen – Längswandstoß (links), Wand-Deckenstoß (Mitte links), Wand-Decke-Wandstoß (Mitte rechts und rechts) (Prettner, 2018)*

Analyse

Der exzenterfixierte Verbinder ist erst im Entwicklungsstadium und daher fehlen einige Angaben, um eine fundierte Bewertung tätigen zu können. Folgenden Anmerkungen sind daher als Einschätzung zu interpretieren.

Die Zugtragfähigkeit ist jener des X-RAD Systemverbinders angenähert und ist somit als hoch einzustufen. Die Duktilität wird wegen der massiven Bauweise und der steifen Verklebung als eher gering eingeschätzt. Die Steifigkeiten der Verbindung könnten über den Bolzendurchmesser bzw. die Lochleibungstragfähigkeit gesteuert werden. Die erwähnten Maßnahmen wirken sich im mechanischen Verhalten des Systemverbinders in Scheibenebene in horizontaler und vertikaler Richtung ähnlich aus, welche jedoch möglicherweise unabhängig voneinander gesteuert werden möchten. Generell werden in der Aufnahme von Beanspruchungen aus der Scheibenebene sowie in der Ableitung von Schubkräften in Scheibenebene große Herausforderungen lokalisiert. Diese lassen sich einerseits durch die aufspaltende Wirkungsweise des eingeklebten Stahlbleches hinsichtlich Belastungen aus der Ebene argumentieren und andererseits durch die geringe Kraftübertragungsfläche des Anschlussteils bei Schubbeanspruchung in Scheibenebene. Als Kritikpunkt ist, wie auch bei den meisten anderen Systemverbindern, der Umgang mit dem Toleranzausgleich zu sehen, da hier wenige Möglichkeiten vorhanden sind, jene zu kompensieren. Positiv zu bewerten ist, dass die Montage auf der Baustelle auf wenige Arbeitsschritte heruntergebrochen wurde. Durch das ausgeklügelte Baukastensystem ist der exzenterfixierte Verbinder sehr variabel in seiner Anwendung einsetzbar. Die Demontierbarkeit ist bei diesem Verbindungssystem durchaus gegeben. Eine materialsortierte Demontierung ist wegen der Klebeverbindung mit großem Aufwand verbunden bzw. kaum möglich. Die Wiederverwendung der Verbindungsteile ist bis auf die eingeklebten Bauteile gut möglich. Der Systemverbinder kann, da er im BSP innenliegend verbaut ist, den Brandschutz sowie die bauphysikalischen Anforderungen relativ einfach erfüllen.

3-2.6.4 Resümee

Der X-RAD Systemverbinder und der exzenterfixierte Systemverbinder sind als Baukastensystem aufgebaut, sprich es gibt ein immer gleiches Grundelement in Kombination mit einem variierenden Zwischenstück / Kopplungselement. Auffallend ist, dass sich die Kopplungselemente der beiden Systemverbinder oft als sehr aufwändige Lösungen in Bezug auf Materialeinsatz, Geometrie und Fertigung präsentieren. Diese meist teuren Kopplungslösungen sind den unterschiedlichen Anforderungen an die Kontaktfuge (z. B. durch Montagerichtung, Kräftekonstellation, Systemaufgabe und Elementorientierung) geschuldet. Zudem ist festzustellen, dass bei allen bisher vorgestellten Systemverbindern (SHERPA CLT-Connector, X-RAD, exzenterfixierte Verbinder) eine ausreichende und kontaktfugenabhängige Differenzierung hauptsächlich bezüglich Duktilität und Dissipationsvermögen fehlt. Diese Unterscheidung ist gerade bei dynamischen Beanspruchungen sowie für die Konzeptionierung wirtschaftlicher Anschlüsse essentiell. Aus diesen Umständen heraus stellt sich die Frage, ob es nicht generell Sinn macht „Expertenverbinder“, welche an die jeweiligen Kontaktfugenanforderungen angepasst sind, zu entwickeln? Diese „Expertenverbinder“ könnten sich durch die Integration unterschiedlicher Bauweisen, die Optimierung des Systemverhaltens, Steigerung der Wirtschaftlichkeit oder die ideale Vorfertigung / Montage definieren. Solche auf eine Anschlussfuge spezialisierte Systemverbinder, werden in Abschnitt 3-2.6.5 und 3-2.6.6 vorgestellt.

3-2.6.5 X-bracket

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Scotta, et al., 2016) vorgestellten Erkenntnissen.

Das primäre Einsatzgebiet von X-bracket liegt in der Anschlussfuge „Wand|Wand“ und „Wand|Fundament“ (siehe Abbildung 3-24). Der Systemverbinder ist darauf ausgelegt, hauptsächlich Erdbebenlasten mit hohen Lastwechselzahlen zu übertragen. Ein großes Augenmerk wurde auf das Dissipationsvermögen des Systemverbinders gelegt, da bei der Holz-Massivbauweise mit BSP lediglich in den Anschlusspunkten dissipative Bereiche ausgebildet werden können. Bei der Konzipierung des Systemverbinders wurde darauf geachtet, dass sich große plastische Verformungen vor dessen Versagen

einstellen. Der X-bracket Systemverbinder wird entlang der Kontaktfuge der Brettsperreholzelemente angeordnet (siehe Abbildung 3-24, rechts). Der Systemverbinder selbst kann außenliegend oder innenliegend am Element montiert werden. Die Stahlblechformteile werden mittels Lasertechnologie in eine auf das Tragverhalten optimierten Form geschnitten. Die charakteristische Tragfähigkeit (5 %-Quantile) liegt bei rund 17 kN auf axialen Zug und 25 kN auf Schub. Die 5 %-Quantile der Zugfestigkeit im elastischen Bereich wird 8,94 kN/mm und jene der Schersteifigkeit von 2,95 kN/mm angegeben. Ziel beim Entwurf des Verbinders war es, auf dasselbe Kräftelevel wie mit herkömmlicher Verbindungstechnik zu kommen, jedoch unter Gewährleistung eines dissipativen Verhaltens.

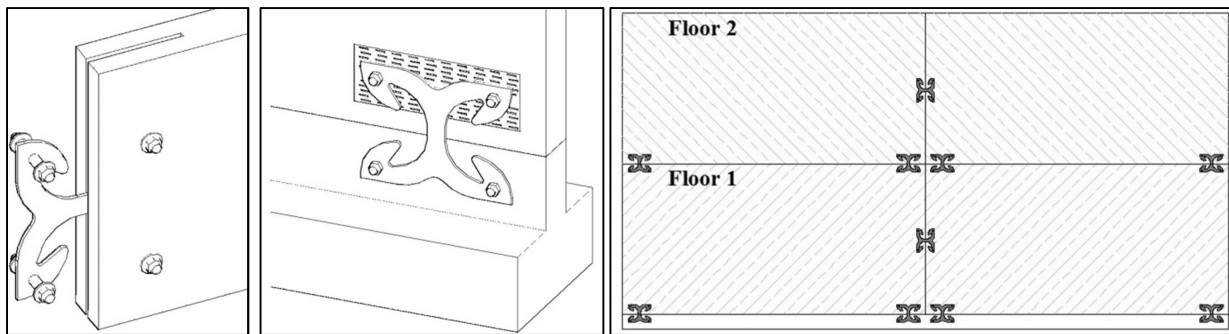


Abbildung 3-24: X-bracket Systemverbinder – zur horizontalen Verbindung zweier Wände (links), als Fundamentanschluss (Mitte), Anordnungsschema entlang der Kontaktfugen (rechts) (Scotta, et al., 2016)

Abbildung 3-25 zeigt die gewählten Setups für numerische Studien bestehend aus zwei verschiedenen Wandsystemen, welche mit X-bracket Systemverbindern am Fundament befestigt sind und mit einer vertikalen Gleichlast beaufschlagt, sowie am Wandkopf zyklisch horizontal verschoben werden. Wand A (a) ist mit vier Systemverbindern und Wand B (b) mit sechs Systemverbindern befestigt.

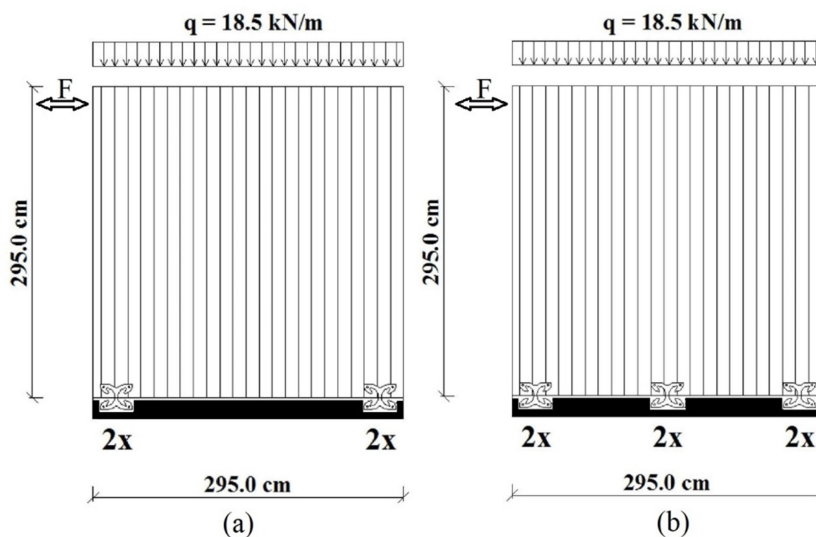


Abbildung 3-25: Versuchssetup für zwei BSP Wandsysteme mit X-bracket Systemverbindern am Fundament befestigt – (a) befestigt mit 4 Stück X-bracket Systemverbindern, (b) befestigt mit 6 Stück X-bracket Systemverbindern (Scotta, et al., 2016); - überarbeitet

In Abbildung 3-26 sind die Lastverschiebungsdiagramme der numerisch durchgeführten Simulationen mit einer zyklischen Belastung, welche in Abbildung 3-25 beschrieben sind, abgebildet.

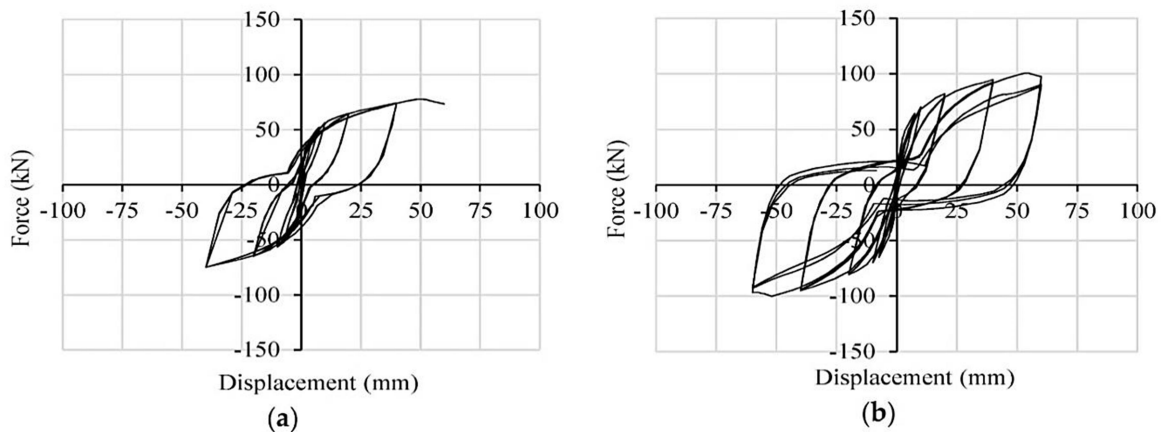


Abbildung 3-26: *Hysterese-Schleifen auf Basis numerischer Simulationen – (a) Wand A, (b) Wand B (Scotta, et al., 2016)*

Die numerischen Simulationen deuten darauf hin, dass das angestrebte dissipative Verhalten durch annähernd deckungsgleiche Hysterese-Schleifen erzielt werden kann.

Analyse

Die Tragfähigkeit kann mit herkömmlichen Verbindungen (Winkelverbinder & Zuganker) verglichen werden, jedoch ist der Systemverbinder noch nicht in der Praxis erprobt. Die Steifigkeit ist im Vergleich zu anderen Verbindern als eher gering einzustufen. Das numerisch dargestellte hohe Maß an Duktilität und die guten Dissipationseigenschaften des X-bracket Systemverbinders sind hervorzuheben. Die Anforderungen an Brandschutz, bauphysikalische Eigenschaften und Achsentreue werden bei der Anordnung des Systemverbinders im BSP einfach erfüllt. Potentiale für einen planmäßigen Toleranzausgleich sind auch bei diesem Systemverbinder schwer zu erkennen. Eine Vormontage des Verbindungsmittels an den BSP Elementen ist zu einem hohen Grad gegeben. Als Nachteil wird der Überstand der Verbindungsmittel über das BSP Element verbundenen mit einem „Einfädelvorgang“ während der Montage angemerkt.

3-2.6.6 Kontaktverbinder

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Schmidt, 2018) vorgestellten Erkenntnissen.

Wie bereits in Abschnitt 3-1.2 eingeleitet, können die Kontaktverbinder als Weiterentwicklung der zimmermannsmäßigen Holzverbindungen betrachtet werden. Ähnlich wie bei diesen tradierten Verbindungen, werden auch für Kontaktverbinder keine Klebstoffe (in Form einer Verklebung von Verbindungsmittel und BSP) oder sonstige zusätzliche Verbindungsmittel (z. B. Schrauben, Nägel, etc.) benötigt. Die Kontaktverbinder werden grundsätzlich entlang der Schmalseitenfuge von benachbarten BSP-Elementen angeordnet. Die zu übertragenden Kräfte kommen primär in Scheibenebene vor und treten als Schubbeanspruchung entlang der Kontaktfuge auf (siehe Abbildung 3-27, nur Schubbeanspruchung dargestellt).

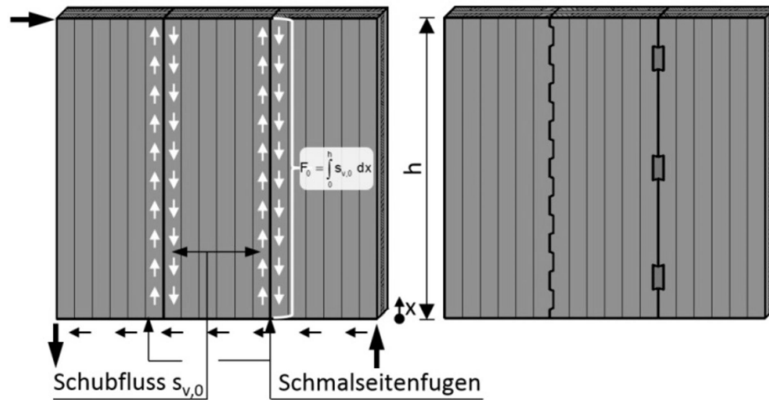


Abbildung 3-27: *Zusammengesetzte Wandscheiben aus BSP-Elementen mit postuliertem Schubfluss (links); mit Kontaktverbindern verbundene Wandscheiben (rechts) (Schmidt, 2018)*

Wie in Abbildung 3-27 (rechts) und im Detail in Abbildung 3-28 dargestellt, lässt sich über den Kraftübertragungsmechanismus eine Unterscheidung in direkte und indirekte Kontaktverbindungen vornehmen (Schmidt, et al., 2015). Werden direkt in das BSP Konturen / Verzahnungen für die Kraftübertragung eingearbeitet, so spricht man von direkten Kontaktverbindungen. Als indirekte Kontaktverbindungen gelten punktuell eingefräste Materialien, welche ähnlich einem Schubdübel wirken. Vorteile der indirekten Verbindung sind in der einfacheren Herstellung und Montage sowie in einer besseren Flächenausnutzung der BSP-Elemente erkennbar.

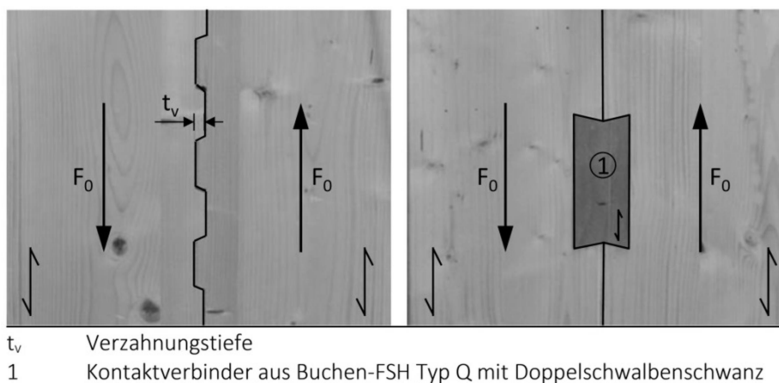


Abbildung 3-28: *Direkte Kontaktverbindung (links) und indirekte Kontaktverbindung (rechts) (Schmidt, 2018)*

Die anschließenden Ausführungen zeigen nun verschiedene Möglichkeiten, welche indirekte Kontaktverbindungen bieten.

Kontaktverbinder aus Buchen-FSH

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Schmidt, 2018) vorgestellten Erkenntnissen.

Diese Art der Verbindung wird ausschließlich zur Übertragung von Schubkräften (in der Ebene) zwischen den BSP-Schmalseiten verwendet. Der Kontaktverbinder aus Buchen-Furnierschichtholz (Buchen-FSH) wird orthogonal zur Schmalseite der BSP-Platten eingebracht (siehe Abbildung 3-29) und somit hauptsächlich quer zur Faser beansprucht. Im in Abbildung 3-29 vorliegenden Einbaufall ist der Kontaktverbinder zusätzlich noch gegen Herausfallen zu sichern.

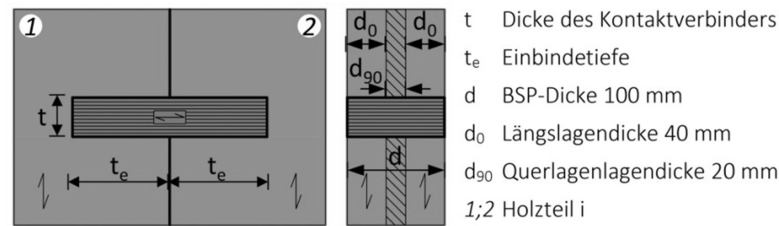


Abbildung 3-29: Kontaktverbinder in einem Deckenelement (Schmidt, 2018)

Mit dieser Art der Verbindung lassen sich hohe Tragfähigkeiten und Steifigkeiten bei duktilem Verhalten erreichen (siehe Abbildung 3-30). Bei zyklischen Belastungen tritt infolge von plastischen Faserstauchungen „pinching“ auf, weshalb der Verbinder als dissipatives Verbindungsmittel nicht geeignet ist.

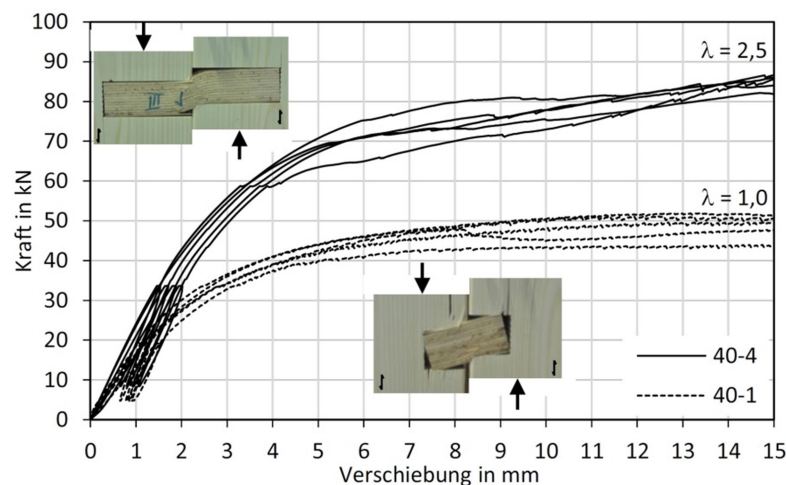


Abbildung 3-30: Kraft-Verschiebungs-Kurven von Kontaktverbindern aus Buchen-FSH mit unterschiedlichen Einbindetiefen – Serie 40-4 mit $t_e = 100$ mm; Serie 40-1 mit $t_e = 40$ mm (Schmidt, 2018)

X-fix C

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Hasslacher Gruppe, 2018) vorgestellten Erkenntnissen.

Der X-fix C Verbinder zählt zur Gruppe der indirekten Kontaktverbinder und kann durch seine besondere Bauform zusätzlich zu Schubbeanspruchungen entlang der Schmalseite auch Zugbeanspruchungen quer zur Fuge der benachbarten BSP-Elemente aufnehmen. Der Verbinder ist primär für die Fügung von BSP-Deckenelementen ausgelegt. Die doppelte Schwalbenschwanzverbindung ist zusätzlich keilförmig geteilt und ermöglicht so eine einfache Montage durch Einschlagen der Elemente (siehe Abbildung 3-31).



Abbildung 3-31: Bestandteile des X-fix C (Hasslacher Gruppe, 2018)

Gleichzeitig wird beim Einschlagen der Form- und Kraftschluss erreicht. Es ist eine selbstspannende Verbindung, welche ausschließlich aus Buchen- oder Birkenfurniersperrholz besteht und keine zusätzlichen Maßnahmen zur Lagesicherung benötigt. Die Verbindung ist nur für 5-schichtiges BSP zugelassen. Bei der Lagerung des X-fix C ist speziell auf die Luftfeuchtigkeit zu achten. In Abbildung 3-32 sind die Anwendung mit der dazugehörigen Tragfähigkeit sowie Steifigkeit, bei unterschiedlichen Beanspruchungsrichtungen, angegeben / dargestellt.

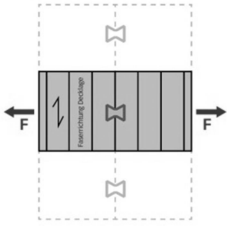
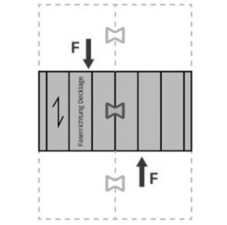
| BEANSPRUCHUNG/ ANWENDUNG | TRAGFÄHIGKEIT R_k [kN] | STEIFIGKEIT K_{ser} [kN/mm] |
|--|-----------------------------|----------------------------------|
| Zug | 28,0 | 20,0 |
|  | | |
| Abscheren | 28,0 | 20,0 |
|  | | |

Abbildung 3-32: X-fix C Anwendung, Tragfähigkeit und Steifigkeit (Haslacher Gruppe, 2018)

Die Anwendung des punktförmigen Verbinders setzt gewisse Randbedingungen wie die Einhaltung von Mindestabständen zwischen den Verbindern (Achsabstand 300 mm) und Mindestrandabstände (150 mm) voraus. Nicht nur während der Lagerung gilt es auf den Feuchtegehalt zu achten, sondern auch während der gesamten Nutzungsdauer über darf der Feuchtegehalt zu keinen beeinträchtigenden Formänderungen führen. Der X-fix C ist nur für statische und quasistatische Einwirkungen zugelassen (ETA-18/0254, 2018).

X-fix L

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Haslacher Gruppe, 2018) vorgestellten Erkenntnissen.

Auch wenn der X-fix L Verbinder kein klassisch punktueller indirekter Kontaktverbinder ist, ergeben sich viele Affinitäten zu jenen, weshalb er unter dieser Rubrik geführt wird. X-fix L ist für die Verbindung von BSP Wandelementen ausgelegt. Die schwalbenschwanzförmige Kopplungsleiste ist keilförmig geteilt und wirkt durch das Einschlagen als selbstspannende Verbindung. Die Kopplungsleiste reicht üblicherweise über die gesamte Wandhöhe und kann somit als linienförmiges Verbindungsmittel betrachtet werden. Die Verbindung besteht lediglich aus Buchen- oder Birkenfurniersperrholz. Die Montage kann rauminnenseitig erfolgen. Die Verbindung ist für Längswandstöße sowie T- und L-Stöße vorgesehen. Der X-fix L ist nur für 5-schichtiges BSP zugelassen. Bei der Lagerung des Verbindungsmittels ist auch bei diesem speziell auf die Luftfeuchtigkeit zu achten. In Abbildung 3-33 sind die Anwendungen mit den dazugehörigen Tragfähigkeiten und Steifigkeiten ersichtlich.

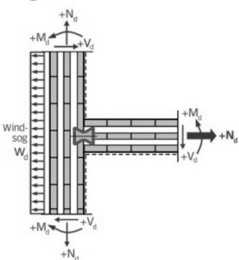
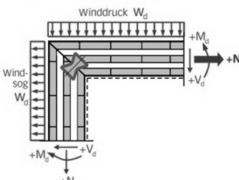
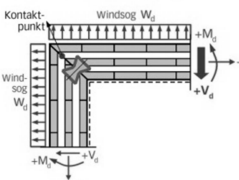
| BEANSPRUCHUNG/ ANWENDUNG | TRAGFÄHIGKEIT R_k [kN/m] | STEIFIGKEIT K_{ser} [(kN/mm)/m] |
|--|-------------------------------|--------------------------------------|
| Zug-T-Stoß  | 15,0 | 14,5 |
| Zug-Eckstoß 45°  | 14,0 | 8,3 |
| Schub-Eckstoß 45°  | 8,0 | 6,5 |

Abbildung 3-33: X-fix L Anwendung, Tragfähigkeiten und Steifigkeiten (Hasslacher Gruppe, 2018)

Analyse der indirekten Kontaktverbinder aus Holzwerkstoffen

Die Fertigungs- und Montagetoleranzen sind bei diesen Verbindungen sehr gering und somit exakt einzuhalten, da ansonsten bereits bei der Montage das Verbindungsmittel beschädigt werden kann oder eine Montage mit erheblichem Mehraufwand verbunden ist. Diese hohen Toleranzanforderungen sind der formschlüssigen Kraftübertragung geschuldet. Eine rationelle Fertigung ist mit CNC-gesteuerten Abbundmaschinen einfach möglich. Ein Rückbau und eine Wiederverwendung der Verbindungsmittel wären bei entsprechenden Feuchteverhältnissen durchaus denkbar. Die Einhaltung von Brandschutzanforderungen ist meist mit keinem zusätzlichen Aufwand verbunden. Zur Sicherstellung von Luft- und Feuchtedichtheit ist abhängig vom Einsatzgebiet mit zusätzlichen Maßnahmen, in Form von einer Verklebung mit geeigneten Klebebändern, zu rechnen. Die Leistungsfähigkeit im Vergleich zum Aufwand in Herstellung und Montage ist positiv zu bewerten. Die hohen Anfangssteifigkeiten des Kontaktverbinders aus Buche-FSH und des X-fix C bergen gute Voraussetzungen zur Erfüllung der Steifigkeitsanforderungen, welche an ein Deckensystem gestellt werden. Die Verbindungsmittel weisen kaum Dissipationsvermögen auf, was in einem eingeschränkten Anwendungsgebiet zu keinen negativen Systemauswirkungen führt (gilt generell für Verbindungen, welche kein Dissipationsvermögen aufweisen). Verändert man diverse Randbedingungen und das Material der indirekten Kontaktverbinder, so kann man neben dem X-bracket Verbinder auch bei diesen Verbindungen ein dissipatives Verhalten erwirken.

Dissipative indirekte Kontaktverbinder

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Schmidt, 2018) vorgestellten Erkenntnissen.

Wie bereits angemerkt, liegt der Unterschied zu dissipativen indirekten Kontaktverbindern in der Materialauswahl des Verbindungsmittels (Stahlblech), sowie in der Geometrie der Ausfräsung für das Stahlblech (siehe Abbildung 3-34). Die Geometrie der Ausfräsung wurde dahingehend geändert, dass zwischen den Bauteilen A und B eine Aussparung eingefügt wird. Der so entstandene Zwischenabstand

t_{gap} ist maßgeblich für ein dissipatives Verhalten mit stabilen Hysterese-Kurven verantwortlich. Eine ausreichende Einbindelänge t_e sorgt für die Ausbildung zweier Fließgelenke im Stahlblech.

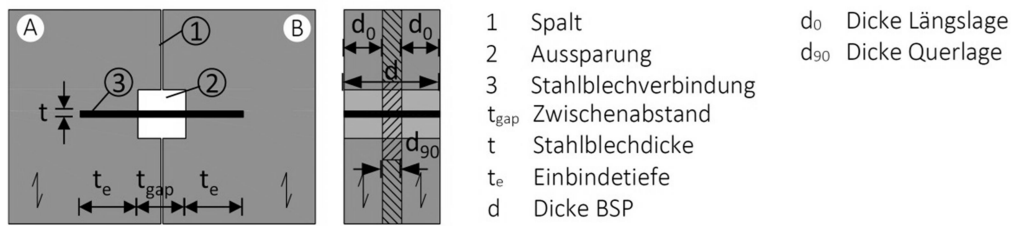


Abbildung 3-34: Dissipativer indirekter Kontaktverbinder (Schmidt, 2018)

Ein vergleichender Versuch mit $t_{\text{gap}} = 0 \text{ mm}$ und $t_{\text{gap}} = 50 \text{ mm}$ verdeutlicht die Auswirkungen der Aussparung zwischen den Bauteilen. Abbildung 3-35 veranschaulicht den Versuch und die Versagensmechanismen bei unterschiedlichen Zwischenabständen unter Schubbeanspruchung.

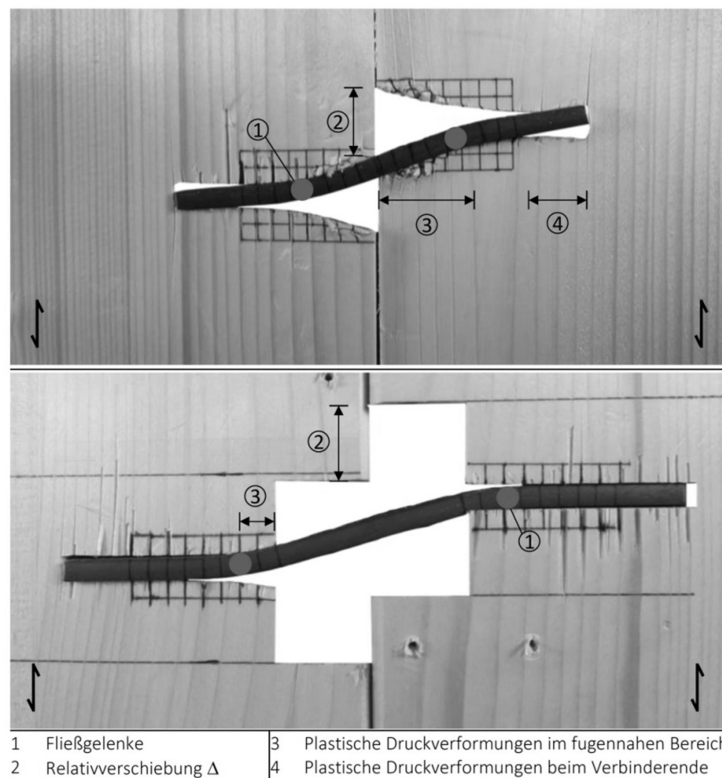


Abbildung 3-35: Deformierte Verbindung für $t_{\text{gap}} = 0 \text{ mm}$ (oben) und $t_{\text{gap}} = 50 \text{ mm}$ (unten) (Schmidt, 2018)

Wie in Abbildung 3-35 (oben) ersichtlich, treten bei einem Zwischenabstand von $t_{\text{gap}} = 0 \text{ mm}$ große plastische Druckverformungen im fugennahen Bereich auf, welche unter zyklischer Belastung zu „pinching“ führen (siehe Abbildung 3-36). Zudem konnten bei kleinen Zwischenabständen nach mehreren Lastzyklen plastische Druckverformungen am Verbinderende lokalisiert werden. Dieser Mechanismus ist in Form von Schlupf am Kraft-Verschiebungsdiagramm (siehe Abbildung 3-36) zu erkennen.

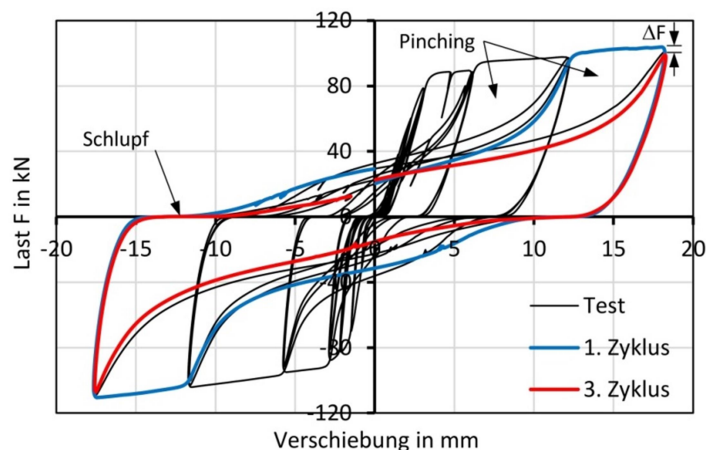


Abbildung 3-36: Lastverschiebungskurve für $t_{\text{gap}} = 0 \text{ mm}$ (Schmidt, 2018)

Um diesen Herausforderungen im Zusammenhang mit einem geringen Zwischenabstand zu entgehen werden die betroffenen Bereiche ausgekappt. Dadurch können sich minimale plastische Druckverformungen und ein definiertes Fließgelenk (siehe Abbildung 3-35 unten) ausbilden, was in weiterer Folge zu stabilen Hysterese-Kurven führt (siehe Abbildung 3-37). Je nach Größe des Zwischenabstandes liegen die Fließgelenke weiter innerhalb oder weiter zum Rand des Holzes. Mit größerem Zwischenabstand kann auch der Schlupf verringert werden.

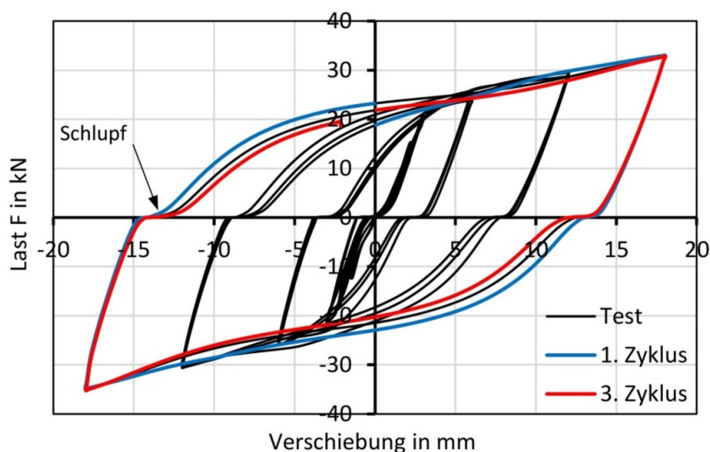


Abbildung 3-37: Lastverschiebungskurve für $t_{\text{gap}} = 50 \text{ mm}$ (Schmidt, 2018)

Analyse des indirekten dissipativen Kontaktverbinders

Der Verbinder ist charakterisiert durch eine robuste und einfach herzustellende Bauweise, welche zu einer kosteneffizienten Verbindungslösung führt. Das äußerst vorteilhafte Verhalten bezüglich Dissipation und Duktilität gleicht einer reinen Stahlverbindung (Schmidt, 2018). Anzumerken ist, dass diese Vorteile nur bei Schubbeanspruchung geltend gemacht werden können und für ein Aufklaffen der Fuge gesonderte Maßnahmen erforderlich sind. Bei der Aufnahme von Toleranzen ist auch bei diesem System wenig Spielraum vorhanden. Bauphysikalische Anforderungen und der Brandschutz können, ähnlich wie bei den übrigen indirekten Kontaktverbindern, relativ leicht eingehalten werden, mit Ausnahme von durchgängigen Stahlblechen (über die gesamte BSP-Elementdicke). In der Literatur von (Schmidt, 2018) wird der indirekte dissipative Kontaktverbinder hauptsächlich für den Einsatz im klassischen Längswandstoß angedacht, wobei sich hier eventuell Widersprüche im eigentlich geplanten Schubwandssystemverhalten einstellen (siehe Abschnitt 3-3.2.9).

3-2.6.7 Resümee

Im Verlauf der bisherigen Diskussion über Systemverbinder für die Holz-Massivbauweise mit BSP kristallisierte sich heraus, dass nur der X-bracket und der indirekte dissipative Kontaktverbinder für dynamische Lasten geeignet sind. Da sich diese beiden Systemverbinder aber erst in der Entwicklungsphase befinden, ist in der Praxis gegenwärtig nur die Standardlösung mittels Winkelverbindern anwendbar, welche bis zu einem gewissen Grad ein dissipatives Verhalten aufweist.

Im Folgenden werden Potentiale, primär anhand des dissipativen indirekten Kontaktverbinders, für künftige Systemverbinder abgeleitet. Neben den vorteilhaften Dissipationseigenschaften dieses Verbindungsmittels fällt die einfache Beeinflussung von Tragverhalten und Steifigkeit auf. Dies kann über die Parameter wie beispielsweise Material (z. B. Holzwerkstoffe, Stahl, etc.), Materialstärke (z. B. Stahlblechdicke t) und Zwischenabstand t_{gap} erfolgen. Legt man diesen Grundgedanken vom dissipativen indirekten Kontaktverbinder in abgewandelter Form und mit definierten Anforderungen an die Kontaktfuge um, resultieren daraus interessante Potentiale bezüglich eines neuen dissipativen Systemverbinders. Wie die erwähnten Anforderungen und ein konkreter Lösungsvorschlag aussehen können, wird in den Kapiteln 4 und 5 näher erläutert.

3-3 SYSTEMVERHALTEN MIT FOKUS AUF BSP-SCHUB-WANDSYSTEME

Es folgt nun eine Einführung in das Systemverhalten von BSP-Gebäuden mit Fokus auf Schubwandsysteme (siehe Abschnitt 3-3). Die genaue Betrachtung des Verhaltens der einzelnen Schubwand ist wichtig, da diese und deren Anschluss an umliegende Bauteile eine Schlüsselposition im Systemverhalten der Gesamtstruktur einnimmt. Um die optimalen Eigenschaften der Verbindung in dessen kontaktfugenbezogener Anwendung zu finden, gilt es allen voran zu definieren, welche Anforderungen / Erwartungen an die jeweiligen Anschlussfugen gestellt werden. Dafür ist es nötig noch einen Schritt weiter in Richtung des Gesamttragverhaltens zu gehen, um einen führenden „Gesamtversagensmechanismus“ festlegen zu können. Basierend auf dem dominierenden „Gesamtverformungs- / Gesamtversagensmechanismus“ und dem Verhalten der einzelnen Schubwand (siehe Abschnitt 3-3.2 und 3-3.3), lassen sich die gegenwärtigen (Abschnitt 3-3.4) und künftigen (Abschnitt 4-1.2) Anforderungen an die unterschiedlichen Kontaktfugen ableiten. Dabei werden die aktuellen Methoden bewertet und direkt dazu Alternativen angeboten.

3-3.1 SYSTEMVERGLEICH HOLZ-MASSIVBAUWEISE MIT BSP ZU HOLZRAHMENBAUWEISE

Als Einleitung soll ein klassisches BSP-Schubwandberechnungsmodell zum besseren Systemverständnis beitragen (siehe Abbildung 3-38). Das Berechnungsmodell soll vor allem die Begriffe Zuganker, Schubwinkel und den Kraftfluss in der BSP-Wandscheibe in groben Zügen veranschaulichen. In groben Zügen deshalb, da für ein genaues Schubwandberechnungsmodell eine Vielzahl an weiteren Einflussfaktoren / Randbedingungen (siehe Abschnitt 3-3.3 und 3-3.2.) zu berücksichtigen sind. In Abschnitt 3-3.3 und 3-3.2 werden zwar die Einflussfaktoren ausführlich diskutiert, jedoch aufgrund des Fokus dieser Arbeit keine adäquaten Berechnungsmodelle erläutert. Detaillierte Berechnungsmodelle werden in der Literatur von (Flatscher, 2017) angeführt, aus welcher unter anderem auch das hier vorgestellte Berechnungsmodell nach (Ceccotti, et al., 2006) entnommen wurde.

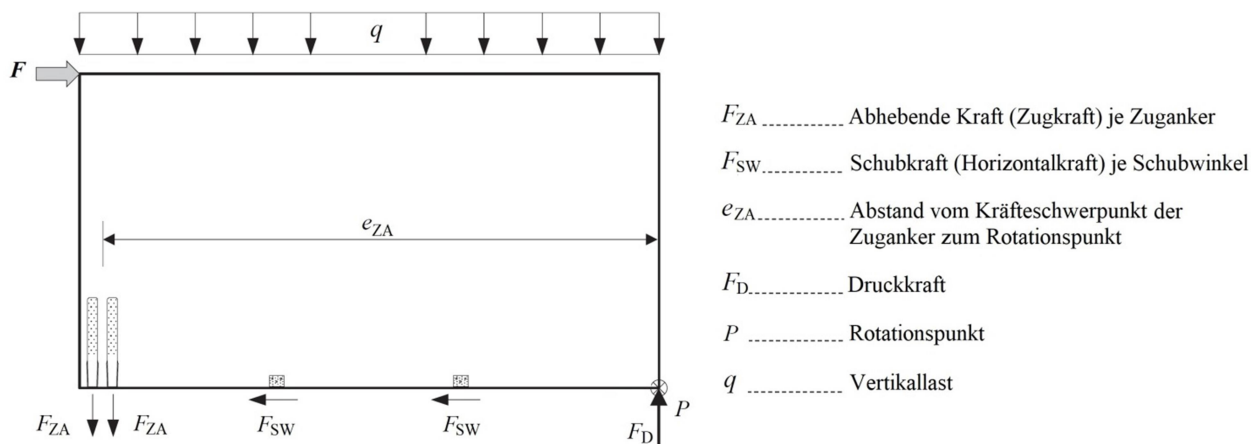


Abbildung 3-38: Vereinfachtes Berechnungsmodell für eine horizontal beanspruchte Wandscheibe aus BSP (Ceccotti, et al., 2006); - überarbeitet von (Flatscher, 2017) und dem Verfasser der vorliegenden Arbeit

In detaillierten Berechnungsmodellen werden die Anschlüsse meist mittels Federn charakterisiert, da so Verbindungsmittelsteifigkeiten und sonstige systemabhängige Steifigkeiten berücksichtigt werden können.

Um einen Systemvergleich zwischen der Holz-Massivbauweise mit BSP und der Holzrahmenbauweise zu ermöglichen, ist es nötig, die verschiedenen Verformungsmechanismen einer Wandscheibe unter Horizontallast (Schubwand) zu kennen (siehe Abbildung 3-39). Die Verformungsmechanismen lassen sich dazu in die Kategorie Biegung, Schub, Translation (des starren Wandkörpers) und Rotation (des starren Wandkörpers) unterteilen.

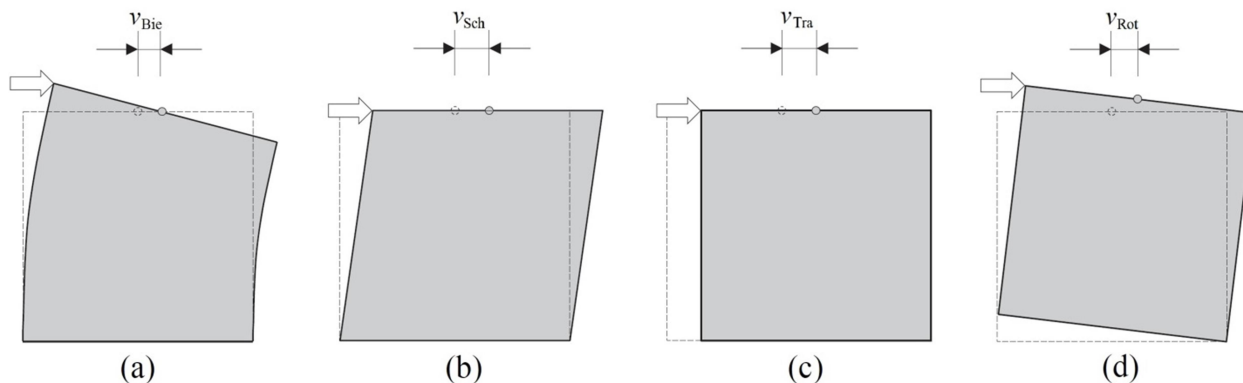


Abbildung 3-39: Prinzipielle Verformungs- / Verzerrungsmechanismen einer Wandscheibe unter Horizontallast – (a) Biegung, (b) Schub, (c) Translation, (d) Rotation (Flatscher, 2017)

Der real auftretende Verformungs- / Verzerrungszustand ist immer als eine Kombination dieser vier Mechanismen zu sehen. Die totale Kopfverschiebung, v_{Total} , kann dabei mit Gl. (3.1) angegeben werden.

$$v_{Total} = v_{Bie} + v_{Sch} + v_{Tra} + v_{Rot} \quad (3.1)$$

Die Gesamtsteifigkeit der Wand, k_{Total} , kann nach Gl. (3.2) berechnet werden.

$$k_{Total} = \frac{1}{\frac{1}{k_{Bie}} + \frac{1}{k_{Sch}} + \frac{1}{k_{Tra}} + \frac{1}{k_{Rot}}} \quad (3.2)$$

Die vergleichende Betrachtung soll neben dem Verständnis für das Schubwandverhalten der einzelnen Bauweisen, ebenso ein Bewusstsein der verschiedenen Kontaktfugen- / Verbindungsmittelanforderungen

ermöglichen. So werden zum Beispiel Translation und Rotation überwiegend durch „äußere“ Parameter (z. B. Verbindungsmittelanzahl, Untergrundbeschaffenheit, Wandgeometrie, Lastsituation, etc.) beeinflusst, wobei Biegung und Schub primär von „inneren“ Einflussgrößen (z. B. Aufbau, Schubsteifigkeit, E-Modul) der Wand abhängig sind.

Basierend auf den diesen vier Verformungsmechanismen werden nun Unterschiede in den Bauweisen dargelegt. In Abhängigkeit von den „inneren“ und „äußeren“ Einflussgrößen tragen die unterschiedlichen Mechanismen zu unterschiedlichen Anteilen zur Gesamtwandverformung bei. Mit speziellen Berechnungsmodellen lassen sich diese Anteile berechnen. Ein analytischer Vergleich nach (Casagrande, et al., 2016) zwischen einer BSP- und einer Holzrahmenwand soll unter selben Rahmenbedingungen (Wandgeometrie, Belastungssituation und Befestigung am Untergrund) die unterschiedlichen Verformungsanteile an der Gesamtkopfverschiebung verdeutlichen. Abbildung 3-40 veranschaulicht die zu vergleichenden Wände und stellt somit die Ausgangssituation des Vergleiches dar (Wandlänge l ist gleich der Wandhöhe h ; $l/h = 1,0$).

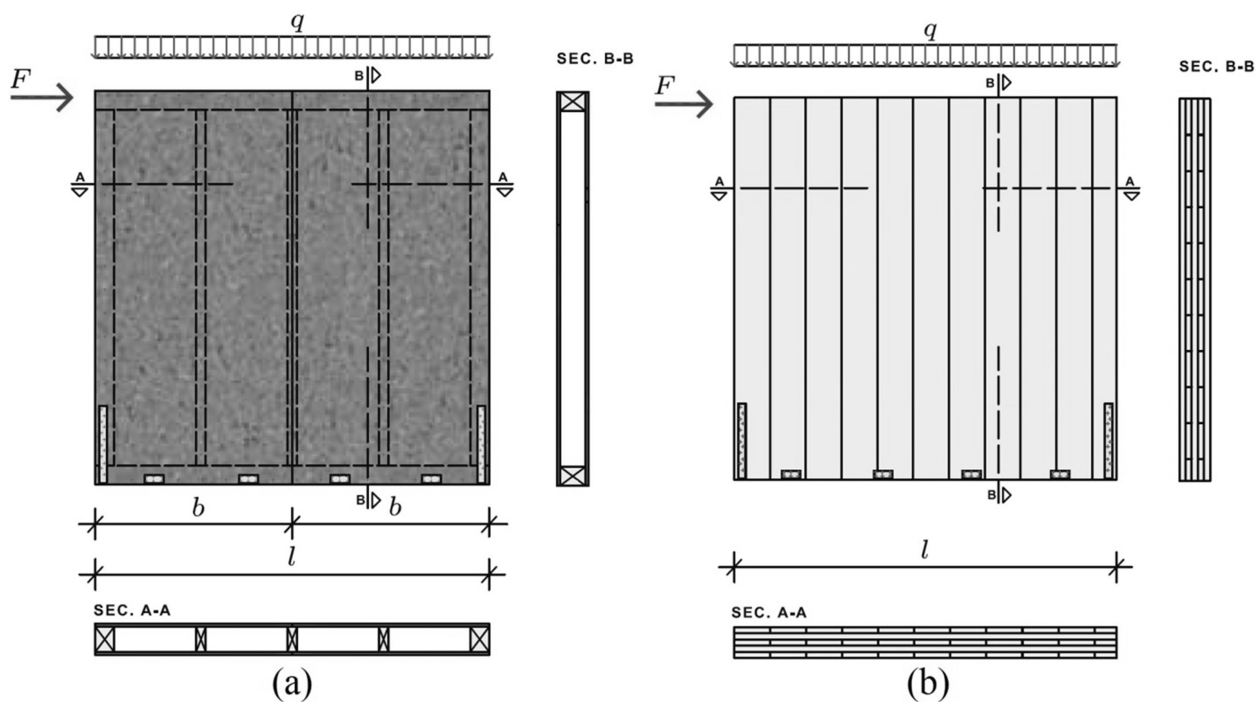


Abbildung 3-40: Ausgangssituation für den analytischen Vergleich einer Holzrahmenwand (a) und einer BSP-Wand (b) (Casagrande, et al., 2016); - überarbeitet

Abbildung 3-41 veranschaulicht den prozentualen Deformationsanteil, welche den unterschiedlichen Verformungsmechanismen geschuldet sind.

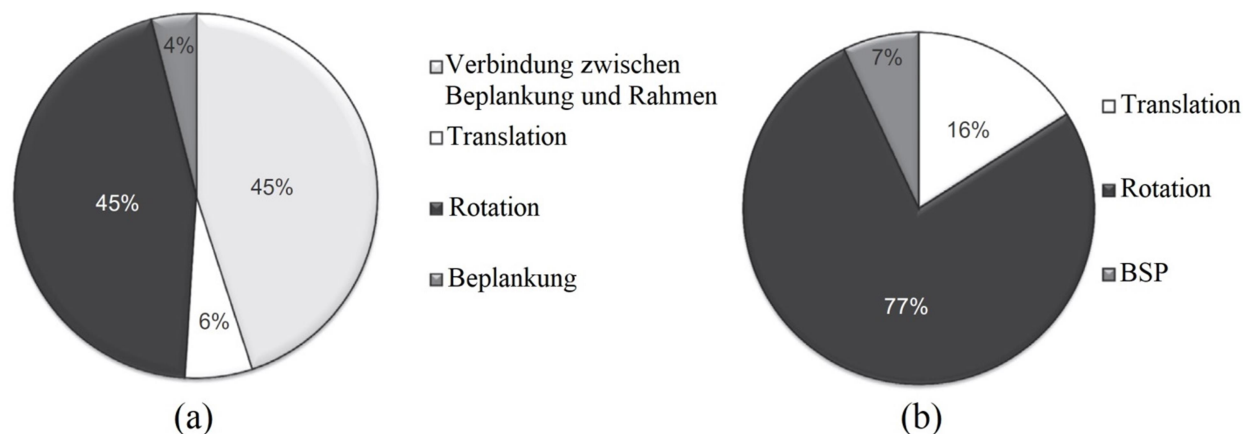


Abbildung 3-41: Relative Anteile der unterschiedlichen Verformungsmechanismen – (a) Holzrahmenwand, (b) BSP-Wand (Casagrande, et al., 2016); - frei aus dem Englischen übersetzt

Hier ist klar erkennbar, dass die Verformung einer Holzrahmenwand fast zur Hälfte (45 % aus der Verbindung zwischen Beplankung und Rahmen sowie weitere 6 % aus der Beplankung selbst) dem Tragelement selbst zugeordnet werden kann. Bei der BSP-Wand liegt dieser Anteil bei lediglich 7 %, was die hohe Schub- und Biegesteifigkeit von BSP bei Scheibenbeanspruchung zum Ausdruck bringt. Anders ausgedrückt kann bei einer Holzrahmenwand eine Verformung über die Wand selbst erfolgen, wohingegen dies bei einer BSP-Wand beinahe ausschließlich über die Verbindungen der Wand zu weiteren Bauteilen („äußere“ Einflüsse) geschieht. Für die Holzrahmenbauweise ist das Verhältnis „innerer“ zu „äußerer“ Einflüsse unter anderem deswegen sehr ausgewogen, da die Verbindungsmittel speziell für diese Bauweise konzipiert wurden und die Holzrahmenwand selbst generell ein schubweicherer Verhalten aufweist. Zudem lässt sich schlussfolgern, dass duktiler Systemverhalten bei BSP-Wänden nahezu ausschließlich über die Verbindungen, als „äußere“ Parameter, zu erfolgen hat. Um den Verformungsanteil und parallel zu diesem die Ausnutzung des Leistungspotentials von BSP zu steigern, ist es notwendig die Leistungsfähigkeit der Anschlussfugen zu erhöhen. Diese Erkenntnis soll erneut das Bedürfnis leistungsfähigerer Verbindungstechnik in der Holz-Massivbauweise mit BSP untermauern.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei BSP-Schubwänden Translation und Rotation die führenden Verformungsmechanismen sind, welche über „äußere“ Parameter gesteuert werden. Diese hauptsächlich „äußeren“ Parameter werden nun unter Abschnitt 3-3.2 diskutiert. Segmentierte Wände (siehe Abschnitt 3-3.2.9; meist aus kleinformatischen Elementen) können unter der Betrachtung „äußere“ Parameter je nach Ansichtswinkel einen Grenzfall zu „inneren“ Parametern darstellen.

3-3.2 PARAMETERANALYSE AN BSP-SCHUBWANDSYSTEMEN

3-3.2.1 Randbedingungen des Modellaufbaues für die Parameterstudie

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Flatscher, 2017) vorgestellten Erkenntnissen.

Die folgend beschriebenen Einflussgrößen auf die Kontaktfugeneigenschaften beruhen auf den aktuellen Ausbildungsformen der Kontaktfugen, welche in Abschnitt 3-2 näher beschrieben sind. Im Speziellen sollen die Effekte auf Tragfähigkeit, Gesamtkopfverschiebung, Steifigkeit und Translationsverteilung diskutiert werden. Das hier vorgestellte Modell und deren Einflussgrößen sollen Steuerungsmöglichkeiten am komplexen Systemverhalten einer BSP-Schubwand anbieten. Durch ein ähnliches Systemverhalten bei künftigen Verbindungen können daraus Erkenntnisse und Anforderungen abgeleitet werden.

Die unter diesem Abschnitt eingeführten Randbedingungen des Modellaufbaues für die Parameterstudie gelten für die in Abschnitt 3-3.2.2 bis 3-3.2.5 diskutierten Modellvorhersagen.

Alle Modellvorhersagen /-berechnungen liefen unter den gleichen Grundvoraussetzungen ab: Es wurden fünf-schichtige BSP- Elemente mit einer konstanten Schichtdicke von 20 mm ($t_{\text{BSP}} = 100 \text{ mm}$) und einer Höhe von 3,0 m verwendet. Als Verbinder wurden Winkelverbinder eingesetzt. Alle hierbei ermittelten Ergebnisse basieren auf einer Modellkonfiguration, bei der die Wände auf einem starren Fundament (Stahlträger) befestigt wurden. Abbildung 3-42 stellt den Modellaufbau und dessen Variablen überblicksmäßig dar. Detailliertere Angaben sind (Flatscher, 2017) zu entnehmen.

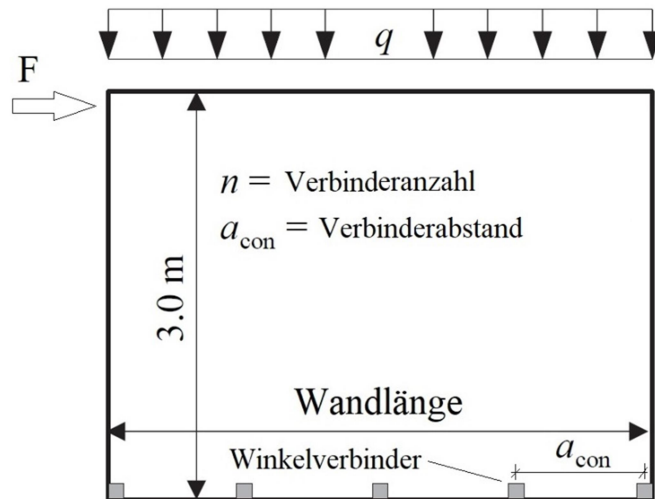


Abbildung 3-42: Überblick des Modellaufbaus für die Parameteranalyse der Anschlusssteifigkeiten; Grundgrafik, basierend auf (Flatscher, 2017)

3-3.2.2 Wandlänge und Verbinderanzahl

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Flatscher, 2017) vorgestellten Erkenntnissen.

Die Wandlänge (l) und die Verbinderanzahl gelten als wesentliche Einflussfaktoren auf die Tragfähigkeit eines BSP-Wandsystems, wobei die Einflüsse zufolge verschiedener Wandlängen und Verbinderabständen in Abbildung 3-43 veranschaulicht sind. Die vertikale Last und der Reibbeiwert lagen dabei konstant bei 15 kN/m und 0,2.

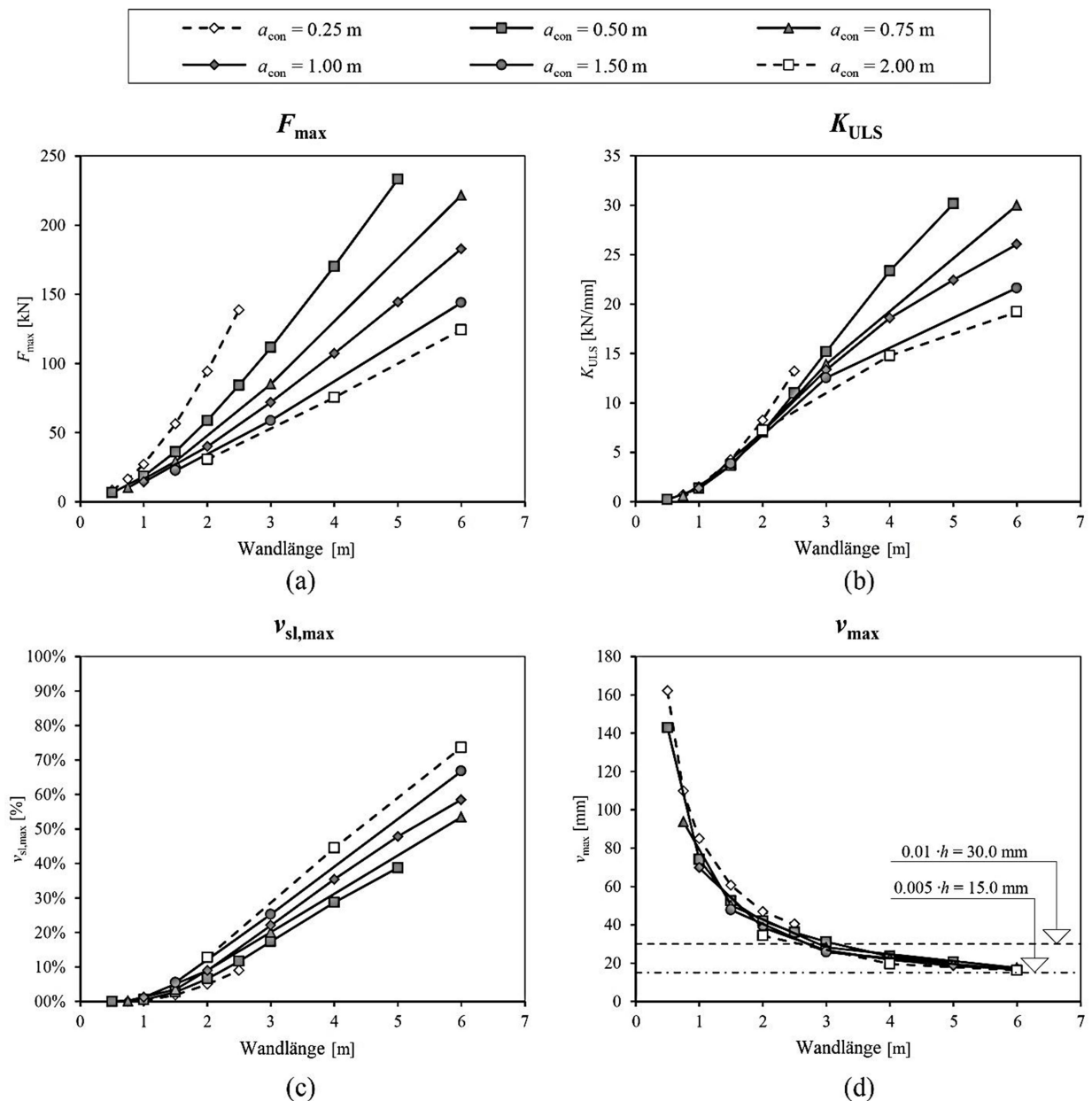


Abbildung 3-43: Einfluss der Wandlänge und des Verbinderabstandes auf ausgewählte BSP-Wandparameter – (a) Maximalkraft; (b) Anfangssteifigkeit; (c) Translationsanteil zur Gesamtkopfverschiebung; (d) Kopfverschiebung beim Erreichen der Maximalkraft F_{max} (Flatscher, 2017); - frei aus dem Englischen übersetzt

(Flatscher, 2017) hielt dazu fest (frei aus dem Englischen übersetzt): „Die Tragfähigkeit des BSP-Wandsystems ist deutlich von der Wandlänge und der Anzahl an Verbinder abhängig. Im Speziellen gilt: umso länger die Wand und je geringer der Verbinderabstand, desto höher ist die resultierende Maximallast. Eine ähnliche Beziehung kann für die Anfangssteifigkeit beobachtet werden, welche in Abbildung 3-43 (b) ersichtlich ist. Folglich Abbildung 3-43 (c) steigt der Translationsanteil ebenso mit der Wandlänge, aber fällt mit abnehmendem Verbinderabstand. Konzentriert man sich auf den Translationsanteil kann festgestellt werden, dass bei einem Längen- zu Höhen-Verhältnis größer als zwei ($l/h > 2,0$), Translation der führende Mechanismus wird. Gemäß Abbildung 3-43 (d), hängt der Verlauf des Parameter v_{max} in erster Linie von der Wandlänge ab und nur zu einem geringeren Anteil von der Verbinderanzahl.“

3-3.2.3 Resümee

Aus den in Abschnitt 3-3.2.2 dargelegten Erkenntnissen lässt sich ableiten, dass alleine durch eine längere Wand die Leistungsfähigkeit einer BSP-Schubwand gesteigert werden kann. Ist das Längen- zu Höhen-Verhältnis kleiner als 2,0, wird die Wandverformung primär durch die Rotationssteifigkeit beeinflusst. Für die Rotationssteifigkeit ist in erster Linie der Zuganker verantwortlich. Schafft man es, die Steifigkeit und gleichzeitig die Tragfähigkeit des Zugankers zu erhöhen, lässt sich gleichzeitig die Wanddeformation minimieren und die Leistungsfähigkeit des Brettsperrholzes besser nutzen. Um trotz des spröden Zugankers ein duktiler und dissipatives Schubwandverhalten zu garantieren, müssen diese Anforderungen in der Translationsverformung realisiert werden. Unterschiedlich hohe Kräfte (in den Verbindungen) - in verschiedene Richtungen - mit unterschiedlichen Steifigkeits- und Dissipationsanforderungen – mit einer Art Umschaltmechanismus in einem Verbindungsmittel zu fusionieren, ist wahrscheinlich möglich. Der große Nachteil wird hier in der wirtschaftlichen Umsetzbarkeit gesehen, da die Verbindungslösungen technisch sehr aufwändig werden. Lässt die Konstruktion eine Ausbildung von langen Schubwänden ($l/h > 2,0$) zu, könnten dadurch sogar Zuganker im Schubwandsystem eingespart werden. Diese Überlegungen und jene aus Abschnitt 3-3.2.12 untermauern den Ansatz Zuganker und Schubverbindung (derzeit als Winkelverbinder) künftig getrennt und mit gezielten Anpassungen an die jeweiligen Kontaktfugen in Form von „Expertenverbindern“ auszuführen.

3-3.2.4 Größe der Vertikallast

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Flatscher, 2017) vorgestellten Erkenntnissen.

Der Einfluss der vertikalen Last wurde unter Variation der Länge (1,0 m bis 6,0 m) und der Vertikallast (0 kN/m bis 50 kN/m), bei konstantem Verbinderabstand ($a_{con} = 1,0$ m), Reibbeiwert ($\mu_f = 0,2$) und Wandhöhe ($h = 3,0$ m), analysiert. Abbildung 3-44 zeigt die Ergebniskurven aus Maximallast, Anfangssteifigkeit und Translationsanteil über die Wandlänge.

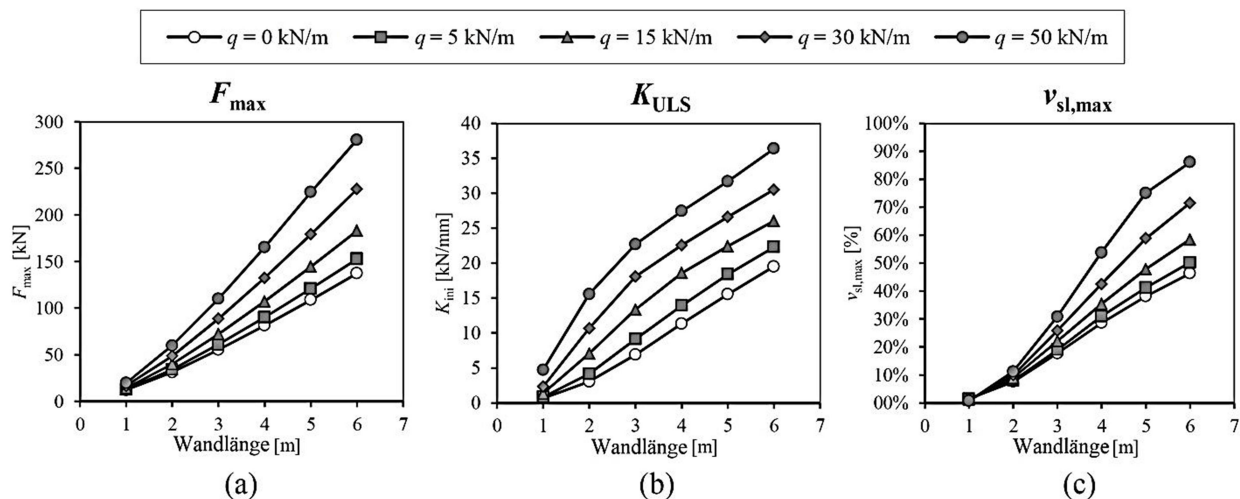


Abbildung 3-44: Einfluss der Vertikallast auf ausgewählte BSP-Wandparameter – (a) Maximallast; (b) Anfangssteifigkeit; (c) Translationsanteil zur Gesamtkopfverschiebung (Flatscher, 2017); - frei aus dem Englischen übersetzt

Dazu wieder aus (Flatscher, 2017), frei übersetzt aus dem Englischen: „Eine steigende Vertikallast bedeutet eine höhere Tragfähigkeit und bessere Steifigkeitseigenschaften. Eine Vertikallast von 50 kN/m bedeutet rund eine Verdoppelung der übertragbaren Maximallast verglichen mit der Modellkonfiguration ohne Vertikallast. Bei der Anfangssteifigkeit ist der Effekt noch mehr gegeben, wobei sich dieser bei längeren Wänden reduziert. Ein bedeutender Einfluss ist auch in Anbetracht des Beitrags zur Gesamtkopfverschiebung der Wand zu beobachten. Als Konsequenz muss das l/h Verhältnis verringert

werden wenn eine Vertikallast angreift, da schon früher Translation als führender Mechanismus auftritt (z. B. auf ungefähr $l/h = 1,5$ für eine Vertikallast von 50 kN/m).“

3-3.2.5 Reibbeiwert

Die in diesem Abschnitt behandelten Themen beruhen auf den in (Flatscher, 2017) vorgestellten Erkenntnissen.

Um den Einfluss des Reibbeiwerts auf ein BSP-Schubwandsystem zu zeigen, wurden Modellkonfigurationen mit verschiedenen Wandlängen (1,0 m bis 6,0 m), Reibbeiwerte (0,0 bis 0,3) und unterschiedliche Vertikallasten (10 kN/m und 50 kN/m) berechnet. Der Verbinderabstand liegt konstant bei 1,0 m. Die Berechnungsergebnisse sind in Abbildung 3-45 ersichtlich. Der Einfluss der Reibung ist durchaus signifikant und erhöht sich gleichzeitig mit einer größeren Vertikallast. Ein höherer Reibbeiwert bedeutet einen Anstieg der Tragfähigkeit und der Steifigkeitseigenschaften (siehe Abbildung 3-45 (a) und (b)). Dazu wieder aus (Flatscher, 2017), frei übersetzt aus dem Englischen: „Der Translationsanteil verringert sich, wenn man einen höheren Reibbeiwert berücksichtigt. Dieser Einfluss reduziert sich bei ansteigender Wandlänge (siehe Abbildung 3-45 (c)).“

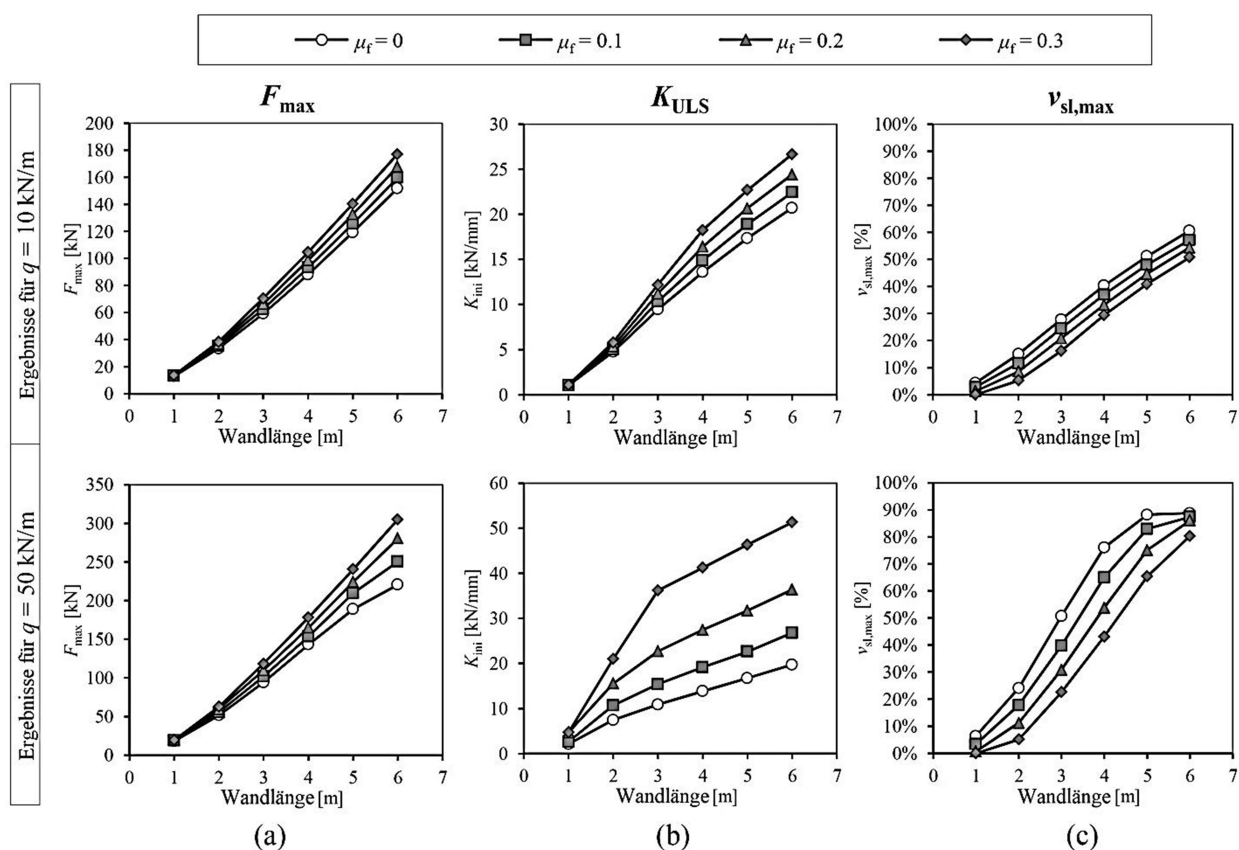


Abbildung 3-45: Einfluss der Reibung auf ausgewählte BSP-Wandparameter bei unterschiedlicher Vertikalbelastung – (a) Maximallast; (b) Anfangssteifigkeit; (c) Translationsanteil zur Gesamtkopfverschiebung (Flatscher, 2017); - frei aus dem Englischen übersetzt

3-3.2.6 Lagerung

Bei der Entwicklung des in Abschnitt 3-2.6.5 beschriebenen dissipativen indirekten Kontaktverbinders stellte sich im Versuchsverlauf heraus, dass die Kopfverschiebungen in einem Zusammenhang mit der Lagerungsform der Decken stehen. Unter der Lagerungsform wird hier das Schallschutzlager in Kombination mit der Bauweise (z. B. „Plattform“- oder „Balloon“-Bauweise) verstanden. So bemerkte man, dass bei der Verwendung von Schallschutzlagern mit durchaus größeren Verformungen im System zu rechnen ist. Die Einhaltung der Grenzstockwerksverschiebungen werden in der angeführten Literatur

(Schmidt, 2018) angezweifelt. Weiter wird in (Schmidt, 2018) angemerkt, dass die Tragfähigkeit und Leistungsfähigkeit des Systems in ungewissem Maße beeinflusst werden. Eine Auseinandersetzung mit diesem Thema für weitere Forschungsvorhaben ist somit essentiell.

3-3.2.7 Öffnungen

Auch Öffnungen beeinflussen das Verhalten einer Schubwand oder einer in Scheibenebene belasteten Decke. Ein wesentlicher Einfluss auf das Systemverhalten wird sich wahrscheinlich erst bei großen Öffnungen abzeichnen. Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit werden diese Einflüsse nicht weiter betrachtet.

3-3.2.8 Resümee

Es kann wie folgt zusammengefasst werden: Der Einsatz von langen BSP-Schubwänden (im Sinne von $l/h > 2,0$) bewirkt nicht nur eine geringere Rotationsverformung, sondern wirkt sich auch in Kombination mit Reibung positiv auf die Tragfähigkeit und die Translationsverformung aus.

Eine hohe Vertikallast steigert die Leistungsfähigkeit der Anschlussfuge ohne zusätzliche Maßnahmen (z. B. höhere Verbinderanzahl) in ähnlicher Weise wie dies bei einem steigenden l/h Verhältnis beobachtbar ist. Beide Parameter verringern bei einem Anstieg den Rotationsverformungsanteil der Schubwand. Dies ist insbesondere von Bedeutung, wenn durch segmentierte Wände (siehe Abschnitt 3-3.2.9) Duktilität oder Dissipation im Systemverhalten angestrebt wird.

Es sei nochmals anzumerken, dass über die Parameter Wandlänge und Reibung ohne zusätzlichen Verbinderaufwand, nur über konstruktive Maßnahmen, die Leistungsfähigkeit der Anschlussfuge gesteigert werden kann. Außerdem wurde durch die bisher analysierten Parameter kein mechanischer Vorteil an kurzen oder segmentierten BSP-Schubwänden festgestellt. Im folgenden Abschnitt wird dieses Thema noch eingehender behandelt.

3-3.2.9 Vertikalstoßverbindungen / Segmentierung

Vertikalstoßverbindungen sind prinzipiell Längswandstöße in einem BSP-Schubwandsystem. Hierfür werden hauptsächlich kleinformatische BSP-Elemente aneinandergereiht. Es können aber auch längere Wandsegmente verwendet werden. Durch diese kleinteiligen Elemente möchte man bewusst eine Verformung mit Rotation als führenden Verformungsmechanismus erreichen. Infolge der rotierenden BSP-Wandsegmente wird eine Verschiebung (zufolge Schub) entlang der Vertikalfuge hervorgerufen. Anders als bei nicht segmentierten (großformatigen) BSP-Schubwänden, wo nur in den horizontalen Anschlussfugen duktiler und dissipativer Verhalten erreicht werden kann, besteht hier die zusätzliche Möglichkeit dies in der Vertikalfuge umzusetzen. Grundvoraussetzung dafür sind nicht nur geometrische Rahmenbedingungen (z. B. mindestens $l/h < 2,0$) sondern auch Verbinder, welche eine duktile und dissipative Vertikalfugenausbildung ermöglichen. Abbildung 3-46 (a) veranschaulicht die Verformung einer uneingeschränkten Vertikalstoßverbindung und leitet gleichzeitig in Abbildung 3-46 (b) zu einer reduzierten / eingeschränkten Vertikalstoßverschiebung über.

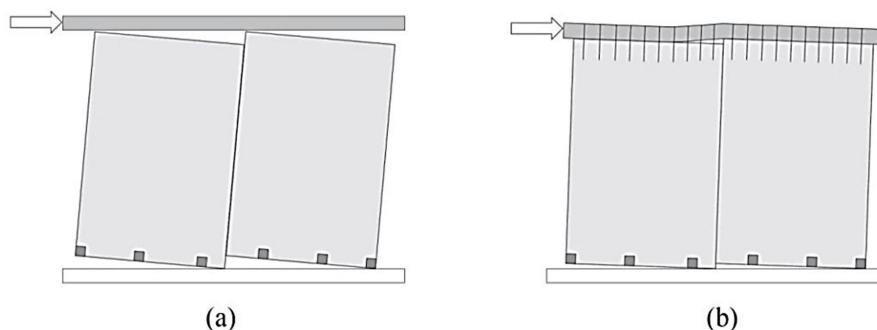


Abbildung 3-46: Verhalten einer Vertikalstoßverbindung – (a) ohne Einschränkung; (b) reduzierte Vertikalstoßverschiebung durch den Kopfanschluss (Flatscher, 2017)

Die Einschränkung in der Verschiebung der Vertikalfuge kann nicht nur aus der Missachtung der zuvor beschriebenen Grundvoraussetzungen (l/h -Verhältnis und Verhalten der Vertikalstoßverbindung) resultieren, sondern ist von einer Vielzahl weiterer Einflussgrößen, welche teils bereits zuvor diskutiert wurden, abhängig. Überblicksmäßig werden diese hier noch einmal zusammengefasst in den Eigenschaften (Steifigkeits- / Tragfähigkeitsverhältnis) Kopf- und Fußanschluss („Wand | Decke“ und Wand | Fundament), der Größe der Vertikallast, dem Reibbeiwert und dem Querwandstoß (siehe Abschnitt 3-3.2.11). Diese Einflüsse sind oft schwer in der Konzeptionierung eines Tragsystems zu berücksichtigen, da es hierzu wenige Forschungsergebnisse gibt und diese oft aufwändig (z. B. Eck-Wandstoß) zu ermitteln sind. Die Einflüsse auf das Verhalten der Schubwand sind durchaus signifikant und bedürfen einer Berücksichtigung. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Implementierung von Vertikalfugenverbindungen das Potential haben, die Verschiebungseigenschaften von langen BSP Wandsystemen, wie gefordert, hinsichtlich Duktilität und Dissipation zu verbessern. Allerdings muss man anmerken, dass die Vertikalfugenverbindung nur bei Rotation oder Biegebeanspruchung („in“ Scheibenebene) der Wandscheibe aktiviert wird. Mit anderen Worten ausgedrückt: Sobald Rotation verhindert wird (z. B. bei steifen Vertikalfugenanschlüssen, steif verschraubten Kopfanschlüssen oder hohen Vertikallasten) verschwindet die gewünschte Systemauswirkung der Vertikalfugenverbindung. Als Konsequenz führt die Implementierung von Vertikalfugenverbindungen ohne Berücksichtigung der Randbedingungen zu einer Fehlinterpretation des Wandsystemverhaltens, was in weiterer Folge zu einer unzuverlässigen Konzipierung dessen führt.

3-3.2.10 Resümee

Wie in Abschnitt 3-3.2.9 dargelegt, wird das dissipative Verhalten von Vertikalstoßverbindungen durch mehrere Parameter beeinflusst, welche teils schwierig zu ermitteln sind. Beispielsweise wirkt sich die Kopfverschraubung auf die Verformbarkeit von Vertikalstößen aus und somit auf die Eigenfrequenz des Gebäudes. Die Eigenfrequenz des Gebäudes wirkt sich wiederum auf die Größe der einwirkenden Erdbebenlasten aus. Aus diesem Grund sind keine wesentlichen Vorteile in der Anwendung von segmentierten Wänden zur Erhöhung der Duktilität und des Dissipationsvermögen erkennbar. Hinzu kommt, dass der Vorteil langer Schubwände ($l/h > 2,0$), in Zusammenhang mit einer „natürlichen“ Leistungssteigerung (ohne zusätzlichem Verbindungsmittelaufwand) ungenutzt bleibt. Wie bereits in Abschnitt 2-1.2 erörtert, ist die Anwendung kleinformatiger BSP-Elemente mit einer höheren Stoßfugenanzahl verbunden, was im Wesentlichen den Montageaufwand erhöht und daher auch aus wirtschaftlicher Sicht zu hinterfragen ist.

In der nachfolgenden Entwicklung von Systemverbindern wird der Fokus auf nichtsegmentierte Schubwandsysteme gelegt. Diese Grundsatzentscheidung hat zur Folge, dass duktiles und dissipatives Verhalten ausschließlich in den Horizontalfugen der Schubwand passieren kann und dies durch die Verbindungen ermöglicht werden muss (siehe Abschnitt 4-1.2). Wenn Vertikalstoßverbindungen benötigt werden (z. B. wegen Transport- / Montagegründen), sind diese möglichst steif auszubilden, um ein nicht segmentiertes Schubwandverhalten anzunähern.

3-3.2.11 Querwandanschlüsse

Das bisher vorgestellte Schubwandmodell und die Einflussfaktoren stellen eine sehr isolierte Systembetrachtung von einzelnen in Scheibenebene beanspruchten BSP-Wänden dar. In der Realität wird dieser Fall sehr selten eintreffen, da die Wand in Form von Eckstößen oder T-Wandstößen (zusammengefasst als Querwandstöße) mit anderen Wänden verbunden ist. Zudem ist die Wand nicht nur am Wandfuß, sondern auch am Kopf (siehe Abbildung 3-46 (b)) mit dem übrigen Tragsystem verbunden. Es folgt nun ein Beispiel, welches die Einflüsse von Wandanschlüssen an einem gedanklich noch immer eindimensionalen Schubwandmodell näher bringen soll. Die Rahmenbedingungen sind der Abbildung 3-47 zu entnehmen. Die Befestigung der Wände erfolgt mittels herkömmlichen Winkelverbindern und Zugankern am Untergrund. Der T-Wandanschluss wird mittels einer Schraubverbindung realisiert.

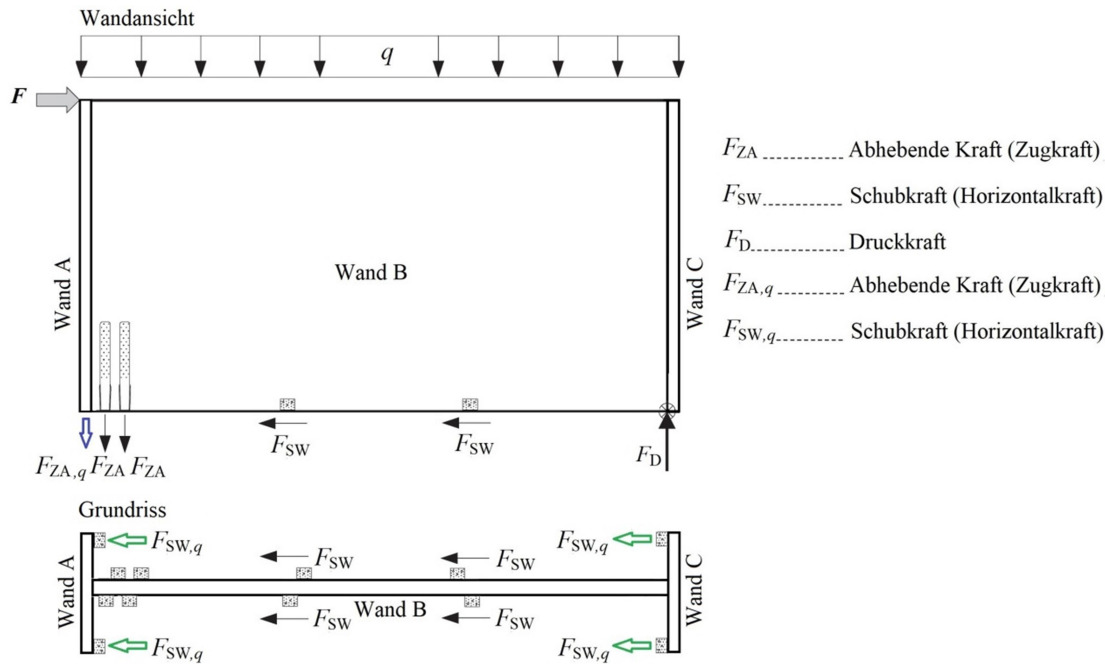


Abbildung 3-47: Beispiel zur Veranschaulichung der Einflüsse eines Wandanschlusses auf ein „eindimensionales“ Schubwandsystem mit postuliertem Kraftfluss

Bleibt man der Einfachheit halber gedanklich in diesem eindimensionalen Schubwandmodell, würde ein T-Wandanschluss zu einer Verstärkung der Zuganker ($F_{ZA,q}$) beitragen. In der Annahme ist genügend Tragvermögen im T-Wandanschluss vorhanden, um die Zugkraft aufzunehmen und in die Winkelverbinder der Wand A und C einzuleiten. Als Konsequenz wird dadurch die Rotationssteifigkeit der Wand zunehmen und der Rotationsverformungsanteil wird sich minimieren. Die Auswirkung am Gesamtsystem wäre in einem steiferen Systemverhalten erkennbar. Als zweiten Effekt würden die Winkelverbinder ($F_{SW,q}$) aus Wand A und C bis zu einem gewissen Maße die Translationsverformung beeinflussen, da sie aus der Scheibenebene von Wand A und C ebenso in der Lage sind, Kräfte aufzunehmen. Die Wände A und C werden dabei aus der Ebene biegebeansprucht. Dieses Zusammenwirken hat die Folge, dass die Translationsverformungen minimiert werden und das Systemverhalten translationssteifer wird. Das Beeinflussungsausmaß von Rotations- und Translationsverformung ist von den Steifigkeitsverteilungen im System abhängig, welche durchaus schwierig zu bestimmen sind. Die Zuganker bleiben in dieser Betrachtung als Schubübertragungselement unberücksichtigt.

3-3.2.12 Resümee

Um ein zuverlässiges und nachvollziehbares Systemverhalten / Berechnungsmodell zu erzeugen, liegt eine mögliche Lösung in der starken Reduktion (quasi Ausgrenzung) von einen der beiden dominierenden Versagens- / Verformungsmechanismen (Rotation, Translation). Auffallend ist, dass viele Einflussgrößen (z. B. Wandlänge, Größe der Vertikallast, Querwandanschlüsse) eines Schubwandsystems das Rotationsvermögen einschränken. Neben diesen ermöglichen auch einfache konstruktive Maßnahmen (z.B. $l/h > 2,0$, eventuell vorgespannte Tragstrukturen) die Ausgrenzung von Rotation als Versagensmechanismus. Diese Gründe führen zum Entschluss in der weiteren Entwicklung eines Systemverbinders die Voraussetzungen so zu definieren, dass Rotation als Versagensmechanismus bei BSP-Schubwänden weitgehend ausgeschlossen wird. An dieser Stelle gilt es anzumerken, dass eine alleinige Ausgrenzung von Rotation als Versagensmechanismus eine zu wenig konkretisierte Anforderung darstellt. Ergänzend zu dieser Anforderung gilt es sicherzustellen, dass Zuganker und Schubverbinder unabhängig voneinander und im Sinne ihres Zweckes im Verhalten gesteuert werden können (siehe auch Abschnitt 4-2.2.2). Diese Anforderungen haben zur Folge, dass über die Schubverbindung Duktilität und Dissipation sichergestellt werden müssen. Außerdem wird es als

notwendig erachtet, den Zuganker mit entsprechend hohen Steifigkeiten und Tragkapazitäten auszustatten, um die Rotationsverformungen möglichst gering zu halten. Die genauen Definitionen der jeweiligen Kontaktfugenanforderungen erfolgen komprimiert in Abschnitt 4-1.2.

3-3.3 BOX- / SYSTEMVERHALTEN

Wie in Abschnitt 3-3.2.11 angeführt, ist eine isolierte Schubwandbetrachtung als Einzelsystem zur Beurteilung eines realen Systemverhaltens einer Tragstruktur nicht ausreichend. Im Box-Verhalten wirken Wände und Decken / Fundament gemeinsam gegen die horizontale Beanspruchung und eine klare Verteilung der Kräfte ist im Allgemeinen nur bedingt nachvollziehbar, wobei die Komplexität zudem mit der Anzahl der Geschoße und der Wände sowie Nutzungsunterschiede innerhalb der Geschoße steigt. Zudem können die Verschiebungen ebenso nicht mehr exakt einer Wand zugeordnet werden, da sich die ganze Box als solche verschiebt. Die Deckenanschlüsse und die Decke selbst tragen zur Lastverlagerung bei und schränken das Rotationsvermögen einzelner Schubwände ein. Wie sich die Verschiebung bei BSP-Gebäuden verhält, ist stark vom Schubwandverhalten aber vor allem von den Kenngrößen der Kontaktfugen abhängig. Analog zur einzelnen Schubwand können auch am Gebäude die unterschiedlichen Verzerrungsmechanismen auftreten (siehe Abbildung 3-48).

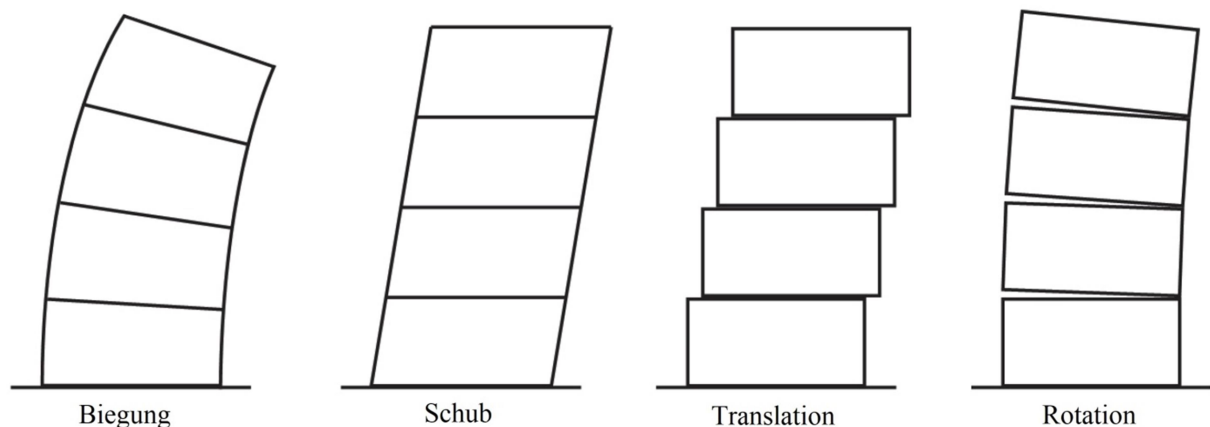


Abbildung 3-48: *Prinzipielle Verformungsmechanismen mehrerer BSP-Geschosse / BSP-Boxen unter Horizontallast (Abeyseker, et al., 2018); - frei aus dem Englischen übersetzt*

Auch hier wird der real auftretende Verformungsmechanismus eine Kombination der vier Mechanismen sein. Das einzelne Geschoss / die einzelne Box oder auch mehrere Geschosse / Boxen können sich dabei getrennt / gemeinsam verformen. Um dieses Box-Verhalten sicherzustellen sind vor allem die Querwandstöße für die einheitliche Verformung von Schubwänden und den meist orthogonal darauf verlaufenden, übrigen Wänden verantwortlich. Diese Systemeinheit gilt es nicht nur in den Querwandstößen zu bewahren, sondern auch in allen anderen Kontaktfugen in welchen man nicht planmäßig eine Verschiebung zulassen möchte. Ansonsten können Schäden am Gebäude durch stark plastisch verformte oder zerstörte Kontaktfugen entstehen.

Resümee

Positiv fallen beim Box-Verhalten die Tragreserven, welche sich durch die unberücksichtigten Querwandstöße ergeben, auf. Gleichzeitig können diese Ungewissheiten aber auch einen Nachteil im Zusammenhang mit unbestimmten Steifigkeitsverteilungen, unvorhersehbarem Verformungsverhalten und unwirtschaftlichen Verbindungslösungen verursachen. Aus diesem Grund soll auch am gesamten Gebäude Rotation überwiegend verhindert und Translation als führender Versagensmechanismus forciert werden.

Durch die aktuelle Verbindungstechnik (Winkelverbinder), wo eine Krafteinleitung aus der Scheibenebene möglich ist, können die resultierenden Anschlussfugenkräfte (meist im Querwandstoß) zum Erhalt der Systemeinheit durchaus bedeutend in der Bemessung werden. Neben den erheblichen

Anschlusskräften ist eine planbare / vorhersehbare Deformierung in den Anschlussfugen bzw. am Gesamtsystem sehr eingeschränkt möglich. Um dieser Herausforderung bei der Entwicklung eines Systemverbinders angemessen Folge zu leisten, wird eine entsprechend geringe Verbindersteifigkeit aus der Schubwandebene angestrebt oder, optional, ein Verschiebungsvermögen ausgewählter Verbinder. Als Konsequenz sollen dadurch wirtschaftlichere Verbindungslösungen ermöglicht werden. Außerdem erfolgt die Verformung kontrolliert in ausgewählten Kontaktfugen.

Zum Überblick werden die gegenwertigen Kontaktfugenanforderungen, bezüglich Steifigkeit und Dissipation, im anschließenden Abschnitt 3-3.4 zusammengefasst. Des Weiteren ist dadurch ein einfacherer Vergleich zwischen den gegenwärtigen und künftigen Kontaktfugenanforderungen (siehe Abschnitt 3-3.4 und 4-1.2) möglich.

3-3.4 ANFORDERUNGEN AN DAS MECHANISCHE VERHALTEN VON KONTAKTFUGEN

Um eine exakte Zuordnungen der Anforderungen in den jeweiligen Kontaktfugen zu gewährleisten, wird in Abbildung 3-49 ein lokales Achsensystem eingeführt. Die Richtungen werden als „aus“ (Y-Richtung), „in“ (X-Richtung) und „quer“ (Z-Richtung) zur Fugenebene festgelegt. Diese Definition gilt für alle in Abbildung 3-10 angeführten Kontaktfugen.

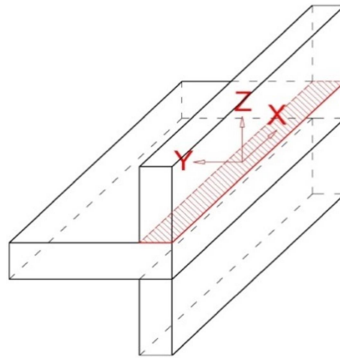


Abbildung 3-49: Achsdefinition für Kontaktfugen

In Abbildung 3-50 sind die aktuell angestrebten Steifigkeits- / Dissipationsanforderungen ersichtliche. Diese werden unter anderem auch in (Tomasi, et al., 2018) beschrieben.

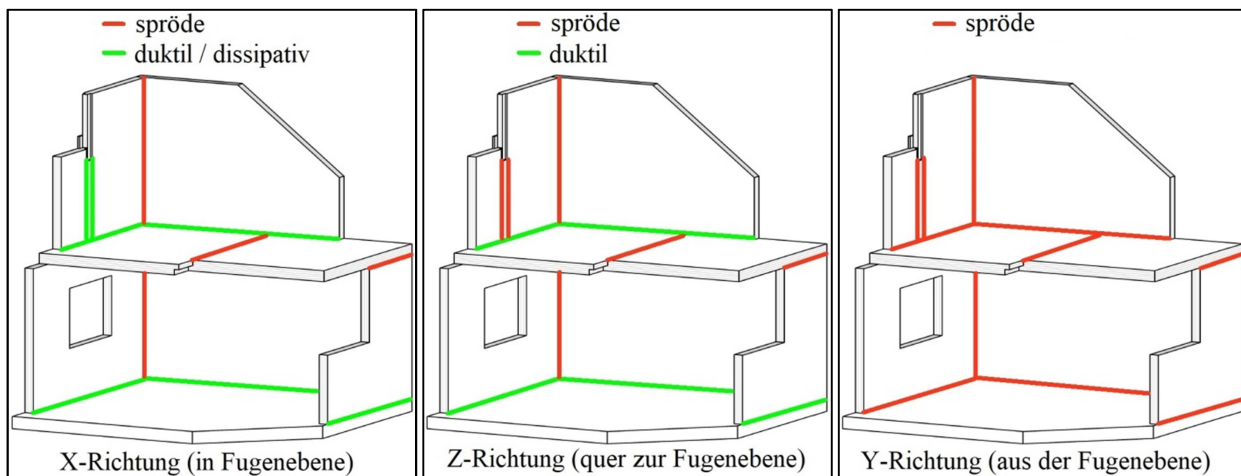


Abbildung 3-50: Postuliertes Systemverhalten in den unterschiedlichen Kontaktfugen – (links) „in“ Fugenebene, (Mitte) „quer“ zur Fugenebene, (rechts) „aus“ der Fugenebene; Grundgrafik basierend auf (Brandner, et al., 2016)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Verhaltensanforderungen der Kontaktfugen in einem Gebäude mit der aktuellen Verbindungstechnik oft nicht eindeutig als spröde, duktil oder dissipativ kategorisiert werden können. In den meisten Fällen wird ein isoliert betrachtetes Schubwandsystem stellvertretend für das Verhalten des Gesamtsystems herangezogen. Diese Vorgehensweise ist aufgrund des Box-Verhaltens in einer Gebäudestruktur nur bedingt möglich. Hinzu kommt, dass sich einzelne Anschlussfugen in der Realität anders verhalten können, als in der Modellierung (z. B. Vertikalfugenanschluss bei segmentierten Wänden, Verhindern des Verformungsvermögens aufgrund quasi-starrer Kopfanschlüsse). Im Allgemeinen kann durch das Zusammenwirken in einer Box zumeist von einem höheren Gesamttragvermögen der Struktur, im Vergleich zur Summe der postulierten Einzelschubwandtragvermögen, ausgegangen werden. Die wesentlichen Gründe (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) für diese Annahme sind Lastumlagerungsmöglichkeiten im System und unberücksichtigte Einflüsse (z. B. Querwandstöße, Reibung, etc.) im Tragverhalten. Diese Randbedingungen sind oft schwer zu bestimmen und können daher nur bedingt in der Konzeptionierung berücksichtigt werden. So kommt es, dass der vermeintliche positive Aspekt einer höher einzuschätzenden realen Tragfähigkeit schnell von negativen Auswirkungen, wie unwirtschaftlichen Kontaktfugenanschlüssen und einem undefinierten Systemverhalten, egalisiert werden.

Um die Leistungsfähigkeit / Wirtschaftlichkeit der Kontaktfugenanschlüsse zu erhöhen und um planbare / vorhersehbare Systemverformungen zu gewährleisten, wurden bereits in Abschnitt 3-3 Alternativen zu den aktuellen Systemanforderungen erarbeitet. Diese künftigen Anforderungen an das Systemverhalten werden in Abschnitt 4-1 zusammengefasst und ergänzend beschrieben. Des Weiteren werden in Abschnitt 4-2 direkte Anforderungen an den Systemverbinder gestellt. Schwerpunkte werden hier in einem zuverlässigen Systemverhalten bzw. in einer kontrollierten Systemverformung bei zyklischen Belastungen, sowie in einer rationellen Fertigung / Montage und der Integration von Toleranzen, gesetzt.

KAPITEL 4: ANFORDERUNGEN IM KONTEXT BSP- SYSTEMVERBINDER

4-1 ANFORDERUNGEN AN DAS SYSTEMVERHALTEN

4-1.1 EINSCHRÄNKUNG AUF EINEN DOMINIERENDEN SYSTEM- VERSAGENSMECHANISMUS

Wie in Abschnitt 3-3 diskutiert, wird als führender Versagensmechanismus Translation angestrebt (siehe Abbildung 4-1). Rotation gilt es durch diverse konstruktive Maßnahmen (Vermeidung von segmentierten Wänden, $l/h > 2,0$, etc.) sowie ein entsprechendes Kontaktfugenverhalten mit ausreichenden Überfestigkeiten auszuschließen. Das Kontaktfugenverhalten „quer“ zur Fugenebene ist durch steife Verbindungen mit entsprechend hohen Tragfähigkeiten zu unterstützen.

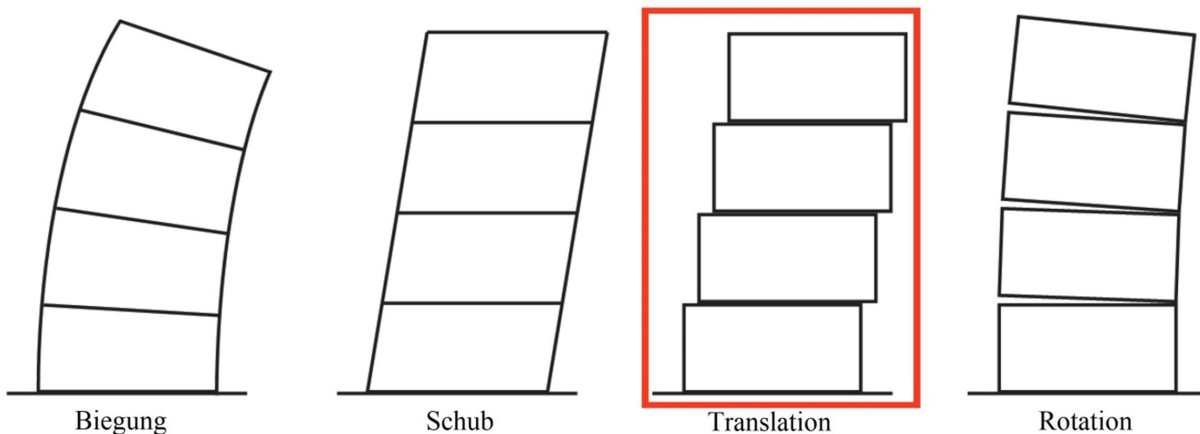


Abbildung 4-1: Angestrebter Versagens- / Verformungsmechanismus (rot) mehrerer BSP-Geschosse / BSP-Boxen unter Horizontallast (Abeysekera, et al., 2018); - überarbeitet

An einem Gebäude können duktile und dissipative Translationsverschiebungen in mehreren Kontaktfugen stattfinden. In der „Plattform“-Bauweise sind die Kontaktfuge „Wand | Fundament“ und „Wand | Decke“ davon betroffen, wobei es in der Anschlussfuge „Wand | Decke“ zwei Optionen gibt (siehe Abbildung 4-2). Die duktile und dissipative Anschlussfugenausbildung kann in Kontaktfuge (A) oder Kontaktfuge (B) realisiert werden. Für weitere Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass Kontaktfuge (A) duktil bzw. verformungsweich und dissipativ, Kontaktfuge (B) steifer und mit höherem Tragvermögen als Kontaktfuge (A) ausgeführt wird, und somit über ein bestimmtes Maß an Überkapazität verfügt. Durch diese Steifigkeits- und Tragvermögenzuordnung werden Verformungen gezielt in eine Kontaktfuge verlagert.

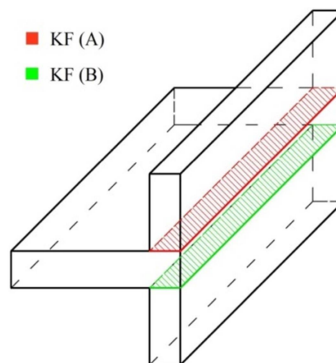


Abbildung 4-2: *Kontaktfugenoptionen der Translationsverschiebung bei der „Plattform“-Bauweise – (Variante A) oberhalb der Decke, (Variante B) unterhalb der Decke*

In der Holz-Hybridbauweise mit Beton- oder Stahlrosten gibt es zumeist zwei Kontaktfugenoptionen für Transversalverschiebungen (siehe Abbildung 4-2). Für diese Bauweisen gelten die gleichen Grundsätze wie für die „Plattform“-Bauweise. Die Kontaktfuge „Wand | Fundament“ und „Wand | Wand“ (als Horizontalwandstoß) sind in „Balloon“-Bauweise und meist auch in der Mischbauweise die einzigen Optionen für gezielte Translationsverformungen. Damit die Translationsverformungen, unabhängig von der Bauweise, in den ausgewählten Kontaktfugen ohne Schäden und mit wirtschaftlichen Verbindungslösungen (auch in anderen Kontaktfugen → z. B. Querwandstöße) realisiert werden können, muss die Verbindung „in“ und „aus“ der Fugenebene angemessene Verformungskapazitäten aufweisen (siehe Abschnitt 4-2.2.2). Um die angeführten wirtschaftlichen Verbindungslösungen zu realisieren, wird aus der Fugenebene von Kontaktfuge (A) eine geringe Steifigkeit angestrebt, um eine überwiegend unbehinderte Verformung zu ermöglichen.

4-1.2 ANFORDERUNGEN AN DAS MECHANISCHE VERHALTEN VON KONTAKTFUGEN IM TRAGSYSTEM

Abbildung 4-3 veranschaulicht das geforderte mechanische Verhalten der Kontaktfugen im Tragsystem. Auch in dieser Grafik wird eine Differenzierung in die verschiedenen Fugenrichtungen vorgenommen. Eine klare Unterteilung in die Kategorien „spröde“/ „starr“, „duktil“ sowie „duktil und dissipativ“ ist nicht immer zielführend. Dennoch kann mit dieser Kategorisierung das angestrebte Systemverhalten gut beschrieben werden. In einigen Fällen wäre eine Einteilung mit „steifer als“ oder „duktiler / nachgiebiger als“ eine andere Kontaktfuge zutreffender. So sind beispielsweise die Kontaktfuge „Wand | Fundament“ und „Wandfuß | Decke“ für ein duktilen und dissipatives Systemverhalten zuständig und somit „in“ sowie „aus“ der Fugenebene duktiler / nachgiebiger als alle übrigen Kontaktfugen auszubilden. Lediglich „quer“ zur Fugenebene sind diese beiden Anschlussfugen steif auszubilden, um eine Rotationsverformung der Schubwände weitgehend zu unterbinden. Umgekehrt ausgedrückt sind die Kontaktfuge „Wand | Wand“, „Decke | Decke“ und „Wandhaupt | Decke“ mindestens so steif auszubilden, dass Verformungen immer zuerst in den dafür vorgesehenen Kontaktfugen „Wand | Fundament“ und „Wandfuß | Decke“ stattfinden. Des Weiteren ist die Kontaktfuge „Decke | Decke“ so steif auszuführen, dass eine ausreichende Scheibenwirkung und somit eine planmäßige Lastweiterleitung an die Schubwände garantiert ist. Die Anschlussfugen „Wand | Fundament“ und „Wandfuß | Decke“ sind „aus“ der Ebene möglichst duktil / nachgiebig auszuführen, jedoch benötigt man hier keine zusätzlichen dissipativen Eigenschaften.

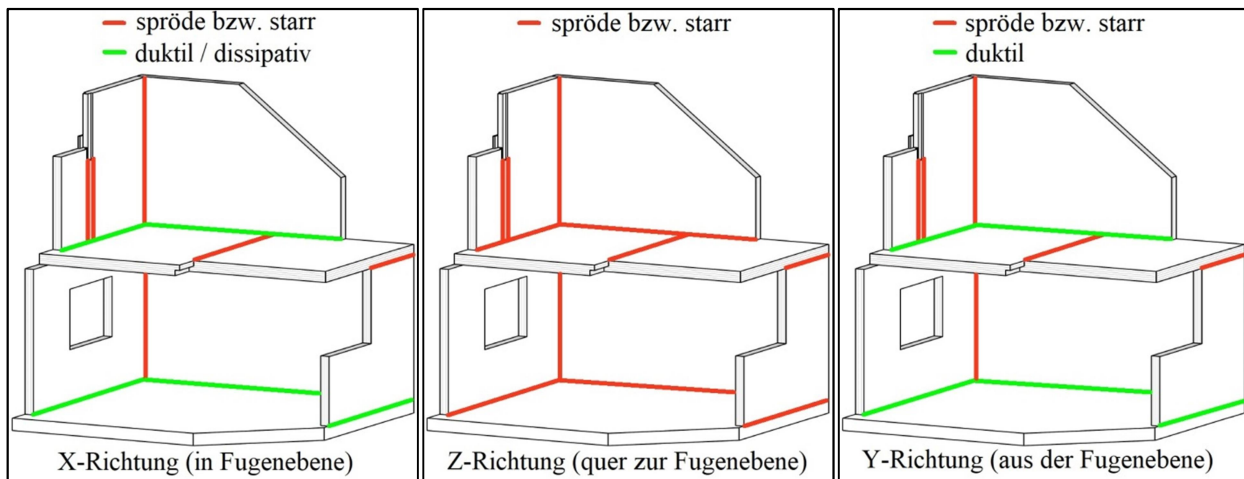


Abbildung 4-3: *Gefordertes Systemverhalten in den unterschiedlichen Kontaktfugen – (links) in Fugenebene, (Mitte) quer zur Fugenebene, (rechts) aus der Fugenebene; Grundgrafik basierend auf (Brandner, et al., 2016)*

Die hier erarbeiteten Grundlagen veranschaulichen wiederum, dass ein einzelner Systemverbinder (mit einem manifestierten mechanischen Verhalten) nicht in allen Anschlussfugen zum gewünschten Verhalten führen wird. Diese Besonderheit muss nicht zwingend einen Nachteil in einer ganzheitlich betrachteten Füge-technik von BSP bedeuten. Durch eine Kombination unterschiedlicher Systemverbinder oder Kontaktfugenausbildungen soll es möglich sein, wirtschaftliche und praktikable Kontaktfugenschlüsse zu realisieren. Wie in Abschnitt 3-2.6.4 behandelt, wird die Entwicklung von an die jeweiligen Charakteristika der Kontaktfugen angepassten Systemverbinder, im Sinne von „Expertenverbindern“, angestrebt. Dies hat zur Folge, dass mehrere Verbinder in einem Verbindungssystem bzw. einer Anschlussfuge zusammenwirken. An dieser Stelle soll festgehalten werden, dass nicht unbedingt für jede Anschlussfuge neuartige Verbindungslösungen zu entwickeln sind. Ein hohes Zukunftspotential wird hier bei direkten und indirekten Kontaktverbindern lokalisiert, da diese mit geringem Herstellungs- und Montageaufwand zu leistungsfähigen Anschlussfugen führen. Durch den Einsatz von an die Kontaktfuge angepasste Verbindungsmittel sind einfache Verbindungslösungen bei optimalem Systemverhalten und Herstellungs- / Montageverhalten möglich. Diese Vorteile können durch einen einzigen Systemverbinder für alle Kontaktfugen nur bedingt genutzt werden.

Aus den Anforderungen an das mechanische Verhalten der Kontaktfugen lassen sich grundsätzlich die Anforderungen an die Verbinder ableiten. Die wesentlichen mechanischen Vorgaben sind somit bereits zu einem hohen Anteil vorhanden und werden in Abschnitt 4-2.1 nur mehr ergänzt.

4-2 ANFORDERUNGEN AN EINEN SYSTEMVERBINDER

4-2.1 MECHANISCHE ANFORDERUNGEN

4-2.1.1 Allgemeines

Das mechanische Verhalten ist in Kapitel 3 und in Abschnitt 4-1 definiert worden und wird hier nicht weiter betrachtet.

4-2.1.2 Abschätzung der auftretenden Kräfte in den unterschiedlichen Kontaktfugen

Zur Abschätzung der Kräfte in den Kontaktfugen wird auf ein Beispiel aus der Literatur (Gilles, 2018) eingegangen. Es gilt anzumerken, dass bei diesem Beispiel keine Kontaktfugensteifigkeiten und dynamischen Beanspruchungen berücksichtigt wurden. Die Beanspruchungen werden auch nicht auf eine

bestimmte Kontaktfuge bezogen. Außerdem wird bei diesem Beispiel zur Gebäudeaussteifung ein Betonkern verwendet. Auch wenn keine dynamischen Lasten berücksichtigt und keine einzelne Kontaktfugen separat ausgewertet wurden, ermöglicht dies eine erste Abschätzung der Beanspruchungen.

Randbedingungen

Für die Ermittlung einer großen Bandbreite an Kontaktfugenkräften wurde ein 8-geschossiges Gebäude an verschiedenen Standorten in Europa betrachtet. Als Standorte wurden Innsbruck (Österreich), Inverness (Schottland) und Stockholm (Schweden) ausgewählt. Die ständigen Lasten blieben an den jeweiligen Standort unverändert, während die veränderlichen Lasten Schnee und Wind variierten (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Standortabhängige Schnee- und Windlasten (Gilles, 2018)

| Standort | Schnee s_k [kN/m ²] | Wind | | | | | $\Psi_{Q,i}$ |
|------------------------|---|--------------------|-------|----------|------------------------------|--|--------------|
| | | $v_{b,0}$ [m/s] | Kat. | z [m] | z ₀ bzw. A [m] | q _p (z) [kN/m ²] | |
| Innsbruck (Österreich) | 2,1 | 27,1 | II | 25,8 | 0,05 | 1,4 | 0,5 |
| Inverness (Schottland) | 0,5 | 27,4 | Stadt | 25,8 | 9 | 1,6 | 0,5 |
| Stockholm(Schweden) | 2,0 | 27,1 | III | 25,8 | 0,3 | 0,8 | 0,7 |

Wie in Tabelle 4 ersichtlich, wurden Standorte gewählt, welche zu möglichst unterschiedlichen standortspezifischen Beanspruchungen führen. Durch die Variation der Belastungen wird eine möglichst große Bandbreite an Kräften abgedeckt. Grundriss und Schnitt sind überblicksmäßig in Abbildung 4-4 angeführt.

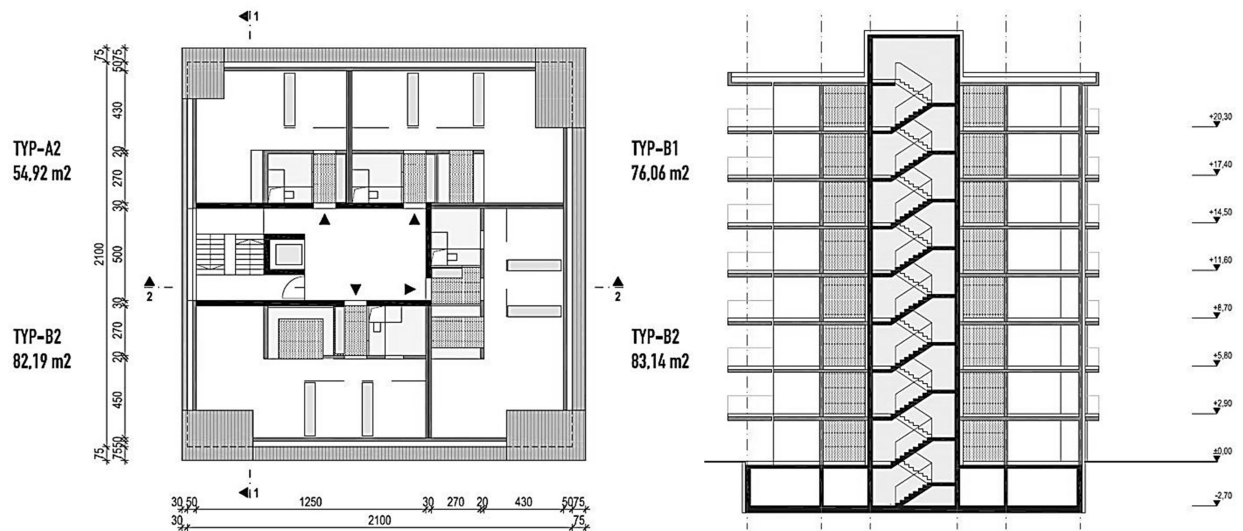


Abbildung 4-4: Grundriss - (links), Schnittführung - (rechts) (Hohensinn, et al., 2012)

Für eine genaue Zuordnung der Kontaktfugen wurden unterschiedliche Typen, wie in Abbildung 4-5 ersichtlich, definiert.

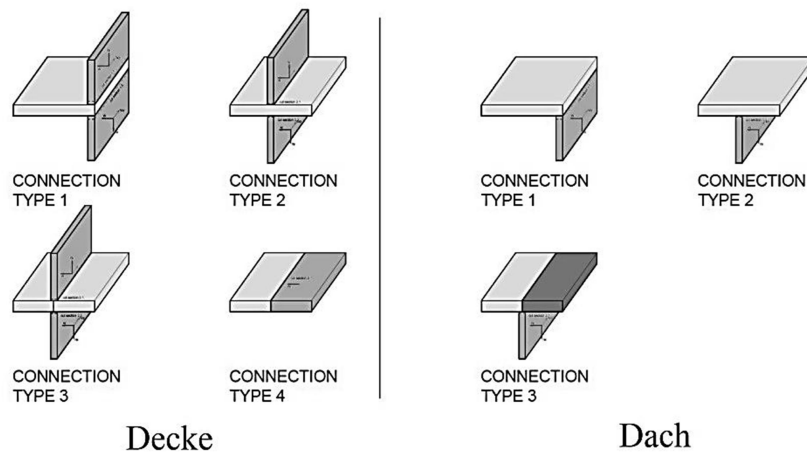


Abbildung 4-5: Kontaktfugentypen (Gilles, 2018)

Für die Ermittlung der Fugenkräfte wurde ein Schnitt knapp oberhalb und unterhalb des gewünschten Anschlussbereiches im FE-Modell gesetzt (Abbildung 4-6, links). Das angeführte globale Koordinatensystem (Abbildung 4-6, links) wird im anschließenden Absatz „Ergebnisse“ für die Auswertung verwendet. Um aussagekräftige Werte bestimmen zu können, wurden über das gesamte Gebäude verteilt Schnitte entlang der Kontaktfugen gesetzt (siehe Abbildung 4-6, rechts).

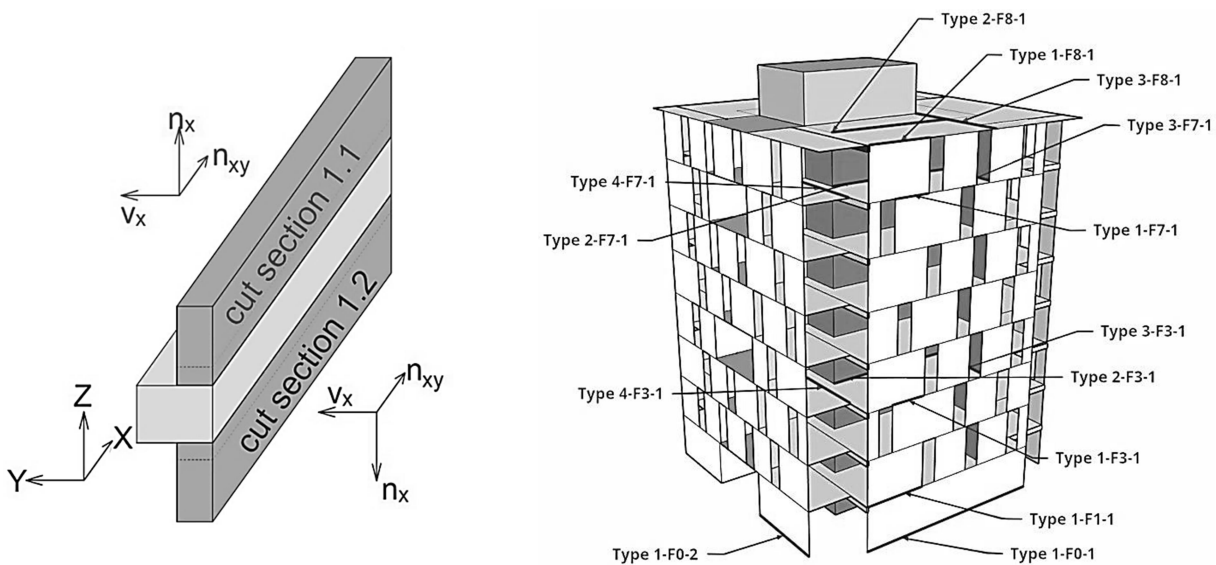


Abbildung 4-6: Schnittführung entlang der Fuge –(links), Lokalisierung der ausgewählten Fugenschnitte am Gesamtsystem – (rechts) (Gilles, 2018)

Um eine bessere Aussage der Kraftverteilung über die gesamten Schnittlängen zu erhalten, wurden diese homogenisiert bzw. angeglichen. Unter homogenisiert wird in diesem Zusammenhang eine Glättung der Kraftspitzen verstanden, um realistischere Werte zu bekommen. Wie genau das FE-Modell aufgebaut und die Glättung im Detail durchgeführt wurde, ist (Gilles, 2018) zu entnehmen.

Ergebnisse

Die dargestellten Ergebnisse sollen eine Bandbreite der Kräfte über alle in Abbildung 4-6 (rechts) angeführten Schnitte darstellen. Die Belastungen sind geglättete Designwerte.

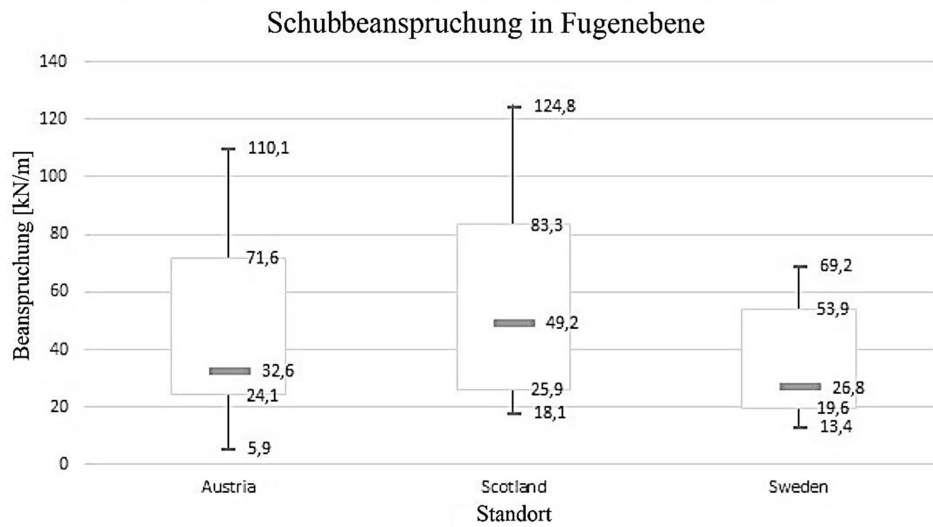


Abbildung 4-7: *Linienbeanspruchung n_{xy} in X-Richtung (Gilles, 2018), Bemessungswerte; - frei aus dem Englischen übersetzt*

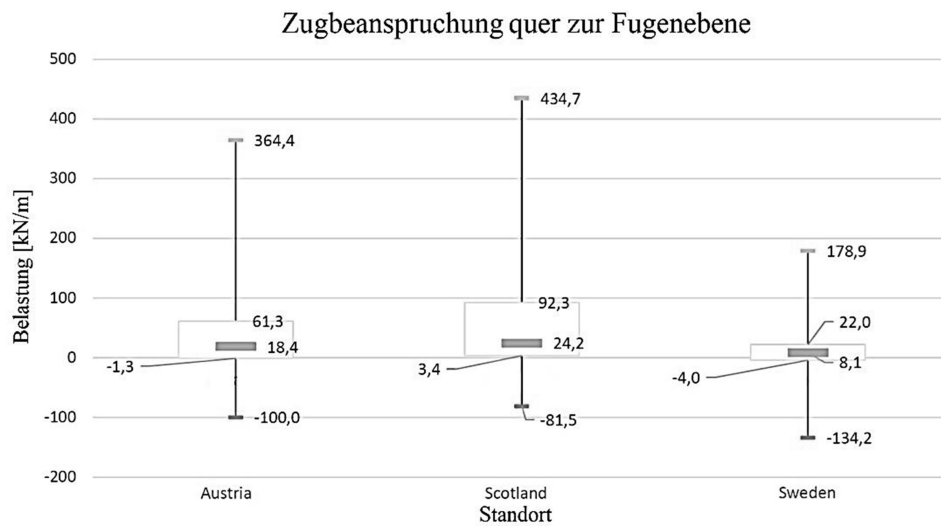


Abbildung 4-8: *Linienbeanspruchung n_x in Z-Richtung (Zug) (Gilles, 2018), Bemessungswerte; - frei aus dem Englischen übersetzt*

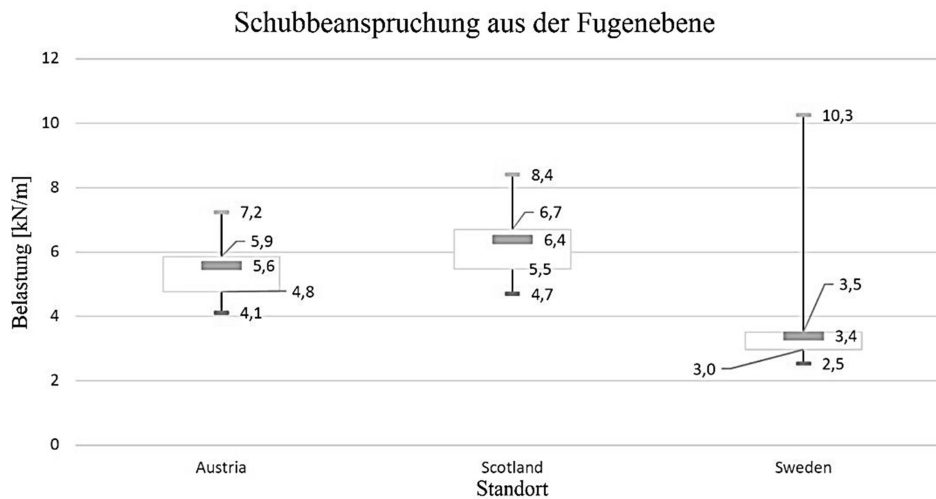


Abbildung 4-9: *Linienbeanspruchung v_x in Y-Richtung (Gilles, 2018), Bemessungswerte; - frei aus dem Englischen übersetzt*

4-2.1.3 Ableitung von Verbindungsmitteltragfähigkeiten

Im Mittel treten die größten Beanspruchungen für den Standort in Schottland auf, da dort die Horizontallasten zufolge Winds am größten sind. Deshalb wird der Standort Schottland für die weitere Konzipierung verwendet. Die vermischten ermittelten Beanspruchungen entlang der Kontaktfugen bieten grundsätzlich die ideale Ausgangsposition für einen einzigen Systemverbinder, der in allen Kontaktfugen Verwendung findet. Im vorliegenden Fall, wo Systemverbinder speziell für ausgewählte Kontaktfugen erarbeitet werden sollen, wäre es sinnvoll in weiteren Untersuchungen diese explizit je Kontaktfuge zu ermitteln. In folgenden Untersuchungen wäre es ebenso überlegenswert, die Kraft im Zuganker als Einzellast zu ermitteln. Um die Kräfte für das weitere Vorgehen ungefähr quantifizieren zu können, werden die vorliegenden Daten vom Standort in Schottland rudimentär mit einem angenommenen Abstand der Verbindungen von 2 m multipliziert. Der aktuelle Abstand von Winkelverbindern liegt laut (ÖNORM B 1995-1-1, 2015) bei max. 1,0 m und soll somit grob um den Faktor 2 angehoben werden, da davon ausgegangen wird, dass die neu zu konzeptionierenden Systemverbinder eine höhere Tragfähigkeit als die herkömmlichen Winkelverbinder aufweisen. Neben den Daten aus (Gilles, 2018) orientiert sich die notwendige Tragfähigkeit der Verbindungen an der des X-RAD Systemverbinders.

Tabelle 5: *Quantifizierung von Kräften für die weitere Konzeptionierung mit einer vergleichenden Betrachtung zu ausgewerteten Gebäudedaten und einem gegenwärtig eingesetzten Systemverbinder*

| Beanspruchung und Beanspruchungsrichtung | (Gilles, 2018) | X-RAD Systemverbinder (siehe Tabelle 3) | Quantifizierung der Kräfte für die weitere Konzipierung |
|--|----------------|---|---|
| Schub in Fugenebene (F_X) | 98,4 kN | 89,28 kN | 120 kN |
| Zug quer zur Fugenebene (F_Z) | 48,4 kN | 89,28 kN | 150 kN |
| Schub aus der Fugenebene (F_Y) | 12,8 kN | - | 15 kN |

Die Widerstandswerte vom X-RAD Systemverbinder sind Designwerte. Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Beanspruchungsrichtungen „in“ ($\alpha = 0^\circ$) und „quer“ ($\alpha = 90^\circ$) zur Fugenebene sind jeweils mit $\gamma_{M2} = 1,25$ berücksichtigt. Die Kräfte für die weitere Konzipierung sind als Designwerte angegeben. Die Steigerung der Kräfte für die weitere Konzipierung gegenüber dem X-RAD Systemverbinder soll eine weitere Leistungssteigerung in der Verbindungstechnik für BSP darstellen. In Zugankern sollen auf diese Weise Tragreserven für entsprechende Überkapazitäten bereitgestellt werden.

Zusammenfassend wird noch einmal erwähnt, dass es sich bei den festgelegten Kräften um erste Abschätzungen handelt. Um wirtschaftliche Verbindungslösungen für unterschiedliche Beanspruchungen zu ermöglichen, kann man einerseits den Verbinderabstand variieren und andererseits entsprechende Abstufungen im Tragvermögen der Verbinder selbst vornehmen. Bei letzterem Vorgehen würde dies eine Vielzahl an möglichen Kraftniveaus für einen Systemverbinder bedeuten. Um den Arbeitsaufwand in der Vordimensionierung der folgenden Lösungsvorschläge für BSP Systemverbinder einzuschränken, werden ausschließlich die in Tabelle 5 angeführte Kräfte, unabhängig von unterschiedlichen Kontaktfugen, herangezogen. Das ausgewählte Kraftniveau wird als hoch im Vergleich zu gegenwärtigen Systemverbindern eingeschätzt. Die in Abschnitt 4-2.1.2 ausgewerteten Anschlusskräfte könnten mit einer wesentlich reduzierten Anzahl an Verbindungen als gegenwärtig übliche hergestellt werden.

4-2.2 TOLERANZEN / VERFORMUNGSFREIRÄUME

4-2.2.1 Abschätzung der zu erwartenden Toleranzen

Wie bereits in Abschnitt 3-1.1 dargelegt, beeinflussen Fertigungstoleranzen die Nachgiebigkeit und die Duktilität einer Verbindung bzw. überhaupt die Ausbildbarkeit eines bestimmten Anschlusses. Generell sind daher minimale Fertigungstoleranzen anzustreben. Das Fehlen von entsprechenden Toleranzen führt zu einem erheblichen Mehraufwand während der Montage. Daher sind diese unbedingt in der Konzipierung der Systemverbinder zu berücksichtigen. Um die zu erwartenden Toleranzen quantifizieren / abschätzen zu können, werden nun aktuelle Regelwerke, Herstellungskriterien und Systemverbinder diesbezüglich bewertet.

Herstellungstoleranzen nach ÖNORM EN 16351 (2015) und ETA-06/0009 (2017)

Die reale Stärke des Querschnitts darf von der Nennstärke des BSP-Elements um höchstens +/- 2 mm oder 2 % der Nennstärke abweichen (kleinerer Wert ist maßgebend). Durch Quellen und Schwinden von Brettsperrholz können die Ist-Maße von BSP beeinflusst werden. Um eine Abweichung des tatsächlichen Feuchtegehalts von der Bezugsholzfeuchte (12 %) zu berücksichtigen, muss aus dem Ist-Maß ein korrigiertes Ist-Bezugsmaß berechnet werden. Die einzelne Lagenstärke des BSP-Elements darf maximal um +/- 1 mm von der Nennstärke abweichen, sofern das korrigierte Ist-Bezugsmaß berücksichtigt wurde. Die genaue Umrechnung ist der (ÖNORM EN 16351, 2015) zu entnehmen.

Neben der normativen Regelung gibt es auch noch eine Variante über „Europäisch Technische Bewertungen“. In diesem Fall stammt der Tabellenauszug aus der Bewertung von Binderholz Brettsperrholz BBS (ETA-06/0009, 2017).

Tabelle 6: *Herstelltoleranzen für Binderholz Brettsperrholz „Großformat“ und „Großformat DQ“ (ETA-06/0009, 2017)*

| Eigenschaft | Wert |
|--|--|
| Brettsperrholzelement | |
| Dicke | 51 bis 315 mm |
| Dickentoleranz | +/- 1 mm |
| Breite | ≤ 3,5 m |
| Breitentoleranz | +/- 2 mm |
| Länge | ≤ 22 m |
| Längentoleranz (bezogen auf die Länge bis max. 22 m) | +/- 2 mm |
| Holzfeuchte nach EN 13183-2 | 10 +/- 2 % 12 +/- 2 % Innerhalb eines Massivholzelementes darf nur einer der angegebenen |

Feuchtigkeitsbereiche angesetzt werden.

Montagetoleranzen nach ÖNORM DIN 18202 (2013)

Die unter (ÖNORM DIN 18202, 2013) angegebenen Toleranzen sind anzuwenden, wenn keine anderen Regelungen vereinbart werden. Die Toleranzen stellen die zu erreichende Genauigkeit für Standardleistungen, Bauteile und Bauwerke bei üblicher Ausführungsart und Sorgfalt dar. Sind andere Genauigkeiten erforderlich, sind diese nach gesonderten wirtschaftlichen Maßstäben zu vereinbaren.

In Tabelle 7 sind Grenzabweichungen für unterschiedliche Distanzmaße festgelegt.

Tabelle 7: Grenzabweichungen für Maße (ÖNORM DIN 18202, 2013)

| Spalte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------|---|--|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------------|
| Zeile | Bezug | Grenzabweichungen in mm bei Nennmaßen in m | | | | | |
| | | bis 1 | über 1 bis 3 | über 3 bis 6 | über 6 bis 15 | über 15 bis 30 | über 30 ^a |
| 1 | Maße im Grundriss, z. B. Längen, Breiten, Achs- und Rastermaße (siehe 6.3.1) | ± 10 | ± 12 | ± 16 | ± 20 | ± 24 | ± 30 |
| 2 | Maße im Aufriss, z. B. Geschosshöhen, Podesthöhen, Abstände von Aufstandsflächen und Konsolen (siehe 6.3.2) | ± 10 | ± 16 | ± 16 | ± 20 | ± 30 | ± 30 |
| 3 | Lichte Maße im Grundriss, z. B. Maße zwischen Stützen, Pfeilern usw. (siehe 6.3.3) | ± 12 | ± 16 | ± 20 | ± 24 | ± 30 | — |
| 4 | Lichte Maße im Aufriss, z. B. unter Decken und Unterzügen (siehe 6.3.4) | ± 16 | ± 20 | ± 20 | ± 30 | — | — |
| 5 | Öffnungen, z. B. für Fenster, Außentüren ^b , Einbauelemente (siehe 6.3.5) | ± 10 | ± 12 | ± 16 | — | — | — |
| 6 | Öffnungen wie vor, jedoch mit oberflächenfertigen Leibungen (siehe 6.3.5) | ± 8 | ± 10 | ± 12 | — | — | — |

^a Diese Grenzabweichungen können bei Nennmaßen bis etwa 60 m angewendet werden. Bei größeren Abmessungen sind besondere Überlegungen erforderlich.

^b Innentüren siehe DIN 18100.

In Tabelle 8 sind Grenzwerte für Winkelabweichungen festgelegt. Der Geltungsbereich reicht von vertikalen, horizontalen und geneigten Flächen bis zu Öffnungen. Werden die Grenzabweichungen aus Tabelle 8 ausgenutzt, sind die Grenzwerte aus Tabelle 7 gleichzeitig einzuhalten.

Tabelle 8: Grenzwerte für Winkelabweichungen (ÖNORM DIN 18202, 2013)

| Spalte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------|---|---|----------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------------|
| Zeile | Bezug | Stichmaße als Grenzwerte in mm bei Nennmaßen in m | | | | | | |
| | | bis 0,5 | über 0,5 bis 1 | über 1 bis 3 | über 3 bis 6 | über 6 bis 15 | über 15 bis 30 | über 30 ^a |
| 1 | Vertikale, horizontale und geneigte Flächen | 3 | 6 | 8 | 12 | 16 | 20 | 30 |

^a Diese Grenzabweichungen können bei Nennmaßen bis etwa 60 m angewendet werden. Bei größeren Abmessungen sind besondere Überlegungen erforderlich.

Die Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen sind in Tabelle 9 als Stichmaße definiert und gelten für Flächen von Decken, Wänden u. a.

Tabelle 9: Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen (ÖNORM DIN 18202, 2013)

| Spalte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|--|----------------|----------------|-----------------|-------------------|
| Zeile | Bezug | Stichmaße als Grenzwerte in mm bei Messpunktabständen in m bis | | | | |
| | | 0,1 | 1 ^a | 4 ^a | 10 ^a | 15 ^{a b} |
| 1 | Nichtflächenfertige Oberseiten von Decken, Unterbeton und Unterböden | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| 2a | Nichtflächenfertige Oberseiten von Decken oder Bodenplatten zur Aufnahme von Bodenaufbauten, z. B. Estriche im Verbund oder auf Trennlage, schwimmende Estriche, Industrieböden, Fliesen- und Plattenbeläge im Mörtelbett | 5 | 8 | 12 | 15 | 20 |
| 2b | Flächenfertige Oberseiten von Decken oder Bodenplatten für untergeordnete Zwecke, z. B. in Lagerräumen, Kellern, monolithische Betonböden | 5 | 8 | 12 | 15 | 20 |
| 3 | Flächenfertige Böden, z. B. Estriche als Nutzestriche, Estriche zur Aufnahme von Bodenbelägen, Bodenbeläge, Fliesenbeläge, gespachtelte und geklebte Beläge | 2 | 4 | 10 | 12 | 15 |
| 4 | Wie Zeile 3, jedoch mit erhöhten Anforderungen, z. B. selbstverlaufende Massen | 1 | 3 | 9 | 12 | 15 |
| 5 | Nichtflächenfertige Wände und Unterseiten von Rohdecken | 5 | 10 | 15 | 25 | 30 |
| 6 | Flächenfertige Wände und Unterseiten von Decken, z. B. geputzte Wände, Wandbekleidungen, untergehängte Decken | 3 | 5 | 10 | 20 | 25 |
| 7 | Wie Zeile 6, jedoch mit erhöhten Anforderungen | 2 | 3 | 8 | 15 | 20 |
| ^a Zwischenwerte sind den Bildern 5 und 6 zu entnehmen und auf ganze mm zu runden. | | | | | | |
| ^b Die Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen der Spalte 6 gelten auch für Messpunktabstände über 15 m. | | | | | | |

Beurteilung der zu erwartenden Toleranzen

Die im Rahmen der ÖNORM DIN 18202 angeführten Toleranzen sind für den Holz-Massivholzbau mit BSP als zu großzügig zu bewerten. Betrachtet man die Toleranzen mit dem in Abschnitt 3-2.6.2 beschriebenen Systemverbinder für Brettsperrholz, so liegen die aufzunehmenden Toleranzen in einem Bereich von wenigen Millimetern, wie sie beispielsweise auch den Herstellerangaben in Tabelle 6 entnommen werden können. Für die weitere Standardisierung der Holz-Massivbauweise mit BSP wären entsprechende Regelungen für die Toleranzen wichtige Grundlagen, welche noch zu erarbeiten sind. Um den Toleranzausgleich für die Konzipierung des Systemverbinders zu quantifizieren, wird im Folgenden davon ausgegangen, dass „aus“ der Fugenebene +/- 3 mm und „in“ Fugenebene +/- 5 mm als Toleranz zu berücksichtigen sind.

4-2.2.2 Abschätzung der zu erwartenden Verschiebung

Um kontrollierte Verschiebungen im System ohne Schaden zu ermöglichen, sind diese in den dafür vorgesehenen Kontaktfugen und in den zugehörigen Verbindungen zu berücksichtigen. Wie bereits eingeführt, sollen die Verbindungen für Schub „in“ / „aus“ Fugenebene und Zug „quer“ zur Fugenebene als getrennte Lösungen realisiert werden. Folgende Überlegungen sind ausschließlich für die duktilen und dissipativen Kontaktfugen relevant, da primär in diesen Verschiebungen / Verformungen stattfinden sollen. Damit im Zuganker ausschließlich Zugkräfte eingeleitet werden, ist es notwendig, diesen mit einem möglichst unbehinderten Verschiebungspotential gegenüber Schubkräften „in“ und „aus“ der Kontaktfugenebene auszustatten, ohne dabei Verformungen durch diese an den Verbindern selbst

hervorzurufen. Umgekehrt ist der dissipative Schubverbinder so zu konzipieren, dass durch eine mögliche Rotation keine Zugkräfte aufgenommen werden können. Das genaue Verhalten, primär vom dissipativen Schubverbinder bzw. dem „dissipativen Schubverbinder“ (siehe Abschnitt 5-1.2), ist unter Abbildung 4-10 ersichtlich. Dieses Vorgehen ermöglicht eine überwiegend isolierte Betrachtung von Rotation und Translation, außerdem können die Verbindungsmittel „quer“, „in“ und „aus“ der Fugenebene unabhängig nach wirtschaftlichen Maßstäben dimensioniert werden. Die Quantifizierung eines abgegrenzten Verschiebepotentials führt folglich zu einer Grenzverschiebung bis zu welcher die unterschiedlichen Verbindungsmittel in den duktilen und dissipativen Kontaktfugen unabhängig voneinander wirken. Werden die Verbinder über die Grenzverschiebung, hinaus belastet, ist eine unabhängige Wirkungsweise dieser (Zuganker und Schubverbinder) nicht mehr gegeben und es wird zu Biege- oder Schubbeanspruchungen am Zuganker kommen. Der Zuganker muss also mindestens bis zur Grenzverformung des dissipativen Schubverbinders Verschiebungen aus Translation aufnehmen können, um das unabhängige Verhalten sicherzustellen.

Verhalten dissipativer Schubverbinder bzw. Schubdorn Wandfuß

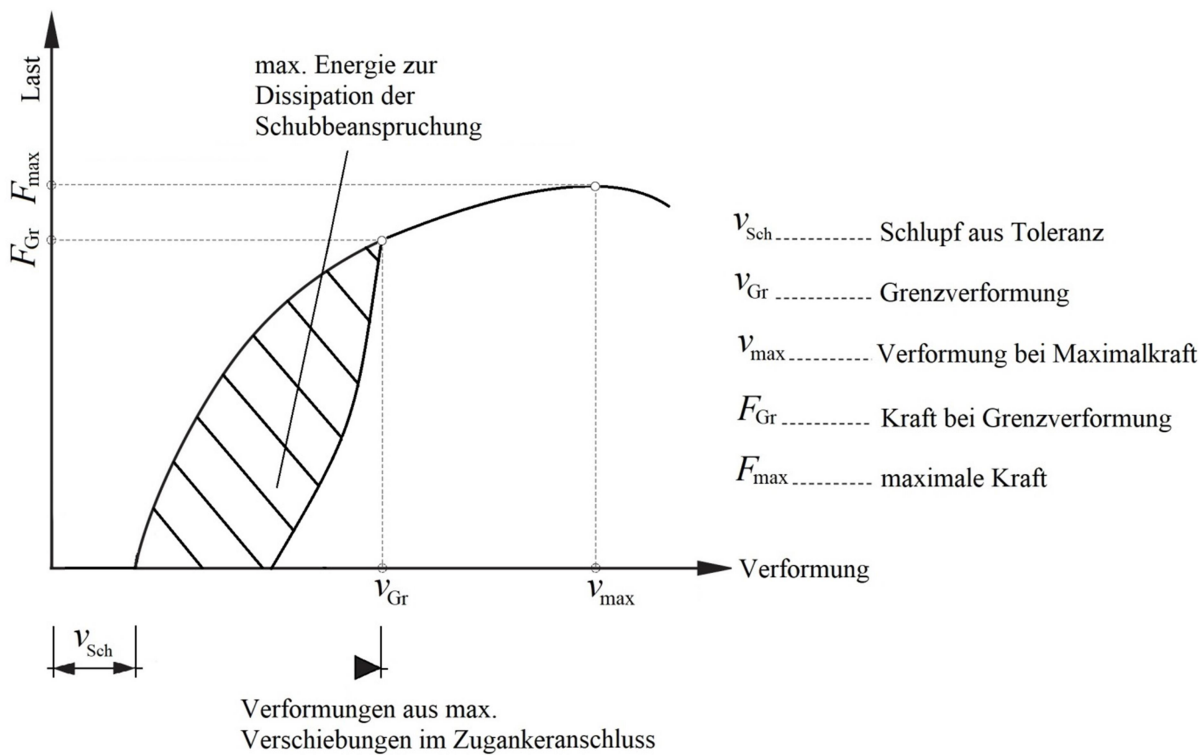


Abbildung 4-10: Angestrebtes Verhalten vom dissipativen Schubverbinder in den duktilen und dissipativen Kontaktfugen

Weiter fordert die Festsetzung einer Grenzverschiebung, dass bis zur Grenzverformung vom dissipativen Schubverbinder die einwirkende Belastung auf den jeweiligen Schubverbinder aufgenommen und dissipativ abgebaut werden kann.

Die aktuell zugelassenen Geschossverschiebungen liegen laut (ON EN 1998-1, 2011) und (Follesa, et al., 2010) bei 0,5 % und 1,0 % der Geschosshöhe. Nach (Flatscher, 2017) werden diese Geschosshöheverschiebungen als zu hoch bewertet und eine Reduktion auf 0,25 % der Geschosshöhe vorgeschlagen. Abbildung 4-11 veranschaulicht eine horizontale Geschosshöheverschiebung von 2 cm. Bei dieser Verschiebung wird Translation als führender Verformungsmechanismus angenommen. Eine Geschosshöheverschiebung von 2 cm bedeutet bei einer 3,0 m hohen Wand eine Verschiebung von 0,67 %, sprich die Grenzgeschosshöheverschiebung nach (ON EN 1998-1, 2011) ist noch nicht erreicht. Die Verschiebung von 2 cm würde in diesem Beispiel jedoch eine signifikante Minimierung des vertikalen Lastabtragungspotentials bedeuten, da ein wesentlicher Anteil der vertikalen Lagen des BSP-

Wandelementes, welche fast ausschließlich zur Abtragung der Vertikallasten verantwortlich zeichnen, verloren geht. Aufgrund der Verschiebung der BSP-Wand aus der Achse treten zudem zusätzliche Momente 2.Ordnung auf, welche ebenfalls die Beanspruchung der Tragstruktur erhöhen.

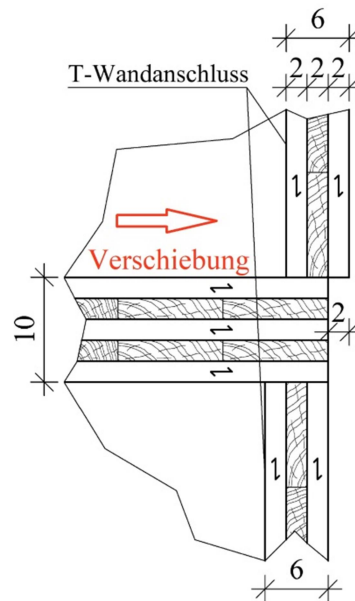


Abbildung 4-11: *Postulierte horizontale Geschossverschiebung am Beispiel eines 3-lagigen BSP-Wandelements (Translation als führender Verformungsmechanismus)*

Aus diesen Gründen orientieren sich die in der Verbindung zu berücksichtigenden Verschiebungen an einer geringeren Geschossverschiebung von überwiegend $< 0,5\%$ der Geschosshöhe. Konkret werden in den Verbindungsmitteln der für Verschiebungen vorgesehene Kontaktflächen ± 10 mm berücksichtigt. Bei einer Geschosshöhe von 3,0 m würde dies eine Geschossverschiebung von $0,33\%$ der Geschosshöhe bedeuten.

Wie in Abschnitt 3-3.2.6 bereits angemerkt, wird in (Schmidt, 2018) auf eine schwierig einzuhaltende Grenzeschossverschiebung ($1,0\%$) im Zusammenhang mit Schallschutzlagern hingewiesen. In den Versuchen von (Schmidt, 2018) wurden segmentierte Schubwandsysteme mit duktilen und dissipativen Vertikalfugenausbildungen geprüft. Um in der Vertikalfuge überhaupt eine Verschiebung zu erreichen, muss im System eine Rotationsverformung erfolgen. Rotationsverformungen werden durch eine „weiche“ Lagerung verstärkt, weshalb der Einfluss auf primär translationsverformte Schubwände geringer eingeschätzt wird.

Ein gewisses Verformungsvermögen könnte man eventuell im gesamten Gebäudekonzept berücksichtigen. So könnte man z. B. Zwischenwandanschlüsse mit einer entsprechend verformbaren Fuge ausbilden oder die Randstreifen um den Estrich mit einer ausreichenden Stärke ausführen.

4-2.3 BAUPHYSIKALISCHE ANFORDERUNGEN

4-2.3.1 Schallschutz

Die Anforderungen an Luftschall und Trittschall sind durch die Verbindung in Kombination mit der gewählten Bauweise einzuhalten, um zumindest dem gegenwärtigen Stand der Technik zu entsprechen.

4-2.3.2 Energieeinsparung und Wärmeschutz

Die Verbindung in Kombination mit der gewählten Bauweise soll die Luftdichtigkeit der Struktur nicht negativ beeinflussen. Gleiches gilt für die Wärmeleitfähigkeit. Auch diese soll nicht nachteilig beeinflusst

werden. In beiden Fällen sind, wie beim Schallschutz, die gegenwärtigen Anforderungen einzuhalten und Ausführungen, welche zumindest dem gegenwärtigen Stand der Technik entsprechen, anzustreben.

4-2.4 BRANDSCHUTZ

Der Brandschutz ist im besten Fall durch im BSP liegende Verbindungen und ein rundum schützendes Holzvolumen zu realisieren. Bei Stahlteilen ist deren gute Wärmeleitfähigkeit im Brandverhalten zu berücksichtigen. Hinzu kommen grundlegende Anforderungen an die Verbindung wie Rauchdichtheit und Tragfähigkeit, welche in ausreichendem Maße zu erfüllen sind. Eventuell sind gesonderte Maßnahmen zur Erreichung des gewünschten Brandwiderstandes erforderlich.

4-2.5 RATIONELLE FERTIGUNG, MONTAGE UND HANDHABUNG

Für die vorliegenden Einsatzgebiete des Systemverbinders ist es vorteilhaft, den Verbinder in zwei Komponenten zu gliedern: Einerseits in den Anschlussbereich vom Kopplungselement im Holz, welcher im Idealfall bereits im Werk und im Zuge des Abbundes (siehe auch Abschnitt 2-1.2) der Bauelemente montiert wird, und andererseits in einen Montagestoß, zur Fügung der Bauteile mit vormontierten Kopplungselementen vor Ort. Der Montagestoß auf der Baustelle ist so weit zu vereinfachen, dass die Bauteile mit wenig Aufwand an den Kontaktfugen verbunden werden können. Damit ein intuitives Grundverständnis für den Anschluss erreicht wird, ist ein einfaches und verständliches Konzept wünschenswert. Um dem Begriff Systemverbinder gerecht zu werden, ist es notwendig, dass sämtliche oder zumindest mehrere Kontaktfugen nach ähnlichen Prinzipien funktionieren und gelöst werden können. Durch ein System können die Abläufe von der Planung bis zur Ausführung optimiert und mit einer geringeren Fehleranfälligkeit abgewickelt werden. Um dem Gebot der Wirtschaftlichkeit zu entsprechen, wird es als sinnvoll erachtet, Tragwerke in unterschiedlichen Bauweisen zu errichten, weshalb der Systemverbinder dieser Besonderheit positiv entgegen soll. Das Verbindungsmittel ist so zu konzipieren, dass eine „bauweisenübergreifende“ („Platform“- , „Balloon“-Bauweise, etc.) Verwendungsmöglichkeit für den Verbinder vorliegt und dies mit einer ähnlichen Systematik, d. h. der Systemverbinder soll an die unterschiedlichen Bauweisen leicht adaptierbar sein. Um eine der Kontaktfuge angepasste und optimale Montage zu garantieren, gilt es im Systemverbinder die Montagerichtung (siehe Abschnitt 2-1.2) so zu berücksichtigen, dass kein „Einfädeln“ der BSP-Elemente beim Versetzen dieser erforderlich ist. Neben den bisher gestellten Anforderungen an den Systemverbinder soll dieser nicht nur als Verbindungslösung, sondern auch als Hebemittel während der Montage verwendbar sein. Am Weg zu einer wirtschaftlichen Verbindungslösung gilt es, die passende Verbinderanzahl bzw. den passenden Verbinderabstand zu finden. Wenige Verbinder entlang der Kontaktfugen bedeuten meist weniger Aufwand bei der Vormontage im Werk und während der Montage auf der Baustelle. Des Weiteren wirkt sich eine geringe Anzahl an Verbindungspunkten jedoch oft in Form von aufwändigen Verbindungslösungen selbst bzw. in einer aufwändigen Kraffeinleitung /-weiterleitung in den Anschlusspunkten aus. Begrenzende Faktoren sind dabei beispielsweise die BSP-Elementstärken oder der orthogonale Aufbau von BSP. Zudem ist auch sicherzustellen, dass die Anzahl der Anschlusspunkte eine ausreichende Gebäudestabilität sicherstellt.

4-2.6 ZUVERLÄSSIGE ÜBERPRÜFUNG

Wie bereits erwähnt, bietet ein Systemverbinder wesentliche Vorteile durch eine routinemäßige Herstellung im Werk und auf der Baustelle. Besonders bei der Herstellung im Werk werden Vorteile in der Überprüfung erkannt, da hier im Zuge einer werkseigenen Produktionskontrolle zuverlässige und nachvollziehbare Kontrollen stattfinden können. Auf der Baustelle ist es wichtig, dass etwaige Verschlussmechanismen ordentlich überprüft werden können. Nicht nur während der Herstellung soll eine Überprüfung möglich sein, sondern auch für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen.

4-2.7 DEMONTIERBARKEIT / REZYKLIERBARKEIT

Durch Fehler oder Änderungen während der Ausführung kann es dazu kommen, dass eine bereits hergestellte Verbindung wieder gelöst werden muss. Damit das Verbindungssystem dieser Anforderung

gerecht wird, soll es nicht nur einfach herzustellen, sondern auch einfach wieder zu lösen / demontieren sein. Im Sinne eines Produktlebenszyklus orientierten Konstruktionsgedankens ist es ebenso sinnvoll, dass das Verbindungssystem von den Bauteilen getrennt und dieses separiert entsorgt oder wiederverwendet werden kann.

KAPITEL 5: LÖSUNGSVORSCHLÄGE FÜR BSP- SYSTEMVERBINDER

5-1 KONZEPT

Nachdem nun viele Anforderungen und Rahmenbedingungen für eine systematische Verbindung von BSP-Elementen dargelegt sind, folgen in diesem Abschnitt entsprechende Lösungsvorschläge unter Berücksichtigung dieser.

5-1.1 UNIVERSAL ZUGANKER

Der „Universal Zuganker“ ist primär für den Einsatz in den Kontaktfugen „Wand | Fundament“, „Wand | Wand“ („Balloon-Bauweise) bzw. „Wand | Decke | Wand“ („Plattform“-Bauweise) und „Decke | Decke“ konzipiert (siehe Abbildung 5-1). Dieser „Universal Zuganker“ ist ausschließlich für die Aufnahme von Zugkräften konzipiert. Die Verbindung soll dabei möglichst steif bzw. starr und zuverlässig Zugkräfte von BSP-Element zu BSP-Element weiterleiten. Einflüsse aus Quellen und Schwinden bzw. Setzungserscheinungen der Deckenelemente sind speziell in der „Plattform“-Bauweise im Zuge der weiteren Entwicklungsarbeit zu überprüfen, da diese zu Schlupf oder einer Vorspannung im „Universal Zuganker“ führen können.



Abbildung 5-1: *Anschlussituation vom „Universal Zuganker“ in der „Plattform“-Bauweise – (links) vormontierte Verbindungshälften in den Wänden (Grafik ohne Decklage), (Mitte) Einbau der darüber liegenden Wand mit vormontiertem Zuganker Teil B, (rechts) eingebauter Zustand mit Montageöffnung an der Rauminnenseite*

Der „Universal Zuganker“ besteht aus mehreren Einzelteilen (siehe Abbildung 5-2). Die Verbindungshälften, bestehend aus „Zuganker Teil A“ und „Zuganker Teil B“, werden grundsätzlich im Werk vormontiert. Der „Zugbolzen“ ist mit einem Gewinde im „Zuganker Teil B“ verschraubt und ermöglicht somit eine Justierung „quer“ zur Fugenebene. Der „Zugbolzen“ verbindet Teil B und Teil A des Zugankers und ist als kreisrunder Bolzen ausgeführt. Der Bolzen wird bereits im Werk mit der entsprechenden Länge (abhängig von der Bauweise bzw. der Deckenstärke) vormontiert. Auf der Baustelle ist somit lediglich der Montagestoß durch Eindrehen des „Zugbolzens“ zu schließen. Zum Versetzen der BSP-Elemente kann im „Zuganker Teil B“ ein dafür angepasster Zugbolzen (nicht im Umfang dieser Masterarbeit enthalten) eingeschraubt werden. Teil A und Teil B werden jeweils mit acht Vollgewindeschrauben (VG 10 x 500 mm) in den BSP-Elementen verankert. In den Grundplatten sind an

die Schraubengeometrie und den Einschraubwinkel angepasste Bohrungen vorgesehen. Um die Biegesteifigkeit der Grundplatte zu erhöhen werden Steifenbleche und ein im Grundriss geschlossenes Gehäuse (Rohr) verwendet. Das Gehäuse dient im „Zuganker Teil A“ als Auflager für den „Zugbolzen“. Im „Zuganker Teil A“ können Toleranzen und Verschiebungen bzw. Verformungen aufgenommen werden (siehe Abbildung 5-4). Sämtliche Teile des „Universal Zugankers“ sind aus feuerverzinktem Stahl der Güte S355 konzipiert. Die Gewindeteile sind aus galvanisch verzinktem Stahl.

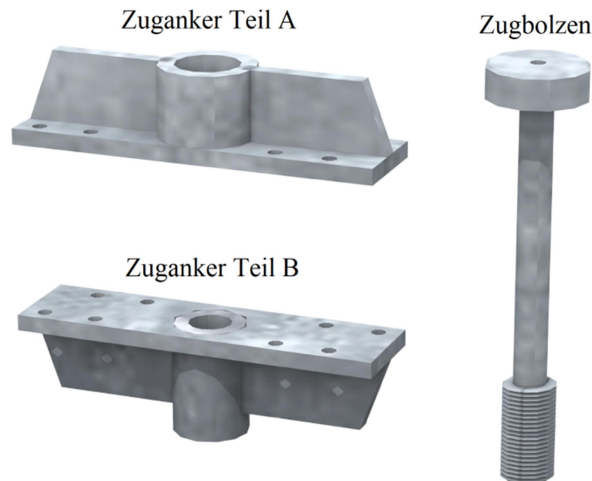


Abbildung 5-2: Wesentliche Bestandteile des „Universal Zugankers“

Abbildung 5-3 veranschaulicht den „Universal Zuganker“ im eingebauten Zustand („Plattform“-Bauweise). Die Vollgewindeschrauben werden geneigt in einem Einschraubwinkel von 82 ° zur Fugenebene und „in“ Fugenebene versetzt in die Schmalseite vom BSP eingebracht.

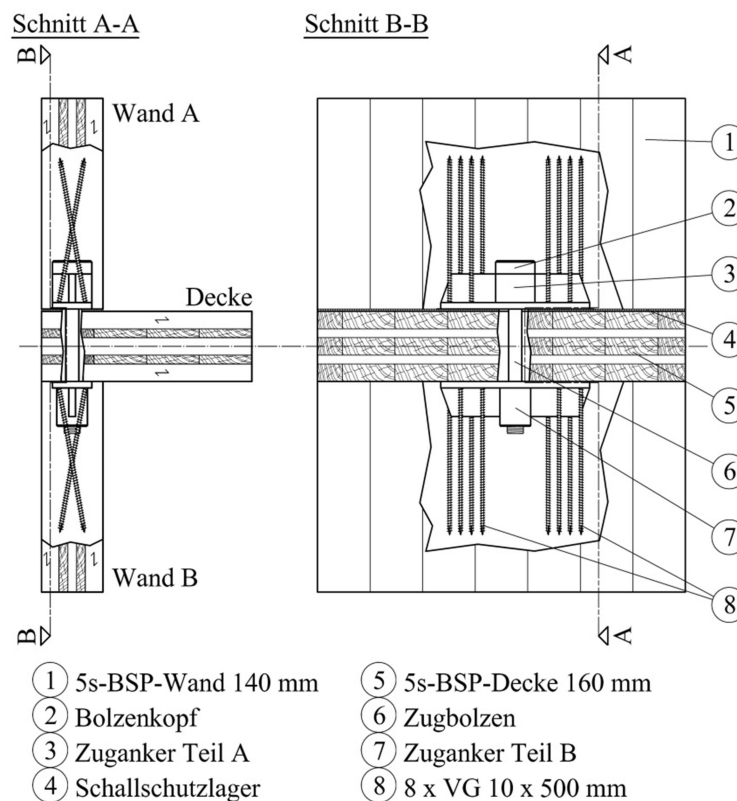


Abbildung 5-3: Eingebauter „Universal Zuganker“: Darstellung anhand unterschiedlicher Wandschnitte

Die Negativform des Verbinders wird in die Wandscheiben sowie die Decke eingefräst, wobei von Wandstärken ab 100 mm aufwärts ausgegangen wird. In Abhängigkeit der Wandstärke und des Wandaufbaus sind möglicherweise zusätzliche Maßnahmen bezüglich Luftdichtheit, Wärmeschutz und Brandschutz nötig. Der „Universal Zuganker“ kann in allen Bauweisen verwendet werden, da der „Zugbolzen“ in abgestuften Längen verfügbar sein soll und somit auch größere bzw. geringe Abstände zwischen Wänden überwunden werden können. Die Bolzen- und Schraubverbindungen bieten Vorteile in der Demontage, im Recycling und in der Wiederverwendung.

Abbildung 5-4 stellt zwei Schnitte um die Mittelachse vom „Universal Zuganker“ dar. Die genaue Schnittführung ist in Anhang B ersichtlich. Der „Universal Zuganker“ ist ausschließlich zur Übertragung von Zugkräften gedacht. Durch Translation der Schubwände soll es im Zuganker lediglich zu weitgehend ungehinderten Verschiebungen (geringe Zugbeanspruchung; z. B. Zuganker in der Kompressionszone der Wand) oder zu Biegeverformungen (große Zugbeanspruchung; Ausbildung von Fließgelenken) des „Zugbolzens“ kommen. Um dieses Verhalten sicherzustellen, sind im „Universal Zuganker“ Verschiebe- / Verformungsmöglichkeiten vorgesehen (siehe Abbildung 5-4). So können sich der „Zuganker Teil A“ oder der „Zugbolzen“ bis zur Grenzverschiebung /-verformung von 10 mm ungehindert verschieben bzw. verformen. „In“ Fugenebene sind außerdem noch 5 mm Montage- / Herstellungstoleranzen vorgesehen, was in Summe zum in Abbildung 5-4 dargestellten Freispiel von 15 mm führt. „Aus“ der Fugenebene liegen ähnliche Grundlagen vor. Der Kopf des „Zugbolzens“ ist mit einem Innensechskanttrieb M16 ausgeführt, welcher zum Festziehen der Verbindung verwendet werden soll. Der „Zugbolzen“ soll mindestens 35 mm in das „Gehäuse B“ eingeschraubt werden. Die verbleibende Länge des Bolzens kann zum Ausgleich unterschiedlicher Abstände zwischen den beiden Verbindungshälften verwendet werden.

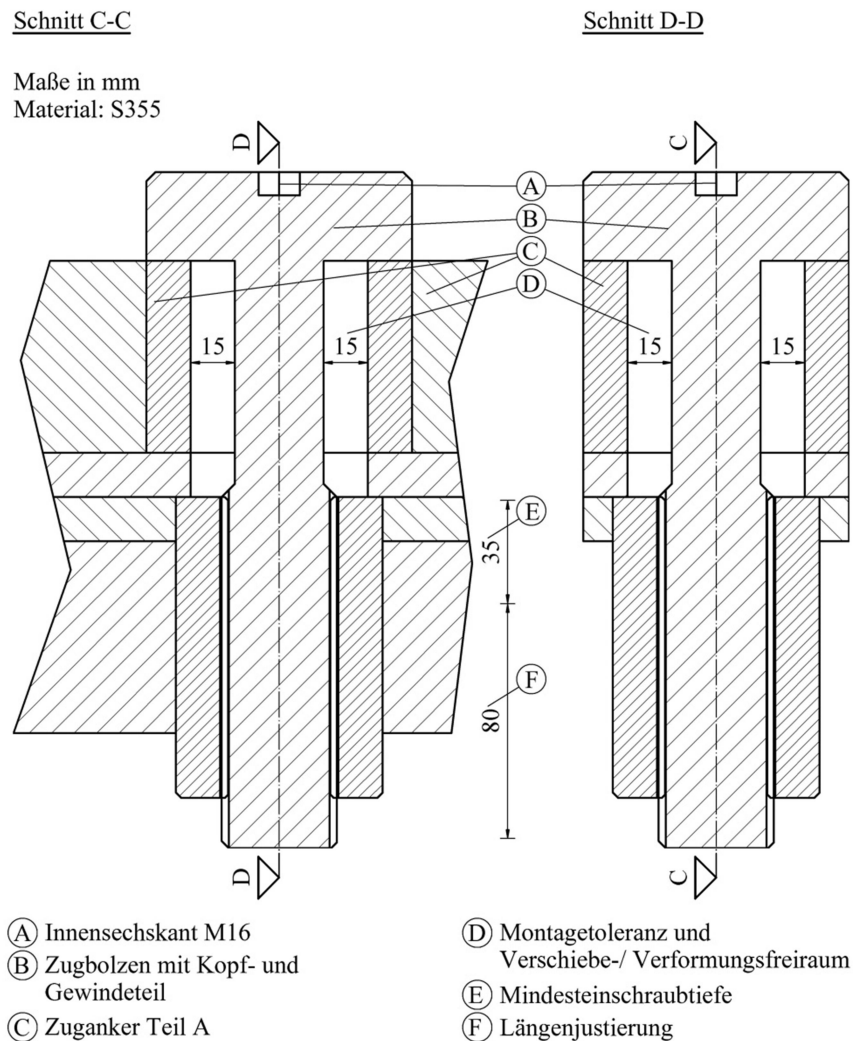


Abbildung 5-4: Toleranzen, Verschiebe- / Verformungsoptionen und ausgewählte Funktionen vom „Universal Zuganker“

5-1.2 UNIVERSAL SCHUBVERBINDER

Der „Universal Schubverbinder“ ist eine steife Verbindung mit unausgeprägten Dissipationseigenschaften, welcher hauptsächlich für den Einsatz in den Kontaktfugen „Wand | Fundament“, „Wand | Wand“, „Decke | Decke“ vorgesehen ist (siehe Abbildung 5-5). Die Verbindung ist prinzipiell auch in der Kontaktfuge „Wand | Decke“ anwendbar, jedoch ist hier wegen der ungünstigeren Lasteinleitung in die BSP-Decke mit einem geringeren Tragverhalten zu rechnen (eine genauere Betrachtung bleibt im Zuge dieser Masterarbeit ausständig). Soll der „Universal Schubverbinder“ in der Kontaktfuge „Wand | Fundament“ eingesetzt werden, wird eine adaptierte Ausführung des unter diesem Abschnitt beschriebenen „Universal Schubverbinders“ benötigt. Diese Ausführungsvariante wird in der vorliegenden Masterarbeit nicht weiter behandelt. Der „Universal Schubverbinder“ kann Schubkräfte „in“ sowie „aus“ der Fugenebene aufnehmen. Die Lasteinleitung in die BSP-Elemente selbst erfolgt ausschließlich über Kontakt (Formschluss) des „Universal Schubverbinders“ zum BSP. Die Verbindungsmittelhälften sind dazu präzise in das BSP einzufräsen (siehe Abbildung 5-5, Mitte). Der Verbinder ist so konzipiert, dass Belastungen „aus“ der Fugenebene lediglich über die Innenseite der eingeschlitzten Bleche in das BSP eingeleitet werden. So kann der Verbinder in der Breite mit einem geringen Spiel eingefräst werden um das Aufspalten des BSP zu verhindern. Um die Geometrie der Fräsung herstellen zu können wird ein Bearbeitungsschlitz entlang der Mittelachse vom „Universal Schubverbinder“ für den Fräser notwendig (in den Abbildungen nicht enthalten). Sind in der Kontaktfuge neben Schubkräften auch Zugkräfte zu übertragen, sollen diese in

Kombination mit dem „Universal Zuganker“ angeschlossen werden. Der „Universal Schubverbinder“ besteht grundsätzlich aus zwei Verbinderhälften, welche im Werk vormontiert werden, sodass es auf der Baustelle lediglich den Montagestoß (durch Einschieben des Schubdorns) zu verbinden gilt.

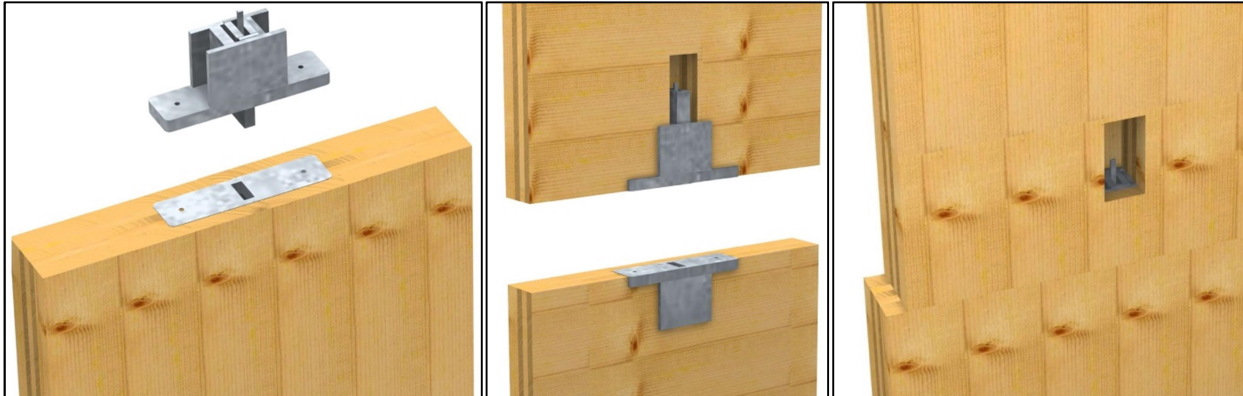


Abbildung 5-5: Anschlusssituation des „Universal Schubverbinders“ in der „Balloon“-Bauweise – (links) nicht montierte „obere“ Verbindungshälfte und vormontierte „untere“ Verbindungshälfte, (Mitte) Vormontierte Verbindungshälften in den BSP-Wänden (Darstellung ohne äußerer Decklage), (rechts) geschlossene Verbindung mit Montageöffnung im BSP

Der „Universal Schubverbinder“ besteht aus mehreren Einzelteilen (siehe Abbildung 5-6). Die „Futterbleche“ werden für den Toleranzausgleich „in“ und „aus“ der Fugeneben benötigt. Dazu werden diese zwischen „Gehäuse A“ und dem „Schubdorn“, je nach Toleranzabweichung, in unterschiedlichen Blechdicken eingebaut. Die beiden „Gehäuse A“ und B, samt „Schubdorn“ werden bereits im Werk vormontiert und über Sicherungsschrauben am BSP befestigt (in Abbildung 5-6 sind nur die Bohrungen für die Sicherungsschrauben dargestellt). Als erster Schritt zur Verbindung des Montagestoßes wird der „Schubdorn“ vom „Gehäuse A“ in das „Gehäuse B“ eingeführt. Nachfolgend werden die Freiräume zwischen „Gehäuse A“ und dem Schubdorn mittels der „Futterbleche“ passgenau ausgefüllt. Sämtliche Bauteile des „Universal Schubverbinders“ sind aus feuerverzinktem Stahl der Güte S355 konzipiert.

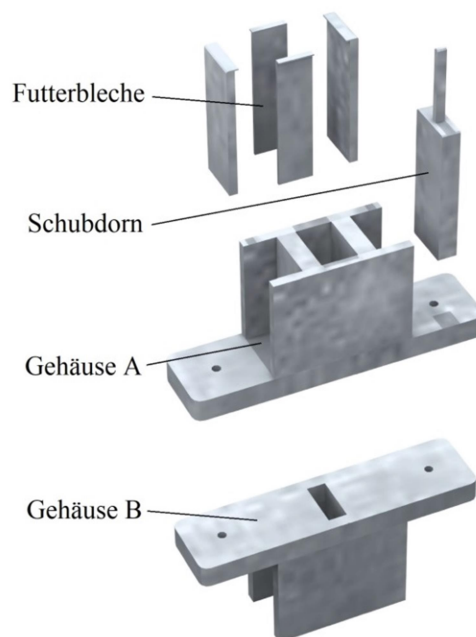


Abbildung 5-6: Wesentliche Bestandteile des „Universal Schubverbinders“

Abbildung 5-7 stellt zwei Schnitte um die Mittelachse vom „Universal Schubverbinder“ dar. In den Schnitten ist ein geschlossener „Universal Schubverbinder“ ersichtlich. Die genaue Schnittführung ist in

Anhang B ersichtlich. „In“ und „aus“ der Fugenebene ist ein Toleranzausgleich durch die „Futterbleche“ von ± 5 mm bzw. ± 3 mm möglich. Um den Einbau des „Schubdorns“ zu erleichtern, ist eine Einbautoleranz von einem Millimeter (das Auslangen dieser Einbautoleranz gilt es in der praktischen Anwendung zu überprüfen) vorgesehen. Der „Schubdorn“ ist mit einem „Bedienstab“ ausgestattet, um diesen über die Montageöffnung im BSP per Hand bedienen zu können. Weiter ist am „Schubdorn“ eine Bohrung vorgesehen, welche es ermöglicht einen Sicherungsbolzen einzuführen. Der Sicherungsbolzen ist dafür verantwortlich, dass der „Schubdorn“ bis zum Verschließen der Verbindung innerhalb des „Gehäuses A“ verbleibt. Diese Funktion ist in Bezug auf den Montagevorgang gerade in den Kontaktfugen „Decke | Decke“ und „Wand | Wand“ vorteilhaft. „Gehäuse A“ und „Gehäuse B“ werden durch je zwei Sicherungsschrauben im BSP befestigt (im Schnitt I-I sind lediglich die Bohrungen für die Sicherungsschrauben dargestellt). Zur Lagesicherung des „Schubdorns“ ist eine „Einschubbegrenzung“ für diesen vorgesehen.

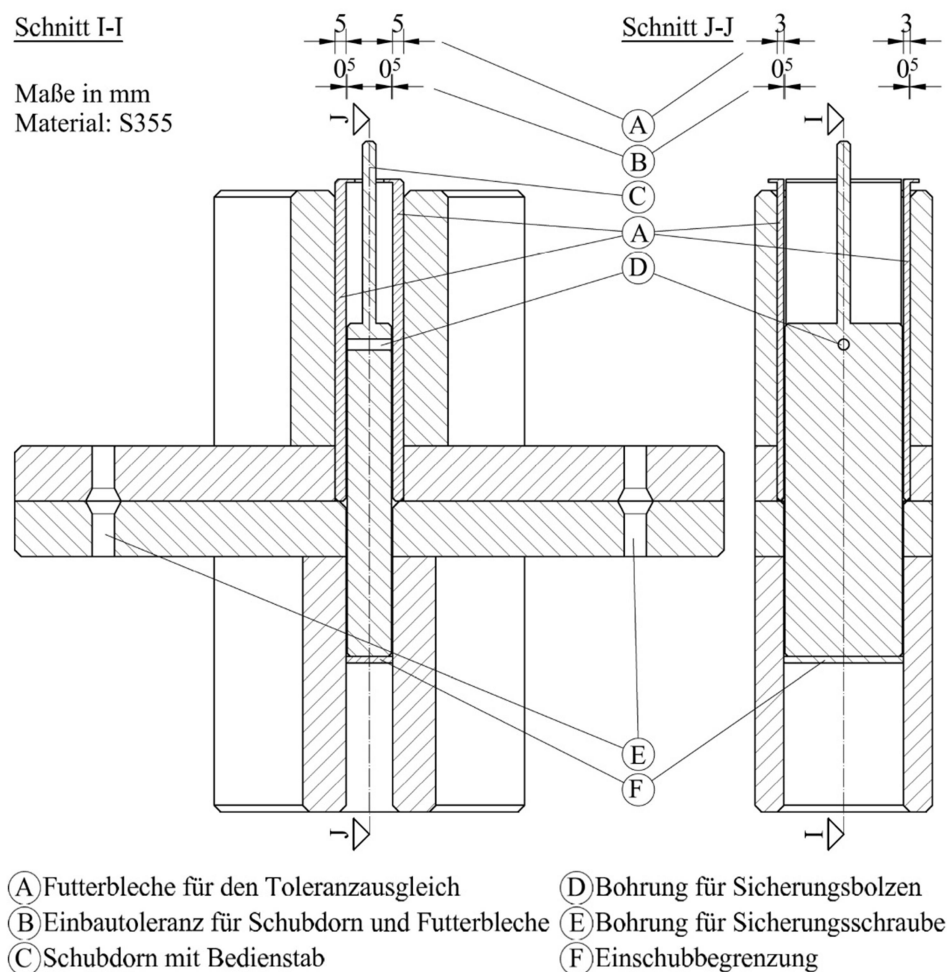


Abbildung 5-7: Toleranzen und ausgewählte Funktionen des „Universal Schubverbinders“

5-1.3 DISSIPATIVER SCHUBVERBINDER

Der „Dissipative Schubverbinder“ ist in seiner gegenwärtigen Konzeption auf Grund der großen Abmessungen für praktische Anwendungen noch ungeeignet und bedarf einer umfassenden Optimierung. Das gegenwärtig vorliegende Konzept dient daher vordergründig der Darlegung der im Hinblick auf dessen Funktionsweise getätigten Überlegungen (siehe Abschnitt 4-1.2).

Der „Dissipative Schubverbinder“ findet nach den Verhaltensanforderungen an die Kontaktfugen in Abschnitt 4-1.2, in den duktilen und dissipativen Kontaktfugen Anwendung. Sind neben Schubkräften „in“ und „aus“ der Fugenebene auch Zugkräfte „quer“ zur Fugenebene aufzunehmen soll dies in

Kombination mit den dafür vorgesehenen „Universal Zuganker“ geschehen. Die Verbindung soll möglichst duktil / dissipativ und zuverlässig im Verhalten ausschließlich Schubbelastungen aufnehmen. Der „Dissipative Schubverbinder“ ist somit primär für den Einsatz in den Kontaktfugen „Wand | Fundament“, „Wand | Wand“ („Balloon“-Bauweise) und „Wand | Decke | Wand“ („Plattform“-Bauweise) konzipiert. Die Schubbeanspruchungen werden direkt von der darüber liegenden Schubwand in die darunter liegende Schubwand eingeleitet. Im Zusammenhang mit Robustheitsbetrachtungen können wie beim „Zuganker Wand“ auch hier durch die direkte Kraftdurchleitung Vorteile erzielt werden. Die horizontalen Beanspruchungen je Geschoss sind im vorliegenden Verbinderkonzept mit separaten Schubverbindern entlang der Kontaktfuge „Wandhaupt | Decke“ in das geschossübergreifende Schubwandsystem einzuleiten. Um die zusätzlichen Schubverbinder in der Kontaktfuge „Wandhaupt | Decke“ einzusparen würde es für weitere Betrachtungen Sinn ergeben, diese direkt über den „Dissipativen Schubverbinder“ miteinzuleiten. Für diese Betrachtungen sind Informationen über die „zusätzliche“ horizontale Lasteinleitung je Geschoß / Decke notwendig, welche im Zuge der vorliegenden Masterarbeit nicht beurteilt wurden und somit in diesem Verbinderkonzept auch nicht berücksichtigt sind. Der unter diesem Abschnitt beschriebene Lösungsvorschlag für den „dissipativen Schubverbinder“ gilt für die Kontaktfuge „Wand | Decke | Wand“ in „Plattform“-Bauweise (siehe Abbildung 5-8). Für die Kontaktfugen „Wand | Fundament“, „Wand | Wand“ („Balloon“-Bauweise) sind adaptierte und optimierte Lösungen nötig, welche in dieser Masterarbeit nicht enthalten sind.

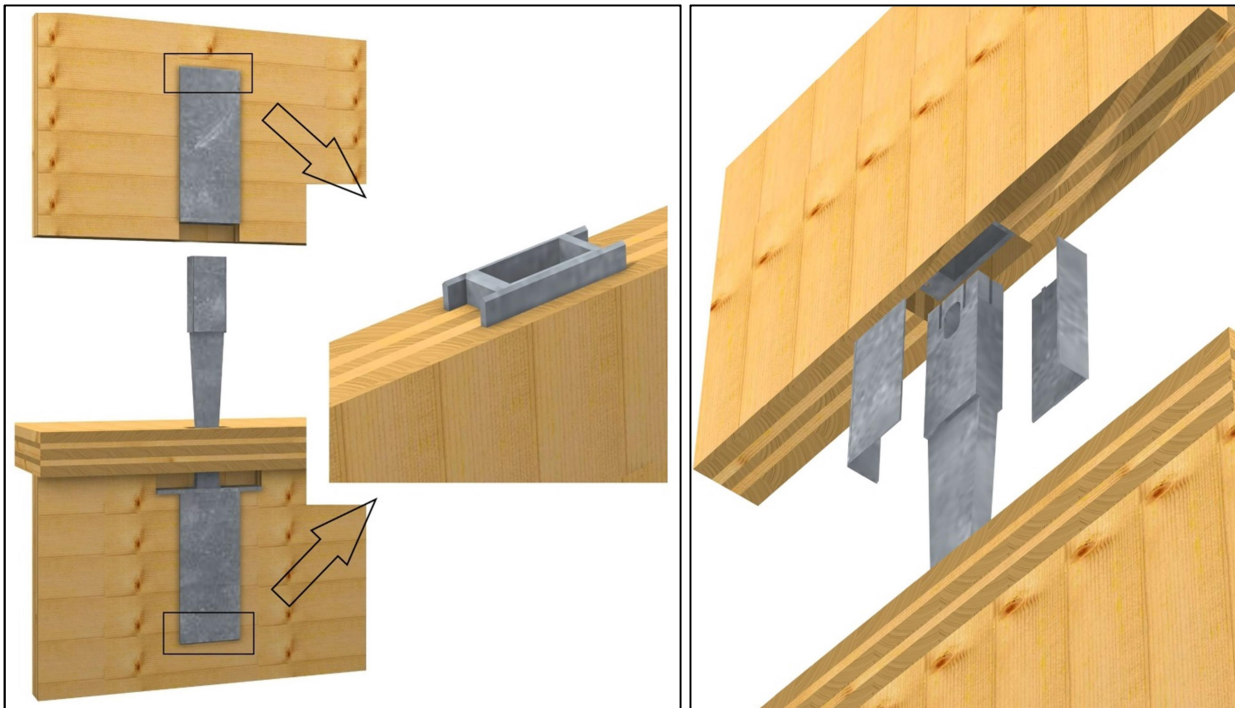


Abbildung 5-8: *Anschlusssituation des „Dissipativen Schubverbinders“ in der „Plattform“-Bauweise – (links) Montagezustand mit vormontierten Verbindungshälften (für ein besseres Verständnis ist die äußere Decklage der BSP-Wände hier nicht dargestellt), (rechts) Darstellung des Montagezustandes tlw. als Explosionsgrafik mit losgelösten Futterblechen (Toleranzausgleich) und Öffnung zur Transportverankerung*

Der Grundgedanke hinter dem „Dissipativen Schubverbinder“ liegt darin dass die einwirkenden Schubkräfte über eine Momentenbeanspruchung im Schubdorn zu einem dissipativen Verhalten (Dämpfer) und zu einem duktilen Versagen des Verbinders führen. Dazu wird der Schubdorn im oberen und unteren BSP-Wandelement biegesteif eingespannt. Die Einspannungen sind mit entsprechenden Überfestigkeiten auszustatten, um eine kontrolliertes Versagen im Schubdorn zu garantieren. Das mechanische Grundmodell vom Schubdorn losgelöst von den umliegenden Verbinderbestandteilen ist in Abbildung 5-9 ersichtlich.

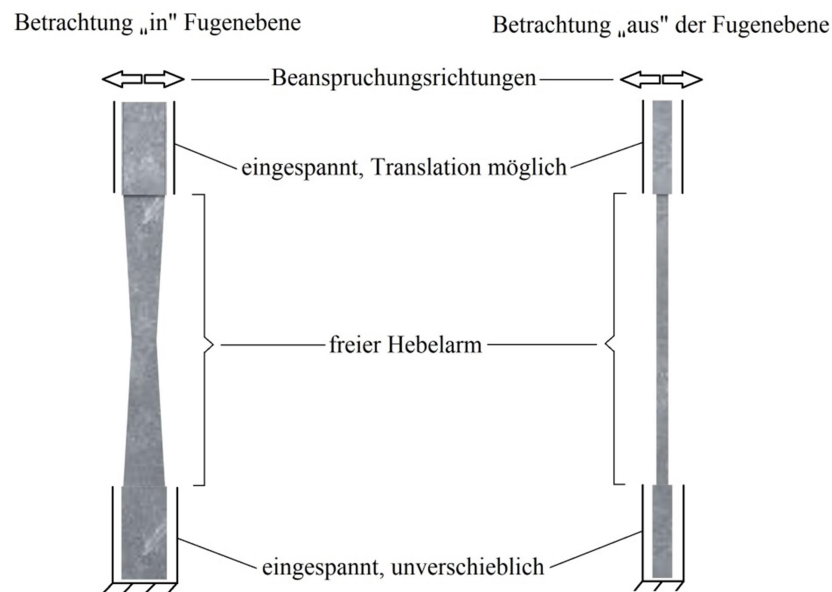


Abbildung 5-9: Mechanisches Modell des isoliert betrachteten Schubdorns

Die wesentlichen Bestandteile vom „Dissipativen Schubverbinder“ sind unter Abbildung 5-10 dargestellt. Für die Krafteinleitung in die BSP-Wandscheiben sind „Gehäuse A“ und „Gehäuse B“ verantwortlich. Über direkten Kontakt (siehe Abbildung 5-8 links) werden Schubkräfte „in“ und „aus“ der Fugenebene und die daraus resultierenden Momente formschlüssig in das BSP eingeleitet (siehe auch Abbildung 5-8). Der „Schubdorn“ ist mit dem „Gehäuse B“ fix verbunden. Das „Gehäuse B“ wird mittels einer Verschraubung am BSP montiert um den „Dissipativen Schubverbinder“ während der Montage als Transportverankerung zu nutzen. Zum gleichen Zweck ist außerdem eine Verankerungsvorrichtung für diverse Hebemittel am oberen Ende vom „Schubdorn“ vorgesehen. Um einen entsprechenden Toleranzausgleich „in“ und „aus“ der Fugenebene zu ermöglichen werden nach dem Versetzen der Elemente am oberen Ende des „Schubdorns“ vier „Futterbleche“ (ein „Futterblech“ je Seite) in unterschiedlichen Stärken angebracht. Die „Futterbleche“ werden über eine Art Schwalbenschwanz als Montagevorrichtung am „Schubdorn“ eingehängt. Sämtliche Teile des „Dissipativen Schubverbinders“ sind aus feuerverzinktem Stahl der Güte S460 konzipiert.

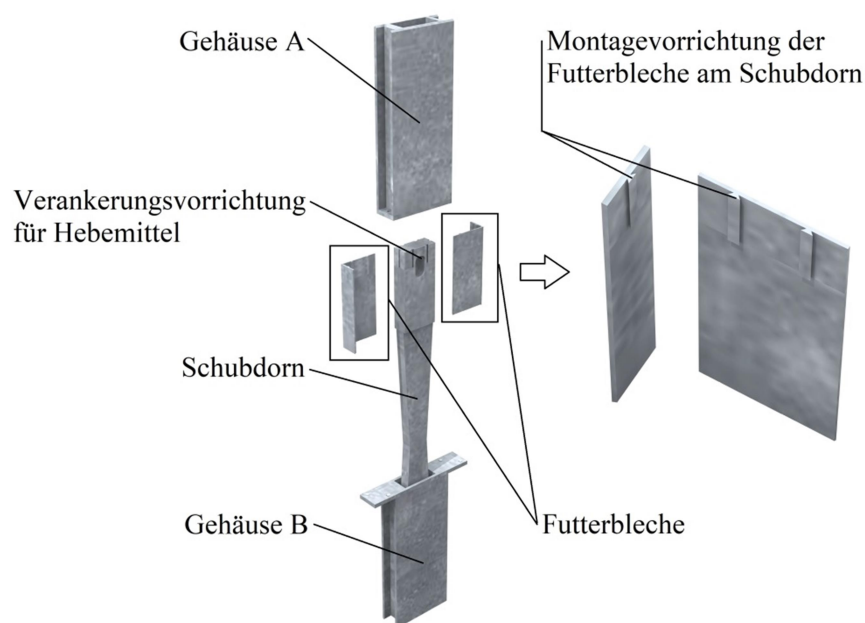


Abbildung 5-10: Wesentliche Bestandteile des „Dissipativen Schubverbinders“

Abbildung 5-11 veranschaulicht den „Dissipativen Schubverbinder“ im eingebauten Zustand. Die Negativform des Verbinders bzw. Anschlussstücks wird in die BSP-Elemente eingefräst. Das „Gehäuse A“ wird mit zwei Sicherungsschrauben im BSP montiert. Die Sicherungsschrauben hindern das „Gehäuse A“ lediglich am Herausfallen und sind für die Einleitung der Anschlusskräfte irrelevant. Der in Abbildung 5-11 dargestellte „Dissipative Schubverbinder“ ist für eine maximale Deckenstärke von 190 mm in Kombination mit einem 10 mm Schallschutzlager ausgelegt. In Summe ergibt dies den dargestellten maximalen Abstand für die Deckenlagerung von 200 mm. Generell sollte ein Abstand für die Deckenlagerung von mindestens 300 mm berücksichtigt werden, um die Verwendung des Verbinders für eine Vielzahl an Deckenaufbauten zu ermöglichen. Aufgrund der ohnehin schon sehr großen Abmessungen des Verbinders bleibt dies jedoch unberücksichtigt. Der minimale Abstand zwischen den BSP-Wandelementen liegt in der „Balloon“-Bauweise mit lediglich dem Schallschutzlager als Abstand vor. Je geringer der Abstand zwischen den Wandelementen ausfällt umso tiefer sind die Fräsungen im BSP auszuführen. Eine Abstufung über die Größe des Abstandes zwischen den Wandelementen ist anzustreben, da dieser Abstand die maßgebenden Momentenbeanspruchungen in den Gehäusen und am Schubdorn hervorruft. An dieser Stelle gilt es zu erwähnen, dass in Abhängigkeit mehrerer Faktoren (Material, Geometrie, mechanisches System, etc.) eine gewisse minimale freie Schubdornlänge (siehe freier Hebelarm in Abbildung 5-9) nicht unterschritten werden kann, da sonst das System zu steif wird und das dissipative Verhalten ausbleibt. Speziell in der „Balloon“-Bauweise ist eventuell ein einseitig eingespannter Schubdorn zielführend. Für weiterführende Betrachtungen könnten auch spezielle Federn (z. B. Ringfedern / Reibfedern) als Dämpfungssystem in Erwägung gezogen werden.

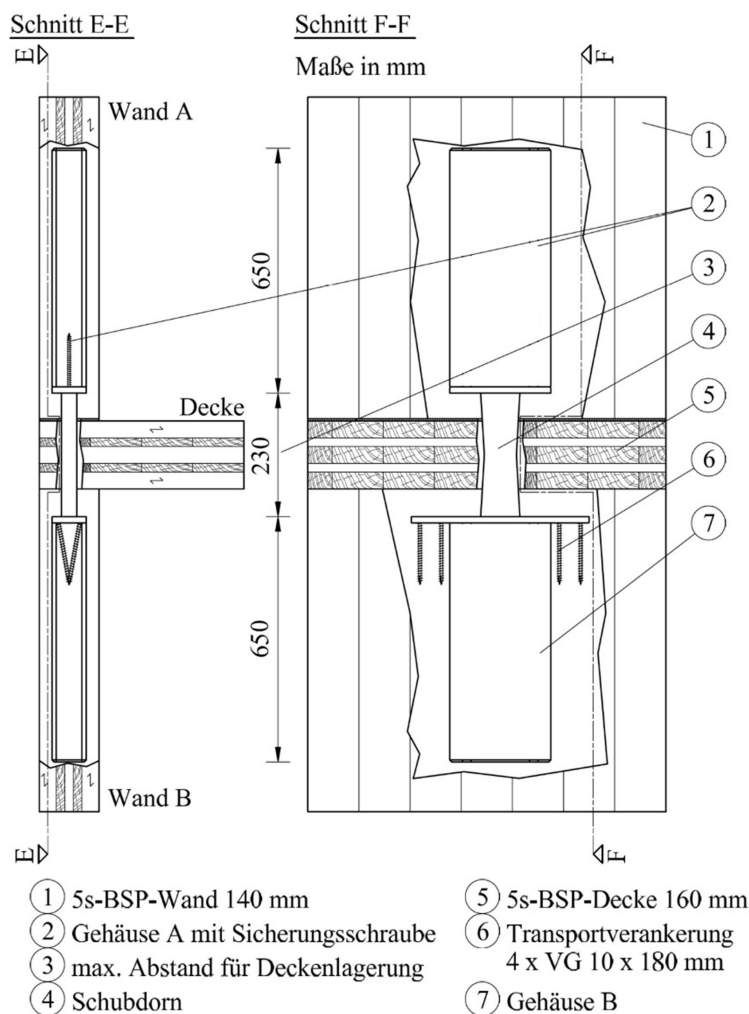
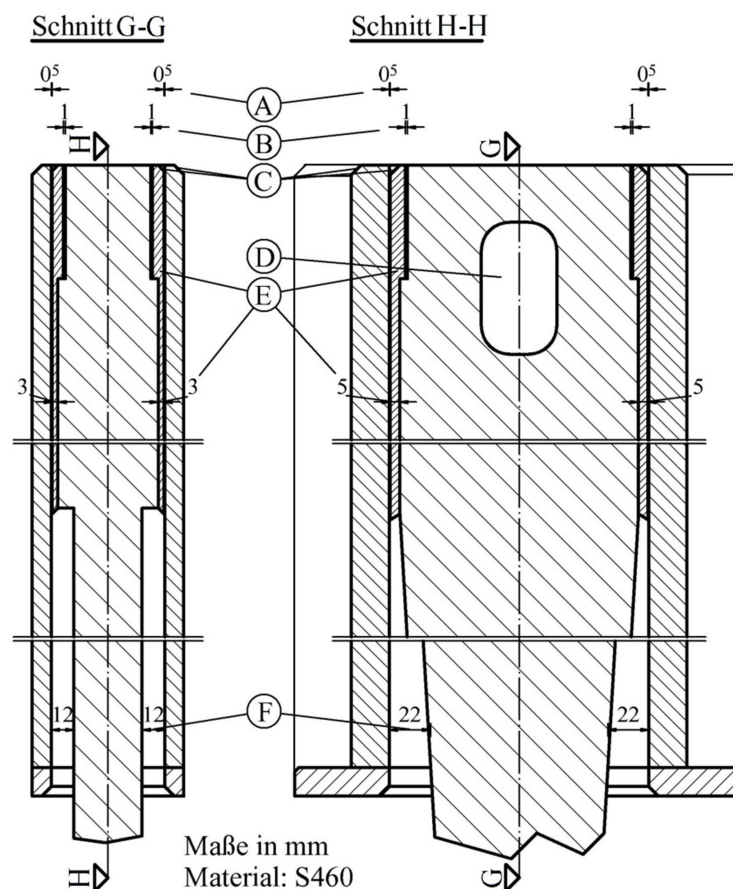


Abbildung 5-11: Einbauzustand des „Dissipativen Schubverbinders“: Darstellung anhand unterschiedlicher Wandschnitte

Für den Transport bzw. zum Versetzen der BSP-Wandelemente wird das „Gehäuse B“ vom „dissipativen Schubverbinder“ mit vier Vollgewindeschrauben im BSP verankert. Die Zugbeanspruchung wird dazu mit einer willkürlich festgelegten maximalen Zugkraft von 40 kN beschränkt.

Abbildung 5-12 stellt zwei Schnitte um die Mittelachsen vom „Dissipativen Schubverbinder“ dar, worin der Toleranzausgleich und sonstige Funktionen ersichtlich sind. Die genaue Schnittführung ist in Anhang B ersichtlich. Für einen leichten Einbau sorgt die Einbautoleranz zwischen „Schubdorn“ und „Gehäuse“ mit in Summe einem Millimeter. Nicht nur Toleranzen, sondern auch Anfasungen der ineinandergreifenden Verbinderbestandteile, sollen die Montage erleichtern. Für einen Toleranzausgleich „in“ und „aus“ der Fugenebene sorgen die „Futterbleche“. Je Richtung sind hier +/- 5 mm oder +/- 3 mm Toleranzausgleich möglich. Es gilt dabei zu beachten, dass auf der jeweilig gegenüberliegenden Seite das „Futterblech“ in abgestimmter Form mitangepasst werden muss, um keinen unplanmäßigen Schlupf in der Verbindung hervorzurufen. Um die freie Hebelarmlänge vom „Schubdorn“ auf Biegung zu wahren sind entsprechende Verformungsfreiräume zum „Gehäuse“ und zum BSP notwendig.



- | | |
|--|---|
| Ⓐ Einbautoleranz für den Schubdorn | Ⓓ Verankerungsvorrichtung für Hebelmittel |
| Ⓑ Einbautoleranz für die Futterbleche | Ⓔ Futterbleche für den Toleranzausgleich |
| Ⓒ Fasen für einen erleichterten Einbau | Ⓕ Verformungsfreiraum „in“ und „aus“ der Fugenebene |

Abbildung 5-12: Toleranzen und ausgewählte Funktionen vom „Dissipativen Schubverbinder“

5-2 VORDIMENSIONIERUNG

5-2.1 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Die Vorbemessung erfolgt auf Basis von (ON EN 1993-1-1, 2014), (ÖNORM B 1995-1-1, 2015) und der in Abschnitt 2-1.3 eingeführten Festigkeitswerte für CL24. Die Vorbemessung erfolgt für 5-schichtige BSP-Wände mit einer festgelegten Wandstärke von $t_{CLT} \geq 100$ mm. Vorab werden die folgenden Variablen definiert, welche für die Vorbemessung der Verbindungsmittel von Relevanz sind:

Baustoffkennwerte Stahl:

$$\begin{aligned}
 f_{y,460} &= 46,0 \text{ kN/cm}^2 & f_{y,355} &= 35,5 \text{ kN/cm}^2 & \dots \text{Streckgrenze} \\
 \tau_{R,460} &= \frac{f_{y,460}}{\sqrt{3}} = 26,6 \text{ kN/cm}^2 & \tau_{R,355} &= \frac{f_{y,355}}{\sqrt{3}} = 20,5 \text{ kN/cm}^2 & \dots \text{Schubfestigkeit}
 \end{aligned}$$

Baustoffkennwerte BSP gemäß Abschnitt 2-1.3:

$$\begin{aligned}
 f_{CL24,c,x,k} &= 2,4 \text{ kN/cm}^2 & \dots \text{Druckfestigkeit parallel zur Faser} \\
 f_{CL24,c,z,k} &= 0,3 \text{ kN/cm}^2 & \dots \text{Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faser}
 \end{aligned}$$

Einwirkungen gemäß Abschnitt 4-2.1.3:

$$F_Z = 150 \text{ kN} \qquad F_X = 120 \text{ kN} \qquad F_Y = 15 \text{ kN}$$

5-2.2 UNIVERSAL ZUGANKER

Für die Vordimensionierung des „Universal Zugankers“ sind einige Angaben nötig. Abbildung 5-13 und Abbildung 5-14 beinhalten Position, Abmessungen sowie eine Kurzbeschreibung der geführten Nachweise. Diese Informationen lassen sich über eine aufsteigende Nummerierung zuordnen, auf welche beim jeweiligen Nachweis verwiesen wird (z. B. Abbildung 5-13, 1). Die Stahlbaunachweise werden abweichend zu den Abbildungen auf Basis von Zentimetern geführt.

Mit Gl. (5.1) wird das Biegemoment im Bolzenkopf des Zugbolzens berechnet. Als statisches System wird ein Einfeldträger mit einer in der Mitte angreifenden Einzellast angenommen (siehe Abbildung 5-13, 1). Weiter wird vereinfacht angenommen, dass sich ein zwei-achsig gespanntes System einstellt und sich dieses über zwei orthogonal aufeinander stehende Ersatzquerschnitte abträgt. Jeder der beiden Ersatzquerschnitte soll die halbe Last F_Z (Rot dargestellt) aufnehmen. Der Abstand von der Mittelachse des Zugbolzens zum Auflager (Gehäuse) ist mit $l_{BK} = 37$ mm gegeben. Einen infolge Translation verschobenen Zugbolzen / Bolzenkopf gilt es in weiterführenden Betrachtungen zu untersuchen.

$$M_{BK,max} = \frac{\frac{F_Z}{2}}{2} \cdot l_{BK} = \frac{150}{4} \cdot 3,7 = 139 \text{ kNcm} \quad (5.1)$$

Mit Gl. (5.2) wird das Widerstandsmoment des Bolzenkopfes je Spannrichtung berechnet. Vereinfacht wird die Ersatzbreite mit dem Zugbolzendurchmesser $d_{ZB} = 30$ mm berücksichtigt. Die Höhe vom Bolzenkopf beträgt $h_{BK} = 30$ mm (siehe Abbildung 5-13, 1).

$$W_{BK} = \frac{d_{ZB} \cdot h_{BK}^2}{6} = \frac{3,0 \cdot 3,0^2}{6} = 4,5 \text{ cm}^3 \quad (5.2)$$

Mit Gl. (5.3) wird die Biegenormalspannung infolge der Biegebeanspruchung im Bolzenkopf überprüft. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt.

$$\sigma_{BK} = \frac{M_{BK,max}}{W_{BK}} = \frac{139}{4,5} = 30,89 \text{ kN/cm}^2 < \frac{f_{y,355}}{\gamma_{M0}} = 35,5 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.3)$$

Mit Gl. (5.4) wird die Beanspruchung auf Abscheren im Bolzenkopf (Anschlussbereich Bolzen zu Bolzenkopf) überprüft. Die beanspruchte Querschnittsfläche berechnet sich über den Zugbolzendurchmesser mit $d_{ZB} = 30$ mm und die Bolzenkopfhöhe. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt. Die Ausnutzung liegt unter 50 % weshalb auf eine Interaktion mit der Biegenormalspannung an jener Stelle verzichtet wird.

$$\tau_{BK} = \frac{F_Z}{\pi \cdot d_{ZB} \cdot h_{BK}} = \frac{150}{\pi \cdot 3,0 \cdot 3,0} = 5,3 \text{ kN/cm}^2 < \frac{\tau_{R,355}}{\gamma_{M0}} = 20,5 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.4)$$

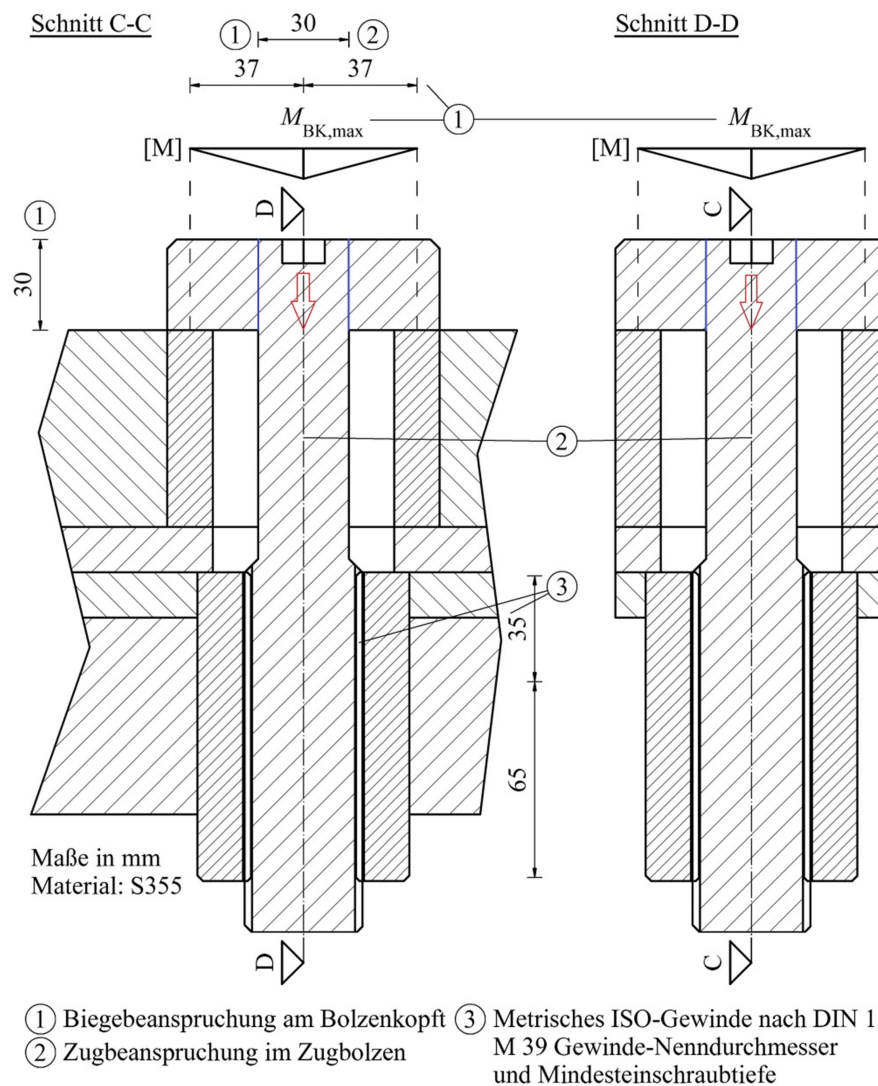


Abbildung 5-13: Grundlage für die Vorbemessung des „Universal Zugankers“

Mit Gl. (5.5) wird die Zugspannung vom Zugbolzen überprüft (siehe Abbildung 5-13, 2). Die Querschnittsfläche (in Blau dargestellt) berechnet sich über den Zugbolzendurchmesser d_{ZB} . Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt. Die Ausnutzung ist gering und erlaubt somit eine Optimierung des Bolzendurchmessers. Hinzu kommt der konservativ gewählte Bemessungsansatz.

$$\sigma_{ZB} = \frac{F_Z}{\frac{d_{ZB}^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{150}{\frac{3,0^2 \cdot \pi}{4}} = 21,22 \text{ kN/cm}^2 < \frac{f_{y,355}}{\gamma_{M0}} = 35,5 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.5)$$

Mit Gl. (5.6) wird die Einleitungslänge $l_{VSt,3,erf}$ für das Innengewinde im „Zuganker Teil B“ abgeschätzt. Der Nachweis gilt als erfüllt, wenn die vorhandene Einleitungslänge (Mindesteinschraubtiefe) $l_{VSt,3}$ = 35 mm größer der erforderlichen Einleitungslänge $l_{VSt,3,erf}$ ist. Der Durchmesser wird für die Abschätzung mit dem Gewinde- Nenndurchmesser $d_{GN} = 39$ mm berechnet. Die Angaben zum Gewinde und die vorhandene Einleitungslänge sind in Abbildung 5-13, 3 ersichtlich.

$$l_{VSt,3,erf} = 0,8 \cdot d_{GN} = 0,8 \cdot 3,9 = 3,1 \text{ cm} < l_{VSt,3} \quad (5.6)$$

Punkt 4 & 5 in Abbildung 5-14 veranschaulichen die Biegebeanspruchung (rote Kraftpfeile) am Gehäuse bzw. an den Steifen. Vereinfacht wird das Modell eines Einfeldträgers verwendet. Die „Auflager“ bilden je vier Schrauben pro Seite. Es wird angenommen, dass je Seite die halbe Kraft von F_Z durch die Schrauben aufgenommen wird. Die einzeln angesetzte Ersatzschraubenkraft greift ca. im Schwerpunkt der Schraubengruppe je Seite an. Das maximale Moment $M_{Ge,max}$ mit der Position in der Gehäusemitte errechnet sich nach Gl. (5.7). Der Hebelarm wird mit $l_{Ge,max} = 113$ mm angenommen.

$$M_{Ge,max} = \frac{F_Z}{2} \cdot l_{Ge,max} = \frac{150}{2} \cdot 11,3 = 847,5 \text{ kNcm} \quad (5.7)$$

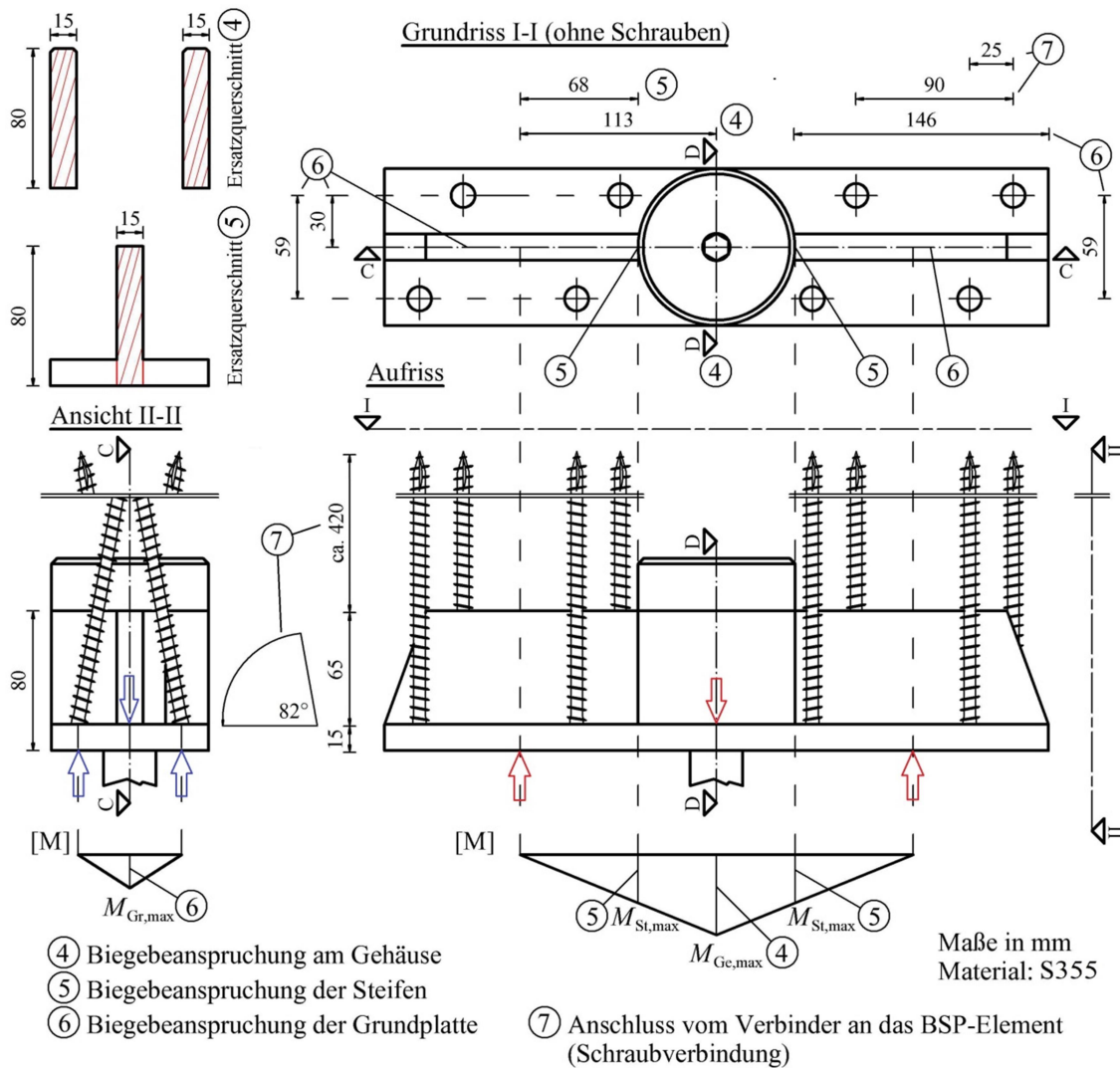


Abbildung 5-14: Grundlage für die Vorbemessung des „Universal Zugankers“

Als Querschnitt im Angriffspunkt des Moments $M_{Ge,max}$ wird vereinfachend der Ersatzquerschnitt nach Abbildung 5-14, 4 verwendet. Der Ersatzquerschnitt weist die Stärke $d_{Ge,max} = 15$ mm und die Höhe $h_{Ge,max} = 80$ mm auf. Nach Gl. (5.8) errechnet sich das Widerstandsmoment $W_{Ge,max}$.

$$W_{Ge,max} = \frac{2 \cdot d_{Ge,max} \cdot h_{Ge,max}^2}{6} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 8,0^2}{6} = 32,0 \text{ cm}^3 \quad (5.8)$$

Mit Gl. (5.9) errechnet sich die maximale Biegebeanspruchung am Gehäuse. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt. Die Ausnutzung ist relativ gering, da man eine hohe Biegesteifigkeit erzielen möchte.

$$\sigma_{Ge,max} = \frac{M_{Ge,max}}{W_{Ge,max}} = \frac{847,5}{32} = 26,48 \text{ kN/cm}^2 < \frac{f_{y,355}}{\gamma_{M0}} = 35,5 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.9)$$

Mit Gl. (5.10) wird die Schubbeanspruchung an der Stelle des Moments $M_{Ge,max}$ berechnet. Als Querschnittsfläche wird vereinfacht der Ersatzquerschnitt nach Abbildung 5-14, 4 verwendet. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird dabei mit 1,0 berücksichtigt. Die Ausnutzung liegt unter 50 % weshalb auf eine Interaktion mit $\sigma_{Ge,max}$ verzichtet wird.

$$\tau_{M_{Ge,max},zug} = \frac{\frac{F_z}{2}}{2 \cdot d_{Ge,max} \cdot h_{Ge,max}} = \frac{\frac{150}{2}}{2 \cdot 1,5 \cdot 8,0} = 3,1 \text{ kN/cm}^2 < \frac{\tau_{R,355}}{\gamma_{M0}} = 20,5 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.10)$$

Am Übergang vom Gehäuse an die Steifen tritt für die Steifen die höchste Biegebeanspruchung auf. Das Moment $M_{St,max}$ errechnet sich nach Gl. (5.11) mit einem Hebelarm von $l_{St,max} = 68$ mm.

$$M_{St,max} = \frac{F_z}{2} \cdot l_{St,max} = \frac{150}{2} \cdot 6,8 = 510,0 \text{ kNcm} \quad (5.11)$$

Als Querschnitt im Angriffspunkt des Moments $M_{St,max}$ wird vereinfachend der Ersatzquerschnitt nach Abbildung 5-14, 11 verwendet. Der Ersatzquerschnitt weist die Stärke $d_{St,max} = 15$ mm und die Höhe $h_{St,max} = 80$ mm auf. Das Widerstandsmoment $W_{St,max}$ errechnet sich nach Gl. (5.12).

$$W_{St,max} = \frac{d_{St,max} \cdot h_{St,max}^2}{6} = \frac{1,5 \cdot 8,0^2}{6} = 16,0 \text{ cm}^3 \quad (5.12)$$

Mit Gl. (5.13) errechnet sich die maximale Biegebeanspruchung in den Steifen. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt.

$$\sigma_{St,max} = \frac{M_{St,max}}{W_{St,max}} = \frac{510,0}{16} = 31,88 \text{ kN/cm}^2 < \frac{f_{y,355}}{\gamma_{M0}} = 35,5 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.13)$$

Mit Gl. (5.14) wird die Schubbeanspruchung an der Stelle des Moments $M_{St,max}$ berechnet. Als Querschnittsfläche wird vereinfacht der Ersatzquerschnitt nach Abbildung 5-14, 5 verwendet. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt. Die Ausnutzung liegt unter 50 % weshalb auf eine Interaktion mit $\sigma_{St,max}$ verzichtet wird.

$$\tau_{M_{St,max},zug} = \frac{\frac{F_z}{2}}{d_{St,max} \cdot h_{St,max}} = \frac{\frac{150}{2}}{1,5 \cdot 8,0} = 6,2 \text{ kN/cm}^2 < \frac{\tau_{R,355}}{\gamma_{M0}} = 20,5 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.14)$$

Im Bereich der Steifen wird die Grundplatte auf Biegung beansprucht (siehe Abbildung 5-14, 6 und die blauen Kraftpfeile). Vereinfacht wird der Bemessung wieder ein Einfeldträger als Modell zugrunde

gelegt. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Kraft F_Z zu je einem Viertel in den Schraubenpaaren befinden und so die Biegebeanspruchung der Grundplatte hervorrufen. Das maximale Biegemoment in der Grundplatte errechnet sich nach Gl. (5.15) mit einem Hebelarm von $l_{1,Gr,max} = 30$ mm.

$$M_{Gr,max} = \frac{F_Z}{4} \cdot l_{1,Gr,max} = \frac{150}{4} \cdot 3,0 = 112,5 \text{ kNcm} \quad (5.15)$$

Als Querschnitt im Angriffspunkt des Moments $M_{Gr,max}$ wird die Länge der Steifen je Seite und die Stärke der Grundplatte angenommen (siehe Abbildung 5-14, 12). Der Querschnitt weist die Stärke $d_{Gr,max} = 15$ mm und die Länge $l_{2,Gr,max} = 126$ mm auf. Nach Gl. (5.16) errechnet sich das Widerstandsmoment $W_{Gr,max}$.

$$W_{Gr,max} = \frac{l_{2,Gr,max} \cdot d_{Gr,max}^2}{6} = \frac{14,6 \cdot 1,5^2}{6} = 5,48 \text{ cm}^3 \quad (5.16)$$

Mit Gl. (5.17) errechnet sich die maximale Biegebeanspruchung in der Grundplatte. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt. Die Ausnutzung ist auch hier relativ gering, da man, wie bereits erwähnt, eine hohe Biegesteifigkeit erzielen möchte.

$$\sigma_{Gr,max} = \frac{M_{Gr,max}}{W_{Gr,max}} = \frac{112,5}{5,48} = 20,5 \text{ kN/cm}^2 < \frac{f_{y,355}}{\gamma_{M0}} = 35,5 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.17)$$

Mit Gl. (5.18) wird die Schubbeanspruchung an der Stelle des Moments $M_{Gr,max}$ berechnet. Die Querschnittsfläche wird vereinfacht mit der Stärke der Grundplatte $d_{Gr,max}$ und der Länge $l_{2,Gr,max}$ berechnet. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt. Die Ausnutzung liegt unter 50 % weshalb auf eine Interaktion mit $\sigma_{St,max}$ verzichtet wird.

$$\tau_{M_{Gr,max},zug} = \frac{\frac{F_Z}{4}}{d_{Gr,max} \cdot l_{2,Gr,max}} = \frac{\frac{150}{4}}{1,5 \cdot 14,6} = 1,7 \text{ kN/cm}^2 < \frac{\tau_{R,355}}{\gamma_{M0}} = 20,5 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.18)$$

In Abbildung 5-14, 13 sind die Randbedingungen für die Verschraubung vom „Universal Zuganker“ mit dem BSP-Element dargestellt. Die Achsabstände der Schrauben sind gleich oder größer als der fünffache Schraubendurchmesser gewählt. Der laut (ETA-12/0197, 2017) geforderte Achsabstand vom Zehnfachen des Schraubendurchmessers (100 mm) wird mit 90 mm leicht unterschritten, um eine kompaktere Bauweise des Verbinders zu erwirken. Generell gilt es den Schraubenanschluss hinsichtlich unterschiedlicher BSP-Aufbauten, Schraubentypen, Schraubenlängen, Einschraubwinkel, etc. noch genauer zu bewerten bzw. zu optimieren. Für die Vorbemessung wird der Schraubentyp „Timtec plus VG“ von Berner verwendet. Die Berechnung erfolgt nach (ETA-12/0197, 2017). Der Auszieh Widerstand wird mit einer in der Zulassung als Alternative angebotenen Berechnungsmethode unabhängig vom Einschraubwinkel berechnet. Nach Gl. (5.19) wird der Auszieh Widerstand einer Schraube in der BSP-Schmalseite ermittelt. Die effektive Verankerungslänge wird mit $l_{ef,ZW} = 420$ mm angenommen (siehe Abbildung 5-14, 13). Der Schraubendurchmesser wird mit $d_{ZW} = 10$ mm definiert. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M2} und $\gamma_{M,BSP}$ wird mit 1,25 und der Modifikationsbeiwert k_{mod} mit 0,9 (KLED „kurz“) berücksichtigt.

$$R_{ax,d,ZW} = 20 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef,ZW}^{0,9} = 20 \cdot 10^{0,8} \cdot 420^{0,9} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,BSP}} = 20,85 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (5.19)$$

Nach Gl. (5.20) berechnet sich die Zugtragfähigkeit der Schraube. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M2} wird mit 1,25 und die charakteristische Zugtragfähigkeit mit 32 kN berücksichtigt.

$$f_{tens,d} = \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{32}{1,25} = 25,6 \text{ kN} \quad (5.20)$$

In Gl. (5.21) wird die benötigte Schraubenanzahl $n_{ZW,erf}$ für die Verankerung der Kraft F_Z im BSP ermittelt. Da der Auszieh Widerstand geringer als die Zugtragfähigkeit der Schraube ist, wird jener zur Ermittlung der erforderlichen Schraubenanzahl verwendet. Die effektive Schraubenanzahl wird mit dem Faktor 0,9 berücksichtigt.

$$n_{ZW,erf} = \frac{F_Z}{0,9 \cdot R_{ax,d,ZW}} = \frac{150 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 20,85 \cdot 10^3} = 7,99 \text{ Stk} \Rightarrow 8 \text{ Stk} \leq n_{ZW,vor} = 8 \text{ Stk} \quad (5.21)$$

5-2.3 UNIVERSAL SCHUBVERBINDER

Für die Vordimensionierung des „Universal Schubverbinders“ sind einige Angaben nötig. Abbildung 5-15 beinhaltet Angaben, Position, Abmessungen und eine Kurzbeschreibung des geführten Nachweises. Diese Informationen lassen sich über eine aufsteigende Nummerierung zuordnen, auf welche beim jeweiligen Nachweis verwiesen wird. Die Stahlbaunachweise werden abweichend zu den Abbildungen auf Basis von Zentimetern geführt.

Das in Abbildung 5-15 eingeführte mechanische Modell gilt sowohl für Belastungen „in“ als auch für Belastungen „aus“ der Fugenebene. Die Grundgeometrie des „Universal Schubverbinders“ resultiert aus den erforderlichen Lasteinleitungsflächen hin zum BSP. Der Nachweis der Blechdicken wird im Zuge der Vordimensionierung nur sehr vereinfacht vollzogen, oder überhaupt vernachlässigt. Um den Materialeinsatz möglichst gering zu gestalten, ist eine Optimierung der Stahlteile im Zuge der weiteren Entwicklungsarbeit anzustreben. Dies ist jedoch nicht Inhalt der vorliegenden Masterarbeit.

Abbildung 5-15 bildet die Grundlage zur Vorbemessung des „Universal Schubverbinders“ „in“ und „aus“ der Fugenebene. Wie darin veranschaulicht wird davon ausgegangen, dass die resultierenden Kräfte jeweils in den Flächenschwerpunkten der Lasteinleitungsflächen angreifen. Als Konsequenz daraus entstehen Exzentrizitätsmomente M_{Fx} und M_{Fy} , welche über die Kräftepaare $F_{k,M,X}$ und $F_{k,M,Y}$ aufgenommen werden. Es wird die Annahme getroffen, dass die Exzentrizitätsmomente bzw. die daraus resultierenden Kräftepaare $F_{k,M,X}$ und $F_{k,M,Y}$ unabhängig und in unterschiedlichen Lasteinleitungsflächen zur Beanspruchung $F_{k,X}$ und $F_{k,Y}$ führen und in das BSP eingeleitet werden (siehe Abbildung 5-15, 1 und 2 bzw. 3 und 4). „Gehäuse A“ und „Gehäuse B“ des „Universal Schubverbinders“ sind überwiegend symmetrisch ausgeführt, weshalb in der weiteren Vorbemessung nur eine Verbinderhälfte („Gehäuse A“) betrachtet wird. Im BSP wird eine konstante Spannungsverteilung angenommen (siehe Abbildung 5-15). Diese Annahme basiert auf dem duktilen Verhalten von Holz unter Druckbeanspruchung parallel zur Faser.

Mit Gl. (5.22) berechnet sich die Drucknormalspannung im BSP zu Folge der Kraft $F_{k,X}$ ($F_{k,X} = F_X$). Die Lasteinleitungsfläche ergibt sich aus der Gesamthöhe vom „Gehäuse A“ $h_{Gh,us}$ mit 180 mm und der Gesamtbreite von $b_{G,us} = 80$ mm (siehe Abbildung 5-15,1). Ein geringfügiges Anfasen der Stahlteile zum leichteren Einbau bleibt in der Berechnung unberücksichtigt. Für die Berechnung der Druckspannung im BSP wird angenommen, dass eine effektive Lamellenstärke ($t_{CL,0,ef} = b_{G,us} / 2 = 40$ mm) für die Beanspruchung auf Druck parallel zur Faser zur Verfügung steht (trifft für eine Vielzahl handelsüblicher BSP-Aufbauten zu; die quer zur Faser auf Druck beanspruchte Querschnittsfläche bleibt unberücksichtigt). In Abhängigkeit des BSP-Aufbaues können Abweichungen zu dieser Annahme auftreten, welche dann in der Bemessung entsprechend zu berücksichtigen sind. Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,BSP}$ wird mit 1,25 und der Modifikationsbeiwert k_{mod} mit 0,9 (KLED „kurz“) berücksichtigt.

$$\sigma_{BSP,in,a} = \frac{F_X}{h_{Gh,us} \cdot t_{CL,0,ef}} = \frac{120 \cdot 10^3}{180 \cdot 40} = 16,67 \text{ N/mm}^2 < f_{CL24,c,x,d} = \frac{24}{\gamma_{M,BSP}} \cdot 0,9 = 17,28 \text{ N/mm}^2 \quad (5.22)$$

Mit Gl. (5.23) wird das Exzentrizitätsmoment M_{Fx} „in“ Fugenebene bestimmt. Der Hebelarm ist gleich der Gehäusehöhe $h_{Gh,us}$ (siehe Abbildung 5-15,2). Für praktische Anwendungen müsste man an dieser Stelle auch zwischen den Verbindungsmittelhälften liegende Schallschutzlager berücksichtigen. Der Einfachheit halber bleiben Schallschutzlager in der Vorbemessung jedoch unberücksichtigt.

$$M_{F_x} = F_x \cdot h_{Gh,uS} = 120 \cdot 10^3 \cdot 180 = 21,6 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (5.23)$$

Mit Gl. (5.24) wird die Kraft $F_{k,M,X}$ bestimmt. Der Hebelarm ist mit $h_{EX} = 236 \text{ mm}$ gegeben (siehe Abbildung 5-15,2).

$$F_{k,M,X} = \frac{M_{F_x}}{h_{EX}} = \frac{21,6 \cdot 10^6}{236} = 91,5 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (5.24)$$

Mit Gl. (5.25) berechnet sich die Drucknormalspannung im BSP zu Folge der Kraft $F_{k,M,X}$. Die Lasteinleitungsfläche berechnet sich aus der Länge $l_{G,uS} = 165 \text{ mm}$ und der Gesamtbreite des „Gehäuses A“ mit $b_{G,uS} = 80 \text{ mm}$ (siehe Abbildung 5-15,2). Fasen zum leichteren Einbau bleiben unberücksichtigt. Für die Berechnung der Druckspannung im BSP wird angenommen, dass eine effektive Lamellenstärke ($t_{CL,0,ef} = b_{G,uS} / 2 = 40 \text{ mm}$) für die Beanspruchung auf Druck parallel zur Faser zur Verfügung steht (trifft für eine Vielzahl handelsüblicher BSP-Aufbauten zu; die quer zur Faser auf Druck beanspruchte Fläche bleibt unberücksichtigt). In Abhängigkeit des BSP-Aufbaues können Abweichungen zu dieser Annahme auftreten, welche dann in der Bemessung entsprechend zu berücksichtigen sind.

$$\sigma_{BSP,in,b} = \frac{F_{k,M,X}}{l_{G,uS} \cdot t_{CL,0,ef}} = \frac{91,5 \cdot 10^3}{165 \cdot 40} = 13,87 \text{ N/mm}^2 < f_{CL24,c,d,k} = 17,28 \text{ N/mm}^2 \quad (5.25)$$

Die Vorbemessung „aus“ der Fugenebene wird in gleicher Weise zu den Berechnungen „in“ Fugenebene ausgeführt, wobei sich Abmessungen und Festigkeiten ändern. Bei Belastungsrichtung „aus“ der Fugenebene wird angenommen, dass die Kraft F_Y lediglich über zwei Kontaktflächen (gleich wie auch beim „dissipativen Schubverbinder“) aufgenommen wird. Durch dieses Vorgehen soll ein Aufspalten des BSP verhindert werden. Mit Gl. (5.26) berechnet sich die Drucknormalspannung im BSP zu Folge der Kraft $F_{k,Y}$ ($F_{k,Y} = F_Y$). Die Lasteinleitungsfläche ergibt sich aus der Höhe $h_{St,uS}$ mit 155 mm und der Einleitungslänge zum BSP mit 35 mm je Seite (siehe Abbildung 5-15,3). Fasen bzw. Schweißnähte werden hier berücksichtigt, weshalb die effektive Einleitungslänge $l_{Gh,uS,ef}$ je Seite mit 25 mm angenommen wird. Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,BSP}$ wird mit $1,25$ und der Modifikationsbeiwert k_{mod} mit $0,9$ (KLED „kurz“) berücksichtigt.

$$\sigma_{BSP,aus,a} = \frac{F_Y}{h_{St,uS} \cdot 2 \cdot l_{Gh,uS,ef}} = \frac{15 \cdot 10^3}{155 \cdot 2 \cdot 25} = 1,93 \text{ N/mm}^2 < f_{CL24,c,z,d} = \frac{3,0}{\gamma_{M,BSP}} \cdot 0,9 = 2,16 \text{ N/mm}^2 \quad (5.26)$$

Mit Gl. (5.27) wird das Exzentrizitätsmoment M_{F_y} „aus“ der Fugenebene bestimmt. Der Hebelarm ist mit $h_{uS,EY} = 205 \text{ mm}$ vorliegend (siehe Abbildung 5-15,4). Für praktische Anwendungen müsste man an dieser Stelle auch zwischen den Verbinderhälften liegende Schallschutzlager berücksichtigen. Der Einfachheit halber bleiben Schallschutzlager in der Vorbemessung jedoch unberücksichtigt.

$$M_{F_y} = F_y \cdot h_{uS,EY} = 15 \cdot 10^3 \cdot 205 = 3,08 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (5.27)$$

Mit Gl. (5.28) wird die Kraft $F_{k,M,Y}$ bestimmt. Der Hebelarm ist mit $h_{EY} = 40 \text{ mm}$ gegeben (siehe Abbildung 5-15,4).

$$F_{k,M,Y} = \frac{M_{F_y}}{h_{EY}} = \frac{3,08 \cdot 10^6}{40} = 77,0 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (5.28)$$

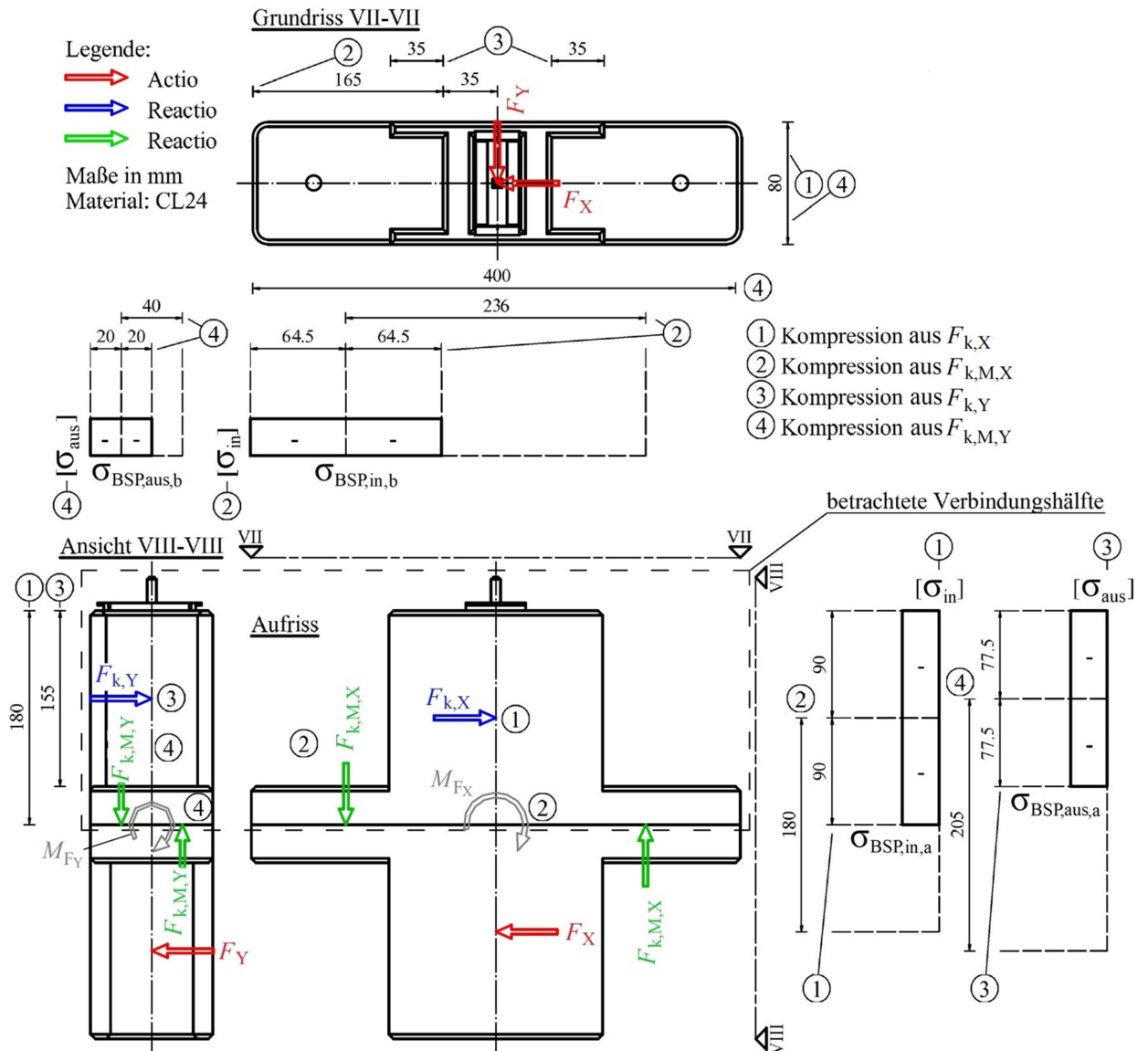


Abbildung 5-15: Grundlage zur Vorbemessung der Lasteinleitungsflächen im BSP bzw. der Grundgeometrie des „Universal Schubverbinders“

Mit Gl. (5.29) berechnet sich die Drucknormalspannung im BSP zu Folge der Kraft $F_{k,M,Y}$. Die Lasteinleitungsfläche berechnet sich aus der halben Gesamtbreite ($b_{G,us} / 2$) und der Gesamtlänge $l_{G,uS,ges} = 320$ mm des „Gehäuses A“ (siehe Abbildung 5-15.4). Für die Berechnung der Druckspannung im BSP wird angenommen, dass eine effektive Lamellenstärke ($t_{CL,0,efl} = b_{G,us} / 4 = 20$ mm) für die Beanspruchung auf Druck parallel zur Faser zur Verfügung steht (trifft für eine Vielzahl handelsüblicher BSP-Aufbauten zu; die quer zur Faser auf Druck beanspruchte Fläche bleibt unberücksichtigt). In Abhängigkeit des BSP-Aufbaues können Abweichungen zu dieser Annahme auftreten, welche dann in der Bemessung entsprechend zu berücksichtigen sind.

$$\sigma_{BSP,aus,b} = \frac{F_{k,M,Y}}{l_{G,uS,ges} \cdot t_{CL,0,efl}} = \frac{77,0 \cdot 10^3}{400 \cdot 20} = 9,63 \text{ N/mm}^2 < f_{CL24,c,x,d} = 17,28 \text{ N/mm}^2 \quad (5.29)$$

Mit Gl. (5.30) wird am Schubdorn (Anhang B) die Beanspruchung auf Abscheren berechnet. Die Scherfläche ergibt sich aus der Stärke $d_{uS,Sd} = 20$ mm und Breite $h_{uS,Sd} = 53$ mm des Schubdorns. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt.

$$\tau_{uS,Sd} = \frac{F_x}{d_{uS,Sd} \cdot h_{uS,Sd}} = \frac{120}{2,0 \cdot 5,3} = 11,3 \text{ kN/cm}^2 < \frac{\tau_{R,355}}{\gamma_{M0}} = 20,5 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.30)$$

Eine Interaktion der Beanspruchungen F_Y und F_x wird nicht maßgebend und daher auch nicht weiter berechnet.

5-2.4 DISSIPATIVER SCHUBVERBINDER

Für die Vordimensionierung des „dissipativen Schubverbinders“ sind einige Angaben nötig. Abbildung 5-16 bis Abbildung 5-18 beinhalten Angaben, Position, Abmessungen und eine Kurzbeschreibung des geführten Nachweises. Diese Informationen lassen sich über eine aufsteigende Nummerierung zuordnen, auf welche beim jeweiligen Nachweis verwiesen wird. Die Stahlbaunachweise werden abweichend zu den Abbildungen auf Basis von Zentimetern geführt.

Das unter Abbildung 5-16 eingeführte mechanische Modell gilt sowohl für Belastungen „in“ als auch für Belastungen „aus“ der Fugenebene. Die jeweiligen Berechnungen werden über den Index „in“ bzw. „aus“ direkt beim Nachweis der entsprechenden Richtung zugewiesen.

Mit Gl. (5.31) wird die Schubbeanspruchung an der Stelle des Moments $M_{Sd,max,in}$ berechnet. Die Querschnittsfläche berechnet sich über die Breite $b_{Sd} = 36 \text{ mm}$ und Höhe $h_{Sd,Mmax} = 126 \text{ mm}$ des Schubdorns (siehe Abbildung 5-16). Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt. Die Ausnutzung liegt unter 50 % weshalb auf eine Interaktion mit $M_{Sd,max,in}$ verzichtet wird.

$$\tau_{Sd} = \frac{F_x}{b_{Sd} \cdot h_{Sd,Mmax}} = \frac{120}{3,6 \cdot 12,6} = 2,65 \text{ kN/cm}^2 < \frac{\tau_{R,460}}{\gamma_{M0}} = 26,6 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.31)$$

Mit Gl. (5.32) wird das plastische Moment des Schubdornquerschnittes $M_{Sd,pl,in}$ an der Stelle $M_{Sd,max}$ „in“ Fugenebene berechnet. Der Querschnitt an der Stelle des maximalen Biegemoments berechnet sich über die Höhe $h_{Sd,Mmax}$ und die Breite b_{Sd} (siehe Abbildung 5-16).

$$M_{Sd,pl,in} = \frac{f_{y,460} \cdot b_{Sd} \cdot h_{Sd,Mmax}^2}{4} = \frac{46,0 \cdot 3,6 \cdot 12,6^2}{4} = 6573 \text{ kNcm} \quad (5.32)$$

Mit Gl. (5.33) errechnet sich das maximale Biegemoment „in“ Fugenebene $M_{Sd,max,in}$ im Schubdorn (siehe Abbildung 5-16). Für die Berechnung des Moments wird der freie Hebelarm mit $l_{Sd} = 880 \text{ mm}$ angesetzt. Der Nachweis gilt als erfüllt, wenn $M_{Sd,max,in}$ kleiner als das plastische Moment $M_{Sd,pl,in}$ ist. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt.

$$M_{Sd,max,in} = \frac{F_x \cdot l_{Sd}}{2} = \frac{120 \cdot 88,0}{2} = 5280 \text{ kNcm} < \frac{M_{Sd,pl,in}}{\gamma_{M0}} = 6573 \text{ kNcm} \quad (5.33)$$

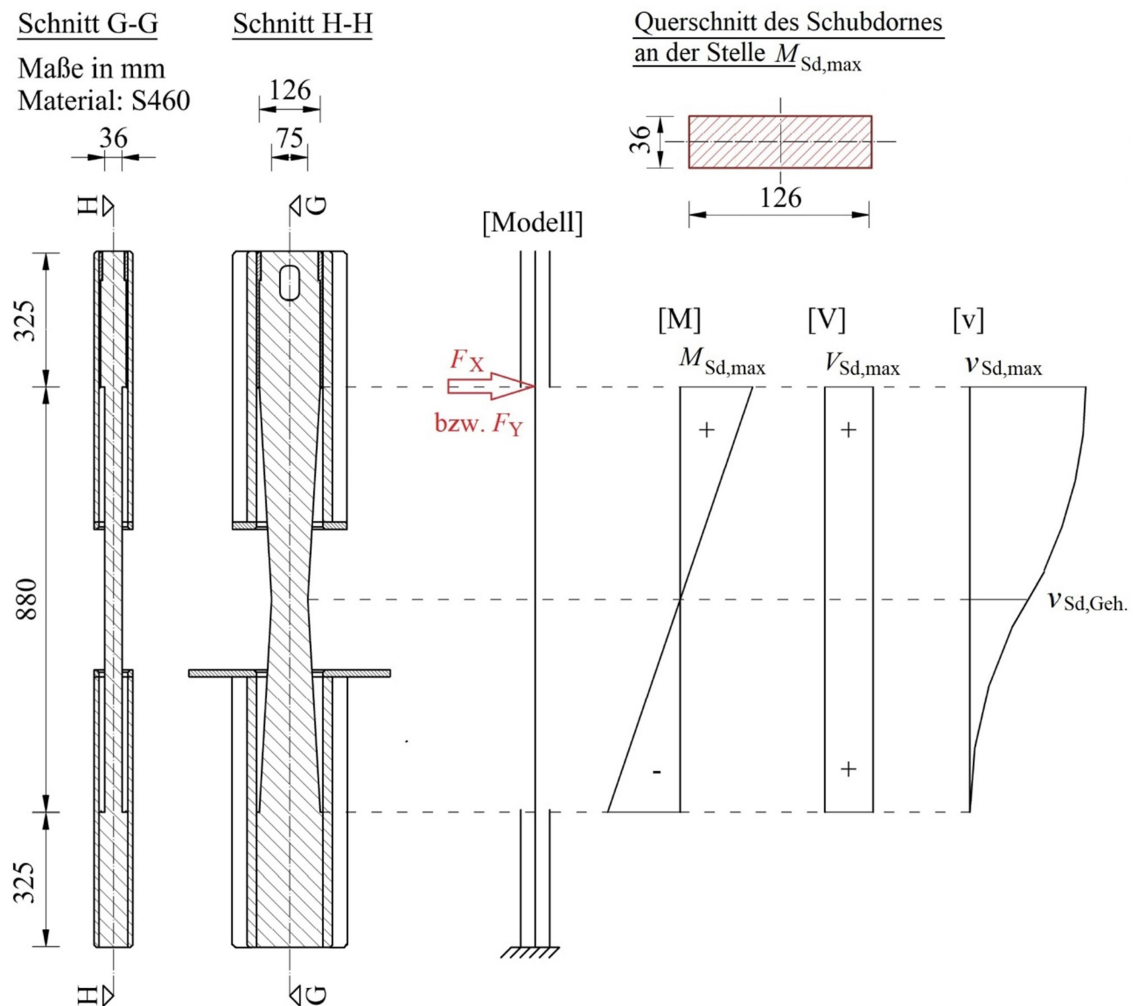


Abbildung 5-16: Grundlage für die Vorbemessung des Schubdornes

Die Nachweise „aus“ der Fugenebenen werden nach gleichen Grundsätzen wie „in“ der Fugenebene geführt. Abweichungen entstehen durch Geometrie und Belastung. Mit Gl. (5.34) errechnet sich die Schubbeanspruchung $\tau_{Sd,Mmax,aus}$ „aus“ der Fugenebene an der Stelle von $M_{Sd,max}$ des Schubdornes (siehe Abbildung 5-16). Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt. Die Ausnutzung liegt unter 50 % weshalb auf eine Interaktion mit $M_{Sd,max,in}$ verzichtet wird.

$$\tau_{Sd,max,aus} = \frac{F_y}{b_{Sd} \cdot h_{Sd,Mmax}} = \frac{15}{3,6 \cdot 12,6} = 0,33 \text{ kN/cm}^2 < \frac{\tau_{R,460}}{\gamma_{M0}} = 26,6 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.34)$$

Mit Gl. (5.35) wird das plastische Moment des Schubdornquerschnittes $M_{Sd,pl,aus}$ an der Stelle $M_{Sd,max}$ „aus“ der Fugenebene berechnet. Der Querschnitt an der Stelle des maximalen Biegemoments berechnet sich über die Höhe $h_{Sd,Mmax}$ und die Breite b_{Sd} (siehe Abbildung 5-16).

$$M_{Sd,pl,aus} = \frac{f_{y,460} \cdot h_{Sd,Mmax} \cdot b_{Sd}^2}{4} = \frac{46,0 \cdot 12,6 \cdot 3,6^2}{4} = 1878 \text{ kNcm} \quad (5.35)$$

Mit Gl. (5.36) errechnet sich das maximale Biegemoment „aus“ der Fugenebene $M_{Sd,max,aus}$ im Schubdorn (siehe Abbildung 5-16). Für die Berechnung des Moments wird der freie Hebelarm mit $l_{Sd} = 880$ mm angesetzt. Der Nachweis gilt als erfüllt, wenn $M_{Sd,max,aus}$ kleiner als das plastische Moment $M_{Sd,pl,aus}$ ist. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt.

$$M_{Sd,max,aus} = \frac{F_Y \cdot l_{Sd}}{2} = \frac{15 \cdot 88,0}{2} = 660 \text{ kNcm} < \frac{M_{Sd,pl,aus}}{\gamma_{M0}} = 1878 \text{ kNcm} \quad (5.36)$$

Mit Gl. (5.37) wird die Interaktion der Momente „in“ und „aus“ der Fugenebene berechnet. Es wird angenommen, dass die Hauptbeanspruchung „in“ Fugenebene zu 100 % und die Beanspruchung „aus“ der Fugenebene mit einem Anteil von 30 % zu übertragen sind. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt.

$$\frac{M_{Sd,max,aus}}{\gamma_{M0}} \cdot 0,3 + \frac{M_{Sd,max,in}}{\gamma_{M0}} = \frac{660}{1878} \cdot 0,3 + \frac{5280}{6573} = 0,91 < 1,0 \quad (5.37)$$

Die jeweilige maximale Verformung des Schubdorns $v_{Sd,max,in}$ und $v_{Sd,max,aus}$ wurde mit der Bemessungssoftware Stab2D-NL Version 3.0 der „Technischen Universität Hamburg-Harburg“ (Institut für Massivbau) berechnet. Als Eingangsdaten wurden das unter Abbildung 5-16 dargestellte Modell mit allen relevanten Abmessungen und der E-Modul vom Baustahl S460 mit 210000 N/mm² berücksichtigt. Die maximale Verformung „in“ Fugenebene $v_{Sd,max,in}$ ist mit 8,2 mm und die Verformung „aus“ der Fugenebene $v_{Sd,max,aus}$ mit 9,0 mm gegeben. Die Grenzverformung von 10 mm wird hier bewusst unterschritten, um die Einbautoleranzen und sonstigen Verformungen bis zum vollständigen Formschluss zu berücksichtigen.

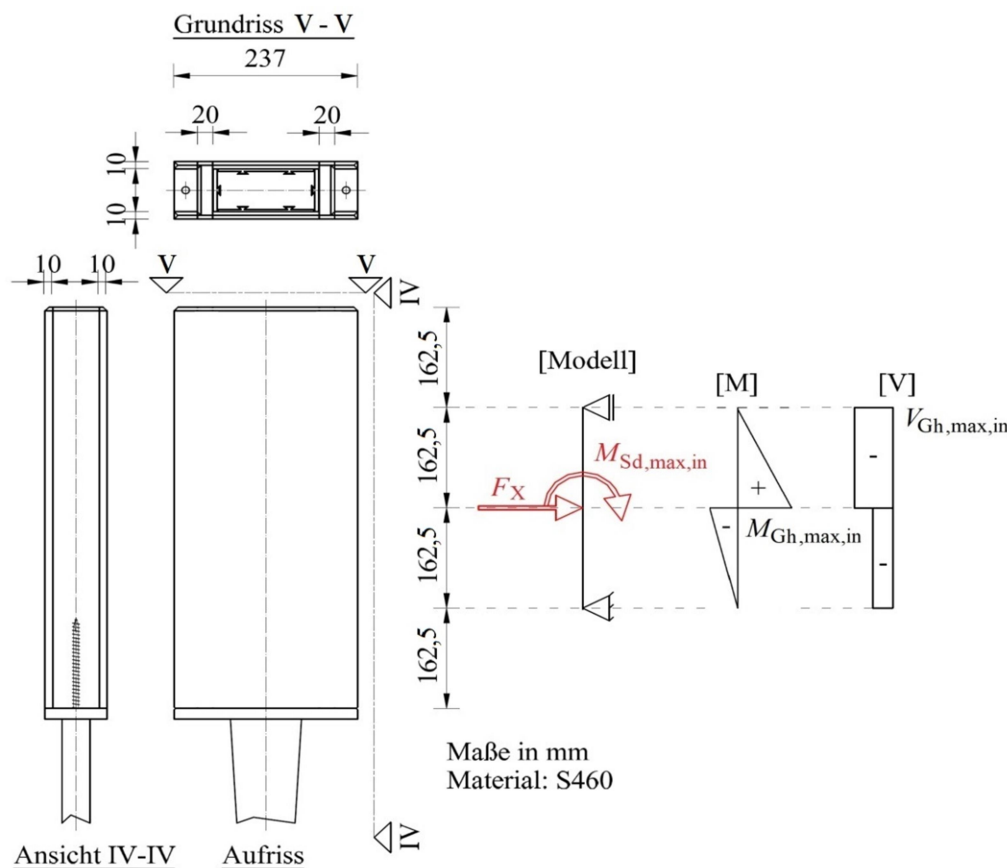


Abbildung 5-17: Grundlage für die Bemessung des Gehäuses

Beim Gehäuse wird vereinfachend angenommen, dass die resultierenden Reaktionskräfte vom BSP in den Viertelpunkten der Gehäusehöhe angreifen. Die resultierenden Reaktionskräfte werden in Abbildung 5-17 vereinfacht als Auflager dargestellt. Mit Gl. (5.38) wird das Moment $M_{Gh,max,in}$ berechnet. Das Moment wird als Betrag ermittelt.

$$M_{Gh,max,in} = \frac{M_{Sd,max,in}}{2} + \frac{F_X}{2} \cdot h_{Gh,1/4} = \frac{5280}{2} + \frac{120}{2} \cdot 16,25 = 3615 \text{ kNcm} \quad (5.38)$$

Mit Gl. (5.39) wird die Querkraft $V_{Gh,max,in}$ berechnet (siehe Abbildung 5-17). Die Querkraft wird als Betrag ermittelt.

$$V_{Gh,max,in} = \frac{M_{Sd,max,in}}{h_{Gh,1/4} \cdot 2} + \frac{F_X}{2} = \frac{5280}{16,25 \cdot 2} + \frac{120}{2} = 223 \text{ kN} \quad (5.39)$$

Mit Gl. (5.40) wird die Schubspannung in den Außenblechen des Gehäuses berechnet. Die Breite $b_{Gh,in}$ der Bleche beträgt gesamt 237 mm. Die Dicke $d_{Gh,in}$ der Bleche beträgt 10 mm (siehe Abbildung 5-17). Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt. Die Ausnutzung liegt unter 50 % weshalb auf eine Interaktion mit $M_{Ghd,max,in}$ verzichtet wird.

$$\tau_{Gh,in} = \frac{V_{Gh,max,in}}{2 \cdot b_{Gh,in} \cdot d_{Gh,in}} = \frac{223}{2 \cdot 1,0 \cdot 23,7} = 4,71 \text{ kN/cm}^2 < \frac{\tau_{R,460}}{\gamma_{M0}} = 26,6 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.40)$$

Mit Gl. (5.41) errechnet sich das Widerstandsmoment von den beiden Außenblechen des Gehäuses.

$$W_{Gh,in} = \frac{2 \cdot b_{Gh,in} \cdot d_{Gh,in}^2}{6} = \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 23,7^2}{6} = 187 \text{ cm}^3 \quad (5.41)$$

Mit Gl. (5.42) errechnet sich die Biegespannung in den beiden Außenblechen des Gehäuses. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} wird mit 1,0 berücksichtigt. Die Ausnutzung der Bleche ist relativ gering. Die Blechstärke ist noch weiter zu optimieren. Für das Gehäuse kann auch eine geringere Stahlgüte verwendet werden.

$$\sigma_{Gh,in} = \frac{M_{Gh,max,in}}{W_{Gh,in}} = \frac{3615}{187} = 19,33 \text{ kN/cm}^2 < \frac{f_{y,460}}{\gamma_{M0}} = 46,0 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.42)$$

Die Blechstärke $b_{Gh,aus}$ vom Gehäuse „aus“ der Fugenebene wurde konstruktiv mit 20 mm angenommen und wird keiner weiteren Vorbemessung unterzogen (siehe Abbildung 5-17).

Das in Abbildung 5-18 eingeführte mechanische Modell gilt sowohl für Belastungen „in“ als auch für jene „aus“ der Fugenebene. Die jeweiligen Berechnungen werden über die den Index „in“ bzw. „aus“ direkt beim Nachweis der entsprechenden Richtung zugewiesen.

Die Größe vom Gehäuse wird im Wesentlichen über die Druckspannungen, welche das BSP maximal aufnehmen kann, bestimmt. Über das Gehäuse müssen das Moment $M_{Sd,max}$ und die Querkraft $V_{Sd,max,in} = F_X$ bzw. F_Y (siehe Abbildung 5-16) „in“ und „aus“ der Fugenebene in das BSP eingeleitet werden. Im BSP wird eine konstante Spannungsverteilung angenommen (siehe Abbildung 5-18). Diese Annahme basiert auf dem duktilen Verhalten von Holz unter Druckbeanspruchung parallel zur Faser. Sollte sich durch genauere Betrachtungen herausstellen, dass diese Annahme „pinching“ verursacht, sind der Nutzungsgrad auf den elastischen Bereich des Materialverhaltens zu reduzieren und die Auslegung der Dimensionen zur Lastableitung anzupassen. Mit Gl. (5.43) errechnet sich die Drucknormalspannung im BSP zu Folge der Kraft F_X . Die Gehäusehöhe h_{Gh} ist mit 650 mm und die Gehäusebreite $b_{Gh,in}$ mit 80 mm gegeben. Anfasungen der Stahlteile für einen erleichterten Einbau bleiben unberücksichtigt. Für die Berechnung der Druckspannung im BSP wird angenommen, dass eine effektive Lamellenstärke $t_{CL,0,eF2} = b_{Gh,in} / 2 = 40 \text{ cm}$ für die Beanspruchung auf Druck parallel zur Faser zur Verfügung steht (trifft für eine Vielzahl handelsüblicher BSP-Aufbauten zu; die quer zur Faser auf Druck beanspruchte Fläche bleibt unberücksichtigt). In Abhängigkeit des BSP-Aufbaues können Abweichungen zu dieser Annahme auftreten, welche dann in der Bemessung entsprechend zu berücksichtigen sind.

$$\sigma_{\text{BSP},F_x} = \frac{F_x}{h_{\text{Gh}} \cdot t_{\text{CL},0,\text{ef}2}} = \frac{120 \cdot 10^3}{650 \cdot 40} = 4,62 \text{ N/mm}^2 \quad (5.43)$$

Mit Gl. (5.44) errechnet sich die Drucknormalspannung im BSP zu Folge dem Moment $M_{\text{Sd,max,in}}$ im Kontaktbereich vom Gehäuse zum BSP bei Belastung „in“ Fugenebene.

$$\sigma_{\text{BSP},M_{\text{Sd,max,in}}} = \frac{\frac{M_{\text{Sd,max,in}}}{h_{\text{Gh}}}}{\frac{h_{\text{Gh}}}{2} \cdot t_{\text{CL},0,\text{ef}2}} = \frac{\frac{52,8 \cdot 10^6}{2}}{\frac{325}{2} \cdot 40} = 12,49 \text{ N/mm}^2 \quad (5.44)$$

Mit Gl. (5.45) errechnet sich die Gesamtdrucknormalspannung im BSP zu Folge der Kraft F_x und dem Moment $M_{\text{Sd,max,in}}$. Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{\text{M,BSP}}$ wird mit 1,25 und der Modifikationsbeiwert k_{mod} mit 0,9 (KLED „kurz“) berücksichtigt.

$$\sigma_{\text{BSP,in}} = \sigma_{\text{BSP},F_x} + \sigma_{\text{BSP},M_{\text{Sd,max,in}}} = 4,62 + 12,49 = 17,11 \text{ N/mm}^2 < f_{\text{CL}24,\text{c},\text{x},\text{d}} = 17,28 \text{ N/mm}^2 \quad (5.45)$$

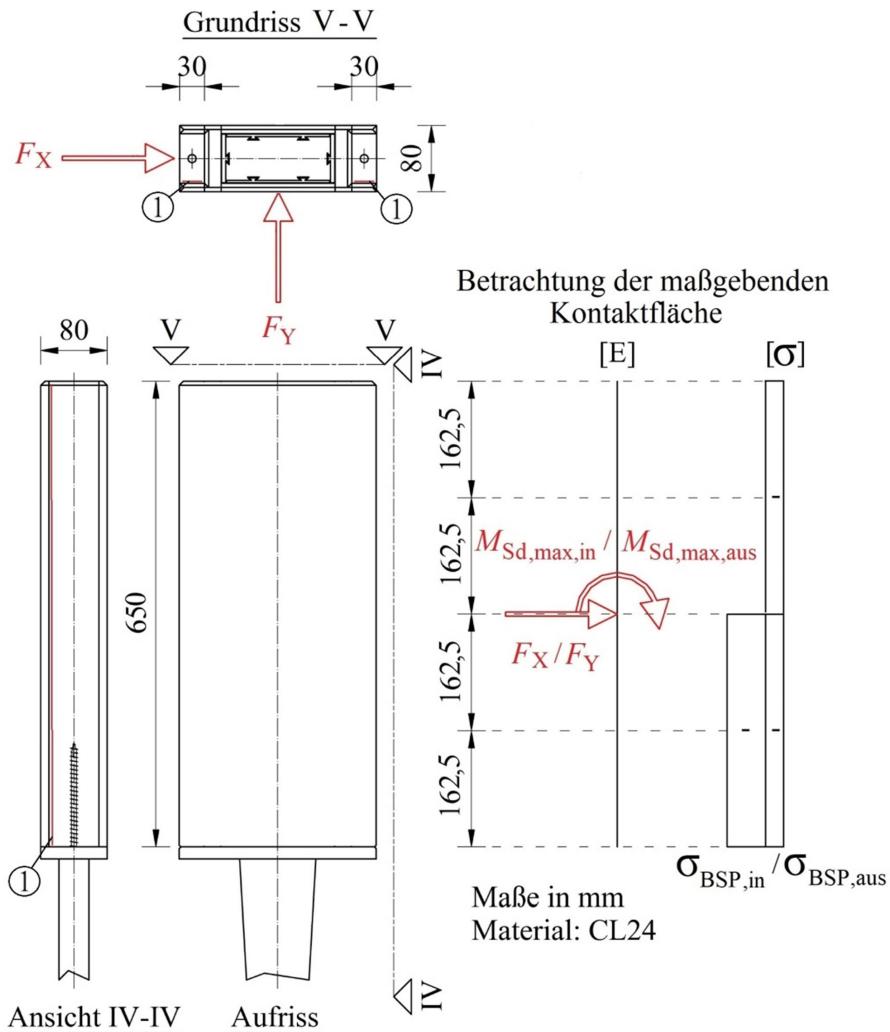


Abbildung 5-18: Grundlage zur Vorbemessung der Lasteinleitungsflächen im BSP bzw. der Grundgeometrie des „Dissipativen Schubverbinders“

Die Vorbemessung „aus“ der Fugenebene wird in Anlehnung zu den Berechnungen „in“ Fugenebene ausgeführt, wobei sich Abmessungen und Festigkeiten ändern. Bei der Belastungsrichtung „aus“ der Fugenebene wird angenommen, dass die Kraft F_Y lediglich über zwei Kontaktflächen (siehe Abbildung 5-18,1) aufgenommen wird, um ein Aufspalten des BSP zu verhindern. Mit Gl. (5.46) berechnet sich die Drucknormalspannung im BSP zu Folge der Kraft F_Y . Die Gehäusehöhe h_{Gh} ist mit 650 mm gegeben. Anfasungen der Stahlteile für einen erleichterten Einbau bleiben unberücksichtigt. Die Einleitungslänge zum BSP ist je Seite mit 30 mm gegeben, wobei hier Fasen bzw. Schweißnähte berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wird eine effektive Einleitungslänge $l_{BSP,Gh}$ von 20 mm für die Vorbemessung angenommen.

$$\sigma_{BSP,F_Y} = \frac{F_Y}{h_{Gh} \cdot 2 \cdot l_{BSP,GH}} = \frac{15 \cdot 10^3}{650 \cdot 2 \cdot 20} = 0,58 \text{ N/mm}^2 \quad (5.46)$$

Mit Gl. (5.47) errechnet sich das Moment $M_{Sd,max,aus}$.

$$M_{Sd,max,aus} = \frac{F_Y \cdot l_{Sd}}{2} = \frac{15 \cdot 10^3 \cdot 880}{2} = 6,6 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (5.47)$$

Mit Gl. (5.48) errechnet sich die Drucknormalspannung im BSP zu Folge dem Moment $M_{Sd,max,aus}$ im Kontaktbereich vom Gehäuse zum BSP bei Belastung „in“ Fugenebene.

$$\sigma_{BSP,M_{Sd,max,aus}} = \frac{\frac{M_{Sd,max,aus}}{h_{Gh}}}{\frac{h_{Gh}}{2} \cdot 2 \cdot l_{BSP,Gh}} = \frac{6,6 \cdot 10^6}{325 \cdot 2 \cdot 20} = 1,56 \text{ N/mm}^2 \quad (5.48)$$

Mit Gl. (5.49) errechnet sich die Gesamtdrucknormalspannung im BSP zu Folge der Kraft F_X und dem Moment $M_{Sd,max,in}$ im Kontaktbereich vom Gehäuse zum BSP bei Belastung „in“ Fugenebene. Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,BSP}$ wird mit 1,25 und der Modifikationsbeiwert k_{mod} mit 0,9 (KLED „kurz“) berücksichtigt.

$$\sigma_{BSP,aus} = \sigma_{BSP,F_Y} + \sigma_{BSP,M_{Sd,max,aus}} = 0,58 + 1,56 = 2,14 \text{ N/mm}^2 < f_{CL24,c,z,d} = 2,16 \text{ N/mm}^2 \quad (5.49)$$

Die Schraubverbindung vom „Dissipativen Schubverbinder“ zum Versetzen der BSP-Element wird nach gleichen Grundsätzen wie jene Schraubverbindung vom „Universal Zuganker“ ausgeführt (siehe Abschnitt 5-2.2). Nach Gl. (5.50) wird der Auszieh Widerstand einer Schraube in der BSP-Schmalseite ermittelt. Die effektive Verankerungslänge wird mit $l_{ef,dS} = 160$ mm angenommen (siehe Abbildung 5-14, 13). Der Schraubendurchmesser wird mit $d_{dS} = 10$ mm definiert. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M2} und $\gamma_{M,BSP}$ wird mit 1,25 und der Modifikationsbeiwert k_{mod} mit 0,9 (KLED „kurz“) berücksichtigt.

$$R_{ax,d,ZW} = 20 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef,ZW}^{0,9} = 20 \cdot 10^{0,8} \cdot 160^{0,9} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,BSP}} = 12,15 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (5.50)$$

Nach Gl. (5.51) berechnet sich die Zugtragfähigkeit der Schraube. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M2} wird mit 1,25 und die charakteristische Zugtragfähigkeit mit 32 kN berücksichtigt.

$$f_{tens,d} = \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{32 \cdot 10^3}{1,25} = 25,6 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (5.51)$$

In Gl. (5.52) wird die benötigte Schraubenanzahl $n_{ZW,erf}$ für die Verankerung der Kraft $F_{dS} = 40$ kN im BSP ermittelt. Da der Auszieh Widerstand geringer als die Zugtragfähigkeit der Schraube ist, wird jener zur Ermittlung der erforderlichen Schraubenanzahl verwendet. Die effektive Schraubenanzahl wird mit dem Faktor 0,9 berücksichtigt.

$$n_{ZW,erf} = \frac{F_{dS}}{0,9 \cdot R_{ax,d,DS}} = \frac{40 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 12,15 \cdot 10^3} = 3,65 \text{ Stk} \Rightarrow 4 \text{ Stk} \leq n_{ZW,vor} = 4 \text{ Stk} \quad (5.52)$$

KAPITEL 6: ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

6-1 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der vorliegenden Masterarbeit war es, das hohe Potential des Produktes BSP hinsichtlich Tragfähigkeit und Steifigkeit durch leistungsfähige Verbindungen bestmöglich zu nutzen. Gleichzeitig galt es, Verbesserungen im Sinne eines robusten und vorhersehbaren Systemverhaltens zu eruieren um jene in der Entwicklung eines Systemverbinders oder eines Systems aus mehreren zueinander abgestimmten Systemverbindern miteinfließen zu lassen. Außerdem wurde als Ziel die Optimierung im Baubetrieb, betreffend Vorfertigung und Montage, definiert. Um sämtliche Aspekte geordnet in den Innovationsprozess miteinfließen zu lassen war es das Ziel ein Anforderungsprofil zu erstellen, welches sich aus der Analyse der gegenwärtigen Holz-Massivbauweise mit BSP ableitet.

Im Zuge dieser Analyse und der Erarbeitung des Anforderungsprofils gelang es, Verbesserungspotentiale im Systemverhalten oder speziell im Verhalten der einzelnen Kontaktfugen zu erkennen, welche durch die Wirkungsweise innovativer Systemverbinder ausgenutzt werden können. Als eine konkrete Maßnahme wird es als Ziel definiert, Rotation als Versagensmechanismus in BSP-Schubwänden weitgehend auszuschließen. Als Folge dessen erwartet man sich ein leistungsfähiges und zuverlässiges Systemverhalten. Dieser Ansatz soll einerseits bereits in der Konzeptionierung von Gebäuden berücksichtigt werden und andererseits durch die in dieser Masterarbeit angebotenen Lösungsvorschläge für BSP-Systemverbinder. Neben der überwiegenden Eliminierung von Rotationsverformungen an BSP-Schubwänden sorgt eine eingeschränkte Auswahl an Kontaktfugen in einem BSP-Gebäude für das dissipative Verhalten unter seismischen (dynamischen) Einwirkungen. In dieser dissipativ wirkenden Auswahl an Kontaktfugen begünstigen wiederum die darin verwendeten Systemverbinder das angestrebte Verhalten. Durch die Entscheidung, Rotationsverformungen überwiegend zu verhindern und die Definition der dissipativ wirkenden Kontaktfugen, formte sich ein baustatisches (-dynamisches) Gebäudemodell, aus welchem ein grundlegender Bemessungsansatz resultiert. An Hand der präsentierten Lösungsvorschläge für BSP-Systemverbinder wird verdeutlicht, wie das erstellte Anforderungsprofil konsequent umgesetzt werden könnte. Nicht alle unter der vorliegenden Masterarbeit angebotenen Lösungsvorschläge sind unbedingt von Praxisrelevanz, vielmehr sollen sie die angestellten Überlegungen / Anforderungen an ein System an BSP-Systemverbindern verdeutlichen.

Abseits von den Primärzielen dieser Masterarbeit bietet diese einen sehr breiten Überblick über aktuell eingesetzte Verbindungstechnik in der Holz-Massivbauweise mit BSP, wodurch besondere Stärken und Einsatzgebiete einzelner Verbindungen hervorgehoben werden. Auf Basis der erarbeiteten Grundlagen (Anforderungsprofil) soll es möglich sein, gegenwärtig verwendete Verbindungstechnik mit innovativen BSP-Systemverbindern wirtschaftlich und technisch ausgereift zu kombinieren.

6-2 AUSBLICK

In weiterführenden Betrachtungen gilt es die erarbeiteten Lösungsvorschläge für BSP-Systemverbinder zu optimieren bzw. neu zu interpretieren. Der Optimierungsprozess soll auch eine praktische Evaluierung des erstellten Anforderungsprofils und der Lösungsvorschläge für BSP-Systemverbinder beinhalten. Um gezielte Optimierungsvorgänge in Abhängigkeit der unterschiedlichen Kontaktfugen zu ermöglichen, sind außerdem detaillierte Einwirkungsspektren zu erfassen. Um Rotation als Verformungs- / Versagensmechanismus auszugrenzen sind entsprechende Überfestigkeiten zu berücksichtigen, welche es

in einem abgestimmten Bemessungskonzept zu erarbeiten gilt. Dieses Bemessungskonzept sollte zusätzlich diverse Parameter eines BSP-Schubwandsystems beinhalten.

ANHANG A VERZEICHNISSE

A-1 Literaturverzeichnis

- Abeysekera, Ishan K., Smith, Andrew J. R. und Lawrence, Andrew C. 2018.** *Properties, Testing and Design of Cross Laminated Timber*. [Hrsg.] Reinhard Brandner, et al. Aachen : Shaker Verlag GmbH, 2018. ISBN 978-3-8440-6143-7.
- Blaß, H.J. und Uibel, T. 2007.** *Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz*. [Hrsg.] Universität Karlsruhe (TH) Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen. Karlsruhe : Universitätsverlag Karlsruhe, 2007. Bd. Band 8 der Reihe Karlsruher Bericht zum Ingenieurholzbau. ISBN 978-3-86644-129-3.
- Brandner, Reinhard und Thiel, Alexandra. 2018a.** Einführung Brettsperrholz (BSP). *Holzbau Grundmodul / Konstruktiver Ingenieurbau II, B.Sc., 4. Sem.* Technische Universität München : s.n., 2018a.
- Brandner, Reinhard, et al. 2016.** Cross laminated timber (CLT): overview and development. Berlin Heidelberg : Springer, 2016.
- Brandner, Reinhard, et al., [Hrsg.]. 2018.** *Properties, Testing and Design of Cross Laminated Timber*. Aachen : SHAKER, 2018. ISBN 978-3-8440-6143-7.
- Casagrande, Daniele, et al. 2016.** Construction and Building Materials 102 1101-1112. *Proposal of an analytical procedure and simplified numerical model for elastic response of single-storey timber shear-walls*. University of Trento : Elsevier Ltd., 2016.
- Ceccotti, A., et al. 2006.** Which Seismic Behaviour Factor of Multi-Storey Buildings made of Cross-Laminated Wooden Panels? *Proceedings of the 39th CIB W18 Meeting - CIB-W18/39-15-4*. Florence : s.n., 2006.
- Colling, Francois. 2008.** *Holzbau Grundlagen, Bemessungshilfen, 2. Auflage*. Wiesbaden : Vieweg+Teubner, 2008. ISBN 978-3-8348-0259-0.
- ETA-06/0009. 2017.** Binderholz Brettsperrholz BBS. *Europäische Technische Bewertung*. Berlin : Deutsches Institut für Bautechnik, 02. 06 2017.
- ETA-12/0197. 2017.** SWG "Timtec-", "Timtec Isotec-", und "Timtec plus VG-" Schrauben. *Europäische Technische Bewertung ETA-12/0197*. Charlottenlund : ETA-Danmark A/S, 12. 07 2017.
- ETA-18/0083. 2018.** SHERPA CLT-Connector. *Europäische Technische Bewertung ETA-18/0083*. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 23. 03 2018.
- ETA-18/0254. 2018.** X-fix C. *Europäische Technische Bewertung*. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 07. 05 2018.
- Flatscher, Georg. 2017.** *Evaluation and approximation of timber connection properties for displacement-based analysis of CLT wall systems*. Graz : Verlag der Technischen Universität Graz, 2017. ISBN 978-3-85125-557-7.
- Follesa, M., et al. 2010.** Mechanical in-plane joints between cross laminated timber panels. *Proceedings of the 11th World Conference on Timber Engineering WCTE2010*. Riva del Garda : s.n., 2010.
- Gilles, Matthieu. 2018.** Methodology for multi-storey CLT building design with Finite Elements. *Determination of load-bearing capacities for cross-laminated timber connections for the development of new connectors*. [Masterarbeit]. Graz und Mons : s.n., 2018.

- Haller, P. 1998.** Progress in timber joint development and modelling. [Hrsg.] J. Natterer und J.L. Sandoz. Montreux, Switzerland : s.n., 1998. S. 333-351. Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering WCTE1998.
- Hasslacher Gruppe. 2018.** X-FIX Holz-Holz-Verbindungssystem. Sachsenburg : s.n., 2018. HNT0104_DE_201808.
- Hermann Kaufmann + Partner ZT GmbH. 2018.** Erdbebensicherung von Bauwerken. *HK Architekten*. [Online] September 2018. https://www.hkarchitekten.at/v5/wp-content/uploads/pdf-cache/hk-10_21-planmappe.pdf. 3-7643-6941-8.
- Hohensinn, Strobel und Zinganel. 2012.** Ausgewählte Planunterlagen aus dem Architekturwettbewerb "Timber in Town" am Gelände der Seifenfabrik Graz. Graz : s.n., 2012.
- Jauk, Günther. 2018.** BSP-Markt wächst munter weiter. Wien/Hamburg : Holzkurier, HOLZDesign, holzbauaustria, 2018.
- Johansen, K.W. 1949.** Theory of timber connections. *Publication 9 - International Association for Bridge and Structural Engineering*. Bern : s.n., 1949.
- Koppelhuber, Jörg. 2018.** Dissertation, Bauprozessmanagement im Industriellen Holzbau. 2018. Ableitung eines Bauprozessmodells zur Prozess- und Bauablaufoptimierung im Holzsystembau.
- Maderebner, Roland und Kögl, Josef. 2013.** Systemverbinder für Holzflächenelemente aus Brettspertholz. *19. Internationales Holzbau-Forum*. 2013.
- MMK Holz-Beton-Fertigteile GmbH. 2018.** X-Lam Concrete Infoblatt. *Holzbetonverbund*. [Online] Oktober 2018. <https://www.holzbetonverbund.at/>.
- ON EN 1993-1-1. 2014.** Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. s.l. : European Committee for Standardization (CEN), 15. 10 2014.
- ON EN 1998-1. 2011.** Eurocode 8: Design of structures of earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (consolidated version). s.l. : European Committee for Standardization (CEN), 2011.
- ON EN 338. 2016.** *Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen*. 2016.
- ÖNORM B 1995-1-1. 2015.** Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. *Teil 1-1: Allgemeines- Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. s.l. : European Committee for Standardization (CEN), 15. 06 2015.
- ÖNORM DIN 18202. 2013.** Toleranzen im Hochbau - Bauwerke. Wien : Österreichischen Normungsinstitut, 15. 12 2013.
- ÖNORM EN 16351. 2015.** Holzbauwerke-Brettspertholz-Anforderungen. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 15. 11 2015.
- Pock, Kurt, et al. 2016.** Unified Timber Connections [UTC] Standardisierung von Verbindungssystemen im Holzbau. 2016.
- Prettner, Florian. 2018.** Überlegungen zur systematischen Fügung von Brettspertholz-Elementen und -Moduln. Graz : s.n., 2018.
- Rotho Blaas GmbH. 2017.** X-RAD. Kurtatsch : s.n., 2017. Produktkatalog.
- Rotho Blaas srl. 2015.** X-ONE VERBINDUNG EXPERIMENTELLE ANALYSE. *MECHANISCHES VERHALTEN UND BESTÄNDIGE DOMÄNE*. Cortaccia : s.n., 2015.
- Schickhofer, Gerhard. 2015.** CLT-European experience: idea & development, technology & applications. *Presentation, CLT Seminar*. Kochi, Japan : s.n., 5. 2 2015.
- . **2009.** *Holzbau Nachweisführungen für Konstruktionen aus Holz*. Institut für Holzbau & Holztechnologie, TU Graz. Graz : s.n., 2009. S-4-01B.

- Schickhofer, Gerhard, Bogensperger, Thomas und Moosbrugger, Thomas, [Hrsg.]. 2010.** *BSPHandbuch: Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz-Nachweise auf Basis des neuen europäischen Normenkonzepts.* Graz : Verlag der Technischen Universität Graz, 2010. ISBN 987-3-85125-109-8.
- Schickhofer, Gerhard, et al. 2017.** A Status Report form the CLT Hot Spot in Europe, Austria. 2017.
- Schmidt, Tobias. 2018.** Kontaktverbindungen für aussteifende Scheiben aus Brettsperrholz. Karlsruhe : Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2018. ISBN 978-3-7315-0803-8.
- Schmidt, Tobias und Blaß, Hans Joachim. 2015.** Längsschubverbindungen in den Schmalseiten von Brettsperrholzelementen. *21. Internationales Holzbau-Forum.Bd.1: Garmisch-Partenkirchen.* 2015.
- Scotta, Roberto, et al. 2016.** *A Dissipative Connector for CLT Buildings: Concept, Design and Testing.* 2016.
- SHERPA. 2018.** Bemessungsguide SHERPA Connection Systems. Frohnleiten : SHERPA Connection Systems GmbH, 2018.
- SIMPSON Strong-Tie. 2017.** Qualitätsverbinder für Holzkonstruktionen & Befestigungstechnik. *Profikatalog .* Bad Nauheim : Simpson Strong-Tie GmbH, 2017.
- Teibinger, M. und Matzinger, I. 2013.** *Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau Fokus Bauphysik.* [Hrsg.] Holzforschung Austria. Wien : holz.bau forschungs gmbh, 2013. ISBN 978-3-9503367-3-3.
- Teischinger, A. und et al. 2015.** *Erhebung des Holzbauanteils aller österreichischen Bundesländer. Präsentation 24.09.2015.* proHolz. Wien : s.n., 2015.
- Tomasi, Roberto, Pasca, Dag und Fiorencis, Mariano. 2018.** *Properties, Testing and Design of Cross Laminated Timber.* [Hrsg.] Reinhard Brandner, et al. Aachen : Shaker Verlag GmbH, 2018. ISBN 978-3-8440-6143-7.

A-2 Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----------------|---|----|
| Abbildung 1-1: | Kapazitätsentwicklung von BSP (Jauk, 2018) | 2 |
| Abbildung 1-2: | Entwicklung Holzbauanteil im Wohnbau in Österreich zwischen 1998 bis 2013 (Teischinger, et al., 2015)..... | 2 |
| Abbildung 2-1: | Einteilung der Holzbauweisen im Wohnbau (Teibinger, et al., 2013); - überarbeitet... | 5 |
| Abbildung 2-2: | Einteilung der Holz- Massivbauweisen (Schickhofer, et al., 2010) | 6 |
| Abbildung 2-3: | Ausgewählter BSP-Standardaufbau mit wichtigen Definitionen (Brandner, et al., 2016); - überarbeitet durch (Brandner, et al., 2018a)..... | 7 |
| Abbildung 2-4: | Auswahl an möglichen Aufbauten sowie Tragelementen als Kombination von BSP mit anderen stab- und flächenförmigen Bauprodukten (Schickhofer, 2015); - überarbeitet durch (Brandner, et al., 2016)..... | 8 |
| Abbildung 2-5: | Auswahl an Anwendungsbeispielen für BSP als 2D-Tragelement (Brandner, et al., 2018a) | 9 |
| Abbildung 2-6: | Allgemeiner Produktionsprozess von Brettsperrholz (Schickhofer, et al., 2010); - überarbeitet..... | 10 |
| Abbildung 2-7: | Montage Decke (links); Montage Wand (rechts) (Brandner, et al., 2018a) | 11 |
| Abbildung 2-8: | Übliche Lagersituation in „Plattform“-Bauweise mit Schallschutzlagern (links) und postulierte Querdruckbeanspruchung (Mitte) (Schmidt, 2018) | 14 |
| Abbildung 2-9: | Mischbauweise mit postulierter Abtragung der Vertikallasten (Rotho Blaas GmbH, 2017) | 15 |
| Abbildung 2-10: | Holzbetonverbunddecken (MMK Holz-Beton-Fertigteile GmbH, 2018) | 15 |
| Abbildung 2-11: | Deckenanschluss an einen Stahlbetonkern in Hybridbauweise (Hermann Kaufmann + Partner ZT GmbH, 2018) | 16 |
| Abbildung 3-1: | Einteilung der Verbindungen bzw. Verbindungsmittel (Schickhofer, 2009) | 17 |
| Abbildung 3-2: | Typische Arbeitslinie für das mechanische Verhalten von Verbindungsmitteln bzw. Verbindungen, ergänzt um wesentliche Grundbegriffe (Schickhofer, 2009)..... | 18 |

| | | |
|-----------------|---|----|
| Abbildung 3-3: | Verschiedene Last-Verschiebungskurven (Haller, 1998); - überarbeitet von (Flatscher, 2017) | 19 |
| Abbildung 3-4: | Übersicht über experimentell ermittelte Arbeitslinien von Verbindungsmitteln unter Zug- bzw. Abscherbeanspruchung in Faserrichtung: a) geklebte Verbindung (125 cm ²), b) Einlassdübel (ø100 mm), c) zweiseitiger Einpressdübel (ø62 mm), d) Stabdübel (ø14 mm), e) Bolzen (ø14 mm), f) Nagelplatte (100 cm ²), g) Nägel (ø4,4 mm) (Colling, 2008)..... | 19 |
| Abbildung 3-5: | Anordnungsmöglichkeiten von stiftförmigen Verbindungsmitteln in BSP (Brandner, et al., 2018a) | 20 |
| Abbildung 3-6: | Kraftübertragung und Verformung bei stiftförmigen Verbindungsmitteln (Schickhofer, 2009)21 | |
| Abbildung 3-7: | Übliche Schubverbindung als ein-schnittiger, genagelter Laschenstoß unter Wechselbeanspruchung (links), beispielhafte Last-Verschiebungskurve von schlanken Stahlstiften unter zyklischer Beanspruchung (rechts) und unterschiedliche Deformationsstufen des Stahlstifts (unter (a) bis (c)) (Schmidt, 2018) | 22 |
| Abbildung 3-8: | Last-Verschiebungsdiagramm einer Stabdübelverbindung für BSH und BSP (Brandner, et al., 2018a) | 22 |
| Abbildung 3-9: | Stahlblechformteile (links, Mitte) (SIMPSON Strong-Tie, 2017); Systemverbinder (rechts), (SHERPA, 2018)..... | 25 |
| Abbildung 3-10: | Definition der Kontaktfugen bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holz-Massivbauweise mit BSP – (i) Wand Fundament (ii) Wand Wand, (iii) Decke Decke, (iv) Wand Decke (Brandner, et al., 2016)..... | 26 |
| Abbildung 3-11: | Ausführungsvarianten zur Kontaktfuge „Wand Fundament“ – (links) mittels Standard-Winkelverbinder (Pock, et al., 2016), (rechts) mittels Zuganker (Schickhofer, et al., 2010) | 27 |
| Abbildung 3-12: | Ausführungsvarianten zur Kontaktfuge „Wand Decke – (links) mittels Standard-Winkelverbindern, (rechts) mittels Verschraubung (Pock, et al., 2016) | 28 |
| Abbildung 3-13: | Definition der Lastrichtung am Scheibenelement – (links) „in“ der Ebene (grün); (rechts) „aus“ der Ebene (rot) (Brandner, et al., 2018a)..... | 28 |
| Abbildung 3-14: | Ausführungsvariante eines „Wand Wand“ Eck-Stoßes (Pock, et al., 2016)..... | 29 |
| Abbildung 3-15: | Ausführungsvarianten eines Wand Wand“ Längsstoßes – verschraubter stumpfer Stoß (a), Stufenfalz verschraubt (b); stumpfer Stoß mit verschraubtem Falzbrett (c) (Flatscher, 2017).... | 30 |
| Abbildung 3-16: | Ausführungsvarianten eines Deckenstoßes – (links) verschraubter Stufenfalz mit Dichtungsbänder; (Mitte) Stumpfstoß mit Schrägverschraubung; (rechts) Laschenstoß mit LVL in Sekundärtragrichtung (Schickhofer, et al., 2010)..... | 30 |
| Abbildung 3-17: | Stoßausbildung mittels SHERPA CLT-Connector (ETA-18/0083, 2018)..... | 31 |
| Abbildung 3-18: | Kontaktfugenausbildung und Bestandteile des X-RAD Systemverbinders – (links) Kontaktfuge „Wand Fundament“; (Mitte) Kontaktfuge „Wand Wand“; (rechts) Bestandteile X-RAD (Rotho Blaas GmbH, 2017)..... | 33 |
| Abbildung 3-19: | Kraft-Verschiebungs-Diagramm bei monotonen Versuchen unter einem Lastangriffswinkel von $\alpha = 45^\circ$ (Rotho Blaas GmbH, 2017)..... | 34 |
| Abbildung 3-20: | Versuchssetup für ein BSP Wandsystem, befestigt mit einem X-RAD Systemverbinder (Rotho Blaas srl, 2015)..... | 34 |
| Abbildung 3-21: | Kraft-Verschiebungs-Diagramm für einen zyklischen (schwarz) sowie monotonen (rot) Schubwandversuch – Befestigung mittels X-RAD Systemverbinder (Rotho Blaas srl, 2015)..... | 35 |
| Abbildung 3-22: | Verbindungsmittelbestandteile des exzenterfixierten Verbinders – (links) Anschlussteil, (Mitte) ausgewähltes Zwischenstück, (rechts) Bolzen (Prettner, 2018)..... | 36 |
| Abbildung 3-23: | Verbindungskonfigurationen – Längswandstoß (links), Wand-Deckenstoß (Mitte links), Wand-Decke-Wandstoß (Mitte rechts und rechts) (Prettner, 2018)..... | 36 |
| Abbildung 3-24: | X-bracket Systemverbinder – zur horizontalen Verbindung zweier Wände (links), als Fundamentanschluss (Mitte), Anordnungsschema entlang der Kontaktfugen (rechts) (Scotta, et al., 2016) | 38 |
| Abbildung 3-25: | Versuchssetup für zwei BSP Wandsysteme mit X-bracket Systemverbindern am Fundament befestigt – (a) befestigt mit 4 Stück X-bracket Systemverbindern, (b) befestigt mit 6 Stück X-bracket Systemverbindern (Scotta, et al., 2016); - überarbeitet..... | 38 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 3-26: Hysterese-Schleifen auf Basis numerischer Simulationen – (a) Wand A, (b) Wand B (Scotta, et al., 2016) | 39 |
| Abbildung 3-27: Zusammengesetzte Wandscheiben aus BSP-Elementen mit postuliertem Schubfluss (links); mit Kontaktverbindern verbundene Wandscheiben (rechts) (Schmidt, 2018)..... | 40 |
| Abbildung 3-28: Direkte Kontaktverbindung (links) und indirekte Kontaktverbindung (rechts) (Schmidt, 2018) | 40 |
| Abbildung 3-29: Kontaktverbinder in einem Deckenelement (Schmidt, 2018)..... | 41 |
| Abbildung 3-30: Kraft-Verschiebungs-Kurven von Kontaktverbindern aus Buchen-FSH mit unterschiedlichen Einbindetiefen – Serie 40-4 mit $t_c = 100$ mm; Serie 40-1 mit $t_c = 40$ mm (Schmidt, 2018) | 41 |
| Abbildung 3-31: Bestandteile des X-fix C..... | 41 |
| Abbildung 3-32: X-fix C Anwendung, Tragfähigkeit und Steifigkeit (Hasslacher Gruppe, 2018)..... | 42 |
| Abbildung 3-33: X-fix L Anwendung, Tragfähigkeiten und Steifigkeiten (Hasslacher Gruppe, 2018) | 43 |
| Abbildung 3-34: Dissipativer indirekter Kontaktverbinder (Schmidt, 2018)..... | 44 |
| Abbildung 3-35: Deformierte Verbindung für $t_{gap} = 0$ mm (oben) und $t_{gap} = 50$ mm (unten) (Schmidt, 2018) | 44 |
| Abbildung 3-36: Lastverschiebungskurve für $t_{gap} = 0$ mm (Schmidt, 2018) | 45 |
| Abbildung 3-37: Lastverschiebungskurve für $t_{gap} = 50$ mm (Schmidt, 2018)..... | 45 |
| Abbildung 3-38: Vereinfachtes Berechnungsmodell für eine horizontal beanspruchte Wandscheibe aus BSP (Ceccotti, et al., 2006); - überarbeitet von (Flatscher, 2017) und dem Verfasser der vorliegenden Arbeit | 47 |
| Abbildung 3-39: Prinzipielle Verformungs- / Verzerrungsmechanismen einer Wandscheibe unter Horizontallast – (a) Biegung, (b) Schub, (c) Translation, (d) Rotation (Flatscher, 2017) | 47 |
| Abbildung 3-40: Ausgangssituation für den analytischen Vergleich einer Holzrahmenwand (a) und einer BSP-Wand (b) (Casagrande, et al., 2016); - überarbeitet..... | 48 |
| Abbildung 3-41: Relative Anteile der unterschiedlichen Verformungsmechanismen – (a) Holzrahmenwand, (b) BSP-Wand (Casagrande, et al., 2016); - frei aus dem Englischen übersetzt..... | 49 |
| Abbildung 3-42: Überblick des Modellaufbaus für die Parameteranalyse der Anschlusssteifigkeiten; Grundgrafik, basierend auf (Flatscher, 2017) | 50 |
| Abbildung 3-43: Einfluss der Wandlänge und des Verbinderabstandes auf ausgewählte BSP-Wandparameter – (a) Maximalkraft; (b) Anfangssteifigkeit; (c) Translationsanteil zur Gesamtkopfverschiebung; (d) Kopfverschiebung beim Erreichen der Maximalkraft F_{max} (Flatscher, 2017); - frei aus dem Englischen übersetzt | 51 |
| Abbildung 3-44: Einfluss der Vertikallast auf ausgewählte BSP-Wandparameter – (a) Maximallast; (b) Anfangssteifigkeit; (c) Translationsanteil zur Gesamtkopfverschiebung (Flatscher, 2017); - frei aus dem Englischen übersetzt..... | 52 |
| Abbildung 3-45: Einfluss der Reibung auf ausgewählte BSP-Wandparameter bei unterschiedlicher Vertikalbelastung – (a) Maximallast; (b) Anfangssteifigkeit; (c) Translationsanteil zur Gesamtkopfverschiebung (Flatscher, 2017); - frei aus dem Englischen übersetzt..... | 53 |
| Abbildung 3-46: Verhalten einer Vertikalstoßverbindung – (a) ohne Einschränkung; (b) reduzierte Vertikalstoßverschiebung durch den Kopfanschluss (Flatscher, 2017) | 54 |
| Abbildung 3-47: Beispiel zur Veranschaulichung der Einflüsse eines Wandanschlusses auf ein „eindimensionales“ Schubwandsystem mit postuliertem Kraftfluss..... | 56 |
| Abbildung 3-48: Prinzipielle Verformungsmechanismen mehrerer BSP-Geschosse / BSP-Boxen unter Horizontallast (Abeysekera, et al., 2018); - frei aus dem Englischen übersetzt..... | 57 |
| Abbildung 3-49: Achsendefinition für Kontaktfugen..... | 58 |
| Abbildung 3-50: Postuliertes Systemverhalten in den unterschiedlichen Kontaktfugen – (links) „in“ Fugenebene, (Mitte) „quer“ zur Fugenebene, (rechts) „aus“ der Fugenebene; Grundgrafik basierend auf (Brandner, et al., 2016)..... | 58 |
| Abbildung 4-1: Angestrebter Versagens- / Verformungsmechanismus (rot) mehrerer BSP-Geschosse / BSP-Boxen unter Horizontallast (Abeysekera, et al., 2018); - überarbeitet | 60 |
| Abbildung 4-2: Kontaktfugenooptionen der Translationsverschiebung bei der „Plattform“-Bauweise – (Variante A) oberhalb der Decke, (Variante B) unterhalb der Decke | 61 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 4-3: Gefordertes Systemverhalten in den unterschiedlichen Kontaktfugen – (links) in Fugenebene, (Mitte) quer zur Fugenebene, (rechts) aus der Fugenebene; Grundgrafik basierend auf (Brandner, et al., 2016)..... | 62 |
| Abbildung 4-4: Grundriss - (links), Schnittführung - (rechts) (Hohensinn, et al., 2012)..... | 63 |
| Abbildung 4-5: Kontaktfugentypen (Gilles, 2018)..... | 64 |
| Abbildung 4-6: Schnittführung entlang der Fuge –(links), Lokalisierung der ausgewählten Fugenschnitte am Gesamtsystem – (rechts) (Gilles, 2018)..... | 64 |
| Abbildung 4-7: Linienbeanspruchung n_{xy} in X-Richtung (Gilles, 2018), Bemessungswerte; - frei aus dem Englischen übersetzt..... | 65 |
| Abbildung 4-8: Linienbeanspruchung n_x in Z-Richtung (Zug) (Gilles, 2018), Bemessungswerte; - frei aus dem Englischen übersetzt..... | 65 |
| Abbildung 4-9: Linienbeanspruchung v_x in Y-Richtung (Gilles, 2018), Bemessungswerte; - frei aus dem Englischen übersetzt..... | 66 |
| Abbildung 4-10: Angestrebtes Verhalten vom dissipativen Schubverbinder in den duktilen und dissipativen Kontaktfugen..... | 70 |
| Abbildung 4-11: Postulierte horizontale Geschossverschiebung am Beispiel eines 3-lagigen BSP-Wandelements (Translation als führender Verformungsmechanismus)..... | 71 |
| Abbildung 5-1: Anschlusssituation vom „Universal Zuganker“ in der „Plattform“-Bauweise – (links) vormontierte Verbindungshälften in den Wänden (Grafik ohne Decklage), (Mitte) Einbau der darüber liegenden Wand mit vormontiertem Zuganker Teil B, (rechts) eingebauter Zustand mit Montageöffnung an der Rauminnenseite..... | 74 |
| Abbildung 5-2: Wesentliche Bestandteile des „Universal Zugankers“..... | 75 |
| Abbildung 5-3: Eingebauter „Universal Zuganker“: Darstellung anhand unterschiedlicher Wandschnitte | 75 |
| Abbildung 5-4: Toleranzen, Verschiebe- / Verformungsoptionen und ausgewählte Funktionen vom „Universal Zuganker“..... | 77 |
| Abbildung 5-5: Anschlusssituation des „Universal Schubverbinders“ in der „Balloon“-Bauweise – (links) nicht montierte „obere“ Verbindungshälfte und vormontierte „untere“ Verbindungshälfte, (Mitte) Vormontierte Verbindungshälften in den BSP-Wänden (Darstellung ohne äußerer Decklage), (rechts) geschlossene Verbindung mit Montageöffnung im BSP..... | 78 |
| Abbildung 5-6: Wesentliche Bestandteile des „Universal Schubverbinders“..... | 78 |
| Abbildung 5-7: Toleranzen und ausgewählte Funktionen des „Universal Schubverbinders“..... | 79 |
| Abbildung 5-8: Anschlusssituation des „Dissipativen Schubverbinders“ in der „Plattform“-Bauweise – (links) Montagezustand mit vormontierten Verbindungshälften (für ein besseres Verständnis ist die äußere Decklage der BSP-Wände hier nicht dargestellt), (rechts) Darstellung des Montagezustandes tlw. als Explosionsgrafik mit losgelösten Futterblechen (Toleranzausgleich) und Öffnung zur Transportverankerung..... | 80 |
| Abbildung 5-9: Mechanisches Modell des isoliert betrachteten Schubdorns..... | 81 |
| Abbildung 5-10: Wesentliche Bestandteile des „Dissipativen Schubverbinders“..... | 81 |
| Abbildung 5-11: Einbauzustand des „Dissipativen Schubverbinders“: Darstellung anhand unterschiedlicher Wandschnitte..... | 82 |
| Abbildung 5-12: Toleranzen und ausgewählte Funktionen vom „Dissipativen Schubverbinder“..... | 83 |
| Abbildung 5-13: Grundlage für die Vorbemessung des „Universal Zugankers“..... | 85 |
| Abbildung 5-14: Grundlage für die Vorbemessung des „Universal Zugankers“..... | 86 |
| Abbildung 5-15: Grundlage zur Vorbemessung der Lasteinleitungsflächen im BSP bzw. der Grundgeometrie des „Universal Schubverbinders“..... | 91 |
| Abbildung 5-16: Grundlage für die Vorbemessung des Schubdorns..... | 93 |
| Abbildung 5-17: Grundlage für die Bemessung des Gehäuses..... | 94 |
| Abbildung 5-18: Grundlage zur Vorbemessung der Lasteinleitungsflächen im BSP bzw. der Grundgeometrie des „Dissipativen Schubverbinders“..... | 96 |

A-3 Tabellenverzeichnis

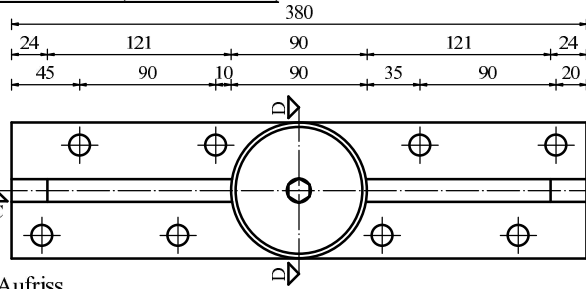
| | | |
|------------|--|----|
| Tabelle 1: | Charakteristische Werte der Festigkeiten, Elastizitäts- sowie Schubmodule in N/mm ² und der Rohdichte in kg/m ³ für Brettsperrholz auf Basis der Eigenschaften der Lagen bzw. einzelner Lamellen (Brandner, et al., 2018)..... | 12 |
| Tabelle 2: | Tragfähigkeit und Steifigkeiten des SHERPA CLT-Connector (ETA-18/0083, 2018) | 32 |
| Tabelle 3: | Charakteristische Festigkeiten der X-ONE Verbindung (Rotho Blaas GmbH, 2017) | 33 |
| Tabelle 4: | Standortabhängige Schnee- und Windlasten (Gilles, 2018)..... | 63 |
| Tabelle 5: | Quantifizierung von Kräften für die weitere Konzeptionierung mit einer vergleichenden Betrachtung zu ausgewerteten Gebäudedaten und einem gegenwärtig eingesetzten Systemverbinder..... | 66 |
| Tabelle 6: | Herstelltoleranzen für Binderholz Brettsperrholz „Großformat“ und „Großformat DQ“ (ETA-06/0009, 2017)..... | 67 |
| Tabelle 7: | Grenzabweichungen für Maße (ÖNORM DIN 18202, 2013)..... | 68 |
| Tabelle 8: | Grenzwerte für Winkelabweichungen (ÖNORM DIN 18202, 2013)..... | 68 |
| Tabelle 9: | Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen (ÖNORM DIN 18202, 2013)..... | 69 |

ANHANG B GRUNDRISSSE UND ANSICHTEN

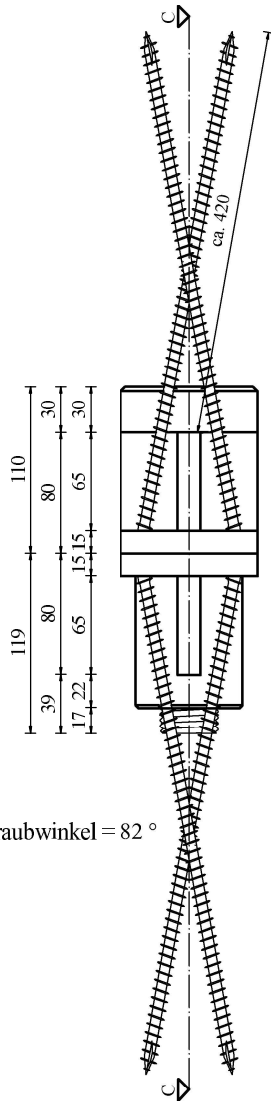
Unter diesem Abschnitt sind bemaßte Grundrisse und Ansichten der unter Kapitel 5 behandelten Lösungsvorschläge für BSP-Systemverbinder angeführt.

Maße in mm
Material: S355

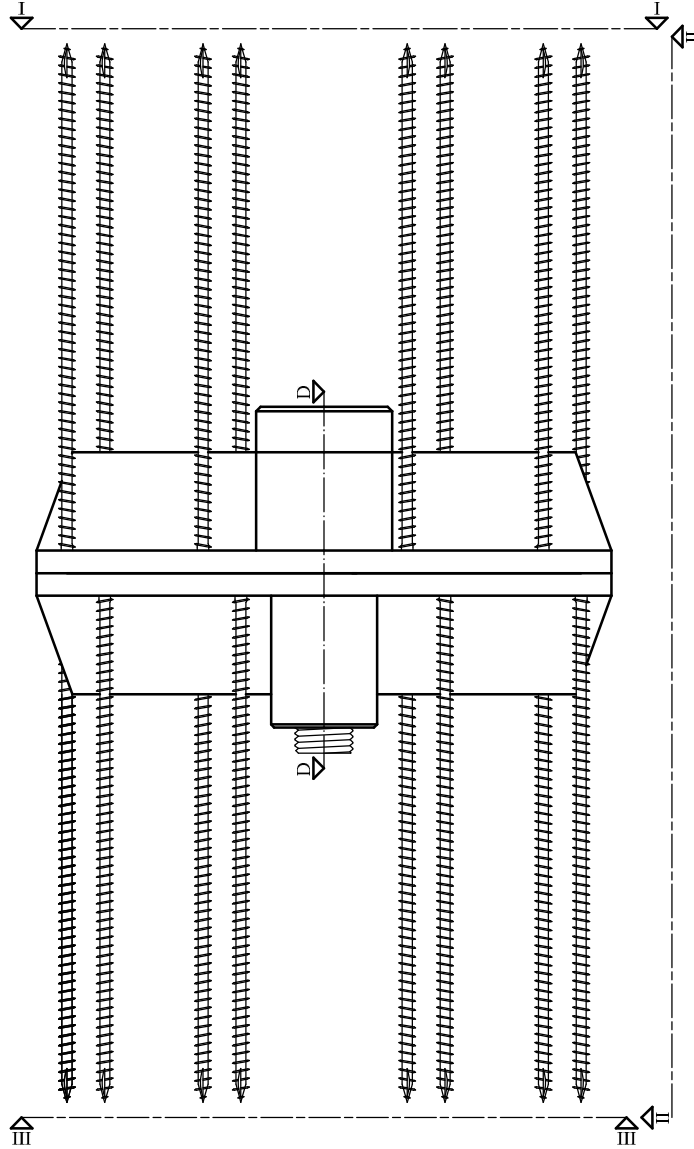
Grundriss I-I (ohne Schrauben)



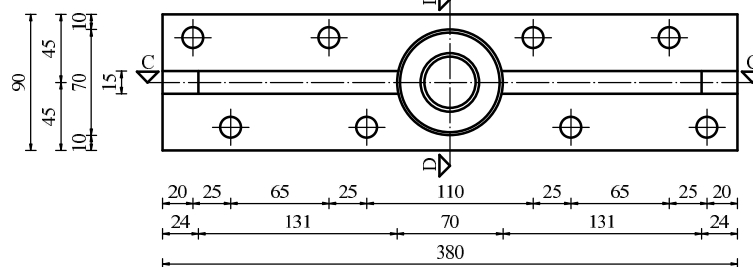
Ansicht II-II



Aufriss



Grundriss III-III (ohne Schrauben)



Schrauben sind nicht in der angeführten Länge dargestellt.

BSP-Systemverbinder Prototyp

Planinhalt:

Universal Zuganker - Grundrisse und Ansichten

Material:
S355

Plannummer:
01

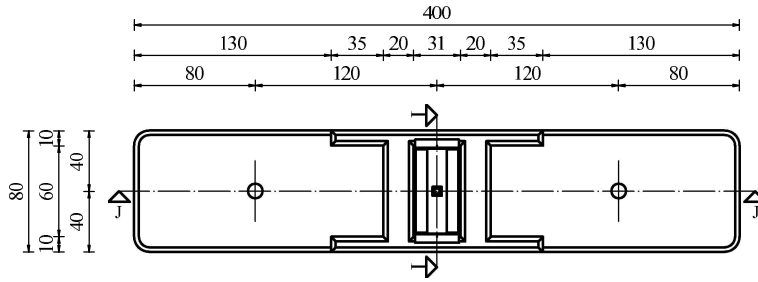
Betreuer: Ass.Prof. DI(FH) Dr.techn. Reinhard Brandner
DI Dr.techn. Andreas Ringhofer BSc.

Erstellungsdatum:
21.03.2019

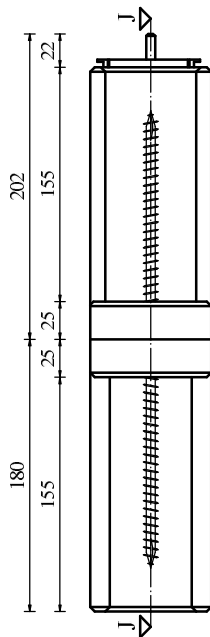
Maßstab:
1 : 5.00

Planverfasser:
Johannes Martin Wieland, 01331450

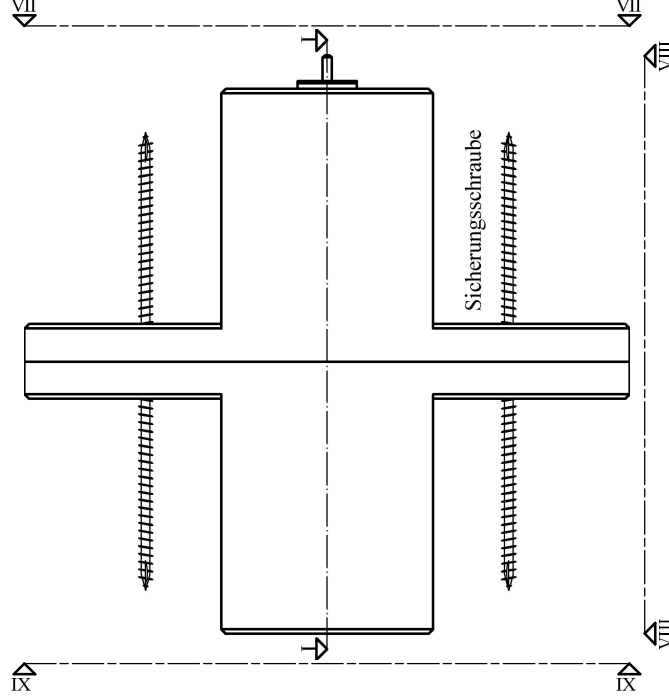
Grundriss VII-VII



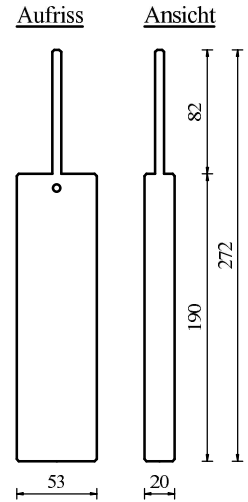
Ansicht VIII-VIII



Aufriss

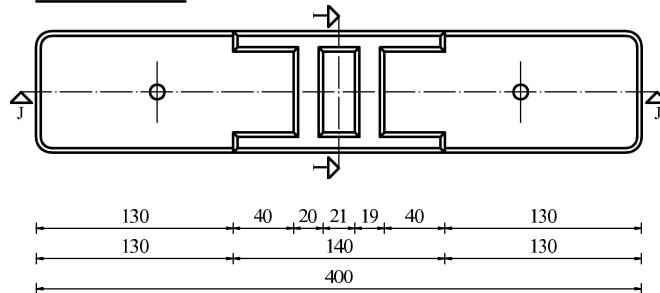


Bolzengeometrie



Maße in mm
Material: S355

Grundriss IX-IX



BSP-Systemverbinder Prototyp

Planinhalt:
Universal Schubverbinder - Grundrisse und Ansichten

Material:
S355

Plannummer:
02

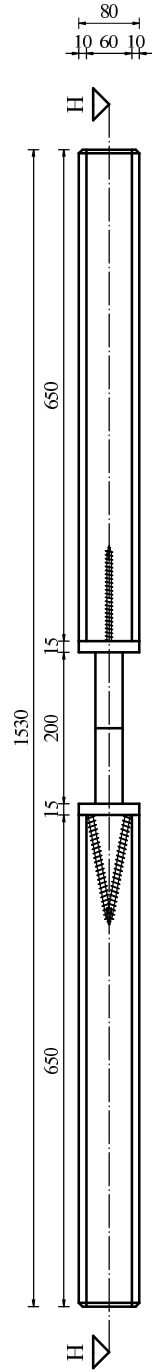
Betreuer: Ass.Prof. DI(FH) Dr.techn. Reinhard Brandner
DI Dr.techn. Andreas Ringhofer BSc.

Erstellungsdatum:
21.03.2019

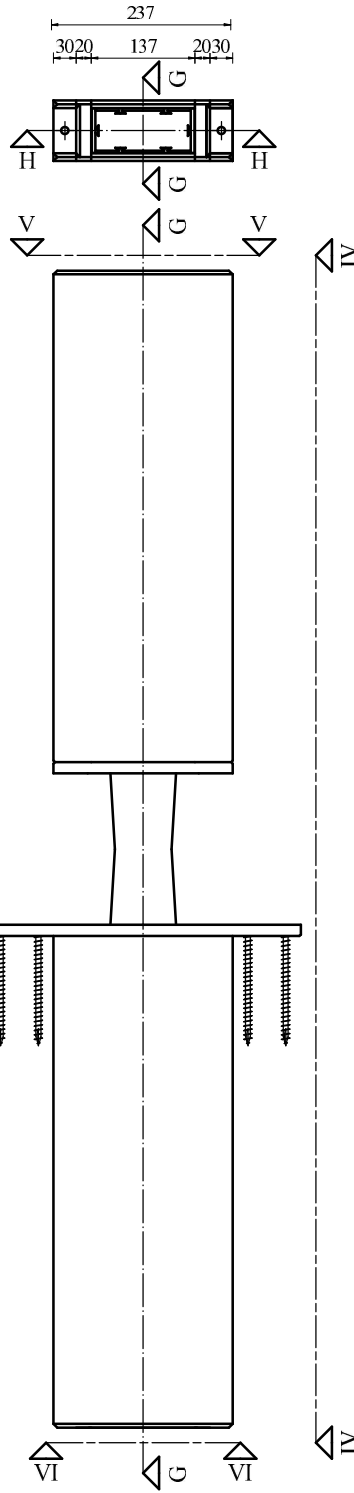
Maßstab:
1 : 5.00

Planverfasser:
Johannes Martin Wieland, 01331450

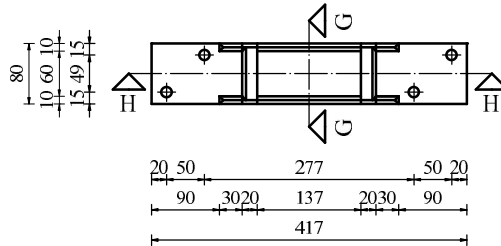
Ansicht IV-IV
 Maße in mm
 Material: S460



Grundriss V-V



Grundriss VI-VI



BSP-Systemverbinder Prototyp

Planinhalt:
 Dissipativer Schubverbinder - Grundrisse und Ansichten

| | | |
|---------------------------------|-----------------------|---|
| Material: S460 | Plannummer: 03 | Betreuer: Ass.Prof. DI(FH) Dr.techn. Reinhard Brandner DI Dr.techn. Andreas Ringhofer BSc. |
| Erstellungsdatum: 21.03.2019 | Maßstab: 1 : 10.00 | Planverfasser: Johannes Martin Wieland, 01331450 |

Dies ist eine Veröffentlichung des

FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe

S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | F – Forschungsberichte
V – Vorträge, Tagungen | M – Masterarbeiten

Institutskennzahl:

1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl