

FORUM HOLZBAU INTERNATIONAL

25. Internationale Holzbau-Forum (IHF)

Band I 4. Dezember 2019

Aus der Praxis – Für die Praxis

BFH BIEL

TH ROSENHEIM

AALTO HELSINKI

TU MUNCHEN

PRINCE GEORGE

TU WIEN

Auftaktveranstaltung

Rahmenbedingungen, Lösungsansätze und Potentiale für den leistbaren Wohnungsbau in Holz

IHF Prolog I Architektur-Forum

Einfach, Materialgerecht und Innovativ

IHF Prolog II Fertigbau-Forum

Digitalisierung «Produktion | BIM und Industrie 4.0»

IHF Prolog III Holzhausbau-Forum

Digitale Transformation im Unternehmen gestalten

Prolog IV Verbindungstechnik-Forum

Aktuelles aus der Verbindungstechnologie

FORUM HOLZBAU INTERNATIONAL

25. Internationale Holzbau-Forum (IHF)

4. Dezember 2019

Congress Innsbruck, Österreich

Aus der Praxis – Für die Praxis

Auftaktveranstaltung

Bauen für Institutionelle, Investoren und Wohnbaugenossenschaften

Prolog I | Architektur-Forum

Einfach, Materialgerecht und Innovativ

Prolog II | Fertigbau-Forum

Digitalisierung «Produktion | BIM und Industrie 4.0»

Prolog III | Holzhausbau-Forum

Digitale Transformation im Unternehmen gestalten:
Herausforderungen erkennen, Chancen nutzen

Prolog IV | Verbindungstechnik-Forum

Aktuelles aus der Verbindungstechnologie

Das 26. IHF findet vom 2.–4. Dezember 2020 statt.

Herausgeber: FORUM HOLZBAU
Bahnhofplatz 1
2502 Biel/Bienne
Schweiz
T +41 32 327 20 00

Bearbeitung und Satz: FORUM HOLZBAU, Katja Rossel, Simone Burri und Katharina Uebersax

Druck: EBERL PRINT
Kirchplatz 6
87509 Immenstad
Deutschland
T +49 8323 802 200

Auflage: 1200 Ex.

© 2019 by FORUM HOLZBAU, Biel/Bienne, Schweiz
ISBN 978-3-906226-28-6

www.forum-holzbau.com | www.forum-holzkarriere.com

Inhalt

Mittwoch, 4. Dezember 2019

Auftaktveranstaltung

Rahmenbedingungen, Lösungsansätze und Potentiale für den leistbaren Wohnungsbau in Holz

Marktpotentiale für serielles und modulares Bauen 09
Marcel Dresse, B+L Marktdaten, Bonn, Deutschland

IHF Prolog I - Architektur-Forum

Einfach, Materialgerecht und Innovativ

Landwirtschaftliches Zentrum St. Gallen in Salez 19
Andy Senn, Andy Senn Architekt BSA SIA, St. Gallen, Schweiz

Zwei Pionierbauten aus Norwegen 31
Reinhard Kropf, Helen & Hard, Oslo/Stavanger, Norwegen

Pocket Man 41
Bijoy Jain, Studio Mumbai Architects, Mumbai, Maharashtra, India

IHF Prolog II - Fertigbau-Forum

Digitalisierung «Produktion | BIM und Industrie 4.0»

BIM-Materialdatenstrukturen im Kontext harmonisierter Produktnormen 47
Christoph Carl Eichler, ODE office for digital engineering, Wien, Österreich

Der BIM-Koordinator 61
Marc Pancera, BIM F&E / Itten+Brechtbühl, Basel, Schweiz

Vom Egodenken zum Legodenken 77
Bernd Höfferl, proHolz Austria, Wien, Österreich

Haustechnik – TGA – Planung in der Praxis in Verbindung mit BIM 83
Pierre Hirschmann und Daniel Eckstein, WeberHaus, Rheinau-Linx, Deutschland

Von der Planung bis zur Ausführung: Eine Gesamtbetrachtung von BIM im Holzbau 91
Philipp Zumbrennen, Eurban, London, United Kingdom

Prolog III - Holzhausbau-Forum

Digitale Transformation im Unternehmen gestalten: Herausforderungen erkennen, Chancen nutzen

Die Sharing Economy - Ein Wachstumsmarkt mit großem Potential 103
Tanja Eschberger, LEAD Innovation Management, Wien, Österreich

Digitale Markenführung oder besser gesagt: Brand Humanization – Was Marken mit Dating zu tun haben 111
Dr. Judith Meyer, Brand Trust, Nürnberg, Deutschland

Digitale Transformation: Bei diesen Themen drückt der Schuh 115
Rolf Baumann, Berner Fachhochschule, Biel/Bienne, Schweiz

Prolog VI - Verbindungstechnik-Forum

Aktuelles aus der Verbindungstechnologie

- Eurocode 5:2022 – Einführung in den neuen Abschnitt Verstärkungen mit Fokus auf Querdruckverstärkungen zur Lastdurchleitung** 125
Philipp Dietsch, Technische Universität München, München, Deutschland
- Stabdübelverbindungen und eingeklebte Gewindestangen in Buchen-BSH** 141
Prof. Dr. Steffen Franke, Bettina Franke, Prof. Andreas Müller und Sebastian Heubuch, Berner Fachhochschule, Biel/Bienne, Schweiz
- Tragverhalten von Schrauben in Buchenholz** 157
Robert Jockwer, Chalmers University of Technology, Göteborg, Schweden
- Probleme und Lösungsansätze für die Verschraubung in Hartlaubholzprodukten** 169
Reinhard Brandner und Andreas Ringhofer, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, Graz, Österreich
Johann Scheibenreiter, Schmid Schrauben Hainfeld, Hainfeld, Österreich
- Selbstbohrende Holzschrauben: Einschraubdrehmoment bzw. Auszieh Widerstand und Lageimperfectionen** 191
Matthias Frese, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland

Moderation und Begrüssung

Aicher Peter

Präsident Timber Contraction Europe
Kronenstrasse 55 - 58
DE - 10117 Berlin

Tel.: +49 80 559 051 15
E-Mail: peter.aicher@aicher-holzhaus.de

Prof. Dr. Fink Gerhard

Aalto Universität
PO BOX 11000
FI - 00076 Aalto

Tel.: +358 50 511 2195
E-Mail: gerhard.fink@aalto.fi

Lange Georg

Bundesverband Deutscher Fertigung (BDF)
Flutgraben 2
DE - 53604 Bad Honnef

Tel.: +49 22 249 377 66
E-Mail: g.lange@fertigungbau.de

Noller Hans Volker

Präsidium des BDF
Flutgraben 2
DE - 53604 Bad Honnef

Tel.: +49 7977 977710
E-Mail: hans-volker-noller@fertighaus-weiss.de

Brunner Melanie

LIGNUM – Holzwirtschaft Zentralschweiz
Grünfeldpark 4
CH - 6208 Oberkirch

Tel.: +41 41 920 48 85
E-Mail: melanie.brunner@lignum-zentral.ch

Prof. Kaufmann Hermann

Technische Universität München
Arcisstrasse 21
DE - 80333 München

Tel.: +49 89 28925492
E-Mail: kaufmann@tum.de

Murhammer Christian

Österreichischer Fertighausverband (ÖFV)
Gonzagagasse 4/3/3
AT - 1010 Wien

Tel.: +43 18 902 299
E-Mail: c.murhammer@fertighaus.org

Rupli Hans

Vize Präsident Timber Contraction Europe
Kronenstrasse 55 - 58
DE - 10117 Berlin

Tel.: +41 44 370 22 50
E-Mail: hrupli@hansrupli.ch

Referenten

Prof. Astner Peter Matthias

Möller Rechtsanwälte /
Technische Hochschule Rosenheim
Mühlbachbogen 1a
DE - 83022 Rosenheim

Tel.: +49 80 311 801 19
E-Mail: Astner@moeller-rae.de

Bijoy Jain

Studio Mumbai Architects
561/563 N.M.Joshi Marg Byculla West
Indien - 400011 Mumbai, Maharashtra

Tel.: +91 22 6577 7560

Dr. Dietsch Philipp

Technische Universität München
Arcisstrasse 21
DE - 80333 München

Tel.: +49 89 28922046
E-Mail: dietsch@tum.de

Eckstein Daniel

WeberHaus
Am Erlenpark 1
DE - 77866 Rheinau-Linx

Tel.: +49 78 538 3830
E-Mail: Daniel.Eckstein@WeberHaus.de

Baumann Rolf

Berner Fachhochschule
Solothurnstrasse 102
CH - 2504 Biel/Bienne

Tel.: +41 32 344 17 22
E-Mail: rolf.baumann@bfh.ch

Prof. Dr. Brandner Reinhard

Technische Universität Graz
Rechbauerstrasse 12
AT - 8010 Graz

Tel.: +43 316 873 46 05
E-Mail: reinhard.brandner@tugraz.at

Dresse Marcel

B+L Marktdaten
Markt 26
DE - 53111 Bonn

Tel.: +49 22 862 987 27
E-Mail: MD@BL2020.com

Eichler Christoph

ODE office for digital engineering
Küniglberggasse 22
AT - 1130 Wien

Tel.: +43 676 495 62 60
E-Mail: c.eichler@ode.or.at

Eschberger Tanja

LEAD Innovation Management GmbH
Sandwirtgasse 12/1
AT - 1060 Wien

Tel.: +43 1 929 40 38
E-Mail: eschberger@lead-innovation.com

Dr. Frese Matthias

Karlsruher Institut für Technologie
Kaiserstrasse 12
DE - 76131 Karlsruhe

Tel.: +49 721 60847948
E-Mail: Matthias.Frese@kit.edu

Heubuch Sebastian Pascal

Berner Fachhochschule
Solothurnstrasse 102
CH - 2504 Biel/Bienne

Tel.: +41 32 344 03 36
E-Mail: sebastianpascal.heubuch@bfh.ch

Höfferl Bernd

proHolz Austria
Am Heumarkt 12
AT - 1030 Wien

Tel.: +43 66 461 098 95
E-Mail: hoeffler@proholz.at

Kropf Reinhard

Helen & Hard
Vindmøllebakken 2
NO - 4014 Stavanger

Tel.: +47 928 80 559
E-Mail: rk@hha.no

Dr. Meyer Judith

Brand Trust GmbH
Pfannenschmiedsgasse 1
DE - 90402 Nürnberg

Tel.: +49 911 933 57 80
E-Mail: judith.meyer@brand-trust.de

Prof. Nagler Florian

Technische Universität München
Arcisstrasse 21
DE - 80333 München

Tel.: +49 89 289 22 484
E-Mail: florian.nagler@tum.de

Pancera Marc

Itten+Brechbühl AG
Güterstrasse 133
CH - 4002 Basel

Tel.: +41 61 556 07 00
E-Mail: m.pancera@ittenbrechbuehl.ch

Senn Andy

Andy Senn Architektur
Feldlistrassen 31a
CH - 9000 St. Gallen

Tel.: +41 71 272 80 20
E-Mail: senn@senn.sg

Eugster Jörg

NetBusiness Consulting AG
Austrasse 37
FL - 9490 Vaduz

E-Mail: joerg@eugster.info

Goppel Martin

Direktor Akademie Handwerk Digital
Grosse Präsidentenstrasse 10
DE - 10178 Berlin

Tel.: +49 30 120 766 161
E-Mail: Info@akademie-handwerk-digital.de

Hischmann Pierre

WeberHaus
Am Erlenpark 1
DE - 77866 Rheinau-Linx

Tel.: +49 78 538 39 29
E-Mail: pierre.hischmann@weberhaus.de

Assist. Prof. Dr. Jockwer Robert

Chalmers University of Technology
Chalmersplatsen 4
SE - 412 96 Gothenburg

Tel.: +46 31 772 65 83
E-Mail: robert.jockwer@chalmers.se

Dr. Maderebner Roland

Universität Innsbruck
Technikerstrasse
AT - 6020 Innsbruck

Tel.: +43 512 50763209
E-Mail: roland.maderebner@uibk.ac.at

Prof. Müller Andreas

Berner Fachhochschule
Solothurnstrasse 102
CH - 2504 Biel/Bienne

Tel.: +41 32 344 03 19
E-Mail: andreas.mueller@bfh.ch

Dr. Ohnesorge Denny

Deutscher Holzwirtschaftsrat (DHWR)
Dorotheenstrasse 54
DE - 10117 Berlin

Tel.: +49 302 061 399 70
E-Mail: denny.ohnesorge@dhwr.de

Schautes Stefan

HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH
Ferdinand-Schultze-Strasse 71
DE - 13055 Berlin

Tel.: +49 30 546 412 60
E-Mail: info@howoge.de

Sprenger Wolf-Dieter

Stadtsiedlung Heilbronn GmbH
Urbanstrasse 10
DE - 74072 Heilbronn

Tel.: +49 713 162 57 50
E-Mail: wolf-dieter.sprenger@stadtsiedlung.de

Mittwoch, 4. Dezember 2019

Auftaktveranstaltung

Rahmenbedingungen, Lösungsansätze
und Potentiale für den leistbaren
Wohnungsbau in Holz

Marktpotentiale für serielles und modulares Bauen

Marcel Dresse
B+L Marktdaten GmbH
Bonn, Deutschland



Marktpotentiale für serielles und modulares Bauen

Der Begriff «serielles Bauen» erlebt seit einigen Jahren eine Renaissance. Während das serielle Bauen der letzten Jahrzehnte heutzutage oft mit einem Mangel an Individualität (zum Beispiel in Wohnsiedlungen) oder einer minderen Qualität (zum Beispiel bei den Fertighäusern der 1960er und 1970er Jahre) assoziiert wird, ist serielles Bauen heute der Hoffnungsträger in Bezug auf eine Verkürzung der Bauzeit, eine Reduzierung der Baukosten und die Schaffung von Wohnraum in Ballungsgebieten. Die *GdW Rahmenvereinbarung serielles und modulares Bauen* (vgl. GdW 2019), deren Eckpunkte letztes Jahr ebenfalls bei der Auftaktveranstaltung des Holzbau-Forums vorgestellt wurden, ist ein Beispiel für die Umsetzung des seriellen Bauens in der Praxis.

1. Abgrenzung der Begriffe

Die B+L hat in den vergangenen Monaten und Jahren verschiedene Aspekte des seriellen und modularen Bauens untersucht. Aus der Perspektive der Marktforschung sind dabei insbesondere die Treiber sowie die aktuelle und zukünftige Marktgröße des seriellen Bauens interessant. Auch die Frage, inwiefern serielles Bauen die Hoffnungen hinsichtlich des bezahlbaren Wohnraums und einer Bauzeitreduzierung tatsächlich erfüllt, ist ein Aspekt, den die B+L untersucht hat. Um den Status Quo des seriellen Bauens zu betrachten und die zukünftige Entwicklung abzuschätzen, muss serielles Bauen in die serielle Planung und die serielle Ausführung unterschieden werden.

1.1. Serielle Planung

Serielle Planung existiert heute bereits in verschiedenen Ausprägungen, wird jedoch nicht immer umfassend durchgeführt. Im Wohnungsbau basieren etwas mehr als 40,0 % der Gebäude zumindest anteilig auf einer seriellen Planung. Der Großteil der seriellen Planung findet dabei im Einfamilienhausbau statt (vgl. B+L 2019a). Serielle Planung umfasst nach dieser Definition

- Haustypen, wie sie von Heinz von Heiden, Town & Country oder Holzfertighausanbietern angeboten werden
- Häuser, die von Projektentwicklern mehrfach geplant und umgesetzt werden
- Wohnungen in Mehrfamilienhäusern, die auf Statik-Typen basieren, deren nichttragende Innenwände aber auf verschiedene Weise angepasst werden können, sodass die gleiche Statik eine 3-, 4- oder 5-Zimmer Wohnung ergeben kann

Damit handelt es sich bei der seriellen Planung meist um Statik- oder Haustypen, die in der Planung standardisiert sind und geringfügige Anpassungsmöglichkeiten bieten. Durch die serielle Planung ergeben sich Zeit- und Kostenvorteile. Im Vergleich zur konsequenten Vorfertigung sind diese Vorteile jedoch eher gering. Auch die Kostenvorteile sind tendenziell eher gering, dies liegt insbesondere an der häufig konventionellen Ausführung, die auf eine serielle Umsetzung oder eine automatisierte Vorfertigung verzichtet.

1.2. Serielle Umsetzung

Die serielle Umsetzung hingegen findet aktuell deutlich seltener statt als eine serielle Planung. Die serielle Bauweise in Form von Vorfertigung hat insbesondere im Einfamilienhausbau deutlich Marktanteile gewonnen. Dies ist hauptsächlich auf den Bedeutungsgewinn von Holzfertighäusern zurückzuführen. Bezogen auf den deutschen Wohnbau (Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhausbau) liegt der Anteil der Vorfertigung aktuell bei etwas unter 20,0 % der erstellten Gebäude. Dieser Anteil wird zukünftig stark an Bedeutung gewinnen. Engpässe bei Verarbeitern, Digitalisierung und der Trend zum Holzbau sind hier Stichworte (vgl. B+L 2019a).

Dabei unterscheidet sich der Grad der Vorfertigung bzw. der seriellen Umsetzung je nach Projekt und Produzent deutlich. Dies gilt auch für die Kostenvorteile, die trotz Vorfertigung

nicht immer gegeben sind. Daten des statistischen Bundesamtes (vgl. Statistische Bundesamt 2019) zeigen, dass die Kosten pro erstellten m² im Fertigteilbau sogar geringfügig höher sind als in der konventionellen Bauweise.

Von der B+L befragte Architekten / Planer und Bauunternehmen bestätigen diese Zahlen und sehen eine Diskrepanz zwischen dem Wunsch nach günstigem Wohnraum durch serielles Bauen und den tatsächlichen Kosten (vgl. B+L 2019b). Hier besteht noch Verbesserungspotenzial: Nur wenn die Produktion von Fertigteilen und Modulen weiter automatisiert wird, kann die serielle Umsetzung zu deutlichen Kosteneinsparungen führen.

1.3. Bauen mit Raummodulen

Die Modulbauweise ist Teil des seriellen Bauens, geht jedoch nicht zwangsläufig mit einer seriellen Planung einher. Viele bekannte Projekte, die mit Raummodulen aus Holz umgesetzt wurden, sind individuell geplante Gebäude (vgl. Huß et al. 2018). Ansätze wie die bereits erwähnte GdW Rahmenvereinbarung haben daher das Ziel, statt Einzelprojekten eine Übertragbarkeit von Ansätzen zu erreichen.

Vorteile im Sinne des seriellen Bauens, die sich aus dem Bau mit Raummodulen ergeben, sind der hohe Vorfertigungsgrad und die verkürzten Abläufe auf der Baustelle. Der Bau mit Raummodulen ist durch die weitreichende Vorfertigung die Art des seriellen Bauens, bei der am meisten Zeit eingespart werden kann. Dies gilt umso mehr, da im Innenausbau verschiedene Gewerke koordiniert werden müssen und die Koordination an sich bzw. Schnittstellenprobleme oft zu zeitlichen Verzögerungen führen. Findet auch der Innenausbau (anteilig oder gesamt) im Rahmen der Vorfertigung statt, lassen sich diese Schwierigkeiten deutlich reduzieren.

Wie B+L Befragungen im Sommer 2019 gezeigt haben, sind die Erfahrungen mit modularem Bauen bei vielen Architekten / Planern und Bauunternehmern noch gering. Bei den Bauunternehmen hat lediglich ein Zehntel Erfahrungen mit Raummodulen, bei den Architekten / Planern sind dies immerhin knapp ein Viertel der Befragten. Anders als beispielweise in Schweden, spielt in Deutschland neben den Holzmodulen auch der Bau mit Betonmodulen eine Rolle (vgl. B+L 2019b).

2. Markttreiber und -entwicklung

Verschiedene Entwicklung deuten jedoch daraufhin, dass der Bau mit Raummodulen in den kommenden Jahren an Bedeutung gewinnen wird. Dabei sind insbesondere der generelle Trend zum Holzbau, die Offenheit von Architekten / Planern / Ausführenden und Endverbrauchern sowie zukünftige Veränderungen in den Kapazitäten der Verarbeiter zu nennen.

2.1. Offenheit gegenüber modularem Bauen

52,0 % der im Sommer 2019 von der B+L befragten Architekten / Planer / Bauunternehmen können sich vorstellen, bei zukünftigen Projekten vermehrt mit Raummodulen zu arbeiten. Die Offenheit gegenüber dem Einsatz vorgefertigter Wandelemente ist noch einmal deutlich größer (siehe Abbildung 1).

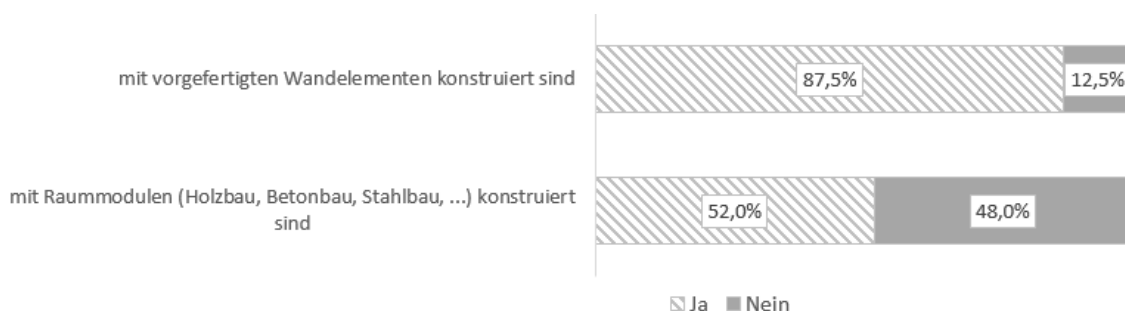


Abbildung 1: Architekten / Planer und Bauunternehmen: Können Sie sich vorstellen, zukünftig mehr Projekte umzusetzen bei denen die Wände... (Quelle: B+L)

Auch bei den Hausbauern hat sich das Image von seriellem und modularem Bauen im Vergleich zur Wahrnehmung der Häuser aus den 1960er und 1970er Jahren deutlich verbessert. Mehr als 70,0 % der Befragten in einer B+L Befragung von 260 Hausbauern hätten sich vorstellen können, ihr Haus (statt konventionell mit Mauersteinen) mit Raummodulen zu bauen (vgl. B+L 2019b).

2.2. Positive Entwicklung des Holzbaus

Der Holzbau ist in den vergangenen Jahren nicht nur im Einfamilienhausbau gewachsen. Veränderte Regularien sowie der Brettsperrendholzrend haben auch zu einem Anstieg der Holzgebäude im Mehrfamilienhausbau geführt. Zwar ist die absolute Zahl an Gebäude im Vergleich zum Einfamilienhausbau noch gering, doch die Anzahl der mehrgeschossigen Holzgebäude hat sich seit 2010 in Deutschland mehr als verdreifacht. Da der Mehrfamilienhausbau aufgrund des Zuzugs in den Ballungszentren zukünftig stärker wachsen dürfte als der Einfamilienhausbau wird sich diese Entwicklung noch verstärken. Gerade im Mehrfamilienhausbau bietet sich der Einsatz von Raummodulen an, um Bauzeiten und den Aufwand auf der Baustelle zu verkürzen. Sonderwünsche bei Eigentumswohnungen können mit der Modulbauweise ebenfalls leichter berücksichtigt und umgesetzt werden.

2.3. Ökologische Nachhaltigkeit

Auch die öffentliche Debatte über ökologische Nachhaltigkeit dürfte sich positiv auf den Holzbau auswirken. Einerseits lässt sich in der Politik (nicht nur in Deutschland) eine Tendenz zu mehr Nachhaltigkeit auch in der Bauwirtschaft ausmachen. Die im September vom deutschen Bundeskabinett verabschiedeten Eckpunkte zum Klimaschutz (vgl. Deutsche Bundesregierung 2019) nennen hier insbesondere den Bereich Energieeffizienz von Gebäuden. Ein Bereich in dem der Holzbau stark aufgestellt ist. Andererseits ist auch für viele Hausbauer ökologische Nachhaltigkeit ein Thema. Häufig scheitert der Wille zur Nachhaltigkeit bisher jedoch an zu hohen Kosten, zum Beispiel wenn die Kosten im Neubau durch Grundstück und Hauspreis bereits mit Standardprodukten sehr hoch sind. Durch Effizienzsteigerungen in der Vorfertigung könnte der Holzbau einerseits den Wunsch der Hausbauer nach Nachhaltigkeit erfüllen und andererseits die Preise reduzieren, sodass Nachhaltigkeit preislich attraktiver wird (vgl. B+L 2019c).

2.4. Verarbeiterkapazitäten im Hochbau

Die Entwicklung der Fachkräfte spricht ebenfalls für einen Bedeutungsgewinn des Holzbaus bzw. der Modulbauweise (vgl. B+L 2019d). Während die Auszubildenden bei Maurern und Betonbauern rückläufig sind, entscheiden sich jedes Jahr mehr junge Menschen für eine Ausbildung zum Zimmerer bzw. im Holzbau. Auch mit Blick auf die Altersstruktur ist der Holzbau gegenüber Maurern und Betonbauern im Vorteil. In 20 Jahren werden nach aktuellen B+L Prognosen Kapazitäten in den Gewerken Maurer / Betonbauer fehlen, während es im Holzbau ausreichend Fachkräfte geben wird. Abbildung 2 stellt die Situation für die Maurer und Betonbauer dar, Abbildung 3 zeigt die Kapazitäten und den Bedarf im Holzbau.

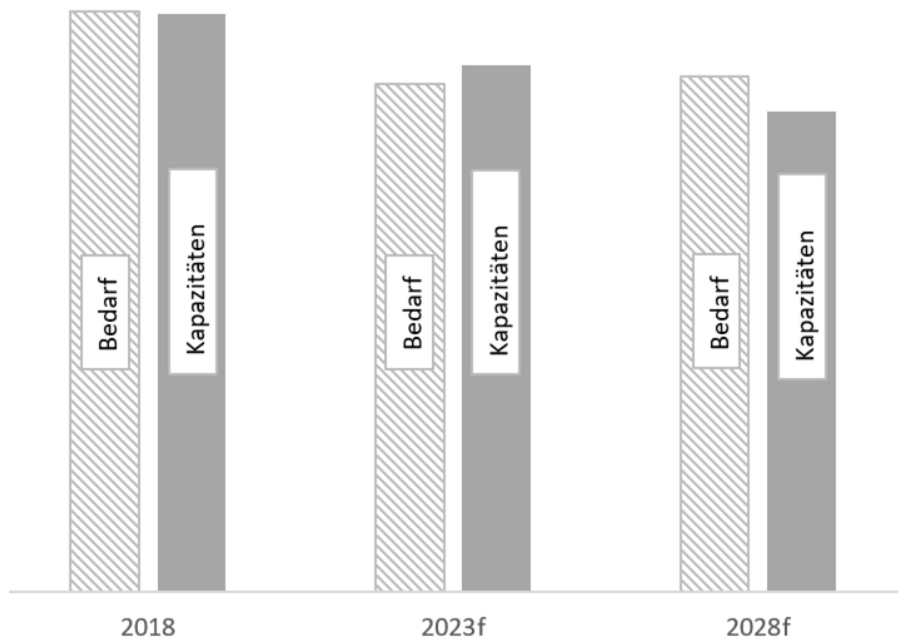


Abbildung 2: Prognose von Bedarf und Kapazitäten bei Maurern und Betonbauern (Quelle: B+L)

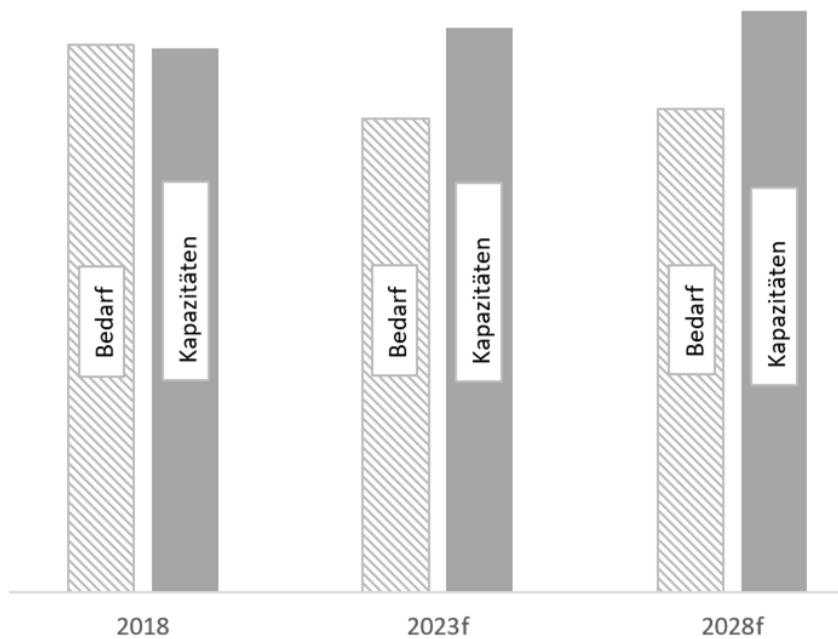


Abbildung 3: Prognose von Bedarf und Kapazitäten im Holzbau (Quelle: B+L)

Dieser Vorteil an Manpower in Kombination mit Effizienzsteigerungen bei der (automatischen) Fertigung von Wandelementen oder Modulen ist eine Chance für den Holzbau. Eine serielle Umsetzung mit Raummodulen, bei denen auch der Innenausbau weitgehend standardisiert und vorgefertigt ist, kommt zudem auch den Engpässen bei den Ausbaugewerken entgegen. Die Kapazitäten sollten genutzt werden, um Innovationen voranzubringen und die Position des Holzbaus zu stärken.

3. Fazit

Serielle Planen und Bauen sowie die Modulbauweise werden zukünftig nicht nur in Deutschland, sondern auch in vielen weiteren Ländern in Europa weiter deutlich an Bedeutung gewinnen. Die Entwicklung der Verarbeiterkapazitäten, die zunehmende Bedeutung von ökologischer Nachhaltigkeit und Veränderungen bei Bauweisen bzw. gebauten Gebäudetypen werden nicht nur das serielle Bauen, sondern auch die Modulbauweise und den Holzbau vorantreiben. Hier bieten sich vielfältige Chancen für die Branche.

Dass das Thema nicht nur in Europa von Relevanz ist, zeigt auch ein Blick auf das Unternehmen Katerra aus den USA. Katerra setzt das Thema serielles Bauen maximal um und integriert Planung, Fertigung und Montage in eigene Strukturen. Das folgende Statement von der Katerra-Website verdeutlicht diesen Ansatz:

«Die überwiegende Mehrheit der Gebäude ist als Einzelprojekte konzipiert. Wenn Gebäudekomponenten nicht für die Wiederholung ausgelegt sind, muss jedes Standardelement mit jedem nachfolgenden Projekt neu gezeichnet werden, was zu Unvorhersehbarkeit und Ineffektivität bei Projektplänen und Budgets führt. Katerra Building Plattformen reduzieren das Risiko im Bauprozess, indem sie das Prinzip der wiederholbaren Fertigung auf ganze Gebäude anwenden.» (Katerra 2019)

Dabei ist die Digitalisierung des Bauprozesses der wichtigste Aspekt des Katerra-Ansatzes, denn erst diese ermöglicht Effizienzsteigerungen von einem solchen Ausmaß. Ähnliche Ansätze sind auch in Deutschland und Europa denkbar und könnten die Bauwirtschaft vollkommen verändern

4. Ausgewählte Quellen

B+L (2019a): Marktstudie serielles und modulares Bauen.

B+L (2019b): Befragung – Wahrnehmung von seriellen und modularen Bauen.

B+L (2019c): Market Study Sustainable Construction Materials in Europe.

B+L (2019d): Marktstudie Verarbeiterkapazitäten bis 2030.

Deutsche Bundesregierung (2019): Eckpunkte für das Klimaschutzprogramm 2030, aufgerufen unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975232/1673502/768b67ba939c098c994b71c0b7d6e636/2019-09-20-klimaschutzprogramm-data.pdf?download=1> (18.10.2019).

GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen (2019): Rahmenvereinbarung für serielles und modulares Bauen, aufgerufen unter <https://web.gdw.de/wohnen-und-stadt/serielles-bauen/seriellesbauen> (18.10.2019).

Huß, Wolfgang / Kaufmann, Matthias / Merz, Konrad (2018): Holzbau Raummodule, München.

Katerra (2019): Building Platforms, aufgerufen unter: <https://www.katerra.com/products/building-platforms/> (18.10.2019).

Statistisches Bundesamt (2019): Baufertigstellungen im Hochbau (Tabelle 31121-0003), aufgerufen unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (18.10.2019).

IHF-Prolog I

Architektur-Forum

Einfach, Materialgerecht und Innovativ

Landwirtschaftliches Zentrum St. Gallen in Salez

Andy Senn
Andy Senn Architekt BSA SIA
St.Gallen, Schweiz



Landwirtschaftliches Zentrum St. Gallen in Salez

1. Strukturwandel

Das Wettbewerbsprojekt des Teams um Andy Senn Architekten trug das Kennwort «Strukturwandel». Der Name ist gut gewählt und mehrdeutig, denn dieser Wandel bezieht sich nicht nur auf die Landwirtschaft selbst, sondern ebenso auf die Strukturen vor Ort. Der Vorschlag sah vor, mit der letzten Etappe alle Nutzungen in einem langen Gebäude mit einem anschliessenden, kurzen Winkel gegen Westen unterzubringen. Die Trennung der einzelnen Funktionen erfolgt vertikal, daraus ergeben sich drei klar abgrenzbare Nutzungsabschnitte in je einem Trakt. Im Westen das Internat, danach der Unterrichtstrakt und hinter der Haupttreppe gegen Osten der Verwaltungsteil. Die Werkstatt im Norden bleibt bestehen und die beiden Gebäude fassen eine Aussenfläche, auf der die Pflanzen- und Sortengärten zu liegen kommen, die für die Ausbildung genutzt werden. Aus einem Konglomerat von drei einzelnen Gebäuden – von denen eines durch eine Erweiterung zusätzlich zweigeteilt wurde – soll eine Anlage mit zwei klaren Volumen entstehen. Dies drückt nicht nur die geforderte Zusammenlegung von im ganzen Kanton verteilten Nutzungen aus, sondern es nimmt überzeugend die Dimensionen des Rheintals auf, das durch grosse und starke Strukturen geprägt ist. Und es bietet die Möglichkeit, dank einer klugen Etappierung die bestehenden Gebäude so lange wie möglich zu nutzen.

Dass das LZSG Salez ein Vorzeigeprojekt der Lowtech-Bewegung werden konnte, hat auch mit den Menschen zu tun, die hier ausgebildet werden. Sie zeichnen sich durch eine enge Beziehung zur Natur aus. Sie können mit dem wechselnden Wetter umgehen, sie kennen die Hitze des Sommers ebenso wie die kalten und nebligen Winter. Und wenn die Temperaturen zu hoch sind, dann kann man den Unterricht auch auf die Felder des zugehörigen Gutsbetriebs verlegen. Damit passt das neue Zentrum in Salez bestens zu seinen Nutzerinnen und Nutzern: Für sie wäre ein vollautomatisches Gebäude wohl fremd geblieben, in dem die Storen automatisch heruntergefahren werden, wenn die Sonne scheint oder die Fenster nicht geöffnet werden dürfen, um die Effizienz der Wärmerückgewinnung nicht zu beeinträchtigen. Das Gebäude deckt sich in seiner Handhabung zu weiten Teilen mit der Lebensrealität der Landwirtinnen und Landwirte auf ihren Höfen.

Wieso also nicht auf das Wissen zurückgreifen, das bereits unsere Vorfahren genutzt haben? Man kann die Anforderungen an einen angenehmen und energiesparenden Aufenthalt auch mit den Mitteln der Architektur lösen. Gerade die bäuerliche Kultur ist voll von Beispielen und Typologien, die äusserst effizient mit der beschränkten Energie umzugehen wussten. Denn Energie war lange Zeit nur beschränkt verfügbar und ein kostbares Gut, mit dem man haushälterisch umgehen musste. Dem Landwirtschaftlichen Zentrum steht diese Haltung sozusagen ins Erbgut geschrieben.

Die Fachwelt verfolgt diesen Pfad bereits seit einigen Jahren und sie hat unter dem Schlagwort «Lowtech» einen vielversprechenden Begriff dafür gefunden. Was genau unter darunter zu verstehen ist, lässt sich jedoch nicht generell sagen. Denn Lowtech bedeutet in erster Linie, behutsam auf die Gegebenheiten vor Ort einzugehen und eine passgenaue Lösung für die spezifischen Anforderungen zu finden. Oder anders gesagt: man kann das Projekt nicht losgelöst von den Bedingungen an die Aufenthaltsqualität entwerfen, wenn die Architektur einen entscheidenden Faktor im sparsamen Umgang mit Energie bilden soll. Deswegen kann sich der Begriff nicht als Label festsetzen, denn die differenzierte Entwicklung von Projekten bietet keine griffigen Kennzahlen oder Patentrezepte, die sich einfach kommunizieren lassen. Lowtech bedingt, dass sich das gesamte Team mit den spezifischen Anforderungen einer Bauaufgabe auseinandersetzt, ohne in Automatismen zu verfallen.



In der Entwicklung der Details musste das Team die passende Bauweise finden, die eine Lowtech-Nutzung unterstützen würde. Mit diesem Fokus begann die Suche nach einer Konstruktion, die eine Balance ermöglicht zwischen dem Wärmeeintrag der Sonne und der Nutzung sowie den Eigenschaften des Materials. Ein kritischer Punkt war die Masse, die dem Holzbau fehlt. Man spricht dabei vom sogenannten Barackenklima: die Konstruktion heizt sich schnell auf, weil nicht erst eine grosse Masse aktiviert werden muss, sie kühlt aber schnell wieder herunter.

Im Dialog konnten die Gebäudetechniker und Architekten also die unterschiedlichsten Konstruktionsweisen testen und berechnen. Das Spektrum war sehr breit: von Mauern aus Kalksandstein und aus Stampflehm bis zur Kühlung mittels Grundwasser wurden verschiedene Konstruktionen nicht nur bezüglich ihres thermischen Verhaltens untersucht, sondern auch hinsichtlich ihrer Kosten und dem Unterhaltsaufwand. Diese gesamtheitliche und interdisziplinäre Betrachtung der Konstruktionsweise war sehr aufwendig, denn es musste jeweils das gesamte Projektteam die Resultate der Simulation kommentieren und beurteilen. Durch den weitgehenden Verzicht auf die Technik trägt jedes Bauteil zur Aufenthaltsqualität bei – positiv oder negativ. Dieses Vorgehen bedingte bedeutend mehr Sitzungen als bei vergleichbaren Projekten und eine hohe Diskussionskultur, bei der die Argumente des Gegenübers gehört und in die eigene Planung eingebracht werden. Auch dies ist ein Ausdruck für die spezifische Betrachtungsweise, die bei einem Lowtech-Gebäude unter den verschiedensten Gesichtspunkten herausgearbeitet und zu einer schlüssigen Konstruktion zusammengeführt werden musste.

Das Resultat dieser Untersuchungen führte zu einer gemischten Bauweise. Die Grundkonstruktion besteht im Unterrichtstrakt aus einer Pfosten-Riegel-Konstruktion aus Holz, die Geschossdecken sind als Holz-Hybrid-Decken ausgeführt mit einem Verbund aus Holz und einer Schicht aus Ortbeton, die mit einer Kaseinschicht überzogen ist. Dies vereint die Vorteile der beiden Baustoffe: das Holz bietet die serielle Fertigung und schnelle Montage, der Beton bringt die Masse, die für die Wärmespeicherung sowie den Schall- und Brandschutz nötig ist. Die Wände sind mit Holz verkleidet. Im Internatstrakt kommt aufgrund der geringeren Spannweiten eine Konstruktion aus Holzplatten zum Einsatz. Dort sind die Wände mit einem Lehmputz beschichtet, der die Regelung der Feuchtigkeit unterstützt. Das LZSG Salez als ein Lowtech-Gebäude zu erstellen, war nie Selbstzweck. Das übergeordnete Ziel ist, ein langlebiges Haus zu erhalten, dessen Kosten über die gesamte Lebensdauer betrachtet moderat bleiben. Im Idealfall muss man das Haus nach 50 Jahren lediglich streichen und die Oberflächen auffrischen. Um dies zu erreichen, mussten die technischen Elemente von der statischen Struktur getrennt werden. Es ist bei diesen Konstruktionen – Elektro- und Sanitärinstallationen, Heizungen und den wenigen Lüftungen – enorm wichtig, dass sie strikt vom Rohbau getrennt ausgeführt werden, um die Lebensdauer des gesamten Gebäudes zu verlängern. Erst wenn die zerstörungsfreie Zugänglichkeit zur Technik gewährleistet ist, lassen sich Technik und Struktur gemäss ihrem eigenen Lebenszyklus erneuern oder ersetzen.

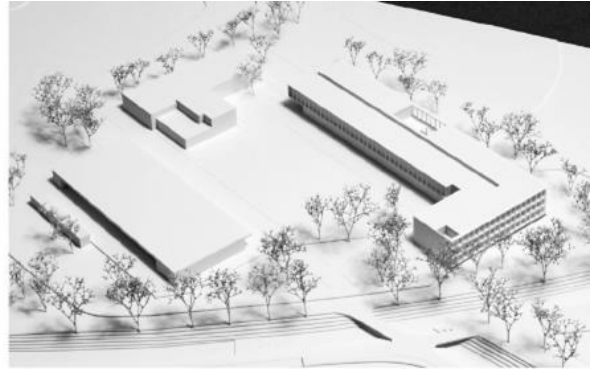




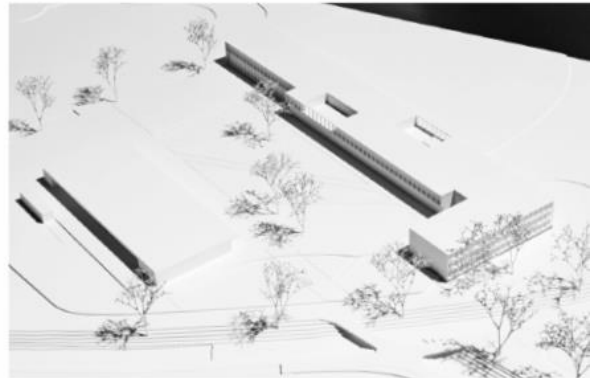
2. Grundrhythmus mit Zwischenschläge

Der Holzbau verleiht dem LZSG Salez seinen Grundrhythmus, der auf einem einheitlichen Raster von 2,14 m aufbaut. Dieses Raster zieht sich auch um die Ecken herum. In Vielfachen dieses Rasters ordnen sich die Nutzungen ein: Die Gruppenräume, Vorbereitungsraum und Nebenräume sind zwei Achsen breit, gleich wie die Schlafzimmer im Internatstrakt und die Hausmeisterwohnung. Die Klassenzimmer und Aufenthaltsräume folgen einem Raster von vier Einheiten. Die Eingangshalle am vorläufigen östlichen Ende, wo mit der nächsten Etappe dann der Haupteingang zu liegen kommt, ist drei Masse breit.

Die Ausrichtung auf ein Vielfaches von zwei verleiht wiederum der Anordnung der Räume und damit dem Grundriss seinen Rhythmus. Lediglich im nördlichen Teil des Erdgeschosses ergibt sich aufgrund der grossformatigen öffentlichen Räume und wegen der Nebenräume der Gastronomie ein abweichender Rhythmus der Wandfluchten. Im Obergeschoss lässt sich eine interessante Verschiebung beobachten. Eine zusätzliche Schicht – Toiletten und Nebenräume – mit drei Achsen Breite ist im Norden neben dem grossen Treppenhaus angeordnet: dieser Einschub bricht aus dem Grundschema von zwei und vier Einheiten aus. Die nördlich des Korridors gelegene Raumschicht ist deshalb um eine Achse gegenüber der südlichen Schicht verschoben. Das bringt nicht nur Leben in die Grundrissfigur, sondern es verleiht auch den Räumen im oberen Geschoss eine Leichtigkeit, die aus der Strenge des gerasterten Holzbaus ausbricht. Die zeigt sich zum Beispiel in der feinen Überlagerung des Aufenthaltsraumes im nördlichen Teil mit dem Luftraum über der Terrasse im Erdgeschoss. Sie teilen sich eine ganze Achse und treffen sich nicht bloss auf einer Linie. Es sind diese feinen Überlagerungen, die das LZSG Salez vom Formalismus und der Steifheit befreien, die Holzbauten gelegentlich innewohnt und deren grosse Stärke ihre Effizienz ist. Diese Verspieltheit zeigt sich auch im abwechslungsreichen Rhythmus der Türen im oberen Korridor: einmal liegen sie sich direkt gegenüber, dann wieder an unterschiedlichen Enden innerhalb des gleichen Segments, oder um eine oder mehrere Achsen verschoben. Auch wenn der Gang lang ist, so erscheint er dank dieser Abwechslung doch nie monoton.

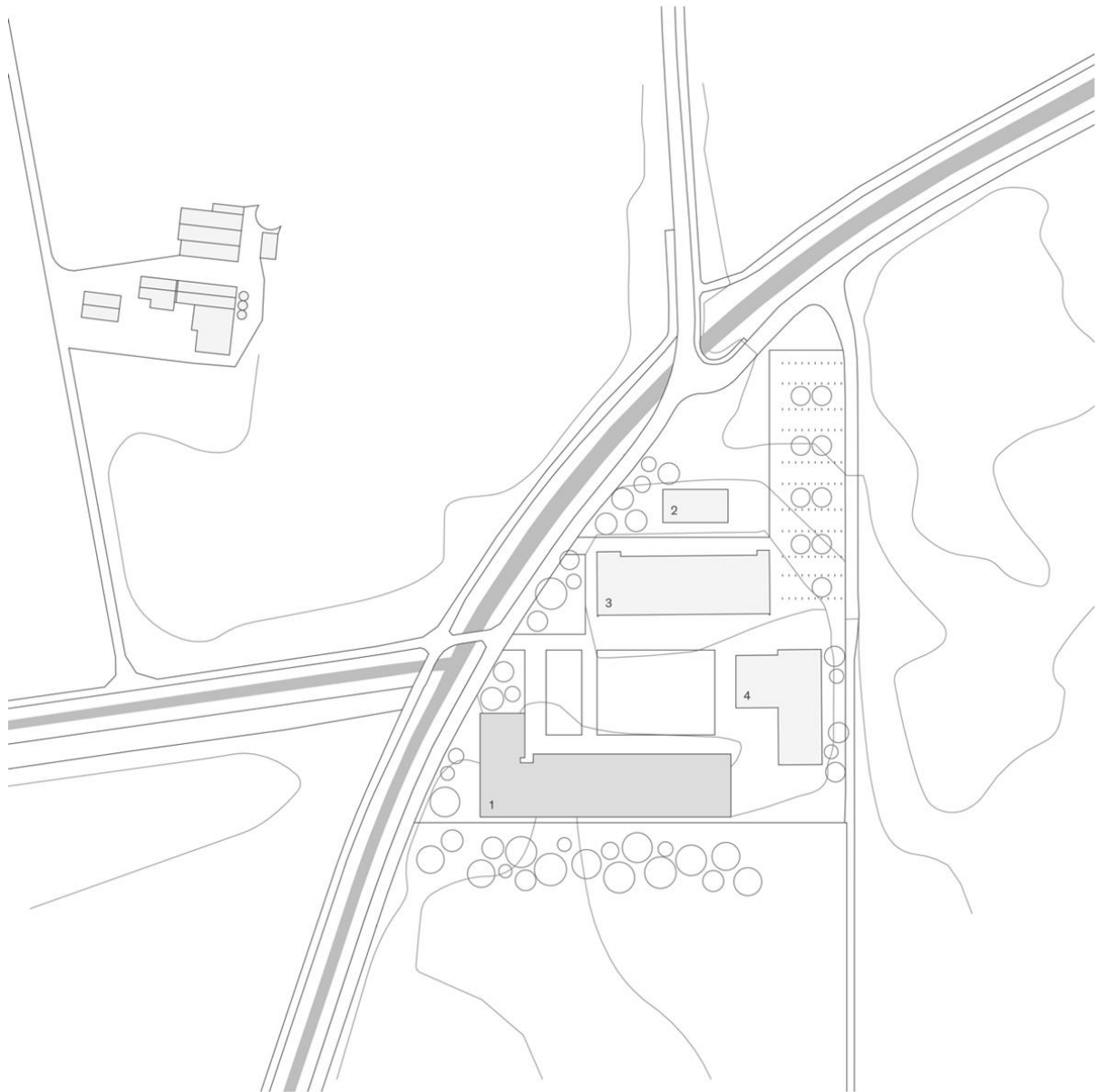


Modell oben:
Erste Bauetappe Stand 2019



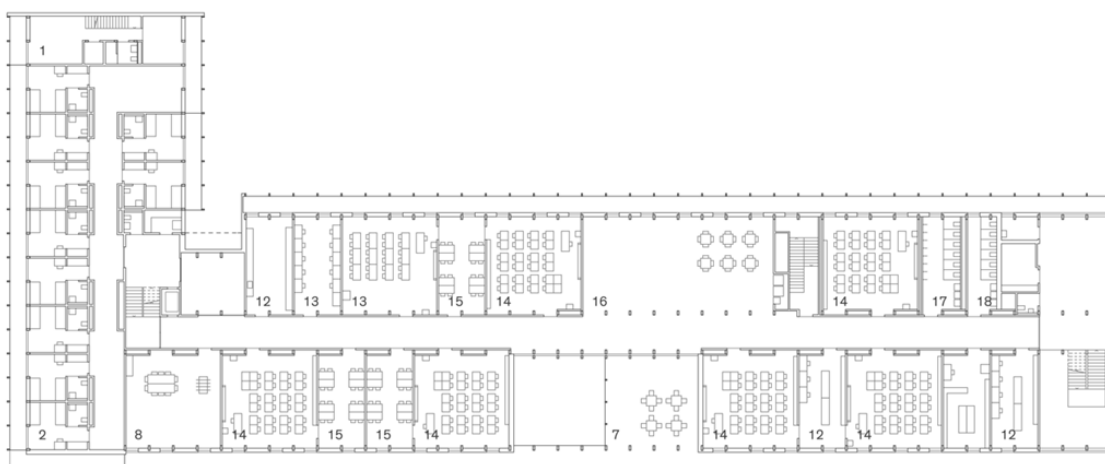
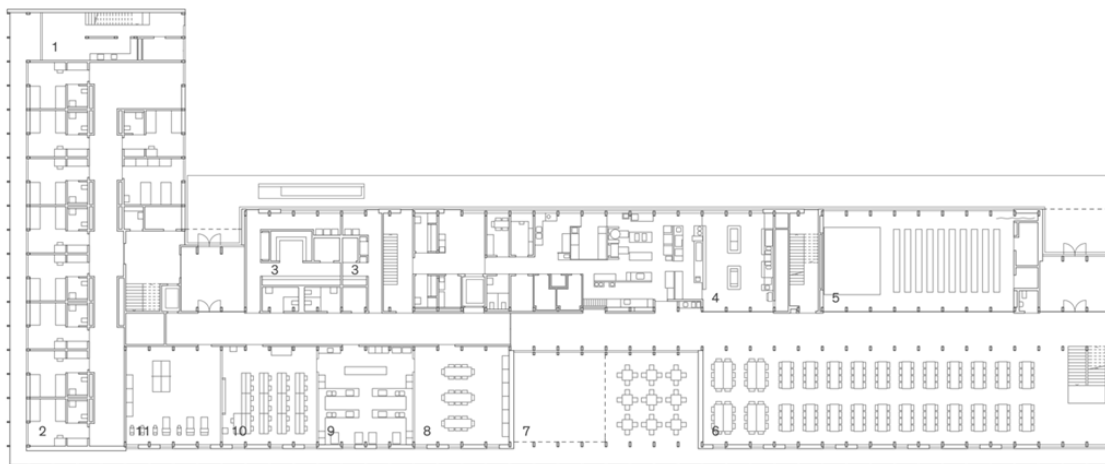
Modell unten:
Geplante Erweiterung 2025





Situation

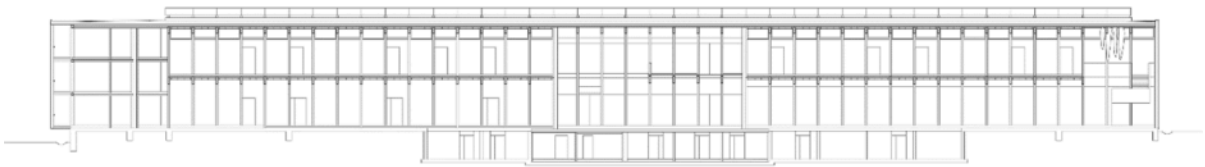
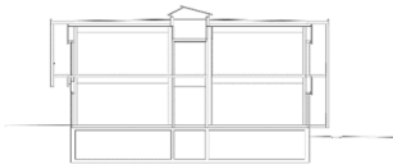
- 1 Neubau Schulgebäude
- 2 Neubau Heizzentrale
- 3 Werkstattgebäude
- 4 Verwaltungsgebäude



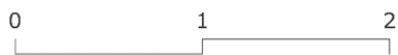
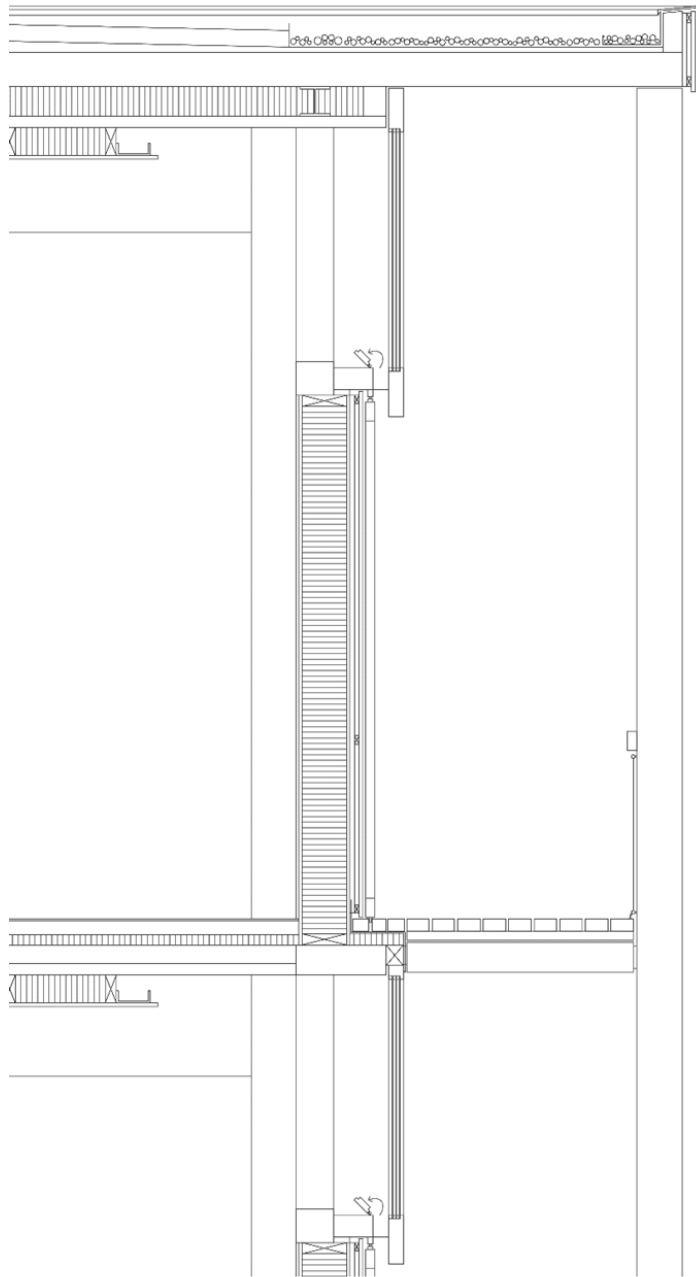
Erdgeschoss
Erstes Obergeschoss

- Internatstrakt**
 1 Hauswartwohnung
 2 Internatszimmer
- Schultrakt**
 3 Garderoben
 4 Gewerbliche Küche
 5 Aula
 6 Mensa
 7 Terrasse
 8 Aufenthaltsraum
 9 Schulküche
 10 Hauswirtschaftsraum

- 11 Fitnessraum
 12 Vorbereitungsraum
 13 Informatikraum
 14 Klassenzimmer
 15 Gruppenraum
 16 Aufenthaltsbereich
 17 WC Herren
 18 WC Damen



Ostfassade, Südfassade
Querschnitt, Längsschnitt



Schnitt durch Aussenwand
Schultrakt

3. Planungsteam

Architektur und Gesamtleitung Bau
Andy Senn Architekt BSA SIA, St.Gallen

Bauleitung
Bau-Data AG, Buchs

Bauingenieur
Merz Kley Partner AG, Altenrhein

Bauingenieur Tiefbau
Egeter & Tinner AG, Haag

Bauingenieur Bestand
Gabathuler AG, Buchs

Elektroingenieur
Bouygues E&S InTec Schweiz AG, St.Gallen

HLKS-Ingenieur
Hälg & Co. AG, St.Gallen

Kälteingenieur
Kälte 3000 AG, Landquart

Landschaftsarchitektur
METTLER Landschaftsarchitektur AG, Gossau

Brandschutz
Josef Kolb AG, Romanshorn

Bauphysik/Energie
Lenum AG, Vaduz

Küchenplanung
Gastro-Fachplanung Ruedi Menet GmbH, Walzenhausen

Geologe
Grundbauberatung –Geoconsulting AG, St.Gallen

Bodenkundliche Baubegleitung
OePlan GmbH, Balgach

Signaletik
Inform GmbH,
Signaletik und Informationsdesign, Rorschach

Kunst am Bau
Elisabeth Nembrini, Berg

Texte:
Marko Sauer, arch` TxT, Wil

Fotos:
Seraina Wirz, Atelier für Architekturfotografie, Zürich
FMH | Fabian Matthias Hutter, Diepoldsau

Zwei Pionierbauten aus Norwegen

Reinhard Kropf
Helen & Hard
Oslo/Stavanger, Norwegen



Zwei Pionierbauten aus Norwegen

1. Einleitung

In diesem Referat werden zwei Holzbauprojekte vorgestellt, der Finanzpark «Finansparken», sowie der Wohnungsbau «Vindmøllebakken». Beide Projekte begannen vor 6 Jahren in Stavanger und setzen mehrerer Hinsicht neue Impulse im skandinavischen Holzbau. Die Projekte wurden gemeinsam mit dem Holz - team «Creation Holz» und dem Schweizer Holzbauingenieur Hermann Blumer entwickelt und stehen nun kurz vor ihrer Fertigstellung. In beiden Projekten war uns wichtig die architektonischen und tektonischen Qualitäten des Materiales Holz und der Bauweise herauszuarbeiten und diese erlebbar zu machen.

2. Finanspark

2.1. Der Ort

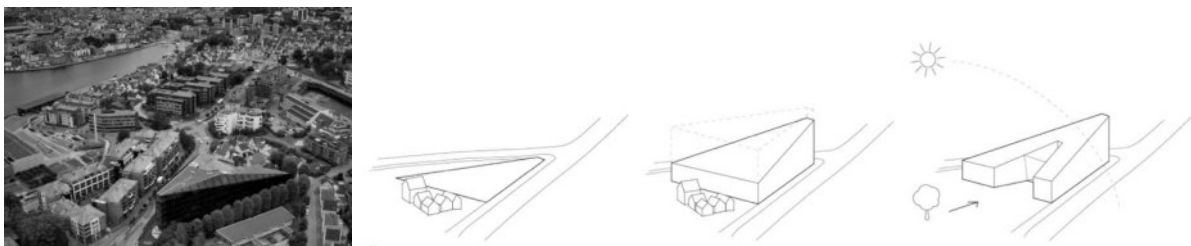


Abbildung 1: Der Bezug zum Ort

Im Jahr 2014 gewannen wir gemeinsam mit dem Architekturbüro SAHAA den internationalen Wettbewerb für das Hauptquartier der SR Bank in Stavanger. Das dreieckige Grundstück liegt mitten im Zentrum von Stavanger und grenzt im Süden an eine kleinmaßstäbliche Bebauung und im Norden an einen Park. Auf diesen herausfordernden Ort reagierten wir mit einem dreieckigen Baukörper der sich nach Süden hin abtreppt und im Norden einen sechsgeschoßigen Hochpunkt bildet. Im südlichen Teil des Grundstückes, zur Nachbarbebauung hin, wurde ein kleiner Park angelegt. Das Zentrum der Bank bildet ein Atrium das sich zu diesem Park hin wendet.



2.2. Der Prozess

Finansparken, das größte Bürogebäude Nordeuropas in Holz war für unsere Kunden und Generalunternehmer Neuland und verursachte anfänglich viel Unsicherheit bezüglich der Realisierbarkeit und der Kosten. Eine wichtige Aufgabe bestand darin, diese Sorgen ernst zunehmen und schrittweise Vertrauen, Sicherheit und Begeisterung aufzubauen. Hier wären wir ohne die Beratung von Hermann Blumer und Creation Holz niemals ans Ziel gekommen. Wir erarbeiteten einen schrittweisen Plan:

1. Zuerst wurde die organisch ausgeformte Holzstruktur in einem großen Modell aus Holz dargestellt.
2. Danach fand eine Präsentation für unsere Kunden statt, die die Vorteile des Holzbaues hervorhob:
 - geringerer CO₂ Ausstoß
 - besseres Innenklima
 - raschere Montage
 - Stärkung der Identität Stavangers als Nordeuropas größte Holzstadt
 - Wiederverwertbarkeit und Abbaufähigkeit von Holz
 - Hochwertige Ästhetik und Architektur
3. Danach organisierten wir mit unserem Kunden eine Exkursion in die Schweiz und nach Österreich, wo wir das Tamedia Medienzentrum in Zürich besichtigten und das Illwerk Zentrum Montafon
4. Es wurde ein Kostenvergleich eines Segmentes des Finanzparkes aus sowohl Holz als auch Stahl/ Beton erstellt. Es stellte sich heraus, dass die Gesamtkosten der Holzvariante um nur ca. 1,4% höher lagen als die Beton/Stahl Variante.
5. Es wurde ein Mock-up eines Teiles des Gebäudes in voller Größe hergestellt, welches ein wesentlicher Beitrag zum Aufbau von Vertrauen und Begeisterung für den Holzbau war.

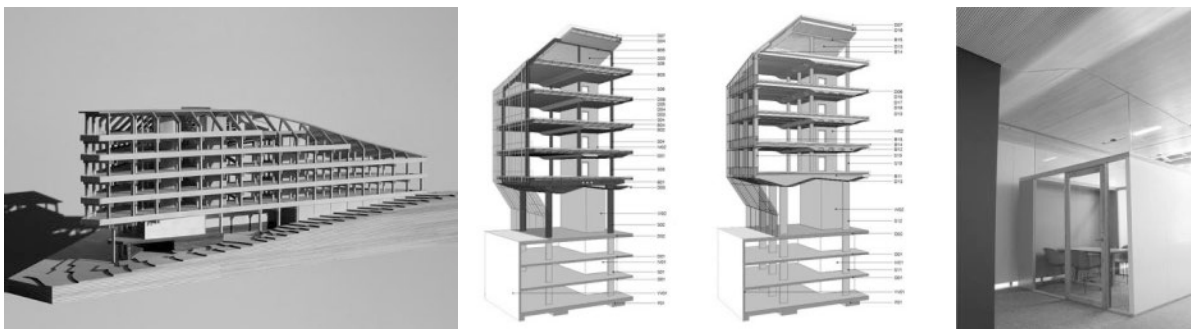


Abbildung 2: Modell, Kostenvergleich zwischen Stahl/ Beton und Holz, Mock up

Trotz des zunehmenden Wohlwollens gegenüber der Holzbauvariante gab es dennoch Diskussionen, ob nur eine Holz- und Beton/Stahlvariante ausgeschrieben werden sollte. In einer Besprechung konnte Christoph Maier von Creation Holz unseren Auftraggeber davon überzeugen, dass Holz für dieses Projekt die beste Lösung war. Damals wurde endgültig entschieden, nur die Holzvariante auszuschreiben. Damit standen die Chancen den Finanzpark als Holzbau zu realisieren sehr gut.

2.3. Interne räumliche Organisation

Das Herzstück der Bank ist ein glasüberdachtes Atrium, welches alle Bereiche und Geschosse miteinander verbindet. Nahe der zentral gelegenen Treppe befinden sich die sozialen Zonen. Gemeinsam mit den vier Erschließungskernen, Besprechungsräumen und Nasszellen gruppieren sie sich diese um das Atrium herum. Die flexiblen Arbeitsbereiche liegen entlang der Ost- und Westfassade. Stille Zonen und flexible Büroräume können wahlweise errichtet werden und gliedern die offene Bürolandschaft.



Abbildung 3: Grundriss, 2. OG

Im Erdgeschoß befindet sich die großzügige Eingangshalle, welche durch eine Sitzlandschaft räumlich mit dem zentralen Atrium, sowie mit dem darunter gelegenen Auditorium verbunden wird. Die Untergeschoße in Betonbauweise beinhalten Lagertechnische Räume und die Parkgarage.



Abbildung 4: Eingangshalle

2.4. Konstruktives, strukturelles Konzept für den Holzbau

Zu Beginn wurde Holz für einen so großen und hohen Bau als ein eher unrealistisches Baumaterial eingeschätzt. Wir bekamen aber innerhalb einer kurzen Zeitspanne (Ende November 2014 bis Ende Jänner 2015) die Möglichkeit, ein Konzept für einen Holz- oder Hybridbau vorzustellen. Das Ingenieurbüro DOF sollte die Beton/Stahl- Variante erarbeiten. Herman Blumer und Creation Holz entwickelten innerhalb kürzester Zeit das konstruktive Konzept. Es bestand zum Großteil aus einem Holzskelettbau mit Säulen und Zangenträgern aus Brettschichtholz und Holzdecken aus Brettspertholz. Da wir in der Eingangshalle im EG keine Mittelstützen einplanen wollten, stellte die Punktbelastung der Träger von den darüberliegenden Mittelsäulen eine besonders große Herausforderung dar. Da das Grundstück sehr klein war schlugen wir eine Auskragung über dem Gehsteig vor Hermann Blumer löste diese Probleme, indem er Zangenträger aus Baubuche vorschlug. Eine weitere Herausforderung stellten die beiden Auskragungen an der Süd- und Nord-Fassade

dar. Hier wurden durchgehende Brüstungsbänder aus Baubuche vorgeschlagen, die einerseits das statische Problem der Auskragungen lösten und andererseits das gesamte Gebäude aussteiften. Allgemein gab es große Skepsis, ob das Gebäude ohne Scheiben in den Fassaden ausgesteift werden konnte. Die Lösung bestand in aussteifenden Erschließungskernen, steifen Deckenscheiben aus Brettsperrholz, aussteifenden Brüstungsbändern aus Baubuche und der erhöhten Steifigkeit der Knoten.



Abbildung 5: Grundprinzip des Tragwerkes

2.5. Designkonzept der Knoten

Die charakteristisch organisch geformten Träger und Knoten stellen einen wichtigen Teil des architektonischen Ausdruckes dar. Die von Hermann Blumer entwickelte tektonische Ausformung der Knoten mit ihren sichtbaren Holzdübeln waren in Skandinavien zuvor unbekannt und erregten in Fachkreisen große Aufmerksamkeit. Die Zangenträger wurden mit verleimten Buchen Furnierschichtholzplatten verstärkt.

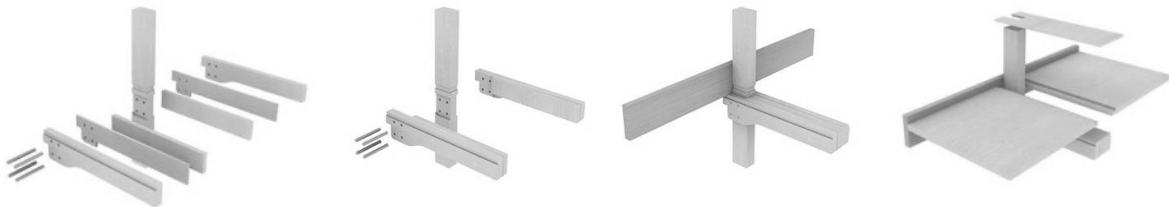


Abbildung 6: Grundprinzip der Knotenverbindungen

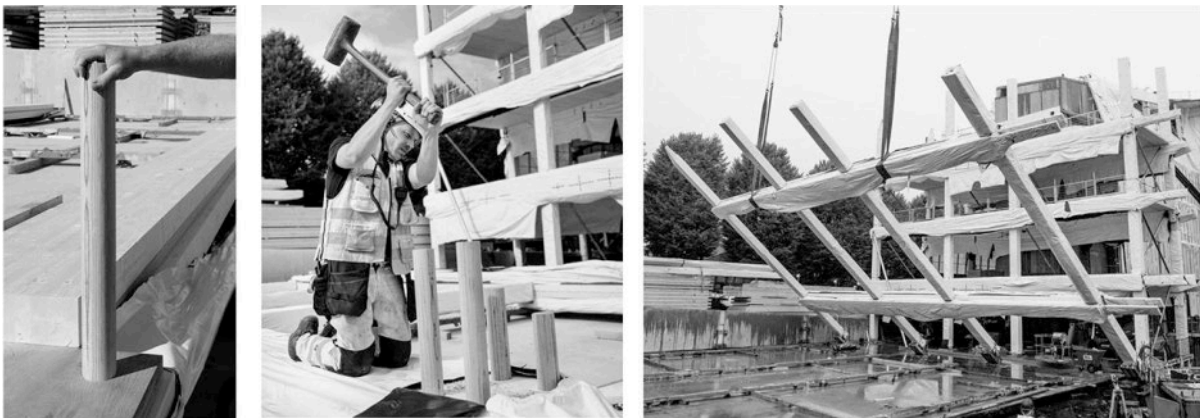


Abbildung 7: Montage der Rahmen



2.6. Schnittstelle zu Fachplanern und zur Produktion

Viele funktionelle Erfordernisse bezüglich Brandschutz, Bauphysik, Akustik etc. wurden schon in einem frühen Entwurfsstadium gelöst. Zum Beispiel wurde schon in der ersten Skizze ein Konzept entwickelt, wie die technischen Infrastrukturen in die Holzkonstruktion integriert und die Lüftungskanäle die Deckenträger kreuzen konnten. Die Größe und der Abstand der Aussparungen in den Deckenträgern mussten in einem frühen Stadium entschieden werden.

Die gesamte Holzkonstruktion wurde nach den strengen Brandschutzanforderungen von REI90 entworfen.

Die Holzkonstruktion wurde gemeinsam mit der Glasfassade entwickelt. Vor allem den Toleranzen und Setzungen musste große Beachtung geschenkt werden.

Die norwegische Firma Moelven produzierte den gesamten Holzbau und alle abgehängten Holzdecken. Das besondere Augenmerk auf Genauigkeit und Toleranzen war von wesentlicher Bedeutung für die Produktionsabläufe und bewirkte das Moelven für dieses Projekt sogar eine neue Maschine erwarb. Der komplexe Prozessverlauf forderte auch den Generalunternehmer Veidekke und das gesamte Team. Vor der Vorfertigung der Holzstruktur mussten innerhalb kürzester Zeit alle Entscheidungen für die Holzkonstruktion getroffen und die Detailplanung abgeschlossen werden, was eine Höchstleistung von Creation Holz und dem Ingenieurbüro DOF erforderte.

2.7. Die zentrale Treppe

Eine besondere konstruktive Leistung stellte die Holzkonstruktion der geschwungenen Haupttreppe als das Herzstück der Bank dar. Sie gilt als eine der größten Holztreppen der Welt. Ohne dem Mitwirken von Creation Holz hätte diese Treppe niemals innerhalb der erlaubten Vibrationen realisiert werden können. Die Firma Hess produzierten die doppelkrummen Treppenwangen und die Firma Hokon die gesamte Treppe.



3. Gaining by Sharing, Wohnungsbau «Vindmøllebakken»

3.1. Einleitung

Vindmøllebakken ist ein Forschungsprojekt über soziale Nachhaltigkeit und konstruktiven Holzbau im norwegischen Wohnungsbau. Es entstand in einer Zusammenarbeit zwischen Helen & Hard, Indigo Vekst und Kruse Smith als gleichwertige Investoren. Der gesamte Komplex besteht aus insgesamt 54 Wohneinheiten, 40 «Co-living» Wohnungen, vier «townhouses» und zehn Wohnungen. Es ist das erste realisierte Holzbauprojekt des Unternehmens «Gaining by Sharing». Initiiert von Helen & Hard und Indigo Vekst bietet Gaining by Sharing ein nachhaltiges und architektonisch hochwertiges Konzept für gemeinschaftliches Wohnen an. Die Grundidee besteht darin, dass durch das Teilen von Räumen, Ressourcen, Ausrüstung, Dienstleistungen etc. ein sozialer, ökonomischer, ökologischer und architektonischer Gewinn erzielt werden kann.

3.2 Der Bezug zum Kontext

Die Bebauung besteht aus 22 in einem Raster angeordneten drei- bis sechs- geschossigen Baukörpern, die sich in ihrer Größe und Höhe an die angrenzenden kleinen Holzhäuser anpasst. Das Grundstück fällt nach Westen hin ab und die Bebauung ist so abgestuft, dass sie sowohl die Besonnung der Wohnungen als auch den Höhenbezug zur benachbarten Bebauung berücksichtigt. Zwei ehemalige Fabriken werden in die Bebauung eingebunden, die eine als Garage für Car-sharing, die andere als Restaurant/Bar.



3.2. Die Räumliche Organisation

Die 40 «Co-living» Wohnungen sind kompakt, jedoch alle mit Küche und Bad ausgestattet. Sie organisieren sich um 500 m² Gemeinschaftsbereich, die alle Bewohner gleichwertig besitzen. Die Gemeinschaftsbereiche sind das Herzstück des Gebäudes und alle Wohnungen und die interne Erschließung organisieren sich um diese. Man betritt die Gemeinschaftsbereiche über einen Innenhof in einen hohen glasüberdachten Eingangsbereich. Hier wachsen Pflanzen und Kräuter, die in der angrenzenden Gemeinschaftsküche benutzt werden können. Ein Refektorium, eine Werkstatt, eine Gästewohnung und ein Waschsalon bilden eine Raumsequenz. Eine Amphi-Treppe und das offene Treppenhaus führen zu der gemeinsamen Bibliothek und dem Gewächshaus auf dem Dach. Neben dem Restaurant befindet sich ein gemeinsamer Partyraum. Die Gemeinschaftsbereiche sind so gestaltet, dass sie visuelle Bezüge herstellen und freistellen in welchen Umfang und Zeitraum man an gemeinschaftlichen Aktivitäten teilnehmen will. Es gibt wahlweise einen Zugang zu den Wohneinheiten durch den Gemeinschaftsbereich oder durch eine direktere Verbindung mit Zugang vom Straßenraum aus.



Abbildung 8: Gemeinschaftsbereiche: Amphi - Treppe, Gewächshaus, Refektorium

3.3. Partizipationsprozesse

Schon sehr früh wurden die Bewohner in den Planungsprozess des Projektes eingebunden. In mehreren Workshops wurde Gemeinschaftsbereiche geplant und programmiert, so dass das Gemeinschaftsgefühl dadurch gestärkt wurde. 24 Interessengruppen haben sich selbstorganisiert und nehmen sich den unterschiedlichen Aufgaben und der Gemeinschaftszonen an. Es gibt u.a. eine Gartengruppe, Küchengruppe, Bibliotheksgruppe, Partygruppe, Möbelgruppe, Hundegruppe etc.

Da die Bewohner auch zum Teil die Lage der Wohnungstrennwände, der Fenster und die Raumorganisation mitbestimmen konnten, stellte sich die Koordination zwischen den Partizipations- und Produktionsprozessen als besondere Herausforderung dar.

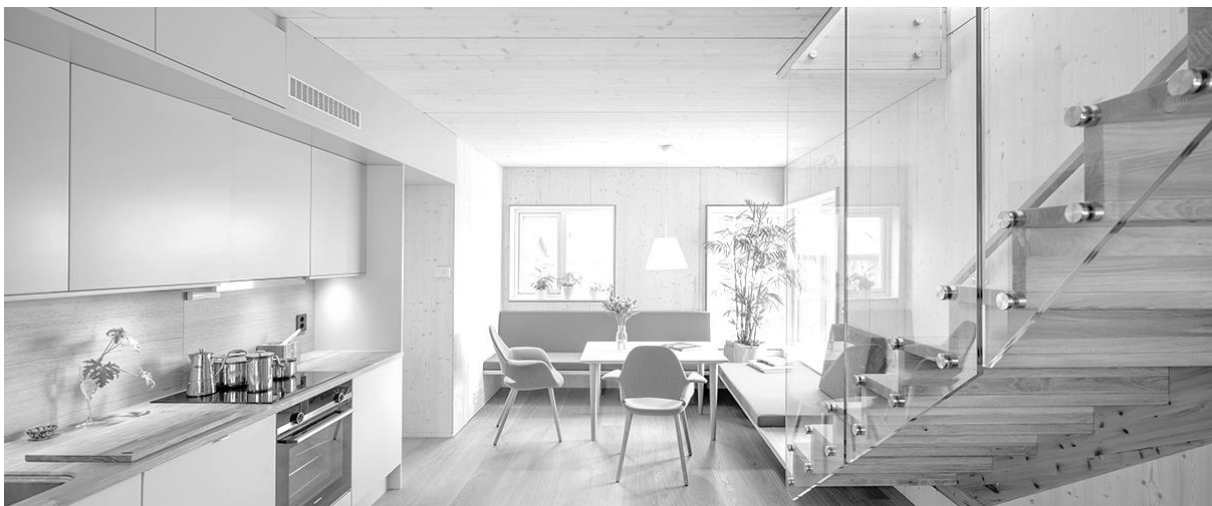
3.4. Das Konzept des Holzbaues

Eine übergeordnete Zielsetzung war es den Rohbau möglich schnell und trocken zu montieren. Es wurden deswegen von Hermann Blumer und Creation Holz großformatige Wand, Decken- und Dachelemente mit hohem Fertigungsgrad vorgeschlagen. Holzbau Saurer war für den gesamten Holzbau zuständig. Die kleinteilige Struktur der Wohngebäude mit Ausmaßen von 8,0 x 8,0 Meter erlaubten, dass jeden Tag mindestens eine Etage montiert und abgedeckt werden konnte. Die Wandelemente bestehen aus 60 mm Brettsperrholz, 200 mm Hanfisoliation und Dreischichtplatten sowie bei Brandschutzanforderungen Holz-faser- Gipskartonplatten. Alle technischen Leitungen wurden in der Vorfertigung in die Elemente eingebaut. Alle Elemente sind diffusionsoffen und alle Holzoberflächen konnten sichtbar behalten werden, was brandtechnisch als besondere Leistung zu verzeichnen ist. In den Treppenhäusern mussten allerdings die Holzflächen mit einem transparenten Brandanstrich behandelt werden. In der verschachtelten Struktur stellte sich die Erfüllung aller schallschutztechnischen Anforderungen als besondere Herausforderung dar. Alle Wohnungstrennwände, auch zum Gemeinschaftsbereich hin, wurden als doppelte Wandkonstruktionen ausgeführt. Die Deckenelemente wurden schon im Werk mit Granulat gefüllt und so auf der Baustelle montiert. Alle Nasszellen waren vorgefertigt und wurden komplett fertig eingerichtet montiert.

Trennwände und Möbel aus Dreischichtplatten und Eichenböden schafften eine ruhige Raumatmosphäre und ein angenehmes Wohngefühl.

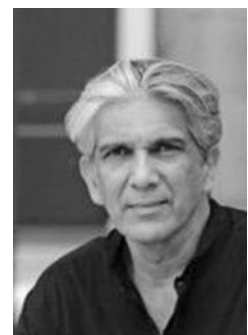


Abbildung 9: Elemente von Holzbau Saurer



Pocket Man

Bijoy Jain
Studio Mumbai Architects
Mumbai, Maharashtra, India



Pocket Man

Economy of means can be seen as «a path of least resistance», where flows and adjacencies between entities, bodies, materials, economies and taxonomies within an ontological stream is always in consideration to each other. This movement between entities entered with awareness in presence of the other in a gravitational field allows the potential to create a spatial construct, embedded in and as the form itself.

Economy of means requires anticipation, agility, awareness and openness to change, as the only constant. I would liken it to rate of change and distance travelled in a moment of time, where speed, acceleration and movement or lack of one creates a trajectory for the form to emerge one that can only be anticipated and not fixed as a preconceived notion of time.



Figure 1: Studio Mumbai Studio



Figure 2: Studio Mumbai_Saat Rasta



Figure 3: Studio Mumbai Workshop

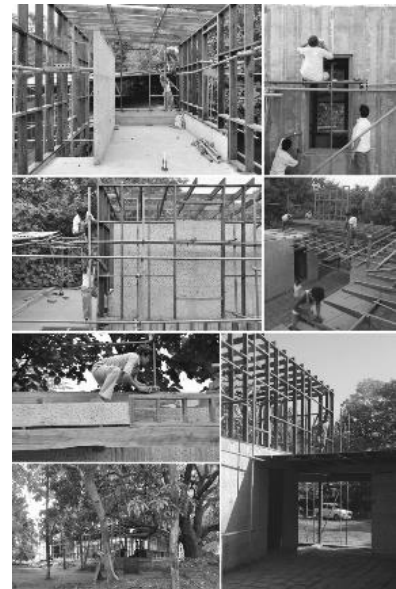


Figure 4: Copper House II



Figure 5: House of Nine Rooms



Figure 6: Palmyra House



Figure 7: Door Frames, Chennai House

Bijoy Jain, was born in 1965 in Mumbai, his studio is based in Mumbai and the work explores the boundaries between art, architecture and materiality. Water, air and light being the basis of all material in the synthesis of the work.

The idea of man in nature – nature in man.

IHF-Prolog II

Fertigbau-Forum

Digitalisierung
«Produktion | BIM und Industrie 4.0»

BIM-Materialdatenstrukturen im Kontext harmonisierter Produktnormen

Christoph Carl Eichler
ODE office for digital engineering
Wien, Österreich



BIM-Materialdatenstrukturen im Kontext harmonisierter Produktnormen

1. Zusammenfassung

Dieses Referat berichtet vom aktuellen Stand der Entwicklung von Materialdatenstrukturen in der digitalisierten Bauplanung.

Im ersten Teil des Dokuments erfolgt eine Zusammenfassung der Grundlagen und Rahmenbedingungen. Dem folgt im zweiten Teil eine Untersuchung der wesentlichen Anforderungen an Materialdatenstrukturen. Im dritten Teil wird ein Umsetzungsvorschlag zur Erfüllung der Anforderungen (aus dem zweiten Teil) auf Grundlage der technologischen Rahmenbedingungen (des ersten Teils) vorgestellt.

Ziel des Referats ist die Vermittlung eines Überblicks über die Mechanismen der Entwicklung von Grundlagen in der Digitalisierung der Bauwirtschaft. Daraus ergibt sich ein Lagebild über die resultierenden strategischen Handlungsspielräume der Marktteilnehmer.

2. Stand der Technik

Es folgt eine Vorstellung über die vorhandenen Technologien und Vorgangsweisen der digitalisierten Bauplanung.

Als Digitalisierung bezeichnen wir ein vernetztes und prozessübergreifendes Arbeiten mit digitalen Werkzeugen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, in unserem Fall eines Bauprojektes. Unter Digitalisierung subsumieren wir die Vielfalt der zur Verfügung stehenden digitalen Werkzeuge und ihre Einsatzformen in Planung, Bau und Betrieb, ebenso wie die daraus resultierenden und damit zusammenhängenden digital gesteuerten oder unterstützten Prozesse, in unserem Fall in Bauwirtschaft und Baubetrieb.

2.1. Schnittstelle

Zum Austausch von Information zwischen digitalen Werkzeugen, bei der Durchführung der zur Projektdurchführung notwendigen Prozesse, werden Schnittstellen benötigt. Seit 1995 wird für den Austausch von modellbasierten Bauwerksinformationen die herstellerunabhängige IFC-Schnittstelle (ausgeschrieben: Industry Foundation Classes) entwickelt. Diese ist als IFC4 seit 04/2013 durch die ISO 16739¹ internationaler Standard.

Sie wurde mittlerweile unter anderem in den USA (NBS), Grossbritannien (PAS1192) sowie Österreich (ÖN A6241-2) als normative Vorgabe festgelegt. Der kommende europäische BIM-Standard (CEN TC/442) wird ebenfalls auf IFC basieren.

Der Anwendungsbereich der IFC-Spezifikation fokussiert auf dem Austausch von Bauwerksinformationen innerhalb eines Projektteams und deren BIM-Applikationen zur Planung, Kalkulation, Errichtung, Abrechnung, Wartung und den Betrieb von Bauwerken.

Die IFC-Schnittstelle wird durch die internationale nichtstaatliche non-profit-Organisation buildingSMART² entwickelt, diese wird in Österreich durch den buildingSMART Austrian Chapter³ vertreten.

Die Implementierung der IFC-Spezifikation in die jeweiligen digitalen Werkzeuge obliegt dem jeweiligen Softwarehersteller. buildingSMART bietet den Softwareherstellern eine dazugehörige Zertifizierung⁴ zur Prüfung der IFC-Implementierung in digitalen Werkzeugen.

¹ <https://www.iso.org/standard/51622.html>

² <https://www.buildingsmart.org>

³ <https://www.buildingsmart.co.at>

⁴ <https://www.buildingsmart-tech.org/certification>

Ein zertifiziertes digitales Werkzeug⁵ gewährleistet den Nutzern bestmögliche Zusammenarbeit.

2.2. Datenstruktur

Die IFC-Spezifikation beinhaltet eine komplexe Datenstruktur welche es ermöglicht Bauwerke über ihren gesamten Lebenszyklus abzubilden. Diese Datenstruktur wird in Folge mit ihren wesentlichen Grundprinzipien vorgestellt.

Der Aufbau der IFC-Datenstruktur basiert auf einem Vererbungsbaum. Dabei bildet die Wurzel der IFC-Datenstruktur die Klasse IfcRoot⁶. Hier werden die grundlegenden Attribuerungen für alle Klassen (entities), bis auf die Bestandteile des Resource Layer, definiert. So bspw. die Funktionalitäten des GUID, die Informationen zur Autorenschaft.

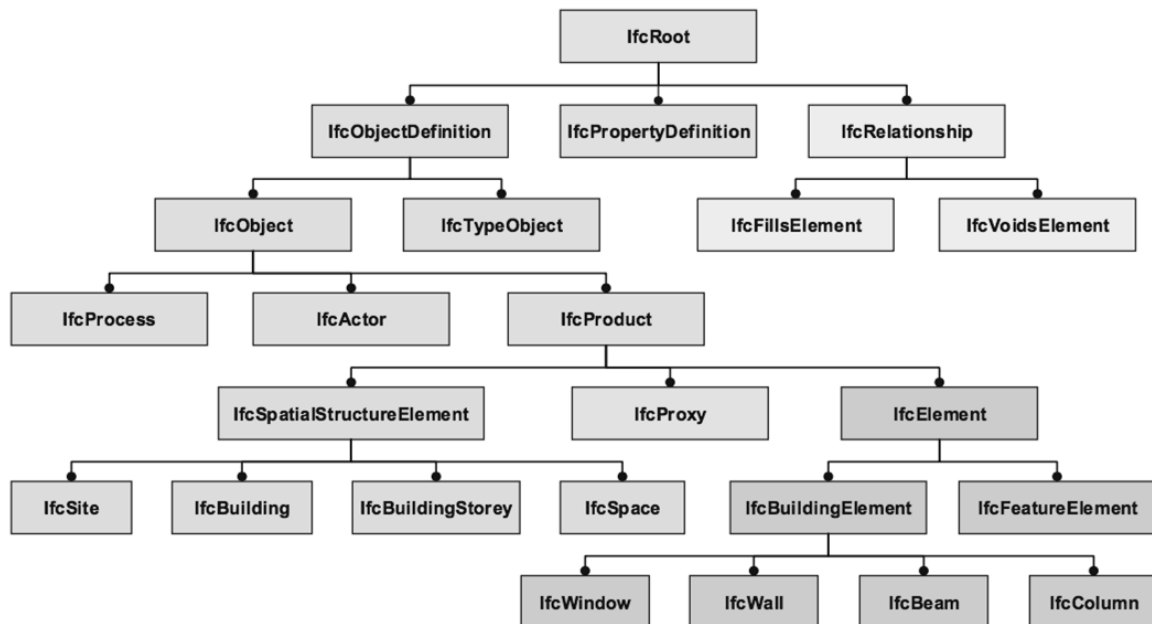


Abbildung 1: Ausschnitt aus der IFC-Datenstruktur mit den wichtigsten Entitys der obersten Ebenen der Vererbungshierarchie

Zur Definition von Inhalten stehen in der IFC-Datenstruktur folgende Gliederungs- bzw. Definitionsmöglichkeiten zur Verfügung:

- Domänen (engl. Domains) - bilden eine Gruppe von Klassen, bspw. für die Gebäudetechnik.
- Klassen (engl. Entities) entspricht einer Kategorie von physischen Elementen, bspw. eine Wand.
- Typen (engl. Types) entspricht einer Ausprägung innerhalb einer Kategorie, bspw. eine Vorsatzsschale.
- Merkmale (engl. Propertys) tragen Vorgaben zu Ausstattung, Qualität oder Ausprägung einer Klasse.

Die IFC-Datenstruktur unterscheidet darüber hinaus zwischen der **Verortungsstruktur** (IfcSpatialStructureElement⁷), der **Funktionalen Struktur** (IfcElement⁸) sowie der **Materialstruktur** (IfcMaterial⁹).

⁵ <https://technical.buildingsmart.org/certification/certification-participants/>

⁶ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcroot.htm

⁷ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcspatialstructureelement.htm

⁸ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcelement.htm

⁹ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcmaterial.htm

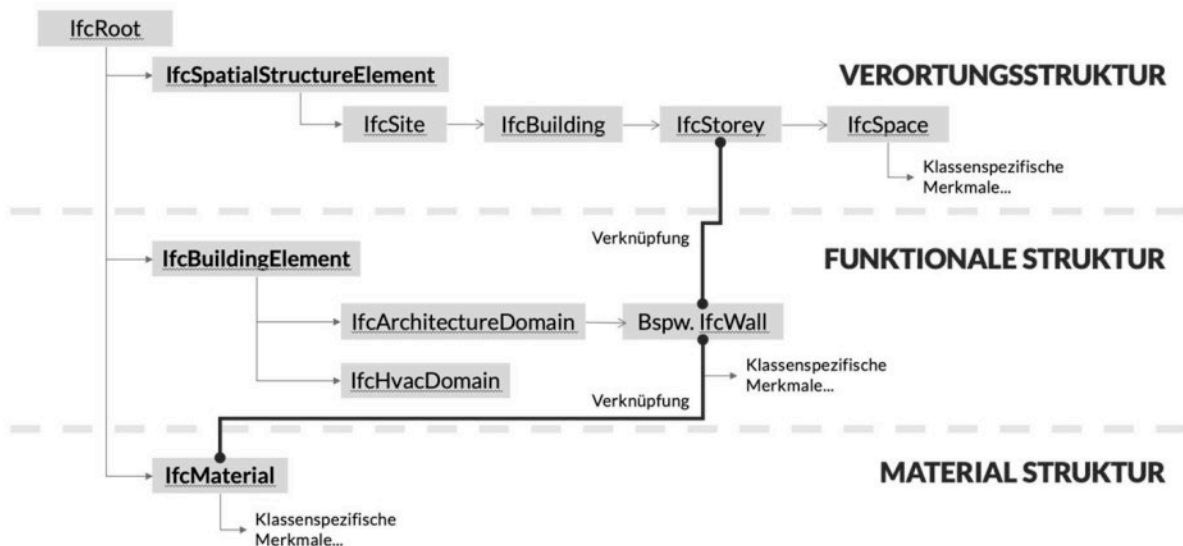


Abbildung 2: Aufbau der IFC Datenstruktur

Eine Elementinstanz der **Funktionalen Struktur**, bspw. eine Wand, wird mittels Beziehungen in der **Verortungsstruktur** positioniert, beispielsweise im 3. Obergeschoss eines Gebäudes. Üblicherweise werden Elementinstanzen immer auf dem Geschoss verortet, von dem ihre Errichtung ausgeht.

Die **Materialstruktur** wird ebenfalls über Beziehungen in die **Funktionale Struktur** eingebunden. Das Zusammenspiel zwischen Funktionaler Struktur und Materialstruktur wird ebenfalls mittels Beziehungen aufgebaut.

Die **Verortungsstruktur** (*IfcSpatialStructureElement*¹⁰) trägt alle Informationen bzgl. der räumlich-organisatorischen Gliederung eines Projektes. Für den Hochbau sind diese Strukturen bereits seit längeren fixiert und in folgende Hierarchie gegliedert:

Bauplatz (*IfcSite*¹¹) – Gebäude (*IfcBuilding*¹²) – Geschoss (*IfcBuildingStorey*¹³) – Raum (*IfcSpace*¹⁴)

¹⁰ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcspatialstructureelement.htm

¹¹ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcsite.htm

¹² https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcbuilding.htm

¹³ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcbuildingstorey.htm

¹⁴ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcspace.htm

Die **Funktionale Struktur** (IfcElement¹⁵) trägt die jeweiligen Instanzen der physischen Elemente (Bauelemente) eines Bauwerks. Die Elementinstanzen eines Projektes sind in keine Hierarchie gegliedert, alle Elemente sind zueinander gleichwertig.

Die primären Subklassen der funktionalen Struktur gliedern sich wie folgt:

- IfcBuildingElement¹⁶ - beinhaltet alle Klassen die Teil der physischen Gebäudekonstruktion darstellen
- IfcCivilElement¹⁷ - eine generelle Zusammenfassung aller Klassen die Teil des Tiefbaus darstellen
- IfcDistributionElements¹⁸ - beinhaltet alle Klassen die Teil der technischen Gebäudeausrüstung darstellen, diese ist untergliedert in:
 - IfcDistributionControlElement¹⁹ - Elemente der Gebäudeautomation
 - IfcDistributionFlowElement²⁰ - TGA-Komponenten
- IfcFurnitureElement²¹ - beinhaltet alle Klassen die Teil der Gebäudeausstattung darstellen
- IfcGeographicElement²² - beinhaltet alle Klassen die Teil der Freiraumausstattung darstellen
- IfcTransportationElement²³ - beinhaltet alle Klassen der Beförderungstechnik
- IfcVirtualElement²⁴ - beinhaltet alle Klassen für virtuelle Elemente

Materialien werden mithilfe der Beziehungsklasse IfcRelAssociatesMaterial²⁵ mit einem Bauelement (einer beliebigen Subklasse von IfcElement) verknüpft.

Verbundmaterialien werden mithilfe der Beziehungsklasse IfcMaterialRelationship modelliert, die es erlaubt, eine Aggregations-Beziehung abzubilden. Das Attribut RelatedMaterials verweist dabei auf die Einzelbestandteile, während das Attribut RelatingMaterial auf das Verbundmaterial verweist.²⁶

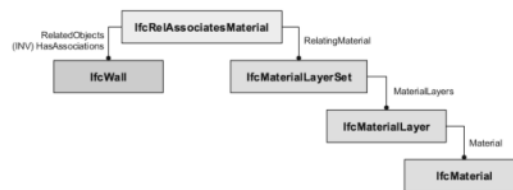


Abbildung 3: Beispiel der Verknüpfung eines Bauteils mit seinen Materialien mithilfe der Beziehungsklasse IfcRelAssociatesMaterial anhand einer mehrschichtigen Wand

Für Materialien sind in der aktuellen IFC4.1-Spezifikation bereits zahlreiche Attribuierungen vordefiniert. Allerdings ist festzuhalten dass diese zum einen bisher (Stand 11/2019) in keiner BIM-Applikation vollständig implementiert wurden und zum anderen keinen praxisnahen Bezug aufweisen. Darüber hinaus beinhalten diese vorhandenen IFC-Materialdatenstrukturen keinen Materialkatalog, also keine abgestimmte Gliederung und einheitliche Vorgabe von Materialien. Dadurch existiert bislang auch kein übergeordneter Materialdatenstamm, auf den sich digitale Werkzeuge einheitlich beziehen können.

2.3. Arbeitsprozess

Die Durchführung einer digitalen Bauplanung wurde erstmals in der ÖN A6241-2 – Anhang C ausführlich beschrieben. Im Folgendem befindet sich eine Darstellung des im Anhang C vordefinierten Ablaufs unter Anpassung der Begrifflichkeiten und Rollenbilder nach den

¹⁵ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcelement.htm

¹⁶ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcbuildingelement.htm

¹⁷ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifccivilelement.htm

¹⁸ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcdistributionelement.htm

¹⁹ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcdistributioncontrolement.htm

²⁰ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcdistributionflowelement.htm

²¹ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcfurnishingelement.htm

²² https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcgeographicelement.htm

²³ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifctransportelement.htm

²⁴ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcvirtualelement.htm

²⁵ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/link/ifcrelassociatesmaterial.htm

²⁶ Zitat aus: Industry Foundation Classes – Ein herstellerunabhängiges Datenmodell für den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks/André Borrmann, Jakob Beetz, Christian Koch und Thomas Liebich

Angaben der PF 4.0 Schrift 8²⁷. Darüber hinaus sind in dieser Ablaufbeschreibung Erfahrungen aus der praktischen Arbeit mit BIM-Projekten eingeflossen, welche die Vorgaben des Anhang C teilweise ergänzen und präzisieren.

Die Gliederung erfolgt auf Grundlage der Projektphasen und beschreibt die Vorgangsweise in chronologischen Schritten.

Projektinitiierung

Zu Beginn des Projektes müssen durch die BIM-Projektleitung (BPL) die wesentlichen Ziele des Auftraggebers identifiziert und definiert werden. Diese werden nach ihrer Priorität eingestuft und den Möglichkeiten des Planerteams gegenübergestellt. Daraus lässt sich in Folge eine Projektstrategie für das weitere Vorgehen entwickeln. Diese Schritte werden gemeinsam mit der BIM-Projektleitung (BPL) und den FM- und BIM-Experten der BIM-Projektsteuerung (BPS) durchgeführt. Dadurch können die Bedürfnisse des Auftraggebers im späteren Gebäudebetrieb professionell identifiziert und frühzeitig in allen Vorgaben an das Planerteam berücksichtigt werden. Ziel ist der Aufbau einer vollständigen sowie stabilen Datenkette zwischen Planung, Errichtung und Betrieb.

Im ersten Schritt erarbeitet die BIM-Projektsteuerung (BPS) mit dem BIM Abwicklungsplan (BAP) einen Lösungsvorschlag zur Umsetzung der Projektstrategie unter Berücksichtigung der Vorgaben aus dem AIA inklusive der Bedarfsplanung (Anforderungsmodell). Diese werden der BIM-Projektleitung vorgestellt und durch ihn freigegeben.

Die Kommunikation zwischen allen Projektbeteiligten wird jederzeit zentral über die Kollaborationsplattform geführt. Dabei werden modellbezogene und modellunabhängige Informationen ausgetauscht.

Modellbezogene Informationen können zum einen aus bereitgestellten Fachmodellen oder dem Kollaborationsmodell, bzw. den zwischen diesen Modellen ausgetauschten Kommentaren/Anmerkungen bestehen. Die nachvollziehbare Ablage dieser Informationen liefert erhebliche Erkenntnisse über den aktuellen Projektstatus und über den vollständigen Projektverlauf.

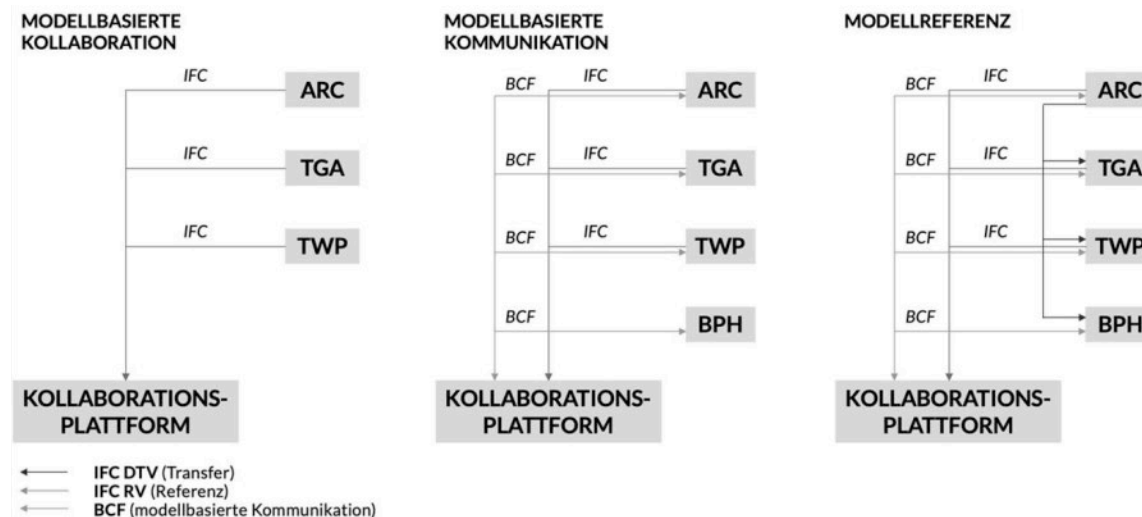


Abbildung 4: Zusammenspiel zwischen Fachmodellen und Kollaborationsplattform

Der Aufbau einer Kollaborationsstruktur obliegt der BIM-Projektsteuerung (BPS). Während der Phase der Projektinitiierung werden die zur Entscheidung nötigen Informationen zusammengetragen und eine Produktempfehlung ausgesprochen.

Für die Zusammenarbeit des Planerteams empfiehlt sich der Einsatz einer Kollaborationsplattform zum kombinierten Austausch von Fachmodellen (IFC-Dateien) sowie der modellbasierten Kommunikation (BCF-Kommentaren).

²⁷ <https://platform4zero.at/schrift-08-begriffe-zu-bim-und-digitalisierung/>

Eine entsprechende Produktempfehlung an den Auftraggeber erfolgt im zweiten Schritt der Projektinitiierung mit dem BIM Abwicklungsplan (BAP).

Planung

Die Durchführung des Projektes basiert auf Grundlage der ÖN A6241-2. Dies umfasst die Organisation des Projektmodells – also dem interdisziplinären Zusammenspiel der Planungsbeteiligten – auf openBIM.

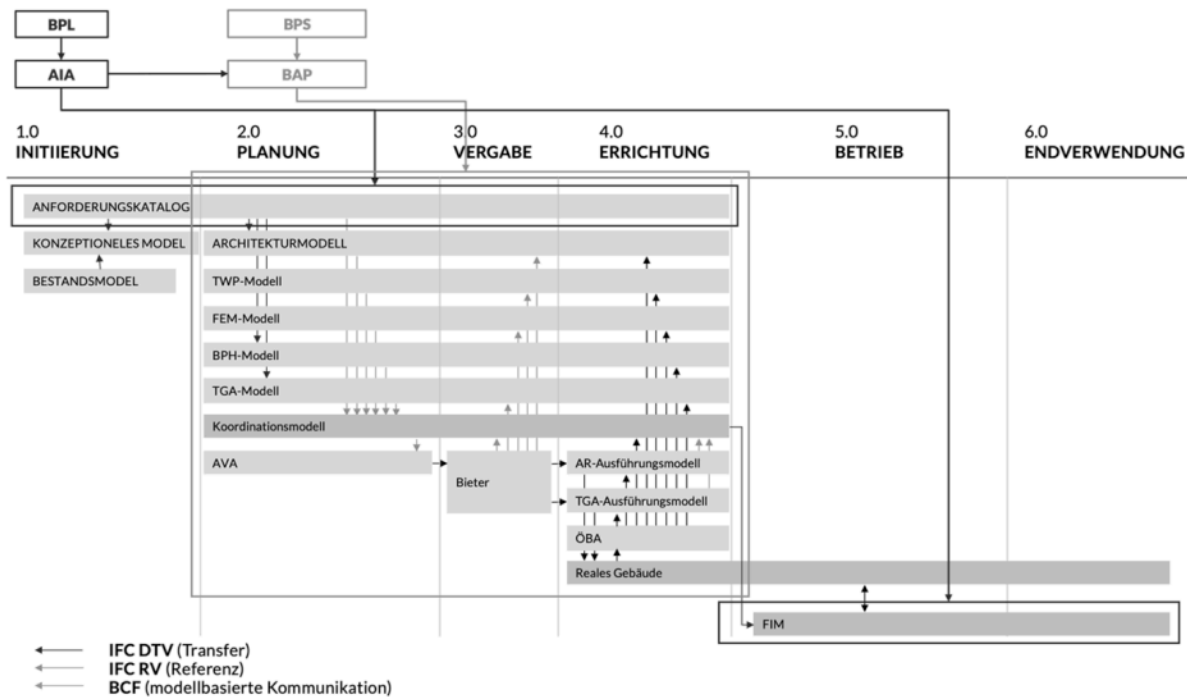


Abbildung 5: openBIM Projektmodell

Jede Disziplin arbeitet in ihrem eigenen Fachmodell. Alle Fachmodelle fließen zu festgelegten Zeitpunkten in ein Koordinationsmodell ein. Die Abstimmung zwischen den verschiedenen Disziplinen erfolgt:

- Auf Grundlage der herstellerunabhängigen IFC-Schnittstelle (Spezifikation IFC 2x3 bzw. IFC4)
- In verschiedenen im BIM-Abwicklungsplan (BAP) vordefinierten Übergabekonfigurationen (Vorgabe Zusammensetzung der jeweils übermittelten IFC-Dateien(Filtereinstellung) und IFC-Exportkonfiguration)
- Punktuell nach Vorgabe des, im BIM-Abwicklungsplan (BAP) vordefinierten, Datenlieferplans der Meilensteine (Große Abstimmung unter Einbeziehung der BIM-Gesamtkoordination (BGK))
- Punktuell nach Vorgabe des, im BIM-Abwicklungsplan (BAP) vordefinierten, Koordinierungszeitplans (Generelle Abstimmung unter Einbeziehung der BIM-Gesamtkoordination (BGK))
- Punktuell situativ zur Abstimmung einzelner hervorgehobener Arbeitsschritte (direkt zwischen den Beteiligten)

Alle Informationen werden immer über die im BIM-Abwicklungsplan (BAP) festgelegte Kollaborationsplattform ausgetauscht. Einen Sonderfall stellen BPH- und Brandschutzplanung dar, diese erstellen keine eigenen Fachmodelle, sondern werden üblicherweise über rein alphanumerische Modelle bidirektional an das Fachmodell der Architektur angebunden.

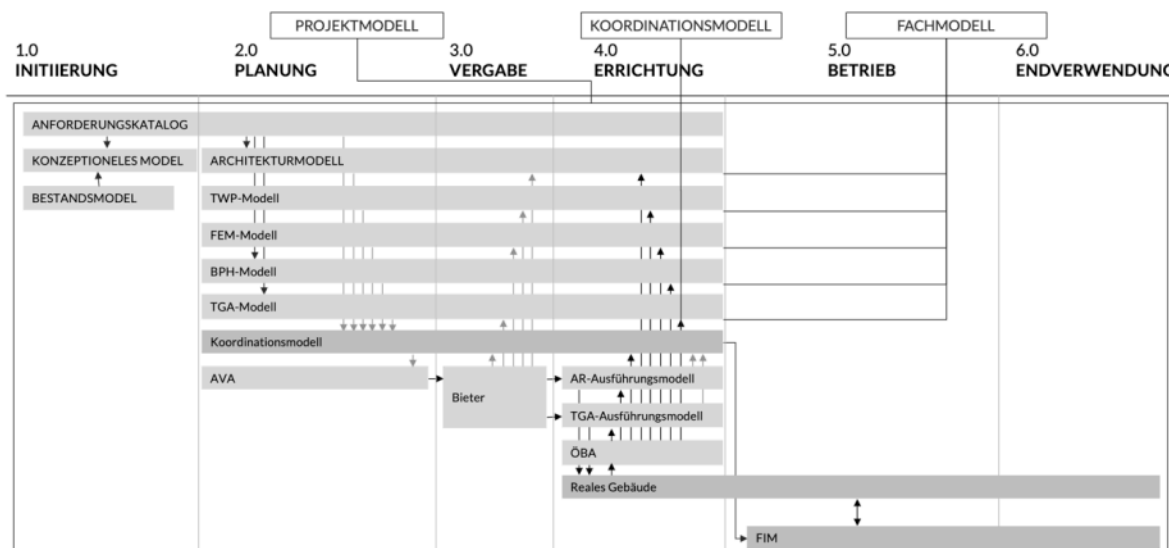


Abbildung 6: Darstellung der Modelltypen

Die Projektdurchführung auf Grundlage der ÖN A6241-2, bzw. auf Grundlage der Systematik von openBIM, definiert sich die Verantwortlichkeiten im Planerteam wie folgt:

- Jede Disziplin arbeitet in ihrem jeweiligen Fachmodell und ist für dessen Inhalt verantwortlich
- Änderungen an den Fachmodellen können nur durch die jeweils verantwortliche Disziplin durchgeführt werden.
- Änderungswünsche einer anderen Disziplin an einem Fachmodell müssen mittels BCF-Kommentaren über die Kommunikationsplattform gestellt werden.
- Jede Disziplin trägt die Verantwortung für die disziplinspezifische Fachkoordination/Qualitätssicherung.
- Jedes, an die Projektbeteiligten auf der Kollaborationsplattform publizierte, Fachmodell trägt ausschließlich die Informationen aus dem Verantwortungsbereich der jew. Disziplin.

Die modellbasierte Zusammenarbeit der verschiedenen Disziplinen erfolgt auf Grundlage der, durch die Beteiligten über die Kollaborationsplattform bereitgestellten, Fachmodelle bzw. BCF-Kommentare.

Dabei gelten die im vorherigen Kapitel definierten Verantwortlichkeiten. Zur gegenseitigen Abstimmung/Führung werden dabei gegenseitig Fachmodelle in die nativen Arbeitsmodelle referenziert.

Hierzu werden im BIM-Abwicklungsplan (BAP) angepasste Übertragungskonfigurationen definiert, welche die Zusammensetzung der jeweils übermittelten IFC-Dateien (Filtereinstellung) und die IFC-Exportkonfiguration beinhalten.

Die übergeordnete Koordination sämtlicher Disziplinen erfolgt durch die BIM Gesamtkoordination (BGK) des Objektplaners und im Rahmen der ÖN A6241-2. Ihre Aufgabe besteht in der Überwachung der ordnungsgemäßen Durchführung der jeweiligen Fachkoordinationen und in der qualitativen Abstimmung sämtliche Disziplinen zueinander.

Die Abstimmung zwischen den verschiedenen Disziplinen erfolgt:

- Auf Grundlage der herstellerunabhängigen IFC-Schnittstelle (Spezifikation IFC 2x3 bzw. IFC4)
- Punktuell nach Vorgabe des Datenlieferplans der Meilensteine (Große Abstimmung unter Einbeziehung der BIM-Gesamtkoordination)
- Punktuell nach Vorgabe des Koordinierungszeitplans (Generelle Abstimmung unter Einbeziehung der BIM-Gesamtkoordination)

Sämtliche, durch die einzelnen Disziplinen bereitgestellten Modelldaten, müssen vor einer Bereitstellung an das Planerteam durch die Gesamtkoordination freigegeben werden. Dabei werden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Änderungsverfolgung zu vorherigen bereitgestellten/freigegebenen Modelldaten
- Modellformalitäten (Einhaltung grundlegender Spezifikationen)
- Modellqualitäten (Kollisionsprüfung)
- Modellintegritäten (Einhaltung techn./projektspezifischer Richtlinien)

Die Prüfung erfolgt automatisiert auf Grundlage von Prüfregeln in einer Prüfsoftware und gewährleistet eine vollständige und objektive Beurteilung der Modelldaten. Ergebnisse werden in Berichten dokumentiert und publiziert. Deren Zusammensetzung wird im BIM-Abwicklungsplan (BAP) definiert.

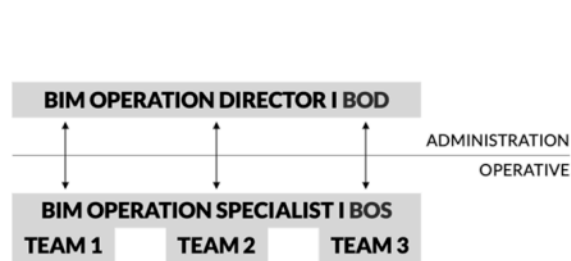
Eine entsprechende Spezifizierung für die zu verwendende Prüfsoftware erfolgt im zweiten Schritt der Projektinitiierung mit dem BIM-Abwicklungsplan (BAP).

Zur Herstellung der erforderlichen Modell- bzw. Planungsqualität wird langfristig, im Rahmen der im BIM-Abwicklungsplan (BAP) definierten Meilensteine bzw. Projektphasen, eine Qualitätssicherungsstrategie festgelegt. Die Intensität bzw. der Prüfumfang ist in Abhängigkeit zum Projektverlauf sowie dem ansteigenden Ausarbeitungsgrad (Level of Development) der Modelldaten festgelegt.

Digitale Modelle tragen hochkomplexe Informationen. Die Verlässlichkeit dieser Modelldaten ist wesentlich für die digitalisierte Bauplanung. Daher spielt die laufende Qualitätssicherung eine entscheidende Rolle. Diese wird projektbegleitend wie folgt organisiert.

BIM IM UNTERNEHMEN

Unternehmensstrukturen



BIM IM PROJEKT

Projektstrukturen

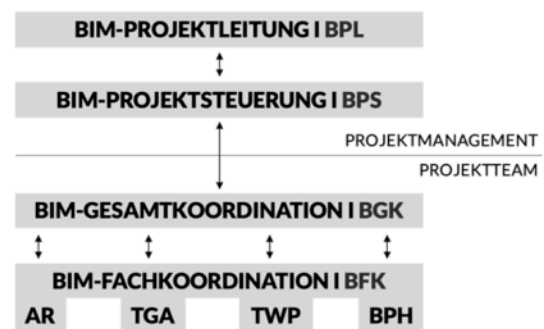


Abbildung 7: Rollenbilder der digitalisierten Bauplanung

Die Fachmodelle aller Planungsbeteiligten werden an die BIM-Gesamtkoordination (BFK) übersendet. Sie fließen in das sogenannte Koordinationsmodell. Auf dieser Grundlage wird zu abgestimmten und festgelegten Zeitpunkten von der BIM-Gesamtkoordination (BGK) in einer Prüfsoftware eine Prüfung auf folgende Aspekte durchgeführt:

- Änderungsverfolgung zur vorherigen Version/Revision
- Alphanumerischer Inhalt lt. Lebensphase ÖN A6241-2 bzw. projektspezifischer Vorgaben lt. BAP
- Modellformalitäten (Einhaltung grundlegender Spezifikationen)
- Modellqualitäten (Kollisionsprüfung)
- Modellintegritäten (Einhaltung techn./projektspezifischer Richtlinien).

Die Prüfung der Fachmodelle obliegt der BIM-Fachkoordination (BFK) der jeweiligen Fachdisziplin.

Die Prüfung des Koordinationsmodells obliegt der BIM-Gesamtkoordination (BGK).

Grundlage und Zeitpunkte sind folgend definiert:

- Bereitstellung auf Grundlage der herstellerunabhängigen IFC-Schnittstelle (Spezifikation IFC 2x3 bzw. IFC4)
- Zeitpunkte, Lieferumfang, Zusammensetzung punktuell nach Vorgabe des Koordinierungszeitplans
- Zeitpunkte, Lieferumfang, Zusammensetzung punktuell nach Vorgabe des Datenlieferplans

Die Prüfung erfolgt durch die, vorab durch die BIM-Projektsteuerung (BPS) spezifizierten und durch die BIM-Gesamtkoordination (BFK) konzipierten, Prüfregeln. Die daraus resultierenden Ergebnisse werden vollständig dokumentiert. Dies stellt eine vollständige und objektive Bewertung der vorliegenden Modelldaten dar. Die Übergabe der Prüfergebnisse erfolgt unmittelbar im BCF-Format über die Kollaborationsplattform. Damit ist der aktuelle Qualitäts-Status des Projektes für alle Projektbeteiligten ersichtlich und etwaige Abstimmungspunkte sind im Modell schnell und vollständig lokalisier- und nachvollziehbar.

Vergabe

Die AVVA ist an das Koordinationsmodell gebunden. So wird gewährleistet, dass keine Differenzen zwischen Status Koordinationsmodell und für die Kostenberechnung verwendeter

Modelldaten aufkommen und nur verifizierte Stände verwendet werden. Die Übergabe der Modelldaten zur Erstellung der Kostenberechnung erfolgt durch das Koordinationsmodell, zu abgestimmten und festgelegten Zeitpunkten – gemäß Datenlieferungsplan im BIM-Abwicklungsplan (BAP).

Die Datengrundlage bilden die aus der Geometrie der Fachmodelle analysierten Massen und Mengen sowie Klassifikationskennungen und Attribuierungen. Diese werden den konsistenten sowie verifizierten Fachmodellen aus dem Koordinationsmodell entnommen.

Der Mechanismus zur Zuordnung identifizierbarer Massen und Mengen aus dem jeweiligen Fachmodell an eine Leistungsposition eines Leistungsverzeichnisses wird in folgenden Schritten durchgeführt:

- Aufnahme des verifizierten Fachmodells in der AVVA-Software
- Identifikation der Modellinhalte mittels Klassifikationskennungen und Attribuierungen
- Zuordnung der identifizierten Modellinhalte in Gruppen mittels dynamischer Filter
- Analyse entsprechender Massen und Mengen einer Gruppe
- Zuweisung der Analyseergebnisse der Gruppe an eine Leistungsposition

Ausführung

Die im Zuge der Werk- und Montageplanung von den Ausführenden bereitgestellten Details (Umsetzungsvorschläge) werden zur Plausibilitätskontrolle vom Planerteam in die jeweiligen Fachmodelle eingearbeitet, hinsichtlich Machbarkeit, Sinnhaftigkeit und Auswirkung auf die Kosten geprüft und in Abstimmung mit dem AG freigegeben.

Die geometrische Anpassung der Fachmodelle durch das Planerteam ist nur bei Überschreiten vordefinierter Schwellenwerte (Position/Dimension) erforderlich. Diese werden im BIM Abwicklungsplan (BAP) definiert.

Die Übermittlung der Produktinformationen muss durch die Ausführenden mittels einer, durch die BIM-Projektsteuerung (BPS) bereitgestellten, Schnittstelle in die Fachmodelle der Architektur und Gebäudetechnik erfolgen.

Bei Vorhandensein mehrerer ausführenden Firmen ist eine zentrale koordinative Zuständigkeit seitens der Ausführenden zu bestimmen, die als eindeutiger Koordinator zu den Planenden dient.

Das Resultat ein produktspezifisches Modell zu Beginn der Errichtungsphase und damit eine ideale Grundlage für die Anbindung von AKS-Strukturen des FM.

Die damit verbundenen Mehraufwände für das Planerteam sind durch die Übergabe des AsBuilt-Modellstandes zu entlohnen.

Der Rückfluss von Informationen von der Baustelle in die Planung erfolgt über die ÖBA zu, im Vorhinein festgelegten, sinnvollen Zeitpunkten in Abstimmung mit der Bauzeitplanung. Ziel sind konsistente, dem gebauten Zustand entsprechende Modelldaten (asBuilt Modell) als qualifizierte Grundlage für den Gebäudebetrieb. Zu diesem Zweck werden mögliche aufkommende Abweichungen des gebauten Zustandes zum Planungsstand per Laser-Scan aufgenommen, und an die Planenden zur Implementierung in die Fachmodelle übermittelt. Die Aufnahme des gebauten Standes erfolgt in mehreren Phasen in Abstimmung zum Baufortschritt. Dadurch wird zum einen die Aufnahme aller wesentlichen, im späteren Verlauf eventuell verbauten oder verdeckten, Elemente ermöglicht.

Das resultierende Koordinationsmodell entspricht somit dem gebauten Ist-Zustand, und bildet die Grundlage des Facility Managements im Betrieb. Die dabei verwendeten Detaillierungsgrade bzw. Modellkomplexitäten werden frühzeitig im BAP definiert.

Die damit verbundenen Mehraufwände für das Planerteam sind durch die Übergabe des AsBuilt-Modellstandes zu entlohnen.

Inbetriebnahme

Der Gebäudebetrieb ist, insbesondere bei komplexen Gebäuden, mit einem hohen Anteil an gebäudetechnischer Ausstattung, die kostenintensivste Phase. Der strukturierte Zugriff auf alle Detailinformationen sämtlicher verbauten Anlagen, Geräte und Einzelteile ermöglicht den Gesamtüberblick über zu erwartende Kosten und nötige Aktionen. Dies ist die Grundlage eines effizienten und nachhaltigen Gebäudebetriebs.

Aus diesem Grund setzt sich die BIM- Projektsteuerung (BPS) aus BIM- und FIM-Experten zusammen. Diese arbeiten gemeinsam von Beginn am Projekt um frühzeitig die Anforderungen aus dem Gebäudebetrieb zu berücksichtigen.

Die Grundlagen für ein erfolgreiches FIM (Facility Information Management) werden schon zur Projektinitiierung hergestellt. Dazu sind in dieser frühen Phase neben BIM-Experten auch FIM-Experten Bestandteil der BIM- Projektsteuerung. Sie sind in der Lage die Anforderungen des Auftraggebers für den späteren Gebäudebetrieb genau zu analysieren und Lösungen zu entwickeln.

Diese Lösungen fließen über die Vorgaben der BIM-Regelwerke (AIA, BAP) in die konkreten Projektstrukturen der Planungsmodelle ein und werden dort sukzessive mit zunehmendem Projektverlauf verdichtet. Die begleitende Kontrolle der BIM- Projektsteuerung (BPS) sorgt dabei regelmäßig für eine Verifizierung der Angaben bzw. prüft die korrekte Durchführung der damit im Zusammenhang stehenden Abläufe zur Zusammenstellung der benötigten Informationen (Prüfung auf Einhaltung Eingabe FM-spezifischen Angaben wie Produktinformationen, Prüfzertifikate, Wartungshinweise, Protokolle zu Einbau/Wartung/Inbetriebnahme).

Dies ermöglicht frühzeitig die Simulation des Gebäudebetriebs auf Grundlage der eingebrachten Daten und den Aufbau von FM-Strukturen. Damit kann die Phase der Inbetriebnahme sorgfältig vorbereitet werden.

Ein weiterer wesentlicher Fokus liegt auf der Kontrolle der Rückkopplung vom gebauten Stand zurück zur Planung. Dies wird ebenfalls über die begleitende Kontrolle gewährleistet und ermöglicht nach der Fertigstellung zur Inbetriebnahme die Verwendung einer absolut exakten FIM-Grundlage, welche 1:1 dem gebauten Stand entspricht und welche sämtliche Angaben aller verbauten Produkte enthält. Diese Struktur kann größtenteils automatisiert an normnahe FM-Strukturen²⁸ geknüpft werden und steht damit für alle gängigen FM-Softwarelösungen bereit.

2.4. digitale Werkzeuge

Wir unterscheiden in verschiedene Kategorien von digitalen Werkzeugen, in die sich die unterschiedlichen BIM-Applikationen gliedern. Die Kategorie beschreibt deren Einsatzbereich und Wirkungsweise.

Alle Produkte verfügen über eine IFC-Schnittstellenimplementierung zu Aufnahme von digitalen Modellen bzw. zum Export von Digitalen Modellen (trifft jedenfalls auf Autorensoftware zu).

Die Qualität der Schnittstellenimplementierung von digitalen Werkzeugen wird durch die hinter IFC stehende weltweite Organisation buildingSMART überwacht. Die entsprechenden Ergebnisse sind auf deren Website²⁹ abrufbar.

Zum Zeitpunkt 03/2018 sind digitale Werkzeuge nur für die IFC 2x3-Schnittstelle zertifiziert. Der Zertifizierungsprozess für die IFC4-Spezifikation ist Mitte 2017 angelaufen, allerdings sind derzeit dazu noch keine Ergebnisse veröffentlicht.

Für produktive Projektumgebungen empfiehlt sich die Vorgabe bzw. der Einsatz von bereits zertifizierten Schnittstellen, da nur so reproduzierbare und qualitative Austauschergebnisse gewährleistet werden können.

Der technische Funktionsumfang der IFC-Schnittstellenimplementierung muss folgende Kriterien erfüllen:

- Unterstützung sämtlicher offizieller IFC MultiViewDefinitions inklusive der dahinterliegenden technischen Funktionalitäten (bspw. Splittung komplexer Elemente in Einzelelemente, BREP-Übertragung, Extruded-Übertragung)
- Kontrolliertes und variabel steuerbares Mapping der Funktionalen Struktur, im Detail: Mapping der internen Datenstruktur auf die funktionale IFC-Datenstruktur mit Zuordnung von internen Inhalten zu IfcEntities, IfcTypes, PSets, Attributierungen

²⁸ bspw. nach DIN/VDMA

²⁹ <https://www.buildingsmart.org/compliance/certified-software/>

- Kontrollierte Zuordnung der internen zur IFC-Verortungsstruktur bzw. Referenzierung der IFC-Verortungsstruktur als Grundlage in die BIM-Applikation, im Detail: Zuordnung der Projektkoordinaten/-ausrichtung, der Bauplatz-, Gebäude- und Raumstruktur bzw. Zuordnung der Trassenführung und Geländeneiveaus.
- Kontrollierte Zuordnung der internen Materialstruktur zur IFC-Materialstrukturen bzw. Referenzierung der IFC-Materialstrukturen als Grundlage in die BIM-Applikation.

Neben dem Austausch von Modelldaten zählt der Austausch von modellbasierten Kommentaren (BCF) auch zu einer wichtigen Funktionalität. Dieser sollten von den vorhandenen Kommunikationswerkzeugen eines digitalen Werkzeugs unterstützt werden, da er in der Abwicklung von openBIM-Projekten ein Schlüsselfunktion darstellt.

3. Anforderungen

Es folgt eine Beschreibung der Anforderungen an die Weiterentwicklung der IFC-Datenstruktur im Hinblick auf die Übertragung von Materialinformationen. Wie bereits unter Punkt 2.2 Eingangs beschrieben ist der derzeitige Entwicklungsstand der Materialdefinition in der IFC-Datenstruktur noch rudimentär, daher ist es sinnvoll die Kriterien einer Weiterentwicklung zu identifizieren, dies erfolgt in nachfolgenden Punkten.

3.1. Strukturell

Mit den harmonisierten EN-Produktnormen steht eine umfassende, normativ abgestimmte und bewährte **Materialgliederung** und Zusammenstellung **relevanter Materialkennwerte** zur Verfügung. Eine Konformität der IFC-Materialdatenstruktur zu diesen Vorgaben ist erforderlich um eine Anwendung unter den Anforderungen der Praxis, insbesondere bei der Nutzung von digitalen Modellen als Bestandteil einer Bestellung oder von Vergabeverfahren.

3.2. Normativ

Auf Seiten der nationalen Standardisierung werden klare Regelungen zu Übertragung von **produktneutralen sowie produktspezifischen** Modellinformationen benötigt. Dies ist im Kontext von vergaberechtlichen Aspekten ein wesentliches Thema. Es werden Vorgaben zum Informationsgehalt der Modelldaten zum Zeitpunkt der Übergabe zwischen Planer, Bieter, Ausführenden usw. benötigt.

4. Umsetzung

Aufgrund der unter Punkt 3 definierten Anforderungen wurden mehrere Entwicklungsschwerpunkte für die Umsetzung identifiziert für welche nachfolgend Umsetzungsvorschläge erläutert werden.

Materialgliederung

Benötigt wird ein generischer applikationsübergreifend-einheitlicher Materialkatalog mit Konformität zu geltenden EN-Produktnormen. Eine solche Funktionalität mit einheitlicher Implementierung auf Seiten der BIM-Applikationen kann nur gewährleistet werden, wenn ein generischer Materialkatalog als Bestandteil der IFC-Datenstruktur eingerichtet wird. Nur auf diesem Weg ist eine einheitliche Gliederung der Materialien möglich, welche die Grundlage für alle ausgetauschten Materialinformationen darstellt.

Dabei kann mittels der bestehenden Logik der Datenstrukturen analog zu vorhanden Strukturen vorgegangen werden.

- Materialdomäne auf IfcDomainebene - bspw. Holz
- Materialkategorie auf IfcKlassenebene - bspw. Vollholz
- Grundmaterialien auf IfcTypenebene - bspw. Rundholz, Kantholz

Normenkonforme Materialkennwerte

Benötigt wird die Möglichkeit der Übertragung generischer spezifischer Materialkennwerte mittels der IFC-Schnittstelle. Diese Anforderung kann aufbauend auf dem generischen Materialkatalog aus dem vorherigen Punkt hergestellt werden. Dabei ist es notwendig entsprechende gemeinsam bzw. spezifisch genutzte Materialkennwerte zu identifizieren und

den entsprechenden Gliederungsstufen auf der Ebene IfcDomain, IfcKlasse, IfcTyp zuzuordnen. Dies muss unter Berücksichtigung der erforderlichen Attributierung gemäß der harmonisierten EN-Produktnormen erfolgen.

Teilweise werden diesbezüglich Informationen mit alphanumerischen und geometrischen Bezug benötigt, bspw. Informationen zur Faserrichtung. Derartige Fälle benötigen zum einen eine wesentlich intensivere Implementierung in vorhandene Vorgaben der Funktionalen Struktur und sind zum anderen deutlich aufwändiger in BIM-Applikationen implementierbar. Daher ist es denkbar eine tatsächliche Interaktion/Ableitung derartiger Angaben zu funktionalen Modellinhalten in einen späteren Schritt durchzuführen und vorerst nur die Information als solches abzubilden.

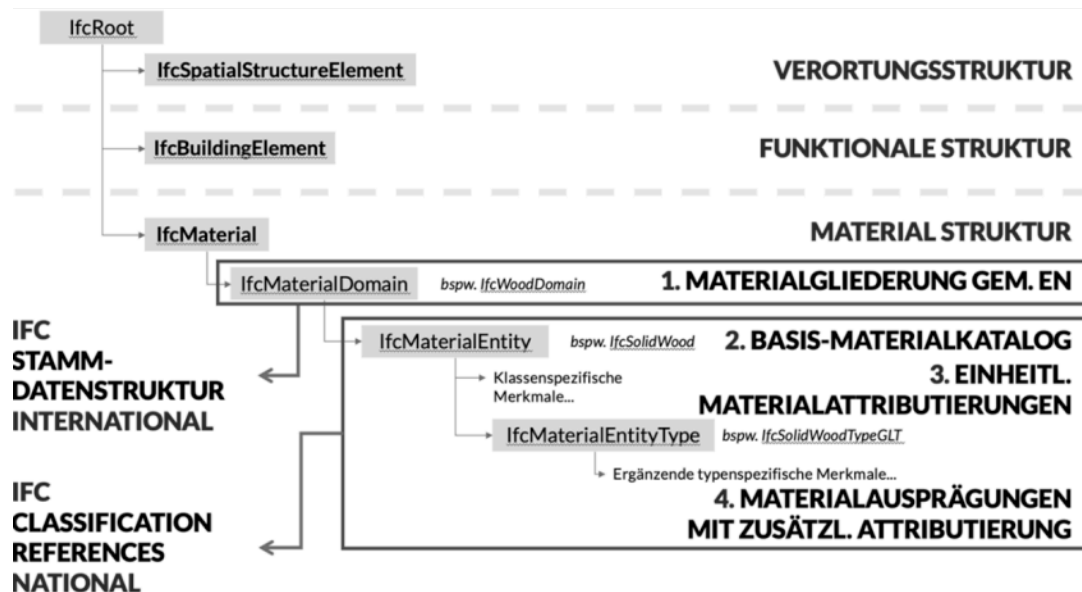


Abbildung 8: IFC-Materialdatenstruktur

Produktneutral/Produktspezifisch

Benötigt wird die Möglichkeit der kontrollierten Übergabe von Materialinformationen, insbesondere der bewussten Zurückhaltung von produktspezifischen Informationen. Zu diesem Zweck wird als Grundlage eine einheitliche, in den beiden vorherigen Punkten beschriebenen, Materialdatenstruktur als Bestandteil der IFC-Spezifikation benötigt.

Darüber hinaus wird in der Autorensoftware die Funktionalität eines sogenannten «Mappings» zwischen internen und externen Materialinformationen benötigt (siehe auch Punkt 2.4). Damit ist die Ausgabe produktneutraler Fachmodelle mittels IFC aus produktspezifischen nativen Modellen möglich. Die Vorgaben einer produktneutralen bzw. einer produktspezifischen Materialdatenstruktur sollten bestenfalls national normativ erfolgen.

5. Erkenntnis

Die IFC-Schnittstelle und damit verbundenen Abläufe sowie die notwendige Unterstützung durch digitale Werkzeuge findet in praktischen Projekten zunehmend Verbreitung. Die verlustfreie Übertragung von applikationsübergreifend-einheitlich interpretierten Materialinformationen ist über den dargestellten Umsetzungsvorschlag technisch realisierbar und am Markt über die vorgestellte Distribution der IFC-Spezifikation an BIM-Applikationen am Markt etablierbar. Über die Mapping-Funktionalität bei der Erzeugung von IFC-Daten kann die produktneutrale/produktspezifische Ausgabe exakt gesteuert werden.

6. Quellen-/Bildverzeichnis

- ÖNorm A 6241-2:2015
- Plattform Planen.bauen.Betreiben 4.0, PF 4.0 Schrift 8
- Abbildung 1,3 aus «Industry Foundation Classes – Ein herstellerunabhängiges Datenmodell für den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks» André Borrmann, Jakob Beetz, Christian Koch und Thomas Liebich
- Abbildungen 2,4,5,6,7,8,9 aus: «Ablaufbeschreibung der digitalisierten Bauplanung» Christoph Carl Eichler

Der BIM-Koordinator

Marc Pancera
BIM F&E / Itten+Brechtbühl
Basel, Schweiz



Der BIM-Koordinator

1. Rollenbild «BIM-Koordinator»

Das Rollenbild für den BIM-Koordinator ist in der Praxis noch nicht geschärft in Anwendung. In der Schweiz wird im SIA-Merkblatt 2051 (SIA 2051, 2017), welches der Verständigung über die Anwendung der BIM-Methode dient, eine Definition für das Rollenbild gegeben:

Der BIM-Koordinator ist in BIM-Projekten mit mehreren beteiligten Disziplinen oder Unternehmen zuständig für den Abgleich der einzelnen Fach- und Teilmodelle. Dazu gehören das Zusammenführen von Modellen in Koordinationsmodellen und die Überprüfung der Modellkonsistenz anhand vorbestimmter Regeln. BIM-Koordinatoren können ergänzend zur Stufe Gesamtleitung (auch BIM-Gesamtkoordinator genannt) auch innerhalb einzelner Disziplinen, wie z.B. in der Gebäudetechnik, eingesetzt werden. BIM-Koordinatoren benötigen neben der Fachkompetenz auch vertiefte Kenntnisse der eingesetzten BIM-fähigen Systeme und sie müssen zumindest die zur Modellkoordination und Modellüberprüfung verwendeten Systeme bedienen können. Die Rolle des BIM-Koordinators sollte in offenen Umgebungen durch einen entsprechend ausgebildeten Spezialisten wahrgenommen werden. In einfacheren Fällen können die Rollen des BIM-Managers und des BIM-Koordinators zusammenfallen.

- *Mitwirkung bei der Bestimmung des Koordinationsbedarfs*
- *Mitwirkung bei der Bestimmung der Koordinationsmethoden*
- *Umsetzung der notwendigen Koordinationsmassnahmen*
- *Erstellung von Koordinationsmodellen aus Teil- und Fachmodellen*
- *Überprüfung und Validierung der Koordinationsmodelle bzw. der Fach- und Teilmodelle (Modellprüfung)*
- *Bestimmung der notwendigen Korrekturen und Änderungen (in Zusammenarbeit mit der Gesamtleitung und wenn möglich mit allen direkt Beteiligten)*
- *Erstellung und Weitergabe von Änderungsanforderungen in Zusammenarbeit mit dem Gesamtleiter (BCF Protokolldateien)*
- *Freigabe von Modellen für die Weiterbearbeitung in Zusammenarbeit mit dem Gesamtleiter*

In BIM-gestützten Projekten verändert sich die Funktion der Gesamtleitung. Über die Gestaltung und Führung des Gesamtprozesses hinaus sind zusätzliche Aufgaben im Bereich des BIM-Managements und der inhaltlichen Modellkoordination (BIM-Koordination und Fachkoordination) sowie der technischen ICT-Koordination wahrzunehmen. Wie weit diese Funktionen organisatorisch und personell zu trennen sind, ist projektbezogen festzulegen.

Die folgende Abbildung zeigt schematisch mögliche Organisationsformen für die teilweise projektübergreifende BIM-Nutzung.

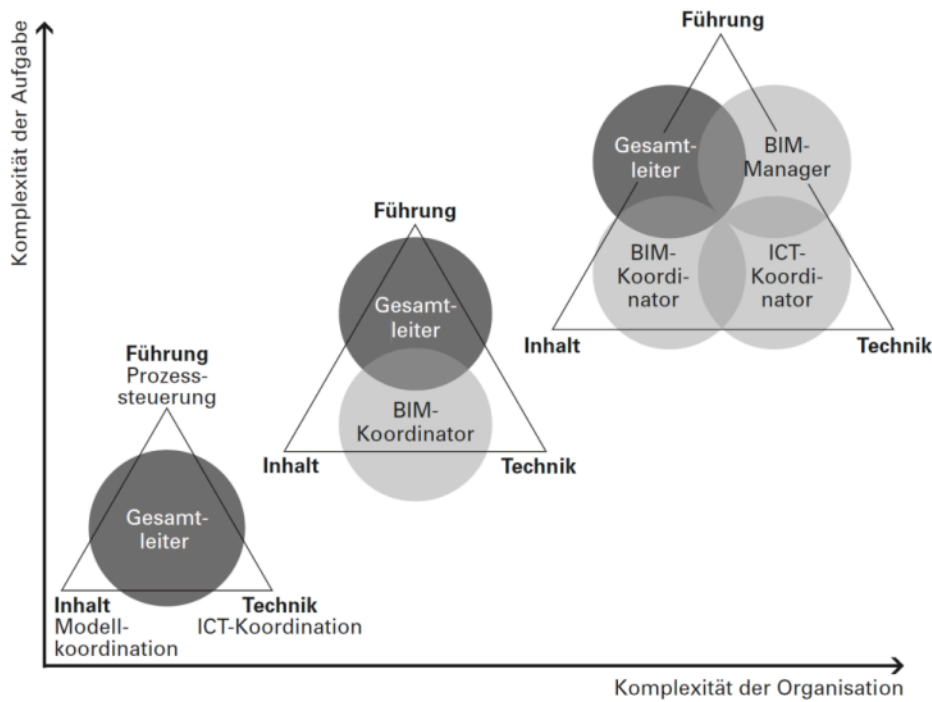


Abbildung 1: Rollenbilder abhängig der Komplexität von Aufgabe und Organisation (SIA 2051, 2017) Figur 9

Bei IttenBrechtbühl verfolgen wir das Ziel unsere bestehenden Mitarbeiter mit den neuen Aufgaben vertraut zu machen. Es geht also darum unsere bestehenden Rollen Gesamtleitung, Leitung Planung und Leitung Realisierung mit den Tätigkeiten der BIM-Methode zu ergänzen. Diese ersetzen in aller Regel bestehenden Tätigkeiten, sind aber auf die Nutzung von digitalen Bauwerksmodelle ausgelegt.

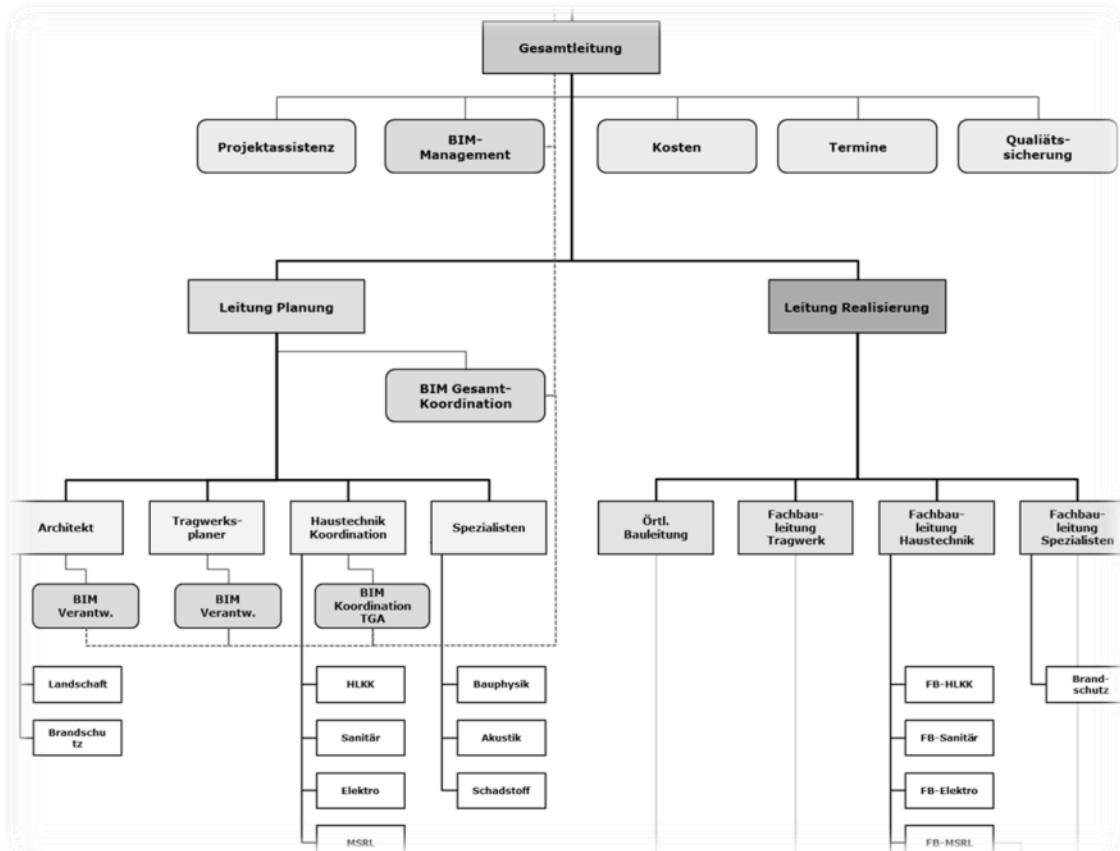


Abbildung 2: Beispiel Projektorganisation mit BIM Rollen (IttenBrechtbühl, 2019)

In der *Ordnung für Leistungen und Honorare des SIA* (SIA 102, 2014; SIA 108, 2014) wird die Fachkoordination der Gebäudetechnik (Art. 3.7) beschrieben:

Die Fachkoordination umfasst die technische und räumliche Koordination der Gebäudetechnik und ist eine den Einzelfachgebieten übergeordnete Tätigkeit, die unter Führung des Gesamtleiters erbracht wird. ...

Mit der Verwendung von digitalen Bauwerksmodellen wird diese räumliche Koordination in zwei Bereiche aufgeteilt. Die BIM-Gesamtkoordination (SIA 2051, 2017) Art. 4.4.4 und die BIM-Koordination TGA. Die Tätigkeiten sind in der Regel für beide Bereiche die gleichen, allerdings sind andere Fach-/ Teilmodelle im Fokus.

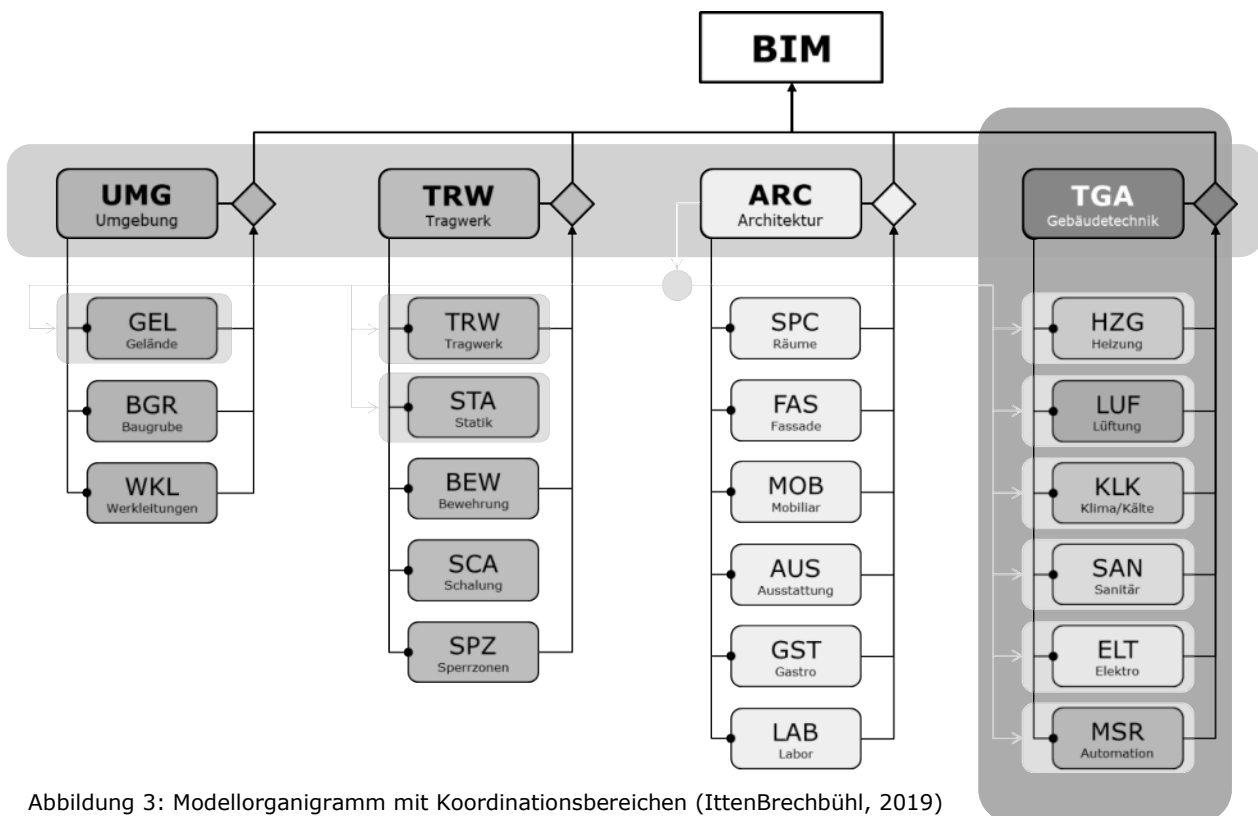


Abbildung 3: Modellorganigramm mit Koordinationsbereichen (IttenBrechtbühl, 2019)

BIM-Gesamtkoordination

Die räumliche Gesamtkoordination und Abgleich der Fachmodelle (Tragwerk, Architektur, TGA,) ist beim Gesamtleiter angesiedelt und als Fachkoordination bzw. als «Gesamt-Fachkoordination» (SIA 108, 2014), Art 9.3 zu verstehen.

BIM-Koordination TGA

Die räumliche Koordination und Abgleich der einzelnen Teilmodelle der TGA-Disziplinen (z.B. Heizung, Lüftung, Klima/Kälte, Sanitär, Elektro,...) ist weiterhin Aufgabe des Leiter Gebäudetechnik und als Fachkoordination (SIA 108, 2014), Art 9.3 zu verstehen.

Diese Leistungen sind bei komplexen Bauvorhaben besonders zu vereinbaren und zusätzlich zu honorieren (SIA 108, 3.7.3). Eine Aufschlüsselung Anteil BIM-Gesamtkoordination und BIM-Koordination TGA ist vertraglich festzuhalten.

2. Werkzeuge

2.1. Modellkoordination (Teil des Modellplan)

Um eine saubere Modellkoordination durchzuführen zu können, müssen die Grundlagen dafür im Projektabwicklungsplan festgehalten werden. Dieser wird in der Regel auf der Ebene der Gesamtleitung durch das BIM-Management erarbeitet. Bei der Erstellung des Projektabwicklungsplan müssen alle Disziplinen miteinbezogen werden um alle Bedürfnisse für die Modellnutzung miteinzubeziehen.

Für die Definition welche Modelle zu erstellen sind und wer dafür verantwortlich ist eignen sich Modellorganigramme (siehe Abbildung 3). Ein konkretes Beispiel mit den entsprechenden Fach-/Teilmodellen ist in der Abbildung 4 zu sehen. Hier wird klar, dass der Inhalt der Modelle stark variiert und für bestimmte Zwecke optimiert ist. Die Kernaufgabe der BIM-Koordination ist nun also der Abgleich diese Modelle:

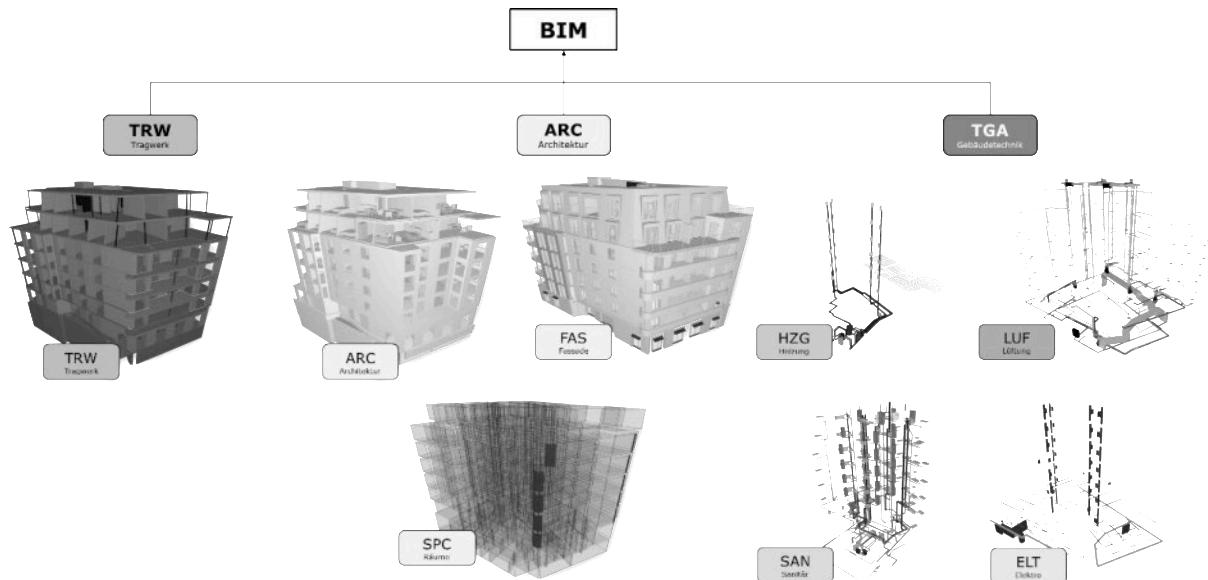


Abbildung 4: Beispiel Fach-/Teilmodelle als Modellorganigramm (IttenBrechtbühl, 2019)

2.2. Koordinationszyklus (Teil des Koordinationsplan)

Für den Abgleich der einzelnen Fach- und Teilmodelle entsteht gewissermassen ein Wechselspiel zwischen den Fachmodellen der Disziplinen (Architektur, Tragwerk, Gebäudetechnik) und den jeweiligen Teildisziplinen (z.B. Heizung, Lüftung, Klima/Kälte, Sanitär, Elektro, ...). Finden Anpassungen am Referenzmodell (Hochbau = Architektur) statt, dann müssen in der Folge die weiteren Fachmodelle ebenfalls angepasst und abgeglichen werden. Der Entscheid für Anpassungen sollte logischerweise im Beisein aller Hauptvertreter der Disziplinen erfolgen, um unnötige Anpassungen an den Modellen zu vermeiden. Wann und wie oft die Abgleiche stattfinden ist im BIM-Koordinationsplan (Teil des Projektentwicklungsplan) festzuhalten.

Um während der Leistungsphase einen geordneten Ablauf sicherzustellen werden zu bestimmten Zeitpunkten alle nötigen Modelle exportiert und den Beteiligten zur Verfügung gestellt, z.B. auf einer Projektplattform. Die jeweiligen Disziplinen sind für die Qualität Ihrer exportierten Fach- und Teilmodelle verantwortlich.

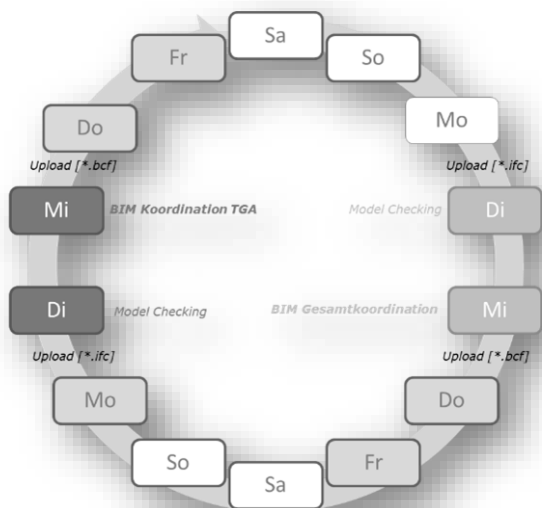
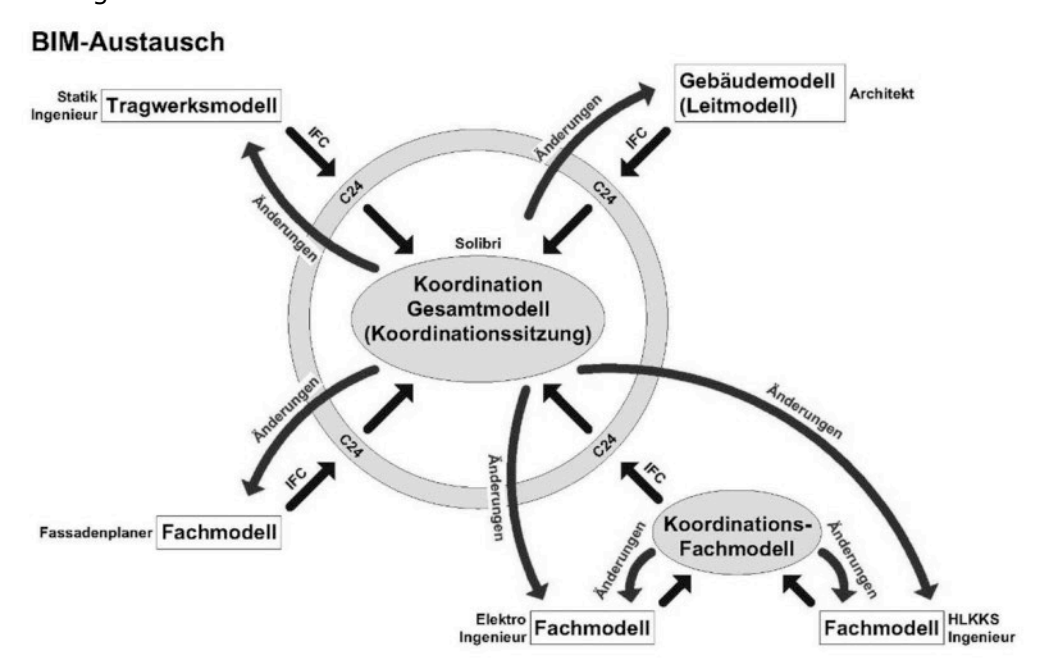


Abbildung 5: Wechselspiel der Modellkoordination (IttenBrechtbühl, 2019)

2.1. Kommunikation

Der BIM-Koordinator führt die Modelle in einer Modelchecking Software (z.B. Solibri) zum Koordinationsmodell zusammen und führt verschiedene Modellprüfung durch. Die **identifizierten** Mängel, Kollisionen oder Inkonsistenzen werden als Pendenzenliste (Issues) im BCF-Format für die Koordinationssitzung zu Händen der Gesamtleitung vorbereitet. Diese entscheidet welche Pendenzen integral diskutiert werden müssen und **traktandiert** sie für die nächste Koordinationssitzung. Issues welche erst in einer späteren Phase behandelt werden können sollten «parkiert» werden und Issues mit marginalen Abhängigkeiten (i.d.R. kleine Modellierungsfehler, bzw. keine Abhängigkeit zu andern Disziplinen) sollten direkt kommuniziert werden. Zur Sicherstellung der Softwareunabhängigen Kommunikation eignet sich das offene Protokollformat BCF.



Die traktandierten Issues sollten im Rahmen einer Koordinationssitzung, bestenfalls in einer ICE-Session behandelt werden. Dabei werden die Issues einzeln am Koordinationsmodell aufgerufen und **Lösungen** ausgearbeitet sowie die **Entscheidung, Verantwortlichkeiten** und **Fristen** festgehalten werden. Diese können direkt zum jeweiligen Issue ebenfalls im BCF-Format festgehalten und kommuniziert werden.



Bis zur nächsten Koordinationssitzung ist es an jeder Disziplin, ihre Pendenzen abzarbeiten und ein neues Fach-Teilmodell zum nächsten Uploadtermin auf der Projektplattform bereitzustellen. Der BIM-Koordinator prüft nun anhand der BCF-Datei erst, ob die bisherigen Pendenzen erledigt wurden. Falls nötig wird eine nicht erledigte Pendenz in den neuen Koordinationslauf übernommen. Anschliessend wiederholt sich der beschriebene Prozess bis keine Pendenzen mehr vorliegen welche in diese Phase behandelt werden können (Phasengerechtheite Kollisionsfreiheit).

2.2. Modellprüfung

Für die Identifikation von Issues können verschiedene Arten der Modellprüfung angewandt werden. In den bearbeiteten Projekten der letzten Jahre haben sich 4 Typen der Modellprüfung ergeben.

Tabelle 1: Typen der Modellprüfung

Bezeichnung	Beschreibung	Häufigkeit	Verantwortlich
Formale Kontrolle	Überprüfung, ob die formalen Kriterien zur Modellerstellung und Darstellung eingehalten werden	Laufend, mind. vor jedem Austausch bzw. vor Kollaborations-Workshops	Modellautor; BIM-Koordinator
Visuelle Kontrolle	Plausibilitätsüberprüfung , vor allem auf Vollständigkeit anhand visueller Darstellungen	Laufend, mind. nach jedem Export	Modellautor; BIM-Koordinator
Kollisionskontrolle	Überprüfung der Konsistenz von Teilmodellen hinsichtlich physischer und logischer Kollisionen	vor Kollaborations-Workshops	BIM-Koordinator TGA; BIM-Gesamtkoordinator
Integritätsprüfung	Vollständige Überprüfung der inhaltlichen Konsistenz , des Raumprogramms , der Qualitätsanforderungen und formalen Vollständigkeit der Modelle	vor Kollaborations-Workshops zur Gesamtkoordination	BIM-Gesamtkoordinator; BIM-Koordinator;

Je nach Komplexität des Bauwerks, Menge der zu behandelnden Issues und KnowHow der tätigen BIM-Koordinatoren kommen entsprechend komplexe Modellprüfungen zum Zuge.

Formale Kontrolle

Bei der formalen Kontrolle geht es darum die nötigen Voraussetzungen für die weitere Arbeit sicherzustellen. Folgende Kontrollpunkte sind dafür typisch:

- Einhaltung des Nullpunkts aller Fach-/Teilmodelle
- Einhaltung der Gebäudebezeichnung aller Fach-/Teilmodelle (Nomenklatur)
- Einhaltung der Geschossbezeichnung aller Fach-/Teilmodelle (Nomenklatur)
- Einhaltung der Modellgliederung (Modell Organigramm)

Eine der wichtigsten formalen Kontrollen wird heute allerdings noch sehr stiefmütterlich behandelt. Dabei geht es um die Kontrolle der Informationsanforderungen. *Die Informationsanforderungen des Auftraggebers (IAG) und des Auftragnehmers (IAN) spezifizieren das Informationsmodell der Projektierung (IMP), welches während des Planungs- und Bauprozesses kontinuierlich an Informationsumfang zunimmt (SIA 2051, 2017), Art. 2.3.7.4.*

Es sollte also vor jeglichen modellbasierten Prozessen der Informationsgehalt sichergestellt werden, nämlich ob die benötigten Informationen (Informationsbedarf) in der richtigen Ausprägung an der richtigen Stelle im Modell zu finden ist (vgl.3. Informationsmanagement).

Visuelle Kontrolle

Mit visueller Kontrolle ist eine Systematische Betrachtung des Gesamtmodells mit manueller Markierung von problematischen Stellen (Issues) gemeint. Analog wie man in einem Koordinationsplan mehrere Disziplinen gleichzeitig betrachtete und systematisch Stellen prüfte gilt dies im Grunde auch für Koordinationsmodelle.

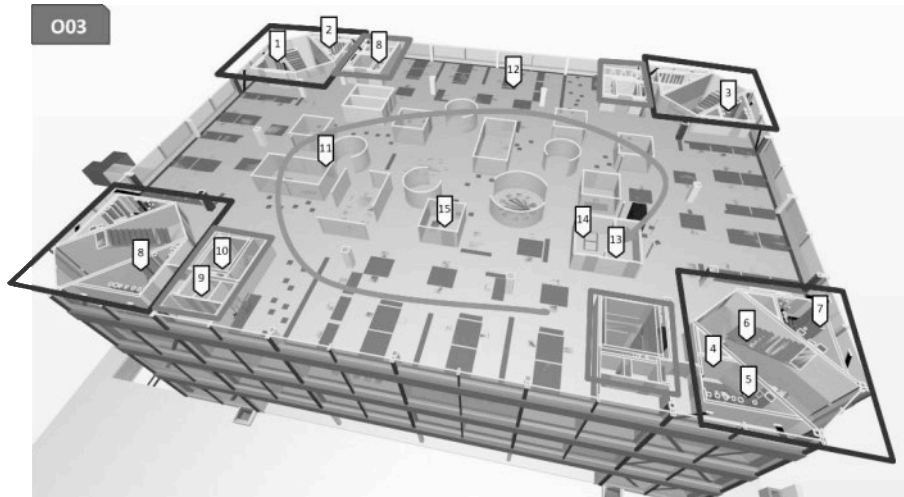


Abbildung 6: Beispiel systematischer, visueller Modellkontrolle

So kann man z.B. geschossweise durch die Koordinationsmodelle gehen und dabei immer erst vertikale Erschliessungen (Personen und TGA) und anschliessend Nasszellen und dgl. prüfen. Zum Schluss werden dann die regulären Zonen, Räume nacheinander angeschaut. Wichtig bei einem solchen manuellen Vorgehen weniger die Reihenfolge als eine gewisse Systematik, damit nichts vergessen geht.

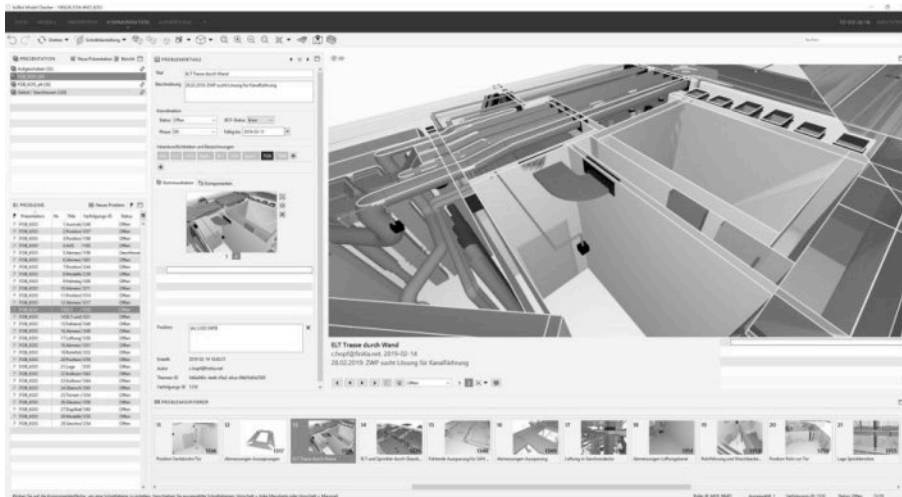


Abbildung 7: Beispiel Issue in Model Checker (Solibri)

Die erkannten Problemstellen werden dann in ModelChecker manuell als einzelne Issues erfasst und den Planungspartner zugestellt (2.1 Kommunikation).

Kollisionskontrolle (Clash Detection)

Die einfachste Kontrolle mit Unterstützung von Funktionalitäten eines ModelChecker ist die sogenannte Kollisionskontrolle (Clash Detection). Dabei werden zwei Gruppen von Modellelemente gegeneinander verglichen um Überschneidungen festzustellen.

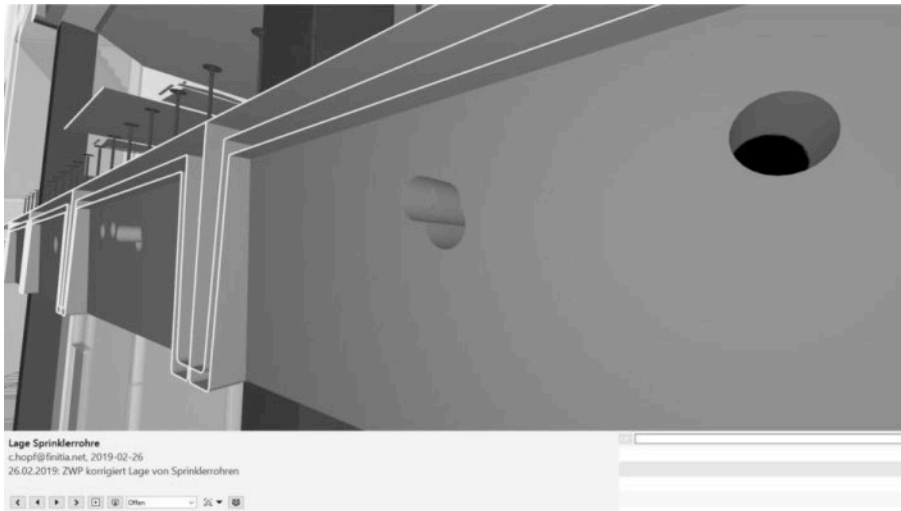


Abbildung 8: Kollision Sprinklerrohr mit Kassettendeckenelement

Eine sinnvolle Aufteilung der Fach-/Teilmodelle (Modell Organigramm) ist hier zielführend, damit direkt jeweils ein Fach-/Teilmodell eine solche Gruppe bilden kann. Somit lassen sich dann z.B. folgende Kollisionskontrollen tätigen:

- ARC <> HZG
- ARC <> LUF
- ARC <> KLK
- ARC <> SAN
- ARC <> ELT
- ...

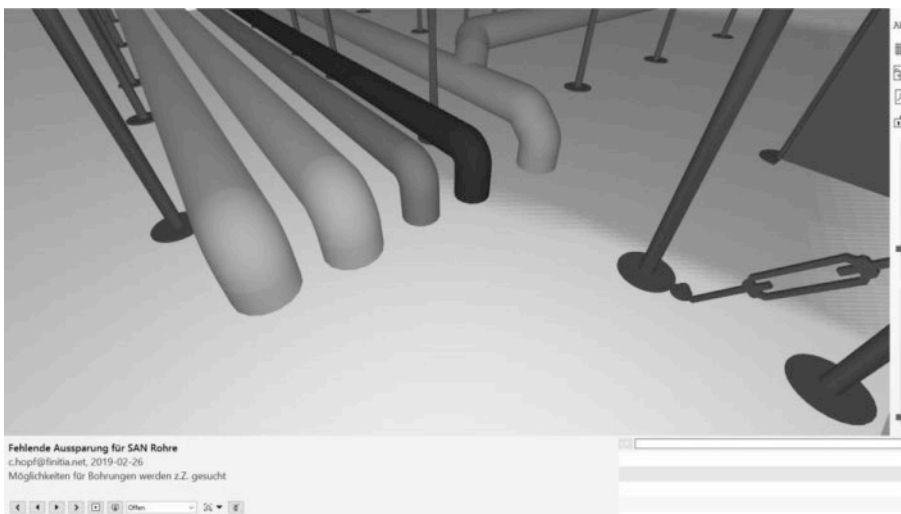


Abbildung 9: Kollision mehrerer Rohre mit Geschosdecke

Mit der gleichen Methode lassen sich z.B. auch Architektur und Tragwerk vergleichen, wobei hier ein möglichst hoher Deckungsgrad der beiden Modelle erreicht werden soll. Es ist in diesem Fall aber zu beachten, dass im Tragwerksmodell einige konstruktive Details so modelliert werden wie Sie für den Baumeister relevant werden. Im Architekturmodell sind diese möglicherweise, phasengerecht noch generisch modelliert. Ein häufiges Beispiel ist der Anschluss der Geschosdecke an die Wände eines Liftschachts – wird die Geschosdecke aufgelegt oder angehängt? Solche Details müssen zu einem bestimmten Zeitpunkt gelöst werden, wobei diesem Umstand bei einem Vergleich der Modellelemente Rechnung getragen werden muss.

Integritätsprüfung

Die Integritätsprüfung geht weit über einfache Kollisionskontrolle hinaus. Allerdings hängen die Möglichkeiten stark vom verwendeten Model-Checker ab. Es geht hier um komplexere Fragestellungen wie:

- Baubarkeit (z.B. Schlankheitsgrad von Bauteilen, Spannweiten, Materialwahl, ...)
- Bedienbarkeit (z.B. Bewegungsraum beweglicher Bauteile wie Türen, Fenster, ...)
- Revidierbarkeit (z.B. Zugänglichkeit von Ventilen, Einbau von Revisionsklappen, ...)
- Widerspruchsfreiheit (z.B. unzugängliche Räume, fehlende Medien pro Raum, ...)
- Einhaltung von Brandschutzanforderungen
- Einhaltung von Richtlinien zum hindernisfreiem Bauen
- Einhaltung von Richtlinien zum altergerechten Bauen
- ...

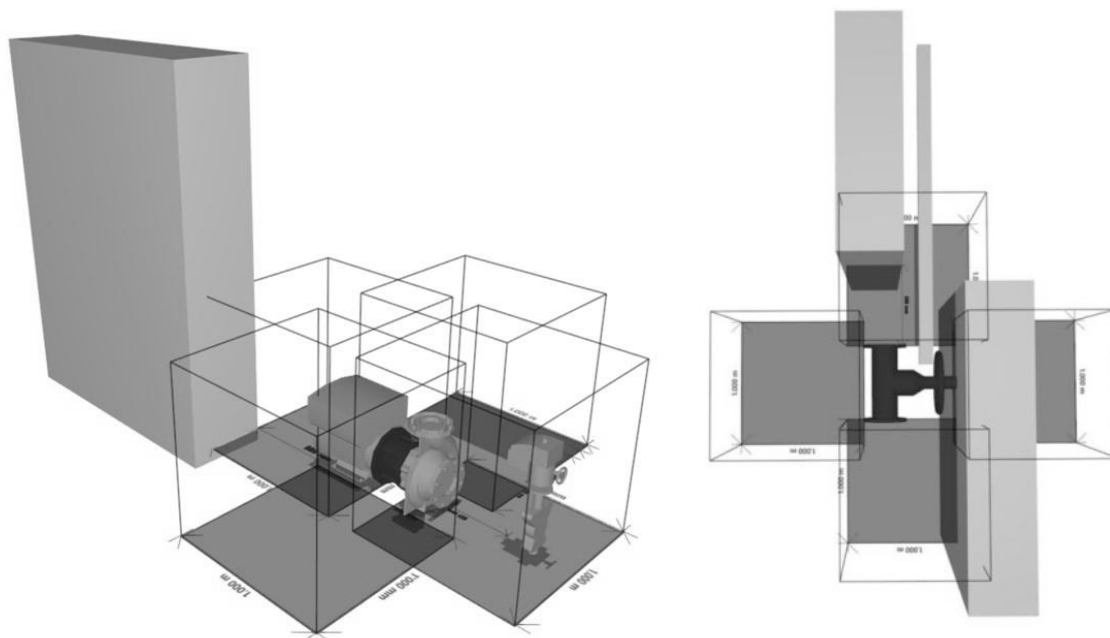


Abbildung 10: Zugänglichkeiten zu Ventil, etc. versperrt

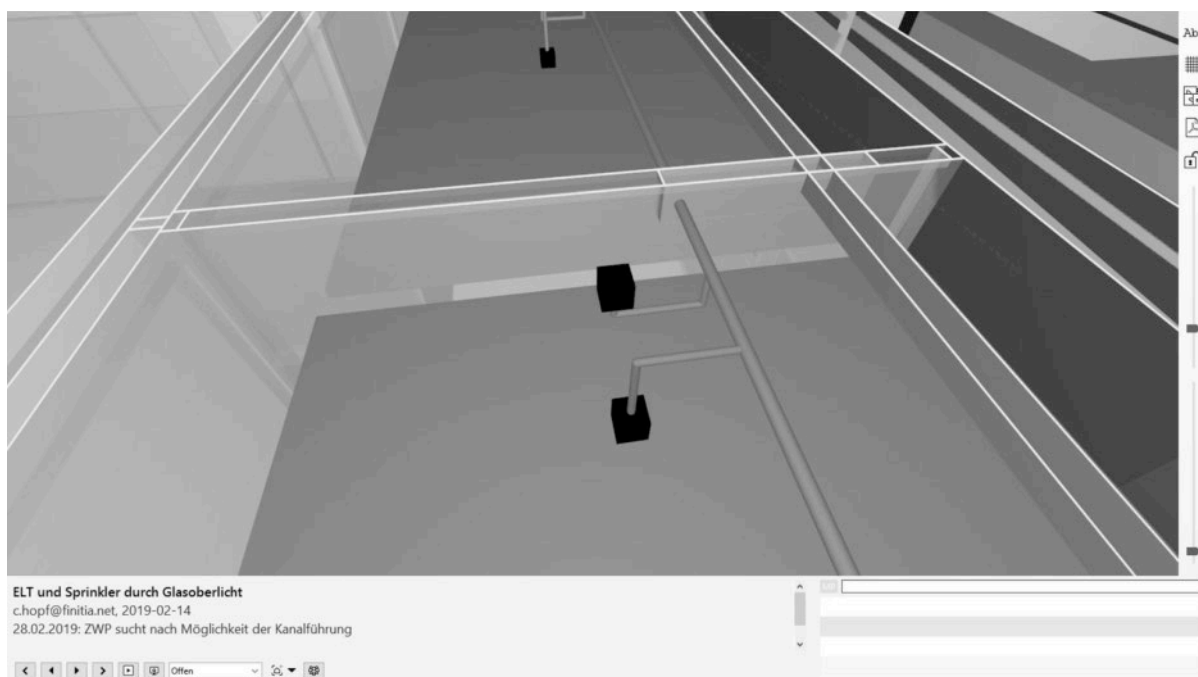


Abbildung 11: widersprüchliche Elektroleitungsführung durch sichtbare Glastrennwand

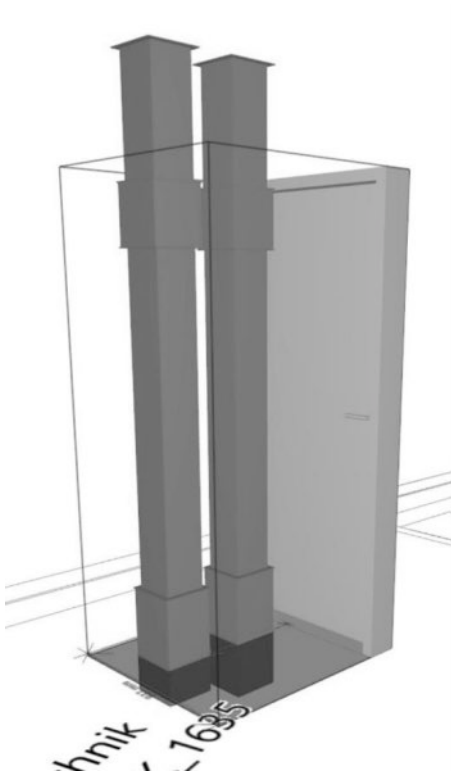


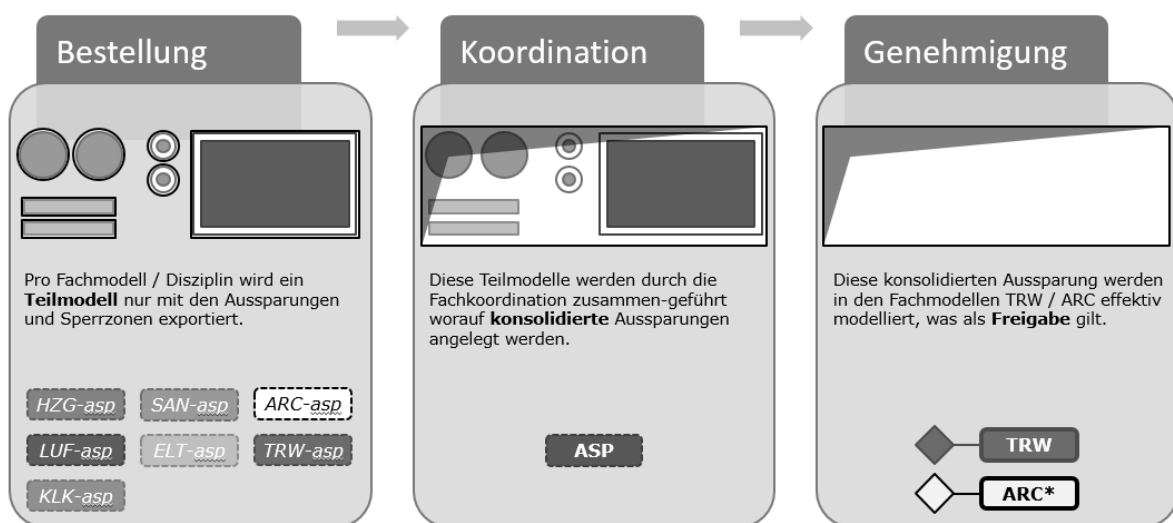
Abbildung 12: Bewegungsraum einer Technikraumtüre durch TGA Installation versperrt

2.3. Koordination der Aussparungen «ProvisionForVoid»

Für die Koordination der Aussparungen hat sich die Arbeit mit Platzhalter-Volumenkörpern als sinnvoll erwiesen. Im offenen Datenmodell IFC, gibt es dazu auch ein entsprechendes Modellelement – Bestellkörper für Aussparung [[IfcBuildingElementProxy.PROVISIONFORVOID](#)]. Es gilt aber obschon der technischen Hilfsmittel die eigentliche Koordination der Aussparungen nicht zu vergessen!

Bestellung

Jedes Gewerk erstellt seine benötigten Aussparungen, Durchbrüche, Wandschlitze etc. in Form von «Bestellkörpern» im jeweiligen Fachmodell und exportiert diese als separates Teilmodell.



Koordination

Anschliessend werden alle Teilmodelle mit den Aussparungen durch die Fachkoordination / räumliche Koordination zusammengezogen. Wo mehrere Aussparungen zusammenfassbar sind oder optimiert werden müssen, z.B. aufgrund von zu grossen Dimensionen oder

der vorgesehenen Art der Brandschottung, werden konsolidierte «Bestellkörpern» angelegt. Die genehmigenden Disziplinen (i.d.R. Tragwerk und Architektur) können, wo sinnvoll bei der Beurteilung der Aussparungen bereits beigezogen werden.

Genehmigung

Das konsolidierte Aussparungsmodell wird nun durch die zu genehmigenden Disziplinen in ihren Autorentools importiert. Dort werden jene «Bestellkörpern» welche genehmigt werden können übernommen und als «echte» Aussparungen modelliert. Durchbrüche, Schlitzte oder Bohrungen in Decken, Wänden, etc. Dies gilt im Grund nicht nur für das Tragwerk, denn auch in brandabschnittsbildenden Leichtbau, oder Glaswänden sind die Folgen von nicht koordinierten Aussparungen teuer!

Mit einer ganzheitlichen Betrachtung wird sichergestellt, dass die genehmigten Aussparungen auch in den Planprodukten für die Baustelle einfließen (Schalungsplan, Mauerwerksplan, Leichtbauwandplan, ...). «Bestellkörper» welche nicht genehmigt werden können müssen als Issues z.H. der Gesamtleitung kommuniziert und in einer Koordinations Sitzung behandelt werden.

Die Merkmale der Aussparung werden im Modellplan spezifiziert. Als Grundlage für die Merkmale dient hier das Pset BuildingElementProxyProvisionForVoid:

Name	Beschreibung
Form	Anforderung an die Form des Durchbruchs, vordefinierte Werte sind «Rechteck», «Rund», und «Nicht definiert».
Breite	Geforderte Breite des Durchbruchs, wird nur dann angegeben, wenn der Wert des Attributes «Form» gleich «Rechteck» ist.
Höhe	Geforderte Höhe des Durchbruchs, wird nur dann angegeben, wenn der Wert des Attributes «Form» gleich «Rechteck» ist.
Durchmesser	Geforderte Durchmesser des Durchbruchs, wird nur dann angegeben, wenn der Wert des Attributes «Form» gleich «Rund» ist.
Tiefe	Geforderte Tiefe des Durchbruchs für eine Nische oder Aussparung. Wenn nicht angegeben, dann ist der geforderte Durchbruch eine Durchbruchsöffnung.
Anlage	Angabe zu welcher Anlage (oder Anlagen) der Durchbruch benötigt wird.
Verschliessung*	FIRESHIELD / ITONG / HARTSCHOTT / WEICHSCHOTT

2.4. Kommunikation der Sperrzonen «ProvisionForSpace»

Für die Kommunikation der Sperrzonen hat sich ebenfalls die Arbeit mit Sperrzonen-Volumenkörper als sinnvoll erwiesen. Im offenen Datenmodell IFC, dient das gleiche Modellelement mit anderem vordefiniertem Typ (PredefinedType) der Kommunikation – «Sperrkörper» für Sperrzonen [IfcBuildingElementProxy.PROVISIONFORSPACE].

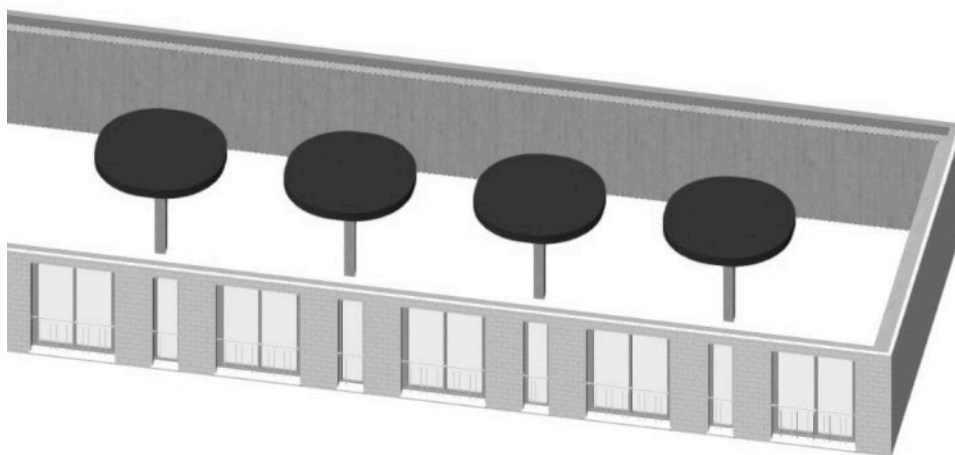


Abbildung 13: Sperrzonen-Volumenkörper der Stützenköpfe

Mit diesen Sperrkörpern kann die Tragwerksplanung die statischen Sperrzonen an die anderen Planungsbeteiligten kommunizieren. Diese helfen der proaktiven Planung der anderen Gewerke. Durch ihre geometrische Repräsentation im Modell genügt in der Regel der PredefinedType «PROVISIONFORSPACE» und eine durch den Tragwerksplaner erstellte konsistente Bezeichnung der Sperrzonen.

Sollten weitere Merkmale für die Projektierung benötigt werden sollten diese im Modellplan festgehalten werden. Die Sperrkörper sollten als separates Teilmodell des Tragwerksmodell exportiert werden.

Mit der gleichen Methode können selbstverständlich auch weitere Sperrzonen erstellt und kommuniziert werden wie z.B.:

- Einbringöffnungen bzw. Einbringwege
- Technikzonenhöhe abgehängter Decken
- Revisionsbereiche von Monoblöcken
- Bewegungszonen in Grossraumbüro's
- ...

3. Informationsmanagement

Die Thematik des Informationsmanagements ist nicht mehr primäre Aufgabe des BIM-Koordinator, sondern eher beim BIM-Management anzuordnen. Wie bereits in 2.2 Modellprüfung erwähnt, müsste aber vor der Arbeit mit Modellen sichergestellt werden, dass die nötigen Informationen in den Fach-/Teilmodellen vorhanden ist. Diese Prüfung wäre dann durchaus beim BIM-Koordinator anzusiedeln, wie können hier als von einer Schnittstellen-aufgabe zwischen Management & Koordination sprechen.

3.1. Informationsbedürfnisse & Informationsanforderung

Der Informationsbedarf umschreibt das allgemeine Bedürfnis nach Information eines Bestellers (initiators). Damit dieser Bedarf gedeckt werden kann und sich die Informationen auch in Software gestützten Systemen weiterverarbeiten lassen bestehen Einschränkungen und Anforderungen – Informationsanforderungen.

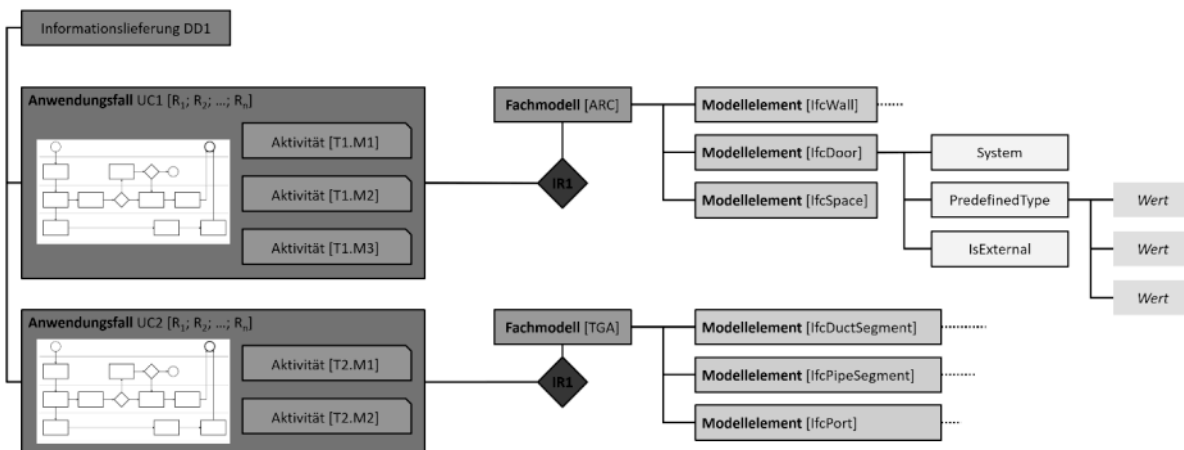


Abbildung 14: Informationslieferung zum Wertebereich (Pancera, 2019) auf Basis von (SIA D 0270, 2018)

In der SIA Dokumentation D 0270 (SIA D 0270, 2018) wird das Vorgehen bei der Definition des Informationsanforderungen so beschrieben, dass aus den vereinbarten Zielen die notwendigen Anwendungen und somit der entsprechende Informationsbedarf abgeleitet werden soll.

Zur Erfüllung des Informationsbedarfs bestehen Anforderungen für die Folgeprozesse. Diese Informationsanforderungen sind abhängig von der Aktivität, den betroffenen Fach-/Teilmodelle, der jeweils enthaltenen Modellelemente und deren Merkmale. In der Abbildung 14 wird diese Darstellung vor dem Hintergrund der ISO 29481-1:2016 (ISO/TC 59/SC 13, 2016) präzisiert.

3.2. Definition Informationsanforderungen

Für die Definition von Informationsanforderungen gibt es heute wenig effiziente Methoden. Die vermeintliche Lösung mit «Level of Information» hat bis heute keine eindeutige Definition zu Tage gefördert. Ein LOI 200 zum Beispiel auf Basis eines ganzen Fachmodells zu definieren macht in der Regel auch keinen Sinn, da nicht klar ist zu welchem Zweck.

Erst in Abhängigkeit eines Ziels, einer Informationslieferung kann eine eindeutige Definition getroffen werden. Dazu bietet es sich an eine Matrix zu erstellen welche die möglichen Ausprägungen von Merkmalen auflistet. Diese Auflistung sollte sich an einem offenen Datenmodell wie IFC¹ orientieren.

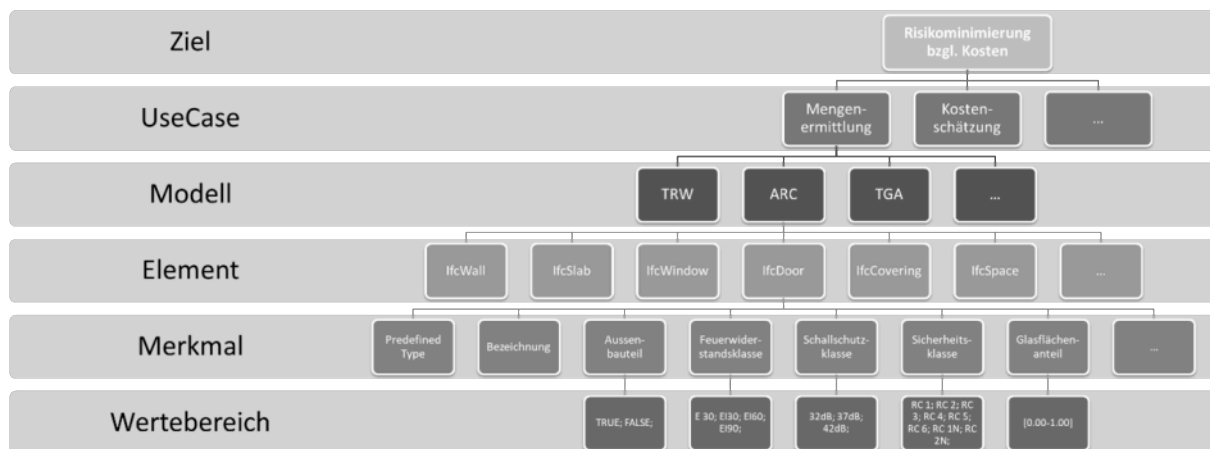


Abbildung 15: Ausprägungen von Merkmalen auf Basis IFC (Pancera, 2019)

In einem zweiten Schritt legt man für jede Aktivität, bzw. für jede Informationslieferung fest welche der definierten Merkmale für diese spezifische Informationslieferung benötigt wird. Ein mögliches Hilfsmittel für die Definition ist BIMQ, damit lassen sich die Informationsanforderungen im Format MVD (Model View Definition) exportieren um an weitere Projektbeteiligte kommunizieren. Die maschinenlesbare Form bildet die *.mvdxml.

Abbildung 16: Auszug Informationsanforderung auf BIMQ

3.3. Kontrolle der Informationsanforderungen

Wie eingangs dieses Kapitels erwähnt, gilt es vor der Verwendung von Modellen den bestellten Informationsgehalt zu überprüfen. Es soll also gewissermassen eine «Kollisionskontrolle» des Modells gegen die Informationsanforderungen durchgeführt werden. In maschinenlesbaren Formaten gesprochen, eine Kontrolle der in der MVD geforderten Elemente gegen die Elemente im IFC-Modell.

¹ IFC = Industry Foundation Classes (IFC4.1)

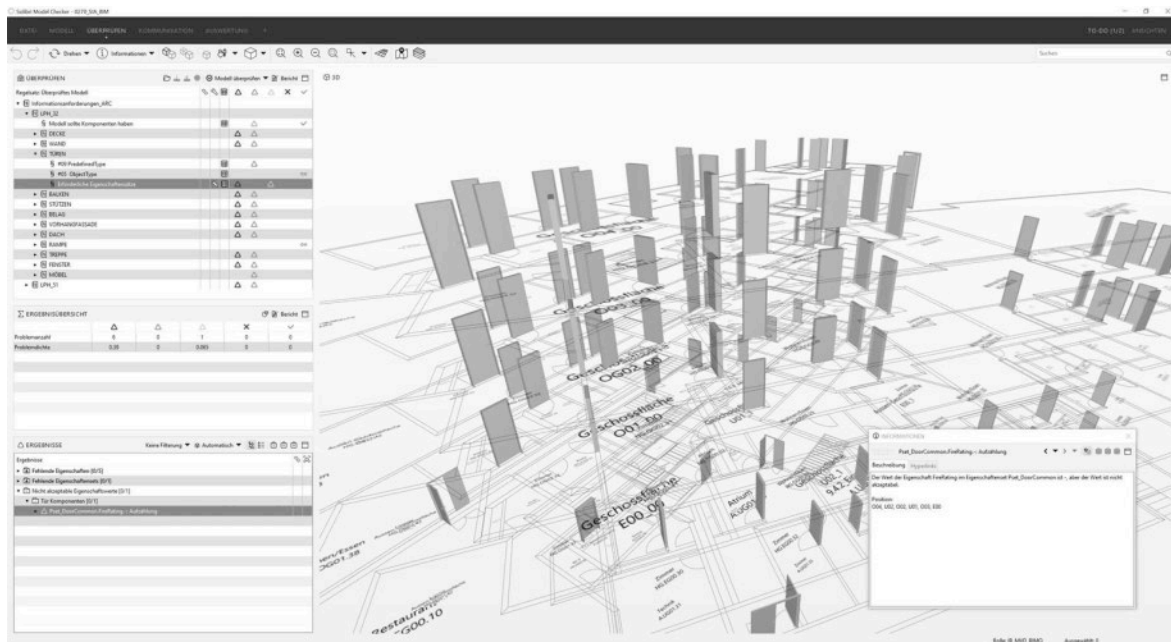


Abbildung 17: Anzeige der Modellelemente mit unzulässigen Werten in Solibri

Model-Checker sind im Grunde prädestiniert für eine solche Kontrolle, allerdings unterstützen noch keine den Import einer MVD. Ansätze der Methodik können aber dennoch angewandt werden, allerdings noch ohne dem komfortablen Austausch über *.mvdxml. In Abbildung 17 wurden durch die Kontrolle mit dem Model-Checker Solibri alle Modellelemente Tür angezeigt, welche einen unzulässigen Wert für die Feuerwiderstandsklasse (Pset DoorCommon.FireRating) aufweisen.

Die gefundenen Probleme, bzw. fehlenden Informationen können nun wieder als Issues an die Modellautoren kommuniziert werden. Noch effizienter wird dieser Prozess als Selbstkontrolle für die Modellautoren, da diese gezielt auf den nötigen Informationsbedarf hinarbeiten. Ganz nach der Maxime «So viel wie nötig, statt so viel wie möglich».

4. Fazit

Das Rollenbild für den BIM-Koordinator ist sehr einfach wie Eingangs beschrieben:

Der BIM-Koordinator ist in BIM-Projekten mit mehreren beteiligten Disziplinen oder Unternehmen zuständig für den Abgleich der einzelnen Fach- und Teilmodelle.

Dieses Ziel kann man als BIM-Koordinator aber nie alleine erreichen, sondern nur durch die integrale Zusammenarbeit aller an einem Projekt beteiligten. Denn ein gutes Projekt entsteht erst dann, wenn alle Beteiligten am gleichen Projekt arbeiten!

5. Literaturverzeichnis

- [1] ISO/TC 59/SC 13. (2016). *ISO 29481-1:2016 Building information models - Information delivery manual* (2. Ausg.). 1214 Vernier, Geneva: ISO.
- [2] SIA 102. (01. November 2014). *SIA 102. Ordnung für Leistungen und Honorare der Architektinnen und Architekten*. Zürich, ZH, Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- [3] SIA 108. (01. November 2014). *SIA 108. Ordnung für Leistungen und Honorare der Ingenieurinnen und Ingenieure der Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik*. Zürich, ZH, Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- [4] SIA 2051. (2017). *Building Information Modelling (BIM) – Grundlagen zur Anwendung der BIM-Methode*. Zürich: SIA.
- [5] SIA 2051. (01. Dezember 2017). *SIA 2051. Building Information Modelling (BIM) - Grundlagen zur Anwendung der BIM-Methode*. Zürich, ZH, Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- [6] SIA D 0270. (2018). *Dokumentation D 0270 - Anwendung der BIM-Methode*. Zürich: SIA - Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

Vom Egodenken zum Legodenken

Bernd Höfferl
proHolz Austria
Wien, Österreich



Vom Egodenken zum Legodenken

1. Industrie 4.0 im Holzbau

Was ist Industrie 4.0 eigentlich?

Ich werde Ihnen keine Einkaufsliste liefern, welche Programme und Maschinen sie heute kaufen müssen, damit sie in den Zug Industrie 4.0 einsteigen können – wenn er dann kommen wird.

Ich bin auch sicher, dass es bei unserer Reise in die Zukunft nicht damit getan sein wird, ein App herunterzuladen oder eine neue Maschine zu bestellen.

Wann hat die Digitalisierung im Holzbau eigentlich begonnen? War das vor ca. 30 Jahren, als wir begonnen haben einen rechnerischen Dachstuhlabbund zu machen statt dies am Schnürboden zu machen?

Das Positive ist, dass Industrie 4.0 keine Revolution sein wird, die von heute auf morgen auf uns hereinbricht, sondern dass wir uns die Digitalisierung schrittweise zu Nutze machen und in das Thema hineinwachsen können. Der eine Betrieb ist dabei möglicherweise bereits einen Schritt weiter, ein anderer geht die Sache langsamer an. Der eine hat ein optimiertes Warenwirtschaftssystem, dem anderen sind VR Brillen im Verkaufsprozess wichtiger, damit die Interessenten ihr Holzhaus bereits in der Planungsphase besser erleben können. Der eine Betrieb hat ein digital optimiertes Flotten- und Maschinenmanagement und weiß auf Knopfdruck wo was unterwegs ist und wann die Maschinen zum Service müssen – der andere hat sich den Arbeitsabläufen und Arbeitszeiten digital angenähert, um für Abrechnung und Kalkulation bessere Daten zu haben. Das sind nur wenige Beispiele, bei denen die digitale Welt bereits recht unspektakulär in unseren Arbeitsalltag Einzug gehalten hat und uns täglich unterstützt.

Das Bauwesen ist insgesamt sicher eine der Branchen, die sich am langsamsten mit der digitalen Welt annähert. Natürlich kann man sich darüber amüsieren, dass auch 2019 normativ nur mittels der archaischen CM Methode die Estrichfeuchtigkeit gemessen werden darf – sich nach dem Ergebnis aber komplexe und vielfach optimierte Baustellenablaufpläne richten.

Dabei ist die Holzbaubranche schon immer einer der fortschrittlichsten Bereiche der Baubranche gewesen. Schon Fachwerkhäuser sind sicher nicht auf der Baustelle zufällig so entstanden, sondern auch damals gab es eine umfassende Planung, einen Abbund, logistische Herausforderungen, und eine Montage, die möglichst effizient abgelaufen ist.

Der Holzbau hat schon immer davon profitiert, dass es eine definierte Bezugsebene gegeben hat, von der aus eine strukturierte Planung und Ausführung erfolgen konnte. Ob diese Bezugsebene ein umlaufender Rost, auf dem eine Tramdecke aufliegt, eine Decke, auf der ein Dachstuhl montiert wird oder eine Fundamentplatte, auf der ein ganzes Gebäude errichtet wird, ist, ist dabei nicht so wichtig. Für den digitalen Zwilling ist diese Nulllinie stets wichtig.

2. Warten auf BIM

Der Mensch wartet gerne zu. Wir warten bis nächstes Jahr, weil dann werden wir mehr Sport betreiben. Wir warten, bis die E Autos mehr als 300 km Reichweite haben (jetzt, wo sie das können, warten wir auf den Wasserstoffantrieb). Und wir warten auf BIM.

Zuerst die gute Nachricht. In der Fertighausindustrie gibt es die Methode, in einem dreidimensionalen Gebäudemodell zu arbeiten und den Umstand, dass den Zeichnungsobjekten auch Daten zugeordnet werden, schon seit über zwanzig Jahren. Damals gab es den Begriff BIM noch nicht, aber die Arbeitsmethode ist im Holzbau daher nicht neu. Man sieht daran auch, dass es nicht damit getan ist, ein neues Computerprogramm anzuschaffen – weil dann alles anders wird. Spannend wird natürlich, ob es in offenen Systemen irgendwann möglich sein wird, ohne Informationsverluste vom Programm A über B nach D und

F wieder zurück nach A zu kommen. Das alles in unterschiedlichen Sprachen und mit tausenden Bauprodukten und entsprechenden Spezifikationen.

Es wird sich auch in dem Bereich vermutlich zeigen, dass die Zusammenarbeit in eingespielten Teams besser funktioniert als mit beliebig zusammengestellten billigstbietenden Einzelplayern.

Wir werden mit diesen neuen Möglichkeiten auch unsere Planungs- und Ausschreibungskultur schrittweise hinterfragen müssen. Letztendlich wird es dabei um das Ergebnis und den konkreten Nutzen gehen. Die Anforderungen an Qualität, Termine und Kosten des Gebäudes sind zu erfüllen. Jede zusätzliche Anforderung wie beispielweise Ökologie, Rückbaubarkeit, Variabilität in der Nutzung erhöht die Komplexität und unterstützt damit indirekt die Möglichkeiten durch digitale Prozesse.

3. Mehr Ideen statt Ideologien

Wenn wir von Industrie 4.0 reden, denken einige sicher an Techniker, die an Computern zeichnen und gleichzeitig an menschenleere Industriehallen, in denen Roboter das produzieren, was da am Computer gezeichnet wurde. Davor haben wir natürlich Respekt, weil diese Vorstellung mit dem heutigen Handeln (am Bau) recht wenig zu tun hat. Wir haben auch Angst, Arbeitsplätze zu verlieren. Dabei übersehen wir aber, dass das Durchschnittsalter «am Bau» laufend steigt und wir in Zukunft Schwierigkeiten haben werden, die freiwerdenden Stellen kompetent nachzubeseetzen. Viele Jobs am Bau sind weder angenehm, noch gut bezahlt, noch cool.

Hier ist der Punkt, an dem man über digitale Assistenzsysteme nachdenken kann. Wir haben in Österreich und Deutschland sehr gute Facharbeiter. Dies ist einem Ausbildungssystem zu verdanken, um das uns die ganze Welt beneidet. Wenn ich aber einen top ausgebildeten Holzbaumitarbeiter habe – warum darf er nur die halbe Arbeitszeit dafür verwenden was er wirklich gut kann? Warum fährt er stundenlang herum, sucht Parkplatz, sucht Material auf der Baustelle, sitzt bei Baubesprechungen, sucht seine Kollegen, telefoniert mit dem Mitarbeiter des nicht fertigen Vorgewerks, sucht seinen Bauleiter, improvisiert, dokumentiert, telefoniert. Räumt sein Werkzeug her, das Zeug der anderen zur Seite (damit er arbeiten kann) und am Ende des Tages wieder weg. Es ist so, als ob Robbie Williams selbst den Tourtruck fahren, die Bühne aufbauen, und nach dem Konzert die leeren Pappbecher wegräumen müsste.

Vielleicht müssen wir darüber nachdenken, ob es wirklich effizient ist, in einem 6 geschosigen Gebäude 24 idente oder ziemlich ähnliche Badezimmer zu verfliesen und in jedes Badezimmer die Fliesen, den Fliesenkleber, die Fugenmasse und das Werkzeug zu schleppen. Es ist etwa so, als würden wir das Armaturenbrett erst ins Auto einbauen, wenn es schon beim Kunden in der Garage steht.

Da hat der Holzbau natürlich enorme Chancen. Badezimmermodule so zu gestalten, dass sie nicht nur toll aussehen, qualitativ hochwertig ausgeführt werden und trotzdem wirtschaftlich sind, sondern zusätzlich auch noch tragende Bauelemente sind und den ganzen Bauablauf deutlich vereinfachen und beschleunigen, wirkt in dem Zusammenhang zwar noch herausfordernd – aber nicht mehr utopisch. Bevor man sich die Mühe macht 8 Gewerke auf 6m² Badezimmer zu koordinieren und am Ende die unvermeidbaren Bauschäden zu reparieren – könnte man diese kompakten Bauteile gut in einer Halle vorfertigen. Die Profis ersparen sich dann den Wahnsinn auf der Baustelle, verlegen die Fliesen in der Box 5, wenn sie in der Box 4 fertig sind. Und wenn sie um 16:00 mit der Arbeit fertig sind, haben sie mehr geschafft als auf der Baustelle und fahren im besten Fall mit dem Fahrrad nach Hause.

Wenn dann die Baustelle zur Zusammenbau-Stelle wird – haben wir viel erreicht. Denn es hat sich gezeigt, dass Dinge die zusammengebaut wurden, auch leichter wieder rückgebaut, umgebaut und repariert werden können.

Die Verbindungsstellen werden an Bedeutung gewinnen. Es wird sich vermutlich zeigen, dass bei einem Entwurf das Deckensystem A vernünftiger ist und bei einem anderen Entwurf das System B. Auch wenn bei beiden Entwürfen das Wandsystem X vielleicht am

besten passt. Aktuell entscheiden wir zuerst ideologisch ob das Gebäude als Rahmenbau oder aus Brettsperrholz oder als Hybridbau oder als Modulbau errichtet werden soll. Das ist von der Systematik einfach, aber nicht effizient im Ergebnis. Ein Autobauer kann auch nicht vorab entscheiden, ob das Fahrzeug aus Alu oder Stahl oder Kunststoff gebaut wird. Die Frage ist, welches Material und welche Fertigung für welchen Bauteil am effizientesten ist und wie die Teile optimal zusammengefügt werden können. Moxy Hotels haben uns die Logik bereits vor Augen geführt, wie man im Holzbau Modulbau mit 2D Elementen am effizientesten kombiniert. Es ist sicher kein Zufall, dass einer der Partner bei Moxy Hotels, IKEA heißt.

4. Plattform statt Unikat

Vorentwurf – Entwurf – Einreichplanung – Ausschreibung – örtliche Bauaufsicht – Unikat?

Am Bau gibt es Abläufe und Strukturen, die sich in den letzten Jahrzehnten entwickelt, teilweise aber auch festgefahren haben. Es gibt gute Gründe, warum die Dinge aktuell so laufen aber es ist trotzdem zulässig, sich kritisch mit den typischen Problemen: Verzögerungen, Änderungen, Nachtragsunwesen, baubegleitender Planung, Kostenüberschreitungen, usw. zu beschäftigen.

Natürlich ist jedes Grundstück anders, jede städtebauliche Situation unterschiedlich und die Bedürfnisse völlig verschieden. Andererseits wissen wir im Wohnungsbau in der Regel nicht, für welche Familien wir eigentlich bauen und daher müssen wir Wohnungen entwickeln, die für viele Menschen passen.

Es geht nicht darum, Gebäude zu entwickeln, die alle gleich sind und nur im Sinne einer wirtschaftlichen Optimierung noch billiger gemacht werden müssen. Das ist der Teufel, der häufig an die Wand gemalt wird. Im Sinne einer Qualitätssteigerung, die mit durchdachten Abläufen Fehler vermeidet und damit besser UND günstiger wird, sollte man aber über Bauelemente nachdenken dürfen, die in vielen Varianten zusammengefügt und auch mit individuellen Elementen ergänzt werden können. Wenn es möglich ist beim modularen Querbaukasten im VW Konzern 15 nach außen unterschiedliche Modelle auf eine Plattform zu stellen, sollte klar werden, dass die Gemeinsamkeit bei einem Gebäude nicht beim normalformatigen Ziegel endet, sondern die Chance gesehen wird, dass wir die steigenden Ansprüche an Ökologie, Technologie, Wohnkomfort vielleicht nicht auf Kosten von ausgequetschten Subfirmen finanzieren können, sondern dass Serienfertigung nicht Uniform für alle bedeutet.

Es soll und muss auch in Zukunft Gebäude geben, die ausloten was möglich ist und die nicht nur Bau- sondern auch echte Kunstwerke sind. Damit baukulturelle Entwicklung passiert, sind solche Projekte sehr wichtig. Um das Bedürfnis Wohnen erfüllen zu können, ohne die Wohnungen noch kleiner zu machen, damit sie sich noch irgendjemand leisten kann, können aber optimierte Lösungen helfen und es ist nicht nötig Fehler die bereits gemacht wurden, zu wiederholen.

Aber wir müssen billiger bauen. Koste es was es wolle!

Mit etwas Distanz betrachtet, ist schon spannend, dass ständig darüber gejammert wird, wie teuer das Bauen ist. Trotzdem ist es nicht erwünscht, dass Dinge hinterfragt werden. Ein Wettbewerb, bei dem von mehreren Architekturbüros ohne finanzielle Abgeltung die Ideen abgesaugt werden – brauchen wir. Bei jedem Gebäude ein eigenes Konzept für Statik, Bauphysik und Haustechnik – brauchen wir. Bei jedem Projekt eine umfangreiche Ausschreibung – bei der die Billigstbieter (sorry Bestbieter) ermittelt werden – brauchen wir. Dazu dann einen Stab an Profis (auf beiden Seiten), die sich gegenseitig mit Nachträgen beschäftigen. Eine Örtliche Bauaufsicht auf der einen – und eine Bauleitung auf der anderen Seite. Verrechnung von Verzögerungen, Pönalen, Krankkosten, allgemeinen Baustellenkosten, Bauschäden, Verrechnung von Baustrom, Bauwasser und Werbetafeln.

Und natürlich ist das alles bei jedem Bauvorhaben ein bisschen anders. Ich habe mal gewagt, die Frage zu stellen, ob man die Ergebnisse von speziellen Schallschutzprüfungen oder Brandschutzversuchen erwerben kann. Aber nein! Die bleiben gut versperrt in den verschiedenen Schreibtischladen. Prüfen wir eben das gleiche noch fünf Mal! Wenn man

diese Vorgehensweise bei einem Hersteller von Fahrzeugen präsentiert – glaubt der vermutlich, im Kabarett zu sein.

Aber wir müssen billiger bauen!

Vor dreißig Jahren sind wir mit dem Stadtplan auf dem Schoß durch die Stadt gefahren. Wenn uns damals wer gesagt hätte, dass es mal ein Gerät gibt, dass nicht nur die aktuell beste Strecke wählt, sondern uns mit laufenden Informationen bis zum Ziel lotst und auch nicht aus der Ruhe gebracht werden kann, wenn man mal falsch abbiegt oder zwischen-durch eine Wurstsemmel kauft – wir hätten ihn ausgelacht oder zumindest angenommen, dass so ein Zaubergerät soviel kosten muss, wie drei Autos. Das Navi zeigt uns aber jeden Tag, wie digitale Unterstützung aussehen kann, die jedem nützt.

Wir können von einem Planer nicht erwarten, dass er die Besonderheiten von jedem Bausystem kennt. Wir kennen auch nicht alle Einbahnstraßen in der Stadt. Wir müssen lernen, Informationen so zur Verfügung zu stellen, dass es optimal für den ist, der die Informationen braucht. Wir brauchen nicht 10 Apps von 8 Herstellern. Wenn man sich in einem lebendigen Dschungel zurechtfinden soll, braucht man **einen** Guide und Dinge die gut kombinierbar sind und zusammenpassen.

Um zu sparen, muss man auch manchmal Geld ausgeben. Damit man nicht bei jeder Hose beginnen muss, sich ein Schnittmuster auszudenken, hat es sich bewährt, Konfektionsgrößen zu entwickeln. Wenn wir wirklich günstiger und besser bauen wollen, müssen wir zu den Mengeneffekten kommen – das geht mit Kooperation und Hirn.

Wenn das zu kombinierbaren anpassbaren Systemen führt und dann vielleicht Industrie 4.0 heißt, soll uns das Recht sein. Solange wir auf BIM warten, können wir beginnen umzudenken und umzuhandeln – in kleinen Schritten zu kombinierbaren Systemen.

Haustechnik – TGA – Planung in der Praxis in Verbindung mit BIM

Pierre Hischmann
WeberHaus GmbH & Co. KG
Linx, Deutschland



Daniel Eckstein
WeberHaus GmbH & Co. KG
Linx, Deutschland



Haustechnik – TGA – Planung in der Praxis in Verbindung mit BIM

1. Von der Planung bis zur Umsetzung – ein ganzheitlicher Prozess im Objektbau

Die Planung der Haustechnik beginnt in jeder Bauweise im selben Prozesstadium. Mit dem Erhalt der ersten Entwurfsplanung muss sich der jeweilige Fachplaner mit den Anforderungen und Wünschen der Investoren auseinandersetzen. Unter Beachtung der jeweiligen Normungen und den gesetzlichen sowie wirtschaftlichen Vorgaben, erarbeitet der Fachplaner ein Konzept, welches für das jeweilige Gebäude aus den zuvor genannten Gesichtspunkten am sinnvollsten erscheint. In Abstimmungsrunden mit dem Investor sowie den am Bauvorhaben beteiligten Fachplanern (Architektur, Tragwerksplanung, Brandschutz, Elektrotechnik etc.) werden Gebäude und Versorgungskonzept bis zur Ausführungsreife optimiert und durchgeplant.

1.1. WeberHaus Objektbau und die Herausforderung der Integration der Haustechnik in die Holztafelbauweise am Beispiel Aparthotel



Abbildung 1: 4-geschossiges Aparthotel mit 33 Gästezimmern

Das in Abbildung 2 zu sehende Aparthotel ist ein 4-geschossiger Hotelbau auf Bodenplatte mit 33 Gästezimmern und einem Lounge-Bereich mit Frühstücksmöglichkeit. Die Hotelzimmer sind mit einer kleinen Küchenzeile ausgestattet und für längere Aufenthalte konzipiert. Jedes der Gästezimmer ist mit einem Hotelkonvektor zur Beheizung und Klimatisierung ausgerüstet. Die Entlüftung der innenliegenden Bäder wird mittels Einzelraumlüfter und Zuluftnachströmung über Fensterfalzlüfter der angrenzenden Wohn-/Schlafbereiche realisiert. Der Lounge-Bereich mit den dazugehörigen Nebenräumen wird mittels Heiz-/Kühldecke sowie einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung mit den notwendigen Medien versorgt. Das Konzept der Wärmeerzeugung basiert auf einem Mini-Blockheizkraftwerk (Grundlast) und einer Gas-Brennwert-Kaskade (Spitzenlast). Die Brauchwarmwasserbereitung erfolgt mit einer zentralen Frischwasserstation. Für die Klimatisierung des Gebäudes wurde ein Kaltwassersatz installiert, welche wie die Wärmeerzeuger und deren Anlagenperipherie nebst der restlichen Haustechnik (Kaltwasserverteiler, Elektrozähleranlage, Hausanschlüsse etc.) im eingeschossigen Technikanbau untergebracht wurde. Der umbaute Raum ist für einen Investor immer ein wichtiger Kostenfaktor, weshalb es die Anforderung an die Größe des Technikraumes ist, diesen so klein wie möglich jedoch so groß wie nötig zu gestalten. Um das Optimum

zwischen Bedarf und Kosten ermitteln zu können, war im Zuge der Planung die Konstruktion der Haustechnik im Technikraum in 3-D-Qualität unumgänglich (siehe Abbildung 3).

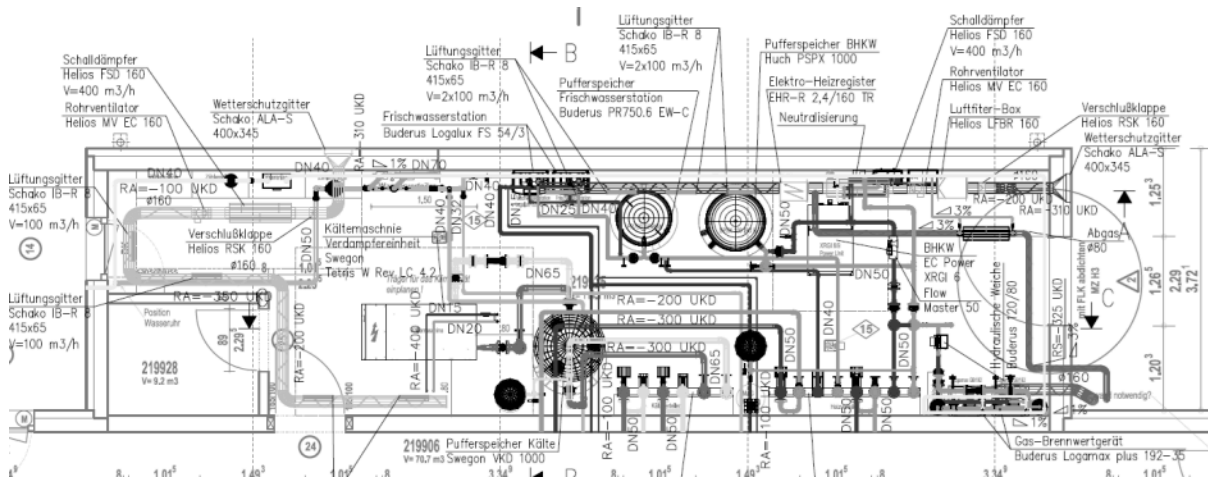


Abbildung 2: Draufsicht 3-D-Planung Technikraum

Durch die 3-D-Planung der Haustechnik konnten wichtige Grundlagen für die weitere Vorfertigung der Wände und Decken bei WeberHaus geschaffen werden. Eine saubere Durchbruchplanung konnte in diesem Fall bspw. den Arbeitsaufwand zur Erstellung von Schalungen/Auswechslungen für die Versorgungsschächte in die Produktion verlagern, was schlussendlich zu Zeitersparnissen auf der Baustelle führte.



Abbildung 3: Abwasserfallleitung in vorgefertigter Deckenauswechslung

Die Abbildung 4 zeigt eine beispielhafte Deckenauswechslung, welche auf der Baustelle durch den Zimmermann nach der Errichtung des Gebäudes geöffnet wurde.

Im Anschluss daran konnte der Installateur seine erforderliche Kernbohrung herstellen und die Abwasserfallleitung montieren. Die Promatec-Platte diente darüber hinaus als direkte Schalung für den Mörtelverguss des Durchbruchs. Die Anforderungen hinsichtlich des Brandschutzes konnten hierdurch mit geringem Aufwand auf der Baustelle umgesetzt werden.

Da es sich beim oben genannten Bauvorhaben um ein Gebäude auf Bodenplatte handelt, galt ein besonderes Augenmerk der Erschließung der jeweiligen Steigzonen aus dem Technikraum. Die 3-D-Ausplanung der Trassenführung Heizung/Kälte/Sanitär im Erdgeschoss (siehe Abbildung 5) diente während dem Planungsprozess als Grundlage zur Lösungsfindung, um die Tragwerksplanung, Baukonstruktion und Haustechnik in diesem Gebäude zu vereinen. Da im Vergleich zur Massivbauweise, die Holzbauweise statische Mehraufwendungen mit sich bringen, war hier die Abstimmung hinsichtlich Durchdringungen durch Wände und Decken von besonderer Bedeutung um ganzheitliche Lösungen zu generieren.

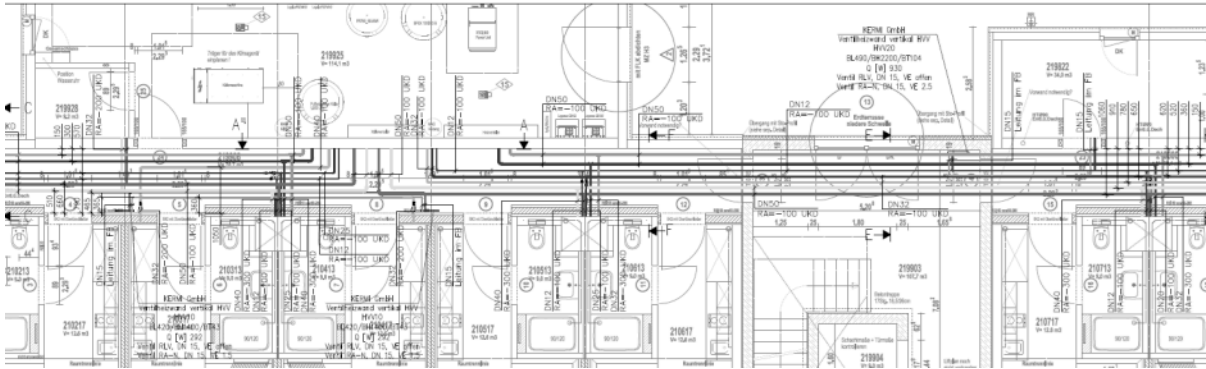


Abbildung 4: Versorgungstrassen Erdgeschoss - Erschließung der Steigzonen aus dem Technikraum

Dass die Haustechnik sehr gut in die Holzbauweise integrierbar ist, zeigt das Beispiel der Luftkanalführung in der Sky Lounge im 3. Obergeschoss. Hier wurden die Lüftungskanäle in die Balkenlage integriert, was den Vorteil an Platzersparnis nach sich zog und sich in der lichten Raumhöhe widerspiegelte.

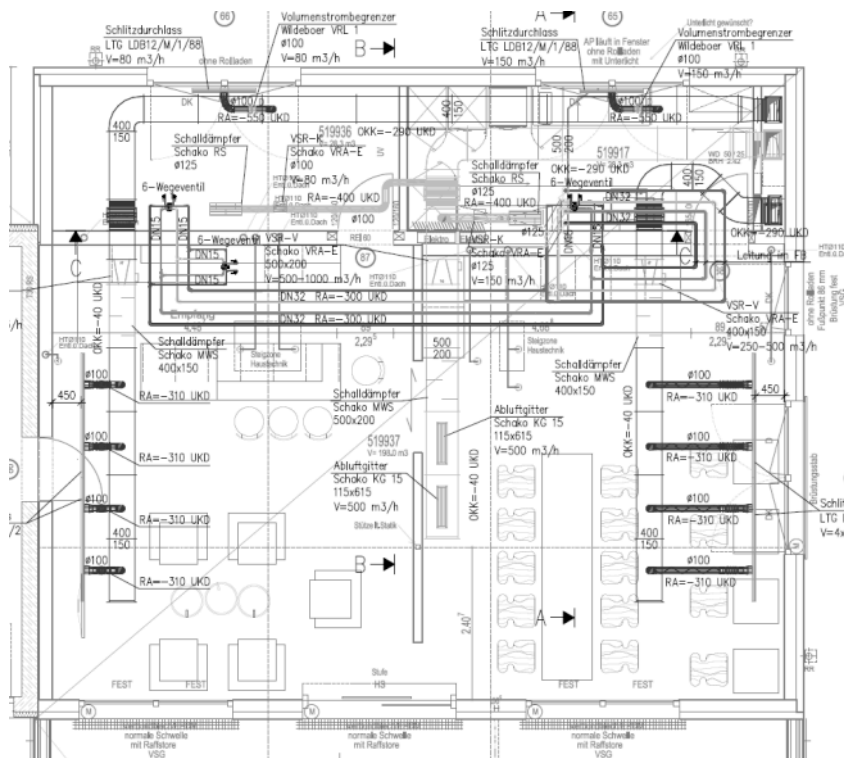


Abbildung 5: Draufsicht 3-D Planung Haustechnik Sky Lounge

Die 3-D Planung diente hierbei wiederum einmal als Grundlage für die Produktionsplanung. An Hand des durch den Fachplaner ermittelten Mindest-Platzbedarfs konnten entsprechende Durchbrüche in der Decke sowie der Wand direkt vorbereitet werden. Um die Transportstabilität gewährleisten zu können, wurden die Durchbrüche werkseitig vorbereitet, welche dann nach dem Aufbau durch den Zimmermann einfach entfernt werden konnten.

Die Abbildung 7 zeigt den Verzug des Abluftkanals in der Balkenlage zum Flachdach. Die Dimensionierung des Kanals wurde so gewählt, dass der Kanal, bis auf die Montagekonstruktion, sich in die Balkenlage integriert. Die Versorgungsleitungen für die Heiz-/Kühldecke sowie die Luftanschlüsse an die Zuluft – Schlitzschienen konnten dadurch direkt unter der Balkenlage kreuzungsfrei verzogen werden.



Abbildung 6: Verzug von Luftkanälen in der Flucht der Deckenbalken

1.2. Planungsprozess jedes WeberHaus (Objektbau) vom Architekturmodell hin zu vorgefertigten Elementen

Bei dem Beispielprojekt Aparthotel mit 33 Zimmern wurde nach der Vorlage des Architektenplans die digitale Erfassung des Gebäudemodells begonnen. Bei der sogenannten Ersterfassung wird durch den Konstrukteur/-in die Architekturplanung geprüft und zusammen mit frühzeitigen statischen wie auch TGA Informationen und ergänzt.

Es werden Wände und Decken, Räume und vieles mehr nach den statischen wie auch Brandschutztechnischen Anforderungen ausgewählt und eingeplant.

Aus dem Modell entstehen dann die Grundrisse/Schnitte/Ansichten wie auch Details werden aus dem entstandenen 3D-Modell entwickelt.

Die dazugehörigen Mengendaten der Flächen und Bauteilen werden dann über eine Schnittstelle an das interne Konfigurationsprogramm übergeben und dort zur einer mengenbasierten Leistungsbeschreibung weiterverarbeitet.

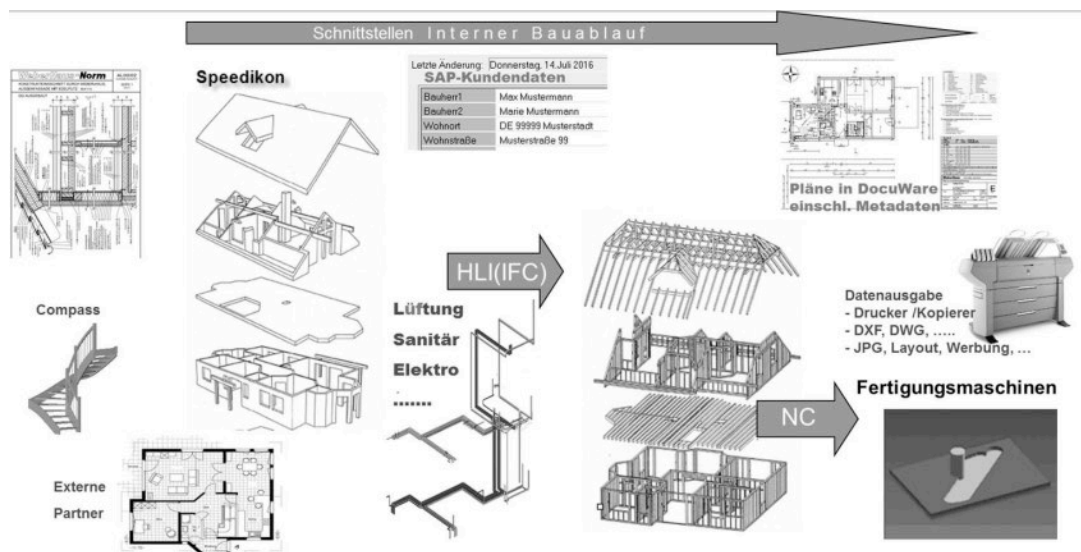


Abbildung 8: Planungsprozess vom Architekturmodell zur Fertigung

Für die TGA-Planungen durch die separaten Fachbereiche oder eines Planungsbüros werden unterschiedliche Datenformate ausgegeben. Die TGA Fachplanung wird dann nach jeder Planungsphase mit dem internen CAD-Modell abgeglichen und angepasst

Die Steigungsbereiche werden mittels intelligenten Objekten eingeplant. Das hier 3D-Modelldaten der TGA zur visuellen Kontrolle wie auch Clash-Detection zum Einsatz kommt ist selbst verständlich.

Das nun mit den TGA-Informationen erweiterte CAD-Modell dient als Grundlage für die weiteren Fachplanungen. Die Übergabe an den Statiker erfolgt mittels DWG der diese Daten dann zur Erstellung des Positionsplans weiterbearbeitet und darauf basierend die statische Berechnung des Gebäudes erstellt.

Nach abgeschlossener TGA-Planung und der statischen Berechnung wird das CAD-Modell nun durch diese finalen Ergebnisse erweitert. Die statischen Elemente wie Träger/Stützen werden eingegeben damit diese als digitale Information in dem Modell anhängen. Gleiche passiert auch mit dem TGA-Elemente die als IFC angehängt werden oder in eigenen CAD-Systemen wie z.B. AECO-SIM/Viega modelliert werden.

Das «BIM-Modell» wird nun als IFC exportiert und wird dann in die Fertigungssoftware Dietrich importiert Diese Schnittstelle wird ständig Verbessert werden. Die Stammdaten der Bauteile wie Wände/Stütze/Objekte/Einbauelemente/... werden hierzu im Vorfeld abgestimmt damit die Übergabe verlustfrei funktioniert.

In der Fertigungssoftware Dietrichs wird nun in kürzester Zeit aus den übergebenen Daten eine 3D-Planung aller Hölzer und den Plattenbelegungen erstellt. Daraus werden dann die Elementpläne für die Wände/Decken/Dächer generiert und zum Schluss die kompletten Maschinendaten für den Holzabbund/Plattenzuschnitt und den maschinellen Fertigungsprozess generiert.

Fazit

Durch eine integrale Fachplanung sowie den Grundlagen aus der 3-D-Konstruktion kann eine optimale Symbiose zwischen Baukonstruktion und Haustechnik entstehen. Die aufgezeigten Vorteile aus der aufwendigeren Planung gerechtfertigt den Mehraufwand der 3-D Konstruktion. Die saubere Ausplanung der einzelnen Gewerke führt des Weiteren dazu im Vorfeld Kollisionen zwischen Baukonstruktion und Haustechnik auszuräumen und somit auch aufwendige Umbauarbeiten auf der Baustelle zu vermeiden. Dies führt wiederum zu einem reibungsfreien Bauablauf, welcher sich in der Kosten- und Zeitqualität widerspiegelt. Die energetischen Vorteile des Holzbaus sowie die Möglichkeit der Vorfertigung einzelner Bauteile oder Baugruppen (Module) hebt diese Bauweise zusätzlich hervor.

Von der Planung bis zur Ausführung: Eine Gesamtbetrachtung von BIM im Holzbau

Philipp Zumbrunnen
EURBAN Limited
London, UK



Von der Planung bis zur Ausführung: Eine Gesamtbetrachtung von BIM im Holzbau

1. Was ist BIM?

BIM steht für «Building Information Modeling» oder zu Deutsch Gebäudedatenmodellierung und beschreibt eine Methode der optimierten Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Gebäuden mit Hilfe von Software. Dabei werden alle relevanten Gebäudedaten digital erfasst, kombiniert und vernetzt. Das Gebäude ist als virtuelles Gebäudemodell auch geometrisch visualisiert. Building Information Modeling findet Anwendung sowohl im Bauwesen zur Bauplanung und Bauausführung als auch im Facilitymanagement.

BIM wird teilweise auch als «Building Information Management» oder BIMM «Building Information Management and Modeling» beschrieben. Da es sich bei BIM nicht einfach nur um ein Computermodell handelt, sondern vielmehr um einen Prozess.

Dies ist sehr wichtig da es nicht einfach nur um eine CAD-Anwendung geht sondern um eine neue oder angepasste Arbeitsweise. Zeichnungen und Pläne werden in ihrer digitalen Form mit etlichen Zusatzinformationen versehen daher wird auch immer wieder der Begriff BuildingSMART verwendet.

Mit BIM werden die verschiedenen Projektbeteiligten verbunden, um Informationen leichter und verlässlicher auszutauschen. Die BIM-Plattform soll als gemeinsame Informations- und Arbeitsplattform verwendet werden.

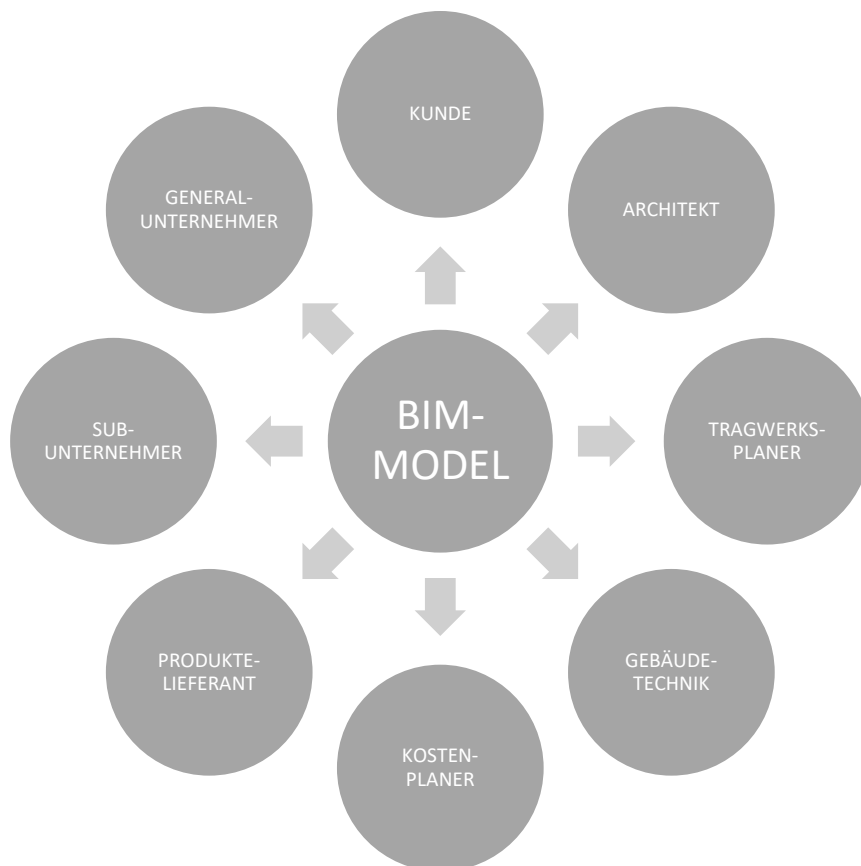


Abbildung 1: BIM als Plattform

1.1. Levels von BIM

Im Zusammenhang mit BIM wird immer wieder von verschiedenen Levels gesprochen, diese sind in der Abbildung 2 dargestellt und beschreiben hauptsächlich wie weit fortgeschritten die Kollaboration der verschiedenen Projektbeteiligten ist.

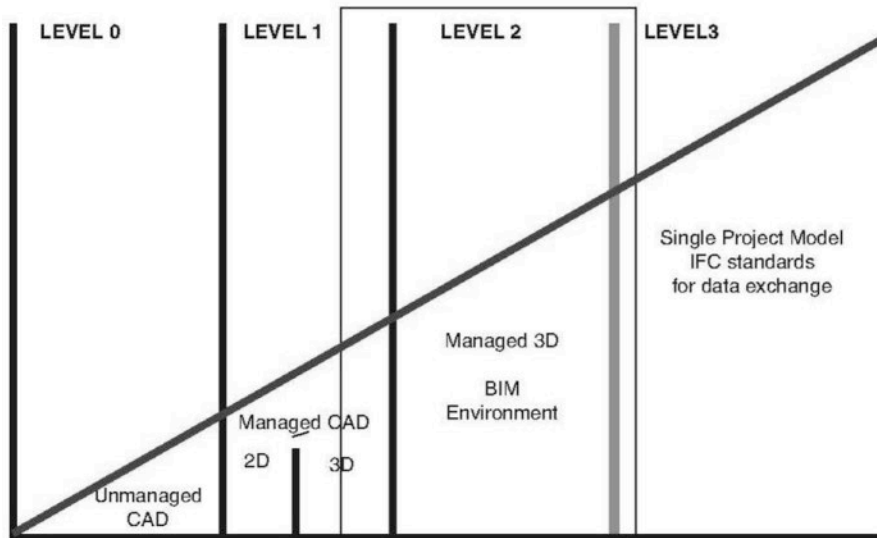


Abbildung 2: BIM-Levels

Level 0 ist eigentlich nicht BIM, hier handelt es sich um einzelne 2D-CAD Zeichnungen und Pläne. Diese werden unabhängig voneinander in digitaler Form erstellt und es besteht keine Verlinkung oder Abhängigkeit zwischen den einzelnen Dateien. Diese Level wird hier nur aufgeführt, da die Digitalisierung die Basis für BIM darstellt.

Level 1 ist der erste Schritt von BIM, Zeichnungen und Pläne werden im 3D-CAD erstellt. Auf dessen Basis werden, dann 2D Pläne erstellt. 2D und 3D können hier auch schon zu einem gewissen Masse miteinander verlinkt sein, müssen aber nicht. Eine komplette Verlinkung und Integration erfolgt erst bei Level 2. Jede am Projektbeteiligte Partei arbeitet hier in ihren eigenen Dateien und es erfolgt kein Austausch von 3D Dateien. Es werden immer noch traditionelle Planunterlagen erstellt und mit diesen kommuniziert. Daher wird es auch häufig als «Lonley BIM» bezeichnet.

Level 2 ist das erste richtige BIM, welches auch schon von gewissen Bauherren gefordert wird. Hier werden die Dateien miteinander verlinkt und Daten von anderen Projektbeteiligten werden integriert. Darum wird es auch als «Managed 3D» bezeichnet. Daten werden innerhalb des Projektteams ausgetauscht aber jeder hat sein eigenes Modell daher wird dies «BIM Environment» genannt. Es findet eine enge Kooperation zwischen den Mitgliedern des Projektteams statt aber auf einer eigen ständigen Basis. Je enger diese Zusammenarbeit ist desto näher rückt man an BIM Level 3 ran.

Beim Level 2 werden auch andere Softwares, wie zum Beispiel Statik Programme, in den Prozess mit eingebunden. Wichtig ist hier, dass ein verbindliches Protokoll zum Datenaustausch erstellt und befolgt wird.

Level 3 und höher hier ist das Ziel, dass nur noch ein gemeinsames Live Modell besteht. Alle Beteiligten arbeiten zur gleichen Zeit in demselben Modell. Dies ist aber heute aus verschiedenen Gründen nicht oder nur sehr schwer möglich. Meist wird auf einem regelmäßig aktualisierten Modell gearbeitet. Dies Bedarf einem strengen Protokoll und einer guten Koordination zwischen den beteiligten. Dies erfordert einen BIM-Koordinator, welcher diese Rolle übernimmt.

Beim Level 3 gibt es auch noch haftungs- und vertragstechnische Hürden, welche geklärt werden müssen bevor diese auch angewendet werden kann.

1.2. BIM-Arten

3D BIM ist die einfachste und meist verbreitet Form von BIM. Es ist die dreidimensionale Darstellung des Bauprojektes in digitalisierter Form. Alle Komponenten werden in 3D-CAD modelliert, wie es heute schon sehr üblich ist.

4D BIM hier wird der Bauablauf in das 3D-Modell integriert. Damit wird ersichtlich wann und wo welche Arbeit ausgeführt wird. Diese ermöglicht eine Optimierung und 3D-Darstellung des Bauablaufes. Dies wird heute vor allem für die Baustellenlogistik und zu Informationszwecken angewendet.

5D BIM die Kostenplanung wird in das 4D-Modell integriert um eine genauere Kostenplanung und Kostenkontrolle zu erhalten. Es soll auch die Auswirkungen von Änderungen oder Optimierungen auf die Kosten zeigen. Wird heute meist nur für einzelne Gewerke und nicht für das Gesamtprojekt angewendete.

6D BIM beinhaltet Information für die Wartung und den Betrieb des fertigen Gebäudes. Dies wird zur Unterstützung des Facility Managements gebraucht. Diese wird heute immer mehr von öffentlichen und professionellen Bauherren gefordert. Es ermöglicht den Betrieb und Unterhalten besser zu kontrollieren und optimieren.

1.3. Normen und Standards

Die Normierung und Standardisierung hinkt der Praxis leider noch hinterher. In Grossbritannien gibt es bis jetzt nur eine Norm (BS 1192-1) die sich mit dem Thema befasst. Diese ist aber sehr generell und regelt nur sehr oberflächlich das kollaborative Arbeiten.



Abbildung 3: BIM Normen / Standards

Weitere Dokumente, sogenannte «PAS Documents», sind bereits im Umlauf. Hierbei handelt es sich um eine Art «Vornorm». Diese gehen mehr in die Tiefe und sind spezifisch auf BIM ausgelegt.

Eines der Probleme bei der Normierung ist der Zeitfaktor und die Geschwindigkeit mit der die Industrie voranschreitet. Die Britische Regierung verlangt, dass ab April 2016 alle öffentlichen Bauprojekte nach den Standards von Level 2 BIM umgesetzt werden. Nur ist hier die Frage nach welchem Standard. Daher wird von mehreren Seiten mit Hochdruck

an der Ausarbeitung dieses Standards gearbeitet. Sehr gut ist hier, dass sich die Industrie aktiv bei der Ausarbeitung von Normen und Standards beteiligt.

Die grösste Herausforderung wird mit Sicherheit die europäische Harmonisierung sein. Da die verschiedenen Länder auf sehr unterschiedlichem Niveau bei der Umsetzung von BIM sind. Zudem sollte die Harmonisierung nicht nur Europa sondern die ganze Welt umfassen.

1.4. Software und Schnittstellen

Die Software und die Schnittstellen sind ein entscheidender Punkt für die erfolgreiche Umsetzung von BIM in der Praxis und zugleich auch eines der grössten Hindernisse.

Leider hat sich bis heute noch keine durchgängig funktionierende Schnittstelle durchgesetzt, welche dringend notwendig ist. Die verschiedenen Projektbeteiligten verwenden die unterschiedlichsten Programme und daher kann die Kommunikation nur über Schnittstellen erfolgen.

Die meist verbreitete und bekannteste Software für BIM ist mit Sicherheit REVIT von der Firma Autodesk, diese wird meist von Architekten und Ingenieuren verwendet. Jedoch verwenden diese auch immer mehr Generalunternehmer und Kostenplaner. Im Architekturbereich wird auch ArchiCad und Vektorworks sehr häufig verwendet. Die Haustechniker verwenden meist spezialisierte Programme oder auch immer häufiger REVIT.

Im Holzbau gibt es verschiedene Programme die eigentlich der BIM-Idee entsprechen, wie zum Beispiel Cadwork, Dietrichs oder HSBCad. Diese Programme erfüllen die meisten Anforderungen die an ein Programm für die Arbeitsweise mit BIM gestellt werden.

Es besteht heute teilweise ein sehr grosser Druck, dass alle mit der gleichen Software arbeiten sollen, dies ist aber nicht möglich und auch nicht das Ziel von BIM. Es ist daher unerlässlich, dass eine gemeinsame und funktionierende Schnittstelle gefunden wird. Dies bedarf einer Kollaboration aller Softwarehersteller, damit diese auch von allen anerkannt und gepflegt wird.

Die heute meist verbreitete und am besten funktionierende Schnittstelle ist das IFC, welches genau für diese Zwecke entwickelt wurde. Leider wird sie nicht von allen Herstellern gleich aktiv benutzt.

Es gibt auch verschiedene Programme für die Zusammenführung und Kontrolle von IFC Dateien. Diese sind wichtig um die verschiedenen Dateien in ein Gesamtmodell zu bringen und eine sogenannte «Clash detection» durchzuführen. Weit verbreitet ist hier die Software Solibri oder Navisworks von Autodesk.

Für die richtige Umsetzung von BIM brauchte es aber neben der CAD-Software noch viele andere Komponenten, wie zum Beispiel im Bereich Ausschreibung, Terminplanung, Datenbanken und vielen anderen. Es ist wichtig und immer wieder vor Augen zu führen BIM ist keine Art wie man Zeichnungen erstellt, sondern wie man ein Gebäude plant, baut und unterhält. Daher ist das Zusammenspiel und Kompatibilität der einzelnen Komponenten essenziell. Information ist nur sinnvoll wenn diese weitergegeben und verwendet werden kann.

2. BIM im Holzbau

- Wie steht es mit BIM im Holzbau?
- Sind wir bereit dafür?
- Was sind unsere Chancen?
- Was für Risiken bringt BIM für den Holzbau?

Diese und andere Fragen werden immer wieder gestellt, wenn es um BIM geht. Wir müssen auch zugeben, dass viele gar nicht wissen was BIM ist. Und es geht auch eine gewisse Angst umher in Bezug auf BIM.

Doch eigentlich sind wir im Holzbau schon sehr weit, was das Thema BIM betrifft. Der Holzbau ist anderen Handwerkern im Hinblick auf BIM voraus. Es wird ja auch schon seit einiger Zeit in vielen Betrieben eingesetzt aber meist ohne es zu wissen.

Die Verwendung von CAD/CAM ist im Holzbau weitverbreitet und dies entspricht in gewissen Zügen eigentlich auch BIM. Es handelt sich hier meist um ein Level 1 oder auch «Lonley BIM» genannt. Auch werden schon immer häufiger 3D-Dateien mit anderen Gewerken ausgetauscht und koordiniert.

Daher kann man sagen wir können im Holzbau mit BIM arbeiten oder besser gesagt wir arbeiten schon damit.

2.1. Wo stehen wir heute?

Die Digitalisierung im Holzbau hat in den letzten Jahren extrem zugenommen und unsere Arbeitsabläufe haben sich geändert. Pläne werden nicht mehr von Hand im 2D Format auf Papier gebraucht. Wir verwenden vernetzte System und integrieren verschiedene Komponenten wie CAD/CAM, Terminplanung, ERP und andere.

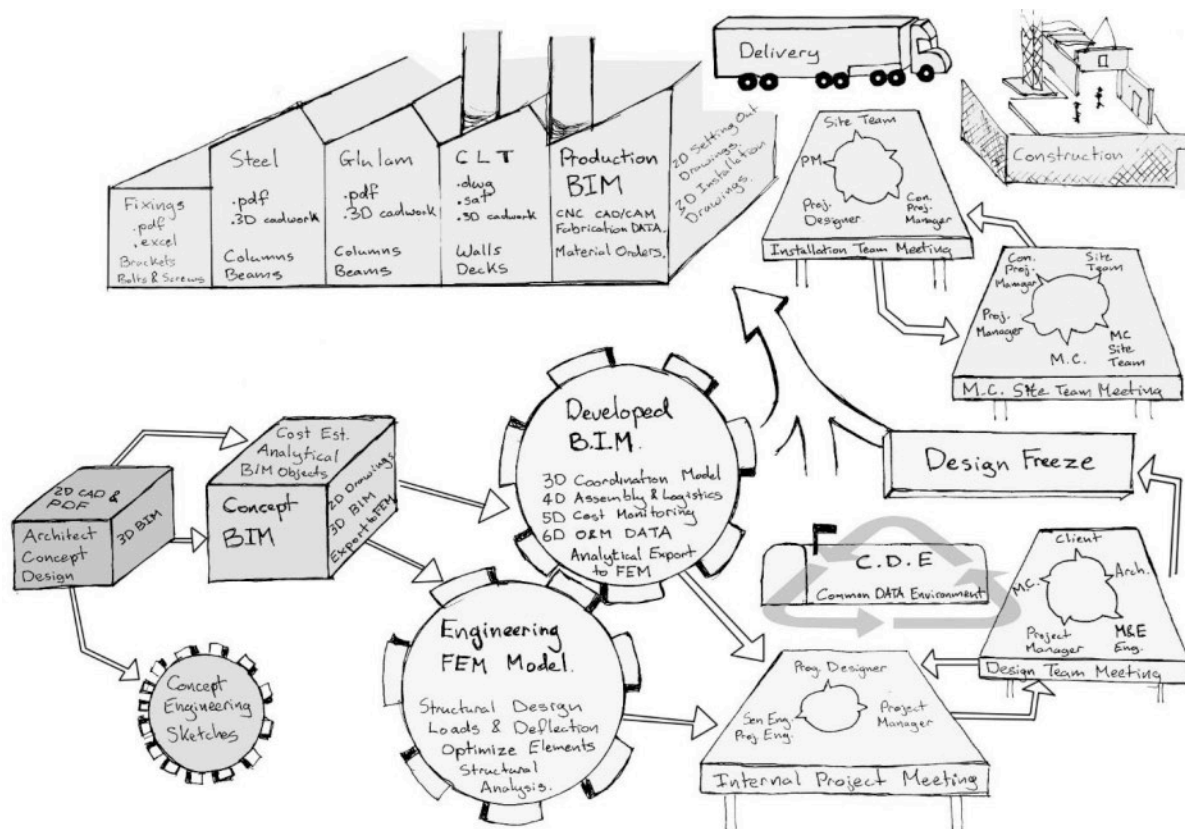


Abbildung 4 Arbeitsablauf von der Planung bis zur Montage

Unsere internen Prozesse entsprechen schon sehr dem BIM-Gedanken. Die Planung wird auf eine zentrale 3D-Datei abgestützt und möglichst alle Informationen werden darin eingebaut und auch wieder aus dieser rausgezogen. Wir benutzen diese Information für mehr als nur um Pläne zu erstellen. Angebote werden heute bereits mit Hilfe von Daten aus 3D Dateien erstellt, dies entspricht dem Gedanken von 5D BIM und der Integration der Kosten. Baustellenlogistik wird das Prinzip von 4D BIM verwendet, hier wird die Zeit

als zusätzliche Ebene hinzugefügt. Die geschieht meist in einem geschlossenen System also im eignen Betrieb. Vermehrt werden aber auch Zulieferer direkt in dieses System miteingebunden und haben Zugriff auf diese Informationen.

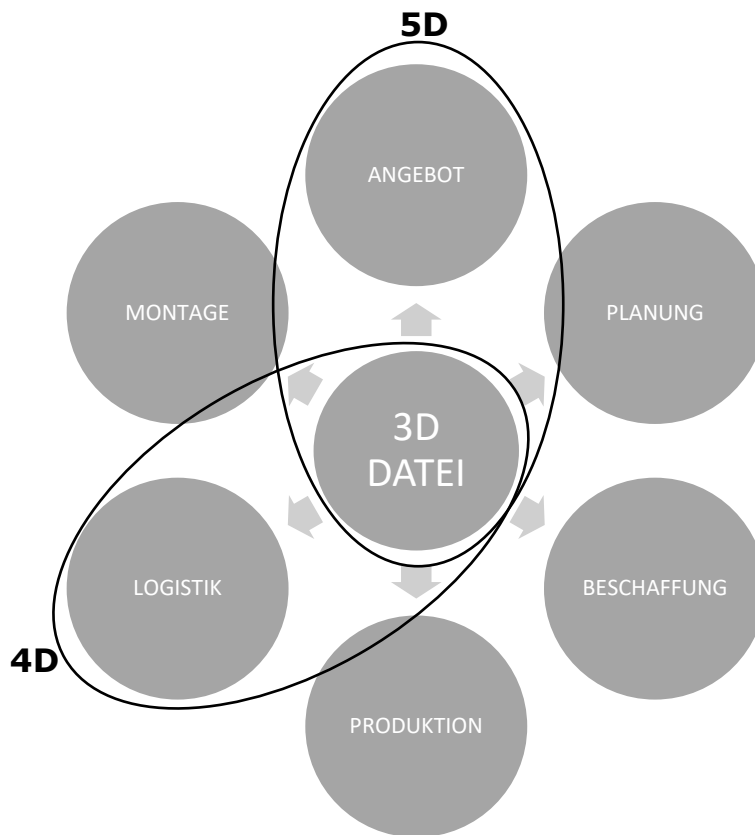


Abbildung 5: Einbindung der 3D Information

Das kollaborative arbeiten, welches eine der Grundideen von BIM ist, wird im Holzbau auch immer mehr angewendet. Dateien werden mit den Architekten und Haustechnikplanern ausgetauscht wo durch eine einfachere und schneller Koordination entsteht. Aber wie bereits erwähnt ist dies auf Grund von fehlenden oder nicht optimalen CAD-Schnittstellen noch sehr umständlich. Hier besteht noch der grösste Bedarf der Entwicklung damit wir BIM komplett umsetzen können.

2.1. Wo liegen die Vorteile von BIM?

Das Arbeiten in 3D-Programmen ist im modernen Holzbau heute nicht mehr wegzudenken. Es bietet enorme Vorteile bei der Planung und Umsetzung von Bauprojekten und dies nicht nur bei grossen und komplexen Bauten. Auch bei kleineren Projekten kann die Produktivität erhöht werden.

Die 3D-Dateien werden mehr und mehr in die Arbeitsabläufe integriert. Maschinen können daraus direkt angesteuert werden und auch die Materialbeschaffung kann auf diesen basieren. So können Produktionsabläufe und Materialausnutzung optimiert werden. Viele Materiallieferanten können auch direkt mit diesen Daten weiterarbeiten wodurch die doppelten Arbeiten reduziert werden können.

Auch in der Planung können CAD- und Statik Programme mit einander verlinkt werden und Geometrien direkt ausgetauscht werden. Dies spart Zeit und reduziert mögliche Fehler. Dieser Austausch erfolgt heute schon ziemlich problemlos, da es sich meist um Programme spezifisch für den Holzbau handelt.

Der interne Planungsprozess wird durch die Verlinkung der 3D- und 2D-Dateien auch beschleunigt und die Kontrolle wird vereinfacht. Änderungen werden automatisch oder halbautomatisch in die anderen Dateien übertragen. Die 3D-Dateien werden heute auch vermehrt direkt auf der Baustelle für die Montage verwendet. Sei es für die Verwendung mit einem Tachymeter oder direkt als CAD-Datei für das Montageteam. Hier besteht sicher

noch enormes Entwicklungspotenzial durch die voranschreitenden Technologien im IT-Bereich. Die Verwendung von Tablets und Smartphones ist hier sicher erst am Anfang. Die Koordination mit anderen Mitgliedern des Planungsteam kann durch die Verwendung auch vereinfacht und Beschleunigt werden. Teilweise hilft hier nur schon die Darstellung im 3D für die Diskussion und das bessere Verständnis. Der komplette Datenaustausch zwischen den Planern und Unternehmern birgt noch vielmehr Nutzen und sollte in Zukunft sicher verstärkt und gefördert werden.

2.2. Wo liegen die Risiken von BIM?

BIM ist ein sehr mächtiges Werkzeug, es muss aber richtig angewendet werden. Gewisse Arbeitsweisen und Vorgänge müssen geändert oder angepasst werden. Zudem ist es wichtig, dass alle Beteiligten die Möglichkeiten und Grenzen von BIM kennen und verstehen. Leider wird das Wort BIM heute sehr viel benutzt ohne überhaupt zu verstehen was es wirklich bedeutet.

Heute wird häufig 3D-CAD mit BIM gleichgesetzt und die Erwartung ist, dass planen im 3D schon BIM ist. Eine vorhandene 3D-Datei bedeutet aber noch lange nicht das nach den Grundsätzen von BIM gearbeitet wird. Es gibt ganz verschieden Gründe wieso ein 3D erstellt wird und auch wie es verwendet wird. Zum einen werden heute 3D's erstellt die nur zur Visualisierung dienen. solche können meist nicht für das Bauen verwendet werden. Ein 3D-Datei, welche für die Produktion verwendet wird, hatte ganz andere Anforderung und einen anderen Detaillierungsgrad. Dadurch entstehen Konflikte die nicht verstanden werden. Visualisierungen können sehr schnell erstellt werden und täuschen etwas vor, was in Wirklichkeit noch gar nicht so ist.

Eine weitere Herausforderung ist die Kompatibilität zwischen den verschiedenen Programmen und die Verwendung von Schnittstellen. Hier besteht noch sehr viel Entwicklungsbedarf und eine Zusammenarbeit der verschiedenen Hersteller. Leider wird er Markt heute von der Firma Autodesk mit ihrem Programm REVIT sehr stark dominiert. Dadurch steigt der Druck von Kundenseite, dass alle mit diesem Programm arbeiten. Dies ist aber für den Holzbau nicht sehr praktikabel und auch nicht die Idee von BIM, es sollen verschiedene Programme zusammenarbeiten können. Dadurch könne die Programme auf die Bedürfnisse der Anwender angepasst werden. Ein einziges Programm wird niemals die gesamte Spanne abdecken können.

Um BIM umzusetzen und deren Vorteile richtig zu nutzen muss von Beginn weg eine Strategie erarbeitet werden und diese auch rigoros umgesetzt werden. Dies Bedarf der Einbeziehung aller Beteiligten. Es sollte auch ein sogenannter BIM-Koordinator bestimmte worden oder als separates Mitglied im Planungsteam beauftragt werden. Diese Kosten werden häufig eingespart oder man erwartet dies einfach so von den Planern. Unter diesen Voraussetzungen kann BIM nicht funktionieren. Es werden eine genaue Planung und Kontrollen für die Umsetzung benötigt.

BIM wird von der Kundenseite häufig als Möglichkeit gesehen Geld einzusparen. Es wird aber nicht beachtet, dass für die erfolgreiche Umsetzung andere Wege gegangen werden müssen. Es kann Geld eingespart werden aber die Planung muss viel früher und intensiver betrieben werden. Dies heisst, es muss mehr Geld zu Beginn des Projektes ausgegeben werden.

2.3. Was müssen wir verbessern?

Für die Zukunft des Holzbaues wird es sehr wichtig sein, dass wir uns gerade im Bereich BIM weiterbilden und Spezialisten aus diesem Bereich in die Betriebe holen. Dies werden häufig Leute aus dem Architektur- oder Haustechnikbereich sein. Diese sind zwar keine Holzbauspezialisten aber sie verstehen unsere Partner im Planungsteam meist besser als wir Holzbauer. Der Erfolg von BIM hat nicht nur mit der CAD-Software und dem eigentlichen Prozess zu tun. Die richtige Zusammenarbeit ist hier der ausschlaggebende Punkt. Wir müssen uns mehr öffnen und unsere eigenen Teams mehr mit auswertigem Wissen verstärken.

Das Wissen über BIM muss in der gesamten Baubranche verstärkt werden damit die Möglichkeiten und Grenzen besser aufgezeigt und verstanden werden. Dies muss von allen Seiten vorangetrieben werden. Daher ist es wichtig, dass wir unsere Möglichkeiten und Grenzen selber sehr genau kennen und diese auch klar vermitteln können. Dies muss

bereits zu Beginn eines Projektes geschehen um die Prozess der beteiligten auf einander abzustimmen.

Im Bereich Software muss sicherlich noch sehr viel getan werden um die bestehenden Hürden abzubauen. Es wird auch zunehmend wichtiger mit verschiedenen Softwares zu arbeiten. Da es Momentan noch nicht möglich ist alles mit unseren Holzbauspezifischen Programmen zu bewältigen. Wir müssen uns auch vermehrt mit unseren Softwareherstellern zusammensetzen und gemeinsam Lösungen suchen. Im CAD/CAM Bereich wurde dies schon sehr erfolgreich umgesetzt, es gibt also keinen Grund es hier nicht auch zu bewältigen.

Das vermehrte Arbeiten mit BIM wird sicherlich auch gewisse Arbeitsvorgänge verändern, dies sollte aber als Chance und nicht als eine Bedrohung wahrgenommen werden. Der gesamte Holzbau ist in einem Wandel schon auf Grund der grösseren und komplexeren Projekt die ausgeführt werden. Dies hat unumstritten einen Strukturwandel im Holzbau zur Folge, wir werden uns vermehrt den Grossen Generalunternehmern annähern und in gewissem Masse auch anpassen müssen.

3. FAZIT

BIM ist mit Sicherheit eine grosse Herausforderung für die gesamte Bauindustrie. Der Holzbau muss sich aber nicht verstecken oder davor fürchten. Bereits heute erfüllen wird schon viele Prozesse von BIM und wenden diese auch an. Unser hohes Mass an Vorfertigung und Automatisierung entspricht dem Gedanken von BIM. Daher sind wir im Vergleich zu anderen in der Baubranche gut mit dabei. BIM ist für den Holzbau mehr eine Chance als ein Risiko.

BIM ist aber nicht ein Wundermittel und bedarf einer komplexen Koordination zwischen den Beteiligten. Hier besteht eines der Grössten Risiken. Der Prozess wird häufig nicht komplett verstanden und daher auch nicht richtig angewendet. Durch BIM können Kosten eingespart werden aber Kosten werden auch verschoben. Der Kostenaufwand am Beginn des Projektes wird grösser um später wieder eingespart zu werden. Dies muss von allen Beteiligten verstanden und umgesetzt werden.

BIM kann nur erfolgreich umgesetzt werden, wenn es richtig angewendet wird. Es muss in die Schulung von bestehendem Personal investiert werden. Ausserdem müssen auch BIM-Spezialisten aus anderen Bereichen das Team verstärken. Es ist genau wie bei anderen automatisierten Prozessen, die Maschine ist nur so gut wie der Anwender.

IHF-Prolog III

Holzhausbau-Forum

Digitale Transformation im Unternehmen gestalten:
Herausforderungen erkennen, Chancen nutzen

Die Sharing Economy – Ein Wachstumsmarkt mit großem Potential

Tanja Eschberger
LEAD Innovation Management GmbH
Wien, Österreich



Die Sharing Economy – Ein Wachstumsmarkt mit großem Potential

1. Definition

Der Begriff der Sharing Economy meint das systematische Ausleihen von Gegenständen und gegenseitige Bereitstellen von Räumen und Flächen, insbesondere durch Privatpersonen und Interessensgruppen. Im Mittelpunkt steht die Collaborative Consumption, der Gemeinschaftskonsum.

Bereitgestellt und ausgeliehen werden diese Güter und Dienstleistungen meist auf Online Plattformen.

1.1. Die Idee

Die Idee hinter dem Konzept der Sharing Economy ist, nicht genutzte Güter, aber auch verfügbare Zeit weiterzugeben. So muss man als NachfragerIn ein Produkt nicht unbedingt kaufen, sondern kann es heutzutage ganz unkompliziert auf einer Online Plattform ausleihen. Hat es seinen Zweck erfüllt, wird es zurückgegeben und es steht im nächsten Moment schon wieder der Allgemeinheit zur Verfügung. Die Vorteile liegen klar auf der Hand: Die Nachfragenden sparen sich die Kosten für die Anschaffung, Wartung und Entsorgung, denn das ist Teil des Service.

KonsumentInnen haben erkannt, dass sich durch Sharing Konzepte der finanzielle Aufwand stark reduzieren lässt ohne dabei auf Qualität verzichten zu müssen. Ganz im Gegenteil. AnbieterInnen setzen in vielen Fällen auf höchste Qualität ihrer Produkte, denn das gewährleistet ihnen, das Maximum aus dem Konzept der Vermietung herauszuholen. Auch der Aspekt der Nachhaltigkeit ist vielen NachfragerInnen wichtig und wird durch die Robustheit sowie die lange Lebensdauer der Produkte berücksichtigt.

PwC hat 2018 eine Studie veröffentlicht, aus der hervorging, dass bereits 47 % aller ÖsterreicherInnen Sharing Angebote nutzen und jede/r 4. selbst ein Produkt oder eine Dienstleistung auf einer Plattform zur Verfügung stellt. Als Hauptgrund für die Nutzung wurde die Kostenersparnis angegeben, am zweitwichtigsten war den Befragten das Schonen der Umwelt.

1.2. Die Umsetzung

Mithilfe von Sharing Plattformen und Social Media haben AnbieterInnen die Gelegenheit, ihre Angebote optimal zu managen. Willhaben oder EBK beispielsweise, bieten EigentümerInnen auf einfachstem Weg die Möglichkeit, Produkte und Dienstleistungen zu teilen und dabei von einer großen Reichweite zu profitieren. Auch die auf unterschiedlichste Themen spezialisierte Gruppen in sozialen Netzwerken geben oft Zugang zu einem enormen Interessentenkreis. Durch die Tatsache, dass in Echtzeit interagiert wird, erzielen AnbieterInnen bei entsprechender Nachfrage eine möglichst lückenlose Auslastung.

Bewertungen, die AnbieterInnen und NachfragerInnen auf den Plattformen gegenseitig abgeben und im Profil der jeweiligen Person für InteressentInnen einsehbar sind, schützen die Konzepte vor missbräuchlicher Verwendung.

2. Aktuelle P2P Sharing Konzepte

2.1. Wohnraumsharing

Durch die Begeisterung unter KonsumentInnen, erfreuen sich Sharing Economy Plattformen derzeit größter Beliebtheit. Dabei sind viele der Konzepte nicht wirklich neu, erscheinen durch den Boom aber in ganz neuem Glanz. Plattformen zur privaten Vermietung von (Ferien-)wohnungen gab es schon vor 15 Jahren. Durch Wohnraumsharing Plattformen wie Airbnb oder Couchsurfing erlebten diese in den letzten Jahren jedoch einen immensen Aufschwung. Das Angebot an Wohnungen und Häusern ist enorm und den

Wünschen sind im Prinzip keine Grenzen gesetzt. Airbnb bietet NachfragerInnen jede nur erdenkliche Übernachtungsmöglichkeit. Möglich ist (fast) alles. Vom modernen City Apartment in Down Town, dem Nächtigen in einem alten Leuchtturm, Klostergewölbe oder Bauwagen über die luxuriöse Ferienvilla mit eigenem Strandzugang bis zum gemütlichen Baumhaus im Outback, gibt es Angebote für jeden Geschmack. Unvergessliche Urlaubserlebnisse, wie den Blick auf den perfekten Sonnenuntergang von der eigenen Terrasse aus oder das Opossum, mit dem man sich den Frühstückstisch teilt, inklusive. Und das oft schon für wenig Geld. Trotzdem erzielt Airbnb derzeit mit umstrittenen Ganzjahresvermietungen kompletter Wohnungen die höchsten Wachstumsraten. Sie stiegen im Vorjahr um drei Prozent auf 27 Prozent, während Privatzimmervermietungen von 25 auf 22 Prozent gesunken sind. Auch die Teilzeitvermietungen waren leicht rückläufig und sanken von 47 auf 46 Prozent.



Abbildung 1: Stelzenhaus im Wald aus dem Angebot von Airbnb

2.2. Mobilität

Aber nicht nur Wohnraum wird geteilt. Ein weiteres, derzeit äußerst beliebtes Beispiel ist Carsharing. Auf Konzepte wie Car2Go, Flinkster oder Drive Now, die NutzerInnen ermöglichen, jederzeit ein Auto auszuleihen, ohne dabei an Erhaltungskosten oder Garagenplätze denken zu müssen, möchten KonsumentInnen nicht mehr verzichten. In Deutschland hatten Car2Go, Flinkster und Drive Now 2018 rund 2,46 Millionen Nutzer. Das waren 350.000 mehr als im Jahr davor und entspricht einem Anstieg von ca. 17 Prozent. Die Flotte wurde erweitert und stieg um 12,5 Prozent auf mehr als 20.000 Autos. Am beliebtesten sind in Deutschland Freefloater, also Autos ohne fixen Standort, die überall zurückgegeben werden können. Bei ihnen gab es 2018 ein Plus von etwa 15 Prozent. Noch größer war das Wachstum beim stationsbasierten Carsharing. Hier konnte ein Anstieg von 21,5 Prozent verzeichnet werden.



Abbildung 2: Leihfahrräder in der Großstadt

Uber ist als größter Taxi Konkurrent höchst erfolgreich und Plattformen, wie Drivy oder Snappcar, auf denen AutobesitzerInnen ihren privaten PKW der Allgemeinheit zur Verfügung stellen, werfen bei NachfragerInnen den Gedanken auf, ob sich ein eigenes Auto überhaupt noch lohnt.

Der Fahrradverleih Citybike bietet Menschen in Wien die Möglichkeit, sich an einer von etlichen Citybike Stationen ein Fahrrad auszuleihen und es nach Gebrauch an jeder beliebigen Station zurückzugeben. In diesem Jahr werden es mit ziemlicher Sicherheit die E-Scooter, wie die der Marke Lime oder Hive sein, die sich über enorme Wachstumsraten freuen dürfen.

2.3. Freizeit

Eislaufschuhe, Ski und Snowboards werden von vielen Sportbegeisterten schon lange selbstverständlich ausgeborgt. Nicht nur aus Kostengründen wird ausgeliehen, sondern auch, weil insbesondere leidenschaftliche SkifahrerInnen immer wieder die neuesten Modelle testen möchten.

Sporthandelsmärkte kündigen bereits an, demnächst auch technisches Equipment für Wandernde, wie GoPros oder Navigationsgeräte verleihen zu wollen. Das österreichische Foto-, Optik-, Hörgeräte und Elektronikhandelsunternehmen Hartlauer verleiht tagesweise Fotoausrüstung jeder Preisklasse.

Doch auch kleinere und weniger kostenintensive Güter werden geteilt. Auf Verkaufsplattformen wie Willhaben.at oder EBK, aber auch in Tausch- und Schenkbörsen wie Kleiderkreisel, Mamikreisel, Räubersachen oder diversen Gruppen auf Facebook finden Bücher, Schmuck, Kleidung, Handtaschen und vieles mehr neue BesitzerInnen. Der Stellenwert von Second Hand, Reparaturservices und Upcycling ist so hoch wie noch nie, Verschwendung im Zeitalter von «Climate Now» eigentlich schon verpönt. Kein Wunder also, dass, wenn es um «nutzen statt besitzen» geht, auf robuste, langlebige und reparaturfähige Produkte gesetzt wird. Denn eines ist klar. Sehr reparaturanfällige, wartungsintensive Produkte führen einerseits zu Unmut auf AnbieterInnen- und NachfragerInnenseite und andererseits früher oder später das ganze Konzept ad absurdum.



Abbildung 3: Auf die nächste Hiking Tour mit der geliehenen GoPro

3. Aktuelle B2B Sharing Konzepte

Während sich P2P Sharing fest im Alltag der NutzerInnen etabliert hat, sind B2B Sharing Modelle in vielen Branchen noch keine Selbstverständlichkeit. Die Sorge vor der Gefährdung von geistigem Eigentum ist groß, stehen Unternehmen doch seit jeher eher in Konkurrenz zu einander als sich gegenseitig zu unterstützen. Für viele ist es außerdem schwer vorstellbar, wie sich so ein Konzept in komplizierte interne Prozesse einfügen lässt.

Trotzdem werden die Vorteile in Zukunft vermutlich so stark überwiegen, dass Unternehmen massiven Druck verspüren, Sharing Modelle zu nutzen. Vorteile wären an dieser Stelle:

- zusätzliche Ressourcen
- schnelleres Reagieren auf Marktanforderungen
- Vorteile im Wettbewerb

Unternehmen, die der Sharing Economy offen gegenüberstehen, haben mehrere Möglichkeiten, von ihr zu profitieren. Produktionsstätten, die nicht 24/7 betrieben werden, und die mit flexiblen Fertigungstechnologien laufen, steht es frei, ihre Anlagen in Leerzeiten zu teilen. Genau diesen Umstand greifen die Plattformen V-INDUSTRY und fabrikado auf. Während V-INDUSTRY Unternehmen die Gelegenheit gibt, ihre Maschinen untereinander zu teilen, ermöglicht fabrikado das Zusammenfinden von Kundenaufträgen mit freien Produktionskapazitäten von Erstausrüstern.

In den folgenden Branchen ist das Teilen von Ressourcen schon fest etabliert:

3.1. Bauindustrie und Landwirtschaft

Branchenspezifische Verleihkonzepte finden sich seit langer Zeit in der Bauindustrie sowie in der Landwirtschaft, wo der gezielte Einsatz von Fahrzeugen, Maschinen und sonstiger Infrastruktur ermöglicht wird, ohne enorme Anschaffungs- oder Aufbewahrungskosten in Kauf nehmen zu müssen. Gerade in diesen Branchen wird oft ein spezifisches Gerät nur für kurze Zeit benötigt und läge dann unnötig in einem Lagerraum, der wiederum bezahlt werden muss. Durch Ressourcenteilung kann effizient gearbeitet werden, zudem stehen meist die neuesten Maschinen zur Verfügung. Wer seine Maschinen gerade nicht benötigt, stellt sie auf Klickrent anderen Unternehmen in der Bauwirtschaft zur Verfügung. Wer gerade ungenutzte Ausrüstung im Lager liegen hat, bietet sie anderen auf Yard Club, einer Plattform, die kürzlich von Caterpillar übernommen wurde, zur Vermietung an.

3.2. Technologie

In Technologiezentren wird oft die Infrastruktur geteilt und in der Start Up Szene ist es für viele JungunternehmerInnen eine klare Sache, in Co-Working Spaces zu arbeiten, um so beim eigenen Büro inklusive benötigter Infrastruktur einzusparen.



Abbildung 4: Co-Working Space

3.3. Aviation

Auch Fluggesellschaften haben schon lange den Vorteil der Sharing Economy erkannt. So teilen diese in Allianzen sowohl ihre Flugzeuge als auch ihren Service, um eine optimale Nutzung der Ressourcen zu erreichen.

3.4. Gesundheitsbereich

Wie B2B Sharing Konzepte im Gesundheitsbereich umgesetzt werden können, zeigt die Plattform Cohealo. In Zusammenarbeit mit Logistikpartnern bietet Cohealo Spitälern die Möglichkeit, teure Medizintechnik je nach Bedarf anzufordern und so die Investitionskosten zu senken. Über die Plattform kann das erforderliche Gerät in Echtzeit getrackt und gebucht werden.

3.5. Logistik

Die deutsche ELVIS AG vermittelt leere Ladeflächen in Frachtbörsen und unterstützt Logistikunternehmen, ihre Leerfahrten zu reduzieren. Speditionen sparen sich dadurch Leer- und Umwege, Stehzeiten, Lagerkosten und Ressourcen.

Unternehmen, die ungenutzte Lagerflächen haben, können diese über die Plattform Flexe vermieten und werden auf diesem Weg mit jenen Unternehmen verknüpft, die wiederum auf der Suche nach Stagemöglichkeiten sind.

Die Plattform Floop2 hat zum Ziel, alle Aspekte der Lieferkette zwischen Unternehmen auszutauschen. So können Unternehmen Asset Überschüsse, wie Fahrzeuge, Ausrüstung, Maschinen, Personal uvm. an andere Unternehmen, aber auch innerhalb einer Organisation weitergeben.

4. Architektur/Holzbau/Innenausbau

Vor allem junge ArchitektInnen nehmen das Angebot von Co-Working Spaces in Anspruch und profitieren von voll ausgestatteten Büros, die man sich mit anderen Selbstständigen teilt. Die Idee des Co-Working Spaces ist sicherlich noch erweiterbar. Denkbar wäre es, sich beispielsweise Modellbauwerkstätten inklusive Material und Equipment zu teilen oder in Zukunft eventuell 3D-Scanner oder -Printer. Hier überwiegen jedoch oft der Wettbewerbsgedanke und die Sorge gegenüber dem Schutz von Geschäftsgeheimnissen und Ideen. Möglicherweise liegt die Lösung in einem branchenübergreifenden Konzept.

Interessant sind sicherlich auch Sharingmodelle, wie sie unter den Punkten Bauindustrie oder Logistik beschrieben sind. Überschüssige Lagerflächen in Anspruch zu nehmen, aber auch zu vermieten oder der Verleih von ungenutzten Maschinen kommt höchstwahrscheinlich auch für viele Unternehmen im Holzbau und Innenausbau infrage.

Sehr wohl angekommen sind Sharing Konzepte in der architektonischen Umsetzung. Dadurch, dass gerade im urbanen Raum Fläche zu einem wertvollen Gut geworden ist, das für viele kaum mehr leistbar ist, setzen viele ArchitektInnen mittlerweile auf Wohnraumkonzepte, die darauf ausgelegt sind, möglichst viel Raum gemeinschaftlich zu nützen. Große Wohnküchen, Fitnessräume, Ateliers, aber auch Dachterrassen und Parkanlagen stehen dann allen BewohnerInnen zur Verfügung. Ein Beispiel aus der Praxis ist das Projekt «Schwabinger Tor» in München. Dieses setzt auf das Konzept des Nutzens statt Besitzens, sowohl den Wohnraum als auch die Mobilität betreffend. Den BewohnerInnen stehen dort sowohl Carsharing als auch Fahrräder zur gemeinschaftlichen Nutzung zur Verfügung.

5. Kritik

Während Sharing Konzepte von Privatpersonen meist ohne große Vorbehalte genutzt werden, steht die Wirtschaft der Sharing Economy, wie schon erwähnt, mit gemischten Gefühlen gegenüber. Ein Teil der Unternehmen hat seinen Platz in der Sharing Economy schon gefunden, sei es als AnbieterIn oder als NachfragerIn. Andere spüren die Auswirkungen dieser Konzepte auf negative Weise an den Umsätzen und fühlen sich, oft zurecht, von ihnen bedroht.

Aber auch aus informationsethischer Sicht bestehen Bedenken. Diese beziehen sich darauf, dass in erster Linie Personen Zugang zur Sharing Economy haben, die sich Zutritt zum Internet verschaffen können und dass es dadurch zu einer gewissen Ungerechtigkeit jenen gegenüber kommt, die diese Möglichkeit nicht haben.

Problematisch am sogenannten «Plattformkapitalismus» wird gesehen, dass, wenn große Plattformen in der Hand eines einzigen Besitzers sind, es so zu einer Monopolstellung kommen kann. Ein Akteur kreiert dann die Spielregeln für alle Teilnehmer, wodurch es zu

einem enormen Machtungleichgewicht kommt. Diese Konstellation kann in massiven wirtschaftlichen Problemen für ganze Branchen resultieren.

Alles in allem müssen sich Unternehmen jedoch vor Augen führen, dass es immer noch sie selbst sind, die entscheiden, über welche Kanäle sie ihre Waren oder Dienstleistungen anbieten. Ebenso sind KonsumentInnen dazu aufgerufen, ihr Konsumverhalten zu reflektieren und sich der Verantwortung bewusst zu sein, dass jeder Kassenbon gleichzeitig auch ein Wahlzettel ist. Diese Tatsache sollte Mut machen, denn sie stellt außer Frage, dass KonsumentInnen sich maßgeblich an der Gestaltung ihrer Umwelt, und das in vielerlei Hinsicht, beteiligen können.

6. Trend

Während die Grundlage der Sharing Economy, nämlich der Gedanke, Ungenutztes anderen zur Verfügung zu stellen, nichts wirklich Neues ist, ist es jedoch die Art und Weise, wie Anbietende und Nachfragende sich organisieren. Stetig neu aufkommende Kommunikationstechnologien wie mobile Geräte, Apps und Cloud-Dienste eröffnen NutzerInnen Möglichkeiten, die es vorher noch nie gab. Die Digitalisierung ermöglicht es Interessenten und EigentümerInnen mithilfe von Online Plattformen in Echtzeit zu kommunizieren und so enorm effizient zu arbeiten.

Gerade weil die branchenübergreifende Sharing Economy im europäischen B2B Bereich noch am Beginn ihrer Entwicklung steht, gibt es hier eine Vielzahl großer, noch unerschlossener Potentiale. Doch die Sharing Modelle wollen entdeckt und eingesetzt werden. Von daher geht ein Trend der Sharing Economy klar in Richtung branchenübergreifende Sharing Modelle für den B2B Bereich.

Aber auch im Privatbereich geht es weiter. Tesla Chef Elon Musk ist für seine zukunfts-trächtigen Ideen bekannt. Der Visionär hat Ende April angekündigt, dass er 2020 die ersten selbstfahrenden Taxis in Betrieb nehmen möchte. Geplant ist das «Tesla Network», in dem Tesla Besitzer ihre Fahrzeuge registrieren und diese, wenn sie gerade nicht benötigt werden, für autonome Taxifahrten zur Verfügung stellen. Auf diese Art und Weise würde sich das Auto laut Musk innerhalb weniger Jahre amortisieren und sich ab diesem Zeitpunkt sogar Geld mit ihm verdienen lassen.

Die Möglichkeiten der Sharing Economy sind noch lange nicht ausgeschöpft und KonsumentInnen dürfen gespannt sein, welche Modelle sich in den kommenden Jahren noch positiv aufs Urlaubsbudget auswirken werden.

Digitale Markenführung oder besser gesagt: Brand Humanization – Was Marken mit Dating zu tun haben

Dr. Judith Meyer
Brand Trust GmbH
Nürnberg, Deutschland



Digitale Markenführung oder besser gesagt: Brand Humanization – Was Marken mit Dating zu tun haben

Irgendwann werden alle Unternehmen digitalisiert sein – niemand wird sich damit mehr brüsten können. Was kommt dann? Auftrumpfen werden jene, welche die Digitalisierung von Anfang an richtig verstanden und implementiert haben: als Grundlage für größtmögliche Kundennähe, für «Brand Humanization».

«Jetzt schnell alles digitalisieren!» So reagieren häufig Mittelständler und Konzerne, die erst jahrelang gezögert haben und dann knallhart aufholen wollen. Sie sind der Überzeugung, dass sie sofort eine komplette Digitalstrategie brauchen. Aber ist das wirklich so? Analysieren wir das Ganze einmal Schritt für Schritt:

Aus der Makroperspektive betrachtet lässt sich zunächst feststellen: Digitalisierung ist im Grunde nur Mittel zum Zweck. Klar, sie ermöglicht das Vernetzen über Länder, Sprachgrenzen und Zeitzonen hinweg. Aber das ist keine Neuigkeit – schließlich befassen sich Unternehmen mittlerweile seit 30 Jahren damit.

Mittelfristig werden jene Unternehmen Vorsprung haben, die schon jetzt Pioniergeist beweisen und die Digitalisierung mutig als Chance sehen. Andere Unternehmen werden die digitale Transformation nicht überleben – immerhin geht es darum, die Komfortzone zu verlassen, alte Erfolgsmuster abzulegen und eine passende, erfrischte Unternehmenskultur aufzubauen.

Kommunikation, Prozesse, Beschaffung: Alles wird nach und nach digitalisiert, bis irgendwann das letzte Rädchen vernetzt ist und Unternehmen im Grenznutzenbereich angelangt sind. Darum sagen wir bei BrandTrust: Langfristig ist die Digitalisierung kein Wettbewerbsvorteil. Sie wird irgendwann Voraussetzung sein, ein Mussfaktor.

Weitblickende Unternehmer stellen sich daher die Frage:

- Was wird uns von unseren Wettbewerbern unterscheiden, wenn alles digitalisiert ist?
- Wie machen wir uns unterscheidbar? Was braucht wir dafür in Zukunft?

Die Digitalisierung hilft uns, besonders nah an die Kunden heranzurücken. Daten, Algorithmen und der Austausch im Social Web ebnen uns den Weg. Das Auswerten von Daten, die als «das neue Öl» gelten, wird zur Kerndisziplin.

Eines allerdings kann mit der Digitalisierung nicht imitiert werden: eine echte Beziehung. Wie bei Menschen entsteht diese, wenn zwei ein gleiches Werteset spüren und sich einander nähern. Allerdings müssen beide bereit sein, sich zu öffnen. Voraussetzung ist also: Nicht nur die Kunden, sondern auch die Marken müssen aus dem Nähkästchen plaudern, ihrem Gegenüber Geheimnisse anvertrauen und Wärme ausstrahlen.

Die Frage lautet also: Wie kann sich Ihre Marke öffnen? Was gilt es zu beachten?

1. Werte und Kultur bilden das Grundgerüst – und sind wichtiger denn je

Auch in der digitalen Welt bleibt es unerlässlich, Folgendes zu wissen: Wofür steht man? Wen möchte man anziehen? Haltung und Position sind im ersten Schritt der Digitalisierung entscheidend – und nicht die Technologie. Wenn der Austausch mit den Kunden auf lange Sicht gelingen soll, brauchen sie Klarheit über ihr Profil und ihr Werteset.

Es ist wie beim Erstellen eines Online-Dating-Profiles oder Tinder-Accounts: Man muss sich und seine Werte erst einmal genauer beschreiben. Zum Beispiel anhand seiner Vorlieben und Stärken. Das bloße Alter und die Geschlechtsangabe reichen nicht aus, damit das Gegenüber ein Gespür dafür bekommt, wer man eigentlich ist.

Auch eine Marke muss ihr Wesen klar zum Ausdruck bringen, konsequent über alle Markenkontaktpunkte hinweg – und immer auf die gleiche Art und Weise. Schließlich weiß man nie, wo man seiner nächsten Liebe begegnet. Und diese entscheidet in nur 1 bis 3 Sekunden, ob man ihr sympathisch ist und ein Anwärter für ein Tête-à-tête wäre!

2. Nähe und Zugänglichkeit signalisieren – Marken müssen unter die Haut gehen

Nach dem ersten Abtasten geht es für Marken darum, sich gänzlich auf das Gegenüber einzulassen. Sie müssen eine «neue Nähe» zu ihren Kunden aufbauen. Jene, die Kundenbeziehungen neu denken und sich auf die Qualität der Kontaktpunkte konzentrieren, werden auf Dauer von der Zufriedenheit ihrer Kunden profitieren: sowohl in den einzelnen Kaufphasen als auch in der Weiterempfehlungsrate.

Damit das gelingt, müssen Marken lernen zuzuhören. Nur so erfahren sie die Sehnsüchte, Kaufmotive und geheimen Wünsche der Konsumenten. Postwendend können sie dann passende Produkte und Leistungen entwickeln und weitere Chancen zur Wertschöpfung ausloten.

3. Hinter die Kulissen blicken lassen – Geheimnisse teilen verbindet

Sobald die Zuneigung gewachsen ist, wollen Kunden alles über die Marke wissen. Sie möchten Mitarbeiter erleben, die Räumlichkeiten sehen und bei Kampagnen-Shootings das komplette Setup miterleben (nicht nur dessen Ergebnis gezeigt bekommen). Sie wollen die perfekten wie dilettantischen Seiten kennenlernen. Mit nichtssagenden, unpersönlichen Stockphotos lassen sie sich nicht mehr abspeisen.

Damit das gelingt, brauchen Unternehmen und ihre Mitarbeiter ein ausgeprägtes digitales Mindset und ein Gespür für Authentizität: Es geht darum, sich zu öffnen und den Alltag in Echtzeit zu dokumentieren. So müssen Mitarbeiter befähigt werden, Kunden sofort in der Tonalität der Marke antworten zu können. Und sie müssen wissen, wo die Grenzen der Marke sind.

Es wird dazu kommen, dass ein Unternehmen nicht nur vorab geplante Social-Media-Posts produziert, sondern außerdem auf aktuelle Geschehnisse oder Kommentare reagieren muss. Auch in diesen Fällen muss die Handschrift der Marke glasklar sein. Die Nähe und Menschlichkeit, die sich dann erspüren lässt, verleiht der Marke eine unverkennbare Einzigartigkeit und lässt selbst den apathischsten Kunden zum Marken-Evangelisten werden.

4. Liebe funktioniert nur reziprok

Wer seinen ganzen Mut zusammennimmt und sich seinem Gegenüber mit einem «ich liebe Dich» offenbart, hofft nur auf eines: die prompte Bestätigung dieser drei wichtigsten Worte.

Sollte sich ein Kunde auf diese Weise vor seiner angebotenen Marke öffnen, muss diese sofort reagieren. Sie muss seine Likes und Kommentare sofort erwidern. Wenn sich der Fan sogar zu User-Generated-Content hinreißen lässt, ist das die größte Hommage. Dann fühlt er sich als Teil der Marke und treibt ihren Erfolg aus eigenem Antrieb voran.

5. In der Nähe liegt der Wettbewerbsvorteil

Die Digitalisierung ist mehr von der Unternehmenskultur abhängig als von der Strategie. Es braucht Werte und Wille, sich initial für eine Richtung zu entscheiden. Sobald ein Handlungsrahmen aufgebaut wurde, kann im 1. Schritt die Unternehmensspitze darauf vorbereitet werden: Sie muss ihren Führungsstil aus diesen Werten heraus entwickeln und eine Vertrauenskultur etablieren, die Veränderung zulässt. Nachdem die Mitarbeiter für die an der Marke ausgerichtete Kommunikation befähigt wurden, ist die Marke bereit, sich als authentisches Konstrukt seinen Kunden zu präsentieren, in Interaktion zu gehen und Einblicke zu gewähren.

Diese «Brand Humanization» schafft einen nachhaltigen Wettbewerbsvorteil jenseits technologischer Vergleichbarkeit.

Digitale Transformation: Bei diesen Themen drückt der Schuh

Rolf Baumann
Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft IdBH
Biel/Bienne, Schweiz



Digitale Transformation: Bei diesen Themen drückt der Schuh

1. Digitale Transformation bedingt Paradigmenwechsel

Am 9. Januar 2007 präsentierte Steve Jobs das iPhone. Für die Veränderungen, die das mit sich zog, gibt es in der Wirtschaftsgeschichte nichts Vergleichbares.



Abbildung 1: Die Welt dreht sich um 180° (Foto: Rolf Baumann)

Mit dem flexiblen, bedienungsfreundlichen, mobilen, kommunikationsfähigen Lifestyle-computer haben Sie heute mehr Rechenleistung im Hosensack, als die Apollo 8 für den Flug zum Mond zur Verfügung hatte (1968).

Im Sog des Smartphones konnten sich unzählige Technologien rasant entwickeln. Die 2011 gestartete Bewegung um Industrie 4.0 wäre ohne Smartphone wohl nicht oder mindestens nicht in dieser Dynamik entstanden.

Das Smartphone hat am Menschen sogar zu physiologisch messbare Veränderungen geführt. Wenn sich Menschen verändern, hat das nicht nur gesellschaftliche Auswirkungen, sondern auch wirtschaftliche:

- Es verändern sich die Kunden und damit die Marktbedürfnisse,
- aber auch die Mitarbeiter und damit die Arbeitskultur.

Durch die neuen Technologien und durch die massiv gesteigerte Leistungsfähigkeit von Computern sind heute Dinge möglich, die früher nicht möglich waren. Das ist neu in der Geschichte. Ob eine Säge manuell, mit Dampf oder elektrisch angetrieben wird, es ist im Grunde immer der gleiche Prozess, einfach schneller und präziser. Die Steuerung ist direktiv. Eine Person versteht und lenkt den Prozess.

Neu haben wir komplexe Systeme zur Verfügung, die wir nicht mehr vollständig beschreiben können, obwohl man vollständige Informationen über alle einzelnen Elemente hat. Anstelle einer direktiven Steuerung tritt eine Rekombination von Elementen. Der Mensch wird damit eher zu einem Dirigenten oder ein Koordinator. Der genaue Prozess der geführten Aufgabe ist ihm vorher nicht bekannt. So ist es beispielsweise möglich, dass eine Plattensäge Werkstücke zuschneidet, ohne dass ein Mensch genau definiert hat, welchen Weg die Maschine zu fahren hat. Das beschriebene Beispiel ist vergleichsweise einfach und beinhaltet noch nicht mal Ansätze künstlicher Intelligenz. Werden zusätzlich Menschen, Maschinen, Produkte und neue Technologien wie Robotik, autonome Transportsysteme, additive Fertigung vernetzt, sind noch sehr viel komplexere Produktionsumgebungen denkbar, wobei sich die Komplexität auf den Aufbau bezieht. Der Betrieb wird einfacher, leistungsfähiger, flexibler, im Idealfall sogar autonom.

Diese Veränderungen sind derart einschneidend, dass eine ganze Reihe Paradigmenwechsel nötig sein wird.

In verschiedenen nationalen und internationalen Studien zum digitalen Reifegrad findet man die Holzbranche sehr selten. Am ehesten wird sie in unter Bau oder unter sonstiges Gewerbe subsummiert und reiht sich jeweils in den hinteren Plätzen ein, wenn nicht sogar ganz am Schluss. Da stellt sich die Frage: wo drückt der Schuh?

Aufgrund meines beruflichen Hintergrunds, insbesondere auch als Begründer und Projektleiter der Initiative Wald & Holz 4.0 habe ich eine Vorstellung davon. Bevor ich Ihnen meine Einschätzung der Top 3 zeige, würde ich gerne Ihre Meinung einholen.

(Live-Umfrage)

2. Digitale Kompetenz

Gemäss verschiedenen Umfragen, die ich bei Unternehmen und Kadermitarbeitern gemacht habe, ist das Fehlende Wissen der Führungskräfte das Haupthindernis auf dem Weg zur Schreinerei 4.0. Ich vermute, das sieht im Holzbau ähnlich aus. Im Rahmen der Initiative Wald & Holz 4.0 habe ich zudem eine Reihe Interviews mit international führenden Persönlichkeiten aus verschiedensten Bereichen geführt und ein ähnliches Ergebnis erhalten.

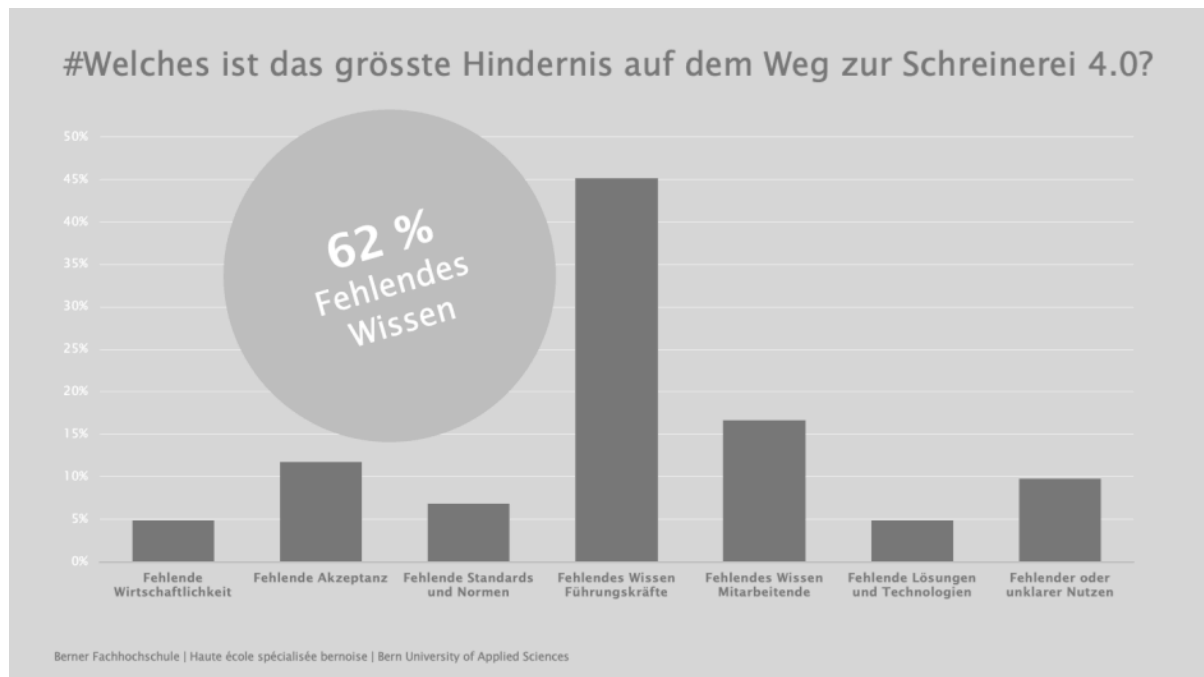


Abbildung 2: Die grössten Hindernisse auf dem Weg zu 4.0.

Auf die Frage, wie aus Sicht der Experten den Mangel behoben werden kann, erhielt ich häufig zwei Antworten. Eine davon lautet Generationenwechsel. Es gibt also eine Reihe internationaler Topspezialisten, die der heutigen Führung die digitale Transformation gar nicht zutrauen. Auf die zweite Antwort komme ich später zurück.

In der Zusammenarbeit mit Unternehmen ist subjektiv die Verwechslung von Automatisierung und Digitalisierung besonders auffallend. Die Automatisierung begründete die 3. industrielle Revolution und ist für die meisten Betriebe der Holzwirtschaft nach wie vor eine Herausforderung. Werden die Hindernisse beurteilt, basiert das somit oft auf der Betrachtung der Automatisierung. Etwa 95 % der Holzbaufirmen können damit als digitale Dinosaurier betrachtet werden. Dass andere Baubranchen noch schlechter dastehen, ist ein kleiner Trost.

Dem entsprechend steht in den Unternehmen meist der technologische Aspekt im Sinne einer Effizienzsteigerung und der Prozessoptimierung im Vordergrund. Dabei kommen konventionelle Arbeitsmethoden und Geschäftsmodelle zum Einsatz.

Die digitale Transformation ist aber viel umfassender, komplexer, revolutionärer. Eine eindeutige, präzise Definition fehlt zwar, aber aus verschiedensten internationalen Arbeiten liessen sich 7 Kernpunkte herauskristallisieren (vgl. Abbildung 3).

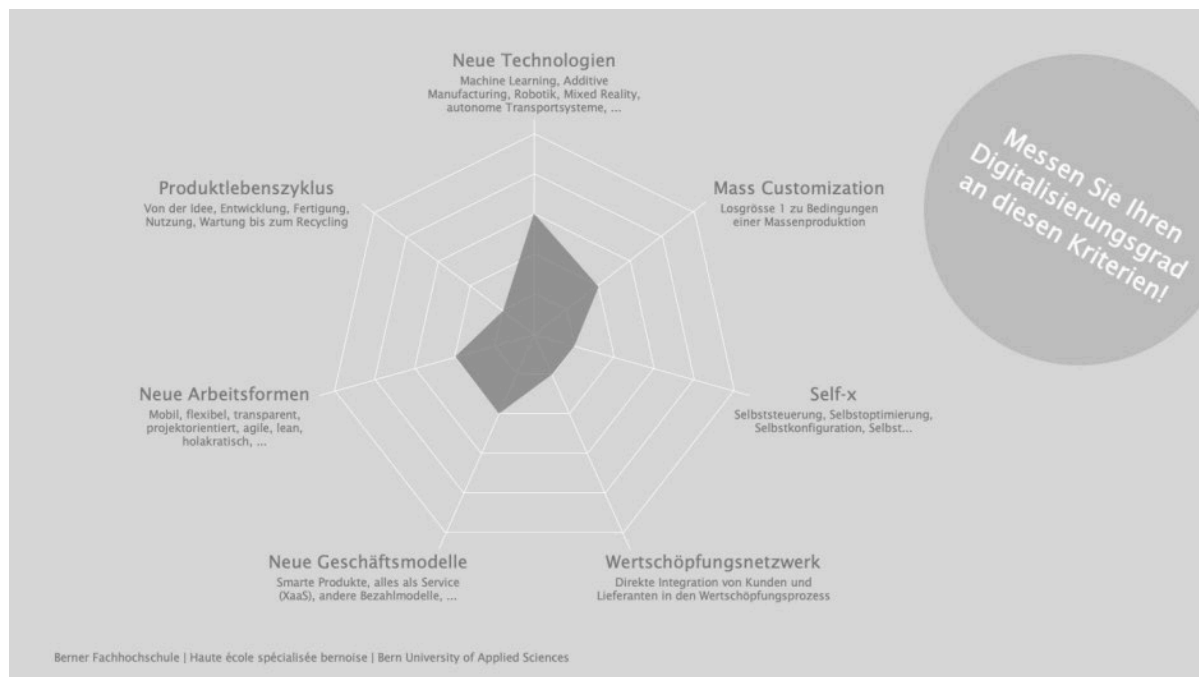


Abbildung 3: Messung der digitalen Reife an den 7 Kernpunkten von 4.0

Die Grundidee von Industrie 4.0 basiert auf dem Internet der Dinge (Internet of Things, IoT). Maschinen und Produkte erhalten dabei eine eindeutige Kennung im Internet, werden mit Informationen angereichert und vernetzt. Ohne digitale Zwillinge kann kaum von Industrie 4.0 gesprochen werden. Auf dieser Basis lassen sich dann neue Prozesse, Geschäftsmodelle und Arbeitsweisen aufsetzen. Neue Technologien sind also lediglich Ermöglicher (Enabler). Was aus diesen Möglichkeiten wirklich gemacht wird, steht auf einem anderen Blatt.

Ausgangspunkt sollte aber nicht die Technologie sein, sondern die konsequente Kundenorientierung, losgelöst von bisherigen Konventionen.

Zwei Punkte möchte ich für den Holzbau noch besonders hervorheben:

- Mass Customization
- Produktlebenszyklus

Mass Customization wird in der Regel völlig unterschätzt, weil Holzbauer oft Einzelanfertigungen nach Kundenwunsch herstellen. Kundenwunsch und Kundenbedürfnis sind aber nicht das Gleiche. Einzelanfertigung und Losgrösse 1 auch nicht. Bei Losgrösse 1 ist ein Produkt fertig entwickelt, kalkuliert, optimiert, geprüft. Davon wird dann 1 Stück nach kundenspezifischen Wünschen industriell produziert. Das ist nicht nur ein anderes Preisniveau, sondern auch ein ganz anderes Qualitätsniveau! Was das genau bedeuten könnte, zeigt ein Blick über die Branchengrenzen hinweg: Die Herstellung eines Autos nach den Methoden der Bauwirtschaft würde viel teurere und bedeutend schlechtere Autos hervorbringen. Und dazu wären die meisten Autos auch noch hässlicher!

Der zweite Punkt ist der Produktlebenszyklus. Die Klimajugend rebelliert. Mit unserem Werkstoff und unserem Produkt hätten wir es in der Hand, ein modernes und ökologisches Image aufzubauen. Aber statt opportunistischer Floskeln müssten wir es glaubwürdig und konsequent entwickeln. Die Betrachtung über den gesamten Produktlebenszyklus wäre ein Instrument dazu.

3. Internet

Die neuen technologischen Möglichkeiten verändern die Infrastruktur und die Arbeitsweise. Vorab verändern sie aber die Marktbedürfnisse. Latent schlummernde Kundenwünsche werden auf einmal realistisch, werden gar zur Gewohnheit und entwickeln sich zu konkreten Erwartungen. Die Anforderungen steigen. Produkte werden individueller und Lieferzeiten sinken, während der Informationsaufwand steigt. Alles, jederzeit, überall. Auf Englisch spricht man vom Triple A: Available, Anywhere, Anytime.

Überfordert durch die enorme Komplexität und das hohe Tempo wissen viele Unternehmen gar nicht recht, wie ihnen geschieht. Man kann vieles auf eine einzige Frage zurückführen: wie gelangt mein Angebot in das Internet? Gemeint ist nicht bloss eine Website, die beschreibt, wer man ist, was man anbietet und was man schon alles gemacht hat, sondern eine Website, auf der Kunden einen Auftrag erteilen, der Ihre Produktion anwirft und keine Sachbearbeitung mehr verlangt, beispielsweise ein kundenfreundlicher Konfigurator, der intuitiv bedienbar ist und jederzeit transparent Preis und Spezifikationen anzeigt. Gelingt dies, wälzt das die gesamte Baubranche komplett um. Die Rolle des Architekten müsste völlig neu definiert werden. Das gewohnte Ausschreibungsprozedere und das bisherige Vertragswesen wären Makulatur. Dafür würde die Variantenvielfalt im Entwurfsprozess steigen, ebenso die Produktqualität. BIM würde automatisch zur Selbstverständlichkeit und könnte die nächste Stufe schaffen, hin zu einem Werkzeug, das in der Hand des Kunden liegt, ihn während des gesamten Produktlebenszyklus begleitet und dem Unternehmen neue Möglichkeiten der Kundenbindung ermöglicht.

Illusorisch? Irgendwann kommen Unternehmen, die genau das machen. Wenn nicht Holzbauer, dann halt andere Player. Erste Beispiele können in den neuen Stadtteilen, die Google und Facebook bauen, beobachtet werden.

Natürlich wird nicht das gesamte Business in das Internet wandern. Aber es wird zu einem überlebenswichtigen Bestandteil. Wer diese Aufgabe löst, wird scheinbar nebenbei auch die übrige digitale Transformation lösen.

4. Kooperation

Damit kommen wir fast nahtlos zum dritten Punkt, wo der Schuh drückt. Und hier läge vielleicht auch der Schlüssel. Der Holzbau besteht fast vollständig aus kleinen und mittleren Unternehmen. Die durchschnittliche Betriebsgrösse dürfte bei knapp unter 10 Mitarbeitenden liegen. Ein KMU, das voll im Tagesgeschäft steht, schafft die digitale Transformation vermutlich nicht alleine. Aber gemeinsam wären sie eine Macht. Würde sich beispielsweise die Holzbranche der kleinen Schweiz zusammenschliessen, wäre sie nahezu auf Augenhöhe mit SAP, Google, Facebook oder Apple!

Lassen wir dieses Gedankenspiel einmal zu. Was würde das bedeuten? Man hätte eine echte Lobby, politisch, aber auch gegenüber Architekten, institutionellen Bauherren, der öffentlichen Hand, aber auch gegenüber den Lieferanten. Man könnte ein moderneres Image pflegen und so viel stärker am Markt auftreten. Der Marktanteil könnte gesteigert werden. Holzbau würde auch für Junge attraktiver. Es gäbe andere Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten und bessere Karrierechancen.

Die Kosten von Marketing, Produktentwicklung, Softwareentwicklung, Beschaffung würden sinken und die Qualität würde steigen. Durch Standardisierung könnten weitere Kostenvorteile realisiert werden. Verschiedene Firmen könnten komplexe Grossprojekte gemeinsam anbieten und abwickeln.

Ist diese Vorstellung reizvoll? Diese Vision kann aber nur Realität werden, wenn der Mitbewerber aus dem Nachbardorf nicht als Konkurrent, sondern als Partner angeschaut werden kann:

- Kooperation statt Konkurrenz.
- Parametrierbare, flexible Standardisierung statt ständiger Prototypenbau.

Es stellt sich die Frage, wer sowas wirklich realisieren könnte. Idealerweise wären es natürlich die Berufsverbände. Sie haben schon eine funktionierende Organisation, ein

Netzwerk, sind in der Bildung und in der Politik verankert. Gelingt das nicht, könnte es auch eine neue Gruppe innovativer Unternehmen sein, die gemeinsam Digitalisierungsprojekte vorantreibt. Gelingt das auch nicht, wird über kurz oder lang ein Branchenfremder in den Markt treten und die Baubranche digital transformieren. Digitale Dinosaurier (etwa 95 % der Unternehmen!) haben dann das Nachsehen.

5. Fazit

Das Revolutionäre der digitalen Transformation ist im Holzbau noch nicht in der Breite angekommen. Die drei wichtigsten Fragen, die sich jeder Unternehmer stellen sollte:

1. Wie kann ich meine digitale Kompetenz erhöhen? Das ist eine Grundvoraussetzung für erfolgreiche digitale Transformationsprojekte.
2. Wie kann ich meine Leistungen im Internet verkaufen? Ist das gelöst, ergeben sich viele Aspekte der digitalen Transformation auch in anderen Bereichen, selbst wenn der Grossteil der Aufträge konventionell akquiriert werden.
3. Mit wem kann ich kooperieren? Alleine ist die digitale Transformation sehr schwer zu schaffen.

Besser gemeinsam verändern, statt verändert zu werden!

IHF-Prolog IV

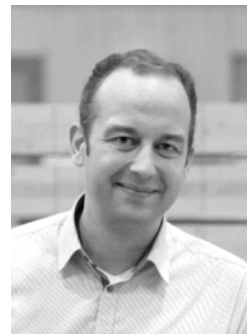
Verbindungstechnik-Forum

Aktuelles aus der Verbindungstechnologie

Eurocode 5:2022 – Einführung in den neuen Abschnitt Verstärkungen mit Fokus auf Querdruckverstärkungen zur Lastdurchleitung

In freundschaftlicher Verbundenheit gewidmet Alfons Brunauer (1963-2018)

Philipp Dietsch
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München
München, Deutschland



Vorbemerkung des Autors:

Die Eurocodes befinden sich in einer Phase intensiver Überarbeitung. Mit den Teilen «Holz-Beton-Verbund», «Brettsperrholz» und «Verstärkungen» sind die ersten Entwürfe für neue Abschnitte zum Eurocode 5 fertiggestellt. Die Fachöffentlichkeit ist an einer umfassenden Information interessiert, gleichzeitig ist ein breites Feedback aus der Praxis erwünscht. Der Autor wurde daher von verschiedenen Seiten gebeten, über die Entwicklungen im Bereich «Verstärkungen» zu berichten. Ich bitte daher um Verständnis, dass zur Sicherstellung einer umfassenden und gleichbleibenden Information der unterschiedlichen Teilnehmerkreise sich einander ähnelnde Veröffentlichungen erfolgen (z. B. an den Karlsruher Tagen 2018 und an dieser Veranstaltung).

Eurocode 5:2022 – Einführung in den neuen Abschnitt Verstärkungen mit Fokus auf Querdruckverstärkungen zur Lastdurchleitung

1. Einleitung

Im Bereich der Verbindungstechnik bieten auf Zug (axial) beanspruchbare Vollgewindeschrauben oder Gewindestangen mit Holzschraubengewinde ein weites Anwendungsfeld. Diese sind schnell (i.d.R. ohne Vorbohren) einzubauen und besitzen beträchtliche Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften. Sie finden Anwendung bei Verbindungen wie Zugstössen, Haupt-Nebenträger-Verbindungen, Pfosten-Riegel-Verbindungen, Koppelpfetten und im Holz-Beton-Verbund. Ein weiterer grosser Anwendungsbereich sind Verstärkungen (Auflager, Ausklinkungen, Durchbrüche, Queranschlüsse, gekrümmte Träger) [1], wo Vollgewindeschrauben einen grossen Marktanteil der vor ihrer Entwicklung häufig angewendeten, eingeklebten Gewindestangen übernommen haben.

Die europäische Bemessungsnorm für Holzbauten, Eurocode 5, enthält in ihrer aktuellen Fassung [2] keine spezifischen Angaben zur Bemessung von Verstärkungen. Die normgerechte Anwendung von Verstärkungselementen ist bisher nur in wenigen europäischen Ländern über nicht widersprechende Regeln zum Eurocode 5 (NCCI) in den nationalen Anhängen (NA) ermöglicht [3], [4]. Um die offensichtliche Lücke im Eurocode 5 zu schliessen wurde das Thema *Verstärkungen* auf der Liste der Arbeitspakete als vorrangig eingestuft [5].

2. Herangehensweise

Normung markiert einen wichtigen Schritt erfolgreicher Forschung und Entwicklung, welche positive Anwendung und Akzeptanz in der Praxis gefunden hat, siehe Abb. 1. Entsprechend der europäischen Position zur Normung sollen harmonisierte technische Regeln für übliche Bemessungsfälle erarbeitet werden und nur Regeln enthalten, die auf allgemein anerkannten Forschungsergebnissen beruhen, welche durch ausreichende praktische Anwendung und dahingehende Erfahrungen validiert wurden. Die Zielgruppe für solche Bemessungsregeln sind kompetente Bauingenieure und Tragwerksplaner, also qualifizierte Fachleute, die in der Lage sind, in ihrem Bereich selbstständig zu arbeiten [6].

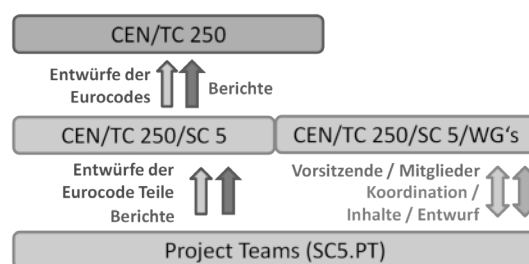
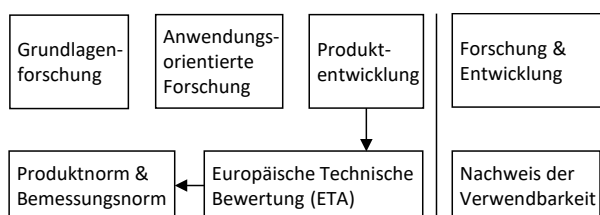


Abbildung 1: Entwicklung von Produkten und der Weg zur Anwendbarkeit

Abbildung 2: Struktur der Normungsarbeit

Die Entwicklung von Bemessungsansätzen für Bauprodukte setzt voraus, dass für diese genormte Prüfverfahren sowie eine Produktnorm oder eine abZ / ETA zur Verfügung stehen. Die Arbeit an den europäischen Bemessungsnormen ist wie folgt strukturiert, siehe auch Abb. 2 und [7]: Das europäische Normungskomitee CEN/TC 250 hat ein Mandat, die Bemessungsregeln für das Bauwesen weiterzuentwickeln. Dieses Komitee ist in 11 Sub-Komitees unterteilt; CEN/TC 250/SC 5, eines dieser Sub-Komitees, ist verantwortlich für alle Teile des Eurocode 5 (EN 1995). Die nationalen Normungsinstitute (z.B. DIN) entsenden über ihre Spiegelausschüsse Delegierte in diese Sub-Komitees. Zur

Erleichterung der technischen Arbeit wird das Sub-Komitee SC 5 von 10 Arbeitsgruppen (WGs) unterstützt; WG 7 ist verantwortlich für Verstärkungen. Die nationalen Spiegelausschüsse entsenden Experten in die Arbeitsgruppen. Die Arbeitsgruppen sind verantwortlich für ihr spezifisches Arbeitsprogramm. In ihnen werden technische Diskussionen geführt, welche in Vorschlägen für die Normung münden.

Die Ausarbeitung eines Entwurfes des Normtextes incl. Zeichnungen liegt in der Verantwortung sog. Project Teams (PTs). Innerhalb eines vorgegebenen Zeitrahmens müssen die PTs einen Normentwurf inkl. harmonisierter Terminologie und Symbolen und unter Berücksichtigung der Grundsätze des «ease-of-use» [6] erstellen. Darüber hinaus müssen die PTs sog. Hintergrunddokumente erarbeiten, welche die technischen Begründungen und wissenschaftlichen Hintergründe für den vorgeschlagenen Normentext beschreiben. Während der Bearbeitungsphase durchlaufen die Entwürfe der PTs drei Phasen der Kommentierung seitens der nationalen Normenausschüsse. Das Project Team SC5.T1 hat Ende April 2018 seine finalen Entwürfe eingereicht. Die finalen Entwürfe der PTs werden bis zum Abschluss der Arbeiten am Eurocode 5 weiter diskutiert und erforderlichenfalls angepasst. Im Folgenden werden die wichtigsten Inhalte und Hintergründe des Schlussentwurfes *Verstärkungen* des PT SC5.T1 (nachfolgend auch *Entwurf Verstärkungen* genannt) vorgestellt und die Weiterentwicklungen gegenüber der bisherigen Bemessungspraxis erläutert. Abschliessend wird auf Neuentwicklungen im Bereich von Querdruckverstärkungen mit beidseitig eingebrachten Vollgewindeschrauben zur Lastdurchleitung eingegangen.

3. Verstärkungen – Allgemeines

Die Verstärkung von Holzbauteilen in Richtung von Beanspruchungen, gegenüber denen Holz nur geringe Festigkeitseigenschaften und spröde Versagensmechanismen aufweist (Querkzug), ist im deutschsprachigen Raum bereits normativ geregelt [3], [4]. Bei der Erarbeitung des Entwurfes *Verstärkungen* wurden diese eingeführten und seit langem angewendeten Regeln zu Grunde gelegt und um neuere Erkenntnisse erweitert. Im Hinblick auf die Einfachheit der Anwendung («ease-of-use») wurde die Struktur und Abfolge der Abschnitte jedoch geändert. Anstelle eines separaten Abschnittes *Verstärkungen* wurden die zugehörigen Angaben in den bereits bestehenden Hauptteil eingegliedert, um den typischen Ablauf einer Bemessungsaufgabe zu spiegeln: Allgemeines – Bemessung des unverstärkten Bauteils (z.B. gekrümmter Träger) – Bemessung von Verstärkungen für dieses Bauteil (z.B. Gewindestangen).

Im Folgenden werden nur die Teile des Entwurfes *Verstärkungen* dargestellt, die eine Änderung oder Erweiterung zu den bereits in [3] und [4] eingeführten Regeln darstellen. Nicht oder nur marginal angepasste Regeln werden über einen Abschnitts- oder Gleichungsverweis auf den deutschen NA zum Eurocode 5 [3] eingeführt. Für eine umfassende Darstellung des kompletten Entwurfes *Verstärkungen* inkl. Hintergrundinformationen wird auf [8] verwiesen.

Im Entwurf abgedeckt wird die Verstärkung von:

- Gekrümmten Trägern und Satteldachträgern
- Rechtwinkligen Ausklinkungen
- Durchbrüchen
- Queranschlüssen
- Stabdübelverbindungen
- Bereiche hoher Querdruckspannungen

Grundvoraussetzungen für Verstärkungselemente sind zum einen ein kontinuierlicher Verbund zwischen Verstärkungselement und Holz, zum anderen eine ausreichende Steifigkeit des Verstärkungselementes, um grosse Rissbildungen zu vermeiden. Die folgenden stiftförmigen Verstärkungselemente dürfen verwendet werden:

- Vollgewindeschrauben nach EN 14592 oder ETA

- Gewindestangen mit Holzschraubengewinde nach ETA
- Eingeklebte Gewindebolzen oder eingeklebte gerippte Betonstabstähle.

Die folgenden flächenförmigen Verstärkungselemente dürfen verwendet werden:

- Aufgeklebtes Sperrholz oder Massivholzplatten nach EN 13986
- Aufgeklebtes Furnierschichtholz nach EN 14374
- Aufgeklebte Lamellen aus Vollholz nach EN 14081-1 oder Sperrholz nach EN 13986 oder Furnierschichtholz nach EN 14374.
- Eingepresste Nagelplatten

Die Verstärkungselemente müssen für die Anwendung im zu verstärkenden Holzprodukt und die vorliegende Nutzungsklasse zugelassen sein. Für alle Verstärkungselemente gilt, dass diese so nah wie möglich an den Ort der Querspannungen und/oder Schubspannungen, d.h. unter Verwendung der minimal möglichen Abstände angeordnet werden sollten. Die Abstandsregelungen entsprechen [3] NA.6.8.1 (NA.5), für Vollgewindeschrauben und Gewindestangen mit Holzschraubengewinde gelten die Angaben der zugehörigen ETA. Für geneigt (d.h. unter einem Winkel $< 90^\circ$) eingebrachte, stiftförmige Verstärkungselemente dürfen die Abstände vom Schwerpunkt des Schraubengewindes im Bauteil aus bestimmt werden, siehe Abb. 3 und Abb. 4. Aufgrund des beschränkten Einflussbereichs von Verstärkungselementen sollte in blockverklebten Querschnitten jeder Teilquerschnitt für sich verstärkt werden. Querschnittsschwächungen sind zu berücksichtigen.

4. Querzugverstärkungen

4.1. Bemessung der Verstärkungselemente

Querzugverstärkungen in Holz sind vergleichbar mit einer schlaffen Bewehrung bei Betonbauteilen. Da Holz auf Zug quer zur Faser eine geringe Festigkeit und ein sprödes Versagen aufweist, wird die Querzugfestigkeit des Holzes in der Bemessung von verstärkten Bauteilen nicht berücksichtigt, d.h. es wird mit gerissener Querzugzone gerechnet.

Die Bemessung der Verstärkungselemente für Querzugverstärkungen wurde überarbeitet mit dem Ziel der Harmonisierung, der Unabhängigkeit vom zu verstärkenden Bauteil/Detail und einer übersichtlichen Darstellung an einem Ort («ease-of-use»):

$$\frac{F_{t,90,Ed}}{F_{t,90,Rd}} \leq 1,0 \quad (1)$$

Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit von stiftförmigen oder flächenförmigen Verstärkungselementen, $F_{t90,Rd}$, entspricht dem kleinsten Wert aus den folgenden Formeln (2) – (4):

Für Vollgewindeschrauben oder Gewindestangen mit Holzschraubengewinde (siehe auch [2], 8.7.2):

$$F_{t,90,Rd} = n_r \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,d} \cdot d \cdot \ell_{ad} \\ f_{tens,d} \end{array} \right. \quad (2)$$

Für eingeklebte Gewindebolzen oder eingeklebte gerippte Betonstabstähle:

$$F_{t,90,Rd} = n_r \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} f_{b1,d} \cdot \pi \cdot d \cdot \ell_{ad} \\ f_{yb,d} \cdot A \\ 0,9 \cdot f_{ub,d} \cdot A_S \end{array} \right. \quad (3)$$

Für aufgeklebte flächenförmige Verstärkungselemente:

$$F_{t,90,Rd} = n_r \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} f_{b2,d} \cdot \ell_{ad} \cdot b_r \\ \frac{f_{t,d}}{k_k} \cdot b_r \cdot t_r \end{array} \right. \quad (4)$$

mit:

$$\ell_{ad} = \min \left\{ \begin{array}{l} \ell_{ad,t} \\ \ell_{ad,c} \end{array} \right. \quad (\text{siehe Abb. 3 – 6}) \quad (5)$$

Eine Erläuterung der einzelnen Symbole kann dem Anhang entnommen werden. Festigkeitskennwerte für Klebfugen dürfen Tabelle 1 entnommen werden.

Mit dem Beiwert k_k wird die ungleichförmige Spannungsverteilung in flächenförmigen Verstärkungselementen berücksichtigt. Ohne weiteren Nachweis darf der Wert k_k angenommen werden zu:

$$k_k = \begin{array}{ll} = 1,0 & \text{für gekrümmte Träger und Satteldachträger} \\ = 2,0 & \text{für rechtwinklige Ausklinkungen an} \\ & \text{Biegestäben mit Rechteckquerschnitt} \\ = 2,0 & \text{für Durchbrüche bei Biegestäben} \\ & \text{mit Rechteckquerschnitt} \\ = 1,5 & \text{für Queranschlüsse} \end{array} \quad (6)$$

Tabelle 1: Mindestwerte für charakteristische Festigkeitskennwerte in N/mm² für Klebfugen bei Verstärkungen^a

	Wirksame Einkleblänge ℓ_{ad} des Stahlstabes, in mm		
	≤ 250	$250 < \ell_{ad} \leq 500$	$500 < \ell_{ad} \leq 1000$ ^c
Klebfuge zwischen Stahlstab und Bohrlochwandung, $f_{b1,k,r}$ in N/mm ² ^{b,c}	4,0	$5,25 - 0,005 \cdot \ell_{ad}$	$3,5 - 0,0015 \cdot \ell_{ad}$
Klebfuge zwischen Trägeroberfläche und Verstärkungsplatte / Lamelle für eine annähernd dreiecksförmige Spannungsverteilung, $f_{b2,k,r}$ in N/mm ² ^b	0,75		

^a Für die Ausführung von eingeklebten oder aufgeklebten Verstärkungen oder Verbindungen können nationale Bestimmungen gelten.

^b Die Informationen in dieser Tabelle sollten nur angewendet werden, wenn die Werte für das verwendete Klebstoffsystem nachgewiesen wurden.

^c Für Anwendungen, in denen $\ell_{ad} > \min \{40 \cdot d; 1000\}$ in mm, sollte die für $\ell_{ad} = \min \{40 \cdot d; 1000\}$ ermittelte Tragfähigkeit angenommen werden.

Hinweis: an europäischen Regelungen zur Bemessung und Herstellung von eingeklebten Gewindestangen wird momentan in CEN/TC 250/SC 5/WG 5 «Verbindungen» gearbeitet.

4.2. Effekte von Holzfeuchteänderungen

Steife Verstärkungselemente, z.B. in Form von rechtwinklig zur Faser eingebrachten Vollgewindeschrauben oder Gewindestangen, verhindern das freie Schwinden bzw. Quellen des Holzes in ihrem Wirkungsbereich. Diese Sperrwirkung führt zu feuchteinduzierten Spannungen quer zur Faser, die im Fall von Schwindspannungen zu tiefen Schwindrissen und einer damit verbundenen Reduzierung der Tragfähigkeit führen können. Normativ wird die Sperrwirkung rechtwinklig oder geneigt zur Faser eingebrachter Verstärkungen derzeit nicht berücksichtigt. Eine rechnerische Erfassung der Sperrwirkung von Verstärkungsmassnahmen bei Klimawechseln wie auch die Angabe eines zugehörigen Nachweisformats ist komplex. Es existieren aber langjährige Erfahrungen mit querzugbewehrten Bauteilen und Anschlüssen. Auf diese wurde bei der Formulierung entsprechender Konstruktionsregeln zurückgegriffen. Zusätzlich zu den üblichen Massnahmen (z.B. Herstellung mit erwarteter Ausgleichsfeuchte, Schutz vor Feuchtaufnahme während Transport, Lagerung und Einbau) werden weitere Massnahmen zur Reduzierung der Sperrwirkung von Verstärkungen angegeben [9]:

- grössere Abstände zwischen den Verstärkungselementen
- Verringerung der Höhe der verstärkten Bereiche im Holzbauteil
- Verringerung des Winkels zwischen stiftförmigen Verstärkungselementen und der Faserrichtung des verstärkten Holzbauteils.

Sollen Holzbauteile in dauerhaft trockenem oder häufig wechselndem Klima eingesetzt werden, so empfiehlt es sich, aussen vollflächig aufgeklebte Verstärkungselemente einzusetzen. Diese dämpfen zum einen die Austrocknung des Holzquerschnitts, zum anderen resultiert das kleinere Steifigkeitsverhältnis zwischen Verstärkungselement und Holzbauteil in geringeren feuchteinduzierten Querspannungen. Für trockene Umgebungsbedingungen sollten zudem Massnahmen für eine kontrollierte Trocknung der Bauteile auf die Ausgleichsfeuchte vorgesehen werden. Es werden Angaben gemacht, welche Ausgleichsfeuchten in welchen Umgebungsbedingungen zu erwarten sind (z.B. Nadelholz in gedämmten und geheizten Gebäuden: 7 % - 10 % mit jährlichen Amplituden von ± 3 %; Nadelholz in überdachten, ungedämmten und ungeheizten Gebäuden: 12 % - 16 %). Die Informationen sind eng an die Angaben in [10] angelehnt.

4.3. Verstärkung von Satteldachträgern mit geradem Untergurt, gekrümmten Trägern und Satteldachträgern mit gekrümmtem Untergurt

Für Satteldachträger und gekrümmte Träger werden Angaben zur Verstärkung für die vollständige Aufnahme der Querspannungen gemacht. Die Formeln zur Bestimmung der Beanspruchung in den Verstärkungselementen, $F_{t,90,Ed}$, entsprechen den Formeln (NA.101) und (NA.102) in [3]. Die aus [3] bekannten Angaben zu Verstärkungen für die Aufnahme zusätzlicher klimabedingter Querspannungen (Teilbewehrung) wurden nicht übernommen. Neuere Untersuchungen [9] deuten an, dass bereits eine Abnahme der Holzfeuchte von 1 - 2 % im Umfeld der Verstärkung zur Neutralisierung des Verstärkungseffektes, d.h. der anteiligen Abtragung der geometrie-/lastbedingten Querspannungen durch das Verstärkungselement im ungerissenen Holzbauteil führen kann. Bei trockenen Umgebungsbedingungen könnte eine mögliche Spannungsfreisetzung in Form von tiefen Schwindrissen aufgrund des Sperreffektes der Teilbewehrung gegenüber dem freien Schwinden des Holzbauteils Fragen nach der Resttragfähigkeit aufwerfen.

In Erweiterung der Angaben in [3] und [4] werden auch Angaben zur Bemessung von Satteldachträgern mit nachgiebig verbundener Firstspitze und hochgesetzter Trockenfuge gemacht. Bei diesen ist die Abstufung der Querszugverstärkung vom First nach aussen hin abnehmend nicht mehr zutreffend. Vielmehr sollte eine Verteilung der Querszugverstärkung in Abhängigkeit der Querspannungen im gekrümmten Bereich und in den Nebenfirsten angestrebt werden. Die Querszugbeanspruchungen im Nebenfirst können nach [11] bestimmt werden. Es wird empfohlen, die für den Nebenfirst ermittelte Verstärkung, ausgehend von einem Verstärkungselement direkt im Nebenfirst, zum First hin über eine Länge von mindestens $2 \cdot h_{ap}$, vom Nebenfirst in Richtung Auflager über eine Länge von mindestens h_{ap} anzuordnen. Danach sollten die für den gekrümmten Bereich ermittelten Querszugverstärkungen über den verbleibenden gekrümmten Bereich zwischen den Nebenfirsten sowie ggfs. über die verbleibenden gekrümmten Bereiche ausserhalb der Nebenfirste angeordnet werden.

Eine Anpassung der Abstände zwischen den Verstärkungselementen, a_1 , entsprechend der Verteilung der Querspannungen über die Länge des querszugbeanspruchten Bereichs ist zulässig. Die weiteren Angaben zu Mindest- und Maximalabständen ($250 \text{ mm} \leq a_1 \leq 0,75 \cdot h_{ap}$) und Einbindelängen entsprechen den Angaben in [3] NCI NA.6.8.6.

4.4. Verstärkung von rechtwinkligen Ausklinkungen an den Enden von Biegestäben mit Rechteckquerschnitt

Die Angaben zur Verstärkung von rechtwinkligen Ausklinkungen lehnen sich eng an die Angaben in [3] an. Dazu gehört die Formel zur Bestimmung der Beanspruchung in den Verstärkungselementen, $F_{t,90,Ed}$, welche (NA.77) in [3] gleicht, sowie die wirksame Fläche

von aufgeklebten flächenförmigen Verstärkungselementen, welche (NA.84) in [3] entspricht. Erweitert wurden diese Regelungen um die Begrenzung der Tragfähigkeit von Ausklinkungen mit rechtwinklig zur Faser angeordneten stiftförmigen Verstärkungselementen auf das Zweifache der Tragfähigkeit der unverstärkten Ausklinkung. Diese Begrenzung basiert auf der maximal aufnehmbaren Bruchenergie bei Schubbeanspruchung [12]. Im Sinne einer robusten Konstruktion wird eine Mindestlänge der Verstärkung über der Ausklinkung angegeben, siehe Abb. 3. Geneigte, stiftförmige Verstärkungselemente können näher an den Ort der Spannungsspitzen herangeführt werden. Zusätzlich besitzen geneigte, stiftförmige Verstärkungselemente das Potential, sowohl Querzug- als auch Schubspannungen abzutragen. Die Tragfähigkeit der verstärkten Ausklinkung darf mit dem Beiwert $k_v = 1,0$ ermittelt werden, d.h. es ist ein Schubspannungsnachweis für den Restquerschnitt mit der Höhe h_{ef} zu führen.

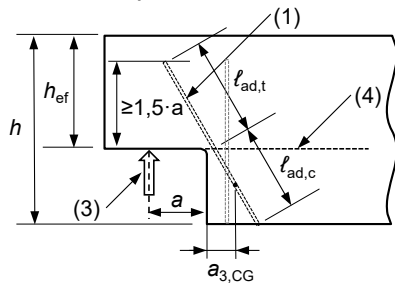


Abbildung 3: Verstärkte Ausklinkung
(1 – geneigtes stiftförmiges Verstärkungselement;
4 – mögliche Risslinie)

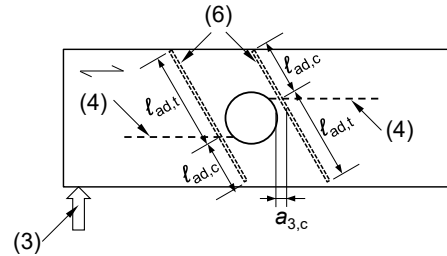


Abbildung 4: Verstärkter Träger mit Durchbruch
(4 – mögliche Risslinie; 6 – geneigte Verstärkung
im Fall von z.B. hohen Schubbeanspruchungen)

4.5. Verstärkung für Durchbrüche bei Biegestäben mit Rechteckquerschnitt

Die Angaben zur Verstärkung von Durchbrüchen lehnen sich eng an die Angaben in [3] an. Dazu gehören die geometrischen Grenzen für Durchbrüche, welche den Angaben in [3] NCI NA.6.8.4 (NA.1) entsprechen, die Formel zur Bestimmung der Beanspruchung in den Verstärkungselementen, $F_{t,90,Ed}$, welche (NA.66) in [3] gleicht sowie die wirksame Fläche von aufgeklebten flächenförmigen Verstärkungselementen, welche (NA.91) und (NA.92) in [3] entspricht. Erweitert wurden diese Regelungen um die Formeln zur Bestimmung der erhöhten Schubspannungen an den Ecken von mit stiftförmigen Verstärkungselementen verstärkten Durchbrüchen [13]:

$$\tau_{\max} = 1,84 \cdot \left[1 + \frac{a}{h} \right] \cdot \left(\frac{h_d}{h} \right)^{0,2} \cdot \frac{1,5 \cdot V_d}{b_{ef} \cdot (h - h_d)} \quad (7)$$

Eine Erläuterung der einzelnen Symbole kann dem Anhang entnommen werden. Im Fall von runden Durchbrüchen darf anstelle von h_d der Wert $0,7 \cdot h_d$ eingesetzt werden. Ist die Formel (7) nicht erfüllt, sollten keine rechtwinklig zur Faser angeordneten, stiftförmigen Verstärkungselemente eingesetzt werden. Grund ist der in Abs. 5.2 diskutierte Sperrereffekt, die im Fall von tiefen Schwindrissen frei werdenden Schubspannungen können von rechtwinklig zur Faser angeordneten, stiftförmigen Verstärkungselementen nur in sehr geringem Masse aufgenommen werden. Abhilfe bieten geneigte Verstärkungselemente. Neuere Untersuchungen belegen, dass eine geneigte Anordnung von Verstärkungselementen im auflagernahen Bereich zu einer deutlichen Steigerung der Tragfähigkeit im Vergleich zur Anordnung rechtwinklig zur Faser führt [14], [15]. Aktuell werden Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Bemessungsgleichungen ((NA.66) in [3]) auf geneigte Verstärkungselemente durchgeführt.

4.6. Querzugverstärkung für Queranschlüsse

Die Angaben zur Querzugverstärkung für Queranschlüsse lehnen sich eng an die Angaben in [3] an. Dazu gehört die Formel zur Bestimmung der Beanspruchung in den Verstärkungselementen, $F_{t,90,Ed}$, welche (NA.69) in [3] gleicht sowie die wirksame Fläche von aufgeklebten flächenförmigen Verstärkungselementen, welche (NA.76) in [3] entspricht. Erweitert wurden diese Regelungen um die Anforderung, dass die Verstärkungselemente

eine effektive Höhe von $0,7 \cdot h$ abdecken sollten, um ein Querzugversagen an der Spitze bzw. am oberen Rand der Verstärkungselemente zu vermeiden, siehe Abb. 5. Sollte diese Grenze nicht eingehalten sein, so ist ein Nachweis des Queranschlusses auf der Höhe der Spitze bzw. des oberen Randes der Verstärkungselemente zu führen.

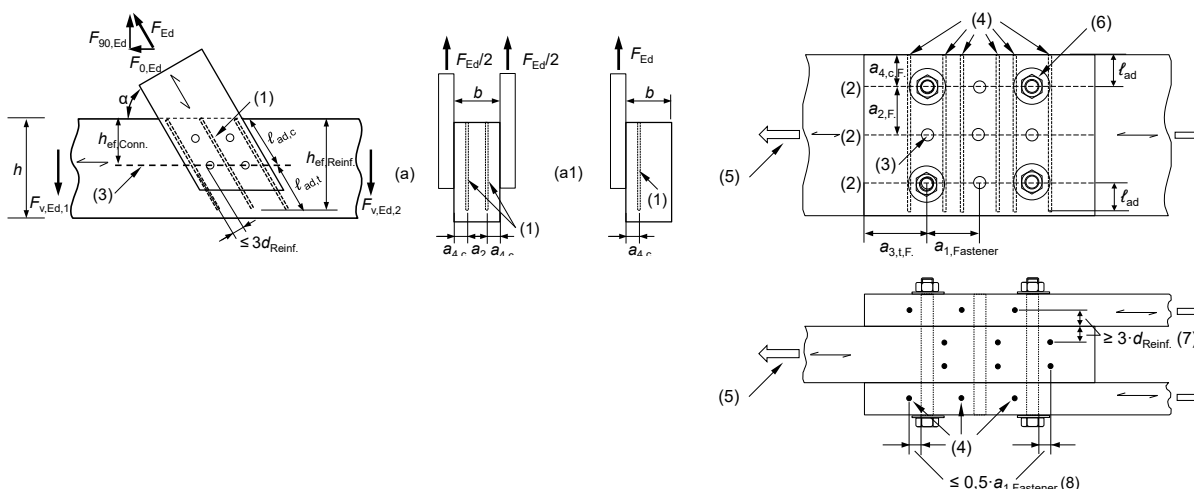


Abbildung 5: Verstärkter Queranschluss
(1 – stiftförmiges Verstärkungselement;
3 – mögliche Risslinie)

Abbildung 6: Verstärkte Stabdübelverbindung
(2 – mögliche Risslinien; 3 – Stabdübel/Bolzen;
4 – stiftförmiges Verstärkungselement;
5 - Richtung der äusseren Last; 6 - Bolzen
zur Reduktion des Exzentrizitätsmomentes;
7 – empfohlen: $3 \cdot d_{\text{Verstärkung}}$; 8 – empfohlen:
 $2 \cdot d_{\text{Verstärkung}}$)

4.7. Verstärkung von Stabdübelverbindungen

Die aus [3] bekannten Angaben zur Verstärkung von Stabdübel- bzw. Bolzenverbindungen mit dem Ziel, die volle Anzahl der stiftförmigen Verbindungsmittel im Nachweis der Verbindung ($n_{\text{ef}} = n$) ansetzen zu können, wurden übernommen und um konstruktive Angaben erweitert, siehe Abbildung 6. Die Zugkraft in der Verstärkung darf unter Ansatz der Beanspruchung auf einen Bolzen/Stabdübel und eine Scherfuge bestimmt werden [16]:

$$F_{t,90,Ek} = 0,3 \cdot F_{v,Rk} \quad (8)$$

Der Nachweis gegen Blockscherversagen gemäss [2], Anhang A, ist auch für verstärkte Stabdübelverbindungen zu führen.

5. Querdruckverstärkungen

5.1. Auflagerverstärkungen

Nicht nur querzugbeanspruchte Bauteile, sondern auch Bereiche konzentrierter Querdruckbeanspruchung, z.B. Auflagerbereiche, müssen aufgrund der geringen Beanspruchbarkeiten rechtwinklig zur Faser häufig verstärkt werden. Im Unterschied zum Nachweis von Querzugverstärkungen darf der Nachweis von Querdruckverstärkungen unter der Annahme eines additiven Zusammenwirkens zwischen dem querdruckbeanspruchten Holzquerschnitt und der druckbeanspruchten Vollgewindeschrauben geführt werden. Diese Annahme trifft zu, wenn eine gewisse plastische Verformung des Holzquerschnitts unter Querdruck akzeptiert wird. Bislang waren zugehörige Bemessungs- und Konstruktionsregeln nur in bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ, ETAs) enthalten. Da diese allesamt auf einer Forschungsarbeit [16] beruhen, variieren die Regeln nur geringfügig. Die im Entwurf *Verstärkungen* gegebenen Formeln orientieren sich eng an den Angaben in den bauaufsichtlichen Zulassungen. Der Nachweis der Vollgewindeschrauben auf Druck ergibt sich aus dem Kleinstwert der Beanspruchbarkeit auf Hineindrücken und gegen Knicken der Schraube. Die Tragfähigkeit einer Vollgewindeschraube auf Hineindrücken entspricht

der Tragfähigkeit auf Herausziehen, d.h. diese darf mit dem Ausziehparameter $f_{ax,k}$ ermittelt werden. Des Weiteren ist nachzuweisen, dass die Querdruckbeanspruchbarkeit des unverstärkten Holzes im Bereich der Schraubenspitze ausreichend ist. Für diesen Nachweis ist die aufgrund der Wirkungsweise der Vollgewindeschrauben erweiterte wirksame querdruckbeanspruchte Fläche, $\ell_{ef,2} \cdot b$ zu ermitteln, siehe Abb. 6. Aufgrund des im Vergleich zum Holzquerschnitt in der Auflagerfläche unterschiedlichen Versagens an der Schraubenspitze in Form einer seitlichen Querdehnung des Holzes rechtwinklig zur Faserrichtung (d.h. Querzug), darf beim Nachweis im Bereich der Schraubenspitzen der Erhöhungsbeiwert $k_{c,90}$ nicht in Ansatz gebracht werden.

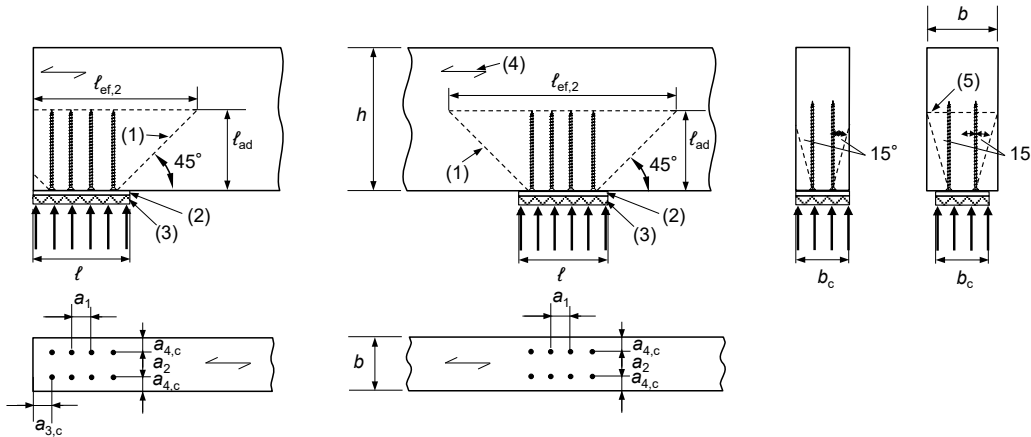


Abbildung 7: Querdruckverstärkung mit Vollgewindeschrauben (1 – Lastausbreitung; 2 – steifes Auflagermaterial, z.B. Stahlplatte; 3 – z.B. Elastomer; 4 – Faserrichtung; 5 – Ebene der voll aktivierten Bauteilbreite).

Die Tragfähigkeit einer verstärkten Auflagerung kann wie folgt berechnet werden:

$$F_{c,90,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} k_{c,90} \cdot b_c \cdot \ell_{ef,1} \cdot f_{c,90,k} \\ + n \cdot \min \{ F_{ax,\alpha,Rk}; F_{b,Rk} \} \\ b \cdot \ell_{ef,2} \cdot f_{c,90,k} \end{array} \right. \quad (9)$$

Eine Erläuterung der einzelnen Symbole ist dem Anhang zu entnehmen.

Die Bestimmung der Tragfähigkeit einer Vollgewindeschraube gegenüber Knicken, $F_{b,Rk}$, wurde gegenüber den Angaben in den abZ/ETAs auf der sicheren Seite vereinfacht [17]:

$$F_{b,Rk} = 1,18 \cdot k_c \cdot N_{pl,k} \quad (10)$$

mit:

$$N_{pl,k} = \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \cdot f_{y,k} \quad (11)$$

Tabelle 2: Abminderungsbeiwert k_c zur Bestimmung der Tragfähigkeit auf Knicken ($\rho_k \geq 350 \text{ kg/m}^3$)

Charakteristische Streckgrenze des Stahls	Winkel α zwischen Schraubenachse und Faserrichtung	
	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 0^\circ$
$f_{y,k} = 1000 \text{ N/mm}^2$	$k_c = 0,60$	$k_c = 0,50$
$f_{y,k} = 800 \text{ N/mm}^2$ (z.B. feuerverzinkter Stahl)	$k_c = 0,65$	$k_c = 0,55$
$f_{y,k} = 500 \text{ N/mm}^2$ (z.B. nichtrostender Stahl)	$k_c = 0,75$	$k_c = 0,65$

Zwischenwerte (Winkel α sowie charakteristische Streckgrenzen) dürfen linear interpoliert werden

Die Vollgewindeschrauben sind rechtwinklig zur Auflagerfläche einzubringen, es sind Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ erlaubt. Um das Zusammenwirken der Vollgewindeschrauben und des Holzes sicherzustellen muss gewährleistet sein, dass die Druckkraft gleichmässig auf alle Vollgewindeschrauben verteilt wird und die Pressung aus den Schraubenköpfen vom Auflagermaterial aufgenommen werden kann. Diese beiden Anforderungen können nur durch ein steifes, ebenes Auflagermaterial erfüllt werden, zumeist realisiert über eine Stahlplatte mit ausreichender Dicke. Die Dicke der Stahlplatte kann überschlägig bestimmt werden zu:

$$t \geq \max \left(5, 0; 1, 45 \cdot \sqrt{\frac{F_{c,\alpha,Ed}}{f_{y,d}}} \right) \quad (12)$$

Bei Trägerauflagern wird zudem oft ein Elastomer unter der Stahlplatte angeordnet, um die Verdrehbarkeit des Auflagers und die gleichmässige Lasteinleitung zu gewährleisten.

Die Vollgewindeschrauben müssen gleichmässig über die Auflagerfläche verteilt sein. Die Schraubenköpfe sind so einzudrehen, dass die Oberkante der Schraubenköpfe bündig mit der Holzoberfläche ist. Die Abstandsregelungen entsprechen denen für zugbeanspruchte Vollgewindeschrauben. Eine Abminderung auf eine effektiv wirksame Anzahl an Vollgewindeschrauben, n_{ef} , ist nicht notwendig.

Beim Schubnachweis von Bauteilen mit Auflagerverstärkungen sollte von der Anwendung einer abgeminderten Querkraft (6.1.7 (3) in [2]) abgesehen werden. Grund ist, dass der Schub nicht von der Auflagerplatte, sondern von den Schraubenspitzen angezogen wird. Die Schubspannungen am Auflagerrand sind – im Vergleich zum unverstärkten Auflager – höher, die positive Interaktion zwischen Querdruckspannungen und Schubfestigkeit stellt sich aufgrund der Querdruckverstärkung nicht ein.

5.2. Querdruckverstärkungen zur Lastdurchleitung

Allgemeines

Eine erweiterte Anwendung von Querdruckverstärkungen im Hinblick auf die Durchleitung von Querdruckspannungen durch Bauteile wurde zuerst im Rahmen vorgespannter Rahmenkonstruktionen untersucht [18]. Anschliessend fand diese Anwendung Eingang in eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [19]. Die Vollgewindeschrauben (VGS) werden mit einer Übergreifungslänge ausgeführt, welche die Übertragung der Druckkräfte von den Vollgewindeschrauben, eingebracht von der Trägeroberseite, zu den gegenüberliegenden Vollgewindeschrauben, eingebracht von der Trägerunterseite, sicherstellen soll. Wird diese Lastübertragung erreicht, darf auf den Nachweis der Querdruckspannungen an den Schraubenspitzen (unterer Term in Gl. (9)) verzichtet werden. Ein potenzieller Markt für diese Anwendung liegt z.B. im mehrgeschossigen Holzbau.

Vor Aufnahme in den Entwurf *Verstärkungen* waren ein paar Detailfragen zu lösen, z.B. nach der minimalen Übergreifungslänge, dem minimalen Abstand zwischen den Schraubenspitzen und der gegenüberliegenden Auflagerfläche sowie der bestmöglichen Anordnung der beiden gegenüberliegenden Schraubengruppen. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der hierzu durchgeführten Untersuchungen vorgestellt. Für eine umfassende Darstellung der Ergebnisse wird auf [20] und [21] verwiesen.

Numerische Untersuchungen

Sowohl für die numerischen als auch die folgenden experimentellen Untersuchungen wurde eine Prüfkörperhöhe von $40 \cdot d$ gewählt, da diese Übergreifungslängen $0 \leq l_{lap} \leq 20 \cdot d$ bei gleichzeitig verbleibendem Abstand zwischen den Schraubenspitzen und der gegenüberliegenden Auflagerfläche $10 \cdot d \leq l_{tc} \leq 20 \cdot d$ ermöglichte. Die zugehörigen numerischen Untersuchungen (linear-elastisch) ergaben die homogensten Verformungen für $l_{lap} = 10 \cdot d$. Eine weitere Erhöhung der Übergreifungslänge l_{lap} bei ansonsten gleichbleibender Geometrie verschiebt den Ort der maximalen Querdruckspannungen in Richtung der Auflagerflächen, die Druckkräfte in den Vollgewindeschrauben steigern sich nur noch marginal. Eine gleichzeitige Erhöhung beider Längen l_{tc} und l_{lap} ergab keine weiteren Erkenntnisse, da in diesem Fall die Knicktragfähigkeit der Vollgewindeschrauben zur

limitierenden Grösse wird. Aufgrund des Gruppeneffektes zwischen Holz und Schraubengruppe sind die Druckspannungen in den aussenliegenden Vollgewindeschrauben um bis zu 25 % höher als die Druckspannungen der innenliegenden Vollgewindeschrauben.

Experimentelle Untersuchungen

Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen wurden 7 verschiedenen Konfigurationen mit insgesamt 32 Prüfkörpern geprüft. Die erste Konfiguration (zu Vergleichszwecken) repräsentierte ein unverstärktes Mittelauflager. Konfigurationen 2 – 5 bildeten verstärkte Mittelauflager ab mit Übergreifungslängen $l_{lap} = \{5 \cdot d, 10 \cdot d, 15 \cdot d, 20 \cdot d\}$, vier VGS von oben, 6 VGS von unten, siehe Abb. 8 (a). Konfiguration 6 wurde mit einer abwechselnden Anordnung von je fünf VGS von oben und unten ausgeführt ($l_{lap} = 10 \cdot d$), siehe Abb. 8 (b). Die letzte Konfiguration stellte ein Endauflager dar ($l_{lap} = 10 \cdot d$), siehe Abb. 8 (c). Der Durchmesser der VGS wurde zu $d = 8 \text{ mm}$ gewählt. Die resultierenden Abmessungen der Prüfkörper (GL24h, $\rho_{mean} = 444 \text{ kg}$, $u_{mean} = 10,9 \%$) waren $l / h / b = 600/320/100 \text{ mm}^2$, die Auflagerfläche betrug $l / b = 200/100 \text{ mm}^2$.

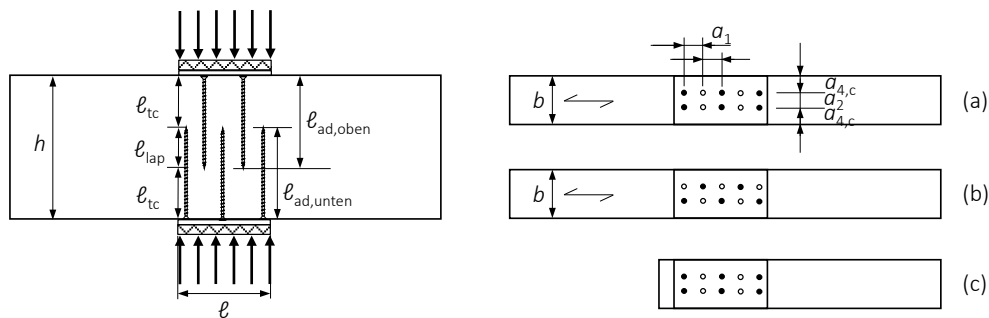


Abbildung 8: Querdruckverstärkungen zur Lastdurchleitung - Prüfkörperkonfiguration

Während der Versuche stieg die Last-Verformungskurve zunächst linear an. Anschliessend reduzierte sich ihre Steigung bis zum Erreichen der Höchstlast, gefolgt von leicht abnehmender Last bei zunehmender Verformung. Diese Phase war gekennzeichnet durch das Zusammendrücken der Holzfasern bei gleichzeitigem Versagen der Vollgewindeschrauben (zumeist auf Knicken).

Abb. 9 verdeutlicht die beträchtliche Steigerung der Tragfähigkeit und Steifigkeit der verstärkten Prüfkörper im Vergleich zur unverstärkten Konfiguration. Die Mittelwerte und charakteristischen Werte zeigen einen leichten Anstieg zwischen $l_{lap} = 5 \cdot d$ und $10 \cdot d$, gefolgt von einer leichten Reduktion für $l_{lap} = 15 \cdot d$ und $20 \cdot d$ bei gleichzeitig zunehmender Streuung der Werte. Die besten Ergebnisse zeigt die Konfiguration mit alternativer Schraubenanordnung (Abb. 8 (b); 7 % höhere Mittelwerte bei sehr geringer Streuung). Die mittleren Tragfähigkeiten der besten verstärkten Konfigurationen ($l_{lap} = 10 \cdot d$) liegen 119 % bzw. resp. 135 % über dem Mittelwert der unverstärkten Konfiguration, siehe Abb. 9. Die mittlere Tragfähigkeit der verstärkten Endauflager liegt 23 % unter den Werten für das vergleichbare Mittelauflager.

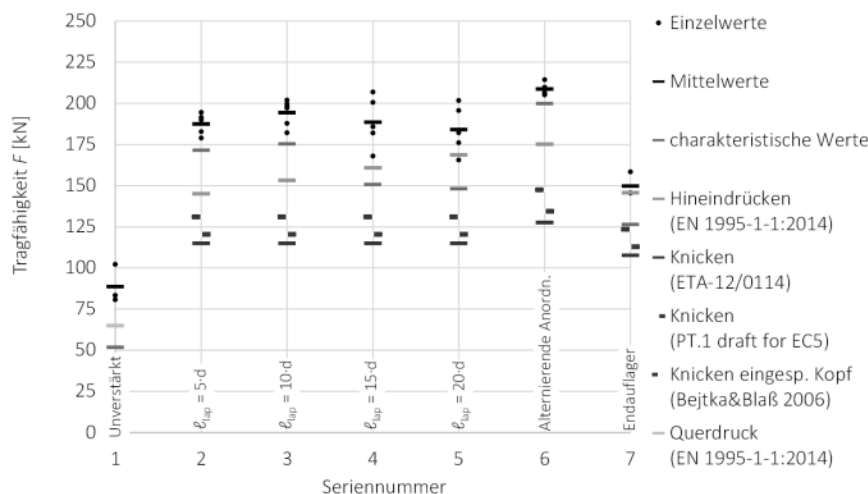


Abbildung 9: Experimentell ermittelte Tragfähigkeiten im Vergleich mit Bemessungsansätzen

Der Grossteil der Prüfkörper versagte durch Ausknicken der Vollgewindeschrauben senkrecht zur Faser in Richtung der näheren Seitenfläche des Prüfkörpers. Dies entspricht den mit den Bemessungsansätzen ermittelten Beziehungen. Nur die verstärkten Endauflager zeigten ein Spaltversagen aufgrund der horizontalen Ausdehnung des Holzes oberhalb der Schraubenspitzen. Ein Vergleich mit verfügbaren Bemessungsansätzen zeigt, dass alle Versuchsergebnisse über den mittels Bemessungsansätzen ermittelten Beanspruchbarkeiten liegen.

Ein Vergleich der Versuchsreihen 3 - 5 zeigt leicht abnehmende Tragfähigkeiten (mit zunehmender Streuung) bei abnehmendem Abstand zwischen den Schraubenspitzen und der gegenüberliegenden Auflagerfläche $l_{tc} = \{15 \cdot d, 12,5 \cdot d, 10 \cdot d\}$. Die numerischen Berechnungen sowie die Verformungsmessungen an den Prüfkörpern zeigten, dass eine Reduktion des Abstandes l_{tc} zu einer Konzentration der Verformungen in diesem Bereich und damit zu erhöhten Querdruckspannungen zwischen den Schraubenspitzen und der gegenüberliegenden Auflagerfläche führt. Querdruckspannungen führen zu einer horizontalen Ausdehnung des Holzes. Diese wiederum reduziert die elastische Bettung der Schrauben im Holz und damit die Tragfähigkeit auf Knicken im Bereich der höchsten Druckbeanspruchung in der Schraube. Die Versuchsergebnisse in Kombination mit den numerischen Ergebnissen zeigen, dass der Abstand zwischen den Schraubenspitzen und der gegenüberliegenden Auflagerfläche $l_{tc} \geq 15 \cdot d$ betragen sollte.

Der effektive Elastizitätsmodul $E_{90,tot,ef}$ der verstärkten Konfigurationen war im Vergleich zur unverstärkten Konfiguration mindestens verdoppelt ($800 \leq E_{90,tot,ef} \leq 1050$). Die mit dem in [16] beschriebenen Modell errechneten Steifigkeitswerte liegen durchschnittlich 15 % unter den experimentell ermittelten Werten $E_{90,tot,mean}$.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass selbstbohrende Vollgewindeschrauben, von gegenüberliegenden Trägerseiten eingebracht und mit einer Übergreifung im Bereich der Schraubenspitzen ausgeführt, eine effiziente Lösung zur Durchleitung hoher Lasten quer zur Faser darstellen. Die im Versuch geprüften Konfigurationen weisen im Vergleich zur unverstärkten Variante mindestens doppelte Tragfähigkeiten und Steifigkeiten auf. Im Hinblick auf ein zuverlässiges Verhalten dieses Details sollten folgende Randbedingungen eingehalten werden:

- Die gegenüberliegenden Auflagerflächen sollten axialsymmetrisch angeordnet sein;
- Die Vollgewindeschrauben sollten gleichmässig und symmetrisch zur Auflagerfläche angeordnet sein;
- Die Übergreifungslänge sollte mindestens $l_{ap} = 10 \cdot d$ betragen;
- Der Abstand zwischen den Schraubenspitzen und der gegenüberliegenden Auflagerfläche sollte mindestens $l_{tc} = 15 \cdot d$ betragen. Geringere Abstände l_{tc} führen zu geringeren Tragfähigkeiten;
- Im Bereich der Übergreifung sollten die Vollgewindeschrauben unter Verwendung der Mindestabstände angeordnet werden;
- Eine alternierende Anordnung der Vollgewindeschrauben (alternative Anordnung in Abb. 9) führt zur höchsten Verbesserung der Tragfähigkeit und Steifigkeit;
- Eine Variation des Schraubendurchmessers zeigte nur einen geringen Einfluss auf die beschriebenen Beziehungen. Angesichts fehlender experimenteller Daten für Schrauben mit grossem Durchmesser wird jedoch empfohlen, die Anwendung dieses Details auf Vollgewindeschrauben mit $d \leq 12$ mm zu beschränken.

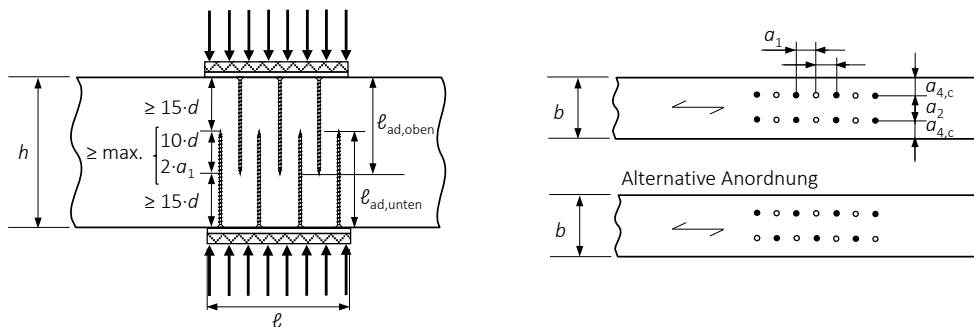


Abbildung 10: Querdrukverstärkungen zur Lastdurchleitung – Normvorschlag

Im Vergleich zu den Versuchen liegen die Knicklasten, die sich aus den aktuellen ETAs und Normentwürfen ableiten lassen, weit auf der sicheren Seite. Um höhere Knicktragfähigkeiten für diese Art von verstärkten Details zu ermöglichen wird empfohlen, die Tragfähigkeit von Vollgewindeschrauben im Holz weiter zu untersuchen. Bei verstärkten Endauflagern könnten in die Seitenflächen oberhalb der Schraubenspitzen eingebrachte Vollgewindeschrauben eine Verstärkung gegenüber einem vorzeitigem Spaltversagen des Holzes darstellen.

6. Danksagung

Der Entwurf *Verstärkungen* wurde in Zusammenarbeit zwischen dem Autor und Dipl.-Ing. Alfons Brunauer, Wiehag AG (1963-2018) erstellt. Der Autor dankt Ass.-Prof. Dr.-Ing. Robert Jockwer, Dr.-Ing. Tobias Wiegand und Harald Liven für Ihre Beiträge im Rahmen der Arbeit der WG 7. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Blass und Dr.-Ing. Ireneusz Bejtka sei gedankt für die wertvollen Hinweise zu den Querdrukverstärkungen. Herrn Sebastian Rodemeier, MSc. gebührt Dank für seine aufschlussreichen Untersuchungen zu den beidseitigen Querdrukverstärkungen.

7. Literatur

- [1] Dietsch, P.; Brandner, R. (2015): Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements – A state-of-the-art report. *Construction and Building Materials*, Vol. 97, S. 78-89.
- [2] EN 1995-1-1:2004; Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, + AC (2006) + A1 (2008) + A2 (2014). CEN European committee for standardization, Brüssel, Belgien.
- [3] DIN EN 1995-1-1/NA:2013; Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Holzbau. DIN, Berlin.
- [4] ÖNORM B 1995-1-1:2015-06, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - Nationale Festlegungen zur Umsetzung der ÖNORM EN 1995-1-1, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen. ASI Austrian Standards International.
- [5] Dietsch, P., Winter, S. (2012): Eurocode 5 - Future Developments towards a more comprehensive code on timber structures. *Structural Engineering International*, Vol. 22, H. 2, S. 223-231.
- [6] CEN/TC 250 N1239 (2014): Position paper on enhancing ease of use of the Structural Eurocodes. CEN/TC 250 Document N1239, Brüssel, Belgien.
- [7] Kleinhenz, M., Winter, S., Dietsch, P. (2016): Eurocode 5 – a halftime summary of the revision process, in: *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering WCTE 2016*, Wien, Österreich.

- [8] Dietsch, P. (2019): Reinforcement of Timber Structures – Standardization towards a new section for EC 5. Proceedings of the 5th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures SHATIS, Guimarães, Portugal.
- [9] Dietsch, P. (2017): Effect of reinforcement on shrinkage stresses in timber members. Construction and Building Materials, Vol. 150, S. 903–91.
- [10] Gamper, A., Dietsch, P., Merk, M., Winter, S. (2014): Gebäudeklima – Auswirkungen auf Konstruktion und Dauerhaftigkeit von Holzbauwerken, in: Görlacher, R. (Hrsg.): Karlsruher Tage: Holzbau – Forschung für die Praxis, KIT Scientific Publishing, ISBN 978-3-7315-0267-8.
- [11] BVPI (2013): Spannungsnachweise bei Satteldachträgern aus Brettschichtholz. Technische Mitteilung 06 / 011 der Bundesvereinigung der Prüfeningenieure für Bautechnik e.V., Berlin.
- [12] Jockwer, R. (2014): Structural behaviour of glued laminated timber beams with unreinforced and reinforced notches. Dissertation, IBK Bericht Nr. 365, ETH Zürich.
- [13] Blass, H.J., Ehlbeck, J., Kreuzinger, H., Steck, G. (2004): Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08, Bruderverlag, Karlsruhe.
- [14] Danzer, M., Dietsch, P., Winter, S. (2016): Einfluss exzentrisch positionierter runder Einzeldurchbrüche und Gruppen von Durchbrüchen auf die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern. Schlussbericht zu IGF-Vorhaben 18048 N, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München.
- [15] Dröscher, J., Schickhofer, G., Augustin, M. (2016): Durchbrüche in Tragstrukturen aus BSH und BSP. Forschungsbericht, holz.bau Forschungs GmbH, Graz.
- [16] Bejtka, I. (2005): Verstärkung von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben. Dissertation, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau 2, Universitätsverlag Karlsruhe.
- [17] Jockwer, R. (2016): Simplification of the design approach for buckling failure of reinforcement in compression, Kurzbericht, ETH Zurich.
- [18] Watson, C.P., van Berschoten, W., Smith, T., Pampanin, S., Buchanan, A.H., Stiffness of screw reinforced LVL in compression perpendicular to the grain (2013): CIB-W18 / 46-12-4, Proceedings of the international council for research and innovation in building and construction, Working commission W18 - timber structures, Meeting 47, Vancouver.
- [19] Z-9.1-519:2014: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, SPAX-S Schrauben mit Vollgewinde als Holzverbindungsmittel, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.
- [20] Dietsch, P., Rodemeier, S., Blass, H.J. (2019): Transmission of Perpendicular to Grain Forces Using Self-tapping Screws, INTER / 52 - 7 - 10, International Network on Timber Engineering Research INTER, Meeting 6, Tacoma, USA.
- [21] Rodemeier, S. (2019): Querdruckverstärkung von Holzbauteilen bei beidseitiger Druckkrafteinleitung, Master's thesis, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München.

8. Anhang – Symbole

- a* Abstand; Länge eines Durchbruchs;
- b_c* Kontaktbreite, siehe Abb. 7;
- b_r* Breite des flächenförmigen Verstärkungselements;
- d* Durchmesser; Aussendurchmesser der Vollgewindeschraube oder Gewindestange/Gewindebolzen/Betonstabstahl ($d \leq 20$ mm);
- d₁* Innendurchmesser des Gewindes;
- f_{ax,d}* Bemessungswert der Ausziehfestigkeit der Vollgewindeschraube/Gewindestange mit Holzschraubengewinde;

- $f_{b1,d}; f_{b2,d}$ Bemessungswert der Festigkeitskennwerte für Klebfugen;
- $f_{t,d}$ Bemessungswert der Zugfestigkeit der flächenförmigen Verstärkung in Richtung der Zugkraft $F_{t,90,Ed}$;
- $f_{tens,d}$ Bemessungswiderstand auf Zug der Vollgewindeschraube/Gewindestange mit Holzschraubengewinde;
- $f_{ub,d}$ Bemessungswert der Bruchfestigkeit des Gewindebolzens/Betonstabstahls (mit γ_{M2} nach EN 1993-1-8 beziehungsweise γ_S nach EN 1992-1-1).
- $f_{yb,d}$ Bemessungswert der Streckgrenze des Gewindebolzens/Betonstabstahls (mit γ_{M2} nach EN 1993-1-8 beziehungsweise γ_S nach EN 1992-1-1).
- $f_{y,k}$ charakteristische Streckgrenze der Vollgewindeschraube;
- $f_{y,d}$ Bemessungswert der Streckgrenze der Stahlplatte, in N/mm^2 (ermittelt mit γ_{M0} nach EN 1993-1-1, 6.1).
- h_{ap} Höhe des Firstbereichs;
- h_d Durchbruchshöhe;
- h_{ef} wirksame Höhe;
- $h_{rl(ru)}$ Abstand zwischen unterem (oberen) Durchbruchrand und unterem (oberen) Trägerrand;
- l_{ad} wirksame Verankerungslänge; eingeklebte Länge; wirksame Höhe der aufgeklebten flächenförmigen Verstärkung;
- $l_{ad,t/c}$ wirksame Verankerungslänge oberhalb oder unterhalb der Bruchlinie;
- l_{dis} Verteilungslänge;
- $l_{ef,1}$ wirksame Kontaktlänge in Faserrichtung, siehe [2] [6.1.5.1(1)], siehe Abb. 7;
- $l_{ef,2}$ wirksame Verteilungslänge in Faserrichtung in der Ebene der Schraubenspitze, siehe Abb. 7;
- $n = n_0 \cdot n_{90}$ Anzahl der Verstärkungselemente (Vollgewindeschrauben oder Gewindestangen), siehe Abb. 7;
- n_r Anzahl der Verstärkungselemente;
- t Dicke (der Stahlplatte, in mm);
- t_r Dicke des flächenförmigen Verstärkungselements;
- A Bruttoquerschnittsfläche der Gewindebolzen oder Betonstabstähle (siehe EN 1993-1-8);
- A_s Spannungsquerschnittsfläche der Gewindebolzen oder Betonstabstähle (siehe EN 1993-1-8);
- $F_{ax,\alpha,Rk}$ charakteristische Tragfähigkeit auf Heraus ziehen einer Vollgewindeschraube unter einem Winkel α zur Faserrichtung nach [2] [8.7.2] oder ETA;
- $F_{b,Rk}$ charakteristische Tragfähigkeit einer Vollgewindeschraube gegen Knicken;
- $F_{c,\alpha,Ed}$ Bemessungswert der Druckkraft in einer Vollgewindeschraube oder Gewindestange, in N;
- $F_{t,90,Rd}$ Bemessungswert der Zugfestigkeit des stiftförmigen oder flächenförmigen Verstärkungselements;

Stabdübelverbindungen und eingeklebte Gewindestangen in Buchen-BSH

Prof. Dr. Steffen Franke
Berner Fachhochschule
Institut für Holzbau, Tragwerke
und Architektur
Biel/Bienne, Schweiz



Dr. Bettina Franke
Berner Fachhochschule
Institut für Holzbau, Tragwerke
und Architektur
Biel/Bienne, Schweiz



Prof. Andreas Müller
Berner Fachhochschule
Institut für Holzbau, Tragwerke
und Architektur
Biel/Bienne, Schweiz



Sebastian Heubuch
Berner Fachhochschule
Institut für Holzbau, Tragwerke
und Architektur
Biel/Bienne, Schweiz



Stabdübelverbindungen und eingeklebte Gewindestangen in Buchen-BSH

1. Einführung – Hintergründe und Motivation

Laubholz ist evolutionsbedingt neuer als Nadelholz, und diese Chronologie lässt sich auch auf die Anwendung und Bekanntheit im Ingenieurholzbau übertragen. Die Entwicklungen und Anwendungen von Produkten aus Nadelholz wie auch das Fügen von Bauteilen mittels Verbindungen ist langjährig erforscht, anerkannt und angewandt. Hingegen spielen Laubhölzer im aktuellen Ingenieurholzbau mit ihren besseren mechanischen Eigenschaften eher noch eine untergeordnete Rolle. Für den weiten Einsatz von Laubholzprodukten, wie Brett-schichtholz (BSH) aus Buche, müssen für die Bemessung alle relevanten Eigenschaften, wie Festigkeiten und Steifigkeiten der Produkte sowie auch der Verbindungen bekannt sein. Für Kontaktanschlüsse und Anschlüsse mit mechanischen Verbindungen beruhen die in nationalen und internationalen Standards vorhandenen normativen Regelungen vorrangig auf experimentellen Untersuchungen an Nadelholz und sind bis dato noch nicht umfassend und vollständig für Laubholz geprüft worden. Gerade für hochbeanspruchte und hochleistungsfähige Verbindungen ist es wichtig, abgesicherte und zuverlässige Regeln und Konzepte für die Bemessung für die Architekten, Planer und Ingenieure zu Verfügung zu stellen.

Verbindungen mit Stabdübeln in Kombination mit Holz, Holzprodukten und Stahlblechen gehören zu den klassischen Verbindungen im Ingenieurholzbau zur Ausbildung von Zugstabsanschlüssen, Rahmenecken, Fachwerkknoten oder Haupt- und Nebenträgeranschlüssen. Die Verbindung beruht auf dem Übertrag von Zug-, Druck- oder Querkräften durch Belastung der Verbindungsmittel auf Abscheren und des Holzes auf Lochleibung. In der SIA 265:2012 und im Eurocode 5 (SN EN 1995-1-1:2004 inkl. A1:2008 und A2:2014) wird die Stabdübel-/Passbolzenverbindung mit Hilfe der Johansen Theorie (Johansen, 1949) bemessen. Die notwendigen Parameter sind jedoch für die Anwendung in Buche zu prüfen.

Als sehr effiziente Verbindung hat sich die Anwendung von eingeklebten Gewindestangen gezeigt, da hier eine besonders hohe Steifigkeit und Ausnutzung des Holzquerschnittes vorhanden ist. Weder in der SIA 265:2012 noch im Eurocode 5 (SN EN 1995-1-1:2004 inkl. A1:2008 und A2:2014) sind Angaben zur Berechnung von auf Zug beanspruchten eingeklebten profilierten Stäben vorhanden. Die Tragfähigkeit der Verbindung in Bezug auf ihren Auszugwiderstand muss durch Versuche ermittelt werden. International werden verschiedene Bemessungsansätze diskutiert, vgl. Steiger (2012), Steiger et al. (2015) wo relevante Bemessungsansätze für Verbindungen mit eingeklebten Gewindestangen vorgestellt werden. Aktuell werden diese in der Überarbeitung des Eurocode 5 jedoch ergänzt. Besonders für die Anwendung in Buche ergibt sich der Bedarf zur Erarbeitung relevanter Bemessungsgrundlagen.

2. Material und Versuchsprogramm

2.1. Material

Für alle Untersuchungen wurden die Prüfkörper aus Buchenvollholz, Buchenbrettschichtholz oder Buchenstabschichtholz mit einer mittleren Rohdichte von 727 kg/m^3 hergestellt. Vor der Prüfung erfolgte die Lagerung im Normalklima $20 \text{ °C} / 65 \%$ wobei sich eine mittlere Ausgleichsfeuchte von $u = 10 \%$ einstellte. Für spezielle Untersuchungen des Feuchteinflusses erfolgte eine jeweilig weitere Konditionierung bis Prüfung der Verbindung.

Im Versuchsprogramm wurden verzinkte Stabdübel der Festigkeitsklasse S235JR verwendet. Die Festigkeit der Stabdübel wurde in Zugversuchen nach SN EN ISO 6892-1:2010 geprüft und ergab einen Mittelwert von $f_{u,k} = 618 \text{ N/mm}^2$.

Im Versuchsprogramm wurden verzinkte Gewindestangen der Festigkeitsklasse 8.8 sowie blanke Gewindestangen der Festigkeitsklasse 10.9 verwendet. Die Festigkeit der Gewindestangen wurde in Zugversuchen nach SN EN ISO 6892-1:2010 geprüft. Die Bestimmung

des charakteristischen Wertes erfolgte nach EN 14358:2016. Die Mindestzugfestigkeit von 800 N/mm^2 für 8.8 Gewindestangen wurde für M12 mit 801 N/mm^2 bestätigt, für M16 mit 891 N/mm^2 und M20 mit 863 N/mm^2 deutlich erhöht überprüft.

Zum Einkleben der Gewindestangen wurden zwei Zweikomponenten Polyurethanklebstoffe (2K-PUR) der Firma Henkel & Cie. AG eingesetzt. Im Vorversuchsprogramm wurde der 2K-PUR Loctite© CR421, im Hauptversuchsprogramm auch zusätzlich der 2K-PUR Loctite© CR821 als Neuentwicklung und zukünftigen Ersatz zum CR421 verwendet.

2.2. Versuchsprogramm

Stabdübelverbindungen

Das Prüfprogramm unterteilt sich in Prüfungen zur Festlegung der Vorbohrdurchmesser für ein optimales Einbringverhalten und zur Bewertung der Bemessungsregeln zur Bestimmung der Tragfähigkeit. Das Prüfprogramm umfasste Verbindungen parallel und senkrecht zur Faser. Die experimentellen Untersuchungen erfolgten nach SN EN 26891:1991. Die Deklaration der Variablen sowie die Kräfteinleitungen sind prinzipiell in Abbildung 1 (links) und im Experiment in Abbildung 1 (rechts) dargestellt.

Folgende Parameter für die Bewertung des Tragverhaltens durchgeführt. Das Prüfprogramm gliedert sich in kleinformatige Prüfserien mit vorrangig 2-reihigen Anschlüssen (bis ca. 400 kN) und Prüfserien mit praxisrelevanten Querschnittsgrößen und Beanspruchungen (bis ca. 1500 kN) mit folgenden Variationen:

- Mindestrand- und Verbindungsmittelabstände a_1, a_2, a_3
- Seitenholzdicke $t_1 = 20$ bis 50 mm
- Mittelholzdicke $t_2 = 30$ bis 70 mm
- Verbindungsmitteldurchmesser $d = 8, 12, 14, 20 \text{ mm}$
- Anzahl der Verbindungsmittel pro Reihe $n = 1, 2, 3, 5, 7$
- Anzahl der Verbindungsmittelreihen $m = 1, 2, 3, 4, 6$
- Anzahl der Schlitzbleche innenliegend $1, 2, 3$

Für Anschlüsse senkrecht zur Faser wurden vorrangig die Abstände untereinander in Faserrichtung a_1 wie auch senkrecht zur Faser a_2 und die Seitenholzdicken an Verbindungen mit einem innenliegenden Stahlblech mit $m \times n = 3 \times 2$ Stabdübeln mit Durchmesser von $d = 8 \text{ mm}$ betrachtet. Es wurden jeweils 5 Prüfkörper zu den Abstufungen $a_1 = 3d, 5d, 7d$ und $9d$ durchgeführt. Zur Prüfung des Tragverhaltens sind grossformatige Prüfungen mit ein oder zwei innenliegenden Schlitzblechen und einer Variation der Anordnung und Anzahl der Stabdübel durchgeführt worden, vgl. Franke et al. (2019).

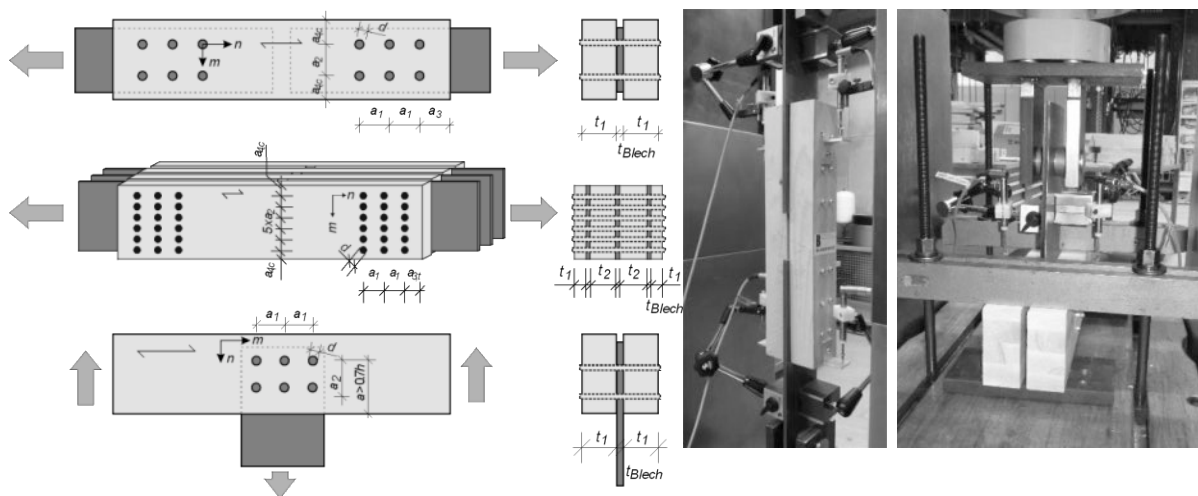


Abbildung 1: Prinzipskizze zu den Prüfkörpern parallel und senkrecht belastet (links) und Versuchsaufbau für kleinformatige Prüfungen (rechts)

Eingeklebte Gewindestangen

Das Versuchsprogramm gliedert sich in Einbringversuchsserien, kleinformatigen Vorversuchsserien und Hauptversuchsserien mit praxisrelevanten Verbindungen in Geometrie und Tragwirkung. Die Deklaration der Parameter sowie der Krafteinleitung können, Abbildung 2 entnommen werden. Die Planung der Hauptversuchsserien basiert auf den Ergebnissen aus den Vorversuchsreihen. In den experimentellen Untersuchungen sind Anschlüsse mit einer Beanspruchung parallel zur Faser, senkrecht zur Faser und unter einer Neigung von 45° zur Faser unterschieden. Die Versuchsserien dienen der Bewertung folgender Parameter:

- Einbringvoraussetzungen sowie Eignung des Klebstoffes
- Einfluss des Gewindestangendurchmessers d
- Einfluss des Kraft-Faser-Winkels α
- Massgebende Einbindelänge der Gewindestange l_{ad}
- Minimale und optimale Abstände zwischen Verbindungsmitteln $a_{2,c}$
- Ausziehfestigkeit $f_{k,l}$
- Variation der Anzahl der Gewindestangen
- Prüfung der zurückversetzten Einbindelänge

Die Versuche wurden für parallel zur Faser eingeklebte Gewindestangen als symmetrischer Pull-Pull und für rechtwinklig zur Faser eingeklebte Gewindestangen als Push-Pull Versuch durchgeführt. Die Krafteinleitung in die Gewindestange der Einzelstangenversuche erfolgt über eine aufgeschraubte Kalotte in Verbindung mit einer speziellen Aufnahmevorrichtung zum Einhängen der Prüfkörper (siehe Abbildung 3). Für die Verbindungen mit mehreren Gewindestangen wurden gelenkig gelagerte Grundplatten und einzelne Muttern, die handfest angezogen wurden, verwendet. Die Belastung der Versuchskörper erfolgt nach SN EN 26891:1991. Die Verformungen der Verbindungen zwischen Stange und Holzoberfläche als Last-Lastpunkt-Verschiebungskurve wurden über vier am Prüfkörper applizierten induktiven Wegaufnehmern (LVDT) parallel zum Maschinenweg bis ca. 70 % der zu erwartenden Bruchlast erfasst.

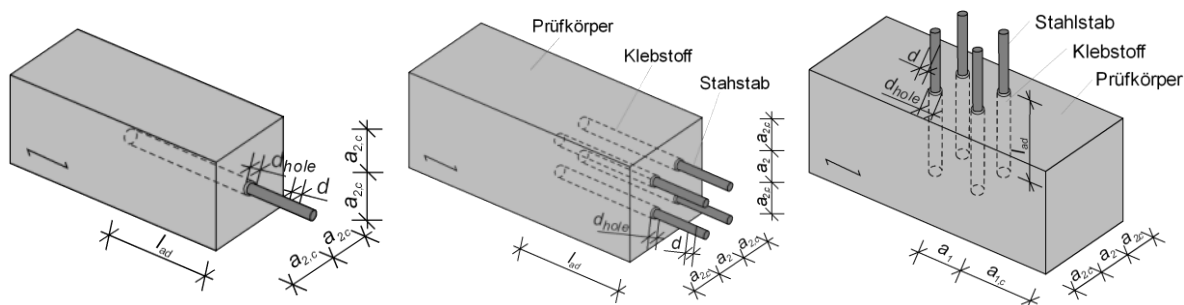


Abbildung 2: Skizzen der Prüfkonfigurationen: Einzelstange parallel zur Faser, Stangengruppe parallel zur Faser und Stangengruppe senkrecht zur Faser (v. l. n. r.)



Abbildung 3: Eingespannter Prüfkörper parallel zur Faser als Zug-Zug-Versuch

3. Trag- und Versagensverhalten

3.1. Auswertungsmethode und Vergleichsgrundlage

Die Auswertung aller Traglasten basiert auf SN EN 26891:1991, so dass die Traglast des Versuchs als maximale Bruchlast oder die Traglast bei einer Verschiebung von 15 mm in der Verbindung definiert ist. Darüber hinaus wurden alle Traglasten für 2 mm plastische und 5 mm totale Verformung ausgewertet und in der weiteren Projektbearbeitung analysiert.

Für den Vergleich auf Bruchniveau für die Verbindungen mit Stabdübeln sind die rechnerischen Traglasten auf das ursprüngliche Bemessungsmodell von Johansen (1949), detailliert in Blaß & Sandhaas (2016) beschrieben, zurückgeführt und ohne einen Einfluss von sicherheitsbasierten Beiwerten nach Gleichung (1) - (3) und ohne Berücksichtigung mehrerer in Kraftrichtung hintereinander angeordneter stiftförmiger Verbindungsmittel berechnet. Für die Lochleibungsfestigkeiten sowie den Einfluss der Holzdicken wurden die Angaben der SIA 265:2012 resp. Eurocode 5 verwendet. Für die Rohdichte wurden die am jeweiligen Prüfkörper bestimmte Rohdichte und für die Stahlzugfestigkeit die mittlere Festigkeit, $f_{u,mean} = 610 \text{ N/mm}^2$ verwendet. Ein reines Lochleibungsversagen war mit den verwendeten Holzdicken ausgeschlossen.

$$M_{y,R,mean} = 0.3 f_{u,mean} d^{2.6} \quad (1)$$

$$f_{h,0,mean} = 0.082(1 - 0.01d) \rho_{mean} \quad (2)$$

$$f_{h,90,mean} = \frac{f_{h,0,mean}}{0.9 + 0.015d}$$

$$R_{Verb,EC5} = (n_{ef}) \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,mean} t_1 d \\ f_{h,mean} t_1 d \left(\sqrt{2 + \frac{4M_{y,mean}}{f_{h,mean} d t_1^2}} - 1 \right) \\ 2.0 \sqrt{M_{y,mean} f_{h,mean} d} \end{array} \right. \quad (3)$$

Für die Bestimmung der Ausziehfestigkeiten der Verbindungen mit eingeklebten Gewindestangen wurden die jeweils am Versuchskörper bestimmten geometrischen Grössen und der nominale Gewindestangendurchmesser verwendet. Die Tragfähigkeit wurde daher durch die eingeklebte Mantelfläche der Gewindestange geteilt.

3.2. Einbringvoraussetzungen für Verbindungen mit Stabdübeln

Die Quantifizierung des Einbringverhaltens von Stabdübeln erfolgte an praxisnahen Einbringversuchen in ausführenden Unternehmen sowie labortechnisch an einteiligen (z. B. Seitenholz) und zweiseitigen Prüfkörpern (z. B. Anschluss mit innenliegendem Stahlblech). Die Prüfkörper wurden jeweils nach Normalklimalagerung mit sechs Bohrungen von $\varnothing = 8.0, 8.1, 12.0$ und 12.1 mm hergestellt und anschliessend direkt geprüft. Zusätzlich erfolgte eine Bewertung einer möglichen Feuchteänderung, wo Prüfkörper für eine Abtrocknung und eine Auffeuchtung im Anschluss an die Herstellung bis Prüfung bei $23^\circ\text{C} / 50\%$ und $20^\circ\text{C} / 70\%$ bis Massenkonstanz gelagert wurden.

Relativ unabhängig von der ausgesetzten Feuchteänderung ergaben sich für die mit Nenn-durchmesser vorgebohrte Löcher Einbringkräfte von ca. 3.0 kN gegenüber den mit + 0.1 mm grösser vorgebohrten Löchern mit maximal 0.1 kN, vgl. Franke et al. 2019. Für die Verbindungen mit Stabdübeln im Prüfprogramm wird der Vorbohrdurchmesser aufgrund der Einbringkräfte und der Bewertung auf $d+0.1\text{mm}$ festgelegt und für den Praxiseinsatz empfohlen. Die Differenz von 0.1 mm kann durch einen angepassten Bohrdurchmesser oder durch ein zusätzliches Ziehen der Stabdübel sichergestellt werden.

3.3. Tragverhalten von Verbindungen mit Stabdübeln

Allgemein

Das Trag- und Versagensverhalten der ausgeführten Verbindungen mit Stabdübeln in Buche wird durch ein duktiles Versagen, durch Überschreiten der Lochleibungsfestigkeit, plastischer Verformung der Verbindungsmittel oder Abscheren der Verbindungsmittel, oder einem spröden Versagen in Form vom Aufspalten des Holzes beschrieben. Die Versagensart ist hauptsächlich von der Geometrie und Schlankheit der Verbindung abhängig. Die ausgeführten Verbindungen zeigten vorrangig ein duktiles Versagen mit Ausbildung von zwei Fließgelenken pro Scherebene anhand derer die Auswirkungen von Abständen, Mindestholzdicken und effektiven Anzahl an Verbindungsmitteln bewertet werden konnte.

Mindestholzdicke

In ersten Versuchsreihen wurden die Mindestholzdicken für das Seitenholz und Mittelholz für Verbindungen mit Stabdübeln in Buchen - BSH parallel und senkrecht überprüft. Für die Anschlüsse können die prinzipiellen Verläufe der Tragfähigkeiten in Abhängigkeit der Holzdicke und somit der Versagensfälle der Fließgelenktheorie wiedergegeben werden, jedoch liegen die Ergebnisse auf einem höheren Niveau. Die Abhängigkeit der Mittelholzdicke für parallel beanspruchte Verbindungen wurde von Möller (2017) erarbeitet. Für die Untersuchung der Mittelholzdicke wurden die Versuche zur Reduzierung des Aufreissens vollflächig auf Druck gelagert durchgeführt und die Traglasten bei konstanter Verschiebungsgrenze von $u = 15$ mm ermittelt. Generell sind die erreichten Duktilitäten senkrecht zur Faser wesentlich grösser als bei parallel zur Faser beanspruchten Verbindungen.

Verbindungsmittel- und Randabstände

Der Einfluss der Verbindungsmittel- und Randabstände wurde parallel und senkrecht zur Faser an Verbindungen mit $m \times n = 3 \times 2$ Stabdübeln und einem eingeschlizten Stahlblech geprüft. In Abbildung 4 sind die mittleren Tragfähigkeiten in Abhängigkeit der jeweiligen Abstände angegeben. Für parallel zur Faser beanspruchte Verbindungen ist unter gleichem Abstand $a_2 = 3d$ stets eine geringe Steigerung der Tragfähigkeit mit Zunahme des Abstandes ersichtlich (Abbildung 4 oben links). Mit einem Abstand $a_1 = 9d$ wird die Duktilität von 3 überschritten, so dass diese Kombination als Mindestabstände deklariert werden kann. Für die Variation des Abstandes senkrecht zur Faser a_2 unter konstantem Abstand $a_1 = 7d$ ergeben sich ab $a_2 = 3d$ keine Traglaststeigerungen mehr, jedoch Duktilitätssteigerungen, die für $a_2 = 4d$, (Abbildung 4 oben rechts) die Duktilität von 3 auch überschreiten, so dass diese Kombination ebenfalls die Anforderungen erfüllt. Für den Randabstand $a_{3,t}$ ist sowohl für die Traglast als auch Duktilität keine deutliche Abhängigkeit ersichtlich.

In Verbindungen senkrecht zur Faser beansprucht zeigt der Abstand a_1 im Bereich von $3d$ bis $7d$ keinen Einfluss. Ab einem Abstand von $9d$ wird eine Laststeigerung erreicht. Für den Verbindungsmittelabstand a_2 ist bis zu einem Abstand von $4d$ eine Laststeigerung zu verzeichnen, darüber hinaus konnte keine Laststeigerung mehr beobachtet werden. Für beide Verbindungsmittelabstände hat sich in den grossformatigen Anschlüssen ein gleiches Verhalten eingestellt und die bisherigen Ergebnisse hierdurch bestätigt. Die Duktilität konnte in den grossformatigen Testserien gesteigert werden, da hier durch das grössere Volumen das Aufspalten noch geringer ausgeprägt war.

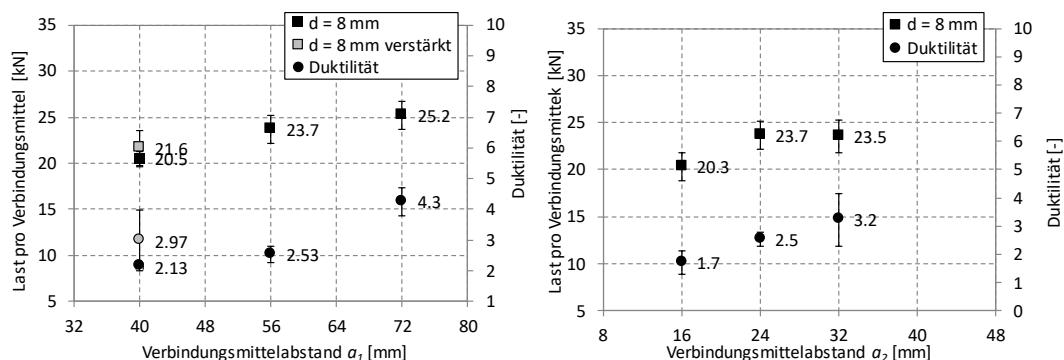


Abbildung 4: Mittlere experimentelle Tragfähigkeiten und Duktilitätsmasse (inkl. Standardabweichung) in Abhängigkeit der Verbindungsmittelabstände a_1 und a_2 für parallel zur Faser beanspruchte Verbindungen $m \times n = 2 \times 3$

3.4. Tragverhalten von eingeklebten Gewindestangen

In den experimentellen Untersuchungen traten die drei Arten des Versagens: Ausziehen der Gewindestangen durch Klebeverbund bzw. Schubversagen des Holzes, Aufspalten des Holzquerschnittes oder Stahlversagen der Gewindestange (für Einbindelängen $\geq 15d$) auf. Die Verbindungen mit Stangengruppen weisen für parallel zur Faserrichtung eingeklebten Gewindestangen primär ein Ausziehen aufgrund des Schubversagen des Holzes und sekundär ein Aufspalten des Holzes auf. Für Serien mit senkrecht zur Faserrichtung eingeklebten Gewindestangen konnte ein Ausziehen der Gewindestangen oder Querkzugversagen des Holzes am Ende der Gewindestange festgestellt werden.

Die Ausziehfestigkeiten für parallel zur Faserrichtung eingeklebt und beansprucht (Serie 03, 02neu und 16), liegen unabhängig vom Gewindestangendurchmesser auf gleichem Niveau, siehe Abbildung 5, wobei sich für 45° und 90° eingeklebte Gewindestangen höhere Werte als parallel ergeben. In den Untersuchungen der Ausziehversuche für parallel zur Faser eingeklebte Gewindestangen hatte sich für Randabstände $a_2 < 2.5d$ vermehrt ein Aufspalten gezeigt, siehe Abbildung 6. Durch ein Zurückversetzen der Einbindelänge (Vorholz) um $5d$ konnte das Aufspalten jedoch für Randabstände bis $1.75d$ effektiv unterbunden werden, wodurch wesentlich höhere Ausnutzungen erzielbar sind.

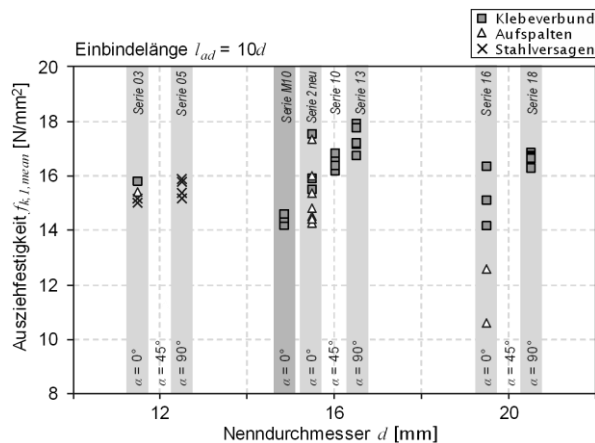


Abbildung 5: Ausziehfestigkeiten in Abhängigkeit des Stangendurchmessers d und des Kraft-Faser-Winkels α

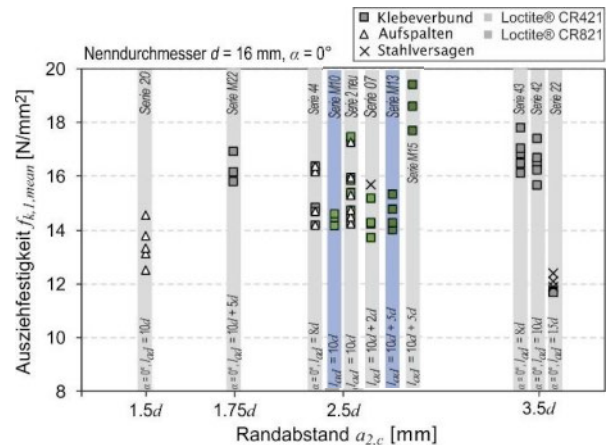


Abbildung 6: Ausziehfestigkeiten in Abhängigkeit der Einbindelänge l_{ad} und des Vorholzes

4. Konstruktive Ausführung und Bemessung von Verbindungen mit Stabdübeln

4.1. Konstruktive Regeln

Ableitend aus den dargelegten Ergebnissen werden im Hinblick auf Anschlüsse mit duktilen Tragverhalten $D \geq 3$, als Vorgabe im Forschungsprojekt, die Mindestrand- und Verbindungsmittelabstände abweichend von den in der SIA 265:2012 und Eurocode 5 vorläufig wie in Tabelle 1 gezeigt empfohlen. Mit Einhaltung der Mindestabstände und Mindestdicken wird die grösstmögliche Traglast erreicht und ein vorzeitiges Versagen durch Aufspalten o. ä. weitgehend verhindert. Die Traglast kann so auch ohne eine Abminderung der Anzahl hintereinander angeordneten Verbindungsmittel (k_{red} bzw. n_{ef}) berechnet werden.

4.2. Bemessung parallel zur Faser

Für die Lochleibungsfestigkeit in Anschlüssen mit Stabdübeln und Passbolzen in Laubholz sind bereits verschiedene Ansätze veröffentlicht, vgl. Gegenüberstellung in Abbildung 7. Die Ansätze sind verschieden auf dem Mittelwert- oder charakteristischen Niveau abgeleitet. Die Ansätze in der SIA 265:2012 und Eurocode 5 - SN EN 1995-1-1:2004 sind jeweils gleich. Es ist auffällig, dass im Mittelwertniveau, die Lochleibungsfestigkeit der Standards die untere Grenze beschreibt und auf charakteristischem Niveau eher im mittleren Bereich für Laubholz liegt, siehe Abbildung 7 (rechts).

Tabelle 1: Empfohlene Mindestabstände für Stabdübel und Passbolzen

		SIA 265:2012	Eurocode 5	Buche
a_1 parallel zur Faserrichtung		$7d$	$(3+2 \cos \alpha)d$	$9d$ ^{1,2)}
a_2 rechtwinklig zur Faserrichtung		$3d$	$3d$	$3d$ ¹⁾
$a_{3,t}$ beanspruchtes Hirnholzende $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$		$\max \left\{ \begin{matrix} 7d \\ 80 \text{ mm} \end{matrix} \right\}$	$\max \left\{ \begin{matrix} 7d \\ 80 \text{ mm} \end{matrix} \right\}$	$9d$ ^{1,2,3)}
$a_{3,c}$ unbeanspruchtes Hirnholzende $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$		$5d$	$a_{3,t} \sin \alpha $ $\max \{3, 5d; 40 \text{ mm}\}$ $a_{3,t} \sin \alpha $	$5d$
$a_{4,t}$ beanspruchter Rand $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$		$4d$	$\max \{ (2+2 \sin \alpha)d; 3d \}$	$4d$
$a_{4,c}$ unbeanspruchter Rand $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$		$3d$	$3d$	$3d$

1) Anhand von Versuchsergebnissen empfohlen
 2) $7d$, wenn $a_2 \geq 4d$ oder Ausführung mit Verstärkungen gegen Aufspalten
 3) $5d$ wenn Ausführung mit Verstärkungen gegen Aufspalten

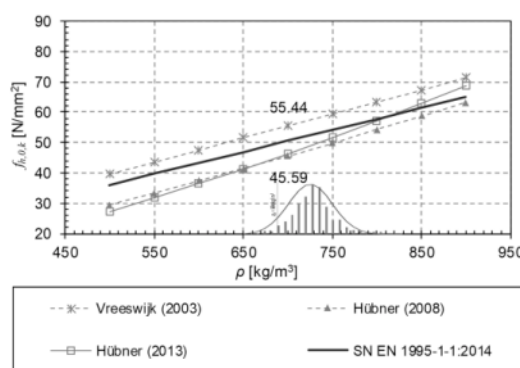
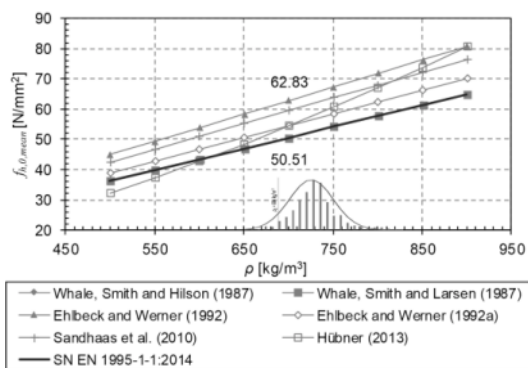


Abbildung 7: Vergleich der Lochleibungsfestigkeit für $d = 12 \text{ mm}$ parallel zur Faser aus Norm und Literatur, auf Mittelwert- $f_{h,0,mean}$ (links) und charakteristischem Niveau $f_{h,0,k}$ (rechts), zusätzlich ist die Rohdichteverteilung der Prüfkörper dargestellt

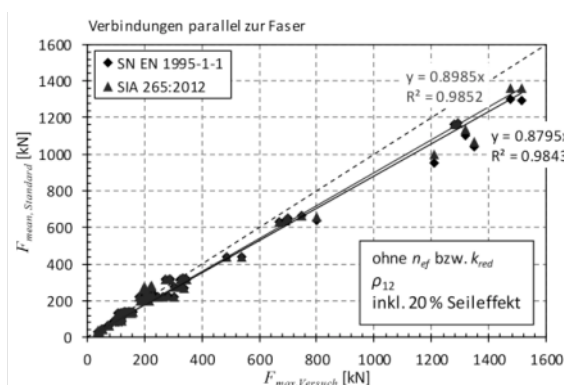
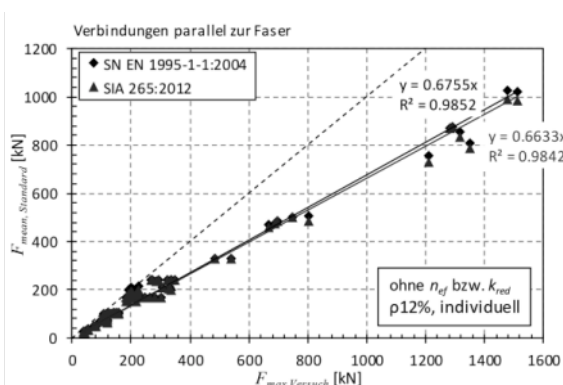


Abbildung 8: Vergleich der experimentellen Traglasten auf Mittelwertsniveau zur SIA 265:2012 und EC 5

Abbildung 9: Vergleich der Traglasten auf Mittelwertsniveau zum angepassten Bemessungsansatz

Die nach der SIA 265:2012 respektive dem Eurocode 5 derzeit berechenbare Tragfähigkeit der Verbindungen mit Stabdübeln in Buchen-BSH führt zu einer Unterschätzung von ca. 33 % der Leistungsfähigkeit gegenüber der in experimentellen Versuchen erreichten tatsächlichen Tragfähigkeiten, siehe Abbildung 8. Die Gesamtheit der experimentellen

Tragfähigkeiten zeigt einen einheitlichen linearen Verlauf mit hoher Korrelation und Unabhängigkeit von n_{ef} . Für den Vergleich wurden die Tragfähigkeiten nach Gleichung (1) bis (3) aus Kapitel 3.1 bestimmt. Für die Bemessung von Stabdübel Verbindungen in Buchen-BSH wird daher in einem ersten Schritt eine Anpassung der Berechnung der Lochleibungsfestigkeit nach Ehlbeck und Werner (1992) und in einem zweiten Schritt eine Einführung der Seilwirkung von 20 % empfohlen. Diese Anpassungen der bisherigen Bemessungsansätze erhöhen die rechnerische Tragfähigkeit von Verbindungen mit Stabdübeln in Buchen-BSH auf ein Leistungsniveau von 88 % bzw. 90 %, siehe Abbildung 9.

4.3. Bemessung senkrecht zur Faser

Die Tragfähigkeiten der Verbindungen senkrecht zur Faser zeigen aufgrund der zwei unterschiedlich zu berücksichtigten Versagensarten nicht die gleich gute Korrelation. Zur Abschätzung der Tragfähigkeit werden nicht alle beeinflussenden geometrischen Parameter umfassend berücksichtigt. Dies kann sehr deutlich in Abbildung 10 für die Tragfähigkeiten auf dem Niveau von 100 kN gesehen werden, wo die Variation des Anschlusses hauptsächlich in der Verbindungsmittelabständen lag. Gleichermassen wie für die Anschlüsse parallel zur Faser, werden die rechnerischen Tragfähigkeiten unterschätzt. Eine deutliche Unterscheidung kann zwischen dem Versagen infolge von Querzug (gekennzeichnet mit Dreiecken) und der Ausbildung von Fließgelenken (gekennzeichnet mit Kreisen) gezogen werden. Aus diesem Grund sind im Folgenden die zwei Versagensarten getrennt betrachtet worden.

Für die Abschätzung des Versagens im Modus 3 –Ausbildung von Fließgelenken- wurde in gleicher Weise eine Erhöhung der Lochleibungsfestigkeit nach Ehlbeck und Werner (1992) und die Einführung des Seileffektes von 20% eingeführt. Die Traglasten können hierdurch auf ein Leistungsniveau von 79 % bzw. 83 % berechnet werden, vgl. Abbildung 11. Für die Bemessung des Querzugversagens wurde das Modell nach der DIN 1052:2008 und der prSIA265:2012 geprüft. Eine Korrelation von 100 % konnte unter Anwendung von einer

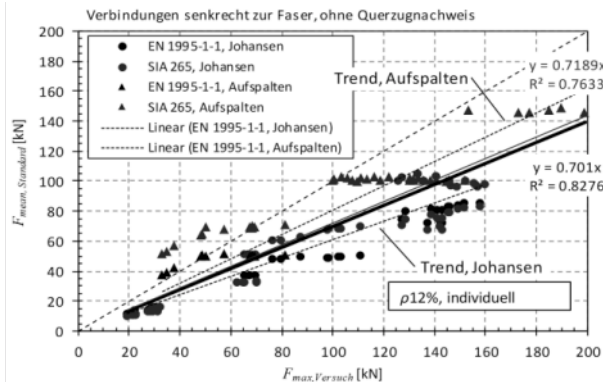


Abbildung 10: Vergleich der experimentellen Traglasten auf Mittelwertsniveau zur SIA 265:2012 und EC 5 mit Unterscheidung des Versagens, Fließgelenkausbildung (Kreise) und Querzug (Dreiecke)

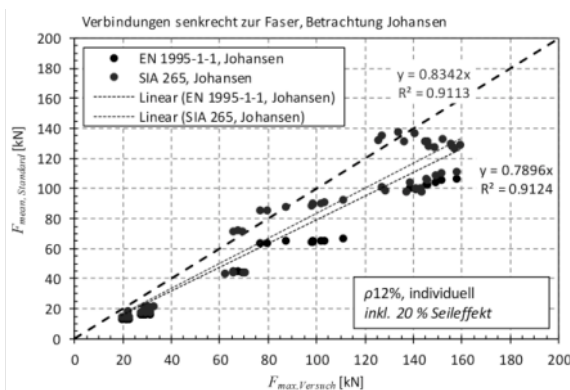


Abbildung 11: Vergleich der experimentellen Traglasten auf Mittelwertsniveau zur neuen empfohlenen Bemessung nach SIA 265:2012 und EC 5 für Fließgelenkausbildung

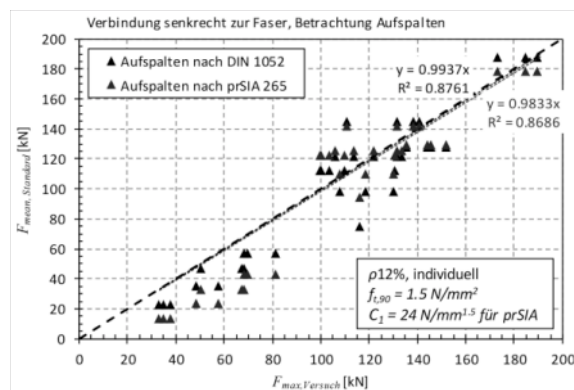


Abbildung 12: Vergleich der experimentellen Traglasten auf Mittelwertsniveau zur neuen empfohlenen Bemessung nach DIN 1052:2008 und prSIA 265:2012 für Querzug

Querzugfestigkeit für Buche von 1.5 N/mm^2 respektive dem Faktor C_1 von $24 \text{ N/mm}^{1.5}$ erreicht werden, vgl. Abbildung 12.

4.4. Bemessungsformeln

Für die Bemessung von Verbindungen mit Stabdübeln in Buchen-BSH bieten die bisherigen Bemessungsformeln von der SIA 265:2012 und dem Eurocode 5 basierend auf dem Johansen-Modell eine solide Grundlage. Die in Laubholz sehr hohen erreichbaren Traglasten können unter Anwendung der Gleichungen (4) bis (6) und folgenden Empfehlungen realitätsnah für die Nachweise der Tragsicherheit berechnet werden:

- Keine Reduzierung der Traglast durch effektive Anzahl der Stabdübel in Kraftrichtung
- Anwendung der Lochleibungsfestigkeit nach dem Ansatz von Ehlbeck and Werner (1992a)
- Berücksichtigung eines Seileffektes von 20% für die Versagensart der Ausbildung zweier Fliessgelenke (Modus 3 der Johansen Theorie)
- Nachweis des Querzuges für senkrecht zur Faser beanspruchte Verbindungen nach den Ansätzen der DIN 1052:2008 oder prSIA 265 mit Bemessungswerten von $f_{t,90,d} = 0.5 \text{ N/mm}^2$ und $C_{1,d} = 11.7 \text{ N/mm}^{1.5}$.

$$M_{y,R_k} = 0.3 f_u d^{2.6} \quad (4)$$

$$f_{h,0,k} = 0.102(1 - 0.01d) \rho_k \quad (5)$$

$$f_{h,90,k} = 0.102(1 - 0.016d) \rho_k$$

$$R_{v,R_k,(EC5)} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \\ f_{h,k} t_1 d \left(\sqrt{2 + \frac{4M_{y,R_k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right) \\ 1.2 \cdot 2.3 \sqrt{M_{y,R_k} f_{h,k} d} \end{array} \right. \quad (6)$$

5. Konstruktive Ausführung und Bemessung von Verbindungen mit eingeklebten Gewindestangen

5.1. Konstruktive Ausführung

Die derzeitig vorhandenen konstruktiven Regelungen schreiben minimale Randabstände von $a_2 = 2.5d$ vor, womit nur Ausnutzungsgrade von ca. 50% in Buchenholz erreicht werden können, vgl. Darlegung in Franke et al. (2019). In den Gruppenversuchen wurde kein Blockscherversagen festgestellt. Daher werden minimale Randabstände von $1.75d$ vorgeschlagen. Für unter senkrecht zur Faser eingeklebten Gewindestangen wurde kein Aufspalten beobachtet, jedoch muss bei geringen Abständen ein Blockscherversagen betrachtet werden. Dem Blockscherversagen kann durch eine grössere Einbindelänge entgegengewirkt werden.

5.2. Bemessung

Die SIA 265:2012 und die SN EN 1995-1-1:2014 enthält keine weiterführenden Informationen zur Bemessung der Tragfähigkeit. Zur Abschätzung der Tragfähigkeit kann das Bemessungsmodell der DIN EN 1995-1-1/NA:2010 genutzt werden. Der Auszieh widerstand ergibt sich zu

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{ll} f_{y,d} \cdot A_{ef} & \text{Stahlversagen} \\ \pi \cdot d \cdot l_{ad} \cdot f_{k,1,d} & \text{Versagen Klebeverbund} \end{array} \right\} \quad (7)$$

mit:

$f_{y,d}$	Streckgrenze des Stahlstabes
A_{ef}	Spannungsquerschnitt Stahlstab
l_{ad}	Einklebelänge $l_{ad,min} = 10d$
d	Nenn Durchmesser Stahlstab
$f_{k,1,d}$	Klebefugenfestigkeit

In Abbildung 13 sind die errechneten Traglasten nach Formel (7) lt. DIN EN 1995-1-1/NA:2010 unter Anwendung des mittleren Ausziehparameters von 14.8 N/mm^2 den experimentellen Traglasten gegenübergestellt. Durch Berücksichtigung des Stahlversagens und Elimination der deutlich abweichenden Aufspaltergebnisse (mit der Vorgabe, dass in der zukünftigen Anwendung ein Aufspalten verhindert wird) ergibt sich eine 100%-ige Abschätzung mit sehr guter linearer Abhängigkeit und Korrelation der im Versuch erreichten Traglasten und dem Bemessungskonzept.

Mit Überführung der Konzepte auf charakteristisches bzw. Bemessungsniveau ergeben sich die in Abbildung 14 dargelegten Abhängigkeiten. Mit einer charakteristischen Festigkeit von 10 N/mm^2 bzw. Bemessungsfestigkeit von 6.2 N/mm^2 werden die Lasten zu 45 % abgeschätzt. Der Eurocode 5 fordert für die Bemessung von Bauteilen und Verbindungen eine Temperaturbeständigkeit von $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Nach ersten Erkenntnissen würde dies die anwendbare charakteristische Festigkeit reduzieren. Die Bestätigung und Festlegung ist noch Gegenstand aktueller Arbeiten. Zur Erreichung einer hohen Duktilität muss die Verbindung auf Stahlversagen bemessen werden, so dass sich rechnerisch Einbindelängen in Abhängigkeit der Stahlfestigkeit bis ca. $20d$ ergeben.

Zur Verhinderung des Aufspaltens, sollte die statisch wirksame Klebefuge um $5d$ in der Bohrlochachse zurückversetzt werden. Geeignete Maassnahmen sind zu treffen, um den Verbund zwischen Gewindestangen und Klebstoff in diesem Bereich zu unterbinden.

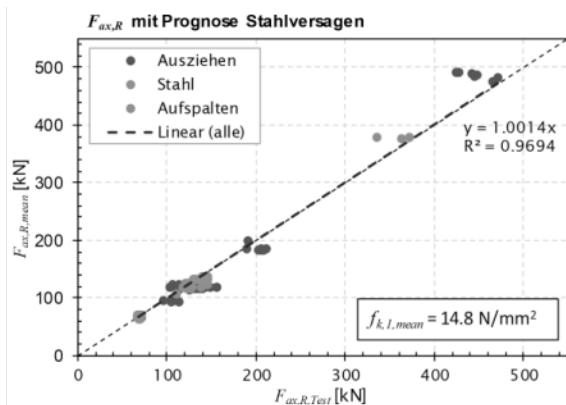


Abbildung 13: Vergleich der errechneten Traglasten mit dem Ansatz des Bemessungskonzeptes mit Berücksichtigung des Stahlversagens

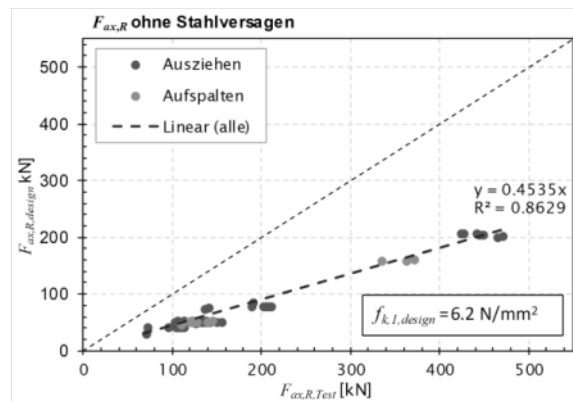


Abbildung 14: Prognose der Traglasten mit Bemessungsfestigkeiten von 6.2 N/mm^2

5.3. Qualitätssicherung

Für die Qualitätssicherung während der Ausführung von Anschlüssen mit eingeklebten Stäben/Gewindestangen ist eine Qualitätskontrolle zwingend lt. SIA 265:2012 (8.3.1) einzuhalten. Hierfür sind die Ausführungen und Vorbereitungen des Bohrloches, die Eignung des Klebstoffes und das Verkleben/Injizieren des Klebstoffes für eingeklebte Stäbe/Gewindestangen in Buchenholz zu regeln. Ausgehend von dem Stand der Technik für Nadelholz, der in der SIA 265:2012 und der DIN EN 1995-1-1/NA:2010 normativ geregelt, in der Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung (Z-9.1-778) der GSA® Technologie ausführlich beschrieben und von Steiger (2012) erörtert ist, werden folgende Empfehlungen für Buchenholz ausgesprochen:

- Die je nach Herstellungsvariante (stehend – mit oder ohne Einfülllöcher, liegend) benötigten Einfülllöcher für den Klebstoff sollten vor dem Stangenloch für die Gewindestange ausgeführt werden. Hierdurch werden eventuelle Ausbrüche, die die Klebstoffverteilung im Hohlraum beeinträchtigen können, vermieden. Die Einfüll- und Entlüftungsbohrungen sind entsprechend der Einbindelänge zu platzieren.
- Der Bohrdurchmesser des Stangenloches muss zwischen 2 mm und 4 mm grösser als der Nenndurchmesser der Gewindestange sein. Es empfiehlt sich das Stangenloch auf einer Langlochbohrmaschine (1500 U/min , Vorschub ca. 2300 mm/min) vorzubohren. Es muss gewährleistet sein, dass die Bohrlochwandung nicht verbrennt, da dies zu einer erheblichen Reduzierung der Klebefugenfestigkeit führt.

- Vor dem Einbringen der Gewindestangen müssen die Bohrlöcher gereinigt werden (z. B. Ausblasen mit fettfreier Druckluft).
- Die Gewindestangen müssen nach dem Zuschnitt und vor dem Einbringen entfettet/-ölt werden.
- Im Einpressvorgang müssen die Gewindestangen zentrisch in Position gehalten werden. Hierfür können Gewindekappen am Bohrlochende und Distanzhülsen bei der Bohrlochöffnung eingesetzt werden. Es ist darauf zu achten, dass die Bohrlöcher entsprechend der dem Zentriermittel geschuldeten Höhe tiefer gebohrt werden müssen.
- Die Angaben des Klebstoffherstellers u. a. zum Holzfeuchtebereich, Verarbeitungsklima, Topf- und Aushärtezeit ebenso wie die Sicherheitsvorschriften der Hersteller sind einzuhalten. Für die Verwendung von 2-Komponenten-Klebstoffen in Kartuschen muss gewährleistet sein, dass die zwei Komponenten richtig vermischt sind. Es empfiehlt sich Kontrollproben zu erstellen.
- Während des Einpressens des Klebstoffes sollte im gleichen Stangenloch kein Kartuschenwechsel aufgrund von möglichen Lufteintritten erfolgen.
- Für eine gleichmässige Klebstoffverteilung sollte die Einpressgeschwindigkeit maximal bei ca. 20 mm/s liegen (ca. Wert basierend auf $v_E = l_{ad}/t = 160 \text{ mm}/8 \text{ Sekunden}$).
- Es sind Klebstoffproben zur Qualitätskontrolle und -nachweis zu erstellen.
- Die Zugfestigkeit der Gewindestange sind pro Gewindestangencharge zu prüfen.

6. Zusammenfassung und Ausblick

6.1. Verbindungen mit Stabdübeln

Die vorgestellten Ergebnisse des Forschungsprojektes zu leistungsfähigen Anschlüssen in Laubholz zeigen für Anschlüsse mit Stabdübeln/Passbolzen, dass das Tragverhalten dieser Verbindungen in Buchenbrettschichtholz mit den bisher verwendeten Bemessungsansätzen nach SIA 265:2012 oder SN EN 1955-1-1:2014 bzw. DIN EN 1995-1-1/NA:2010 sehr gut korrelieren. Mit Anpassung der verwendeten Materialparameter und Einführung des Seileffektes können so die bisherig rechnerisch unterschätzten Traglasten der Normen ausgeglichen werden. Aus den Ergebnissen konnten Empfehlungen für die Ausführung von Anschlüssen in Bezug auf Einbringvoraussetzung und Mindestabstände abgeleitet werden. Basis hierfür war das Einhalten einer hohen Duktilität. Die Ergebnisse sind folgend kurz zusammengefasst:

- Für die Realisierung der Verbindungen mit Stabdübeln/Passbolzen in Buchen-BSH ohne grosse technische Hilfsmittel und evtl. Vorschädigung wird eine Differenz von +0.1 mm zwischen Nenndurchmessers des Verbindungsmittels und Bohrloch festgelegt.
- Ein duktiles Versagen durch Ausbildung von Fliessgelenken (Modus 3) in den Stabdübeln/Passbolzen ist durch Einhaltung der Mindestabstände sichergestellt.
- Die Mindestrand- und Verbindungsmittelabstände können entsprechend Tabelle 1 gewählt werden.
- Eine Reduzierung der tatsächlichen Anzahl von Verbindungsmitteln in Faserrichtung muss nicht erfolgen.
- Die Bemessungsformeln in der SIA 265:2012 und Eurocode 5 können als Grundlage benutzt werden, unterschätzen aber die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Verbindungen.
- Die Berücksichtigung der höheren Lochleibungsfestigkeiten nach Ehlbeck and Werner (1992a) und des Seileffekts führen zu einer Korrelation der experimentellen Tragfähigkeit zur rechnerischen Tragfähigkeit von 79% und 88% für senkrecht respektive parallel zur Faser beanspruchte Verbindungen.
- Für den Querschnittsnachweis bei senkrecht zur Faser beanspruchten Verbindungen in Buchen-BSH werden die Bemessungsansätze in der DIN 1052:2008 und der prSIA 265:2012 unter Verwendung der angegebenen Festigkeit bzw. Materialparameter empfohlen.

Es wurden in ersten Ansätzen der Einfluss der Holzfeuchte und mögliche Exzentrizität geprüft, vgl. Franke et al. (2019). Für eine breite Absicherung bestimmter Empfehlungen sollten spezifisch ausgewählte Anschlüsse im Grossformat weiterführend geprüft werden.

6.2. Verbindungen mit eingeklebten Gewindestangen

Die erreichten Ausziehfestigkeiten der eingeklebten Gewindestangen sind jeweils im Vergleich der Serien dargestellt, so dass verschiedene Einflussparameter bewertet werden konnten. Generell zeigen eingeklebte Gewindestangen in Buchenholz hohe Ausziehfestigkeiten im Vergleich zu Nadelholz und ergeben ein Stahlbruch der Gewindestange bei $15d$ Einbindelänge. Eine Abhängigkeit der Festigkeit gegenüber dem Gewindestangendurchmesser konnte nicht erkannt werden. Die Festigkeiten parallel zur Faserrichtung liegen unter denen der Versuche mit 45° und 90° zur Faser orientierten und beanspruchten Gewindestangen. Für eine einfache Anwendung und Berechnung wird eine konstante Festigkeit vorgeschlagen.

Für die Bemessung von Anschlüssen mit eingeklebten Stäben/Gewindestangen kann der Ansatz der DIN EN 1995-1-1/NA:2010 als Empfehlung genutzt werden. Wobei die Ausziehfestigkeit $f_{k,1}$ zu 10 N/mm^2 vorgeschlagen wird. Eine Reduktion durch die geforderte Temperaturbeständigkeit ist noch zu prüfen. Die Mindestrand- und Verbindungsmittelabstände $a_{1,c}$ und $a_{2,c}$ können gegenüber der DIN EN 1995-1-1/NA:2010 unter Vermeidung des vorzeitigen Aufspaltens auf $1.75d$ reduziert werden. Damit sind hohe Ausnutzungen der Holzquerschnitte möglich. Das Aufspalten konnte in allen Versuchen durch das Zurückversetzen der Einbindelänge um $5d$ verhindert werden. Ein Blockscherversagen der Verbindungsmittelreihen bei quer zur Faser eingeklebten Gewindestangen muss ebenfalls beachtet werden. Dies kann durch eine grössere Einbindelänge vermieden werden, was in weiterer Forschungsarbeit bestätigt werden muss.

Die Bewertung der Tragfähigkeit von Anschlüssen mit eingeklebten Stäben/Gewindestangen soll nach Steiger (2012) als ganzheitliches System betrachtet werden. Für leistungsfähige Anschlüsse sollte eine Abstimmung der Querschnittsflächen von Stahl A_{Stahl} und Holz A_{Holz} in Abhängigkeit der umgekehrten Proportionalität der Elastizitätsmoduln von Stahl E_{Stahl} und Holz E_{Holz} erfolgen, vgl. Steiger (2012).

7. Danksagung

Die vorgestellten Ergebnisse entstanden im Forschungsprojekt «Grundlagen zur Bemessung von Anschlüssen für die Marktimplementierung in der Schweiz» Nr. 09.0063PJ/O405-33997, das vom Bundesamt für Umwelt im Rahmen des Aktionsplans Holz und Partnern aus der Forschung, Wirtschaft, Gemeinde und Verband unterstützt wurde. Die Prüfserien und -ergebnisse entstanden in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich.

8. Literatur

- Blaß H.J., Sandhaas C. (2016). Ingenieurholzbau, Grundlagen der Bemessung. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, Deutschland.
- DIN EN 1995-1-1/NA:2010 Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Deutschland.
- Ehlbeck, J., Werner, H., (1992a). Softwood and Hardwood Embedding Strength for dowel-type fastener. In: Proceedings CIB-W18, 25-7-2, Ahus, Schweden.
- Ehlbeck, J., Werner, H., (1992b). Tragfähigkeit von Laubholzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln. Technical Report. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe, Deutschland.
- Eid. Forschungsanstalt für Wald Schnee u. Landschaft (2018): Schweizerisches Landesforstinventar, 4. Landesforstinventar 2009 –2013, Schweiz.
- Franke, S., Magnière, N. (2014). Discussion of Testing and Evaluation Methods for the Embedment Behaviour of Connections, In: INTER, Paper 47-7-1, Bath, England.
- Franke, S., Franke B., Heubuch S., Frangi A., Jockwer R. (2019) Grundlagen für hochleistungsfähige Anschlüsse in Laubholz, Research report, ISBN 978-3-906878-06-5, Publishing Dez. 2019.

- Gehri E. 2009 Eingeklebte Anker – Anforderungen und Umsetzungen, 15. Internationales Holzbau-Forum, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland.
- Hübner, U., Bogensperger, T., Schickhofer, G., (2008). Embedding strength of European hardwoods. In: CIB-W18 Meeting 41, 41-7-5, St. Andrews, Kanada.
- Hübner, U., (2013). Mechanische Kenngrößen von Buchen-, Eschen- und Robinienholz für lastabtragende Bauteile. Thesis (PhD). Technische Universität Graz.
- Johansen K. W. (1949). Theory of timber connections. IABSE Journal (International Association for bridge and structural engineering), Nr. 9, S. 249 – 262.
- prSIA 265:2012, Holzbau, in preparation, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- Sandhaas, C., Ravenshorst, G.J.P., Blass, H.J., van de Kuilen, J. W. G., (2013). Embedment tests parallel-to-grain and ductility aspects using various wood species. Eur. J. Wood Prod. 71, S. 599–608.
- SIA 265:2012. Holzbau. Schweizer Norm. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Schweiz.
- SN EN 1995-1-1:2004. Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Schweiz.
- SN EN 1995-1-1:2004/A1:2008. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - Änderung A1 zur Norm EN 1995-1-1:2004. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Schweiz.
- SN EN 1995-1-1:2004/A2:2014. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - Änderung A2 zur Norm EN 1995-1-1:2004. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Schweiz.
- SN EN 26891:1991. Holzbauwerke – Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln; Allgemeine Grundsätze zur Ermittlung der Tragfähigkeit. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Schweiz.
- SN EN ISO 6892-1:2016 Metallische Werkstoffe – Zugversuch - Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Schweiz.
- Steiger R., Gehri E., Widmann R. (2006) Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam parallel to the grain, Material and Structures 40, S. 69-78
- Steiger R. (2012). In Brettschichtholz eingeklebte Gewindestangen – Stand des Wissens zu einer leistungsfähigen Verbindungstechnik. 18. Internationales Holzbau-Forum, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland.
- Steiger R., Serrano E., Stepinac M., Rajčić V., O’Neill C., McPolin, D., Widmann R. (2015). Reinforcement with glued-in rods. In: Harte A., Dietsch P. (2015) Reinforcement of timber structures – A state of the art report. Shaker Verlag, Deutschland.
- Vreeswijk, B., (2003). Timber joints using hardwood species. Thesis (Master), Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technology, Delft, Niederlande.
- Whale, L.R.J., Smith, I., (1986). The derivation of design clauses for nailed and bolted joints in Eurocode 5. In: CIB-W18 Meeting, 19-7-6, Florence, Italien.
- Whale, L. R. J., Smith, I., Hilson, B.O. (1986). Behaviour of Nailed and Bolted Joints under Short-Term Lateral Load. In: CIB-W18 Meeting, 19-7-1, Florence, Italien.
- Whale, L.R.J., Smith, I., Larsen, H.J., (1987). Design of nailed and bolted joints – Proposal for the revision of existing formulae in draft Eurocode 5 and the CIB code. In: Proceedings of CIB-W18 Meeting, 20-7-1, Irland.
- Widmann R., Steiger R., Gehri E. (2007) Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam perpendicular to grain, Materials and Structures 40, S. 827-838.

Tragverhalten von Schrauben in Buchenholz

Robert Jockwer
Chalmers University of Technology
Göteborg, Schweden



Tragverhalten von Schrauben in Buchenholz

1. Einleitung

Im Rahmen des BAFU-Projektes «Grundlagen zur Bemessung von Anschlüssen für die Marktimplementierung in der Schweiz» (Franke et al. 2019) wurden Versuche an Schraubenverbindungen in Buchenholz durchgeführt, um geeignete Empfehlungen für die Bemessung zu ermitteln. Im Projekt wurden verschiedene Schrauben der Hersteller SFS, Sherpa und Würth untersucht. In Tabelle 1 sind die untersuchten Schraubentypen und Durchmesser aufgeführt. Darüber hinaus wurden auch Schrauben der Hersteller Tenz (6 mm, 8 mm, 10 mm) und Schmid (Rapid Hardwood 8 mm) untersucht.

Tabelle 1: Untersuchte Schrauben in Buchenholz

Hersteller	SFS	SFS	SFS	SFS	Sherpa	Würth
Typ	Power-fast	WT-T	WR-T	WB		Assy VG
d [mm]	6	6.5, 8.2	9, 13	16, 20	8	6, 8, 10, 14

In Abbildung 1 sind Beispiele geometrischer Details verschiedener Schrauben dargestellt. Selbstbohrende Schrauben, d.h. Schrauben mit gewalzttem oder geschmiedetem Gewinde, bieten sich vor allem an, wenn Zugkräfte von den Verbindungsmitteln übertragen werden sollen. Dabei kann grundsätzlich zwischen Anwendungen mit vorwiegend axialer Beanspruchung sowie Anwendungen mit Beanspruchung rechtwinklig zur Schraubenachse (Scherbeanspruchung) unterschieden werden. Aufgrund der guten Verankerung des Schraubengewindes im Holz können dabei gerade im Buchenholz große Kräfte übertragen werden.

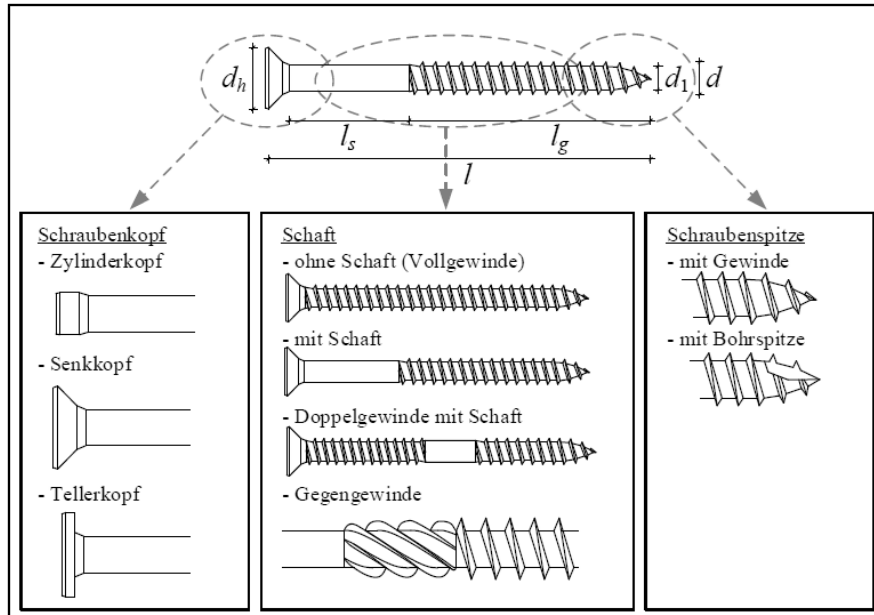


Abbildung 1: Beispiele geometrischer Details und Charakteristika verschiedener selbstbohrender Schrauben.

Für die Bemessung sind vor allem die folgenden Parameter von Interesse: Abstände der Schrauben untereinander und zu den Rändern des Holzes, die minimalen und optimalen Holzdicken, Lochleibungs- sowie die Ausziehfestigkeit. Darüber hinaus ist natürlich zu gewährleisten, dass das Einschrauben der Schraube im Buchenholz problemlos möglich ist, und die Schraube dabei nicht übermäßig beansprucht oder sogar geschädigt wird.

2. Einschraubverhalten

2.1. Allgemein

Für das Einschrauben von selbstbohrenden Schrauben sind zwei Dinge von großer Bedeutung: die Leichtigkeit des Ansetzens und Einbringens zu Beginn des Einschraubvorgangs und das Torsionsmoment während des Einschraubvorgangs.

Die Leichtigkeit des Ansetzens und Einbringens der Schrauben zu Beginn des Einschraubvorgangs ist vor allem eine subjektive Beurteilung, die stark vom Anwender, den verfügbaren Werkzeugen und der Vorbereitung der Holzoberfläche abhängt. Im Vergleich der großen Vielfalt an verschiedenen Schrauben mit unterschiedlicher Schraubenspitzen können die unterschiedlichen Einschrauberfahren verglichen werden. Um einen einfachen Start des Einschraubvorgangs zu ermöglichen, sollte eine schlanke und spitze Form der Schraubenspitze gegenüber einer stumpfen Form, wie in Abbildung 1 dargestellt, bevorzugt werden. Ein kurzes Vorbohren von Löchern von wenigen Zentimetern Tiefe vereinfacht den Start des Einschraubvorgangs erheblich: Sobald das Gewinde der Schraube ausreichend im Holz verankert ist, zeigten alle untersuchten Schrauben ein gutes Einschraubverhalten.

Gemäß EN 14592 (CEN 2008) darf das Torsionsmoment beim Einschrauben $R_{tor,m}$ (Eindrehmoment) $2/3$ des charakteristischen Wertes der Torsionsfestigkeit $f_{tor,k}$ der Schraube nicht überschreiten, damit die Schraube während des Einschraubvorgangs nicht bricht oder überbeansprucht wird (auch in Bezug auf die spätere, regulären Beanspruchungen). Die Bestimmung des Einschraubdrehmoments kann z.B. gemäß EN 15737 (CEN 2009) erfolgen. Dabei wird eine Drehmoment-Messdose zwischen Schraube und Elektroschrauber geschaltet. Sollte der Grenzwert des Einschraubdrehmoments für die selbstbohrenden Schrauben überschritten werden, muss durch Vorbohren des Holzes das Eindrehmoment reduziert werden.

2.2. Einflüsse auf das Einschraubverhalten

Typische Verläufe des Einschraubdrehmomentes sind in Abbildung 2 dargestellt und wurden u.a. in (Jockwer and Ehrhart 2018; Jockwer 2019) diskutiert. Grundsätzlich steigt das Einschraubdrehmoment mit zunehmender Einschraublänge an. Die verschiedenen Wellenbewegungen der Verläufe entstehen vor allem durch zwei Faktoren: Die feinen Wellen entstehen durch den Widerstand der Schraubenspitze, die bei jeder Umdrehung durch die Holzfasern schneidet. Die großen Wellen, wie in Abbildung 2 links für den Einschraubwinkel 90° zu sehen, entstehen durch das Einschrauben durch die verschiedenen Lamellen des Buchen-Brettschichtholzes. Jede dieser Lamellen hat unterschiedliche Dichten und Eigenschaften und führt daher zu unterschiedlichen Drehmomenten.

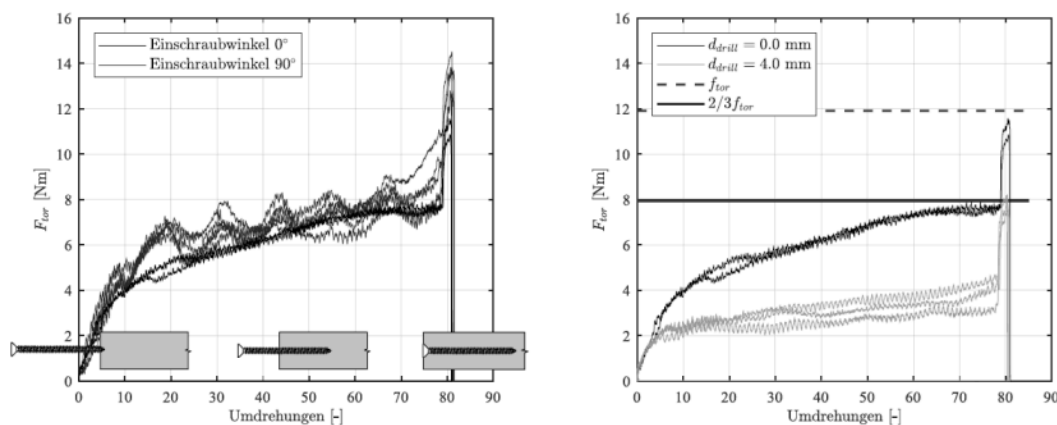


Abbildung 2: Einschraubdrehmoment von Schrauben Würth Assy VG 6mm in Abhängigkeit des Einschraubwinkels (links, ohne Vorbohrung) und Vorbohrdurchmessers (rechts, Einschraubwinkel 0°).

Beim Auftreffen des Schraubenkopfes auf die Holzoberfläche steigt das Drehmoment stark an und kann den Wert des Bruchdrehmoments der Schraube sogar übertreffen. Da das Drehmoment sehr lokal von der Schraube auf das Holz übertragen wird, bedeutet dies jedoch nicht zwangsläufig, dass die Schraube bricht. Es sollte aber auf ein sorgfältiges Anziehen der Schrauben geachtet werden, um die Schrauben nicht zu überdrehen. Bei

Schrauben mit kleinem, zylindrischem Schraubenkopf ist der Anstieg des Drehmoments geringer als bei Senkkopf- oder Tellerkopfschrauben. Die Schrauben mit kleinem, zylindrischem Schraubenkopf sollten daher für den Einsatz in Hartholz bevorzugt werden.

Schrauben ohne Vorbohrung weisen ein deutlich höheres Einschraubdrehmoment auf als die vorgebohrten Schrauben, wie in Abbildung 2 rechts zu erkennen ist. In Versuchen an der ETH Zürich wurde der Durchmesser der vorgebohrten Löcher zwischen $d_{\text{Drill}} = 0 \text{ mm}$ (kein Vorbohren) und $d_{\text{Drill}} \approx 0,9 d_1$ bis $d_{\text{Drill}} \approx 1,15 d_1$ variiert. Bei den Fällen ohne und mit Vorbohren ist ein erheblicher Unterschied im Torsionsmoment zu erkennen. Wenn die Schrauben nicht vorbohrt werden, wird die Grenze von $2/3$ der Torsionsfestigkeit der Schrauben bei größerer Einschraublänge überschritten. Beim Vorbohren liegt das Drehmoment meist weit unter dieser Grenze und ist dabei kaum vom Vorbohrdurchmesser abhängig. Daraus lässt sich schließen, dass ein Vorbohren mit einem Durchmesser im Bereich des Kerndurchmessers ausreichend ist (abgerundet d_1).

Das Einschraubdrehmoment von Schrauben in Richtung parallel oder rechtwinklig zur Faserrichtung zeigt keine größeren Unterschiede in den Werten. Der einzige klare Unterschied im Verlauf besteht darin, dass beim Einschrauben rechtwinklig zur Faserrichtung wellenartige Variationen des Einschraubdrehmoments auftreten, wenn die Schraubenspitze durch verschiedene Lamellen und evtl. Frühholz/Spätholz läuft. Beim Einschrauben parallel zur Faser treten nur sehr geringe Variationen des Drehmoments auf, da sich die Schrauben stets in einer einzigen Lamelle befindet. Jedoch gibt es in diesem Fall zum Teil größere Unterschiede zwischen den Einschraubdrehmomenten verschiedener Schrauben. Die Art und Form des Gewindes der Schraube und ein möglicher Schaftbereich haben einen Einfluss auf den Verlauf des Einschraubdrehmomentes. Bei Vollgewindeschrauben steigt nach einem ersten starken Anstieg das Drehmoment im weiteren Verlauf nur langsam an. Bei Teilwindeschrauben mit Schaft ist mit größerer Einschraublänge kaum ein Anstieg des Drehmoments zu erkennen. Bei Doppelgewindeschrauben zeigt sich bei Eintritt des zweiten Gewindeteils in das Holz ein zweiter deutlicher Anstieg des Drehmoments. Dieser Anstieg kann zu einer deutlichen Überschreitung des Limits von $2/3$ des Bruchdrehmoments selbst bei Vorbohrung führen. Eine Optimierung der Doppelgewindeschrauben für den Einsatz im Laubholz scheint daher empfehlenswert.

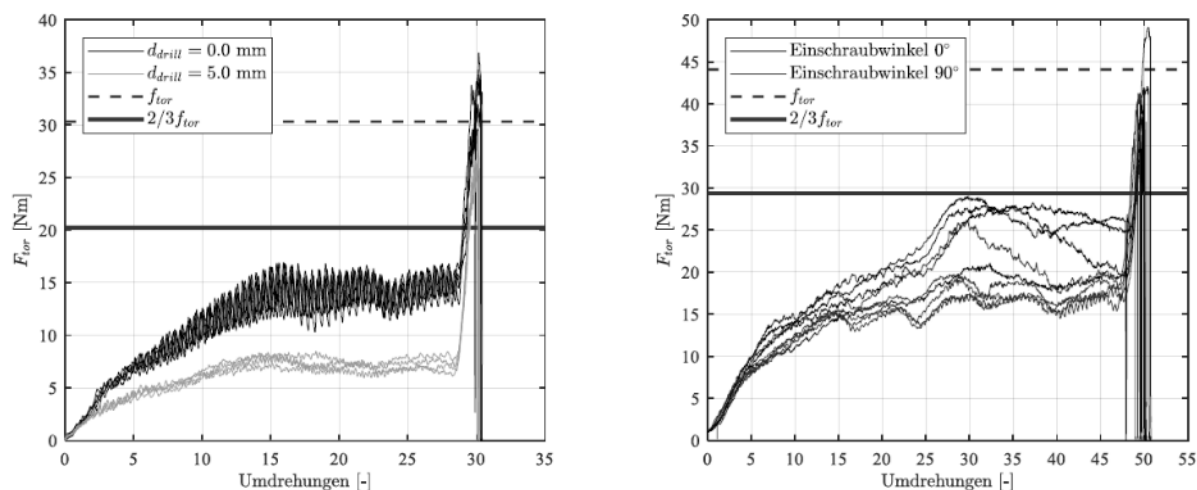


Abbildung 3: Einschraubdrehmoment von Schrauben Tenz 8mm in Abhängigkeit des Vorbohrdurchmessers (links, Einschraubwinkel 90°) und von Schrauben Schmid Rapid Hardwood 8mm in Abhängigkeit des Einschraubwinkels (rechts, ohne Vorbohrung).

Das Einschraubverhalten der Schrauben kann optimiert werden z.B. durch eine Reduzierung der Reibung und des Widerstands des Gewindes im Holz wie in Abbildung 3 links bei Schrauben Tenz 8mm, oder durch eine Erhöhung des Bruchdrehmoments der Schraubennachse wie in Abbildung 3 rechts bei Schrauben Schmid Rapid Hardwood 8mm.

2.3. Empfehlung

Das Einschraubverhalten und der Einschraubwiderstand hängen stark von der Geometrie der Schraube und insbesondere des Gewindes ab. Das jeweilige Einschraubverhalten muss daher für jede Schraube individuell betrachtet werden. Aus der Bedingung des maximalen

Drehmoments von 2/3 des Bruchdrehmoments können aus den Versuchen die maximalen Einschraubtiefen der Schrauben ohne Vorbohren abgeleitet werden. Insbesondere beim Einschrauben parallel zur Faser hängt das Drehmoment sehr stark von der Rohdichte der jeweiligen Lamelle ab. Typischerweise können Einschraubtiefen der effektiven Gewindelänge von $10-15d$ erreicht werden.

3. Axial beanspruchte Schrauben

3.1. Hintergrund

Umfangreiche Untersuchungen zur Auszugsfestigkeit von Schrauben in Laubholz wurden von Hübner (2013) durchgeführt. Die Versuche von Hübner wurden an vorgebohrten Schrauben in verschiedenen BSH aus Esche und Robinie sowie in Massivholz aus Buche durchgeführt. Das Holz war gegen Aufspalten verstärkt worden. Die Dichte betrug durchschnittlich 752 kg/m^3 mit einer Holzfeuchte von 11 %. Für die Berücksichtigung des Einflusses des Winkels zwischen Schraubenachse und Faserrichtung verwendete Hübner das Modell von Hankinson für die Mittelwerte und schlägt die folgende Gleichung für die Auszugsfestigkeit für vorgebohrte Schrauben in Eschen, Robinien und Buchenholz vor:

$$R_{ax,mean} = \frac{2.59 \cdot 10^{-3} l_{ef}^{0.965} \rho_{12}^{1.61} d^{0.675}}{\sin^2 \alpha + 1.20 \cos^2 \alpha}$$

Die Auszugsfestigkeit kann dementsprechend wie folgt definiert werden:

$$f_{ax,mean} = \frac{0.824 \cdot 10^{-3} l_{ef}^{-0.035} \rho_{12}^{1.61} d^{-0.325}}{\sin^2 \alpha + 1.20 \cos^2 \alpha}$$

Dabei bezieht sich die Auszugsfestigkeit auf die Mantelfläche der Schraube und ist im Gegensatz zur Definition des sogenannten Ausziehparameters nach EN 1382 (CEN 1999) um den Faktor π geringer.

Aufgrund der größeren Streuung bei Schrauben parallel zur Faser, sowie der Ungewissheit des Aufspaltens in diesen Fällen schlägt Hübner einen bilinearen Ansatz für das charakteristische Niveau vor, der konstant ist für Winkel zwischen $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ und eine lineare Abminderung für Winkel $0^\circ \leq \alpha < 30^\circ$ vornimmt.

Ziel der Versuche an der ETH Zürich war es die von Hübner vorgeschlagenen Gleichungen für die Schrauben in BSH aus Buche zu validieren und die Auswirkungen verschiedener Parameter zu untersuchen, u.a. größere Durchmesser von Schrauben und Gewindestangen, Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung, die effektive Gewindelänge sowie der Durchmesser der vorgebohrten Löcher. In (Franke et al. 2019) sind die Ergebnisse ausführlich beschrieben.

3.2. Einflüsse auf die Auszugsfestigkeit

Die Kräfte der Schraube werden über Scherspannungen in das Holz übertragen. Typischerweise ist der Verlauf der Scherspannungen entlang der Einschraublänge nicht konstant. Dieser Effekt wurde bereits von Volkersen (1938) beschrieben. Blaß et al. (2006) bestimmten in Auszugsversuchen an Schrauben in Nadelholz einen Exponenten -0.1 für die effektive Einschraublänge zur Berechnung der Auszugsfestigkeit. Gemäß Hübner ist dieser Effekt für Laubholz geringer. In Abbildung 4 ist der im Projekt beobachtete Einfluss der effektiven Einschraublänge auf die Auszugsfestigkeit dargestellt. Es konnte dabei kein ausgeprägter Einfluss beobachtet werden. Da die Auszugsfestigkeit der Schrauben in Laubholz wesentlich höher als in Nadelholz ist, sollte vor dem Hintergrund der Robustheit eine minimale effektive Einschraublänge sichergestellt sein. Sehr große Einschraubängen wie in Nadelholz sind dagegen nicht notwendig und aufgrund der Einbringproblematik zu empfehlen. Die Kalibrierung der Auszugsfestigkeit kann daher im Bereich $l_{ef}/d \approx 5-10$ optimiert werden.

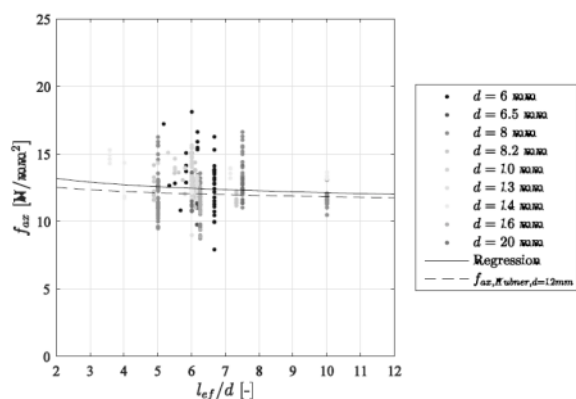


Abbildung 4: Einfluss der Einschraublänge auf die Auszugsfestigkeit, Werte normiert für $d = 12\text{mm}$ und $\alpha = 0^\circ$.

Die Auszugsfestigkeit sinkt mit größer werdendem Vorbohrdurchmesser leicht ab. In den einzelnen Tests ist die Auszugsfestigkeit der vorgebohrten Schrauben etwa 10-20% geringer im Vergleich zu den nicht vorgebohrten Schrauben. Diese Reduzierung ist mit einem deutlich geringeren Einschraubdrehmoment für vorgebohrte Schrauben und dem Mehraufwand für das Vorbohren in Beziehung zu setzen. Darüber hinaus ist insbesondere für größere Schraubendurchmesser und geringe Einschraubwinkel bei Erreichen des Tragwiderstands eine deutliche Spaltneigung des Holzes festzustellen. Die Gefahr des Aufspaltens wird dabei mit größer werdendem Vorbohrdurchmesser leicht verringert. Für vorgebohrte Schrauben ist die Auszugsfestigkeit weitgehend unabhängig vom Vorbohrdurchmesser im Bereich des Bohrers $d_{\text{drill}} = 0.9 \sim 1.2 d_1$, wie in Abbildung 5. Auch im Vergleich zur ohne Vorbohrung eingedrehten Schraube ist der Abfall der Auszugsfestigkeiten eher gering, sodass die Entscheidung auf ein Vorbohren zu verzichten nicht mit Hinblick auf den Tragwiderstand getroffen werden sollte.

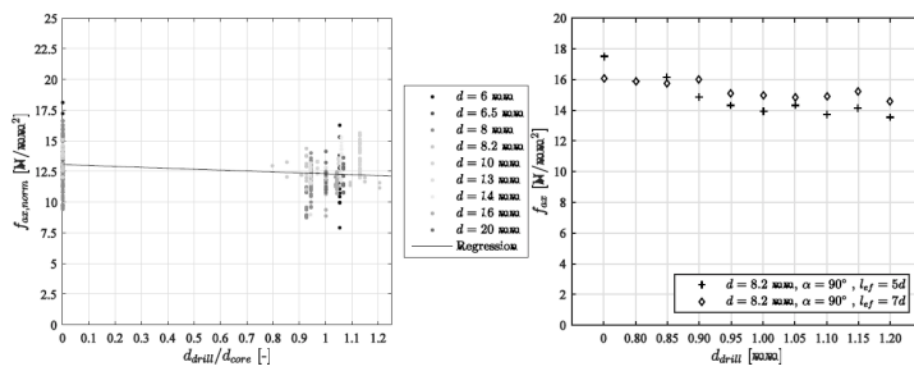


Abbildung 5: Einfluss des Vorbohrdurchmessers auf die relative Ausziehfestigkeit

3.3. Empfehlung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die von Hübner angegebenen Formeln zur Bestimmung der Auszugsfestigkeit in Eschen, Buchen und Robinienholz gute und sichere Abschätzungen der Versuchsergebnisse liefern. Fragen der Handhabung beim Einbringen der Schrauben, konservative Annahmen bezüglich der Gefahr des Auspalten etc. sind in diesem Fall zum Teil höher zu gewichten als eine genauere und präzisere Darstellung der Auszugsfestigkeiten. Auf Grundlage der bestehenden Untersuchungen sollten Verbindungen mit selbstbohrenden Schrauben im Hirnholz im Allgemeinen nur in Feuchteklasse 1 sowie mit Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung $\alpha \geq 30^\circ$ ausgeführt werden.

Der Tragwiderstand einer Schraubenverbindung bzw. einer Schraubengruppe bei Beanspruchung in Schaftrichtung ist für folgende Versagensarten zu überprüfen: Ausziehen des Gewindeteils der Schraube, Abreißen des Schraubenkopfs, Durchziehen des Schraubenkopfs, Zugversagen der Schraube, Knicken der Schraube bei Druckbeanspruchung, Ausscheren eines Holzteils. Aufgrund der sehr hohen Auszugsfestigkeiten wird für selbstbohrende Schrauben in Buchenholz bereits bei vergleichsweise kurzen Einschraubtiefen die Zugfestigkeit der Schraube maßgebend für den Tragwiderstand, wie in Abbildung 6 dargestellt.

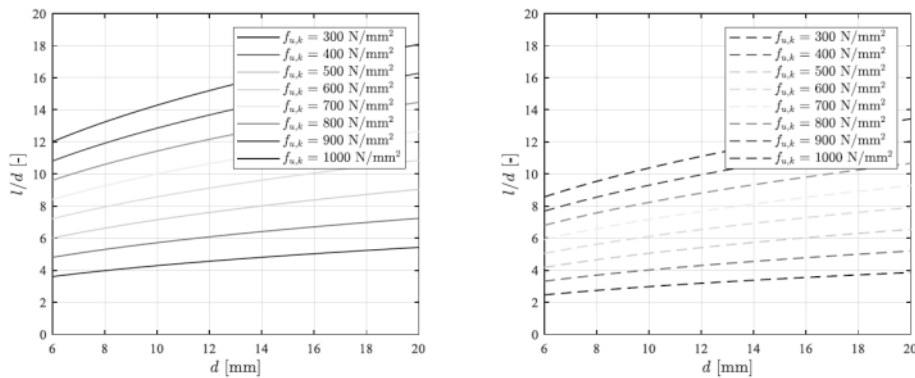


Abbildung 6: Maximal erforderliche effektive Einschraublänge zum Erreichen des vollen Tragwiderstands einer Schraube mit $d_1/d = 0.7$ bezogen auf Niveau der Bemessungswerte (links) und erwartetes Versagen auf Mittelwertsniveau.

4. Rechtwinklig zur Achse beanspruchte Schrauben

4.1. Hintergrund

Der Tragwiderstand einer Verbindung mit rechtwinklig zur Achse beanspruchten Schrauben kann durch den Anteil aus Scherbeanspruchung der Verbindungsmittel und den Anteil aus Seilwirkung der Schrauben und aus Reibung zwischen den Holzelementen beschrieben werden.

$$R_{\text{Verbindung}} = R_{\text{Abscheren}} + \Delta R_{\text{Seileffekt}}$$

Bei ausreichender Holzstärke kann dabei der Versagensmodus mit zwei Fließgelenken in der Schraube im Bereich der Holzelementen erreicht werden. Der Anteil des Tragwiderstands aus der Scherbeanspruchung des Verbindungsmittels nach dem sogenannten European Yield Model beträgt damit:

$$R_{\text{Abscheren}} = \sqrt{2\beta} \cdot 1 + \beta \sqrt{2M_y f_{h,1} d_{\text{eff}}}$$

Darin ist f_h die Lochleibungsfestigkeit der Holzelemente, M_y das Fließmoment des Verbindungsmittels, d_{eff} der effektive Durchmesser der Schraube ($d_{\text{eff}} = 1,1 d_1$ für Vollgewindeschrauben), und das Verhältnis $\beta = f_{h,2} / f_{h,1}$ der Lochleibungsfestigkeiten in den beiden Holzteilen 1 und 2.

Der Anteil der Seilwirkung ergibt sich aus der relativen Kontraktion der Schraube bei Beanspruchung rechtwinklig zur Schraubenachse, die zu Druckkräften und damit Reibung zwischen den Holzelementen führt. Der Anteil des Seileffektes wird nach EN 1995-1-1:2004 wie folgt festgelegt:

$$\Delta R_{\text{Seileffekt}} = \min(\mu R_{\text{ax}}; 1,0 \cdot R_{\text{Abscheren}})$$

Das heißt, dass der Seileffekt auf maximal den Anteil aus der Scherbeanspruchung des Verbindungsmittels beschränkt bleibt. Gerade für Schrauben mit geringem Kerndurchmesser und daher einem eher geringen Scherwiderstand kann diese Beschränkung den Tragwiderstand praktisch sehr stark limitieren. Der Parameter μ ist in Eurocode 5 (CEN 2004) mit 0.25 angegeben und kann als Reibbeiwert bzw. Mitwirkung des Axialen Tragwiderstands des verformten Verbindungsmittels interpretiert werden. Je nach Materialien und Oberflächenbeschaffenheit können auch höhere Werte von μ in Versuchen beobachtet werden.

In Eurocode 5 ist keine spezifische Lochleibungsfestigkeit für Schrauben angegeben. Es wird auf die Angaben für nicht vorgebohrte Nägel (im Falle von $d \leq 6$ mm) oder auf die Angaben von Bolzen (Stabdübel) (im Falle von $d > 6$ mm) verwiesen. Die in Eurocode 5 angegebene Gleichung der Lochleibungsfestigkeit wurde von Whale und Smith (1986) für Nägel und Bolzen in Nadelholz und tropischen Hartholz für das Mittelwerts- als auch charakteristische Niveau ermittelt.

$$f_h = 0.082(1 - 0.01d)\rho$$

Eine detailliertere Auswertung der Testdaten für Laubholz durch Leijten et al. (2004) ergibt folgende Regressionsfunktion:

$$f_{h,mean} = 0.0871 \rho_{mean} 1.091 d^{-0.253}$$

Von Hübner wurde die folgende Lochleibungsfestigkeit für Stabdübel mit einem Durchmesser zwischen 6 und 20 mm auf Grundlage des Versagenskriteriums von 5 mm Eindrückung:

$$f_{h,mean} = 3.20 \cdot 10^{-3} d^{-0.24} \rho_{mean}$$

In Norm SIA 265 (2003) war der folgende Wert für die Lochleibungsfestigkeit in Hartholz (vorgebohrt) z.B. für Stabdübel angegeben, der auf Untersuchungen von Ehlbeck und Werner (1992) basiert:

$$f_{h,k} = 0.19 \rho \cdot d^{-0.3}$$

Es zeigt sich, dass in Versuchen an Scherverbindungen in Buchenholz hohe Tragwiderstände erreicht werden können, die sich u.a. auf eine relativ hohe Lochleibungsfestigkeit zurückführen lassen. Darüber hinaus ist bei Schraubenverbindungen aber auch ein deutlicher Einfluss des Anteils der Seilwirkung durch den axialen Tragwiderstand der Schrauben erkennbar.

4.2. Tragverhalten

Nach Erreichen der Maximallast konnten verschiedene Versagensmechanismen, in den Schrauben und/oder im Holz, beobachtet werden. In Abbildung 7 sind die typischen Versagensbilder aufgeführt:

- a) Mit steigender Beanspruchung kommt es zur Verformung der Schrauben. Sofern die erforderlichen Holzdicken, Rand-, End-, und Zwischenabstände eingehalten werden, kommt es zur Ausbildung der Fließgelenke in den Schrauben.
- b) Aufgrund der in a) beschriebenen Verformung der Schrauben tritt die Seilwirkung der Schrauben ein, d.h. die axiale Tragwirkung der Schrauben wird aktiviert. Sofern die Schrauben ausreichend stark im Vergleich zur Holzdicke dimensioniert sind, kann ein Einziehen der Schraubenköpfe beobachtet werden.
- c) Ist der axiale Tragwiderstand der Schrauben durch den Zugtragwiderstand der Schrauben begrenzt, können die Schrauben in der Scherfuge abreißen. Dieses Versagen tritt daher insbesondere bei schlanken Schrauben mit großer Einschraublänge auf.

Werden die erforderlichen Holzdicken, Rand-, End-, und Zwischenabstände nicht eingehalten oder sind die Verformungen der Versagensmechanismen a) -c) sehr groß, so können die folgenden Versagensbilder beobachtet werden:

- d) Aufspalten des Holzes,
- e) Scherversagen entlang der Verbindungsmittelreihen,
- f) Blockscheren des Holzteils der gesamten Schraubengruppe.

Darüber hinaus können auch diverse kombinierte Versagensbilder beobachtet werden.

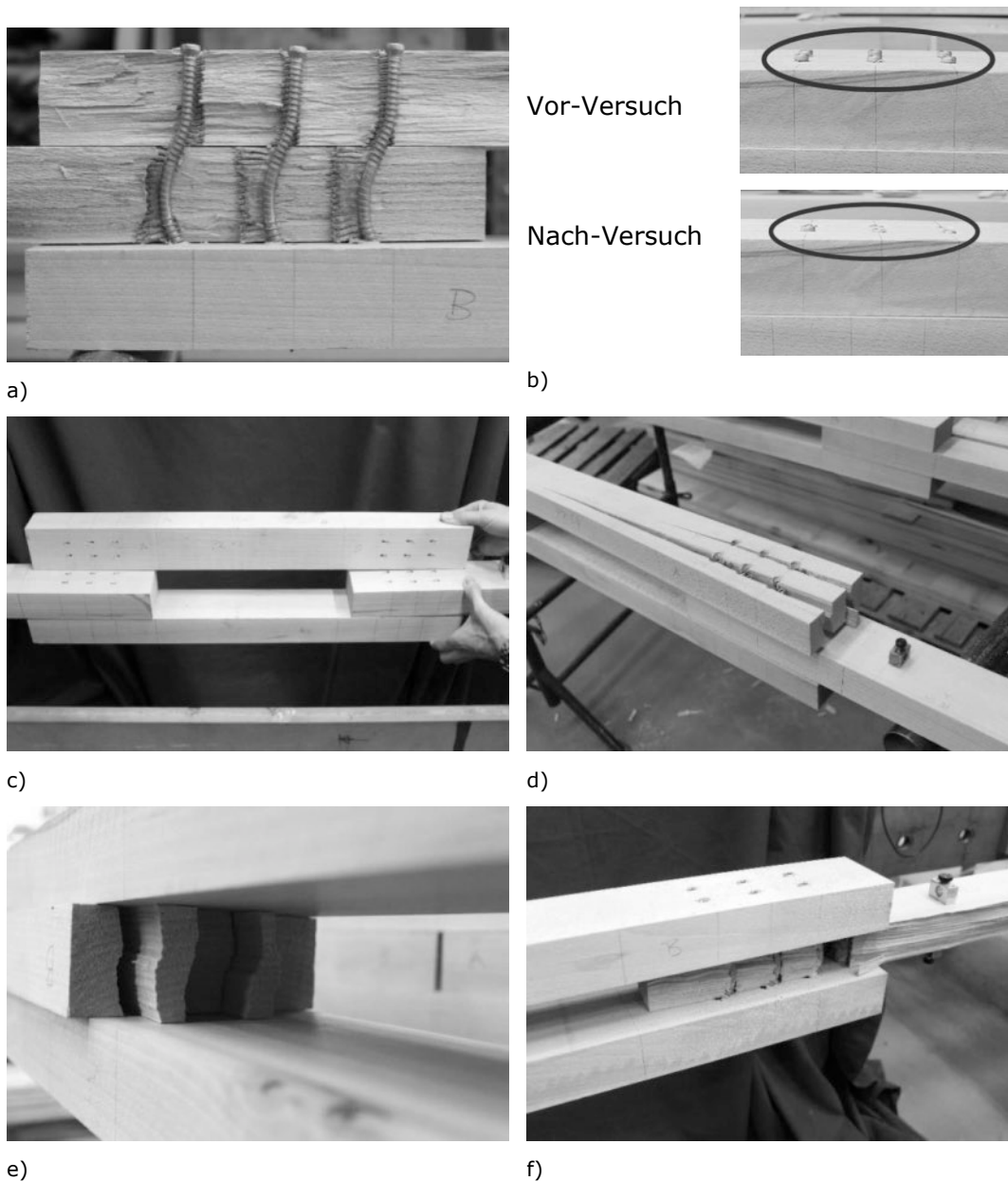


Abbildung 7: Beispiele verschiedener Versagensmechanismen in einer Scherverbindung

Die (spröden) Versagensmechanismen im Holz traten bei verschiedenen großen Lastniveaus und Verformungen auf. Ziel eines optimalen Entwurfs und Bemessung ist es, dass die spröden Versagensmechanismen erst nach einer ausreichend großen duktilen Verformung der Verbindungsmittel auftreten, um eine ausreichende Lastverteilung innerhalb der Verbindung und zwischen verschiedenen Verbindungen zu ermöglichen. Gemäß EAD 130118-00-0603 soll die Verformung pro Verbindung mindestens 10 mm betragen, innerhalb der die Last nicht unter 80% F_{\max} abfällt. Gemäß EN 26891 (CEN 1991) wird als Tragwiderstand im Versuch die maximale Last bei einer Verformung bis 15 mm definiert. Jedoch sind keine Angaben zur erforderlichen Duktilität bzw. zum Verformungsvermögen gemacht.

Aus den Last-Verformungskurven sowie dem Tragwiderstand F_{\max} kann der Anteil des Tragwiderstands infolge Scherwiderstand der Schrauben F_{scher} sowie der Anteil infolge Seilwirkung F_{seil} ermittelt werden. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Versuche aufgeführt. Die Werte sind für eine Dichte $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$ korrigiert. Es zeigt sich, dass der Anteil der Seilwirkung einen deutlich höheren Anteil am Tragwiderstand hat verglichen mit dem Scherwiderstand. Die Limitierung des Anteils der Seilwirkung auf 100% des Scherwiderstandes gemäß Norm führt zu einer deutlichen Unterschätzung des Tragwiderstands.

Type	d [mm]	$F_{\max, \text{mean}}$ [kN]	$F_{\text{scher, mean}}$ [kN]	$F_{\text{seil, mean}}$ [kN]	$F_{\text{seil}} / F_{\text{scher}}$ [kN]
SFS WT-T	8.2	13.5	5.5	8.5	1.6
Würth ASSY Plus VG	6	11.6	2.6	8.9	3.4
Würth ASSY Plus VG	8	14.7	2.8	12	4.3
Würth ASSY Plus VG	10	18.4	4.6	13.8	3

Tabelle 2: Korrigierte Tragwiderstände F_{\max} sowie Anteile aus Scherwiderstand und Seilwirkung aus Versuchen

4.3. Empfehlung

Das größte Potential für die Steigerung des Tragwiderstands von Schrauben in Buchenholz liegt vor allem in der Anpassung der Bemessungsregeln um den vollen Anteil der Seilwirkung mit zu berücksichtigen. Im Idealfall kann für den Anteil $\Delta R_{d, \text{Seilw}}$, der die Seilwirkung berücksichtigt, für Schraubenverbindungen daher die volle Seilwirkung der Schraube angesetzt werden.

$$\Delta R_{d, \text{Seilw}} = \mu R_{ax, d}$$

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die allenfalls großen Verformungen in den Verbindungen mit dem Tragwerk kompatibel sein müssen.

Der Reibbeiwert beträgt $\mu = 0,25$. Wird der Anteil der Seilwirkung berücksichtigt, sollte die wirksame Gewindelänge l_{ef} mindestens $6d$ betragen.

Um einen ausreichenden Tragwiderstand von Schraubenverbindungen mit Selbstbohenden Schrauben zu gewährleisten, muss ein frühzeitiges Versagen im Holz infolge Aufspalten oder Blockscheren vermeiden werden.

5. Zusammenfassung

Die Verwendung von Schrauben in Verbindungen in Buchenholz erfordert spezielle Sorgfalt bei der Herstellung, ermöglicht aber auch das Erreichen von hohen Tragwiderständen. So muss darauf geachtet werden, dass in Abhängigkeit der Schraubenart und -form das maximale Eindrehmoment während des Einschraubens nicht überschritten wird. Gegebenenfalls müssen die Schrauben in vorgebohrte Löcher eingeschraubt oder die Einschraublänge begrenzt werden. Typischerweise können selbstbohende Schrauben bis zu einer effektiven Einschraublänge von etwa $12d$ ohne vorbohren eingesetzt werden. Bereits bei geringeren effektiven Gewindelängen kann ein hoher axialer Tragwiderstand erreicht werden, so dass die Schraube ihren maximalen Tragwiderstand erreicht. Durch den hohen axiale Tragwiderstand können Schraube auch in Scherverbindungen sehr hohe Tragwiderstände erreicht werden, da die Schraube bei entsprechender Verformung die Last durch den so-genannten Seil- oder Einhängeeffekt abträgt. Sofern die erforderlichen Abstände eingehalten werden und die Verformungen vom Tragwerk aufgenommen werden können, ist eine Begrenzung des Seileffektes auf den Wert des Scherwiderstandes nicht notwendig.

6. Danksagung

Der Großteil der vorgestellten Ergebnisse entstand im Forschungsprojekt «Grundlagen zur Bemessung von Anschlüssen für die Marktimplementierung in der Schweiz» Nr. 09.0063PJ/O405-33997, das vom Bundesamt für Umwelt im Rahmen des Aktionsplans Holz und Partnern aus der Forschung, Wirtschaft, Gemeinde und Verband unterstützt wird. Die Prüfserien und -ergebnisse entstanden in Zusammenarbeit mit der BFH Biel. Es wird herzlich Stephan Schilling (2017), Marco Rust (2017) und Lukas Zeiter (2018) für die Durchführung und Auswertung der Versuche im Rahmen ihrer Masterarbeiten an der ETH Zürich gedankt.

7. Referenzen

- Blaß H-J, Bejtka I, Uibel T (2006) Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde. Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Germany
- CEN (2008) EN 14592: Timber structures - Dowel-type fasteners - Requirements. Euro-pean Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium
- CEN (2009) EN 15737: Timber structures - Test methods - Torsional resistance of driving in screws. European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium
- CEN (1999) EN 1382: Timber structures - Test methods - Withdrawal capacity of timber fasteners. European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium
- CEN (2004) EN 1995-1-1: Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium
- CEN (1991) EN 26891: Timber structures - Joints made with mechanical fasteners - Gen-eral principles for the determination of strength and deformation characteristics (ISO 6891:1983). European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium
- Ehlbeck J, Werner H (1992) Tragfähigkeit von Laubholzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln. Versuchsanst. f. Stahl, Holz u. Steine, Abt. Ingenieurholzbau
- Franke S, Franke B, Heubuch S, et al (2019) Grundlagen für hochleistungsfähige Anschlüsse in Laubholz. Biel, Switzerland
- Hübner U (2013) Mechanische Kenngrößen von Buchen-, Eschen- und Robinienholz für lastabtragende Bauteile. Ph.D. thesis, Technischen Universität Graz
- Jockwer R (2019) Schraubenverbindungen in BuchenBSH. In: Proc. of the 51. Fortbildungskurs "Hochleistungswerkstoffe im Holzbau." Weinfelden, Switzerland
- Jockwer R, Ehrhart T (2018) Beech glulam - experimental studies on the mechanical prop-erties and on the performance of screw connections. In: Proc. of the 1st Easter Europe Conference on Timber Construction EECTC. Easter Europe Conference on Timber Construction EECTC, Kharkiv, Ukraine
- Leijten A, Köhler J, Jorissen A (2004) Review of probability data for timber connections with dowel-type fasteners. In: Proc. of CIB-W18 Meeting 37. p CIB-W18/37-7
- Rust M (2017) Anschlüsse in Buchen-Brettschichtholz - Leistungsfähige Verbindungen für einen hochwertigen Baustoff - Scherverbindungen. Master Thesis, ETHZ - Institut für Baustatik und Konstruktion
- Schilling S (2017) Anschlüsse in Buchen-Brettschichtholz - Leistungsfähige Verbindun-gen für einen hochwertigen Baustoff - Zugverbindungen. Master Thesis, ETHZ - Institut für Baustatik und Konstruktion
- SIA (2003) Norm SIA 265:2003 - Holzbau. SIA - Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Zürich, Schweiz
- Volkersen O (1938) Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten. Luftfahrtforschung 15:41-47
- Whale LRJ, Smith I (1986) The derivation of design clauses for nailed and bolted joints in Eurocode 5. In: Proc. of CIB-W18 Meeting 19. Dublin, Ireland, p CIB-W18/19-7-6
- Zeiter L (2018) Leistungsfähige Verbindungen in Buchen Brettschichtholz. Master Thesis, ETHZ - Institut für Baustatik und Konstruktion

Probleme und Lösungsansätze für die Verschraubung in Hartlaubholzprodukten

Engl.: Challenges and Solutions for Screw Applications in Hardwood Products

Reinhard Brandner
Institut für Holzbau und
Holztechnologie,
Technische Universität Graz
Graz, Österreich



Andreas Ringhofer
Institut für Holzbau und
Holztechnologie,
Technische Universität Graz
Graz, Österreich



Johann Scheibenreiter
Schmid Schrauben Hainfeld GmbH
Hainfeld, Österreich



Probleme und Lösungsansätze für die Verschraubung in Hartlaubholzprodukten

1. Einleitung / Motivation / Fokus

Der Anteil an Laubholz in den heimischen Wäldern ist zunehmend. In Mitteleuropa ist insbesondere der Vorrat an Buche (*Fagus sylvatica*), als eine Vertreterin der zerstreutporigen Hartlaubhölzer, als stark steigend zu verzeichnen, wohingegen jener der Fichte (*Picea abies*) in vergleichbarem Ausmaß abnimmt (siehe u.a. 3. Bundeswaldinventur 2012 in Deutschland).

Aktuelle Forschungsarbeiten zu Brettschichtholz (BSH) aus Buche, u.a. von Westermayr et al. (2018) und Ehrhart et al. (2018), sowie das seit wenigen Jahren verfügbare Bauprodukt BauBuche GL75 der Fa. Pollmeier (ETA-14/0354 2018), ein Furnierschichtholz («laminated veneer lumber»; LVL) aus Buchen-Starkfurnieren, weisen im Vergleich zu herkömmlichem BSH nach EN 14080 (2013) und LVL nach EN 14374 (2016) aus Nadelholz ein sehr hohes mechanisches Potential auf. Festigkeiten in Faserrichtung sind bei diesen Produkten aus Buche um bis zu zwei- bis dreimal so hoch wie bei vergleichbaren Produkten aus Fichte. Hingegen sind Steigerungen bei den Festigkeiten quer zur Faser (Ausnahme Querdruck) und den Elastizitäts- und Schubmodulen vergleichsweise moderat bis gering. Folglich ist der Einsatz dieser Produkte vor allem als Stab in Leichtbaukonstruktionen, wie z.B. ebenen und räumlichen Fachwerken von Interesse, wo diese primär durch Normalkräfte parallel zur Faser beansprucht werden, wohingegen wenn eingesetzt als Vollwand-Biegeträger ihr Potential nur bedingt genutzt werden kann.

Eingesetzt in solchen Leichtbaukonstruktionen gilt es, das hohe Tragvermögen des Brutto-Querschnitts dieser Produkte im Sinne eines hohen Nutzungsgrades auch an den Anschlussbereichen weitestgehend zu erhalten. Zudem sind eine hohe Steifigkeit und Duktilität weitere wesentliche Anforderungen an solche Anschlüsse, die es zu erfüllen gilt. Leichtbaukonstruktionen weisen darüber hinaus auch eine hohe Anzahl an Anschlüssen auf wodurch der Wirtschaftlichkeit in der Lösungsfindung ein erhebliches Gewicht erhält. Bekannte Lösungen des Ingenieurholzbaus für solche Anschlüsse in Nadelholz sind oftmals geklebt oder geschraubt. Beide Lösungen sind in der Lage, hohe Kräfte bei hoher Steifigkeit in die Bauteile zu übertragen, ihr Versagen ist i.d.R. allerdings als vergleichsweise spröde zu klassifizieren.

Hinzu kommt, dass die Querschnitte von z.B. BSH und LVL aus Buche bei gleicher Leistungsfähigkeit wie vergleichbare Produkte aus Fichte deutlich kleiner sind und folglich der zur Verfügung stehende Raum für Anschlusslösungen stark eingeschränkt ist. Dies trifft insbesondere auf Hirnholzanschlüsse zu, welche für die erwähnten Tragstrukturen prinzipiell als vielversprechend gelten.

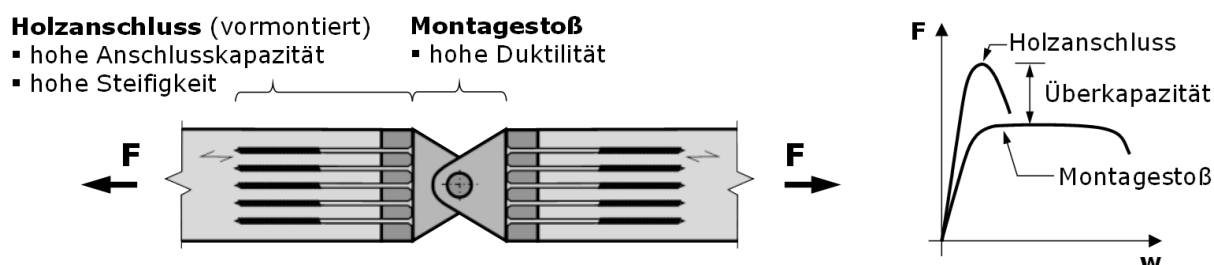


Abbildung 1: Konzept eines Hirnholzanschlusses: Holzanschluss mit axial-beanspruchten Holzbauschrauben und Stirnplatte, bemessen auf Überkapazität, und duktil versagender Stahl-Stahl Montagestoß.

Mit Fokus auf geschraubte Anschlusslösungen auf Basis von primär axial auf Zug beanspruchten, hochfesten Holzbauschrauben wird im Folgenden der Ansatz gewählt den Anschluss selbst in zwei Bereiche zu unterteilen (siehe Abbildung 1): (1) in einen bereits werksseitig im Zuge des Abbundes des Holzbauteils vormontierten Holz(system)anschluss und (2) in einen Montagestoß zum Fügen der Bauteile vor Ort. Der Holzanschluss, hier

konzeptioniert als axial-beanspruchte Schraubengruppe in Kombination mit einer Kopfplatte aus Stahl, erlaubt eine hohe Anschlusskapazität und -steifigkeit. Aufgrund des spröden Versagens ist dieser gegenüber dem auf duktilen Versagen hin zu bemessenden Montagestoß, hier konzeptioniert als Stahl-Stahl-Lösung, mit entsprechender Überkapazität auszustatten. Die Kombination aus beiden Anschlussbereichen soll, eine entsprechende Konzeptionierung und Bemessung vorausgesetzt, einen leistungsfähigen und wirtschaftlichen Anschluss ermöglichen.

Im Rahmen dieses Beitrages gilt der Fokus axial-beanspruchten, geschraubten Anschlusslösungen für Hartlaubholzprodukte. In Hinblick auf die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit dabei verwendeter Holzbauschrauben gilt es einerseits die Applikation, das Einschrauben ohne Vorbohren und Spalten der Holzbauteile sowie das Darstellen des entsprechenden Eindrehwiderstandes, und andererseits eine hohe Tragfähigkeit und Steifigkeit entsprechend experimentell zu erfassen und durch Modelle abzubilden, sowie eine entsprechende Ausführung, u.a. durch entsprechende Geometriebedingungen und weiterer Mindestanforderungen zur Gewährleistung einer maximalen Kapazität durch Vermeidung vorzeitiger, spröder Versagensmechanismen im Bereich des Anschlusses (z.B. Spalten, Herausscheren der Verbindungsmittelgruppe), sicherzustellen.

Im Folgenden wird die Applikation und axiale Beanspruchung von Holzbauschrauben über den gesamten Bereich des Achs-Faserwinkels α zwischen 0° (faserparallel) und 90° (quer zur Faserrichtung) betrachtet. Gemäß EN 1995-1-1 (2014; EC 5) ist dieser Bereich gegenwärtig auf $\alpha \geq 30^\circ$ eingeschränkt. Die Ausziehfestigkeit $f_{ax,\alpha}$ zwischen $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ ist mittels einem Hankinson-Ansatz auf Basis der Ausziehfestigkeit für $\alpha = 90^\circ$, $f_{ax,90}$, entsprechend abzumindern. Das Verhältnis zwischen den charakteristischen Ausziehfestigkeiten bei $\alpha = 90^\circ$ und 0° mit $1 / k_{90,k} = f_{ax,0,k} / f_{ax,90,k} = 0,83$ angegeben. Gegenwärtige europäische Bewertungsdokumente, wie z.B. ETA-11/0190 (2018) und ETA-12/0373 (2017), erlauben die Applikation von Holzbauschrauben zwischen $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. Die Ausziehfestigkeit für $\alpha \neq 90^\circ$ wird über eine bi-lineare Funktion mit $f_{ax,\alpha,k} = f_{ax,90,k}$ für $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ und einer Abminderung für $0^\circ \leq \alpha < 45^\circ$ unter Ansatz von $1 / k_{90,k} = 0,30$ geregelt. Diese sehr ausgeprägte Reduktion steht im Widerspruch zu Daten aus Kurzzeitversuchen nach EN 1382 (1999) mit Verhältnissen zwischen 0,70 und 0,83 (siehe u.a. Fairchild 1926; Blaß et al. 2006; Pirnbacher et al. 2009; Schneider 1999; Hübner 2013; Ringhofer 2017; Brandner et al. 2019a). Gründe für diesen ausgeprägt konservativen Ansatz sind der bislang gegebene unzureichende Kenntnisstand betreffend das Langzeitverhalten («Duration of Load»; DoL) von axial beanspruchten Holzbauschrauben und generelle Vorbehalte gegen faserparallele Verschraubungen. Um eine wirtschaftliche Ausführung von Hirnholzanschlüssen mit faserparallel applizierten Holzbauschrauben zu ermöglichen, ist daher insbesondere auch eine Vertiefung des Kenntnisstandes betreffend Langzeitverhalten von hoher Priorität. Darüber hinaus ist festzuhalten, dass gegenwärtige Regelungen für Verschraubungen in Laubholzprodukten auf jenen in Nadelholzprodukten basieren und nicht an das Laubholz entsprechend adaptiert sind. Einschlägige Literaturquellen, wie z.B. jene von Newlin und Gahagan (1938), Eckelmann (1975) und Hübner (2013), beschreiben das Potential von axial-beanspruchten Schrauben in Laubholz als deutlich höher als in Nadelholz.

Der Beitrag gliedert sich demnach in die folgenden Bereiche: (i) Applikation in Hart- und Weichholzprodukten (Eindrehwiderstand und Torsionswiderstand von Holzbauschrauben), (ii) Stahlzugkenngrößen und Ausziehkenngrößen von Holzbauschrauben in Hart- und Weichholz bei Kurz- und Langzeitbeanspruchung, sowie (iii) Bestimmung der Geometriebedingungen, Leistungsfähigkeit und Erkenntnisse betreffend die Ausführung von Hirnholzanschlüssen in Hartlaubholzprodukten.

2. Applikation: Torsions- und Eindrehwiderstand

2.1. Vorwort und Motivation

Generell ist eine ordnungsgemäße und einfache Applikation von Einzelschrauben und Schraubengruppen sicherzustellen. Dafür notwendig sind u.a. (i) eine entsprechende

Schraubenspitze für ein schnelles und sauberes Eingreifen des nachlaufenden Gewindes in das Holz, (ii) das Verhindern einer Überbeanspruchung der Schraube auf Torsion, (iii) ein möglichst geringer Eindrehwiderstand, um einerseits das Versetzen der Schrauben durch handelsübliche Schraubgeräte zu ermöglichen, sowie andererseits eine zu starke Temperaturentwicklung im umgebenden Holzwerkstoff zu verhindern, sowie (iv) die Minimierung von Querkraften, um eine übermäßige lokale Rissinitiierung und -ausbreitung bis zum Aufspalten der Bauteile zu unterbinden.

In Hinblick auf (ii) ist gemäß EAD 130118-00-0603 (2016) für das Verhältnis zwischen dem charakteristischen Wert des max. Torsionswiderstandes der Schraube und dem Mittelwert des max. Eindrehwiderstandes der Schraube in das Holzprodukt, $M_{tor,max,k} / M_{max,mean}$, ein Faktor von $\geq 1,5$ einzuhalten. Da der Eindrehwiderstand mit zunehmender Rohdichte des Holzproduktes steigt, ist nach EC 5 sowie gängigen europäischen technischen Bewertungsdokumenten, wie z.B. nach ETA-11/0190 (2018), bei Applikation in Laubholz generell vorzubohren bzw. für ausgewählte Produkte eine selbstbohrende Applikation für bestimmte Einschraubtiefen zulässig. Diese Notwendigkeit des Vorbohrens mindert allerdings erheblich die Wirtschaftlichkeit geschraubter Verbindungen in Laubholzprodukten.

Im Rahmen des Forschungsprojektes «hardwood_SCREWS» (10/2015 bis 06/2018) war es daher ein Ziel, eine Schraube zu entwickeln, welche einerseits zuverlässig eine selbstbohrende Applikation auch in Holzbauprodukte hoher Rohdichte ermöglicht und andererseits eine deutlich höhere Leistungsfähigkeit auf Stahlzugbruch aufweist. Die daraus hervorgegangene Schraubenentwicklung, seit Ende 2017 gehandelt unter dem Namen RAPID® Hardwood der Fa. Schmid Schrauben Hainfeld GmbH, Hainfeld / AT (ETA-12/0373 2017), im Folgenden ST2 bezeichnet (siehe Abbildung 2; Teilgewinde, $l = 240$ mm, $l_g = 100$ mm, $d = 8,1$ mm), wird im Rahmen der folgend diskutierten Untersuchungen an Einzelschrauben einer handelsüblichen Referenzschraube, der Schraube RAPID® derselben Firma, im Folgenden ST1 bezeichnet (siehe Abbildung 2; Vollgewinde, $l = 240$ mm, $d = 8,0$ mm), gegenübergestellt und ihre Performance im Benchmark mit ST1 in Hinblick auf Applikation und axialer Beanspruchung in Nadel- und Laubholzprodukten analysiert. Der wesentlichste Unterschied zwischen diesen beiden Schraubentypen ist der bei ST2 um 17 % stärkere Gewindekerndurchmesser.

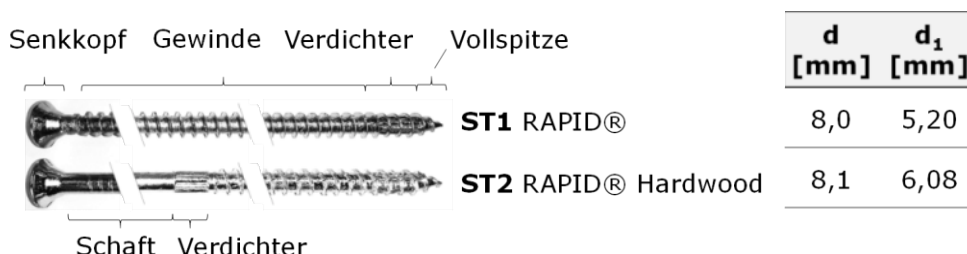


Abbildung 2: Darstellung der beiden Schraubentypen ST1 und ST2 inkl. wesentlicher Bezeichnungen und unter Angabe ihrer Gewindeaußen- (d) und -kerndurchmesser (d₁).

2.2. Material und Methoden

Der max. Torsionswiderstand, $M_{tor,max}$, der beiden Schraubentypen ST1 und ST2 wurde nach EN ISO 10666 (1999) durch einseitige Einspannung der Schraube und Verdrehung auf der gegenüberliegenden Seite ermittelt. Der Prüfumfang betrug jeweils 10 Stk.

Der max. Eindrehwiderstand, M_{max} , beider Schraubentypen ST1 und ST2 wurde nach EN 15737 (2009) und EN 14592 (2012) bestimmt. Die Untersuchungen wurden einerseits an Vollholz der drei holzanatomischen Gruppen Nadelholz (NH), ringporiges (RP) und zerstreutporiges (ZP) Laubholz (LH) sowie am LVL BauBuche (BB) durchgeführt. Nadelholz wurde durch drei signifikant unterschiedliche Rohdichtegruppen der Holzart Fichte (FI; *Picea abies*) vertreten. Die Gruppe LH-RP wurde durch Edelkastanie (EK; *Castanea sativa*), Esche (ES; *Fraxinus excelsior*) und Eiche (EI; *Quercus robur / petraea*) und die Gruppe LH-ZP durch Schwarzpappel (PA; *Populus nigra*), Birke (BI; *Betula pendula*) und Rotbuche (BU; *Fagus sylvatica*) repräsentiert. Das Ziel war es, eine möglichst große und für Europa repräsentative Rohdichtebandbreite unter Verwendung von für den Holzbaubereich relevante bzw. zukunftssträftig erscheinende Holzarten abzudecken.

Für alle untersuchten Holzbauprodukte aus Laubholz wurde der Eindrehwiderstand über eine Länge von $l_{ef} = 50$ mm (ohne Spitze) und für die Achs-Faserwinkel $\alpha = 0^\circ, 45^\circ$ und 90° (radial) bestimmt. In BU und BB wurden zudem Prüfungen bei $\alpha = 15^\circ$ und 30° durchgeführt. Bei all diesen Prüfungen wurden die Holzproben bis zum vollständigen Austritt von Schraubenspitze und Verdichter durchgeschraubt. Im Allgemeinen erfolgte die Applikation selbstbohrend. In BU und BB erfolgten zudem Prüfungen unter Variation der Vorbohrdurchmesser $d_{PD} = \{5,5; 6,0; 6,5; 7,0\}$ mm. In BauBuche (BB) und $\alpha = 0^\circ$ wurden darüber hinaus auch Einschraubprüfungen über eine Länge von 96, 160 und 200 mm bewerkstelligt. In der Auswertung der Ergebnisse wurde die Rohdichtekorrektur $k_{\rho E} = 480 / \rho$ gemäß EAD 130118-00-0603 (2016) berücksichtigt. Der Prüfumfang betrug jeweils rd. 20 Stk. Nähere Angaben zu den Prüfungen und Hintergründe in der Probenauswahl sowie Geometrien der Probekörper können Pöll (2017), Reichinger (2017), Brandner et al. (2019a) und Brandner (2019) entnommen werden.

2.3. Ergebnisse und Diskussion

2.3.1. Torsionswiderstände der beiden Schraubentypen

Tabelle 1 fasst die Ergebnisse aus den Torsionswiderstandsprüfungen an den Schrauben zusammen. ST2 weist demnach im Mittel einen um 52% höheren Torsionswiderstand auf als ST1. Diese Differenz kann auf die gegebenen Geometrieunterschiede, insbesondere die Differenz zwischen den Gewindekerndurchmessern, zurückgeführt werden.

Tabelle 1: Ergebnisse aus den Torsionswiderstandsprüfungen durchgeführt an beiden Schraubentypen ST1 und ST2: Mittelwerte und Variationskoeffizienten (CV).

Schraubentyp [-]	Probenanzahl [-]	$M_{tor,max,mean}$ [Nm]	CV[$M_{tor,max}$] [%]
ST1	10	28,8 (100%)	0,8
ST2	10	43,8 (152%)	0,8

2.3.2. Eindrehwiderstände bei Applikation ohne Vorbohren

Tabelle 2 beinhaltet die Mittelwerte von Holzfeuchte und Rohdichte je Schraubentyp und Holzart bzw. Rohdichtegruppe sowie des maximalen Eindrehwiderstandes; Letztere sind zudem nach dem Achs-Faserwinkel unterteilt. Zusammenfassend liegen die mittleren Holzfeuchten aller Holzarten, mit Ausnahme von BU und BB, innerhalb des Zielbereiches von $12 \pm 2\%$. Die mittleren Rohdichten zwischen den Holzarten bzw. Rohdichtegruppen innerhalb der holzanatomischen Gruppen zeigen sich signifikant voneinander unterschiedlich wohingegen zwischen den Gruppen eine ähnliche Bandbreite sowie eine geringe Überdeckung zwischen NH und LH gegeben ist. In Summe wird ein Rohdichtebereich von rd. 350 bis 900 kg/m³ abgebildet.

Während des Einschraubvorganges kam es vereinzelt zu Spaltversagen, i.d.R. kurz bevor bzw. nach Durchschrauben der Probe. Bei der Eiche war das Spaltversagen bei $\alpha = 0^\circ$ allerdings dominierend: rd. die Hälfte der Proben bei ST1 und bis auf eine Probe bei ST2 versagten bereits während dem Applizieren. Ein Vergleich zwischen den Rohdichten der Gruppen «gespalten» vs. «nicht gespalten» bei ST1 deutet auf eine erhöhte Spaltneigung bei hohen Rohdichten hin. In der Praxis und insbesondere bei faserparallelen Anschlüssen ist nicht von einem Durchschrauben der Konstruktionselemente auszugehen, wodurch die beobachtete Spaltneigung diesbezüglich auch entsprechend zu bewerten ist. Die hohe Spaltneigung der Eiche an sich lässt vermuten, dass hier die sehr ausgeprägten Holzstrahlen einen Einfluss haben.

Allgemein zeigen sich geringfügig höhere Einschraubwiderstände bei höheren Achs-Faserwinkeln. Im Vergleich zu ST1 sind die Einschraubwiderstände bei ST2 durchwegs um rd. 10 bis 15% höher. Dies ist bei LH allgemein und bei NH quer zur Faser beobachtbar. Der Grund hierfür ist der höhere Energieaufwand für die Verdrängung bzw. Verdichtung des Holzes im Schraubkanal von ST2.

Ergänzende Untersuchungen zum Eindrehwiderstand von ST2 bei größeren Durchschraubelängen in BauBuche (BB) ergaben eine Steigerung von $M_{max,mean}$ von 28 bzw. 33 % bei Veränderung von $l_{ef} = 50$ mm auf 80 bzw. 96 mm. Das Durchschrauben von 200 mm langen Proben aus BB unter Verwendung von ST2 führte zu einer Steigerung von 53, 68

bzw. 78 % bei Applikation in der Schmalseite (tangential), Seitenfläche (radial) bzw. Hirnholzfläche. Aufgrund der Teilgewinde ist dies bei dieser Einschraublänge auf den zweiten Verdichter nach dem Gewinde mit $l_g = 100$ mm zurückzuführen.

Neben der für ST1 und ST2 üblichen Vollspitze wurden auch Einschraubprüfungen unter Verwendung von Schrauben mit einer Bohrspitze aber ansonsten vergleichbaren Gewindegeometrieparametern wie ST1 durchgeführt. Dabei konnte statistisch kein Einfluss auf den Eindrehwiderstand festgestellt werden, allerdings war die Applikation von Schrauben mit Bohrspitze in BB deutlich schwieriger als mit der Vollspitze: Der Anpressdruck musste deutlich erhöht werden und das erschwerte Eingreifen des nachfolgenden Gewindes führte zu einem Verlust des effektiv wirksamen Schraubkanals von rd. 1 bis 2 d.

Tabelle 2: Ergebnisse der Eindrehwiderstandsprüfungen an beiden Schraubentypen ST1 und ST2: $l_{ef} = 50$ mm; Applikation ohne Vorbohren (nPD); Mittelwerte aus jeweils rd. 20 Prüfungen.

Typ [-]	Kennwert [-]	α [°]	NH			LH-RP			LH-ZP			
			FI-A	FI-B	FI-C	EK	ES	EI	PA	BI	BU	BB
ST1	u_{mean} [%]	all	12,8	13,0	13,1	11,8	10,3	10,3	10,8	10,9	8,8	7,3
	$\rho_{12,mean}$ [kg/m ³]	all	365	446	541	535	660	762	485	638	737	836
	$M_{max,mean}$ [Nm]	0°	2,75	3,31	4,85	5,00	8,55	8,48	4,26	6,35	8,48	12,4
		45°	-	-	-	5,27	8,65	9,24	4,43	6,53	10,1	10,4
		90°	2,72	4,01	5,39	5,15	9,25	9,64	4,43	6,91	8,91	12,7
ST2	u_{mean} [%]	all	12,7	13,0	13,1	11,7	10,3	10,3	10,8	10,9	9,4	8,0
	$\rho_{12,mean}$ [kg/m ³]	all	364	445	541	530	658	762	483	638	743	838
	$M_{max,mean}$ [Nm]	0°	2,86	3,43	4,90	5,37	9,82	-	5,02	6,36	9,65	14,1
		45°	-	-	-	5,71	9,90	10,6	5,19	7,02	12,1	11,7
		90°	3,22	4,57	6,21	5,63	10,5	11,0	4,98	7,83	10,2	15,0

2.3.3. Eindrehwiderstände bei Applikation mit Vorbohren

Tabelle 3 fasst die Ergebnisse aus den Prüfungen zur Ermittlung des Einflusses des Vorbohrens auf den Eindrehwiderstand zusammen. Unter Beachtung der Gewindekerndurchmesser für ST1 ($d_1 = 5,20$ mm) und ST2 ($d_1 = 6,08$ mm) lässt sich aus diesen Daten schließen, dass bereits eine Vorbohrung entsprechend dem Kerndurchmesser, $d_{PD} = d_1$, zu einer Halbierung des Eindrehwiderstandes führt.

Tabelle 3: Ergebnisse der Eindrehwiderstandsprüfungen an beiden Schraubentypen ST1 und ST2 in BU und BB: $l_{ef} = 50$ mm; Applikation ohne / mit Vorbohren (nPD / PD); Mittelwerte.

Typ [-]	Kennwert [-]	α [°]	BU d_{PD} [mm]					BB d_{PD} [mm]				
			nPD	5,5	6,0	6,5	7,0	nPD	5,5	6,0	6,5	7,0
ST1	u_{mean} [%]	all	8,8	10,0	9,7	9,7	9,8	7,3	8,2	8,1	7,7	8,0
	$\rho_{12,mean}$ [kg/m ³]	all	737	731	729	730	730	836	841	842	842	841
	$M_{max,mean}$ [Nm]	0°	8,48	4,17	3,64	2,48	1,74	12,4	6,13	5,21	3,65	2,53
		90°	8,91	4,40	3,59	2,09	1,39	12,7	6,24	5,15	3,06	2,05
ST2	u_{mean} [%]	all	9,4	9,9	9,8	9,7	9,8	8,0	8,2	8,2	7,9	8,0
	$\rho_{12,mean}$ [kg/m ³]	all	743	725	730	728	729	838	841	840	843	842
	$M_{max,mean}$ [Nm]	0°	9,65	6,55	5,93	4,22	3,16	14,1	9,90	8,56	6,28	4,66
		90°	10,2	6,80	6,19	3,65	1,92	15,0	11,3	9,17	5,10	3,17

Auf Basis der bisherigen Ergebnisse kann festgehalten werden, dass der Eindrehwiderstand sich weitgehend unbeeinflusst vom Achs-Faserwinkel α zeigt. Ferner ist festzuhalten, dass das Vorbohren, auch wenn wirtschaftlich nicht immer gewünscht, zu einer deutlichen Reduktion des Eindrehwiderstandes führt. Aus den Ergebnissen lässt sich zudem erkennen, dass der Eindrehwiderstand mit zunehmender Rohdichte ansteigt. Zur näheren Analyse der Beziehung zwischen M_{max} und ρ_{12} wurde eine Regressionsanalyse auf Basis eines Potenzansatzes, mit $M_{max} = a \rho_{12}^b$, mit a und b als Regressionsparameter, gewählt; Näheres dazu in Reichinger (2017) und Brandner et al. (2019a). Mit Fokus auf den Potenzparameter b , welcher den Gradienten der funktionalen Beziehung zwischen diesen beiden Variablen ausdrückt, lässt sich weitestgehend unabhängig von der holzanatomischen Gruppe und α ein Wert von rd. 1,60 finden, d.h. ein überproportionaler Anstieg des Eindrehwiderstandes mit zunehmender Rohdichte.

Zurückkommend auf die Anforderung gemäß EAD 130118-00-0603 (2016) mit $M_{\text{tor,max,k}} / M_{\text{max,mean}} \geq 1,5$ ist für ST2 folgendes festzustellen: Der charakteristische Wert $M_{\text{tor,max,k}}$ ergibt sich gemäß EN 14358 (2016) und unter Ansatz des Mindest-Variationskoeffizienten CV von 5 % zu 39,4 Nm, das heißt, $M_{\text{max,mean}}$ muss demnach $\leq 26,3$ Nm betragen; dies ist für Alle hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse erfüllt.

3. Beanspruchung Einzelschraube: Stahlzug- und Ausziehkenngößen von Holzbauschrauben aus Kurzzeitprüfungen

3.1. Vorwort und Motivation

Die Stahlzugtragfähigkeit von Holzbauschrauben ist ein wesentlicher Indikator für deren prinzipielle Leistungsfähigkeit. Dies insbesondere dann, wenn, wie in der Praxis häufig der Fall, Anschlüsse mit vorwiegend axial beanspruchten Schrauben auf den Versagensmodus Stahlbruch bemessen werden.

Der Ausziehtragfähigkeit einer Einzelschraube, $F_{\text{ax},\alpha}$, wird im Wesentlichen auf Basis der Ausziehfestigkeit f_{ax} , der effektiv wirksamen Gewindelänge im maßgebenden Bauteil l_{ef} , dem Gewindeaußendurchmesser d , der Kreiszahl n und dem Achs-Faserwinkel α ermittelt. Gemäß EC 5 sind bei dieser Ermittlung Effekte auf die effektive Länge, dem Nenndurchmesser und der Rohdichte durch entsprechende Potenzmodelle bzw. -faktoren zu berücksichtigen.

Wie den gegenwärtigen europäischen technischen Bewertungsdokumenten für Schrauben zu entnehmen, stehen für jüngere Holzbauprodukte wie Brettspertholz (BSP) und BauBuche (BB) adaptierte, produktspezifische Modellansätze zur Verfügung. Ringhofer et al. (2015a) und Ringhofer (2017) erarbeiteten ein Modell zur Ermittlung der Ausziehfestigkeit von selbstbohrenden Holzbauschrauben mit welchem es möglich ist, auf Basis eines generischen Ansatzes Vollholz bzw. brettbasierte unidirektional sowie orthogonal geschichtete Holzbauprodukte, wie BSH und BSP, aus Nadelholz (primär Fichte) zu beschreiben. Im Rahmen des Forschungsprojektes «hardwood_SCREWS» war es daher ein Ziel, diesen Ansatz um die Beschreibung der Ausziehfestigkeit von selbstbohrenden Holzbauschrauben appliziert in Holzbauprodukte aus Laubholz zu erweitern. Da u.a. Newlin und Gahagan (1938), Eckelmann (1975) und Hübner (2013) für Laubholz über ein deutlich höheres Ausziehpotential berichten als für Nadelholz galt es, wie unter Kapitel 2, einen möglichen Einfluss der holzanatomischen Gruppe auf die Ausziehkenngößen zu analysieren. Zudem wurde der Einfluss des Achs-Faserwinkels sowie der Applikationsbedingungen (ohne Vorbohren bzw. mit Vorbohren unter Variation von d_{PD}) näher betrachtet. Entsprechende Ergebnisse wurden bereits in Brandner et al. (2019a) und Brandner (2019) berichtet. Diese werden im Folgenden z.T. neu aufbereitet bzw. zusammenfassend dargelegt.

3.2. Material und Methoden

Die Bestimmung der Stahlzugtragfähigkeiten beider Schraubentypen erfolgte durch hydraulische Klemmung dieser auf beiden Enden und Aufbringen einer kontinuierlich gesteigerten Zugkraft bis zum Bruch. Der Probenumfang betrug jeweils 10 Stk.

Für die Ausziehprüfungen, welche nach EN 1382 (1999) durchgeführt wurden, kamen dieselben Proben mit $l_{\text{ef}} = 50$ mm wie für die Eindrehwiderstandprüfungen unter Kapitel 2 zum Einsatz. Die Prüfanordnung selbst entsprach einer «push-pull» Konfiguration. Die lokalen Verformungen zwischen der Gegenplatte aus Stahl und einem definierten Messpunkt wurden durch ein Paar induktiver Wegaufnehmer, geklemmt auf die Schraube, ermittelt, die Dehnung des freien Schraubenabschnittes zwischen Holzoberfläche und Messpunkt in der Ermittlung des Verschiebemoduls als freie Stahldehnung berücksichtigt; siehe auch Brandner et al. (2019a).

3.3. Ergebnisse und Diskussion

3.3.1. Stahlzugwiderstände der beiden Schraubentypen

Tabelle 4 fasst die Ergebnisse aus den Stahlzugprüfungen an beiden Schraubentypen ST1 und ST2 zusammen. Bei identen Variationskoeffizienten ist der Stahlzugtragfähigkeit von ST2 gegenüber ST1 im Mittel um 36% höher. Dies ist wiederum auf den stärkeren Gewindekerndurchmesser von ST2 zurückzuführen. Für Schraubenanschlüsse, welche in der Praxis häufig auf Stahlzugbruch bemessen werden, bedeutet dies bei gleicher Schraubenanzahl rd. ein Drittel mehr Leistungsfähigkeit im Anschluss bzw. bei gleicher Leistungsfähigkeit rd. ein Drittel weniger Schrauben.

Tabelle 4: Stahlzugwiderstände beider Schraubentypen, ST1 und ST2.

Schraubentyp [-]	Probenanzahl [-]	$F_{tens, mean}$ [Nm]	$CV[F_{tens}]$ [%]
ST1	10	26,8 (100%)	0,7
ST2	10	36,5 (136%)	0,7

3.3.2. Ausziehkenngößen bei Applikation ohne Vorbohren

Abbildung 3 stellt die Ergebnisse der Ausziehfestigkeiten beider Schraubentypen, ST1 und ST2, in Abhängigkeit der holzanatomischen Gruppe bzw. Holzart / Rohdichtegruppe und für $\alpha = 0^\circ$ und 90° dar. Zudem enthalten sind die Mittelwerte der Holzfeuchte und Rohdichte (siehe auch Tabelle 2).

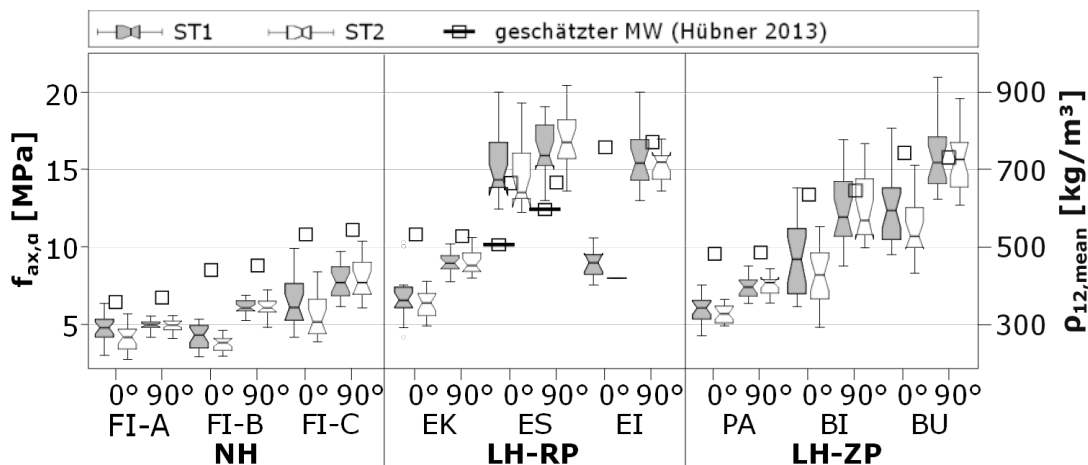


Abbildung 3: Box-Plots der Ausziehfestigkeiten zusammen mit Mittelwerten der Holzfeuchtigkeit und Rohdichte, gruppiert nach holzanatomischer Gruppe und Holzart, zudem unterteilt nach Achs-Faserwinkel und Schraubentyp.

Wie dieser Abbildung zu entnehmen ist, steigt die Ausziehfestigkeit mit zunehmender Rohdichte, wobei dieser Anstieg bei Laubholz deutlich ausgeprägter erscheint als bei der Fichte. Bei der Gruppe LH-RP sind die sehr hohen Ausziehfestigkeiten der Esche augenscheinlich. Eine Erklärung dafür ist gegenwärtig nicht verfügbar. Mit Hilfe des Regressionsmodells von Hübner (2013) wurden die Mittelwerte $f_{ax,mean}$ auf Basis der in diesen Untersuchungen gegebenen Rohdichten geschätzt und somit die Serien neu bewertet. Zudem zeigen sich in dieser Gruppe bei der Eiche und $\alpha = 0^\circ$ unerwartet geringe Ausziehfestigkeiten. Wie bereits unter Abschnitt 2.3.2 erläutert, verblieben nur Proben mit geringer Rohdichte für die Ausziehprüfungen intakt, wodurch die Statistiken daraus die Gruppe unterrepräsentieren. Aufgrund der gegebenen Unsicherheiten bei zwei von drei Holzarten in der Gruppe LH-RP werden für die weiteren Betrachtungen auch die Ergebnisse von Hübner (2013), durchgeführt an Esche und Robinie (*Robinia pseudoacacia*), miteinbezogen.

Im Vergleich der Ergebnisse beider Schraubentypen zeigen sich für $\alpha = 90^\circ$ keine nennenswerten Unterschiede, wohingegen für $\alpha = 0^\circ$ die Ausziehfestigkeiten bei ST2 im Mittel rd. 10% unter jenen von ST1 zu liegen kommen. Als Grund hierfür wird die deutlich höhere Verdichtung bei nicht vorgebohrter Applikation in Folge des stärkeren Gewindekerndurchmessers gesehen was insbesondere bei faserparalleler Verschraubung zu einer erhöhten Schädigung im Gegengewinde des angrenzenden Holzkörpers führt.

Neben der Ausziehfestigkeit wurde auch der Verschiebemodul aus den Prüfdaten ermittelt. Aufgrund der sehr geringen Verformungen ist diese Kenngröße allerdings mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet. Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass der Verschiebemodul $K_{ser,ax}$ i.d.R. bei faserparallelen Verschraubungen höher ist als quer zur Faser; siehe u.a. Brandner et al. (2017). Bei den Untersuchungen hier zeigt sich für die Nadelholzserien im Mittel ein Verhältnis $K_{ser,ax,90,mean} / K_{ser,ax,0,mean}$ von 0,70. Für Laubholz ist dieses Verhältnis deutlich höher und im Mittel zwischen 0,80 und 0,85. Dies wird auf geringere Unterschiede zwischen den Kenngrößen in Laubholz, u.a. zwischen dem Längs- und Rollschubmodul, zurückgeführt. Ein Vergleich der $K_{ser,ax}$ -Werte zwischen den beiden Schraubentypen zeigt eine im Mittel rd. 25% höhere Werte für ST2. Da die hier bestimmten $K_{ser,ax}$ -Werte sowohl die Dehnung des Schraubengewindes als auch die lokalen Stauchungen des unmittelbar angrenzenden Holzkörpers beinhalten ist diese Differenz auf Unterschiede in den Steifigkeiten der Schrauben selbst im linear-elastischen Bereich zurückzuführen. Weiterführende Informationen und Ergebnisse dazu sind in Reichinger (2017) und Brandner et al. (2019a) zu finden.

Im Folgenden werden, wie unter Abschnitt 2.3, unter Verwendung von Potenzmodellen und mit Fokus auf den Potenzparameter b der Gradient der funktionalen Beziehung zwischen Kenngrößen paarweise analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Dabei wurden die Daten von ST1 und ST2 gesammelt betrachtet.

Tabelle 5: Potenzfaktoren b als Gradient der funktionalen Beziehung zwischen ausgewählten Kenngrößenpaaren.

Gruppe [-]	α [°]	f_{ax} vs. ρ_{12}	$K_{ser,ax}$ vs. ρ_{12}	f_{ax} vs. M_{max}
NH	0°; 90°	0,85; 1,20	1,00; 1,40	0,70
LH-RP	0°; 45°; 90°	1,40	rd. 0,80	rd. 1,00
LH-ZP	0°; 45°; 90°	rd. 1,70	rd. 1,50	rd. 1,00

In Übereinstimmung mit früheren Ergebnissen von Ringhofer et al. (2015a) und Ringhofer (2017) zeigt sich für f_{ax} vs. ρ_{12} auch in diesen Untersuchungen für die Fichte ein deutlicher Unterschied zwischen den Potenzfaktoren für $\alpha = 0^\circ$ und 90° . Diese Abhängigkeit des Potenzfaktors vom Achs-Faserwinkel ist für LH nicht darstellbar, allerdings sind die Potenzfaktoren im Vergleich zu Nadelholz deutlich höher; im Mittel 1,40 für RP und 1,70 für ZP. Gesamt betrachtet sind diese Potenzfaktoren in guter Übereinstimmung mit der Literatur (u.a. Newlin und Gahagan 1938; Schneider 1999; Hübner 2013), welche Werte im Bereich von 1,59 bis 1,78 angeben.

Die Ergebnisse für den Potenzfaktor b betreffend $K_{ser,ax}$ vs. ρ_{12} sind nicht zuletzt aufgrund der gegebenen Unsicherheiten in der Bestimmung der $K_{ser,ax}$ Werte selbst als nicht eindeutig zu beschreiben. Auch entsprechende Vergleiche mit der Literatur, obwohl eingeschränkt auf Prüfungen in Fichte, weisen eine ausgeprägte Bandbreite auf; vgl. Blaß et al. (2006) mit $b = 0,20$, Ringhofer et al. (2015a) mit 0,75 und Brandner et al. (2017) mit 1,42. Für f_{ax} vs. M_{max} ist hingegen keine Abhängigkeit von α aber eine unterproportionale bzw. proportionale Steigerung der Ausziehfestigkeit mit ansteigender Rohdichte in NH und LH gegeben.

Im Folgenden werden die Ausziehkenngößen in Abhängigkeit des Achs-Faserwinkels näher betrachtet. In der Literatur gibt es für die Beschreibung von f_{ax} in Abhängigkeit von α verschiedene Ansätze: EC 5, aufbauend auf den Arbeiten von Blaß et al. (2006), wählt hierfür einen Hankinson-Ansatz. Dieser wird auch in Blaß und Uibel (2007), Pirnbacher et al. (2009) weiter vorgeschlagen. Hübner (2013), Ringhofer et al. (2015a), Ringhofer (2017) und EAD 130118-00-0603 (2016) verfolgen einen bi-linearen Ansatz, mit einer konstanten Ausziehfestigkeit zwischen $\alpha = 90^\circ$ und 45° bzw. 30° sowie einer linearen Abnahme dieser bis $\alpha = 0^\circ$.

Zur weiteren Abklärung dieser Beziehung wurden die bestehenden Prüfungen in Buche und BauBuche um Serien mit $\alpha = 15^\circ$ und 30° ergänzt. Die wesentlichen Ergebnisse daraus sind der Abbildung 4 zu entnehmen. Die bisher getätigten Beobachtungen werden bestätigt: Die Ausziehfestigkeit steigt kontinuierlich zwischen $\alpha = 0^\circ$ und 45° an und fällt danach leicht ab. Die Unterschiede zwischen $\alpha = 30^\circ$, 45° und 90° sind allerdings statistisch nicht signifikant und praktisch vernachlässigbar wodurch die baupraktische Modellbildung der Beziehung f_{ax} vs. α auf Grundlage eines bi-linearen Modells mit Wendepunkt bei $\alpha = 30^\circ$ als gerechtfertigt erscheint. Da die Ausziehfestigkeit $f_{ax,0,ST2}$ tiefer liegt als $f_{ax,0,ST1}$ ist der

Gradient der Abnahme für $\alpha < 30^\circ$ bei Schraubentyp ST2 größer. Zudem zeigt sich im Allgemeinen die Streuung bei $\alpha = 0^\circ$ höher als bei den weiteren Achs-Faserwinkeln. Unter Berücksichtigung aller geprüften Holzarten, Produkte und beider Schraubentypen kann auf dem charakteristischen (5 %-Quantil) Niveau für $1 / k_{90} = f_{ax,0,k} / f_{ax,90,k}$ ein Faktor von 0,70 vorgeschlagen werden.

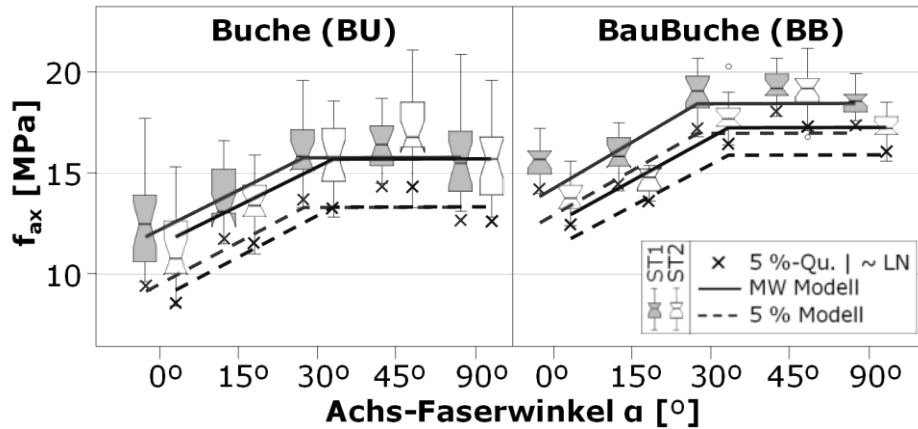


Abbildung 4: Box-Plots der Ausziehfestigkeit vs. Achs-Faserwinkel für BU und BB sowie beide Schraubentypen ST1 und ST2 ergänzt um bi-lineare Modelle für $k_{ax,mean}$ und $k_{ax,05}$.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse konnte das generische Modell von Ringhofer et al. (2015a) bzw. Ringhofer (2017), ursprünglich definiert für Nadelholz (Fichte), um das Laubholz erweitert werden; siehe Brandner et al. (2019a) und Brandner (2019). Demnach ergibt sich der Ausziehtragfähigkeit $F_{ax,05}$ gemäß Gl. (1) aus der Ausziehfestigkeit $f_{ax,05}$ multipliziert mit der Mantelfläche des effektiv wirksamen Gewindebereiches im maßgebenden Bauteil. Dabei bleibt die Länge der Spitze unberücksichtigt. Gemäß Gl. (1) errechnet sich die Ausziehfestigkeit selbst durch Multiplikation einer Referenzausziehfestigkeit $f_{ax,90,05}$ (ermittelt an Vollholz, mit $\alpha = 90^\circ$), welche dem EC 5, europäischen technischen Bewertungen, anderen technischen Dokumenten entnommen oder nach Gl. (2) bestimmt werden kann, mit dem Beiwert $k_{ax,05}$, zur Berücksichtigung des Achs-Faserwinkels gemäß Gl. (3), dem Systembeiwert $k_{sys,05}$, zur Berücksichtigung des Effektes aus der Anzahl der durchschraubten Schichten n gemäß Gl. (5) und Ringhofer et al. (2015b), und dem Potenzmodell zur Berücksichtigung des Rohdichteinflusses mit dem Potenzfaktor k_p gemäß Gl. (6). Der Beiwert $k_{ax,05}$ gemäß Gl. (3) enthält zudem noch den Beiwert $k_{gap,05}$, welcher die Wahrscheinlichkeit einer Applikation von Schrauben in Fugen in der Schmalseite von gegenwärtig zugelassenen BSP-Produkten berücksichtigt; siehe Ringhofer et al. (2015a) und Brandner (2016).

$$F_{ax,05} = f_{ax,05} d \pi l_{ef}, \text{ mit } f_{ax,05} = f_{ax,ref,05} k_{ax,05} k_{sys,05} \left(\frac{\rho_{05}}{\rho_{ref,05}} \right)^{k_p} \quad (1)$$

$$f_{ax,ref,05} = \begin{cases} 0,0130 \rho_{ref,05}^{1,10} d^{-0,33} & \text{für NH} \\ 0,0029 \rho_{ref,05}^{1,40} d^{-0,33} & \text{für LH-RP} \\ 0,0004 \rho_{ref,05}^{1,70} d^{-0,33} & \text{für LH-ZP} \end{cases} \quad (2)$$

$$k_{ax,05} = \begin{cases} 1,0 & \text{für } 30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \\ 0,70 k_{gap,05} + \alpha \frac{1 - 0,70 k_{gap,05}}{30} & \text{für } 0^\circ \leq \alpha < 30^\circ \end{cases} \quad (3)$$

$$k_{gap,05} = \begin{cases} 0,90 & \text{für BSP Schmalseite} \\ 1,00 & \text{sonst} \end{cases} \quad (4)$$

$$k_{\text{sys},05} = \begin{cases} 1,00 & \text{für Vollholz; } n = 1 \\ 1,10 & \text{für BSP Seitenfläche; } n \geq 3 \\ 1,13 & \text{für BSH; } n \geq 5 \end{cases} \quad (5)$$

$$k_p = \begin{cases} 1,10 & \text{für NH \& } 15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \\ 1,25 - 0,05 d & \text{für NH \& } 0^\circ \leq \alpha < 15^\circ \\ 1,40 & \text{für LH-RP \& } 0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \\ 1,70 & \text{für LH-ZP \& } 0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \end{cases} \quad (6)$$

Dieses generische Modell erlaubt eine konsistente Bestimmung der Ausziehfestigkeit von selbstbohrenden Holzbauschrauben, appliziert in Schmal- und Seitenflächen von Vollholz bzw. brettbasierten, unidirektional sowie orthogonal geschichteten Vollholzprodukten wie BSH und BSP aus Nadel- sowie Laubholz. Die vorgeschlagene Regelung der Potenzfaktoren k_p zur Berücksichtigung des Rohdichteinflusses für Nadel- und Laubholz ermöglicht zudem die Abbildung der aus Prüfungen feststellbaren deutlich höheren Kapazitäten von Holzbauschrauben appliziert in Holzbauprodukte hoher Rohdichte, wobei dies insbesondere für Hartlaubholzprodukte einen entscheidenden Vorteil bringt. Man beachte, dass gemäß EAD 130118-00-0603 (2016) gegenwärtige europäische technische Bewertungen einen Potenzfaktor $k_p = 0,8$ für alle zugelassenen Holzarten berücksichtigen und zudem eine Erhöhung der Ausziehfestigkeit gegenüber dem Referenzwert nur bis zu einer Rohdichte von $\rho_{12,k} = 590 \text{ kg/m}^3$ zulässig ist.

Unter Beachtung der hohen Qualität von europäischen BSP-Produkten, welche nahezu fugenfrei produziert werden, der Unsicherheiten in zwei von drei Holzarten (EI & ES) der Gruppe LH-RP erscheint eine weitere Vereinfachung dieses generischen Ansatzes als möglich, durch $k_{\text{gap},05} = 1,0$ und einem gemeinsamen Potenzfaktor $k_p = 1,60$ für LH in Kombination mit einem gemeinsamen Regressionsmodell zur Bestimmung der Referenzausziehfestigkeit in Laubholz mit $f_{\text{ax,ref,LH},05} = 0,0007 \rho_{12,05}^{1,60} d^{-0,33}$, welches in guter Übereinstimmung mit Hübner (2013) ist.

3.3.3. Ausziehkenngößen bei Applikation mit Vorbohren

Die Festlegung des maximal zulässigen Vorbohrdurchmessers zum Erhalt der Ausziehfestigkeit von Schrauben appliziert ohne Vorbohren wurde bereits vergleichsweise früh untersucht. Fairchild (1926) schlugen $d_{\text{PD}} \leq 0,7$ bzw. $0,9 d_1$ für Nadel- bzw. Laubholz vor. Newlin und Gahagan (1938) fanden d_{PD} in Abhängigkeit der Rohdichte sowie d , mit $0,40$ bzw. $0,85 d_1$ für ρ_{12} zwischen 430 und 720 kg/m^3 und d zwischen rd. 8 und rd. 25 mm . Gemäß Wilkinson und Laatch (1970) gilt $d_{\text{PD}} \leq 0,6 d_1$ wohingegen Eckelmann (1988) und Schneider (1999) $d_{\text{PD}} \leq d_1$ vorschlugen, was im Wesentlichen dem Großteil der heutigen Regelungen entspricht. Ringhofer (2017) schlug für Fichte $d_{\text{PD}} \leq 1,1 d_1$ vor.

Zur weiteren Klärung dieser Frage wurden ergänzend zu den Ausziehprüfungen an Schrauben appliziert ohne Vorbohren in BU und BB Prüfungen an vorgebohrt applizierten Schrauben unter Variation des Vorbohrdurchmessers d_{PD} durchgeführt. Die Ergebnisse daraus sind für die Ausziehfestigkeit in Abbildung 5 dargestellt.

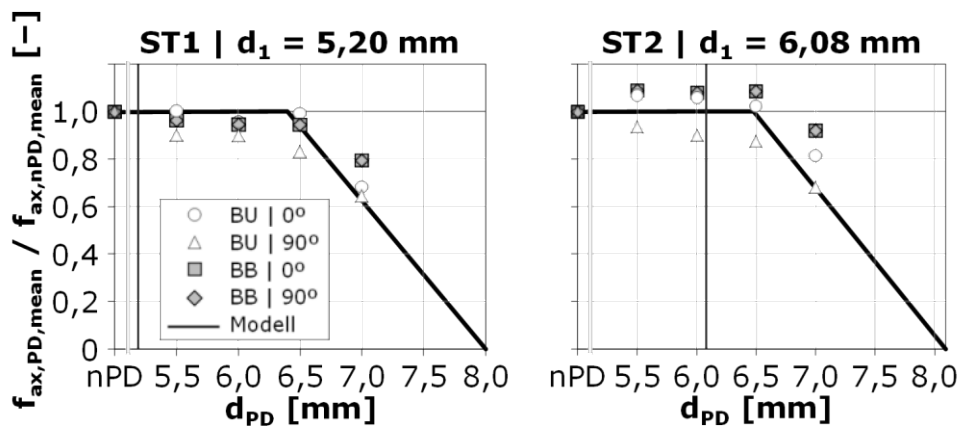


Abbildung 5: Relative Veränderung der Ausziehfestigkeit mit zunehmendem Vorbohrdurchmesser für BU und BB sowie $\alpha = 0^\circ$ und 90° : ST1 (links), ST2 (rechts).

Dabei ist ersichtlich, dass bis zu einem Vorbohrdurchmesser von $d_{PD} \leq 6,5$ mm unabhängig vom Schraubentyp, Holzprodukt und Achs-Faserwinkel im Mittel keine Abnahme in der Ausziehfestigkeit ($f_{ax,PD,mean}$ vs. $f_{ax,nPD,mean}$) feststellbar ist. Selbiges wurde auch für den Verschiebungsmodul $K_{ser,ax}$ festgestellt (Brandner et al. 2019a). Dieses Ergebnis überrascht insofern als die Gewindekerndurchmesser von ST1 und ST2 deutlich unterschiedlich sind. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass eine Mindestverankerungstiefe der Gewindeflanke im umliegenden Holzkörper von jeweils 0,75 bis 0,80 mm hier maßgebend ist. Ein vergleichbarer Ansatz wurde auch in Nakatani und Komatsu (2005) gewählt. Im Rahmen einer gutachterlichen Stellungnahme (Ringhofer et al. 2018) wurde dies zudem für BauBuche (BB) und unterschiedliche Schraubendurchmesser bestätigt. Vergleichbare Regelungen sind für geringe Schraubendurchmesser auch in der ETA-11/0190 (2018) zu finden. Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse wird daher folgende Regelung vorgeschlagen; siehe auch Brandner (2019):

$$d_{PD} \leq \min\{0,8 d; d - 1,5 \text{ mm}\} \quad (7)$$

Zudem wurde als weiterer Effekt festgestellt, dass bei Applikation mit Vorbohren die Ausziehfestigkeiten für $\alpha = 0^\circ$ höher sind als bei Applikation ohne Vorbohren. Dies hat zur Folge, dass die $1 / k_{90}$ -Beiwerte ebenfalls ansteigen und der im Mittel festgestellte 10% Unterschied zwischen ST2 und ST1 durch einen höheren Effekt bei ST2 verschwindet.

4. Langzeiteffekte auf die Ausziehfestigkeit faserparallel applizierter Holzbauschrauben

4.1. Vorwort und Motivation

Wie dem Kapitel 1 zu entnehmen, ist die statisch-konstruktive faserparallele Applikation von Holzbauschrauben nur bedingt zugelassen. Laut EC 5 ist diese nicht erlaubt, laut gegenwärtigen europäischen technischen Bewertungen, basierend auf EAD 130118-00-0603 (2016), möglich, aber auf einem sehr konservativen Niveau. Feuchte- und Langzeiteinflüsse (DoL) auf die Tragfähigkeit von Holzbauprodukten sind im EC5 durch den Modifikationsfaktor k_{mod} geregelt. Dieser unterscheidet bei Vollholz, BSH, BSP und LVL jedoch nicht in Hinblick auf die Art der Beanspruchung noch zwischen Nutzungsklasse (NK) 1 und 2. Um den vermuteten höheren DoL Effekt bei axial auf Zug beanspruchten Holzbauschrauben und kleinen Achs-Faserwinkeln zu berücksichtigen wurde der $1 / k_{90}$ -Faktor bewusst auf ein konservatives Niveau von 0,30 gesetzt.

Die Erweiterung des Kenntnisstandes betreffend DoL hat daher für faserparallele aber auch generell für Applikationen bei $\alpha < 45^\circ$ hohe Priorität. In der jüngeren Vergangenheit wurden dahingehend bereits einzelne Forschungsaktivitäten durchgeführt, u.a. von Rosowsky und Reinhold (1999), Pirnbacher und Schickhofer (2012), Uibel und Blaß (2013) sowie Koj und Trautz (2016). Die bisherigen Ergebnisse aus diesen Untersuchungen sind zum einen beschränkt auf Nadelholz und zum anderen oftmals noch nicht verfügbar bzw.

nicht eindeutig in den Aussagen. Aufgrund dessen wurden im Rahmen vom Forschungsprojekt «hardwood_SCREWS» DoL-Untersuchungen an selbstbohrend, faserparallel in Nadel- und Laubholzprodukten applizierten Holzbauschrauben gestartet, welche aktuell in den zwei weiteren Forschungsvorhaben «SCREWS_STIFFNESS» und «hardwood joint» weiter betreut und intensiviert werden. Erste Ergebnisse nach 2,25 Jahren Standdauer wurden in Brandner et al. (2019b) publiziert und werden im Folgenden zusammenfassend dargelegt.

4.2. Material und Methoden

Die DoL Untersuchungen beschränken sich auf die Holzarten FI und BU, die Produkte Vollholz und LVL (BauBuche; BB), beide Schraubentypen ST1 und ST2 sowie auf ein konstantes Klima entsprechend NK 2 mit 20°C und 85% rel. Luftfeuchte Für die Referenz- und DoL-Prüfungen wurde eine «pull-pull» Konfiguration gewählt. Die Verankerungslänge des Gewindes inkl. der Schraubenspitze, appliziert ohne Vorbohren, beträgt 60 mm. Aufgrund der Empfehlung in Pirnbacher und Schickhofer (2012) bei faserparalleler Verschraubung das Schraubengewinde zur Sicherstellung eines definierten Vorholzbereiches in das Holz einzubinden wurden unterschiedliche Einbindelängen $l_{emb} = 0, 2$ und $4 d$ in die Untersuchungen aufgenommen.

Für die DoL Prüfungen selbst wurde ein eigener Prüfrahmen sowie ein Messsystem zur Kontrolle der Last über die Zeit und des Versagenszeitpunktes entwickelt. Als Höhe der konstanten Belastung (Lastniveau; LL) in den DoL Untersuchungen wurden 60, 70 bzw. 80% des Mittelwertes der statischen Kurzzeittragfähigkeit gewählt. Geprüft werden je Konfiguration, definiert über {Holzart, Produkt, Schraubentyp, Einbindelänge, Laststufe}, Ketten von zeitgleich je drei Probekörpern und somit je sechs Schrauben. Insgesamt ist es das Ziel, je Konfiguration Daten von 12 bis 14 Schrauben zu erhalten. Weitere Informationen zu den DoL Untersuchungen sind Mayr (2018) sowie Brandner et al. (2019b) zu entnehmen.

4.3. Ergebnisse und Diskussion

Die mittleren Holzfeuchten bei den Proben ergeben sich zu 16% in Fichte und 15% in Buche und BauBuche. Der Unterschied ist auf den höheren Hystereseeffekt bei Buche im Zusammenhang mit der Adsorptionsphase zurückzuführen.

Bei den statischen Kurzzeitprüfungen wurde bei Variation der Einbindelänge des Gewindes im Mittel eine Erhöhung der Ausziehfestigkeit von +13% bei $l_{emb} = 2 d$ und +17% bei $l_{emb} = 4 d$ festgestellt.

Nach 2,25 Jahren DoL-Untersuchungszeitraum sind nahezu alle Serien in FI und BB der Laststufe LL = 80% und rd. 50% der Serien bei LL = 70% abgeschlossen. Für die Serien LL = 60% sind vereinzelt Versagensfälle gegeben. Bei Buche ist die Ausfallsrate deutlich geringer. Als Grund dafür wird der im Vergleich zu vorhergehenden Untersuchungen relativ geringe Referenzwert vermutet.

Die Ergebnisse für FI und BB sind in Abbildung 6 dargestellt. Darin wurden alle Daten auf eine schadensäquivalente Zeit entsprechend einer konstanten Last umgerechnet und zudem jedem Wert nach Madsen (1992) ein individuelles Lastniveau zugewiesen wodurch der Informationsgehalt der Daten deutlich gesteigert werden konnte (siehe Brandner et al. 2019b). Der Grund für einzelne Werte bis 10 Jahre liegt am Umstand, dass einzelne Ketten über einen längeren Zeitraum zu hoch belastet wurden was in Folge zu einer höheren Gewichtung der beobachteten Ausfallszeiten führt.

Gemäß der Daten zeigt sich, dass zwischen beiden Schraubentypen ST1 und ST2 sowie der Gewinde-Einbindetiefen l_{emb} im Wesentlichen kein Unterschied im DoL Verhalten gegeben ist sofern der Referenzwert, wie in den vorliegenden Datenanalysen, der jeweiligen Konfiguration entspricht. Unter Ansatz des Modells von Pearson (1972), welches auch als Grundlage für die gegenwärtigen Regelungen zu DoL im EC 5 dient, wurde der folgende Zusammenhang als repräsentativ für die bisherigen Daten gefunden:

$$LL \cong 85,0 - 4,43 \log_{10}(T_f) \quad (8)$$

mit LL in [%] der mittleren Kurzzeittragfähigkeit und T_f in [h]. Tabelle 6 stellt die Ergebnisse der damit errechneten k_{mod} -Beiwerte für NK 2 jenen nach EC 5 und zwei DoL-Modellen der Literatur gegenüber. Im Allgemeinen zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen aus den bisherigen DoL-Untersuchungen an axial beanspruchten, faserparallel und selbstbohrend applizierten Holzbauschrauben mit den Werten der DoL Modelle aus der Literatur und dem EC 5.

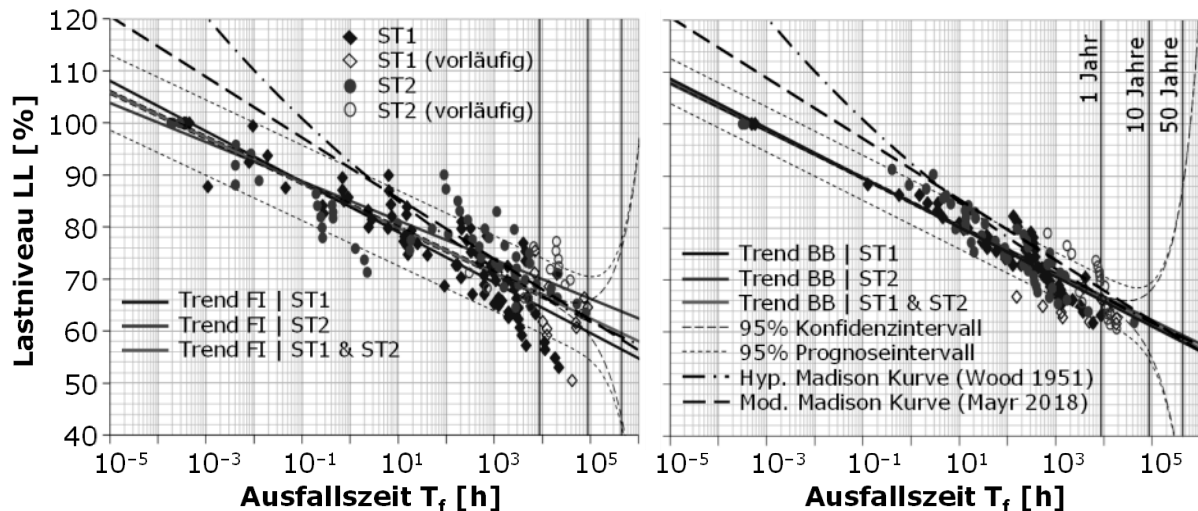


Abbildung 6: Vorläufige Ergebnisse aus den DoL Prüfungen nach 2,25 Jahre Standbetreuung bewertet für eine konstante Beanspruchung: Lastniveau LL vs. Ausfallszeit; FI (links), BB (rechts).

Tabelle 6: Modifikationsfaktoren k_{mod} für NK 2 und unterschiedliche Klassen der Lasteinwirkungsdauer gemäß EC 5 im Vergleich mit DoL-Modellen der Literatur und dem DoL-Modell gemäß dem gegenwärtigen Ergebnisstand für faserparallel applizierte, axial auf Herausziehen beanspruchte Holzbauschrauben in NH und LH.

Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED)	EC 5 NK 1 & 2	Wood (1951) ³⁾	Pearson (1972) ³⁾	ST1 & ST2 FI & BB ^{2) 3)}
ständig (> 10 a)	0,60	0,62	0,57	0,63
lang (6 m – 10 a)	0,70	0,69	0,66	0,69
mittel (1 w – 6 m)	0,80	0,77	0,76	0,75
kurz (< 1 w)	0,90	0,92 (1 h ¹⁾)	0,92 (1 h ¹⁾)	0,85 (1 h ¹⁾)
sehr kurz (nicht spez.)	1,10	1,08 (1 min ¹⁾)	1,04 (1 min ¹⁾)	1,05 (1/10 s ¹⁾)

¹⁾ angenommene Lasteinwirkungsdauer; Wert in EC 5 nicht spezifiziert
²⁾ Basis Pearson (1972), jedoch mit $LL \cong 85,0 - 4,43 \log_{10}(T_f)$
³⁾ Modellvorhersagen beziehen sich auf die untere Grenze der Lasteinwirkungsdauer in der jeweiligen KLED

Zusammenfassend kann zum gegenwärtigen Stand der Untersuchungen festgehalten werden, dass die k_{mod} -Faktoren, wie sie gegenwärtig im EC 5 verankert sind, auch für axialbeanspruchte, faserparallel applizierte Verschraubungen anwendbar gelten. Weiters wurde kein Unterschied im DoL-Verhalten zwischen Nadel- und Laubholz, beiden Schraubentypen sowie den untersuchten Gewinde-Einbindelängen festgestellt. Untersuchungen zum DoL-Verhalten bei veränderlicher Klimabelastung und von Schraubengruppen sind anvisiert.

5. Beanspruchung Schraubengruppe: Bestimmung von Mindestanforderungen an Geometrie & Ausführung

5.1. Vorwort und Motivation

Im Sinne der unter Kapitel 1 beschriebenen Motivation eines Hirnholzanschlusses werden nachfolgend Möglichkeiten und Leistungsfähigkeiten dieser diskutiert. Dabei gilt der Fokus einem Hirnholzanschluss mit einer Kopfplatte aus Stahl, wodurch die möglichen Versagensmechanismen um das Kopfdurchziehen reduziert und folglich eingeschränkt werden auf (i) Herausziehen, (ii) Stahlzugbruch der Schrauben, (iii) Herausscheren des Holzblockes, welcher durch die Gruppe eingeschlossen wird, (iv) Aufspalten und (v) Netto-Querschnittversagen des Bauteils. Das Ziel dabei ist es, die spröden Versagensmechanismen des Anschlusses, (iii) bis (v), durch entsprechende geometrische Randbedingungen und

Ausführungsregeln auszugrenzen und die Leistungsfähigkeit der Verbindungsmittelgruppe so zu gestalten, dass die volle Tragfähigkeit jeder einzelnen Schraube in der Gruppe abgerufen werden kann, mit $n_{ef,mean} = n$, n als vorhandene und $n_{ef,mean}$ als mittlere, effektiv wirksame Anzahl an Schrauben in der Gruppe.

5.2. Material und Methoden

Mit Fokus auf einen hochleistungsfähigen Hirnholzanschluss wird ausschließlich der Schraubentyp ST2 appliziert in BU und BB betrachtet. Die Prüfungen wurden abermals bei einem Referenzklima von 20°C und 65 % rel. Luftfeuchte durchgeführt.

Zur Ermittlung der minimalen Rand- und Zwischenabstände wurde ein mehrstufiges Verfahren angewandt: Zuerst wurden Einschraubprüfungen mit Einzelschrauben in Probehölzer mit quadratischem Querschnitt vorgenommen, um den Mindest-Randabstand $a_{2,C}$ zum Applizieren von Schrauben ohne Spalten der Probe zu bestimmen. Dabei wurde der Querschnitt so lange stufenweise um 0,5 d erhöht bis nacheinander ein Einschrauben ohne Spalten in fünf Proben möglich war. Dabei wurden die Applikationsbedingungen (mit Vorbohren ($d_{PD} \cong d_1$) vs. ohne Vorbohren; neue Schraube mit intakter Gleitbeschichtung vs. bereits benutzte Schrauben) variiert. Anschließend wurden in BauBuche Gruppen von $n = 3 \times 3$ Schrauben mit $a_2 = 2 d$, $a_{2,C} = 1,5$ bzw. $2 d$ und $l_{ef} = 120$ mm mit demselben Ziel analysiert.

Auf Basis der daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden anschließend «pull-pull» Ausziehprüfungen an $n = 1 \times 3$ Schrauben durchgeführt. Dabei wurde zuerst $a_{2,C} = 4,4 d$ gewählt und a_2 solange variiert bis $n_{ef,mean} = n$ erzielt wurde. Danach wurde $a_{2,C}$ in Kombination mit dem auf Basis der Ausziehprüfungen bestimmten a_2 überprüft, wiederum mit dem Ziel, $n_{ef,mean} = n$ zu erreichen. Aufgrund der bevorzugten Spaltrichtung der BauBuche in radialer Richtung (quer zu den Lagen) wurden für a_2 beide Richtungen getestet. Zudem wurde der Einfluss der Einbindelänge des Gewindes, l_{emb} , auf die Abstände betrachtet.

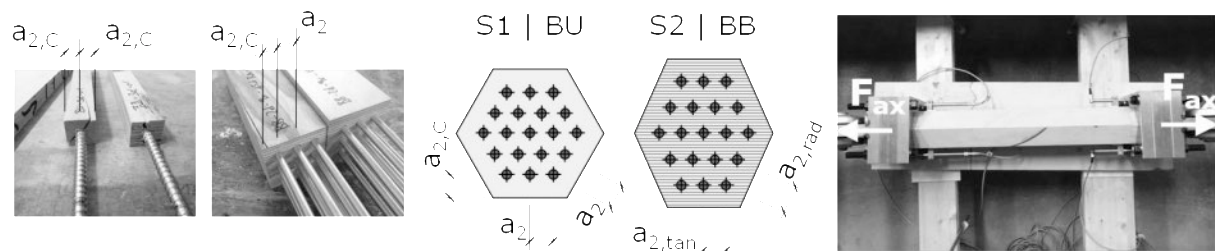


Abbildung 7: Einschraubprüfungen: Einzelschrauben und Schraubengruppen (links); Querschnitte und Abstände geprüfter Hirnholzanschlüsse (mittig); Prüfkörper mit beidseitigem Hirnholzanschluss im Prüfgerüst (rechts).

Nach Ermittlung der geometrischen Mindestbedingungen wurden Versuche an Hirnholzanschlüssen, ebenfalls unter Verwendung einer «pull-pull» Konfiguration und beidseits 19 Schrauben gleicher Konfiguration, durchgeführt. Um eine weitgehend reine axiale Beanspruchung ohne Zusatzmomente aus Zwängungen zu erzielen, wies diese Konfiguration eine Gelenkkette auf. Um die Mindestabstände bestmöglich zu überprüfen, wurde für die Hirnholzanschlüsse ein sechseckiger Querschnitt gewählt. Weitere Details können Koppauer (2017), Eckerstorfer (2017) und Brandner (2019) entnommen werden. Aus dem umfangreichen Prüfprogramm werden in Folge vier Serien mit je sechs Proben näher betrachtet.

5.3. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 7 fasst die Ergebnisse für die Mindestrand- ($a_{2,C}$) und -zwischenabstände quer zur Faser (a_2) aus den Einschraub- und Ausziehprüfungen für die Applikationsbedingungen mit (PD) / ohne Vorbohren (nPD) zusammen. Nicht in dieser Tabelle enthalten ist der Vergleich «neue» vs. «alte» Schrauben. In diesem wurde festgestellt, dass bei erneuter Benutzung von Schrauben für ein spaltfreies Applizieren $a_{2,C}$ um 0,5 d zu erhöhen ist. Gemäß Tabelle 7 halbieren sich die Mindestabstände weitgehend bei Applikation mit Vorbohren und reduziert sich a_2 um 1 d bereits bei einer Gewinde-Einbindelänge von $l_{emb} = 2 d$. Für die BauBuche ergeben sich höhere Zwischenabstände in radialer als in tangentialer Richtung ($a_{2,rad} = a_{2,tan} + 2 d$). Zudem ist festzuhalten, dass auf Basis von Einschraubprüfungen

bereits gute Erkenntnisse betreffend die Mindestanforderungen an Rand- und -zwischenabstände gewonnen werden konnten, diese aber auf Basis von Ausziehprüfungen noch nach oben zu korrigieren sind.

Tabelle 7: Mindestrand- und -zwischenabstände quer zur Faser für Hirnholzanschlüsse: Ergebnisse aus Einschraub- und Ausziehprüfungen mit «neuen» Schrauben in BU und BB für ST2.

Produkt	l_{emb} [d]	Einschraubprüfungen			«pull-pull» Ausziehprüfungen		
		nPD	PD		nPD	PD	
		$a_{2,C}$ [d]	a_2 [d]	$a_{2,C}$ [d]	a_2 [d]	a_2 [d]	$a_{2,C}$ [d]
BU	0 d	2,5 d	-	1,25 d	>> 5 d	3 d	>> 1,5 d
	2 d	-	-	-	-	2 d	>> 1,5 d
BB (rad.)	0 d	3,75 d	2 d	2 d	-	5 d	3 d
	2 d	-	-	-	-	4 d	3 d
BB (tang.)	0 d	3,75 d	2 d	2 d	-	3 d	3 d

Gemäß der Zielsetzung wurden die Schrauben in den Hirnholzanschlüssen vorgebohrt appliziert. In beiden Produkten, BU Vollholz und BU LVL, wurden die Hirnholzanschlüsse mit 19 Schrauben ident an beiden Enden der Probekörper ausgeführt und für $l_{emb} = 2$ d bzw. 8,4 d, für $a_{2,C} = 3$ d und für $a_{2,BU}$ und $a_{2,BB,tan} = 3$ d sowie für $a_{2,BB,rad} = 4$ d gewählt. Die Ergebnisse aus diesen Prüfungen in Form von Traglasten sind als Box-Plots in Abbildung 8 zusammengefasst.

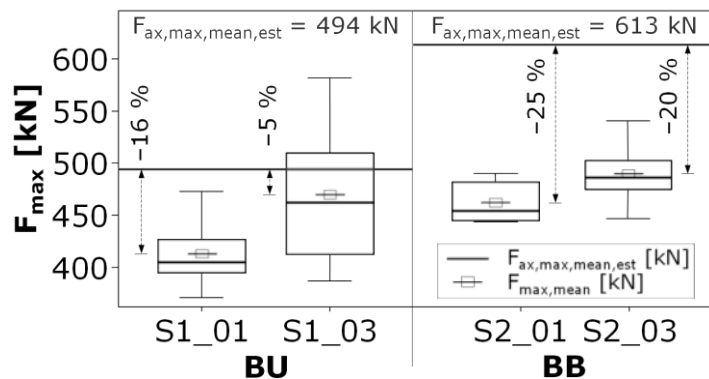


Abbildung 8: Box-Plots der Traglasten aus den «pull-pull» Zugprüfungen an Hirnholzanschlüssen in BU und BB im Vergleich mit den Ziel-Traglasten.

Bei den Serien S1_01 und S2_01, beide mit $l_{emb} = 2$ d, kam es bei allen Proben zu einem vorzeitigen Versagen durch Aufspalten, d.h. der Zielversagensmechanismus und in Folge auch die Zieltragfähigkeit wurden nicht erreicht. Nach Änderung der Gewinde-Einbindelänge von $l_{emb} = 2$ d auf 8,4 d wurde bei allen Proben der Serie S1_03 in Buche ein Ausziehversagen beobachtet. Im Vergleich mit der Zieltragfähigkeit zeigt sich im Mittel eine Differenz von nur 5% welche allerdings durch den Umstand erklärbar ist, dass hier ein serielles System geprüft wurde, d.h., dass von den beiden Hirnholzanschlüssen jener mit der geringeren Tragfähigkeit die Traglast der Probe bestimmt. In BauBuche hatte die Erhöhung der Einbindelänge allerdings nur einen geringen Einfluss: Obwohl bereits 50% der Proben auf Herausziehen versagten, ist die Differenz zur Zieltragfähigkeit mit im Mittel 20% noch immer sehr ausgeprägt. Eine weitere Serie mit einer größeren Einbindelänge ist anvisiert.

Die Notwendigkeit von großen Gewinde-Einbindelängen bei Hirnholzverschraubungen in Hartlaubholz wurde bereits in Grabner und Ringhofer (2014) berichtet. Sie untersuchten Hirnholzanschlüsse in Birke (*Betula pendula*) mit einer identen Prüfkongfiguration, $a_{2,C} = 2,8$ d, $a_2 = 2,1$ bis 3,0 d und $l_{emb} = 5$ d. Obwohl ausgelegt auf Stahlbruch kam es in 2 / 13 Proben zum Aufspalten. Die Ergebnisse ergaben $n_{ef,mean} = 0,92$ n; der mittlere Ausnutzungsgrad des Brutto-Querschnitts wurde zu $\eta_{mean} = 0,54$ abgeschätzt. Westermayr und van de Kuilen (2019) untersuchten Hirnholzanschlüsse in Buche (*Fagus sylvatica*). Für die Konfiguration $a_{2,C} = 1,5$ d, $a_2 = 2$ d und $l_{emb} = 4,5$ d, ausgelegt auf den Versagensmechanismus Herausziehen, wurde im Mittel $n_{ef,mean} = 0,7$ n erzielt. Man beachte: Aufgrund der gewählten Prüfkongfiguration mit beidseitiger Einspannung sind zusätzliche Momentenbeanspruchungen aus Zwängungen nicht auszuschließen.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Laubholz wird in seiner Bedeutung für den konstruktiven Ingenieurholzbau zunehmen. Mit Bezug auf die Anschluss Technologie und mit Fokus auf axial beanspruchte Verschraubungen ergeben sich unterschiedliche Herausforderungen, wie das Applizieren ohne Vorbohren auch in Holzbauprodukten mit hoher Rohdichte sowie über größere Einschraubängen, die auf Basis von Modellen realitätsnähere Erfassung der Ausziehkräftegrößen spezifisch für Laubholz zur Quantifizierung des Potentials, gegenwärtig das Fehlen zuverlässiger Kenntnisse zum DoL-Verhalten von Schrauben allgemein und von Verschraubungen bei kleinen Achs-Faserwinkeln im Besonderen, sowie die Notwendigkeit kompakter Anschlüsse mit maximaler Leistungsfähigkeit und die damit einhergehende fehlende Kenntnis betreffend geometrischer Randbedingungen und Ausführung. Die im Rahmen dieses Beitrages diskutierten Themen und Ergebnisse sollen einen Beitrag zur Lösung dieser Herausforderungen leisten und entsprechende Anschlusskapazitäten in hochleistungsfähigen Bauprodukten aus Hartlaubholz unter Verwendung von axial-beanspruchten Holzbauschrauben zuverlässig zu realisieren und ihre Wirtschaftlichkeit zu steigern. Dahingehende wesentliche Erkenntnisse werden im Folgenden nochmals zusammenfassend dargelegt:

- Im Rahmen des Forschungsvorhaben «hardwood_SCREWS» wurde eine Hartlaubholzschraube (ST2) entwickelt. Diese Schraube, welche unter dem Namen RAPID® hardwood seitens der Fa. Schmid Schrauben Hainfeld GmbH / AT produziert und vertrieben wird (ETA-12/0373 2017), erlaubt die Applikation ohne Vorbohren in Holzbauprodukten hoher Rohdichte auch bei großen Einschraubängen und weist zudem eine um 36% höhere Zugtragfähigkeit als herkömmliche Schrauben mit gleichem Nenndurchmesser auf.
- Die Erkenntnisse aus eigenen umfangreichen Ausziehversuchen, durchgeführt an Einzelschrauben in Nadel-, zerstreut- und ringporigen Laubholzarten mit einer Rohdichtebandbreite von rd. 350 bis 900 kg/m³, ergänzt um Daten aus der Literatur ermöglichten die Erweiterung eines generischen Modellansatzes zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit von Nadelholz nun auch für Laubholz. Dieses Modell erlaubt eine konsistente Bestimmung der Ausziehfestigkeit von Holzbauschrauben appliziert in Vollholz sowie Brettbasierten unidirektional sowie orthogonal geschichteten Produkten wie BSH und BSP.
- Der gegenwärtige Stand der Ergebnisse aus den Langzeituntersuchungen an faserparallel selbstbohrend applizierten und axial auf Zug beanspruchten Holzbauschrauben in Nadel- und Laubholz bei konstanten NK 2 Klimabedingungen deutet auf ein mit anderen Beanspruchungsarten von Holz vergleichbares Verhalten hin. Die Gegenüberstellung von k_{mod} -Werten aus diesen Untersuchungen und jenen des EC 5 für NK 2 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Zusätzliche DoL Untersuchungen an Achs-Faserwinkeln von $\alpha = 15^\circ, 30^\circ$ und 45° sind gegenwärtig laufend und weitere Untersuchungen bei veränderlichen Klimabedingungen und an Kleingruppen anberaumt.
- Die Applikation von Holzbauschrauben mit Vorbohren, obwohl auf den ersten Blick hinsichtlich wirtschaftlicher Gesichtspunkte fraglich, weist in einigen Bereichen durchaus erhebliche Vorteile auf: (i) Bereits bei $d_{PD} \cong d_1$ halbiert sich der Eindrehwiderstand; (ii) zumindest für Hirnholzanschlüsse wurde festgestellt, dass sich die Mindestrand- und -zwischenabstände bei Applikation mit Vorbohren ($d_{PD} \cong d_1$) nahezu halbieren. Zudem ergeben sich etwas höhere Ausziehfestigkeiten bei faserparalleler Verschraubung, was zu einem Ausgleich der 10% Differenz zwischen ST1 und ST2 bei $\alpha = 0^\circ$ führte.
- Das Ziel, die volle Leistungsfähigkeit jeder Schraube ($n_{ef,mean} = n$) in Hirnholzanschlüssen abzurufen, gilt für die Buche als erreicht. Bei sehr kompakten Gruppen mit a_2 und $a_{2,c} = 3 d$ wird empfohlen, das Gewinde um $l_{emb} = 10 d$ zu versenken um ausreichend Vorholz zur Aufnahme der Querkraftkräfte zur Verfügung zu stellen. Für die BauBuche sind noch weitere Untersuchungen notwendig.

7. Danksagung

Die Grundlage für den vorliegenden Beitrag wurden primär im Rahmen des Forschungsprojektes FFG BRIDGE 1 «hardwood_SCREWS» (No. 850748), sowie darüber hinaus im Forschungsprojekt FFG BRIDGE 1 «SCREW_STIFFNESS» (No. 861554) erarbeitet. Beide Projekte erhielten öffentliche Fördermittel von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG). Diese sowie jene Unterstützung durch die Wirtschaftspartner, Schmid Schrauben Hainfeld GmbH, Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH, Landeskammer für Land und Forstwirtschaft Steiermark (ARGE Holzwerbebeitrag) und WIEHAG GmbH, werden dankend erwähnt. Hervorzuheben sind zudem die Motivation und Anstrengungen welche von Hrn. Matthias Pöll, Hrn. Tobias Reichinger, Hrn. Lothar Koppauer und Hrn. Peter Mayr im Rahmen ihrer Masterarbeiten sowie von Fr. Birgit Eckerstorfer im Zuge ihres Masterprojektes dargelegt wurden. Zudem ist die Unterstützung durch das Forschungsprojekt «hardwood_joint», welches unter dem Schirm von ERA-NET über ForestValue kofinanziert wird durch BMLFUW (AT), ADEME (FR), FNR (DE) und Vinnova (SE), dankend zu nennen. ForestValue erhält unter N° 773324 Förderungen aus dem Horizon 2020 Forschungs- und Innovationsprogramm der Europäischen Union.

8. Quellenverzeichnis

- Blaß HJ, Bejtka I, Uibel T (2006) Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohenden Holzschrauben mit Vollgewinde. Karlsruhe Berichte zum Ingenieurholzbau, Karlsruhe, Germany, Volume 4, ISBN 3-86644-034-0 (in German).
- Blaß HJ, Uibel T (2007) Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz. Karlsruhe Berichte zum Ingenieurholzbau, Karlsruhe, Germany, Vol. 8, ISBN 978-3-86644-129-3 (in German).
- Brandner R, Ringhofer A, Grabner M (2017) Probabilistic Models for the Withdrawal Behaviour of Single Self-Tapping Screws in the Narrow Face of Cross Laminated Timber (CLT). *European Journal of Wood and Wood Products*, 76(1):13–30.
- Brandner R (2016) Group Action of Axially-Loaded Screws in the Narrow Face of Cross Laminated Timber (CLT). *World Conference on Timber Engineering (WCTE)*, Vienna, Austria.
- Brandner R (2019) Properties of axially loaded self-tapping screws with focus on application in hardwood. *Wood Material Science & Engineering*, 14(5):254–268.
- Brandner R, Ringhofer A, Reichinger T (2019a) Performance of axially-loaded self-tapping screws in hardwood: Properties and design. *Engineering Structures*, 188, 677–699.
- Brandner R, Ringhofer A, Sieder R (2019b) Duration of Load Effect on Axially-Loaded Self-Tapping Screws Inserted Parallel to Grain in Soft- and Hardwood. *Conference paper 52-9-1, INTER-Meeting 6*, Tacoma, WA, USA.
- EAD 130118-00-0603 (2016) Screws for use in timber constructions. *European Assessment Document*, EOTA.
- Eckelman CA (1988) The withdrawal strength of screws from a commercially available medium density fiberboard. *Forest Products Journal*, 38(5), 21–24.
- Eckerstorfer B (2017) Gruppenversuche in Hartlaubholz (Buche). Master project, Graz University of Technology, Graz, Austria (in German).
- EN ISO 10666 (1999) Drilling Screws with Tapping Screw Thread – Mechanical and Functional Properties. *European Committee for Standardization (CEN)*.
- EN 1382 (1999) Timber Structures – Test Methods – Withdrawal Capacity of Timber Fasteners. *European Committee for Standardization (CEN)*.
- EN 14080 (2013) Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements. *European Committee for Standardization (CEN)*.
- EN 14358 (2016) Timber structures – Calculation and verification of characteristic values. *European Committee for Standardization (CEN)*.
- EN 14374 (2016) Timber structures – Laminated veneer lumber (LVL) – Requirements. *Draft Version*. *European Committee for Standardization (CEN)*.
- EN 14592 (2012) Timber structures – Dowel-type fasteners – Requirements. *European Committee for Standardization (CEN)*.
- EN 15737 (2009) Timber Structures – Test methods – Torsional resistance of driving in screws. *European Committee for Standardization (CEN)*.

- EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008 + A2:2014 (2014) Eurocode 5: Design of Timber Structures – Part 1-1: General – Common Rules and Rules for Buildings. European Committee for Standardization (CEN).
- Ehrhart T, Steiger R, Palma P, Frangi A (2018) Mechanical properties of European beech glued laminated timber. Conference paper 51-12-4, INTER-Meeting 5, Tallinn, Estonia.
- ETA-11/0190 (2018) Self-Tapping Screws for Use in Timber Constructions: Würth Self-Tapping Screws. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt).
- ETA-12/0373 (2017) Self-Tapping Screws for Use in Timber Constructions: Schmid Schrauben RAPID®, STARDRIVE and SP (Schmid Schrauben Hainfeld GmbH). Austrian Institute of Construction Engineering (OIB), Vienna, Austria.
- ETA-14/0354 (2018) Glued Laminated Timber Made of Hardwood – Structural Laminated Veneer Lumber Made of Beech (Pollmeier BauBuche GL75). Austrian Institute of Construction Engineering (OIB), Vienna, Austria.
- Fairchild IJ (1926) Holding Power of Wood Screws. Department of Commerce, Technologic Papers of the Bureau of Standards, No. 319, Washington, United States of America.
- Grabner M, Ringhofer A (2014) Investigations Concerning the Loadbearing Behaviour of End-Grain Joints in Hardwood. Internationales Holzbau-Forum, Prolog IV, Garmisch-Partenkirchen, Germany (in German).
- Hübner U (2013) Mechanische Kenngrößen von Buchen-, Eschen- und Robinienholz für lastabtragende Bauteile. Dissertation, Graz University of Technology, Graz, Austria (in German).
- Koj C, Trautz M (2016) Long-term behaviour of timber connections with self-tapping screws in outdoor climate. WCTE, Vienna, Austria.
- Koppauer L (2017) Optimierung von axial beanspruchten Hirnholz-Schraubverbindungen in Hartlaubholz. Master thesis, Graz University of Technology, Graz, Austria (in German).
- Madsen B (1992) Structural behaviour of timber. Timber Engineering Ltd., Vancouver, Canada, ISBN 0-9696162-0-1.
- Mayr P (2018) Einfluss konstanter Langzeitbeanspruchung (DoL) auf die Tragfähigkeit selbstbohrender Holzschrauben appliziert in Faserrichtung in Fichte, Buche und BauBuche. Master thesis, Graz University of Technology, Graz, Austria (in German).
- McLain TE (1997) Design axial withdrawal strength from wood: I. Wood screws and lag screws. Forest Products Journal, 47(5), 77–84.
- Mombächer R (1988) Holz-Lexikon: Nachschlagewerk für die Holz- und Forstwirtschaft. Stuttgart, Germany (in German).
- Nakatani M, Komatsu K (2005) Mechanism of pull-out performance in lagscrewbolted timber joints I. Effects of lead hole diameter, embedment depth, embedment direction and edge distance on pull-out performance. Mokuzaï Gakkashi 51(2), 125–130.
- Newlin JA, Gahagan JM (1938) Lag-Screw Joints: Their Behavior and Design. United States Department of Agriculture, Technical bulletin No. 597.
- Pearson RG (1972) The effect of duration of load on bending strength of wood. Holzforschung, 26(4):153–158.
- Pirnbacher G, Brandner R, Schickhofer G (2009) Base Parameters of Self-Tapping Screws. International Council for Research and Innovation in Building and Construction – Working Commission W18 – Timber Structures, CIB-W18:42-7-1. Dübendorf, Switzerland.
- Pirnbacher G, Schickhofer G (2012) Zeitabhängige Entwicklung der Traglast und des Kriechverhaltens von axial beanspruchten, selbstbohrenden Holzschrauben. Research Report, Competence Centre Holz.Bau Forschungs GmbH, Graz University of Technology, Graz, Austria (in German).
- Pöll M (2017) Entwicklung einer Hartlaubholzschraube: Optimierung der Gewindegeometrie für die Beanspruchung auf Herausziehen. Master thesis, Graz University of Technology, Graz, Austria (in German).
- Reichinger T (2017) Ausgewählte Untersuchungen zum Tragverhalten einer für Hartlaubholz optimierten Holzbauschraube. Master thesis, Graz University of Technology, Graz, Austria (in German).
- Ringhofer A, Brandner R, Schickhofer G (2015a) A Universal Approach for Withdrawal Properties of Self-Tapping Screws in Solid Timber and Laminated Timber Products. International Network on Timber Engineering Research (INTER), 2nd Meeting, INTER/48-7-1, Sibenik, Croatia.
- Ringhofer A, Brandner R, Schickhofer G (2015b) Withdrawal resistance of self-tapping screws in unidirectional and orthogonal layered timber products. Materials and Structures, 48, 1435–1447.
- Ringhofer A (2017) Axially Loaded Self-Tapping Screws in Solid Timber and Laminated Timber Products. Dissertation, Graz University of Technology, Graz, Austria.

Ringhofer A, Brandner R, Schickhofer G (2018) Beurteilung des Einflusses des Vorbohrdurchmessers auf die Tragfähigkeit und Steifigkeit ausgewählter, axial beanspruchter Holzbauschrauben. Gutachterliche Stellungnahme GU18-470-1-01, Institute of Timber Engineering and Wood Technology, Lignum Test Centre (LTC), Graz University of Technology, Graz, Austria (in German).

Schneider P (1999) Auszugsfestigkeit von EJOT-Rahmenschrauben. ETH Zürich, Zürich, Switzerland (in German).

Rosowsky DV, Reinhold TA (1999) Rate-of-load and duration-of-load effects for wood fasteners. *Journal of Structural Engineering*, 125(7):719–724.

Uibel T, Blaß HJ (2013) Joints with Dowel Type Fasteners in CLT Structures. Focus Solid Timber Solutions: European Conference on Cross Laminated Timber (CLT): The State-of-the-Art in CLT Research. COST Action FP1004, Graz, Austria.

Westermayr M, Stapel P, Van de Kuilen JW (2018) Tensile and compression strength of small cross section beech (*Fagus s.*) glulam members. Conference paper 51-12-2, INTER-Meeting 5, Tallinn, Estonia.

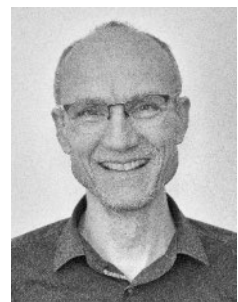
Westermayr M, Van de Kuilen JW (2019) Withdrawal strength of screws and screw groups in European beech (*Fagus s.*) parallel to the grain. Conference paper 52-07-2, INTER-Meeting 6, Tacoma, WA, USA.

Wilkinson TE, Laatch TR (1970) Lateral and withdrawal resistance of tapping screws in three densities of wood. *Forest Products Journal*, 20(7), 34–41.

Wood LW (1951) Relation of strength of wood to duration of load. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, Report No. 1916.

Selbstbohrende Holzschrauben: Einschraubdrehmoment bzw. Auszieh- widerstand und Lageimperfectionen

Matthias Frese
Karlsruher Institut für Technologie
Holzbau und Baukonstruktionen
Karlsruhe, Deutschland



Selbstbohrende Holzschrauben: Einschraubdrehmoment bzw. Auszieh- widerstand und Lageimperfectionen

Dieser Beitrag besteht aus zwei gekürzten Originalaufsätzen, die im Rahmen des *International Network on Timber Engineering Research 2019* bzw. 2018 vorgestellt wurden. Der erste Teil behandelt Auswirkungen von in Buchenfurnierschichtholz vorhandenen Dichteschwankungen auf Einschraubdrehmomente bzw. Ausziehkräfte von Schrauben (Frese 2019). Es wird darin nachgewiesen, dass solche Schwankungen zu systematischen Unterschieden bei Einschraubdrehmomenten und Ausziehkräften führen. Der zweite Teil stellt Ergebnisse einer Studie vor, in der Abweichungen zwischen der planmäßigen und tatsächlichen Schraubenachse von in Fichtenbrettschichtholz eingebrachten Schrauben untersucht wurden (Frese und Jordan 2018). Die Untersuchungsergebnisse zeigen für einige typische Einschraubsituationen, welche Lageimperfectionen zu berücksichtigen sind, um Kollisionen zwischen Schrauben weitgehend auszuschließen.

1. Density variations in beech LVL - influence on insertion moment and withdrawal capacity of screws

1.1. Motivation and objective

The manufacturing process of beech LVL panels causes panel to panel and inherent density variations. Unlike panel to panel variation, where the density changes from one panel to another, inherent variations arise perpendicular to the veneer layers in the cross-section of a single panel in a narrow area. If panels are processed to glulam-like products, inherent variations repeat in every lamination. Density variations in turn influence amongst others the insertion moment and the withdrawal capacity of self-tapping or self-drilling wood screws. prEN 14592 provides EN 15737 for testing the insertion moment and EN 1382 for testing the withdrawal capacity. Both testing standards apply to engineered wood products too. In both of them, it is generally stipulated that the density of the provided specimens has to be representative for that of the material actually used. However, there is no further reference how to account for specific density variations in wood-based products as beech LVL launched in the market of building materials in 2014 (Hassan and Eisele 2015). For that reason, this study aims at looking into the correlation between such density variations in beech LVL and these parameters. In a broader sense, the findings may contribute to a more purposive and better application of the preceding testing standards in terms of both parameters and LVL-based products. The results presented and discussed hereafter were gained in a research project on the development of self-drilling screws for high dense wood products (Frese and Blaß 2018).

1.2. Causes of density variations in beech LVL

In asking about the causes of density variations in beech LVL, one has to differentiate between panel to panel and inherent variations. A natural reason for both types of variations is the density variation of the beech wood itself or the veneers thereof. Further causes lie in the manufacturing process as illustrated in Fig. 1. In order to manufacture a beech LVL standard panel with a nominal thickness of 40 mm, 14 rotary peeled veneers are fed into a continuous hot press. Prior to the feeding, glue is applied on one of the adjacent veneer faces. At this stage of manufacture, the uncompressed stack is called veneer fan. The veneers are ideally 3.35 mm in thickness resulting in a 47 mm thick unit at the beginning of densification. The following densification process is accompanied by controlled heat supply and compression in radial direction (of the veneers) to achieve a 10% densification of the veneer fan and, finally, a constant panel thickness of 42 mm prior to sanding of both surfaces. If the averaged thickness of all the veneers in the fan is significantly thinner than 3.35 mm, the fan is less densified compared to densification under ideal conditions. If it is significantly thicker, the fan is more densified. Such changes cause the density variations

from panel to panel. This variation is hereafter referred to as V1. Maximum densification takes place at a certain combination of temperature and compression. However, since temperature is not constant both in thickness and manufacturing direction and since compression decreases in manufacturing direction, outer veneers are more strongly densified compared to inner ones. This effect is known as surface densification of wood as described for example by Tarkow and Seborg 1968. As a consequence, the local density systematically varies along the thickness direction of the panel. The manufacturing process causes, therefore, higher local density in the outer layers than in the inner ones. This variation is hereafter referred to as V2. It is to be expected that the density variations V1 and V2 influence mechanical resistances of the material. Depending on the location where a screw is inserted and depending on the direction of insertion one has to be aware of systematic differences in the values of insertion moment and withdrawal capacity of screws.

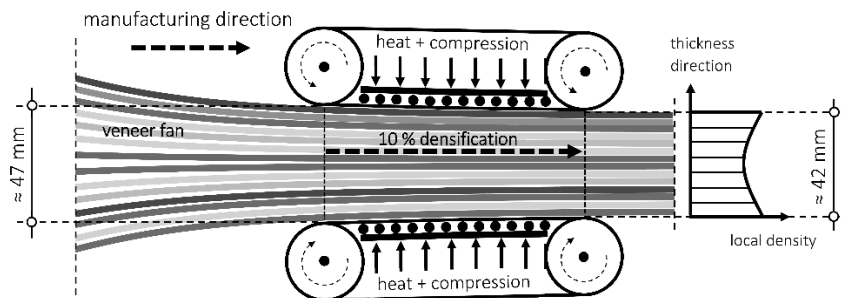


Figure 1: Simplified schematic of the manufacturing process: a veneer fan with glue in the relative interfaces is continuously moved in manufacturing direction under heat supply and compression.

1.3. Examination of density variations

The density variations V1 and V2 were examined. In case of V1, the densities of 160 small cross-sectional slices were determined. The slices originated from different panels or spatially separated panel regions. Each slice was 40 mm thick and, therefore, encompassed 14 veneers. One half of these slices contained two cross layers and was 100 mm wide the other half had no cross layers and was quadratic. Examples of the slices are illustrated in Fig. 2 (left). The single values of the V1 specimens describe a density averaged over the nominal panel thickness $t_{\text{tam}} = 40 \text{ mm}$ with 14 veneers. In case of V2, seven large cross-sectional slices as exemplified in Fig. 2 (middle) were sawn off from glulam-like beams (240 mm in depth) composed of six beech LVL laminations. These slices contained, therefore, five secondary glue lines. The laminations originated from panels with nominal thickness. The slices were separated parallel to the veneer layers into 24 times 6.8 mm thick stripes each as illustrated in Fig. 2 (right). During separation by sawing, the secondary glue lines were carefully preserved in the relative stripes. Afterwards their densities were determined. Hence, the values describe a local density which reflects an average over approximately 7 mm with 2-3 veneer layers.

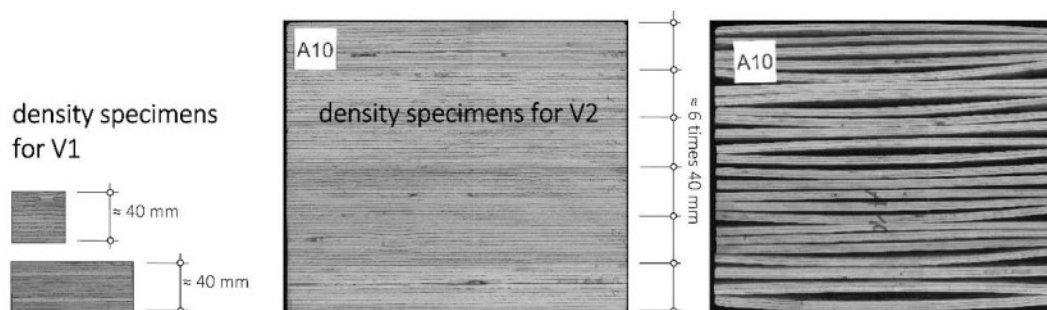


Figure 2: Small cross-sectional slices, slice cut from glulam-like beams and stripes for the density profile.

Fig. 3 shows the probability distributions of the values for V1 and V2. While means are almost similar ($816/802=1,017$), the COV and the span between minimum and maximum values increase with decreasing quantity of veneer layers in the respective unit. In Fig. 4, the local density values are plotted against the respective stripe number in ascending order. Hence, this

representation exemplifies the density profiles perpendicular to the veneer layers or along the glulam beam depth of 240 mm for each of the seven slices. The connecting lines make clear that the typical density profile shown in Fig. 1 (right) actually repeat in every lamination.

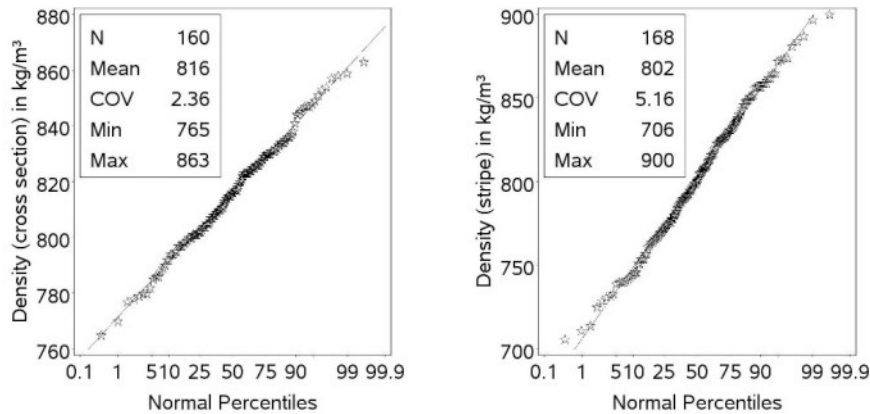


Figure 3: Density variation: panel to panel by small cross-sections (V1) and inherent by stripes (V2).

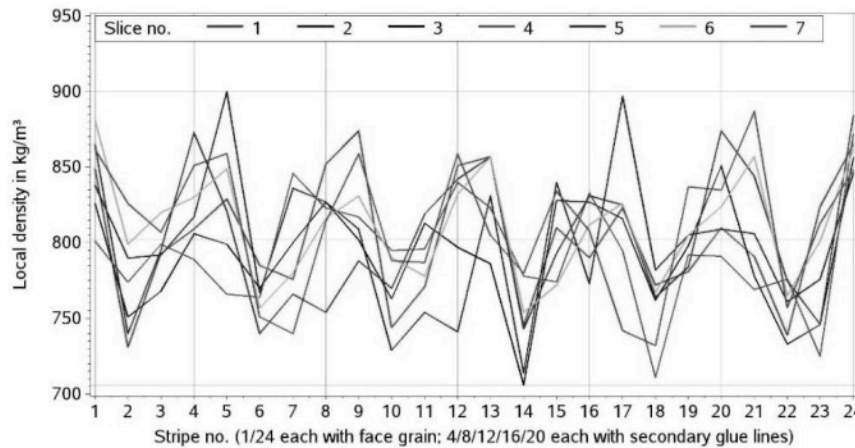


Figure 4: Density profile perpendicular to the veneer layers in glulam-like beech LVL.

1.4. Insertion tests

In total, 664 self-drilling screws (ASSY 3.0) were driven in beech LVL specimens while the torsional moment during insertion (torsional moment) was recorded. The experimental work was carried out by Stieger 2016. Table 1 contains the detailed information on nominal diameter (d) of the screws, their total length, thread length, tip shape and rough thread. The last two columns contain definitions of the examined global insertion directions and positions. In order to figure out any differences between the insertion moments related to the three possible global insertion directions (s. Fig. 5 left) extensive comparative tests were carried out with 7-mm screws. Additionally to that, differences were examined between insertion moments of the two global directions perpendicular to the face and edge grain with 5-mm and 10-mm screws. Using all the screw diameters, insertion tests with staggered positions in the edge grain (as illustrated in Fig. 5 right) were conducted. Thereby, the influence of the inherent density variation between the secondary glue lines was considered.

Table 1: Wood screws and test programme.

d mm	Screw length mm	Thread length mm	Tip shape	Rough thread	Global insertion direction	Staggered insertion in edge grain
5	120	60			face/ - /edge	yes
6	110	70			- / - /edge	yes
7	160	80			face/end/edge	yes
8	220	100			- / - /edge	yes
10	320	120			face/ - /edge	yes

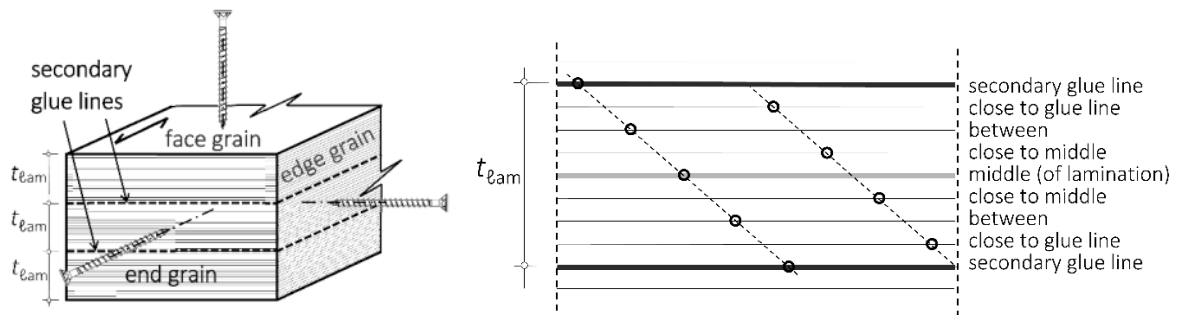


Figure 5: Global insertion directions and staggered insertion positions in the edge grain

1.5. Withdrawal tests

160 withdrawal tests were performed. The experimental work was carried out by Walter 2016. The nominal diameter (d) of the screws varied between 7.2 and 8.5 mm. The pitch and the ratio of core to nominal diameter were also varied. Prior to insertion of the screws, the specimens were predrilled with the core diameter. One half of the screws was inserted perpendicular to the face grain and the other half perpendicular to the edge grain as illustrated in Fig. 6 on the left and right side, respectively. The penetration length was constant and corresponded to 40 mm. In the face grain, both higher and lower densified veneers proportionally contributed to the withdrawal capacity. In the edge grain, the position of the screw axis was exclusively in the middle of a lamination. Thus, their screw channel was in an area where the density of the veneers exhibits the lowest values. The withdrawal parameter (f_{ax}) was evaluated using the maximum testing load and the product of nominal diameter and penetration length.

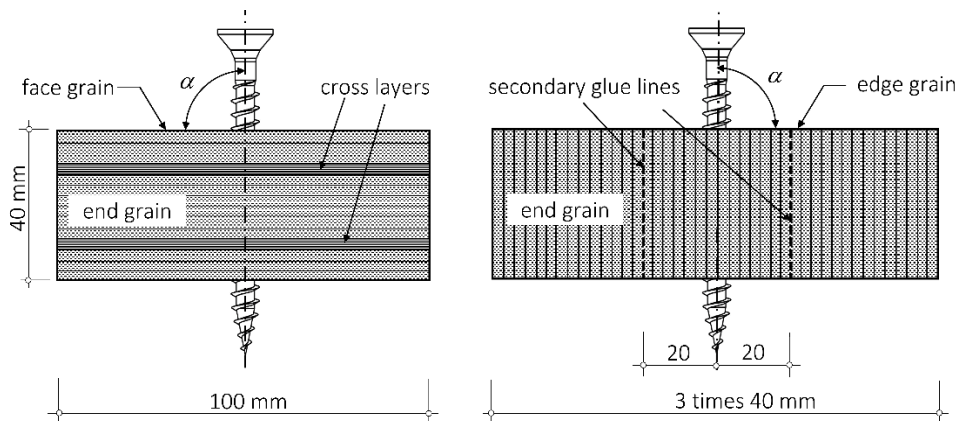


Figure 6: Specimens for the withdrawal tests.

1.6. Results of the insertion and withdrawal tests

Fig. 7 is composed of three diagrams and shows the evaluation of 276 insertion tests with 7-mm screws. For the respective evaluation of 5, 6, 8 and 10-mm screws, see Frese 2019. The diagram at the top makes clear the span of torsional moments depending on the insertion depth and the global insertion direction. For each of the three global directions, the data of the respective curves were put together and were represented by a high low plot procedure where vertical lines show the span and the continuous lines the mean value. The diagram in the middle exemplifies the maximum torsional moments depending on the insertion depth and the global direction. The curves of the maximum torsional moments are not necessarily related to a single insertion test but represent an upper envelope curve. The diagram at the bottom describes the maximum torsional moments depending on insertion depth and the examined staggered positions in the edge grain. In detail, the diagram exemplifies the respective upper envelope curves which were obtained for the five different positions.

The insertion tests give evidence that the largest span of torsional moments arise in the edge grain and the lowest in the face grain. The span of torsional moments in the end grain is larger than that in the face grain, but smaller than that in the edge grain.

Independently of the insertion depth, the maximum torsional moments develop in the edge grain. The differences between the maximum values in the edge grain and those in the face and end grain are very pronounced. The evaluation in Table 2 (upper part) exemplifies these differences in numbers for insertion depths 40 and 80 mm.

Screws systematically driven in the staggered positions in the edge grain exhibit their maximum torsional moments in the following positions: glue line, close to glue line and between. Thus, the torsional moments are correlated with the inherent density variation V2 to some extent. An evaluation in numbers is shown in Table 2 (lower part). Herein, the differences amount to more than 30%.

Since the rough threads become effective after an insertion depth deeper than the thread length of 80 mm, the curves show a steeper gradient after that depth.

Table 2: Evaluation of maximum torsional moments for 7-mm screws

Direction/position	Depth in mm	$M_{t,max}$ in Nm		Depth in mm	$M_{t,max}$ in Nm
⊥ face grain		9.04 (79%)			12.3 (77%)
⊥ end grain	40	8.46 (74%)		80	12.7 (79%)
⊥ edge grain		11.4 (100%)			16.0 (100%)
middle		8.70 (88%)			11.7 (83%)
close to middle		8.55 (86%)			12.0 (85%)
between	40	9.41 (95%)		80	12.6 (89%)
close to glue line		11.4 (115%)			16.0 (113%)
glue line		9.93 (100%)			14.1 (100%)

There are significant differences between the withdrawal parameters which relate to the two insertion directions (Table 3). In agreement with the correlation found between the torsional moments and faces, the lowest 5th percentile (37.2 N/mm²) was determined for the edge grain in the middle of a lamination. This value amounts to 80% of that found for the face grain (47.3 N/mm²).

Table 3: Statistics of results for withdrawal tests

Withdrawal perp. to	N	f_{ax} in N/mm ²			Density in kg/m ³		
		Mean	COV	5th P.	N	Mean	COV
face grain	77	55.4	8.29	47.3	80	819	25.2
edge grain, middle	77	43.3	9.26	37.2	80	813*	21.4

* Averaged over 14 veneer layers. The mean does not reflect the local density directly around the screw channel.

1.7. Conclusions

Findings concerning density variations and consequences in terms of insertion and withdrawal tests are:

- The accuracy in describing density variations in beech LVL depends on the size of the unit used for the density determination. Outer layers in beech LVL panels exhibit the highest density (about 900 kg/m³), inner ones the lowest (about 700 kg/m³). This is in line with findings of surface densification in engineered wood products manufactured in continuous hot presses.
- In order to obtain the highest torsional moments in beech LVL, screws should be tested in or close to the secondary glue lines in the edge grain of glulam made of beech LVL. In case of new types of LVL products, all faces should be subject of the insertion tests and staggered insertion positions should be examined in the edge grain.
- Screw failure during insertion must not occur. Therefore, a comparison between the actual maximum torsional moments and the characteristic torsional strength may be used to adapt and improve the safety margin in terms of screw failure, cf. EN 14592. Unlike softwoods where high-dense knot clusters randomly occur, influences on the torsional moments in beech LVL and comparable LVL products made of other wood species are more predictable.

- The influence of the inherent density variation on the withdrawal capacity is comparable to that on the torsional moment. Assuming $\alpha = 90^\circ$, the lowest withdrawal capacities are to be expected in the middle of a lamination in the edge grain. Nevertheless, withdrawal tests should be performed in all relevant faces to figure out potential differences between the respective withdrawal parameter. It should be noted that locally slight splitting could also have had an influence on the lower withdrawal capacities of screws inserted in the middle of the lamination.
- Consequences of screw failure during insertion are seen to be critical, since screw failure means total loss of a screw. The withdrawal capacity of a screwed connection is usually based on more than two screws. Hence, a common withdrawal capacity in the edge grain is seen to be less sensitive to inherent density variations.

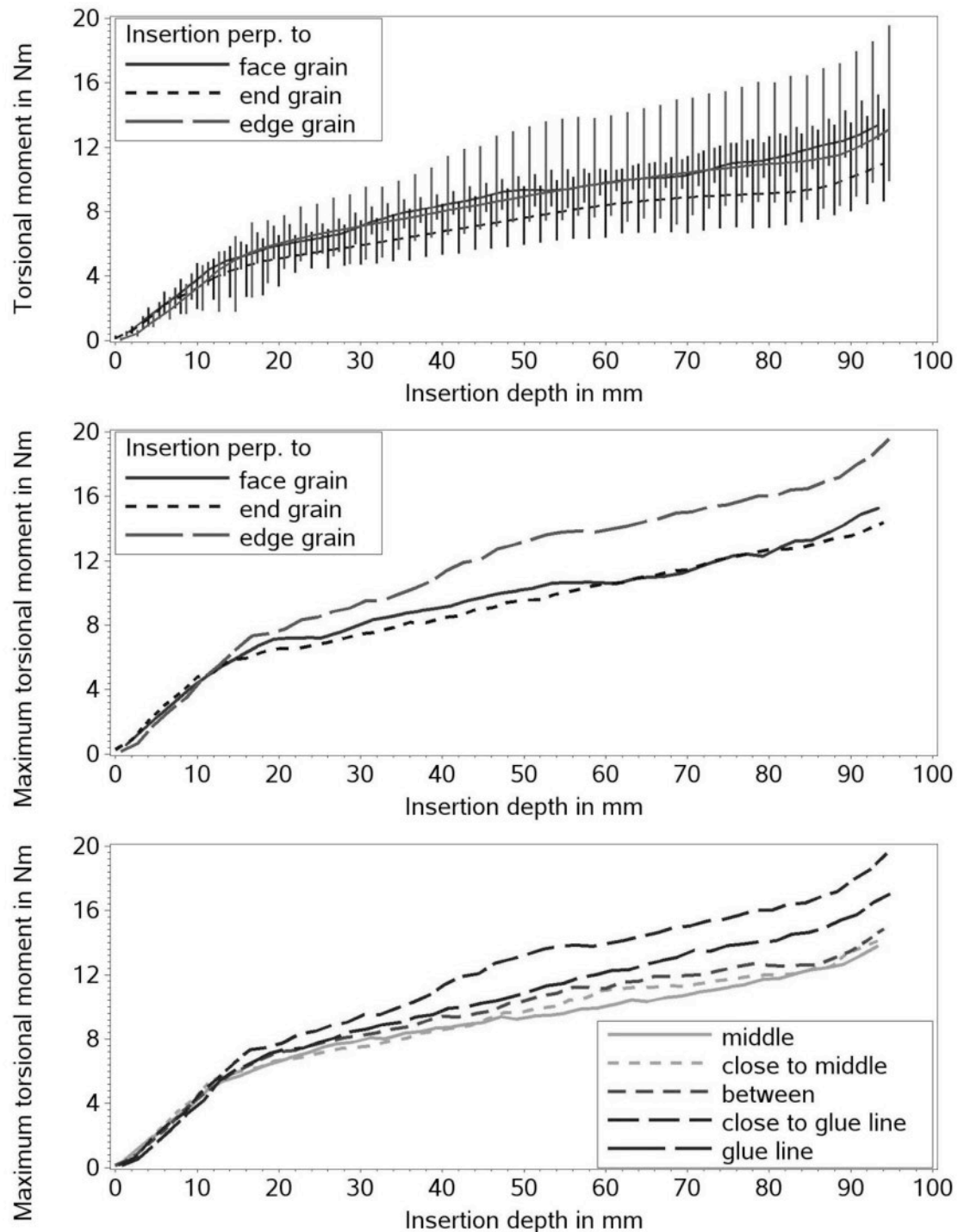


Figure 7: Results for 7-mm screws.

2. Deviations between planned and actual position of wood screws - consequences for minimum spacing

2.1. Motivation and objective

The insertion of self-tapping (self-threading) or self-drilling wood screws is usually accompanied by minor or major deviations between the planned screw axis and the actual one. The actual positions can be seen as a result of an individual insertion process influenced by a complex interaction between multiple parameters. A concise representation of this issue is for example given by Trautz and Koj 2015. They stress amongst others the necessity of sufficient spacing between adjacent screws to avoid contact problems.

Occasionally, screw connections comparable to those in Fig. 8 have shown harmful contact between narrow placed screws although minimum spacing was observed in design and execution. The minimum spacing between the represented crossed screw couples is usually given as a multiple (k) of the nominal screw diameter (d).

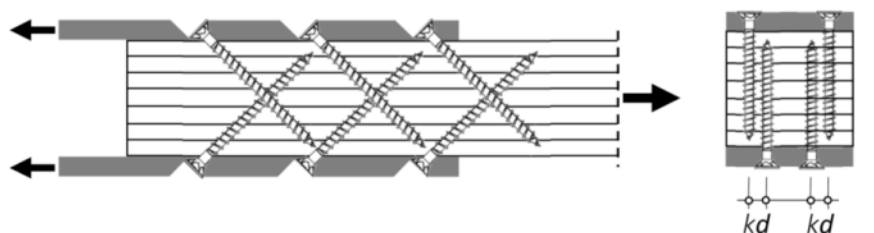


Figure 8: Crossed screw couples with hazard of contact in case of too narrow mutual spacing.

Several European technical assessments stipulate at least 1.5 for k . Eurocode 5 contains the general rules for minimum spacing rules being completed and extended by European technical assessments (ETAs).

Müller 2017 and Blaß 2017 recently reported contact problems with crossing screws. Furthermore, skilled carpenters, practitioners and designers have experienced such contact problems. Fig. 9 shows typical damages to screws of a crossed couple caused by contact. Even in reinforcement measures with long screws for shear and stresses perpendicular to the grain, critical deviations of the actual screw channel occur (Blaß and Krüger 2010). Otherwise, reinforcing techniques based on controlled contact between screws and dowels require very accurate screw placements to ensure the intended load distribution between these components (e.g. Bejtka and Blaß 2005).

These aspects show the necessity to realistically estimate deviations between the planned and actual screw axis. For that purpose, about 350 insertion tests with wood screws were conducted and evaluated in a preliminary study (Jordan 2017). The aims of this study were 1. the identification of some crucial parameters influencing deviations, 2. the experimental determination of such deviations and 3. a proposal for a first tentative model predicting appropriate minimum spacing.

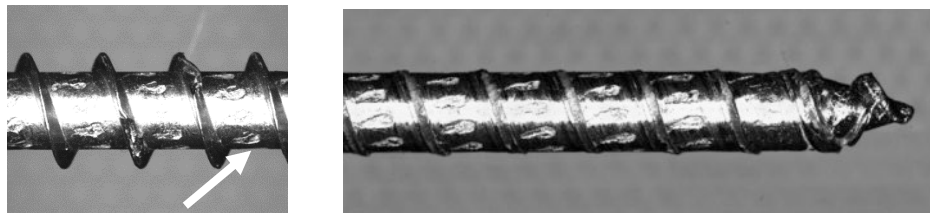


Figure 9: Damages to wood screws caused by mutual contact. Local damage to a firstly screwed-in screw (left) hit by a secondly screwed-in one (right) resulting in almost complete loss of the thread.

2.2. Interaction between insertion and wood structure

Potential parameters influencing deviations between the planned and actual screw axis are amongst others (cf. Trautz and Koj 2015): the technical equipment, the way someone screws in, with/without pre-drilling, use of short pilot holes, insertion angle between screw axis and wood surface (β), shape of the screw tip, straightness of the screw, angle between screw axis and grain direction (α), natural growth characteristics along the screw channel, glue lines,

insertion length (ℓ), wood species, physical wood properties, screw stiffness or even unintended contact with other screws crossing the actual screw channel.

The glulam cube in Fig. 10 exemplifies that a planned screw axis can be described by a vector \vec{a} in the spatial wood structure. Hence, the connection between the screw axis and the glulam structure is defined by a given orientation of the cube in the coordinate system and the coordinates a_x , a_y and a_z defining the screw axis. Using this system, the examined placements of screws in glulam are described below.

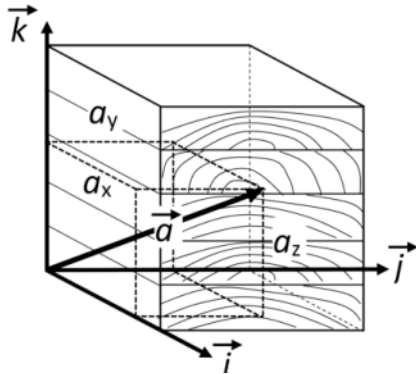


Figure 10: Direction of a planned screw axis by means of the vector \vec{a} .

2.3. Examination of deviations

72 specimens for the insertion tests were made of spruce glulam GL24c. The specimens were realised from four glulam members, each 12 m in length, 180 mm in width and 200 mm in depth. The members consisted of five laminations. Where necessary, specimens were glued together to obtain sufficient dimensions for the intended insertion lengths. The density and the moisture content were measured by means of a cross-sectional slice at one third of the specimens. The results are compiled in Table 4. Table 5 contains the properties of the screws. Crucial variations refer to the screw length (to realise three different insertion lengths), the thread length and the tip shape. The nominal diameter was uniformly 8 mm.

Table 4: Density and moisture content of the glulam specimens.

Glulam property	N	Mean	SD	Min	Max
Density in kg/m ³	21	428	24	388	470
Moisture content in %	21	11.4	0.89	10.4	14.7

Table 5: Wood screws.

Drill tip	d mm	Screw length mm	Thread length mm	Insertion length mm	Tip shape
with	8	220	200	160	
		280	260	220	
		370	350	340	
without	8	220	100	160	
		260	100	220	
		380	100	340	

Four different screw placements (I, II, III and IV) were examined. The corresponding section planes, in which the planned screw axes lie, are visualised in Fig. 11. The vectors of the screw axes and the resulting angles (α) between screw axes and grain direction are quoted in Table 6. The screws were inserted by a single person using a hand-hold electric-powered screwdriver. The holes were neither pre-drilled nor pilot holes were provided. At the beginning of the insertion wedge-shaped screw guides equipped with grooves were used to ensure the intended insertion angle ($\beta = 45^\circ$ and 90°) between screw axis and surface as accurately as possible. Up to six screws were inserted in each specimen. Deviations between the planned exit points (E) and the actual ones were measured at the surface of the exit point. The coordinates $\Delta 1$ and $\Delta 2$ defined as orthogonal vectors originating from E were then computed by means of vector calculations. Fig. 11 in total

represents the connection between the planned exit points, the actual ones and the positive directions of the computed coordinates $\Delta 1$ and $\Delta 2$.

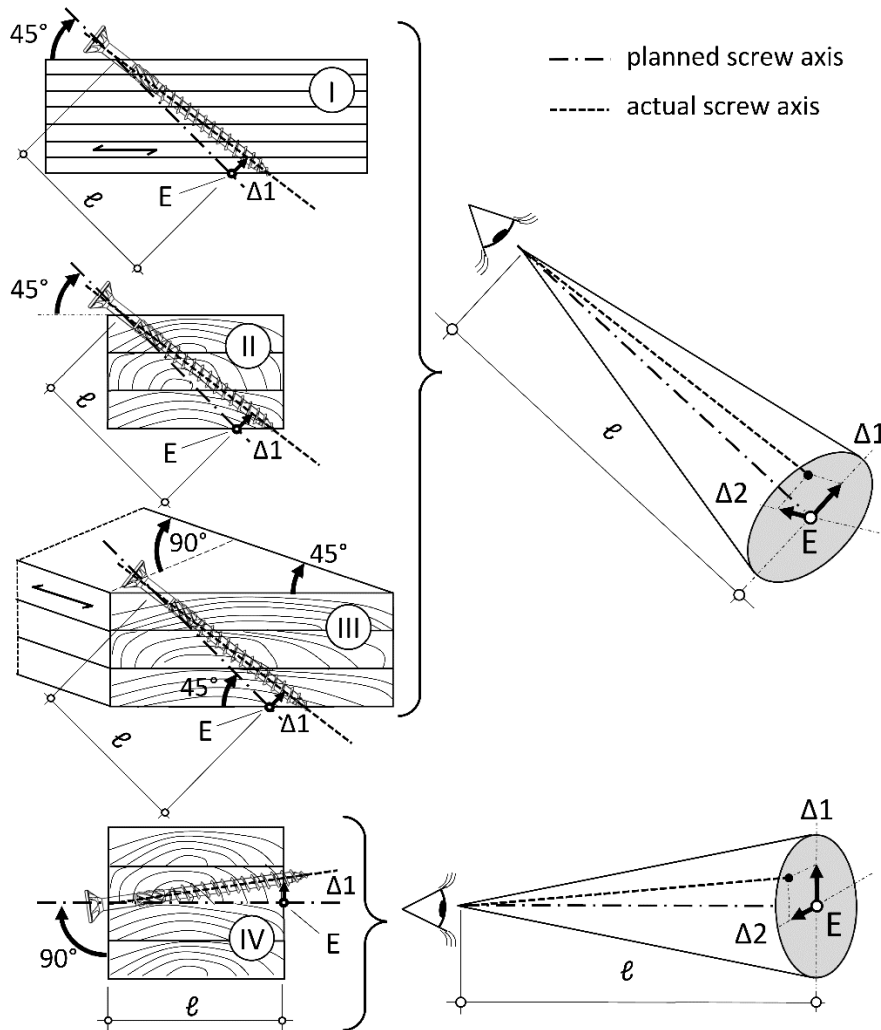


Figure 11: Examined placements

Table 6: Coordinates of the examined vectors \vec{a} .

Placement	a_x	a_y	a_z	\vec{a}	α	β	placement in the..
I	1	0	1	(1,0,1)	45°	45°	longitudinal section
I	1	1	0	(1,1,0)	45°	45°	longitudinal section
II	0	1	1	(0,1,1)	90°	45°	cross-section
III	0.71*	0.71*	1	(0.71,0.71,1)	60°	45°	diagonal section
IV	0	1	0	(0,1,1)	90°	90°	cross-section/glue line

* = $\sqrt{1/2}$

2.4. Results for $\Delta 1$ and $\Delta 2$

Fig. 12 shows the results for the placement imperfections I-IV. The diagrams contain the deviations $\Delta 1$ and $\Delta 2$ differentiated by insertion length. Amongst others, these observations were made:

- **Placement I:** $\Delta 1$ is almost exclusively positive (Fig. 12-I). Independent of the insertion length, $\Delta 2$ is more or less symmetrically distributed around the vertical axis with $\Delta 2 = 0$.
- **Placement II:** $\Delta 1$ is almost exclusively positive except for the insertion length of 340 mm (Fig. 12-II). Independent of the insertion length, $\Delta 2$ is more or less symmetrically distributed around the vertical axis with $\Delta 2 = 0$.

- **Placement III:** $\Delta 1$ is exclusively positive; however, screws inserted with 220 mm exhibit also almost exclusively positive $\Delta 2$ values (Fig. 12-III). The distribution of $\Delta 2$ is symmetrical.
- **Placement IV:** The scatter of $\Delta 1$ is larger than the one of $\Delta 2$ (Fig. 12-IV). Independent of the insertion length, both deviations are symmetrically distributed around their corresponding axes with $\Delta = 0$. Only three screws kept their screw channel exactly in the glue line.

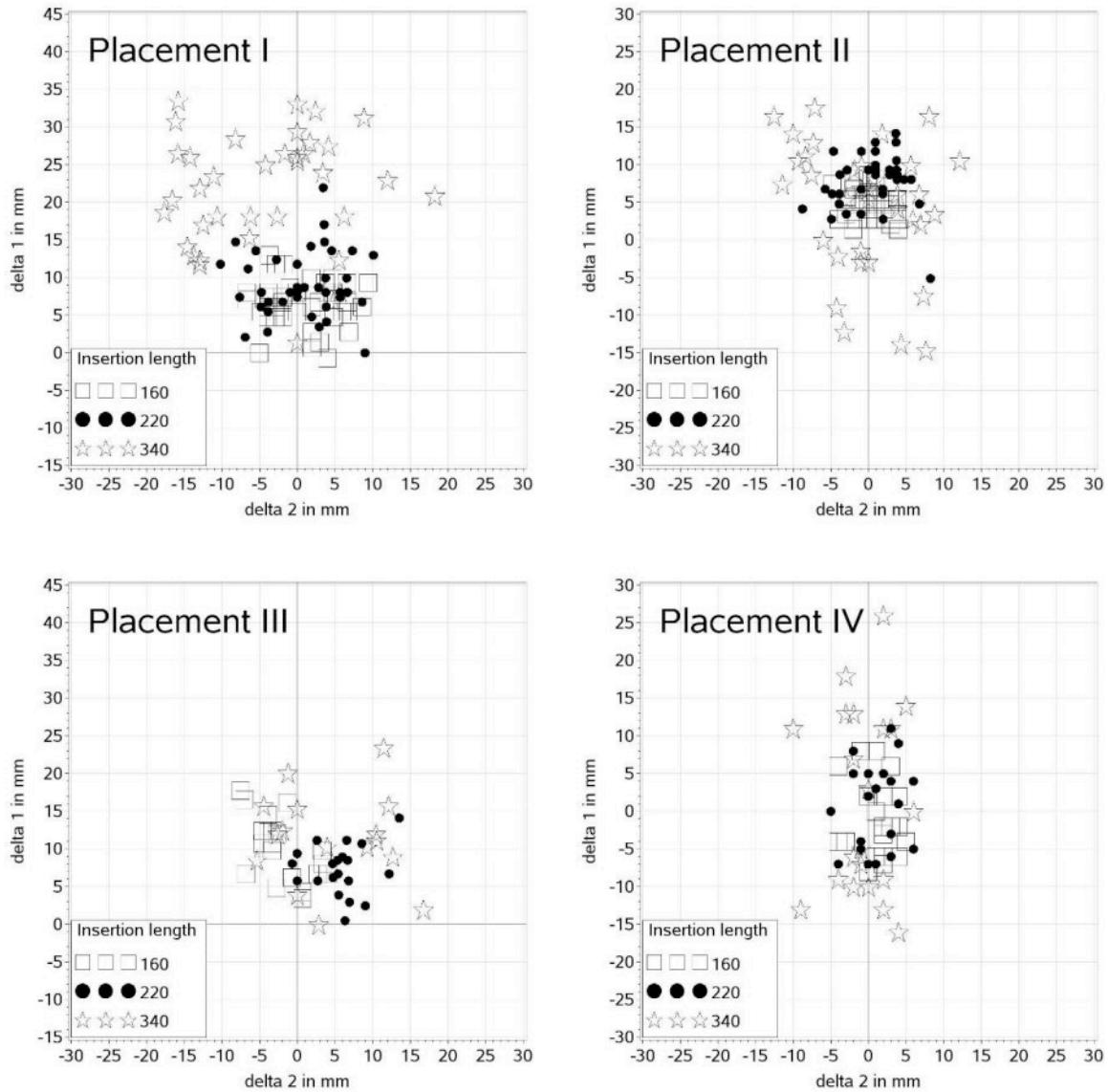


Figure 12: Deviations of placement I-IV.

2.5. Absolute deviation and cone model

Using equation (1) the absolute deviation denoted as radius r was computed. The radius r and the corresponding insertion length yield a deviation angle ε , see equation (2). The maximum of $\tan \varepsilon$ ($\max \tan \varepsilon$) is quoted in Table 7 for the four placements and the corresponding insertion lengths.

$$r = \sqrt{\Delta 1^2 + \Delta 2^2} \quad (1)$$

$$\tan \varepsilon = r/\ell \quad (2)$$

Table 7: Statistics of the absolute deviation.

Placement	Insertion length mm	N	$r = \sqrt{\Delta 1^2 + \Delta 2^2}$			max $\tan \varepsilon$
			Mean mm	CV %	Max mm	
I	160	41	8.02	33	13.5	0.084
	220	48	10.4	36	22.2	0.101
	340	37	23.8	32	37.1	0.109
II	160	37	5.24	31	8.82	0.055
	220	31	9.17	31	14.6	0.066
	340	30	10.3	50	20.7	0.061
III	160	19	10.7	41	19.3	0.121
	220	20	9.89	33	19.6	0.089
	340	21	13.5	40	26.1	0.077
IV	160	23	5.38	37	8.06	0.050
	220	20	6.09	38	11.4	0.052
	340	21	11.6	45	26.1	0.077
Total:		348 insertion tests				

The placements I/III and II/IV are grouped because of comparable placement conditions and similar magnitude of deviations. Thus, the maximum angles given by $\tan \varepsilon$ are 0.121 and 0.077 for the placement groups I/III and II/IV, respectively. Fig. 13 shows a general cone model. This model would basically be suitable to estimate the cone shaped clear space around a planned screw axis a screw¹ needs to be inserted without having contact with other screws. Based on the presently available data the space should be calculated with $\tan \varepsilon$ of about 0.12 (≈ 0.121) and 0.08 (> 0.077) for the groups I/III and II/IV, respectively. These proposed values for the tangent do not contradict deviations published by Trautz and Koj 2015.

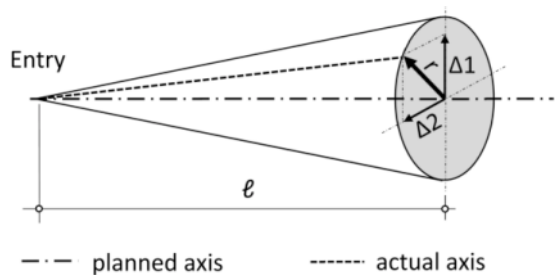


Figure 13: Visualised cone model.

2.6. Proposal for minimum spacing considering stochastic effects

The statistics in Table 8 show that significant differences exist between the upper percentiles of $\tan \varepsilon$ belonging to the corresponding placement groups.

Table 8: Statistics and upper percentiles of $\tan \varepsilon$.

Placement group	N	Mean	SD	95%	99%	Max
I/III	176	0.0542	0.0218	0.0950	0.112	0.121
II/IV	172	0.0339	0.0131	0.0543	0.0665	0.0767

Stochastic effects for group I/III and II/IV (values in brackets) are considered using the 95th percentile. Consequently, the exceedance probability of $\tan \varepsilon = 0.0950$ (0.0543) is less than 5%. Hence, the probability that the unintended tangent of two independent adjacent screws exhibits 0.1 (0.06) is less than 0.25%. Fig. 14 exemplifies that the actual probability of contact between two screws in the critical area is far lower than 0.25% due to the circular distribution² of possible locations after a corresponding large insertion length l_{crit} .

¹ Nominal diameter here assumed as 0

² Uniform circular distribution of locations assumed for simplicity reasons

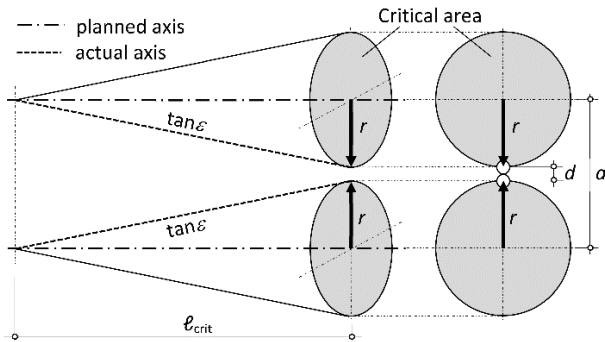


Figure 14: Spacing a between two planned screw axes based on $\tan \varepsilon$, l_{crit} and d .

Equation (3) reflects these considerations. Inserting $\tan \varepsilon = 0.1$ and 0.06 for group I/III and II/IV, respectively, yield the mutual spacing a between two adjacent screws in a critical area.

$$a = 2l_{crit} \cdot \tan \varepsilon + d \quad (3)$$

Favourable effects of almost only positive $\Delta 1$ values in group I/III are not yet considered in equation (3), compare Fig. 12-I and 12-III. Furthermore, independence of adjacent screws is a strongly simplifying assumption owing to similar wood properties in the critical area and similar insertion geometry in case of parallel oriented adjacent screws.

2.7. Conclusions

Based on insertion tests with 8 mm self-tapping and self-drilling wood screws in spruce glulam these conclusions are drawn:

- Deviations between the actual and planned screw axis depend on the insertion geometry. In unfavourable cases the magnitude amounts to 12% related to the insertion length. This maximum is covered by tests without pre-drilling and with a maximum insertion length of 340 mm.
- If the intended angle between screw axis and grain direction is considerably less than 90° , the actual screw axis tends to follow the grain direction.
- The mainly positive $\Delta 1$ deviations in placement I and particularly in placement II and III are likely also caused by insertion angles systematically less than the intended 45° . The reason for this systematic inaccuracy is supposed to lie in the insertion procedure using the wedge-shaped screw guides (cf. Trautz et al. 2007, p. 67).
- If the entry point of the screw tip coincides with the glue line, it seems to be unlikely that the axis of screws remains in the glue line. This may be explained by the tendency of a screw to proceed in the lamination with lower density.
- Considering placement imperfections the necessary space for a single screw is cone-shaped. A cone model is therefore proposed in order to determine minimum screw spacing. Due to limited experimental data, the formulation of the model is in a tentative stage.

So far, consequences for screw spacing requirements are:

- Using the proposed cone model minimum screw spacing can be estimated such that harmful contact between adjacent screws is avoided. The model applies to four common insertion geometries. So far, its application is restricted to 8 mm wood screws, to spruce glulam and to an insertion length of approximately 400 mm.
- Screw spacing requirements should be discussed against the background of unintended deviations and harmful contact.
- Requirements in Eurocode 5 and technical assessments should at least be checked, amended where necessary or a general note should be made in provisions that deviations have to be taken into account.
- The results of the study are being used for a research proposal covering open questions. Several issues to be examined concern the use of screw guides and their influence on the actual screw axis, wood species, connection principles, insertion lengths exceeding 340 mm, the influence of the screw diameter and other than the examined insertion geometries.

3. References

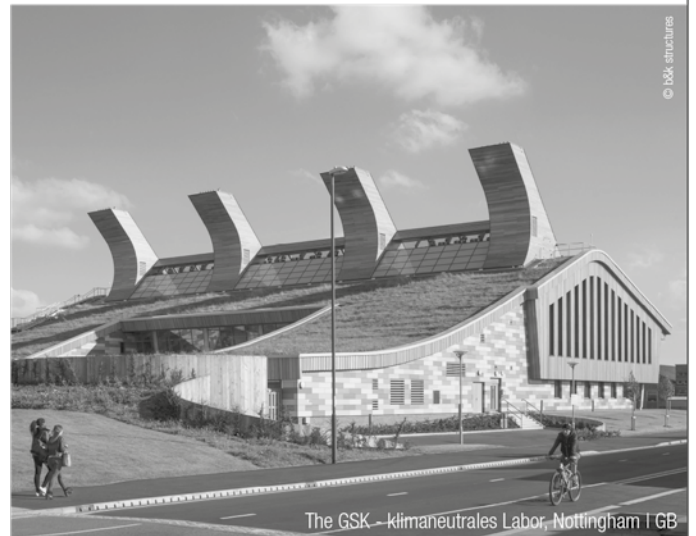
- Frese M (2019): Density variations in beech LVL - influence on insertion moment and withdrawal capacity of screws. INTER/52-7-3, Tacoma, U.S.A
- Frese M, Jordan M (2018): Deviations between planned and actual position of wood screws - consequences for minimum spacing. INTER/51-7-1, Tallinn, Estonia
- prEN 14592:2017 Timber structures - Dowel-type fasteners - Requirements
- EN 15737:2009 Timber structures - Test methods - Torsional resistance of driving in screws
- EN 1382:2016 Timber structures - Test methods - Withdrawal capacity of timber fasteners
- Hassan J, Eisele M (2015): BauBuche - Der nachhaltige Hochleistungswerkstoff. Bautechnik 92 Nr. 1, 40-45
- Frese M, Blaß HJ (2018): Entwicklung von selbstbohrenden Schrauben für Laubholz höherer Dichte. Schlussbericht für die Öffentlichkeit (FKZ 031A437J), KIT
- Tarkow H, Seborg R (1968): Surface Densification Of Wood. Forest Products Journal 18 No. 9, 104-107
- Stieger J (2016): Experimentelle Arbeiten, theoretische Untersuchungen und statistische Betrachtungen zur Entwicklung einer selbstbohrenden Hartholzschraube. Masterarbeit, KIT (unpublished)
- Walter R (2016): Analyse von unterschiedlichen Gewindeformen für selbstbohrende Hartholzschrauben. Bachelorarbeit, KIT (unpublished)
- Trautz M, Koj C (2015): Laser-drilled guide holes for self-tapping screws - Installation and load bearing behaviour. Bautechnik 92, 403-411
- EN 1995-1-1:2004 Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings
- Müller V (2017): [...] Untersuchungen zu Fachwerkträgern mit [...] Zugdiagonalen aus BauBuche. Bachelorarbeit, KIT Holzbau und Baukonstruktionen (unpublished)
- Blaß HJ (2017): Selbstbohrende Schrauben und Systemverbinder - Stand der Technik und Herausforderungen. 23. Internationales Holzbau-Forum IHF
- Blaß HJ, Krüger O (2010): Schubverstärkung von Holz mit Holzschrauben und Gewindestangen. Bd. 15 Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, KIT Scientific Publishing
- Bejtka I, Blaß HJ (2005): Self-tapping screws as reinforcements in connections with dowel-type fasteners. CIB-W18/38-7-4
- Jordan M (2017): Entwicklung und Erprobung eines Untersuchungsverfahrens zur Ermittlung von Lagetoleranzen selbstbohrender Holzschrauben. Bachelorarbeit, KIT Holzbau und Baukonstruktionen (unpublished)
- Trautz M et al. (2007): Mit Schrauben bewehren - Selbstbohrende Vollgewindeschrauben als Verstärkung in Brettschichtholzträgern und zur Ausbildung von hochleistungsfähigen Verbindungen. Forschungsbericht 01/2007, Lehrstuhl für Tragkonstruktionen, RWTH Aachen

Sponsoren und Aussteller

binderholz

tiptop timber

natur in architektur □



Europas Marktführer für Massivholzprodukte und innovative Baulösungen

Mit unseren Massivholzprodukten und innovativen Baulösungen werden weltweit Gebäude unterschiedlichster Verwendung durch Kunden und Partnerbetriebe errichtet. Modernste CNC-Technologie ermöglicht jegliche Bearbeitung unserer massiven Holzbauprodukte. Die kompetente binderholz Technikabteilung unterstützt Sie bei der Erarbeitung verschiedenster Gebäudekonzepte und der technischen Planung. Für durchdachte Massivholzbau Lösungen beraten Sie unsere Ingenieure mit fundiertem Fachwissen.

Sägeprodukte | Holzbauprodukte: Brettsperrholz BBS, Brettschichtholz, Massivholzplatten, Konstruktionsvollholz | DIY-Produkte | Pressspanpaletten und -klötze | Biobrennstoffe | Pferdestreu

bbs@binderholz.com

www.binderholz.com



**Digitale Daten von Egger –
in wenigen Schritten zu einer
höheren Planungsqualität.**

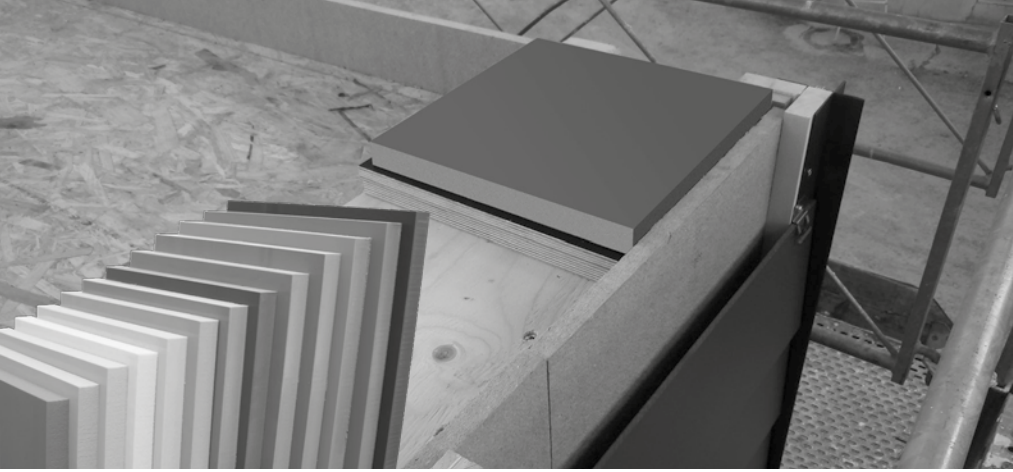
www.egger.com/digitaleplanung

**Jetzt
registrieren!**

Verpassen Sie nicht unser großes Datenupdate: Anwendung auswählen, Filter setzen und digitale Konstruktionsdaten downloaden. Greifen Sie zukünftig auf über 100 bewährte Bauteile des EGGER Konstruktionskatalogs in den passenden digitalen Datenformaten zu und integrieren Sie diese in Ihr BIM- oder CAD-System. Jetzt auf myEGGER registrieren und über die Aktualisierung informiert werden!

MEHR AUS HOLZ.

E EGGER



Schall- und Schwingungsisolierung im Holzbau mit PURASYS vibrafoam/vibradyn

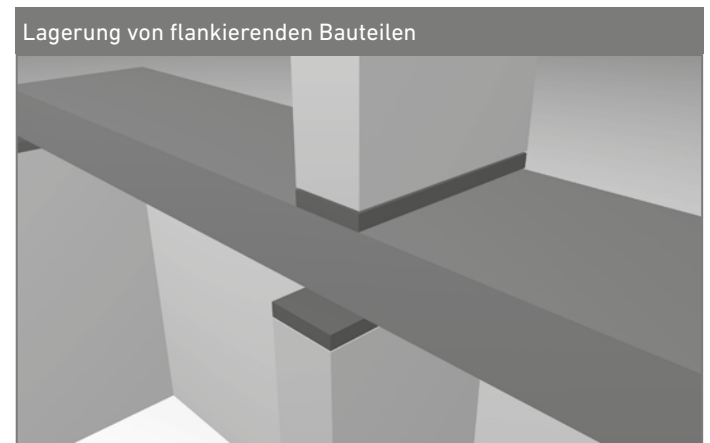
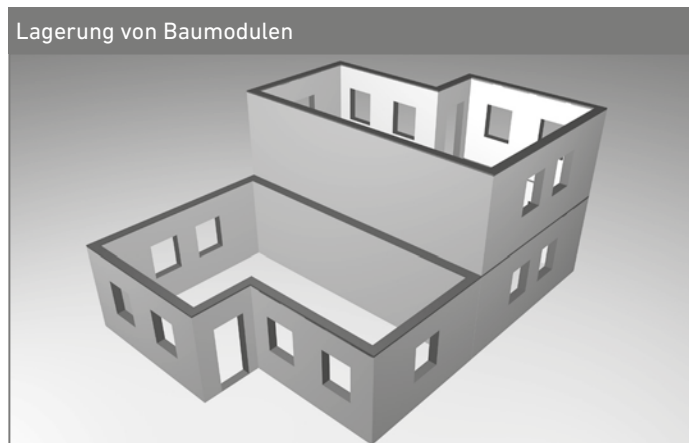
ISOCELL GmbH & Co KG
Gewerbestraße 9
5202 Neumarkt am Wallersee | Österreich
Tel.: +43 6216 4108 | Fax: +43 6216 7979
office@isocell.at

Im modernen Holzbau ist hoher Wohnkomfort problemlos umsetzbar. Ob Ziegelmassiv oder Holzbau – alle Bauweisen unterliegen gleichen Anforderungen. Als Beispiel wird hier der Schallschutz genannt. Statt auf pure Masse setzt der Holzbau auf eine intelligente Konstruktion. Hierzu tragen auch High-Tech Materialien wie **vibrafoam/vibradyn** Lager aus hochwertigem Polyurethan bei und sind ein wirksamer Schutz vor Schwingungen und Erschütterungen.

Diese High-Tech PUR Elastomere können als flächige Matte zur Entkoppelung zwischen den Bauteilen eingesetzt werden, als Zuschnitt entsprechend der jeweiligen Bauteilgeometrie oder auch als individuell gefertigtes Formteil.

PURASYS **vibradyn** ist aufgrund seiner hervorragenden dynamischen Eigenschaften auch für höchst anspruchsvolle Anwendungen geeignet. Dank seiner Struktur nimmt dieser Werkstoff nahezu keine Flüssigkeiten auf und kann somit auch im drückenden Grundwasser eingesetzt werden.

Verwendung von **vibrafoam/vibradyn** im Holzbau



Wirkung von **vibrafoam/vibradyn**

Die physikalischen Eigenschaften von Holz, insbesondere dessen Schalleitfähigkeit erfordern allerdings auch geeignete Maßnahmen um Schwingungs- und Schallübertragung zu minimieren.

Gerade an Knotenpunkten, an denen unterschiedliche Materialien aufeinander treffen, kann eine erhöhte Übertragung von Schall beobachtet werden. Mit **vibrafoam/vibradyn** ist es ohne größeren Aufwand möglich einen hohen Schallschutz zu erreichen.

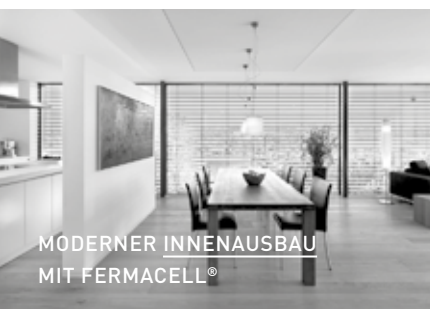
Hierzu werden die einzelnen Wohneinheiten dadurch getrennt, indem man Streifen aus **vibrafoam/vibradyn** zunächst auf der Holzdecke platziert und anschließend die Wände auf die Lagerhölzer stellt.

In zahlreichen Projekten konnte so gezeigt werden, dass durch die Lagerung der Systemkomponenten mit **vibrafoam/vibradyn** nicht nur der Eindruck einer geringeren Schallübertragung entsteht, sondern die Verbesserung auch physikalisch messbar ist.



Perfekter Innenausbau und dauerhaft schöne Fassade

Ein schönes Gebäude verdient es,
schön zu bleiben – von innen und aussen



Innenausbau

- fermacell® Gipsfaser- und fermacell® greenline Platten – für den perfekten Innenausbau für Decke, Wand und Boden
- fermacell® Powerpanel H₂O und fermacell® Powerpanel TE – für Nassräume und robuste Nassraum-Böden

Fassade

- fermacell® Powerpanel HD – für verputzte und hinterlüftete Aussenwände
- HardiePlank® und HardiePanel® Paneele – für eine langlebige und zeitlose Fassadenbekleidung

© 2019 James Hardie Europe GmbH. ™ und ® bezeichnen registrierte und eingetragene Marken der James Hardie Technology Limited und James Hardie Europe GmbH. James Hardie Europe GmbH · Bennigsen-Platz 1 · 40474 Düsseldorf · fermacell@jameshardie.de

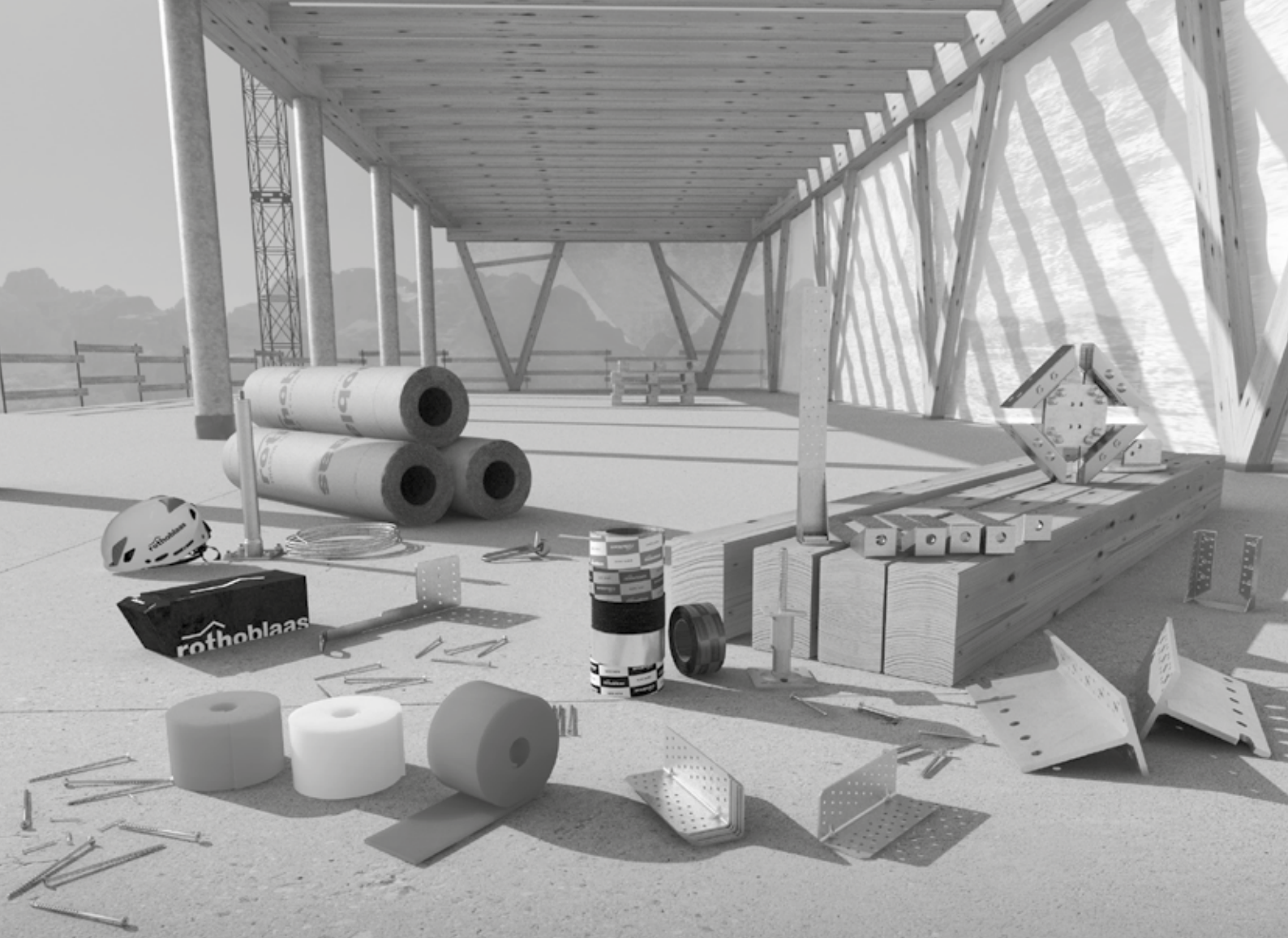
Fokus

**HASSLACHER
NORICA TIMBER**

From **wood** to **wonders**.

Qualität & Innovation

hasslacher.com



FÜR JEDE ANFORDERUNG DIE PASSENDE LÖSUNG

- VERBINDUNGSTECHNIK
- LUFTDICHTHEIT UND BAUABDICHTUNG
- SCHALLDÄMMUNG
- ABSTURZSICHERUNG
- WERKZEUGE UND MASCHINEN

Rothoblaas hat sich als multinationales Unternehmen der technologischen Innovation verpflichtet und entwickelte sich innerhalb weniger Jahre zum weltweiten Bezugspunkt im Bereich Holzbau und Sicherheitssysteme. Dank unserem umfassenden Sortiment und einem engmaschigen und technisch kompetenten Vertriebsnetz sind wir in der Lage, unseren Kunden unser Know-how im Bereich Holzbau zur Verfügung zu stellen und Ihnen als starker Partner zur Seite zu stehen.

Für weitere Informationen besuchen
Sie unsere Website:
www.rothoblaas.de

**rothoblaas**

Solutions for Building Technology

STEICO *GLVL R* Furnierschichtholz

Hochbelastbare Schwelle/Rähm ab sofort als Lagerware

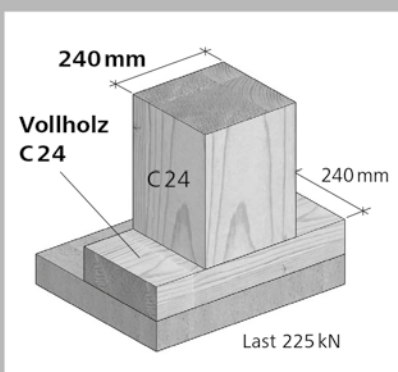
NEU: STEICO *GLVL R* Schwelle/Rähm mit stehenden Furnierlagen

Dimensionsstabil, hoch belastbar, wirtschaftlich und sicher

Bis zu **2,88-fach**
höhere Last als
Vollholz C24 bei gleichen
Stützenquerschnitten

Moderne Architektur mit großen Wandöffnungen, z.B. für Fenster, führt zu Lastkonzentrationen auf einzelne Stützen. Vor allem der mehrgeschossige Holzbau stellt höchste Anforderungen an Schwelle/Rähm. In den meisten Fällen wird die vertikale Tragfähigkeit einer Holzrahmenbauwand durch die Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faser von Schwelle und Rähm bestimmt. „Weichere“ Schwellen aus Vollholz erfordern größere Stützenquerschnitte, um Quetschungen von Schwelle/Rähm zu vermeiden.

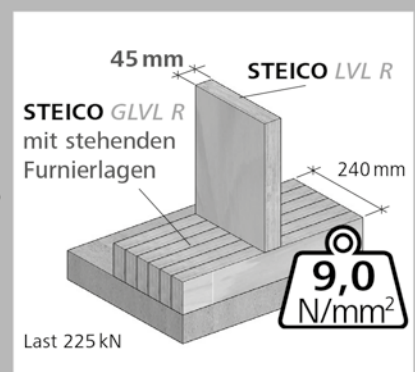
Hochfestes STEICO *GLVL R* in Schwelle und Rähm ermöglicht daher den Einsatz von schlankeren oder weniger Stützen.



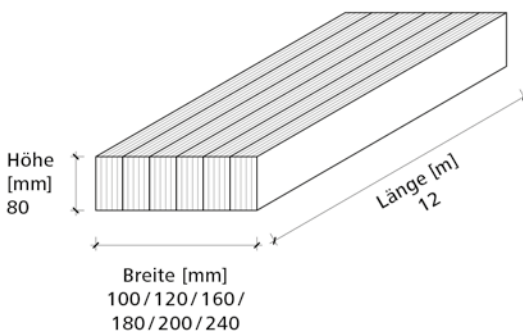
Hochfeste Schwelle – schlankere Stütze. Bis zu

81% Materialersparnis

STEICO *GLVL R* als Schwelle/Rähm ermöglicht bis zu 81 % Materialersparnis in der Stütze bei gleicher Belastbarkeit



STEICO *GLVL R* als Schwelle/Rähm ist in folgenden Querschnitten als Lagerware verfügbar



Das STEICO *LVL* Komplettsortiment für den Holzbau – lieferbar ab Lager

NEU
Erweitertes
Sortiment

STEICO *LVL* Furnierschichtholz ist in gängigen Holzbau-Dimensionen ab Lager verfügbar. Ob hoch belastbare Balken, schubsteife Platten oder verklebte Querschnitte für Unterzüge oder Dach- und Deckenelemente – vielfach auch als Einzelstangen. Weitere Infos unter www.steico.com



Klebstoff-Verbindungen mit Holz

Wo immer Holz am Bau seine Rolle nachhaltig spielt, ist Collano die verbindende Kraft. Mit exakt jenen Fähigkeiten, die es dafür braucht. Zukunftsfähige Klebelösungen sind unsere Kernkompetenz.

www.collano.com

An abstract graphic featuring various shapes and structures made from corrugated paper. The structures are layered and overlapping, creating a sense of depth and texture. The colors range from light gray to dark gray, with some white highlights. The shapes include curved, ribbed forms and flat, geometric patterns.

Collano AG
Neulandstrasse 3
CH-6203 Sempach Station
Switzerland
T +41 41 469 92 75
info@collano.com
www.collano.com

ALLES
GUTE
für Ihr Haus!

DACH SCHORNSTEIN LÜFTUNG

www.erlus.com

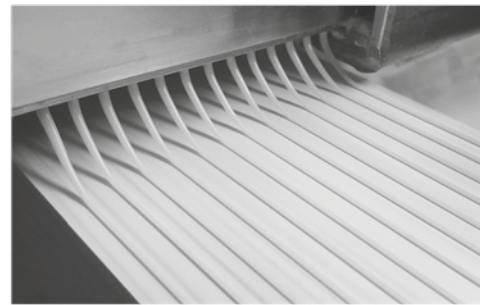


schützt
wärmt
atmet

ERLUS 

Qualität aus Deutschland

LOCTITE®



LOCTITE PURBOND-Klebstoffe

DIE Messlatte im tragenden Holzleimbau

LOCTITE PURBOND-Produkte stellen seit ihrer Markt-Einführung im Jahre 1988 die Messlatte für die Herstellung von tragenden Holzleimbauteilen mit innovativen Klebstoffen dar.

Seitdem schreibt die **Henkel Engineered Wood** mit ihrem etablierten Konzept einer intensiven technischen Kundenberatung und der kontinuierlichen Innovation die Erfolgsgeschichte fort. Die Anwender können sich hierbei sowohl auf das ihnen bekannte Personal sowie auf die ungebrochen hochstehende Produktqualität und Liefersicherheit der Klebstoffe mit Zertifikaten in den wichtigsten Holzleimbau-Märkten der Welt verlassen.

Henkel & Cie. AG | Industriestrasse 17a
6203 Sempach Station, Schweiz
www.henkel-adhesives.com/engineered-wood



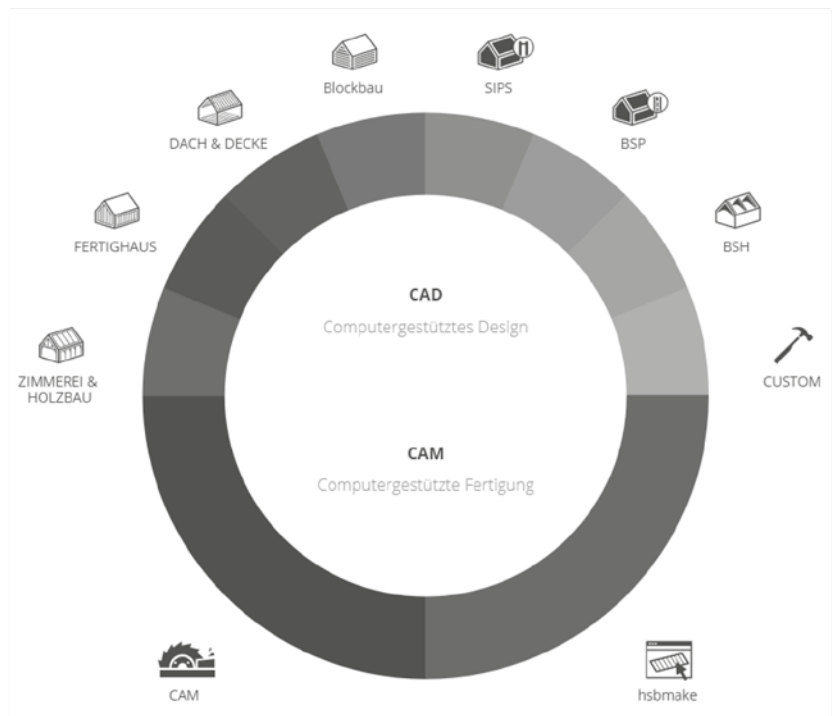
Einfach CAD

hsbdesign – CAD/CAM für den
Holzbau auf der Basis von
AutoCAD Architecture®
und Autodesk Revit®

hsbdesign ist die intelligente 3D-CAD-Lösung für alle Bereiche des Holzbaus. hsbdesign basiert auf AutoCAD Architecture® oder Autodesk Revit® - den weltweit führenden CAD-Plattformen. Auf dieser Grundlage vereint **hsbdesign** den **gesamten Planungsprozess** im Holzbau und HolzFertighausbau **in einer Lösung** und in einem einzigen dynamischen und durchgängigen Konzept: BIM (Building Information Modeling). BIM unterstützt Sie dabei, Ihr 3D-Modell intelligent, konsequent und produktiv zu nutzen, zum Beispiel mit **hsbmake** für den digitalen Produktionsprozess oder **hsbshare** für die cloud-basierte Kommunikation auf der Basis eines digitalen Modells. hsbdesign bietet Datenfluss von der Architektur über den Verkauf bis hin zur Arbeitsvorbereitung und CNC-Fertigung – **eine Lösung für alles!**

1 Lösung für alle Bereiche

hsbdesign bietet innerhalb einer
Oberfläche für alle Bereiche des
Holzbaus eine einheitliche Lösung



wir sind wieder für SIE da

25. Internationales Holzbau-Forum
in Innsbruck (AT)

Besuchen Sie unseren Stand in der Ausstellung.
Wir freuen uns auf ein Gespräch mit Ihnen!





NOVATOP – CLEVERLY DESIGNED

Emissionsarme
Holzwerkstoffe

NOVATOP BASIC – Gutes Innenraumklima ist planbar

Mit der neuen MU Verleimung erfüllen die 3-Schichtplatten Grenzwerte, welche an die Anforderungen der sehr selektiven Schweizer Lignumproduktliste für Holzwerkstoffe im Innenraum angelehnt sind. Neu in den Längen bis zu 10 Meter.

NOVATOP SOLID – Sichtqualität ohne Fugen

Wandplatten auf Basis von Mehrschichtplatten.

NOVATOP ELEMENT – Ein flexibles und zuverlässiges Zusammenspiel

Hohle Rippelemente auf Basis von Mehrschichtplatten, die mit Leitungen und Verkabelungen sowie mit Isolierungen ergänzt werden können.

NOVATOP OPEN – Flexibler Vorfertigungsgrad

Platten mit wählbarem Vorfertigungsgrad, welche die Vorteile von KVH Holz mit dem massiven Anteil der Mehrschichtplatte vereinen.

NOVATOP STATIC – Konstruktionen mit erhöhten statischen Ansprüchen

5-Schicht Massivholzplatte, die vor allem bei Konstruktionen mit erhöhten Ansprüchen an die Statik zur Anwendung kommt.

NOVATOP ACOUSTIC – Für vollkommenen akustischen Komfort und Naturdesign aus Holz

Akustische Paneele aus 3-Schicht Massivholzplatten, in verschiedene Profile perforiert, mit geprüftem hohem Absorptionsgrad.

Kooperationspartner:

techno
wood the art of wood machining



**Der Schweizer
Maschinenbauer
für's Holz**

TW-Concept Line
Tarcisi Maissen SA
CH-Trun

TW-Concept Line

**Konfigurieren Sie den Grad Ihrer
Automatisierung**

Modulare und erweiterbare Komponenten
in Schweizer Qualität

Technowood
CH-9656 Alt St. Johann
www.technowood.ch

The VELUX logo is displayed in a bold, white, sans-serif font within a black rectangular box. The registered trademark symbol (®) is positioned at the top right of the text.

Dachfenster

Tageslicht und frische Luft unter dem Dach.

Egal ob Neubau, nachträglicher Dachgeschoßausbau, Modernisierung eines bestehenden Dachraums oder Fenstertausch: VELUX Dachfenster sorgen mit Tageslicht und Frischluft für bessere Wohnbedingungen. Die neue Smart-Home-Lösung **VELUX ACTIVE with NETATMO** misst mit Sensoren CO₂-Gehalt, Luftfeuchtigkeit und Temperatur des Raumes, und sorgt mit automatischer Steuerung von VELUX INTEGRA® Dachfenstern und Rollläden für besseres Raumklima. Zudem können VELUX INTEGRA® Produkte jederzeit bequem mittels VELUX ACTIVE Smartphone-App bedient werden – egal, wo Sie sich gerade befinden!

www.velux.at/active



INDIVIDUELLE GROSSBAUTEN IN HOLZ- UND HYBRID-BAUWEISE

Seit mehr als 90 Jahren, einer Zeit, in der Themen wie Umweltbewusstsein und designorientierte Holzkonstruktionen noch keine Relevanz hatten, bauen wir mit Leidenschaft auf den ökologischen Baustoff Holz. Heute sehen wir uns mehr denn je in der Verantwortung zur Bewahrung und Verbesserung unseres Lebensraumes für zukünftige Generationen.

Holz ist der einzige Baustoff, mit dem sich Hochbauten in der erforderlichen Größe errichten und dabei die durch den Bau verursachten Treibhausgas-Emissionen senken lassen – sowohl im Neubau, bei energetischen Sanierungen, Fassadengestaltungen, Aufstockungen und bei der urbanen Nachverdichtung.



Mehrgeschossiger Holzbau, Walden 48, Berlin



Clark International Airport, Philippinen



Bürogebäude NEOS, Montpellier



Technische Universität München, Campus Olympiapark, München



Innovationszentrum, Rovereto

Holz in Bestform

 **SWISS KRONO**

PRÄZISE
UND MASSIV



SWISS KRONO
MAGNUMBOARD® OSB

Das massive Holzbaustem

- Direkt beschichtbar

swisskrono.de

Made in
Germany



SWISS KRONO
BAUTEIL-PLANER

Ein digitales
Planungsinstrument
für den Holzbau

timberplanner.com



www.blauer-engel.de/uz76



KLH®

HOLEN
SIE SICH DIE
ERSTE AUSGABE
VON „TIMBER ARCH“
AM STAND
TF 118



- PIONIER IN DER HERSTELLUNG VON BRETTSPERRHOLZ
- DAS ORIGINAL MIT MEHR ALS 30 000 PROJEKTEN WELTWEIT
- INTERNATIONALES PROJEKTMANAGEMENT
- LÖSUNGSORIENTIERTER PROJEKTPARTNER
- VON STATISCHER VORBEMESSUNG BIS ZUR WERKPLANUNG

KLH MASSIVHOLZ GMBH | 8842 Teufenbach-Katsch | Gewerbestraße 4

Tel +43 (0)3588 8835 | office@klh.at | www.klh.at

Alessandra-Chemello, www.orsenigochemello.com | KLH UK, www.klhuk.com | Emma Crisp Photography, www.emmacrisp.com.au
Dirk Wilhelm, www.wilhelm-fotografie.de | Pedro Pegenaute, www.pedropegenaute.com | (c) Jaap Chiektken, www.aap.or.at
Peter Messnia, www.wgsnig.de | T U S Modulhaus, Arch. Oliver Seindl, www.modulhaus.at | Alex Filz | Takaharu Takematsu & E.P.A.
(c) J. Konstantinov | KLH, www.klh.at | Rendering, © LSI architects, www.lsiarchitect.com

INNOVATIVER HOLZBAU MIT SYSTEM

Nachhaltig hochwertig

Knauf bietet ganzheitliche, perfekt aufeinander abgestimmte Lösungen für den Holzbau, die höchste Anforderungen an Schall-, Brand- und Wärmeschutz in Boden, Wand, Decke und Dach erfüllen.

Auf unserem Ausstellungsstand beraten Sie unsere Experten aus Deutschland, Österreich und der Schweiz umfassend zu neuen und bewährten System- und Dämm Lösungen von Knauf und Knauf Insulation. Dabei stehen folgende Themen im Fokus:

- › Außenwand-Systeme für den innovativen und auch mehrgeschossigen Holzbau
- › Holzbalkendecken mit außergewöhnlichem Schallschutz – auch im tieffrequenten Bereich
- › Wirtschaftliche und effiziente Dämmsysteme


www.knauf.com

KNAUF



prefere®
by dynea

Komplette
Lösungen für
konstruktive
Holzverklebung.
Vollsortiment
nach EN, DIN,
JAS, ASTM



Dynea -
Partner in allen
Fragen der
Holzverleimung



Norway / Europe
Dynea AS
Svelleveien 33
N-2001 Lillestrøm
Tel: +47 63 89 71 00
Tel: +47 951 46 741
dynea@dynea.com

Österreich / Deutschland:
Dynea Austra GmbH
Hafsenstrasse 77
A-3500 Krems
Tel: +43 664 811 5340
Tel: +49 174 3965223
dynea@dynea.com

www.dynea.com

ERLEBE DEN GUTEX EFFEKT

*Ökologische Dämmstoffe aus
Schwarzwaldholz.*

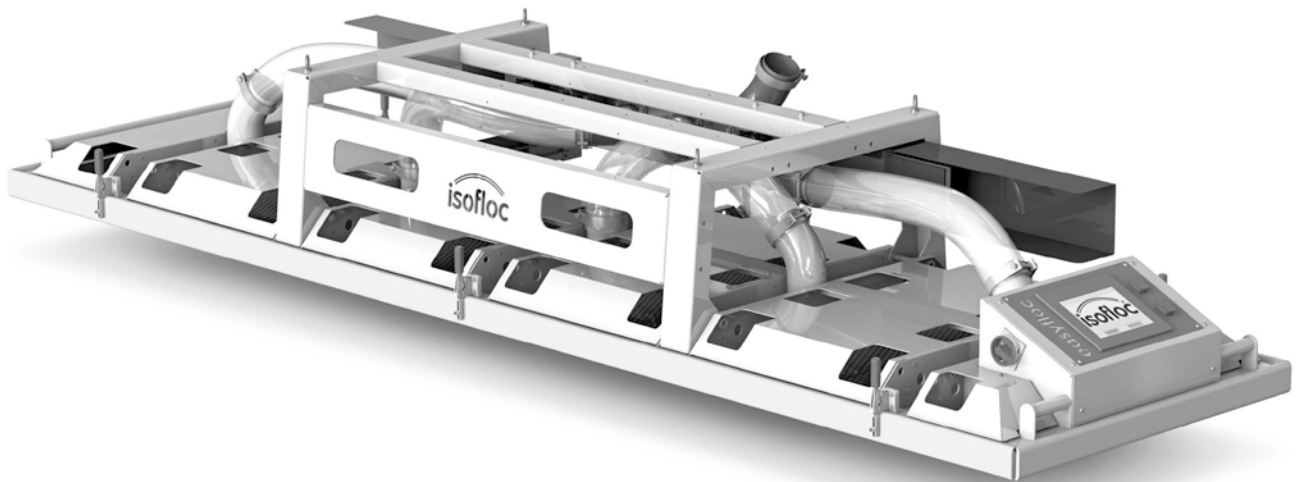
Erfahren Sie mehr über Holzfaserdämmung
unter www.gutex.de



DER
**GUTEX
EFFEKT**

 **GUTEX**[®]

DÄMPLATTEN AUS SCHWARZWALDHOLZ



Das Original ist zurück: schneller, günstiger, besser

Dank der neusten Generation unserer patentierten Einblasplatte lassen sich vorgefertigte Holzbauelemente jetzt noch effizienter dämmen.



Jowat | Ihr Partner in Sachen Kleben



© Roland Halbe

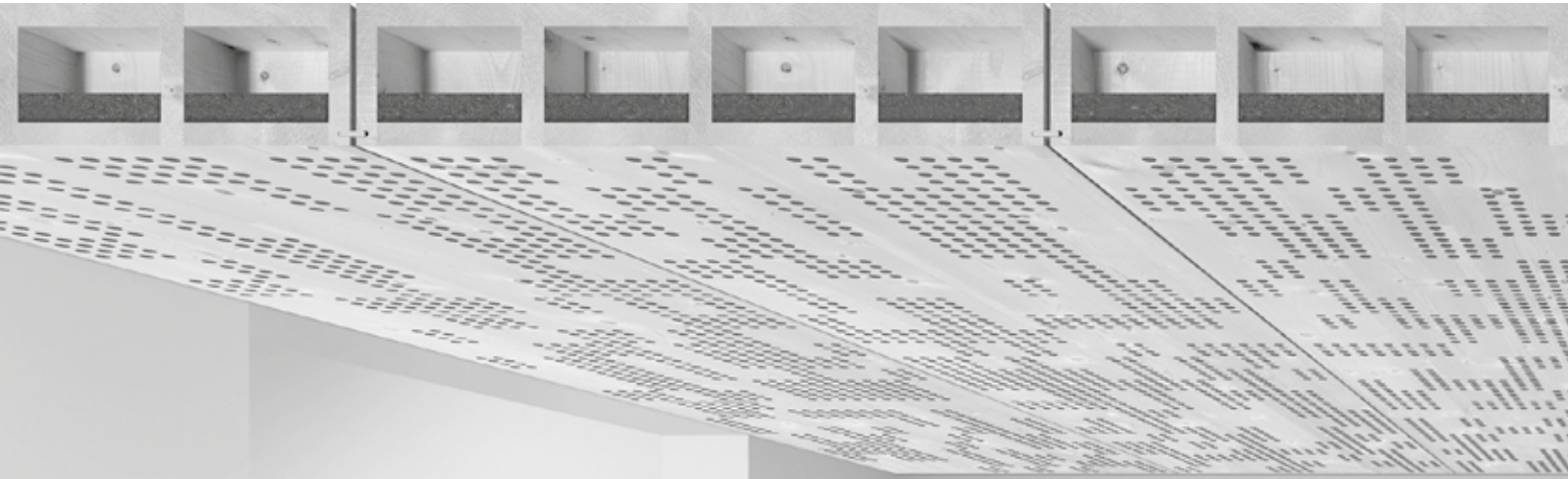
Jowapur® 681.xx – Die neue Produktfamilie für den tragenden Holzleimbau.

Dauerhaft verbinden -
mit Spezial-Klebstoffen für den Holzleimbau.
Zertifiziert, umweltfreundlich und effizient im Einsatz.









Jowat – Kleben erster Klasse.

Jowat
Klebstoffe

www.jowat.com



Alles in einem Element:

- | | |
|--|--|
|  Statik - tragend |  Schallschutz |
|  Feuerwiderstand 90 min |  Raumakustik |
|  Ästhetik |  Wärmeschutz |
|  Ökologie |  Top-Beratung |

Interessiert?

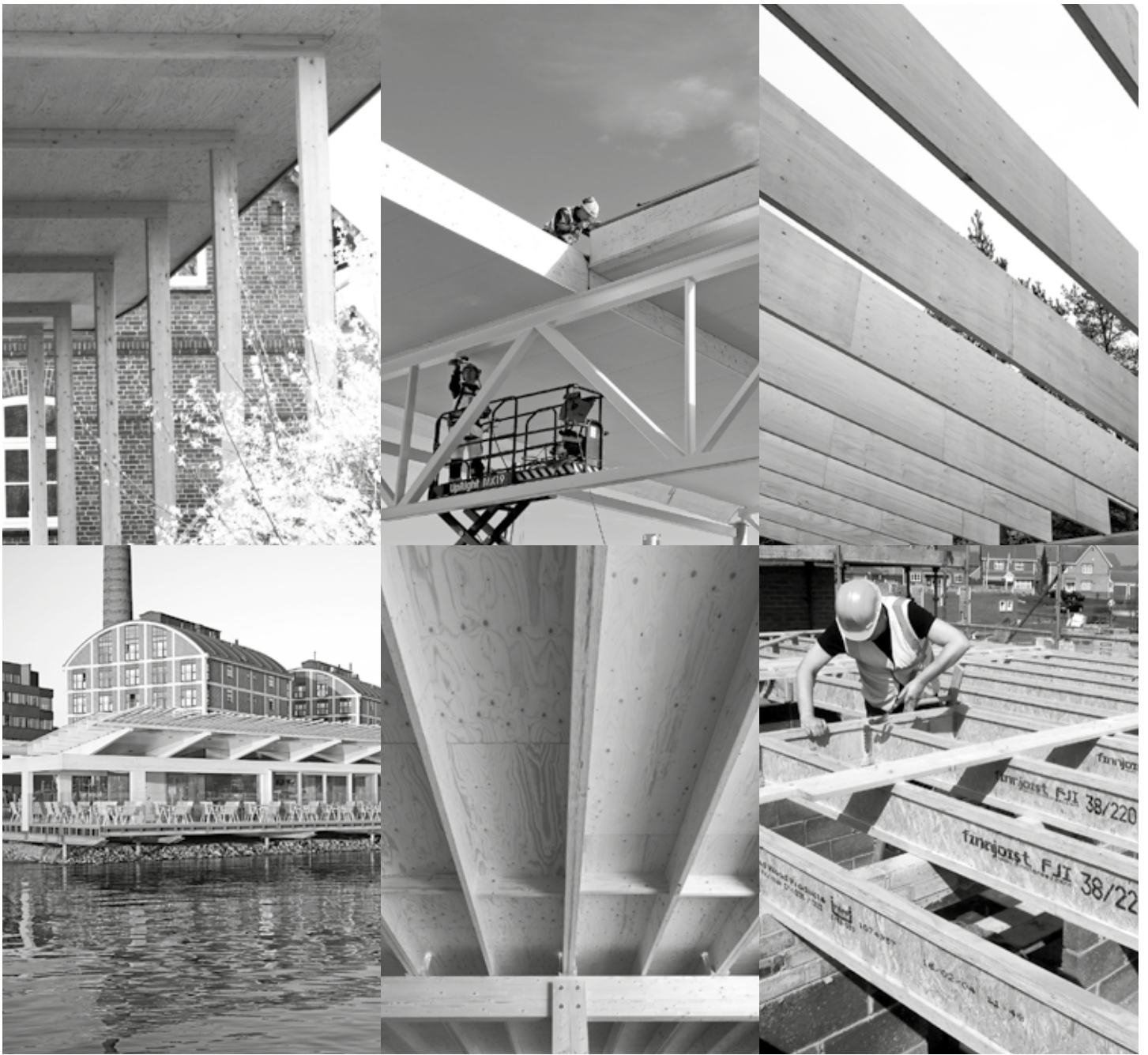
Kontaktieren Sie unser
Beratungsteam:

+41 71 353 04 10
info@lignatur.ch



Erfahren Sie mehr unter:

www.lignatur.ch



KERTO® FURNIER-SCHICHTHOLZ

- extrem fest und formstabil
- bis zu 23 m Länge
- bis zu 90 mm Stärke
- mit mehr als 3 Mio cbm Erfahrung

KERTO-RIPA® – DECKEN-UND DACHELEMENTE

- bis zu 23 m Spannweite ohne tragende Zwischenwände oder Stützen
- vorgefertigte Elemente mit und ohne Dämmung

FINNJOIST – I-TRÄGER

- Reduzierung von Wärmebrücken
- geringes Gewicht
- kein Verdrehen oder Verziehen

NEUE ANWENDUNGSZULASSUNG VON KERTO AUF WWW.METSAWOOD.DE ➔

METSÄ WOOD DEUTSCHLAND GMBH

Louis-Krages-Straße 30
D-28237 Bremen
Telefon +49(0) 421-69 11-0
Telefax +49 (0) 421-69 11-300
metsawood.de@metsagroup.com



Nachhaltige Forstwirtschaft



Erneuerbarer Rohstoff



Zusammenarbeit Werte



Produktion Technologie



Forschung für neue Ideen



Kontinuierliche Entwicklung



BESTÄNDIG IM WANDEL



SterlingOSB-Zero

Mit Sicherheit umweltfreundlich bauen



SterlingOSB-klimaneutral

Punkten mit Klimaschutz

- Große Formatvielfalt
- Ideal für Modul- und Fertigbau

Besuchen
Sie uns:
Erdgeschoss
Dogana
Stand **DG007/**
DG014



Norbord[®]

Make it better



Verkauf

Norbord Europe Ltd.

Tel: **00800 OSBANRUF*** (00800 67226783)

Fax: **00800 OSBFAXEN*** (00800 67232936)

info@SterlingOSB.de

*Kostenfreie Servicenummern für D/A/CH

www.Norbord.eu | www.SterlingOSB.de



STARKE MARKEN UNTER EINEM DACH!

Besuchen Sie unsere Fachausstellung:
Stand CF205





Wirt schaftlich. Kreativ. Leistungs fähig.

Kein Kompromiss bei Qualität und Sicherheit.

SFS Befestigungslösungen für den konstruktiven Holzbau:

- Leistungsstarke Doppelgewindebefestiger
- Einzigartige Vollgewindebefestiger
- Selbstbohrendes Stabdübelsystem
- Große Auswahl an Teilgewindebefestigern
- Schraubanker zur Befestigung von Holz an Beton
- Kompetenter Bemessungsservice

+49 6171 70020
www.sfsintec.de

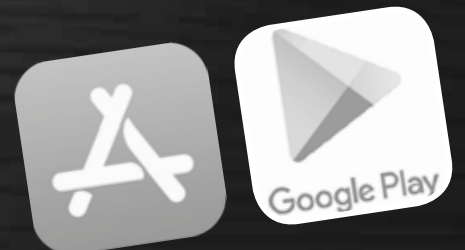


www.sihga.com

WIR VERBINDEN JETZT ALLES - WEBSHOP + SIHGA APP

Ab sofort können Sie von Ihrer Baustelle aus online bestellen. Einfach auf www.sihga.com gehen oder noch besser unsere neue APP herunterladen und mit Barcodescanner direkt, einfach und zeitsparend bestellen.

Lassen Sie sich überraschen...



TAKE THE BEST

You have big visions. So do we.

Städte wurden seit Jahrhunderten verändert, das urbane Umfeld ändert sich laufend – doch jetzt ist die Zeit reif für eine **neue Phase des Bauens**: Neue Technologien für die Planung und allgemein in der Holzindustrie ermöglichen uns mehr Design-Optionen als je zuvor. Die heutigen Herausforderungen verlangen nach neuen Ideen für Lösungen, die **nachhaltig** und **in großem Maßstab** umgesetzt werden können sowie auf intelligent industrialisierten Produktionsmethoden basieren. Wir als Stora Enso unterstützen mit unserer Erfahrung, Expertise und unseren veredelten Holzprodukten dabei, diese Entwicklungen mitzugestalten.

Die Division Wood Products ist ein führender Anbieter von **innovativen holzbasierten Lösungen**. Die Produktpalette deckt **alle Bereiche urbanen Bauens** ab und umfasst unter anderem **Massivholzelemente** und **Holzkomponenten**. Das Angebot wird durch eine Reihe von Schnittholzprodukten und Pellets für eine nachhaltige Wärmeerzeugung abgerundet. Eine wachsende Produktpalette an Bioverbundstoffen ermöglicht den Ersatz von Kunststoffen in Konsumgütern und generiert damit neues Potenzial für weitere, anspruchsvolle und kosteneffiziente Außen-Anwendungen. Zu unseren Kunden zählen vor allem Groß- und Einzelhändler, Tischlerei- und Bauunternehmen.

Wir haben es uns zur Aufgabe gemacht, unsere Vision gemeinsam mit Ihnen zu realisieren.

Alles, was heute aus fossilen Materialien produziert wird, kann morgen aus Holz hergestellt werden.

Foto: MHD Architekt

Kontaktieren Sie uns für mehr Informationen:

Stora Enso, Division Wood Products
Werk Pfarrkirchen
Tel. +49 8561 30050
E-Mail: office.pfarrkirchen@storaenso.com
www.clt.info
www.storaenso.com

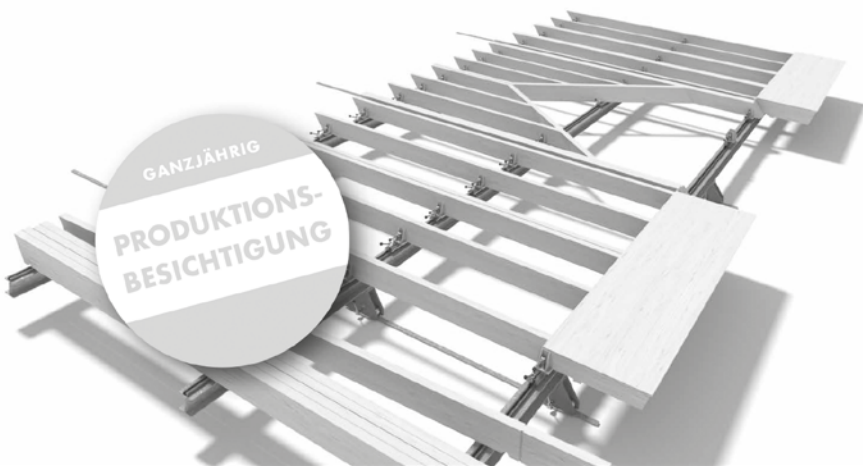
THE RENEWABLE MATERIALS COMPANY



tectofix 3000

FÜR HOLZBAUPROFIS

Vorfertigungsanlage für Dach-,
Decken- und Wandelemente



ZEITEINSPARUNG
40% durch Vorfertigung



KURZE AMORTISATION
durch geringe Investition



PRAXISNAH
dank einfacher Bedienbarkeit



PLATZSPAREND
zum Parken zusammenschieben



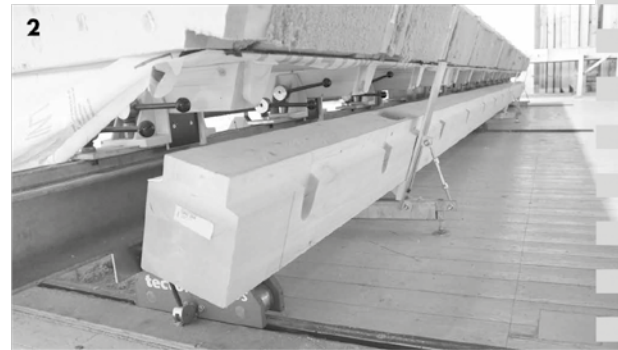
BG BAU EMPFIEHLT
Vorfertigung für mehr Sicherheit

tectofix
VOM HOLZBAUER.
FÜR HOLZBAUER.

Anwendungen
und Filme auf
www.tectofix.de



1 / Dachelement mit integrierter Pfosten-Riegelkonstruktion:
Vertikale Pfetten-Überstände sind einfach möglich



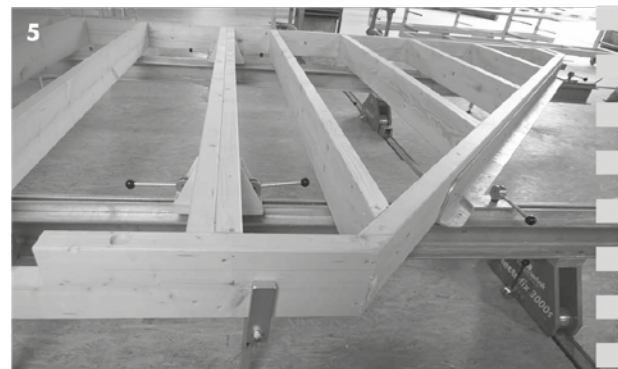
2 / Sichtdach anlegen mit Firstpfette



3 / Restaurant: 40 cm hohe Geschosdecke mit gekrümmtem Randträger und ausgespartem Unterzug auf tectofix 3000



4 / Wandfertigung in idealer Arbeitshöhe: Auch beim Einlegen schwerer Ständer
ergonomisch perfekt, da der „Tisch begehbar“ ist



5 / Schräganschläge für Giebelwand

tectofix 3000

INDIVIDUELLER SERVICE FÜR FEINSCHMECKER.



Seit 1982 unterstützen türmerleim und die BASF BSH-Hersteller mit persönlicher Beratung und innovativen Produkten. Gemeinsam stimmen wir die Services genau auf Ihren Bedarf ab. Ein wichtiger Baustein sind unsere Leim- und Thermoassistenten. Diese ermöglichen einen optimierten Leimauftrag und höchste Prozesssicherheit. Wir glauben an stabile Verbindungen – damit Sie heute wie morgen Ihre BSH-Produktion sicher und mit höchster Effizienz gestalten können. Nutzen Sie die Kraft gemeinsamer Erfahrung.

Türmerleim GmbH
Arnulfstraße 43
67061 Ludwigshafen/Rhein
Tel. 0621 56 107-0
www.tuermerleim.de



 **BASF**
We create chemistry

türmerleim
Experience in Adhesives



ADLER PLATINUM. DIE WARTUNGSFREIE OBERFLÄCHE FÜR HOLZFASSADEN.

Durch unsere langjährige Erfahrung im Holzbau, haben wir die Gewissheit, dass eine gleichmäßige, dauerhaft störungsfreie Holzoberfläche möglich ist. Eine wartungsfreie Holzoberfläche, die naturnäher nicht sein könnte. Atmungsaktiv, ökologisch und perfekt vor Wind und Wetter geschützt. Die Oberfläche der patinierten Fassade wittert im Laufe der Zeit ab. Die beschichtete Patina wandelt sich in natürliche Patina. Unterschiedliche Farbunterschiede und Abwitterungen werden vermieden.

WEITERE INFORMATIONEN:

Tel. +43 5242 6922-384 | richard.moelk@adler-lacke.com | www.adler-lacke.com

ADLER
In unseren Adern fließt Farbe.

LASIERTE

MASSIVHOLZDECKEN

AUS BRETTSPERRHOLZ UND BRETTSCHICHTHOLZ

- werkseitig lasiert
- geschliffen oder sägerau
- in 8 verschiedenen Farben
- UV-stabil
- diffusionsoffen
- mineralische Lasur



Das Festool System für den Holzbau.

Auf dem Internationalen Holzbauforum
am Stand-Nr. DG010.

FESTOOL



Unsere Statik ist nicht nur sicher, sondern auch wirtschaftlich!

Holzbauten und ergänzende Holzbauerelemente im Stahl- und Massivbau sind **seit über 25 Jahren** unsere Profession. Der lebendige Baustoff Holz, die Vielzahl möglicher Verbindungen, das besondere Wärmebrückenverhalten und die gebäudespezifischen Verteilungen der Lasten erfordern eine hohe Spezialisierung auf die Tragwerksplanung im Holzbau.

Unsere Leistungen



Tragwerksplanung/
Statik



Konstruktionsplanung bis
zur Arbeitsvorbereitung



Schal- und
Bewehrungspläne



Aufstockungen &
Machbarkeitsstudien



Resttragfähigkeits-
gutachten



Schallschutz



Wärmeschutz



Brandschutz

Die **FH Holzbaustatik GmbH & Co. KG** ist Ihr **verlässlicher Partner für Ingenieurholzbau- und Holzbaustatiken**. Wir sind Dienstleister für Holzbauunternehmen, Architekten und Planer, Berufskollegen, Bauunternehmen und private Bauherren. Bei uns arbeiten Theoretiker und Praktiker zusammen. Der Statiker prüft seine Pläne mit dem Zimmermann. So sichern wir die Möglichkeit, gute Ideen realistisch umzusetzen. Genaue Planbarkeit des Baumaterials, beste Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten und zeitsparende Montagefreundlichkeit sind die Ergebnisse.

FH Finnholz - Ihr Spezialist für Holzkonstruktionen und Kerto-Furnierschichtholz

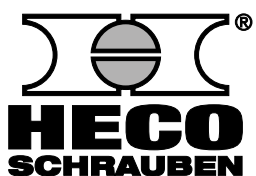
FH Finnholz ist Ihr Spezialist für Holzhallenbau und überzeugt mit mehr als 25 Jahren Erfahrung in der Beratung, Planung und Konstruktion von Holzbauprojekten. Als Deutschlands absatzstärkster Leithändler für Kerto-Furnierschichtholz bietet FH Finnholz neben einer hohen Lieferfähigkeit auch die professionelle Holzveredelung und -verarbeitung durch das hauseigene CNC Plattenbearbeitungszentrum. Im Verbund mit der Schwestergesellschaft FH Holzbaustatik GmbH & Co. KG, liefert FH Finnholz Fachkompetenz rund um den Holzbau aus einer Hand.

HECO®-Schrauben Innovation. Vertrauen. Zukunft.



Qualität und Perfektion von Profis für Profis.

*Verlangen Sie HECO®-Schrauben –
Sicher ist sicher*



HECO-Schrauben GmbH & Co. KG

Dr.-Kurt-Steim-Straße 28, D-78713 Schramberg

Tel.: +49 (0) 74 22 / 9 89-0, Fax: +49 (0) 74 22 / 9 89-200

E-Mail: info@heco-schrauben.de, Internet: www.heco-schrauben.de



WO IDEEN WACHSEN KÖNNEN.



MM crosslam BRETTSPERRHOLZ (BSP)

Entwickelt für den Einsatz im konstruktiven Holzbau. **MMcrosslam** ist ein massives, statisch wirksames und gleichzeitig raumbildendes Holzelement, das sich dank seiner flexiblen Abmessungen und hervorragenden bauphysikalischen Eigenschaften für jede bauliche Anforderung eignet und jede noch so abstrakte Idee zur Wirklichkeit werden lässt. Ob Einfamilienhaus, mehrgeschossige Bauten oder zeitgemäße designorientierte Projekte.

E-Mail: brettsperrholz@mm-holz.com

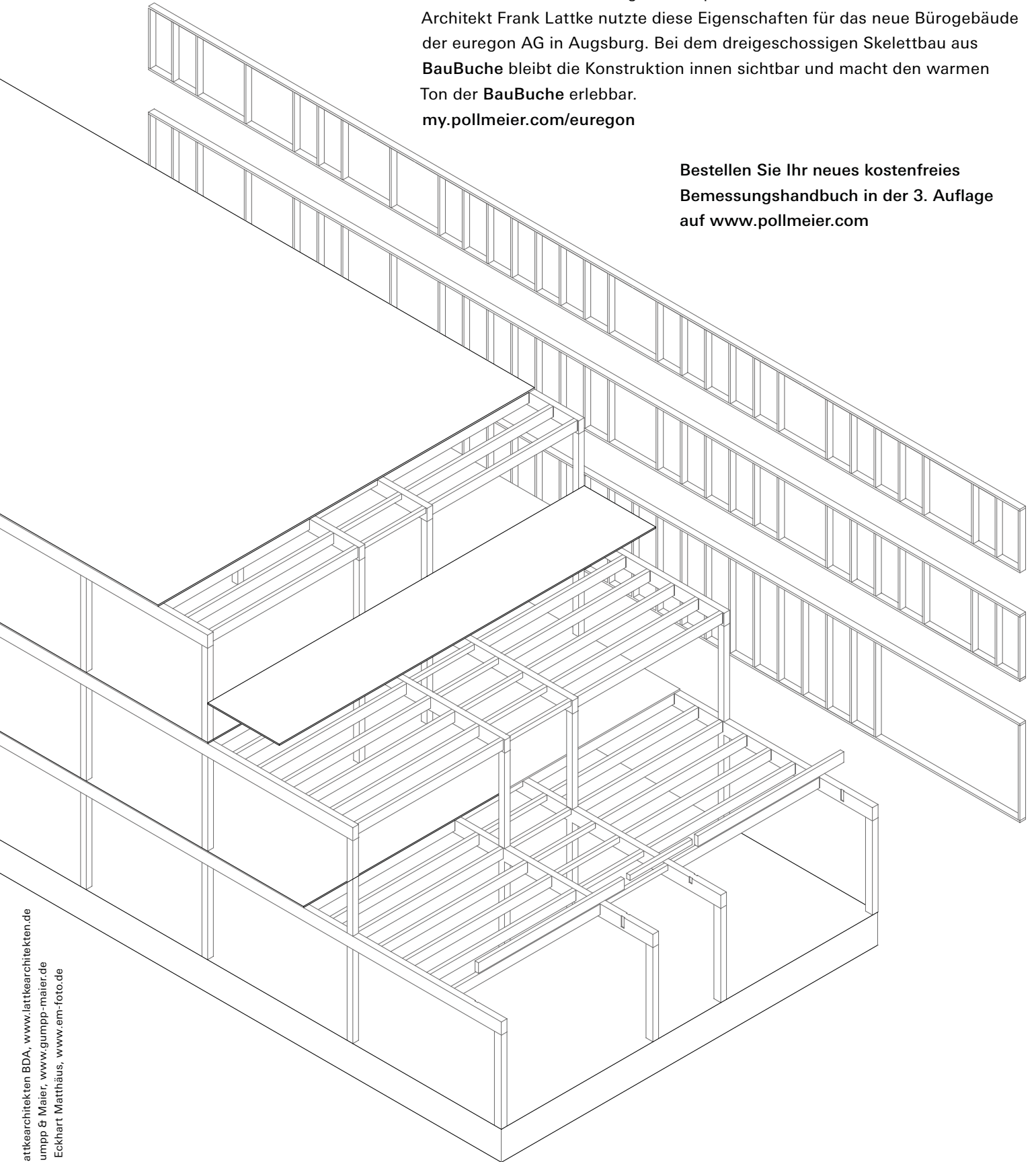
www.mm-holz.com

BauBuche spart Raumhöhe

Ein schlanker Skelettbau für das euregon AG Bürogebäude

BauBuche besitzt eine außergewöhnlich hohe Tragfähigkeit und ermöglicht schlankere Bauteile sowie größere Spannweiten im konstruktiven Holzbau. Architekt Frank Lattke nutzte diese Eigenschaften für das neue Bürogebäude der euregon AG in Augsburg. Bei dem dreigeschossigen Skelettbau aus BauBuche bleibt die Konstruktion innen sichtbar und macht den warmen Ton der BauBuche erlebbar.
my.pollmeier.com/euregon

Bestellen Sie Ihr neues kostenfreies
Bemessungshandbuch in der 3. Auflage
auf www.pollmeier.com



SIMPSON
Strong-Tie

Besuchen
Sie uns im
EG Dogana,
Stand-Nr. DG006

z. B. Winkelverbinder
ABR100

STARKE VERBINDUNGEN

Mit unseren innovativen Verbindungslösungen sind wir ein unerlässlicher Partner bei zukunftsweisenden Projekten im Massivholzbau (Brettsperrholz = CLT).

www.strongtie.eu

pavatex
by SOPREMA

Holzfaser-Dämmsysteme

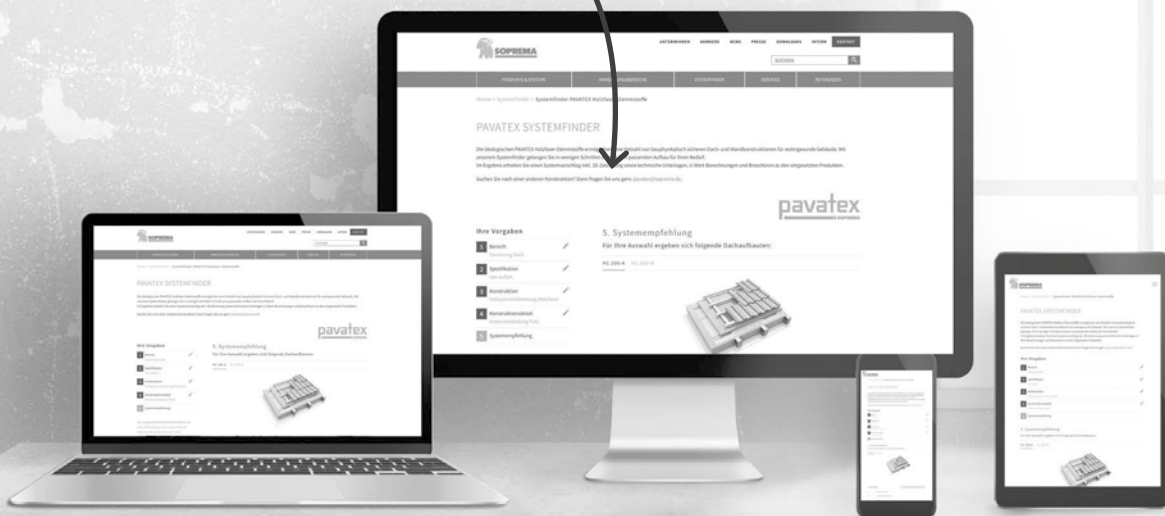
PRAKTISCHER KLIMASCHUTZ JETZT MIT SYSTEM PLANEN

Es gibt viele Möglichkeiten ein Gebäude zu dämmen. Vergleicht man die Ökobilanzen, so hat die Holzfaserdämmung entscheidende Vorteile. Die ökologischen Dämmstoffe werden aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz gewonnen und ressourcenschonend hergestellt. Aufgrund ihrer natürlichen Eigenschaften tragen sie gleich zweifach zur CO₂-Reduktion bei: Zum einen ist Holz ein natürlicher CO₂-Speicher, zum anderen wird durch die Gebäudedämmung CO₂ eingespart.

Mit dem neuen PAVATEX Online-Systemfinder einfach und schnell die passende natureplus®-zertifizierte Dämmung für Ihr Bauprojekt ermitteln. So können auch Sie einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Mit wenigen Klicks zum richtigen Dämmsystem.

Mit vielen praktischen Downloads für die Planung.



Weitere Informationen finden Sie auf www.pavatex.de

SOPREMA
GROUP